



**UNIVERSIDAD DEL AZUAY**  
**FACULTAD DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA**  
**ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL**

**Desarrollo de un software para el diseño estructural de muros de  
contención a gravedad, conforme a los lineamientos de la NEC-15 y la  
AASHTO LRFD 2020**

Trabajo previo a la obtención del grado académico de  
**INGENIERO CIVIL**

Autores  
**ROJAS SÁNCHEZ MATEO SEBASTIÁN**  
**SARI DOMÍNGUEZ BRYAM FELIPE**

Director  
**ING. ESTEBAN MATEO NARVÁEZ VÁSQUEZ**

**CUENCA – ECUADOR**

**2026**

## **Dedicatoria**

Este trabajo de grado es para mi familia, las personas que siempre han estado conmigo y que me ayudaron a encontrar el camino para cumplir esta meta. Ustedes han sido mi guía y mi refugio en cada paso de este largo proceso universitario.

A mis padres, Rolando y María, por ser mi mayor ejemplo de esfuerzo, humildad y honestidad. Gracias por todos los sacrificios que hicieron para que yo pudiera estudiar y por enseñarme que con constancia y un trabajo bien hecho no hay meta imposible. Todo lo que he logrado es un reflejo de los valores que me dieron desde niño; este título es tanto mío como de ustedes. Gracias por confiar en mí incluso cuando yo mismo dudaba.

A mi hermana Pamela, por su apoyo de siempre y por estar a mi lado en cada etapa, celebrando mis triunfos y dándome ánimos en las derrotas. Su cariño, su paciencia y sus palabras fueron muy importantes para que yo pudiera terminar mi carrera con éxito. Gracias por ser mi confidente y por creer siempre en mi capacidad para llegar hasta aquí.

A mi hermano pequeño, Julián, que llegó hace tres años para llenar nuestra casa de felicidad y darnos una nueva perspectiva de la vida. Su alegría, sus juegos y su luz han sido mi mejor motivación para esforzarme más cada día. Mi mayor deseo es que este logro sea un ejemplo para ti en el futuro, y que siempre sepas que con amor y determinación puedes cumplir cualquier sueño.

A todos ustedes, gracias de corazón por su paciencia infinita durante las noches de estudio y por ser la base sólida sobre la cual he construido mi futuro.

Felipe

## **Agradecimiento**

Agradezco a la Universidad del Azuay por haberme formado durante estos años y por brindarme las herramientas necesarias para mi vida profesional.

Mi gratitud especial al Ingeniero Mateo Narváez, tutor de este trabajo, por su guía, su tiempo y por compartir sus conocimientos técnicos para que este proyecto se hiciera realidad. Asimismo, al Ingeniero Esteban Cabrera, por sus enseñanzas en las aulas y por su apoyo en mi crecimiento académico.

A mi compañero de tesis, Mateo Rojas, por el trabajo en equipo, la dedicación y el esfuerzo compartido en cada etapa de este proyecto. Gracias por la confianza y por el apoyo mutuo que nos permitió alcanzar esta meta juntos.

Agradezco de manera importante a las empresas ETAPA EP y CELEC EP, especialmente al equipo de la Central Hidroeléctrica Guarumales, por haberme permitido realizar mis prácticas pre-profesionales. Gracias por abrirme las puertas, confiar en mi trabajo y permitirme aprender directamente en el campo de la ingeniería.

Finalmente, gracias a mis compañeros y amigos de carrera, con quienes compartí este camino, por el apoyo y los buenos momentos durante toda la etapa universitaria.

Felipe

## **Dedicatoria**

Dedico este trabajo a mi familia, quienes han sido mi mayor fuerza durante este camino y el motivo más grande para no rendirme. A mis padres, Lauro Rojas y María Elena Sánchez, por ser mi ejemplo de vida, por cada sacrificio, por cada consejo y por todo el amor y apoyo que me han entregado sin esperar nada a cambio. Gracias por enseñarme a ser quien soy y por confiar en mí incluso en los momentos en los que yo dudaba. Este logro también es de ustedes. A mis hermanos, Pablo Rojas y Thiago Rojas, por ser parte de mi alegría y de mi motivación diaria. Ustedes también son una razón para querer ser mejor cada día y para seguir esforzándome por alcanzar mis metas. A mi abuelita, Elena Bernal, por su amor inmenso y por haberme acompañado con su cariño desde siempre.

Este logro también lo llevo en honor a usted, con todo el amor que merece. A esa persona especial que me acompañó con cariño y apoyo en esta etapa final del proceso. Gracias por estar presente, por motivarme y apoyarme cuando más las necesitaba. A mis compañeros y amigos de carrera, por haber hecho de este camino una experiencia llena de aprendizajes, risas y momentos que siempre llevaré conmigo. A aquellas personas que, aunque hoy ya no forman parte de mi vida de la misma manera, dejaron una huella importante en mi camino. A quienes estuvieron, acompañaron, enseñaron o marcaron parte de lo que soy, gracias. Cada experiencia, cada recuerdo y cada persona que pasó por mi vida contribuyó, de alguna forma, a llegar hasta este momento.

Mateo



## **Agradecimientos**

Agradezco a la Universidad del Azuay por haber sido parte fundamental de mi formación académica y profesional, y por brindarme las herramientas necesarias para crecer como futuro ingeniero civil. Mi gratitud especial al Ingeniero Mateo Narváez, director de este trabajo de titulación, por su guía, paciencia y acompañamiento durante el desarrollo de este proyecto. Gracias por compartir sus conocimientos y por orientar este proceso con compromiso y responsabilidad. Asimismo, agradezco al Ingeniero Esteban Cabrera, por sus enseñanzas en las aulas, por su apoyo durante mi formación académica y por los conocimientos compartidos a lo largo de la carrera. A mi compañero de tesis, Felipe Sari, por la dedicación, la paciencia y el esfuerzo empleado durante cada fase de este proyecto.

Finalmente, agradezco a mis compañeros y amigos de carrera, con quienes compartí años de aprendizaje, esfuerzo, risas, desvelos y momentos que siempre recordaré con cariño. Gracias por hacer de esta etapa universitaria una experiencia especial e inolvidable.

Mateo

## Resumen

El presente trabajo desarrolla un software libre para el diseño estructural de muros de contención a gravedad, integrando los lineamientos de la NEC-15 y la AASHTO LRFD 2020. Para ello, se estructuraron dos metodologías de diseño: la filosofía de esfuerzos admisibles ASD, basada en factores globales de seguridad, y la filosofía LRFD, fundamentada en estados límite, factores de carga y resistencia, y relaciones Demanda/Capacidad. El programa permite ingresar parámetros geométricos, geotécnicos y sísmicos, calcular empujes, fuerzas y momentos, y verificar condiciones de estabilidad como deslizamiento, volcamiento, excentricidad y capacidad portante. Además, automatiza la generación de reportes técnicos, facilitando la revisión de resultados y reduciendo errores asociados al cálculo manual. La herramienta propuesta permite comparar ambos enfoques de diseño y constituye un apoyo técnico para el análisis académico y profesional de muros de contención.

**Palabras clave:** MUROS DE CONTENCIÓN, ASD, LRFD, NEC-15, AASHTO LRFD, SOFTWARE LIBRE.

## **Abstract**

This study develops open-source software for the structural design of gravity retaining walls, integrating the guidelines of NEC-15 and AASHTO LRFD 2020. Two design methodologies were structured: the Allowable Stress Design philosophy, based on global safety factors, and the Load and Resistance Factor Design philosophy, based on limit states, load and resistance factors, and Demand/Capacity ratios. The software allows users to enter geometric, geotechnical, and seismic parameters, calculate earth pressures, forces, and moments, and verify stability conditions such as sliding, overturning, eccentricity, and bearing capacity. It also automates the generation of technical reports, improving result organization and reducing errors associated with manual calculations. The proposed tool enables the comparison of both design approaches and provides technical support for the academic and professional analysis of retaining walls.

**Keywords:** RETAINING WALLS, ASD, LRFD, NEC-15, AASHTO LRFD, OPEN-SOURCE SOFTWARE.

## Índice de contenidos

|                                                                                                      |      |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|
| Resumen .....                                                                                        | vi   |
| Abstract.....                                                                                        | vii  |
| Índice de contenidos .....                                                                           | viii |
| Índice de figuras .....                                                                              | xi   |
| Índice de tablas .....                                                                               | xii  |
| Índice de ecuaciones .....                                                                           | xiii |
| Introducción.....                                                                                    | xvi  |
| Objetivos.....                                                                                       | xvii |
| Objetivo general .....                                                                               | xvii |
| Objetivos específicos.....                                                                           | xvii |
| Capítulo 1: Marco Teórico .....                                                                      | 1    |
| 1.1.    Fundamentos del diseño: LRFD y ASD .....                                                     | 1    |
| 1.1.1.        Filosofía de diseño por esfuerzos admisibles (ASD) .....                               | 1    |
| 1.1.2.        Filosofía de diseño por estados límite (LRFD) .....                                    | 2    |
| 1.2.    Muros de contención: Tipología y criterios geométricos .....                                 | 2    |
| 1.2.1.        Tipos de muros de contención.....                                                      | 2    |
| 1.2.2.        Pre dimensionamiento (Criterios geométricos) .....                                     | 4    |
| 1.3.    Presión lateral de tierras: Rankine y Coulomb .....                                          | 5    |
| 1.3.1.        Teoría del Empuje Activo de Rankine .....                                              | 5    |
| 1.3.2.        Teoría del Empuje Activo de Coulomb.....                                               | 6    |
| 1.3.3.        Teoría del Empuje Pasivo de Tierras.....                                               | 8    |
| 1.4.    Fuerza de Desplante (Presión Pasiva).....                                                    | 9    |
| 1.5.    Sobrecarga por Carga Viva Vehicular .....                                                    | 9    |
| 1.6.    Empuje sísmico de tierras: Metodología de Mononobe Okabe (PAE) y fuerza inercial (PIR) ..... | 10   |
| 1.6.1.        Coeficiente sísmico horizontal $k_h$ y carga inercial.....                             | 13   |

|                                                                                                           |                                                               |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------|----|
| 1.7.                                                                                                      | Verificaciones de estabilidad .....                           | 15 |
| 1.8.                                                                                                      | Diseño de armados estructurales.....                          | 15 |
| 1.8.1.                                                                                                    | Acero por flexión.....                                        | 15 |
| 1.8.2.                                                                                                    | Acero por temperatura .....                                   | 18 |
| 1.8.3.                                                                                                    | Revisión de fisuración por distribución de armadura.....      | 18 |
| 1.8.4.                                                                                                    | Revisión por corte.....                                       | 20 |
| 1.9.                                                                                                      | Software para el diseño de muros de contención.....           | 22 |
| Capítulo 2: Metodología de diseño de muros de contención a gravedad bajo la filosofía de diseño ASD ..... |                                                               | 23 |
| 2.                                                                                                        | Objetivo del diseño ASD .....                                 | 23 |
| 2.1.                                                                                                      | Criterios de estabilidad y factores de seguridad .....        | 23 |
| 2.2.                                                                                                      | Verificación de condiciones de falla.....                     | 24 |
| 2.3.                                                                                                      | Metodología de diseño .....                                   | 25 |
| 2.3.1.                                                                                                    | Geometría de la estructura.....                               | 25 |
| 2.3.2.                                                                                                    | Datos de entrada .....                                        | 26 |
| 2.3.3.                                                                                                    | Determinación de coeficientes.....                            | 26 |
| 2.3.4.                                                                                                    | Determinación de Fuerzas y Momentos .....                     | 27 |
| 2.3.5.                                                                                                    | Verificación de Estabilidad (ASD).....                        | 27 |
| 2.3.6.                                                                                                    | Ingreso de variables para revisión sísmico .....              | 31 |
| 2.3.7.                                                                                                    | Determinación de los coeficientes para revisión sísmica ..... | 31 |
| 2.3.8.                                                                                                    | Determinación del empuje estático y dinámico.....             | 31 |
| 2.3.10.                                                                                                   | Determinación de la fuerza y momento inercial.....            | 32 |
| 2.3.11.                                                                                                   | Verificación de estabilidad sísmica .....                     | 32 |
| Capítulo 3: Metodología de diseño de muros de contención a gravedad bajo la filosofía de diseño LRFD..... |                                                               | 34 |
| 3.                                                                                                        | Objetivo del diseño LRFD.....                                 | 34 |
| 3.1.                                                                                                      | Factores de carga y combinaciones (AASHTO LRFD) .....         | 34 |
| 3.1.1.                                                                                                    | Factores de cargas permanentes ( $\gamma$ ) .....             | 34 |

|                                                                            |                                                                |    |
|----------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------|----|
| 3.1.2.                                                                     | Combinaciones de carga.....                                    | 36 |
| 3.2.                                                                       | Estados Límite y Criterios de Diseño (AASHTO) .....            | 37 |
| 3.2.1.                                                                     | Estado Límite de Resistencia (Strength Limit State) .....      | 37 |
| 3.2.2.                                                                     | Estado Límite Extremo (Extreme Event Limit State) .....        | 37 |
| 3.3.                                                                       | Metodología de diseño.....                                     | 38 |
| 3.3.1.                                                                     | Planteamiento de las combinaciones de carga.....               | 38 |
| 3.3.2.                                                                     | Combinaciones para las condiciones de resistencia I y II. .... | 39 |
| 3.3.3.                                                                     | Combinaciones para las condiciones de evento extremo I.....    | 40 |
| 3.3.4.                                                                     | Revisión de la estabilidad.....                                | 41 |
| 3.3.5.                                                                     | Determinación de fuerzas cortantes y momentos.....             | 45 |
| 3.3.6.                                                                     | Armados estructurales para muro pantalla .....                 | 45 |
| Capítulo 4: Desarrollo del Software de Diseño de Muros de Contención. .... |                                                                | 47 |
| 4.1.                                                                       | Objetivo del diseño del software.....                          | 47 |
| 4.2.                                                                       | Arquitectura del Software y Tecnologías Utilizadas .....       | 47 |
| 4.2.1.                                                                     | Interfaz Gráfica de Usuario (GUI) - Tkinter .....              | 47 |
| 4.2.2.                                                                     | Motor de Visualización y Gráficos Científicos .....            | 50 |
| 4.2.3.                                                                     | Lógica de Cálculo y Tratamiento Matemático .....               | 52 |
| 4.2.4.                                                                     | Módulo de Reportes Técnicos - FPDF .....                       | 54 |
| 4.3.                                                                       | Metodología del Software: Diagrama de Flujo del Proceso .....  | 55 |
| Capítulo 5: Conclusiones.....                                              |                                                                | 57 |
| Bibliografía.....                                                          |                                                                | 59 |

## Índice de figuras

|                                                                                                                               |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figura 1 Tipos de muros de contención.....                                                                                    | 3  |
| Figura 2 Muros de gaviones .....                                                                                              | 4  |
| Figura 3 Dimensiones aproximadas para varios componentes de muros de contención para revisiones iniciales de estabilidad..... | 4  |
| Figura 4 Distribución de presión activa según Rankine .....                                                                   | 6  |
| Figura 5 Distribución de presión activa según Coulomb .....                                                                   | 8  |
| Figura 6 Esquema de fuerzas en el método de Mononobe–Okabe.....                                                               | 11 |
| Figura 7 Descomposición del empuje sísmico en componente estático e incremento dinámico .....                                 | 13 |
| Figura 8 Zonificación sísmica del Ecuador y valores del factor Z.....                                                         | 14 |
| Figura 9 Tecnologías utilizadas.....                                                                                          | 47 |
| Figura 10 Interfaz principal del software .....                                                                               | 48 |
| Figura 11 Ingreso de datos (Geometría).....                                                                                   | 48 |
| Figura 12 Ingreso de datos (Parámetros técnicos).....                                                                         | 49 |
| Figura 13 Esquema 3D .....                                                                                                    | 50 |
| Figura 14 Esquema 2D .....                                                                                                    | 51 |
| Figura 15 Diagrama de análisis de esfuerzo .....                                                                              | 51 |
| Figura 16 Fuerzas actuantes .....                                                                                             | 52 |
| Figura 17 Diseño ASD (Estático).....                                                                                          | 53 |
| Figura 18 Diseño LRFD (Sísmico).....                                                                                          | 53 |
| Figura 19 Momentos y Cortantes .....                                                                                          | 54 |
| Figura 20 Diseño de armados .....                                                                                             | 54 |
| Figura 21 Ejemplo de memoria de calculo.....                                                                                  | 55 |
| Figura 22 Diagrama de flujo.....                                                                                              | 56 |

## Índice de tablas

|         |                                                             |    |
|---------|-------------------------------------------------------------|----|
| Tabla 1 | Altura equivalente de suelo (heq).....                      | 10 |
| Tabla 2 | Factores de seguridad mínimos por condición de falla .....  | 24 |
| Tabla 3 | Factores de seguridad mínimos para capacidad portante ..... | 24 |
| Tabla 4 | Factores mínimos y máximos para la metodología LRFD .....   | 35 |
| Tabla 5 | Combinaciones de carga Strength I.....                      | 36 |
| Tabla 6 | Combinaciones de carga Strength II.....                     | 36 |
| Tabla 7 | Extreme Event I.....                                        | 37 |



## Índice de ecuaciones

|                                                                     |    |
|---------------------------------------------------------------------|----|
| Ecuación 1. Factor de seguridad.....                                | 1  |
| Ecuación 2. Cálculo del esfuerzo admisible.....                     | 1  |
| Ecuación 3. Condición de diseño LRFD .....                          | 2  |
| Ecuación 4. Coeficiente de empuje activo (Rankine).....             | 5  |
| Ecuación 5. Presión activa horizontal.....                          | 5  |
| Ecuación 6. Fuerza activa total.....                                | 6  |
| Ecuación 7. Coeficiente de empuje activo (Coulomb) .....            | 7  |
| Ecuación 8. Fuerza activa total (Coulomb) .....                     | 7  |
| Ecuación 9. Coeficiente de empuje pasivo (Rankine).....             | 8  |
| Ecuación 10. Coeficiente de empuje pasivo (Coulomb) .....           | 9  |
| Ecuación 11. Fuerza de empuje pasivo .....                          | 9  |
| Ecuación 12. Coeficiente activo estático .....                      | 11 |
| Ecuación 13. Coeficiente pasivo estático .....                      | 11 |
| Ecuación 14. Ángulo equivalente.....                                | 11 |
| Ecuación 15. Fuerza activa estática total.....                      | 12 |
| Ecuación 16. Fuerza pasiva estática total .....                     | 12 |
| Ecuación 17. Incremento dinámico ( $\Delta E$ ).....                | 12 |
| Ecuación 18. Empuje sísmico total .....                             | 12 |
| Ecuación 19. Fuerza inercial de la estructural.....                 | 13 |
| Ecuación 20. Coeficiente sísmico horizontal .....                   | 14 |
| Ecuación 21. Coeficiente sísmico vertical.....                      | 14 |
| Ecuación 22. Aceleración sísmica máxima .....                       | 14 |
| Ecuación 23. Momento de diseño.....                                 | 16 |
| Ecuación 24. Centroide del refuerzo .....                           | 16 |
| Ecuación 25. Peralte efectivo .....                                 | 16 |
| Ecuación 26. Profundidad del bloque de compresión equivalente.....  | 17 |
| Ecuación 27. Área de acero a flexión requerida.....                 | 17 |
| Ecuación 28. Ecuación de equilibrio para la sección a flexión ..... | 17 |
| Ecuación 29. Momento de fisuración .....                            | 17 |
| Ecuación 30. Módulo de ruptura del concreto.....                    | 18 |
| Ecuación 31. Módulo de sección.....                                 | 18 |
| Ecuación 32. Área de acero por temperatura.....                     | 18 |

|                                                                      |    |
|----------------------------------------------------------------------|----|
| Ecuación 33. Límites de acero por temperatura .....                  | 18 |
| Ecuación 34. Relación modular entre el acero y el concreto.....      | 19 |
| Ecuación 35. Distancia al centroide .....                            | 19 |
| Ecuación 36. Área del acero transformada .....                       | 19 |
| Ecuación 37. Ecuación de equilibrio de la sección transformada ..... | 19 |
| Ecuación 38. Brazo de palanca efectivo .....                         | 19 |
| Ecuación 39. Esfuerzo del acero.....                                 | 20 |
| Ecuación 40. Separación máxima de la armadura .....                  | 20 |
| Ecuación 41. Factor de distribución de esfuerzos .....               | 20 |
| Ecuación 42. Cortante resistente .....                               | 20 |
| Ecuación 43. Cortante nominal .....                                  | 21 |
| Ecuación 44. Peralte efectivo requerido .....                        | 21 |
| Ecuación 45. Factor $\beta$ .....                                    | 21 |
| Ecuación 46. Deformación unitaria del acero .....                    | 21 |
| Ecuación 47. Espaciamiento efectivo .....                            | 22 |
| Ecuación 48. Condición de seguridad ASD .....                        | 23 |
| Ecuación 49. Factor de seguridad al volcamiento .....                | 28 |
| Ecuación 50. Momento resistente.....                                 | 28 |
| Ecuación 51. Momento desestabilizante .....                          | 28 |
| Ecuación 52. Excentricidad de la resultante.....                     | 28 |
| Ecuación 53. Excentricidad máxima admisible.....                     | 29 |
| Ecuación 54. Presión máxima en la punta.....                         | 29 |
| Ecuación 55. Presión en el extremo posterior .....                   | 29 |
| Ecuación 56. Factor de seguridad por capacidad portante .....        | 30 |
| Ecuación 57. Factor de seguridad al deslizamiento.....               | 30 |
| Ecuación 58. Factor de reducción por fricción.....                   | 30 |
| Ecuación 59. Fuerzas resistentes al deslizamiento .....              | 30 |
| Ecuación 60. Fuerzas actuantes al deslizamiento .....                | 30 |
| Ecuación 61. Condición general de diseño LRFD .....                  | 34 |
| Ecuación 62. Momento desestabilizante total .....                    | 42 |
| Ecuación 63. Momento resistente total.....                           | 42 |
| Ecuación 64. Relación demanda-capacidad al volteo .....              | 42 |
| Ecuación 65. Excentricidad máxima permisible .....                   | 43 |
| Ecuación 66. Fuerza vertical resultante.....                         | 43 |

|                                                               |    |
|---------------------------------------------------------------|----|
| Ecuación 67. Excentricidad de la resultante .....             | 43 |
| Ecuación 68. Relación de verificación por excentricidad ..... | 43 |
| Ecuación 69. Presión de contacto máxima .....                 | 43 |
| Ecuación 70. Relación demanda-capacidad portante .....        | 43 |
| Ecuación 71. Fuerza deslizando total .....                    | 44 |
| Ecuación 72. Componente friccional resistente .....           | 44 |
| Ecuación 73. Componente cohesivo resistente .....             | 44 |
| Ecuación 74. Fuerza resistente total .....                    | 44 |
| Ecuación 75. Factor de seguridad al deslizamiento.....        | 45 |
| Ecuación 76. Centroides del refuerzo .....                    | 45 |

## Introducción

Ecuador se encuentra ubicado dentro del Cinturón de Fuego del Pacífico, una zona caracterizada por una alta actividad sísmica debido a la interacción convergente entre las placas de Nazca y Sudamericana. Esta condición exige que el diseño de obras civiles considere adecuadamente tanto las solicitaciones estáticas como las sísmicas, especialmente en estructuras que interactúan directamente con el suelo.

Dentro de este tipo de estructuras se encuentran los muros de contención, cuya función principal es retener masas de suelo y resistir los empujes laterales generados por el terreno. Su diseño resulta fundamental en obras viales, plataformas, taludes y desniveles, ya que una evaluación inadecuada puede comprometer la estabilidad y seguridad de la estructura. Por esta razón, el diseño de muros de contención debe verificar condiciones como el deslizamiento, el volcamiento, la excentricidad y la capacidad portante, considerando tanto escenarios estáticos como sísmicos.

Para realizar estas verificaciones, la Norma Ecuatoriana de la Construcción NEC-15, en su capítulo geotécnico NEC-SE-GC, establece criterios de diseño basados en el Método de Esfuerzos Admisibles, conocido como ASD. Esta metodología evalúa la seguridad mediante factores globales aplicados a las condiciones de estabilidad. En contraste, normativas internacionales como la AASHTO LRFD Bridge Design Specifications adoptan la filosofía de Diseño por Factores de Carga y Resistencia, conocida como LRFD, basada en la verificación de estados límite mediante factores independientes para la mayoración de cargas y la reducción de resistencias.

Con base en esta necesidad, el presente trabajo propone el desarrollo de un software de libre acceso que automatice el diseño estructural de muros de contención a gravedad, integrando los criterios establecidos por la NEC-15 y la AASHTO LRFD 2020 bajo las filosofías ASD y LRFD. Además, el software permite automatizar los resultados obtenidos y generar reportes técnicos, facilitando el proceso de cálculo, revisión y documentación del diseño.

## **Objetivos**

### **Objetivo general**

- Desarrollar un software para el diseño estructural de muros de contención a gravedad, conforme a los lineamientos de la NEC-15 y la AASHTO LRFD 2020, integrando metodologías basadas en las filosofías ASD y LRFD.

### **Objetivos específicos**

- Desarrollar una metodología de diseño para muros de contención a gravedad conforme a la filosofía ASD establecida en la NEC-15.
- Desarrollar una metodología de diseño para muros de contención a gravedad bajo la filosofía LRFD definida en la AASHTO LRFD.
- Implementar las metodologías desarrolladas en un software libre, que automatice el cálculo, la verificación y la generación de reportes conforme a las normas vigentes.

## Capítulo 1: Marco Teórico

### 1.1. Fundamentos del diseño: LRFD y ASD

El diseño de estructuras ha evolucionado desde enfoques basados en coeficientes de seguridad globales hacia métodos basados en la confiabilidad estructural.

En la actualidad, existen dos filosofías principales para el dimensionamiento de muros de contención a gravedad: el diseño por esfuerzos admisibles y el diseño por estados límite.

#### 1.1.1. Filosofía de diseño por esfuerzos admisibles (ASD)

El método ASD (Allowable Stress Design), consiste en comparar las cargas de servicio (S) con la resistencia (R) proporcionada por el suelo o la estructura, aplicando un factor global de seguridad (FS) que limita los esfuerzos a niveles seguros y controla la posibilidad de falla.

La relación general se expresa como se muestra en la Ecuación 1, donde el factor de seguridad se define como la razón entre la resistencia y la carga de servicio. A partir de esta relación, el esfuerzo admisible puede determinarse según la Ecuación 2.

$$FS = \frac{R}{S}$$

Ecuación 1. Factor de seguridad

Donde:

- FS: Factor de seguridad (adimensional)
- R: Resistencia del suelo o de la estructura (kN)
- S: Carga de servicio (kN)

$$\sigma_A = \frac{\sigma_P}{FS}$$

Ecuación 2. Cálculo del esfuerzo admisible

Donde:

- $\sigma_P$ : Esfuerzo admisible (kPa)
- $\sigma_A$ : Esfuerzo permisible o esfuerzo último del material/suelo (kPa)

Según Das (2019), este factor de seguridad unificado se utiliza para incorporar las incertidumbres propias de los parámetros de carga, resistencia y de las idealizaciones empleadas en el modelo de análisis, y sus valores suelen variar entre 1.5 y 4.0.

El método ASD permite verificar los estados de falla tales como: deslizamiento, vuelco/excentricidad, capacidad portante, falla global etc. Sin embargo, una de las principales limitaciones, es que no permite distinguir adecuadamente la variabilidad e

incertidumbre individual de las cargas, las propiedades del suelo y las resistencias estructurales.

### 1.1.2. Filosofía de diseño por estados límite (LRFD)

Esta filosofía de diseño se basa en la verificación de los estados límite, lo cual asegura que la estructura no alcance las condiciones de falla últimos durante su vida útil.

Dicho enfoque introduce factores parciales que amplifican las cargas, lo cual permite alcanzar un nivel de confiabilidad uniforme, mediante la evaluación explícita de los estados límite últimos frente a los empujes de suelo, cargas externas y actividades sísmicas.

El método LRFD (Load and Resistance Factor Design) se fundamenta en la filosofía de diseño por estados límite. En este método, las cargas nominales se incrementan mediante factores de carga ( $\gamma$ ) que reflejan su incertidumbre, mientras que las resistencias se reducen mediante factores de resistencia ( $\phi$ ) que consideran la dispersión de propiedades del material y los posibles errores de diseño o construcción.

De acuerdo con la American Association of State Highway and Transportation Officials (American Association of State Highway and Transportation Officials, 2020b), la ecuación general de diseño se expresa como se muestra en la Ecuación 3.

$$\sum \eta_i \gamma_i Q_i \leq \phi R_n$$

Ecuación 3. Condición de diseño LRFD

Donde:

- $Q_i$ : Efectos de carga (kN)
- $\gamma_i$ : Factores de carga (adimensional)
- $\eta_i$ : Factores de modificación (adimensional)
- $R_n$ : resistencia nominal y  $\phi$  el factor de resistencia (kN)

Esta expresión establece que la suma de los efectos de carga factorizados no debe superar la resistencia factorizada del elemento.

El método LRFD se utiliza cuando la obra exige verificación por estados límite y nivel de confiabilidad uniforme, normalmente en infraestructuras reguladas, así como en el dimensionamiento estructural de elementos de concreto y acero.

## 1.2. Muros de contención: Tipología y criterios geométricos

### 1.2.1. Tipos de muros de contención

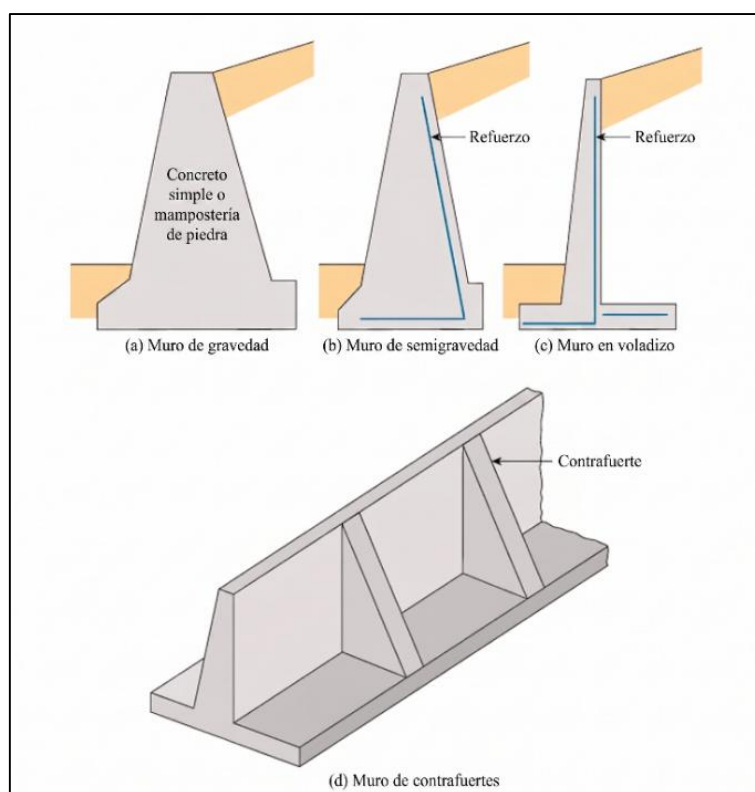
Los muros de contención se emplean desde la antigüedad para resistir presiones laterales de suelos y otros materiales.

Según Das (2019), se clasifican en voladizo (cantiléver), con contrafuertes, a semi gravedad y a gravedad. Estas tipologías se ilustran en la Figura 1

Estos últimos, suelen construirse en concreto simple, y su capacidad para resistir el empuje lateral proviene principalmente de su propio peso y del peso del suelo sobre la base (Das, 2019).

La estabilidad de un muro de gravedad depende directamente de la ubicación de su centro de masa, el cual debe generar un momento resistente suficiente para contrarrestar el momento de volteo inducido por el empuje activo del suelo.

**Figura 1**  
*Tipos de muros de contención*



*Nota.* Representa los tipos de muros de contención en vista tridimensional. Adaptado de *Principles of Foundation Engineering* (p.695), Braja M. Das, 2019.

Dentro de los muros de gravedad descritos por Das (2019), destacan los gaviones, un tipo de muros de origen italiano utilizado en América Latina desde los años 70.

Estas estructuras se componen generalmente de unidades de malla hexagonal de doble torsión llenadas con piedra y unidas mediante costuras de alambre de alta resistencia.

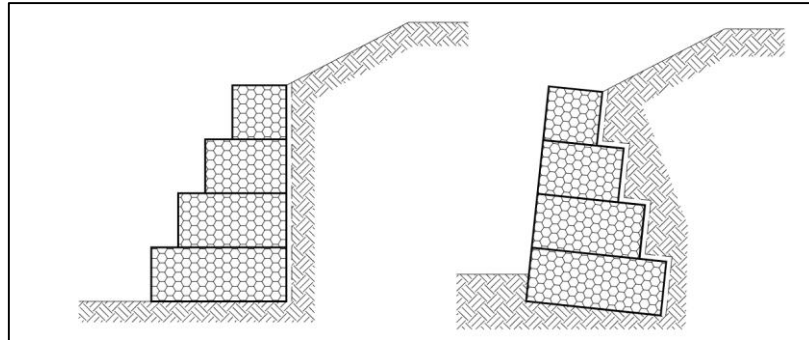
A diferencia de los muros rígidos, el gavión ofrece ventajas técnicas y económicas. Un ejemplo de este tipo de estructuras se muestra en la Figura 2.

Debido a sus propiedades fundamentales, como la flexibilidad y la permeabilidad, así como a su configuración estructural, este tipo de muro se adapta a la topografía mediante



disposiciones escalonadas internas o externas, optimizando la estabilidad y el centro de masa de la estructura. (Maccaferri, s.f.).

**Figura 2**  
*Muros de gaviones*



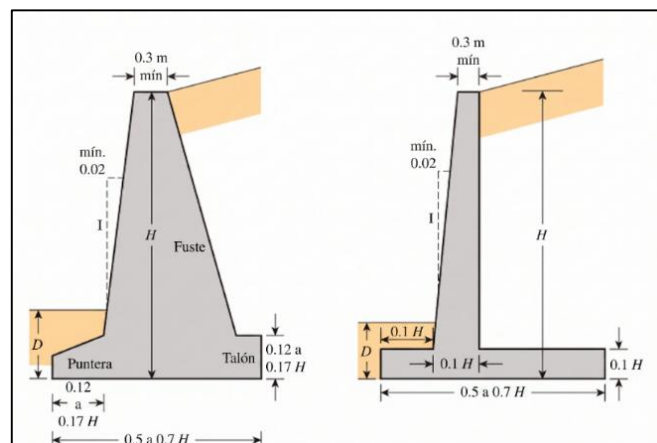
*Nota.* Representa los muros de gaviones con escalones externos y con escalones internos. Adaptado de *Obras de Contención - Manual Técnico* (p. 10), Pêrsio Leister de Almeida Barros, Maccaferri Do Brasil Ltda.

### 1.2.2. Pre dimensionamiento (Criterios geométricos)

En el diseño de muros de contención se asumen dimensiones iniciales (pre dimensionamiento) para verificar la estabilidad; si no cumplen, se ajustan hasta satisfacer los criterios (Das, 2018). De forma general: espesor mínimo de coronación  $\geq 0.30$  m; profundidad de losa base  $\geq 0.60$  m y por debajo de la línea de congelación; ancho de base  $B \approx 0.5H - 0.7HB$ ; y, en muros con contrafuertes, espesor  $\approx 0.30$  m y separación  $0.3H - 0.7H$  (Das, 2019).

Un esquema de estas dimensiones preliminares se presenta en la Figura 3.

**Figura 3**  
*Dimensiones aproximadas para varios componentes de muros de contención para revisiones iniciales de estabilidad*



*Nota.* Se representa las dimensiones mínimas que se deben tomar en cuenta para el pre dimensionamiento en muros de gravedad. Adaptado de *Principles of Foundation Engineering* (p.697) Braja M. Das, 2019.

### 1.3. Presión lateral de tierras: Rankine y Coulomb

#### 1.3.1. Teoría del Empuje Activo de Rankine

La Teoría de Rankine (1857) es una de las metodologías más utilizadas para el cálculo del empuje activo en un muro. Esta teoría permite calcular el Empuje Activo de Tierras (Pa) asumiendo un estado de deformación plana y una serie de condiciones simplificadas (Das, 2019).

La aplicación de Rankine se basa en las siguientes consideraciones iniciales:

- El muro de contención es vertical y la superficie del relleno es horizontal
- Se considera que no existe fricción entre el muro y el suelo.
- Se asume que la pared cede lo suficiente para alcanzar el estado de falla activa en el suelo, llevando al equilibrio límite.

El factor utilizado para la determinación de las presiones es el Coeficiente de Empuje Activo ( $K_a$ ).

Este coeficiente adimensional se obtiene directamente a partir del ángulo de fricción interna del suelo ( $\phi$ ). Para las condiciones de Rankine, donde se asume que el muro es vertical y la superficie del relleno es completamente horizontal, el coeficiente se define como se muestra en la Ecuación 4.

$$K_a = \frac{1 - \sin(\phi)}{1 + \sin(\phi)}$$

Ecuación 4. Coeficiente de empuje activo (Rankine)

Donde:

- $K_a$ : Coeficiente de empuje activo - Rankine (adimensional)
- $\phi$ : Ángulo de fricción interna del suelo ( $^\circ$ )

La presión activa horizontal que actúa sobre el muro aumenta linealmente con la profundidad desde la superficie del relleno, es resultado de la magnitud de la presión lateral en cualquier punto es el producto del coeficiente  $K_a$ , el peso unitario del suelo y la profundidad, este resultado se define como se muestra en la Ecuación 5.

$$\sigma_a = K_a * \gamma * z$$

Ecuación 5. Presión activa horizontal

Donde:

- $\sigma_a$ : Presión activa horizontal (kPa)
- $\gamma$ : Peso unitario del suelo (kN/m<sup>3</sup>)
- $z$ : Profundidad medida desde la superficie (m)

Debido a esta distribución triangular de esfuerzos sobre la altura total del muro ( $H$ ), la Fuerza Activa Total ( $P_a$ ) (expresada en unidades de fuerza por unidad de longitud del muro) se calcula como se muestra en la Ecuación 6, integrando el diagrama de presiones, lo cual se traduce en el área de dicho triángulo (Das, 2019):

$$P_a = \frac{1}{2} * K_a * \gamma * H^2$$

Ecuación 6. Fuerza activa total

Donde:

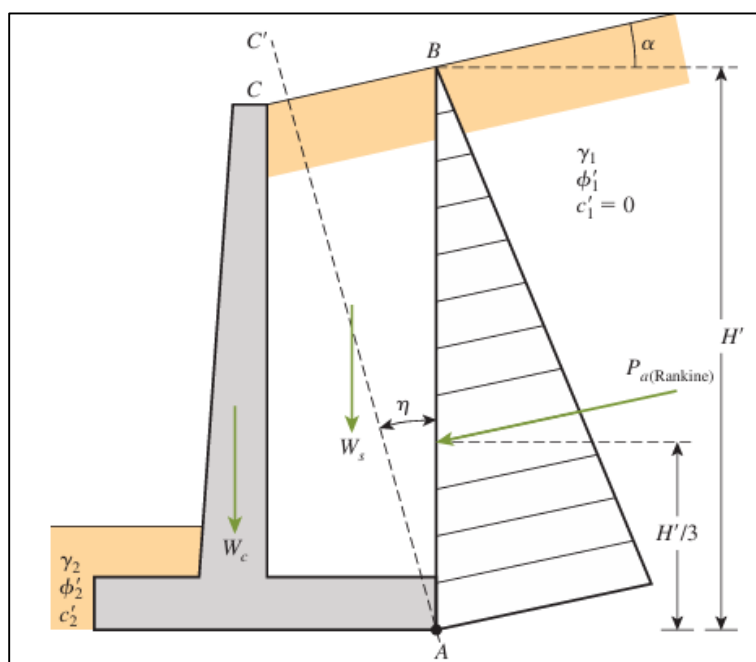
- $P_a$ : Fuerza activa total - Rankine (kN/m)
- $H$ : Altura total del muro (m)

La fuerza resultante  $P_a$  se ubica y actúa en el centroide del diagrama de presiones, es decir, a  $H/3$  de la base del muro (Das, 2019).

Esta distribución de presiones se ilustra en la Figura 4.

**Figura 4**

*Distribución de presión activa según Rankine*



*Nota.* Se representa la presión activa del suelo que actúa en el muro a gravedad. Adaptado de *Principles of Foundation Engineering* (p.698), Das (2019)

### 1.3.2. Teoría del Empuje Activo de Coulomb

La Teoría de Coulomb (1776) es una aproximación más rigurosa para el cálculo de las presiones laterales en el estado de equilibrio límite. A diferencia del método de Rankine, la formulación de Coulomb es una solución que se basa en la geometría de una cuña de

falla y permite la inclusión de variables geométricas y de interacciones más complejas (Das, 2019).

La diferencia más importante es que Coulomb considera la fricción entre el muro y el suelo, así como la inclinación de la superficie del relleno.

Las principales consideraciones son:

- La superficie de falla activa (la cuña de suelo) es plana.
- Se considera la fricción entre el muro y el suelo, representada por el ángulo de fricción suelo-muro.
- Permite la inclusión de un talud inclinado en el relleno y una cara inclinada del muro.

El Coeficiente de Empuje Activo de Coulomb ( $K_a$ ) es una función compleja que depende de la geometría del muro y de las propiedades del suelo (Das, 2019).

Para el caso general de un muro inclinado con relleno inclinado, la ecuación se expresa como se muestra en la Ecuación 7.

$$K_a = \frac{\sin^2(\alpha + \phi)}{\sin^2(\alpha) \sin(\alpha - \phi) \left[ 1 + \sqrt{\frac{\sin(\phi + \delta) \sin(\phi - \beta)}{\sin(\alpha - \delta) \sin(\alpha - \beta)}} \right]^2}$$

Ecuación 7. Coeficiente de empuje activo (Coulomb)

Donde:

- $K_a$ : Coeficiente de empuje activo - Coulomb (adimensional)
- $\alpha$ : Ángulo de inclinación del paramento del muro respecto a la horizontal (°)
- $\beta$ : Ángulo de inclinación de la superficie del relleno respecto a la horizontal (°)
- $\delta$ : Ángulo de fricción suelo-muro (°)

Una vez determinado el coeficiente  $K_a$ , la Fuerza Activa Total de Coulomb ( $P_a$ ) (expresada en unidades de fuerza por unidad de longitud del muro) se calcula como se muestra en la Ecuación 8, siendo esta la misma relación funcional que en el método de Rankine (Das, 2019):

$$P_a = \frac{1}{2} * K_a * \gamma * H^2$$

Ecuación 8. Fuerza activa total (Coulomb)

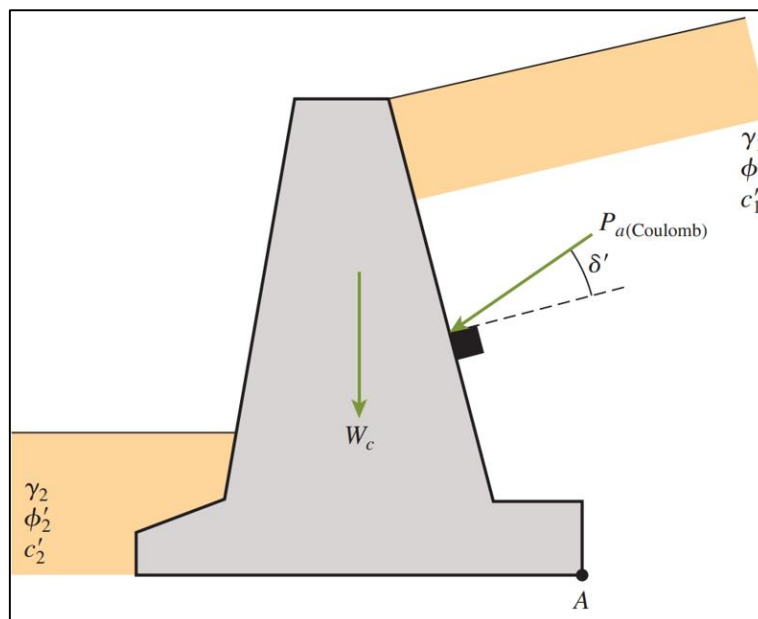
Donde:

- $P_a$ : Fuerza activa total – Coulomb (kN/m)

La diferencia clave con el Empuje Activo de Rankine es que la fuerza  $P_a$  actúa en el punto  $H/3$  desde la base y forma un ángulo  $\delta'$  con la normal a la pared trasera del muro.

Esta condición de empuje se ilustra en la Figura 5.

**Figura 5**  
Distribución de presión activa según Coulomb



*Nota.* Se representa la presión activa del suelo que actúa en el muro a gravedad. Adaptado de *Principles of Foundation Engineering* (p.698), (Das, 2019)

### 1.3.3. Teoría del Empuje Pasivo de Tierras

El empuje pasivo de tierras ocurre cuando la estructura se desplaza contra la masa de suelo, comprimiéndola hasta alcanzar un estado de equilibrio límite.

En el diseño de muros de contención, esta fuerza actúa como una resistencia adicional al deslizamiento en la parte frontal de la base del muro (puntera).

El coeficiente de empuje pasivo ( $K_p$ ), tanto en la teoría de Rankine como en la de Coulomb, se define como se muestra en la Ecuación 9 y la Ecuación 10, respectivamente, y es significativamente mayor que el empuje activo, lo que indica que el suelo presenta una mayor capacidad de resistencia antes de alcanzar la falla por compresión.

#### Coeficiente de Empuje Pasivo de Rankine ( $K_p$ )

El coeficiente de empuje pasivo según Rankine se define como se muestra en la Ecuación 9.

$$K_p = \frac{1 + \sin(\phi)}{1 - \sin(\phi)}$$

Ecuación 9. Coeficiente de empuje pasivo (Rankine)

Donde

- $K_p$ : Coeficiente de empuje pasivo - Rankine (adimensional)

- $\Phi$ : Ángulo de fricción interna del suelo ( $^{\circ}$ )

### **Coefficiente de Empuje Pasivo de Coulomb ( $K_p$ )**

$$K_p = \frac{\sin^2(\alpha - \phi)}{\sin^2(\alpha) \sin(\alpha + \phi) \left[ 1 - \sqrt{\frac{\sin(\phi + \delta) \sin(\phi + \beta)}{\sin(\alpha + \delta) \sin(\alpha + \beta)}} \right]^2}$$

Ecuación 10. Coeficiente de empuje pasivo (Coulomb)

Donde

- $K_p$ : Coeficiente de empuje pasivo – Coulomb (adimensional)

No obstante, debido a que se requieren deformaciones considerables para movilizar totalmente esta resistencia, es común despreciar su contribución en el diseño para mantener un enfoque conservador de seguridad

### **1.4. Fuerza de Desplante (Presión Pasiva)**

Según Braja M. Das (2019), La fuerza o empuje de desplante, representada como  $P_p$  se refiere a la resistencia pasiva que ofrece el suelo situado frente al muro (en la punta) contra el movimiento de la estructura.

Cuando el muro intenta deslizarse o volcarse hacia adelante debido al empuje de la tierra de atrás, el suelo que está "enterrado" frente a la base se comprime y genera una fuerza de reacción que ayuda a mantener el muro en su sitio, la cual se calcula como se muestra en la Ecuación 11.

$$P_p = \frac{1}{2} K_p * \gamma_2 * D^2 + 2c'_2 \sqrt{K_p} D$$

Ecuación 11. Fuerza de empuje pasivo

Donde:

- $P_p$ : Fuerza de empuje pasivo (kN/m)
- $\gamma_2$ : Peso unitario del suelo en la zona pasiva (kN/m<sup>3</sup>)
- $D$ : Profundidad de desplante o altura del suelo pasivo (m)
- $c'$ : Cohesión efectiva del suelo (kPa)

### **1.5. Sobrecarga por Carga Viva Vehicular**

La sobrecarga por carga viva vehicular representa el incremento de presión lateral que actúa sobre el muro debido al peso de los vehículos que transitan en la parte superior del relleno.

Para fines de diseño, este efecto se simplifica mediante el concepto de Altura Equivalente de Suelo ( $h_{eq}$ ), el cual permite sustituir el peso del tráfico por una capa de tierra imaginaria que genera un empuje equivalente sobre la estructura.

La magnitud de esta carga la determina la normativa AASHTO LRFD (2020) y sus valores recomendados se presentan en la Tabla 1. La norma establece una relación inversa donde el valor de  $heq$  disminuye conforme aumenta la altura del muro, reflejando así la disipación de la carga vehicular en grandes masas de suelo.

**Tabla 1**

*Altura equivalente de suelo ( $heq$ )*

| Altura del Muro (m) | $heq$ (m) |
|---------------------|-----------|
| 1.52                | 1.22      |
| 3.05                | 0.91      |
| $\geq 6.10$         | 0.61      |

*Nota.* Representa la altura equivalente, para diferentes alturas de muro con valores convertidos a metros de AASHTO LRFD (2020). Adaptado de *AASHTO LRFD Bridge Design Specifications* (p. 3-151), por la American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO), 9na Edición, 2020.

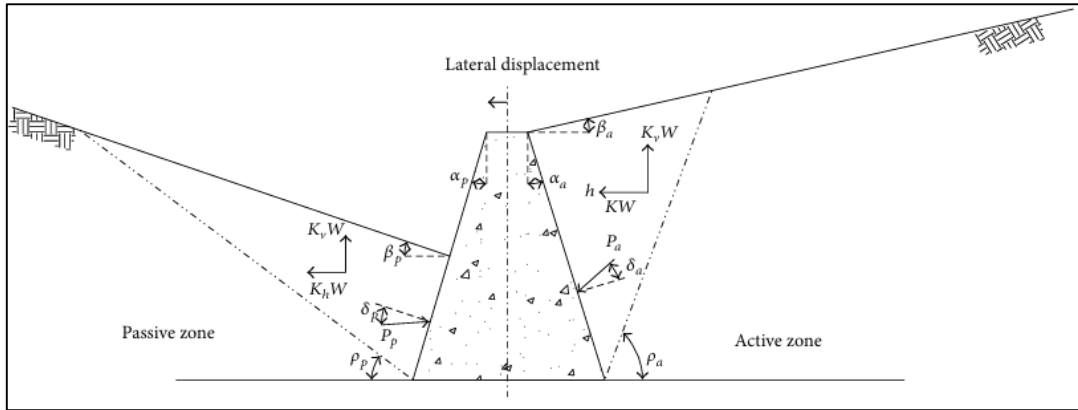
## 1.6. Empuje sísmico de tierras: Metodología de Mononobe Okabe (PAE) y fuerza inercial (PIR)

La teoría de Mononobe–Okabe (M–O) es ampliamente utilizada para estimar la presión de tierras bajo sismo. Surgió en la década de 1920 dentro del enfoque pseudoestático (Patiño, 2017), a partir de los desarrollos de Okabe (1924), y de Mononobe y Matsuo (1929), quienes extendieron la formulación de Coulomb para incluir los efectos sísmicos. El método modela la cuña de suelo detrás del muro como un bloque rígido sometido a fuerzas estáticas equivalentes debidos a las aceleraciones horizontal y vertical del terreno (Yazdani et al., 2013), este modelo se ilustra en la Figura 6.

El empuje sísmico total se descompone en un componente estático y un incremento dinámico, dicho incremento actúa a una altura aproximada de  $0.6H$  medido desde la base del muro. Dicho centroide de las presiones sísmicas se lo asume como concentrado en un punto único de aplicación, dado que se supone un comportamiento rígido del suelo y del muro.

**Figura 6**

*Esquema de fuerzas en el método de Mononobe–Okabe*



*Nota.* Representa los parámetros y características del Método de Mononobe Okabe. Adaptado de *Extended “Mononobe-Okabe” Method for Seismic Design of Retaining Walls* (p.2), por (Yazdani et al., 2013), Hindawi.

En el método M–O se definen los coeficientes sísmicos  $k_h$  (horizontal) y  $k_v$  (vertical), que son fracciones de la aceleración sísmica respecto de  $g$ .

Con estos parámetros, se determinan los coeficientes de empuje activo y pasivo ( $K_{AD}$  y  $K_{PD}$ ).

A partir de estos, y considerando el desarrollo extendido de Mononobe–Okabe propuesto por Yazdani et al. (2013), se obtienen los coeficientes de empuje dinámico, definidos en la ecuación Ecuación 12 y Ecuación 13.

$$K_{AD} = \frac{\cos^2(\varphi - \theta)}{\cos \theta \cos(\delta + \beta + \theta)} * \frac{1}{\cos \beta} * \frac{\sin(\varphi + \delta) \sin(\delta - \beta - \theta)}{\sin(\beta + \delta + \theta) \sin(\beta - \theta)}$$

Ecuación 12. Coeficiente activo estático

$$K_{PD} = \frac{\cos^2(\varphi + \theta)}{\cos \theta \cos(\delta - \beta - \theta)} * \frac{1}{\cos \beta} * \frac{\sin(\varphi + \delta) \sin(\delta + \beta + \theta)}{\sin(\beta + \delta - \theta) \sin(\beta + \theta)}$$

Ecuación 13. Coeficiente pasivo estático

donde:

- $\theta$ : Ángulo de inclinación equivalente (Este se define como se muestra en la Ecuación 14)

$$\theta = \tan^{-1}\left(\frac{k_h}{1 - k_v}\right)$$

Ecuación 14. Ángulo equivalente

Donde:

- $k_h$ : Coeficiente sísmico horizontal (adimensional)
- $k_v$ : Coeficiente sísmico vertical (adimensional)



Y es así como se muestra en la Ecuación 15 y la Ecuación 16 que se calcula tanto la presión activa como la pasiva ( $E_{AD}$  y  $E_{PD}$ ):

$$E_{AD} = \frac{1}{2} * \gamma \cdot H^2 \cdot K_{ae}$$

Ecuación 15. Fuerza activa estática total

$$E_{PD} = \frac{1}{2} * \gamma \cdot H^2 \cdot K_{pe}$$

Ecuación 16. Fuerza pasiva estática total

Donde:

- H: la altura del muro (m)
- $E_{AD}$ : Empuje activo total estático (kN/m)
- $E_{PD}$ : Empuje pasivo total estático (kN/m)

A partir de las expresiones anteriores, es posible determinar el incremento dinámico del empuje activo, el cual representa la diferencia entre el estado sísmico y el estado estático (El cual fue definido en la distribución de presión activa según Coulomb).

Este incremento se obtiene como la variación entre los coeficientes de empuje dinámico y estático, y se expresa mediante la Ecuación 17

$$\Delta E_{AD} = \frac{1}{2} * \gamma * H^2 * (K_{AD} - K_{AE})$$

Ecuación 17. Incremento dinámico ( $\Delta E$ )

Donde:

- $\Delta E_{AD}$ : Incremento dinámico (kN/m)

Es importante mencionar que el empuje sísmico total se obtiene como la suma del empuje activo en condición estática y el incremento dinámico, por lo que se expresa mediante la Ecuación 18.

$$E_{AT} = E_{AE} + \Delta E_{AD}$$

Ecuación 18. Empuje sísmico total

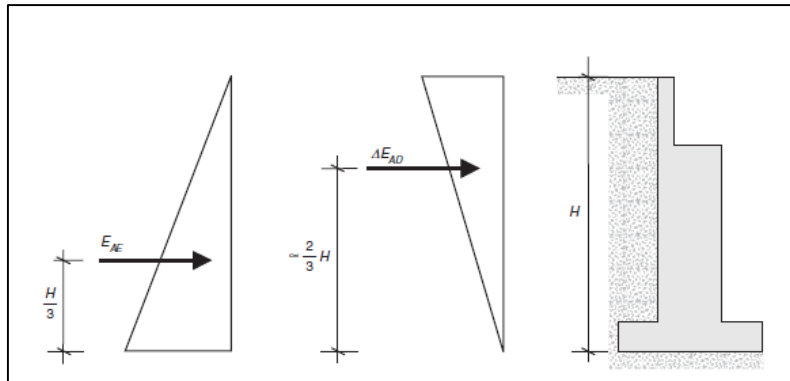
- $E_{AT}$ : Incremento total (kN/m)

Donde  $\Delta E_{AD}$  corresponde a la contribución adicional generada por la acción sísmica, sin representar el empuje total por sí mismo.

Se puede observar el empuje tanto estático como dinámico visualmente en la Figura 7.

**Figura 7**

*Descomposición del empuje sísmico en componente estático e incremento dinámico*



*Nota.* Se representa la posición del incremento dinámico del empuje activo según el método de Mononobe-Okabe a una altura equivalente al  $2/3H$  del muro, así como su distribución de un triángulo invertido. Adaptado de *Norma de Construcción Sismorresistente: Ministerio de Fomento (2008)*

A su vez la fuerza total lateral debe de determinarse considerando el efecto del empuje activo dinámico total ( $E_{AT}$  o mejor conocido como  $P_{AE}$ ), que se obtiene a partir de la formulación de Mononobe Okabe y la fuerza inercial de la estructura ( $P_{IR}$ ), la cual se determina como se muestra en la Ecuación 19.

$$P_{IR} = k_h * (W_w + W_s)$$

Ecuación 19. Fuerza inercial de la estructural

Donde:

- $P_{IR}$ : Fuerza inercial (kN/m)
- $W_w$ : El peso del muro (kN/m)
- $W_s$ : El peso del suelo que se encuentra sobre el muro (kN/m)

La combinación de estas fuerzas se debe de realizar de una de las siguientes formas:

- 100% del  $P_{AE}$  + 50% del  $P_{IR}$  ó 50% del  $P_{AE}$  + 100% del  $P_{IR}$

### 1.6.1. Coeficiente sísmico horizontal $k_h$ y carga inercial

En el análisis pseudoestático de muros de contención, además del incremento del empuje lateral calculado mediante la teoría de Mononobe–Okabe, la NEC-SE-GC (2015), establece considerar la carga inercial debida a la masa del muro y del suelo retenido:

Para el caso del coeficiente sísmico horizontal se determina como se muestra en la Ecuación 20, siendo  $a_{max}$  la aceleración máxima, definida en la Ecuación 22.

Y para el caso del coeficiente sísmico vertical, se define en la Ecuación 21, siendo este a veces despreciado en el cálculo debido a su nulo aporte en el diseño.

$$k_h = 0.6 * \frac{a_{max}}{g}$$

Ecuación 20. Coeficiente sísmico horizontal

Donde:

- $a_{\max}$ : Aceleración sísmica máxima ( $\text{m/s}^2$ )
- $g$ : Aceleración de la gravedad ( $\text{m/s}^2$ )

$$k_v = \pm \frac{k_h}{2}$$

Ecuación 21. Coeficiente sísmico vertical

$$a_{\max} = ZFa$$

Ecuación 22. Aceleración sísmica máxima

Donde:

- $Z$ : Factor de zona sísmica (adimensional)
- $Fa$ : Factor de amplificación del sitio (adimensional)

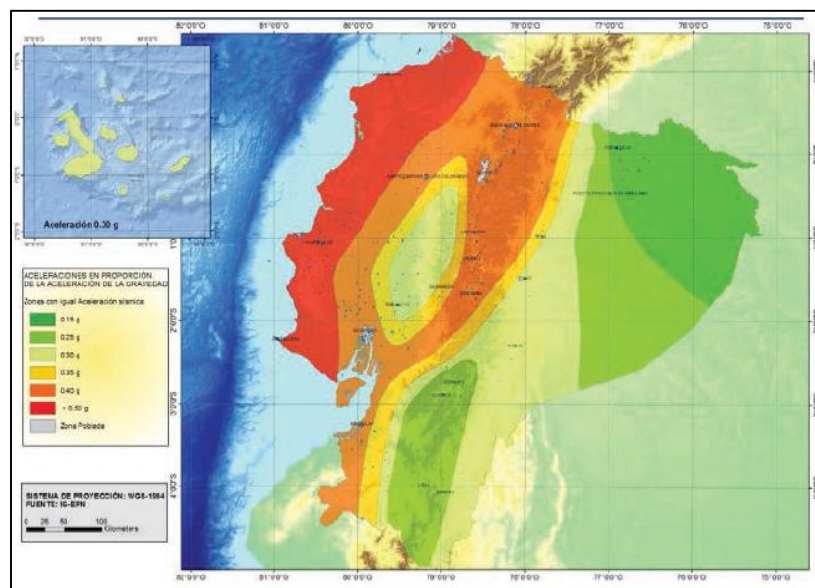
Los valores de  $Z$  se presentan en Figura 8. Este esquema representa de forma simplificada los efectos del sismo y no se combina simultáneamente con el empuje sísmico activo de M–O, debido a que M–O ya lo incorpora implícitamente.

Incluir adicionalmente el factor de sitio, conllevaría una doble contabilización del efecto sísmico, generando resultados excesivamente conservadores.

La forma de aplicación es determinar el incremento dinámico y aplicarlo a  $0.6H$  de la altura.

**Figura 8**

*Zonificación sísmica del Ecuador y valores del factor  $Z$*



*Nota.* Representa las seis zonas sísmicas del Ecuador y los valores del factor  $Z$  para el cálculo de la aceleración máxima en roca. Adaptado de *Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC-SE-DS)*, por el Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda (MIDUVI), 2015.

## 1.7. Verificaciones de estabilidad

Según Das (2019), los principales modos de falla que deben verificarse en un muro de contención son:

- **Revisión por volteo:**

Controla la rotación del muro por el empuje lateral del suelo. El muro es estable si los momentos resistentes superan a los de volcamiento.

- **Revisión por falla de deslizamiento:**

Verifica que la fricción y cohesión del terreno sean suficientes para impedir el desplazamiento horizontal.

- **Revisión por falla de capacidad portante:**

Asegura que las presiones ( $\sigma$ ) transmitidas al terreno no excedan su capacidad portante última del suelo ( $q_{ult}$ ), verificando que la presión máxima no supere el esfuerzo admisible:

- **Revisión por excentricidad:**

Controla que la resultante de las cargas caiga dentro del tercio medio de la base (en suelos) para evitar tracciones en la interfaz. Se debe cumplir que la excentricidad ( $e$ ) sea menor o igual a  $B/6$ , donde  $B$  es el ancho de la base.

## 1.8. Diseño de armados estructurales

El diseño de armados en elementos de hormigón armado es fundamental para garantizar la resistencia, el control de fisuración y el adecuado comportamiento estructural.

Estos criterios son especialmente relevantes en estructuras de contención como los muros pantalla, donde el refuerzo debe responder a las solicitaciones generadas por las presiones de tierra.

### 1.8.1. Acero por flexión

El diseño del acero por flexión en elementos de hormigón armado tiene como objetivo resistir los momentos flectores inducidos por las cargas aplicadas.

En muros pantalla, este análisis se centra en la base del elemento, donde se presentan las máximas solicitaciones, por lo que es necesario determinar el momento de diseño y el refuerzo correspondiente según la normativa AASHTO LRFD.

#### **Momento de diseño ( $M_D$ ):**

Se evalúa el momento flector en la base de la pantalla analizando los estados límite de Resistencia I y Evento Extremo I.

El momento de diseño final corresponde al valor más desfavorable obtenido mediante la metodología de la normativa AASHTO LRFD, que se encuentra definida en la Ecuación 23.

$$M_D = \max(M_{u(RI)}, M_{u(EEI)})$$

Ecuación 23. Momento de diseño

Donde:

- $M_D$ : Momento de diseño ( $\text{kN}\cdot\text{m/m}$ )
- $M_U (RI)$ : Momento último para combinación Resistencia I ( $\text{kN}\cdot\text{m/m}$ )
- $M_U (EEI)$ : Momento último para Evento Extremo I ( $\text{kN}\cdot\text{m/m}$ )

#### **Centroide del refuerzo (z):**

Siendo representada en la Ecuación 24, representa la profundidad desde la cara exterior del concreto hasta el eje Baricéntrico (el centro) de la varilla de acero principal,

$$z = r_{ec} + \frac{\Phi_P}{2}$$

Ecuación 24. Centroides del refuerzo

Donde:

- $r_{ec}$ : Recubrimiento para la pantalla (m)
- $\Phi_P$ : Diámetro de la varilla de refuerzo (m)

#### **Peralte efectivo (d):**

Definido en la Ecuación 25, corresponde a la distancia efectiva entre la fibra comprimida extrema y el centroide del refuerzo a tracción.

$$d = h - z$$

Ecuación 25. Peralte efectivo

Donde:

- $h$ : Altura de la viga de diseño (m)
- $z$ : Centroides del refuerzo (m)

#### **Equilibrio de los bloques de tracción y compresión:**

Se establece a partir de la determinación de la profundidad del bloque de compresión equivalente, definida en la Ecuación 26, con base en este parámetro, se calcula el área de acero requerida a flexión mediante la Ecuación 27.

Y la solución puede obtenerse resolviendo la ecuación de equilibrio de la sección, expresada en la Ecuación 28.

$$a = \frac{A_s * f_y}{0.85 * f'_c * b}$$

Ecuación 26. Profundidad del bloque de compresión equivalente

Donde:

- a: Profundidad del bloque de compresión equivalente (m)
- $A_s$ : Área de acero de refuerzo ( $m^2/m$ )
- $f_y$ : Esfuerzo de fluencia del acero (MPa)
- $f'_c$ : Resistencia a la compresión del concreto (MPa) b: ancho de la sección (m)

$$A_s = \frac{M_u}{\Phi f_y \left( d - \frac{a}{2} \right)}$$

Ecuación 27. Área de acero a flexión requerida

$$\frac{a^2}{2} - 2 * a * d + \frac{2 * M_u}{0.85 * f'_c * b * \Phi f} = 0$$

Ecuación 28. Ecuación de equilibrio para la sección a flexión

- **Factor para el estado límite del Evento Extremo equivalente ( $\Phi f$ ):**

De acuerdo con (American Association of State Highway and Transportation Officials, 2020), dicho factor se lo toma como “1” para la condición de evento extremo.

- **Acero máximo:**

De acuerdo con las disposiciones actuales de la AASHTO, se elimina este límite.

- **Acero mínimo:**

De acuerdo con (American Association of State Highway and Transportation Officials, 2020) en el artículo 5.6.3.3. la cantidad de acero mínima debe ser capaz de resistir el momento de fisuración ( $M_{cr}$ ) y 1.33 veces el momento último ( $M_u$ ).

El momento de fisuración se determina mediante la Ecuación 29, en función del módulo de ruptura del concreto y del módulo de sección.

El módulo de ruptura se calcula según la Ecuación 30, mientras que el módulo de sección se obtiene mediante la Ecuación 31.

$$M_{cr} = 1.1 * f_r * S$$

Ecuación 29. Momento de fisuración

Donde:

- $M_{cr}$ : Momento de fisuración ( $kN \cdot m/m$ )
- $f_r$ : Módulo de ruptura del concreto (MPa)
- S: módulo de sección ( $m^3/m$ )

$$f_r = 0.63 * \sqrt{f'_c} \text{ MPa}$$

Ecuación 30. Módulo de ruptura del concreto

$$S = b * \frac{h^2}{6}$$

Ecuación 31. Módulo de sección

Donde:

$f'_c$ : Resistencia nominal a la compresión del concreto

### 1.8.2. Acero por temperatura

Siguiendo los lineamientos del Art. 5.10.6 de la normativa (American Association of State Highway and Transportation Officials, 2020a) se ha integrado en el diseño un refuerzo por retracción y temperatura.

Este acero tiene la función de mitigar la formación de fisuras debidas por las variaciones térmicas ambientales.

El refuerzo por temperatura se determina mediante la Ecuación 32, y adicionalmente, la cuantía de acero debe cumplir con los límites establecidos en la Ecuación 33.

$$A_{s_{tem}} = \frac{0.18 * (L * b)}{2 * (L + b)}$$

Ecuación 32. Área de acero por temperatura

Donde:

- L: La longitud de la pantalla de diseño (m)
- b: La base de la viga de diseño (m)

$$0.11 * A_s \leq A_{s_{tem}} \leq 0.6 * A_s$$

Ecuación 33. Límites de acero por temperatura

### 1.8.3. Revisión de fisuración por distribución de armadura

El control de fisuración tiene como objetivo regular la morfología de la sección agrietada. En este sentido, al optimizar la distribución del refuerzo, se logra que las aberturas sean numerosas y de escala capilar, lo cual garantiza la impermeabilidad del elemento y protege la armadura frente a procesos corrosivos.

Este análisis se realiza bajo condiciones de servicio; es decir, cuando los factores de combinación según la metodología LRFD son iguales a 1.

Para ello, se consideran los parámetros de transformación de la sección, tales como la relación modular entre el acero y el concreto, la distancia al centroide del refuerzo y el

área de acero transformada, definidos mediante la Ecuación 34, la Ecuación 35 y la Ecuación 36, respectivamente.

En este contexto, el ancho de diseño se asume como la separación entre las varillas del acero de refuerzo por flexión, el cual corresponde al ancho tributario utilizado en el análisis.

$$n = \frac{E_s}{E_c}$$

Ecuación 34. Relación modular entre el acero y el concreto

Donde:

- $n$ : Relación modular acero–concreto (adimensional)
- $E_s$ : Módulo de elasticidad del acero (MPa)
- $E_c$ : Módulo de elasticidad del concreto (MPa)

$$dc = rec + \frac{\phi}{2}$$

Ecuación 35. Distancia al centroide

Donde:

- $dc$ : Distancia al centroide del refuerzo (m)

$$A_{st} = n * A_{sv}$$

Ecuación 36. Área del acero transformada

Donde:

- $A_{st}$ : Área de acero transformada (m<sup>2</sup>/m)
- $A_{sv}$ : Área de acero de refuerzo a flexión por unidad de ancho (m<sup>2</sup>/m)

El equilibrio de la sección transformada se establece mediante la Ecuación 37, a partir de la cual se determina la profundidad del eje neutro.

Con este valor, se calcula el brazo de palanca efectivo según la Ecuación 38. Finalmente, el esfuerzo en el acero bajo condiciones de servicio se obtiene mediante la Ecuación 39.

$$a_t * \left(\frac{\gamma}{2}\right) = A_{st} * (d - y)$$

Ecuación 37. Ecuación de equilibrio de la sección transformada

Donde:

- $a_t$ : Ancho tributario (m)
- $y$ : Profundidad del eje neutro (m)

$$jd = d - \frac{\gamma}{3}$$

Ecuación 38. Brazo de palanca efectivo

Donde:



- $j$ : Coeficiente del brazo de palanca (adimensional)

$$f_{ss} = \frac{M_s}{jd * A_s}$$

Ecuación 39. Esfuerzo del acero

Donde:

$f_{ss}$ : Esfuerzo en el acero en condición de servicio (MPa)

$M_s$ : Momento de servicio (kN·m/m)

- **Separación máxima de la armadura**

La separación máxima de la armadura se determina mediante la Ecuación 40, en función del esfuerzo en el acero y las condiciones de exposición.

El parámetro  $\beta_s$  se calcula según la Ecuación 41.

$$s_{max} = \frac{125\,000 * \gamma_e}{\beta_s * f_{ss}} - 2 * d_c$$

Ecuación 40. Separación máxima de la armadura

Donde:

- $s_{max}$ : Separación máxima de la armadura (m)
- $\gamma_e$ : Factor de exposición ambiental (adimensional)
- $\beta_s$ : Factor de distribución de esfuerzos (adimensional)

$$\beta_s = 1 + \frac{d_c}{0.7 * (h - d_c)}$$

Ecuación 41. Factor de distribución de esfuerzos

Donde:

- De acuerdo con la (American Association of State Highway and Transportation Officials, 2020a),  $\gamma_e$  es igual a 0.75 para condición de exposición severa.

#### 1.8.4. Revisión por corte

La verificación por corte tiene como objetivo garantizar que la sección del elemento sea capaz de resistir las fuerzas cortantes actuantes sin alcanzar el estado de falla.

Para ello, se compara la resistencia al corte del elemento con el cortante último obtenido del análisis estructural. La resistencia al corte se determina como el producto del cortante nominal y el factor de reducción correspondiente, tal como se muestra en la Ecuación 42.

$$V_r = \Phi_v * V_n$$

Ecuación 42. Cortante resistente

Donde:

- $V_r$ : Cortante resistente (kN/m)
- $\Phi_v$ : Factor de reducción para cortante (adimensional)

- $V_n$ : Cortante nominal (kN/m)

El cortante nominal se obtiene considerando la contribución del concreto, del refuerzo transversal y de los efectos adicionales, adoptando el menor valor entre las expresiones indicadas en la Ecuación 43

$$V_n = \min(V_c + V_s + V_p, 0.25 * f'_c * b_v * d_v + V_p)$$

Ecuación 43. Cortante nominal

Donde:

- $V_c$ : Contribución del concreto al cortante (kN/m)
- $V_s$ : Contribución del acero al cortante (kN/m)
- $V_p$ : Contribución adicional (preesfuerzo o axial si aplica) (kN/m)
- $b_v$ : Ancho efectivo para cortante (m)
- $d_v$ : Peralte efectivo para cortante (m) El peralte efectivo requerido para la verificación a corte se establece mediante la Ecuación 44.

$$d_v \geq \max(0.9 * d, 0.72 * h)$$

Ecuación 44. Peralte efectivo requerido

Adicionalmente, la resistencia al corte del concreto depende del factor  $\beta$ , el cual considera el efecto de la deformación del acero y del espaciamiento efectivo del refuerzo, este factor se calcula mediante la Ecuación 45

$$\beta = \frac{4.8}{(1 + 750 * \varepsilon_s)} * \frac{51}{(39 + s_{xe})}$$

Ecuación 45. Factor  $\beta$

La deformación unitaria del acero ( $\varepsilon_s$ ) se determina a partir de las solicitaciones actuantes, según la Ecuación 46.

$$\varepsilon_s = \frac{\frac{|M_u|}{d_v} + |V_u|}{E_s * A_s}$$

Ecuación 46. Deformación unitaria del acero

Donde:

- $\varepsilon_s$ : Deformación unitaria del acero (adimensional)
- $M_u$ : Momento último (kN·m/m)
- $V_u$ : Cortante último (kN/m)

mientras que el parámetro de espaciamiento efectivo ( $s_{xe}$ ) se calcula mediante la Ecuación 47.

$$S_{xe} = S_x * \frac{1.38}{a_g + 0.63}$$

Ecuación 47. Espaciamiento efectivo

Donde:

- $S_{xe}$ : Espaciamiento efectivo (m)
- $S_x$ : Espaciamiento real del refuerzo (m)
- $a_g$ : Tamaño máximo del agregado (m)

Finalmente, la condición de seguridad se cumple cuando el cortante resistente es mayor o igual al cortante actuante.

## 1.9. Software para el diseño de muros de contención

Existen múltiples programas de análisis y diseño estructural para muros de contención ampliamente utilizados en la práctica profesional.

(Leon, 2020) plantea la creación de un software con interfaz intuitiva y procesos automatizados que optimizan la interacción del usuario. (Dominguez, 2022) destaca la importancia de integrar verificaciones normativas dentro del entorno de cálculo, mientras que (Ortiz & Chacón, 2022) subrayan la necesidad de adaptar los programas a las condiciones geotécnicas y constructivas propias de cada región.

Por su parte, (Pacheco, 2014) demuestra que el desarrollo de software propio mejora la eficiencia del análisis y reduce errores asociados a procedimientos manuales. No obstante, gran parte de estas herramientas corresponde a soluciones comerciales de acceso restringido, lo que limita su uso en contextos académicos y profesionales con recursos económicos reducidos.

En este contexto, la presente investigación propone el desarrollo de una herramienta de acceso gratuito que integre criterios normativos y condiciones geotécnicas locales, con el objetivo de facilitar el diseño de muros de contención y ampliar la disponibilidad de recursos técnicos en el entorno ecuatoriano.

## Capítulo 2: Metodología de diseño de muros de contención a gravedad bajo la filosofía de diseño ASD

### 2. Objetivo del diseño ASD

El objetivo fundamental de este capítulo es establecer el procedimiento de diseño para muros de contención a gravedad utilizando la filosofía de Diseño por Esfuerzos Permisibles (ASD).

A diferencia del método LRFD, el ASD se basa en la aplicación de un único Factor de Seguridad (FS) global que cubre todas las incertidumbres del diseño. El método ASD compara las fuerzas o momentos resistentes contra las fuerzas o momentos actuantes (nominales), asegurando que la relación entre ambos sea mayor o igual a un factor de seguridad preestablecido por la normativa.

En la metodología ASD, las cargas no se mayoran ( $\gamma = 1$ ) y las resistencias no se menoran mediante factores ( $\phi = 1$ ). La seguridad estructural se garantiza mediante la siguiente relación fundamental, como se muestra en la Ecuación 48:

$$\frac{R_n}{\sum Q_i} \geq FS$$

Ecuación 48. Condición de seguridad ASD

Donde:

- $R_n$ : Resistencia nominal de la estructura (kN o kPa)
- $Q_i$ : Cargas nominales actuantes (kN o kPa)
- FS: Factor de Seguridad global (adimensional)

#### 2.1. Criterios de estabilidad y factores de seguridad

Bajo la filosofía ASD, la estabilidad global de un muro de contención a gravedad se verifica mediante la relación entre las capacidades resistentes del sistema y las cargas impuestas por el terreno, tal y como se definió anteriormente.

Para el cumplimiento de la normativa (NEC 15), se establecen coeficientes mínimos que varían según la condición de carga analizada (construcción, estática o pseudo-estática). De acuerdo con la NEC 15, los factores de seguridad mínimos requeridos se detallan en la Tabla 2, también es importante mencionar que los factores de seguridad correspondientes a la verificación de la capacidad portante se presentan en la Tabla 3.

**Tabla 2***Factores de seguridad mínimos por condición de falla*

| Condición                                     | Estático       | Sismo         | Pseudo Estático |
|-----------------------------------------------|----------------|---------------|-----------------|
| Deslizamiento                                 | 1.60           | Diseño        | 1.05            |
| Volcamiento: el que resulte más crítico de:   |                |               |                 |
| Momento Resistente/Momento Actuante           | $\geq 3.00$    | Diseño        | $\geq 2.00$     |
| Excentricidad en el sentido del momento (e/B) | $\leq 1/6$     | Diseño        | $\leq 1/4$      |
| Capacidad Portante                            | <b>Tabla 3</b> |               |                 |
| Estabilidad general del sistema:              |                |               |                 |
| Permanente o de Larga duración (> 6 meses)    | 1.50           | Diseño        | 1.05            |
| Temporal o de Corta duración (< 6 meses)      | 1.30           | 50% de Diseño | 1.00            |

*Nota.* Representa los factores de seguridad mínimos para cada condición de falla. Adaptado de *Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC-SE-DS)*, por el Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda (MIDUVI), 2015.

**Tabla 3***Factores de seguridad mínimos para capacidad portante*

| Condición                                                          | F.S.I.M. Admisibles |
|--------------------------------------------------------------------|---------------------|
| Carga Muerta + Carga Viva Normal                                   | 3.0                 |
| Carga Muerta + Carga Viva Máxima                                   | 2.5                 |
| Carga Muerta + Carga Viva Normal + Sismo de Diseño pseudo estático | 1.5                 |

*Nota.* Representa los factores de seguridad mínimos para la capacidad portante. Adaptado de *Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC-SE-DS)*, por el Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda (MIDUVI), 2015.

## 2.2. Verificación de condiciones de falla

A partir de los valores presentados, el procedimiento de diseño sigue las siguientes verificaciones:

- **Verificación al Deslizamiento**

Se asegura que la resistencia a la fricción en la base del muro sea suficiente para contrarrestar el empuje activo.

La estabilidad se logra cuando las fuerzas resistentes (fricción entre el suelo y la base, más la cohesión y el empuje pasivo en el frente) superan a las fuerzas actuantes horizontales (el empuje activo del relleno).

- **Verificación al Volcamiento (Momento Resistente / Momento Actuante)**

Se evalúa la relación entre los momentos que tienden a estabilizar el muro (peso propio) y los que tienden a volcarlo (empujes laterales).

El muro es estable si la sumatoria de los momentos resistentes ( $\sum M_R$ ), generados por el peso propio y la carga vertical, supera significativamente a la sumatoria de los momentos de volcamiento ( $\sum M_A$ ) generados por el empuje horizontal del suelo.

- **Verificación a la Excentricidad**

La verificación de la excentricidad tiene como finalidad garantizar que la fuerza resultante de todas las cargas (verticales y horizontales) actúe dentro de un rango aceptable de la base del muro.

Esto busca asegurar una distribución de presiones uniforme y evitar los esfuerzos de tracción entre la base del muro y el suelo, lo cual provocaría el despegue de la cimentación.

La excentricidad ( $e$ ) se calcula mediante la relación de momentos respecto al centro de la base ( $B/2$ ):

- **Verificación de capacidad portante (falla de capacidad de carga de la base)**

Se asegura que las presiones verticales transmitidas por el muro a través de su cimentación no excedan la capacidad del terreno para soportar cargas sin sufrir una falla por corte o hundimiento excesivo.

Bajo la filosofía ASD, se garantiza que el esfuerzo vertical máximo ( $\sigma$ ) se mantenga por debajo del esfuerzo admisible del terreno ( $\sigma_{max}$ ), cumpliendo con lo establecido por la norma para cualquier condición establecida.

## **2.3. Metodología de diseño**

En este apartado se abordarán los pasos que se deben seguir para el diseño de muros de contención.

### **2.3.1. Geometría de la estructura**

El diseño de los muros de contención (sean de pantalla, gravedad o gaviones) comienza estableciendo la geometría de la estructura.

Este paso es fundamental para determinar más adelante, el centro de gravedad y el peso propio:

- **Muros Pantalla/Gravedad:** Se definen las dimensiones de la base (puntera y talón) y el cuerpo del muro (pantalla o fuste). La principal distinción geométrica en estos diseños es la inclusión de un espolón en la pantalla

- Muros Gaviones: Se establece una sección trapezoidal o escalonada, donde la estabilidad depende exclusivamente del peso del material. En el caso de gaviones, el diseño se modula por niveles de dados.

Es importante mencionar que, si el diseño considera inclinación en el terreno, se debe definir el valor de esa inclinación ( $\alpha$ )

### **2.3.2. Datos de entrada**

Una vez definida la geometría, se establecen las propiedades físicas de la estructura y del entorno geotécnico.

#### **Propiedades del Cuerpo del Muro:**

- $\rho$ : Densidad del material del muro

#### **Propiedades del Suelo de Relleno (Empuje):**

- $\rho_E$ : Densidad del material de empuje
- $\phi_E$ : Angulo de fricción del material de empuje
- $c_E$ : Cohesión del suelo de empuje

#### **Propiedades del Suelo de Fundación:**

- $\rho_F$ : Densidad del suelo de fundación
- $\phi_F$ : Ángulo de fricción del suelo de fundación
- $c_F$ : Cohesión del material de fundación
- $\phi_{qu}$ : Factor de reducción última del suelo
- $q_u$ : Presión admisible del suelo

#### **Parámetros Geométricos y de Carga**

- $h_{eq}$ : Altura equivalente de la carga viva
- $D$ : Profundidad de desplante

Es importante mencionar que, para nuestro caso, consideramos que la cohesión es cero debido a un criterio de diseño conservador, ya que la cohesión es un parámetro que puede perderse por cambios de humedad o excavaciones futuras frente al muro. Al ignorarla, garantizamos que la estabilidad dependa solo de la fricción del terreno.

### **2.3.3. Determinación de coeficientes**

En esta etapa, se procede a calcular 4 coeficientes que buscan cuantificar la interacción entre la estructura y el suelo mediante la obtención de cuatro coeficientes fundamentales.

- $K_a$  (Coeficiente de empuje activo): Define la presión lateral ejercida por el suelo de relleno sobre el trasdós del muro, este factor es el principal responsable de las fuerzas desestabilizantes.

- $K_p$  (Empuje Pasivo): Coeficiente que representa la resistencia máxima que puede ofrecer el suelo ante el empuje de la estructura.
- $K_{pf}$  (Coeficiente de Fundación): Factor específico que evalúa las condiciones de empuje en el estrato del suelo de fundación, diferenciándolo del material de relleno.
- $\mu$  (Coeficiente de Fricción): Factor que determina la resistencia al deslizamiento en la interfaz entre la base del muro

#### **2.3.4. Determinación de Fuerzas y Momentos**

Con los coeficientes calculados, se deben calcular las fuerzas y momentos, tanto estabilizantes, siendo estas las fuerzas y momentos que se oponen al fallo de la estructura: como desestabilizantes, estas siendo las fuerzas y momentos que inducen al movimiento o rotación que se generan en la estructura.

##### **Fuerzas y momentos estabilizantes**

- Peso Propio del muro: Se calcula mediante la discretización de las áreas de la geometría (muro y suelo sobre el talón) multiplicadas por sus densidades respectivas.
- Carga Viva Estabilizante: El peso vertical generado por la altura equivalente de carga viva situada sobre el talón del muro.
- Momento estabilizante: Se calcula multiplicando cada peso por su brazo de palanca.

##### **Fuerzas y momentos desestabilizantes**

- Empuje Lateral del Suelo: Fuerza resultante de la presión activa calculada con el coeficiente activo ( $K_a$ ), puede utilizarse la metodología tanto de Rankine como de Coulomb.
- Empuje por Sobrecarga: Fuerza horizontal producida por la carga viva ( $heq$ ) multiplicada por el coeficiente correspondiente.
- Empuje del Desplante: Presión lateral activa generada por el suelo ubicado en la profundidad de desplante ( $D$ ).
- Momento Desestabilizante: Se calcula cada empuje lateral multiplicado por su brazo de palanca.

#### **2.3.5. Verificación de Estabilidad (ASD)**

Posteriormente se verifica la estabilidad de la estructura, es decir, se comprueba si el muro va a fallar o no ante distintos tipos de falla, en este caso se verifican estos tipos de falla bajo el método de esfuerzos admisibles (ASD) para validar la geometría propuesta:



### Revisión a la condición de volteo

Se trata de la relación entre el momento resistente de la estructura y el momento desestabilizante, de modo que el valor obtenido sea mayor que el factor de seguridad establecido por la normativa. Dichos momentos se definen en la Ecuación 50 y la Ecuación 51, respectivamente. Para el caso estático, el factor de seguridad debe ser mayor que 3, como se verifica mediante la Ecuación 49.

$$FS_{\text{volteo}} = \frac{\sum M_R}{\sum M_U}$$

Ecuación 49. Factor de seguridad al volcamiento

Donde:

- FS volteo: Factor de seguridad al volteo (adimensional)

$$M_R = \sum \text{Momentos estabilizantes}$$

Ecuación 50. Momento resistente

Donde:

- Mr: Momento resistente (kN\*m/m)

$$M_U = \sum \text{Momentos desestabilizantes}$$

Ecuación 51. Momento desestabilizante

Donde:

- Mu: Momento desestabilizante (kN\*m/m)

Es importante mencionar que también se debe analizar un Mr<sub>2</sub> en donde se incluya el momento estabilizante que produce la carga viva en la estructura.

### Revisión a la condición de excentricidad

Se trata de la relación entre la excentricidad calculada en el muro y la excentricidad máxima admisible. La excentricidad calculada se define en la Ecuación 52, mientras que la excentricidad máxima se establece en la Ecuación 53.

Esta condición garantiza que la fuerza resultante se ubique dentro del tercio central de la base; en consecuencia, la excentricidad no debe exceder B/6.

$$e = \frac{B}{2} - \frac{\sum M_R - \sum M_U}{\sum V}$$

Ecuación 52. Excentricidad de la resultante

Donde:

- e: Excentricidad de la resultante (m)
- V: Carga vertical total (kN/m)
- B: Ancho de la base de la cimentación (m)

$$e_{\max} = \frac{B}{6}$$

Ecuación 53. Excentricidad máxima admisible

También se debe analizar un  $e_2$ , en donde se incluya el momento estabilizante que produce la carga viva.

### Revisión de la capacidad portante

Se trata de la relación entre el esfuerzo admisible del suelo y la capacidad portante final. El análisis de esta revisión se divide en dos fases: el cálculo de las presiones de contacto y la validación frente a la resistencia última.

Primero se calculan las presiones que la base del muro ejerce sobre el suelo en sus puntos extremos, según la distribución de esfuerzos obtenida en el análisis de excentricidad, se obtienen:

Presión en la Punta ( $q_p$ ): Es la presión máxima que ocurre en el extremo delantero de la base, y se define mediante la Ecuación 54.

$$q_p = \frac{F_v}{B} * (1 + 6 * \frac{e}{b})$$

Ecuación 54. Presión máxima en la punta

Donde:

- $q_p$ : Presión máxima en la punta (kPa)

Presión en el Talón ( $q_t$ ): Es la presión en el extremo posterior de la base, se define mediante la Ecuación 55

$$q_t = \frac{F_v}{B} * (1 - 6 * \frac{e}{b})$$

Ecuación 55. Presión en el extremo posterior

Donde:

- $q_t$ : Presión en el extremo superior (kPa)

Existirán  $q_{p2}$  y  $q_{t2}$ , debido al caso en donde tomamos en cuenta el momento estabilizador de la carga viva.

Posteriormente se debe verificar el estado de falla, calculando primero el esfuerzo admisible del suelo ( $\phi q_u * q_u$ ), siendo este el producto del factor de reducción última del suelo ( $\phi q_u$ ) y Presión admisible del suelo ( $q_u$ ).

Y para finalizar, en este caso tomamos a la presión en la punta ( $q_p$ ) como la capacidad portante final ( $q_u$ ), siendo el factor de seguridad mínimo para este caso 3.

Y definiendo mediante la Ecuación 56 el factor de seguridad para la capacidad portante.

$$FS_{\text{portante}} = \frac{\phi q_u * q_u}{q_u}$$

## Ecuación 56. Factor de seguridad por capacidad portante

Donde;

- FS portante: Factor de seguridad por capacidad portante (adimensional)
- $q_{pu}$ : Capacidad portante última del suelo (kPa)
- $q_u$ : Presión actuante del suelo (kPa)

**Revisión de deslizamiento**

Se trata de la relación entre las fuerzas resistentes y las fuerzas últimas. Para esta verificación, se debe considerar el factor de reducción aplicado al ángulo de fricción y a la cohesión, el cual se adopta como  $3/2$ , definido en la Ecuación 58.

El factor de seguridad mínimo establecido por la normativa es 1.6, y se evalúa mediante la relación indicada en la Ecuación 57.

Las fuerzas resistentes se determinan según la Ecuación 59, mientras que las fuerzas actuantes se calculan mediante la Ecuación 60.

$$FS_{\text{deslizamiento}} = \frac{\sum F_{\text{resistente}}}{\sum F_{\text{ultimo}}}$$

## Ecuación 57. Factor de seguridad al deslizamiento

Donde:

- $FS_{\text{deslizamiento}}$ : Factor de seguridad al deslizamiento (adimensional)

$$k = \frac{2}{3}$$

## Ecuación 58. Factor de reducción por fricción

Donde:

- $k$ : Factor de reducción por fricción (adimensional)

$$\sum F_{\text{resistente}} = (F_{Emuro} + F_{Esuelo}) * \tan(k * \phi E) + B * k + F_{Esuelo}$$

## Ecuación 59. Fuerzas resistentes al deslizamiento

Donde:

- $F_{Emuro}$ : Fuerza vertical del muro (kN/m)
- $F_{Esuelo}$ : Fuerza vertical del suelo (kN/m)
- $\phi E$ : Ángulo de fricción efectivo (°)

$$\sum F_{\text{ultimo}} = F_{Dhorizontal} + F_{DLLhorizontal}$$

## Ecuación 60. Fuerzas actuantes al deslizamiento

Donde:

- $F_{Dhorizontal}$ : Fuerza horizontal desestabilizante (estática) (kN/m)
- $F_{DLhorizontal}$ : Fuerza horizontal sísmica (kN/m)

### 2.3.6. Ingreso de variables para revisión sísmico

Una vez verificada la estabilidad del muro bajo condiciones estáticas, se procede a evaluar el comportamiento de la estructura ante sollicitaciones sísmicas. Las cuales se evalúan con el empuje dinámico estructura (PAE) y la fuerza inercial de la estructura (PIR).

Para lo cual se requieren definir los siguientes valores:

- $Z$  (Factor de zona): Valor que representa la aceleración máxima esperada en roca para el sismo de diseño.
- $F_a$  (Coeficiente de amplificación de suelo en la zona de periodo corto): Incrementa las ordenadas del espectro elástico de respuesta empleado para el diseño cuando las condiciones del sitio corresponden a suelo tipo roca.
- $\Delta a$  (Ángulo de rozamiento estructura terreno): Define el ángulo de interfaz muro suelo

### 2.3.7. Determinación de los coeficientes para revisión sísmica

Se inicia con la determinación de los factores  $K_{AE}$ ,  $K_{AD}$ ,  $K_h$  y  $K_v$ .

- $K_{AE}$  (Coeficiente activo estático): Define el coeficiente del empuje activo estático.
- $K_{AD}$  (Coeficiente activo dinámico): Define el coeficiente del empuje activo dinámico.
- $K_h$  (Coeficiente horizontal): Define el coeficiente el empuje horizontal.
- $K_v$  (Coeficiente vertical): Define el coeficiente el empuje vertical

### 2.3.8. Determinación del empuje estático y dinámico.

- $E_{AE}$ : Resultante del empuje activo estático
- $E_{AD}$ : Resultante del empuje activo dinámico
- $\Delta E_{AD}$ : Resultante del aporte sísmico

#### Fuerzas resultantes

- $P_{AE}$ : Fuerza dinámica activo por el sismo
- $M_{PAE}$ : Momento dinámica activo por el sismo
- $P_{IR}$ : Fuerza inercial de la estructura
- $M_{PIR}$ : Momento inercial de la estructura

### 2.3.9. Determinación del Centro de Gravedad del Sistema Muro-Suelo

Para el cálculo de la fuerza de inercia horizontal (PIR), se localiza el centro de masa del sistema. Este proceso se desglosa en los siguientes niveles de análisis:

### Discretización de Elementos

El sistema se divide en componentes geométricos simples (rectángulos, triángulos o trapecios) para facilitar el cálculo analítico. Se deben distinguir dos grandes grupos:

**WM – (Masa del Muro):** Incluye el cuerpo de la estructura de gravedad. En el caso de elementos prefabricados, se deben considerar las juntas y la densidad específica del material.

**WT – (Masa del Suelo de Relleno):** Comprende el prisma de tierra que descansa directamente sobre el talón o la base de la estructura y que se desplaza solidariamente con el muro durante el evento sísmico.

### Centro de gravedad

Se establece un sistema de coordenadas global, situado en la punta del muro. Para cada elemento, se determina su peso WT y WM y Ycg.

- Ycg – (Centro de gravedad del elemento): Consiste en la cota del centro de gravedad con respecto a la base.

La ubicación del centro de gravedad del sistema YcgT y YcgM se obtiene mediante el Teorema de ejes paralelos.

- YcgM – (Centro de gravedad de la masa de relleno): Define el centro de gravedad de todo el elemento.
- YcgT – (Centro de gravedad del muro): Define el centro de gravedad de toda la masa de relleno.

#### 2.3.10. Determinación de la fuerza y momento inercial.

Esta fase de la metodología se cuantifican la fuerza y el momento inerciales, efectos dinámicos inducidos por la aceleración del terreno sobre la masa propia de la estructura y el suelo que se desplaza junto con ella.

- FPIR – Fuerza inercial por el sismo – PIR
- MPIR – Momento inercial por el sismo – PIR

#### 2.3.11. Verificación de estabilidad sísmica

Una vez determinados el empuje activo sísmico (PAE), el incremento inercial (PIR) y sus respectivos momentos, se procede a reevaluar la estabilidad global bajo la condición sísmica.

Este análisis replica las comprobaciones de volteo, deslizamiento y capacidad portante realizadas en la fase estática, pero integrando las fuerzas de inercia y los empujes adicionales derivados del evento sísmico.

Para esta condición de Evento Extremo, se adoptan factores de seguridad reducidos, conforme a las exigencias de la normativa vigente para diseños sismorresistentes.

## **Capítulo 3: Metodología de diseño de muros de contención a gravedad bajo la filosofía de diseño LRFD**

### **3. Objetivo del diseño LRFD**

El objetivo fundamental de este capítulo es establecer una metodología de diseño para muros de contención a gravedad según la filosofía de Diseño por Factores de Carga y Resistencia (LRFD), tomando como referencia principal la AASHTO LRFD Bridge Design Specifications (2020).

El método LRFD se fundamenta en la verificación del desempeño de la estructura frente a Estados Límite. Este enfoque se centra en utilizar factores separados para cargas y resistencias, lo que permite una representación más precisa de la variabilidad de los parámetros y las incertidumbres asociadas al comportamiento estructural y geotécnico.

De acuerdo con la AASHTO, la condición de diseño debe satisfacer la condición general de diseño que se expresa mediante la Ecuación 61.

$$\sum n_i \gamma_i Q_i \leq \phi R_n$$

Ecuación 61. Condición general de diseño LRFD

Donde  $Q_i$  representa los efectos de carga,  $\gamma_i$  son los factores de carga,  $n_i$  son los factores de modificación (por ductilidad, redundancia y condición operacional),  $R_n$  es la resistencia nominal y  $\phi$  es el factor de resistencia.

### **3.1. Factores de carga y combinaciones (AASHTO LRFD)**

Esta metodología cuantifica la incertidumbre de las acciones mediante los factores de carga ( $\gamma$ ). Estos factores amplifican los efectos de carga nominales ( $Q_i$ ) y se aplican en la Ecuación Fundamental LRFD.

#### **3.1.1. Factores de cargas permanentes ( $\gamma$ )**

Los factores de carga aplicables a las acciones permanentes se presentan en la Tabla 4.

**Tabla 4***Factores mínimos y máximos para la metodología LRFD*

| Tipo de carga, tipo de cimentación y método para calcular carga descendente | Factores de carga      |                        |
|-----------------------------------------------------------------------------|------------------------|------------------------|
|                                                                             | Factor de carga máximo | Factor de carga mínimo |
| 1. DC: Carga muerta                                                         |                        |                        |
| 1.1 Componentes y accesorios                                                | 1,25                   | 0,9                    |
| 1.2 Solo resistencia IV                                                     | 1,5                    | 0,9                    |
| 2. DD: Carga descendente                                                    |                        |                        |
| 2.1 Pilotes, método de Tomlinson                                            | 1,4                    | 0,25                   |
| 2.2 Pilotes, método $\lambda$                                               | 1,05                   | 0,3                    |
| 2.3 Pilotes perforados, método O'Neill y Reese (2010)                       | 1,25                   | 0,35                   |
| 3. DW: Superficies de rodadura y servicios                                  | 1,5                    | 0,65                   |
| 4. EH: Presión lateral de tierras horizontal                                |                        |                        |
| 4.1 Activa                                                                  | 1,5                    | 0,9                    |
| 4.2 En reposo                                                               | 1,35                   | 0,9                    |
| 4.3 Presión activa para muros anclados                                      | 1,35                   | N/A                    |
| 5. EL                                                                       |                        |                        |
| 5.1. Esfuerzos de construcción bloqueados                                   | 1                      | 1                      |
| 6. EV: Presión vertical de tierras                                          |                        |                        |
| 6.1 Estabilidad global y compuesta                                          | 1                      | N/A                    |
| 6.1.1 Muros de contención y estribos                                        | 1,35                   | 1                      |
| 6.1.2 Cargas internas de estabilidad en suelo reforzado (MSE)               |                        |                        |
| 6.1.2.1 Método de rigidez                                                   |                        |                        |
| 6.1.2.1.1 Refuerzo y conexión a ruptura                                     | 1,35                   | N/A                    |
| 6.1.2.1.2 Falla del suelo – geos sintéticos (Servicio I)                    | 1,2                    | N/A                    |
| 6.1.2.2 Método de gravedad coherente                                        | 1,35                   | N/A                    |
| 6.2 Estructuras rígidas enterradas                                          | 1,3                    | 0,9                    |
| 6.3 Marcos rígidos                                                          | 1,35                   | 0,9                    |
| 6.4 Estructuras flexibles enterradas                                        |                        |                        |
| 6.4.1 Alcantarillas metálicas / placas estructurales / fibra de vidrio      | 1,5                    | 0,9                    |
| 6.4.2 Alcantarillas termoplásticas                                          | 1,3                    | 0,9                    |
| 6.4.3 Otros                                                                 | 1,95                   | 0,9                    |
| 6.4 Estabilidad interna y compuesta para muros de suelo reforzado           | 1                      | N/A                    |
| 7. ES: Sobrecarga de suelo                                                  | 1,5                    | 0,75                   |

Nota. Representa los factores de carga mínimos y máximos para cargas permanentes en el diseño LRFD. Adaptado de AASHTO LRFD Bridge Design Specifications (p. 3-18), por la American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO), 9na Edición, 2020.

Los factores de carga ( $\gamma_p$ ) asociados a las acciones permanentes son fundamentales en el diseño geotécnico, ya que el peso propio de la estructura y el empuje de tierras constituyen las principales acciones que gobiernan la estabilidad del sistema.



### 3.1.2. Combinaciones de carga

Las combinaciones de carga integran acciones permanentes y transitorias según cada estado límite. En este trabajo se consideran Resistencia I, Resistencia II y Evento Extremo I, por ser las más críticas en muros de contención, definidas en la Tabla 5, Tabla 6 y Tabla 7

**Tabla 5**  
*Combinaciones de carga Strength I*

| Resistencia<br>I | DC   | EH  | EV   | LL <sub>h</sub> | LL <sub>v</sub> | EQ <sub>PAE</sub> | EQ <sub>PIR</sub> |
|------------------|------|-----|------|-----------------|-----------------|-------------------|-------------------|
| S                | 1    | 1   | 1    | 1               | 1               | 0                 | 0                 |
| 1                | 0,9  | 1,5 | 1    | 1,75            | 1,75            | 0                 | 0                 |
| 2                | 1,25 | 1,5 | 1    | 1,75            | 1,75            | 0                 | 0                 |
| 3                | 0,9  | 1,5 | 1,35 | 1,75            | 1,75            | 0                 | 0                 |
| 4                | 0,9  | 1   | 1,35 | 1,75            | 1,75            | 0                 | 0                 |
| 5                | 1,25 | 1,5 | 1,35 | 1,75            | 1,75            | 0                 | 0                 |
| 6                | 1,25 | 1   | 1,35 | 1,75            | 0               | 0                 | 0                 |
| 7                | 1,25 | 1,5 | 1    | 1,75            | 0               | 0                 | 0                 |

*Nota.* Representa las combinaciones de carga y aplicables para la verificación del estado límite “Strength I”. Adaptado de AASHTO LRFD Bridge Design Specifications (p. 3-17), por la *American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO)*, 9na Edición, 2020.

**Tabla 6**  
*Combinaciones de carga Strength II*

| Resistencia<br>II | DC   | EH  | EV   | LL <sub>h</sub> | LL <sub>v</sub> | EQ <sub>PAE</sub> | EQ <sub>PIR</sub> |
|-------------------|------|-----|------|-----------------|-----------------|-------------------|-------------------|
| S                 | 1    | 1   | 1    | 1               | 1               | 0                 | 0                 |
| 1                 | 0,9  | 1,5 | 1    | 1,35            | 1,35            | 0                 | 0                 |
| 2                 | 1,25 | 1,5 | 1    | 1,35            | 1,35            | 0                 | 0                 |
| 3                 | 0,9  | 1,5 | 1,35 | 1,35            | 1,35            | 0                 | 0                 |
| 4                 | 0,9  | 1   | 1,35 | 1,35            | 1,35            | 0                 | 0                 |
| 5                 | 1,25 | 1,5 | 1,35 | 1,35            | 1,35            | 0                 | 0                 |
| 6                 | 1,25 | 1   | 1,35 | 1,35            | 0               | 0                 | 0                 |
| 7                 | 1,25 | 1,5 | 1    | 1,35            | 0               | 0                 | 0                 |

*Nota.* Representa las combinaciones de carga y aplicables para la verificación del estado límite “Strength II”. Adaptado de AASHTO LRFD Bridge Design Specifications (p. 3-17), por la *American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO)*, 9na Edición, 2020.

**Tabla 7**  
*Extreme Event I*

| Evento<br>Extremo I | DC | EH | EV | LL <sub>h</sub> | LL <sub>v</sub> | EQ <sub>PAE</sub> | EQ <sub>PIR</sub> |
|---------------------|----|----|----|-----------------|-----------------|-------------------|-------------------|
| 1                   | 1  | 1  | 1  | 0               | 0               | 0,5               | 1                 |
| 2                   | 1  | 1  | 1  | 0               | 0               | 1                 | 0,5               |
| 3                   | 1  | 1  | 1  | 1               | 0               | 0,5               | 1                 |
| 4                   | 1  | 1  | 1  | 1               | 0               | 1                 | 0,5               |
| 5                   | 1  | 1  | 1  | 1               | 1               | 0,5               | 1                 |
| 6                   | 1  | 1  | 1  | 1               | 1               | 1                 | 0,5               |

*Nota.* Representa las combinaciones de carga y aplicables para la verificación del estado límite “Extreme Event I”. Adaptado de AASHTO LRFD Bridge Design Specifications (p. 3-17), por la *American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO)*, 9na Edición, 2020.

### 3.2. Estados Límite y Criterios de Diseño (AASHTO)

El diseño de muros de contención a gravedad conforme a la filosofía LRFD exige la verificación de tres categorías principales de desempeño estructural y geotécnico, conocidas como Estados Límite.

Estos estados, definidos en la AASHTO LRFD Bridge Design Specifications (2020), aseguran que la estructura cumpla con los requisitos de seguridad, funcionalidad y durabilidad durante su vida útil.

Los estados límite que deben considerarse en el diseño de un muro de contención son:

#### 3.2.1. Estado Límite de Resistencia (Strength Limit State)

Este estado límite garantiza que la resistencia y estabilidad de la estructura sean suficientes para soportar las cargas factorizadas máximas sin que ocurra una falla o colapso. Las combinaciones de carga en este estado (Strength I a V) utilizan los factores de carga máximos (generalmente  $\gamma \geq 1.0$ ) para las acciones de mayor incertidumbre.

Las verificaciones geotécnicas críticas para los muros de contención que deben cumplirse en este estado son:

- Revisión por Deslizamiento
- Revisión por Volteo
- Revisión por Capacidad Portante (Falla de la Cimentación)

#### 3.2.2. Estado Límite Extremo (Extreme Event Limit State)

Este estado se aplica a eventos de baja probabilidad de ocurrencia, pero alta magnitud, como sismos, inundaciones o colisiones de vehículos.

El objetivo es prevenir el colapso, permitiendo un daño significativo pero controlable, que preserve la vida.

La verificación clave en el contexto ecuatoriano y del sismo es la combinación Extreme Event I, que incluye el empuje sísmico de tierras:

- **Revisión Sísmica:** Las cargas permanentes se combinan con el efecto sísmico (EQ), aplicando factores de carga que típicamente son generalmente  $\gamma = 1.0$ , para el sismo y las cargas permanentes. Las verificaciones de estabilidad (deslizamiento y volteo) deben realizarse bajo esta combinación, típicamente con factores de resistencia geotécnicos reducidos para sismo.

### 3.3. Metodología de diseño

Cabe destacar que el procedimiento inicial de diseño, como la definición geométrica, el cálculo de coeficientes de empuje y el cálculo de fuerzas y momentos, es idéntica en ambas filosofías de diseño.

Por lo tanto, con el objetivo de optimizar y evitar redundancias, se omitirá la repetición de estos cálculos en este apartado, y si se requiere su información, revisar el capítulo 2, los apartados 2.1.1 a 2.1.3.

A continuación, se procede directamente al análisis de los Estados Límite bajo la metodología LRFD.

#### 3.3.1. Planteamiento de las combinaciones de carga

De acuerdo con la ubicación geográfica de la estructura, se analizan los distintos estados y combinaciones de carga que se utilizarán, debido a esto, se analizan los estados de: Resistencia I, Resistencia II y Evento Extremo I. (American Association of State Highway and Transportation Officials, 2020),

Las combinaciones que se tienen corresponden a datos requeridos por la AASHTO para el diseño de un muro de contención. Cada combinación representa una situación posible de cargas actuando simultáneamente sobre la estructura.

Primero recordemos qué significa cada carga:

- DC: Carga muerta estructural (peso propio del muro).
- EH: Empuje horizontal del suelo.
- EV: Componente vertical del empuje del suelo.
- LLh: Sobrecarga viva horizontal.
- LLv: Sobrecarga viva vertical.
- EQ<sub>PIR</sub>: Cargas inercial sísmico.
- EQ<sub>PAE</sub>: Factor activo sísmico.

### 3.3.2. Combinaciones para las condiciones de resistencia I y II.

- **Combinación de servicio**

**Caso:** Condición de operación normal de la estructura bajo cargas de servicio.

**Uso típico:** Se utiliza para verificar desplazamientos, asentamientos, presiones de contacto y comportamiento funcional del muro, asegurando que la estructura opere adecuadamente bajo las condiciones de estabilidad.

**Descripción** Representa la acción simultánea de las cargas reales que actúan durante el uso normal de la estructura, permitiendo evaluar su desempeño sin considerar condiciones extremas de carga.

- **Combinación 1**

**Caso:** Peso propio reducido con empuje activo del suelo y sobrecarga completa.

**Uso típico:** Evaluación de deslizamiento y volcamiento en condición desfavorable, cuando el peso estabilizador del muro es menor.

**Descripción:** Representa una situación crítica en la que el muro dispone de menor peso resistente mientras actúan plenamente el empuje lateral del suelo y las sobrecargas.

- **Combinación 2**

**Caso:** Peso propio incrementado con empuje activo del suelo y sobrecarga completa.

**Uso típico:** Verificación de estabilidad general y presiones en la base cuando el peso del muro contribuye a la estabilidad.

**Descripción:** Simula condiciones donde el peso estructural es mayor y actúa conjuntamente con el empuje lateral del suelo y las cargas de servicio.

- **Combinación 3**

**Caso:** Peso propio reducido con incremento de la componente vertical del empuje del suelo.

**Uso típico:** Evaluación de fuerzas verticales adicionales en la base del muro y su influencia en la fricción y estabilidad.

**Descripción:** Considera un mayor efecto de la componente vertical del empuje del suelo, lo cual puede modificar las fuerzas normales en la base.

- **Combinación 4**

**Caso:** Peso propio reducido con empuje horizontal moderado y componente vertical incrementada.

**Uso típico:** Análisis de condiciones donde la componente vertical del suelo tiene mayor influencia que la horizontal.

**Descripción:** Representa una situación en la que el empuje horizontal es menor, pero el efecto vertical del suelo sigue siendo significativo.

- **Combinación 5**

**Caso:** Peso propio incrementado con empuje activo del suelo y componente vertical aumentada.

**Uso típico:** Evaluación de esfuerzos máximos en la base del muro y la revisión de la estabilidad para la capacidad portante del suelo.

**Descripción:** Se trata de una condición donde varias acciones alcanzan valores elevados, generando demandas importantes al esfuerzo admisible máximo del suelo.

- **Combinación 6**

**Caso:** Peso propio incrementado con empuje del suelo y sin sobrecarga vertical.

**Uso típico:** Análisis de estabilidad cuando no existe carga vertical adicional sobre el relleno.

**Descripción:** Simula la condición de un terreno detrás del muro sin presencia de tráfico o cargas externas significativas.

- **Combinación 7**

**Caso:** Peso propio incrementado con empuje activo del suelo y sin sobrecarga vertical.

**Uso típico:** Evaluación de estabilidad del muro bajo empuje del suelo sin influencia de cargas verticales externas.

**Descripción:** Representa un escenario donde el comportamiento del muro depende principalmente del empuje lateral del suelo y del peso propio de la estructura.

### **3.3.3. Combinaciones para las condiciones de evento extremo I**

- **Combinación 1**

**Caso:** Acción sísmica con predominio de la componente PIR sin presencia de carga viva.

**Uso típico:** Evaluación de la respuesta sísmica básica de la estructura considerando únicamente cargas permanentes y el efecto del sismo.

**Descripción:** Representa una condición donde el muro está sometido al empuje del suelo y al efecto sísmico, sin influencia de sobrecargas externas.

- **Combinación 2**

**Caso:** Acción sísmica con predominio de la componente PAE sin carga viva.

**Uso típico:** Análisis de estabilidad bajo combinación alternativa de componentes sísmicas.

**Descripción:** Simula la respuesta estructural cuando la componente sísmica en una dirección domina sobre la otra.

- **Combinación 3**

**Caso:** Acción sísmica con presencia de sobrecarga horizontal y predominio del PAE.

**Uso típico:** Evaluación de estabilidad cuando existen cargas superficiales o tráfico que generan efectos laterales durante el sismo.

**Descripción:** Considera simultáneamente empuje del suelo, sobrecarga horizontal y la acción sísmica

- **Combinación 4**

**Caso:** Acción sísmica con sobrecarga horizontal y predominio de la componente sísmica PIR.

**Uso típico:** Revisión de estabilidad considerando variación en la dirección dominante del sismo.

**Descripción:** Representa una condición sísmica en la que la estructura recibe cargas laterales adicionales debido a sobrecargas superficiales.

- **Combinación 5**

**Caso:** Acción sísmica con sobrecarga horizontal y vertical y predominio de la componente sísmica PIR.

**Uso típico:** Evaluación del comportamiento del muro cuando existe tráfico o cargas importantes sobre el relleno durante un sismo.

**Descripción:** Simula una condición donde las cargas permanentes, las sobrecargas y el sismo actúan simultáneamente.

- **Combinación 6**

**Caso:** Acción sísmica con sobrecarga completa y predominio de la componente sísmica PAE.

**Uso típico:** Análisis de condición sísmica más desfavorable con presencia de cargas externas.

**Descripción:** Representa una situación extrema donde la estructura está sometida simultáneamente a empuje del suelo, sobrecargas y acción sísmica significativa.

### 3.3.4. Revisión de la estabilidad

#### Revisión a la condición de volteo

Se inicia determinando el momento desestabilizante  $M_U$  para cada una de las combinaciones, el cual considera el momento generado por el empuje del material de relleno y por la carga viva horizontal, este momento se define en la Ecuación 62.

Por otro lado, el momento resistente  $M_R$ , definido en la Ecuación 63, está compuesto por los siguientes aportes: el peso propio del muro, el peso del suelo estabilizante, el empuje

del material de desplante y la carga viva vertical. Cada uno de los momentos tanto desestabilizantes como estabilizantes se los multiplica por los respectivos factores de acuerdo con la normativa AASHTO.

Finalmente, se evalúan las ratios demanda-capacidad para cada una de las combinaciones, los cuales deben ser menores que 1 para cumplir con la condición de estabilidad, esta relación se determina mediante la Ecuación 64.

$$M_U = M_{EH} * F_{EH} + M_{LLH} * F_{LL}$$

Ecuación 62. Momento desestabilizante total

Donde:

- $M_{EH}$ : Momento por empuje horizontal (kN·m/m)
- $M_{LLH}$ : Momento por carga viva horizontal (kN·m/m)
- $F_{EH}$ : Factor de carga para empuje horizontal (adimensional)
- $F_{LL}$ : Factor de carga para carga viva (adimensional)

$$M_R = M_{DC} * F_{DC} + M_{EV} * F_{EV} + M_{PP} * F_{PP} + M_{LLV} * F_{LL}$$

Ecuación 63. Momento resistente total

Donde:

- $M_{DC}$ : Momento por carga muerta (kN·m/m)
- $M_{EV}$ : Momento por carga vertical sísmica (kN·m/m)
- $M_{PP}$ : Momento por presión pasiva (kN·m/m)
- $M_{LLV}$ : Momento por carga viva vertical (kN·m/m)
- $F_{DC}$ : Factor de carga para carga muerta (adimensional)
- $F_{EV}$ : Factor de carga sísmica vertical (adimensional)
- $F_{PP}$ : Factor de carga para empuje pasivo (adimensional)

$$R_{DC} = \frac{M_U}{M_R}$$

Ecuación 64. Relación demanda-capacidad al volteo

Donde:

- $R_{DC}$ : Relación demanda-capacidad al volteo (adimensional)

### **Revisión a la condición de excentricidad**

Se define la fuerza vertical  $F_v$ , la cual está conformada por el peso propio del muro, el peso de la tierra estabilizante y la carga viva vertical, cada uno multiplicado por sus respectivos factores, según se establece en la Ecuación 66.

Con esta fuerza se determina la excentricidad de la resultante, empleando el momento resistente y el momento último previamente definidos en la verificación de la estabilidad al volteo, tal como se expresa en la Ecuación 67.

La excentricidad máxima permisible se define en la Ecuación 65, la cual establece el límite para garantizar que la resultante permanezca dentro del tercio central de la base. Finalmente, la verificación de la condición de excentricidad se evalúa mediante la relación indicada en la Ecuación 68.

$$e_{\text{máx}} = \frac{B}{6}$$

Ecuación 65. Excentricidad máxima permisible

$$F_V = F_{DC} * F_{DC} + F_{EV} * F_{EV} + F_{LLV} * F_{LL}$$

Ecuación 66. Fuerza vertical resultante

Donde:

- $F_V$ : Fuerza vertical resultante (kN/m)

$$e = \frac{B}{6} - \frac{M_R - M_U}{F_V}$$

Ecuación 67. Excentricidad de la resultante

$$R_{DC} = \frac{e}{e_{\text{máx}}}$$

Ecuación 68. Relación de verificación por excentricidad

- **Revisión a la condición de capacidad portante.**

La condición de estabilidad por capacidad portante depende directamente de las propiedades del suelo sobre el cual se cimenta la estructura. En este sentido, para cada combinación de carga se determina la presión máxima de contacto transmitida al terreno, la cual se calcula mediante la Ecuación 69.

Posteriormente, esta presión se compara con la capacidad portante del suelo, a fin de evaluar la condición de seguridad mediante la relación demanda-capacidad, definida en la Ecuación 70.

$$\sigma_v = \frac{F_V}{B - 2 * e}$$

Ecuación 69. Presión de contacto máxima

Donde:

- $\sigma_v$ : Presión de contacto vertical (kPa)

$$R_{DC} = \frac{\sigma_v}{\phi * q_u}$$

Ecuación 70. Relación demanda-capacidad portante



- **Revisión a la condición de deslizamiento.**

Para cada combinación de carga se determina la fuerza deslizante, la cual depende principalmente del empuje lateral del suelo y de la carga viva horizontal, según se expresa en la Ecuación 71.

Por otro lado, la fuerza resistente total está compuesta por dos contribuciones. La primera corresponde a la componente friccional, que depende de la fuerza vertical del coeficiente de fricción suelo–base y de la cohesión del material de fundación, definida en la Ecuación 72.

La segunda corresponde a la contribución pasiva asociada a la profundidad de desplante, la cual se determina mediante la Ecuación 73.

La suma de ambas contribuciones da lugar a la fuerza resistente total, calculada según la Ecuación 74.

Finalmente, la verificación de la estabilidad al deslizamiento se evalúa mediante la relación entre la fuerza deslizante y la fuerza resistente total, definida en la Ecuación 75.

$$F_d = F_{EH} * F_{EH} + F_{LLh} * F_{LL}$$

Ecuación 71. Fuerza deslizante total

Donde:

- $F_d$ : Fuerza deslizante total (kN/m)
- $F_{LLh}$ : Fuerza por carga viva horizontal (kN/m)

$$F_{RI} = FV * \mu + B * c_f * 1 * m$$

Ecuación 72. Componente friccional resistente

Donde:

- $F_{RI}$ : Componente friccional resistente (kN/m)
- $\mu$ : Coeficiente de fricción suelo–cimentación (adimensional)
- $c_f$ : Cohesión en la base (interfaz suelo–cimentación) (kPa)
- $m$ : Factor de movilización de la cohesión (adimensional)

$$F_{RII} = F_{Pp} * F_{EH}$$

Ecuación 73. Componente cohesivo resistente

Donde:

- $F_{RII}$ : Componente cohesivo resistente (kN/m)

$$F_T = F_{RI} + F_{RII}$$

Ecuación 74. Fuerza resistente total

Donde:

- $F_T$ : Fuerza resistente total (kN/m)

$$R_{DC} = \frac{F_d}{F_T}$$

Ecuación 75. Factor de seguridad al deslizamiento

Posterior al análisis, en el caso de muro pantalla, al ser una estructura de hormigón armado, debemos obtener los momentos y cortantes de diseño, para el posterior diseño de los armados estructurales

### 3.3.5. Determinación de fuerzas cortantes y momentos

Para determinar los momentos flectores y las fuerzas cortantes en los elementos estructurales del muro, se realiza un análisis de presiones y cargas aplicadas sobre cada sección, considerando al muro como una serie de elementos en voladizo empotrados en la base.

#### Análisis por Componentes

- **Pantalla:** Se diseña para resistir el empuje activo del suelo y la sobrecarga vehicular. El momento máximo y el cortante se localizan en la base de la pantalla, donde se une con la zapata, calculándose a partir del diagrama de presiones triangular del suelo y el diagrama rectangular de la sobrecarga.
- **Talón (Zapata posterior):** Se analiza considerando el peso del suelo que descansa sobre él y el peso propio del hormigón como cargas descendentes. Estas fuerzas se contraponen a la presión del suelo hacia arriba (reacción del terreno), resultando en un momento flector que requiere refuerzo en la cara superior.
- **Punta (Zapata anterior):** Su cálculo se basa principalmente en la presión de contacto del suelo que empuja hacia arriba contra la base. Al actuar como un voladizo corto, el momento y el cortante máximo se presentan en la cara frontal de la pantalla, requiriendo refuerzo en la cara inferior.

### 3.3.6. Armados estructurales para muro pantalla

- **Definición de Parámetros Geométricos y Mecánicos**

Se inicia con la determinación del peralte efectivo  $d_e$ , restando al espesor de la sección  $h$  la distancia al centroide del refuerzo tal y como se define en la Ecuación 76.

$$z_p = r + \frac{\Phi_p}{2}$$

Ecuación 76. Centroide del refuerzo

Donde

- $z_p$ : Distancia al centroide del refuerzo principal (m)

- $r$ : Recubrimiento libre del concreto (m)
- **Diseño por Flexión (Estado Límite de Resistencia)**

Se calcula el área de acero necesaria para resistir el momento último  $M_u$  obtenido de las combinaciones de carga más críticas (Entre Resistencia I o Evento Extremo I).

#### **Cálculo del refuerzo:**

Se determina el área de acero  $A_s$  mediante el equilibrio de fuerzas internas, asegurando que la cuantía se encuentre entre los límites de acero mínimo y acero máximo para garantizar una falla dúctil.

#### **Factor de reducción ( $\Phi$ ):**

Se aplica según el tipo de análisis (0.9 para flexión en resistencia, o 1.0 en eventos extremos según AASHTO 11.5.8).

- **Verificación de Acero Mínimo**

Para prevenir fallas frágiles tras el agrietamiento, se verifica que el acero proporcionado sea capaz de resistir el menor valor entre:

El momento de agrietamiento  $M_{cr}$ , calculado con el módulo de ruptura ( $f_r$ ) y el módulo de sección ( $S$ ), el 1.33 del momento requerido por el análisis ( $1.33 \cdot M_u$ ).

- **Control de Fisuración (Estado Límite de Servicio)**

Se regula la morfología de la sección agrietada bajo cargas de servicio. El objetivo es distribuir el refuerzo de manera que se generen micro fisuras capilares en lugar de macro fisuras, posteriormente se limita el espaciamiento máximo de las barras ( $s$ ) en función del esfuerzo del acero ( $f_s$ ) y el factor de exposición ambiental ( $\gamma_e$ ), conforme al Art. 5.6.7 de la AASHTO.

- **Refuerzo por Temperatura y Retracción**

Se dispone armadura bidireccional en las caras expuestas para absorber los esfuerzos internos generados por el fraguado y las variaciones térmicas, y es importante mencionar que se sigue el Art. 5.10.6 para calcular el área mínima por metro lineal en cada cara, evitando grietas superficiales que comprometan la durabilidad.

- **Verificación por Cortante**

Se evalúa la capacidad de la sección para resistir esfuerzos de tracción diagonal, y se aplica el Procedimiento General (MCFT) para determinar el factor  $\beta$ , considerando la deformación longitudinal ( $\epsilon_s$ ) y el efecto de tamaño de la sección agrietada ( $s_{xe}$ ) si no se emplea refuerzo transversal.

## Capítulo 4: Desarrollo del Software de Diseño de Muros de Contención.

### 4.1. Objetivo del diseño del software

El objetivo principal de este capítulo es detallar el proceso de creación del software desarrollado para automatizar el diseño de muros de contención a gravedad. La intención detrás de esta herramienta es integrar las dos filosofías de diseño analizadas: ASD y LRFD.

Esto permite que el diseño del muro cumpla con las exigencias de la normativa NEC (para esfuerzos admisibles) y la normativa AASHTO (para estados límite).

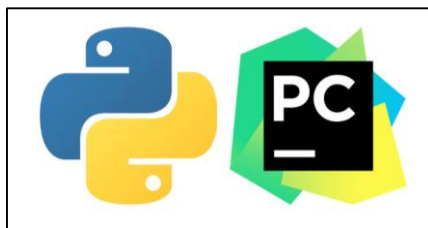
Se busca que el programa procese las variables geométricas y las propiedades del suelo para ejecutar las verificaciones de estabilidad externa.

El software debe validar que el muro sea seguro frente al deslizamiento, volcamiento, excentricidad y capacidad portante, comparando los resultados con los factores de seguridad y factores de carga establecidos por las normativas vigente.

### 4.2. Arquitectura del Software y Tecnologías Utilizadas

Para garantizar que el software sea una herramienta eficiente y con una curva de aprendizaje mínima para el usuario, se optó por una arquitectura basada en el lenguaje Python 3.12.

**Figura 9**  
*Tecnologías utilizadas*



Se seleccionó este lenguaje por su eficiencia en la gestión de datos y su integración con librerías de cálculo, facilitando las iteraciones del diseño estructural.

El software se estructura en las siguientes capas tecnológicas:

#### 4.2.1. Interfaz Gráfica de Usuario (GUI) - Tkinter

El software emplea la librería Tkinter, la cual es el estándar de Python para el desarrollo de interfaces gráficas de usuario (GUI); su implementación se fundamenta en su robustez y facilidad para la creación de aplicaciones de escritorio orientadas a usuarios (Hinojosa,

2016). La seleccionamos por su estabilidad en Windows y su bajo consumo de recursos, lo que permite una navegación fluida por los módulos del software.

La interfaz se desarrolló bajo un enfoque minimalista y limpio. Se eliminaron elementos visuales distractores y colores pasteles, optando por una paleta de colores azul industria, gris oscuro y blanco, que permite una visualización clara de los resultados, pudiendo observar la interfaz en la Figura 10, priorizando así la experiencia de usuario (UI) para lograr una interacción más profesional e intuitiva.

**Gestión de Datos:** El software utiliza campos de entrada dinámicos como se puede observar en la Figura 11 y Figura 12 , que validan la información en tiempo real, asegurando que solo se procesen valores numéricos válidos.

**Figura 10**

*Interfaz principal del software*

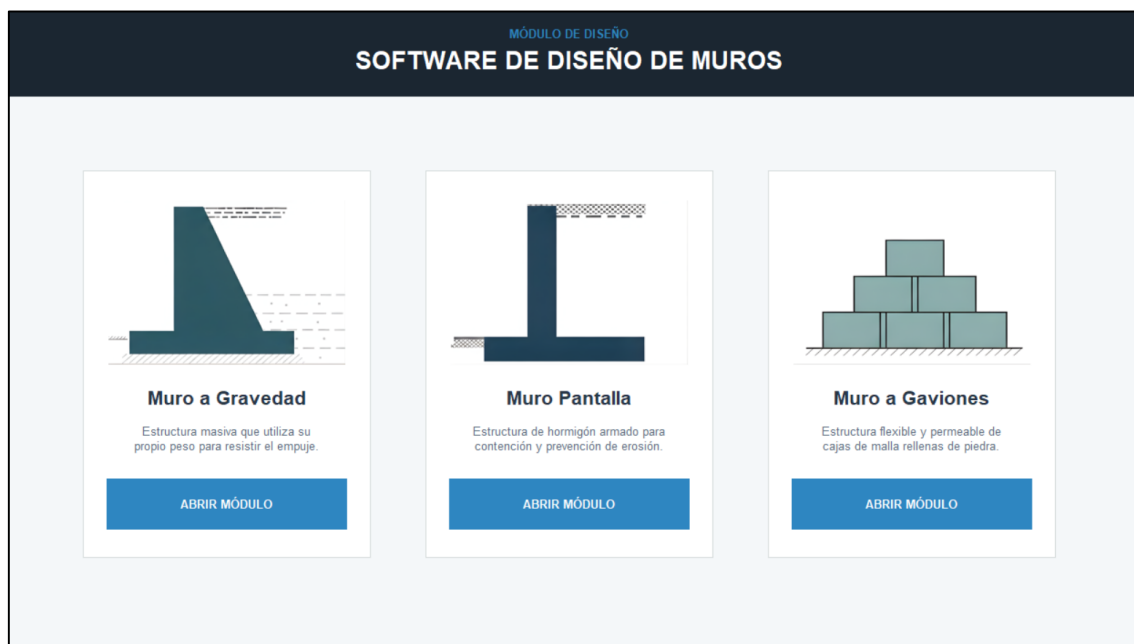


**Figura 11**

*Ingreso de datos (Geometría)*

| Geometría del Muro    |            |       |        |
|-----------------------|------------|-------|--------|
| Nombre                | Variable   | Dato  | Unidad |
| Altura Pantalla       | H:         | 6.00  | m      |
| Base Total            | B:         | 6.80  | m      |
| Espesor Base          | eb:        | 1.20  | m      |
| Longitud Punta        | bp:        | 1.00  | m      |
| Longitud Corona       | ec:        | 0.30  | m      |
| Base Pantalla Frontal | b1:        | 0.50  | m      |
| Longitud Espolón      | be:        | 0.00  | m      |
| Longitud Talón        | bt:        | 5.00  | m      |
| Ángulo Inclinación    | $\alpha$ : | 10.00 | °      |
| Longitud Muro 3D      | L:         | 1.0   | m      |

ACTUALIZAR MODELO

**Figura 12**  
Ingreso de datos (Parámetros técnicos)

| Parámetros Técnicos          |             |        |                     |
|------------------------------|-------------|--------|---------------------|
| Datos para Análisis Estático |             |        |                     |
| Nombre                       | Variable    | Dato   | Unidad              |
| Densidad Muro                | $\rho$ :    | 23.58  | kN/m <sup>3</sup>   |
| Densidad Fund.               | $\rho F$ :  | 19.00  | kN/m <sup>3</sup>   |
| Fricción Fund.               | $\phi F$ :  | 20.00  | °                   |
| Cohesión Fund.               | cF:         | 40.00  | kN/m <sup>2</sup>   |
| Densidad Empuje              | $\rho E$ :  | 18.00  | kN/m <sup>3</sup>   |
| Fricción Empuje              | $\phi E$ :  | 30.00  | °                   |
| Cohesión Empuje              | cE:         | 0      | kN/m <sup>2</sup>   |
| Altura Carga Viva            | heq:        | 0.9144 | m                   |
| Presión admisible            | qu:         | 7.5    | kgf/cm <sup>2</sup> |
| Factor reducción             | $\phi qu$ : | 0.65   | -                   |
| Profundidad desplante        | D:          | 1.7    | m                   |

| Datos para Análisis Sísmico |          |      |        |
|-----------------------------|----------|------|--------|
| Nombre                      | Variable | Dato | Unidad |
| Aceleración roca            | z:       | 0.25 | g      |
| Factor amplificación        | Fa:      | 1.0  | -      |
| Factor reducción            | R:       | 1.0  | -      |

#### 4.2.2. Motor de Visualización y Gráficos Científicos

El software utiliza el motor gráfico Matplotlib para el renderizado dinámico de la geometría (2D y 3D) y la generación de diagramas, validando visualmente el software, estos esquemas se pueden observar en la Figura 13 y Figura 14.

##### **Modelado Geométrico:**

Para la representación en tres dimensiones de la estructura mediante, se utilizó la colección Poly3DCollection, y, asimismo, genera vistas en 2D acotadas por si el usuario requiere una visualización más simple.

**Figura 13**  
*Esquema 3D*

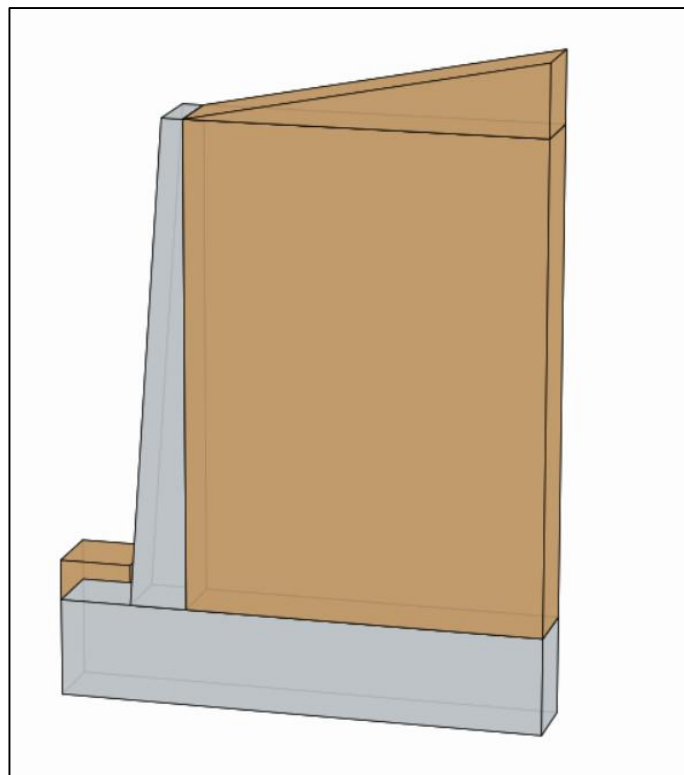
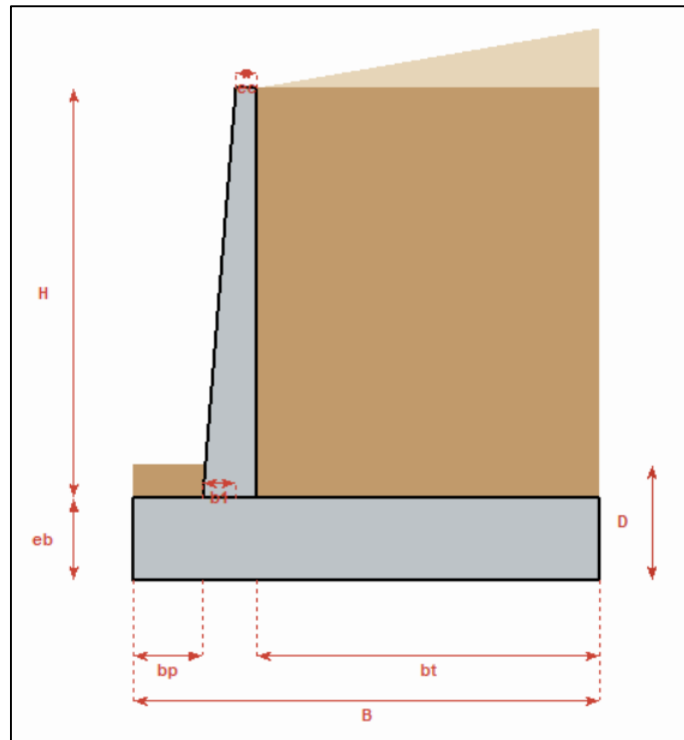


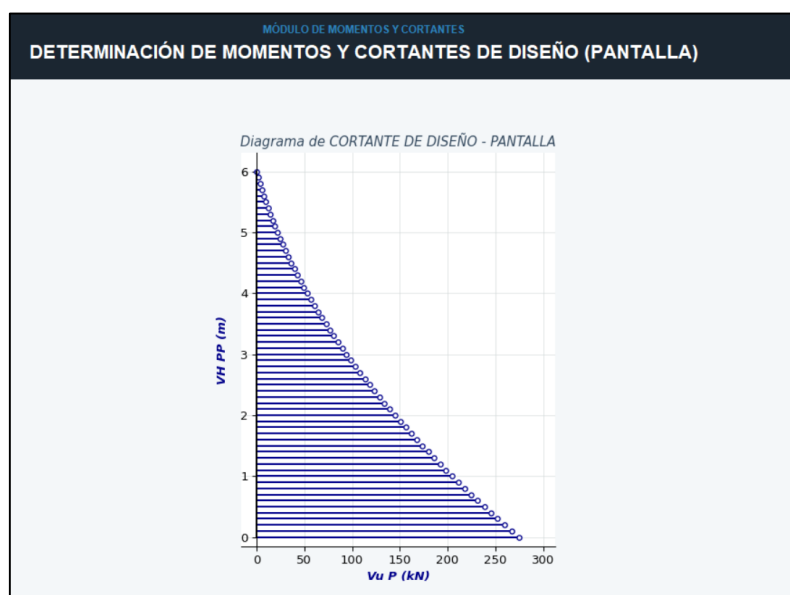
**Figura 14**  
*Esquema 2D*



**Análisis de Esfuerzos:**

El software utiliza diagramas de tipo “STEM”, los permiten representar los esfuerzos mediante líneas verticales que muestran la magnitud del momento y el cortante en cada tramo de la pantalla, talón y punta, como se puede observar en la **Figura 15**

**Figura 15**  
*Diagrama de análisis de esfuerzo*





### 4.2.3. Lógica de Cálculo y Tratamiento Matemático

El núcleo del software se encarga de procesar todas las variables y parámetros ingresados para transformarlas en resultados de estabilidad estática, sísmica y en el caso de muro pantalla, obtención de cortantes y momentos y diseño de armados estructurales. El uso de este lenguaje para el motor de cálculo se respalda en la capacidad comprobada que tiene Python para estructurar y resolver eficientemente operaciones de métodos numéricos y algoritmos matemáticos aplicados a la ingeniería (Arévalo, Bernal, & Posada, 2021).

Esta lógica se divide en tres fases principales:

- **Procesamiento de Empujes y Estabilidad**

El software resuelve de manera automatizada las ecuaciones de equilibrio para determinar las fuerzas estabilizantes (peso propio y suelo) y desestabilizantes (presión lateral de tierras y sobrecargas), como se puede observar en la **Figura 16**. Incluyendo el análisis de incrementos dinámicos por sismo, permitiendo evaluar la estructura bajo escenarios críticos de eventos extremos.

**Figura 16**  
*Fuerzas actuantes*

MODULO SISMICO

DISEÑO ASD/LRFD (SÍSMICO)

Vista de Resultados:

3. Desglose Fuerzas

VER TABLAS NORMATIVAS

DESGLOSE MATEMÁTICO DE FUERZAS ESTÁTICAS Y SÍSMICAS

FUERZAS DE EMPUJE Y SOBRECARGA

| Componente              | Variable    | Fuerza [kN] | Momento [kNm] |
|-------------------------|-------------|-------------|---------------|
| Empuje de Tierra Activo | H=8.07m     | 201.65      | 542.32        |
| Carga Viva Horizontal   | Heq=0.9144m | 46.41       | 187.23        |
| TOTAL DE SESTABILIZANTE |             | 248.06      | 729.55        |

FUERZAS ESTABILIZANTES (ESTÁTICAS)

| Elemento                       | Fuerza [kN] | Momento [kNm] |
|--------------------------------|-------------|---------------|
| Peso Propio Muro (FDC)         | 270.23      | 771.40        |
| Peso Suelo Estabilizante (FEV) | 623.63      | 2768.85       |
| Carga Viva Vertical (FLLV)     | 82.30       | 353.87        |
| Desplante Terreno (FPp)        | 56.00       | 31.73         |

FUERZAS ADICIONALES POR SISMO (EEI)

| Componente                      | Variable | Fuerza [kN] | Momento [kNm] |
|---------------------------------|----------|-------------|---------------|
| Empuje de Tierra (Dinámico PAE) | -        | 67.95       | 326.16        |
| Fuerza de Inercia Muro (PIR)    | -        | 134.08      | 470.43        |

- **Gestión de Combinaciones Normativas**

El motor de cálculo ejecuta simultáneamente las verificaciones bajo las filosofías ASD y LRFD.

El software utiliza los esfuerzos calculados con las tablas de factores de carga y resistencia programadas, determinando automáticamente las ratios de demanda y capacidad (D/C) para cada estado límite, tanto para el caso estático como para el sísmico, como se puede observar en la

**Figura 17**  
*Diseño ASD (Estático)*

| MÓDULO ESTÁTICO                                       |           |         |                                                      |        |
|-------------------------------------------------------|-----------|---------|------------------------------------------------------|--------|
| DISEÑO ASD/LRFD (ESTÁTICO)                            |           |         |                                                      |        |
| DISEÑO ASD ESTÁTICO (Ratios de Demanda/Capacidad D/C) |           |         |                                                      |        |
| 1. CONDICIÓN DE VOLTEO (ASD)                          |           |         |                                                      |        |
| MU:                                                   | 729.5546  | [kN·m]  | (Momento desestabilizante total (estático))          |        |
| MR1:                                                  | 3571.9750 | [kN·m]  | (Momento estabilizante Caso 1)                       |        |
| MR2:                                                  | 3925.8478 | [kN·m]  | (Momento estabilizante Caso 2)                       |        |
| FS V1:                                                | 4.8961    | -       | (Factor de seguridad Caso 1)                         | Cumple |
| FS V2:                                                | 5.3812    | -       | (Factor de seguridad Caso 2)                         | Cumple |
| FS Req:                                               | 3.00      | -       | (Factor de seguridad requerido para VOLTEO ESTÁTICO) |        |
| 2. EXCENTRICIDAD (EMAX < B/6) ASD                     |           |         |                                                      |        |
| eMAX:                                                 | 1.1333    | [m]     | (Excentricidad máxima permitida B/6)                 |        |
| Fv1:                                                  | 893.8540  | [kN]    | (Fuerza vertical total Caso 1)                       |        |
| Fv2:                                                  | 976.1500  | [kN]    | (Fuerza vertical total Caso 2)                       |        |
| e1:                                                   | 0.2200    | [m]     | (Excentricidad calculada Caso 1)                     |        |
| e2:                                                   | 0.1256    | [m]     | (Excentricidad calculada Caso 2)                     |        |
| D/C E1:                                               | 0.1942    | -       | (Ratio demanda capacidad Caso 1)                     | Cumple |
| D/C E2:                                               | 0.1108    | -       | (Ratio demanda capacidad Caso 2)                     | Cumple |
| 3. CAPACIDAD PORTANTE ASD                             |           |         |                                                      |        |
| qADM:                                                 | 478.2375  | [kN/m²] | (Esfuerzo admisible del suelo)                       |        |
| qp1:                                                  | 156.9703  | [kN/m²] | (Carga sobre la punta Caso 1)                        |        |

**Figura 18**  
*Diseño LRFD (Sísmico)*

| MÓDULO SÍSMICO                                           |          |          |           |        |
|----------------------------------------------------------|----------|----------|-----------|--------|
| DISEÑO ASD/LRFD (SÍSMICO)                                |          |          |           |        |
| DISEÑO SÍSMICO LRFD (Extreme Event I)                    |          |          |           |        |
| 1. REVISIÓN A LA CONDICIÓN DE VOLTEO LRFD (SISMO)        |          |          |           |        |
| Extreme Event I                                          | MU [kNm] | MR [kNm] | Ratio D/C | ESTADO |
| 1                                                        | 1175.829 | 3571.975 | 0.329     | Cumple |
| 2                                                        | 1103.698 | 3571.975 | 0.309     | Cumple |
| 3                                                        | 1363.063 | 3571.975 | 0.382     | Cumple |
| 4                                                        | 1290.931 | 3571.975 | 0.361     | Cumple |
| 5                                                        | 1363.063 | 3925.848 | 0.347     | Cumple |
| 6                                                        | 1290.931 | 3925.848 | 0.329     | Cumple |
| 2. REVISIÓN A LA CONDICIÓN DE EXCENTRICIDAD LRFD (SISMO) |          |          |           |        |
| eMAX (B/4): 1.7000 m                                     |          |          |           |        |
| Extreme Event I                                          | Fv [kN]  | e [m]    | Ratio D/C | ESTADO |
| 1                                                        | 893.854  | 0.719    | 0.423     | Cumple |
| 2                                                        | 893.854  | 0.639    | 0.376     | Cumple |
| 3                                                        | 893.854  | 0.929    | 0.546     | Cumple |
| 4                                                        | 893.854  | 0.848    | 0.499     | Cumple |
| 5                                                        | 976.150  | 0.775    | 0.456     | Cumple |
| 6                                                        | 976.150  | 0.701    | 0.412     | Cumple |

- Algoritmos de Diseño Estructural**

En el caso de elementos de hormigón armado, el código obtiene los momentos y cortantes de diseño para cada elemento del muro, como se puede observar en la *Figura 19* y *Figura 20*, para posteriormente integrar funciones que determinan el acero necesario por flexión, por temperatura y validan la resistencia al cortante, asegurando que los espaciamientos de las varillas cumplan.

**Figura 19**  
*Momentos y Cortantes*

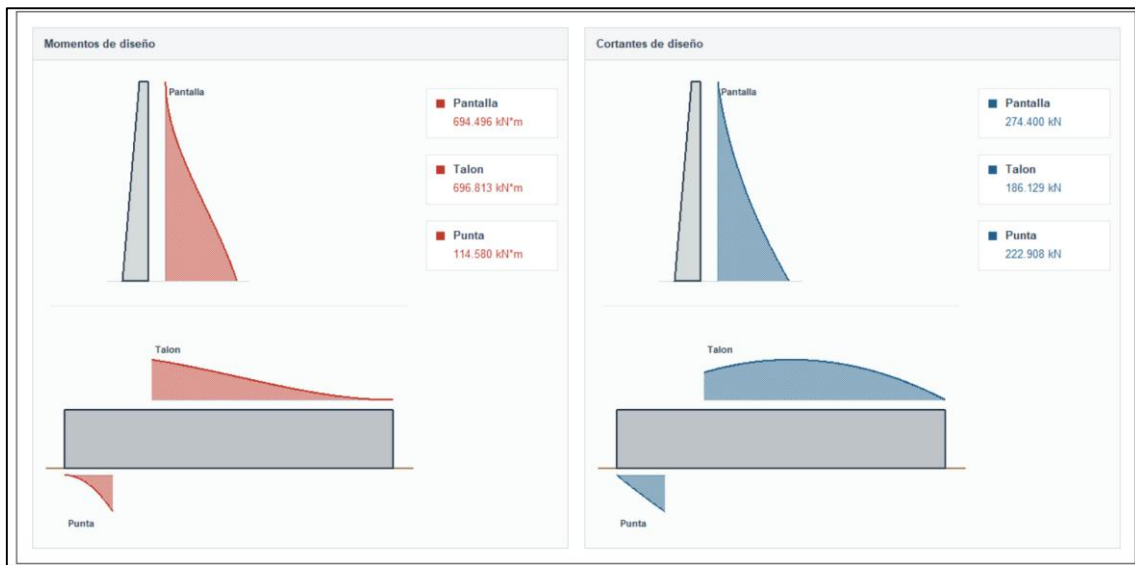


**Figura 20**  
*Diseño de armados*

Acero por flexión

Diámetro varilla principal ( $\phi P$ ):  $\phi 3/4"$  (19.05 mm) 

|        |         |                    |                               |
|--------|---------|--------------------|-------------------------------|
| d P =  | 74.047  | cm                 | Peralte efectivo              |
| a1 P = | 290.112 | cm                 | Primera raíz de Whitney       |
| a2 P = | 6.078   | cm                 | Segunda raíz de Whitney       |
| As P = | 26.384  | cm <sup>2</sup> /m | Cantidad de acero por m       |
| s P =  | 10.803  | cm                 | Separación calculada $\phi P$ |

Acero mínimo

|             |            |                     |                                |
|-------------|------------|---------------------|--------------------------------|
| fr P =      | 29.128     | kgf/cm <sup>2</sup> | Módulo de ruptura del concreto |
| S P =       | 106666.667 | cm <sup>2</sup>     | Módulo de sección              |
| Mcr P =     | 34.176     | tonf·m              | Momento de agrietamiento       |
| 1.33 Mu P = | 94.189     | tonf·m              | 1.33 veces Mu P                |

$\phi P = 19.05 \text{ mm @ } s P = 10.803 \text{ cm}$

#### 4.2.4. Módulo de Reportes Técnicos - FPDF

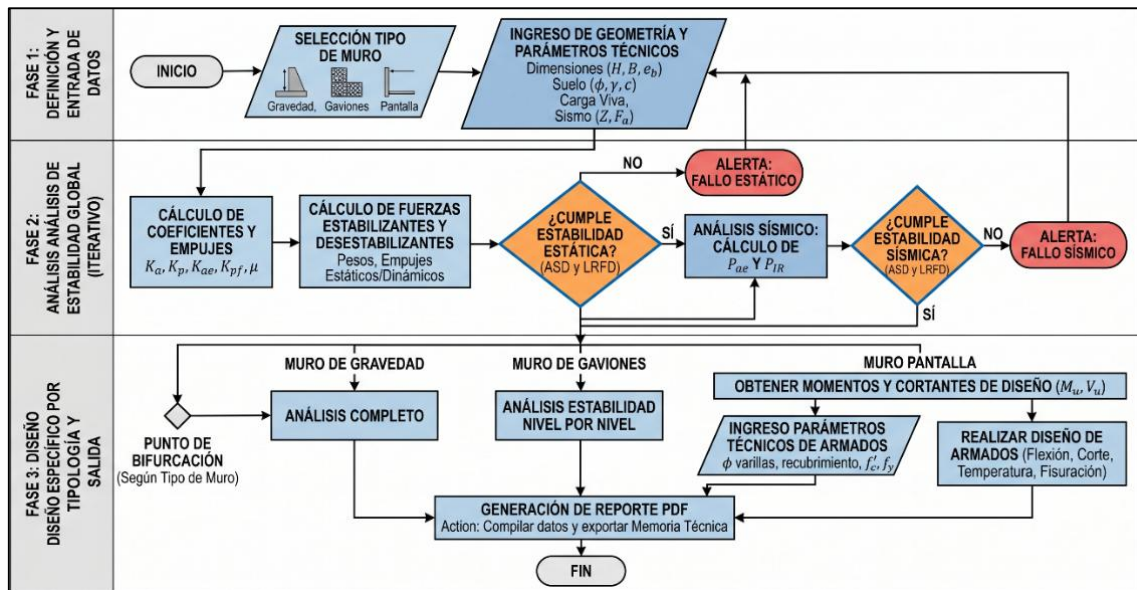
Para cerrar el ciclo de diseño, se integró la librería FPDF, la cual captura el estado final de todos los datos ingresados y las variables obtenidas y los transforma en una memoria de cálculo, así como se puede observar en la Figura 21.

**Figura 21**  
*Ejemplo de memoria de calculo*

| MEMORIA DE CALCULO                |        |         |
|-----------------------------------|--------|---------|
| TIPO DE MURO: PANTALLA            |        |         |
| <b>1. DATOS GEOMETRICOS</b>       |        |         |
| Parametro                         | Valor  | Unidad  |
| Altura Pantalla / Total (H)       | 6.000  | m       |
| Base Total (B)                    | 6.800  | m       |
| Espesor Base (eb)                 | 1.200  | m       |
| Punta (bp)                        | 1.000  | m       |
| Corona (ec)                       | 0.300  | m       |
| Base Pantalla Frontal (b1)        | 0.500  | m       |
| Espolon (be)                      | 0.000  | m       |
| Talon (bt)                        | 5.000  | m       |
| Inclinacion Relleno (alpha)       | 10.000 | grados  |
| L_muro                            | 1.000  | m       |
| <b>2. PARAMETROS TECNICOS</b>     |        |         |
| Parametro Tecnico                 | Valor  | Unidad  |
| Densidad del Muro (rho)           | 23.58  | kN/m3   |
| Densidad Fundacion (rho_f)        | 19.00  | kN/m3   |
| Angulo Friccion Fundacion (phi_f) | 20.00  | grados  |
| Cohesion Fundacion (c_f)          | 40.00  | kN/m2   |
| Densidad Relleno (rho_e)          | 18.00  | kN/m3   |
| Angulo Friccion Relleno (phi_e)   | 30.00  | grados  |
| Cohesion Relleno (c_e)            | 0      | kN/m2   |
| Altura Eq. Carga Viva (heq)       | 0.9144 | m       |
| Capacidad Portante Admisible (qu) | 7.5    | kgf/cm2 |
| Factor de Reduccion (phi_qu)      | 0.65   | -       |
| Prof. Desplante (D)               | 1.7    | m       |
| <b>3. PARAMETROS DEL SISMO</b>    |        |         |
| Parametro Sismico                 | Valor  | Unidad  |
| Aceleracion Roca (z) [g]          | 0.25   | -       |
| Factor Amplificacion (Fa)         | 1.0    | -       |
| Factor Reduccion Sismica (R)      | 1.0    | -       |
| <b>4. COEFICIENTES CALCULADOS</b> |        |         |
| Coefficiente Calculado            | Valor  | Unidad  |
| Coefficiente Activo (Ka)          | 0.3495 | -       |
| Coefficiente Pasivo (Kp)          | 2.7748 | -       |
| Coefficiente Pasivo Fund. (Kpf)   | 2.0396 | -       |
| Coefficiente Friccion (mu)        | 0.2370 | -       |

#### 4.3. Metodología del Software: Diagrama de Flujo del Proceso

**Figura 22**  
Diagrama de flujo



## Capítulo 5: Conclusiones

El presente trabajo permitió desarrollar una herramienta computacional para el diseño estructural de muros de contención a gravedad, integrando criterios normativos internacionales bajo las metodologías ASD y LRFD. La comparación entre ambas metodologías, basadas en la NEC-15 y la AASHTO LRFD 2020, respectivamente, permitió evidenciar diferencias significativas en el dimensionamiento y análisis de este tipo de estructuras.

La filosofía ASD, al basarse en factores de seguridad globales, adopta un criterio más conservador, ya que agrupa en una misma verificación las incertidumbres asociadas a las cargas y a la resistencia del sistema. Esta condición se reflejó en diseños con dimensiones ligeramente mayores, lo que implica un mayor consumo de materiales y puede incidir en costos constructivos más elevados.

En contraste, el método LRFD mostró un enfoque más probabilístico, debido a que utiliza factores diferenciados de carga y resistencia dentro de un esquema de estados límite. Esta metodología permitió evaluar de manera independiente la incertidumbre asociada a cada sollicitación y capacidad resistente, logrando optimizar el dimensionamiento de la estructura sin comprometer las condiciones de seguridad. En consecuencia, los resultados obtenidos mediante LRFD evidenciaron una mayor eficiencia estructural y un mejor aprovechamiento de los materiales. El desarrollo del software constituyó un aporte importante, al integrar en una sola plataforma las metodologías ASD y LRFD para el diseño de muros de contención a gravedad. Esto permitió realizar comparaciones directas entre ambas filosofías de diseño, facilitando la comprensión de sus diferencias conceptuales y normativas. Además, la automatización de los procesos de cálculo redujo significativamente el tiempo requerido para efectuar los análisis iterativos. A ello se suma la ventaja de tratarse de una plataforma libre y de código abierto, disponible en un repositorio de GitHub con el propósito de facilitar su acceso, revisión y uso académico. En dicho repositorio se incluye el código fuente del programa y los archivos necesarios para su ejecución, permitiendo que futuros usuarios puedan consultar, utilizar o mejorar la herramienta desarrollada. El acceso se encuentra disponible en el siguiente enlace:

<https://github.com/sebastianrojasbastian18-gif/Software-muros-contencion>

Finalmente, la capacidad del software para generar reportes técnicos automatizados representa una ventaja importante en los procesos de revisión, fiscalización y

documentación de proyectos, dado que permite obtener memorias de cálculo claras y organizadas.

## Bibliografía

- American Association of State Highway and Transportation Officials. (2020). *American Association of State Highway and Transportation Officials* (9 th ed.). Washington, DC: Autor. Retrieved from <https://store.transportation.org>
- Arévalo, D., Bernal, M., & Posada, J. (2021). *Métodos numéricos con Python*. Bogotá, Colombia: POLI - Politécnico grancolombino.
- Das, B. (2015). *Fundamentos de ingeniería geotécnica - Cuarta edición*. Ciudad de México.
- Das, B. (2019). *Fundamentos de ingeniería de cimentaciones - Séptima edición*. Cengage Learning.
- Das, B. M. (2018). *Principles of Geotechnical Engineering* (9 th ed.). Boston (EE. UU.): Cengage Learning.
- Díaz, R., & Diaz, A. (2021). *Desarrollo de un aplicativo web en Python mostrando la necesidad de la experiencia UI*. Bogotá.
- Dominguez, T. (2022). *Desarrollo de interfaces gráficas en Python 3 con Thinker*. Bogotá: Alphaeditorial Marcombo.
- Fomento, M. d. (2008). *NCSP-07*. Madrid.
- Hinojosa, A. (2016). *PYTHON Paso a paso*. Madrid, España: Ra - Ma.
- Leon, J. (2020). *Creación de software para la línea estructural de ingeniería civil*. Santa Marta.
- MIDUVI. (2015). *Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC-2015)*. Autor.
- Mononobe, N., & Matsuo, H. (1929). On the Determination of Earth Pressure during Earthquake.
- Natamura, S. (2006). REEXAMINATION OF MONONOBE-OKABE THEORY OF GRAVITY. *SOIL AND FOUNDATIONS*.
- Ortiz, R., & Chacón, J. (2022). *Modelación numérica de muros de hormigón armado prefabricados*. Cuenca.
- Pacheco, J. (2014). *Creación de software para la línea estructural de ingeniería civil*. Tesis de grado, Universidad del Azuay, Cuenca.
- Patiño Mora, K. D. (2017). *Comparación entre el método de Mononobe–Okabe y un análisis dinámico tiempo–historia, para muros de contención tipo viga en voladizo, utilizando un registro sismográfico del sismo de Pedernales del 2016*. Trabajo de titulación, Universidad de Cuenca, Cuenca.



- Rodriguez, A. (2020). *PUENTES 2020 - TEXTO DE ARTURO RODRIGUEZ*. Lima: Ediciones Prometeo Desencadenado S.A.C.
- Yazdani. M., A. A. (2013). *Extended “Mononobe-Okabe” method for seismic design of retaining walls*. Journal of Applied Mathematics. Retrieved from <https://doi.org/10.1155/2013/136132>

*Anexo A*  
***GUÍA DE USUARIO DEL SOFTWARE***



**UNIVERSIDAD DEL AZUAY**  
**FACULTAD DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA**  
**ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL**

**SAM v1.0**

**SOFTWARE DE ANÁLISIS DE MUROS**  
**GUÍA DE USUARIO**



Autores

**ROJAS SÁNCHEZ MATEO SEBASTIÁN**  
**SARI DOMÍNGUEZ BRYAM FELIPE**

Director

**ING. ESTEBAN MATEO NARVÁEZ VÁSQUEZ**

**CUENCA – ECUADOR**  
**2026**

## Índice de contenido

|                                                                                              |    |
|----------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| GUÍA DE USUARIO .....                                                                        | 6  |
| 1. Interfaz inicial.....                                                                     | 6  |
| 2. Caso de Estudio Aplicativo: Diseño de Muro Pantalla .....                                 | 6  |
| 2.1. Módulo de ingreso de datos y esquema visual – Pantalla .....                            | 6  |
| 2.2. Módulo Estático – Estabilidad Estática ASD y LRFD (Pantalla) ...                        | 7  |
| 2.3. Módulo Sísmico – Revisión Sísmica (Pantalla) .....                                      | 10 |
| 2.4. Módulo Sísmico – Estabilidad Sísmica ASD y LRFD (Pantalla) .                            | 11 |
| 2.5. Módulo de momentos y cortantes.....                                                     | 12 |
| 2.6. Módulo de momentos y cortantes - Pantalla .....                                         | 13 |
| 2.7. Módulo de momentos y cortantes – Talón .....                                            | 15 |
| 2.8. Módulo de momentos y cortantes – Punta.....                                             | 18 |
| 2.9. Módulo de armados estructurales – Ingreso de parámetros de<br>diseño para armados ..... | 19 |
| 2.10. Módulo de armados estructurales – Diseño de armados<br>estructurales (Pantalla) .....  | 20 |
| 2.11. Módulo de armados estructurales – Diseño de armados<br>estructurales (Talón) .....     | 21 |
| 2.12. Módulo de armados estructurales – Diseño de armados<br>estructurales (Punta) .....     | 22 |
| 2.13. Módulo de armados estructurales – Resumen de diseño de armados<br>estructurales .....  | 23 |
| 3. Diseño de Muro a Gravedad.....                                                            | 24 |
| 4. Diseño de Muro de Gaviones .....                                                          | 26 |

## Índice de figuras

|                                                                              |    |
|------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figura A.1 Interfaz inicial del software.....                                | 6  |
| Figura A.2 Ingreso de datos geométricos y técnicos (Pantalla) .....          | 7  |
| Figura A.3 Esquema visual 3D y 2D del muro (Pantalla) .....                  | 7  |
| Figura A.4 Coeficientes calculados (Pantalla) .....                          | 7  |
| Figura A.5 Visualización de resultados y tabla de fuerzas.....               | 8  |
| Figura A.6 Análisis de diseño ASD Estático (Pantalla) .....                  | 9  |
| Figura A.7 Análisis de diseño LRFD Estático (Pantalla).....                  | 9  |
| Figura A.8 Ejemplo del Cálculo de fuerzas desestabilizantes (Pantalla) ..... | 10 |
| Figura A.9 Revisión Sísmica .....                                            | 11 |
| Figura A.10 Análisis de diseño ASD Sísmico (Pantalla) .....                  | 12 |
| Figura A.11 Análisis de diseño LRFD Sísmico (Pantalla).....                  | 12 |
| Figura A.13 Fuerzas actuantes (Pantalla) .....                               | 13 |
| Figura A.14 Diagrama de fuerza cortante y momento de EH (Pantalla).....      | 14 |
| Figura A.15 Combinaciones de carga para cortante y momento (Pantalla) .....  | 14 |
| Figura A.16 Cortante y Momento de diseño (Pantalla).....                     | 15 |
| Figura A.17 Momento de agrietamiento (Pantalla).....                         | 15 |
| Figura A.18 Diagrama de reacción del suelo .....                             | 16 |
| Figura A.19 Resultante de fuerzas en el talón .....                          | 17 |
| Figura A.20 Cortante y momento de diseño (Talón).....                        | 17 |
| Figura A.21 Fuerzas actuantes sobre la punta .....                           | 18 |
| Figura A.22 Cortante y momento de diseño punta.....                          | 18 |
| Figura A.23 Esquema grafico de momentos y cortantes de diseño .....          | 19 |
| Figura A.24 Ingreso de parámetros técnicos .....                             | 20 |
| Figura A.25 Diseño de armados estructurales (Pantalla) .....                 | 21 |
| Figura A.26 Diseño de armados estructurales (Talón) .....                    | 22 |
| Figura A.27 Diseño de armados estructurales (Punta) .....                    | 23 |
| Figura A.28 Resumen de armados estructurales .....                           | 24 |
| Figura A.29 Ejemplo de generación de PDF (Pantalla) .....                    | 24 |
| Figura A.30 Esquema visual 3D y 2D del muro (Gravedad) .....                 | 25 |
| Figura A.31 Ejemplo de generación de PDF (Gravedad).....                     | 26 |
| Figura A.32 Esquema visual 3D y 2D del muro (Gaviones).....                  | 26 |
| Figura A.33 Ejemplo de revisión por nivel (Gaviones) .....                   | 27 |

|                                                           |    |
|-----------------------------------------------------------|----|
| Figura A.34 Ejemplo de generación de PDF (Gaviones) ..... | 28 |
|-----------------------------------------------------------|----|

# GUÍA DE USUARIO

## 1. Interfaz inicial

El software funciona mediante la navegación por módulos, al seleccionar el tipo de muro deseado, como se puede observar en la Figura A.1 el programa redirige automáticamente al usuario a los módulos correspondientes, optimizando el flujo del diseño.

**Figura A.1**

*Interfaz inicial del software*



## 2. Caso de Estudio Aplicativo: Diseño de Muro Pantalla

Se comenzará el diseño de Muro Pantalla como el primer ejemplo práctico de esta guía debido a que constituye el módulo más completo y exigente del software, posterior a este, se complementará la guía de usuario con los ejemplos de Muro a Gravedad y Gaviones, enfocándose en sus particularidades mecánica

### 2.1. Módulo de ingreso de datos y esquema visual – Pantalla

Este módulo permite definir las propiedades geométricas y técnicas que rigen el diseño del muro.

La interfaz adapta dinámicamente los campos de entrada según el tipo de estructura seleccionada, tal y como se observa en la Figura A.2, facilitando la configuración de la sección transversal (base, corona, punta y talón).

Además, el software genera un esquema visual en tiempo real tanto en 3D como en 2D, siendo este esquema observable en la Figura A.3, permitiendo al usuario validar visualmente la coherencia del diseño antes de procesar los resultados.

**Figura A.2**  
Ingreso de datos geométricos y técnicos (Pantalla)

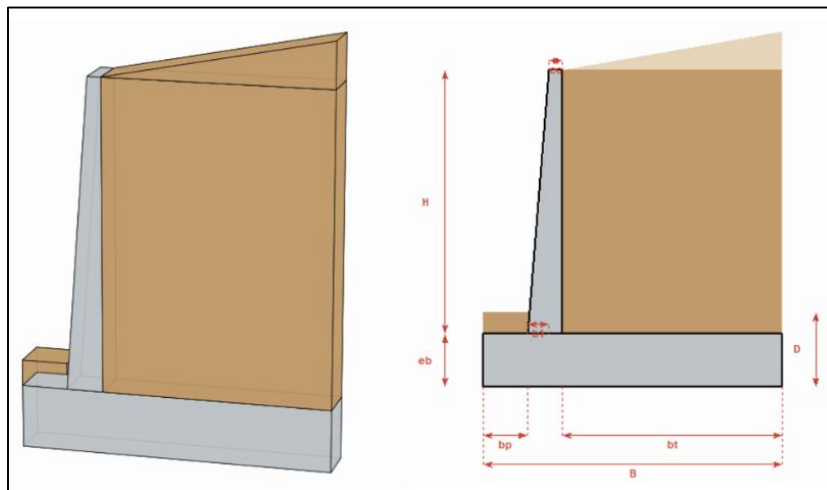
| Geometría del Muro    |            |       |        |
|-----------------------|------------|-------|--------|
| Nombre                | Variable   | Dato  | Unidad |
| Altura Pantalla       | H:         | 6.00  | m      |
| Base Total            | B:         | 6.80  | m      |
| Espesor Base          | eb:        | 1.20  | m      |
| Longitud Punta        | bp:        | 1.00  | m      |
| Longitud Corona       | ec:        | 0.30  | m      |
| Base Pantalla Frontal | bt:        | 0.50  | m      |
| Longitud Espolón      | be:        | 0.00  | m      |
| Longitud Talón        | bt:        | 5.00  | m      |
| Ángulo Inclinación    | $\alpha$ : | 10.00 | °      |
| Longitud Muro 3D      | L:         | 1.0   | m      |

ACTUALIZAR MODELO

| Parámetros Técnicos   |                  |        |                     |
|-----------------------|------------------|--------|---------------------|
| Propiedades del Suelo |                  |        |                     |
| Nombre                | Variable         | Dato   | Unidad              |
| Densidad Muro         | $\rho$ :         | 23.58  | kN/m <sup>3</sup>   |
| Densidad Fund.        | $\rho_f$ :       | 19.00  | kN/m <sup>3</sup>   |
| Fricción Fund.        | $\phi_f$ :       | 20.00  | °                   |
| Cohesión Fund.        | c <sub>f</sub> : | 40.00  | kN/m <sup>2</sup>   |
| Densidad Empuje       | $\rho_e$ :       | 18.00  | kN/m <sup>3</sup>   |
| Fricción Empuje       | $\phi_e$ :       | 30.00  | °                   |
| Cohesión Empuje       | c <sub>e</sub> : | 0      | kN/m <sup>2</sup>   |
| Altura Carga Viva     | heq:             | 0.6096 | m                   |
| Presión admisible     | qu:              | 7.5    | kgf/cm <sup>2</sup> |
| Factor reducción      | $\phi_{qu}$ :    | 0.65   | -                   |
| Profundidad desplante | D:               | 1.7    | m                   |

| Datos para Análisis Sísmico |          |      |        |
|-----------------------------|----------|------|--------|
| Nombre                      | Variable | Dato | Unidad |
| Aceleración roca            | z:       | 0.25 | -      |
| Factor amplificación        | Fa:      | 1.0  | -      |
| Factor reducción            | R:       | 1.0  | -      |

**Figura A.3**  
Esquema visual 3D y 2D del muro (Pantalla)



Asimismo, como se observa en la Figura A.4, el módulo automatiza el cálculo de los coeficientes de empuje (activo y pasivo) y el factor de fricción base.

**Figura A.4**  
Coeficientes calculados (Pantalla)

| Coeficientes Calculados |        |     |        |
|-------------------------|--------|-----|--------|
| KA:                     | 0.3495 | KP: | 2.7748 |
| KPF:                    | 2.0396 | U:  | 0.2370 |

## 2.2. Módulo Estático – Estabilidad Estática ASD y LRFD (Pantalla)

Este módulo automatiza tres instancias críticas del análisis: la determinación de las fuerzas estabilizantes, desestabilizantes y la verificación de la seguridad global mediante las metodologías ASD y LRFD.



Podemos observar en la Figura A.5, que al ingresar se presenta una pestaña desplegable que permite navegar dinámicamente entre los resultados del diseño ASD, el diseño LRFD y el desglose de las fuerzas actuante,

Junto a este selector, se colocó un acceso directo a las tablas de referencia donde se detallan los factores de seguridad y las combinaciones de carga aplicadas según la normativa, mientras que en la parte inferior se visualiza de forma permanente una tabla resumen con el cálculo de fuerzas y momentos.

**Figura A.5**

*Visualización de resultados y tabla de fuerzas*

|                                    |              |                       |
|------------------------------------|--------------|-----------------------|
| Vista de Resultados: 1. Diseño ASD |              | VER TABLAS NORMATIVAS |
| Empuje Tierra (FEH)                | 201.65 kN    |                       |
| Carga Viva Horiz (FLLH)            | 30.94 kN     |                       |
| Peso Muro (FDC)                    | 270.23 kN    |                       |
| Peso Suelo (FEV)                   | 623.63 kN    |                       |
| Carga Viva Vert (FLLV)             | 54.86 kN     |                       |
| Desplante (FPp)                    | 56.00 kN     |                       |
| Momento (MEH)                      | 542.32 kN*m  |                       |
| Momento (MLLH)                     | 124.82 kN*m  |                       |
| Momento (MDC)                      | 771.40 kN*m  |                       |
| Momento (MEV)                      | 2768.85 kN*m |                       |
| Momento (MLLV)                     | 235.92 kN*m  |                       |
| Momento (MPp)                      | 31.73 kN*m   |                       |

En la primera pestaña de este módulo se presenta el análisis detallado del diseño ASD estático, tal y como se observa en la **Figura A.6**, el cual utiliza la formulación descrita en los capítulos anteriores para desglosar todas las variables que intervienen en los estados de falla por volcamiento, excentricidad, capacidad portante y deslizamiento.

Este panel permite un analisis detallado de cada parámetro calculado y emite alertas automáticas sobre el cumplimiento de los factores de seguridad frente a las exigencias de la normativa.

**Figura A.6**  
Análisis de diseño ASD Estático (Pantalla)

| 1. CONDICIÓN DE VOLTEO (ASD)      |           |        |                                                      |        |
|-----------------------------------|-----------|--------|------------------------------------------------------|--------|
| MU:                               | 667.1434  | [kN·m] | (Momento desestabilizante total (estático))          |        |
| MR1:                              | 3571.9750 | [kN·m] | (Momento estabilizante Caso 1)                       |        |
| MR2:                              | 3807.6902 | [kN·m] | (Momento estabilizante Caso 2)                       |        |
| FS V1:                            | 5.3541    | -      | (Factor de seguridad Caso 1)                         | Cumple |
| FS V2:                            | 5.7078    | -      | (Factor de seguridad Caso 2)                         | Cumple |
| FS Req:                           | 3.00      | -      | (Factor de seguridad requerido para VOLTEO ESTÁTICO) |        |
| 2. EXCENTRICIDAD (EMAX < B/6) ASD |           |        |                                                      |        |
| eMAX:                             | 1.1333    | [m]    | (Excentricidad máxima permitida B/6)                 |        |
| Fv1:                              | 893.8540  | [kN]   | (Fuerza vertical total Caso 1)                       |        |
| Fv2:                              | 948.7180  | [kN]   | (Fuerza vertical total Caso 2)                       |        |
| e1:                               | 0.1502    | [m]    | (Excentricidad calculada Caso 1)                     |        |
| e2:                               | 0.0895    | [m]    | (Excentricidad calculada Caso 2)                     |        |
| DIC E1:                           | 0.1325    | -      | (Ratio demanda capacidad Caso 1)                     | Cumple |
| DIC E2:                           | 0.0700    | -      | (Ratio demanda capacidad Caso 2)                     | Cumple |

En la segunda pestaña como se puede observar en la Figura A.7, se despliega el análisis correspondiente al diseño LRFD estático, donde el software evalúa los estados límite de resistencia mediante la aplicación de factores de carga y resistencia específicos para cada combinación crítica.

Esta sección organiza los resultados en tablas comparativas que verifican el desempeño de la estructura frente a los mismos modos de falla del método anterior, pero bajo una filosofía de diseño por factores, permitiendo al usuario confirmar mediante indicadores visuales si las ratios de demanda y capacidad cumplen.

**Figura A.7**  
Análisis de diseño LRFD Estático (Pantalla)

| REVISIÓN A LA CONDICIÓN DE VOLTEO LRFD        |           |           |           |        |
|-----------------------------------------------|-----------|-----------|-----------|--------|
| Strength I                                    | MU [kN·m] | MR [kN·m] | Ratio DIC | ESTADO |
| 0                                             | 667.143   | 3807.690  | 0.175     | Cumple |
| 1                                             | 1031.921  | 3803.553  | 0.263     | Cumple |
| 2                                             | 1031.921  | 4193.541  | 0.246     | Cumple |
| 3                                             | 1031.921  | 4892.649  | 0.211     | Cumple |
| 4                                             | 750.790   | 4875.783  | 0.156     | Cumple |
| 5                                             | 1031.921  | 5162.638  | 0.200     | Cumple |
| 6                                             | 750.790   | 4733.820  | 0.161     | Cumple |
| 7                                             | 1031.921  | 3790.690  | 0.273     | Cumple |
| REVISIÓN A LA CONDICIÓN DE VOLTEO LRFD        |           |           |           |        |
| Strength II                                   | MU [kN·m] | MR [kN·m] | Ratio DIC | ESTADO |
| 0                                             | 667.143   | 3807.690  | 0.175     | Cumple |
| 1                                             | 981.992   | 3829.187  | 0.256     | Cumple |
| 2                                             | 981.992   | 4099.175  | 0.240     | Cumple |
| 3                                             | 981.992   | 4798.283  | 0.205     | Cumple |
| 4                                             | 710.831   | 4782.417  | 0.149     | Cumple |
| 5                                             | 981.992   | 5068.272  | 0.194     | Cumple |
| 6                                             | 710.831   | 4733.820  | 0.150     | Cumple |
| 7                                             | 981.992   | 3790.690  | 0.280     | Cumple |
| REVISIÓN A LA CONDICIÓN DE EXCENTRICIDAD LRFD |           |           |           |        |
| Strength I                                    | Fv [kN]   | e [m]     | Ratio DIC | ESTADO |
| 0                                             | 948.718   | 0.089     | 0.079     | Cumple |
| 1                                             | 962.843   | 0.397     | 0.350     | Cumple |
| 2                                             | 1007.423  | 0.410     | 0.362     | Cumple |
| 3                                             | 1181.113  | 0.131     | 0.118     | Cumple |
| 4                                             | 1181.113  | -0.085    | -0.075    | Cumple |
| 5                                             | 1275.692  | 0.162     | 0.143     | Cumple |
| 6                                             | 1179.680  | 0.032     | 0.028     | Cumple |
| 7                                             | 961.411   | 0.541     | 0.477     | Cumple |
| REVISIÓN A LA CONDICIÓN DE EXCENTRICIDAD LRFD |           |           |           |        |
| Strength II                                   | Fv [kN]   | e [m]     | Ratio DIC | ESTADO |
| 0                                             | 948.718   | 0.089     | 0.079     | Cumple |
| 1                                             | 940.888   | 0.374     | 0.330     | Cumple |
| 2                                             | 1035.477  | 0.390     | 0.344     | Cumple |
| 3                                             | 1158.167  | 0.109     | 0.095     | Cumple |
| 4                                             | 1158.167  | -0.113    | -0.099    | Cumple |
| 5                                             | 1253.747  | 0.141     | 0.124     | Cumple |
| 6                                             | 1179.680  | -0.010    | -0.009    | Cumple |
| 7                                             | 961.411   | 0.489     | 0.431     | Cumple |

Finalmente, en la tercera pestaña el usuario puede acceder al desglose matemático detallado, y si se observa la Figura A.8, se puede ver que esta pestaña explica la procedencia y obtención de cada una de las fuerzas y momentos actuantes en el diseño.

**Figura A.8**  
*Ejemplo del Cálculo de fuerzas desestabilizantes (Pantalla)*

| FUERZAS DE EMPUJE Y SOBRECARGA |             |             |                |  |
|--------------------------------|-------------|-------------|----------------|--|
| Componente                     | Variable    | Fuerza [kN] | Momento [kN*m] |  |
| Empuje de Tierra Activo        | H=8.07m     | 201.65      | 542.32         |  |
| Carga Viva Horizontal          | Hag=0.6096m | 30.94       | 124.82         |  |
| TOTAL DESESTABILIZANTE         |             | 232.59      | 667.14         |  |

| PESO PROPIO DEL MURO |           |             |           |                |
|----------------------|-----------|-------------|-----------|----------------|
| Elemento             | Área [m²] | Fuerza [kN] | Brazo [m] | Momento [kN*m] |
| 1 (Base)             | 8.16      | 192.41      | 3.40      | 654.20         |
| 2 (Pantalla Frontal) | 1.50      | 35.37       | 1.33      | 47.16          |
| 3 (Pantalla Central) | 1.80      | 42.44       | 1.65      | 70.03          |
| TOTAL MURO           |           | 270.23      |           | 771.40         |

| PESO DEL SUELO ESTABILIZANTE |           |             |           |                |
|------------------------------|-----------|-------------|-----------|----------------|
| Elemento                     | Área [m²] | Fuerza [kN] | Brazo [m] | Momento [kN*m] |
| 1 (Talón)                    | 30.00     | 540.00      | 4.30      | 2322.00        |
| 3 (Relleno inclinado)        | 2.17      | 39.07       | 5.13      | 200.56         |
| 4 (Punta)                    | 0.50      | 9.00        | 0.50      | 4.50           |
| 5 (Pv - Empuje Vertical)     | -         | 35.56       | 6.80      | 241.78         |
| TOTAL SUELO                  |           | 623.63      |           | 2768.85        |

| FUERZAS ESTABILIZANTES ADICIONALES |             |                |
|------------------------------------|-------------|----------------|
| Componente                         | Fuerza [kN] | Momento [kN*m] |
| Carga Viva Vertical (LLV)          | 54.864      | 235.915        |
| Desplante del Terreno (Pasivo)     | 56.00       | 31.73          |

### 2.3. Módulo Sísmico – Revisión Sísmica (Pantalla)

Una vez validada la estabilidad en condiciones normales, el software permite evaluar el comportamiento de la estructura ante eventos sísmicos, este módulo automatiza el cálculo de las fuerzas generadas por estos eventos y la verificación de la estabilidad global considerando estas respectivas fuerzas.

Esta sección, que se encuentra en la Figura A.9, calcula automáticamente el incremento dinámico del empuje (PAE), utilizando la formulación de Mononobe Okabe, e igualmente en esta sección el software determina por sí solo el centro de gravedad de cada componente, calculando así de manera precisa las fuerzas inerciales del muro (PIR).

**Figura A.9**  
*Revisión Sísmica*

**1. PARÁMETROS DINÁMICOS Y COEFICIENTES (Mononobe-Okabe)**

**ÁNGULOS PARA REVISIÓN SÍSMICA**

|              |         |          |                                                    |
|--------------|---------|----------|----------------------------------------------------|
| $\delta_a$ : | 20.0000 | [grados] | (Ángulo de fricción muro-suelo)                    |
| $\beta$ :    | 0.0000  | [grados] | (Inclinación del respaldo del muro)                |
| $i$ :        | 10.0000 | [grados] | (Inclinación del relleno)                          |
| $\theta$ :   | 9.2110  | [grados] | (Ángulo inercial sísmico ( $\arctan(Kh / 1-Kv)$ )) |

**COEFICIENTES DE EMPUJE SÍSMICO**

|            |          |   |                                                                     |
|------------|----------|---|---------------------------------------------------------------------|
| $K_h$ :    | 0.1500   | - | (Coeficiente de aceleración horizontal ( $0.6 \cdot Z \cdot F_a$ )) |
| $K_v$ :    | 0.0750   | - | (Coeficiente de aceleración vertical ( $0.5 \cdot K_h$ ))           |
| $K_{AE}$ : | 0.340022 | - | (Coeficiente de empuje activo estático (Coulomb))                   |
| $K_{AD}$ : | 0.549747 | - | (Coeficiente de empuje dinámico (Mononobe-Okabe))                   |

**2. DETERMINACIÓN DEL CENTRO DE GRAVEDAD (CG)**

**CENTRO DE GRAVEDAD - MURO**

| Elemento / Figura | b [m] | h [m] | Área [m²] | y_cg [m]                |
|-------------------|-------|-------|-----------|-------------------------|
| 1 (Base)          | 6.80  | 1.20  | 8.16      | 0.60                    |
| 2 (Pant. Frontal) | 0.50  | 6.00  | 1.50      | 3.20                    |
| 3 (Pant. Central) | 0.30  | 6.00  | 1.80      | 4.20                    |
| <b>TOTAL MURO</b> | -     | -     | 11.46     | y <sub>cg</sub> : 1.506 |

**CENTRO DE GRAVEDAD - SUELO ESTABILIZANTE**

| Elemento / Figura  | b [m] | h [m] | Área [m²] | y_cg [m]                |
|--------------------|-------|-------|-----------|-------------------------|
| 1 (Talón)          | 5.00  | 6.00  | 30.00     | 4.20                    |
| 3 (Relleno Inc.)   | 5.00  | 0.87  | 2.17      | 7.49                    |
| 4 (Punta)          | 1.00  | 0.50  | 0.50      | 1.45                    |
| <b>TOTAL SUELO</b> | -     | -     | 32.67     | y <sub>cg</sub> : 4.376 |

**3. FUERZAS Y MOMENTOS INDUCIDOS POR SISMO**

**EMPUJES DE TIERRA DINÁMICOS**

|                 |          |       |                                               |
|-----------------|----------|-------|-----------------------------------------------|
| $E_{AE}$        | 110.1673 | [kNm] | (Empuje activo estático Coulomb)              |
| $E_{AD}$        | 178.1180 | [kNm] | (Empuje activo total dinámico Mononobe-Okabe) |
| $\Delta E_{AD}$ | 67.9507  | [kNm] | (Incremento dinámico ( $E_{AD} - E_{AE}$ ))   |

**FUERZAS DE ESTABILIZANTES ADICIONALES (SISMO)**

| Componente                          | Variable              | Fuerza [kN] | Momento [kNm] |
|-------------------------------------|-----------------------|-------------|---------------|
| Empuje de Inercia del Muro (PIR)    | $M_{suelo} \cdot K_h$ | 134.078     | 470.426       |
| Incremento Dinámico del Suelo (PAE) | $\Delta E_{AD}$       | 67.951      | 326.163       |

## 2.4. Módulo Sísmico – Estabilidad Sísmica ASD y LRFD (Pantalla)

Al pasar al análisis sísmico, la interfaz mantiene la misma estructura y facilidad de navegación, que el módulo estático, así como podemos observar en la Figura A.10 y permitiendo al usuario alternar entre las metodologías de diseño mediante el selector de vistas.

La diferencia principal en esta sección es la incorporación de las fuerzas dinámicas calculadas previamente: el incremento del empuje del suelo (PAE) y la fuerza de inercia de la estructura (PIR), las cuales se suman al calculo para evaluar la estabilidad del muro en la condición más crítica.

En el caso del diseño ASD, el software verifica que los factores de seguridad sigan cumpliendo los mínimos exigidos ante el sismo.

**Figura A.10**  
Análisis de diseño ASD Sísmico (Pantalla)

| 3. CAPACIDAD PORTANTE ASD SÍSMICO |          |                     |                                           |        |
|-----------------------------------|----------|---------------------|-------------------------------------------|--------|
| qu:                               | 735.7500 | [kNm <sup>2</sup> ] | [Capacidad última nominal del suelo]      |        |
| qADM:                             | 478.2375 | [kNm <sup>2</sup> ] | [Esfuerzo admisible (qu * phi)]           |        |
| qp1:                              | 252.2357 | [kNm <sup>2</sup> ] | [Carga sobre la punta Caso 1]             |        |
| qt1:                              | 10.6626  | [kNm <sup>2</sup> ] | [Carga sobre el talón Caso 1]             |        |
| qp2:                              | 253.8968 | [kNm <sup>2</sup> ] | [Carga sobre la punta Caso 2]             |        |
| qt2:                              | 25.1379  | [kNm <sup>2</sup> ] | [Carga sobre el talón Caso 2]             |        |
| DIC P1:                           | 1.8960   | -                   | [Ratio demanda capacidad portante Caso 1] | Cumple |
| DIC P2:                           | 1.8836   | -                   | [Ratio demanda capacidad portante Caso 2] | Cumple |
| FS:                               | 1.50     | -                   | [Factor de seguridad ASD Sísmico]         |        |

| 4. DESLIZAMIENTO ASD SÍSMICO |          |      |                                                      |        |
|------------------------------|----------|------|------------------------------------------------------|--------|
| k=                           | 0.6667   | -    | [Factor de reducción de fricción y cohesión]         |        |
| FU:                          | 434.6208 | [kN] | [Fuerza desestabilizante total (incluye sismo)]      |        |
| FR1:                         | 562.6668 | [kN] | [Fuerza estabilizante Caso 1]                        |        |
| FR2:                         | 582.6357 | [kN] | [Fuerza estabilizante Caso 2]                        |        |
| DIC H1:                      | 1.2946   | -    | [Ratio demanda capacidad Caso 1]                     | Cumple |
| DIC H2:                      | 1.3406   | -    | [Ratio demanda capacidad Caso 2]                     | Cumple |
| FS:                          | 1.05     | -    | [Factor de seguridad ASD Sísmico para deslizamiento] |        |

Por otro lado, para el diseño LRFD, el programa selecciona automáticamente la combinación de carga de Evento Extremo (Extreme Event I), ajustando los factores de carga y resistencia según la normativa para validar que el muro soporte las solicitaciones sísmicas.

**Figura A.11**  
Análisis de diseño LRFD Sísmico (Pantalla)

### 3. REVISIÓN DE LA CAPACIDAD PORTANTE LRFD (Sismo)

q<sub>ADM</sub>: 478.2375 [kN/m<sup>2</sup>] (Esfuerzo admisible del suelo)

#### CIMENTADO SOBRE SUELO

| Evento (Event) | qv max [kN/m <sup>2</sup> ] | qv min [kN/m <sup>2</sup> ] | Ratio DIC | ESTADO |
|----------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------|--------|
| 1              | 165.721                     |                             | 0.349     | Cumple |
| 2              | 161.840                     |                             | 0.338     | Cumple |
| 3              | 175.863                     |                             | 0.369     | Cumple |
| 4              | 170.469                     |                             | 0.359     | Cumple |
| 5              | 176.493                     |                             | 0.371     | Cumple |
| 6              | 174.474                     |                             | 0.369     | Cumple |

#### CIMENTADO SOBRE ROCA (DENTRO TERCIO CENTRAL)

| Evento (Event) | qv max [kN/m <sup>2</sup> ] | qv min [kN/m <sup>2</sup> ] | Ratio DIC | ESTADO |
|----------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------|--------|
| 1              | 214.870                     | 43.820                      | 0.449     | Cumple |
| 2              | 205.619                     | 57.380                      | 0.450     | Cumple |
| 3              | 231.075                     | 31.824                      | 0.463     | Cumple |
| 4              | 221.715                     | 41.163                      | 0.464     | Cumple |
| 5              | 232.736                     | 45.299                      | 0.467     | Cumple |
| 6              | 223.376                     | 55.659                      | 0.467     | Cumple |

#### CIMENTADO SOBRE ROCA (FUERA TERCIO CENTRAL)

| Evento (Event) | qv max [kN/m <sup>2</sup> ] | qv min [kN/m <sup>2</sup> ] | Ratio DIC | ESTADO |
|----------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------|--------|
| 1              | 222.294                     | 0.000                       | 0.465     | Cumple |
| 2              | 215.796                     | 0.000                       | 0.461     | Cumple |
| 3              | 234.511                     | 0.000                       | 0.480     | Cumple |
| 4              | 227.283                     | 0.000                       | 0.475     | Cumple |
| 5              | 239.325                     | 0.000                       | 0.500     | Cumple |
| 6              | 232.632                     | 0.000                       | 0.488     | Cumple |

### 4. REVISIÓN DE DESPLAZAMIENTO LRFD (SISMO)

| Evento (Event) | Fd [kN] | FR1 [kN] | FR2 [kN] | Ratio DIC | ESTADO |
|----------------|---------|----------|----------|-----------|--------|
| 1              | 369.704 | 483.847  | 483.461  | 0.769     | Cumple |
| 2              | 336.840 | 483.847  | 483.461  | 0.726     | Cumple |
| 3              | 400.845 | 483.847  | 483.461  | 0.814     | Cumple |
| 4              | 367.682 | 483.847  | 483.461  | 0.765     | Cumple |
| 5              | 400.845 | 496.893  | 476.164  | 0.843     | Cumple |
| 6              | 367.682 | 496.893  | 475.154  | 0.774     | Cumple |

## 2.5. Módulo de momentos y cortantes

Este módulo está conformado por tres pestañas dedicadas a la determinación de los momentos y cortantes de diseño para cada elemento del muro (Pantalla, Talón y Punta).

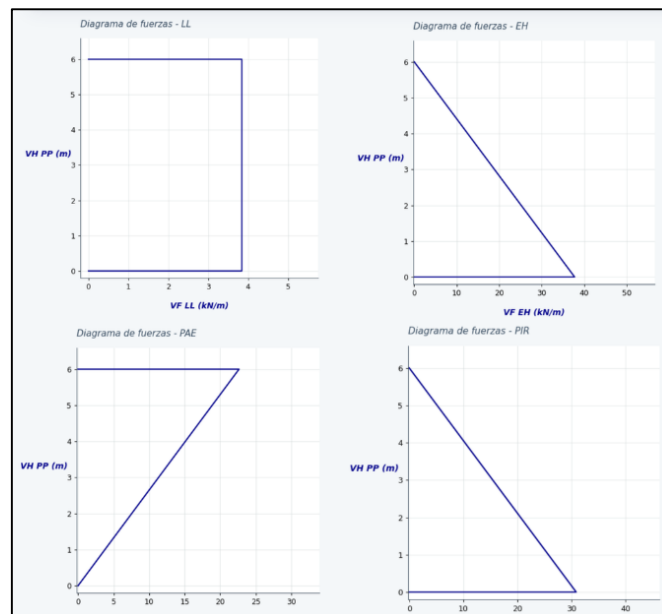
En cada sección, como se puede observar, el software evalúa las fuerzas actuantes en cada elemento con el objetivo de identificar las solicitaciones más demandantes, tal y como se puede observar para pantalla en la Figura A.12, para talón en la Figura A.17, Figura A.18, y Figura A.19, y para punta la Figura A.21.

Y al procesar automáticamente todas las combinaciones estáticas y sísmicas, el software selecciona los valores de esfuerzo más altos para generar los diagramas finales de diseño, garantizando que el acero de refuerzo se calcule para resistir las condiciones más críticas y exigentes a las que estará sometida la estructura, así como se puede visualizar para pantalla en la Figura A.15 y Figura A.16, para talón en la Figura A.20 y para punta en la Figura A.22,

## 2.6. Módulo de momentos y cortantes - Pantalla

La pestaña de pantalla se divide en 3 secciones, la primera siendo la obtención de los diagramas de fuerzas actuantes (Carga viva, Empuje horizontal, PAE y PIR).

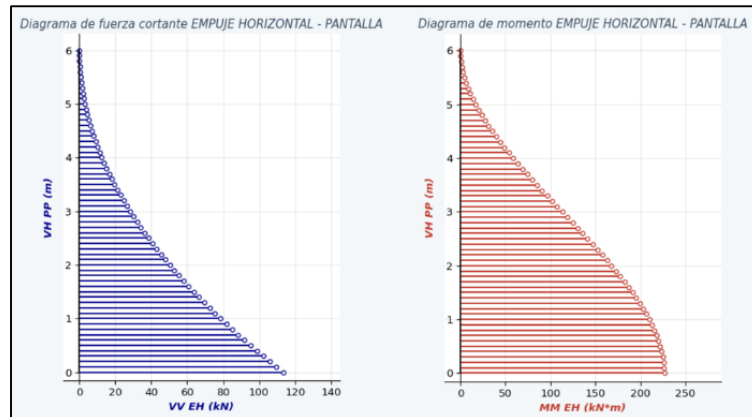
**Figura A.12**  
*Fuerzas actuantes (Pantalla)*



La segunda pestaña se enfoca en la obtención de los momentos y cortantes generados por cada fuerza individual que actúa sobre el muro, ofreciendo un desglose detallado de su comportamiento.

**Figura A.13**

*Diagrama de fuerza cortante y momento de EH (Pantalla)*



Finalmente, en la tercera pestaña se visualiza una tabla que resume el cortante y momento máximo de cada componente que actúa sobre la pantalla.

A partir de este valor, el software realiza automáticamente las combinaciones para los casos estático y sísmico, permitiendo obtener el cortante y momento de diseño definitivos.

**Figura A.14**

*Combinaciones de carga para cortante y momento (Pantalla)*

| Componente           | Cortante Máx [kN] | Momento Máx [kN*m] |
|----------------------|-------------------|--------------------|
| Carga Viva (LL)      | 23.010            | 69.030             |
| Empuje Tierra (EH)   | 113.238           | 226.476            |
| Aporte Sísmico (PAE) | 67.951            | 271.803            |
| Inercia Muro (PIR)   | 92.672            | 185.344            |

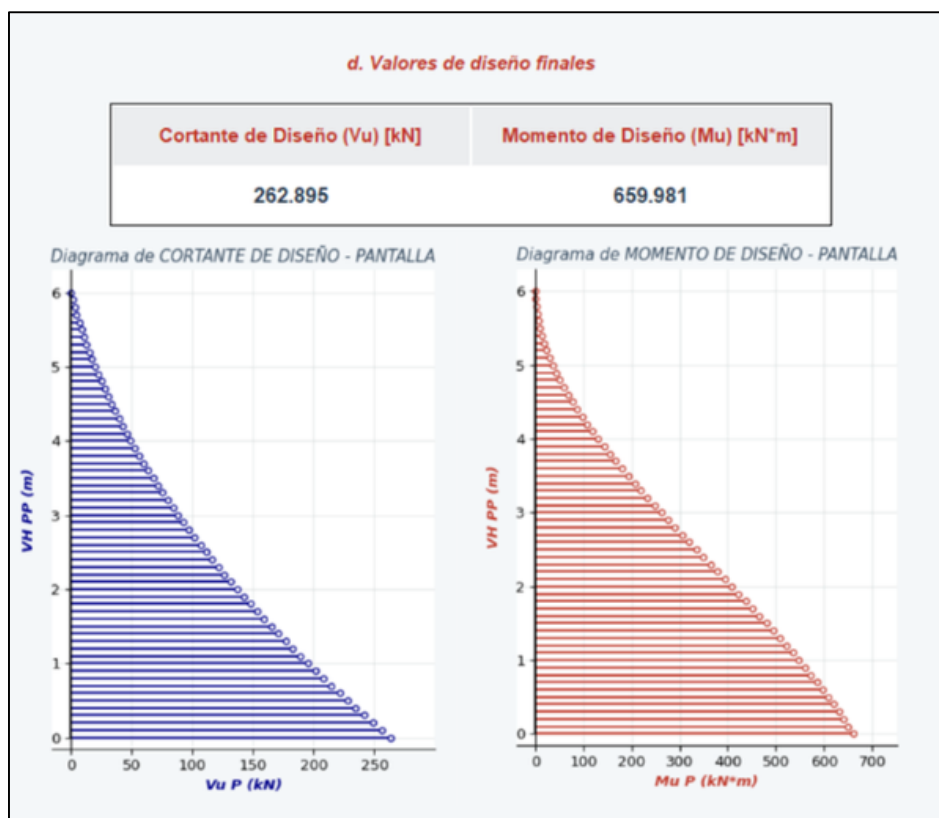
  

| Combinación Cortante - Strength I |            | Combinación Cortante - Extreme I |            |
|-----------------------------------|------------|----------------------------------|------------|
| Caso LRFD                         | Valor [kN] | Caso LRFD                        | Valor [kN] |
| S (Servicio)                      | 136.248    | 1                                | 239.885    |
| 1                                 | 210.124    | 2                                | 227.525    |
| 2                                 | 210.124    | 3                                | 262.895    |
| 3                                 | 210.124    | 4                                | 250.535    |
| 4                                 | 153.505    | 5                                | 262.895    |
| 5                                 | 210.124    | 6                                | 250.535    |
| 6                                 | 153.505    |                                  |            |
| 7                                 | 210.124    |                                  |            |

| Combinación Momento - Strength I |              | Combinación Momento - Extreme I |              |
|----------------------------------|--------------|---------------------------------|--------------|
| Caso LRFD                        | Valor [kN*m] | Caso LRFD                       | Valor [kN*m] |
| S (Servicio)                     | 295.506      | 1                               | 547.722      |
| 1                                | 460.516      | 2                               | 590.951      |
| 2                                | 460.516      | 3                               | 616.751      |
| 3                                | 460.516      | 4                               | 659.981      |
| 4                                | 347.278      | 5                               | 616.751      |
| 5                                | 460.516      | 6                               | 659.981      |
| 6                                | 347.278      |                                 |              |
| 7                                | 460.516      |                                 |              |

**Figura A.15**  
Cortante y Momento de diseño (Pantalla)



Una vez determinados los esfuerzos de diseño, el software calcula el momento de agrietamiento de la sección para utilizarlo más adelante en el diseño de armados.

**Figura A.16**  
Momento de agrietamiento (Pantalla)



## 2.7. Módulo de momentos y cortantes – Talón

La pestaña de talón se divide en dos, en general en esta sección se realiza el mismo proceso que vimos en la pantalla, pero aplicado específicamente al talón del muro.

En la primera pestaña el software analiza cómo influyen las cargas verticales, para encontrar los puntos de mayor esfuerzo, el software analiza tanto la reacción que se genera en el suelo, como las fuerzas verticales actuando en el talón, aplicando para estas la combinación de cargas para el caso estático y sísmico y así determinar el caso más crítico, y así finalmente encontrar una resultante de fuerzas.



Figura A.17  
Diagrama de reacción del suelo

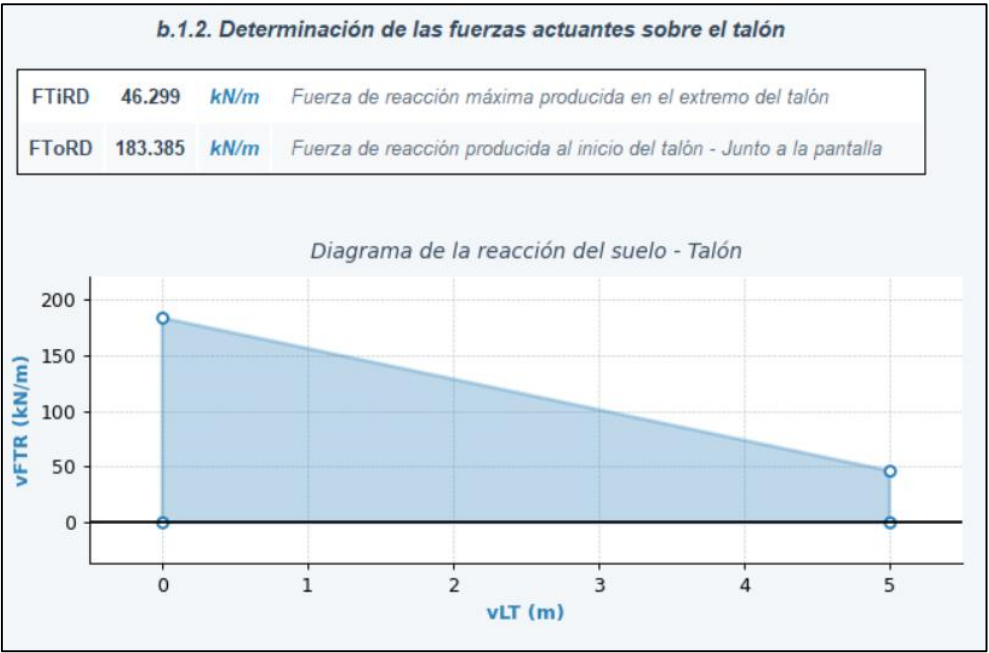


Figura A.18  
Diagrama de fuerzas verticales en el talón

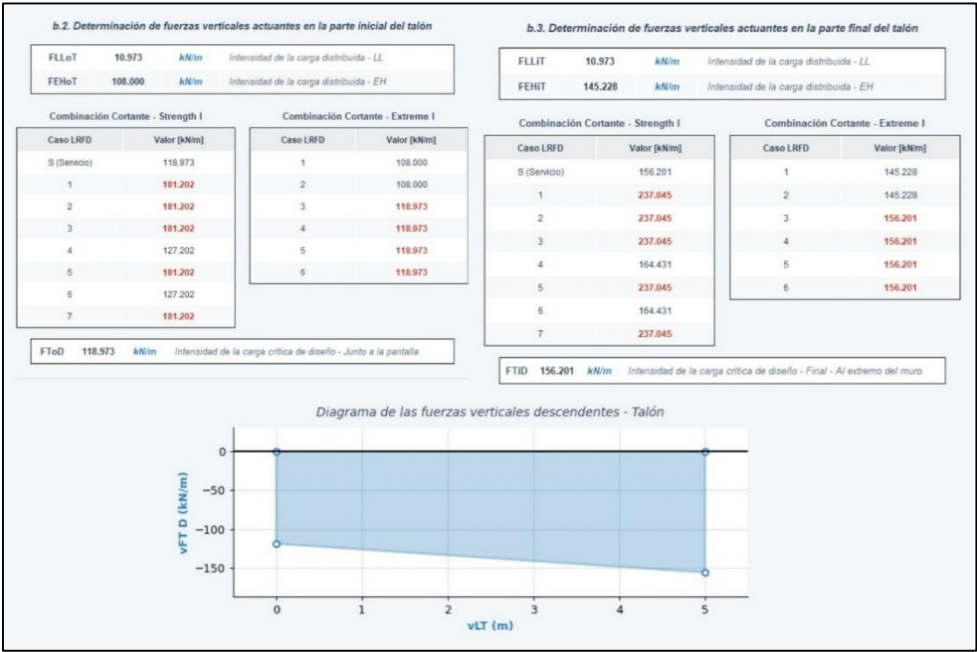
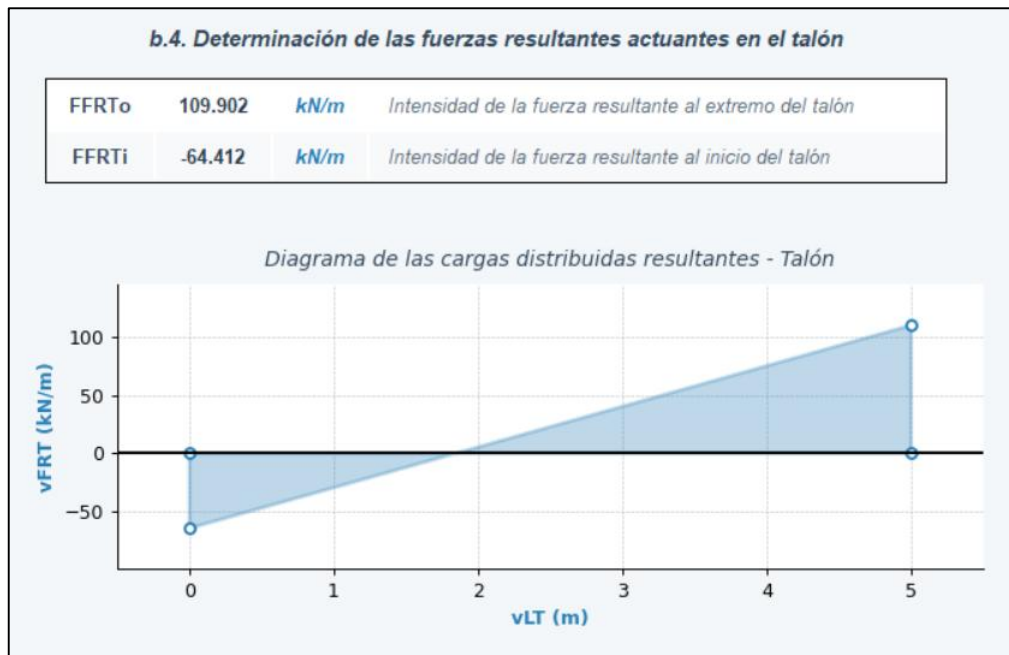


**Figura A.19**  
*Resultante de fuerzas en el talón*



Finalmente, la segunda pestaña se encarga de determinar los momentos y cortantes en el talón, y el software se encarga de seleccionar los más críticos.

**Figura A.20**  
*Cortante y momento de diseño (Talón)*

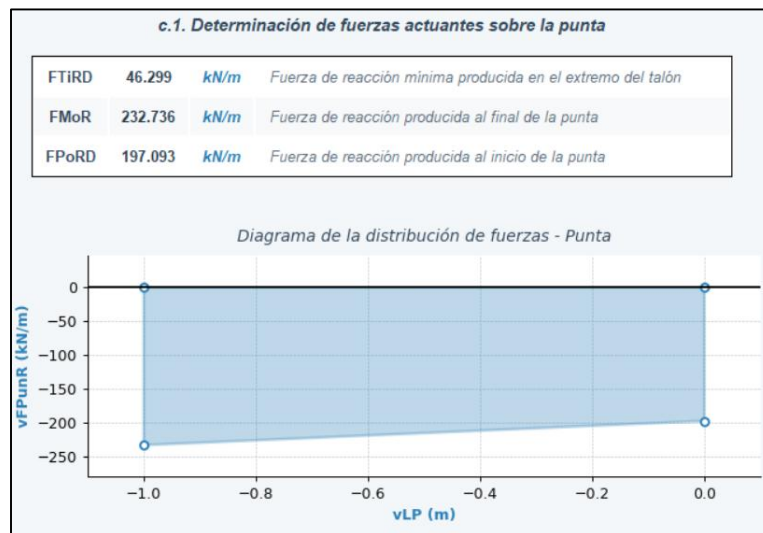


## 2.8. Módulo de momentos y cortantes – Punta

La pestaña de punta igualmente se divide en dos, la primera siendo donde el software calcula las fuerzas actuantes sobre la punta, que en este caso solamente se trata de la reacción producida en la punta.

**Figura A.21**

*Fuerzas actuantes sobre la punta*



Y su segunda pestaña se trata de la obtención de los diagramas de cortante y momento de diseño.

**Figura A.22**

*Cortante y momento de diseño punta*



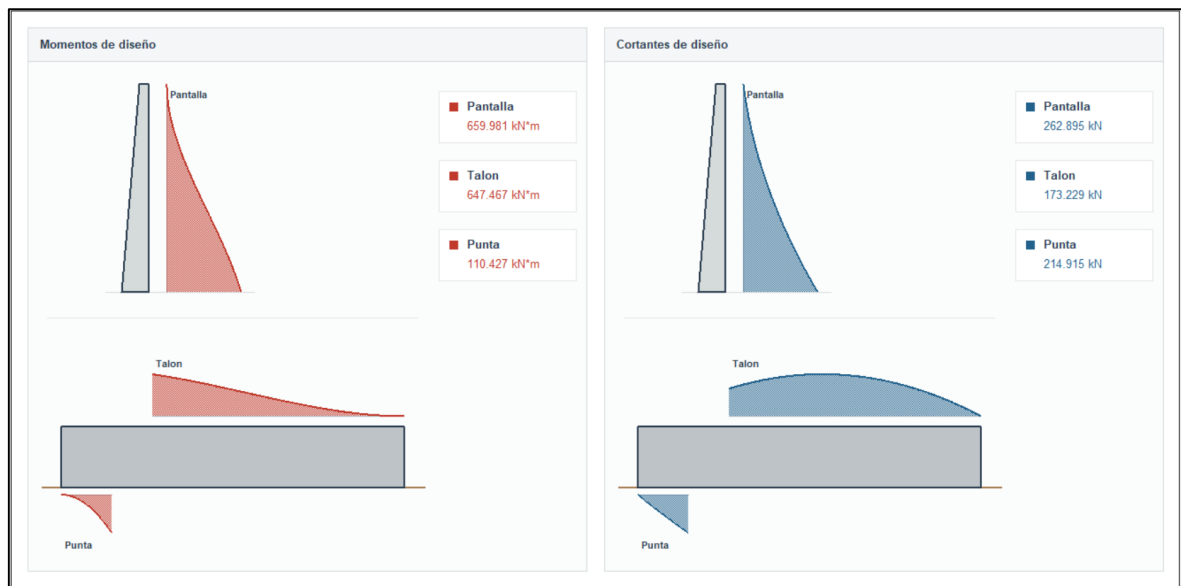
## 2.9. Módulo de armados estructurales – Ingreso de parámetros de diseño para armados

Al ingresar a este módulo, lo primero que se visualiza en la Figura A.23, es un esquema que muestra cómo actúan los momentos y cortantes de diseño en la estructura, acompañado de una tabla resumen con los valores obtenidos en el módulo anterior.

Esta vista permite al usuario confirmar los datos de entrada antes de proceder con el detallamiento del acero.

**Figura A.23**

*Esquema grafico de momentos y cortantes de diseño*



En esta misma sección, como se observa en la Figura A.24, es necesario ingresar los parámetros fundamentales para el diseño de armados, como la resistencia del concreto ( $f'_c$ ), el límite de fluencia del acero ( $f_y$ ) y los recubrimientos libres.

**Figura A.24**  
*Ingreso de parámetros técnicos*

| Nombre                                   | Variable     | Dato      | Unidad              |
|------------------------------------------|--------------|-----------|---------------------|
| Resistencia a la compresión del concreto | f'c:         | 210       | kgf/cm <sup>2</sup> |
| Esfuerzo de fluencia del acero           | fy:          | 4200      | kgf/cm <sup>2</sup> |
| Módulo de elasticidad del concreto       | Ec:          | 218819.79 | kgf/cm <sup>2</sup> |
| Módulo de elasticidad del acero          | Es:          | 2040000   | kgf/cm <sup>2</sup> |
| Recubrimiento de la pantalla             | rp:          | 5         | cm                  |
| Recubrimiento de la zapata               | rz:          | 7.5       | cm                  |
| Ancho de diseño                          | b:           | 100       | cm                  |
| Factor de flexión                        | $\phi_f$ :   | 0.90      | -                   |
| Factor de corte                          | $\phi_v$ :   | 0.90      | -                   |
| Factor $\beta_1$                         | $\beta_1$ :  | 0.85      | -                   |
| Factor exposición severa                 | $\gamma_e$ : | 0.75      | -                   |

## 2.10. Módulo de armados estructurales – Diseño de armados estructurales (Pantalla)

En esta pestaña se realiza el cálculo específico del refuerzo de acero para la pantalla del muro, como se puede ver de manera detallada en la Figura A.25.

El software utiliza el momento de diseño y el momento de agrietamiento obtenidos anteriormente para determinar el área de acero necesaria ( $A_s$ ), y así realizar las comprobaciones para flexión, después temperatura y por último la revisión a corte.

La interfaz permite al usuario seleccionar de manera interactiva el diámetro de la varilla que desea emplear (por ejemplo, 1/2", 5/8", etc.), y el programa calcula automáticamente la separación requerida para cubrir la demanda estructural.

**Figura A.25**  
Diseño de armados estructurales (Pantalla)

### Dimensiones de Diseño - Pantalla

|        |      |    |                               |
|--------|------|----|-------------------------------|
| IP=lt: | 6.00 | m  | Longitud de la viga de diseño |
| tpac:  | 50   | cm | Base - Pantalla               |
| ec:    | 30   | cm | Espesor - Corona              |
| hgc:   | 80   | cm | Altura viga de diseño         |
| lt:    | 1.00 | m  | Ancho para elementos          |
| lt:    | 2.50 | m  | Altura H                      |
| at:    | 0.13 | m  | Ancho tributario de diseño    |

### Acero por flexión

Díámetro varilla principal (qP):  $\phi$  3/4" (19.05 mm)

|        |         |                   |                         |
|--------|---------|-------------------|-------------------------|
| d P =  | 74.047  | cm                | Paralelo efectivo       |
| a1 P = | 290.420 | cm                | Primera raíz de Whitney |
| a2 P = | 5.770   | cm                | Segunda raíz de Whitney |
| As P = | 25.019  | cm <sup>2</sup> m | Cantidad de acero por m |
| s P =  | 11.392  | cm                | Separación calculada qP |

### Acero mínimo

|             |            |                    |                                |
|-------------|------------|--------------------|--------------------------------|
| tr P =      | 25.128     | kg/cm <sup>2</sup> | Módulo de ruptura del concreto |
| S P =       | 106666.667 | cm <sup>4</sup>    | Módulo de sección              |
| Mcr P =     | 34.176     | tonf m             | Momento de agrietamiento       |
| 1.33 Mu P = | 89.508     | tonf m             | 1.33 veces Mu P                |

qP = 19.05 mm @ s P = 11.392 cm

### Acero por temperatura (qtemP: $\phi$ 1/2" (12.70 mm))

|                       |         |                   |                                                       |
|-----------------------|---------|-------------------|-------------------------------------------------------|
| Htem P =              | 350.000 | cm                | Altura de diseño por temperatura                      |
| e prom =              | 55.000  | cm                | Espesor promedio                                      |
| As <sub>tem</sub> P = | 4.278   | cm <sup>2</sup> m | Acero por temperatura (Cada cara) <span>Cumple</span> |
| As <sub>inf</sub> P = | 2.752   | cm <sup>2</sup> m | Límite inferior AASHTO                                |
| As <sub>sup</sub> P = | 15.011  | cm <sup>2</sup> m | Límite superior AASHTO                                |

### Separación por temperatura

|               |         |    |                                                      |
|---------------|---------|----|------------------------------------------------------|
| stem P =      | 29.613  | cm | Separación calculada temperatura <span>Cumple</span> |
| smax tem P =  | 165.000 | cm | Límite geométrico (3 * e prom)                       |
| smax AASHTO = | 45.720  | cm | Límite normativo (19 in)                             |

qtemP = 12.70 mm @ stem P = 29.613 cm

### Revisión de fisuración

|          |         |                    |                                                           |
|----------|---------|--------------------|-----------------------------------------------------------|
| Ms P =   | 30.133  | tonf m             | Momento de servicio                                       |
| at =     | 0.130   | m                  | Ancho tributario efectivo                                 |
| Ms D =   | 3.917   | tonf m             | Momento de diseño en servicio                             |
| n =      | 9.323   | -                  | Relación modular Es/Ec                                    |
| zc P =   | 5.952   | cm                 | Recubrimiento al centroide                                |
| dc P =   | 74.047  | cm                 | Paralelo efectivo                                         |
| Asic =   | 26.572  | cm <sup>2</sup>    | Área transformada                                         |
| y1 =     | 15.474  | cm                 | Primera raíz eje neutro agrietado                         |
| y2 =     | -19.562 | cm                 | Segunda raíz eje neutro agrietado                         |
| jd =     | 68.889  | cm                 | Brazo del par interno                                     |
| fss =    | 1995    | kg/cm <sup>2</sup> | Esfuerzo del acero en servicio                            |
| ye =     | 0.75    | -                  | Factor de exposición severa                               |
| βs =     | 1.115   | -                  | Factor de geometría de sección                            |
| smax A = | 30.246  | cm                 | Separación máxima permitida normativa <span>Cumple</span> |

### Revisión por corte

|        |        |      |                                               |
|--------|--------|------|-----------------------------------------------|
| Vu P = | 26.808 | tonf | Cortante actuante                             |
| dv P = | 71.163 | cm   | Peralte de corte efectivo <span>Cumple</span> |

### Revisión por corte

|        |        |      |                                               |
|--------|--------|------|-----------------------------------------------|
| Vu P = | 26.808 | tonf | Cortante actuante                             |
| dv P = | 71.163 | cm   | Peralte de corte efectivo <span>Cumple</span> |

### Cálculo de β

|        |          |    |                                                         |
|--------|----------|----|---------------------------------------------------------|
| l P =  | 6.000    | m  | Longitud de la viga                                     |
| cs =   | 0.002378 | -  | Deformación unitaria del refuerzo                       |
| s x =  | 28.017   | in | Perímetro espaciado de grietas                          |
| s x8 = | 28.017   | in | Espaciado equivalente factor tamaño <span>Cumple</span> |
| βx =   | 1.312    | -  | Factor resistencia tracción diagonal                    |

### Resistencia al cortante

|       |        |      |                                                  |
|-------|--------|------|--------------------------------------------------|
| Vc =  | 35.861 | tonf | Cortante resistente del concreto                 |
| Vn =  | 35.861 | tonf | Resistencia nominal a cortante                   |
| VRP = | 32.275 | tonf | Resistencia real al cortante <span>Cumple</span> |

## 2.11. Módulo de armados estructurales – Diseño de armados estructurales (Talón)

En esta pestaña se define el refuerzo de acero necesario para que el talón soporte las cargas verticales y el empuje del suelo., como se puede observar de manera detallada en Figura A.26.

El programa utiliza el momento de diseño específico de esta zona para calcular el área de acero requerida. Al igual que en la pantalla, el usuario tiene la libertad de elegir el diámetro de varilla que prefiera, y el software entrega inmediatamente la separación adecuada.

**Figura A.26**  
Diseño de armados estructurales (Talón)

### Dimensiones de Diseño - Talón

|        |       |    |                                         |
|--------|-------|----|-----------------------------------------|
| hC =   | 1.200 | m  | Altura de la cimentación                |
| rr =   | 7.5   | cm | Recubrimiento de la zapata              |
| qfc =  | 0.90  | -  | Factor de reducción para la cimentación |
| ltaC = | 5.000 | m  | Longitud del talón                      |
| BC =   | 6.800 | m  | Base de la cimentación                  |
| at =   | 0.160 | m  | Ancho tributario de diseño              |

### Acero por flexión (qC: $\varphi$ 5/8" (15.88 mm) )

|          |          |                    |                                     |
|----------|----------|--------------------|-------------------------------------|
| d C =    | 111.706  | cm                 | Peralte efectivo                    |
| a1 C =   | 443.114  | cm                 | Primera raíz de Whitney             |
| a2 C =   | 3.710    | cm                 | Segunda raíz de Whitney             |
| As C =   | 0.159    | cm <sup>2</sup> /m | Cantidad de acero por m             |
| s C =    | 1245.633 | cm                 | Separación calculada qC             |
| c C =    | 4.365    | cm                 | Profundidad del eje neutro          |
| $\phi$ = | 4.339    | -                  | Factor de resistencia <b>Cumple</b> |

### Acero mínimo

|             |            |                    |                                |
|-------------|------------|--------------------|--------------------------------|
| fr C =      | 29.128     | kg/cm <sup>2</sup> | Módulo de ruptura del concreto |
| S C =       | 240060.000 | cm <sup>4</sup>    | Módulo de sección              |
| Mcr C =     | 76.897     | tonf·m             | Momento de agrietamiento       |
| 1.33 Mu C = | 87.811     | tonf·m             | Mayoración del momento último  |

**qC = 16.88 mm @ s C = 1245.633 cm**

### Acero por temperatura (qtemC: $\varphi$ 3/8" (9.53 mm) )

|           |       |                    |                                       |
|-----------|-------|--------------------|---------------------------------------|
| litem C = | 680   | cm                 | Altura para el diseño por temperatura |
| s C =     | 126   | cm                 | Espesor promedio                      |
| Aslem C = | 9.100 | cm <sup>2</sup> /m | Acero por contracción y temperatura   |
| AsNI C =  | 0.017 | cm <sup>2</sup> /m | Límite inferior                       |
| AsSUP C = | 0.695 | cm <sup>2</sup> /m | Límite superior <b>No Cumple</b>      |

### Separación por temperatura

|              |       |    |                                                    |
|--------------|-------|----|----------------------------------------------------|
| slem C =     | 7.77  | cm | Separación del acero por temperatura <b>Cumple</b> |
| smax tem C = | 30.00 | cm | Separación máxima acero por temperatura            |

**qtemC = 9.5 mm @ s tem C = 7.77 cm**

### Revisión por corte

|        |         |      |                                         |
|--------|---------|------|-----------------------------------------|
| Vu C = | 17.66   | tonf | Cortante actuante                       |
| b =    | 100     | cm   | Ancho de diseño                         |
| d C =  | 111.706 | cm   | Peralte efectivo                        |
| dv C = | 109.851 | cm   | Peralte de corte efectivo <b>Cumple</b> |

### Cálculo de $\beta$

|             |         |      |                                            |
|-------------|---------|------|--------------------------------------------|
| $\beta$ C = | 1.75    | -    | Factor de cálculo                          |
| Vc C =      | 147.648 | tonf | Cortante resistente del concreto           |
| VN C =      | 147.648 | tonf | Resistencia nominal a cortante             |
| VR C =      | 132.883 | tonf | Resistencia real al cortante <b>Cumple</b> |

## 2.12. Módulo de armados estructurales – Diseño de armados estructurales (Punta)

Finalmente, en esta pestaña se calcula el acero de refuerzo para la punta del muro, como se puede observar en la Figura A.27. Aquí el software se enfoca directamente en cubrir el área de acero necesaria para resistir el momento y cortante de diseño provocados por la reacción del terreno. El usuario selecciona el diámetro de la varilla y el programa calcula la separación exacta para que la punta trabaje correctamente bajo presión.

**Figura A.27**  
*Diseño de armados estructurales (Punta)*

### Dimensiones de Diseño - Punta

|       |      |    |                                         |
|-------|------|----|-----------------------------------------|
| hC:   | 1.2  | m  | Altura de la cimentación                |
| rz:   | 7.5  | cm | Recubrimiento de la zapata              |
| φfz:  | 0.90 | -  | Factor de reducción para la cimentación |
| lpun: | 100  | cm | Longitud de la punta                    |

### Acero por flexión (φF: )

|         |          |       |                                            |
|---------|----------|-------|--------------------------------------------|
| Asv F ≈ | 1.267    | cm²   | Área transversal de cada varilla           |
| z F ≈   | 8.135    | cm    | Distancia de la fibra extrema al centroide |
| d F ≈   | 111.865  | cm    | Peralte efectivo                           |
| a F ≈   | 0.627    | cm    | Equilibrio Tracción Compresión             |
| As F ≈  | 0.027    | cm²/m | Cantidad de acero por m lineal             |
| s C ≈   | 4743.611 | cm    | Separación calculada φF                    |

### Acero mínimo

|             |        |         |                                |
|-------------|--------|---------|--------------------------------|
| fr F ≈      | 29.128 | kgf/cm² | Módulo de ruptura del concreto |
| S F ≈       | 240000 | cm²     | Módulo de sección              |
| Mcr F ≈     | 76.897 | tonf·m  | Momento de agrietamiento       |
| 1.33 Mu F ≈ | 14.976 | tonf·m  | Mayoración del momento último  |

φF = 12.7 mm @ s C = 4743.611 cm

### Revisión por corte

|        |         |      |                           |
|--------|---------|------|---------------------------|
| Vu F ≈ | 21.92   | tonf | Cortante actuante         |
| b ≈    | 100     | cm   | Ancho de diseño           |
| d C ≈  | 111.865 | cm   | Peralte efectivo          |
| dv F ≈ | 111.551 | cm   | Peralte de corte efectivo |

Cumple

### Cálculo de β

|        |         |      |                                            |
|--------|---------|------|--------------------------------------------|
| β F ≈  | 2.00    | -    | Factor de cálculo                          |
| Vc F ≈ | 171.352 | tonf | Cortante resistente del concreto           |
| VN F ≈ | 171.352 | tonf | Resistencia nominal a cortante             |
| VR F ≈ | 154.217 | tonf | Resistencia real al cortante - Cimentación |

Cumple

## 2.13. Módulo de armados estructurales – Resumen de diseño de armados estructurales

Para finalizar el proceso de diseño, el software genera un esquema gráfico del muro, en este dibujo se representan los armados calculados para cada parte de la estructura (pantalla, talón y punta), indicando el diámetro de las varillas y la separación seleccionada.

Además de la visualización en pantalla, el programa ofrece la opción de exportar todos los resultados a un archivo PDF, este resumen de aceros y ejemplo de pdf se pueden observar en la Figura A.28 y Figura A.29. Este reporte incluye desde los parámetros iniciales y los chequeos de estabilidad hasta los diagramas de esfuerzos y el cuadro final de armados.



**Figura A.28**  
*Resumen de armados estructurales*

Diagram illustrating the geometry of a three-point bending test setup for a composite beam. The beam is supported at two points (Talón) and loaded at a central point (Punta).

- Pantalla** (Loading Point):  $\phi$  19.05 mm @ 11.39 cm
- Talón** (Supports):  $\phi$  15.88 mm @ 1245.63 cm
- Punta** (Loading Point):  $\phi$  12.70 mm @ 4743.61 cm

## MEMORIA DE CÁLCULO

TIPO DE MURO: PANTALLA

### 1. DATOS GEOMÉTRICOS

| Parámetro                       | Valor  | Unidad |
|---------------------------------|--------|--------|
| Altura Pantalla (H) [1]         | 4.000  | m      |
| Bata (b) [2]                    | 0.500  | m      |
| Coeficiente de fricción (μ) [3] | 0.500  | -      |
| Ángulo de fricción (φ) [4]      | 26.670 | °      |
| Ángulo de reposo (δ) [5]        | 0.000  | °      |
| Ángulo de inclinación (α) [6]   | 0.000  | °      |
| Ángulo de inclinación (β) [7]   | 0.000  | °      |
| Ángulo de inclinación (γ) [8]   | 0.000  | °      |
| Ángulo de inclinación (δ) [9]   | 0.000  | °      |
| Ángulo de inclinación (ε) [10]  | 0.000  | °      |
| Ángulo de inclinación (ζ) [11]  | 0.000  | °      |
| Ángulo de inclinación (η) [12]  | 0.000  | °      |
| Ángulo de inclinación (θ) [13]  | 0.000  | °      |
| Ángulo de inclinación (ι) [14]  | 0.000  | °      |
| Ángulo de inclinación (κ) [15]  | 0.000  | °      |
| Ángulo de inclinación (λ) [16]  | 0.000  | °      |
| Ángulo de inclinación (μ) [17]  | 0.000  | °      |
| Ángulo de inclinación (ν) [18]  | 0.000  | °      |
| Ángulo de inclinación (ξ) [19]  | 0.000  | °      |
| Ángulo de inclinación (ο) [20]  | 0.000  | °      |
| Ángulo de inclinación (π) [21]  | 0.000  | °      |
| Ángulo de inclinación (ρ) [22]  | 0.000  | °      |
| Ángulo de inclinación (σ) [23]  | 0.000  | °      |
| Ángulo de inclinación (τ) [24]  | 0.000  | °      |
| Ángulo de inclinación (υ) [25]  | 0.000  | °      |
| Ángulo de inclinación (φ) [26]  | 0.000  | °      |
| Ángulo de inclinación (χ) [27]  | 0.000  | °      |
| Ángulo de inclinación (ψ) [28]  | 0.000  | °      |
| Ángulo de inclinación (ω) [29]  | 0.000  | °      |
| Ángulo de inclinación (δ) [30]  | 0.000  | °      |
| Ángulo de inclinación (ε) [31]  | 0.000  | °      |
| Ángulo de inclinación (ζ) [32]  | 0.000  | °      |
| Ángulo de inclinación (η) [33]  | 0.000  | °      |
| Ángulo de inclinación (θ) [34]  | 0.000  | °      |
| Ángulo de inclinación (ι) [35]  | 0.000  | °      |
| Ángulo de inclinación (κ) [36]  | 0.000  | °      |
| Ángulo de inclinación (λ) [37]  | 0.000  | °      |
| Ángulo de inclinación (μ) [38]  | 0.000  | °      |
| Ángulo de inclinación (ν) [39]  | 0.000  | °      |
| Ángulo de inclinación (ξ) [40]  | 0.000  | °      |
| Ángulo de inclinación (ο) [41]  | 0.000  | °      |
| Ángulo de inclinación (π) [42]  | 0.000  | °      |
| Ángulo de inclinación (ρ) [43]  | 0.000  | °      |
| Ángulo de inclinación (σ) [44]  | 0.000  | °      |
| Ángulo de inclinación (τ) [45]  | 0.000  | °      |
| Ángulo de inclinación (υ) [46]  | 0.000  | °      |
| Ángulo de inclinación (φ) [47]  | 0.000  | °      |
| Ángulo de inclinación (χ) [48]  | 0.000  | °      |
| Ángulo de inclinación (ψ) [49]  | 0.000  | °      |
| Ángulo de inclinación (ω) [50]  | 0.000  | °      |
| Ángulo de inclinación (δ) [51]  | 0.000  | °      |
| Ángulo de inclinación (ε) [52]  | 0.000  | °      |
| Ángulo de inclinación (ζ) [53]  | 0.000  | °      |
| Ángulo de inclinación (η) [54]  | 0.000  | °      |
| Ángulo de inclinación (θ) [55]  | 0.000  | °      |
| Ángulo de inclinación (ι) [56]  | 0.000  | °      |
| Ángulo de inclinación (κ) [57]  | 0.000  | °      |
| Ángulo de inclinación (λ) [58]  | 0.000  | °      |
| Ángulo de inclinación (μ) [59]  | 0.000  | °      |
| Ángulo de inclinación (ν) [60]  | 0.000  | °      |
| Ángulo de inclinación (ξ) [61]  | 0.000  | °      |
| Ángulo de inclinación (ο) [62]  | 0.000  | °      |
| Ángulo de inclinación (π) [63]  | 0.000  | °      |
| Ángulo de inclinación (ρ) [64]  | 0.000  | °      |
| Ángulo de inclinación (σ) [65]  | 0.000  | °      |
| Ángulo de inclinación (τ) [66]  | 0.000  | °      |
| Ángulo de inclinación (υ) [67]  | 0.000  | °      |
| Ángulo de inclinación (φ) [68]  | 0.000  | °      |
| Ángulo de inclinación (χ) [69]  | 0.000  | °      |
| Ángulo de inclinación (ψ) [70]  | 0.000  | °      |
| Ángulo de inclinación (ω) [71]  | 0.000  | °      |
| Ángulo de inclinación (δ) [72]  | 0.000  | °      |
| Ángulo de inclinación (ε) [73]  | 0.000  | °      |
| Ángulo de inclinación (ζ) [74]  | 0.000  | °      |
| Ángulo de inclinación (η) [75]  | 0.000  | °      |
| Ángulo de inclinación (θ) [76]  | 0.000  | °      |
| Ángulo de inclinación (ι) [77]  | 0.000  | °      |
| Ángulo de inclinación (κ) [78]  | 0.000  | °      |
| Ángulo de inclinación (λ) [79]  | 0.000  | °      |
| Ángulo de inclinación (μ) [80]  | 0.000  | °      |
| Ángulo de inclinación (ν) [81]  | 0.000  | °      |
| Ángulo de inclinación (ξ) [82]  | 0.000  | °      |
| Ángulo de inclinación (ο) [83]  | 0.000  | °      |
| Ángulo de inclinación (π) [84]  | 0.000  | °      |
| Ángulo de inclinación (ρ) [85]  | 0.000  | °      |
| Ángulo de inclinación (σ) [86]  | 0.000  | °      |
| Ángulo de inclinación (τ) [87]  | 0.000  | °      |
| Ángulo de inclinación (υ) [88]  | 0.000  | °      |
| Ángulo de inclinación (φ) [89]  | 0.000  | °      |
| Ángulo de inclinación (χ) [90]  | 0.000  | °      |
| Ángulo de inclinación (ψ) [91]  | 0.000  | °      |
| Ángulo de inclinación (ω) [92]  | 0.000  | °      |
| Ángulo de inclinación (δ) [93]  | 0.000  | °      |
| Ángulo de inclinación (ε) [94]  | 0.000  | °      |
| Ángulo de inclinación (ζ) [95]  | 0.000  | °      |
| Ángulo de inclinación (η) [96]  | 0.000  | °      |
| Ángulo de inclinación (θ) [97]  | 0.000  | °      |
| Ángulo de inclinación (ι) [98]  | 0.000  | °      |
| Ángulo de inclinación (κ) [99]  | 0.000  | °      |
| Ángulo de inclinación (λ) [100] | 0.000  | °      |

El programa incluye un módulo especializado para muros de gravedad que mantiene la misma interfaz y flujo de trabajo que el de pantalla, facilitando su uso desde el primer momento, como se puede observar en la Figura A.30 y Figura A.31, el esquema se genera de igual manera en esta sección.

La principal diferencia técnica radica en que el diseño se basa en la masa de la estructura para resistir los empujes, es decir, el programa omite el cálculo de armados y se centra en verificar que los esfuerzos del muro no superen la capacidad del material, asegurando que la estructura sea estable por su propia forma, además se introduce la opción de configurar un espolón en la base.

Al igual que en los casos anteriores, el software verifica la estabilidad mediante ASD y LRFD, asegurando que las presiones sobre el terreno y los factores de seguridad sean los adecuados para este tipo de estructuras masivas.

**Figura A.30**

*Esquema visual 3D y 2D del muro (Gravedad)*

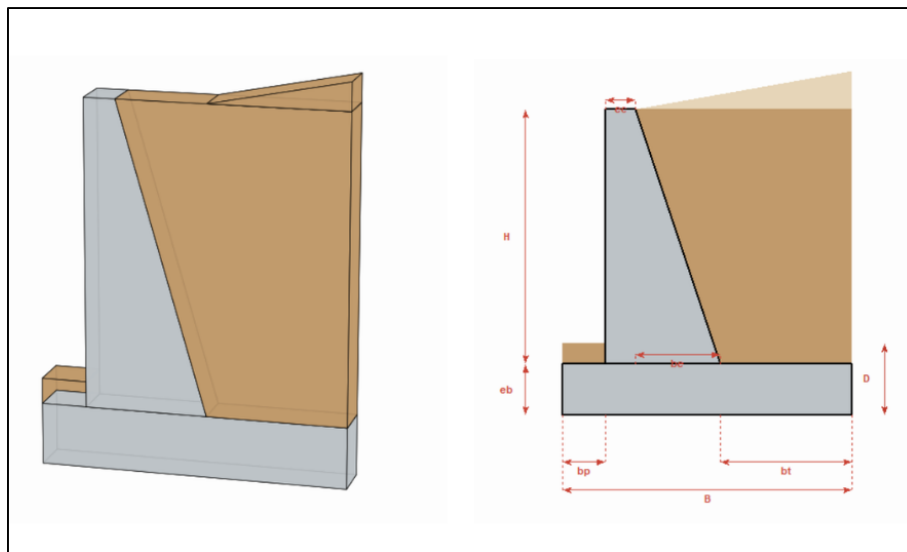
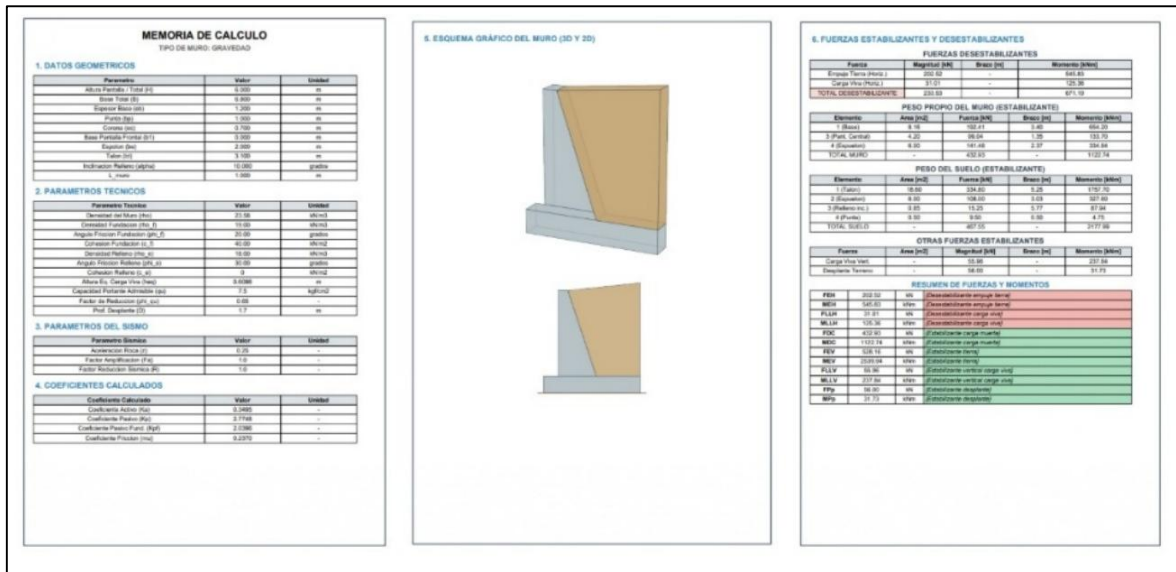


**Figura A.31**  
*Ejemplo de generación de PDF (Gravedad)*



#### 4. Diseño de Muro de Gaviones

Finalmente, el software incluye un módulo para el diseño de muros de gaviones, cuya principal diferencia es que la estructura se compone de varios niveles, como se puede observar en la Figura A.32Figura A.33, el esquema y el PDF se generan de igual forma que en los demás muros,

A diferencia de los muros rígidos, aquí el programa realiza un análisis nivel por nivel, utilizando coeficiente de fricción entre gavión a gavión, tal y como se puede observar en la Figura A.34.

El programa cuenta con un apartado específico donde se pueden revisar los factores de demanda y capacidad para cada nivel, tanto en condiciones estáticas como sísmicas.

Al igual que en los módulos anteriores, toda esta información se resume en un informe final en pdf para que el usuario identifique rápidamente si algún nivel específico necesita ajustes en su geometría.

**Figura A.32**  
*Esquema visual 3D y 2D del muro (Gaviones)*

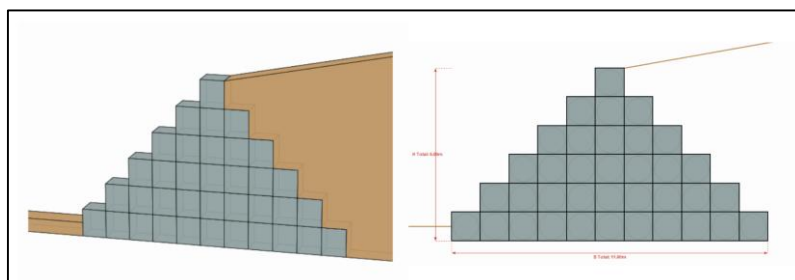


**Figura A.33**  
Ejemplo de revisión por nivel (Gaviones)

Nivel:

Base del Muro (Global)

Base del Muro (Global)

Fila 1 (Prof. 1.00m)

Fila 2 (Prof. 2.00m)

Fila 3 (Prof. 3.00m)

Fila 4 (Prof. 4.00m)

Fila 5 (Prof. 5.00m)

Vista de Resultados:

1. Diseño ASD

VER TABLAS NORMATIVAS

RESUMEN DE NIVELES

CULO DE FUERZAS ESTÁTICAS Y DESGLOSE (SERVICIO)

|  |  |  |                |             |
|--|--|--|----------------|-------------|
|  |  |  | Momento (MEH)  | 334.51 kN*m |
|  |  |  | Momento (MLLH) | 90.45 kN*m  |

ASD - VOLTEO

| Caso   | Nivel 1 | Nivel 2 | Nivel 3 | Nivel 4 | Nivel 5 | Nivel 6 |
|--------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| Caso 1 | 17.629  | 3.209   | 0.595   | 13.458  | 10.015  | 17.838  |
| Caso 2 | 17.912  | 3.209   | 10.109  | 14.040  | 10.008  | 10.322  |

ASD - EXCENTRICIDAD

| Caso   | Nivel 1 | Nivel 2 | Nivel 3 | Nivel 4 | Nivel 5 | Nivel 6 |
|--------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| Caso 1 | 0.347   | 0.035   | 0.037   | 0.212   | 0.288   | 0.331   |
| Caso 2 | 0.360   | 0.035   | 0.132   | 0.272   | 0.330   | 0.363   |

ASD - CAPACIDAD PORTANTE - SUELO

| Caso   | Nivel 1 | Nivel 2 | Nivel 3 | Nivel 4 | Nivel 5 | Nivel 6 |
|--------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| Caso 1 | 7.309   | 332.511 | 13.706  | 11.860  | 10.084  | 8.706   |
| Caso 2 | 7.834   | 332.511 | 14.802  | 12.483  | 10.473  | 8.908   |

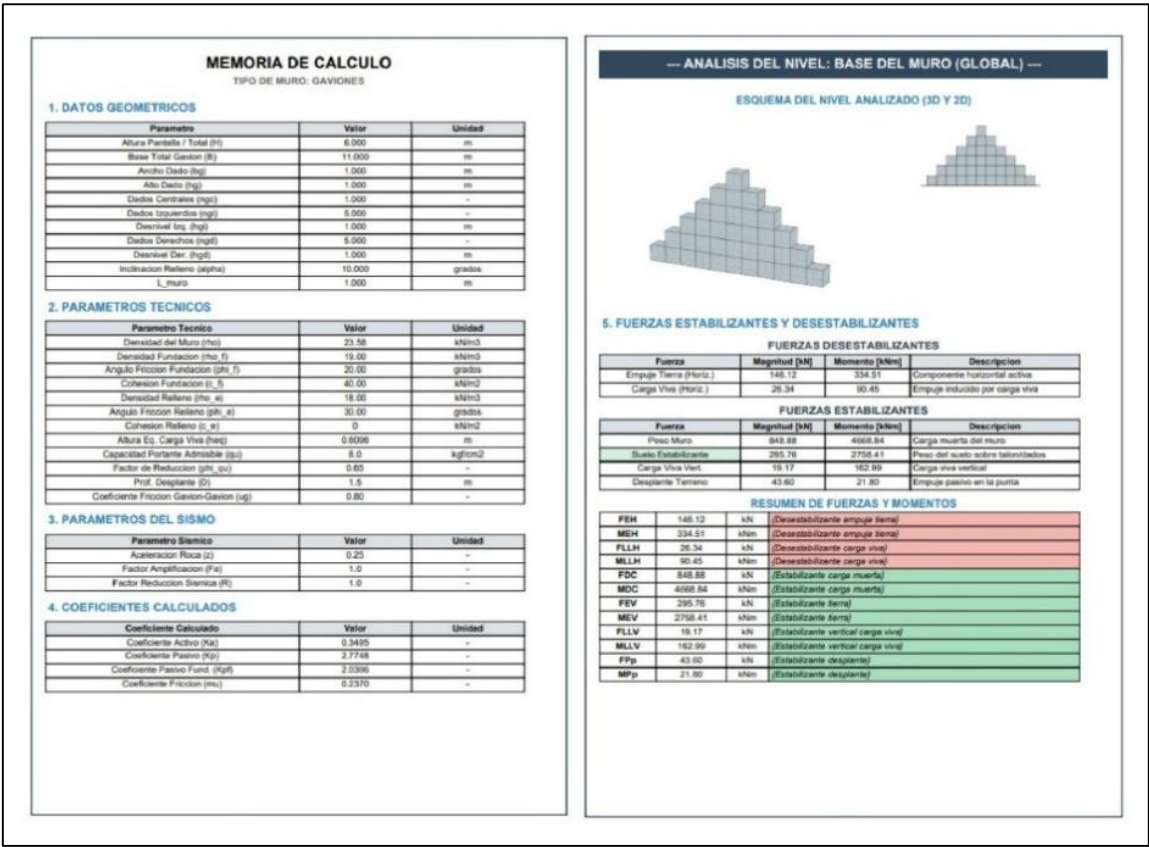
ASD - CAPACIDAD PORTANTE - ROCA DENTRO DEL TERCIO CENTRAL

| Caso   | Nivel 1 | Nivel 2 | Nivel 3 | Nivel 4 | Nivel 5 | Nivel 6 |
|--------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| Caso 1 | 3.639   | 11.101  | 12.706  | 7.788   | 5.875   | 4.376   |
| Caso 2 | 3.583   | 11.101  | 11.341  | 7.145   | 5.277   | 4.192   |

LRFD STRENGTH I - VOLTEO

| Caso | Nivel 1 | Nivel 2 | Nivel 3 | Nivel 4 | Nivel 5 | Nivel 6 |
|------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| 5    | 0.056   | 0.312   | 0.088   | 0.071   | 0.060   | 0.055   |
| 1    | 0.091   | 0.072   | 0.163   | 0.117   | 0.099   | 0.089   |
| 2    | 0.074   | 0.412   | 0.131   | 0.086   | 0.080   | 0.072   |
| 3    | 0.089   | 0.572   | 0.140   | 0.105   | 0.088   | 0.079   |
| 4    | 0.060   | 0.505   | 0.123   | 0.083   | 0.068   | 0.060   |
| 5    | 0.067   | 0.412   | 0.122   | 0.087   | 0.073   | 0.066   |
| 6    | 0.051   | 0.364   | 0.109   | 0.073   | 0.059   | 0.051   |
| 7    | 0.077   | 0.412   | 0.142   | 0.101   | 0.084   | 0.075   |

Figura A.34  
Ejemplo de generación de PDF (Gaviones)



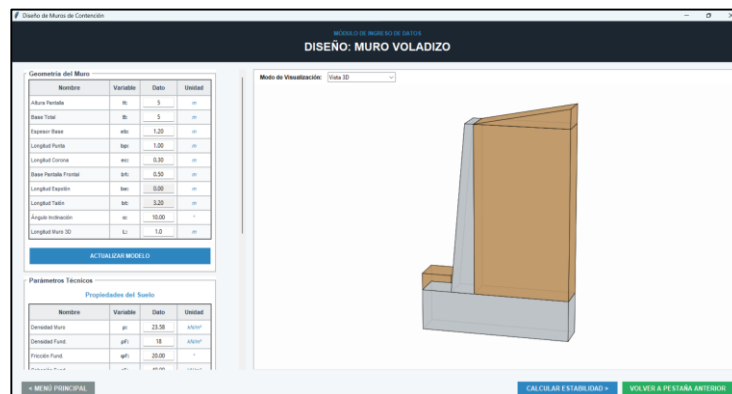
**Anexo B**  
**EJEMPLOS DE DISEÑO Y REPORTE DEL**  
**SOFTWARE**

# APLICACIÓN PRÁCTICA Y VALIDACIÓN DEL SOFTWARE

## Muro pantalla

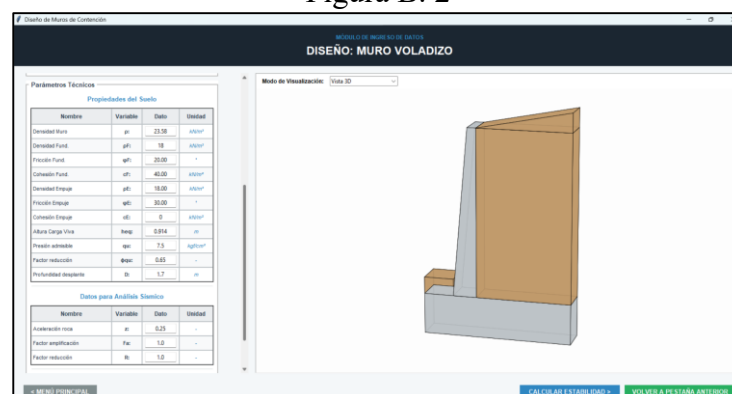
### Definición de los escenarios de cálculo

Figura B. 1



*Nota.* Definición de los parámetros geométricos dentro del Software.

Figura B. 2



*Nota.* Definición de los parámetros técnicos dentro del Software

Desglose de las fuerzas actuantes sobre el muro

Figura B. 3

MÓDULO ESTÁTICO

DISEÑO ASD/LRFD (ESTÁTICO)

Vista de Resultados:

3. Desglose de Fuerzas

VER TABLAS NORMATIVAS

DESGLOSE MATEMÁTICO DE FUERZAS ESTÁTICAS (SERVICIO)

FUERZAS DE EMPUJE Y SOBRECARGA

| Componente              | Variable    | Fuerza [kN] | Momento [kN*m] |
|-------------------------|-------------|-------------|----------------|
| Empuje de Tierra Activo | H=6.76m     | 141.38      | 318.37         |
| Carga Viva Horizontal   | Heq=0.9140m | 38.84       | 131.21         |
| TOTAL DESESTABILIZANTE  |             | 180.22      | 449.58         |

PESO PROPIO DEL MURO

| Elemento             | Área [m²] | Fuerza [kN] | Brazo [m] | Momento [kN*m] |
|----------------------|-----------|-------------|-----------|----------------|
| 1 (Base)             | 6.00      | 141.48      | 2.50      | 353.70         |
| 2 (Pantalla Frontal) | 1.25      | 29.47       | 1.33      | 39.30          |
| 3 (Pantalla Central) | 1.50      | 35.37       | 1.65      | 58.36          |
| TOTAL MURO           |           | 206.32      |           | 451.36         |

PESO DEL SUELO ESTABILIZANTE

| Elemento                 | Área [m²] | Fuerza [kN] | Brazo [m] | Momento [kN*m] |
|--------------------------|-----------|-------------|-----------|----------------|
| 1 (Talón)                | 16.00     | 288.00      | 3.40      | 979.20         |
| 3 (Relleno inclinado)    | 0.89      | 16.00       | 3.93      | 62.95          |
| 4 (Punta)                | 0.50      | 9.00        | 0.50      | 4.50           |
| 5 (Pv - Empuje Vertical) | -         | 24.93       | 5.00      | 124.64         |
| TOTAL SUELO              |           | 337.93      |           | 1171.29        |

FUERZAS ESTABILIZANTES ADICIONALES

| Componente                     | Fuerza [kN] | Momento [kN*m] |
|--------------------------------|-------------|----------------|
| Carga Viva Vertical (LLV)      | 52.646      | 178.998        |
| Desplante del Terreno (Pasivo) | 53.05       | 30.06          |

< VOLVER A GEOMETRÍA

MENÚ PRINCIPAL

SIGUIENTE: REVISIÓN SÍSMICA >

Nota. Desglose de las fuerzas desestabilizantes (Rojas), estabilizantes (Verdes)



## Verificación de las condiciones de estabilidad para ASD

Figura B. 4

Diseño de Muros de Contención

MÓDULO ESTÁTICO

**DISEÑO ASD/LRFD (ESTÁTICO)**

**2. EXCENTRICIDAD (EMAX < B/6) ASD**

|         |          |      |                                                |
|---------|----------|------|------------------------------------------------|
| eMAX:   | 0.8333   | [m]  | (Excentricidad máxima permitida B/6)           |
| Fv1:    | 544.2570 | [kN] | (Fuerza vertical total Caso 1)                 |
| Fv2:    | 596.9034 | [kN] | (Fuerza vertical total Caso 2)                 |
| e1:     | 0.2894   | [m]  | (Excentricidad calculada Caso 1)               |
| e2:     | 0.1845   | [m]  | (Excentricidad calculada Caso 2)               |
| D/C E1: | 0.3473   | -    | (Ratio demanda capacidad Caso 1) <b>Cumple</b> |
| D/C E2: | 0.2214   | -    | (Ratio demanda capacidad Caso 2) <b>Cumple</b> |

*Nota.* Revisión de las condiciones de estabilidad mediante ASD Estático – Condición de excentricidad.

Figura B. 5

**3. CAPACIDAD PORTANTE ASD**

|         |          |         |                                                               |
|---------|----------|---------|---------------------------------------------------------------|
| qADM:   | 478.2375 | [kN/m²] | (Esfuerzo admisible del suelo)                                |
| qp1:    | 146.6533 | [kN/m²] | (Carga sobre la punta Caso 1)                                 |
| qt1:    | 71.0495  | [kN/m²] | (Carga sobre el talón Caso 1)                                 |
| qp2:    | 145.8110 | [kN/m²] | (Carga sobre la punta Caso 2)                                 |
| qt2:    | 92.9504  | [kN/m²] | (Carga sobre el talón Caso 2)                                 |
| FS P1:  | 3.2610   | -       | (Factor de seguridad capacidad portante Caso 1) <b>Cumple</b> |
| FS P2:  | 3.2798   | -       | (Factor de seguridad capacidad portante Caso 2) <b>Cumple</b> |
| FS Req: | 3.00     | -       | (Factor de seguridad requerido para ASD)                      |

*Nota.* Revisión de las condiciones de estabilidad mediante ASD Estático – Condición de capacidad portante

Figura B. 6

**4. DESLIZAMIENTO ASD**

|         |          |      |                                                   |
|---------|----------|------|---------------------------------------------------|
| k=      | 0.6667   | -    | (Factor de reducción de fricción y cohesión base) |
| FU:     | 180.2219 | [kN] | (Fuerza desestabilizante total (estático))        |
| FR1:    | 384.4767 | [kN] | (Fuerza estabilizante Caso 1)                     |
| FR2:    | 403.6384 | [kN] | (Fuerza estabilizante Caso 2)                     |
| FS H1:  | 2.1334   | -    | (Factor de seguridad Caso 1) <b>Cumple</b>        |
| FS H2:  | 2.2397   | -    | (Factor de seguridad Caso 2) <b>Cumple</b>        |
| FS Req: | 1.50     | -    | (Factor de seguridad ASD para deslizamiento)      |

< VOLVER A GEOMETRÍA    MENÚ PRINCIPAL    SIGUIENTE: REVISIÓN SÍSMICA >

*Nota.* Revisión de las condiciones de estabilidad mediante ASD Estático – Desliz.

## Verificación de las condiciones de estabilidad para LRFD

Figura B. 7

MODULO ESTÁTICO

DISEÑO ASD/LRFD (ESTÁTICO)

Vista de Resultados:

2. Diseño LRFD

VER TABLAS NORMATIVAS

CÁLCULO DE FUERZAS ESTÁTICAS Y DESGLOSE (SERVICIO)

|                        |           |                |              |
|------------------------|-----------|----------------|--------------|
| Empuje Tierra (FEH)    | 141.38 kN | Momento (MEH)  | 318.37 kN*m  |
| Carga Viva Horiz (FLH) | 38.84 kN  | Momento (MLLH) | 131.21 kN*m  |
| Peso Muro (FDC)        | 206.32 kN | Momento (MDC)  | 451.36 kN*m  |
| Peso Suelo (FEV)       | 337.93 kN | Momento (MEV)  | 1171.29 kN*m |
| Carga Viva Vert (FLLV) | 52.65 kN  | Momento (MLLV) | 179.00 kN*m  |
| Desplante (FPp)        | 53.05 kN  | Momento (MPp)  | 30.06 kN*m   |

DISEÑO LRFD ESTÁTICO (Strength I/ Strength II)

REVISIÓN A LA CONDICIÓN DE VOLTEO LRFD

| Strength I | MU [kN*m] | MR [kN*m] | Ratio D/C | ESTADO |
|------------|-----------|-----------|-----------|--------|
| S          | 449.577   | 1831.710  | 0.245     | Cumple |
| 1          | 707.169   | 1935.853  | 0.365     | Cumple |
| 2          | 707.169   | 2093.829  | 0.338     | Cumple |
| 3          | 707.169   | 2345.804  | 0.301     | Cumple |
| 4          | 547.986   | 2330.773  | 0.235     | Cumple |
| 5          | 707.169   | 2503.780  | 0.282     | Cumple |
| 6          | 547.986   | 2175.503  | 0.252     | Cumple |
| 7          | 707.169   | 1780.583  | 0.397     | Cumple |

REVISIÓN A LA CONDICIÓN DE VOLTEO LRFD

| Strength II | MU [kN*m] | MR [kN*m] | Ratio D/C | ESTADO |
|-------------|-----------|-----------|-----------|--------|
| S           | 449.577   | 1831.710  | 0.245     | Cumple |
| 1           | 654.684   | 1864.254  | 0.351     | Cumple |
| 2           | 654.684   | 2022.230  | 0.324     | Cumple |
| 3           | 654.684   | 2274.205  | 0.288     | Cumple |
| 4           | 495.502   | 2259.174  | 0.219     | Cumple |
| 5           | 654.684   | 2432.181  | 0.269     | Cumple |
| 6           | 495.502   | 2175.503  | 0.228     | Cumple |
| 7           | 654.684   | 1780.583  | 0.368     | Cumple |

*Nota.* Revisión de las condiciones de estabilidad mediante LRFD Estático – Condición de volteo – Resistencia I y Resistencia II

Figura B. 8

|       |        |     |                                     |  |
|-------|--------|-----|-------------------------------------|--|
| eMAX: | 0.8333 | [m] | (Excentricidad máxima permitida B6) |  |
|-------|--------|-----|-------------------------------------|--|

| REVISIÓN A LA CONDICIÓN DE EXCENTRICIDAD LRFD |         |       |           |        |
|-----------------------------------------------|---------|-------|-----------|--------|
| Strength I                                    | Fv [kN] | e [m] | Ratio D/C | ESTADO |
| S                                             | 596.903 | 0.184 | 0.221     | Cumple |
| 1                                             | 615.756 | 0.505 | 0.606     | Cumple |
| 2                                             | 687.969 | 0.484 | 0.581     | Cumple |
| 3                                             | 734.032 | 0.268 | 0.321     | Cumple |
| 4                                             | 734.032 | 0.071 | 0.085     | Cumple |
| 5                                             | 806.246 | 0.272 | 0.326     | Cumple |
| 6                                             | 714.114 | 0.221 | 0.265     | Cumple |
| 7                                             | 595.838 | 0.698 | 0.838     | Cumple |

| REVISIÓN A LA CONDICIÓN DE EXCENTRICIDAD LRFD |         |       |           |        |
|-----------------------------------------------|---------|-------|-----------|--------|
| Strength II                                   | Fv [kN] | e [m] | Ratio D/C | ESTADO |
| S                                             | 596.903 | 0.184 | 0.221     | Cumple |
| 1                                             | 594.697 | 0.466 | 0.559     | Cumple |
| 2                                             | 666.911 | 0.449 | 0.539     | Cumple |
| 3                                             | 712.973 | 0.228 | 0.274     | Cumple |
| 4                                             | 712.973 | 0.026 | 0.032     | Cumple |
| 5                                             | 785.187 | 0.236 | 0.283     | Cumple |
| 6                                             | 714.114 | 0.147 | 0.177     | Cumple |
| 7                                             | 595.838 | 0.610 | 0.732     | Cumple |

*Nota.* Revisión de las condiciones de estabilidad mediante LRFD Estático – Condición de excentricidad – Resistencia I y Resistencia II

Figura B. 9

| Cimentado sobre suelo                  |                                 |           |        |
|----------------------------------------|---------------------------------|-----------|--------|
| REVISIÓN DE LA CAPACIDAD PORTANTE LRFD |                                 |           |        |
| Strength I                             | $\sigma_v$ [kN/m <sup>2</sup> ] | Ratio D/C | ESTADO |
| S                                      | 128.893                         | 0.270     | Cumple |
| 1                                      | 154.293                         | 0.323     | Cumple |
| 2                                      | 170.663                         | 0.357     | Cumple |
| 3                                      | 164.406                         | 0.344     | Cumple |
| 4                                      | 151.113                         | 0.316     | Cumple |
| 5                                      | 180.905                         | 0.378     | Cumple |
| 6                                      | 156.668                         | 0.328     | Cumple |
| 7                                      | 165.371                         | 0.346     | Cumple |

| REVISIÓN DE LA CAPACIDAD PORTANTE LRFD |                                 |           |        |
|----------------------------------------|---------------------------------|-----------|--------|
| Strength II                            | $\sigma_v$ [kN/m <sup>2</sup> ] | Ratio D/C | ESTADO |
| S                                      | 128.893                         | 0.270     | Cumple |
| 1                                      | 146.194                         | 0.306     | Cumple |
| 2                                      | 162.616                         | 0.340     | Cumple |
| 3                                      | 156.939                         | 0.328     | Cumple |
| 4                                      | 144.111                         | 0.301     | Cumple |
| 5                                      | 173.423                         | 0.363     | Cumple |
| 6                                      | 151.773                         | 0.317     | Cumple |
| 7                                      | 157.662                         | 0.330     | Cumple |

*Nota.* Revisión de las condiciones de estabilidad mediante LRFD Estático – Condición de capacidad portante – Cimentado sobre suelo – Resistencia I y Resistencia II

Figura B. 10

| Cimentado sobre roca (Dentro del tercio central) |                             |                             |           |        |
|--------------------------------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------|--------|
| REVISIÓN DE LA CAPACIDAD PORTANTE LRFD           |                             |                             |           |        |
| Strength I                                       | ov max [kN/m <sup>2</sup> ] | ov min [kN/m <sup>2</sup> ] | Ratio D/C | ESTADO |
| S                                                | 145.811                     | 92.950                      | 0.305     | Cumple |
| 1                                                | 197.720                     | 48.582                      | 0.413     | Cumple |
| 2                                                | 217.577                     | 57.611                      | 0.455     | Cumple |
| 3                                                | 193.953                     | 99.660                      | 0.406     | Cumple |
| 4                                                | 159.357                     | 134.256                     | 0.333     | Cumple |
| 5                                                | 213.810                     | 108.688                     | 0.447     | Cumple |
| 6                                                | 180.687                     | 104.958                     | 0.378     | Cumple |
| 7                                                | 219.051                     | 19.284                      | 0.458     | Cumple |
| REVISIÓN DE LA CAPACIDAD PORTANTE LRFD           |                             |                             |           |        |
| Strength II                                      | ov max [kN/m <sup>2</sup> ] | ov min [kN/m <sup>2</sup> ] | Ratio D/C | ESTADO |
| S                                                | 145.811                     | 92.950                      | 0.305     | Cumple |
| 1                                                | 185.461                     | 52.418                      | 0.388     | Cumple |
| 2                                                | 205.318                     | 61.447                      | 0.429     | Cumple |
| 3                                                | 181.694                     | 103.496                     | 0.380     | Cumple |
| 4                                                | 147.097                     | 138.092                     | 0.308     | Cumple |
| 5                                                | 201.550                     | 112.524                     | 0.421     | Cumple |
| 6                                                | 168.091                     | 117.555                     | 0.351     | Cumple |
| 7                                                | 206.455                     | 31.880                      | 0.432     | Cumple |

*Nota.* Revisión de las condiciones de estabilidad mediante LRFD Estático –  
Condición de capacidad portante – Cimentado sobre roca dentro del 1/3 central –  
Resistencia I y Resistencia II

Figura B. 11

| Cimentado sobre roca (Fuera del tercio central) |                             |                             |           |        |
|-------------------------------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------|--------|
| REVISIÓN DE LA CAPACIDAD PORTANTE LRFD          |                             |                             |           |        |
| Strength I                                      | ov max [kN/m <sup>2</sup> ] | ov min [kN/m <sup>2</sup> ] | Ratio D/C | ESTADO |
| S                                               | 171.857                     | 0.0                         | 0.359     | Cumple |
| 1                                               | 205.724                     | 0.0                         | 0.430     | Cumple |
| 2                                               | 227.550                     | 0.0                         | 0.476     | Cumple |
| 3                                               | 219.208                     | 0.0                         | 0.458     | Cumple |
| 4                                               | 201.483                     | 0.0                         | 0.421     | Cumple |
| 5                                               | 241.207                     | 0.0                         | 0.504     | Cumple |
| 6                                               | 208.891                     | 0.0                         | 0.437     | Cumple |
| 7                                               | 220.495                     | 0.0                         | 0.461     | Cumple |
| REVISIÓN DE LA CAPACIDAD PORTANTE LRFD          |                             |                             |           |        |
| Strength II                                     | ov max [kN/m <sup>2</sup> ] | ov min [kN/m <sup>2</sup> ] | Ratio D/C | ESTADO |
| S                                               | 171.857                     | 0.0                         | 0.359     | Cumple |
| 1                                               | 194.926                     | 0.0                         | 0.408     | Cumple |
| 2                                               | 216.822                     | 0.0                         | 0.453     | Cumple |
| 3                                               | 209.252                     | 0.0                         | 0.438     | Cumple |
| 4                                               | 192.149                     | 0.0                         | 0.402     | Cumple |
| 5                                               | 231.231                     | 0.0                         | 0.484     | Cumple |
| 6                                               | 202.365                     | 0.0                         | 0.423     | Cumple |
| 7                                               | 210.216                     | 0.0                         | 0.440     | Cumple |

*Nota.* Revisión de las condiciones de estabilidad mediante LRFD Estático –  
Condición de capacidad portante – Cimentado sobre roca fuera del 1/3 central –  
Resistencia I y Resistencia II

Figura B. 12

| REVISIÓN DE DESLIZAMIENTO LRFD |                |          |          |           |        |
|--------------------------------|----------------|----------|----------|-----------|--------|
| Strength I                     | Fd demand [kN] | FR1 [kN] | FRT [kN] | Ratio D/C | ESTADO |
| S                              | 180.222        | 341.469  | 333.847  | 0.540     | Cumple |
| 1                              | 280.044        | 345.937  | 351.131  | 0.798     | Cumple |
| 2                              | 280.044        | 363.052  | 366.534  | 0.764     | Cumple |
| 3                              | 280.044        | 373.969  | 376.359  | 0.744     | Cumple |
| 4                              | 209.356        | 373.969  | 363.097  | 0.577     | Cumple |
| 5                              | 280.044        | 391.084  | 391.763  | 0.715     | Cumple |
| 6                              | 209.356        | 369.248  | 358.848  | 0.583     | Cumple |
| 7                              | 280.044        | 341.216  | 346.882  | 0.807     | Cumple |

| REVISIÓN DE DESLIZAMIENTO LRFD |                |          |          |           |        |
|--------------------------------|----------------|----------|----------|-----------|--------|
| Strength II                    | Fd demand [kN] | FR1 [kN] | FRT [kN] | Ratio D/C | ESTADO |
| S                              | 180.222        | 341.469  | 333.847  | 0.540     | Cumple |
| 1                              | 264.506        | 340.946  | 346.639  | 0.763     | Cumple |
| 2                              | 264.506        | 358.061  | 362.042  | 0.731     | Cumple |
| 3                              | 264.506        | 368.978  | 371.867  | 0.711     | Cumple |
| 4                              | 193.818        | 368.978  | 358.605  | 0.540     | Cumple |
| 5                              | 264.506        | 386.093  | 387.271  | 0.683     | Cumple |
| 6                              | 193.818        | 369.248  | 358.848  | 0.540     | Cumple |
| 7                              | 264.506        | 341.216  | 346.882  | 0.763     | Cumple |

[< VOLVER A GEOMETRIA](#)
[MENÚ PRINCIPAL](#)
[SIGUIENTE: REVISIÓN SÍSMICA >](#)

*Nota.* Revisión de las condiciones de estabilidad mediante LRFD Estático – Deslizamiento – Resistencia I y Resistencia II

Datos para la revisión sísmica

Figura B. 13

MODULO SISMICO

REVISIÓN SÍSMICA

1. PARÁMETROS DINÁMICOS Y COEFICIENTES (Mononobe-Okabe)

ÁNGULOS PARA REVISIÓN SÍSMICA

|              |         |          |                                                       |
|--------------|---------|----------|-------------------------------------------------------|
| $\delta a$ : | 20.0000 | [grados] | (Ángulo de fricción muro-suelo)                       |
| $\beta$ :    | 0.0000  | [grados] | (Inclinación del resquebrajo del muro)                |
| $\epsilon$ : | 10.0000 | [grados] | (Inclinación del relleno)                             |
| $\theta$ :   | 9.2110  | [grados] | (Ángulo inercial sísmico $\arctan(\theta h / 1-Kv)$ ) |

COEFICIENTES DE EMPUJE SÍSMICO

|         |          |   |                                                                    |
|---------|----------|---|--------------------------------------------------------------------|
| $K_h$ : | 0.1500   | - | (Coeficiente de aceleración horizontal $(0.6 \cdot Z \cdot F_a)$ ) |
| $K_v$ : | 0.0750   | - | (Coeficiente de aceleración vertical $(0.5 \cdot K_h)$ )           |
| $KAE$ : | 0.340022 | - | (Coeficiente de empuje activo estático (Coulomb))                  |
| $KAD$ : | 0.549747 | - | (Coeficiente de empuje dinámico (Mononobe-Okabe))                  |

2. DETERMINACIÓN DEL CENTRO DE GRAVEDAD (CG)

CENTRO DE GRAVEDAD - MURO

| Elemento / Figura | b [m] | h [m] | Área [m <sup>2</sup> ] | y <sub>cg</sub> [m]     |
|-------------------|-------|-------|------------------------|-------------------------|
| 1 (Base)          | 5.00  | 1.20  | 6.00                   | 0.60                    |
| 2 (Pant. Frontal) | 0.50  | 5.00  | 1.25                   | 2.87                    |
| 3 (Pant. Central) | 0.30  | 5.00  | 1.50                   | 3.70                    |
| TOTAL MURO        | -     | -     | 8.75                   | y <sub>cg</sub> : 1.455 |

CENTRO DE GRAVEDAD - SUELO ESTABILIZANTE

| Elemento / Figura | b [m] | h [m] | Área [m <sup>2</sup> ] | y <sub>cg</sub> [m]     |
|-------------------|-------|-------|------------------------|-------------------------|
| 1 (Talón)         | 3.00  | 5.00  | 15.00                  | 3.70                    |
| 3 (Relleno Int.)  | 3.00  | 0.52  | 0.78                   | 6.37                    |
| 4 (Punta)         | 1.20  | 0.50  | 0.60                   | 1.45                    |
| TOTAL SUELO       | -     | -     | 16.38                  | y <sub>cg</sub> : 3.745 |

3. FUERZAS Y MOMENTOS INDUCIDOS POR SISMO

EMPUJES DE TIERRA DINÁMICOS

|              |          |       |                                               |
|--------------|----------|-------|-----------------------------------------------|
| $EAE$        | 76.5050  | [kNm] | (Empuje activo estático Coulomb)              |
| $Eae$        | 123.9830 | [kNm] | (Empuje activo total dinámico Mononobe-Okabe) |
| $\Delta Eae$ | 47.1980  | [kNm] | (Incremento dinámico $(Eae - EAE)$ )          |

FUERZAS DESESTABILIZANTES ADICIONALES (SISMO)

| Componente                          | Variable         | Fuerza [kN] | Momento [kNm] |
|-------------------------------------|------------------|-------------|---------------|
| Empuje de Inercia del Muro (PIR)    | $Masa \cdot K_h$ | 81.630      | 234.877       |
| Incremento Dinámico del Suelo (PAE) | $\Delta Eae$     | 47.198      | 195.044       |

< VOLVER AL DISEÑO ESTÁTICO

GEOMETRÍA

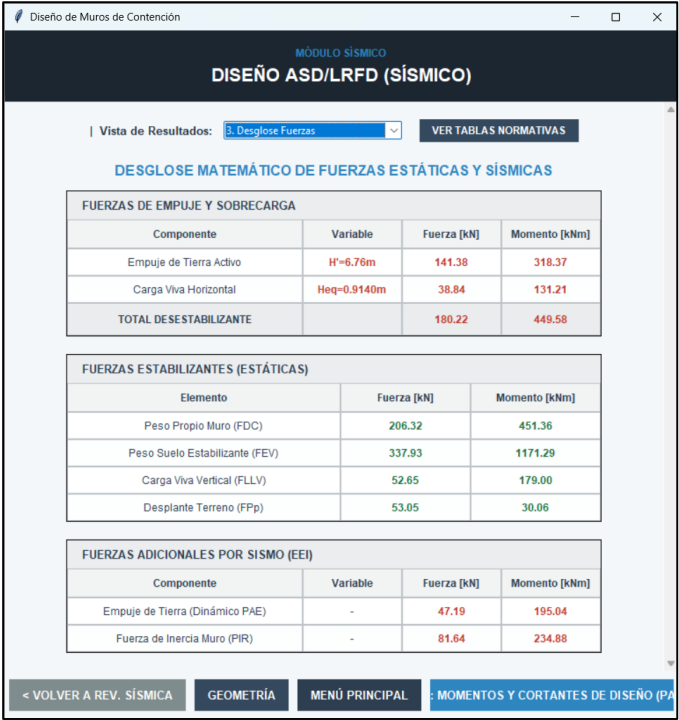
MENÚ PRINCIPAL

SIGUIENTE: DISEÑO SISMICO

Nota. Datos para la revisión sísmica

Desglose de las fuerzas actuantes sobre el muro - Sismo

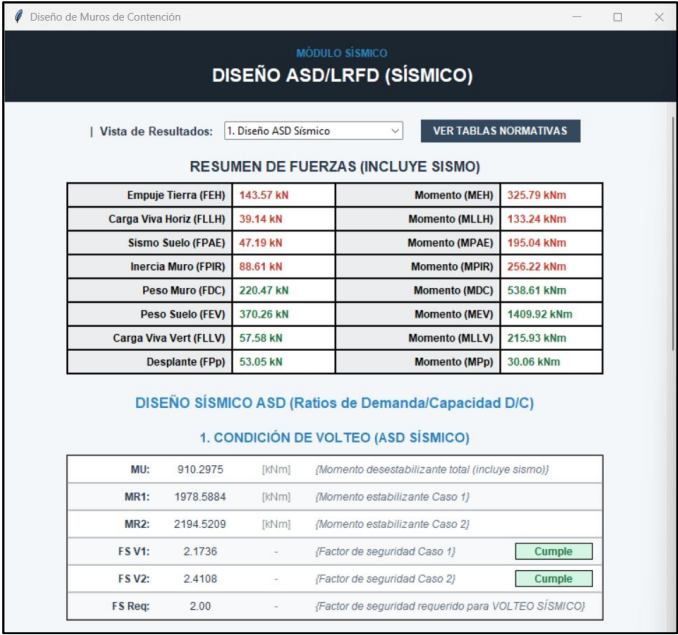
Figura B. 14



Nota. Desglose de las fuerzas inducidas por el sismo

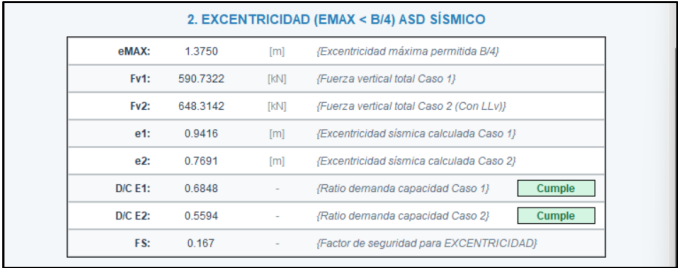
# Verificación de las condiciones de estabilidad para ASD

Figura B. 15



Nota. Revisión de las condiciones de estabilidad mediante ASD Sísmico – Condición de volteo

Figura B. 16



Nota. Revisión de las condiciones de estabilidad mediante ASD Sísmico – Condición de excentricidad

Figura B. 17



Nota. Revisión de las condiciones de estabilidad mediante ASD Sísmico – Condición de capacidad portante



Figura B. 18

| 4. DESLIZAMIENTO ASD SÍSMICO |          |      |                                                      |        |
|------------------------------|----------|------|------------------------------------------------------|--------|
| K=                           | 0.6667   | -    | (Factor de reducción de fricción y cohesión)         |        |
| FU:                          | 318.5080 | [kN] | (Fuerza desestabilizante total (incluye sismo))      |        |
| FR1:                         | 414.7256 | [kN] | (Fuerza estabilizante Caso 1)                        |        |
| FR2:                         | 435.6837 | [kN] | (Fuerza estabilizante Caso 2)                        |        |
| D/C H1:                      | 1.3021   | -    | (Ratio demanda capacidad Caso 1)                     | Cumple |
| D/C H2:                      | 1.3679   | -    | (Ratio demanda capacidad Caso 2)                     | Cumple |
| FS:                          | 1.05     | -    | (Factor de seguridad ASD Sísmico para deslizamiento) |        |

< VOLVER A REV. SÍSMICA    GEOMETRÍA    MENÚ PRINCIPAL    MOMENTOS Y CORTANTES DE DISEÑO (PA)

*Nota.* Revisión de las condiciones de estabilidad mediante ASD Sísmico – Condición de deslizamiento

## Verificación de las condiciones de estabilidad para LRFD

Figura B. 19

MODULO SÍSMICO

DISEÑO ASD/LRFD (SÍSMICO)

Vista de Resultados:

2. Diseño LRFD Sísmico

VER TABLAS NORMATIVAS

RESUMEN DE FUERZAS (INCLUYE SISMO)

|                         |           |                |             |
|-------------------------|-----------|----------------|-------------|
| Empuje Tierra (FEH)     | 143.57 kN | Momento (MEH)  | 325.79 kNm  |
| Carga Viva Horiz (FLLH) | 39.14 kN  | Momento (MLLH) | 133.24 kNm  |
| Sismo Suelo (FPAE)      | 47.19 kN  | Momento (MPAE) | 195.04 kNm  |
| Inercia Muro (FPIR)     | 88.61 kN  | Momento (MPIR) | 256.22 kNm  |
| Peso Muro (FDC)         | 220.47 kN | Momento (MDC)  | 538.61 kNm  |
| Peso Suelo (FEV)        | 370.26 kN | Momento (MEV)  | 1409.92 kNm |
| Carga Viva Vert (FLLV)  | 57.58 kN  | Momento (MLLV) | 215.93 kNm  |
| Desplante (FPp)         | 53.05 kN  | Momento (MPp)  | 30.06 kNm   |

DISEÑO SÍSMICO LRFD (Extreme Event I)

1. REVISIÓN A LA CONDICIÓN DE VOLTEO LRFD (SISMO)

| Extreme Event I | MU [kNm] | MR [kNm] | Ratio D/C | ESTADO |
|-----------------|----------|----------|-----------|--------|
| 1               | 679.532  | 1978.588 | 0.343     | Cumple |
| 2               | 648.943  | 1978.588 | 0.328     | Cumple |
| 3               | 812.776  | 1978.588 | 0.411     | Cumple |
| 4               | 782.186  | 1978.588 | 0.395     | Cumple |
| 5               | 812.776  | 2194.521 | 0.370     | Cumple |
| 6               | 782.186  | 2194.521 | 0.356     | Cumple |

2. REVISIÓN A LA CONDICIÓN DE EXCENRICIDAD LRFD (SISMO)

eMAX (B/4): 1.3750 m

| Extreme Event I | Fv [kN] | e [m] | Ratio D/C | ESTADO |
|-----------------|---------|-------|-----------|--------|
| 1               | 590.732 | 0.551 | 0.401     | Cumple |
| 2               | 590.732 | 0.499 | 0.363     | Cumple |
| 3               | 590.732 | 0.776 | 0.565     | Cumple |
| 4               | 590.732 | 0.725 | 0.527     | Cumple |
| 5               | 648.314 | 0.619 | 0.450     | Cumple |
| 6               | 648.314 | 0.572 | 0.416     | Cumple |

*Nota.* Revisión de las condiciones de estabilidad mediante LRFD Sísmico – Condición de volteo – Resistencia I y Resistencia II



Figura B. 23

| CIMENTADO SOBRE ROCA (FUERA TERCIO CENTRAL) |                             |                             |           |        |
|---------------------------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------|--------|
| Extreme Event I                             | ov max [kN/m <sup>2</sup> ] | ov min [kN/m <sup>2</sup> ] | Ratio D/C | ESTADO |
| 1                                           | 179.086                     | 0.000                       | 0.374     | Cumple |
| 2                                           | 174.966                     | 0.000                       | 0.366     | Cumple |
| 3                                           | 199.554                     | 0.000                       | 0.417     | Cumple |
| 4                                           | 194.452                     | 0.000                       | 0.407     | Cumple |
| 5                                           | 202.792                     | 0.000                       | 0.424     | Cumple |
| 6                                           | 198.400                     | 0.000                       | 0.415     | Cumple |

*Nota.* Revisión de las condiciones de estabilidad mediante LRFD Sísmico –  
Condición de capacidad portante – Cimentado sobre roca fuera del 1/3 central –  
Evento Extremo I

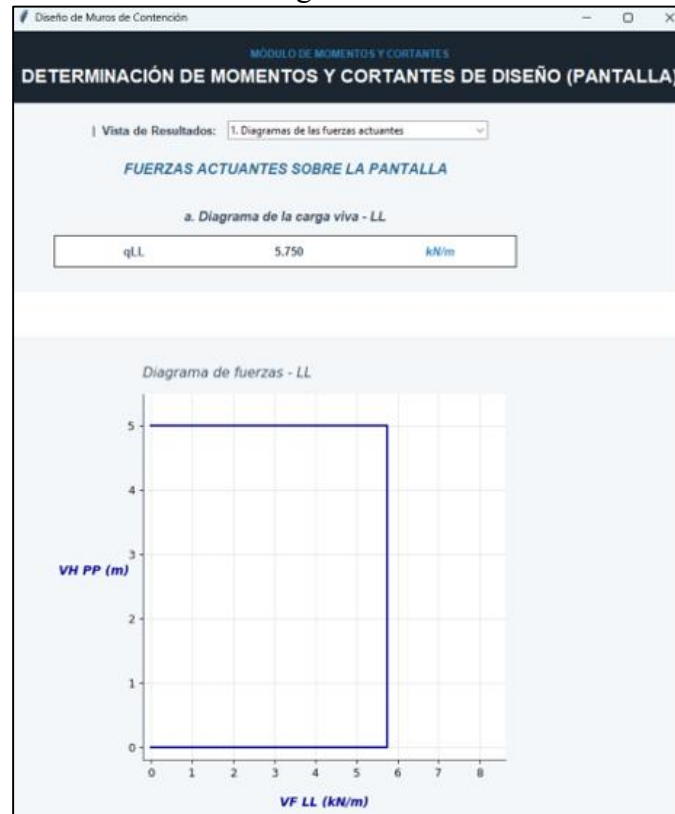
Figura B. 24

| 4. REVISIÓN DE DESLIZAMIENTO LRFD (SISMO) |         |          |          |           |        |
|-------------------------------------------|---------|----------|----------|-----------|--------|
| Extreme Event I                           | Fd [kN] | FR1 [kN] | FRT [kN] | Ratio D/C | ESTADO |
| 1                                         | 255.770 | 360.006  | 350.530  | 0.730     | Cumple |
| 2                                         | 235.059 | 360.006  | 350.530  | 0.671     | Cumple |
| 3                                         | 294.914 | 360.006  | 350.530  | 0.841     | Cumple |
| 4                                         | 274.203 | 360.006  | 350.530  | 0.782     | Cumple |
| 5                                         | 294.914 | 373.653  | 362.813  | 0.813     | Cumple |
| 6                                         | 274.203 | 373.653  | 362.813  | 0.756     | Cumple |

*Nota.* Revisión de las condiciones de estabilidad mediante LRFD Sísmico –  
Deslizamiento – Evento Extremo I

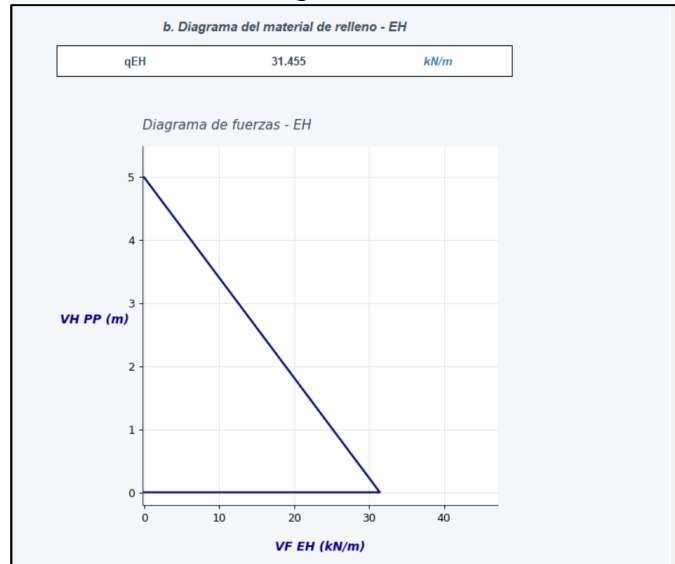
## Diagramas de fuerzas actuantes sobre la pantalla – Armados

Figura B. 25



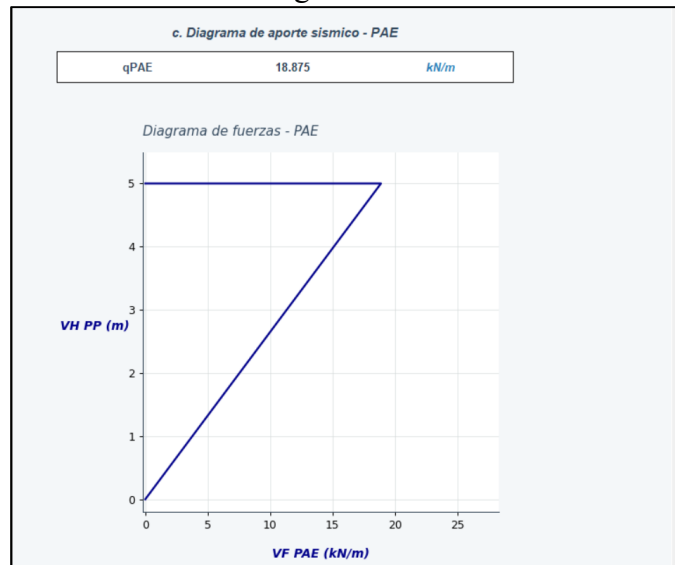
*Nota.* Fuerzas actuantes sobre la pantalla – Carga viva - LL

Figura B. 26



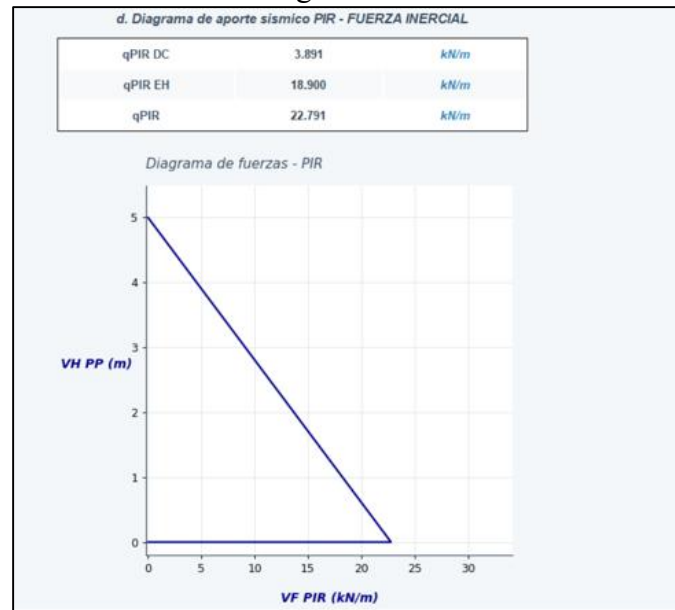
*Nota.* Fuerzas actuantes sobre la pantalla – Empuje horizontal - EH

Figura B. 27



*Nota.* Fuerzas actuantes sobre la pantalla – Aporte sísmico - PAE

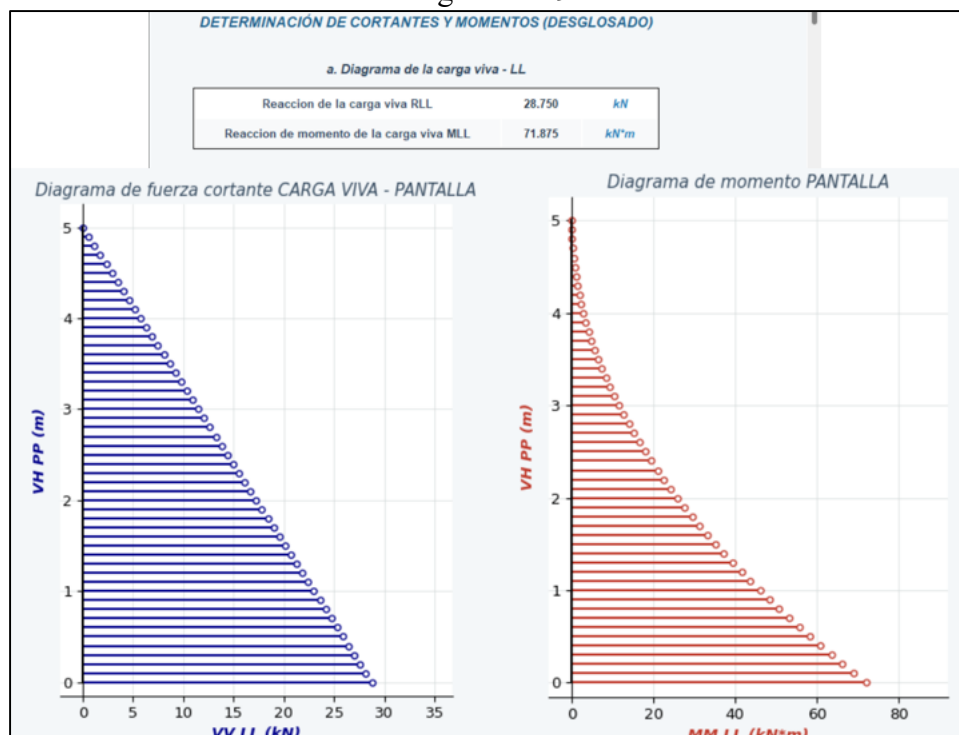
Figura B. 28



Nota. Fuerzas actuantes sobre la pantalla – Fuerza inercial - PIR

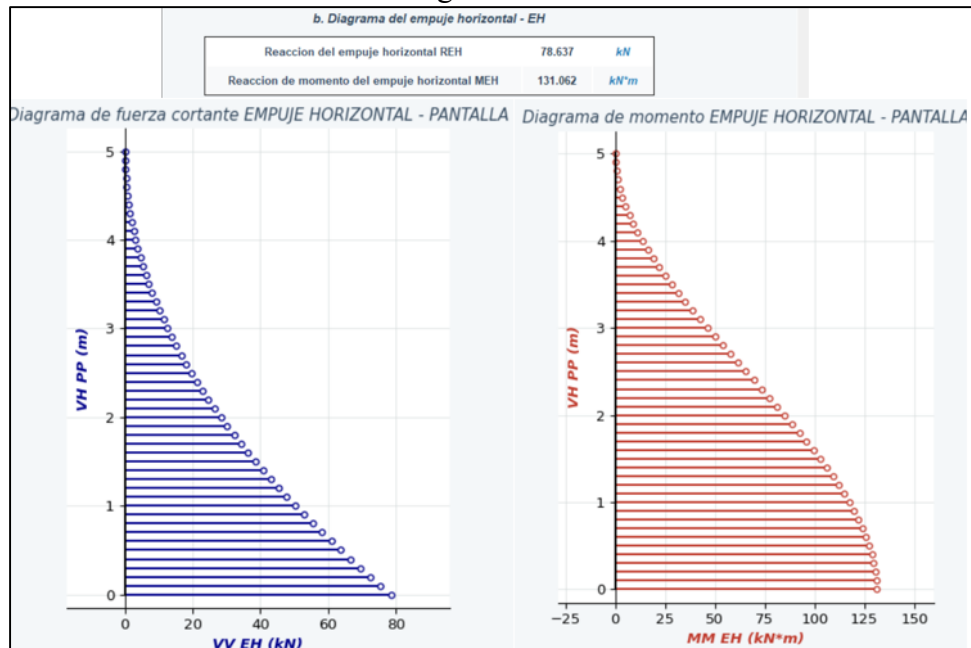
### Diagrama de momento y cortante sobre la pantalla

Figura B. 29



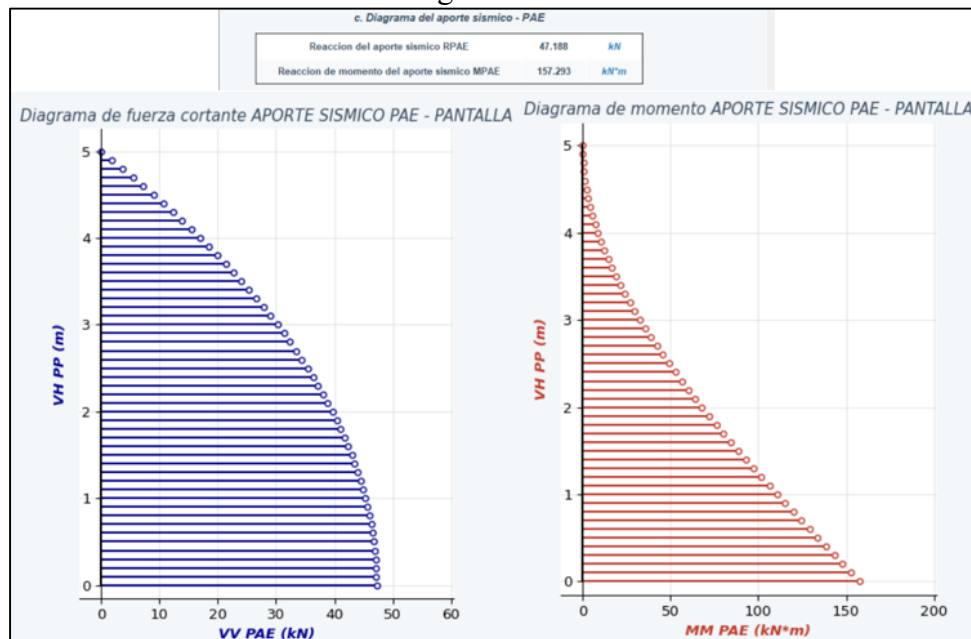
Nota. Fuerzas momento y cortante sobre la pantalla – Carga Viva - LL

Figura B. 30



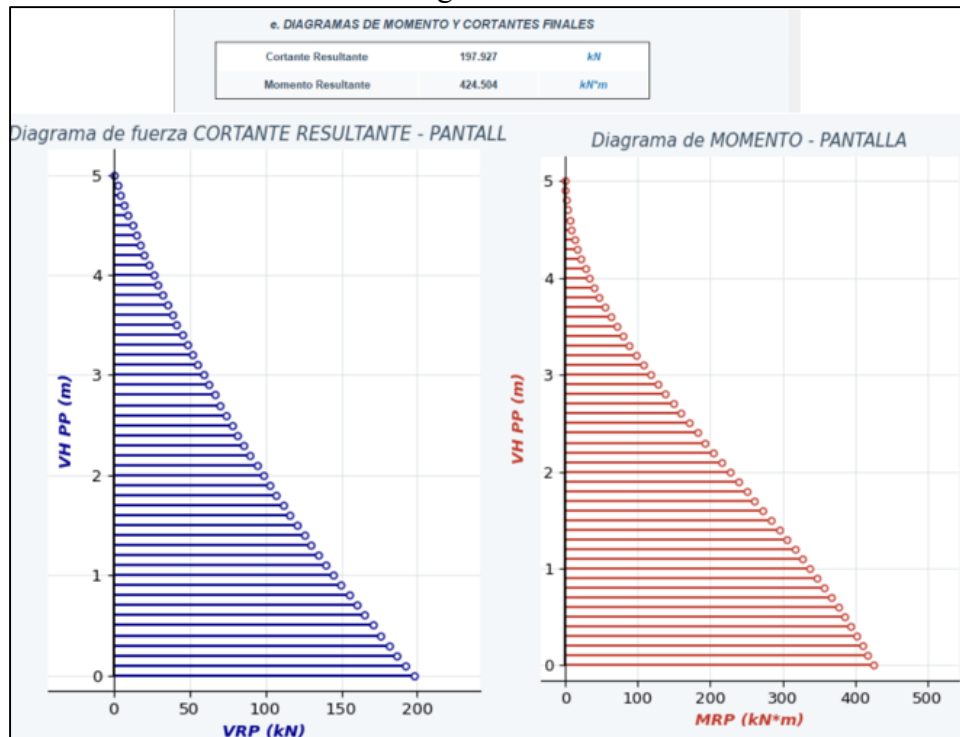
Nota. Fuerzas momento y cortante sobre la pantalla – Empuje horizontal - EH

Figura B. 31



Nota. Fuerzas momento y cortante sobre la pantalla – Aporte sísmico - PAE

Figura B. 32



*Nota.* Fuerzas momento y cortante sobre la pantalla – Aporte sísmico - PIR

Figura B. 33

Diseño de Muros de Contención

MÓDULO DE MOMENTOS Y CORTANTES

**DETERMINACIÓN DE MOMENTOS Y CORTANTES DE DISEÑO (PANTALLA)**

Vista de Resultados: 3. Diagramas de momento y cortante de diseño

**DETERMINACIÓN DE MOMENTOS Y CORTANTES DE DISEÑO (PANTALLA)**

a. Tabla resumen de momentos y cortantes máximos

| Componente           | Cortante Máx [kN] | Momento Máx [kN*m] |
|----------------------|-------------------|--------------------|
| Carga Viva (LL)      | 19.175            | 47.937             |
| Empuje Tierra (EH)   | 78.637            | 131.062            |
| Aporte Sísmico (PAE) | 47.188            | 157.293            |
| Inercia Muro (PIR)   | 52.927            | 88.211             |

*Nota.* Momentos y cortantes de diseño – Tabla de resumen de momentos y cortantes máximos



Figura B. 34

| b. Combinaciones de carga (LRFD)  |              |                                  |              |
|-----------------------------------|--------------|----------------------------------|--------------|
| Combinación Cortante - Strength I |              | Combinación Cortante - Extreme I |              |
| Caso LRFD                         | Valor [kN]   | Caso LRFD                        | Valor [kN]   |
| S (Servicio)                      | 97.812       | 1                                | 155.158      |
| 1                                 | 151.512      | 2                                | 152.289      |
| 2                                 | 151.512      | 3                                | 174.333      |
| 3                                 | 151.512      | 4                                | 171.464      |
| 4                                 | 112.194      | 5                                | 174.333      |
| 5                                 | 151.512      | 6                                | 171.464      |
| 6                                 | 112.194      |                                  |              |
| 7                                 | 151.512      |                                  |              |
| Combinación Momento - Strength I  |              | Combinación Momento - Extreme I  |              |
| Caso LRFD                         | Valor [kN*m] | Caso LRFD                        | Valor [kN*m] |
| S (Servicio)                      | 179.000      | 1                                | 297.920      |
| 1                                 | 280.484      | 2                                | 332.461      |
| 2                                 | 280.484      | 3                                | 345.858      |
| 3                                 | 280.484      | 4                                | 380.399      |
| 4                                 | 214.953      | 5                                | 345.858      |
| 5                                 | 280.484      | 6                                | 380.399      |
| 6                                 | 214.953      |                                  |              |
| 7                                 | 280.484      |                                  |              |

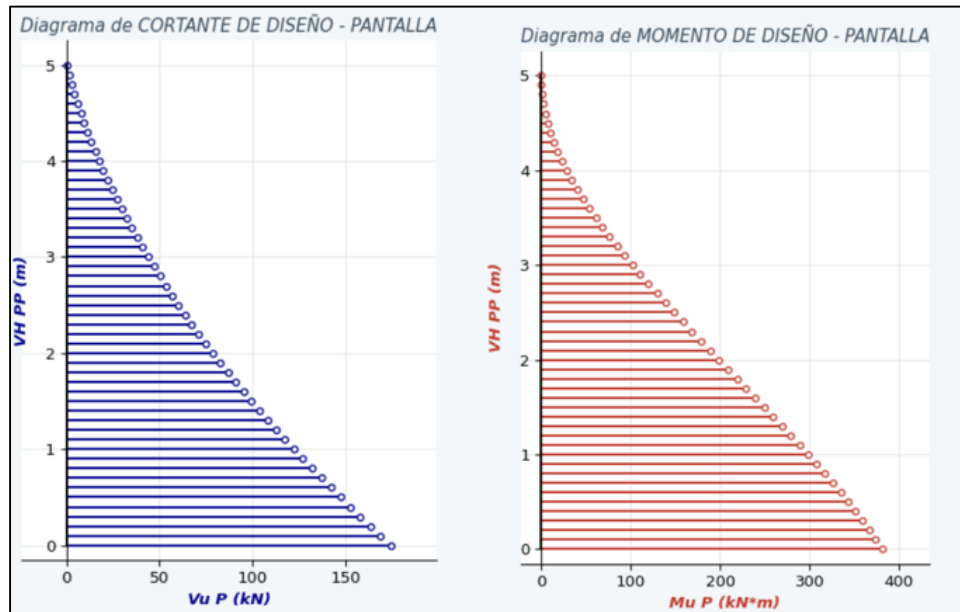
Nota. Momentos y cortantes de diseño – Tabla combinaciones de carga para momento y cortante.

Figura B. 35

| c. Demandas por estado límite           |                              |                               |
|-----------------------------------------|------------------------------|-------------------------------|
| Estado Límite                           | Cortante Más Demandante [kN] | Momento Más Demandante [kN*m] |
| Strength I (Estático)                   | 151.512                      | 280.484                       |
| Extreme Event 1 (Sismico)               | 174.333                      | 380.399                       |
| d. Valores de diseño finales            |                              |                               |
| Cortante de Diseño (Vu) [kN]            |                              | Momento de Diseño (Mu) [kN*m] |
| 174.333                                 |                              | 380.399                       |
| f. Momento de servicio                  |                              |                               |
| Momento por agrietamiento (Ms P) [kN*m] |                              |                               |
| 179.000                                 |                              |                               |

Nota. Momentos y cortantes de diseño – Momento y cortante de diseño finales. Momento de agrietamiento.

Figura B. 36



Nota. Diagramas de momento y cortante de diseño – Pantalla

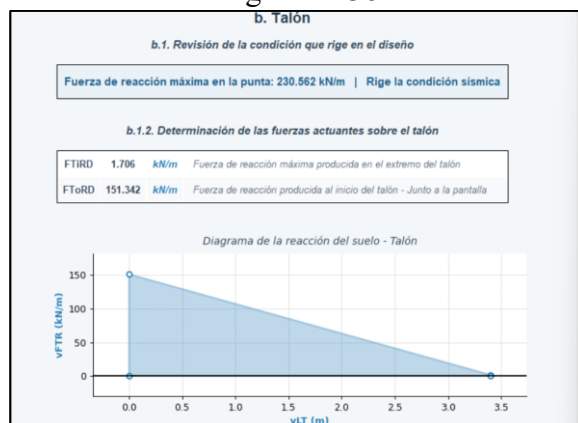
## Diagramas de fuerzas actuantes sobre la cimentación - Armados

Figura B. 37



Nota. Diagramas de la carga distribuida - Cimentación

Figura B. 38



Nota. Diagramas de la carga distribuida - Talón

Figura B. 39



Nota. Diagramas de la carga distribuida de reacción - Talón

Figura B. 40



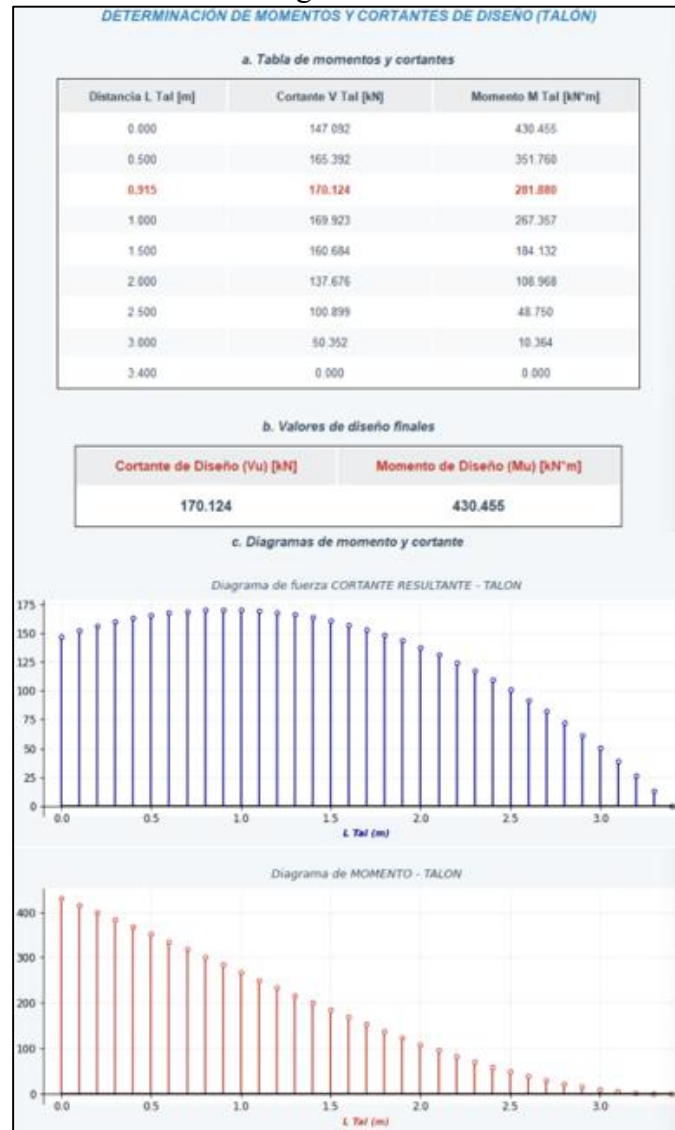
*Nota.* Diagramas de la carga distribuida de reacción - Talón

Figura B. 41



Nota. Diagramas de la carga distribuida de final - Talón

Figura B. 42



Nota. Diagramas de momento y cortante de diseño - Talón

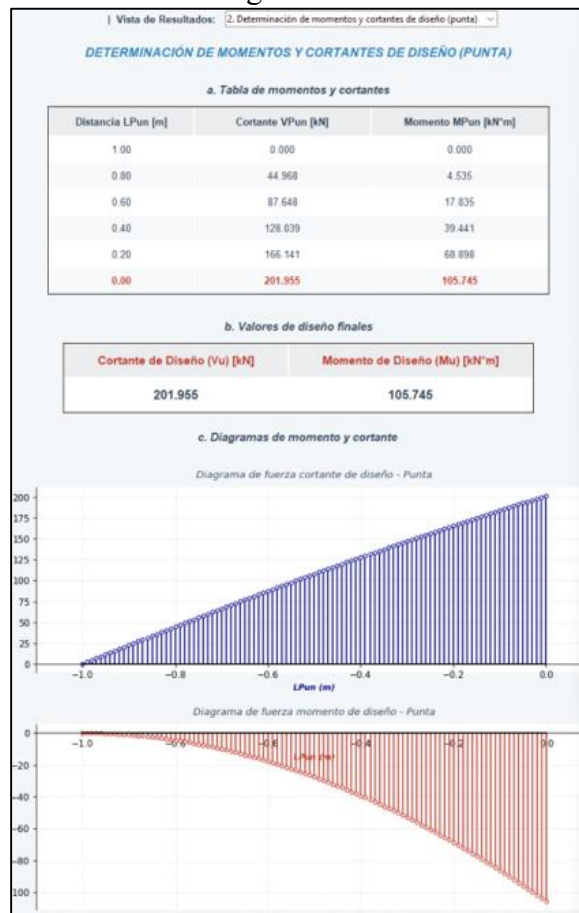
Figura B. 43



Nota. Diagramas de la carga distribuida - Punta

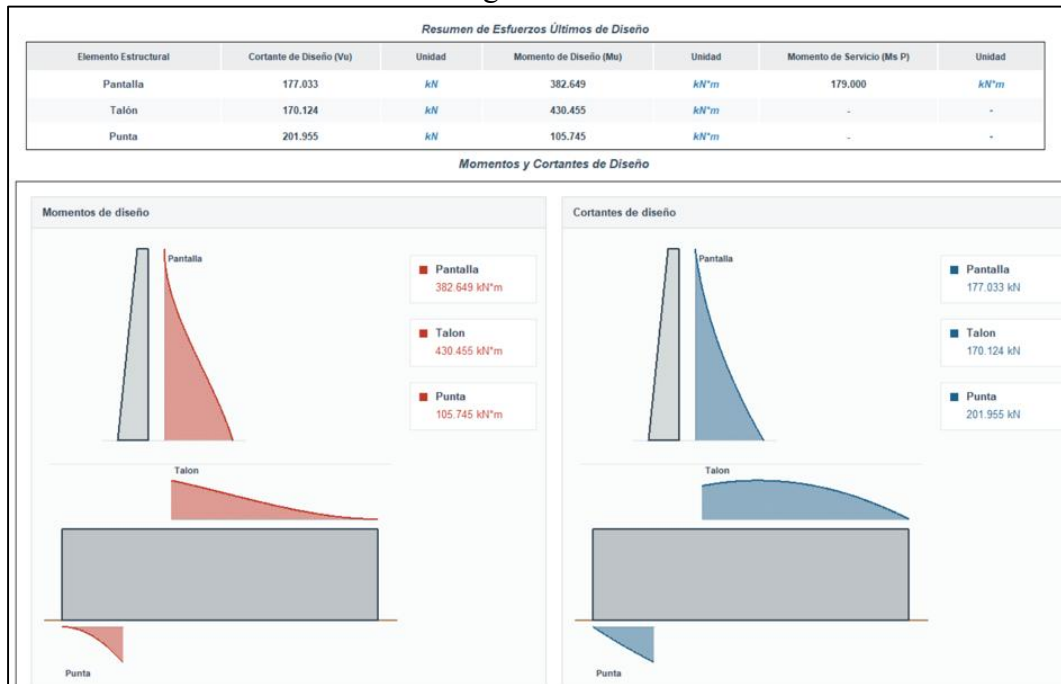
## Diagramas de fuerzas actuantes sobre la cimentación - Punta

Figura B. 44



Nota. Diagramas de momento y cortante de diseño - Punta

Figura B. 45



*Nota.* Diagramas de momento y cortante de diseño - Muro

## Diagramas de diseño

Figura B. 46

| Parámetros de Diseño y Propiedades de los Materiales |                  |           |                     |
|------------------------------------------------------|------------------|-----------|---------------------|
| Nombre                                               | Variable         | Dato      | Unidad              |
| Resistencia a la compresión del concreto             | f'c:             | 210       | kgf/cm <sup>2</sup> |
| Esfuerzo de fluencia del acero                       | f <sub>y</sub> : | 4200      | kgf/cm <sup>2</sup> |
| Módulo de elasticidad del concreto                   | E <sub>c</sub> : | 218819.79 | kgf/cm <sup>2</sup> |
| Módulo de elasticidad del acero                      | E <sub>s</sub> : | 2040000   | kgf/cm <sup>2</sup> |
| Recubrimiento de la pantalla                         | r <sub>p</sub> : | 5         | cm                  |
| Recubrimiento de la zapata                           | r <sub>z</sub> : | 7.5       | cm                  |
| Ancho de diseño                                      | b:               | 100       | cm                  |
| Factor de flexión                                    | φ <sub>f</sub> : | 0.90      | -                   |
| Factor de corte                                      | φ <sub>v</sub> : | 0.90      | -                   |
| Factor β <sub>1</sub>                                | β <sub>1</sub> : | 0.85      | -                   |
| Factor exposición severa                             | γ <sub>e</sub> : | 0.75      | -                   |

*Nota.* Parámetros y propiedades de los materiales

## Armados estructurales - Pantalla

Figura B. 47

Vista de Resultados: 1. Armados estructurales (Pantalla)

### Dimensiones de Diseño - Pantalla

|        |      |    |                               |
|--------|------|----|-------------------------------|
| lP=lt: | 5.00 | m  | Longitud de la viga de diseño |
| bpan:  | 50   | cm | Base - Pantalla               |
| ec:    | 30   | cm | Espesor - Corona              |
| hpc:   | 80   | cm | Altura viga de diseño         |
| b:     | 1.00 | m  | Ancho para elementos          |
| H:     | 2.50 | m  | Altura H                      |
| at:    | 0.13 | m  | Ancho tributario de diseño    |

*Nota.* Dimensiones de diseño - Pantalla

Figura B. 48

### Acero por flexión

Diámetro varilla principal (φP): φ 3/4" (19.05 mm)

|        |         |                    |                         |
|--------|---------|--------------------|-------------------------|
| d P =  | 74.047  | cm                 | Peralte efectivo        |
| a1 P = | 292.873 | cm                 | Primera raíz de Whitney |
| a2 P = | 3.317   | cm                 | Segunda raíz de Whitney |
| As P = | 14.260  | cm <sup>2</sup> /m | Cantidad de acero por m |
| s P =  | 19.988  | cm                 | Separación calculada φP |

### Acero mínimo

|             |            |                     |                                |
|-------------|------------|---------------------|--------------------------------|
| fr P =      | 29.128     | kgf/cm <sup>2</sup> | Módulo de ruptura del concreto |
| S P =       | 106666.667 | cm <sup>4</sup>     | Módulo de sección              |
| Mcr P =     | 34.176     | tonf m              | Momento de agrietamiento       |
| 1.33 Mu P = | 51.896     | tonf m              | 1.33 veces Mu P                |

φP = 19.05 mm @ s P = 19.988 cm

*Nota.* Acero por flexión y acero mínimo

Figura B. 49

### Acero por temperatura (φtemP: φ 1/2" (12.70 mm))

|            |         |                    |                                                       |
|------------|---------|--------------------|-------------------------------------------------------|
| Htem P =   | 250.000 | cm                 | Altura de diseño por temperatura                      |
| e prom =   | 55.000  | cm                 | Espesor promedio                                      |
| As tem P = | 4.057   | cm <sup>2</sup> /m | Acero por temperatura (Cada cara) <span>Cumple</span> |
| AsINF P =  | 1.569   | cm <sup>2</sup> /m | Límite inferior AASHTO                                |
| AsSUP P =  | 8.556   | cm <sup>2</sup> /m | Límite superior AASHTO                                |

### Separación por temperatura

|               |         |    |                                                      |
|---------------|---------|----|------------------------------------------------------|
| stem P =      | 31.221  | cm | Separación calculada temperatura <span>Cumple</span> |
| smax tem P =  | 165.000 | cm | Límite geométrico (3 * e prom)                       |
| smax AASHTO = | 45.720  | cm | Límite normativo (18 in)                             |

φtemP = 12.70 mm @ stem P = 31.221 cm

*Nota.* Acero por temperatura



Figura B. 50

| Revisión de fisuración |         |         |                                       |        |
|------------------------|---------|---------|---------------------------------------|--------|
| Ms P =                 | 18.253  | tonf m  | Momento de servicio                   |        |
| at =                   | 0.130   | m       | Ancho tributario efectivo             |        |
| Ms D =                 | 2.373   | tonf m  | Momento de diseño en servicio         |        |
| n =                    | 9.323   | -       | Relación modular Es/Ec                |        |
| zc P =                 | 5.952   | cm      | Recubrimiento al centroide            |        |
| dc P =                 | 74.047  | cm      | Peralte efectivo                      |        |
| Astc =                 | 26.572  | cm²     | Área transformada                     |        |
| y1 =                   | 15.474  | cm      | Primera raíz eje neutro agrietado     |        |
| y2 =                   | -19.562 | cm      | Segunda raíz eje neutro agrietado     |        |
| jd =                   | 68.889  | cm      | Brazo del par interno                 |        |
| fss =                  | 1208    | kgf/cm² | Esfuerzo del acero en servicio        |        |
| ve =                   | 0.75    | -       | Factor de exposición severa           |        |
| ps =                   | 1.115   | -       | Factor de geometría de sección        |        |
| smax A =               | 57.680  | cm      | Separación máxima permitida normativa | Cumple |

Nota. Revisión por fisuración

Figura B. 51

| Revisión por corte      |          |      |                                        |        |
|-------------------------|----------|------|----------------------------------------|--------|
| Vu P =                  | 18.052   | tonf | Cortante actuante                      |        |
| dv P =                  | 72.389   | cm   | Peralte de corte efectivo              | Cumple |
| Cálculo de $\beta$      |          |      |                                        |        |
| l P =                   | 5.000    | m    | Longitud de la viga                    |        |
| es =                    | 0.002474 | -    | Deformación unitaria del refuerzo      |        |
| s x =                   | 28.500   | in   | Parámetro espaciamento de grietas      |        |
| s xe =                  | 28.500   | in   | Espaciamento equivalente factor tamaño | Cumple |
| br =                    | 1.270    | -    | Factor resistencia tracción diagonal   |        |
| Resistencia al cortante |          |      |                                        |        |
| Vc =                    | 35.311   | tonf | Cortante resistente del concreto       |        |
| VN =                    | 35.311   | tonf | Resistencia nominal a cortante         |        |
| VRP =                   | 31.780   | tonf | Resistencia real al cortante           | Cumple |

Nota. Revisión por corte.

## Armados estructurales - Talón

Figura B. 52

| Dimensiones de Diseño - Talón |       |    |                                         |  |
|-------------------------------|-------|----|-----------------------------------------|--|
| hC:                           | 1.500 | m  | Altura de la cimentación                |  |
| rz:                           | 7.5   | cm | Recubrimiento de la zapata              |  |
| qfz:                          | 0.90  | -  | Factor de reducción para la cimentación |  |
| lta:                          | 3.400 | m  | Longitud del talón                      |  |
| BC:                           | 5.200 | m  | Base de la cimentación                  |  |
| at:                           | 0.160 | m  | Ancho tributario de diseño              |  |

Nota. Dimensiones de diseño – Talón

Figura B. 53

**Acero por flexión** ( $\phi C$ :  $\phi$  5/8" (15.88 mm) )

|          |          |                    |                                           |
|----------|----------|--------------------|-------------------------------------------|
| d C =    | 141.706  | cm                 | Peralte efectivo                          |
| a1 C =   | 564.889  | cm                 | Primera raíz de Whitney                   |
| a2 C =   | 1.935    | cm                 | Segunda raíz de Whitney                   |
| As C =   | 0.083    | cm <sup>2</sup> /m | Cantidad de acero por m                   |
| s C =    | 2400.429 | cm                 | Separación calculada $\phi C$             |
| c C =    | 2.276    | cm                 | Profundidad del eje neutro                |
| $\phi$ = | 9.838    | -                  | Factor de resistencia <span>Cumple</span> |

**Acero mínimo**

|             |            |                    |                                |
|-------------|------------|--------------------|--------------------------------|
| fr C =      | 29.128     | kg/cm <sup>2</sup> | Módulo de ruptura del concreto |
| S C =       | 375000.000 | cm <sup>4</sup>    | Módulo de sección              |
| Mcr C =     | 120.152    | tonf m             | Momento de agrietamiento       |
| 1.33 Mu C = | 58.379     | tonf m             | Mayoración del momento último  |

$\phi C = 15.88 \text{ mm} @ s C = 2400.429 \text{ cm}$

*Nota.* Acero por flexión y acero mínimo

Figura B. 54

**Acero por temperatura** ( $\phi_{tem} C$ :  $\phi$  3/8" (9.53 mm) )

|                       |        |                    |                                        |
|-----------------------|--------|--------------------|----------------------------------------|
| h <sub>tem</sub> C =  | 520    | cm                 | Altura para el diseño por temperatura  |
| h C =                 | 150    | cm                 | Espesor promedio                       |
| A <sub>stem</sub> C = | 10.478 | cm <sup>2</sup> /m | Acero por contracción y temperatura    |
| As <sub>INF</sub> C = | 0.009  | cm <sup>2</sup> /m | Límite inferior                        |
| As <sub>SUP</sub> C = | 0.050  | cm <sup>2</sup> /m | Límite superior <span>No Cumple</span> |

**Separación por temperatura**

|                          |       |    |                                                          |
|--------------------------|-------|----|----------------------------------------------------------|
| stem C =                 | 6.81  | cm | Separación del acero por temperatura <span>Cumple</span> |
| s <sub>max tem</sub> C = | 30.00 | cm | Separación máxima acero por temperatura                  |

$\phi_{tem} C = 9.5 \text{ mm} @ stem C = 6.81 \text{ cm}$

*Nota.* Acero por temperatura

Figura B. 55

**Revisión por corte**

|        |         |      |                                               |
|--------|---------|------|-----------------------------------------------|
| Vu C = | 17.35   | tonf | Cortante actuante                             |
| b =    | 100     | cm   | Ancho de diseño                               |
| d C =  | 141.706 | cm   | Peralte efectivo                              |
| dv C = | 140.739 | cm   | Peralte de corte efectivo <span>Cumple</span> |

**Cálculo de  $\beta$**

|             |         |      |                                                  |
|-------------|---------|------|--------------------------------------------------|
| $\beta$ C = | 2.00    | -    | Factor de cálculo                                |
| Vc C =      | 216.187 | tonf | Cortante resistente del concreto                 |
| VN C =      | 216.187 | tonf | Resistencia nominal a cortante                   |
| VR C =      | 194.568 | tonf | Resistencia real al cortante <span>Cumple</span> |

*Nota.* Revisión por corte.

Figura B. 56

|                                                       |      |    |                                         |
|-------------------------------------------------------|------|----|-----------------------------------------|
| Vista de Resultados: 3. Armados estructurales (Punta) |      |    |                                         |
| Dimensiones de Diseño - Punta                         |      |    |                                         |
| hc:                                                   | 1.5  | m  | Altura de la cimentación                |
| rz:                                                   | 7.5  | cm | Recubrimiento de la zapata              |
| qfc:                                                  | 0.90 | -  | Factor de reducción para la cimentación |
| lpun:                                                 | 100  | cm | Longitud de la punta                    |

*Nota.* Dimensiones de diseño – Punta

## Armados estructurales - Punta

Figura B. 57

|                                                    |          |         |                                            |
|----------------------------------------------------|----------|---------|--------------------------------------------|
| Acero por flexión (qF: $\varphi$ 1/2" (12.70 mm) ) |          |         |                                            |
| Asv F =                                            | 1.267    | cm²     | Área transversal de cada varilla           |
| z F =                                              | 8.135    | cm      | Distancia de la fibra extrema al centroide |
| d F =                                              | 141.865  | cm      | Peralte efectivo                           |
| a F =                                              | 0.474    | cm      | Equilibrio Tracción Compresión             |
| As F =                                             | 0.020    | cm²/m   | Cantidad de acero por m lineal             |
| s C =                                              | 6289.264 | cm      | Separación calculada qF                    |
| Acero mínimo                                       |          |         |                                            |
| fr F =                                             | 29.128   | kgf/cm² | Módulo de ruptura del concreto             |
| S F =                                              | 375000   | cm²     | Módulo de sección                          |
| Mcr F =                                            | 120.152  | tonf m  | Momento de agrietamiento                   |
| 1.33 Mu F =                                        | 14.341   | tonf m  | Mayoración del momento último              |
| $\varphi$ F = 12.7 mm @ s C = 6289.264 cm          |          |         |                                            |

*Nota.* Acero por flexión y acero mínimo

Figura B. 58

|                    |         |      |                                                                |
|--------------------|---------|------|----------------------------------------------------------------|
| Revisión por corte |         |      |                                                                |
| Vu F =             | 20.59   | tonf | Cortante actuante                                              |
| b =                | 100     | cm   | Ancho de diseño                                                |
| d C =              | 141.865 | cm   | Peralte efectivo                                               |
| dv F =             | 141.628 | cm   | Peralte de corte efectivo <span>Cumple</span>                  |
| Cálculo de $\beta$ |         |      |                                                                |
| $\beta$ F =        | 2.00    | -    | Factor de cálculo                                              |
| Vc F =             | 217.553 | tonf | Cortante resistente del concreto                               |
| VN F =             | 217.553 | tonf | Resistencia nominal a cortante                                 |
| VR F =             | 195.798 | tonf | Resistencia real al cortante - Cimentación <span>Cumple</span> |

*Nota.* Revisión por corte.

Figura B. 59



*Nota.* Resumen de armados estructurales

# Muro gravedad

## Definición de los escenarios de cálculo

Figura B. 60

Diseño de Muros de Contención

MÓDULO DE INGRESO DE DATOS

DISEÑO: MURO GRAVEDAD

Modo de Visualización: Vista 3D

Geometría del Muro

| Nombre                | Variable | Dato  | Unidad |
|-----------------------|----------|-------|--------|
| Altura Pantalla       | Ht       | 5     | m      |
| Base Total            | Bt       | 5     | m      |
| Espesor Base          | etb      | 1     | m      |
| Longitud Punta        | lpt      | 1.5   | m      |
| Longitud Corona       | lcc      | 0.30  | m      |
| Base Pantalla Frontal | btf      | 0.50  | m      |
| Longitud Espaldón     | lbe      | 0.5   | m      |
| Longitud Talón        | ltl      | 2.40  | m      |
| Ángulo inclinación    | α        | 10.00 | °      |
| Longitud Muro 3D      | L3       | 1.0   | m      |

ACTUALIZAR MODELO

Parámetros Técnicos

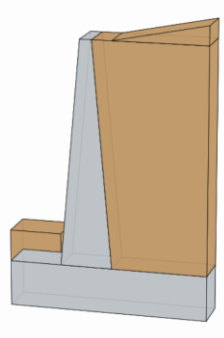
Propiedades del Suelo

| Nombre                | Variable | Dato   | Unidad  |
|-----------------------|----------|--------|---------|
| Densidad Muro         | ρt       | 23.58  | kN/m³   |
| Densidad Fund.        | ρf       | 19.00  | kN/m³   |
| Fricción Fund.        | qf       | 20.00  | °       |
| Cohesión Fund.        | cf       | 40.00  | kN/m²   |
| Densidad Empuje       | ρe       | 18.00  | kN/m³   |
| Fricción Empuje       | qe       | 30.00  | °       |
| Cohesión Empuje       | ce       | 0      | kN/m²   |
| Altura Carga Viva     | hcv      | 0.8096 | m       |
| Presión admisible     | qac      | 7.5    | kgf/cm² |
| Factor reducción      | φqc      | 0.65   | -       |
| Profundidad de plante | Dp       | 1.7    | m       |

< MENÚ PRINCIPAL

CALCULAR ESTABILIDAD >

VOLVER A PESTAÑA ANTERIOR



Nota. Definición de los parámetros geométricos dentro del Software

Figura B. 61

Diseño de Muros de Contención

MÓDULO DE INGRESO DE DATOS

DISEÑO: MURO GRAVEDAD

Modo de Visualización: Vista 3D

Parámetros Técnicos

Propiedades del Suelo

| Nombre                | Variable | Dato   | Unidad  |
|-----------------------|----------|--------|---------|
| Densidad Muro         | ρt       | 23.58  | kN/m³   |
| Densidad Fund.        | ρf       | 19.00  | kN/m³   |
| Fricción Fund.        | qf       | 20.00  | °       |
| Cohesión Fund.        | cf       | 40.00  | kN/m²   |
| Densidad Empuje       | ρe       | 18.00  | kN/m³   |
| Fricción Empuje       | qe       | 30.00  | °       |
| Cohesión Empuje       | ce       | 0      | kN/m²   |
| Altura Carga Viva     | hcv      | 0.8096 | m       |
| Presión admisible     | qac      | 7.5    | kgf/cm² |
| Factor reducción      | φqc      | 0.65   | -       |
| Profundidad de plante | Dp       | 1.7    | m       |

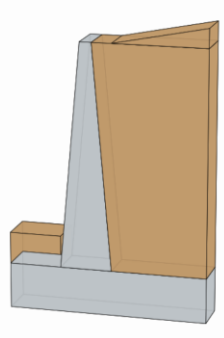
Datos para Análisis Sísmico

| Nombre               | Variable | Dato | Unidad |
|----------------------|----------|------|--------|
| Acceleración roca    | z        | 0.25 | -      |
| Factor amplificación | Fa       | 1.0  | -      |
| Factor reducción     | R        | 1.0  | -      |

< MENÚ PRINCIPAL

CALCULAR ESTABILIDAD >

VOLVER A PESTAÑA ANTERIOR



Nota. Definición de los parámetros técnicos dentro del Software



Figura B. 63

</

*Nota.* Revisión de las condiciones de estabilidad mediante ASD Estático – Condición de volteo

## Verificación de las condiciones de estabilidad para ASD

Figura B. 64

2. EXCENTRICIDAD (EMAX < B/6) ASD

|         |          |      |                                         |
|---------|----------|------|-----------------------------------------|
| eMAX:   | 0.8333   | [m]  | (Excentricidad máxima permitida B/6)    |
| Fv1:    | 503.3462 | [kN] | (Fuerza vertical total Caso 1)          |
| Fv2:    | 535.1674 | [kN] | (Fuerza vertical total Caso 2)          |
| e1:     | 0.1160   | [m]  | (Excentricidad calculada Caso 1)        |
| e2:     | 0.0467   | [m]  | (Excentricidad calculada Caso 2)        |
| D/C E1: | 0.1392   | -    | (Ratio demanda capacidad Caso 1) Cumple |
| D/C E2: | 0.0560   | -    | (Ratio demanda capacidad Caso 2) Cumple |

*Nota.* Revisión de las condiciones de estabilidad mediante ASD Estático – Condición de excentricidad

Figura B. 65

| 3. CAPACIDAD PORTANTE ASD |          |                      |                                                 |        |
|---------------------------|----------|----------------------|-------------------------------------------------|--------|
| qADM:                     | 478.2375 | [kN/m <sup>2</sup> ] | (Esfuerzo admisible del suelo)                  |        |
| qp1:                      | 114.6802 | [kN/m <sup>2</sup> ] | (Carga sobre la punta Caso 1)                   |        |
| qt1:                      | 86.6583  | [kN/m <sup>2</sup> ] | (Carga sobre el talón Caso 1)                   |        |
| qp2:                      | 113.0255 | [kN/m <sup>2</sup> ] | (Carga sobre la punta Caso 2)                   |        |
| qt2:                      | 101.0414 | [kN/m <sup>2</sup> ] | (Carga sobre el talón Caso 2)                   |        |
| FS P1:                    | 4.1702   | -                    | (Factor de seguridad capacidad portante Caso 1) | Cumple |
| FS P2:                    | 4.2312   | -                    | (Factor de seguridad capacidad portante Caso 2) | Cumple |
| FS Req:                   | 3.00     | -                    | (Factor de seguridad requerido para ASD)        |        |

*Nota.* Revisión de las condiciones de estabilidad mediante ASD Estático – Condición de capacidad portante

Figura B. 66

| 4. DESLIZAMIENTO ASD |          |      |                                                   |        |
|----------------------|----------|------|---------------------------------------------------|--------|
| k=                   | 0.6667   | -    | (Factor de reducción de fricción y cohesión base) |        |
| FU:                  | 155.9637 | [kN] | (Fuerza desestabilizante total (estático))        |        |
| FR1:                 | 372.5336 | [kN] | (Fuerza estabilizante Caso 1)                     |        |
| FR2:                 | 384.1155 | [kN] | (Fuerza estabilizante Caso 2)                     |        |
| FS H1:               | 2.3886   | -    | (Factor de seguridad Caso 1)                      | Cumple |
| FS H2:               | 2.4629   | -    | (Factor de seguridad Caso 2)                      | Cumple |
| FS Req:              | 1.50     | -    | (Factor de seguridad ASD para deslizamiento)      |        |

[< VOLVER A GEOMETRÍA](#)
[MENÚ PRINCIPAL](#)
[SIGUIENTE: REVISIÓN SÍSMICA >](#)

*Nota.* Revisión de las condiciones de estabilidad mediante ASD Estático – Condición de deslizamiento



## Verificación de las condiciones de estabilidad para LRFD

Figura B. 67

MÓDULO E-ESTÁTICO

DISEÑO ASD/LRFD (ESTÁTICO)

Vista de Resultados:

2. Diseño LRFD

VER TABLAS NORMATIVAS

CÁLCULO DE FUERZAS ESTÁTICAS Y DESGLOSE (SERVICIO)

|                         |           |                |              |
|-------------------------|-----------|----------------|--------------|
| Empuje Tierra (FEH)     | 131.82 kN | Momento (MEH)  | 284.04 kN*m  |
| Carga Viva Horiz (FLLH) | 24.94 kN  | Momento (MLLH) | 81.10 kN*m   |
| Peso Muro (FDC)         | 212.22 kN | Momento (MDC)  | 478.67 kN*m  |
| Peso Suelo (FEV)        | 291.13 kN | Momento (MEV)  | 1054.72 kN*m |
| Carga Viva Vert (FLLV)  | 31.82 kN  | Momento (MLLV) | 112.96 kN*m  |
| Desplante (FPp)         | 56.00 kN  | Momento (MPp)  | 31.73 kN*m   |

DISEÑO LRFD ESTÁTICO (Strength I/ Strength II)

REVISIÓN A LA CONDICIÓN DE VOLTEO LRFD

| Strength I | MU [kN*m] | MR [kN*m] | Ratio D/C | ESTADO |
|------------|-----------|-----------|-----------|--------|
| S          | 365.142   | 1678.094  | 0.218     | Cumple |
| 1          | 567.989   | 1730.816  | 0.328     | Cumple |
| 2          | 567.989   | 1898.352  | 0.299     | Cumple |
| 3          | 567.989   | 2099.969  | 0.270     | Cumple |
| 4          | 425.970   | 2084.103  | 0.204     | Cumple |
| 5          | 567.989   | 2267.505  | 0.250     | Cumple |
| 6          | 425.970   | 2053.950  | 0.207     | Cumple |
| 7          | 567.989   | 1700.663  | 0.334     | Cumple |

REVISIÓN A LA CONDICIÓN DE VOLTEO LRFD

| Strength II | MU [kN*m] | MR [kN*m] | Ratio D/C | ESTADO |
|-------------|-----------|-----------|-----------|--------|
| S           | 365.142   | 1678.094  | 0.218     | Cumple |
| 1           | 535.548   | 1685.630  | 0.318     | Cumple |
| 2           | 535.548   | 1853.166  | 0.289     | Cumple |
| 3           | 535.548   | 2054.783  | 0.261     | Cumple |
| 4           | 393.528   | 2038.917  | 0.193     | Cumple |
| 5           | 535.548   | 2222.319  | 0.241     | Cumple |
| 6           | 393.528   | 2053.950  | 0.192     | Cumple |
| 7           | 535.548   | 1700.663  | 0.315     | Cumple |

*Nota.* Revisión de las condiciones de estabilidad mediante LRFD Estático – Condición de volteo – Resistencia I y Resistencia II

Figura B. 68

| eMAX: 0.8333 [m] (Excentricidad máxima permitida B6) |         |        |           |        |
|------------------------------------------------------|---------|--------|-----------|--------|
| REVISIÓN A LA CONDICIÓN DE EXCENTRICIDAD LRFD        |         |        |           |        |
| Strength I                                           | Fv [kN] | e [m]  | Ratio D/C | ESTADO |
| S                                                    | 535.167 | 0.047  | 0.056     | Cumple |
| 1                                                    | 537.811 | 0.338  | 0.405     | Cumple |
| 2                                                    | 612.088 | 0.327  | 0.392     | Cumple |
| 3                                                    | 639.705 | 0.105  | 0.126     | Cumple |
| 4                                                    | 639.705 | -0.092 | -0.110    | Cumple |
| 5                                                    | 713.982 | 0.120  | 0.144     | Cumple |
| 6                                                    | 658.295 | 0.027  | 0.032     | Cumple |
| 7                                                    | 556.401 | 0.464  | 0.557     | Cumple |
| REVISIÓN A LA CONDICIÓN DE EXCENTRICIDAD LRFD        |         |        |           |        |
| Strength II                                          | Fv [kN] | e [m]  | Ratio D/C | ESTADO |
| S                                                    | 535.167 | 0.047  | 0.056     | Cumple |
| 1                                                    | 525.083 | 0.310  | 0.372     | Cumple |
| 2                                                    | 599.360 | 0.302  | 0.362     | Cumple |
| 3                                                    | 626.977 | 0.077  | 0.092     | Cumple |
| 4                                                    | 626.977 | -0.124 | -0.149    | Cumple |
| 5                                                    | 701.254 | 0.095  | 0.114     | Cumple |
| 6                                                    | 658.295 | -0.022 | -0.027    | Cumple |
| 7                                                    | 556.401 | 0.406  | 0.487     | Cumple |

*Nota.* Revisión de las condiciones de estabilidad mediante LRFD Estático – Condición de excentricidad – Resistencia I y Resistencia II

Figura B. 69

| φ <sub>qu</sub> q <sub>u</sub> : 478.2375 [kN/m <sup>2</sup> ] (Esfuerzo admisible del suelo) |                         |           |        |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------|-----------|--------|
| Cimentado sobre suelo                                                                         |                         |           |        |
| REVISIÓN DE LA CAPACIDAD PORTANTE LRFD                                                        |                         |           |        |
| Strength I                                                                                    | σv [kN/m <sup>2</sup> ] | Ratio D/C | ESTADO |
| S                                                                                             | 109.069                 | 0.228     | Cumple |
| 1                                                                                             | 124.370                 | 0.260     | Cumple |
| 2                                                                                             | 140.808                 | 0.294     | Cumple |
| 3                                                                                             | 133.560                 | 0.279     | Cumple |
| 4                                                                                             | 123.399                 | 0.258     | Cumple |
| 5                                                                                             | 149.975                 | 0.314     | Cumple |
| 6                                                                                             | 133.095                 | 0.278     | Cumple |
| 7                                                                                             | 136.660                 | 0.286     | Cumple |
| REVISIÓN DE LA CAPACIDAD PORTANTE LRFD                                                        |                         |           |        |
| Strength II                                                                                   | σv [kN/m <sup>2</sup> ] | Ratio D/C | ESTADO |
| S                                                                                             | 109.069                 | 0.228     | Cumple |
| 1                                                                                             | 119.866                 | 0.251     | Cumple |
| 2                                                                                             | 136.319                 | 0.285     | Cumple |
| 3                                                                                             | 129.374                 | 0.271     | Cumple |
| 4                                                                                             | 119.455                 | 0.250     | Cumple |
| 5                                                                                             | 145.769                 | 0.305     | Cumple |
| 6                                                                                             | 130.495                 | 0.273     | Cumple |
| 7                                                                                             | 132.855                 | 0.278     | Cumple |

*Nota.* Revisión de las condiciones de estabilidad mediante LRFD Estático – Condición de capacidad portante – Cimentado sobre suelo – Resistencia I y Resistencia II

Figura B. 70

| Cimentado sobre roca (Dentro del tercio central) |                             |                             |           |        |
|--------------------------------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------|--------|
| REVISIÓN DE LA CAPACIDAD PORTANTE LRFD           |                             |                             |           |        |
| Strength I                                       | ov max [kN/m <sup>2</sup> ] | ov min [kN/m <sup>2</sup> ] | Ratio D/C | ESTADO |
| 8                                                | 113.026                     | 101.041                     | 0.236     | Cumple |
| 1                                                | 151.171                     | 63.954                      | 0.316     | Cumple |
| 2                                                | 170.383                     | 74.452                      | 0.356     | Cumple |
| 3                                                | 144.089                     | 111.793                     | 0.301     | Cumple |
| 4                                                | 113.812                     | 142.070                     | 0.238     | Cumple |
| 5                                                | 163.302                     | 122.291                     | 0.341     | Cumple |
| 6                                                | 135.921                     | 127.397                     | 0.284     | Cumple |
| 7                                                | 173.279                     | 49.281                      | 0.362     | Cumple |

| REVISIÓN DE LA CAPACIDAD PORTANTE LRFD |                             |                             |           |        |
|----------------------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------|--------|
| Strength II                            | ov max [kN/m <sup>2</sup> ] | ov min [kN/m <sup>2</sup> ] | Ratio D/C | ESTADO |
| 8                                      | 113.026                     | 101.041                     | 0.236     | Cumple |
| 1                                      | 144.046                     | 65.987                      | 0.301     | Cumple |
| 2                                      | 163.259                     | 76.484                      | 0.341     | Cumple |
| 3                                      | 136.965                     | 113.826                     | 0.286     | Cumple |
| 4                                      | 106.688                     | 144.103                     | 0.223     | Cumple |
| 5                                      | 156.178                     | 124.324                     | 0.327     | Cumple |
| 6                                      | 128.135                     | 135.183                     | 0.258     | Cumple |
| 7                                      | 165.493                     | 57.067                      | 0.346     | Cumple |

*Nota.* Revisión de las condiciones de estabilidad mediante LRFD Estático – Condición de capacidad portante – Cimentado sobre roca dentro del 1/3 central – Resistencia I y Resistencia II

Figura B. 71

| Cimentado sobre roca (Fuera del tercio central) |                             |                             |           |        |
|-------------------------------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------|--------|
| REVISIÓN DE LA CAPACIDAD PORTANTE LRFD          |                             |                             |           |        |
| Strength I                                      | ov max [kN/m <sup>2</sup> ] | ov min [kN/m <sup>2</sup> ] | Ratio D/C | ESTADO |
| 8                                               | 145.425                     | 0.0                         | 0.304     | Cumple |
| 1                                               | 165.826                     | 0.0                         | 0.347     | Cumple |
| 2                                               | 187.744                     | 0.0                         | 0.393     | Cumple |
| 3                                               | 178.080                     | 0.0                         | 0.372     | Cumple |
| 4                                               | 164.532                     | 0.0                         | 0.344     | Cumple |
| 5                                               | 199.967                     | 0.0                         | 0.418     | Cumple |
| 6                                               | 177.460                     | 0.0                         | 0.371     | Cumple |
| 7                                               | 182.213                     | 0.0                         | 0.381     | Cumple |

| REVISIÓN DE LA CAPACIDAD PORTANTE LRFD |                             |                             |           |        |
|----------------------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------|--------|
| Strength II                            | ov max [kN/m <sup>2</sup> ] | ov min [kN/m <sup>2</sup> ] | Ratio D/C | ESTADO |
| 8                                      | 145.425                     | 0.0                         | 0.304     | Cumple |
| 1                                      | 158.822                     | 0.0                         | 0.334     | Cumple |
| 2                                      | 181.756                     | 0.0                         | 0.380     | Cumple |
| 3                                      | 172.499                     | 0.0                         | 0.361     | Cumple |
| 4                                      | 159.273                     | 0.0                         | 0.333     | Cumple |
| 5                                      | 194.358                     | 0.0                         | 0.406     | Cumple |
| 6                                      | 173.993                     | 0.0                         | 0.364     | Cumple |
| 7                                      | 177.140                     | 0.0                         | 0.370     | Cumple |

*Nota.* Revisión de las condiciones de estabilidad mediante LRFD Estático – Condición de capacidad portante – Cimentado sobre roca fuera del 1/3 central – Resistencia I y Resistencia II

Figura B. 72

| REVISIÓN DE DESLIZAMIENTO LRFD |                |          |          |           |        |
|--------------------------------|----------------|----------|----------|-----------|--------|
| Strength I                     | Fd demand [kN] | FR1 [kN] | FRT [kN] | Ratio D/C | ESTADO |
| S                              | 155.964        | 326.837  | 322.152  | 0.484     | Cumple |
| 1                              | 240.181        | 327.464  | 336.715  | 0.713     | Cumple |
| 2                              | 240.181        | 345.068  | 352.559  | 0.681     | Cumple |
| 3                              | 240.181        | 351.613  | 358.450  | 0.670     | Cumple |
| 4                              | 174.670        | 351.613  | 344.450  | 0.507     | Cumple |
| 5                              | 240.181        | 369.217  | 374.293  | 0.642     | Cumple |
| 6                              | 174.670        | 356.019  | 348.416  | 0.501     | Cumple |
| 7                              | 240.181        | 331.870  | 340.680  | 0.705     | Cumple |

| REVISIÓN DE DESLIZAMIENTO LRFD |                |          |          |           |        |
|--------------------------------|----------------|----------|----------|-----------|--------|
| Strength II                    | Fd demand [kN] | FR1 [kN] | FRT [kN] | Ratio D/C | ESTADO |
| S                              | 155.964        | 326.837  | 322.152  | 0.484     | Cumple |
| 1                              | 230.204        | 324.447  | 334.000  | 0.689     | Cumple |
| 2                              | 230.204        | 342.051  | 349.844  | 0.658     | Cumple |
| 3                              | 230.204        | 348.596  | 355.735  | 0.647     | Cumple |
| 4                              | 164.693        | 348.596  | 341.735  | 0.482     | Cumple |
| 5                              | 230.204        | 366.200  | 371.578  | 0.620     | Cumple |
| 6                              | 164.693        | 356.019  | 348.416  | 0.473     | Cumple |
| 7                              | 230.204        | 331.870  | 340.680  | 0.676     | Cumple |

[< VOLVER A GEOMETRÍA](#)
[MENÚ PRINCIPAL](#)
[SIGUIENTE: REVISIÓN SÍSMICA >](#)

*Nota.* Revisión de las condiciones de estabilidad mediante LRFD Estático – Deslizamiento – Resistencia I y Resistencia II

Datos para la revisión sísmica

Figura B. 73

Diseño de Muros de Contención

MÓDULO SÍSMICO

REVISIÓN SÍSMICA

1. PARÁMETROS DINÁMICOS Y COEFICIENTES (Mononobe-Okabe)

ÁNGULOS PARA REVISIÓN SÍSMICA

|              |         |          |                                                        |
|--------------|---------|----------|--------------------------------------------------------|
| $\delta$ :   | 20.0000 | (grados) | (Ángulo de fricción muro-suelo)                        |
| $\beta$ :    | 0.0000  | (grados) | (Inclinación del respaldo del muro)                    |
| $\epsilon$ : | 10.0000 | (grados) | (Inclinación del relleno)                              |
| $\theta$ :   | 9.2110  | (grados) | (Ángulo inercial sísmico $(\tan\delta/90) / (1-K_h)$ ) |

COEFICIENTES DE EMPUJE SÍSMICO

|            |          |    |                                                                           |
|------------|----------|----|---------------------------------------------------------------------------|
| $K_h$ :    | 0.1000   | -- | (Coeficiente de aceleración horizontal $(0.5 \cdot Z \cdot I \cdot Pa)$ ) |
| $K_v$ :    | 0.0750   | -- | (Coeficiente de aceleración vertical $(0.5 \cdot K_h)$ )                  |
| $K_{AE}$ : | 0.340022 | -- | (Coeficiente de empuje activo estático (Coulomb))                         |
| $K_{AD}$ : | 0.549747 | -- | (Coeficiente de empuje dinámico (Mononobe-Okabe))                         |

2. DETERMINACIÓN DEL CENTRO DE GRAVEDAD (CG)

CENTRO DE GRAVEDAD - MURO

| Elemento / Figura | b [m] | h [m] | Área [m <sup>2</sup> ] | y <sub>cg</sub> [m]     |
|-------------------|-------|-------|------------------------|-------------------------|
| 1 (Base)          | 5.00  | 1.00  | 5.00                   | 0.50                    |
| 2 (Part. Frontal) | 0.50  | 5.00  | 1.25                   | 2.67                    |
| 3 (Part. Central) | 0.30  | 5.00  | 1.50                   | 3.50                    |
| 4 (Espaldón)      | 0.50  | 5.00  | 1.25                   | 2.67                    |
| TOTAL MURO        | --    | --    | 8.00                   | y <sub>cg</sub> : 1.667 |

CENTRO DE GRAVEDAD - SUELO ESTABILIZANTE

| Elemento / Figura  | b [m] | h [m] | Área [m <sup>2</sup> ] | y <sub>cg</sub> [m]     |
|--------------------|-------|-------|------------------------|-------------------------|
| 1 (Talón)          | 2.40  | 5.00  | 12.00                  | 3.50                    |
| 2 (Espaldón Suelo) | 0.50  | 5.00  | 1.25                   | 4.33                    |
| 3 (Relleno Int.)   | 2.40  | 0.42  | 0.50                   | 6.14                    |
| 4 (Punta)          | 1.30  | 0.70  | 0.91                   | 1.35                    |
| TOTAL SUELO        | --    | --    | 14.66                  | y <sub>cg</sub> : 3.526 |

3. FUERZAS Y MOMENTOS INDUCIDOS POR SISMO

EMPUJES DE TIERRA DINÁMICOS

|            |          |        |                                               |
|------------|----------|--------|-----------------------------------------------|
| EAE        | 88.3544  | (kN/m) | (Empuje activo estático Coulomb)              |
| EAD        | 139.7992 | (kN/m) | (Empuje activo total dinámico Mononobe-Okabe) |
| $\Delta E$ | 51.4448  | (kN/m) | (Incremento dinámico $(E_{AD} - E_{AE})$ )    |

FUERZAS DESESTABILIZANTES ADICIONALES (SISMO)

| Componente                          | Variable        | Fuerza [kN] | Momento [kNm] |
|-------------------------------------|-----------------|-------------|---------------|
| Empuje de Inercia del Muro (PIE)    | Masa * $K_h$    | 75.502      | 205.038       |
| Incremento Dinámico del Suelo (FAD) | $\Delta E_{AD}$ | 51.445      | 205.779       |

< VOLVER AL DISEÑO ESTÁTICO

GEOMETRÍA

MENÚ PRINCIPAL

GUENTE: DISEÑO SÍSM

Nota. Datos para la revisión sísmica

Desglose de las fuerzas actuantes sobre el muro – Sismo

Figura B. 74

| DISEÑO ASD/LRFD (SÍSMICO)                           |             |               |               |
|-----------------------------------------------------|-------------|---------------|---------------|
| Vista de Resultados: 3. Desglose Fuerzas            |             |               |               |
| DESGLOSE MATEMÁTICO DE FUERZAS ESTÁTICAS Y SÍSMICAS |             |               |               |
| FUERZAS DE EMPUJE Y SOBRECARGA                      |             |               |               |
| Componente                                          | Variable    | Fuerza [kN]   | Momento [kNm] |
| Empuje de Tierra Activo                             | H'=6.50m    | 131.02        | 284.04        |
| Carga Viva Horizontal                               | Heq=0.0096m | 24.94         | 81.10         |
| TOTAL DESESTABILIZANTE                              |             | 155.96        | 365.14        |
| FUERZAS ESTABILIZANTES (ESTÁTICAS)                  |             |               |               |
| Elemento                                            | Fuerza [kN] | Momento [kNm] |               |
| Peso Propio Muro (FDC)                              | 212.22      | 478.67        |               |
| Peso Suelo Estabilizante (FEV)                      | 291.13      | 1054.72       |               |
| Carga Viva Vertical (FLLV)                          | 31.82       | 112.96        |               |
| Desplante Terreno (FPp)                             | 56.00       | 31.73         |               |
| FUERZAS ADICIONALES POR SISMO (EEI)                 |             |               |               |
| Componente                                          | Variable    | Fuerza [kN]   | Momento [kNm] |
| Empuje de Tierra (Dinámico PAE)                     | -           | 51.44         | 205.78        |
| Fuerza de Inercia Muro (PIR)                        | -           | 75.50         | 205.04        |

Nota. Desglose de las fuerzas inducidas por el sismo

## Verificación de las condiciones de estabilidad para ASD

Figura B. 75

| DISEÑO ASD/LRFD (SÍSMICO)                            |           |                |                                                     |
|------------------------------------------------------|-----------|----------------|-----------------------------------------------------|
| Vista de Resultados: 1. Diseño ASD Sísmico           |           |                |                                                     |
| RESUMEN DE FUERZAS (INCLUYE SISMO)                   |           |                |                                                     |
| Empuje Tierra (FEH)                                  | 131.02 kN | Momento (MEH)  | 284.04 kNm                                          |
| Carga Viva Horiz (FLLH)                              | 24.94 kN  | Momento (MLLH) | 81.10 kNm                                           |
| Sismo Suelo (FPAE)                                   | 51.44 kN  | Momento (MPAE) | 205.78 kNm                                          |
| Inercia Muro (FPIR)                                  | 75.50 kN  | Momento (MPIR) | 205.04 kNm                                          |
| Peso Muro (FDC)                                      | 212.22 kN | Momento (MDC)  | 478.67 kNm                                          |
| Peso Suelo (FEV)                                     | 291.13 kN | Momento (MEV)  | 1054.72 kNm                                         |
| Carga Viva Vert (FLLV)                               | 31.82 kN  | Momento (MLLV) | 112.96 kNm                                          |
| Desplante (FPp)                                      | 56.00 kN  | Momento (MPp)  | 31.73 kNm                                           |
| DISEÑO SÍSMICO ASD (Ratios de Demanda/Capacidad D/C) |           |                |                                                     |
| 1. CONDICIÓN DE VOLTEO (ASD SÍSMICO)                 |           |                |                                                     |
| MU:                                                  | 775.9602  | [kNm]          | (Momento desestabilizante total (incluye sismo))    |
| MR1:                                                 | 1565.1287 | [kNm]          | (Momento estabilizante Caso 1)                      |
| MR2:                                                 | 1678.0936 | [kNm]          | (Momento estabilizante Caso 2)                      |
| FS V1:                                               | 2.0170    | -              | (Factor de seguridad Caso 1) <span>Cumple</span>    |
| FS V2:                                               | 2.1626    | -              | (Factor de seguridad Caso 2) <span>Cumple</span>    |
| FS Req:                                              | 2.00      | -              | (Factor de seguridad requerido para VOLTEO SÍSMICO) |

Nota. Revisión de las condiciones de estabilidad mediante ASD Sísmico – Condición de volteo

Figura B. 76

| 2. EXCENTRICIDAD (EMAX < B/4) ASD SÍSMICO |          |      |                                                      |
|-------------------------------------------|----------|------|------------------------------------------------------|
| eMAX:                                     | 1.2500   | [m]  | (Excentricidad máxima permitida B/4)                 |
| Fv1:                                      | 503.3462 | [kN] | (Fuerza vertical total Caso 1)                       |
| Fv2:                                      | 535.1674 | [kN] | (Fuerza vertical total Caso 2 (Con LLv))             |
| e1:                                       | 0.9322   | [m]  | (Excentricidad sísmica calculada Caso 1)             |
| e2:                                       | 0.8143   | [m]  | (Excentricidad sísmica calculada Caso 2)             |
| D/C E1:                                   | 0.7457   | -    | (Ratio demanda capacidad Caso 1) <span>Cumple</span> |
| D/C E2:                                   | 0.6514   | -    | (Ratio demanda capacidad Caso 2) <span>Cumple</span> |
| FS:                                       | 0.167    | -    | (Factor de seguridad para EXCENTRICIDAD)             |

*Nota.* Revisión de las condiciones de estabilidad mediante ASD Sísmico – Condición de excentricidad

Figura B. 77

| 3. CAPACIDAD PORTANTE ASD SÍSMICO |          |                      |                                                               |
|-----------------------------------|----------|----------------------|---------------------------------------------------------------|
| qu:                               | 735.7500 | [kN/m <sup>2</sup> ] | (Capacidad última nominal del suelo)                          |
| qADM:                             | 478.2375 | [kN/m <sup>2</sup> ] | (Esfuerzo admisible (qu * phi))                               |
| qp1:                              | 213.2766 | [kN/m <sup>2</sup> ] | (Carga sobre la punta Caso 1)                                 |
| qt1:                              | -11.9381 | [kN/m <sup>2</sup> ] | (Carga sobre el talón Caso 1)                                 |
| qp2:                              | 211.6219 | [kN/m <sup>2</sup> ] | (Carga sobre la punta Caso 2)                                 |
| qt2:                              | 2.4451   | [kN/m <sup>2</sup> ] | (Carga sobre el talón Caso 2)                                 |
| D/C P1:                           | 2.2423   | -                    | (Ratio demanda capacidad portante Caso 1) <span>Cumple</span> |
| D/C P2:                           | 2.2599   | -                    | (Ratio demanda capacidad portante Caso 2) <span>Cumple</span> |
| FS:                               | 1.50     | -                    | (Factor de seguridad ASD Sísmico)                             |

*Nota.* Revisión de las condiciones de estabilidad mediante ASD Sísmico – Condición de capacidad portante

Figura B. 78

| 4. DESLIZAMIENTO ASD SÍSMICO |          |      |                                                      |
|------------------------------|----------|------|------------------------------------------------------|
| k=                           | 0.6667   | -    | (Factor de reducción de fricción y cohesión)         |
| FU:                          | 282.9104 | [kN] | (Fuerza desestabilizante total (incluye sismo))      |
| FR1:                         | 372.5336 | [kN] | (Fuerza estabilizante Caso 1)                        |
| FR2:                         | 384.1155 | [kN] | (Fuerza estabilizante Caso 2)                        |
| D/C H1:                      | 1.3168   | -    | (Ratio demanda capacidad Caso 1) <span>Cumple</span> |
| D/C H2:                      | 1.3577   | -    | (Ratio demanda capacidad Caso 2) <span>Cumple</span> |
| FS:                          | 1.05     | -    | (Factor de seguridad ASD Sísmico para deslizamiento) |

[< VOLVER A REV. SÍSMICA](#)
[GEOMETRÍA](#)
[MENÚ PRINCIPAL](#)
[GENERAR INFORME PDF](#)

*Nota.* Revisión de las condiciones de estabilidad mediante ASD Sísmico – Condición de deslizamiento

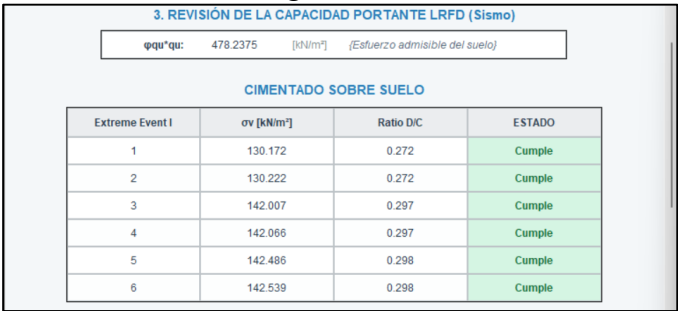
# Verificación de las condiciones de estabilidad para LRFD

Figura B. 79



Nota. Revisión de las condiciones de estabilidad mediante LRFD Sísmico – Condición de volteo – Resistencia I y Resistencia II

Figura B. 80



Nota. Revisión de las condiciones de estabilidad mediante LRFD Sísmico – Condición de excentricidad – Evento Extremo I



Figura B. 81

| 3. REVISIÓN DE LA CAPACIDAD PORTANTE LRFD (Sismo) |                                 |                      |                                |
|---------------------------------------------------|---------------------------------|----------------------|--------------------------------|
| $\phi_{cu}^* \phi_{sc}$ :                         | 478.2375                        | [kN/m <sup>2</sup> ] | (Esfuerzo admisible del suelo) |
| CIMENTADO SOBRE SUELO                             |                                 |                      |                                |
| Extreme Event I                                   | $\sigma_v$ [kN/m <sup>2</sup> ] | Ratio D/C            | ESTADO                         |
| 1                                                 | 134.315                         | 0.281                | Cumple                         |
| 2                                                 | 131.225                         | 0.274                | Cumple                         |
| 3                                                 | 149.666                         | 0.313                | Cumple                         |
| 4                                                 | 145.839                         | 0.305                | Cumple                         |
| 5                                                 | 152.094                         | 0.318                | Cumple                         |
| 6                                                 | 148.800                         | 0.311                | Cumple                         |

*Nota.* Revisión de las condiciones de estabilidad mediante LRFD Sísmico – Condición de capacidad portante – Cimentado sobre suelo - Evento Extremo I

Figura B. 82

| CIMENTADO SOBRE ROCA (DENTRO TERCIO CENTRAL) |                                     |                                     |           |        |
|----------------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|-----------|--------|
| Extreme Event I                              | $\sigma_v$ max [kN/m <sup>2</sup> ] | $\sigma_v$ min [kN/m <sup>2</sup> ] | Ratio D/C | ESTADO |
| 1                                            | 169.118                             | 32.220                              | 0.354     | Cumple |
| 2                                            | 169.207                             | 32.131                              | 0.354     | Cumple |
| 3                                            | 188.583                             | 12.755                              | 0.394     | Cumple |
| 4                                            | 188.672                             | 12.667                              | 0.395     | Cumple |
| 5                                            | 186.928                             | 27.139                              | 0.391     | Cumple |
| 6                                            | 187.017                             | 27.050                              | 0.391     | Cumple |

*Nota.* Revisión de las condiciones de estabilidad mediante LRFD Sísmico – Condición de capacidad portante – Cimentado sobre roca dentro del 1/3 central – Evento Extremo I

Figura B. 83

| CIMENTADO SOBRE ROCA (FUERA TERCIO CENTRAL) |                                     |                                     |           |        |
|---------------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|-----------|--------|
| Extreme Event I                             | $\sigma_v$ max [kN/m <sup>2</sup> ] | $\sigma_v$ min [kN/m <sup>2</sup> ] | Ratio D/C | ESTADO |
| 1                                           | 173.563                             | 0.000                               | 0.363     | Cumple |
| 2                                           | 173.629                             | 0.000                               | 0.363     | Cumple |
| 3                                           | 189.343                             | 0.000                               | 0.396     | Cumple |
| 4                                           | 189.422                             | 0.000                               | 0.396     | Cumple |
| 5                                           | 189.982                             | 0.000                               | 0.397     | Cumple |
| 6                                           | 190.052                             | 0.000                               | 0.397     | Cumple |

*Nota.* Revisión de las condiciones de estabilidad mediante LRFD Sísmico – Condición de capacidad portante – Cimentado sobre roca fuera del 1/3 central – Evento Extremo I

Figura B. 84

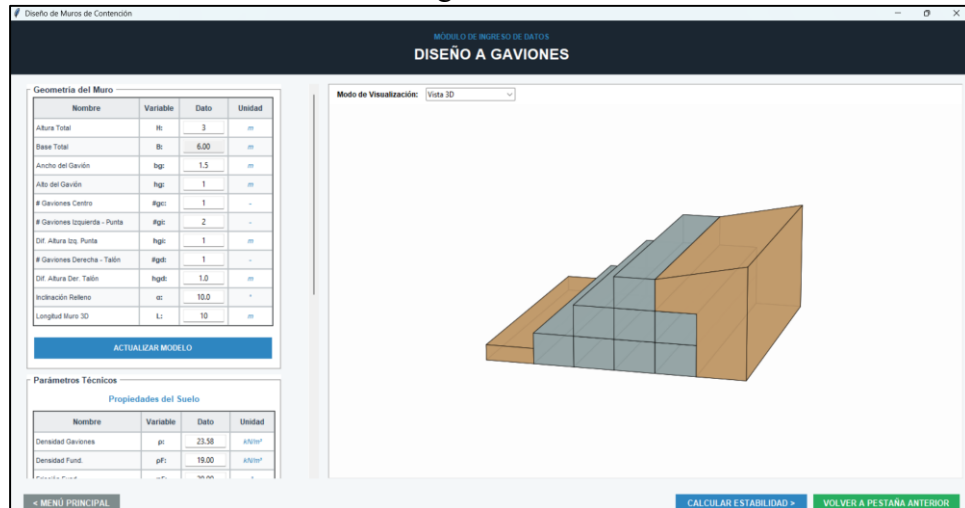
| 4. REVISIÓN DE DESLIZAMIENTO LRFD (SISMO) |         |          |          |           |        |
|-------------------------------------------|---------|----------|----------|-----------|--------|
| Extreme Event I                           | Fd [kN] | FR1 [kN] | FRT [kN] | Ratio D/C | ESTADO |
| 1                                         | 232.247 | 319.295  | 315.364  | 0.736     | Cumple |
| 2                                         | 220.218 | 319.295  | 315.364  | 0.698     | Cumple |
| 3                                         | 257.188 | 319.295  | 315.364  | 0.816     | Cumple |
| 4                                         | 245.159 | 319.295  | 315.364  | 0.777     | Cumple |
| 5                                         | 257.188 | 326.837  | 322.152  | 0.798     | Cumple |
| 6                                         | 245.159 | 326.837  | 322.152  | 0.761     | Cumple |

*Nota.* Revisión de las condiciones de estabilidad mediante LRFD Sísmico – Deslizamiento – Evento Extremo I

# Muro gaviones

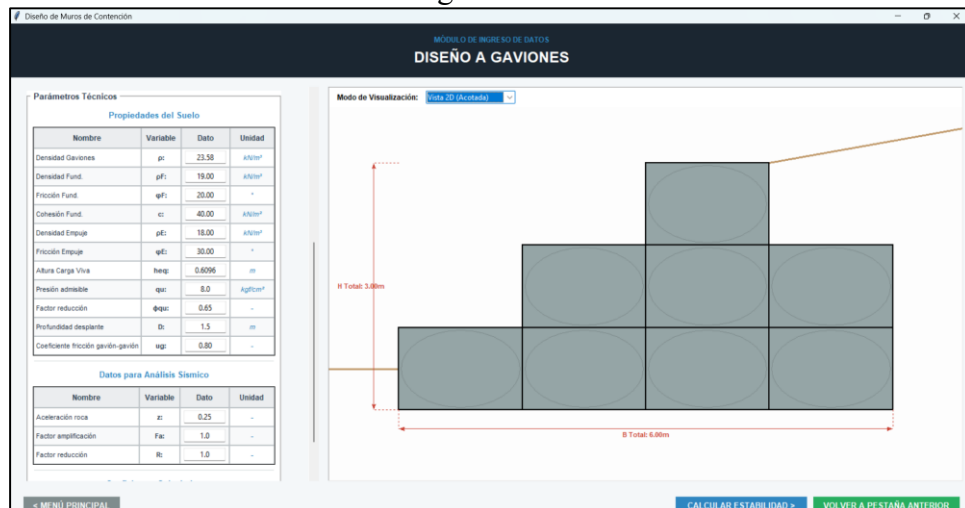
## Definición de los escenarios de cálculo

Figura B. 85



*Nota.* Definición de los parámetros geométricos dentro del Software

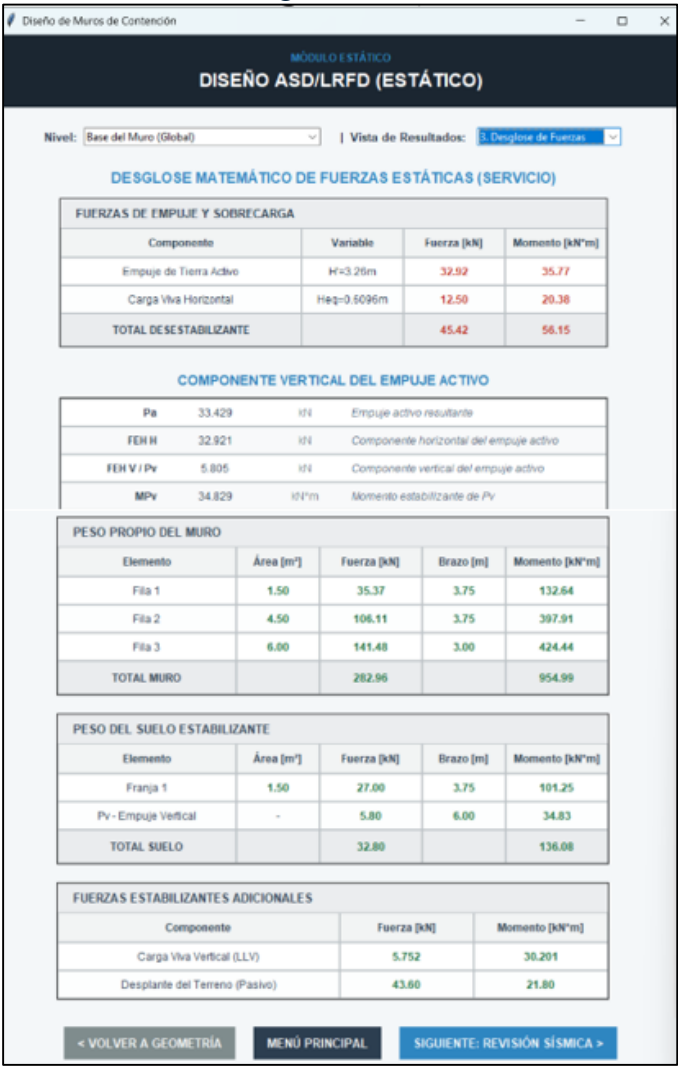
Figura B. 86



*Nota.* Definición de los parámetros técnicos dentro del Software

Desglose de las fuerzas actuantes sobre el muro

Figura B. 87



Nota. Desglose de las fuerzas desestabilizantes (Rojas), estabilizantes (Verdes) - GLOBAL

Figura B. 88



*Nota.* Desglose de las fuerzas desestabilizantes (Rojas), estabilizantes (Verdes) – Prof. 1m



Figura B. 90

Diseño de Muros de Contención

MÓDULO ESTÁTICO

**DISEÑO ASD/LRFD (ESTÁTICO)**

Nivel: Base del Muro (Global) | Vista de Resultados: 1. Diseño ASD

**CÁLCULO DE FUERZAS ESTÁTICAS Y DESGLOSE (SERVICIO)**

|                         |           |                |             |
|-------------------------|-----------|----------------|-------------|
| Empuje Tierra (FEH)     | 32.82 kN  | Momento (MEH)  | 35.77 kN*m  |
| Carga Viva Horiz (FLLH) | 12.50 kN  | Momento (MLLH) | 20.38 kN*m  |
| Peso Muro (FDC)         | 282.96 kN | Momento (MDC)  | 954.99 kN*m |
| Peso Suelo (FEV)        | 32.80 kN  | Momento (MEV)  | 136.08 kN*m |
| Carga Viva Vert (FLLV)  | 5.75 kN   | Momento (MLLV) | 30.20 kN*m  |
| Desplante (FPp)         | 43.60 kN  | Momento (MPp)  | 21.80 kN*m  |

**DISEÑO ASD ESTÁTICO (Ratios de Demanda/Capacidad D/C)**

**1. CONDICIÓN DE VOLTEO (ASD)**

|         |           |        |                                                      |
|---------|-----------|--------|------------------------------------------------------|
| MR1:    | 56.1528   | [kN*m] | (Momento desestabilizante total (estático))          |
| MR2:    | 1112.8677 | [kN*m] | (Momento estabilizante Caso 1)                       |
| MR3:    | 1143.0682 | [kN*m] | (Momento estabilizante Caso 2)                       |
| FS V1:  | 19.8186   | -      | (Factor de seguridad Caso 1) <span>Cumple</span>     |
| FS V2:  | 20.3564   | -      | (Factor de seguridad Caso 2) <span>Cumple</span>     |
| FS Req: | 3.00      | -      | (Factor de seguridad requerido para VOLTEO ESTÁTICO) |

*Nota.* Revisión de las condiciones de estabilidad mediante ASD Estático – Condición de volteo - Global

## Verificación de las condiciones de estabilidad para ASD

Figura B. 91

Diseño de Muros de Contención

MÓDULO ESTÁTICO

**DISEÑO ASD/LRFD (ESTÁTICO)**

Nivel: Fila 1 (Prof. 1.00m) | Vista de Resultados: 1. Diseño ASD

**CÁLCULO DE FUERZAS ESTÁTICAS Y DESGLOSE (SERVICIO)**

|                         |          |                |            |
|-------------------------|----------|----------------|------------|
| Empuje Tierra (FEH)     | 4.92 kN  | Momento (MEH)  | 1.64 kN*m  |
| Carga Viva Horiz (FLLH) | 4.83 kN  | Momento (MLLH) | 2.42 kN*m  |
| Peso Muro (FDC)         | 35.37 kN | Momento (MDC)  | 26.53 kN*m |
| Peso Suelo (FEV)        | 0.00 kN  | Momento (MEV)  | 0.00 kN*m  |
| Carga Viva Vert (FLLV)  | 0.00 kN  | Momento (MLLV) | 0.00 kN*m  |
| Desplante (FPp)         | 0.00 kN  | Momento (MPp)  | 0.00 kN*m  |

**DISEÑO ASD ESTÁTICO (Ratios de Demanda/Capacidad D/C)**

**1. CONDICIÓN DE VOLTEO (ASD)**

|         |         |        |                                                      |
|---------|---------|--------|------------------------------------------------------|
| MR1:    | 4.0554  | [kN*m] | (Momento desestabilizante total (estático))          |
| MR2:    | 26.5275 | [kN*m] | (Momento estabilizante Caso 1)                       |
| MR3:    | 26.5275 | [kN*m] | (Momento estabilizante Caso 2)                       |
| FS V1:  | 6.5413  | -      | (Factor de seguridad Caso 1) <span>Cumple</span>     |
| FS V2:  | 6.5413  | -      | (Factor de seguridad Caso 2) <span>Cumple</span>     |
| FS Req: | 3.00    | -      | (Factor de seguridad requerido para VOLTEO ESTÁTICO) |

*Nota.* Revisión de las condiciones de estabilidad mediante ASD Estático – Condición de volteo – Prof. 1 m

Figura B. 92

*Nota.* Revisión de las condiciones de estabilidad mediante ASD Estático – Condición de volteo – Prof. 2 m

Figura B. 93

| 2. EXCENTRICIDAD (EMAX < B/6) ASD |          |      |                                                      |
|-----------------------------------|----------|------|------------------------------------------------------|
| eMAX:                             | 1.0000   | [m]  | (Excentricidad máxima permitida B/6)                 |
| Fv1:                              | 315.7649 | [kN] | (Fuerza vertical total Caso 1)                       |
| Fv2:                              | 321.5174 | [kN] | (Fuerza vertical total Caso 2)                       |
| e1:                               | 0.3465   | [m]  | (Excentricidad calculada Caso 1)                     |
| e2:                               | 0.3806   | [m]  | (Excentricidad calculada Caso 2)                     |
| D/C E1:                           | 0.3465   | -    | (Ratio demanda capacidad Caso 1) <span>Cumple</span> |
| D/C E2:                           | 0.3806   | -    | (Ratio demanda capacidad Caso 2) <span>Cumple</span> |

*Nota.* Revisión de las condiciones de estabilidad mediante ASD Estático – Condición de excentricidad - Global

Figura B. 94

### 2. EXCENTRICIDAD (EMAX < B/6) ASD

|         |         |      |                                                      |
|---------|---------|------|------------------------------------------------------|
| eMAX:   | 0.2500  | [m]  | (Excentricidad máxima permitida B/6)                 |
| Fv1:    | 35.3700 | [kN] | (Fuerza vertical total Caso 1)                       |
| Fv2:    | 35.3700 | [kN] | (Fuerza vertical total Caso 2)                       |
| e1:     | 0.1147  | [m]  | (Excentricidad calculada Caso 1)                     |
| e2:     | 0.1147  | [m]  | (Excentricidad calculada Caso 2)                     |
| D/C E1: | 0.4586  | -    | (Ratio demanda capacidad Caso 1) <span>Cumple</span> |
| D/C E2: | 0.4586  | -    | (Ratio demanda capacidad Caso 2) <span>Cumple</span> |

*Nota.* Revisión de las condiciones de estabilidad mediante ASD Estático – Condición de excentricidad – Prof. 1 m



Figura B. 95

| 2. EXCENTRICIDAD (EMAX < B/6) ASD |          |      |                                      |        |
|-----------------------------------|----------|------|--------------------------------------|--------|
| eMAX:                             | 0.7500   | [m]  | (Excentricidad máxima permitida B/6) |        |
| Fv1:                              | 171.2698 | [kN] | (Fuerza vertical total Caso 1)       |        |
| Fv2:                              | 177.0223 | [kN] | (Fuerza vertical total Caso 2)       |        |
| e1:                               | 0.1656   | [m]  | (Excentricidad calculada Caso 1)     |        |
| e2:                               | 0.2334   | [m]  | (Excentricidad calculada Caso 2)     |        |
| D/C E1:                           | 0.2209   | -    | (Ratio demanda capacidad Caso 1)     | Cumple |
| D/C E2:                           | 0.3112   | -    | (Ratio demanda capacidad Caso 2)     | Cumple |

*Nota.* Revisión de las condiciones de estabilidad mediante ASD Estático – Condición de excentricidad – Prof. 2 m

Figura B. 96

| 3. CAPACIDAD PORTANTE ASD |          |         |                                                 |        |
|---------------------------|----------|---------|-------------------------------------------------|--------|
| qADM:                     | 510.1200 | [kN/m²] | (Esfuerzo admisible del suelo)                  |        |
| qp1:                      | 34.3908  | [kN/m²] | (Carga sobre la punta Caso 1)                   |        |
| qt1:                      | 70.8642  | [kN/m²] | (Carga sobre el talón Caso 1)                   |        |
| qp2:                      | 33.1924  | [kN/m²] | (Carga sobre la punta Caso 2)                   |        |
| qt2:                      | 73.9801  | [kN/m²] | (Carga sobre el talón Caso 2)                   |        |
| FS P1:                    | 14.8330  | -       | (Factor de seguridad capacidad portante Caso 1) | Cumple |
| FS P2:                    | 15.3686  | -       | (Factor de seguridad capacidad portante Caso 2) | Cumple |
| FS Req:                   | 3.00     | -       | (Factor de seguridad requerido para ASD)        |        |

*Nota.* Revisión de las condiciones de estabilidad mediante ASD Estático – Condición de capacidad portante - Global

Figura B. 97

| 3. CAPACIDAD PORTANTE ASD |          |         |                                                 |        |
|---------------------------|----------|---------|-------------------------------------------------|--------|
| qADM:                     | 510.1200 | [kN/m²] | (Esfuerzo admisible del suelo)                  |        |
| qp1:                      | 12.7657  | [kN/m²] | (Carga sobre la punta Caso 1)                   |        |
| qt1:                      | 34.3943  | [kN/m²] | (Carga sobre el talón Caso 1)                   |        |
| qp2:                      | 12.7657  | [kN/m²] | (Carga sobre la punta Caso 2)                   |        |
| qt2:                      | 34.3943  | [kN/m²] | (Carga sobre el talón Caso 2)                   |        |
| FS P1:                    | 39.9601  | -       | (Factor de seguridad capacidad portante Caso 1) | Cumple |
| FS P2:                    | 39.9601  | -       | (Factor de seguridad capacidad portante Caso 2) | Cumple |
| FS Req:                   | 3.00     | -       | (Factor de seguridad requerido para ASD)        |        |

*Nota.* Revisión de las condiciones de estabilidad mediante ASD Estático – Condición de capacidad portante – Prof. 1 m

Figura B. 98

| 3. CAPACIDAD PORTANTE ASD |          |         |                                                 |        |
|---------------------------|----------|---------|-------------------------------------------------|--------|
| qADM:                     | 510.1200 | [kN/m²] | (Esfuerzo admisible del suelo)                  |        |
| qp1:                      | 29.6542  | [kN/m²] | (Carga sobre la punta Caso 1)                   |        |
| qt1:                      | 46.4657  | [kN/m²] | (Carga sobre el talón Caso 1)                   |        |
| qp2:                      | 27.0975  | [kN/m²] | (Carga sobre la punta Caso 2)                   |        |
| qt2:                      | 51.5790  | [kN/m²] | (Carga sobre el talón Caso 2)                   |        |
| FS P1:                    | 17.2023  | -       | (Factor de seguridad capacidad portante Caso 1) | Cumple |
| FS P2:                    | 18.8253  | -       | (Factor de seguridad capacidad portante Caso 2) | Cumple |
| FS Req:                   | 3.00     | -       | (Factor de seguridad requerido para ASD)        |        |

*Nota.* Revisión de las condiciones de estabilidad mediante ASD Estático – Condición de capacidad portante – Prof. 2 m

Figura B. 99

| 4. DESLIZAMIENTO ASD |          |      |                                                   |        |
|----------------------|----------|------|---------------------------------------------------|--------|
| $k=$                 | 0.6667   | -    | (Factor de reducción de fricción y cohesión base) |        |
| FU:                  | 45.4233  | [kN] | (Fuerza desestabilizante total (estático))        |        |
| FR1:                 | 318.5255 | [kN] | (Fuerza estabilizante Caso 1)                     |        |
| FR2:                 | 320.6192 | [kN] | (Fuerza estabilizante Caso 2)                     |        |
| FS H1:               | 7.0124   | -    | (Factor de seguridad Caso 1)                      | Cumple |
| FS H2:               | 7.0585   | -    | (Factor de seguridad Caso 2)                      | Cumple |
| FS Req:              | 1.50     | -    | (Factor de seguridad ASD para deslizamiento)      |        |

[< VOLVER A GEOMETRÍA](#)
[MENÚ PRINCIPAL](#)
[SIGUIENTE: REVISIÓN SÍSMICA >](#)

*Nota.* Revisión de las condiciones de estabilidad mediante ASD Estático – Condición de deslizamiento - Global

Figura B. 100

| 4. DESLIZAMIENTO ASD |         |      |                                                   |        |
|----------------------|---------|------|---------------------------------------------------|--------|
| $k=$                 | 0.6667  | -    | (Factor de reducción de fricción y cohesión base) |        |
| FU:                  | 9.7500  | [kN] | (Fuerza desestabilizante total (estático))        |        |
| FR1:                 | 52.8736 | [kN] | (Fuerza estabilizante Caso 1)                     |        |
| FR2:                 | 52.8736 | [kN] | (Fuerza estabilizante Caso 2)                     |        |
| FS H1:               | 5.4229  | -    | (Factor de seguridad Caso 1)                      | Cumple |
| FS H2:               | 5.4229  | -    | (Factor de seguridad Caso 2)                      | Cumple |
| FS Req:              | 1.50    | -    | (Factor de seguridad ASD para deslizamiento)      |        |

[< VOLVER A GEOMETRÍA](#)
[MENÚ PRINCIPAL](#)
[SIGUIENTE: REVISIÓN SÍSMICA >](#)

*Nota.* Revisión de las condiciones de estabilidad mediante ASD Estático – Condición de deslizamiento – Prof. 1 m

Figura B. 101

| 4. DESLIZAMIENTO ASD |          |      |                                                   |        |
|----------------------|----------|------|---------------------------------------------------|--------|
| $k=$                 | 0.6667   | -    | (Factor de reducción de fricción y cohesión base) |        |
| FU:                  | 24.4890  | [kN] | (Fuerza desestabilizante total (estático))        |        |
| FR1:                 | 187.1812 | [kN] | (Fuerza estabilizante Caso 1)                     |        |
| FR2:                 | 189.2749 | [kN] | (Fuerza estabilizante Caso 2)                     |        |
| FS H1:               | 7.6435   | -    | (Factor de seguridad Caso 1)                      | Cumple |
| FS H2:               | 7.7290   | -    | (Factor de seguridad Caso 2)                      | Cumple |
| FS Req:              | 1.50     | -    | (Factor de seguridad ASD para deslizamiento)      |        |

[< VOLVER A GEOMETRÍA](#)
[MENÚ PRINCIPAL](#)
[SIGUIENTE: REVISIÓN SÍSMICA >](#)

*Nota.* Revisión de las condiciones de estabilidad mediante ASD Estático – Condición de deslizamiento – Prof. 2 m

Verificación de las condiciones de estabilidad para LRFD

Figura B. 102



Nota. Revisión de las condiciones de estabilidad mediante LRFD Estático – Condición de volteo – Resistencia I y Resistencia II - Global

Figura B. 103

<

*Nota.* Revisión de las condiciones de estabilidad mediante LRFD Estático –  
Condición de volteo – Resistencia I y Resistencia II – Prof. 1 m

Figura B. 104


Diseño de Muros de Contención

MÓDULO ESTÁTICO

DISEÑO ASD/LRFD (ESTÁTICO)

Nivel:

Uda 2 (Prof. 2.00m)

Vista de Resultados:

2. Diseño LRFD

CÁLCULO DE FUERZAS ESTÁTICAS Y DESGLOSE (SERVICIO)

|                        |           |                |             |
|------------------------|-----------|----------------|-------------|
| Empuje Tierra (FEH)    | 15.82 kN  | Momento (MEH)  | 10.55 kN*m  |
| Carga Viva Horiz (FLH) | 8.87 kN   | Momento (MLH)  | 8.87 kN*m   |
| Peso Muro (FDC)        | 141.48 kN | Momento (MDC)  | 318.33 kN*m |
| Peso Suelo (FEV)       | 29.79 kN  | Momento (MEV)  | 113.80 kN*m |
| Carga Viva Vert (FLLV) | 5.75 kN   | Momento (MLLV) | 25.89 kN*m  |
| Desplante (FPp)        | 4.84 kN   | Momento (MPp)  | 0.81 kN*m   |

DISEÑO LRFD ESTÁTICO (Strength I/ Strength II)

REVISIÓN A LA CONDICIÓN DE VOLTEO LRFD

| Strength I | MU [kN*m] | MR [kN*m] | Ratio D/C | ESTADO |
|------------|-----------|-----------|-----------|--------|
| 8          | 19.215    | 458.828   | 0.042     | Cumple |
| 1          | 30.989    | 446.813   | 0.069     | Cumple |
| 2          | 30.989    | 558.229   | 0.056     | Cumple |
| 3          | 30.989    | 486.645   | 0.064     | Cumple |
| 4          | 25.715    | 486.241   | 0.053     | Cumple |
| 5          | 30.989    | 598.060   | 0.052     | Cumple |
| 6          | 25.715    | 552.356   | 0.047     | Cumple |
| 7          | 30.989    | 512.928   | 0.060     | Cumple |

REVISIÓN A LA CONDICIÓN DE VOLTEO LRFD

| Strength II | MU [kN*m] | MR [kN*m] | Ratio D/C | ESTADO |
|-------------|-----------|-----------|-----------|--------|
| 8           | 19.215    | 458.828   | 0.042     | Cumple |
| 1           | 27.522    | 436.459   | 0.063     | Cumple |
| 2           | 27.522    | 547.874   | 0.050     | Cumple |
| 3           | 27.522    | 476.290   | 0.058     | Cumple |
| 4           | 22.248    | 475.886   | 0.047     | Cumple |
| 5           | 27.522    | 587.706   | 0.047     | Cumple |
| 6           | 22.248    | 552.356   | 0.040     | Cumple |
| 7           | 27.522    | 512.928   | 0.054     | Cumple |

*Nota.* Revisión de las condiciones de estabilidad mediante LRFD Estático –  
Condición de volteo – Resistencia I y Resistencia II – Prof. 2 m

Figura B. 105

| REVISIÓN A LA CONDICIÓN DE EXCENTRICIDAD LRFD |         |        |           |        |
|-----------------------------------------------|---------|--------|-----------|--------|
| Strength I                                    | Fv [kN] | e [m]  | Ratio D/C | ESTADO |
| S                                             | 321.517 | -0.381 | -0.381    | Cumple |
| 1                                             | 297.536 | -0.333 | -0.333    | Cumple |
| 2                                             | 396.572 | -0.344 | -0.344    | Cumple |
| 3                                             | 309.017 | -0.364 | -0.364    | Cumple |
| 4                                             | 309.017 | -0.386 | -0.386    | Cumple |
| 5                                             | 408.053 | -0.366 | -0.366    | Cumple |
| 6                                             | 397.987 | -0.336 | -0.336    | Cumple |
| 7                                             | 386.505 | -0.294 | -0.294    | Cumple |

| REVISIÓN A LA CONDICIÓN DE EXCENTRICIDAD LRFD |         |        |           |        |
|-----------------------------------------------|---------|--------|-----------|--------|
| Strength II                                   | Fv [kN] | e [m]  | Ratio D/C | ESTADO |
| S                                             | 321.517 | -0.381 | -0.381    | Cumple |
| 1                                             | 295.235 | -0.346 | -0.346    | Cumple |
| 2                                             | 394.271 | -0.353 | -0.353    | Cumple |
| 3                                             | 306.716 | -0.376 | -0.376    | Cumple |
| 4                                             | 306.716 | -0.399 | -0.399    | Cumple |
| 5                                             | 405.752 | -0.376 | -0.376    | Cumple |
| 6                                             | 397.987 | -0.357 | -0.357    | Cumple |
| 7                                             | 386.505 | -0.315 | -0.315    | Cumple |

*Nota.* Revisión de las condiciones de estabilidad mediante LRFD Estático – Condición de excentricidad – Resistencia I y Resistencia II - Global

Figura B. 106

| REVISIÓN A LA CONDICIÓN DE EXCENTRICIDAD LRFD |         |       |           |        |
|-----------------------------------------------|---------|-------|-----------|--------|
| Strength I                                    | Fv [kN] | e [m] | Ratio D/C | ESTADO |
| S                                             | 35.370  | 0.115 | 0.459     | Cumple |
| 1                                             | 31.833  | 0.210 | 0.840     | Cumple |
| 2                                             | 44.212  | 0.151 | 0.605     | Cumple |
| 3                                             | 31.833  | 0.210 | 0.840     | Cumple |
| 4                                             | 31.833  | 0.184 | 0.737     | Cumple |
| 5                                             | 44.212  | 0.151 | 0.605     | Cumple |
| 6                                             | 44.212  | 0.133 | 0.531     | Cumple |
| 7                                             | 44.212  | 0.151 | 0.605     | Cumple |

| REVISIÓN A LA CONDICIÓN DE EXCENTRICIDAD LRFD |         |       |           |        |
|-----------------------------------------------|---------|-------|-----------|--------|
| Strength II                                   | Fv [kN] | e [m] | Ratio D/C | ESTADO |
| S                                             | 35.370  | 0.115 | 0.459     | Cumple |
| 1                                             | 31.833  | 0.180 | 0.719     | Cumple |
| 2                                             | 44.212  | 0.129 | 0.518     | Cumple |
| 3                                             | 31.833  | 0.180 | 0.719     | Cumple |
| 4                                             | 31.833  | 0.154 | 0.616     | Cumple |
| 5                                             | 44.212  | 0.129 | 0.518     | Cumple |
| 6                                             | 44.212  | 0.111 | 0.443     | Cumple |
| 7                                             | 44.212  | 0.129 | 0.518     | Cumple |

*Nota.* Revisión de las condiciones de estabilidad mediante LRFD Estático – Condición de excentricidad – Resistencia I y Resistencia II – Prof. 1m

Figura B. 107

| eMAX: 0.7500 [m] (Excentricidad máxima permitida B6) |         |        |           |        |
|------------------------------------------------------|---------|--------|-----------|--------|
| REVISIÓN A LA CONDICIÓN DE EXCENTRICIDAD LRFD        |         |        |           |        |
| Strength I                                           | Fv [kN] | e [m]  | Ratio D/C | ESTADO |
| S                                                    | 177.022 | -0.233 | -0.311    | Cumple |
| 1                                                    | 167.189 | -0.237 | -0.316    | Cumple |
| 2                                                    | 216.707 | -0.183 | -0.244    | Cumple |
| 3                                                    | 177.615 | -0.315 | -0.421    | Cumple |
| 4                                                    | 177.615 | -0.343 | -0.457    | Cumple |
| 5                                                    | 227.133 | -0.247 | -0.329    | Cumple |
| 6                                                    | 217.066 | -0.176 | -0.235    | Cumple |
| 7                                                    | 206.640 | -0.082 | -0.110    | Cumple |
| REVISIÓN A LA CONDICIÓN DE EXCENTRICIDAD LRFD        |         |        |           |        |
| Strength II                                          | Fv [kN] | e [m]  | Ratio D/C | ESTADO |
| S                                                    | 177.022 | -0.233 | -0.311    | Cumple |
| 1                                                    | 164.888 | -0.230 | -0.307    | Cumple |
| 2                                                    | 214.406 | -0.177 | -0.236    | Cumple |
| 3                                                    | 175.314 | -0.310 | -0.413    | Cumple |
| 4                                                    | 175.314 | -0.338 | -0.450    | Cumple |
| 5                                                    | 224.832 | -0.242 | -0.322    | Cumple |
| 6                                                    | 217.066 | -0.192 | -0.256    | Cumple |
| 7                                                    | 206.640 | -0.099 | -0.132    | Cumple |

*Nota.* Revisión de las condiciones de estabilidad mediante LRFD Estático – Condición de excentricidad – Resistencia I y Resistencia II – Prof. 2 m

Figura B. 108

| φ <sub>qu</sub> q <sub>u</sub> : 510.1200 [kN/m²] (Esfuerzo admisible del suelo) |                        |           |        |
|----------------------------------------------------------------------------------|------------------------|-----------|--------|
| Cimentado sobre suelo                                                            |                        |           |        |
| REVISIÓN DE LA CAPACIDAD PORTANTE LRFD                                           |                        |           |        |
| Strength I                                                                       | σ <sub>v</sub> [kN/m²] | Ratio D/C | ESTADO |
| S                                                                                | 47.554                 | 0.093     | Cumple |
| 1                                                                                | 44.630                 | 0.087     | Cumple |
| 2                                                                                | 59.300                 | 0.116     | Cumple |
| 3                                                                                | 45.935                 | 0.090     | Cumple |
| 4                                                                                | 45.628                 | 0.089     | Cumple |
| 5                                                                                | 60.607                 | 0.119     | Cumple |
| 6                                                                                | 59.645                 | 0.117     | Cumple |
| 7                                                                                | 58.666                 | 0.115     | Cumple |
| REVISIÓN DE LA CAPACIDAD PORTANTE LRFD                                           |                        |           |        |
| Strength II                                                                      | σ <sub>v</sub> [kN/m²] | Ratio D/C | ESTADO |
| S                                                                                | 47.554                 | 0.093     | Cumple |
| 1                                                                                | 44.117                 | 0.086     | Cumple |
| 2                                                                                | 58.788                 | 0.115     | Cumple |
| 3                                                                                | 45.425                 | 0.089     | Cumple |
| 4                                                                                | 45.121                 | 0.088     | Cumple |
| 5                                                                                | 60.097                 | 0.118     | Cumple |
| 6                                                                                | 59.281                 | 0.116     | Cumple |
| 7                                                                                | 58.293                 | 0.114     | Cumple |

*Nota.* Revisión de las condiciones de estabilidad mediante LRFD Estático – Condición de capacidad portante sobre suelo – Resistencia I y Resistencia II - Global

Figura B. 109

| $\phi_{qu} \cdot q_u$ :                | 510.1200                        | [kN/m <sup>2</sup> ] | (Esfuerzo admisible del suelo) |
|----------------------------------------|---------------------------------|----------------------|--------------------------------|
| Cimentado sobre suelo                  |                                 |                      |                                |
| REVISIÓN DE LA CAPACIDAD PORTANTE LRFD |                                 |                      |                                |
| Strength I                             | $\sigma_v$ [kN/m <sup>2</sup> ] | Ratio D/C            | ESTADO                         |
| S                                      | 27.835                          | 0.055                | Cumple                         |
| 1                                      | 29.479                          | 0.058                | Cumple                         |
| 2                                      | 36.921                          | 0.072                | Cumple                         |
| 3                                      | 29.479                          | 0.058                | Cumple                         |
| 4                                      | 28.137                          | 0.055                | Cumple                         |
| 5                                      | 36.921                          | 0.072                | Cumple                         |
| 6                                      | 35.812                          | 0.070                | Cumple                         |
| 7                                      | 36.921                          | 0.072                | Cumple                         |
| REVISIÓN DE LA CAPACIDAD PORTANTE LRFD |                                 |                      |                                |
| Strength II                            | $\sigma_v$ [kN/m <sup>2</sup> ] | Ratio D/C            | ESTADO                         |
| S                                      | 27.835                          | 0.055                | Cumple                         |
| 1                                      | 27.909                          | 0.055                | Cumple                         |
| 2                                      | 35.620                          | 0.070                | Cumple                         |
| 3                                      | 27.909                          | 0.055                | Cumple                         |
| 4                                      | 26.704                          | 0.052                | Cumple                         |
| 5                                      | 35.620                          | 0.070                | Cumple                         |
| 6                                      | 34.587                          | 0.068                | Cumple                         |
| 7                                      | 35.620                          | 0.070                | Cumple                         |

*Nota.* Revisión de las condiciones de estabilidad mediante LRFD Estático –  
Condición de capacidad portante sobre suelo – Resistencia I y Resistencia II – Prof.  
1m

Figura B. 110

| $\phi_{qu} \cdot q_u$ :                | 510.1200                        | [kN/m <sup>2</sup> ] | (Esfuerzo admisible del suelo) |
|----------------------------------------|---------------------------------|----------------------|--------------------------------|
| Cimentado sobre suelo                  |                                 |                      |                                |
| REVISIÓN DE LA CAPACIDAD PORTANTE LRFD |                                 |                      |                                |
| Strength I                             | $\sigma_v$ [kN/m <sup>2</sup> ] | Ratio D/C            | ESTADO                         |
| S                                      | 35.641                          | 0.070                | Cumple                         |
| 1                                      | 33.610                          | 0.066                | Cumple                         |
| 2                                      | 44.536                          | 0.087                | Cumple                         |
| 3                                      | 34.617                          | 0.068                | Cumple                         |
| 4                                      | 34.251                          | 0.067                | Cumple                         |
| 5                                      | 45.488                          | 0.089                | Cumple                         |
| 6                                      | 44.734                          | 0.088                | Cumple                         |
| 7                                      | 44.300                          | 0.087                | Cumple                         |
| REVISIÓN DE LA CAPACIDAD PORTANTE LRFD |                                 |                      |                                |
| Strength II                            | $\sigma_v$ [kN/m <sup>2</sup> ] | Ratio D/C            | ESTADO                         |
| S                                      | 35.641                          | 0.070                | Cumple                         |
| 1                                      | 33.242                          | 0.065                | Cumple                         |
| 2                                      | 44.172                          | 0.087                | Cumple                         |
| 3                                      | 34.244                          | 0.067                | Cumple                         |
| 4                                      | 33.876                          | 0.066                | Cumple                         |
| 5                                      | 45.119                          | 0.088                | Cumple                         |
| 6                                      | 44.442                          | 0.087                | Cumple                         |
| 7                                      | 43.984                          | 0.086                | Cumple                         |

*Nota.* Revisión de las condiciones de estabilidad mediante LRFD Estático –  
Condición de capacidad portante sobre suelo – Resistencia I y Resistencia II – Prof.  
1m



Figura B. 111

| Cimentado sobre roca (Dentro del tercio central) |                             |                             |           |        |
|--------------------------------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------|--------|
| REVISIÓN DE LA CAPACIDAD PORTANTE LRFD           |                             |                             |           |        |
| Strength I                                       | ov max [kN/m <sup>2</sup> ] | ov min [kN/m <sup>2</sup> ] | Ratio D/C | ESTADO |
| S                                                | 33.192                      | 73.980                      | 0.065     | Cumple |
| 1                                                | 33.058                      | 66.121                      | 0.065     | Cumple |
| 2                                                | 43.374                      | 88.816                      | 0.085     | Cumple |
| 3                                                | 32.775                      | 70.231                      | 0.064     | Cumple |
| 4                                                | 31.610                      | 71.396                      | 0.062     | Cumple |
| 5                                                | 43.091                      | 92.927                      | 0.084     | Cumple |
| 6                                                | 44.023                      | 88.639                      | 0.086     | Cumple |
| 7                                                | 45.472                      | 83.363                      | 0.089     | Cumple |

| REVISIÓN DE LA CAPACIDAD PORTANTE LRFD |                             |                             |           |        |
|----------------------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------|--------|
| Strength II                            | ov max [kN/m <sup>2</sup> ] | ov min [kN/m <sup>2</sup> ] | Ratio D/C | ESTADO |
| S                                      | 33.192                      | 73.980                      | 0.065     | Cumple |
| 1                                      | 32.179                      | 66.233                      | 0.063     | Cumple |
| 2                                      | 42.495                      | 88.929                      | 0.083     | Cumple |
| 3                                      | 31.895                      | 70.343                      | 0.063     | Cumple |
| 4                                      | 30.731                      | 71.508                      | 0.060     | Cumple |
| 5                                      | 42.212                      | 93.039                      | 0.083     | Cumple |
| 6                                      | 42.665                      | 89.997                      | 0.084     | Cumple |
| 7                                      | 44.113                      | 84.722                      | 0.086     | Cumple |

*Nota.* Revisión de las condiciones de estabilidad mediante LRFD Estático – Condición de capacidad portante dentro del 1/3 central – Resistencia I y Resistencia II - Global

Figura B. 112

| $q_{pu}^{*} q_{uc}$ : 510.1200 [kN/m <sup>2</sup> ] (Esfuerzo admisible del suelo) |                         |           |        |  |
|------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------|-----------|--------|--|
| Cimentado sobre suelo                                                              |                         |           |        |  |
| REVISIÓN DE LA CAPACIDAD PORTANTE LRFD                                             |                         |           |        |  |
| Strength I                                                                         | ov [kN/m <sup>2</sup> ] | Ratio D/C | ESTADO |  |
| S                                                                                  | 35.641                  | 0.070     | Cumple |  |
| 1                                                                                  | 33.610                  | 0.066     | Cumple |  |
| 2                                                                                  | 44.536                  | 0.087     | Cumple |  |
| 3                                                                                  | 34.617                  | 0.068     | Cumple |  |
| 4                                                                                  | 34.251                  | 0.067     | Cumple |  |
| 5                                                                                  | 45.488                  | 0.089     | Cumple |  |
| 6                                                                                  | 44.734                  | 0.088     | Cumple |  |
| 7                                                                                  | 44.300                  | 0.087     | Cumple |  |

| REVISIÓN DE LA CAPACIDAD PORTANTE LRFD |                         |           |        |  |
|----------------------------------------|-------------------------|-----------|--------|--|
| Strength II                            | ov [kN/m <sup>2</sup> ] | Ratio D/C | ESTADO |  |
| S                                      | 35.641                  | 0.070     | Cumple |  |
| 1                                      | 33.242                  | 0.065     | Cumple |  |
| 2                                      | 44.172                  | 0.087     | Cumple |  |
| 3                                      | 34.244                  | 0.067     | Cumple |  |
| 4                                      | 33.876                  | 0.066     | Cumple |  |
| 5                                      | 45.119                  | 0.088     | Cumple |  |
| 6                                      | 44.442                  | 0.087     | Cumple |  |
| 7                                      | 43.984                  | 0.086     | Cumple |  |

*Nota.* Revisión de las condiciones de estabilidad mediante LRFD Estático – Condición de capacidad portante sobre suelo – Resistencia I y Resistencia II – Prof. 2

Figura B. 113

| Cimentado sobre roca (Dentro del tercio central) |                             |                             |           |        |
|--------------------------------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------|--------|
| REVISIÓN DE LA CAPACIDAD PORTANTE LRFD           |                             |                             |           |        |
| Strength I                                       | ov max [kN/m <sup>2</sup> ] | ov min [kN/m <sup>2</sup> ] | Ratio D/C | ESTADO |
| S                                                | 34.394                      | 12.766                      | 0.067     | Cumple |
| 1                                                | 39.054                      | 3.390                       | 0.077     | Cumple |
| 2                                                | 47.307                      | 11.643                      | 0.093     | Cumple |
| 3                                                | 39.054                      | 3.390                       | 0.077     | Cumple |
| 4                                                | 36.868                      | 5.576                       | 0.072     | Cumple |
| 5                                                | 47.307                      | 11.643                      | 0.093     | Cumple |
| 6                                                | 45.121                      | 13.829                      | 0.088     | Cumple |
| 7                                                | 47.307                      | 11.643                      | 0.093     | Cumple |

| REVISIÓN DE LA CAPACIDAD PORTANTE LRFD |                             |                             |           |        |
|----------------------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------|--------|
| Strength II                            | ov max [kN/m <sup>2</sup> ] | ov min [kN/m <sup>2</sup> ] | Ratio D/C | ESTADO |
| S                                      | 34.394                      | 12.766                      | 0.067     | Cumple |
| 1                                      | 36.477                      | 5.967                       | 0.072     | Cumple |
| 2                                      | 44.730                      | 14.220                      | 0.088     | Cumple |
| 3                                      | 36.477                      | 5.967                       | 0.072     | Cumple |
| 4                                      | 34.291                      | 8.153                       | 0.067     | Cumple |
| 5                                      | 44.730                      | 14.220                      | 0.088     | Cumple |
| 6                                      | 42.544                      | 16.406                      | 0.083     | Cumple |
| 7                                      | 44.730                      | 14.220                      | 0.088     | Cumple |

*Nota.* Revisión de las condiciones de estabilidad mediante LRFD Estático –  
Condición de capacidad portante dentro del 1/3 central – Resistencia I y Resistencia  
II – Prof. 1m

Figura B. 114

| Cimentado sobre roca (Dentro del tercio central) |                             |                             |           |        |
|--------------------------------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------|--------|
| REVISIÓN DE LA CAPACIDAD PORTANTE LRFD           |                             |                             |           |        |
| Strength I                                       | ov max [kN/m <sup>2</sup> ] | ov min [kN/m <sup>2</sup> ] | Ratio D/C | ESTADO |
| S                                                | 27.098                      | 51.579                      | 0.053     | Cumple |
| 1                                                | 25.405                      | 48.901                      | 0.050     | Cumple |
| 2                                                | 36.409                      | 59.905                      | 0.071     | Cumple |
| 3                                                | 22.871                      | 56.069                      | 0.045     | Cumple |
| 4                                                | 21.428                      | 57.512                      | 0.042     | Cumple |
| 5                                                | 33.875                      | 67.073                      | 0.066     | Cumple |
| 6                                                | 36.906                      | 59.568                      | 0.072     | Cumple |
| 7                                                | 40.883                      | 50.957                      | 0.080     | Cumple |

| REVISIÓN DE LA CAPACIDAD PORTANTE LRFD |                             |                             |           |        |
|----------------------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------|--------|
| Strength II                            | ov max [kN/m <sup>2</sup> ] | ov min [kN/m <sup>2</sup> ] | Ratio D/C | ESTADO |
| S                                      | 27.098                      | 51.579                      | 0.053     | Cumple |
| 1                                      | 25.401                      | 47.883                      | 0.050     | Cumple |
| 2                                      | 36.405                      | 58.887                      | 0.071     | Cumple |
| 3                                      | 22.867                      | 55.051                      | 0.045     | Cumple |
| 4                                      | 21.424                      | 56.494                      | 0.042     | Cumple |
| 5                                      | 33.871                      | 66.055                      | 0.066     | Cumple |
| 6                                      | 35.879                      | 60.595                      | 0.070     | Cumple |
| 7                                      | 39.856                      | 51.984                      | 0.078     | Cumple |

*Nota.* Revisión de las condiciones de estabilidad mediante LRFD Estático –  
Condición de capacidad portante dentro del 1/3 central – Resistencia I y Resistencia  
II – Prof. 2 m

Figura B. 115

| Cimentado sobre roca (Fuera del tercio central) |                             |                             |           |        |
|-------------------------------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------|--------|
| REVISIÓN DE LA CAPACIDAD PORTANTE LRFD          |                             |                             |           |        |
| Strength I                                      | ov max [kN/m <sup>2</sup> ] | ov min [kN/m <sup>2</sup> ] | Ratio D/C | ESTADO |
| S                                               | 63.405                      | 0.0                         | 0.124     | Cumple |
| 1                                               | 59.507                      | 0.0                         | 0.117     | Cumple |
| 2                                               | 79.067                      | 0.0                         | 0.155     | Cumple |
| 3                                               | 61.247                      | 0.0                         | 0.120     | Cumple |
| 4                                               | 60.838                      | 0.0                         | 0.119     | Cumple |
| 5                                               | 80.809                      | 0.0                         | 0.158     | Cumple |
| 6                                               | 79.526                      | 0.0                         | 0.156     | Cumple |
| 7                                               | 78.221                      | 0.0                         | 0.153     | Cumple |
| REVISIÓN DE LA CAPACIDAD PORTANTE LRFD          |                             |                             |           |        |
| Strength II                                     | ov max [kN/m <sup>2</sup> ] | ov min [kN/m <sup>2</sup> ] | Ratio D/C | ESTADO |
| S                                               | 63.405                      | 0.0                         | 0.124     | Cumple |
| 1                                               | 58.823                      | 0.0                         | 0.115     | Cumple |
| 2                                               | 78.384                      | 0.0                         | 0.154     | Cumple |
| 3                                               | 60.567                      | 0.0                         | 0.119     | Cumple |
| 4                                               | 60.161                      | 0.0                         | 0.118     | Cumple |
| 5                                               | 80.130                      | 0.0                         | 0.157     | Cumple |
| 6                                               | 79.041                      | 0.0                         | 0.155     | Cumple |
| 7                                               | 77.724                      | 0.0                         | 0.152     | Cumple |

*Nota.* Revisión de las condiciones de estabilidad mediante LRFD Estático –  
Condición de capacidad portante fuera del 1/3 central – Resistencia I y Resistencia II  
- Global

Figura B. 116

| Cimentado sobre roca (Fuera del tercio central) |                             |                             |           |        |
|-------------------------------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------|--------|
| REVISIÓN DE LA CAPACIDAD PORTANTE LRFD          |                             |                             |           |        |
| Strength I                                      | ov max [kN/m <sup>2</sup> ] | ov min [kN/m <sup>2</sup> ] | Ratio D/C | ESTADO |
| S                                               | 37.114                      | 0.0                         | 0.073     | Cumple |
| 1                                               | 39.305                      | 0.0                         | 0.077     | Cumple |
| 2                                               | 49.227                      | 0.0                         | 0.097     | Cumple |
| 3                                               | 39.305                      | 0.0                         | 0.077     | Cumple |
| 4                                               | 37.516                      | 0.0                         | 0.074     | Cumple |
| 5                                               | 49.227                      | 0.0                         | 0.097     | Cumple |
| 6                                               | 47.749                      | 0.0                         | 0.094     | Cumple |
| 7                                               | 49.227                      | 0.0                         | 0.097     | Cumple |
| REVISIÓN DE LA CAPACIDAD PORTANTE LRFD          |                             |                             |           |        |
| Strength II                                     | ov max [kN/m <sup>2</sup> ] | ov min [kN/m <sup>2</sup> ] | Ratio D/C | ESTADO |
| S                                               | 37.114                      | 0.0                         | 0.073     | Cumple |
| 1                                               | 37.212                      | 0.0                         | 0.073     | Cumple |
| 2                                               | 47.494                      | 0.0                         | 0.093     | Cumple |
| 3                                               | 37.212                      | 0.0                         | 0.073     | Cumple |
| 4                                               | 35.605                      | 0.0                         | 0.070     | Cumple |
| 5                                               | 47.494                      | 0.0                         | 0.093     | Cumple |
| 6                                               | 46.116                      | 0.0                         | 0.090     | Cumple |
| 7                                               | 47.494                      | 0.0                         | 0.093     | Cumple |

*Nota.* Revisión de las condiciones de estabilidad mediante LRFD Estático –  
Condición de capacidad portante fuera del 1/3 central – Resistencia I y Resistencia II  
– Prof. 1m

Figura B. 117

| Cimentado sobre roca (Fuera del tercio central) |                             |                             |           |        |
|-------------------------------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------|--------|
| REVISIÓN DE LA CAPACIDAD PORTANTE LRFD          |                             |                             |           |        |
| Strength I                                      | ov max [kN/m <sup>2</sup> ] | ov min [kN/m <sup>2</sup> ] | Ratio D/C | ESTADO |
| S                                               | 47.522                      | 0.0                         | 0.093     | Cumple |
| 1                                               | 44.814                      | 0.0                         | 0.088     | Cumple |
| 2                                               | 59.381                      | 0.0                         | 0.116     | Cumple |
| 3                                               | 46.156                      | 0.0                         | 0.090     | Cumple |
| 4                                               | 45.668                      | 0.0                         | 0.090     | Cumple |
| 5                                               | 60.650                      | 0.0                         | 0.119     | Cumple |
| 6                                               | 59.646                      | 0.0                         | 0.117     | Cumple |
| 7                                               | 59.067                      | 0.0                         | 0.116     | Cumple |
| REVISIÓN DE LA CAPACIDAD PORTANTE LRFD          |                             |                             |           |        |
| Strength II                                     | ov max [kN/m <sup>2</sup> ] | ov min [kN/m <sup>2</sup> ] | Ratio D/C | ESTADO |
| S                                               | 47.522                      | 0.0                         | 0.093     | Cumple |
| 1                                               | 44.323                      | 0.0                         | 0.087     | Cumple |
| 2                                               | 58.896                      | 0.0                         | 0.115     | Cumple |
| 3                                               | 45.658                      | 0.0                         | 0.090     | Cumple |
| 4                                               | 45.168                      | 0.0                         | 0.089     | Cumple |
| 5                                               | 60.158                      | 0.0                         | 0.118     | Cumple |
| 6                                               | 59.256                      | 0.0                         | 0.116     | Cumple |
| 7                                               | 58.645                      | 0.0                         | 0.115     | Cumple |

*Nota.* Revisión de las condiciones de estabilidad mediante LRFD Estático –  
Condición de capacidad portante fuera del 1/3 central – Resistencia I y Resistencia II  
– Prof. 2 m

Figura B. 118

| REVISIÓN DE DESLIZAMIENTO LRFD |                |          |          |           |        |
|--------------------------------|----------------|----------|----------|-----------|--------|
| Strength I                     | Fd demand [kN] | FR1 [kN] | FRT [kN] | Ratio D/C | ESTADO |
| S                              | 45.423         | 316.201  | 306.379  | 0.148     | Cumple |
| 1                              | 71.261         | 310.517  | 312.163  | 0.228     | Cumple |
| 2                              | 71.261         | 333.989  | 333.288  | 0.214     | Cumple |
| 3                              | 71.261         | 313.238  | 314.612  | 0.227     | Cumple |
| 4                              | 54.800         | 313.238  | 303.713  | 0.180     | Cumple |
| 5                              | 71.261         | 336.710  | 335.737  | 0.212     | Cumple |
| 6                              | 54.800         | 334.325  | 322.690  | 0.170     | Cumple |
| 7                              | 71.261         | 331.603  | 331.140  | 0.215     | Cumple |
| REVISIÓN DE DESLIZAMIENTO LRFD |                |          |          |           |        |
| Strength II                    | Fd demand [kN] | FR1 [kN] | FRT [kN] | Ratio D/C | ESTADO |
| S                              | 45.423         | 316.201  | 306.379  | 0.148     | Cumple |
| 1                              | 66.260         | 309.972  | 311.672  | 0.213     | Cumple |
| 2                              | 66.260         | 333.444  | 332.797  | 0.199     | Cumple |
| 3                              | 66.260         | 312.693  | 314.121  | 0.211     | Cumple |
| 4                              | 49.799         | 312.693  | 303.222  | 0.164     | Cumple |
| 5                              | 66.260         | 336.165  | 335.246  | 0.198     | Cumple |
| 6                              | 49.799         | 334.325  | 322.690  | 0.154     | Cumple |
| 7                              | 66.260         | 331.603  | 331.140  | 0.200     | Cumple |

[< VOLVER A GEOMETRÍA](#)
[MENÚ PRINCIPAL](#)
[SIGUIENTE: REVISIÓN SÍSMICA >](#)

*Nota.* Revisión de las condiciones de estabilidad mediante LRFD Estático –  
Condición de deslizamiento – Resistencia I y Resistencia II - Global

Figura B. 119

| REVISIÓN DE DESLIZAMIENTO LRFD |                |          |          |           |        |
|--------------------------------|----------------|----------|----------|-----------|--------|
| Strength I                     | Fd demand [kN] | FR1 [kN] | FRT [kN] | Ratio D/C | ESTADO |
| S                              | 9.750          | 88.296   | 79.466   | 0.123     | Cumple |
| 1                              | 15.833         | 85.466   | 76.920   | 0.206     | Cumple |
| 2                              | 15.833         | 95.370   | 85.833   | 0.184     | Cumple |
| 3                              | 15.833         | 85.466   | 76.920   | 0.206     | Cumple |
| 4                              | 13.374         | 85.466   | 76.920   | 0.174     | Cumple |
| 5                              | 15.833         | 95.370   | 85.833   | 0.184     | Cumple |
| 6                              | 13.374         | 95.370   | 85.833   | 0.156     | Cumple |
| 7                              | 15.833         | 95.370   | 85.833   | 0.184     | Cumple |

| REVISIÓN DE DESLIZAMIENTO LRFD |                |          |          |           |        |
|--------------------------------|----------------|----------|----------|-----------|--------|
| Strength II                    | Fd demand [kN] | FR1 [kN] | FRT [kN] | Ratio D/C | ESTADO |
| S                              | 9.750          | 88.296   | 79.466   | 0.123     | Cumple |
| 1                              | 13.900         | 85.466   | 76.920   | 0.181     | Cumple |
| 2                              | 13.900         | 95.370   | 85.833   | 0.162     | Cumple |
| 3                              | 13.900         | 85.466   | 76.920   | 0.181     | Cumple |
| 4                              | 11.441         | 85.466   | 76.920   | 0.149     | Cumple |
| 5                              | 13.900         | 95.370   | 85.833   | 0.162     | Cumple |
| 6                              | 11.441         | 95.370   | 85.833   | 0.133     | Cumple |
| 7                              | 13.900         | 95.370   | 85.833   | 0.162     | Cumple |

[< VOLVER A GEOMETRÍA](#)
[MENÚ PRINCIPAL](#)
[SIGUIENTE: REVISIÓN SÍSMICA >](#)

*Nota.* Revisión de las condiciones de estabilidad mediante LRFD Estático – Condición de deslizamiento – Resistencia I y Resistencia II – Prof. 1m

Figura B. 120

| REVISIÓN DE DESLIZAMIENTO LRFD |                |          |          |           |        |
|--------------------------------|----------------|----------|----------|-----------|--------|
| Strength I                     | Fd demand [kN] | FR1 [kN] | FRT [kN] | Ratio D/C | ESTADO |
| S                              | 24.489         | 321.618  | 291.878  | 0.084     | Cumple |
| 1                              | 38.900         | 313.751  | 286.009  | 0.136     | Cumple |
| 2                              | 38.900         | 353.365  | 321.662  | 0.121     | Cumple |
| 3                              | 38.900         | 322.092  | 293.516  | 0.133     | Cumple |
| 4                              | 30.989         | 322.092  | 292.305  | 0.106     | Cumple |
| 5                              | 38.900         | 361.706  | 329.169  | 0.118     | Cumple |
| 6                              | 30.989         | 353.653  | 320.710  | 0.097     | Cumple |
| 7                              | 38.900         | 345.312  | 314.414  | 0.124     | Cumple |

| REVISIÓN DE DESLIZAMIENTO LRFD |                |          |          |           |        |
|--------------------------------|----------------|----------|----------|-----------|--------|
| Strength II                    | Fd demand [kN] | FR1 [kN] | FRT [kN] | Ratio D/C | ESTADO |
| S                              | 24.489         | 321.618  | 291.878  | 0.084     | Cumple |
| 1                              | 35.433         | 311.910  | 284.352  | 0.125     | Cumple |
| 2                              | 35.433         | 351.525  | 320.005  | 0.111     | Cumple |
| 3                              | 35.433         | 320.251  | 291.859  | 0.121     | Cumple |
| 4                              | 27.522         | 320.251  | 290.648  | 0.095     | Cumple |
| 5                              | 35.433         | 359.866  | 327.512  | 0.108     | Cumple |
| 6                              | 27.522         | 353.653  | 320.710  | 0.086     | Cumple |
| 7                              | 35.433         | 345.312  | 314.414  | 0.113     | Cumple |

[< VOLVER A GEOMETRÍA](#)
[MENÚ PRINCIPAL](#)
[SIGUIENTE: REVISIÓN SÍSMICA >](#)

*Nota.* Revisión de las condiciones de estabilidad mediante LRFD Estático – Condición de deslizamiento – Resistencia I y Resistencia II – Prof. 2 m

Datos para la revisión sísmica

Figura B. 121

REVISION SISMICA

Seleccione el Nivel a Evaluar: Base del Muro (Global)

1. PARÁMETROS DINÁMICOS Y COEFICIENTES (Mononobe-Okabe)

ÁNGULOS PARA REVISIÓN SISMICA

|              |         |          |                                                       |
|--------------|---------|----------|-------------------------------------------------------|
| $\delta_a$ : | 20.0000 | (grados) | (Ángulo de fricción muro-suelo)                       |
| $\beta$ :    | 0.0000  | (grados) | (Inclinación del respatío del muro)                   |
| $\epsilon$ : | 10.0000 | (grados) | (Inclinación del relleno)                             |
| $\theta$ :   | 9.2110  | (grados) | (Ángulo inercial sísmico $(\arctan(K_h / (1-K_v)))$ ) |

COEFICIENTES DE EMPUJE SÍSMICO

|         |          |   |                                                           |
|---------|----------|---|-----------------------------------------------------------|
| $K_h$ : | 0.1500   | - | (Coeficiente de aceleración horizontal $(0.5 * Z * Fa)$ ) |
| $K_v$ : | 0.0750   | - | (Coeficiente de aceleración vertical $(0.5 * Kh)$ )       |
| $KAE$ : | 0.340022 | - | (Coeficiente de empuje activo estático (Coulomb))         |
| $KAD$ : | 0.549747 | - | (Coeficiente de empuje dinámico (Mononobe-Okabe))         |

2. DETERMINACIÓN DEL CENTRO DE GRAVEDAD (CG)

CENTRO DE GRAVEDAD - MURO

| Elemento / Figura | b [m] | h [m] | Área [m²] | y_cg [m]    |
|-------------------|-------|-------|-----------|-------------|
| Gavión 1          | 1.50  | 1.00  | 1.50      | 0.50        |
| Gavión 2          | 1.50  | 2.00  | 3.00      | 1.00        |
| Gavión 3          | 1.50  | 3.00  | 4.50      | 1.50        |
| Gavión 4          | 1.50  | 2.00  | 3.00      | 1.00        |
| TOTAL MURO        | -     | -     | 12.00     | y_cg: 1.125 |

CENTRO DE GRAVEDAD - SUELO ESTABILIZANTE

| Elemento / Figura | b [m] | h [m] | Área [m²] | y_cg [m]    |
|-------------------|-------|-------|-----------|-------------|
| Suelo Col 1       | 1.50  | 1.00  | 1.50      | 2.50        |
| TOTAL SUELO       | -     | -     | 1.50      | y_cg: 2.500 |

3. FUERZAS Y MOMENTOS INDUCIDOS POR SISMO

EMPUJES DE TIERRA DINÁMICOS

|              |         |       |                                               |
|--------------|---------|-------|-----------------------------------------------|
| $EAE$        | 27.5418 | (kNm) | (Empuje activo estático Coulomb)              |
| $Eae$        | 44.5295 | (kNm) | (Empuje activo total dinámico Mononobe-Okabe) |
| $\Delta Eae$ | 16.9877 | (kNm) | (Incremento dinámico $(Eae - EAE)$ )          |

FUERZAS DE SESTABILIZANTES ADICIONALES (SISMO)

| Componente                          | Variable     | Fuerza [kN] | Momento [kNm] |
|-------------------------------------|--------------|-------------|---------------|
| Empuje de Inercia del Muro (PIR)    | $Masa * K_h$ | 47.365      | 66.051        |
| Incremento Dinámico del Suelo (PAE) | $\Delta Eae$ | 16.988      | 33.975        |

< VOLVER AL DISEÑO ESTÁTICO

GEOMETRÍA

MENÚ PRINCIPAL

FUENTE: DISEÑO SÍSMICO

Nota. Datos para la revisión sísmica – Global

Figura B. 122

**REVISIÓN SÍSMICA**

Seleccione el Nivel a Evaluar: Fila 1 (Prof. 1.00m)

**1. PARÁMETROS DINÁMICOS Y COEFICIENTES (Mononobe-Okabe)**

ÁNGULOS PARA REVISIÓN SÍSMICA

|              |         |          |                                                         |
|--------------|---------|----------|---------------------------------------------------------|
| $\delta_a$ : | 20.0000 | [grados] | (Ángulo de fricción muro-suelo)                         |
| $\beta$ :    | 0.0000  | [grados] | (Inclinación del respaldo del muro)                     |
| $\delta$ :   | 10.0000 | [grados] | (Inclinación del relleno)                               |
| $\theta$ :   | 9.2110  | [grados] | (Ángulo inercial sísmico $(\arctan(K_h / (1 - K_v)))$ ) |

COEFICIENTES DE EMPUJE SÍSMICO

|         |          |   |                                                           |
|---------|----------|---|-----------------------------------------------------------|
| $K_h$ : | 0.1500   | - | (Coeficiente de aceleración horizontal $(0.6 * Z * Fa)$ ) |
| $K_v$ : | 0.0750   | - | (Coeficiente de aceleración vertical $(0.5 * Kh)$ )       |
| $KAE$ : | 0.340622 | - | (Coeficiente de empuje activo estático (Coulomb))         |
| $KAD$ : | 0.549747 | - | (Coeficiente de empuje dinámico (Mononobe-Okabe))         |

**2. DETERMINACIÓN DEL CENTRO DE GRAVEDAD (CG)**

| CENTRO DE GRAVEDAD - MURO |       |       |                        |                         |
|---------------------------|-------|-------|------------------------|-------------------------|
| Elemento / Figura         | b [m] | h [m] | Área [m <sup>2</sup> ] | y <sub>cg</sub> [m]     |
| Gavión 3                  | 1.50  | 1.00  | 1.50                   | 0.50                    |
| <b>TOTAL MURO</b>         | -     | -     | 1.50                   | y <sub>cg</sub> : 0.500 |

**3. FUERZAS Y MOMENTOS INDUCIDOS POR SISMO**

EMPUJES DE TIERRA DINÁMICOS

|                 |        |       |                                               |
|-----------------|--------|-------|-----------------------------------------------|
| $E_{AE}$        | 3.0802 | [kNm] | (Empuje activo estático Coulomb)              |
| $E_{Ae}$        | 4.9477 | [kNm] | (Empuje activo total dinámico Mononobe-Okabe) |
| $\Delta E_{Ae}$ | 1.8675 | [kNm] | (Incremento dinámico $(E_{Ae} - E_{AE})$ )    |

| FUERZAS DE ESTABILIZANTES ADICIONALES (SISMO) |                                                             |                                        |                                        |
|-----------------------------------------------|-------------------------------------------------------------|----------------------------------------|----------------------------------------|
| Componente                                    | Variable                                                    | Fuerza [kN]                            | Momento [kNm]                          |
| Empuje de Inercia del Muro (PIR)              | <span style="color: red;">Masa * <math>K_h</math></span>    | <span style="color: red;">5.305</span> | <span style="color: red;">2.653</span> |
| Incremento Dinámico del Suelo (PAE)           | <span style="color: red;"><math>\Delta E_{Ae}</math></span> | <span style="color: red;">1.888</span> | <span style="color: red;">1.258</span> |

< VOLVER AL DISEÑO ESTÁTICO
GEOMETRÍA
MENÚ PRINCIPAL
SIGUIENTE: DISEÑO SÍSMICO

*Nota.* Datos para la revisión sísmica – Prof. 1 m

Figura B. 123

Diseño de Muros de Contención

MODULO SISMICO

REVISIÓN SÍSMICA

Seleccione el Nivel a Evaluar: 

Fila 2 (Prof. 2.00m)

1. PARÁMETROS DINÁMICOS Y COEFICIENTES (Mononobe-Okabe)

ÁNGULOS PARA REVISIÓN SÍSMICA

|               |         |          |                                                       |
|---------------|---------|----------|-------------------------------------------------------|
| $\delta_{ac}$ | 20.0000 | (grados) | (Ángulo de fricción muro-suelo)                       |
| $\beta$       | 0.0000  | (grados) | (Inclinación del respaldo del muro)                   |
| $\epsilon$    | 10.0000 | (grados) | (Inclinación del relleno)                             |
| $\theta$      | 9.2110  | (grados) | (Ángulo inercial sísmico $(\arctan(K_h / 1 - K_h))$ ) |

COEFICIENTES DE EMPUJE SÍSMICO

|          |          |   |                                                           |
|----------|----------|---|-----------------------------------------------------------|
| $K_h$    | 0.1500   | - | (Coeficiente de aceleración horizontal $(0.8 * 2 * Fa)$ ) |
| $K_v$    | 0.0750   | - | (Coeficiente de aceleración vertical $(0.5 * K_h)$ )      |
| $K_{AE}$ | 0.340022 | - | (Coeficiente de empuje activo estático (Coulomb))         |
| $K_{AD}$ | 0.549747 | - | (Coeficiente de empuje dinámico (Mononobe-Okabe))         |

2. DETERMINACIÓN DEL CENTRO DE GRAVEDAD (CG)

CENTRO DE GRAVEDAD - MURO

| Elemento / Figura | b [m] | h [m] | Área [m²] | x_cg [m]    |
|-------------------|-------|-------|-----------|-------------|
| Garlon 2          | 1.50  | 1.00  | 1.50      | 0.50        |
| Garlon 3          | 1.50  | 2.00  | 3.00      | 1.00        |
| Garlon 4          | 1.50  | 1.00  | 1.50      | 0.50        |
| TOTAL MURO        | -     | -     | 6.00      | y_cg: 0.750 |

CENTRO DE GRAVEDAD - SUELO ESTABILIZANTE

| Elemento / Figura | b [m] | h [m] | Área [m²] | x_cg [m]    |
|-------------------|-------|-------|-----------|-------------|
| Suelo Cil 1       | 1.50  | 1.00  | 1.50      | 2.50        |
| TOTAL SUELO       | -     | -     | 1.50      | y_cg: 2.500 |

3. FUERZAS Y MOMENTOS INDUCIDOS POR SISMO

EMPUJES DE TIERRA DINÁMICOS

|                 |         |       |                                               |
|-----------------|---------|-------|-----------------------------------------------|
| $E_{AE}$        | 12.2408 | [t/m] | (Empuje activo estático Coulomb)              |
| $E_{ae}$        | 19.7900 | [t/m] | (Empuje activo total/dinámico Mononobe-Okabe) |
| $\Delta E_{ae}$ | 7.5501  | [t/m] | (Incremento dinámico $(E_{ae} - E_{AE})$ )    |

FUERZAS DESESTABILIZANTES ADICIONALES (SISMO)

| Componente                          | Variable        | Fuerza [kN] | Momento [kNm] |
|-------------------------------------|-----------------|-------------|---------------|
| Empuje de inercia del Muro (PIR)    | $Masa * K_h$    | 25.690      | 27.088        |
| Incremento Dinámico del Suelo (PAE) | $\Delta E_{ae}$ | 7.550       | 10.067        |

< VOLVER AL DISEÑO ESTÁTICO

GEOMETRÍA

MENÚ PRINCIPAL

QUENTE: DISEÑO SÍSMICO

Nota. Datos para la revisión sísmica - Prof. 2 m



Desglose de fuerzas – Caso sísmico

Figura B. 124



Nota. Desnglose de las fuerzas desestabilizantes (Rojas), estabilizantes (Verdes) - GLOBAL

Figura B. 125



Nota. Desnglose de las fuerzas desestabilizantes (Rojas), estabilizantes (Verdes) – Prof. 1m

Figura B. 126

Diseño de Muros de Contención

MÓDULO SÍSMICO

DISEÑO ASD/LRFD (SÍSMICO)

Nivel: Fila 2 (Prof. 2.00m) | Vista de Resultados: 3. Desglose Fuerzas

DESGLASE MATEMÁTICO DE FUERZAS ESTÁTICAS Y SÍSMICAS

| FUERZAS DE EMPUJE Y SOBRECARGA |             |             |               |
|--------------------------------|-------------|-------------|---------------|
| Componente                     | Variable    | Fuerza [kN] | Momento [kNm] |
| Empuje de Tierra Activo        | H=2.26m     | 15.82       | 10.55         |
| Carga Viva Horizontal          | Heq=0.6096m | 8.67        | 8.67          |
| TOTAL DESESTABILIZANTE         |             | 24.49       | 19.22         |

| FUERZAS ESTABILIZANTES (ESTÁTICAS) |             |               |
|------------------------------------|-------------|---------------|
| Elemento                           | Fuerza [kN] | Momento [kNm] |
| Peso Propio Muro (FDC)             | 141.48      | 318.33        |
| Peso Suelo Estabilizante (FEV)     | 29.79       | 113.80        |
| Carga Viva Vertical (FLLV)         | 5.75        | 25.89         |
| Desplante Terreno (FPp)            | 4.84        | 0.81          |

| FUERZAS ADICIONALES POR SISMO (EEI) |          |             |               |
|-------------------------------------|----------|-------------|---------------|
| Componente                          | Variable | Fuerza [kN] | Momento [kNm] |
| Empuje de Tierra (Dinámico PAE)     | -        | 7.55        | 10.07         |
| Fuerza de Inercia Muro (PIR)        | -        | 25.69       | 27.09         |

< VOLVER A REV. SÍSMICA | GEOMETRÍA | MENÚ PRINCIPAL | GENERAR INFORME PDF

Nota. Desglose de las fuerzas desestabilizantes (Rojas), estabilizantes (Verdes) – Prof. 2m

Verificación de las condiciones de estabilidad para ASD

Figura B. 127

Diseño de Muros de Contención

MÓDULO SÍSMICO

DISEÑO ASD/LRFD (SÍSMICO)

Nivel: Base del Muro (Global) | Vista de Resultados: 1. Diseño ASD Sísmico

RESUMEN DE FUERZAS (INCLUYE SISMO)

|                         |           |                |            |
|-------------------------|-----------|----------------|------------|
| Empuje Tierra (FEH)     | 32.92 kN  | Momento (MEH)  | 35.77 kNm  |
| Carga Viva Hertz (FLLH) | 12.50 kN  | Momento (MLLH) | 20.38 kNm  |
| Sismo Suelo (FPAE)      | 16.99 kN  | Momento (MPAE) | 33.98 kNm  |
| Inercia Muro (FPIR)     | 47.36 kN  | Momento (MPIR) | 60.05 kNm  |
| Peso Muro (FDC)         | 282.96 kN | Momento (MDC)  | 954.99 kNm |
| Peso Suelo (FEV)        | 32.80 kN  | Momento (MEV)  | 136.08 kNm |
| Carga Viva Vert (FLLV)  | 5.75 kN   | Momento (MLLV) | 30.20 kNm  |
| Desplante (FPp)         | 43.60 kN  | Momento (MPp)  | 21.80 kNm  |

DISEÑO SÍSMICO ASD (Ratios de Demanda/Capacidad D/C)

1. CONDICIÓN DE VOLTEO (ASD SÍSMICO)

|         |           |       |                                                     |        |
|---------|-----------|-------|-----------------------------------------------------|--------|
| MU:     | 150.1795  | [kNm] | (Momento desestabilizante total (incluye sismo))    |        |
| MR1:    | 1112.8677 | [kNm] | (Momento estabilizante Caso 1)                      |        |
| MR2:    | 1143.0682 | [kNm] | (Momento estabilizante Caso 2)                      |        |
| FS V1:  | 7.4102    | -     | (Factor de seguridad Caso 1)                        | Cumple |
| FS V2:  | 7.6113    | -     | (Factor de seguridad Caso 2)                        | Cumple |
| FS Req: | 2.00      | -     | (Factor de seguridad requerido para VOLTEO SÍSMICO) |        |

Nota. Revisión de las condiciones de estabilidad mediante ASD Sísmico – Condición de volteo - Global

Figura B. 128

Diseño de Muros de Contención

MÓDULO SÍSMICO

**DISEÑO ASD/LRFD (SÍSMICO)**

Nivel: **Fila 1 (Prof. 1.00m)** | Vista de Resultados: 1. Diseño ASD Sísmico

**RESUMEN DE FUERZAS (INCLUYE SISMO)**

|                         |          |                |           |
|-------------------------|----------|----------------|-----------|
| Empuje Tierra (FEH)     | 4.92 kN  | Momento (MEH)  | 1.64 kNm  |
| Carga Viva Horiz (FLLH) | 4.83 kN  | Momento (MLLH) | 2.42 kNm  |
| Sismo Suelo (FPAE)      | 1.89 kN  | Momento (MPAE) | 1.26 kNm  |
| Inercia Muro (FPIR)     | 5.31 kN  | Momento (MPIR) | 2.85 kNm  |
| Peso Muro (FDC)         | 35.37 kN | Momento (MDC)  | 26.53 kNm |
| Peso Suelo (FEV)        | 0.00 kN  | Momento (MEV)  | 0.00 kNm  |
| Carga Viva Vert (FLLV)  | 0.00 kN  | Momento (MLLV) | 0.00 kNm  |
| Desplante (FPp)         | 0.00 kN  | Momento (MPp)  | 0.00 kNm  |

**DISEÑO SÍSMICO ASD (Ratios de Demanda/Capacidad D/C)**

**1. CONDICIÓN DE VOLTEO (ASD SÍSMICO)**

|         |         |       |                                                     |
|---------|---------|-------|-----------------------------------------------------|
| MU:     | 7.9655  | [kNm] | (Momento desestabilizante total (incluye sismo))    |
| MR1:    | 26.5275 | [kNm] | (Momento estabilizante Caso 1)                      |
| MR2:    | 26.5275 | [kNm] | (Momento estabilizante Caso 2)                      |
| FS V1:  | 3.3299  | -     | (Factor de seguridad Caso 1) <b>Cumple</b>          |
| FS V2:  | 3.3299  | -     | (Factor de seguridad Caso 2) <b>Cumple</b>          |
| FS Req: | 2.00    | -     | (Factor de seguridad requerido para VOLTEO SÍSMICO) |

*Nota.* Revisión de las condiciones de estabilidad mediante ASD Sísmico – Condición de volteo – Prof. 1 m

Figura B. 129

Diseño de Muros de Contención

MÓDULO SÍSMICO

**DISEÑO ASD/LRFD (SÍSMICO)**

Nivel: **Fila 2 (Prof. 2.00m)** | Vista de Resultados: 1. Diseño ASD Sísmico

**RESUMEN DE FUERZAS (INCLUYE SISMO)**

|                         |           |                |            |
|-------------------------|-----------|----------------|------------|
| Empuje Tierra (FEH)     | 15.82 kN  | Momento (MEH)  | 10.55 kNm  |
| Carga Viva Horiz (FLLH) | 8.67 kN   | Momento (MLLH) | 8.67 kNm   |
| Sismo Suelo (FPAE)      | 7.55 kN   | Momento (MPAE) | 10.07 kNm  |
| Inercia Muro (FPIR)     | 25.69 kN  | Momento (MPIR) | 27.09 kNm  |
| Peso Muro (FDC)         | 141.48 kN | Momento (MDC)  | 318.33 kNm |
| Peso Suelo (FEV)        | 29.79 kN  | Momento (MEV)  | 113.80 kNm |
| Carga Viva Vert (FLLV)  | 5.75 kN   | Momento (MLLV) | 25.89 kNm  |
| Desplante (FPp)         | 4.84 kN   | Momento (MPp)  | 0.81 kNm   |

**DISEÑO SÍSMICO ASD (Ratios de Demanda/Capacidad D/C)**

**1. CONDICIÓN DE VOLTEO (ASD SÍSMICO)**

|         |          |       |                                                     |
|---------|----------|-------|-----------------------------------------------------|
| MU:     | 56.3695  | [kNm] | (Momento desestabilizante total (incluye sismo))    |
| MR1:    | 432.9415 | [kNm] | (Momento estabilizante Caso 1)                      |
| MR2:    | 458.8278 | [kNm] | (Momento estabilizante Caso 2)                      |
| FS V1:  | 7.6804   | -     | (Factor de seguridad Caso 1) <b>Cumple</b>          |
| FS V2:  | 8.1397   | -     | (Factor de seguridad Caso 2) <b>Cumple</b>          |
| FS Req: | 2.00     | -     | (Factor de seguridad requerido para VOLTEO SÍSMICO) |

*Nota.* Revisión de las condiciones de estabilidad mediante ASD Sísmico – Condición de volteo – Prof. 2 m

Figura B. 130

| 2. EXCENTRICIDAD (EMAX < B/4) ASD SÍSMICO |          |      |                                          |        |
|-------------------------------------------|----------|------|------------------------------------------|--------|
| eMAX:                                     | 1.5000   | [m]  | (Excentricidad máxima permitida B/4)     |        |
| Fv1:                                      | 315.7649 | [kN] | (Fuerza vertical total Caso 1)           |        |
| Fv2:                                      | 321.5174 | [kN] | (Fuerza vertical total Caso 2 (Con LLv)) |        |
| e1:                                       | 0.0487   | [m]  | (Excentricidad sísmica calculada Caso 1) |        |
| e2:                                       | 0.0881   | [m]  | (Excentricidad sísmica calculada Caso 2) |        |
| D/C E1:                                   | 0.0325   | -    | (Ratio demanda capacidad Caso 1)         | Cumple |
| D/C E2:                                   | 0.0588   | -    | (Ratio demanda capacidad Caso 2)         | Cumple |
| FS:                                       | 0.167    | -    | (Factor de seguridad para EXCENTRICIDAD) |        |

*Nota.* Revisión de las condiciones de estabilidad mediante ASD Sísmico – Condición de excentricidad - Global

Figura B. 131

| 2. EXCENTRICIDAD (EMAX < B/4) ASD SÍSMICO |         |      |                                          |        |
|-------------------------------------------|---------|------|------------------------------------------|--------|
| eMAX:                                     | 0.3750  | [m]  | (Excentricidad máxima permitida B/4)     |        |
| Fv1:                                      | 35.3700 | [kN] | (Fuerza vertical total Caso 1)           |        |
| Fv2:                                      | 35.3700 | [kN] | (Fuerza vertical total Caso 2 (Con LLv)) |        |
| e1:                                       | 0.2252  | [m]  | (Excentricidad sísmica calculada Caso 1) |        |
| e2:                                       | 0.2252  | [m]  | (Excentricidad sísmica calculada Caso 2) |        |
| D/C E1:                                   | 0.6006  | -    | (Ratio demanda capacidad Caso 1)         | Cumple |
| D/C E2:                                   | 0.6006  | -    | (Ratio demanda capacidad Caso 2)         | Cumple |
| FS:                                       | 0.167   | -    | (Factor de seguridad para EXCENTRICIDAD) |        |

*Nota.* Revisión de las condiciones de estabilidad mediante ASD Sísmico – Condición de excentricidad – Prof. 1 m

Figura B. 132

| 2. EXCENTRICIDAD (EMAX < B/4) ASD SÍSMICO |          |      |                                          |        |
|-------------------------------------------|----------|------|------------------------------------------|--------|
| eMAX:                                     | 1.1250   | [m]  | (Excentricidad máxima permitida B/4)     |        |
| Fv1:                                      | 171.2698 | [kN] | (Fuerza vertical total Caso 1)           |        |
| Fv2:                                      | 177.0223 | [kN] | (Fuerza vertical total Caso 2 (Con LLv)) |        |
| e1:                                       | 0.0513   | [m]  | (Excentricidad sísmica calculada Caso 1) |        |
| e2:                                       | 0.0235   | [m]  | (Excentricidad sísmica calculada Caso 2) |        |
| D/C E1:                                   | 0.0456   | -    | (Ratio demanda capacidad Caso 1)         | Cumple |
| D/C E2:                                   | 0.0209   | -    | (Ratio demanda capacidad Caso 2)         | Cumple |
| FS:                                       | 0.167    | -    | (Factor de seguridad para EXCENTRICIDAD) |        |

*Nota.* Revisión de las condiciones de estabilidad mediante ASD Sísmico – Condición de excentricidad – Prof. 2 m

Figura B. 133

| 3. CAPACIDAD PORTANTE ASD SÍSMICO |          |                      |                                           |        |
|-----------------------------------|----------|----------------------|-------------------------------------------|--------|
| qu:                               | 784.8000 | [kN/m <sup>2</sup> ] | (Capacidad última nominal del suelo)      |        |
| qADM:                             | 510.1200 | [kN/m <sup>2</sup> ] | (Esfuerzo admisible (qu * phi))           |        |
| qp1:                              | 50.0619  | [kN/m <sup>2</sup> ] | (Carga sobre la punta Caso 1)             |        |
| qt1:                              | 55.1931  | [kN/m <sup>2</sup> ] | (Carga sobre el talón Caso 1)             |        |
| qp2:                              | 48.8635  | [kN/m <sup>2</sup> ] | (Carga sobre la punta Caso 2)             |        |
| qt2:                              | 58.3090  | [kN/m <sup>2</sup> ] | (Carga sobre el talón Caso 2)             |        |
| D/C P1:                           | 10.1898  | -                    | (Ratio demanda capacidad portante Caso 1) | Cumple |
| D/C P2:                           | 10.4397  | -                    | (Ratio demanda capacidad portante Caso 2) | Cumple |
| FS:                               | 1.50     | -                    | (Factor de seguridad ASD Sísmico)         |        |

*Nota.* Revisión de las condiciones de estabilidad mediante ASD Sísmico – Condición de capacidad portante - Global

Figura B. 134

| 3. CAPACIDAD PORTANTE ASD SÍSMICO |          |                      |                                           |        |
|-----------------------------------|----------|----------------------|-------------------------------------------|--------|
| qu:                               | 784.8000 | [kN/m <sup>2</sup> ] | (Capacidad última nominal del suelo)      |        |
| qADM:                             | 510.1200 | [kN/m <sup>2</sup> ] | (Esfuerzo admisible (qu * phi))           |        |
| qp1:                              | 2.3361   | [kN/m <sup>2</sup> ] | (Carga sobre la punta Caso 1)             |        |
| qt1:                              | 44.8239  | [kN/m <sup>2</sup> ] | (Carga sobre el talón Caso 1)             |        |
| qp2:                              | 2.3361   | [kN/m <sup>2</sup> ] | (Carga sobre la punta Caso 2)             |        |
| qt2:                              | 44.8239  | [kN/m <sup>2</sup> ] | (Carga sobre el talón Caso 2)             |        |
| D/C P1:                           | 218.3613 | -                    | (Ratio demanda capacidad portante Caso 1) | Cumple |
| D/C P2:                           | 218.3613 | -                    | (Ratio demanda capacidad portante Caso 2) | Cumple |
| FS:                               | 1.50     | -                    | (Factor de seguridad ASD Sísmico)         |        |

*Nota.* Revisión de las condiciones de estabilidad mediante ASD Sísmico – Condición de capacidad portante – Prof. 1 m

Figura B. 135

| 3. CAPACIDAD PORTANTE ASD SÍSMICO |          |                      |                                           |        |
|-----------------------------------|----------|----------------------|-------------------------------------------|--------|
| qu:                               | 784.8000 | [kN/m <sup>2</sup> ] | (Capacidad última nominal del suelo)      |        |
| qADM:                             | 510.1200 | [kN/m <sup>2</sup> ] | (Esfuerzo admisible (qu * phi))           |        |
| qp1:                              | 35.4570  | [kN/m <sup>2</sup> ] | (Carga sobre la punta Caso 1)             |        |
| qt1:                              | 40.6629  | [kN/m <sup>2</sup> ] | (Carga sobre el talón Caso 1)             |        |
| qp2:                              | 38.1063  | [kN/m <sup>2</sup> ] | (Carga sobre la punta Caso 2)             |        |
| qt2:                              | 40.5703  | [kN/m <sup>2</sup> ] | (Carga sobre el talón Caso 2)             |        |
| D/C P1:                           | 14.3870  | -                    | (Ratio demanda capacidad portante Caso 1) | Cumple |
| D/C P2:                           | 13.3868  | -                    | (Ratio demanda capacidad portante Caso 2) | Cumple |
| FS:                               | 1.50     | -                    | (Factor de seguridad ASD Sísmico)         |        |

*Nota.* Revisión de las condiciones de estabilidad mediante ASD Sísmico – Condición de capacidad portante – Prof. 2 m

Figura B. 136

| 4. DESLIZAMIENTO ASD SÍSMICO |          |      |                                                      |        |
|------------------------------|----------|------|------------------------------------------------------|--------|
| k=                           | 0.6667   | -    | (Factor de reducción de fricción y cohesión)         |        |
| FU:                          | 109.7757 | [kN] | (Fuerza desestabilizante total (incluye sismo))      |        |
| FR1:                         | 318.5255 | [kN] | (Fuerza estabilizante Caso 1)                        |        |
| FR2:                         | 320.6192 | [kN] | (Fuerza estabilizante Caso 2)                        |        |
| D/C H1:                      | 2.9016   | -    | (Ratio demanda capacidad Caso 1)                     | Cumple |
| D/C H2:                      | 2.9207   | -    | (Ratio demanda capacidad Caso 2)                     | Cumple |
| FS:                          | 1.05     | -    | (Factor de seguridad ASD Sísmico para deslizamiento) |        |

[< VOLVER A REV. SÍSMICA](#)
[GEOMETRÍA](#)
[MENÚ PRINCIPAL](#)
[B GENERAR INFORME PDF](#)

*Nota.* Revisión de las condiciones de estabilidad mediante ASD Sísmico – Condición de deslizamiento - Global

Figura B. 138

| 4. DESLIZAMIENTO ASD SÍSMICO |          |      |                                                      |        |
|------------------------------|----------|------|------------------------------------------------------|--------|
| k=                           | 0.6667   | -    | (Factor de reducción de fricción y cohesión)         |        |
| FU:                          | 57.7295  | [kN] | (Fuerza desestabilizante total (incluye sismo))      |        |
| FR1:                         | 187.1812 | [kN] | (Fuerza estabilizante Caso 1)                        |        |
| FR2:                         | 189.2749 | [kN] | (Fuerza estabilizante Caso 2)                        |        |
| D/C H1:                      | 3.2424   | -    | (Ratio demanda capacidad Caso 1)                     | Cumple |
| D/C H2:                      | 3.2787   | -    | (Ratio demanda capacidad Caso 2)                     | Cumple |
| FS:                          | 1.05     | -    | (Factor de seguridad ASD Sísmico para deslizamiento) |        |

[< VOLVER A REV. SÍSMICA](#)
[GEOMETRÍA](#)
[MENÚ PRINCIPAL](#)
[B GENERAR INFORME PDF](#)

*Nota.* Revisión de las condiciones de estabilidad mediante ASD Sísmico – Condición de deslizamiento – Prof. 2 m

Figura B. 137

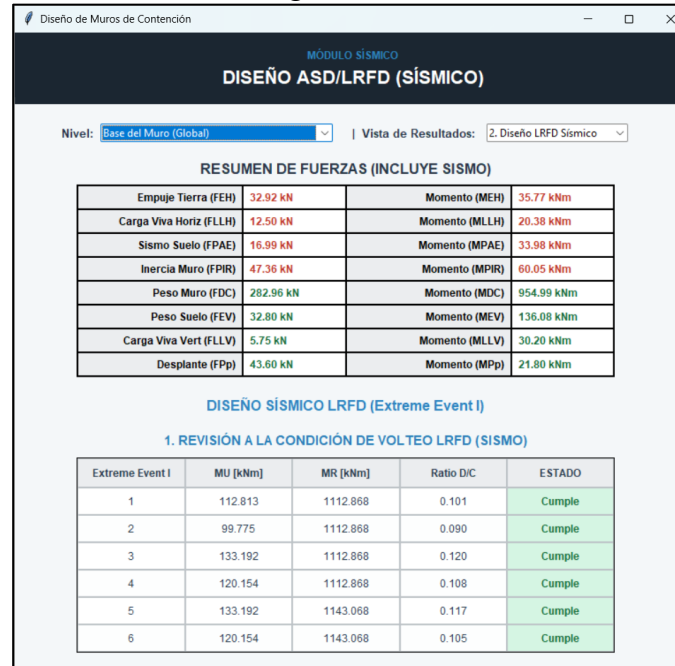
| 4. DESLIZAMIENTO ASD SÍSMICO |         |      |                                                      |        |
|------------------------------|---------|------|------------------------------------------------------|--------|
| k=                           | 0.6667  | -    | (Factor de reducción de fricción y cohesión)         |        |
| FU:                          | 16.9430 | [kN] | (Fuerza desestabilizante total (incluye sismo))      |        |
| FR1:                         | 52.8736 | [kN] | (Fuerza estabilizante Caso 1)                        |        |
| FR2:                         | 52.8736 | [kN] | (Fuerza estabilizante Caso 2)                        |        |
| D/C H1:                      | 3.1207  | -    | (Ratio demanda capacidad Caso 1)                     | Cumple |
| D/C H2:                      | 3.1207  | -    | (Ratio demanda capacidad Caso 2)                     | Cumple |
| FS:                          | 1.05    | -    | (Factor de seguridad ASD Sísmico para deslizamiento) |        |

[< VOLVER A REV. SÍSMICA](#)
[GEOMETRÍA](#)
[MENÚ PRINCIPAL](#)
[B GENERAR INFORME PDF](#)

*Nota.* Revisión de las condiciones de estabilidad mediante ASD Sísmico – Condición de deslizamiento – Prof. 1 m

## Verificación de las condiciones de estabilidad para LRFD

Figura B. 139



*Nota.* Revisión de las condiciones de estabilidad mediante LRFD Sísmico – Condición de volteo – Resistencia I y Resistencia II - Global

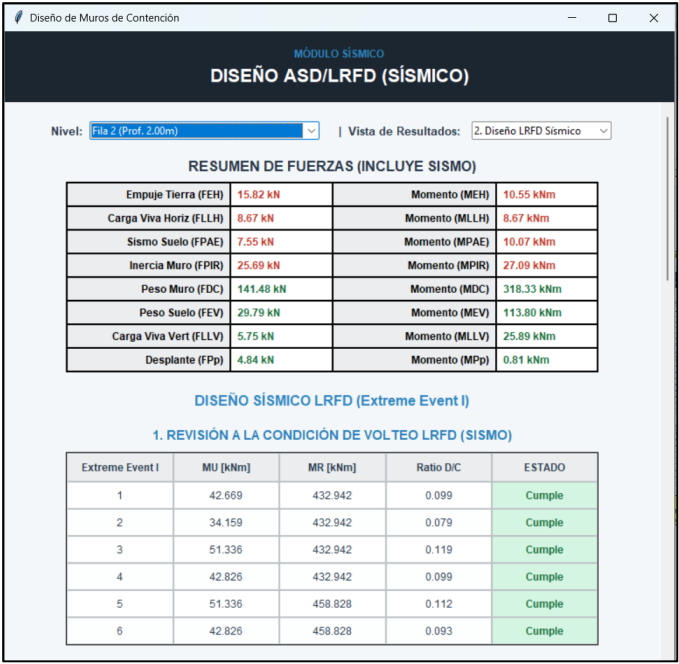
Figura B. 140



Nota. Revisión de las condiciones de estabilidad mediante LRFD Sísmico – Condición de volteo – Resistencia I y Resistencia II – Prof. 1 m

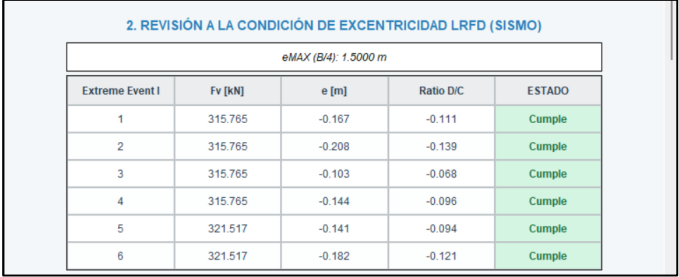


Figura B. 141



Nota. Revisión de las condiciones de estabilidad mediante LRFD Sísmico – Condición de volteo – Resistencia I y Resistencia II – Prof. 2 m

Figura B. 142



Nota. Revisión de las condiciones de estabilidad mediante LRFD Sísmico – Condición de excentricidad – Resistencia I y Resistencia II - Global

Figura B. 143

| 2. REVISIÓN A LA CONDICIÓN DE EXCENTRICIDAD LRFD (SISMO) |         |        |           |        |
|----------------------------------------------------------|---------|--------|-----------|--------|
| eMAX (B/4): 1.1250 m                                     |         |        |           |        |
| Extreme Event I                                          | Fv [kN] | e [m]  | Ratio D/C | ESTADO |
| 1                                                        | 171.270 | -0.029 | -0.026    | Cumple |
| 2                                                        | 171.270 | -0.078 | -0.070    | Cumple |
| 3                                                        | 171.270 | 0.022  | 0.019     | Cumple |
| 4                                                        | 171.270 | -0.028 | -0.025    | Cumple |
| 5                                                        | 177.022 | -0.052 | -0.046    | Cumple |
| 6                                                        | 177.022 | -0.100 | -0.089    | Cumple |

*Nota.* Revisión de las condiciones de estabilidad mediante LRFD Sísmico –  
Condición de excentricidad – Resistencia I y Resistencia II – Prof. 2 m

Figura B. 144

| 2. REVISIÓN A LA CONDICIÓN DE EXCENTRICIDAD LRFD (SISMO) |         |       |           |        |
|----------------------------------------------------------|---------|-------|-----------|--------|
| eMAX (B/4): 0.3750 m                                     |         |       |           |        |
| Extreme Event I                                          | Fv [kN] | e [m] | Ratio D/C | ESTADO |
| 1                                                        | 35.370  | 0.139 | 0.371     | Cumple |
| 2                                                        | 35.370  | 0.119 | 0.318     | Cumple |
| 3                                                        | 35.370  | 0.207 | 0.553     | Cumple |
| 4                                                        | 35.370  | 0.188 | 0.501     | Cumple |
| 5                                                        | 35.370  | 0.207 | 0.553     | Cumple |
| 6                                                        | 35.370  | 0.188 | 0.501     | Cumple |

*Nota.* Revisión de las condiciones de estabilidad mediante LRFD Sísmico –  
Condición de excentricidad – Resistencia I y Resistencia II – Prof. 1m

Figura B. 145

| 3. REVISIÓN DE LA CAPACIDAD PORTANTE LRFD (Sismo)                                 |                                 |           |        |
|-----------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------|-----------|--------|
| $\phi_q \cdot q_u$ : 510.1200 [kN/m <sup>2</sup> ] (Esfuerzo admisible del suelo) |                                 |           |        |
| CIMENTADO SOBRE SUELO                                                             |                                 |           |        |
| Extreme Event I                                                                   | $\sigma_v$ [kN/m <sup>2</sup> ] | Ratio D/C | ESTADO |
| 1                                                                                 | 49.851                          | 0.098     | Cumple |
| 2                                                                                 | 49.209                          | 0.096     | Cumple |
| 3                                                                                 | 50.888                          | 0.100     | Cumple |
| 4                                                                                 | 50.220                          | 0.098     | Cumple |
| 5                                                                                 | 51.181                          | 0.100     | Cumple |
| 6                                                                                 | 50.529                          | 0.099     | Cumple |

*Nota.* Revisión de las condiciones de estabilidad mediante LRFD Sísmico –  
Condición de capacidad portante sobre suelo – Resistencia I y Resistencia II - Global

Figura B. 146

| 3. REVISIÓN DE LA CAPACIDAD PORTANTE LRFD (Sismo)                               |                                 |           |        |
|---------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------|-----------|--------|
| $\phi_q u^* q_u$ : 510.1200 [kN/m <sup>2</sup> ] (Esfuerzo admisible del suelo) |                                 |           |        |
| CIMENTADO SOBRE SUELO                                                           |                                 |           |        |
| Extreme Event I                                                                 | $\sigma_v$ [kN/m <sup>2</sup> ] | Ratio D/C | ESTADO |
| 1                                                                               | 28.951                          | 0.057     | Cumple |
| 2                                                                               | 28.046                          | 0.055     | Cumple |
| 3                                                                               | 32.596                          | 0.064     | Cumple |
| 4                                                                               | 31.453                          | 0.062     | Cumple |
| 5                                                                               | 32.596                          | 0.064     | Cumple |
| 6                                                                               | 31.453                          | 0.062     | Cumple |

*Nota.* Revisión de las condiciones de estabilidad mediante LRFD Sísmico –  
Condición de capacidad portante sobre suelo – Resistencia I y Resistencia II – Prof. 1m

Figura B. 147

| 3. REVISIÓN DE LA CAPACIDAD PORTANTE LRFD (Sismo)                               |                                 |           |        |
|---------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------|-----------|--------|
| $\phi_q u^* q_u$ : 510.1200 [kN/m <sup>2</sup> ] (Esfuerzo admisible del suelo) |                                 |           |        |
| CIMENTADO SOBRE SUELO                                                           |                                 |           |        |
| Extreme Event I                                                                 | $\sigma_v$ [kN/m <sup>2</sup> ] | Ratio D/C | ESTADO |
| 1                                                                               | 37.581                          | 0.074     | Cumple |
| 2                                                                               | 36.779                          | 0.072     | Cumple |
| 3                                                                               | 38.434                          | 0.075     | Cumple |
| 4                                                                               | 37.596                          | 0.074     | Cumple |
| 5                                                                               | 38.451                          | 0.075     | Cumple |
| 6                                                                               | 37.664                          | 0.074     | Cumple |

*Nota.* Revisión de las condiciones de estabilidad mediante LRFD Sísmico –  
Condición de capacidad portante sobre suelo – Resistencia I y Resistencia II – Prof. 2m

Figura B. 148

| CIMENTADO SOBRE ROCA (DENTRO TERCIO CENTRAL) |                                     |                                     |           |        |
|----------------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|-----------|--------|
| Extreme Event I                              | $\sigma_v$ max [kN/m <sup>2</sup> ] | $\sigma_v$ min [kN/m <sup>2</sup> ] | Ratio D/C | ESTADO |
| 1                                            | 43.834                              | 61.421                              | 0.086     | Cumple |
| 2                                            | 41.661                              | 63.594                              | 0.082     | Cumple |
| 3                                            | 47.231                              | 58.024                              | 0.093     | Cumple |
| 4                                            | 45.058                              | 60.197                              | 0.088     | Cumple |
| 5                                            | 46.032                              | 61.140                              | 0.090     | Cumple |
| 6                                            | 43.859                              | 63.313                              | 0.086     | Cumple |

*Nota.* Revisión de las condiciones de estabilidad mediante LRFD Sísmico –  
Condición de capacidad portante dentro del 1/3 central – Resistencia I y Resistencia II - Global

Figura B. 149

| CIMENTADO SOBRE ROCA (DENTRO TERCIO CENTRAL) |                             |                             |           |        |
|----------------------------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------|--------|
| Extreme Event I                              | ov max [kN/m <sup>2</sup> ] | ov min [kN/m <sup>2</sup> ] | Ratio D/C | ESTADO |
| 1                                            | 36.703                      | 10.457                      | 0.072     | Cumple |
| 2                                            | 34.844                      | 12.316                      | 0.068     | Cumple |
| 3                                            | 43.146                      | 4.014                       | 0.085     | Cumple |
| 4                                            | 41.287                      | 5.873                       | 0.081     | Cumple |
| 5                                            | 43.146                      | 4.014                       | 0.085     | Cumple |
| 6                                            | 41.287                      | 5.873                       | 0.081     | Cumple |

*Nota.* Revisión de las condiciones de estabilidad mediante LRFD Sísmico –  
Condición de capacidad portante dentro del 1/3 central – Resistencia I y Resistencia  
II – Prof. 1m

Figura B. 150

| CIMENTADO SOBRE ROCA (DENTRO TERCIO CENTRAL) |                             |                             |           |        |
|----------------------------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------|--------|
| Extreme Event I                              | ov max [kN/m <sup>2</sup> ] | ov min [kN/m <sup>2</sup> ] | Ratio D/C | ESTADO |
| 1                                            | 36.604                      | 39.516                      | 0.072     | Cumple |
| 2                                            | 34.082                      | 42.038                      | 0.067     | Cumple |
| 3                                            | 39.172                      | 36.948                      | 0.077     | Cumple |
| 4                                            | 36.650                      | 39.470                      | 0.072     | Cumple |
| 5                                            | 36.615                      | 42.062                      | 0.072     | Cumple |
| 6                                            | 34.093                      | 44.583                      | 0.067     | Cumple |

*Nota.* Revisión de las condiciones de estabilidad mediante LRFD Sísmico –  
Condición de capacidad portante dentro del 1/3 central – Resistencia I y Resistencia  
II – Prof. 2 m

Figura B. 151

| CIMENTADO SOBRE ROCA (FUERA TERCIO CENTRAL) |                             |                             |           |        |
|---------------------------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------|--------|
| Extreme Event I                             | ov max [kN/m <sup>2</sup> ] | ov min [kN/m <sup>2</sup> ] | Ratio D/C | ESTADO |
| 1                                           | 66.468                      | 0.000                       | 0.130     | Cumple |
| 2                                           | 65.613                      | 0.000                       | 0.129     | Cumple |
| 3                                           | 67.851                      | 0.000                       | 0.133     | Cumple |
| 4                                           | 66.960                      | 0.000                       | 0.131     | Cumple |
| 5                                           | 68.242                      | 0.000                       | 0.134     | Cumple |
| 6                                           | 67.372                      | 0.000                       | 0.132     | Cumple |

*Nota.* Revisión de las condiciones de estabilidad mediante LRFD Sísmico –  
Condición de capacidad portante fuera del 1/3 central – Resistencia I y Resistencia II  
- Global

Figura B. 152

| CIMENTADO SOBRE ROCA (FUERA TERCIO CENTRAL) |                             |                             |           |        |
|---------------------------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------|--------|
| Extreme Event I                             | ov max [kN/m <sup>2</sup> ] | ov min [kN/m <sup>2</sup> ] | Ratio D/C | ESTADO |
| 1                                           | 38.601                      | 0.000                       | 0.076     | Cumple |
| 2                                           | 37.394                      | 0.000                       | 0.073     | Cumple |
| 3                                           | 43.461                      | 0.000                       | 0.085     | Cumple |
| 4                                           | 41.937                      | 0.000                       | 0.082     | Cumple |
| 5                                           | 43.461                      | 0.000                       | 0.085     | Cumple |
| 6                                           | 41.937                      | 0.000                       | 0.082     | Cumple |

*Nota.* Revisión de las condiciones de estabilidad mediante LRFD Sísmico –  
Condición de capacidad portante fuera del 1/3 central – Resistencia I y Resistencia II  
– Prof. 1m

Figura B. 153

| CIMENTADO SOBRE ROCA (FUERA TERCIO CENTRAL) |                             |                             |           |        |
|---------------------------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------|--------|
| Extreme Event I                             | ov max [kN/m <sup>2</sup> ] | ov min [kN/m <sup>2</sup> ] | Ratio D/C | ESTADO |
| 1                                           | 50.107                      | 0.000                       | 0.098     | Cumple |
| 2                                           | 49.038                      | 0.000                       | 0.096     | Cumple |
| 3                                           | 51.246                      | 0.000                       | 0.100     | Cumple |
| 4                                           | 50.128                      | 0.000                       | 0.098     | Cumple |
| 5                                           | 51.268                      | 0.000                       | 0.101     | Cumple |
| 6                                           | 50.219                      | 0.000                       | 0.098     | Cumple |

*Nota.* Revisión de las condiciones de estabilidad mediante LRFD Sísmico –  
Condición de capacidad portante fuera del 1/3 central – Resistencia I y Resistencia II  
– Prof. 2 m

Figura B. 154

| 4. REVISIÓN DE DESLIZAMIENTO LRFD (SISMO) |         |          |          |           |        |
|-------------------------------------------|---------|----------|----------|-----------|--------|
| Extreme Event I                           | Fd [kN] | FR1 [kN] | FRT [kN] | Ratio D/C | ESTADO |
| 1                                         | 88.780  | 314.838  | 305.152  | 0.291     | Cumple |
| 2                                         | 73.591  | 314.838  | 305.152  | 0.241     | Cumple |
| 3                                         | 101.282 | 314.838  | 305.152  | 0.332     | Cumple |
| 4                                         | 86.093  | 314.838  | 305.152  | 0.282     | Cumple |
| 5                                         | 101.282 | 316.201  | 306.379  | 0.331     | Cumple |
| 6                                         | 86.093  | 316.201  | 306.379  | 0.281     | Cumple |

[< VOLVER A REV. SÍSMICA](#)
[GEOMETRÍA](#)
[MENÚ PRINCIPAL](#)
[GENERAR INFORME PDF](#)

*Nota.* Revisión de las condiciones de estabilidad mediante LRFD Sísmico –  
Condición de deslizamiento – Resistencia I y Resistencia II - Global

Figura B. 155

| 4. REVISIÓN DE DESLIZAMIENTO LRFD (SISMO) |         |          |          |           |        |
|-------------------------------------------|---------|----------|----------|-----------|--------|
| Extreme Event I                           | Fd [kN] | FR1 [kN] | FRT [kN] | Ratio D/C | ESTADO |
| 1                                         | 11.167  | 88.296   | 79.466   | 0.141     | Cumple |
| 2                                         | 9.458   | 88.296   | 79.466   | 0.119     | Cumple |
| 3                                         | 15.999  | 88.296   | 79.466   | 0.201     | Cumple |
| 4                                         | 14.290  | 88.296   | 79.466   | 0.180     | Cumple |
| 5                                         | 15.999  | 88.296   | 79.466   | 0.201     | Cumple |
| 6                                         | 14.290  | 88.296   | 79.466   | 0.180     | Cumple |

[< VOLVER A REV. SÍSMICA](#)
[GEOMETRÍA](#)
[MENÚ PRINCIPAL](#)
[GENERAR INFORME PDF](#)

*Nota.* Revisión de las condiciones de estabilidad mediante LRFD Sísmico –  
Condición de deslizamiento – Resistencia I y Resistencia II – Prof. 1m

Figura B. 156

| 4. REVISIÓN DE DESLIZAMIENTO LRFD (SISMO) |         |          |          |           |        |
|-------------------------------------------|---------|----------|----------|-----------|--------|
| Extreme Event I                           | Fd [kN] | FR1 [kN] | FRT [kN] | Ratio D/C | ESTADO |
| 1                                         | 45.287  | 317.016  | 287.736  | 0.157     | Cumple |
| 2                                         | 36.217  | 317.016  | 287.736  | 0.126     | Cumple |
| 3                                         | 53.954  | 317.016  | 287.736  | 0.188     | Cumple |
| 4                                         | 44.884  | 317.016  | 287.736  | 0.156     | Cumple |
| 5                                         | 53.954  | 321.618  | 291.878  | 0.185     | Cumple |
| 6                                         | 44.884  | 321.618  | 291.878  | 0.154     | Cumple |

[< VOLVER A REV. SÍSMICA](#)
[GEOMETRÍA](#)
[MENÚ PRINCIPAL](#)
[GENERAR INFORME PDF](#)

*Nota.* Revisión de las condiciones de estabilidad mediante LRFD Sísmico –  
Condición de deslizamiento – Resistencia I y Resistencia II – Prof. 2 m

## **Anexo C**

### ***EJEMPLOS DE DISEÑO Y VALIDACIÓN DEL CALCULO EN MATHCAD***

## DISEÑO DE MUROS DE CONTENCIÓN - PANTALLA

### 1. DATOS DE ENTRADA

#### 1.1. Datos del muro

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |                                                     |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------|
| $\gamma_H := 23.58 \frac{kN}{m^3}$                                                                                                                                                                                                                                                                              | Densidad del material del muro                      |
| $H := 5 \text{ m}$                                                                                                                                                                                                                                                                                              | Altura - Pantalla                                   |
| $h_b := 1.2 \text{ m}$                                                                                                                                                                                                                                                                                          | Altura - Base                                       |
| $b_{pun} := 1 \text{ m}$                                                                                                                                                                                                                                                                                        | Base - Punta                                        |
| $b_{pan} := 0.5 \text{ m}$                                                                                                                                                                                                                                                                                      | Base - Pantalla                                     |
| $e_c := 0.3 \text{ m}$                                                                                                                                                                                                                                                                                          | Espesor - Corona                                    |
| $b_e := 0 \text{ m}$                                                                                                                                                                                                                                                                                            | Base - Espuelón                                     |
| $b_t := 3.2 \text{ m}$                                                                                                                                                                                                                                                                                          | Base - Talón                                        |
| $\alpha_R := 10^\circ$                                                                                                                                                                                                                                                                                          | Ángulo de inclinación del terreno con la horizontal |
| $h_R := (b_t + b_e) \cdot \sin(\alpha_R) = 0.556 \text{ m}$                                                                                                                                                                                                                                                     | Altura del relleno inclinado                        |
| $B := b_{pun} + b_{pan} + b_e + e_c + b_t = 5 \text{ m}$                                                                                                                                                                                                                                                        | Base - Muro                                         |
| $H_T := H + h_b = 6.2 \text{ m}$                                                                                                                                                                                                                                                                                | Altura total del muro desde el cimiento             |
| $h_{eq} := \begin{cases} \text{if } H \leq 5 \text{ ft} \\ \quad \parallel h_{eq} \leftarrow 4 \text{ ft} \\ \text{else if } 5 \text{ ft} < H < 20 \text{ ft} \\ \quad \parallel h_{eq} \leftarrow 3 \text{ ft} \\ \text{else} \\ \quad \parallel h_{eq} \leftarrow 2 \text{ ft} \end{cases} = 0.914 \text{ m}$ | Altura equivalente de la carga viva                 |

#### 1.2. DATOS DE LA TIERRA DESESTABILIZANTE Y ESTABILIZANTE

|                                                                    |                                                             |
|--------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------|
| $\gamma_F := 19 \frac{kN}{m^3}$                                    | Densidad - Suelo de fundación                               |
| $\phi_F := 20^\circ$                                               | Ángulo de fricción - Suelo de fundación                     |
| $c_F := 40 \frac{kN}{m^2}$                                         | Cohesión - Suelo de fundación                               |
| $\gamma_E := 18 \frac{kN}{m^3}$                                    | Densidad - Material de Empuje                               |
| $\phi_E := 30^\circ$                                               | Ángulo de fricción - Material de Empuje                     |
| $c_E := 0 \frac{kN}{m^2}$                                          | Cohesión - Material de Empuje                               |
| $h_{eq} = 0.914 \text{ m}$                                         | Altura equivalente - Carga Viva                             |
| $q_u := 7.5 \frac{kgf}{cm^2}$                                      | Presión admisible - Suelo de fundación                      |
| $\phi_{qu} := 0.65$                                                | Factor de reducción última del suelo                        |
| $\mu := \tan\left(\frac{2}{3} \cdot \phi_F\right) = 0.237$         | Coefficiente de fricción - Suelo de fundación               |
| $D := 1.7 \text{ m}$                                               | Profundidad de desplante - Suelo de fundación               |
| $k_{pFR} := \tan\left(45^\circ + \frac{\phi_F}{2}\right)^2 = 2.04$ | Coefficiente de empuje pasivo de tierra - Fundación Rankine |



$$\phi_T := 0.9$$

$$\phi_{ep} := 0.5$$

Factor de reducción de resistencia - Deslizamiento

Factor de reducción de resistencia - Tierra pasiva

$$k_{aER} := \cos(\alpha_R) \cdot \frac{\cos(\alpha_R) - \sqrt{(\cos(\alpha_R))^2 - (\cos(\phi_E))^2}}{\cos(\alpha_R) + \sqrt{(\cos(\alpha_R))^2 - (\cos(\phi_E))^2}} = 0.35$$

Coeficiente de empuje activo de tierra -  
Empuje Rankine - INCLINADO

$$k_{pER} := \cos(\alpha_R) \cdot \frac{\cos(\alpha_R) + \sqrt{(\cos(\alpha_R))^2 - (\cos(\phi_E))^2}}{\cos(\alpha_R) - \sqrt{(\cos(\alpha_R))^2 - (\cos(\phi_E))^2}} = 2.775$$

Coeficiente de empuje activo de tierra -  
Empuje Rankine - INCLINADO

### 1.3. ESQUEMA DEL MURO

#### a. Coordenadas de dibujo del muro

$$c_{xM} := \begin{bmatrix} 0 \\ B \\ B \\ B - b_t \\ B - b_t \\ B - b_t - e_c \\ b_{pun} \\ 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 5 \\ 5 \\ 1.8 \\ 1.8 \\ 1.5 \\ 1 \\ 0 \end{bmatrix} \text{ m}$$

$$c_{yM} := \begin{bmatrix} -h_b \\ -h_b \\ 0 \\ 0 \\ H \\ H \\ 0 \\ 0 \\ -h_b \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -1.2 \\ -1.2 \\ 0 \\ 0 \\ 5 \\ 5 \\ 0 \\ 0 \\ -1.2 \end{bmatrix} \text{ m}$$

#### b. Coordenadas de dibujo del material de desplante

$$int_T := 0.1 \text{ m}$$

Intervalo de dibujo de la tierra

$$c_{xD} := \left\| \begin{array}{l} \text{for } i \in 0, 1 \dots \frac{b_{pun}}{int_T} \\ \quad \left\| c_{xD_i} \leftarrow int_T \cdot i \right\| \\ c_{xD} \end{array} \right\| = \begin{bmatrix} 0 \\ 0.1 \\ 0.2 \\ 0.3 \\ \vdots \end{bmatrix} \text{ m}$$

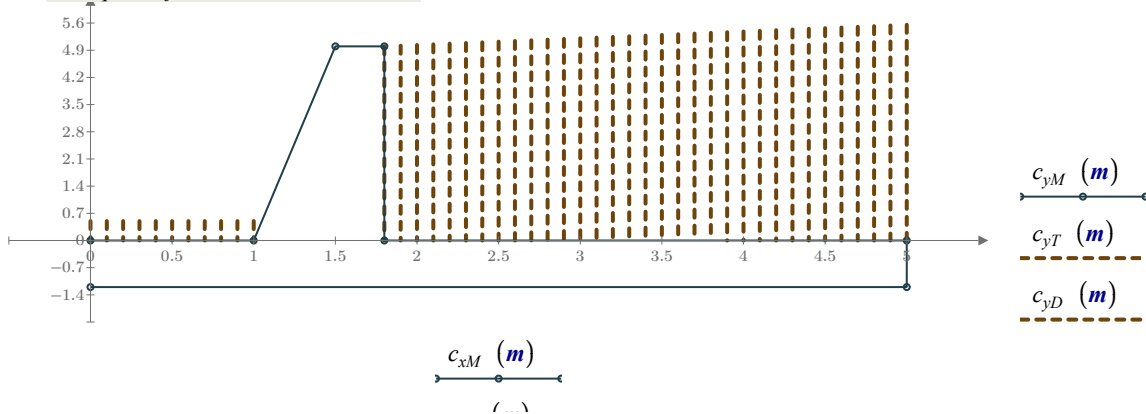
$$c_{yT} := \left\| \begin{array}{l} \text{for } i \in 0, 1 \dots \frac{b_t + b_e}{int_T} \\ \quad \left\| c_{yT_i} \leftarrow H + int_T \cdot i \cdot \sin(\alpha_R) \right\| \\ c_{yT} \end{array} \right\| = \begin{bmatrix} 5 \\ 5.017 \\ 5.035 \\ 5.052 \\ \vdots \end{bmatrix} \text{ m}$$

#### c. Coordenadas de dibujo del material de empuje

$$c_{yD} := \left\| \begin{array}{l} \text{for } i \in 0, 1 \dots \frac{b_{pun}}{int_T} \\ \quad \left\| c_{yD_i} \leftarrow D - h_b \right\| \\ c_{yD} \end{array} \right\| = \begin{bmatrix} 0.5 \\ 0.5 \\ 0.5 \\ 0.5 \\ \vdots \end{bmatrix} \text{ m}$$

$$c_{xT} := \left\| \begin{array}{l} \text{for } i \in 0, 1 \dots \frac{b_t + b_e}{int_T} \\ \quad \left\| c_{xT_i} \leftarrow b_{pun} + b_{pan} + e_c + int_T \cdot i \right\| \\ c_{xT} \end{array} \right\| = \begin{bmatrix} 1.8 \\ 1.9 \\ 2 \\ 2.1 \\ \vdots \end{bmatrix} \text{ m}$$

#### d. Esquema final del muro - Pantalla



## 2. FUERZAS ACTUANTES SOBRE EL MURO

### 2.1. FUERZAS DESESTABILIZANTES

#### 2.1.1. FUERZA - EMPUJE LATERAL DE LA TIERRA - EH

$$H' := H + h_R + h_b = 6.756 \text{ m}$$

Altura - Efectiva presión lateral de tierra

$$P_a := \frac{1}{2} \cdot k_{aER} \cdot \gamma_E \cdot H'^2 \cdot 1 \text{ m} = 143.566 \text{ kN}$$

Resultante - Empuje lateral

$$P_v := P_a \cdot \sin(\alpha_R) = 24.93 \text{ kN}$$

Fuerza desestabilizante - Vertical

$$P_h := P_a \cdot \cos(\alpha_R) = 141.385 \text{ kN}$$

Fuerza desestabilizante - Horizontal

$$F_{EH} := P_h = 141.385 \text{ kN}$$

FUERZA - EMPUJE HORIZONTAL - EH

$$M_{EH} := P_h \cdot \left( \frac{1}{3} \cdot H' \right) = 318.384 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

MOMENTO- EMPUJE HORIZONTAL - EH

$$F_{EHv} := P_v = 24.93 \text{ kN}$$

FUERZA - EMPUJE HORIZONTAL - EHv

$$M_{EHv} := P_v \cdot B = 124.65 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

MOMENTO- EMPUJE HORIZONTAL - EHv

#### 2.1.2. FUERZA - EMPUJE LATERAL DE LA CARGA VIVA - LL

$$F_{LLH} := H' \cdot k_{aER} \cdot h_{eq} \cdot \gamma_E \cdot 1 \text{ m} = 38.864 \text{ kN}$$

FUERZA - CARGA VIVA - LL - Horizontal

$$M_{LLH} := F_{LLH} \cdot \frac{H'}{2} = 131.277 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

MOMENTO - CARGA VIVA - LL - Horizontal

$$F_{LLV} := (b_t + b_e) \cdot h_{eq} \cdot \gamma_E \cdot 1 \text{ m} = 52.669 \text{ kN}$$

FUERZA - CARGA VIVA - LL - Vertical

$$M_{LLV} := F_{LLV} \cdot \left( B - \frac{b_t + b_e}{2} \right) = 179.076 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

MOMENTO - CARGA VIVA - LL - Vertical

### 2.2. FUERZAS ESTABILIZANTES

#### 3.2.1. PESO PROPIO DEL MURO

$$\#_{FIGM} := \begin{bmatrix} \text{"1 - Base"} \\ \text{"2 - Pantalla Frontal"} \\ \text{"3 - Pantalla Central"} \\ \text{"4. Espuelón"} \end{bmatrix}$$

Nombre de la figura - Base

Nombre de la figura - Pantalla frontal

Nombre de la figura - Pantalla central

**Nota:** Este muro no cuenta con espuelón

$$h_M := \begin{bmatrix} h_b \\ H \\ H \\ H \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1.2 \\ 5 \\ 5 \\ 5 \end{bmatrix} \text{ m}$$

Altura de la figura - Base

Altura de la figura - Pantalla frontal

Altura de la figura - Pantalla central

**Nota:** Este muro no cuenta con espuelón

$$b_M := \begin{bmatrix} B \\ b_{pan} \\ e_c \\ b_e \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 5 \\ 0.5 \\ 0.3 \\ 0 \end{bmatrix} \text{ m}$$

Base de la figura - Base

Base de la figura - Pantalla frontal

Base de la figura - Pantalla central

**Nota:** Este muro no cuenta con espuelón

$$a_M := \begin{bmatrix} h_{M_0} \cdot b_{M_0} \\ b_{M_1} \\ \frac{h_{M_1} \cdot b_{M_2}}{2} \\ \frac{h_{M_2} \cdot b_{M_3}}{2} \\ b_{M_3} \\ \frac{h_{M_3} \cdot b_{M_4}}{2} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 6 \\ 1.25 \\ 1.5 \\ 0 \end{bmatrix} \text{ m}^2$$

Área de la figura - Base

Área de la figura - Pantalla frontal

Área de la figura - Pantalla central

**Nota:** Este muro no cuenta con espuelón

$$c_{GM} := \begin{bmatrix} \frac{B}{2} \\ b_{pun} + \frac{2}{3} \cdot b_{pan} \\ b_{pun} + b_{pan} + \frac{e_c}{2} \\ B - \frac{2}{3} \cdot b_e - b_t \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 2.5 \\ 1.333 \\ 1.65 \\ 1.8 \end{bmatrix} \text{ m}$$

$$F_{RM} := \begin{bmatrix} a_{M_0} \\ a_{M_1} \\ a_{M_2} \\ a_{M_3} \end{bmatrix} \cdot \gamma_H \cdot 1 \text{ m} = \begin{bmatrix} 141.48 \\ 29.475 \\ 35.37 \\ 0 \end{bmatrix} \text{ kN}$$

$$M_{RM} := \overrightarrow{(F_{RM} \cdot c_{GM})} = \begin{bmatrix} 353.7 \\ 39.3 \\ 58.361 \\ 0 \end{bmatrix} \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$F_{DC} := \sum F_{RM} = 206.325 \text{ kN}$$

$$M_{DC} := \sum M_{RM} = 451.361 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

Centro de gravedad de la figura - Base

Centro de gravedad de la figura - Pantalla frontal

Centro de gravedad de la figura - Pantalla central

**Nota:** Este muro no cuenta con espuelón

Fuerza resistente de la figura - Base

Fuerza resistente de la figura - Pantalla frontal

Fuerza resistente de la figura - Pantalla central

**Nota:** Este muro no cuenta con espuelón

Momento resistente de la figura - Base

Momento resistente de la figura - Pantalla frontal

Momento resistente de la figura - Pantalla central

**Nota:** Este muro no cuenta con espuelón

### 3.2.2. TIERRA ESTABILIZANTE

$$\#_{FIGT} := \begin{bmatrix} \text{"1 - Talón"} \\ \text{"2 Espuelón"} \\ \text{"3 - Relleno inclinado"} \\ \text{"4 - Punta"} \\ \text{"5 - Pv"} \end{bmatrix}$$

$$h_T := \begin{bmatrix} H \\ H \\ (b_t + b_e) \cdot \sin(\alpha_R) \\ D - h_b \\ 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 5 \\ 5 \\ 0.556 \\ 0.5 \\ 0 \end{bmatrix} \text{ m}$$

$$b_T := \begin{bmatrix} b_t \\ b_e \\ b_t + b_e \\ b_{pun} \\ 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 3.2 \\ 0 \\ 3.2 \\ 1 \\ 0 \end{bmatrix} \text{ m}$$

$$\begin{bmatrix} h_{T_0} \cdot b_{T_0} \\ b_{T_1} \\ h_{T_1} \cdot \frac{b_{T_1}}{2} \end{bmatrix}$$

Nombre de la figura - Tierra - Talón

**Nota:** Este muro no cuenta con espuelón

Nombre de la figura - Tierra - Relleno inclinado

Nombre de la figura - Tierra - Punta

**Nota:** Fuerza material de empuje - Componente vertical

Altura de la figura - Tierra - Talón

**Nota:** Este muro no cuenta con espuelón

Altura de la figura - Tierra - Relleno inclinado

Altura de la figura - Tierra - Desplante

**Nota:** La fuerza Pv solo se compone de la formulación

Base de la figura - Tierra - Talón

**Nota:** Este muro no cuenta con espuelón

Base de la figura - Tierra - Relleno inclinado

Base de la figura - Tierra - Punta

**Nota:** La fuerza Pv solo se compone de la formulación

Área de la figura - Tierra - Talón

**Nota:** Este muro no cuenta con espuelón

$$a_T := \begin{bmatrix} b_{T_2} \\ h_{T_2} \cdot \frac{b_{T_2}}{2} \\ h_{T_3} \cdot b_{T_3} \\ h_{T_4} \cdot b_{T_4} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 16 \\ 0 \\ 0.889 \\ 0 \end{bmatrix} \text{ m}^2$$

Área de la figura - Tierra - Relleno inclinado

Área de la figura - Tierra - Punta

**Nota:** La fuerza  $P_v$  solo se compone de la formulación

$$c_{GT} := \begin{bmatrix} B - \frac{b_l}{2} \\ B - b_l - \frac{2}{3} \cdot b_e \\ B - \left( \frac{1}{3} \cdot (b_l + b_e) \right) \\ \frac{b_{pun}}{2} \\ B \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 3.4 \\ 1.8 \\ 3.933 \\ 0.5 \\ 5 \end{bmatrix} \text{ m}$$

Centro de gravedad de la figura - Tierra - Talón

**Nota:** Este muro no cuenta con espuelón

Centro de gravedad de la figura - Tierra - Relleno inclinado

Centro de gravedad de la figura - Tierra - Punta

**Nota:** Ubicación de la fuerza por el material de empuje - Componente vertical

$$F_{RT} := \begin{bmatrix} a_{T_0} \\ a_{T_1} \\ a_{T_2} \\ a_{T_3} \\ P_v \cdot \frac{1}{m \cdot \gamma_E} \end{bmatrix} \cdot \gamma_E \cdot 1 \text{ m} = \begin{bmatrix} 288 \\ 0 \\ 16.003 \\ 9 \\ 24.93 \end{bmatrix} \text{ kN}$$

Fuerza resistente de la figura - Tierra - Talón

**Nota:** Este muro no cuenta con espuelón

Fuerza resistente de la figura - Tierra - Relleno

Fuerza resistente de la figura - Tierra - Punta

**Nota:** Fuerza resistente - Material de empuje - Componente vertical

$$M_{RT} := \overrightarrow{(F_{RT} \cdot c_{GT})} = \begin{bmatrix} 979.2 \\ 0 \\ 62.947 \\ 4.5 \\ 124.65 \end{bmatrix} \text{ kN} \cdot \text{m}$$

Momento resistente de la figura - Tierra - Talón

**Nota:** Este muro no cuenta con espuelón

Momento resistente de la figura - Tierra - Relleno

Momento resistente de la figura - Tierra - Punta

**Nota:** Momento resistente - Material de empuje - Componente vertical

$$F_{EV} := \sum F_{RT} = 337.933 \text{ kN}$$

$$M_{EV} := \sum M_{RT} = (1.171 \cdot 10^3) \text{ kN} \cdot \text{m}$$

FUERZA - EMPUJE VERTICAL - EV

MOMENTO - EMPUJE VERTICAL - EV

### 2.2.3. TIERRA DESPLANTE

$$c_{FR} := c_F \cdot 0 = 0 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

Cohesión real del suelo de fundación - Conservadora

$$F_{Pp} := \frac{1}{2} \cdot k_{pFR} \cdot \gamma_F \cdot D^2 \cdot 1 \text{ m} + 2 \cdot c_{FR} \cdot \sqrt{k_{pFR}} \cdot D \cdot 1 \text{ m} = 55.997 \text{ kN}$$

FUERZA PASIVA SOBRE LA PUNTA - Pp

$$M_{Pp} := F_{Pp} \cdot \left( \frac{1}{3} \right) \cdot D = 31.732 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

MOMENTO PASIVO SOBRE LA PUNTA - Pp

### 3. RESUMEN DE FUERZAS ESTABILIZANTES Y DESESTABILIZANTES - CASO ESTÁTICO

$$F_{DC} = 206.325 \text{ kN}$$

FUERZA CARGA MUERTA - DC

$$M_{DC} = 451.361 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

MOMENTO CARGA MUERTA - DC

$$F_{EV} = 337.933 \text{ kN}$$

FUERZA - EMPUJE VERTICAL - EV

$$M_{EV} = 1171.297 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

MOMENTO - EMPUJE VERTICAL - EV

$$F_{EH} = 141.385 \text{ kN}$$

FUERZA - EMPUJE HORIZONTAL - EH

$$M_{EH} = 318.384 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

MOMENTO- EMPUJE HORIZONTAL - EH

$$F_{Pp} = 55.997 \text{ kN}$$

FUERZA PASIVA SOBRE LA PUNTA - Pp

$$M_{Pp} = 31.732 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

MOMENTO PASIVO SOBRE LA PUNTA - Pp

$$F_{LLH} = 38.864 \text{ kN}$$

FUERZA - CARGA VIVA - LL - Horizontal

$$M_{LLH} = 131.277 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

MOMENTO - CARGA VIVA - LL - Horizontal

$$F_{LLV} = 52.669 \text{ kN}$$

FUERZA - CARGA VIVA - LL - Vertical

$$M_{LLV} = 179.076 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

MOMENTO - CARGA VIVA - LL - Vertical

### 4. PLANTEAMIENTO DE COMBINACIONES DE CARGA (LRFD) Y ESTADOS LÍMITE (ASD)

#### 4.1. COMBINACIONES DE CARGA RESISTENCIA I - AASTHO

|          |                     |      |      |      |       |       |           |           |                                |
|----------|---------------------|------|------|------|-------|-------|-----------|-----------|--------------------------------|
|          |                     |      |      |      |       |       |           |           | Comb. Servicio - Resistencia I |
| $S_I :=$ | “Strength I”<br>“S” | “DC” | “EH” | “EV” | “LLh” | “LLv” | “EQ(PAE)” | “EQ(PIR)” | Comb. 1 - Resistencia I        |
|          | 1                   | 1    | 1    | 1    | 1     | 1     | 0         | 0         | Comb. 2 - Resistencia I        |
|          | 1                   | 0.9  | 1.5  | 1    | 1.75  | 1.75  | 0         | 0         | Comb. 3 - Resistencia I        |
|          | 2                   | 1.25 | 1.5  | 1    | 1.75  | 1.75  | 0         | 0         | Comb. 4 - Resistencia I        |
|          | 3                   | 0.9  | 1.5  | 1.35 | 1.75  | 1.75  | 0         | 0         | Comb. 5 - Resistencia I        |
|          | 4                   | 0.9  | 1    | 1.35 | 1.75  | 1.75  | 0         | 0         | Comb. 6 - Resistencia I        |
|          | 5                   | 1.25 | 1.5  | 1.35 | 1.75  | 1.75  | 0         | 0         | Comb. 7 - Resistencia I        |
|          | 6                   | 1.25 | 1    | 1.35 | 1.75  | 0     | 0         | 0         |                                |
|          | 7                   | 1.25 | 1.5  | 1    | 1.75  | 0     | 0         | 0         |                                |

#### 4.2. COMBINACIONES DE CARGA - RESISTENCIA II - AASTHO

|            |              |      |      |      |       |       |           |           |                                 |
|------------|--------------|------|------|------|-------|-------|-----------|-----------|---------------------------------|
|            |              |      |      |      |       |       |           |           | Comb. Servicio - Resistencia II |
| $S_{II}:=$ | “Strength I” | “DC” | “EH” | “EV” | “LLh” | “LLv” | “EQ(PAE)” | “EQ(PIR)” | Comb. 1 - Resistencia II        |
|            | “S”          | 1    | 1    | 1    | 1     | 1     | 0         | 0         | Comb. 2 - Resistencia II        |
|            | 1            | 0.9  | 1.5  | 1    | 1.35  | 1.35  | 0         | 0         | Comb. 2 - Resistencia II        |
|            | 2            | 1.25 | 1.5  | 1    | 1.35  | 1.35  | 0         | 0         | Comb. 3 - Resistencia II        |
|            | 3            | 0.9  | 1.5  | 1.35 | 1.35  | 1.35  | 0         | 0         | Comb. 4 - Resistencia II        |
|            | 4            | 0.9  | 1    | 1.35 | 1.35  | 1.35  | 0         | 0         | Comb. 5 - Resistencia II        |
|            | 5            | 1.25 | 1.5  | 1.35 | 1.35  | 1.35  | 0         | 0         | Comb. 5 - Resistencia II        |
|            | 6            | 1.25 | 1    | 1.35 | 1.35  | 0     | 0         | 0         | Comb. 6 - Resistencia II        |
|            | 7            | 1.25 | 1.5  | 1    | 1.35  | 0     | 0         | 0         | Comb. 6 - Resistencia II        |

#### 4.3. COMBINACIONES DE CARGA - EVENTO EXTREMO I - AASTHO

|           |              |      |      |      |       |       |           |           |                                 |
|-----------|--------------|------|------|------|-------|-------|-----------|-----------|---------------------------------|
| $EX_I :=$ | “Strength I” | “DC” | “EH” | “EV” | “LLh” | “LLv” | “EQ(PAE)” | “EQ(PIR)” | <i>Comb. 1 - Evento Extr. I</i> |
|           | 1            | 1    | 1    | 1    | 0     | 0     | 0.5       | 1         | <i>Comb. 2 - Evento Extr. I</i> |
|           | 2            | 1    | 1    | 1    | 0     | 0     | 1         | 0.5       | <i>Comb. 3 - Evento Extr. I</i> |
|           | 3            | 1    | 1    | 1    | 1     | 0     | 0.5       | 1         | <i>Comb. 4 - Evento Extr. I</i> |
|           | 4            | 1    | 1    | 1    | 1     | 0     | 1         | 0.5       | <i>Comb. 5 - Evento Extr. I</i> |
|           | 5            | 1    | 1    | 1    | 1     | 1     | 0.5       | 1         | <i>Comb. 6 - Evento Extr. I</i> |
|           | 6            | 1    | 1    | 1    | 1     | 1     | 1         | 0.5       |                                 |

#### 4.4. ESTADOS LÍMITE - LRFD - ASD

$$LRFD_{AASHTO} := \begin{bmatrix} \text{"Volteo"} & \text{"Excentricidad"} & \text{"Capacidad Portante"} & \text{"Deslizamiento"} \\ 1 & \frac{B}{6} & 1 & 1 \end{bmatrix} \quad \begin{matrix} \text{Estado límite - AASHTO} \\ \text{Estático} \end{matrix}$$

$$LRFD_{AASHTO\_SIS} := \begin{bmatrix} \text{"Volteo"} & \text{"Excentricidad"} & \text{"Capacidad Portante"} & \text{"Deslizamiento"} \\ 1 & \frac{B}{4} & 1 & 1 \end{bmatrix} \quad \begin{matrix} \text{Estado límite - AASHTO} \\ \text{Sísmico} \end{matrix}$$

$$ASD_{NEC} := \begin{bmatrix} \text{"Volteo"} & \text{"Excentricidad"} & \text{"Capacidad Portante"} & \text{"Deslizamiento"} \\ 3 & \frac{B}{6} & 3 & 1.6 \end{bmatrix} \quad \begin{matrix} \text{Estado límite - NEC -} \\ \text{Estático} \end{matrix}$$

$$ASD_{NEC\_SIS} := \begin{bmatrix} \text{"Volteo"} & \text{"Excentricidad"} & \text{"Capacidad Portante"} & \text{"Deslizamiento"} \\ 2 & \frac{B}{4} & 1.5 & 1.05 \end{bmatrix} \quad \begin{matrix} \text{Estado límite - NEC -} \\ \text{Sísmico} \end{matrix}$$

#### 5. REVISIÓN A LA CONDICIÓN DE ESTABILIDAD

##### 5.1. REVISIÓN A LA CONDICIÓN DE ESTABILIDAD - LRFD

##### 5.1.1. REVISIÓN A LA CONDICIÓN DE ESTABILIDAD - LRFD - STRENGTH I

###### a. Volteo

$$\#_{com} := \begin{bmatrix} \text{"S"} \\ \text{"1"} \\ \text{"2"} \\ \text{"3"} \\ \text{"4"} \\ \text{"5"} \\ \text{"6"} \\ \text{"7"} \end{bmatrix} \quad \begin{matrix} \text{Comb. Servicio - Resistencia I} \\ \text{Comb. 1 - Resistencia I} \\ \text{Comb. 2 - Resistencia I} \\ \text{Comb. 3 - Resistencia I} \\ \text{Comb. 4 - Resistencia I} \\ \text{Comb. 5 - Resistencia I} \\ \text{Comb. 6 - Resistencia I} \\ \text{Comb. 7 - Resistencia I} \end{matrix}$$

$$M_{UVI} := M_{EH} \cdot S_{-f^{(2)}} + M_{LLH} \cdot S_{-f^{(4)}} = \begin{bmatrix} 449.66 \\ 707.31 \\ 707.31 \\ 707.31 \\ 548.118 \\ 707.31 \\ 548.118 \\ 707.31 \end{bmatrix} \text{ kN} \cdot \text{m} \quad \begin{matrix} \text{Momento último - Comb. S Resis. 1} \\ \text{Momento último - Comb. 1 Resis. 1} \\ \text{Momento último - Comb. 2 Resis. 1} \\ \text{Momento último - Comb. 3 Resis. 1} \\ \text{Momento último - Comb. 4 Resis. 1} \\ \text{Momento último - Comb. 5 Resis. 1} \\ \text{Momento último - Comb. 6 Resis. 1} \\ \text{Momento último - Comb. 7 Resis. 1} \end{matrix}$$

$$M_{RVI} := M_{DC} \cdot S_{-f^{(1)}} + M_{EV} \cdot S_{-f^{(3)}} + M_{PP} \cdot S_{-f^{(2)}} + M_{LLV} \cdot S_{-f^{(5)}} = \begin{bmatrix} 1833.465 \\ 1938.502 \\ 2096.478 \\ 2348.456 \\ 2332.59 \\ 2506.432 \\ 2177.183 \\ 1783.095 \end{bmatrix} \text{ kN} \cdot \text{m} \quad \begin{matrix} M_{om} R_{es} - \text{Comb. S Resis. 1} \\ M_{om} R_{es} - \text{Comb. 1 Resis. 1} \\ M_{om} R_{es} - \text{Comb. 2 Resis. 1} \\ M_{om} R_{es} - \text{Comb. 3 Resis. 1} \\ M_{om} R_{es} - \text{Comb. 4 Resis. 1} \\ M_{om} R_{es} - \text{Comb. 5 Resis. 1} \\ M_{om} R_{es} - \text{Comb. 6 Resis. 1} \\ M_{om} R_{es} - \text{Comb. 7 Resis. 1} \end{matrix}$$

$$R_{DCVI} := \left( \frac{M_{UVI}}{M_{RVI}} \right) = \begin{bmatrix} 0.245 \\ 0.365 \\ 0.337 \\ 0.301 \\ 0.235 \\ 0.282 \\ 0.252 \\ 0.397 \end{bmatrix}$$

Ratio demanda capacidad - Volteo - LRFD - Comb. S - RI  
 Ratio demanda capacidad - Volteo - LRFD - Comb. 1 - RI  
 Ratio demanda capacidad - Volteo - LRFD - Comb. 2 - RI  
 Ratio demanda capacidad - Volteo - LRFD - Comb. 3 - RI  
 Ratio demanda capacidad - Volteo - LRFD - Comb. 4 - RI  
 Ratio demanda capacidad - Volteo - LRFD - Comb. 5 - RI  
 Ratio demanda capacidad - Volteo - LRFD - Comb. 6 - RI  
 Ratio demanda capacidad - Volteo - LRFD - Comb. 7 - RI

### b. Excentricidad

$$e_{max\_est} := LRFD_{AASHTO_{1,1}} = 0.833 \text{ m}$$

Excentricidad máxima - Condición estática

$$FV_{EI} := F_{DC} \cdot S_{\underline{I}^{(1)}} + F_{EV} \cdot S_{\underline{I}^{(3)}} + F_{LLV} \cdot S_{\underline{I}^{(5)}} = \begin{bmatrix} 596.928 \\ 615.797 \\ 688.011 \\ 734.074 \\ 734.074 \\ 806.288 \\ 714.116 \\ 595.84 \end{bmatrix} \text{ kN}$$

Fuerza vertical estabilizante - Comb. S - SI  
 Fuerza vertical estabilizante - Comb. 1 - SI  
 Fuerza vertical estabilizante - Comb. 2 - SI  
 Fuerza vertical estabilizante - Comb. 3 - SI  
 Fuerza vertical estabilizante - Comb. 4 - SI  
 Fuerza vertical estabilizante - Comb. 5 - SI  
 Fuerza vertical estabilizante - Comb. 6 - SI  
 Fuerza vertical estabilizante - Comb. 7 - SI

$$e_{EI} := \frac{B}{2} - \left( \frac{M_{RVI} - M_{UVI}}{FV_{EI}} \right) = \begin{bmatrix} 0.182 \\ 0.501 \\ 0.481 \\ 0.264 \\ 0.069 \\ 0.269 \\ 0.219 \\ 0.695 \end{bmatrix} \text{ m}$$

Excentricidad - Comb. S - SI  
 Excentricidad - Comb. 1 - SI  
 Excentricidad - Comb. 2 - SI  
 Excentricidad - Comb. 3 - SI  
 Excentricidad - Comb. 4 - SI  
 Excentricidad - Comb. 5 - SI  
 Excentricidad - Comb. 6 - SI  
 Excentricidad - Comb. 7 - SI

$$R_{DCEI} := \frac{e_{EI}}{e_{max\_est}} = \begin{bmatrix} 0.218 \\ 0.601 \\ 0.577 \\ 0.317 \\ 0.083 \\ 0.322 \\ 0.263 \\ 0.833 \end{bmatrix}$$

Ratio demanda capacidad - Excentricidad- LRFD - Comb. S - SI  
 Ratio demanda capacidad - Excentricidad- LRFD - Comb. 1 - SI  
 Ratio demanda capacidad - Excentricidad- LRFD - Comb. 2 - SI  
 Ratio demanda capacidad - Excentricidad- LRFD - Comb. 3 - SI  
 Ratio demanda capacidad - Excentricidad- LRFD - Comb. 4 - SI  
 Ratio demanda capacidad - Excentricidad- LRFD - Comb. 5 - SI  
 Ratio demanda capacidad - Excentricidad- LRFD - Comb. 6 - SI  
 Ratio demanda capacidad - Excentricidad- LRFD - Comb. 7 - SI

### c. Capacidad Portante

$$q_u = 7.5 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$$

Capacidad última admisible kgf/cm2

$$q_u = 735.499 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

Capacidad última admisible kN/m2

$$\phi q_u := \phi_{qu} \cdot q_u \cdot 1 \text{ m} = 478.074 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

Capacidad portante admisible - Considerando el factor de seguridad  $\phi$

### c.1. Capacidad Portante - Cimentado sobre suelo

$$\sigma_{v_{PI}} := \left( \frac{FV_{EI}}{B - 2 \cdot e_{EI}} \right) = \begin{bmatrix} 128.748 \\ 154 \\ 170.375 \\ 164.173 \\ 150.987 \\ 180.671 \\ 156.52 \\ 165.007 \end{bmatrix} \frac{kN}{m}$$

Presión máxima de contacto - Comb. S - SI  
 Presión máxima de contacto - Comb. 1 - SI  
 Presión máxima de contacto - Comb. 2 - SI  
 Presión máxima de contacto - Comb. 3 - SI  
 Presión máxima de contacto - Comb. 4 - SI  
 Presión máxima de contacto - Comb. 5 - SI  
 Presión máxima de contacto - Comb. 6 - SI  
 Presión máxima de contacto - Comb. 7 - SI

### c.2. Capacidad Portante - Cimentado sobre roca - Dentro del 1/3 central - **PARA REVISIÓN DEL R D/C**

$$\sigma_{v_{l_{máxl}}} := \left( \frac{FV_{EI}}{B} \right) \cdot \left( 1 + 6 \cdot \frac{e_{EI}}{B} \right) = \begin{bmatrix} 145.429 \\ 197.152 \\ 217.008 \\ 193.384 \\ 158.986 \\ 213.241 \\ 180.317 \\ 218.483 \end{bmatrix} \frac{kN}{m}$$

Presión máxima de contacto Roca - Comb. S - SI  
 Presión máxima de contacto Roca - Comb. 1 - SI  
 Presión máxima de contacto Roca - Comb. 2 - SI  
 Presión máxima de contacto Roca - Comb. 3 - SI  
 Presión máxima de contacto Roca - Comb. 4 - SI  
 Presión máxima de contacto Roca - Comb. 5 - SI  
 Presión máxima de contacto Roca - Comb. 6 - SI  
 Presión máxima de contacto Roca - Comb. 7 - SI

$$\sigma_{v_{l_{minl}}} := \left( \frac{FV_{EI}}{B} \right) \cdot \left( 1 - 6 \cdot \frac{e_{EI}}{B} \right) = \begin{bmatrix} 93.342 \\ 49.167 \\ 58.196 \\ 100.245 \\ 134.644 \\ 109.274 \\ 105.329 \\ 19.853 \end{bmatrix} \frac{kN}{m}$$

Presión mínima de contacto Roca - Comb. S - SI  
 Presión mínima de contacto Roca - Comb. 1 - SI  
 Presión mínima de contacto Roca - Comb. 2 - SI  
 Presión mínima de contacto Roca - Comb. 3 - SI  
 Presión mínima de contacto Roca - Comb. 4 - SI  
 Presión mínima de contacto Roca - Comb. 5 - SI  
 Presión mínima de contacto Roca - Comb. 6 - SI  
 Presión mínima de contacto Roca - Comb. 7 - SI

### c.3. Capacidad Portante - Cimentado sobre roca - Fuera del 1/3 central

$$\sigma_{v_{2máxl}} := \left( \frac{2 \cdot FV_{EI}}{3 \cdot \left( \frac{B}{2} - e_{EI} \right)} \right) = \begin{bmatrix} 171.663 \\ 205.333 \\ 227.167 \\ 218.898 \\ 201.316 \\ 240.895 \\ 208.693 \\ 220.01 \end{bmatrix} \frac{kN}{m}$$

Presión máxima II de contacto Roca - Comb. S - SI  
 Presión máxima II de contacto Roca - Comb. 1 - SI  
 Presión máxima II de contacto Roca - Comb. 2 - SI  
 Presión máxima II de contacto Roca - Comb. 3 - SI  
 Presión máxima II de contacto Roca - Comb. 4 - SI  
 Presión máxima II de contacto Roca - Comb. 5 - SI  
 Presión máxima II de contacto Roca - Comb. 6 - SI  
 Presión máxima II de contacto Roca - Comb. 7 - SI

$$\sigma_{v_{2minl}} := 0 \frac{kN}{m}$$

Presión mínima II de contacto Roca

$$R_{DCPI} := \left( \frac{\sigma_{v_{l_{máxl}}}}{\phi q_u} \right) = \begin{bmatrix} 0.304 \\ 0.412 \\ 0.454 \\ 0.405 \\ 0.333 \\ 0.446 \\ 0.377 \\ 0.457 \end{bmatrix}$$

Ratio demanda capacidad - C. Portante - LRFD - Comb. S - SI  
 Ratio demanda capacidad - C. Portante - LRFD - Comb. 1 - SI  
 Ratio demanda capacidad - C. Portante - LRFD - Comb. 2 - SI  
 Ratio demanda capacidad - C. Portante - LRFD - Comb. 3 - SI  
 Ratio demanda capacidad - C. Portante - LRFD - Comb. 4 - SI  
 Ratio demanda capacidad - C. Portante - LRFD - Comb. 5 - SI  
 Ratio demanda capacidad - C. Portante - LRFD - Comb. 6 - SI  
 Ratio demanda capacidad - C. Portante - LRFD - Comb. 7 - SI



#### d. Deslizamiento

$$F_{dl} := F_{EH} \cdot S_{-} I^{(2)} + F_{LLH} \cdot S_{-} I^{(4)} = \begin{bmatrix} 180.249 \\ 280.09 \\ 280.09 \\ 280.09 \\ 209.397 \\ 280.09 \\ 209.397 \\ 280.09 \end{bmatrix} \text{ kN}$$

Fuerza deslizante - LRFD - Comb. S - SI  
Fuerza deslizante - LRFD - Comb. 1 - SI  
Fuerza deslizante - LRFD - Comb. 2 - SI  
Fuerza deslizante - LRFD - Comb. 3 - SI  
Fuerza deslizante - LRFD - Comb. 4 - SI  
Fuerza deslizante - LRFD - Comb. 5 - SI  
Fuerza deslizante - LRFD - Comb. 6 - SI  
Fuerza deslizante - LRFD - Comb. 7 - SI

$$F_{RII} := \overrightarrow{(FV_{EI} \cdot \mu + B \cdot c_F \cdot 1 \text{ m})} = \begin{bmatrix} 341.474 \\ 345.947 \\ 363.062 \\ 373.979 \\ 373.979 \\ 391.094 \\ 369.249 \\ 341.217 \end{bmatrix} \text{ kN}$$

Fuerza resistente- LRFD - Comb. S - SI  
Fuerza resistente- LRFD - Comb. 1 - SI  
Fuerza resistente- LRFD - Comb. 2 - SI  
Fuerza resistente- LRFD - Comb. 3 - SI  
Fuerza resistente- LRFD - Comb. 4 - SI  
Fuerza resistente- LRFD - Comb. 5 - SI  
Fuerza resistente- LRFD - Comb. 6 - SI  
Fuerza resistente- LRFD - Comb. 7 - SI

$$F_{RTDI} := \phi_T \cdot F_{RII} + \phi_{ep} \cdot F_{Pp} \cdot S_{-} I^{(2)} = \begin{bmatrix} 335.326 \\ 353.35 \\ 368.754 \\ 378.579 \\ 364.58 \\ 393.982 \\ 360.323 \\ 349.093 \end{bmatrix} \text{ kN}$$

Fuerza resistente total - LRFD - Comb. S - SI  
Fuerza resistente total - LRFD - Comb. 1 - SI  
Fuerza resistente total - LRFD - Comb. 2 - SI  
Fuerza resistente total - LRFD - Comb. 3 - SI  
Fuerza resistente total - LRFD - Comb. 4 - SI  
Fuerza resistente total - LRFD - Comb. 5 - SI  
Fuerza resistente total - LRFD - Comb. 6 - SI  
Fuerza resistente total - LRFD - Comb. 7 - SI

$$R_{DCDI} := \frac{F_{dl}}{F_{RTDI}} = \begin{bmatrix} 0.538 \\ 0.793 \\ 0.76 \\ 0.74 \\ 0.574 \\ 0.711 \\ 0.581 \\ 0.802 \end{bmatrix}$$

Ratio demanda capacidad - Deslizamiento- LRFD - Comb. S - SI  
Ratio demanda capacidad - Deslizamiento- LRFD - Comb. 1 - SI  
Ratio demanda capacidad - Deslizamiento- LRFD - Comb. 2 - SI  
Ratio demanda capacidad - Deslizamiento- LRFD - Comb. 3 - SI  
Ratio demanda capacidad - Deslizamiento- LRFD - Comb. 4 - SI  
Ratio demanda capacidad - Deslizamiento- LRFD - Comb. 5 - SI  
Ratio demanda capacidad - Deslizamiento- LRFD - Comb. 6 - SI  
Ratio demanda capacidad - Deslizamiento- LRFD - Comb. 7 - SI

### 5.1.2. REVISIÓN A LA CONDICIÓN DE ESTABILIDAD - LRFD - STRENGTH II

#### a. Volteo

$$\#_{com} = \begin{bmatrix} \text{"S"} \\ \text{"1"} \\ \text{"2"} \\ \text{"3"} \\ \text{"4"} \\ \text{"5"} \\ \text{"6"} \\ \text{"7"} \end{bmatrix}$$

Comb. Servicio - Resistencia II  
Comb. 1 - Resistencia II  
Comb. 2 - Resistencia II  
Comb. 3 - Resistencia II  
Comb. 4 - Resistencia II  
Comb. 5 - Resistencia II  
Comb. 6 - Resistencia II  
Comb. 7 - Resistencia II

$$M_{UVII} := M_{EH} \cdot S_{II}^{(2)} + M_{LLH} \cdot S_{II}^{(4)} = \begin{bmatrix} 449.66 \\ 654.799 \\ 654.799 \\ 654.799 \\ 495.607 \\ 654.799 \\ 495.607 \\ 654.799 \end{bmatrix} \text{ kN} \cdot \text{m}$$

Momento último - Comb. S SII  
 Momento último - Comb. 1 SII  
 Momento último - Comb. 2 SII  
 Momento último - Comb. 3 SII  
 Momento último - Comb. 4 SII  
 Momento último - Comb. 5 SII  
 Momento último - Comb. 6 SII  
 Momento último - Comb. 7 SII

$$M_{RVII} := M_{DC} \cdot S_{II}^{(1)} + M_{EV} \cdot S_{II}^{(3)} + M_{PP} \cdot S_{II}^{(2)} + M_{LLV} \cdot S_{II}^{(5)} = \begin{bmatrix} 1.833 \cdot 10^3 \\ 1.867 \cdot 10^3 \\ 2.025 \cdot 10^3 \\ 2.277 \cdot 10^3 \\ 2.261 \cdot 10^3 \\ 2.435 \cdot 10^3 \\ 2.177 \cdot 10^3 \\ 1.783 \cdot 10^3 \end{bmatrix} \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$M_{om} R_{es}$  - Comb. S SII  
 $M_{om} R_{es}$  - Comb. 1 SII  
 $M_{om} R_{es}$  - Comb. 2 SII  
 $M_{om} R_{es}$  - Comb. 3 SII  
 $M_{om} R_{es}$  - Comb. 4 SII  
 $M_{om} R_{es}$  - Comb. 5 SII  
 $M_{om} R_{es}$  - Comb. 6 SII  
 $M_{om} R_{es}$  - Comb. 7 SII

$$R_{DCVII} := \left( \frac{M_{UVII}}{M_{RVII}} \right) = \begin{bmatrix} 0.245 \\ 0.351 \\ 0.323 \\ 0.288 \\ 0.219 \\ 0.269 \\ 0.228 \\ 0.367 \end{bmatrix}$$

Ratio demanda capacidad - Volteo - LRFD - Comb. S - SII  
 Ratio demanda capacidad - Volteo - LRFD - Comb. 1 - SII  
 Ratio demanda capacidad - Volteo - LRFD - Comb. 2 - SII  
 Ratio demanda capacidad - Volteo - LRFD - Comb. 3 - SII  
 Ratio demanda capacidad - Volteo - LRFD - Comb. 4 - SII  
 Ratio demanda capacidad - Volteo - LRFD - Comb. 5 - SII  
 Ratio demanda capacidad - Volteo - LRFD - Comb. 6 - SII  
 Ratio demanda capacidad - Volteo - LRFD - Comb. 7 - SII

#### b. Excentricidad

$$e_{max\_est} = 0.833 \text{ m}$$

Excentricidad máxima - Condición estática

$$FV_{EII} := F_{DC} \cdot S_{II}^{(1)} + F_{EV} \cdot S_{II}^{(3)} + F_{LLV} \cdot S_{II}^{(5)} = \begin{bmatrix} 596.928 \\ 594.73 \\ 666.943 \\ 713.006 \\ 713.006 \\ 785.22 \\ 714.116 \\ 595.84 \end{bmatrix} \text{ kN}$$

Fuerza vertical estabilizante - Comb. S - SI  
 Fuerza vertical estabilizante - Comb. 1 - SI  
 Fuerza vertical estabilizante - Comb. 2 - SI  
 Fuerza vertical estabilizante - Comb. 3 - SI  
 Fuerza vertical estabilizante - Comb. 4 - SI  
 Fuerza vertical estabilizante - Comb. 5 - SI  
 Fuerza vertical estabilizante - Comb. 6 - SI  
 Fuerza vertical estabilizante - Comb. 7 - SI

$$e_{EII} := \frac{B}{2} - \left( \frac{M_{RVII} - M_{UVII}}{FV_{EII}} \right) = \begin{bmatrix} 0.182 \\ 0.462 \\ 0.446 \\ 0.225 \\ 0.024 \\ 0.233 \\ 0.145 \\ 0.606 \end{bmatrix} \text{ m}$$

Excentricidad - Comb. S - SI  
 Excentricidad - Comb. 1 - SI  
 Excentricidad - Comb. 2 - SI  
 Excentricidad - Comb. 3 - SI  
 Excentricidad - Comb. 4 - SI  
 Excentricidad - Comb. 5 - SI  
 Excentricidad - Comb. 6 - SI  
 Excentricidad - Comb. 7 - SI

$$R_{DCEII} := \frac{e_{EII}}{e_{max\_est}} = \begin{bmatrix} 0.218 \\ 0.554 \\ 0.535 \\ 0.27 \\ 0.029 \\ 0.28 \\ 0.174 \\ 0.728 \end{bmatrix}$$

Ratio demanda capacidad - Excentricidad- LRFD - Comb. S - SI  
 Ratio demanda capacidad - Excentricidad- LRFD - Comb. 1 - SI  
 Ratio demanda capacidad - Excentricidad- LRFD - Comb. 2 - SI  
 Ratio demanda capacidad - Excentricidad- LRFD - Comb. 3 - SI  
 Ratio demanda capacidad - Excentricidad- LRFD - Comb. 4 - SI  
 Ratio demanda capacidad - Excentricidad- LRFD - Comb. 5 - SI  
 Ratio demanda capacidad - Excentricidad- LRFD - Comb. 6 - SI  
 Ratio demanda capacidad - Excentricidad- LRFD - Comb. 7 - SI

### c. Capacidad Portante

$$q_u = 7.5 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$$

Capacidad última admisible kgf/cm<sup>2</sup>

$$q_u = 735.499 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

Capacidad última admisible kN/m<sup>2</sup>

$$\phi q_u = 478.074 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

Capacidad portante admisible - Considerando el factor de seguridad  $\phi$

#### c.1. Capacidad Portante - Cimentado sobre suelo

$$\sigma_{vPII} := \left( \frac{FV_{EII}}{B - 2 \cdot e_{EII}} \right) = \begin{bmatrix} 128.748 \\ 145.908 \\ 162.335 \\ 156.711 \\ 143.988 \\ 173.194 \\ 151.632 \\ 157.328 \end{bmatrix} \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

Presión máxima de contacto Tierra - Comb. S - SI  
 Presión máxima de contacto Tierra - Comb. 1 - SI  
 Presión máxima de contacto Tierra - Comb. 2 - SI  
 Presión máxima de contacto Tierra - Comb. 3 - SI  
 Presión máxima de contacto Tierra - Comb. 4 - SI  
 Presión máxima de contacto Tierra - Comb. 5 - SI  
 Presión máxima de contacto Tierra - Comb. 6 - SI  
 Presión máxima de contacto Tierra - Comb. 7 - SI

#### c.2. Capacidad Portante - Cimentado sobre roca Dentro del 1/3 central - **PARA REVISIÓN DEL R D/C**

$$\sigma_{vImaxII} := \left( \frac{FV_{EII}}{B} \right) \cdot \left( 1 + 6 \cdot \frac{e_{EII}}{B} \right) = \begin{bmatrix} 145.429 \\ 184.886 \\ 204.743 \\ 181.119 \\ 146.721 \\ 200.975 \\ 167.715 \\ 205.881 \end{bmatrix} \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

Presión máxima de contacto Roca - Comb. S - SI  
 Presión máxima de contacto Roca - Comb. 1 - SI  
 Presión máxima de contacto Roca - Comb. 2 - SI  
 Presión máxima de contacto Roca - Comb. 3 - SI  
 Presión máxima de contacto Roca - Comb. 4 - SI  
 Presión máxima de contacto Roca - Comb. 5 - SI  
 Presión máxima de contacto Roca - Comb. 6 - SI  
 Presión máxima de contacto Roca - Comb. 7 - SI

$$\sigma_{vIminII} := \left( \frac{FV_{EII}}{B} \right) \cdot \left( 1 - 6 \cdot \frac{e_{EII}}{B} \right) = \begin{bmatrix} 93.342 \\ 53.006 \\ 62.034 \\ 104.084 \\ 138.482 \\ 113.113 \\ 117.932 \\ 32.455 \end{bmatrix} \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

Presión mínima de contacto Roca - Comb. S - SI  
 Presión mínima de contacto Roca - Comb. 1 - SI  
 Presión mínima de contacto Roca - Comb. 2 - SI  
 Presión mínima de contacto Roca - Comb. 3 - SI  
 Presión mínima de contacto Roca - Comb. 4 - SI  
 Presión mínima de contacto Roca - Comb. 5 - SI  
 Presión mínima de contacto Roca - Comb. 6 - SI  
 Presión mínima de contacto Roca - Comb. 7 - SI

## c.2. Capacidad Portante - Cimentado sobre roca - Fuera del 1/3 central

$$\sigma_{v2máxII} := \left( \frac{2 \cdot FV_{EII}}{3 \cdot \left( \frac{B}{2} - e_{EII} \right)} \right) = \begin{bmatrix} 171.663 \\ 194.545 \\ 216.447 \\ 208.948 \\ 191.984 \\ 230.925 \\ 202.176 \\ 209.771 \end{bmatrix} \frac{kN}{m}$$

Presión máxima II de contacto Roca - Comb. S - SI  
 Presión máxima II de contacto Roca - Comb. 1 - SI  
 Presión máxima II de contacto Roca - Comb. 2 - SI  
 Presión máxima II de contacto Roca - Comb. 3 - SI  
 Presión máxima II de contacto Roca - Comb. 4 - SI  
 Presión máxima II de contacto Roca - Comb. 5 - SI  
 Presión máxima II de contacto Roca - Comb. 6 - SI  
 Presión máxima II de contacto Roca - Comb. 7 - SI

$$\sigma_{v2mínII} := 0 \frac{kN}{m}$$

Presión mínima II de contacto Roca

$$R_{DCPII} := \left( \frac{\sigma_{v1máxII}}{\phi q_u} \right) = \begin{bmatrix} 0.304 \\ 0.387 \\ 0.428 \\ 0.379 \\ 0.307 \\ 0.42 \\ 0.351 \\ 0.431 \end{bmatrix}$$

Ratio demanda capacidad - C. Portante - LRFD - Comb. S - SI  
 Ratio demanda capacidad - C. Portante - LRFD - Comb. 1 - SI  
 Ratio demanda capacidad - C. Portante - LRFD - Comb. 2 - SI  
 Ratio demanda capacidad - C. Portante - LRFD - Comb. 3 - SI  
 Ratio demanda capacidad - C. Portante - LRFD - Comb. 4 - SI  
 Ratio demanda capacidad - C. Portante - LRFD - Comb. 5 - SI  
 Ratio demanda capacidad - C. Portante - LRFD - Comb. 6 - SI  
 Ratio demanda capacidad - C. Portante - LRFD - Comb. 7 - SI

## d. Deslizamiento

$$F_{dII} := F_{EH} \cdot S_{-II}^{(2)} + F_{LLH} \cdot S_{-II}^{(4)} = \begin{bmatrix} 180.249 \\ 264.544 \\ 264.544 \\ 264.544 \\ 193.852 \\ 264.544 \\ 193.852 \\ 264.544 \end{bmatrix} kN$$

Fuerza deslizante - LRFD - Comb. S - SI  
 Fuerza deslizante - LRFD - Comb. 1 - SI  
 Fuerza deslizante - LRFD - Comb. 2 - SI  
 Fuerza deslizante - LRFD - Comb. 3 - SI  
 Fuerza deslizante - LRFD - Comb. 4 - SI  
 Fuerza deslizante - LRFD - Comb. 5 - SI  
 Fuerza deslizante - LRFD - Comb. 6 - SI  
 Fuerza deslizante - LRFD - Comb. 7 - SI

$$F_{RII} := \left( FV_{EII} \cdot \mu + B \cdot c_F \cdot 1 \right) = \begin{bmatrix} 341.474 \\ 340.954 \\ 358.068 \\ 368.986 \\ 368.986 \\ 386.101 \\ 369.249 \\ 341.217 \end{bmatrix} kN$$

Fuerza resistente- LRFD - Comb. S - SI  
 Fuerza resistente- LRFD - Comb. 1 - SI  
 Fuerza resistente- LRFD - Comb. 2 - SI  
 Fuerza resistente- LRFD - Comb. 3 - SI  
 Fuerza resistente- LRFD - Comb. 4 - SI  
 Fuerza resistente- LRFD - Comb. 5 - SI  
 Fuerza resistente- LRFD - Comb. 6 - SI  
 Fuerza resistente- LRFD - Comb. 7 - SI

$$F_{RTDII} := \phi_T \cdot F_{RII} + \phi_{ep} \cdot F_{PP} \cdot S_{-II}^{(2)} = \begin{bmatrix} 335.326 \\ 348.856 \\ 364.26 \\ 374.085 \\ 360.086 \\ 389.489 \\ 360.323 \\ 349.093 \end{bmatrix} kN$$

Fuerza resistente total - LRFD - Comb. S - SI  
 Fuerza resistente total - LRFD - Comb. 1 - SI  
 Fuerza resistente total - LRFD - Comb. 2 - SI  
 Fuerza resistente total - LRFD - Comb. 3 - SI  
 Fuerza resistente total - LRFD - Comb. 4 - SI  
 Fuerza resistente total - LRFD - Comb. 5 - SI  
 Fuerza resistente total - LRFD - Comb. 6 - SI  
 Fuerza resistente total - LRFD - Comb. 7 - SI

$$R_{DCDII} := \frac{F_{dII}}{F_{RTDII}} = \begin{bmatrix} 0.538 \\ 0.758 \\ 0.726 \\ 0.707 \\ 0.538 \\ 0.679 \\ 0.538 \\ 0.758 \end{bmatrix}$$

Ratio demanda capacidad - Deslizamiento- LRFD - Comb. S - SI  
 Ratio demanda capacidad - Deslizamiento- LRFD - Comb. 1 - SI  
 Ratio demanda capacidad - Deslizamiento- LRFD - Comb. 2 - SI  
 Ratio demanda capacidad - Deslizamiento- LRFD - Comb. 3 - SI  
 Ratio demanda capacidad - Deslizamiento- LRFD - Comb. 4 - SI  
 Ratio demanda capacidad - Deslizamiento- LRFD - Comb. 5 - SI  
 Ratio demanda capacidad - Deslizamiento- LRFD - Comb. 6 - SI  
 Ratio demanda capacidad - Deslizamiento- LRFD - Comb. 7 - SI

## 5.2. REVISIÓN A LA CONDICIÓN DE ESTABILIDAD - ASD

### a. Volteo

$$M_U := M_{LLH} + M_{EH} = 449.66 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

Momento último - ASD - Estático

$$M_{R1} := M_{DC} + M_{EV} + M_{Pp} = 1654.389 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

Momento resistente - ASD - Estático

$$M_{R2} := M_{DC} + M_{EV} + M_{Pp} + M_{LLV} = 1833.465 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

Momento resistente - ASD - Estático con LLv

$$DC_{V1} := \frac{M_{R1}}{M_U} = 3.679$$

Factor volteo - ASD - Caso estático

$$DC_{V2} := \frac{M_{R2}}{M_U} = 4.077$$

Factor volteo - ASD - Caso estático con LLv

$$R_{V1} := \text{if } DC_{V1} > ASD_{NEC}(1, 0) = \text{"Cumple"}$$

Revisión ASD - Caso estático

$$\begin{array}{l} \parallel \text{"Cumple"} \\ \text{else} \\ \parallel \text{"No cumple"} \end{array}$$

$$R_{V2} := \text{if } DC_{V2} > ASD_{NEC}(1, 0) = \text{"Cumple"}$$

Revisión ASD - Caso estático con LLv

$$\begin{array}{l} \parallel \text{"Cumple"} \\ \text{else} \\ \parallel \text{"No cumple"} \end{array}$$

### b. Excentricidad

$$e_{max\_est\_NEC} := ASD_{NEC1,1} = 0.833 \text{ m}$$

Excentricidad máxima - ASD - Estático

$$F_{V1} := F_{DC} + F_{EV} = 544.258 \text{ kN}$$

Fuerza vertical - ASD - Estático

$$F_{V2} := F_{DC} + F_{EV} + F_{LLV} = 596.928 \text{ kN}$$

Fuerza vertical - ASD - Estático con LLv

$$e_1 := \frac{B}{2} - \frac{M_{R1} - M_U}{F_{V1}} = 0.286 \text{ m}$$

Excentricidad 1 - ASD - Estático

$$e_2 := \frac{B}{2} - \frac{M_{R2} - M_U}{F_{V2}} = 0.182 \text{ m}$$

Excentricidad 2- ASD - Estático con LLv

$$R_{E1} := \text{if } e_1 < e_{max\_est\_NEC} = \text{"Cumple"}$$

Revisión ASD - Caso estático

$$\begin{array}{l} \parallel \text{"Cumple"} \\ \text{else} \\ \parallel \text{"No cumple"} \end{array}$$

$$R_{E2} := \text{if } e_2 < e_{max\_est\_NEC} = \text{"Cumple"}$$

Revisión ASD - Caso estático - Con LLv

$$\begin{array}{l} \parallel \text{"Cumple"} \\ \text{else} \\ \parallel \text{"No cumple"} \end{array}$$

$$q_{P1} := \frac{F_{V1}}{B} \cdot \left(1 + 6 \cdot \frac{e_1}{B}\right) = 146.272 \frac{kN}{m}$$

Carga sobre la punta - ASD - Estático

$$q_{T1} := \frac{F_{V1}}{B} \cdot \left(1 - 6 \cdot \frac{e_1}{B}\right) = 71.432 \frac{kN}{m}$$

Carga sobre el talón - ASD - Estático

$$q_{P2} := \frac{F_{V2}}{B} \cdot \left(1 + 6 \cdot \frac{e_2}{B}\right) = 145.429 \frac{kN}{m}$$

Carga sobre la punta - ASD - Estático con LLv

$$q_{T2} := \frac{F_{V2}}{B} \cdot \left(1 - 6 \cdot \frac{e_2}{B}\right) = 93.342 \frac{kN}{m}$$

Carga sobre el talón - ASD - Estático con LLv

#### c. Capacidad portante

$$q_u = 735.499 \frac{kN}{m^2}$$

Capacidad última admisible kN/m2

$$\phi q_u = 478.074 \frac{kN}{m}$$

Capacidad portante admisible - Considerando el factor de seguridad  $\phi$

$$DC_{C1} := \frac{\phi q_u}{q_{P1}} = 3.268$$

Factor de Cap. Portante 1 - ASD - Caso estático

$$DC_{C2} := \frac{\phi q_u}{q_{P2}} = 3.287$$

Factor de Cap. Portante 2 - ASD - Caso estático con LLv

$$R_{C1} := \begin{cases} \text{if } DC_{C1} > ASD_{NEC}(1, 2) \\ \parallel \text{“Cumple”} \\ \text{else} \\ \parallel \text{“No cumple”} \end{cases}$$

Revisión - Capacidad portante ASD - Caso estático

$$R_{C2} := \begin{cases} \text{if } DC_{C2} > ASD_{NEC}(1, 2) \\ \parallel \text{“Cumple”} \\ \text{else} \\ \parallel \text{“No cumple”} \end{cases}$$

Revisión - Capacidad portante ASD - Caso estático con LLv

#### d. Deslizamiento

$$k_1 := \frac{2}{3}$$

Factor de reducción de resistencia del suelo k1

$$k_2 := k_1 = 0.667$$

Factor de reducción de resistencia del suelo k2

$$F_{DU} := F_{EH} + F_{LLH} = 180.249 \text{ kN}$$

Fuerza deslizando última

$$F_{R1} := (F_{EV} + F_{DC}) \cdot \tan(k_1 \cdot \phi_E) + B \cdot k_2 \cdot c_F \cdot 1 \text{ m} + F_{pp} = 387.425 \text{ kN}$$

Fuerza resistente ASD - Estático

$$F_{R2} := (F_{EV} + F_{DC} + F_{LLV}) \cdot \tan(k_1 \cdot \phi_E) + B \cdot k_2 \cdot c_F \cdot 1 \text{ m} + F_{pp} = 406.595 \text{ kN}$$

Fuerza resistente ASD - Estático con LLv

$$DC_{D1} := \frac{F_{R1}}{F_{DU}} = 2.149$$

Factor de deslizamiento 1 - ASD - Caso estático

$$DC_{D2} := \frac{F_{R2}}{F_{DU}} = 2.256$$

Factor de deslizamiento 2 - ASD - Caso estático con LLv

$$R_{D1} := \begin{cases} \text{if } DC_{D1} > ASD_{NEC}(1, 3) \\ \parallel \text{“Cumple”} \\ \text{else} \\ \parallel \text{“No cumple”} \end{cases}$$

Revisión - Deslizamiento ASD - Caso estático

$$R_{D2} := \begin{cases} \text{if } DC_{D2} > ASD_{NEC}(1, 3) \\ \parallel \text{“Cumple”} \\ \text{else} \\ \parallel \text{“No cumple”} \end{cases}$$

Revisión - Deslizamiento ASD - Caso estático con LLv

## 6. REVISIÓN SÍSMICA

### 6.1. MONONOBÉ OKABÉ & MATSUO - PAE

Empuje : Activo

$$Z := 0.25 \text{ g}$$

$$F_a := 1$$

$$H = 5 \text{ m}$$

$$\gamma_E = 18 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3}$$

$$\alpha_R = 10^\circ$$

$$\phi_E = 30 \text{ deg}$$

$$\delta_a := \frac{2}{3} \cdot \phi_E = 20 \text{ deg}$$

$$\delta_p := 0 \text{ deg}$$

$$\beta := \text{atan}\left(\frac{b_e}{H}\right) = 0 \text{ deg}$$

$$i := \alpha_R = 10 \text{ deg}$$

Tipo de empuje - Tierra desestabilizante

Aceleración en roca - Pseudoestático

Factor de amplificación - Periodos cortos - VARIA.

Densidad - Material empuje

Ángulo de inclinación - Material de relleno

Ángulo de fricción - Material de relleno

Ángulo de rozamiento - Estructura - Terreno Act.

Ángulo de rozamiento - Estructura - Terreno Pas.

Ángulo de inclinación - Espuelón

Ángulo de inclinación del terreno con la horizontal

$$k_{AE} := \frac{(\cos(\phi_E - \beta))^2}{\cos(\beta)^2 \cdot \cos(\delta_a + \beta) \cdot \left(1 + \sqrt{\frac{\sin(\phi_E + \delta_a) \cdot \sin(\phi_E - i)}{\cos(\delta_a + \beta) \cdot \cos(i - \beta)}}\right)^2} = 0.34$$

Coefficiente activo - Estático

$$k_h := 0.6 \cdot Z \cdot \frac{F_a}{g} = 0.15$$

Coefficiente horizontal

$$k_v := \frac{1}{2} \cdot k_h = 0.075$$

Coefficiente vertical

$$\theta := \text{atan}\left(\frac{k_h}{1 - k_v}\right) = 9.211 \text{ deg}$$

Ángulo de gravedad aparente -  
Respecto a la horizontal

$$k_{AD} := \frac{(1 + k_v) \cdot (\cos(\phi_E - \beta - \theta))^2}{\cos(\theta) \cos(\beta)^2 \cdot \cos(\delta_a + \beta + \theta) \cdot \left(1 + \sqrt{\frac{\sin(\phi_E + \delta_a) \cdot \sin(\phi_E - i - \theta)}{\cos(\delta_a + \beta + \theta) \cdot \cos(i - \beta)}}\right)^2} = 0.55$$

Coefficiente activo Dinámico

$$E_{AE} := \frac{1}{2} \cdot \gamma_E \cdot H^2 \cdot k_{AE} \cdot 1 \text{ m} = 76.505 \text{ kN}$$

Resultante del empuje activo Estático

$$E_{AD} := \frac{1}{2} \cdot \gamma_E \cdot H^2 \cdot k_{AD} \cdot 1 \text{ m} = 123.693 \text{ kN}$$

Resultante del empuje activo Dinámico

$$\Delta E_{AD} := \frac{1}{2} \cdot \gamma_E \cdot H^2 \cdot (k_{AD} - k_{AE}) \cdot 1 \text{ m} = 47.188 \text{ kN}$$

Resultante del aporte sísmico

$$F_{PAE} := \Delta E_{AD} = 47.188 \text{ kN}$$

FUERZA DINÁMICA ACTIVO POR EL SISMO  
- PAE

$$M_{PAE} := (H + h_b) \cdot \left(\frac{2}{3}\right) \cdot F_{PAE} = 195.044 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

MOMENTO DINÁMICO ACTIVO POR EL  
SISMO - MPAE

## 6.2. DETERMINACIÓN DE LA FUERZA INERCIAL - PIR

### 6.2.1. Centro de gravedad del muro

$$\#_{FIGM} = \begin{bmatrix} \text{"1 - Base"} \\ \text{"2 - Pantalla Frontal"} \\ \text{"3 - Pantalla Central"} \\ \text{"4. Espuelón"} \end{bmatrix}$$

Nombre de la figura - Base

Nombre de la figura - Pantalla frontal

Nombre de la figura - Pantalla central

**Nota:** Este muro no cuenta con espuelón

$$h_M = \begin{bmatrix} 1.2 \\ 5 \\ 5 \\ 5 \end{bmatrix} \text{ m}$$

Altura de la figura - Base

Altura de la figura - Pantalla frontal

Altura de la figura - Pantalla central

**Nota:** Este muro no cuenta con espuelón

$$b_M = \begin{bmatrix} 5 \\ 0.5 \\ 0.3 \\ 0 \end{bmatrix} \text{ m}$$

Base de la figura - Base

Base de la figura - Pantalla frontal

Base de la figura - Pantalla central

**Nota:** Este muro no cuenta con espuelón

$$a_M = \begin{bmatrix} 6 \\ 1.25 \\ 1.5 \\ 0 \end{bmatrix} \text{ m}^2$$

Área de la figura - Base

Área de la figura - Pantalla frontal

Área de la figura - Pantalla central

**Nota:** Este muro no cuenta con espuelón

$$y_{CGM} := \begin{bmatrix} \frac{h_b}{2} \\ h_b + \frac{1}{3} \cdot H \\ h_b + \frac{1}{2} \cdot H \\ h_b + \frac{1}{3} \cdot H \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.6 \\ 2.867 \\ 3.7 \\ 2.867 \end{bmatrix} \text{ m}$$

Centro de gravedad de la figura - Base

Centro de gravedad de la figura - Pantalla frontal

Centro de gravedad de la figura - Pantalla central

**Nota:** Este muro no cuenta con espuelón

$$y_{cgM} := \frac{\sum a_M \cdot y_{CGM}}{\sum a_M} = 1.455 \text{ m}$$

Centro de gravedad del muro

### 6.2.2. Centro de gravedad de la tierra

$$\#_{FIGT} = \begin{bmatrix} \text{"1 - Talón"} \\ \text{"2 Espuelón"} \\ \text{"3 - Relleno inclinado"} \\ \text{"4 - Punta"} \\ \text{"5 - Pv"} \end{bmatrix}$$

Nombre de la figura - Tierra - Talón

Nombre de la figura - Tierra - Espuelón

Nombre de la figura - Tierra - Relleno inclinado

Nombre de la figura - Tierra - Punta

Fuerza por el material de empuje - Componente vertical

$$h_T = \begin{bmatrix} 5 \\ 5 \\ 0.556 \\ 0.5 \\ 0 \end{bmatrix} \text{ m}$$

Altura de la figura - Tierra - Talón

Altura de la figura - Tierra - Espuelón

Altura de la figura - Tierra - Relleno inclinado

Altura de la figura - Tierra - Desplante



$$b_T = \begin{bmatrix} 3.2 \\ 0 \\ 3.2 \\ 1 \\ 0 \end{bmatrix} \text{ m}$$

$$a_T = \begin{bmatrix} 16 \\ 0 \\ 0.889 \\ 0.5 \\ 0 \end{bmatrix} \text{ m}^2$$

$$y_{CGT} := \begin{bmatrix} h_b + \frac{H}{2} \\ h_b + \frac{2}{3} \cdot H \\ h_b + H + \frac{1}{3} h_R \\ \frac{(D - h_b)}{2} + h_b \\ 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 3.7 \\ 4.533 \\ 6.385 \\ 1.45 \\ 0 \end{bmatrix} \text{ m}$$

$$y_{cgT} := \frac{\sum \overrightarrow{a_T \cdot y_{CGT}}}{\sum a_T} = 3.773 \text{ m}$$

$$F_{PIR} := (F_{DC} + F_{EV}) \cdot k_h = 81.639 \text{ kN}$$

$$M_{PIR} := (F_{DC} \cdot y_{cgM} + F_{EV} \cdot y_{cgT}) \cdot k_h = 236.271 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

Base de la figura - Tierra - Talón

Base de la figura - Tierra - Espuelón

Base de la figura - Tierra - Relleno inclinado

Base de la figura - Tierra - Punta

**Nota:** Este muro no cuenta con espuelón

Área de la figura - Tierra - Talón

Área de la figura - Tierra - Espuelón

Área de la figura - Tierra - Relleno inclinado

Área de la figura - Tierra - Punta

**Nota:** Este muro no cuenta con espuelón

Centro de gravedad de la figura - Tierra - Talón

Centro de gravedad de la figura - Tierra - Espuelón

Centro de gravedad de la figura - Tierra - Relleno inclinado

Centro de gravedad de la figura - Tierra - Punta

**Nota:** Este muro no cuenta con espuelón

Centro de gravedad de la tierra

**FUERZA INERCIAL POR EL SISMO - PIR**

**MOMENTO INERCIAL POR EL SISMO - MPIR**

## 7. RESUMEN DE FUERZAS ESTABILIZANTES Y DESESTABILIZANTES - SÍSMICA

$$F_{DC} = 206.325 \text{ kN}$$

$$M_{DC} = 451.361 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$F_{EV} = 337.933 \text{ kN}$$

$$M_{EV} = (1.171 \cdot 10^3) \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$F_{EH} = 141.385 \text{ kN}$$

$$M_{EH} = 318.384 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$F_{Pp} = 55.997 \text{ kN}$$

$$M_{Pp} = 31.732 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$F_{LLH} = 38.864 \text{ kN}$$

$$M_{LLH} = 131.277 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$F_{LLV} = 52.669 \text{ kN}$$

$$M_{LLV} = 179.076 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

FUERZA RES. - CARGA MUERTA - DC

MOMENTO RES. - CARGA MUERTA - DC

FUERZA - EMPUJE VERTICAL - EV

MOMENTO - EMPUJE VERTICAL - EV

FUERZA - EMPUJE HORIZONTAL - EH

MOMENTO - EMPUJE HORIZONTAL - EH

FUERZA PASIVA SOBRE LA PUNTA - Pp

MOMENTO PASIVO SOBRE LA PUNTA - Pp

FUERZA - CARGA VIVA - LL - Horizontal

MOMENTO - CARGA VIVA - LL - Horizontal

FUERZA - CARGA VIVA - LL - Vertical

MOMENTO - CARGA VIVA - LL - Vertical

$$F_{PAE} = 47.188 \text{ kN}$$

$$M_{PAE} = 195.044 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

FUERZA DINÁMICA ACTIVO POR EL SISMO - PAE  
MOMENTO DINÁMICO ACTIVO POR EL SISMO - MPAE

$$F_{PIR} = 81.639 \text{ kN}$$

$$M_{PIR} = 236.271 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

FUERZA INERCIAL POR EL SISMO - PIR  
MOMENTO INERCIAL POR EL SISMO - MPIR

## 8. REVISIÓN A LA CONDICIÓN DE ESTABILIDAD - EVENTO EXTREMO I

### 8.1. REVISIÓN A LA CONDICIÓN DE ESTABILIDAD LRFD - EVENTO EXTREMO I

#### a. Volteo

$$\#_{coms} := \begin{bmatrix} \text{"Combinación 1"} \\ \text{"Combinación 2"} \\ \text{"Combinación 3"} \\ \text{"Combinación 4"} \\ \text{"Combinación 5"} \\ \text{"Combinación 6"} \end{bmatrix}$$

Comb. 1 - Evento Extremo I

Comb. 2 - Evento Extremo I

Comb. 3 - Evento Extremo I

Comb. 4 - Evento Extremo I

Comb. 5 - Evento Extremo I

Comb. 6 - Evento Extremo I

$$M_{U\_EEI} := M_{EH} \cdot EX\_I^{(2)} + M_{LLH} \cdot EX\_I^{(4)} + M_{PAE} \cdot EX\_I^{(6)} + M_{PIR} \cdot EX\_I^{(7)} = \begin{bmatrix} 652.176 \\ 631.563 \\ 783.453 \\ 762.839 \\ 783.453 \\ 762.839 \end{bmatrix} \text{ kN} \cdot \text{m}$$

Mom. últ - Comb. 1 EEI

Mom. últ - Comb. 2 EEI

Mom. últ - Comb. 3 EEI

Mom. últ - Comb. 4 EEI

Mom. últ - Comb. 5 EEI

Mom. últ - Comb. 6 EEI

$$M_{R\_EEI} := M_{DC} \cdot EX\_I^{(1)} + M_{EV} \cdot EX\_I^{(3)} + M_{PP} \cdot EX\_I^{(2)} + M_{LLV} \cdot EX\_I^{(5)} = \begin{bmatrix} 1.654 \cdot 10^3 \\ 1.654 \cdot 10^3 \\ 1.654 \cdot 10^3 \\ 1.654 \cdot 10^3 \\ 1.833 \cdot 10^3 \\ 1.833 \cdot 10^3 \end{bmatrix} \text{ kN} \cdot \text{m}$$

Mom Res - Comb. 1 EEI

Mom Res - Comb. 2 EEI

Mom Res - Comb. 3 EEI

Mom Res - Comb. 4 EEI

Mom Res - Comb. 5 EEI

Mom Res - Comb. 6 EEI

$$R_{DCV\_EEI} := \frac{M_{U\_EEI}}{M_{R\_EEI}} = \begin{bmatrix} 0.394 \\ 0.382 \\ 0.474 \\ 0.461 \\ 0.427 \\ 0.416 \end{bmatrix}$$

Ratio demanda capacidad - Volteo - LRFD - Comb. 1 - EEI

Ratio demanda capacidad - Volteo - LRFD - Comb. 2 - EEI

Ratio demanda capacidad - Volteo - LRFD - Comb. 3 - EEI

Ratio demanda capacidad - Volteo - LRFD - Comb. 4 - EEI

Ratio demanda capacidad - Volteo - LRFD - Comb. 5 - EEI

Ratio demanda capacidad - Volteo - LRFD - Comb. 6 - EEI

#### b. Excentricidad

$$e_{max\_sis\_LRFD} := LRFD_{AASHTO\_SIS1,1} = 1.25 \text{ m}$$

Excentricidad máxima - Condición estática

$$FV_{E\_EEI} := F_{DC} \cdot EX\_I^{(1)} + F_{EV} \cdot EX\_I^{(3)} + F_{LLV} \cdot EX\_I^{(5)} = \begin{bmatrix} 544.258 \\ 544.258 \\ 544.258 \\ 544.258 \\ 596.928 \\ 596.928 \end{bmatrix} \text{ kN}$$

Fuerza vertical estabilizante - Comb. 1 - EEI

Fuerza vertical estabilizante - Comb. 2 - EEI

Fuerza vertical estabilizante - Comb. 3 - EEI

Fuerza vertical estabilizante - Comb. 4 - EEI

Fuerza vertical estabilizante - Comb. 5 - EEI

Fuerza vertical estabilizante - Comb. 6 - EEI

$$e_{E\_EEI} := \frac{\overrightarrow{B}}{2} - \frac{\overrightarrow{(M_{R\_EEI} - M_{U\_EEI})}}{FV_{E\_EEI}} = \begin{bmatrix} 0.659 \\ 0.621 \\ 0.9 \\ 0.862 \\ 0.741 \\ 0.706 \end{bmatrix} \text{ m}$$

Excentricidad - Comb. 1 - EE1

Excentricidad - Comb. 2 - EE1

Excentricidad - Comb. 3 - EE1

Excentricidad - Comb. 4 - EE1

Excentricidad - Comb. 5 - EE1

Excentricidad - Comb. 6 - EE1

$$R_{DCE\_EEI} := \frac{\overrightarrow{e_{E\_EEI}}}{e_{max\_sis\_LRFD}} = \begin{bmatrix} 0.527 \\ 0.497 \\ 0.72 \\ 0.69 \\ 0.593 \\ 0.565 \end{bmatrix}$$

Ratio demanda capacidad - Excentricidad- LRFD - Comb. 1 - EE1

Ratio demanda capacidad - Excentricidad- LRFD - Comb. 2 - EE1

Ratio demanda capacidad - Excentricidad- LRFD - Comb. 3 - EE1

Ratio demanda capacidad - Excentricidad- LRFD - Comb. 4 - EE1

Ratio demanda capacidad - Excentricidad- LRFD - Comb. 5 - EE1

Ratio demanda capacidad - Excentricidad- LRFD - Comb. 6 - EE1

### c. Portante

$$q_u = 7.5 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$$

Capacidad última admisible kgf/cm<sup>2</sup>

$$q_u = 735.499 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

Capacidad última admisible kN/m<sup>2</sup>

$$\phi q_u = 478.074 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

Capacidad portante admisible - Considerando el factor de seguridad  $\phi$

#### c.1. Capacidad Portante - Cimentado sobre suelo

$$\sigma_{vP\_EEI} := \frac{\overrightarrow{FV_{E\_EEI}}}{B - 2 \cdot e_{E\_EEI}} = \begin{bmatrix} 147.782 \\ 144.803 \\ 170.057 \\ 166.125 \\ 169.676 \\ 166.409 \end{bmatrix} \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

Presión máxima de contacto - Comb. 1 - EE1

Presión máxima de contacto - Comb. 2 - EE1

Presión máxima de contacto - Comb. 3 - EE1

Presión máxima de contacto - Comb. 4 - EE1

Presión máxima de contacto - Comb. 5 - EE1

Presión máxima de contacto - Comb. 6 - EE1

#### c.2. Capacidad Portante - Cimentado sobre roca Dentro del 1/3 central - **PARA REVISIÓN R D/C**

$$\sigma_{vImax\_SIS} := \left( \frac{FV_{E\_EEI}}{B} \right) \cdot \left( 1 + 6 \cdot \frac{e_{E\_EEI}}{B} \right) = \begin{bmatrix} 194.876 \\ 189.928 \\ 226.382 \\ 221.435 \\ 225.539 \\ 220.592 \end{bmatrix} \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

Presión máxima de contacto Roca - Comb. 1 - EE1

Presión máxima de contacto Roca - Comb. 2 - EE1

Presión máxima de contacto Roca - Comb. 3 - EE1

Presión máxima de contacto Roca - Comb. 4 - EE1

Presión máxima de contacto Roca - Comb. 5 - EE1

Presión máxima de contacto Roca - Comb. 6 - EE1

$$\sigma_{vImin\_SIS} := \left( \frac{FV_{E\_EEI}}{B} \right) \cdot \left( 1 - 6 \cdot \frac{e_{E\_EEI}}{B} \right) = \begin{bmatrix} 22.828 \\ 27.775 \\ -8.679 \\ -3.731 \\ 13.232 \\ 18.179 \end{bmatrix} \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

Presión mínima de contacto Roca - Comb. 1 - EE1

Presión mínima de contacto Roca - Comb. 2 - EE1

Presión mínima de contacto Roca - Comb. 3 - EE1

Presión mínima de contacto Roca - Comb. 4 - EE1

Presión mínima de contacto Roca - Comb. 5 - EE1

Presión mínima de contacto Roca - Comb. 6 - EE1

## c.2. Capacidad Portante - Cimentado sobre roca - Fuera del 1/3 central

$$\sigma_{v_{2m\acute{a}x\_SIS}} := \left( \frac{2 \cdot FV_{E\_EEI}}{3 \cdot \left( \frac{B}{2} - e_{E\_EEI} \right)} \right) = \begin{bmatrix} 197.042 \\ 193.071 \\ 226.742 \\ 221.5 \\ 226.234 \\ 221.878 \end{bmatrix} \frac{kN}{m}$$

Presi3n máxima II de contacto Roca - Comb. 1 - EEI  
 Presi3n máxima II de contacto Roca - Comb. 2 - EEI  
 Presi3n máxima II de contacto Roca - Comb. 3 - EEI  
 Presi3n máxima II de contacto Roca - Comb. 4 - EEI  
 Presi3n máxima II de contacto Roca - Comb. 5 - EEI  
 Presi3n máxima II de contacto Roca - Comb. 6 - EEI

$$\sigma_{v_{2min\_SIS}} := 0 \frac{kN}{m}$$

Presi3n mínima II de contacto Roca

$$R_{DCP\_EEI} := \frac{\sigma_{v_{1m\acute{a}x\_SIS}}}{\phi q_u} = \begin{bmatrix} 0.408 \\ 0.397 \\ 0.474 \\ 0.463 \\ 0.472 \\ 0.461 \end{bmatrix}$$

Ratio demanda capacidad - C. Portante - LRFD - Comb. 1 - EEI  
 Ratio demanda capacidad - C. Portante - LRFD - Comb. 2 - EEI  
 Ratio demanda capacidad - C. Portante - LRFD - Comb. 3 - EEI  
 Ratio demanda capacidad - C. Portante - LRFD - Comb. 4 - EEI  
 Ratio demanda capacidad - C. Portante - LRFD - Comb. 5 - EEI  
 Ratio demanda capacidad - C. Portante - LRFD - Comb. 6 - EEI

## d. Deslizamiento

$$F_{d\_EEI} := F_{EH} \cdot EX\_I^{(2)} + F_{LLH} \cdot EX\_I^{(4)} + F_{PAE} \cdot EX\_I^{(6)} + F_{PIR} \cdot EX\_I^{(7)} = \begin{bmatrix} 246.618 \\ 229.392 \\ 285.482 \\ 268.256 \\ 285.482 \\ 268.256 \end{bmatrix} kN$$

Fuerza des - Com. 1 - EEI  
 Fuerza des - Com. 2 - EEI  
 Fuerza des - Com. 3 - EEI  
 Fuerza des - Com. 4 - EEI  
 Fuerza des - Com. 5 - EEI  
 Fuerza des - Com. 6 - EEI

$$F_{RI\_EEI} := FV_{E\_EEI} \cdot \mu + B \cdot c_F \cdot 1 \text{ m} = \begin{bmatrix} 328.992 \\ 328.992 \\ 328.992 \\ 328.992 \\ 341.474 \\ 341.474 \end{bmatrix} kN$$

Fuerza resistente- LRFD - Comb. 1 - EEI  
 Fuerza resistente- LRFD - Comb. 2 - EEI  
 Fuerza resistente- LRFD - Comb. 3 - EEI  
 Fuerza resistente- LRFD - Comb. 4 - EEI  
 Fuerza resistente- LRFD - Comb. 5 - EEI  
 Fuerza resistente- LRFD - Comb. 6 - EEI

$$F_{RTD\_EEI} := \phi_T \cdot F_{RI\_EEI} + \phi_{ep} \cdot F_{Pp} \cdot EX\_I^{(2)} = \begin{bmatrix} 324.091 \\ 324.091 \\ 324.091 \\ 324.091 \\ 335.326 \\ 335.326 \end{bmatrix} kN$$

Fuerza resistente total - LRFD - Comb. 1 - EEI  
 Fuerza resistente total - LRFD - Comb. 2 - EEI  
 Fuerza resistente total - LRFD - Comb. 3 - EEI  
 Fuerza resistente total - LRFD - Comb. 4 - EEI  
 Fuerza resistente total - LRFD - Comb. 5 - EEI  
 Fuerza resistente total - LRFD - Comb. 6 - EEI

$$R_{DCD\_EEI} := \frac{F_{d\_EEI}}{F_{RTD\_EEI}} = \begin{bmatrix} 0.761 \\ 0.708 \\ 0.881 \\ 0.828 \\ 0.851 \\ 0.8 \end{bmatrix}$$

Ratio demanda capacidad - Deslizamiento- LRFD - Comb. 1 - EEI  
 Ratio demanda capacidad - Deslizamiento- LRFD - Comb. 2 - EEI  
 Ratio demanda capacidad - Deslizamiento- LRFD - Comb. 3 - EEI  
 Ratio demanda capacidad - Deslizamiento- LRFD - Comb. 4 - EEI  
 Ratio demanda capacidad - Deslizamiento- LRFD - Comb. 5 - EEI  
 Ratio demanda capacidad - Deslizamiento- LRFD - Comb. 6 - EEI

## 8.2. REVISIÓN A LA CONDICIÓN DE ESTABILIDAD - ASD

### a. Volteo

$$M_{U\_S} := M_{LLH} + M_{EH} + M_{PAE} + M_{PIR} = 880.975 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

Momento último - ASD - Estático

Momento resistente - ASD - Estático

$$M_{R1} = 1654.389 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

Momento resistente - ASD - Estático con LLv

$$M_{R2} = 1833.465 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

Factor volteo - ASD - Caso estático

$$DC_{VS1} := \frac{M_{R1}}{M_{U\_S}} = 1.878$$

Factor volteo - ASD - Caso estático con LLv

$$DC_{VS2} := \frac{M_{R2}}{M_{U\_S}} = 2.081$$

$$R_{VS1} := \text{if } DC_{VS1} > ASD_{NEC\_SIS}(1, 0) \mid \begin{array}{l} \text{"Cumple"} \\ \text{else} \\ \text{"No cumple"} \end{array}$$

Revisión ASD - Caso estático

$$R_{VS2} := \text{if } DC_{VS2} > ASD_{NEC\_SIS}(1, 0) \mid \begin{array}{l} \text{"Cumple"} \\ \text{else} \\ \text{"No cumple"} \end{array}$$

Revisión ASD - Caso estático con LLv

### b. Excentricidad

$$e_{max\_sis\_ASD} := ASD_{NEC\_SIS1,1} = 1.25 \text{ m}$$

Excentricidad máxima - ASD - Sísmico

$$F_{V1} = 544.258 \text{ kN}$$

Fuerza vertical - ASD - Estático

$$F_{V2} = 596.928 \text{ kN}$$

Fuerza vertical - ASD - Estático con LLv

$$e_{S1} := \frac{B}{2} - \frac{M_{R1} - M_{U\_S}}{F_{V1}} = 1.079 \text{ m}$$

Excentricidad 1 - ASD - Estático

$$e_{S2} := \frac{B}{2} - \frac{M_{R2} - M_{U\_S}}{F_{V2}} = 0.904 \text{ m}$$

Excentricidad 2- ASD - Estático con LLv

$$R_{ES1} := \text{if } e_{S1} < e_{max\_sis\_ASD} \mid \begin{array}{l} \text{"Cumple"} \\ \text{else} \\ \text{"No cumple"} \end{array}$$

Revisión ASD - Caso estático

$$R_{ES2} := \text{if } e_{S2} < e_{max\_sis\_ASD} \mid \begin{array}{l} \text{"Cumple"} \\ \text{else} \\ \text{"No cumple"} \end{array}$$

Revisión ASD - Caso estático con LLv

$$q_{PS1} := \frac{F_{V1}}{B} \cdot \left(1 + 6 \cdot \frac{e_{S1}}{B}\right) = 249.787 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

Carga sobre la punta - ASD - Estático

$$q_{TS1} := \frac{F_{V1}}{B} \cdot \left(1 - 6 \cdot \frac{e_{S1}}{B}\right) = -32.084 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

Carga sobre el talón - ASD - Estático

$$q_{PS2} := \frac{F_{V2}}{B} \cdot \left(1 + 6 \cdot \frac{e_{S2}}{B}\right) = 248.945 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

Carga sobre la punta - ASD - Estático con LLv

$$q_{TS2} := \frac{F_{V2}}{B} \cdot \left(1 - 6 \cdot \frac{e_{S2}}{B}\right) = -10.173 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

Carga sobre el talón - ASD - Estático con LLv

### c. Capacidad portante

$$q_u = 735.499 \frac{kN}{m^2}$$

$$\phi q_u = 478.074 \frac{kN}{m}$$

$$DC_{CS1} := \frac{\phi q_u}{q_{PS1}} = 1.914$$

$$DC_{CS2} := \frac{\phi q_u}{q_{PS2}} = 1.92$$

Capacidad portante admisible

Capacidad portante admisible -  
Considerando el factor de seguridad  $\phi$

Factor de Cap. Portante 1 - ASD - Caso  
estático

Factor de Cap. Portante 2 - ASD - Caso  
estático con LLv

$$R_{CS1} := \begin{cases} \text{if } DC_{CS1} > ASD_{NEC\_SIS_{1,2}} \\ \text{then "Cumple"} \\ \text{else} \\ \text{"No cumple"} \end{cases} = \text{"Cumple"}$$

Revisión - Capacidad portante ASD - Caso  
estático

$$R_{CS2} := \begin{cases} \text{if } DC_{CS2} > ASD_{NEC\_SIS_{1,2}} \\ \text{then "Cumple"} \\ \text{else} \\ \text{"No cumple"} \end{cases} = \text{"Cumple"}$$

Revisión - Capacidad portante ASD - Caso  
estático con LLv

### d. Deslizamiento

$$k_1 = 0.667$$

$$k_2 = 0.667$$

$$F_{DUS} := F_{EH} + F_{LLH} + F_{PAE} + F_{PIR} = 309.076 \text{ kN}$$

$$F_{R1} = 387.425 \text{ kN}$$

$$F_{R2} = 406.595 \text{ kN}$$

Factor de reducción de resistencia del suelo  $k1$

Factor de reducción de resistencia del suelo  $k2$

Fuerza deslizante última

Fuerza resistente ASD - Estático

Fuerza resistente ASD - Estático con LLv

$$DC_{DS1} := \frac{F_{R1}}{F_{DUS}} = 1.253$$

$$DC_{DS2} := \frac{F_{R2}}{F_{DUS}} = 1.316$$

Factor de deslizamiento 1 - ASD - Caso estático

Factor de deslizamiento 2 - ASD - Caso estático  
con LLv

$$R_{DS1} := \begin{cases} \text{if } DC_{DS1} > ASD_{NEC\_SIS_{1,3}} \\ \text{then "Cumple"} \\ \text{else} \\ \text{"No cumple"} \end{cases} = \text{"Cumple"}$$

Revisión - Deslizamiento ASD - Caso estático

$$R_{DS2} := \begin{cases} \text{if } DC_{DS2} > ASD_{NEC\_SIS_{1,3}} \\ \text{then "Cumple"} \\ \text{else} \\ \text{"No cumple"} \end{cases} = \text{"Cumple"}$$

Revisión - Deslizamiento ASD - Caso  
estático con LLv

## 9. ARMADOS ESTRUCTURALES

### 9.1. PROPIEDADES DE LOS MATERIALES

$$f_c := 210 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$$

Resistencia a la compresión del concreto

$$f_{c\_adm} := f_c \cdot \frac{\text{cm}^2}{\text{kgf}} = 210$$

Resistencia a la compresión del concreto- Adimensional

$$f_y := 4200 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$$

Esfuerzo de fluencia del acero

$$f_{yadm} := f_y \cdot \frac{\text{cm}^2}{\text{kgf}} = 4.2 \cdot 10^3$$

Esfuerzo de fluencia del acero - Adimensional

$$E_c := 15300 \cdot \sqrt{f_{c\_adm}} \cdot \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2} = (2.217 \cdot 10^5) \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$$

Modulo de elasticidad del concreto

$$E_{c\_adm} := E_c \cdot \frac{\text{cm}^2}{\text{kgf}} = 2.217 \cdot 10^5$$

Modulo de elasticidad del concreto - Adimensional

$$E_s := 2040000 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$$

Módulo de elasticidad del acero

$$E_{s\_adm} := E_s \cdot \frac{\text{cm}^2}{\text{kgf}} = 2.04 \cdot 10^6$$

Módulo de elasticidad del acero - Adimensional

$$r_p := 5 \text{ cm}$$

Recubrimiento de la pantalla

$$r_z := 7.5 \text{ cm}$$

Recubrimiento de la zapata

$$b := 100 \text{ cm}$$

Ancho de diseño para todos los elementos

$$\phi_f := 1$$

Factor para evento extremo - AASHTO 10.5.8.

$$\phi_v := 0.9$$

Factor para cortante - AASHTO 5.5.4.2

$$\beta_1 := 0.85$$

Factor del bloque de Withney

### 9.2. ARMADOS ESTRUCTURALES - PANTALLA

#### 9.2.1. DETERMINACIÓN DE LOS MOMENTOS Y CORTANTE DE DISEÑO

##### a. Diagrama de la carga distribuida de la carga viva – LL

$$q_{LL} := k_{aER} \cdot \gamma_E \cdot h_{eq} \cdot 1 \text{ m} = 5.753 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

Intensidad de la carga viva distribuida  
- PANTALLA

$$V_{F\_LL} := \begin{bmatrix} 0 \\ q_{LL} \\ q_{LL} \\ 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 5.753 \\ 5.753 \\ 0 \end{bmatrix} \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

Vector de fuerzas de la carga viva - PANTALLA -  
GRÁFICA

$$V_{H\_P} := \begin{bmatrix} H \\ H \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 5 \\ 5 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \text{ m}$$

Vector de altura - PANTALLA - GRÁFICA

**b. Diagrama de la carga distribuida de la carga viva – EH**

$$q_{EH\_P} := \gamma_E \cdot H' \cdot k_{aER} \cdot \cos(\alpha_R) \cdot 1 \text{ m} = 41.857 \frac{kN}{m}$$

Intensidad del empuje horizontal distribuida - PANTALLA

$$V_{F\_EH} := \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ q_{EH\_P} \\ 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 41.857 \\ 0 \end{bmatrix} \frac{kN}{m}$$

Vector de fuerzas del empuje horizontal - PANTALLA - GRÁFICA

$$V_{H\_P} = \begin{bmatrix} 5 \\ 5 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \text{ m}$$

Vector de altura - PANTALLA - GRÁFICA

**c. Diagrama de la carga distribuida de la carga viva – PAE**

$$F_{PAE} = 47.188 \text{ kN}$$

FUERZA DINÁMICA ACTIVO POR EL SISMO PAE

$$q_{PAE\_P} := 2 \cdot \frac{F_{PAE}}{H} = 18.875 \frac{kN}{m}$$

Intensidad de la carga distribuida

$$V_{F\_PAE} := \begin{bmatrix} 0 \\ q_{PAE\_P} \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 18.875 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \frac{kN}{m}$$

Vector de fuerzas - PAE - GRÁFICA

$$V_{H\_P} = \begin{bmatrix} 5 \\ 5 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \text{ m}$$

Vector de altura - PANTALLA - GRÁFICA

**d. Diagrama de la carga distribuida de la fuerza inercial - PIR**

$$h := H = 5 \text{ m}$$

Considerando toda la altura del muro

$$F_{PIR\_EH} := \gamma_E \cdot h \cdot b_t \cdot k_h \cdot 1 \text{ m} = 43.2 \text{ kN}$$

Fuerza inercial del - Material de relleno

$$M_{PIR\_EH} := F_{PIR\_EH} \cdot \frac{h}{3} = 72 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

Momento inercial - Material de relleno

$$q_{PIR\_EH} := \frac{2 \cdot F_{PIR\_EH}}{H} = 17.28 \frac{kN}{m}$$

Carga distribuida inercial - Material de relleno

$$F_{PIR\_DC1} := (e_c \cdot h) \cdot \gamma_H \cdot k_h \cdot 1 \text{ m} = 5.306 \text{ kN}$$

Fuerza inercial - Corona

$$M_{PIR\_DC1} := \left( e_c \cdot h \cdot \left( \frac{h}{3} \right) \right) \cdot \gamma_H \cdot k_h \cdot 1 \text{ m} = 8.843 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

Momento inercial - Corona

$$F_{PIR\_DC2} := \left( \frac{h^2 \cdot b_{pan}}{2 \cdot H} \right) \cdot \gamma_H \cdot k_h \cdot 1 \text{ m} = 4.421 \text{ kN}$$

Fuerza inercial - Frente pantalla

$$M_{PIR\_DC2} := \left( \frac{h^2 \cdot b_{pan}}{2 \cdot H} \cdot \left( \frac{h}{3} \right) \right) \cdot \gamma_H \cdot k_h \cdot 1 \text{ m} = 7.369 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

Momento inercial - Frente pantalla

$$q_{PIR1} := \frac{2 \cdot F_{PIR\_DC1}}{H} = 2.122 \frac{kN}{m}$$

Carga distribuida - Corona



$$q_{PIR2} := \frac{2 \cdot F_{PIR\_DC2}}{H} = 1.769 \frac{kN}{m}$$

Carga distribuida - Frente pantalla

$$q_{PIR\_DC} := q_{PIR1} + q_{PIR2} = 3.891 \frac{kN}{m}$$

Carga distribuida inercial - Peso del muro

$$q_{PIR} := q_{PIR\_EH} + q_{PIR\_DC} = 21.171 \frac{kN}{m}$$

Carga distribuida total - PIR

$$V_{F\_PIR} := \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ q_{PIR} \\ 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 21.171 \\ 0 \end{bmatrix} \frac{kN}{m}$$

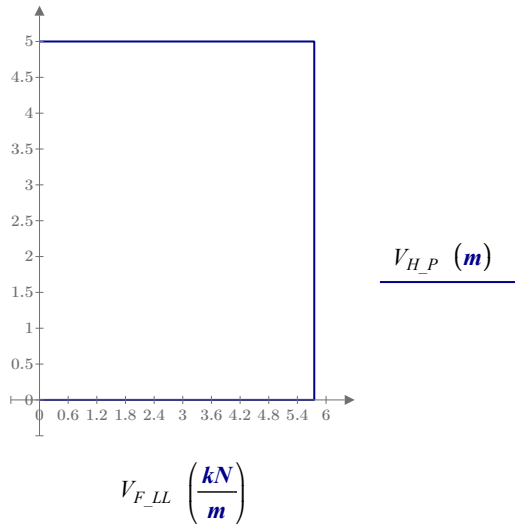
Vector de cargas distribuidas - PIR

$$V_{H\_P} = \begin{bmatrix} 5 \\ 5 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} m$$

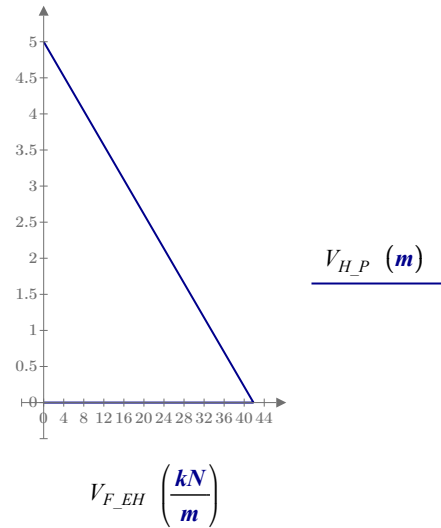
Vector de altura - PANTALLA - GRÁFICA

### Diagramas de las fueras actuantes sobre la pantalla

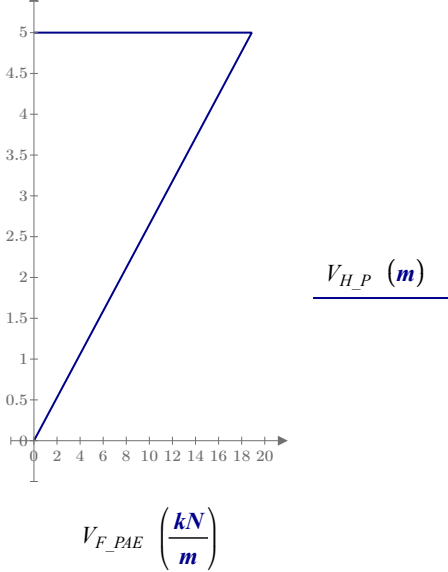
#### a. Diagrama de fuerzas - LL



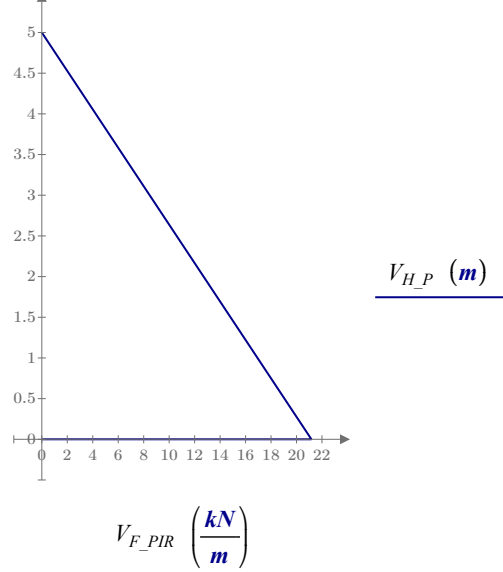
#### b. Diagrama de fuerzas - EH



#### c. Diagrama de fuerzas - PAE



#### d. Diagrama de fuerzas - PIR



## 9.2.2. DETERMINACIÓN DE LOS DIAGRAMAS DE MOMENTO Y CORTANTE – PANTALLA

$$int := 0.01 \text{ m}$$

Intervalo para la determinación de momentos

$$V_{H\_PP} := \left\| \begin{array}{l} \text{for } i \in 0, 1 \dots \frac{H}{int} \\ \left\| V_{H\_PP_i} \leftarrow 0 \text{ m} + (int \cdot i) \right\| \\ V_{H\_PP} \end{array} \right\| = \begin{bmatrix} 0 \\ 0.01 \\ 0.02 \\ 0.03 \\ 0.04 \\ \vdots \end{bmatrix} \text{ m}$$

Vector de Altura - INTERVALO

a. Diagrama de momento y cortante – Carga viva – LL

$$R_{LL} := k_{aER} \cdot \gamma_E \cdot h_{eq} \cdot 1 \text{ m} \cdot H = 28.764 \text{ kN}$$

Reacción de la carga viva -  $R_{LL}$

$$M_{LL} := k_{aER} \cdot \gamma_E \cdot h_{eq} \cdot 1 \text{ m} \cdot H \cdot \frac{H}{2} = 71.91 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

Reacción de momento de la carga viva  $R_{LL}$

$$V_{V\_LL} := \left\| \begin{array}{l} \text{for } i \in 0, 1 \dots \frac{H}{int} \\ \left\| V_{M\_PP_i} \leftarrow R_{LL} - k_{aER} \cdot \gamma_E \cdot h_{eq} \cdot 1 \text{ m} \cdot (int \cdot i) \right\| \\ V_{M\_PP} \end{array} \right\| = \begin{bmatrix} 28.764 \\ 28.707 \\ 28.649 \\ 28.591 \\ \vdots \end{bmatrix} \text{ kN}$$

Vector de cortante - LL

$$M_{M\_LL} := \left\| \begin{array}{l} \text{for } i \in 0, 1 \dots \frac{H}{int} \\ \left\| V_{M\_LL_i} \leftarrow M_{LL} - k_{aER} \cdot \gamma_E \cdot h_{eq} \cdot 1 \text{ m} \cdot (int \cdot i) \left( H - \frac{int \cdot i}{2} \right) \right\| \\ V_{M\_LL} \end{array} \right\| = \begin{bmatrix} 71.91 \\ 71.623 \\ 71.336 \\ 71.05 \\ \vdots \end{bmatrix} \text{ kN} \cdot \text{m}$$

Vector de momento- LL

Diagrama de fuerza cortante - CARGA VIVA - PANTALLA

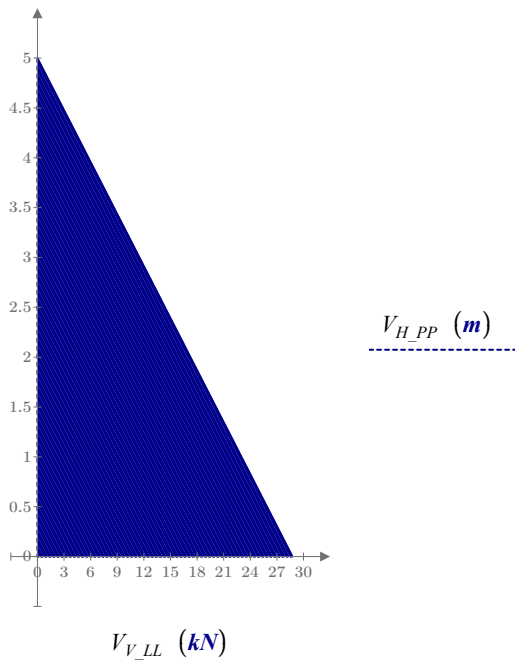
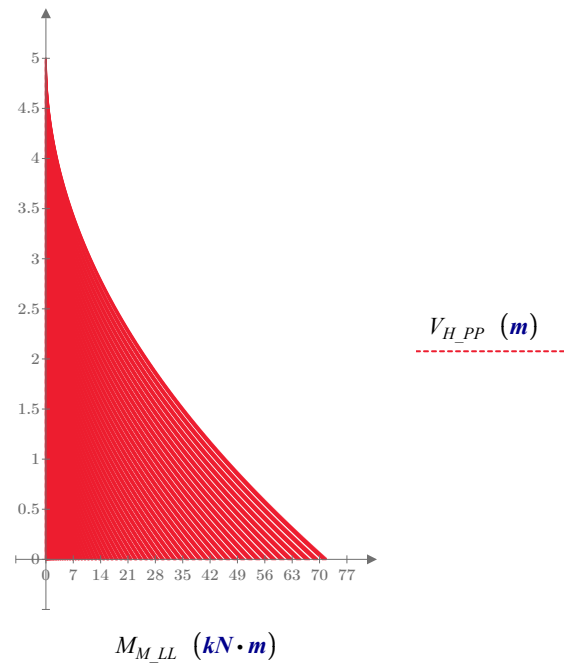


Diagrama de momento - PANTALLA



b. Diagrama de momento y cortante – Empuje horizontal – EH

$$R_{A\_EH} := \gamma_E \cdot H \cdot k_{aER} \cdot 1 \text{ m} \cdot \frac{H}{2} = 8.019 \text{ tonnef}$$

Reacción del empuje horizontal -  $R_{EH}$

$$M_{A\_EH} := R_{A\_EH} \cdot \left(\frac{H}{3}\right) = 13.365 \text{ tonnef} \cdot \text{m}$$

Reacción de momento del empuje horizontal -  $R_{EH}$

$$V_{V\_EH} := \left\| \begin{array}{l} \text{for } i \in 0, 1 \dots \frac{H}{int} \\ \left\| \begin{array}{l} q_{EH} \leftarrow \gamma_E \cdot H \cdot k_{aER} \cdot 1 \text{ m} \\ V_I \leftarrow (int \cdot i) \cdot \left( q_{EH} - \frac{q_{EH} \cdot (int \cdot i)}{H} \right) + \frac{(int \cdot i) \cdot q_{EH} \cdot (int \cdot i)}{2 H} \\ V_{V\_EH_i} \leftarrow R_{A\_EH} - V_I \end{array} \right\| \\ V_{V\_EH} \end{array} \right\| = \begin{bmatrix} 78.642 \\ 78.328 \\ 78.014 \\ 77.701 \\ \vdots \end{bmatrix} \text{ kN}$$

Vector de cortante - LL

$$M_{M\_EH} := \left\| \begin{array}{l} \text{for } i \in 0, 1 \dots \frac{H}{int} \\ \left\| \begin{array}{l} q_{EH} \leftarrow \gamma_E \cdot H \cdot k_{aER} \cdot 1 \text{ m} \\ V_I \leftarrow \frac{(int \cdot i)^2}{2} \cdot \left( q_{EH} - \frac{q_{EH} \cdot (int \cdot i)}{H} \right) + \frac{(int \cdot i) \cdot q_{EH} \cdot (int \cdot i)^2}{6 H} \\ M_{M\_EH_i} \leftarrow M_{A\_EH} - V_I \end{array} \right\| \\ M_{M\_EH} \end{array} \right\| = \begin{bmatrix} 131.07 \\ 131.068 \\ 131.064 \\ 131.056 \\ \vdots \end{bmatrix} \text{ kN} \cdot \text{m}$$

Vector de momento - LL

Diagrama de fuerza cortante - EMPUJE HORIZONTAL - PANTALLA

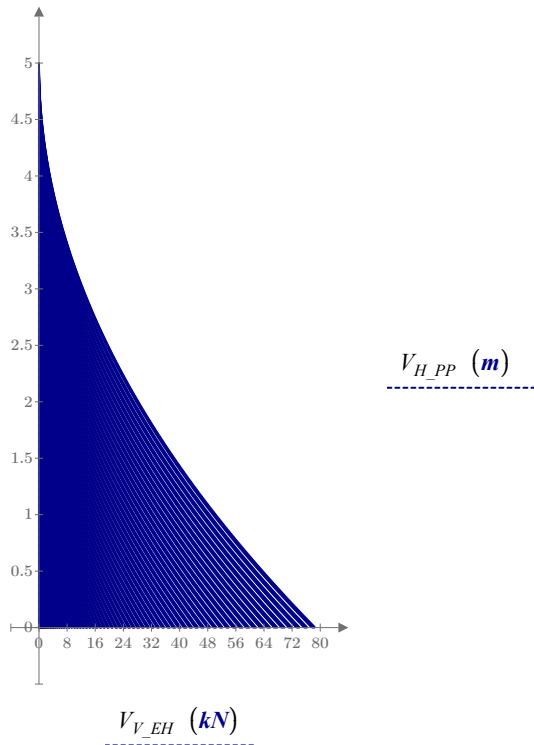
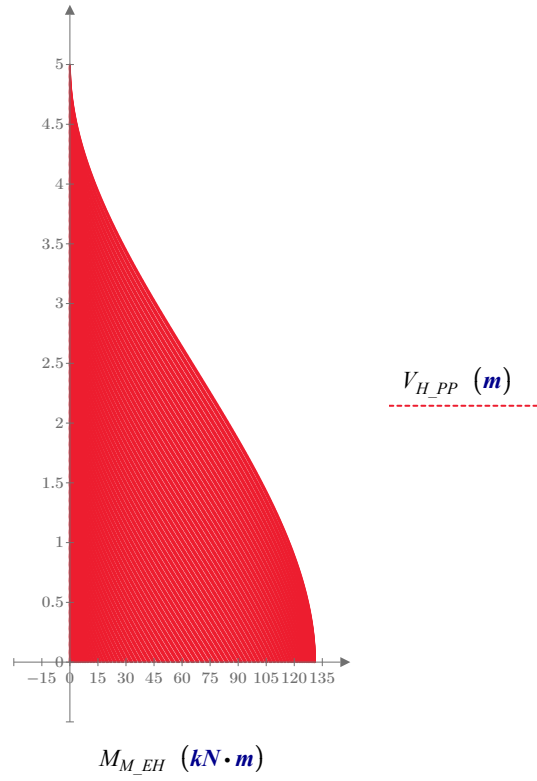


Diagrama de momento- EMPUJE HORIZONTAL - PANTALLA



c. Diagrama de momento y cortante – Aporte sísmico – PAE

$$R_{A\_PAE} := q_{PAE\_P} \cdot \frac{H}{2} = 4.812 \text{ tonnef}$$

Reacción del empuje horizontal -  $R_{EH}$

$$M_{A\_PAE} := R_{A\_PAE} \cdot \left( \frac{2H}{3} \right) = 157.293 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

Reacción de momento del empuje horizontal -  $R_{EH}$

$$V_{V\_PAE} := \left\| \begin{array}{l} \text{for } i \in 0, 1 \dots \frac{H}{int} \\ \left\| \begin{array}{l} V_I \leftarrow \left( \frac{q_{PAE\_P}}{H} \cdot (i \cdot int) \right) \cdot \frac{(int \cdot i)}{2} \\ V_{V\_PAE_i} \leftarrow R_{A\_PAE} - V_I \end{array} \right\| \\ V_{V\_PAE} \end{array} \right\| = \begin{bmatrix} 47.188 \\ 47.188 \\ 47.187 \\ 47.186 \\ \vdots \end{bmatrix} \text{ kN}$$

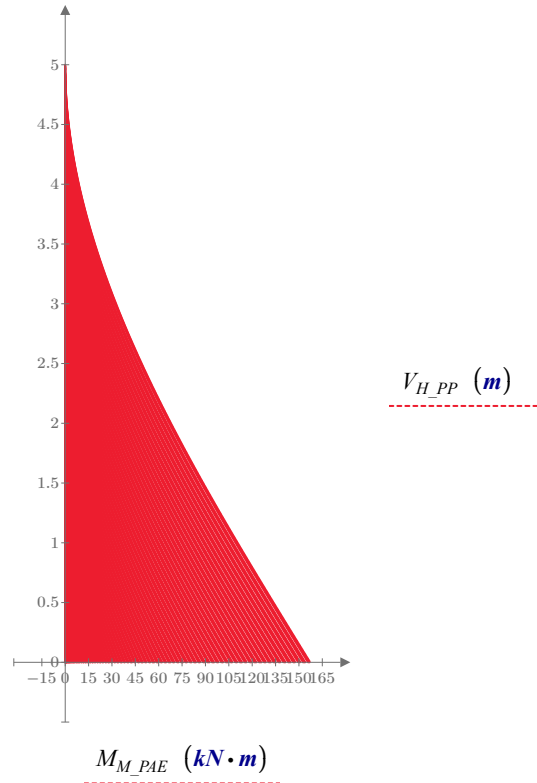
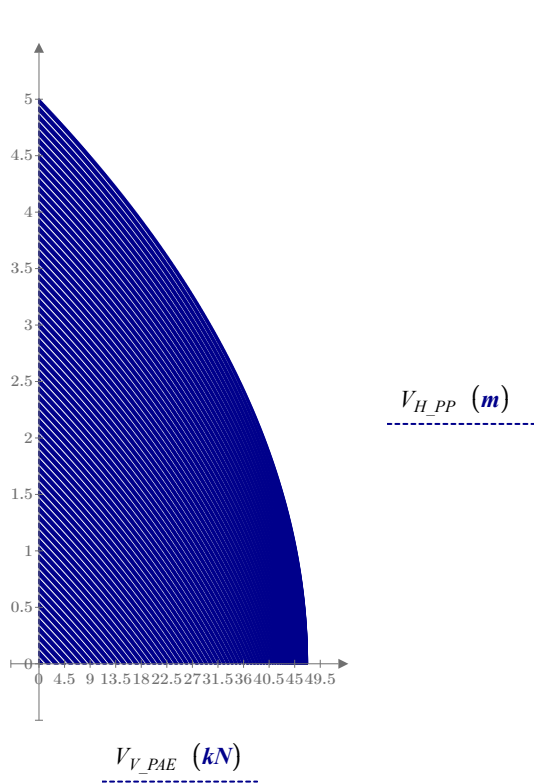
Vector de cortante - LL

$$M_{M\_PAE} := \left\| \begin{array}{l} \text{for } i \in 0, 1 \dots \frac{H}{int} \\ \left\| \begin{array}{l} M_I \leftarrow \frac{q_{PAE\_P} \cdot H}{2} \cdot (int \cdot i) - \frac{q_{PAE\_P}}{6 \cdot H} \cdot (int \cdot i)^3 - \left( \frac{q_{PAE\_P} \cdot H^2}{3} \right) \\ M_{M\_PAE_i} \leftarrow -M_I \end{array} \right\| \\ M_{M\_PAE} \end{array} \right\| = \begin{bmatrix} 157.293 \\ 156.821 \\ 156.35 \\ 155.878 \\ \vdots \end{bmatrix} \text{ kN} \cdot \text{m}$$

Vector de momento - PAE

Diagrama de fuesa cortante - Aporte sísmico PAE - PANTALLA

Diagrama de momento- Aporte sísmico PAE - PANTALLA



d. Diagrama del empuje inercial - PIR

$$R_{A\_PIR} := F_{PIR\_EH} + F_{PIR\_DC1} + F_{PIR\_DC2} = 52.927 \text{ kN}$$

$$M_{A\_PIR} := F_{PIR\_EH} \cdot \left(\frac{H}{3}\right) + F_{PIR\_DC1} \cdot \frac{H}{3} + F_{PIR\_DC2} \cdot \left(\frac{1}{3} H\right) = 88.211 \text{ kN} \cdot m$$

Reacción del empuje inercial  
Reacción de momento del  
empuje inercial -  $R_{EH}$

$$V_{PIR\_P} := \left\| \begin{array}{l} \text{for } i \in 0, 1 \dots \frac{H}{int} \\ V_1 \leftarrow \frac{q_{PIR\_EH} \cdot (int \cdot i)^2}{2 \cdot H} + \left( q_{PIR\_EH} - \frac{q_{PIR\_EH} \cdot (int \cdot i)}{H} \right) \cdot (int \cdot i) \\ V_2 \leftarrow \frac{q_{PIR1} \cdot (int \cdot i)^2}{2 \cdot H} + \left( q_{PIR1} - \frac{q_{PIR1} \cdot (int \cdot i)}{H} \right) \cdot (int \cdot i) \\ V_3 \leftarrow \frac{q_{PIR2} \cdot (int \cdot i)^2}{2 \cdot H} + \left( q_{PIR2} - \frac{q_{PIR2} \cdot (int \cdot i)}{H} \right) \cdot (int \cdot i) \\ V_{PIR\_P_i} \leftarrow R_{A\_PIR} - V_1 - V_2 - V_3 \end{array} \right\| = \begin{bmatrix} 52.927 \\ 52.715 \\ 52.504 \\ 52.294 \\ \vdots \end{bmatrix} \text{ kN}$$

Vector de cortante - PIR

$$M_{PIR\_P} := \left\| \begin{array}{l} \text{for } i \in 0, 1 \dots \frac{H}{int} \\ M_1 \leftarrow \frac{q_{PIR\_EH} \cdot (int \cdot i)^3}{6 \cdot H} + \left( q_{PIR\_EH} - \frac{q_{PIR\_EH} \cdot (int \cdot i)}{H} \right) \cdot \frac{(int \cdot i)^2}{2} \\ M_2 \leftarrow \frac{q_{PIR1} \cdot (int \cdot i)^3}{6 \cdot H} + \left( q_{PIR1} - \frac{q_{PIR1} \cdot (int \cdot i)}{H} \right) \cdot \frac{(int \cdot i)^2}{2} \\ M_3 \leftarrow \frac{q_{PIR2} \cdot (int \cdot i)^3}{6 \cdot H} + \left( q_{PIR2} - \frac{q_{PIR2} \cdot (int \cdot i)}{H} \right) \cdot \frac{(int \cdot i)^2}{2} \\ M_{PIR\_P_i} \leftarrow M_{A\_PIR} - M_1 - M_2 - M_3 \end{array} \right\| = \begin{bmatrix} 88.211 \\ 88.21 \\ 88.207 \\ 88.202 \\ \vdots \end{bmatrix} \text{ kN} \cdot m$$

Vector de momento - PIR

Diagrama de fuerza cortante - Aporte sísmico PIR - PANTALLA

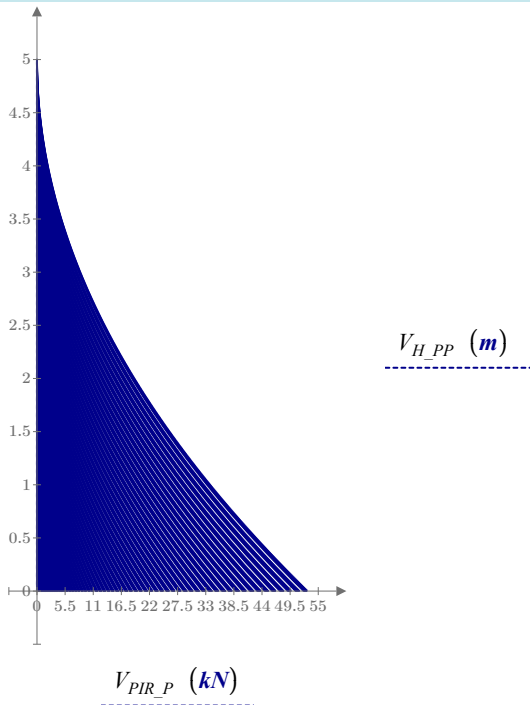
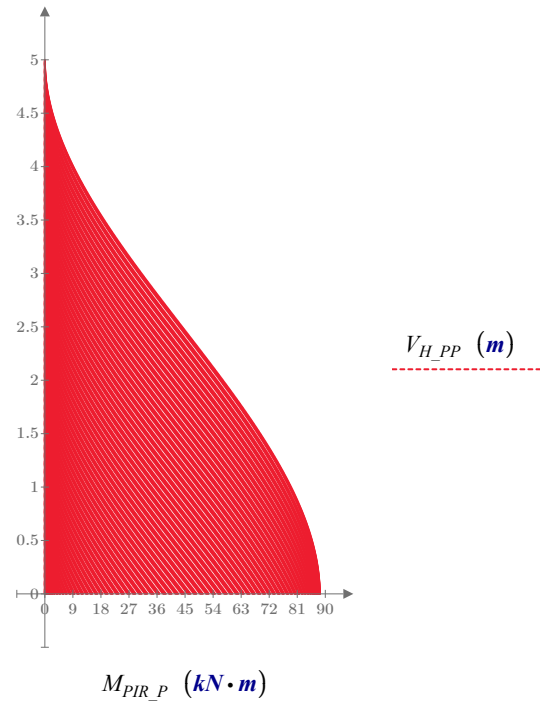


Diagrama de momento- Aporte sísmico PIR - PANTALLA



### 9.2.3. DIAGRAMA DE MOMENTO Y CORTANTE FINALES

$$V_{RP} := V_{V\_LL} + V_{V\_EH} + V_{V\_PAE} + V_{PIR\_P} = \begin{bmatrix} 207.521 \\ 206.937 \\ 206.355 \\ 205.772 \\ \vdots \end{bmatrix} \text{ kN} \quad \text{Vector resultante de cortante}$$

$$M_{RP} := M_{M\_LL} + M_{M\_EH} + M_{M\_PAE} + M_{PIR\_P} = \begin{bmatrix} 448.485 \\ 447.723 \\ 446.956 \\ 446.185 \\ \vdots \end{bmatrix} \text{ kN} \cdot \text{m} \quad \text{Vector resultante de momento}$$

Diagrama de fuerza cortante - Aporte sísmico PIR - PANTALLA

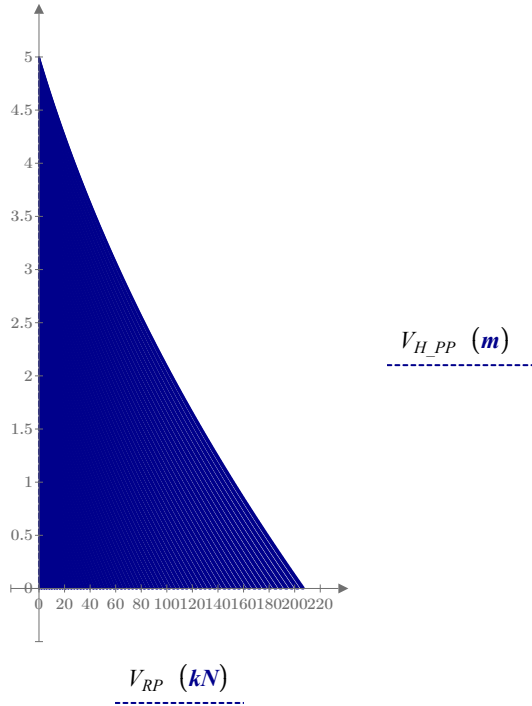
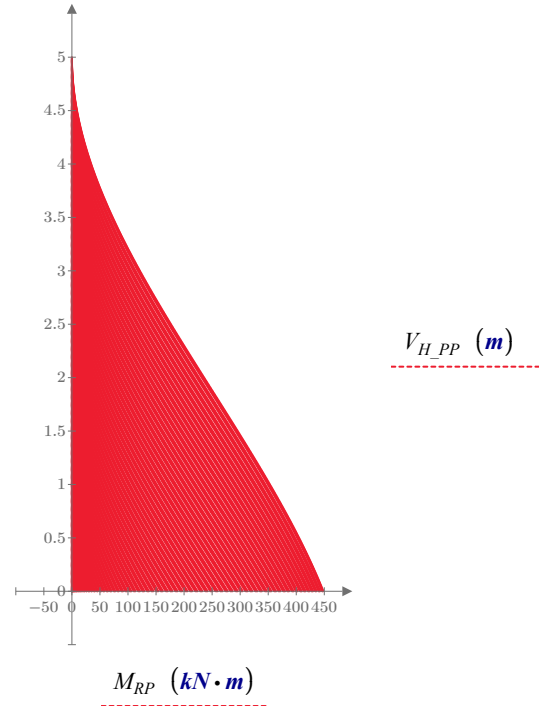


Diagrama de momento- Aporte sísmico PIR - PANTALLA



### 9.2.4. DETERMINACIÓN DE LOS MOMENTOS Y CORTANTES DE DISEÑO

$$V_{D\_LL} := \max(V_{V\_LL}) = 28.764 \text{ kN}$$

Cortante de diseño - Carga viva

$$V_{D\_EH} := \max(V_{V\_EH}) = 78.642 \text{ kN}$$

Cortante de diseño - Empuje horizontal

$$V_{D\_PAE} := \max(V_{V\_PAE}) = 47.188 \text{ kN}$$

Cortante de diseño - PAE

$$V_{D\_PIR\_P} := \max(V_{PIR\_P}) = 52.927 \text{ kN}$$

Cortante de diseño - PIR

$$M_{D\_LL} := \max(M_{LL}) = 71.91 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

Momento de diseño - Carga viva

$$M_{D\_EH} := \max(M_{M\_EH}) = 131.07 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

Momento de diseño - Empuje horizontal

$$M_{D\_PAE} := \max(M_{M\_PAE}) = 157.293 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

Momento de diseño - PAE

$$M_{D\_PIR\_P} := \max(M_{PIR\_P}) = 88.211 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

Momento de diseño - PIR

$$V_{D\_S\_I} := V_{D\_LL} \cdot S\_I^{(4)} + V_{D\_EH} \cdot S\_I^{(2)} + V_{D\_PAE} \cdot S\_I^{(6)} + V_{D\_PIR\_P} \cdot S\_I^{(7)} = \begin{bmatrix} 107.406 \\ 168.3 \\ 168.3 \\ 168.3 \\ 128.979 \\ 168.3 \\ 128.979 \\ 168.3 \end{bmatrix} \text{ kN} \quad \text{Combinación de carga - Caso estático}$$

$$V_{D\_EX\_I} := V_{D\_LL} \cdot EX\_I^{(4)} + V_{D\_EH} \cdot EX\_I^{(2)} + V_{D\_PAE} \cdot EX\_I^{(6)} + V_{D\_PIR\_P} \cdot EX\_I^{(7)} = \begin{bmatrix} 155.163 \\ 152.293 \\ 183.927 \\ 181.057 \\ 183.927 \\ 181.057 \end{bmatrix} \text{ kN} \quad \text{Combinación de carga - Caso sísmico}$$

$$M_{D\_S\_I} := M_{D\_LL} \cdot S\_I^{(4)} + M_{D\_EH} \cdot S\_I^{(2)} + M_{D\_PAE} \cdot S\_I^{(6)} + M_{D\_PIR\_P} \cdot S\_I^{(7)} = \begin{bmatrix} 202.98 \\ 322.448 \\ 322.448 \\ 322.448 \\ 256.913 \\ 322.448 \\ 256.913 \\ 322.448 \end{bmatrix} \text{ kN} \cdot \text{m} \quad \text{Combinación de carga - Caso estático}$$

$$M_{D\_EX\_I} := M_{D\_LL} \cdot EX\_I^{(4)} + M_{D\_EH} \cdot EX\_I^{(2)} + M_{D\_PAE} \cdot EX\_I^{(6)} + M_{D\_PIR\_P} \cdot EX\_I^{(7)} = \begin{bmatrix} 297.928 \\ 332.469 \\ 369.838 \\ 404.379 \\ 369.838 \\ 404.379 \end{bmatrix} \text{ kN} \cdot \text{m} \quad \text{Combinación de carga - Caso sísmico}$$

#### a. Estado límite - Resistencia I

$$M_{uP\_R} := \max(M_{D\_S\_I}) = 322.448 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$V_{uP\_R} := \max(V_{D\_S\_I}) = 168.3 \text{ kN}$$

MOMENTO ÚLTIMO DE DISEÑO - RESISTENCIA I  
CORTANTE ÚLTIMO DE DISEÑO - RESISTENCIA I

#### b. Estado límite - Evento Extremo I

$$M_{uP\_E} := \max(M_{D\_EX\_I}) = 404.379 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$V_{uP\_E} := \max(V_{D\_EX\_I}) = 183.927 \text{ kN}$$

MOMENTO ÚLTIMO DE DISEÑO - EVENTO EXTREMO I  
CORTANTE ÚLTIMO DE DISEÑO - EVENTO EXTREMO I

#### c. Momento y cortante de diseño

$$M_{u\_P} := \max(M_{uP\_R}, M_{uP\_E}) = 404.379 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

MOMENTO DE DISEÑO - PANTALLA

$$V_{u\_P} := \max(V_{uP\_R}, V_{uP\_E}) = 183.927 \text{ kN}$$

CORTANTE DE DISEÑO - PANTALLA

#### d. Momento por agrietamiento

$$M_{s\_P} := \left( M_{D\_LL} \cdot S\_I_{0,4} + M_{D\_EH} \cdot S\_I_{0,2} + M_{D\_PAE} \cdot S\_I_{0,6} + M_{D\_PIR\_P} \cdot S\_I_{0,7} \right) \cdot \frac{1}{m} = 202.98 \frac{\text{kN} \cdot \text{m}}{\text{m}}$$

MOMENTO DE SERVICIO

## 10.2.2. DIMENSIONES DE DISEÑO - PANTALLA

$$H = 5 \text{ m}$$

Altura de la pantalla

$$l_p := H = 5 \text{ m}$$

LONGITUD DE LA VIGA DE DISEÑO

$$b_{pan} = 50 \text{ cm}$$

Base - Pantalla

$$e_c = 30 \text{ cm}$$

Espesor - Corona

$$h_p := b_{pan} + e_c = 80 \text{ cm}$$

ALTURA DE LA VIGA DE DISEÑO - Ancho de la base de la pantalla completo

$$b = 1 \text{ m}$$

BASE DE LA VIGA DE DISEÑO - Ancho de diseño para todos los elementos

$$H'_p := 2.5 \text{ m}$$

Altura AASHTO

$$a_t := 0.13 \text{ m}$$

Ancho tributario

### a. Acero por flexión

$$\phi_p := \frac{3}{4} \text{ in} = 19.05 \text{ mm}$$

Diámetro de las varilla - PANTALLA

$$A_{sv\_p} := \pi \cdot \frac{(\phi_p)^2}{4} = 2.85 \text{ cm}^2$$

Área transversal de cada varilla - PANTALLA

$$z_p := r_p + \frac{\phi_p}{2} = 5.953 \text{ cm}$$

Distancia de la fibra extrema al centroide del acero - PAN.

$$d_p := h_p - z_p = 74.048 \text{ cm}$$

Peralte efectivo - PANTALLA

$$a = \frac{A_s \cdot f_y}{0.85 \cdot f'_c \cdot b}$$

Equilibrio Tracción Compresión

$$A_s = \frac{M_{u\_p}}{\phi_f \cdot f_y \cdot \left(d - \frac{a}{2}\right)}$$

Equilibrio de Tracción Compresión

$$\frac{a^2}{2} - 2 \cdot a \cdot d + \frac{2 \cdot M_{u\_p}}{0.85 \cdot f'_c \cdot b \cdot \phi_f} = 0$$

Reducción de la ecuación - Obtención de a

$$a_{1p} := \left( -(-2 \cdot d_p) + \sqrt{(-2 \cdot d_p)^2 - 4 \left( \frac{1}{2} \right) \cdot \left( \frac{2 \cdot M_{u\_p}}{0.85 \cdot f'_c \cdot b \cdot \phi_f} \right)} \right) = 293.037 \text{ cm} \quad \text{Primera raíz de a - Altura de Whitney}$$

$$a_{2p} := \left( -(-2 \cdot d_p) - \sqrt{(-2 \cdot d_p)^2 - 4 \left( \frac{1}{2} \right) \cdot \left( \frac{2 \cdot M_{u\_p}}{0.85 \cdot f'_c \cdot b \cdot \phi_f} \right)} \right) = 3.153 \text{ cm} \quad \text{Segunda raíz de a - Altura de Whitney}$$

$$A_{s\_p} := \frac{M_{u\_p}}{\phi_f \cdot f_y \cdot \left(d_p - \frac{a_{2p}}{2}\right)} = 13.547 \text{ cm}^2$$

Cantidad de acero por "m" - PANTALLA

$$A_{s\_p\_adm} := A_{s\_p} \cdot \frac{1}{\text{cm}^2} = 13.547$$

Cantidad de acero por "m" - PANTALLA - Adimensional

$$s_p := \frac{A_{sv\_p}}{A_{s\_p}} \cdot \text{m} = 21.039 \text{ cm}$$

Separación de las varillas  $\phi_p$  - Pantalla



$$M_{N\_P} := \left( \frac{A_{sv\_P} \cdot m}{s_P} \right) \cdot \phi_f \cdot f_y \cdot \left( d_P - \frac{a_{2P}}{2} \right) = 404.379 \text{ kN} \cdot \text{m} \quad \text{Momento nominal}$$

$$R_{DC\_C} := \frac{M_{u\_P}}{M_{N\_P}} = 1 \quad \text{Ratio demanda capacidad}$$

#### a.1. Acero máximo

Las actuales disposiciones AASHTO LRFD eliminan este límite

#### a.2. Acero mínimo

Se acuerdo a las disposiciones el acero que se proporciona debe ser capaz de resistir el menor valor de  $M_{cr}$  y  $1.33 \cdot M_u$

##### a. $M_{cr}$

$$f_{r\_P} := 2.01 \cdot \sqrt{f_{c\_adm}} \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2} = 29.128 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2} \quad \text{Módulo de ruptura del concreto}$$

$$S_{\_P} := b \cdot \frac{h_P^2}{6} = (1.067 \cdot 10^5) \text{ cm}^3 \quad \text{Módulo de sección}$$

$$M_{cr\_P} := 1.1 \cdot f_{r\_P} \cdot S_{\_P} = 34.176 \text{ tonnef} \cdot \text{m} \quad \text{Momento de agrietamiento}$$

##### b. $1.33 M_u$

$$1.33 \cdot M_{u\_P} = 54.843 \text{ tonnef} \cdot \text{m} \quad \text{Mayoración del momento último}$$

$$M_{u\_P} = 41.235 \text{ tonnef} \cdot \text{m} \quad \text{Momento último}$$

$$R_{M\_P} := \begin{cases} \text{if } M_{u\_P} > \min(M_{cr\_P}, 1.33 M_{u\_P}) \\ \quad \text{"Cumple"} \\ \text{else} \\ \quad \text{"No cumple"} \end{cases} = \text{"Cumple"} \quad \text{Revisión de los estados de momento}$$

$$\phi_P = 19.05 \text{ mm} \quad @ \quad s_P = 21.039 \text{ cm} \quad \text{ARMADO PARA LA PANTALLA}$$

#### b. Acero por temperatura

$$H_{tem\_P} := H - H'_P = 2.5 \text{ m} \quad \text{Altura para el diseño por temperatura - PANTALLA}$$

$$e_{prom} := \frac{h_P + e_c}{2} = 55 \text{ cm} \quad \text{Espesor promedio - PANTALLA}$$

$$H_{tem\_P\_adm} := H_{tem\_P} \cdot \frac{1}{\text{cm}} = 250 \quad \text{Altura para el diseño por temperatura - PANTALLA - Adimensional}$$

$$e_{prom\_adm} := e_{prom} \cdot \frac{1}{\text{cm}} = 55 \quad \text{Espesor promedio - PANTALLA - Adimensional}$$

$$A_{stem\_P} := \frac{0.18 \cdot H_{tem\_P\_adm} \cdot e_{prom\_adm}}{2 \cdot (H_{tem\_P\_adm} + e_{prom\_adm})} \cdot \frac{\text{cm}^2}{\text{m}} = 4.057 \frac{\text{cm}^2}{\text{m}} \quad \text{Acero por contracción y temperatura (En cada cara)}$$

$$A_{s\_INF\_P} := 0.11 \cdot A_{s\_P\_adm} \cdot \frac{\text{cm}^2}{\text{m}} = 1.49 \frac{\text{cm}^2}{\text{m}} \quad \text{Límite inferior - Cantidad de acero AASTHO 5.10.6-2}$$

$$A_{s\_SUP\_P} := 0.6 \cdot A_{s\_P\_adm} \cdot \frac{\text{cm}^2}{\text{m}} = 8.128 \frac{\text{cm}^2}{\text{m}} \quad \text{Límite superior - Cantidad de acero AASTHO}$$

$$s_{SUP\_P} \quad s_{F\_aum} \quad m \quad m$$

$$R_{Astem\_P} := \left\| \begin{array}{l} \text{if } A_{s\_INF\_P} \leq A_{stem\_P} \leq A_{s\_SUP\_P} \\ \quad \left\| \begin{array}{l} \text{"Cumple"} \\ \text{else} \\ \quad \left\| \begin{array}{l} \text{"No cumple"} \end{array} \right\| \end{array} \right\| \end{array} \right\| = \text{"Cumple"}$$

5.10.6-2

Revisión de los límites de acero de - AASHTO  
5.10.6-2

$$\phi_{tem\_P} := \frac{1}{2} \text{ in}$$

Diámetro del acero por temperatura - PANTALLA

$$A_{sv\_tem\_P} := \pi \cdot \frac{(\phi_{tem\_P})^2}{4} = 1.267 \text{ cm}^2$$

Área transversal de cada varilla - PANTALLA

$$s_{tem\_P} := \frac{A_{sv\_tem\_P}}{A_{stem\_P}} = 31.221 \text{ cm}$$

Separación del acero por temperatura - PANTALLA

$$s_{máx\_tem\_P} := 3 \cdot e_{prom} = 1.65 \text{ m}$$

Separación máxima acero por temperatura - PANTALLA

$$s_{máx} := 18 \text{ in}$$

Separación máxima AASHTO

$$R_{smáx} := \left\| \begin{array}{l} \text{if } s_{tem\_P} \leq \min(s_{máx\_tem\_P}, s_{máx}) \\ \quad \left\| \begin{array}{l} \text{"Cumple"} \\ \text{else} \\ \quad \left\| \begin{array}{l} \text{"No cumple"} \end{array} \right\| \end{array} \right\| \end{array} \right\| = \text{"Cumple"}$$

Revisión de la separación mínima

$$\phi_{tem\_P} = 12.7 \text{ mm} \quad @ \quad s_{tem\_P} = 31.221 \text{ cm}$$

ARMADO POR TEMPERATURA - PANTALLA

### c. Revisión de fisuración por distribución de armadura

$$M_{s\_P} = 202.98 \text{ kN}$$

MOMENTO DE SERVICIO

$$a_t = 0.13 \text{ m}$$

Ancho tributario de diseño

$$M_{s\_D} := M_{s\_P} \cdot a_t = 26.387 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

MOMENTO DE DISEÑO

#### Ubicación del eje neutro

$$n := \frac{E_s}{E_c} = 9.201$$

Relación modular del acero y el concreto

$$z_{c\_P} := r_p + \frac{\phi_P}{2} = 5.953 \text{ cm}$$

Distancia al centro del refuerzo

$$d_{c\_P} := h_p - z_{c\_P} = 74.048 \text{ cm}$$

$$A_{stc} := 9 \cdot A_{sv\_P} = 25.652 \text{ cm}^2$$

Área de acero transformada

$$a_t \cdot y \left( \frac{y}{2} \right) = A_{stc} \cdot (d_{c\_P} - y)$$

Ecuación de equilibrio

$$a_t \cdot \frac{y^2}{2} + A_{stc} \cdot y - A_{stc} \cdot d_{c\_P} = 0$$

Deducción de la ecuación para la determinación de y

$$y_1 := \frac{-(A_{stc}) + \sqrt{(A_{stc})^2 - 4 \cdot \left( \frac{1}{2} a_t \right) \cdot (-A_{stc} \cdot d_{c\_P})}}{2 \cdot \left( \frac{a_t}{2} \right)} = 15.235 \text{ cm}$$

Primera raíz de y

$$y_2 := \frac{-(A_{stc}) - \sqrt{(A_{stc})^2 - 4 \cdot \left( \frac{1}{2} a_t \right) \cdot (-A_{stc} \cdot d_{c\_P})}}{2 \cdot \left( \frac{a_t}{2} \right)} = -19.181 \text{ cm}$$

Segunda raíz de y

$$2 \cdot \left( \frac{a_l}{2} \right)$$

#### Esfuerzo del acero principal bajo cargas de servicio

$$j_d := d_{c\_p} - \frac{y_l}{3} = 68.969 \text{ cm}$$

Brazo de jd entre las cargas

$$f_{ss} := \frac{M_{s\_D}}{j_d \cdot A_{sv\_P}} = (1.369 \cdot 10^3) \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$$

Esfuerzo del acero bajo las cargas de servicio

#### Separación máxima de la armadura

$$\gamma_e := 0.75$$

Factor para la condición de exposición severa

$$\beta_s := 1 + \frac{z_{c\_P}}{0.7 (h_P - z_{c\_P})} = 1.115$$

Factor de la geometría de la sección

$$s_{máx\_A} := \frac{125000 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}} \cdot \gamma_e}{\beta_s \cdot f_{ss}} - 2 \cdot z_{c\_P} = 49.53 \text{ cm}$$

Separación máxima para la armadura

$$R_{armadura} := \left\| \begin{array}{l} \text{if } s_P \leq s_{máx\_A} \\ \quad \left\| \begin{array}{l} \text{"Cumple"} \\ \text{else} \\ \text{"No cumple"} \end{array} \right\| \end{array} \right\| = \text{"Cumple"}$$

Revisión de la separación

#### d. Revisión por corte

$$V_{u\_P} = 18.755 \text{ tonnef}$$

Cortante actuante sobre la pantalla

$$b = 100 \text{ cm}$$

Ancho de diseño

$$d_P = 74.048 \text{ cm}$$

Peralte efectivo

$$d_{v\_P} := d_P - \frac{a_{2P}}{2} = 72.471 \text{ cm}$$

Peralte de corte efectivo

$$R_{dv\_P} := \left\| \begin{array}{l} \text{if } d_{v\_P} > \max(0.9 \cdot d_P, 0.72 \cdot h_P) \\ \quad \left\| \begin{array}{l} \text{"Cumple"} \\ \text{else} \\ \text{"No cumple"} \end{array} \right\| \end{array} \right\| = \text{"Cumple"}$$

Revisión del peralte de corte efectivo

#### Cálculo de $\beta$

$$l_P = 5 \text{ m}$$

Longitud de la viga de diseño

$$V_{u\_P} = 18.755 \text{ tonnef}$$

Cortante de diseño

$$M_{uP\_R} = 32.881 \text{ tonnef} \cdot \text{m}$$

Momento por resistencia I

$$E_{Mu} := \left\| \begin{array}{l} \text{if } M_{uP\_R} > V_{u\_P} \cdot d_{v\_P} \\ \quad \left\| \begin{array}{l} \text{"Cumple"} \\ \text{else} \\ \text{"No cumple"} \end{array} \right\| \end{array} \right\| = \text{"Cumple"}$$

Revisión del momento flector mínimo

$$\frac{|M_{uP\_R}|}{V_{u\_P}} + |V_{u\_P}|$$

Deformación unitaria del refuerzo a tracción

$$\varepsilon_s := \frac{d_{v\_P}}{E_s \cdot A_{s\_P}} = 0.00232$$

$$s_x := d_{v\_P} = 28.532 \text{ in}$$

$$s_{x\_adm} := s_x \cdot \frac{1}{\text{in}} = 28.532$$

$$a_g := \frac{3}{4} \text{ in}$$

$$a_{g\_adm} := a_g \cdot \frac{1}{\text{in}} = 0.75$$

$$s_{xe} := s_{x\_adm} \cdot \frac{1.38}{a_{g\_adm} + 0.63} \text{ in} = 28.532 \text{ in}$$

$$R_S := \begin{cases} \text{if } 12 \text{ in} \leq s_{xe} \leq 80 \text{ in} \\ \quad \text{"Cumple"} \\ \text{else} \\ \quad \text{"No cumple"} \end{cases} = \text{"Cumple"}$$

$$\beta_v := \frac{4.8}{(1 + 750 \cdot \varepsilon_s)} \cdot \frac{51}{\left(39 + s_{xe} \cdot \frac{1}{\text{in}}\right)} = 1.323$$

$$V_c := 0.265 \cdot (\beta_v) \cdot \sqrt{f'_{c\_adm}} \cdot \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2} \cdot b \cdot d_{v\_P} = 361.038 \text{ kN}$$

$$V_p := 0 \text{ kN}$$

$$V_s := 0 \text{ kN}$$

$$V_{n1\_P} := V_c + V_p + V_s = 361.038 \text{ kN}$$

$$V_{n2\_P} := 0.25 \cdot f'_c \cdot b \cdot d_{v\_P} + V_p = (3.731 \cdot 10^3) \text{ kN}$$

$$V_N := \min(V_{n1\_P}, V_{n2\_P}) = 361.038 \text{ kN}$$

$$V_{R\_P} := \phi_v \cdot V_N = 324.935 \text{ kN}$$

$$R_V := \begin{cases} \text{if } V_{u\_P} < V_{R\_P} \\ \quad \text{"Cumple"} \\ \text{else} \\ \quad \text{"No cumple"} \end{cases} = \text{"Cumple"}$$

Parámetro de espaciamiento de grietas

Parámetro de espaciamiento de grietas - Adimensional

Tamaño del agregado

Tamaño del agregado - Adimensional

Espaciamiento equivalente del factor de tamaño

Revisión de los límites

Factor de resistencia a la tracción diagonal del concreto

Cortante resistente del concreto

Resistencia a cortante - PRETENSADO

Resistencia a cortante - ACERO

Resistencia al cortante I

Resistencia al cortante II

RESISTENCIA NOMINAL A CORTANTE

RESISTENCIA REAL AL CORTANTE - PANTALLA

Revisión al cortante

### 9.3. ARMADOS ESTRUCTURALES - CIMENTACIÓN

#### 9.3.1. DETERMINACIÓN DE LAS PRESIONES DE CONTACTO ENTRE EL SUELO Y MURO

$$v_{LT} := \begin{bmatrix} b_t \\ b_t \\ 0 \text{ m} \\ 0 \text{ m} \end{bmatrix}$$

Vector de longitud - Talón

$$M_{UD} := M_{UH} + M_{IUD} + M_{DUE} + M_{DUD} = 880.975 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

Momento último sin mavoración de cargas

$$M_{RD} := M_{DC} + M_{EV} + M_{Pp} + M_{LLV} = (1.833 \cdot 10^3) \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$FV_D := F_{DC} + F_{EV} + F_{LLV} = 596.928 \text{ kN}$$

$$e_D := \frac{B}{2} - \left( \frac{M_{RD} - M_{UD}}{FV_D} \right) = 0.904 \text{ m}$$

$$\sigma_{v_{\max\_D}} := \left( \frac{FV_D}{B} \right) \cdot \left( 1 + 6 \cdot \frac{e_D}{B} \right) = 248.945 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$\sigma_{v_{\min\_D}} := \left( \frac{FV_D}{B} \right) \cdot \left( 1 - 6 \cdot \frac{e_D}{B} \right) = -10.173 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$F_{To\_R} := \frac{(\sigma_{v_{\max\_D}} - \sigma_{v_{\min\_D}})}{B} \cdot b_t + \sigma_{v_{\min\_D}} = 155.662 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$F_{Po\_R} := \frac{(\sigma_{v_{\max\_D}} - \sigma_{v_{\min\_D}})}{B} \cdot (b_t + e_c + b_{pan}) + \sigma_{v_{\min\_D}} = 197.121 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$v_{LC} := \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ B - b_t \\ b_{pun} \\ B \\ B \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 1.8 \\ 1 \\ 5 \\ 5 \end{bmatrix} \text{ m}$$

$$v_{FC} := \begin{bmatrix} 0 \\ -\sigma_{v_{\max\_D}} \\ -F_{To\_R} \\ -F_{Po\_R} \\ -\sigma_{v_{\min\_D}} \\ 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ -248.945 \\ -155.662 \\ -197.121 \\ 10.173 \\ 0 \end{bmatrix} \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

Momento resistente sin mayoración de cargas

Fuerza vertical sin mayoración de cargas

Excentricidad sin mayoración de cargas

Presión máxima - Sin combinación de cargas

Presión mínima - Sin combinación de cargas

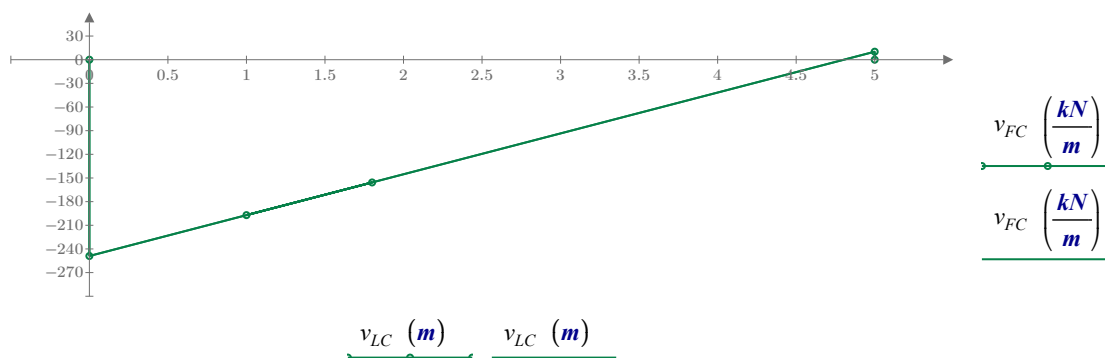
Fuerza de reacción producida al extremo del talón

Fuerza de reacción producida al extremo de la punta

Vector de longitud de la cimentación

Vector de fuerzas de la cimentación

### 9.3.2. DIAGRAMA DE LAS CARGAS DISTRIBUIDAS DE LA CIMENTACIÓN



### 9.3.3. VERIFICACIÓN DE LA CONDICIÓN QUE RIGE EL DISEÑO

$$F_{Mo\_R} := \max(\sigma_{I_{\max I}}, \sigma_{I_{\max SIS}}) = 226.382 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$C_D := \begin{cases} \text{if } \max(\sigma_{I_{\max I}}) > \max(\sigma_{I_{\max SIS}}) \\ \quad \text{“Rige la condición estática”} \\ \text{else} \\ \quad \text{“Rige la condición sísmica”} \end{cases} = \text{“Rige la condición sísmica”}$$

Fuerza de reacción máxima producida en el extremo de la punta del muro

Caso que rige en el diseño

```

k :=
  k ← 0
  if max (σvl máxl) > max (σvl máx_SIS)
    max ← σvl máxlk
    for i ∈ 0, 1 .. rows (σvl máxl) - 1
      if max > σvl máxli
        max ← max
        k ← k
      else
        max ← σvl máxli
        k ← i
  else
    max ← σvl máx_SISk
    for i ∈ 0, 1 .. rows (σvl máx_SIS) - 1
      if max > σvl máx_SISi
        max ← max
        k ← k
      else
        max ← σvl máx_SISi
        k ← i

```

Posición de la combinación mas crítica  
 $C_D = \text{"Rige la condición sísmica"}$

#### 9.3.4. DIAGRAMA DE FUERZAS DE REACCIÓN SOBRE EL TALÓN

$$F_{Tl\_R\_D} := \begin{cases} \text{if } \max(\sigma v_{l\ máxl}) > \max(\sigma v_{l\ máx\_SIS}) \\ F_{Tl\_R} \leftarrow \sigma v_{l\ minI_k} \\ \text{else} \\ F_{Tl\_R} \leftarrow \sigma v_{l\ min\_SIS_k} \end{cases} = -8.679 \frac{kN}{m}$$

Fuerza de reacción máxima producida en el extremo del talón

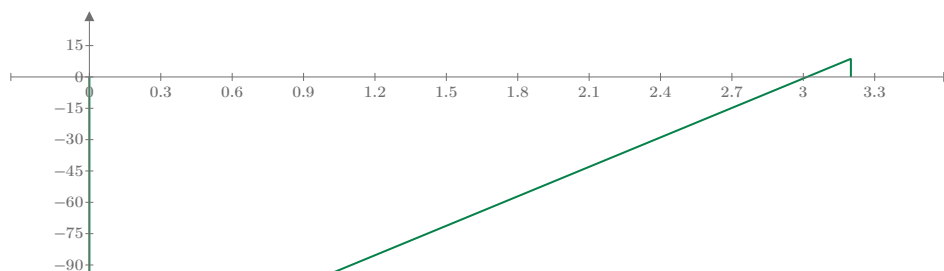
$$F_{To\_R\_D} := \frac{(F_{Mo\_R} - F_{Tl\_R\_D})}{B} \cdot b_l + F_{Tl\_R\_D} = 141.76 \frac{kN}{m}$$

Fuerza de reacción producida al inicio del talón - Junto a la pantalla

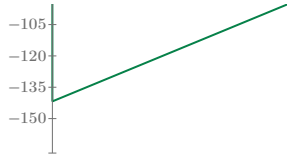
$$v_{FT\_R} := \begin{bmatrix} 0 \frac{kN}{m} \\ -F_{Tl\_R\_D} \\ -F_{To\_R\_D} \\ 0 \frac{kN}{m} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 8.679 \\ -141.76 \\ 0 \end{bmatrix} \frac{kN}{m}$$

Vector de fuerzas de reacción - Talón - Diseño

#### Diagrama de la reacción del suelo - Talón



$$v_{FT\_R} \left( \frac{kN}{m} \right)$$



$$v_{LT} \text{ (m)}$$

### 9.3.5. DIAGRAMA DE LA FUERZAS ACTUANTES SOBRE EL TALÓN

#### a. Fuerzas en el inicio del talón

$$F_{LLo\_T} := \gamma_E \cdot h_{eq} \cdot 1 \text{ m} = 16.459 \frac{kN}{m}$$

Intensidad de la carga distribuida - LL

$$F_{EHo\_T} := \gamma_E \cdot H \cdot 1 \text{ m} = 90 \frac{kN}{m}$$

Intensidad de la carga distribuida - EH

$$F_{To\_E} := F_{LLo\_T} \cdot S_- f^{(s)} + F_{EHo\_T} \cdot S_- f^{(2)} = \begin{bmatrix} 106.459 \\ 163.804 \\ 163.804 \\ 163.804 \\ \vdots \end{bmatrix} \frac{kN}{m}$$

Combinación de la carga distribuida -  
Caso estático

$$F_{To\_SIS} := F_{LLo\_T} \cdot EX_- f^{(s)} + F_{EHo\_T} \cdot EX_- f^{(2)} = \begin{bmatrix} 90 \\ 90 \\ 90 \\ 90 \\ \vdots \end{bmatrix} \frac{kN}{m}$$

Combinación de la carga distribuida -  
Caso sísmico

#### b. Fuerza al final del talón

$$F_{LLi\_T} := \gamma_E \cdot h_{eq} \cdot 1 \text{ m} = 16.459 \frac{kN}{m}$$

Intensidad de la carga distribuida - LL

$$F_{EHi\_T} := \gamma_E \cdot H' \cdot 1 \text{ m} = 121.602 \frac{kN}{m}$$

Intensidad de la carga distribuida - EH

$$F_{Ti\_E} := F_{LLi\_T} \cdot S_- f^{(s)} + F_{EHi\_T} \cdot S_- f^{(2)} = \begin{bmatrix} 138.061 \\ 211.207 \\ 211.207 \\ 211.207 \\ \vdots \end{bmatrix} \frac{kN}{m}$$

Combinación de la carga distribuida -  
Caso estático

$$F_{Ti\_SIS} := F_{LLi\_T} \cdot EX_- f^{(s)} + F_{EHi\_T} \cdot EX_- f^{(2)} = \begin{bmatrix} 121.602 \\ 121.602 \\ 121.602 \\ 121.602 \\ \vdots \end{bmatrix} \frac{kN}{m}$$

Combinación de la carga distribuida -  
Caso sísmico

$$F_{To\_D} := \left\| \begin{array}{l} \text{if } \max(\sigma_{v_{lmáxl}}) > \max(\sigma_{v_{lmáx\_SIS}}) \\ \quad \left\| F_{Ti\_D} \leftarrow F_{To\_E_k} \right\| \\ \text{else} \\ \quad \left\| F_{Ti\_D} \leftarrow F_{To\_SIS_k} \right\| \end{array} \right\| = 90 \frac{kN}{m}$$

Intensidad de la carga crítica de diseño - Junto  
a la pantalla

$$F_{Ti\_D} := \left\| \text{if } \max(\sigma_{v_{lmáxl}}) > \max(\sigma_{v_{lmáx\_SIS}}) \right\| = 121.602 \frac{kN}{m}$$

$$F_{T\_D} := \begin{cases} \sqrt{\frac{1}{2} \left( \frac{1}{\gamma_{max}} + \frac{1}{\gamma_{max\_SIS}} \right)} \cdot F_{T\_E_k} & \text{if } \gamma_{max} < \gamma_{max\_SIS} \\ F_{T\_SIS_k} & \text{else} \end{cases} \quad m$$

Intensidad de la carga crítica de diseño - Final  
- Al extremo del muro

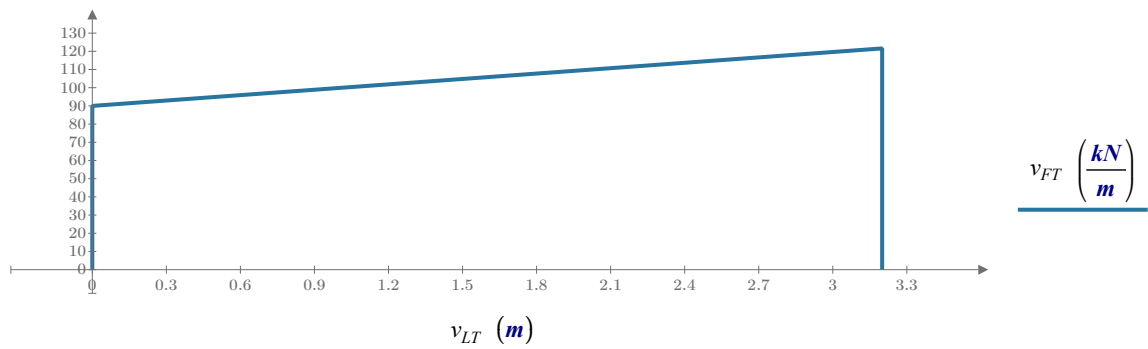
$$v_{LT} = \begin{bmatrix} 3.2 \\ 3.2 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} m$$

Vector de longitud - Talón

$$v_{FT} := \begin{bmatrix} 0 \frac{kN}{m} \\ F_{T\_D} \\ F_{To\_D} \\ 0 \frac{kN}{m} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 121.602 \\ 90 \\ 0 \end{bmatrix} \frac{kN}{m}$$

Vector de fuerzas distribuidas - Talón

Diagrama de las cargas ditribuida - Talón



### 9.3.6. DIAGRAMA DE FUERZAS RESULTANTES SOBRE EL TALÓN

$$F_{FRT0} := F_{T\_D} - F_{T\_R\_D} = 130.281 \frac{kN}{m}$$

$$F_{FRTi} := F_{To\_D} - F_{To\_R\_D} = -51.76 \frac{kN}{m}$$

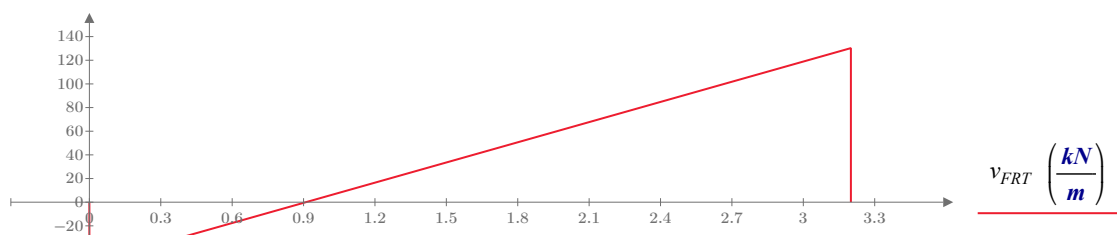
$$v_{FRT} := \begin{bmatrix} 0 \\ F_{FRT0} \\ F_{FRTi} \\ 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 130.281 \\ -51.76 \\ 0 \end{bmatrix} \frac{kN}{m}$$

Vector de fuerzas resultantes totales sobre el talón

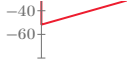
$$x := \frac{b_t}{\left( \frac{-F_{FRT0}}{F_{FRTi}} + 1 \right)} = 0.91 m$$

Distancia al centro de las cargas

Diagrama de las cargas ditribuida resultante - Talón







$$v_{LT} \text{ (m)}$$

### 9.3.7 DETERMINACIÓN DE LOS DIAGRAMAS DE DISEÑO

$$R_{A\_T} := \begin{cases} \text{if } F_{FRTi} > 0 \\ \left\| \left\| F_{FRTi} \cdot b_t + (F_{FRT0} - F_{FRTi}) \left( \frac{b_t}{2} \right) \right\| \right. \\ \text{else} \\ \left\| \left\| R_{A\_T} \leftarrow \frac{F_{FRTi} \cdot x}{2} + \frac{F_{FRT0} \cdot (b_t - x)}{2} \right\| \right. \\ R_{A\_T} \end{cases} = 125.633 \text{ kN}$$

$$M_{A\_T} := \begin{cases} \text{if } F_{FRTi} > 0 \\ \left\| \left\| M_{A\_T} \leftarrow F_{FRTi} \cdot b_t \cdot \frac{b_t}{2} + (F_{FRT0} - F_{FRTi}) \left( \frac{b_t}{2} \right) \cdot \left( \frac{2 \cdot b_t}{3} \right) \right\| \right. \\ \text{else} \\ \left\| \left\| M_{A\_T} \leftarrow \frac{F_{FRTi} \cdot x}{2} \cdot \left( \frac{x}{3} \right) + \frac{F_{FRT0} \cdot (b_t - x)}{2} \cdot \left( x + \left( \frac{2}{3} \cdot (b_t - x) \right) \right) \right\| \right. \\ M_{A\_T} \end{cases} = 356.354 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$V_{Tal} := \begin{cases} \text{if } F_{FRTi} > 0 \\ \left\| \left\| \begin{array}{l} \text{for } i \in 0, 1 \dots \frac{b_t}{int} \\ \left\| \left\| \begin{array}{l} V_1 \leftarrow F_{FRTi} \cdot b_t - F_{FRTi} \cdot (int \cdot i) \\ V_2 \leftarrow (F_{FRT0} - F_{FRTi}) \cdot \frac{(b_t)}{2} - \frac{(F_{FRT0} - F_{FRTi})}{2 \cdot b_t} \cdot (int \cdot i)^2 \\ V_{Tal_i} \leftarrow V_1 + V_2 \end{array} \right\| \right. \end{array} \right\| \right. \\ \text{else} \\ \left\| \left\| \begin{array}{l} \text{for } i \in 0, 1 \dots \frac{b_t}{int} \\ \left\| \left\| \begin{array}{l} V_{1\_1} \leftarrow F_{FRTi} \cdot (b_t - (int \cdot i)) \\ V_{1\_2} \leftarrow \frac{(F_{FRT0} - F_{FRTi}) \cdot (b_t^2 - (int \cdot i)^2)}{2 \cdot b_t} \\ V_{Tal_i} \leftarrow V_{1\_1} + V_{1\_2} \end{array} \right\| \right. \end{array} \right\| \right. \\ V_{Tal} \end{cases} = \begin{bmatrix} 125.633 \\ 126.148 \\ 126.657 \\ 127.16 \\ \vdots \end{bmatrix} \text{ kN}$$

$$M_{Tal} := \begin{cases} \text{if } F_{FRTi} > 0 \\ \left\| \left\| \begin{array}{l} \text{for } i \in 0, 1 \dots \frac{b_t}{int} \\ \left\| \left\| \begin{array}{l} M_1 \leftarrow F_{FRTi} \cdot b_t \cdot (int \cdot i) \\ M_{2\_1} \leftarrow \frac{(F_{FRT0} - F_{FRTi}) \cdot b_t}{2} \cdot (int \cdot i) \\ M_{2\_2} \leftarrow \frac{(F_{FRT0} - F_{FRTi}) \cdot (int \cdot i)^3}{6 \cdot b_t} \end{array} \right\| \right. \end{array} \right\| \right. \\ \end{cases} = \begin{bmatrix} -356.354 \\ -355.096 \\ -353.832 \\ \vdots \end{bmatrix} \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$\begin{aligned}
 & \left\| \left\| \left\| \begin{aligned} M_{2\_3} &\leftarrow \frac{(F_{FRT0} - F_{FRTi}) \cdot b_t^2}{3} \\ M_2 &\leftarrow M_{2\_1} - M_{2\_2} - M_{2\_3} \\ M_{Tal_i} &\leftarrow M_1 + M_2 \end{aligned} \right. \right\| \right\| \\
 & \text{else} \\
 & \quad \text{for } i \in 0, 1 \dots \frac{b_t}{int} \\
 & \quad \left\| \left\| \begin{aligned} M_{1\_1} &\leftarrow \frac{F_{FRTi} \cdot (b_t - (int \cdot i))^2}{2} \\ M_{1\_2} &\leftarrow \frac{(F_{FRT0} - F_{FRTi}) \cdot (b_t - (int \cdot i))^2 \cdot (2 \cdot b_t + (int \cdot i))}{6 \cdot b_t} \\ M_{Tal_i} &\leftarrow -(M_{1\_1} + M_{1\_2}) \end{aligned} \right. \right\| \\
 & \quad M_{Tal} \\
 & L_{Tal} := \left\| \begin{aligned} &\text{for } i \in 0, 1 \dots \frac{b_t}{int} \\ &\quad \left\| L_{Tal_i} \leftarrow 0 \text{ } \mathbf{m} + (int \cdot i) \right\| \\ &L_{Tal} \end{aligned} \right\| = \begin{bmatrix} 0 \\ 0.01 \\ 0.02 \\ \vdots \end{bmatrix} \mathbf{m}
 \end{aligned}$$

*Vector de longitud talón*

$$M_T := \max(M_{Tal}) = 0 \text{ } \mathbf{kN \cdot m}$$

MOMENTO DE DISEÑO TALÓN

$$V_T := \max(V_{Tal}) = 149.18 \text{ } \mathbf{kN}$$

CORTANTE DE DISEÑO TALÓN

Diagrama de fuerza cortante de diseño - Talon

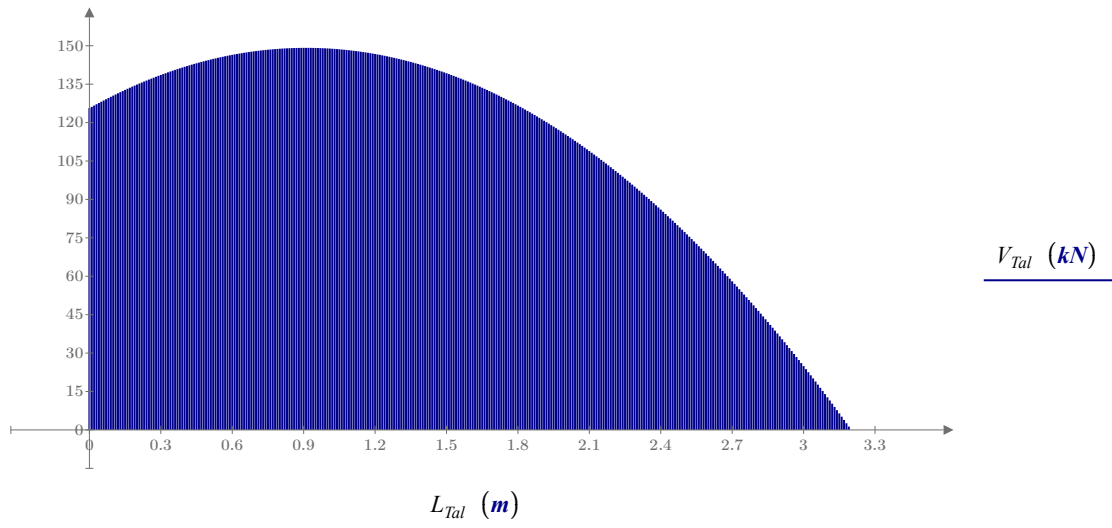
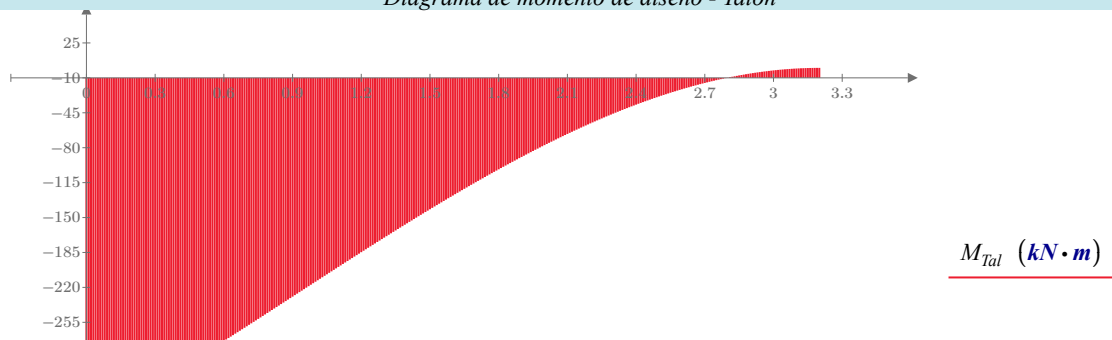
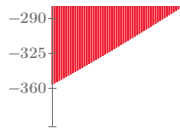


Diagrama de momento de diseño - Talon





$$L_{Tal} \text{ (m)}$$

### 9.3.8 ARMADOS ESTRUCTURALES - PARTE SUPERIOR

#### a. Momento y cortante de diseño

$C_D$  = "Rige la condición sísmica"

Verificación del caso que rige

$$M_{u\_C} := -\min(M_{Tal}) = 356.354 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

MOMENTO DE DISEÑO - CIMENTACIÓN

$$V_{u\_C} := \max(V_{Tal}) = 149.18 \text{ kN}$$

CORTANTE DE DISEÑO - CIMENTACIÓN

#### b. Diseño por flexión

$$h_C := 1.1 \text{ m}$$

Altura de la cimentación

$$r_z := 7.5 \text{ cm}$$

Recubrimiento de la zapata

$$\phi_{fz} := 0.9$$

Factor de reducción para la cimentación

$$l_{tal} := 2.70 \text{ m}$$

Longitud del talón

$$B_C := 4.7 \text{ m}$$

Base de la cimentación

$$\phi_C := \frac{3}{4} \text{ in} = 1.905 \text{ cm}$$

Diámetro de las varilla - CIMENTACIÓN

$$A_{sv\_C} := \pi \cdot \frac{(\phi_C)^2}{4} = 2.85 \text{ cm}^2$$

Área transversal de cada varilla - CIMENTACIÓN

$$z_C := r_z + \frac{\phi_C}{2} = 8.453 \text{ cm}$$

Distancia de la fibra extrema al centroide del acero - CIM..

$$d_C := h_C - z_C = 101.548 \text{ cm}$$

Peralte efectivo - CIMENTACIÓN

$$a = \frac{A_s \cdot f_y}{0.85 \cdot f'_c \cdot b}$$

Equilibrio Tracción Compresión

$$A_s = \frac{M_{uE}}{\phi_f \cdot f_y \cdot \left(d - \frac{a}{2}\right)}$$

Equilibrio de Tracción Compresión

$$\frac{a^2}{2} - 2 \cdot a \cdot d + \frac{2 \cdot M_{u\_C}}{0.85 \cdot f'_c \cdot b \cdot \phi_f} = 0$$

Reducción de la ecuación - Obtención de a

$$a_{1C} := \left( -(-2 \cdot d_C) + \sqrt{(-2 \cdot d_C)^2 - 4 \left( \frac{1}{2} \right) \cdot \left( \frac{2 \cdot M_{u\_C}}{0.85 \cdot f'_c \cdot b \cdot \phi_{fz}} \right)} \right) = 403.95 \text{ cm} \quad \text{Primera raíz de a - Altura de Whitney}$$

$$a_{2C} := \left( -(-2 \cdot d_C) - \sqrt{(-2 \cdot d_C)^2 - 4 \left( \frac{1}{2} \right) \cdot \left( \frac{2 \cdot M_{u\_C}}{0.85 \cdot f'_c \cdot b \cdot \phi_{fz}} \right)} \right) = 2.24 \text{ cm} \quad \text{Segunda raíz de a - Altura de Whitney}$$

$$A_{s\_C} := \frac{M_{u\_C}}{\phi_{fz} \cdot f_y \cdot \left(d_C - \frac{a_{2C}}{2}\right)} = 9.572 \text{ cm}^2$$

Cantidad de acero por "m" - PANTALLA

$$A_{s\_c\_adm} := A_{s\_c} \cdot \frac{1}{\text{cm}^2} = 9.572$$

Cantidad de acero por "m" - PANTALLA - Adimensional

$$s_c := \frac{A_{sv\_c}}{A_{s\_c}} \cdot m = 29.776 \text{ cm}$$

Separación de los aceros en la zapata

$$c_c := \frac{a_{2c}}{\beta_1} = 2.635 \text{ cm}$$

Profundidad del eje neutro

$$\phi := 0.65 + 0.15 \cdot \left( \frac{d_c}{c_c} - 1 \right) = 6.281$$

Factor de resistencia

$$R_{\phi z} := \left\| \begin{array}{l} \text{if } \phi > \phi_{fz} \\ \quad \left\| \begin{array}{l} \text{"Cumple"} \\ \text{else} \\ \quad \left\| \begin{array}{l} \text{"No cumple"} \end{array} \right\| \end{array} \right\| \end{array} \right\| = \text{"Cumple"}$$

Revisión que cumple como lo supuesto

$$M_N := A_{s\_c} \cdot \phi_f \cdot f_y \cdot \left( d_c - \frac{a_{2c}}{2} \right) = 395.949 \text{ kN} \cdot m$$

Momento nominal

$$R_{DC\_M} := \frac{M_{u\_c}}{M_N} = 0.9$$

Ratio demanda capacidad

#### a.1. Acero máximo

Las actuales disposiciones AASHTO LRFD eliminan este límite

#### a.2. Acero mínimo

Se acuerdo a las disposiciones el acero que se proporciona debe ser capaz de resistir el menor valor de  $M_{cr}$  y  $1.33 \cdot M_u$

##### a. $M_{cr}$

$$f_{r\_c} := 2.01 \cdot \sqrt{f_{c\_adm}} \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2} = 29.128 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$$

Módulo de ruptura del concreto

$$S_{\_c} := b \cdot \frac{h_c^2}{6} = (2.017 \cdot 10^5) \text{ cm}^3$$

Módulo de sección

$$M_{cr\_c} := 1.1 \cdot f_{r\_c} \cdot S_{\_c} = 64.615 \text{ tonnef} \cdot m$$

Momento de agrietamiento

##### b. $1.33 M_u$

$$1.33 \cdot M_{u\_c} = 48.33 \text{ tonnef} \cdot m$$

Mayoración del momento último

$$M_{u\_c} = 36.338 \text{ tonnef} \cdot m$$

Momento último

$$R_{M\_c} := \left\| \begin{array}{l} \text{if } M_{u\_p} > \min(M_{cr\_c}, 1.33 M_{u\_c}) \\ \quad \left\| \begin{array}{l} \text{"Cumple"} \\ \text{else} \\ \quad \left\| \begin{array}{l} \text{"No cumple"} \end{array} \right\| \end{array} \right\| \end{array} \right\| = \text{"No cumple"}$$

Revisión de los estados de momento

$$\phi_c = 19.05 \text{ mm} \quad @ \quad s_c = 29.776 \text{ cm}$$

ARMADO PARA LA CIMENTACIÓN

### b. Acero por temperatura

$$H_{tem\_C} := B_C = 470 \text{ cm}$$

Altura para el diseño por temperatura - PANTALLA

$$h_C = 110 \text{ cm}$$

Espesor promedio - PANTALLA

$$H_{tem\_C\_adm} := H_{tem\_C} \cdot \frac{1}{cm} = 470$$

Altura para el diseño por temperatura - PANTALLA - Adimensional

$$h_{C\_adm} := h_C \cdot \frac{1}{cm} = 110$$

Espesor promedio - PANTALLA - Adimensional

$$A_{stem\_C} := \frac{0.18 \cdot H_{tem\_C\_adm} \cdot h_{C\_adm}}{2 \cdot (H_{tem\_C\_adm} + h_{C\_adm})} \cdot \frac{cm^2}{m} = 8.022 \frac{cm^2}{m}$$

Acero por contracción y temperatura (En cada cara)

$$A_{s\_INF\_C} := 0.11 \cdot A_{s\_C\_adm} \cdot \frac{cm^2}{m} = 1.053 \frac{cm^2}{m}$$

Límite inferior - Cantidad de acero AASTHO 5.10.6-2

$$A_{s\_SUP\_C} := 0.6 \cdot A_{s\_C\_adm} \cdot \frac{cm^2}{m} = 5.743 \frac{cm^2}{m}$$

Límite superior - Cantidad de acero AASTHO 5.10.6-2

$$R_{Astem\_C} := \left\| \begin{array}{l} \text{if } A_{s\_INF\_C} \leq A_{stem\_C} \leq A_{s\_SUP\_C} \\ \quad \left\| \begin{array}{l} \text{"Cumple"} \\ \text{else} \\ \text{"No cumple"} \end{array} \right\| \end{array} \right\| = \text{"No cumple"}$$

Revisión de los límites de acero de - AASHTO 5.10.6-2

$$\phi_{tem\_C} := \frac{1}{2} \text{ in}$$

Diámetro del acero por temperatura - PANTALLA

$$A_{sv\_tem\_C} := \pi \cdot \frac{(\phi_{tem\_C})^2}{4} = 1.267 \text{ cm}^2$$

Área transversal de cada varilla - PANTALLA

$$s_{tem\_C} := \frac{A_{sv\_tem\_C}}{A_{stem\_C}} = 15.79 \text{ cm}$$

Separación del acero por temperatura - PANTALLA

$$s_{m\acute{a}x\_tem\_C} := 0.30 \text{ m}$$

Separación máxima acero por temperatura - PANTALLA

$$R_{sm\acute{a}x\_C} := \left\| \begin{array}{l} \text{if } s_{tem\_C} \leq s_{m\acute{a}x\_tem\_C} \\ \quad \left\| \begin{array}{l} \text{"Cumple"} \\ \text{else} \\ \text{"No cumple"} \end{array} \right\| \end{array} \right\| = \text{"Cumple"}$$

Revisión de la separación mínima

$$\phi_{tem\_C} = 12.7 \text{ mm} @ s_{tem\_C} = 15.79 \text{ cm}$$

ARMADO POR TEMPERATURA - CIMENTACIÓN

### d. Revisión por corte

$$V_{u\_C} = 15.212 \text{ tonnef}$$

Cortante actuante sobre la pantalla

$$b = 100 \text{ cm}$$

Ancho de diseño

$$d_C = 101.548 \text{ cm}$$

Peralte efectivo

$$d_{v\_C} := d_C - \frac{a_{2C}}{2} = 100.428 \text{ cm}$$

Peralte de corte efectivo

$$R_{dv\_C} := \left\| \begin{array}{l} \text{if } d_{v\_P} > \max(0.9 \cdot d_C, 0.72 \cdot h_C) \\ \quad \left\| \begin{array}{l} \text{"Cumple"} \\ \text{else} \\ \text{"No cumple"} \end{array} \right\| \end{array} \right\| = \text{"No cumple"}$$

Revisión del peralte de corte efectivo

|| || \*

#### Cálculo de $\beta$

$$\beta_c := \left\| \begin{array}{l} \text{if } l_{tal} < 3 \cdot d_{v\_C} \\ \quad \left\| \begin{array}{l} 2 \\ \text{else} \\ \quad 1.75 \end{array} \right\| \end{array} \right\| = 2$$

$$V_{c\_C} := 0.53 \cdot \sqrt{f'_{c\_adm}} \cdot \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2} \cdot b \cdot d_{v\_C} = 77.133 \text{ tonnef}$$

Cortante resistente del concreto

$$V_{n1\_C} := V_{c\_C} + V_p + V_s = 77.133 \text{ tonnef}$$

Resistencia al cortante I

$$V_{n2\_C} := 0.25 \cdot f'_c \cdot b \cdot d_{v\_C} = 527.245 \text{ tonnef}$$

Resistencia al cortante II

$$V_{N\_C} := \min(V_{n1\_C}, V_{n2\_C}) = 77.133 \text{ tonnef}$$

RESISTENCIA NOMINAL A CORTANTE

$$V_{R\_C} := \phi_v \cdot V_{N\_C} = 69.419 \text{ tonnef}$$

RESISTENCIA REAL AL CORTANTE - CIMENTACIÓN

$$R_{V\_C} := \left\| \begin{array}{l} \text{if } V_{u\_C} < V_{R\_C} \\ \quad \left\| \begin{array}{l} \text{"Cumple"} \\ \text{else} \\ \quad \text{"No cumple"} \end{array} \right\| \end{array} \right\| = \text{"Cumple"}$$

Revisión al cortante

#### 9.4. ARMADO DE LA PUNTA

##### a. Determinación de fuerzas actuantes sobre la punta

##### a.1. . Determinación de fuerzas en la parte inicial de la punta

$$F_{Ti\_R\_D} = -8.679 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

clear ( $F_{Po\_R}$ )

$$F_{Mo\_R} = 226.382 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

Fuerza de reacción producida al final de la punta

$$F_{Po\_R\_D} := \frac{(F_{Mo\_R} - F_{Ti\_R\_D})}{B} \cdot (b_l + b_{pan}) + F_{Ti\_R\_D} = 165.266 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

Fuerza de reacción producida al inicio de la punta

##### a.2. . Determinación de fuerzas en la parte final de la punta

$$F_{Mo\_R} = 226.382 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

Fuerza producida al final de la punta

##### a.3. . Determinación de las fuerzas resultantes actuantes sobre la punta

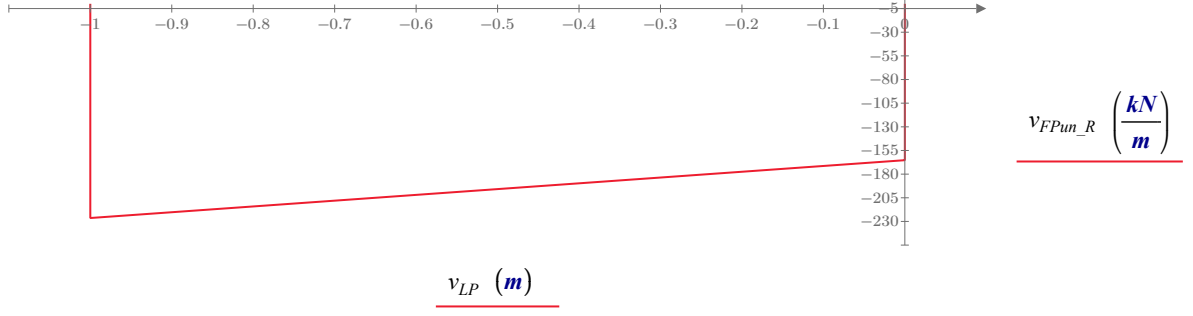
$$v_{LP} := - \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ b_{pun} \\ b_{pun} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ -1 \\ -1 \end{bmatrix} \text{ m}$$

Vector de longitud de la punta

$$v_{FPun\_R} := \begin{bmatrix} 0 \\ -F_{Po\_R\_D} \\ -F_{Mo\_R} \\ 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ -165.266 \\ -226.382 \\ 0 \end{bmatrix} \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

Vector de fuerzas distribuidas - Talón

#### Diagrama de la distribución de fuerzas - Punta



$$int_p := 0.005 \text{ m}$$

$$R_{A\_PUN} := F_{Po\_R\_D} \cdot b_{pun} + \langle F_{Mo\_R} - F_{Po\_R\_D} \rangle \left( \frac{b_{pun}}{2} \right) = 195.824 \text{ kN}$$

$$M_{A\_PUN} := F_{Po\_R\_D} \cdot b_{pun} \cdot \frac{b_{pun}}{2} + \langle F_{Mo\_R} - F_{Po\_R\_D} \rangle \left( \frac{b_{pun}}{2} \right) \cdot \left( \frac{2 \cdot b_{pun}}{3} \right) = 103.005 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$V_{Pun} := \left\| \begin{array}{l} \text{for } i \in 0, 1 \dots \frac{b_{pun}}{int_p} \\ \left\| \begin{array}{l} V_1 \leftarrow F_{Po\_R\_D} \cdot b_{pun} - F_{Po\_R\_D} \cdot \langle int_p \cdot i \rangle \\ V_2 \leftarrow \langle F_{Mo\_R} - F_{Po\_R\_D} \rangle \cdot \frac{\langle b_{pun} \rangle}{2} - \frac{\langle F_{Mo\_R} - F_{Po\_R\_D} \rangle}{2 \cdot b_{pun}} \cdot \langle int_p \cdot i \rangle^2 \\ V_{Pun_i} \leftarrow V_1 + V_2 \end{array} \right\| \\ V_{Pun} \end{array} \right\| = \begin{bmatrix} 195.824 \\ 194.997 \\ 194.168 \\ 193.338 \\ \vdots \end{bmatrix} \text{ kN}$$

$$M_{Pun} := \left\| \begin{array}{l} \text{for } i \in 0, 1 \dots \frac{b_{pun}}{int_p} \\ \left\| \begin{array}{l} M_1 \leftarrow F_{Po\_R\_D} \cdot b_{pun} \cdot \langle int_p \cdot i \rangle - \frac{F_{Po\_R\_D}}{2} \cdot \langle int_p \cdot i \rangle^2 - \frac{F_{Po\_R\_D}}{2} \cdot b_{pun}^2 \\ M_{2\_1} \leftarrow \frac{\langle F_{Mo\_R} - F_{Po\_R\_D} \rangle \cdot b_{pun}}{2} \cdot \langle int_p \cdot i \rangle \\ M_{2\_2} \leftarrow \frac{\langle F_{Mo\_R} - F_{Po\_R\_D} \rangle \cdot \langle int_p \cdot i \rangle^3}{6 \cdot b_{pun}} \\ M_{2\_3} \leftarrow \frac{\langle F_{Mo\_R} - F_{Po\_R\_D} \rangle \cdot b_{pun}^2}{3} \\ M_2 \leftarrow M_{2\_1} - M_{2\_2} - M_{2\_3} \\ M_{Pun_i} \leftarrow \langle M_1 + M_2 \rangle \end{array} \right\| \\ M_{Pun} \end{array} \right\| = \begin{bmatrix} -103.005 \\ -102.028 \\ -101.055 \\ -100.086 \\ \vdots \end{bmatrix} \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$L_{Pun} := \left\| \begin{array}{l} \text{for } i \in 0, 1 \dots \frac{b_{pun}}{int_p} \\ \left\| \begin{array}{l} L_{Pun_i} \leftarrow -\langle int_p \cdot i \rangle \end{array} \right\| \\ L_{Pun} \end{array} \right\| = \begin{bmatrix} 0 \\ -0.005 \\ -0.01 \\ -0.015 \\ -0.02 \\ \vdots \end{bmatrix} \text{ m}$$

$$M_{Pun\_D} := -\min \left( M_{Pun} \right) = 103.005 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

MOMENTO DE DISEÑO PUNTA

$$V_{Pun\_D} := \max \left( V_{Pun} \right) = 195.824 \text{ kN}$$

CORTANTE DE DISEÑO PUNTA

Diagrama de fuerza cortante de diseño - Punta

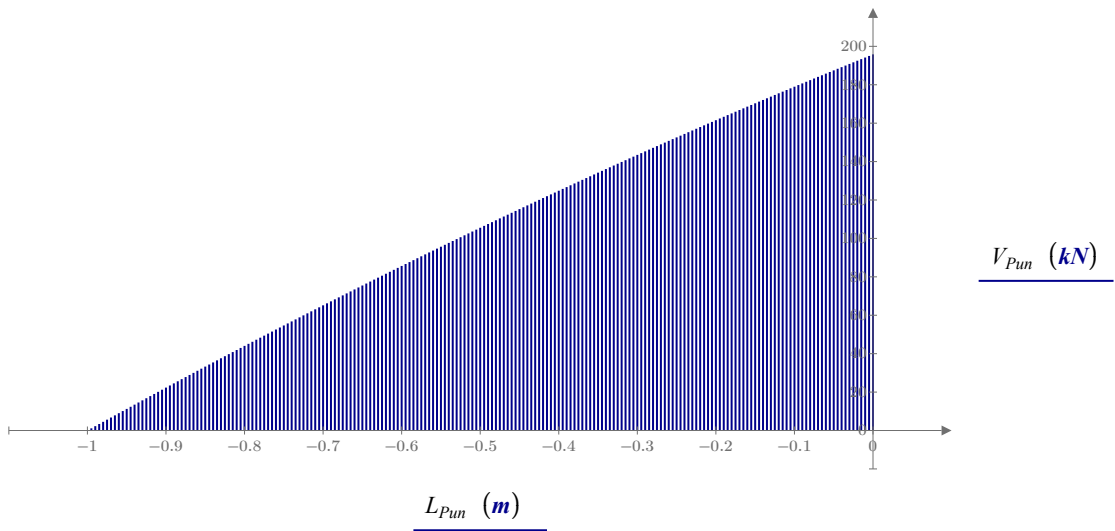
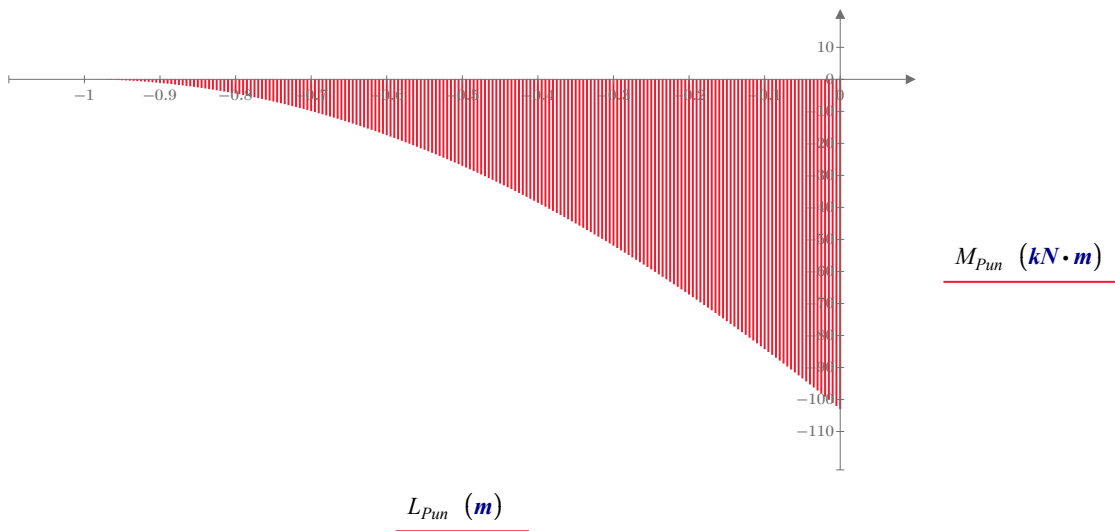


Diagrama de fuerza momento de diseño - Punta



### a.3. DETERMINACIÓN DE LOS MOMENTOS DE DISEÑO

#### a.3.1. DETERMINACIÓN DE LOS MOMENTOS DE DISEÑO- MATERIAL DE FUNDACIÓN

$$V_{pun} := \max \left( V_{Pun} \right) = 195.824 \text{ kN}$$

CORTANTE DE DISEÑO PUNTA

$$M_{pun} := \max \left( M_{Pun} \right) = \left( 3.638 \cdot 10^{-15} \right) \text{ kN} \cdot \text{m}$$

MOMENTO DE DISEÑO PUNTA

### 9.4.1. ARMADOS ESTRUCTURALES - FRENTE DEL ESTRIBO

#### a. Estado límite - Resistencia I

$$M_{uF\_R} := 24.94 \text{ tonnef} \cdot \text{m}$$

MOMENTO ÚLTIMO DE DISEÑO - RESISTENCIA I

$$V_{uF\_R} := 3.98 \text{ tonnef}$$

CORTANTE ÚLTIMO DE DISEÑO - RESISTENCIA I



#### b. Estado límite - Evento Extremo I

$$M_{uF\_E} := 0 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$V_{uF\_E} := 0 \text{ kN}$$

MOMENTO ÚLTIMO DE DISEÑO - EVENTO EXTREMO I

CORTANTE ÚLTIMO DE DISEÑO - EVENTO EXTREMO I

#### c. Momento y cortante de diseño

$$M_{u\_F} := \max(M_{uF\_R}, M_{uF\_E}) = 244.578 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

MOMENTO DE DISEÑO - PANTALLA

$$V_{u\_F} := \max(V_{uF\_R}, V_{uF\_E}) = 39.03 \text{ kN}$$

CORTANTE DE DISEÑO - PANTALLA

#### 9.4.2. Armadores por flexión

$$h_C = 1.1 \text{ m}$$

Altura de la cimentación

$$r_z = 7.5 \text{ cm}$$

Recubrimiento de la zapata

$$\phi_{fz} = 0.9$$

Factor de reducción para la cimentación

$$l_{pun} := 110 \text{ cm}$$

Longitud de la punta

$$\phi_{pun} := \frac{3}{4} \text{ in}$$

Diámetro de las varilla - CIMENTACIÓN

$$A_{sv\_F} := \pi \cdot \frac{(\phi_{pun})^2}{4} = 2.85 \text{ cm}^2$$

Área transversal de cada varilla - CIMENTACIÓN

$$s_C = 29.776 \text{ cm}$$

Separación del acero

$$A_{s\_F} := \frac{A_{sv\_F}}{s_C} = 9.572 \frac{\text{cm}^2}{\text{m}}$$

Cantidad de acero por m lineal

$$z_F := r_z + \frac{\phi_{pun}}{2} = 8.453 \text{ cm}$$

Distancia de la fibra extrema al centroide del acero - CIM..

$$d_F := h_C - z_F = 101.548 \text{ cm}$$

Peralte efectivo - CIMENTACIÓN

$$a_F := \frac{A_{s\_F} \cdot f_y}{0.85 \cdot f'_c \cdot b} \cdot \text{m} = 2.252 \text{ cm}$$

Equilibrio Tracción Compresión

$$M_u := \phi_{fz} \cdot f_y \cdot A_{s\_F} \cdot \left( d_F - \frac{a_F}{2} \right) \cdot \text{m} = 356.332 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

Momento resistente

$$R_{DC\_P} := \frac{M_{u\_F}}{M_u} = 0.686$$

Ratio demanda capacidad para momentos

$$R_{MF} := \begin{cases} \text{if } M_u > M_{u\_F} \\ \quad \parallel \\ \quad \text{"Cumple"} \\ \quad \parallel \\ \text{else} \\ \quad \parallel \\ \quad \text{"No cumple"} \end{cases} = \text{"Cumple"}$$

Revisión que cumple como lo supuesto

#### a.1. Acero máximo

Las actuales disposiciones AASHTO LRFD eliminan este límite

#### a.2. Acero mínimo

Se acuerdo a las disposiciones el acero que se proporciona debe ser capaz de resistir el menor valor de  $M_{cr}$  y  $1.33 \cdot M_u$

a.  $M_{cr}$

$$f_{r\_F} := 2.01 \cdot \sqrt{f'_{c\_adm}} \frac{kgf}{cm^2} = 29.128 \frac{kgf}{cm^2}$$

$$S_{\_F} := b \cdot \frac{h_C^2}{6} = (2.017 \cdot 10^5) \text{ cm}^3$$

$$M_{cr\_F} := 1.1 \cdot f_{r\_C} \cdot S_{\_C} = 64.615 \text{ tonnef} \cdot m$$

b.  $1.33 M_u$

$$1.33 \cdot M_{u\_F} = 33.17 \text{ tonnef} \cdot m$$

$$M_{u\_C} = 36.338 \text{ tonnef} \cdot m$$

$$R_{M\_F} := \left\| \begin{array}{l} \text{if } M_u > \min(M_{cr\_F}, 1.33 M_{u\_F}) \\ \quad \left\| \begin{array}{l} \text{"Cumple"} \\ \text{else} \\ \text{"No cumple"} \end{array} \right\| \end{array} \right\| = \text{"Cumple"}$$

$$\phi_{pun} = 19.05 \text{ mm} \quad s_C = 29.776 \text{ cm}$$

ARMADO POR TEMPERATURA - FRENTE

d. Revisión por corte

$$V_{u\_F} = 3.98 \text{ tonnef}$$

Cortante actuante sobre la pantalla

$$b = 100 \text{ cm}$$

Ancho de diseño

$$d_C = 101.548 \text{ cm}$$

Peralte efectivo

$$d_{v\_F} := d_C - \frac{a_F}{2} = 100.421 \text{ cm}$$

Peralte de corte efectivo

$$R_{dv\_F} := \left\| \begin{array}{l} \text{if } d_{v\_F} > \max(0.9 \cdot d_C, 0.72 \cdot h_C) \\ \quad \left\| \begin{array}{l} \text{"Cumple"} \\ \text{else} \\ \text{"No cumple"} \end{array} \right\| \end{array} \right\| = \text{"Cumple"}$$

Revisión del peralte de corte efectivo

Cálculo de  $\beta$

$$\beta_F := \left\| \begin{array}{l} \text{if } l_{pun} < 3 \cdot d_{v\_F} \\ \quad \left\| \begin{array}{l} 2 \\ \text{else} \\ 1.75 \end{array} \right\| \end{array} \right\| = 2$$

$$V_{c\_F} := 0.53 \cdot \sqrt{f'_{c\_adm}} \cdot \frac{kgf}{cm^2} \cdot b \cdot d_{v\_F} = 77.128 \text{ tonnef}$$

Cortante resistente del concreto

$$V_{n1\_F} := V_{c\_F} + V_p + V_s = 77.128 \text{ tonnef}$$

Resistencia al cortante I

$$V_{n2\_F} := 0.25 \cdot f'_c \cdot b \cdot d_{v\_F} = 527.212 \text{ tonnef}$$

Resistencia al cortante II

$$V_{N\_F} := \min(V_{n1\_F}, V_{n2\_F}) = 77.128 \text{ tonnef}$$

RESISTENCIA NOMINAL A CORTANTE

$$V_{R\_F} := \phi_v \cdot V_{N\_F} = 69.415 \text{ tonnef}$$

RESISTENCIA REAL AL CORTANTE - CIMENTACIÓN

$$R_{V\_F} := \left\| \begin{array}{l} \text{if } V_{u\_F} < V_{R\_F} \\ \quad \left\| \begin{array}{l} \text{"Cumple"} \\ \text{else} \end{array} \right\| \end{array} \right\| = \text{"Cumple"}$$

Revisión al cortante

|| || “No cumple” ||

## DISEÑO DE MUROS DE CONTENCIÓN - GRAVEDAD

### 1. DATOS DE ENTRADA

#### 1.1. Datos del muro

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |                                                     |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------|
| $\gamma_H := 23.58 \frac{kN}{m^3}$                                                                                                                                                                                                                                                                              | Densidad del material del muro                      |
| $H := 5 \text{ m}$                                                                                                                                                                                                                                                                                              | Altura - Pantalla                                   |
| $h_b := 1.2 \text{ m}$                                                                                                                                                                                                                                                                                          | Altura - Base                                       |
| $b_{pun} := 1 \text{ m}$                                                                                                                                                                                                                                                                                        | Base - Punta                                        |
| $b_{pan} := 0.5 \text{ m}$                                                                                                                                                                                                                                                                                      | Base - Pantalla                                     |
| $e_c := 0.3 \text{ m}$                                                                                                                                                                                                                                                                                          | Espesor - Corona                                    |
| $b_e := 0.3 \text{ m}$                                                                                                                                                                                                                                                                                          | Base - Espuelón                                     |
| $b_t := 3.2 \text{ m}$                                                                                                                                                                                                                                                                                          | Base - Talón                                        |
| $\alpha_R := 10^\circ$                                                                                                                                                                                                                                                                                          | Ángulo de inclinación del terreno con la horizontal |
| $h_R := (b_t + b_e) \cdot \sin(\alpha_R) = 0.608 \text{ m}$                                                                                                                                                                                                                                                     | Altura del relleno inclinado                        |
| $B := b_{pun} + b_{pan} + b_e + e_c + b_t = 5.3 \text{ m}$                                                                                                                                                                                                                                                      | Base - Muro                                         |
| $H_T := H + h_b = 6.2 \text{ m}$                                                                                                                                                                                                                                                                                | Altura total del muro desde el cimiento             |
| $h_{eq} := \begin{cases} \text{if } H \leq 5 \text{ ft} \\ \quad \parallel h_{eq} \leftarrow 4 \text{ ft} \\ \text{else if } 5 \text{ ft} < H < 20 \text{ ft} \\ \quad \parallel h_{eq} \leftarrow 3 \text{ ft} \\ \text{else} \\ \quad \parallel h_{eq} \leftarrow 2 \text{ ft} \end{cases} = 0.914 \text{ m}$ | Altura equivalente de la carga viva                 |

#### 1.2. DATOS DE LA TIERRA DESESTABILIZANTE Y ESTABILIZANTE

|                                                                    |                                                             |
|--------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------|
| $\gamma_F := 19 \frac{kN}{m^3}$                                    | Densidad - Suelo de fundación                               |
| $\phi_F := 20^\circ$                                               | Ángulo de fricción - Suelo de fundación                     |
| $c_F := 40 \frac{kN}{m^2}$                                         | Cohesión - Suelo de fundación                               |
| $\gamma_E := 18 \frac{kN}{m^3}$                                    | Densidad - Material de Empuje                               |
| $\phi_E := 30^\circ$                                               | Ángulo de fricción - Material de Empuje                     |
| $c_E := 0 \frac{kN}{m^2}$                                          | Cohesión - Material de Empuje                               |
| $h_{eq} = 0.914 \text{ m}$                                         | Altura equivalente - Carga Viva                             |
| $q_u := 7.5 \frac{kgf}{cm^2}$                                      | Presión admisible - Suelo de fundación                      |
| $\phi_{qu} := 0.65$                                                | Factor de reducción última del suelo                        |
| $\mu := \tan\left(\frac{2}{3} \cdot \phi_F\right) = 0.237$         | Coefficiente de fricción - Suelo de fundación               |
| $D := 1.7 \text{ m}$                                               | Profundidad de desplante - Suelo de fundación               |
| $k_{pFR} := \tan\left(45^\circ + \frac{\phi_F}{2}\right)^2 = 2.04$ | Coefficiente de empuje pasivo de tierra - Fundación Rankine |

$$\phi_T := 0.9$$

$$\phi_{ep} := 0.5$$

Factor de reducción de resistencia - Deslizamiento

Factor de reducción de resistencia - Tierra pasiva

$$k_{aER} := \cos(\alpha_R) \cdot \frac{\cos(\alpha_R) - \sqrt{(\cos(\alpha_R))^2 - (\cos(\phi_E))^2}}{\cos(\alpha_R) + \sqrt{(\cos(\alpha_R))^2 - (\cos(\phi_E))^2}} = 0.35$$

Coficiente de empuje activo de tierra -  
Empuje Rankine - INCLINADO

$$k_{pER} := \cos(\alpha_R) \cdot \frac{\cos(\alpha_R) + \sqrt{(\cos(\alpha_R))^2 - (\cos(\phi_E))^2}}{\cos(\alpha_R) - \sqrt{(\cos(\alpha_R))^2 - (\cos(\phi_E))^2}} = 2.775$$

Coficiente de empuje activo de tierra -  
Empuje Rankine - INCLINADO

### 1.3. ESQUEMA DEL MURO

#### a. Coordenadas de dibujo del muro

$$c_{xM} := \begin{bmatrix} 0 \\ B \\ B \\ B - b_t \\ B - b_t - b_e \\ B - b_t - b_e - e_c \\ b_{pun} \\ 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 5.3 \\ 5.3 \\ 2.1 \\ 1.8 \\ 1.5 \\ 1 \\ 0 \end{bmatrix} \text{ m}$$

$$c_{yM} := \begin{bmatrix} -h_b \\ -h_b \\ 0 \\ 0 \\ H \\ H \\ 0 \\ 0 \\ -h_b \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -1.2 \\ -1.2 \\ 0 \\ 0 \\ 5 \\ 5 \\ 0 \\ 0 \\ -1.2 \end{bmatrix} \text{ m}$$

#### b. Coordenadas de dibujo del material de desplante

$$int_T := 0.1 \text{ m}$$

Intervalo de dibujo de la tierra

$$c_{xD} := \left\| \begin{array}{l} \text{for } i \in 0, 1 \dots \frac{b_{pun}}{int_T} \\ \left\| c_{xD_i} \leftarrow int_T \cdot i \right\| \\ c_{xD} \end{array} \right\| = \begin{bmatrix} 0 \\ 0.1 \\ 0.2 \\ 0.3 \\ \vdots \end{bmatrix} \text{ m}$$

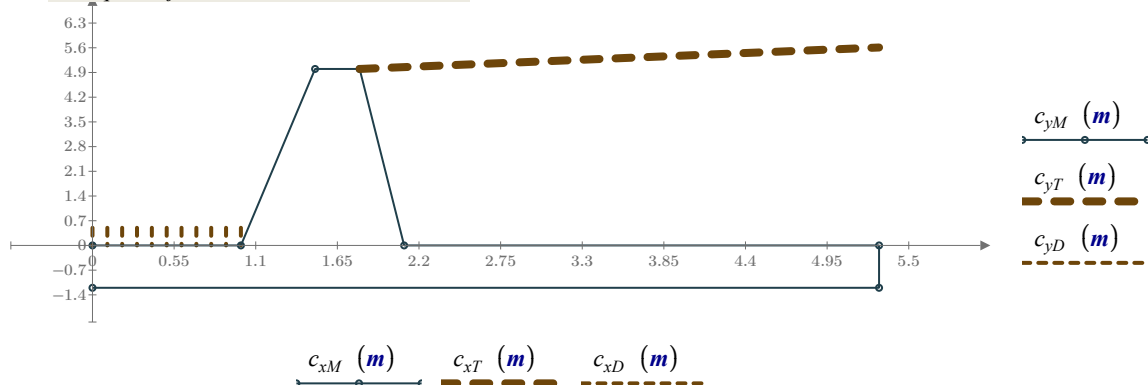
$$c_{yT} := \left\| \begin{array}{l} \text{for } i \in 0, 1 \dots \frac{b_t + b_e}{int_T} \\ \left\| c_{yT_i} \leftarrow H + int_T \cdot i \cdot \sin(\alpha_R) \right\| \\ c_{yT} \end{array} \right\| = \begin{bmatrix} 5 \\ 5.017 \\ 5.035 \\ 5.052 \\ \vdots \end{bmatrix} \text{ m}$$

#### c. Coordenadas de dibujo del material de empuje

$$c_{yD} := \left\| \begin{array}{l} \text{for } i \in 0, 1 \dots \frac{b_{pun}}{int_T} \\ \left\| c_{yD_i} \leftarrow D - h_b \right\| \\ c_{yD} \end{array} \right\| = \begin{bmatrix} 0.5 \\ 0.5 \\ 0.5 \\ 0.5 \\ \vdots \end{bmatrix} \text{ m}$$

$$c_{xT} := \left\| \begin{array}{l} \text{for } i \in 0, 1 \dots \frac{b_t + b_e}{int_T} \\ \left\| c_{xT_i} \leftarrow b_{pun} + b_{pan} + e_c + int_T \cdot i \right\| \\ c_{xT} \end{array} \right\| = \begin{bmatrix} 1.8 \\ 1.9 \\ 2 \\ 2.1 \\ \vdots \end{bmatrix} \text{ m}$$

#### d. Esquema final del muro - Gravedad



## 2. FUERZAS ACTUANTES SOBRE EL MURO

### 2.1. FUERZAS DESESTABILIZANTES

#### 2.1.1. FUERZA - EMPUJE LATERAL DE LA TIERRA - EH

$$H' := H + h_R + h_b = 6.808 \text{ m}$$

Altura - Efectiva presión lateral de tierra

$$P_a := \frac{1}{2} \cdot k_{aER} \cdot \gamma_E \cdot H'^2 \cdot 1 \text{ m} = 145.789 \text{ kN}$$

Resultante - Empuje lateral

$$P_v := P_a \cdot \sin(\alpha_R) = 25.316 \text{ kN}$$

Fuerza desestabilizante - Vertical

$$P_h := P_a \cdot \cos(\alpha_R) = 143.574 \text{ kN}$$

Fuerza desestabilizante - Horizontal

$$F_{EH} := P_h = 143.574 \text{ kN}$$

FUERZA - EMPUJE HORIZONTAL - EH

$$M_{EH} := P_h \cdot \left( \frac{1}{3} \cdot H' \right) = 325.806 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

MOMENTO- EMPUJE HORIZONTAL - EH

$$F_{EHv} := P_v = 25.316 \text{ kN}$$

FUERZA - EMPUJE HORIZONTAL - EHv

$$M_{EHv} := P_v \cdot B = 134.175 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

MOMENTO- EMPUJE HORIZONTAL - EHv

#### 2.1.2. FUERZA - EMPUJE LATERAL DE LA CARGA VIVA - LL

$$F_{LLH} := H' \cdot k_{aER} \cdot h_{eq} \cdot \gamma_E \cdot 1 \text{ m} = 39.164 \text{ kN}$$

FUERZA - CARGA VIVA - LL - Horizontal

$$M_{LLH} := F_{LLH} \cdot \frac{H'}{2} = 133.309 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

MOMENTO - CARGA VIVA - LL - Horizontal

$$F_{LLV} := (b_t + b_e) \cdot h_{eq} \cdot \gamma_E \cdot 1 \text{ m} = 57.607 \text{ kN}$$

FUERZA - CARGA VIVA - LL - Vertical

$$M_{LLV} := F_{LLV} \cdot \left( B - \frac{b_t + b_e}{2} \right) = 204.506 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

MOMENTO - CARGA VIVA - LL - Vertical

### 2.2. FUERZAS ESTABILIZANTES

#### 3.2.1. PESO PROPIO DEL MURO

$$\#_{FIGM} := \begin{bmatrix} \text{"1 - Base"} \\ \text{"2 - Pantalla Frontal"} \\ \text{"3 - Pantalla Central"} \\ \text{"4. Espuelón"} \end{bmatrix}$$

Nombre de la figura - Base

Nombre de la figura - Pantalla frontal

Nombre de la figura - Pantalla central

**Nota:** Este muro si cuenta con espuelón

$$h_M := \begin{bmatrix} h_b \\ H \\ H \\ H \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1.2 \\ 5 \\ 5 \\ 5 \end{bmatrix} \text{ m}$$

Altura de la figura - Base

Altura de la figura - Pantalla frontal

Altura de la figura - Pantalla central

**Nota:** Este muro si cuenta con espuelón

$$b_M := \begin{bmatrix} B \\ b_{pan} \\ e_c \\ b_e \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 5.3 \\ 0.5 \\ 0.3 \\ 0.3 \end{bmatrix} \text{ m}$$

Base de la figura - Base

Base de la figura - Pantalla frontal

Base de la figura - Pantalla central

**Nota:** Este muro si cuenta con espuelón

$$a_M := \begin{bmatrix} h_{M_0} \cdot b_{M_0} \\ b_{M_1} \\ h_{M_1} \cdot \frac{b_{M_1}}{2} \\ h_{M_2} \cdot b_{M_2} \\ b_{M_3} \\ h_{M_3} \cdot \frac{b_{M_3}}{2} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 6.36 \\ 1.25 \\ 1.5 \\ 0.75 \end{bmatrix} \text{ m}^2$$

Área de la figura - Base

Área de la figura - Pantalla frontal

Área de la figura - Pantalla central

**Nota:** Este muro si cuenta con espuelón

$$c_{GM} := \begin{bmatrix} \frac{B}{2} \\ b_{pun} + \frac{2}{3} \cdot b_{pan} \\ b_{pun} + b_{pan} + \frac{e_c}{2} \\ B - \frac{2}{3} \cdot b_e - b_t \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 2.65 \\ 1.333 \\ 1.65 \\ 1.9 \end{bmatrix} \text{ m}$$

$$F_{RM} := \begin{bmatrix} a_{M_0} \\ a_{M_1} \\ a_{M_2} \\ a_{M_3} \end{bmatrix} \cdot \gamma_H \cdot 1 \text{ m} = \begin{bmatrix} 149.969 \\ 29.475 \\ 35.37 \\ 17.685 \end{bmatrix} \text{ kN}$$

$$M_{RM} := \overrightarrow{(F_{RM} \cdot c_{GM})} = \begin{bmatrix} 397.417 \\ 39.3 \\ 58.361 \\ 33.602 \end{bmatrix} \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$F_{DC} := \sum F_{RM} = 232.499 \text{ kN}$$

$$M_{DC} := \sum M_{RM} = 528.679 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

Centro de gravedad de la figura - Base

Centro de gravedad de la figura - Pantalla frontal

Centro de gravedad de la figura - Pantalla central

**Nota:** Este muro si cuenta con espuelón

Fuerza resistente de la figura - Base

Fuerza resistente de la figura - Pantalla frontal

Fuerza resistente de la figura - Pantalla central

**Nota:** Este muro si cuenta con espuelón

Momento resistente de la figura - Base

Momento resistente de la figura - Pantalla frontal

Momento resistente de la figura - Pantalla central

**Nota:** Este muro si cuenta con espuelón

### 3.2.2. TIERRA ESTABILIZANTE

$$\#_{FIGT} := \begin{bmatrix} \text{"1 - Talón"} \\ \text{"2 Espuelón"} \\ \text{"3 - Relleno inclinado"} \\ \text{"4 - Punta"} \\ \text{"5 - Pv"} \end{bmatrix}$$

$$h_T := \begin{bmatrix} H \\ H \\ (b_t + b_e) \cdot \sin(\alpha_R) \\ D - h_b \\ 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 5 \\ 5 \\ 0.608 \\ 0.5 \\ 0 \end{bmatrix} \text{ m}$$

$$b_T := \begin{bmatrix} b_t \\ b_e \\ b_t + b_e \\ b_{pun} \\ 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 3.2 \\ 0.3 \\ 3.5 \\ 1 \\ 0 \end{bmatrix} \text{ m}$$

$$\begin{bmatrix} h_{T_0} \cdot b_{T_0} \\ b_{T_1} \\ h_{T_1} \cdot \frac{1}{2} \end{bmatrix}$$

Nombre de la figura - Tierra - Talón

**Nota:** Este muro si cuenta con espuelón

Nombre de la figura - Tierra - Relleno inclinado

Nombre de la figura - Tierra - Punta

**Nota:** Fuerza material de empuje - Componente vertical

Altura de la figura - Tierra - Talón

**Nota:** Este muro no cuenta con espuelón

Altura de la figura - Tierra - Relleno inclinado

Altura de la figura - Tierra - Desplante

**Nota:** La fuerza Pv solo se compone de la formulación

Base de la figura - Tierra - Talón

**Nota:** Este muro si cuenta con espuelón

Base de la figura - Tierra - Relleno inclinado

Base de la figura - Tierra - Punta

**Nota:** La fuerza Pv solo se compone de la formulación

Área de la figura - Tierra - Talón

**Nota:** Este muro no cuenta con espuelón

$$a_T := \begin{bmatrix} \frac{b_{T_2}}{2} \\ h_{T_2} \cdot \frac{b_{T_2}}{2} \\ h_{T_3} \cdot b_{T_3} \\ h_{T_4} \cdot b_{T_4} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 16 \\ 0.75 \\ 1.064 \\ 0 \end{bmatrix} \text{ m}^2$$

Área de la figura - Tierra - Relleno inclinado

Área de la figura - Tierra - Punta

**Nota:** La fuerza  $P_v$  solo se compone de la formulación

$$c_{GT} := \begin{bmatrix} B - \frac{b_l}{2} \\ B - b_l - \frac{2}{3} \cdot b_e \\ B - \left( \frac{1}{3} \cdot (b_l + b_e) \right) \\ \frac{b_{pun}}{2} \\ B \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 3.7 \\ 1.9 \\ 4.133 \\ 0.5 \\ 5.3 \end{bmatrix} \text{ m}$$

Centro de gravedad de la figura - Tierra - Talón

**Nota:** Este muro no cuenta con espuelón

Centro de gravedad de la figura - Tierra - Relleno inclinado

Centro de gravedad de la figura - Tierra - Punta

**Nota:** Ubicación de la fuerza por el material de empuje - Componente vertical

$$F_{RT} := \begin{bmatrix} a_{T_0} \\ a_{T_1} \\ a_{T_2} \\ a_{T_3} \\ P_v \cdot \frac{1}{m \cdot \gamma_E} \end{bmatrix} \cdot \gamma_E \cdot 1 \text{ m} = \begin{bmatrix} 288 \\ 13.5 \\ 19.145 \\ 9 \\ 25.316 \end{bmatrix} \text{ kN}$$

Fuerza resistente de la figura - Tierra - Talón

**Nota:** Este muro no cuenta con espuelón

Fuerza resistente de la figura - Tierra - Relleno

Fuerza resistente de la figura - Tierra - Punta

**Nota:** Fuerza resistente - Material de empuje - Componente vertical

$$M_{RT} := \overrightarrow{(F_{RT} \cdot c_{GT})} = \begin{bmatrix} 1.066 \cdot 10^3 \\ 25.65 \\ 79.131 \\ 4.5 \\ 134.175 \end{bmatrix} \text{ kN} \cdot \text{m}$$

Momento resistente de la figura - Tierra - Talón

**Nota:** Este muro no cuenta con espuelón

Momento resistente de la figura - Tierra - Relleno

Momento resistente de la figura - Tierra - Punta

**Nota:** Momento resistente - Material de empuje - Componente vertical

$$F_{EV} := \sum F_{RT} = 354.961 \text{ kN}$$

$$M_{EV} := \sum M_{RT} = (1.309 \cdot 10^3) \text{ kN} \cdot \text{m}$$

FUERZA - EMPUJE VERTICAL - EV

MOMENTO - EMPUJE VERTICAL - EV

## 2.2.3. TIERRA DESPLANTE

$$c_{FR} := c_F \cdot 0 = 0 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

Cohesión real del suelo de fundación - Conservadora

$$F_{Pp} := \frac{1}{2} \cdot k_{pFR} \cdot \gamma_F \cdot D^2 \cdot 1 \text{ m} + 2 \cdot c_{FR} \cdot \sqrt{k_{pFR}} \cdot D \cdot 1 \text{ m} = 55.997 \text{ kN}$$

FUERZA PASIVA SOBRE LA PUNTA - Pp

$$M_{Pp} := F_{Pp} \cdot \left( \frac{1}{3} \right) \cdot D = 31.732 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

MOMENTO PASIVO SOBRE LA PUNTA - Pp



### 3. RESUMEN DE FUERZAS ESTABILIZANTES Y DESESTABILIZANTES - CASO ESTÁTICO

$$F_{DC} = 232.499 \text{ kN}$$

FUERZA CARGA MUERTA - DC

$$M_{DC} = 528.679 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

MOMENTO CARGA MUERTA - DC

$$F_{EV} = 354.961 \text{ kN}$$

FUERZA - EMPUJE VERTICAL - EV

$$M_{EV} = 1309.056 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

MOMENTO - EMPUJE VERTICAL - EV

$$F_{EH} = 143.574 \text{ kN}$$

FUERZA - EMPUJE HORIZONTAL - EH

$$M_{EH} = 325.806 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

MOMENTO- EMPUJE HORIZONTAL - EH

$$F_{Pp} = 55.997 \text{ kN}$$

FUERZA PASIVA SOBRE LA PUNTA - Pp

$$M_{Pp} = 31.732 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

MOMENTO PASIVO SOBRE LA PUNTA - Pp

$$F_{LLH} = 39.164 \text{ kN}$$

FUERZA - CARGA VIVA - LL - Horizontal

$$M_{LLH} = 133.309 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

MOMENTO - CARGA VIVA - LL - Horizontal

$$F_{LLV} = 57.607 \text{ kN}$$

FUERZA - CARGA VIVA - LL - Vertical

$$M_{LLV} = 204.506 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

MOMENTO - CARGA VIVA - LL - Vertical

### 4. PLANTEAMIENTO DE COMBINACIONES DE CARGA (LRFD) Y ESTADOS LÍMITE (ASD)

#### 4.1. COMBINACIONES DE CARGA RESISTENCIA I - AASTHO

|          | “Strength I” | “DC” | “EH” | “EV” | “LLh” | “LLv” | “EQ(PAE)” | “EQ(PIR)” | Comb. Servicio - Resistencia I |
|----------|--------------|------|------|------|-------|-------|-----------|-----------|--------------------------------|
| $S_I :=$ | “S”          | 1    | 1    | 1    | 1     | 1     | 0         | 0         | Comb. 1 - Resistencia I        |
|          | 1            | 0.9  | 1.5  | 1    | 1.75  | 1.75  | 0         | 0         | Comb. 2 - Resistencia I        |
|          | 2            | 1.25 | 1.5  | 1    | 1.75  | 1.75  | 0         | 0         | Comb. 3 - Resistencia I        |
|          | 3            | 0.9  | 1.5  | 1.35 | 1.75  | 1.75  | 0         | 0         | Comb. 4 - Resistencia I        |
|          | 4            | 0.9  | 1    | 1.35 | 1.75  | 1.75  | 0         | 0         | Comb. 5 - Resistencia I        |
|          | 5            | 1.25 | 1.5  | 1.35 | 1.75  | 1.75  | 0         | 0         | Comb. 6 - Resistencia I        |
|          | 6            | 1.25 | 1    | 1.35 | 1.75  | 0     | 0         | 0         | Comb. 6 - Resistencia I        |
|          | 7            | 1.25 | 1.5  | 1    | 1.75  | 0     | 0         | 0         | Comb. 7 - Resistencia I        |

#### 4.2. COMBINACIONES DE CARGA - RESISTENCIA II - AASTHO

|             | “Strength I” | “DC” | “EH” | “EV” | “LLh” | “LLv” | “EQ(PAE)” | “EQ(PIR)” | Comb. Servicio - Resistencia II |
|-------------|--------------|------|------|------|-------|-------|-----------|-----------|---------------------------------|
| $S_{II} :=$ | “S”          | 1    | 1    | 1    | 1     | 1     | 0         | 0         | Comb. 1 - Resistencia II        |
|             | 1            | 0.9  | 1.5  | 1    | 1.35  | 1.35  | 0         | 0         | Comb. 2 - Resistencia II        |
|             | 2            | 1.25 | 1.5  | 1    | 1.35  | 1.35  | 0         | 0         | Comb. 3 - Resistencia II        |
|             | 3            | 0.9  | 1.5  | 1.35 | 1.35  | 1.35  | 0         | 0         | Comb. 4 - Resistencia II        |
|             | 4            | 0.9  | 1    | 1.35 | 1.35  | 1.35  | 0         | 0         | Comb. 5 - Resistencia II        |
|             | 5            | 1.25 | 1.5  | 1.35 | 1.35  | 1.35  | 0         | 0         | Comb. 6 - Resistencia II        |
|             | 6            | 1.25 | 1    | 1.35 | 1.35  | 0     | 0         | 0         | Comb. 6 - Resistencia II        |
|             | 7            | 1.25 | 1.5  | 1    | 1.35  | 0     | 0         | 0         | Comb. 6 - Resistencia II        |

#### 4.3. COMBINACIONES DE CARGA - EVENTO EXTREMO I - AASTHO

|           | “Strength I” | “DC” | “EH” | “EV” | “LLh” | “LLv” | “EQ(PAE)” | “EQ(PIR)” | Comb. 1 - Evento Extr. I |
|-----------|--------------|------|------|------|-------|-------|-----------|-----------|--------------------------|
| $EX_I :=$ | 1            | 1    | 1    | 1    | 0     | 0     | 0.5       | 1         | Comb. 2 - Evento Extr. I |
|           | 2            | 1    | 1    | 1    | 0     | 0     | 1         | 0.5       | Comb. 3 - Evento Extr. I |
|           | 3            | 1    | 1    | 1    | 1     | 0     | 0.5       | 1         | Comb. 4 - Evento Extr. I |
|           | 4            | 1    | 1    | 1    | 1     | 0     | 1         | 0.5       | Comb. 5 - Evento Extr. I |
|           | 5            | 1    | 1    | 1    | 1     | 1     | 0.5       | 1         | Comb. 6 - Evento Extr. I |
|           | 6            | 1    | 1    | 1    | 1     | 1     | 1         | 0.5       | Comb. 6 - Evento Extr. I |

#### 4.4. ESTADOS LÍMITE - LRFD - ASD

$$LRFD_{AASHTO} := \begin{bmatrix} \text{"Volteo"} & \text{"Excentricidad"} & \text{"Capacidad Portante"} & \text{"Deslizamiento"} \\ 1 & \frac{B}{6} & 1 & 1 \end{bmatrix} \quad \begin{matrix} \text{Estado límite - AASHTO} \\ \text{Estático} \end{matrix}$$

$$LRFD_{AASHTO\_SIS} := \begin{bmatrix} \text{"Volteo"} & \text{"Excentricidad"} & \text{"Capacidad Portante"} & \text{"Deslizamiento"} \\ 1 & \frac{B}{4} & 1 & 1 \end{bmatrix} \quad \begin{matrix} \text{Estado límite - AASHTO} \\ \text{Sísmico} \end{matrix}$$

$$ASD_{NEC} := \begin{bmatrix} \text{"Volteo"} & \text{"Excentricidad"} & \text{"Capacidad Portante"} & \text{"Deslizamiento"} \\ 3 & \frac{B}{6} & 3 & 1.6 \end{bmatrix} \quad \begin{matrix} \text{Estado límite - NEC -} \\ \text{Estático} \end{matrix}$$

$$ASD_{NEC\_SIS} := \begin{bmatrix} \text{"Volteo"} & \text{"Excentricidad"} & \text{"Capacidad Portante"} & \text{"Deslizamiento"} \\ 2 & \frac{B}{4} & 1.5 & 1.05 \end{bmatrix} \quad \begin{matrix} \text{Estado límite - NEC -} \\ \text{Sísmico} \end{matrix}$$

### 5. REVISIÓN A LA CONDICIÓN DE ESTABILIDAD

#### 5.1. REVISIÓN A LA CONDICIÓN DE ESTABILIDAD - LRFD

##### 5.1.1. REVISIÓN A LA CONDICIÓN DE ESTABILIDAD - LRFD - STRENGTH I

###### a. Volteo

$$\#_{com} := \begin{bmatrix} \text{"S"} \\ \text{"1"} \\ \text{"2"} \\ \text{"3"} \\ \text{"4"} \\ \text{"5"} \\ \text{"6"} \\ \text{"7"} \end{bmatrix} \quad \begin{matrix} \text{Comb. Servicio - Resistencia I} \\ \text{Comb. 1 - Resistencia I} \\ \text{Comb. 2 - Resistencia I} \\ \text{Comb. 3 - Resistencia I} \\ \text{Comb. 4 - Resistencia I} \\ \text{Comb. 5 - Resistencia I} \\ \text{Comb. 6 - Resistencia I} \\ \text{Comb. 7 - Resistencia I} \end{matrix}$$

$$M_{UVI} := M_{EH} \cdot S_{-f^{(2)}} + M_{LLH} \cdot S_{-f^{(4)}} = \begin{bmatrix} 459.115 \\ 722 \\ 722 \\ 722 \\ 559.097 \\ 722 \\ 559.097 \\ 722 \end{bmatrix} \text{ kN} \cdot \text{m} \quad \begin{matrix} \text{Momento último - Comb. S Resis. 1} \\ \text{Momento último - Comb. 1 Resis. 1} \\ \text{Momento último - Comb. 2 Resis. 1} \\ \text{Momento último - Comb. 3 Resis. 1} \\ \text{Momento último - Comb. 4 Resis. 1} \\ \text{Momento último - Comb. 5 Resis. 1} \\ \text{Momento último - Comb. 6 Resis. 1} \\ \text{Momento último - Comb. 7 Resis. 1} \end{matrix}$$

$$M_{RVI} := M_{DC} \cdot S_{-f^{(1)}} + M_{EV} \cdot S_{-f^{(3)}} + M_{PP} \cdot S_{-f^{(2)}} + M_{LLV} \cdot S_{-f^{(5)}} = \begin{bmatrix} 2073.973 \\ 2190.35 \\ 2375.388 \\ 2648.519 \\ 2632.654 \\ 2833.557 \\ 2459.807 \\ 2017.503 \end{bmatrix} \text{ kN} \cdot \text{m} \quad \begin{matrix} M_{om} R_{es} - \text{Comb. S Resis. 1} \\ M_{om} R_{es} - \text{Comb. 1 Resis. 1} \\ M_{om} R_{es} - \text{Comb. 2 Resis. 1} \\ M_{om} R_{es} - \text{Comb. 3 Resis. 1} \\ M_{om} R_{es} - \text{Comb. 4 Resis. 1} \\ M_{om} R_{es} - \text{Comb. 5 Resis. 1} \\ M_{om} R_{es} - \text{Comb. 6 Resis. 1} \\ M_{om} R_{es} - \text{Comb. 7 Resis. 1} \end{matrix}$$

$$R_{DCVI} := \left( \frac{M_{UVI}}{M_{RVI}} \right) = \begin{bmatrix} 0.221 \\ 0.33 \\ 0.304 \\ 0.273 \\ 0.212 \\ 0.255 \\ 0.227 \\ 0.358 \end{bmatrix}$$

Ratio demanda capacidad - Volteo - LRFD - Comb. S - RI  
 Ratio demanda capacidad - Volteo - LRFD - Comb. 1 - RI  
 Ratio demanda capacidad - Volteo - LRFD - Comb. 2 - RI  
 Ratio demanda capacidad - Volteo - LRFD - Comb. 3 - RI  
 Ratio demanda capacidad - Volteo - LRFD - Comb. 4 - RI  
 Ratio demanda capacidad - Volteo - LRFD - Comb. 5 - RI  
 Ratio demanda capacidad - Volteo - LRFD - Comb. 6 - RI  
 Ratio demanda capacidad - Volteo - LRFD - Comb. 7 - RI

### b. Excentricidad

$$e_{max\_est} := LRFD_{AASHTO_{1,1}} = 0.883 \text{ m}$$

Excentricidad máxima - Condición estática

$$FV_{EI} := F_{DC} \cdot S_{\underline{f}^{(1)}} + F_{EV} \cdot S_{\underline{f}^{(3)}} + F_{LLV} \cdot S_{\underline{f}^{(5)}} = \begin{bmatrix} 645.067 \\ 665.022 \\ 746.397 \\ 789.258 \\ 789.258 \\ 870.633 \\ 769.82 \\ 645.584 \end{bmatrix} \text{ kN}$$

Fuerza vertical estabilizante - Comb. S - SI  
 Fuerza vertical estabilizante - Comb. 1 - SI  
 Fuerza vertical estabilizante - Comb. 2 - SI  
 Fuerza vertical estabilizante - Comb. 3 - SI  
 Fuerza vertical estabilizante - Comb. 4 - SI  
 Fuerza vertical estabilizante - Comb. 5 - SI  
 Fuerza vertical estabilizante - Comb. 6 - SI  
 Fuerza vertical estabilizante - Comb. 7 - SI

$$e_{EI} := \frac{B}{2} - \left( \frac{M_{RVI} - M_{UVI}}{FV_{EI}} \right) = \begin{bmatrix} 0.147 \\ 0.442 \\ 0.435 \\ 0.209 \\ 0.023 \\ 0.225 \\ 0.181 \\ 0.643 \end{bmatrix} \text{ m}$$

Excentricidad - Comb. S - SI  
 Excentricidad - Comb. 1 - SI  
 Excentricidad - Comb. 2 - SI  
 Excentricidad - Comb. 3 - SI  
 Excentricidad - Comb. 4 - SI  
 Excentricidad - Comb. 5 - SI  
 Excentricidad - Comb. 6 - SI  
 Excentricidad - Comb. 7 - SI

$$R_{DCEI} := \frac{e_{EI}}{e_{max\_est}} = \begin{bmatrix} 0.166 \\ 0.5 \\ 0.492 \\ 0.237 \\ 0.026 \\ 0.254 \\ 0.205 \\ 0.728 \end{bmatrix}$$

Ratio demanda capacidad - Excentricidad- LRFD - Comb. S - SI  
 Ratio demanda capacidad - Excentricidad- LRFD - Comb. 1 - SI  
 Ratio demanda capacidad - Excentricidad- LRFD - Comb. 2 - SI  
 Ratio demanda capacidad - Excentricidad- LRFD - Comb. 3 - SI  
 Ratio demanda capacidad - Excentricidad- LRFD - Comb. 4 - SI  
 Ratio demanda capacidad - Excentricidad- LRFD - Comb. 5 - SI  
 Ratio demanda capacidad - Excentricidad- LRFD - Comb. 6 - SI  
 Ratio demanda capacidad - Excentricidad- LRFD - Comb. 7 - SI

### c. Capacidad Portante

$$q_u = 7.5 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$$

Capacidad última admisible kgf/cm2

$$q_u = 735.499 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

Capacidad última admisible kN/m2

$$\phi q_u := \phi_{qu} \cdot q_u \cdot 1 \text{ m} = 478.074 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

Capacidad portante admisible - Considerando el factor de seguridad  $\phi$

### c.1. Capacidad Portante - Cimentado sobre suelo

$$\sigma_{v_{PI}} := \left( \frac{FV_{EI}}{B - 2 \cdot e_{EI}} \right) = \begin{bmatrix} 128.838 \\ 150.596 \\ 168.475 \\ 161.672 \\ 150.208 \\ 179.489 \\ 155.895 \\ 160.856 \end{bmatrix} \frac{kN}{m}$$

Presión máxima de contacto - Comb. S - SI  
 Presión máxima de contacto - Comb. 1 - SI  
 Presión máxima de contacto - Comb. 2 - SI  
 Presión máxima de contacto - Comb. 3 - SI  
 Presión máxima de contacto - Comb. 4 - SI  
 Presión máxima de contacto - Comb. 5 - SI  
 Presión máxima de contacto - Comb. 6 - SI  
 Presión máxima de contacto - Comb. 7 - SI

### c.2. Capacidad Portante - Cimentado sobre roca - Dentro del 1/3 central - **PARA REVISIÓN DEL R D/C**

$$\sigma_{v_{l_{máxI}}} := \left( \frac{FV_{EI}}{B} \right) \cdot \left( 1 + 6 \cdot \frac{e_{EI}}{B} \right) = \begin{bmatrix} 141.911 \\ 188.265 \\ 210.156 \\ 184.164 \\ 152.757 \\ 206.055 \\ 175.007 \\ 210.515 \end{bmatrix} \frac{kN}{m}$$

Presión máxima de contacto Roca - Comb. S - SI  
 Presión máxima de contacto Roca - Comb. 1 - SI  
 Presión máxima de contacto Roca - Comb. 2 - SI  
 Presión máxima de contacto Roca - Comb. 3 - SI  
 Presión máxima de contacto Roca - Comb. 4 - SI  
 Presión máxima de contacto Roca - Comb. 5 - SI  
 Presión máxima de contacto Roca - Comb. 6 - SI  
 Presión máxima de contacto Roca - Comb. 7 - SI

$$\sigma_{v_{l_{mínI}}} := \left( \frac{FV_{EI}}{B} \right) \cdot \left( 1 - 6 \cdot \frac{e_{EI}}{B} \right) = \begin{bmatrix} 101.511 \\ 62.687 \\ 71.503 \\ 113.67 \\ 145.077 \\ 122.486 \\ 115.492 \\ 33.102 \end{bmatrix} \frac{kN}{m}$$

Presión mínima de contacto Roca - Comb. S - SI  
 Presión mínima de contacto Roca - Comb. 1 - SI  
 Presión mínima de contacto Roca - Comb. 2 - SI  
 Presión mínima de contacto Roca - Comb. 3 - SI  
 Presión mínima de contacto Roca - Comb. 4 - SI  
 Presión mínima de contacto Roca - Comb. 5 - SI  
 Presión mínima de contacto Roca - Comb. 6 - SI  
 Presión mínima de contacto Roca - Comb. 7 - SI

### c.3. Capacidad Portante - Cimentado sobre roca - Fuera del 1/3 central

$$\sigma_{v_{2máxI}} := \left( \frac{2 \cdot FV_{EI}}{3 \cdot \left( \frac{B}{2} - e_{EI} \right)} \right) = \begin{bmatrix} 171.784 \\ 200.794 \\ 224.633 \\ 215.563 \\ 200.277 \\ 239.318 \\ 207.86 \\ 214.475 \end{bmatrix} \frac{kN}{m}$$

Presión máxima II de contacto Roca - Comb. S - SI  
 Presión máxima II de contacto Roca - Comb. 1 - SI  
 Presión máxima II de contacto Roca - Comb. 2 - SI  
 Presión máxima II de contacto Roca - Comb. 3 - SI  
 Presión máxima II de contacto Roca - Comb. 4 - SI  
 Presión máxima II de contacto Roca - Comb. 5 - SI  
 Presión máxima II de contacto Roca - Comb. 6 - SI  
 Presión máxima II de contacto Roca - Comb. 7 - SI

$$\sigma_{v_{2mínI}} := 0 \frac{kN}{m}$$

Presión mínima II de contacto Roca

$$R_{DCPI} := \left( \frac{\sigma_{v_{l_{máxI}}}}{\phi q_u} \right) = \begin{bmatrix} 0.297 \\ 0.394 \\ 0.44 \\ 0.385 \\ 0.32 \\ 0.431 \\ 0.366 \\ 0.44 \end{bmatrix}$$

Ratio demanda capacidad - C. Portante - LRFD - Comb. S - SI  
 Ratio demanda capacidad - C. Portante - LRFD - Comb. 1 - SI  
 Ratio demanda capacidad - C. Portante - LRFD - Comb. 2 - SI  
 Ratio demanda capacidad - C. Portante - LRFD - Comb. 3 - SI  
 Ratio demanda capacidad - C. Portante - LRFD - Comb. 4 - SI  
 Ratio demanda capacidad - C. Portante - LRFD - Comb. 5 - SI  
 Ratio demanda capacidad - C. Portante - LRFD - Comb. 6 - SI  
 Ratio demanda capacidad - C. Portante - LRFD - Comb. 7 - SI

#### d. Deslizamiento

$$F_{dl} := F_{EH} \cdot S_{-} I^{(2)} + F_{LLH} \cdot S_{-} I^{(4)} = \begin{bmatrix} 182.738 \\ 283.898 \\ 283.898 \\ 283.898 \\ 212.111 \\ 283.898 \\ 212.111 \\ 283.898 \end{bmatrix} \text{ kN}$$

Fuerza deslizante - LRFD - Comb. S - SI  
Fuerza deslizante - LRFD - Comb. 1 - SI  
Fuerza deslizante - LRFD - Comb. 2 - SI  
Fuerza deslizante - LRFD - Comb. 3 - SI  
Fuerza deslizante - LRFD - Comb. 4 - SI  
Fuerza deslizante - LRFD - Comb. 5 - SI  
Fuerza deslizante - LRFD - Comb. 6 - SI  
Fuerza deslizante - LRFD - Comb. 7 - SI

$$F_{RII} := \overrightarrow{(FV_{EI} \cdot \mu + B \cdot c_F \cdot 1 \text{ m})} = \begin{bmatrix} 364.884 \\ 369.613 \\ 388.899 \\ 399.058 \\ 399.058 \\ 418.344 \\ 394.451 \\ 365.006 \end{bmatrix} \text{ kN}$$

Fuerza resistente- LRFD - Comb. S - SI  
Fuerza resistente- LRFD - Comb. 1 - SI  
Fuerza resistente- LRFD - Comb. 2 - SI  
Fuerza resistente- LRFD - Comb. 3 - SI  
Fuerza resistente- LRFD - Comb. 4 - SI  
Fuerza resistente- LRFD - Comb. 5 - SI  
Fuerza resistente- LRFD - Comb. 6 - SI  
Fuerza resistente- LRFD - Comb. 7 - SI

$$F_{RTDI} := \phi_T \cdot F_{RII} + \phi_{ep} \cdot F_{Pp} \cdot S_{-} I^{(2)} = \begin{bmatrix} 356.394 \\ 374.65 \\ 392.007 \\ 401.15 \\ 387.151 \\ 418.507 \\ 383.004 \\ 370.504 \end{bmatrix} \text{ kN}$$

Fuerza resistente total - LRFD - Comb. S - SI  
Fuerza resistente total - LRFD - Comb. 1 - SI  
Fuerza resistente total - LRFD - Comb. 2 - SI  
Fuerza resistente total - LRFD - Comb. 3 - SI  
Fuerza resistente total - LRFD - Comb. 4 - SI  
Fuerza resistente total - LRFD - Comb. 5 - SI  
Fuerza resistente total - LRFD - Comb. 6 - SI  
Fuerza resistente total - LRFD - Comb. 7 - SI

$$R_{DCDI} := \frac{F_{dl}}{F_{RTDI}} = \begin{bmatrix} 0.513 \\ 0.758 \\ 0.724 \\ 0.708 \\ 0.548 \\ 0.678 \\ 0.554 \\ 0.766 \end{bmatrix}$$

Ratio demanda capacidad - Deslizamiento- LRFD - Comb. S - SI  
Ratio demanda capacidad - Deslizamiento- LRFD - Comb. 1 - SI  
Ratio demanda capacidad - Deslizamiento- LRFD - Comb. 2 - SI  
Ratio demanda capacidad - Deslizamiento- LRFD - Comb. 3 - SI  
Ratio demanda capacidad - Deslizamiento- LRFD - Comb. 4 - SI  
Ratio demanda capacidad - Deslizamiento- LRFD - Comb. 5 - SI  
Ratio demanda capacidad - Deslizamiento- LRFD - Comb. 6 - SI  
Ratio demanda capacidad - Deslizamiento- LRFD - Comb. 7 - SI

### 5.1.2. REVISIÓN A LA CONDICIÓN DE ESTABILIDAD - LRFD - STRENGTH II

#### a. Volteo

$$\#_{com} = \begin{bmatrix} \text{"S"} \\ \text{"1"} \\ \text{"2"} \\ \text{"3"} \\ \text{"4"} \\ \text{"5"} \\ \text{"6"} \\ \text{"7"} \end{bmatrix}$$

Comb. Servicio - Resistencia II  
Comb. 1 - Resistencia II  
Comb. 2 - Resistencia II  
Comb. 3 - Resistencia II  
Comb. 4 - Resistencia II  
Comb. 5 - Resistencia II  
Comb. 6 - Resistencia II  
Comb. 7 - Resistencia II

$$M_{UVII} := M_{EH} \cdot S_{II}^{(2)} + M_{LLH} \cdot S_{II}^{(4)} = \begin{bmatrix} 459.115 \\ 668.676 \\ 668.676 \\ 668.676 \\ 505.773 \\ 668.676 \\ 505.773 \\ 668.676 \end{bmatrix} \text{ kN} \cdot \text{m}$$

Momento último - Comb. S SII  
 Momento último - Comb. 1 SII  
 Momento último - Comb. 2 SII  
 Momento último - Comb. 3 SII  
 Momento último - Comb. 4 SII  
 Momento último - Comb. 5 SII  
 Momento último - Comb. 6 SII  
 Momento último - Comb. 7 SII

$$M_{RVII} := M_{DC} \cdot S_{II}^{(1)} + M_{EV} \cdot S_{II}^{(3)} + M_{PP} \cdot S_{II}^{(2)} + M_{LLV} \cdot S_{II}^{(5)} = \begin{bmatrix} 2.074 \cdot 10^3 \\ 2.109 \cdot 10^3 \\ 2.294 \cdot 10^3 \\ 2.567 \cdot 10^3 \\ 2.551 \cdot 10^3 \\ 2.752 \cdot 10^3 \\ 2.46 \cdot 10^3 \\ 2.018 \cdot 10^3 \end{bmatrix} \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$M_{om} R_{es}$  - Comb. S SII  
 $M_{om} R_{es}$  - Comb. 1 SII  
 $M_{om} R_{es}$  - Comb. 2 SII  
 $M_{om} R_{es}$  - Comb. 3 SII  
 $M_{om} R_{es}$  - Comb. 4 SII  
 $M_{om} R_{es}$  - Comb. 5 SII  
 $M_{om} R_{es}$  - Comb. 6 SII  
 $M_{om} R_{es}$  - Comb. 7 SII

$$R_{DCVII} := \left( \frac{M_{UVII}}{M_{RVII}} \right) = \begin{bmatrix} 0.221 \\ 0.317 \\ 0.292 \\ 0.261 \\ 0.198 \\ 0.243 \\ 0.206 \\ 0.331 \end{bmatrix}$$

Ratio demanda capacidad - Volteo - LRFD - Comb. S - SII  
 Ratio demanda capacidad - Volteo - LRFD - Comb. 1 - SII  
 Ratio demanda capacidad - Volteo - LRFD - Comb. 2 - SII  
 Ratio demanda capacidad - Volteo - LRFD - Comb. 3 - SII  
 Ratio demanda capacidad - Volteo - LRFD - Comb. 4 - SII  
 Ratio demanda capacidad - Volteo - LRFD - Comb. 5 - SII  
 Ratio demanda capacidad - Volteo - LRFD - Comb. 6 - SII  
 Ratio demanda capacidad - Volteo - LRFD - Comb. 7 - SII

#### b. Excentricidad

$$e_{max\_est} = 0.883 \text{ m}$$

Excentricidad máxima - Condición estática

$$FV_{EII} := F_{DC} \cdot S_{II}^{(1)} + F_{EV} \cdot S_{II}^{(3)} + F_{LLV} \cdot S_{II}^{(5)} = \begin{bmatrix} 645.067 \\ 641.979 \\ 723.354 \\ 766.216 \\ 766.216 \\ 847.59 \\ 769.82 \\ 645.584 \end{bmatrix} \text{ kN}$$

Fuerza vertical estabilizante - Comb. S - SI  
 Fuerza vertical estabilizante - Comb. 1 - SI  
 Fuerza vertical estabilizante - Comb. 2 - SI  
 Fuerza vertical estabilizante - Comb. 3 - SI  
 Fuerza vertical estabilizante - Comb. 4 - SI  
 Fuerza vertical estabilizante - Comb. 5 - SI  
 Fuerza vertical estabilizante - Comb. 6 - SI  
 Fuerza vertical estabilizante - Comb. 7 - SI

$$e_{EII} := \frac{B}{2} - \left( \frac{M_{RVII} - M_{UVII}}{FV_{EII}} \right) = \begin{bmatrix} 0.147 \\ 0.407 \\ 0.404 \\ 0.173 \\ -0.019 \\ 0.192 \\ 0.112 \\ 0.561 \end{bmatrix} \text{ m}$$

Excentricidad - Comb. S - SI  
 Excentricidad - Comb. 1 - SI  
 Excentricidad - Comb. 2 - SI  
 Excentricidad - Comb. 3 - SI  
 Excentricidad - Comb. 4 - SI  
 Excentricidad - Comb. 5 - SI  
 Excentricidad - Comb. 6 - SI  
 Excentricidad - Comb. 7 - SI

$$R_{DCEII} := \frac{e_{EII}}{e_{max\_est}} = \begin{bmatrix} 0.166 \\ 0.461 \\ 0.457 \\ 0.196 \\ -0.022 \\ 0.218 \\ 0.126 \\ 0.635 \end{bmatrix}$$

Ratio demanda capacidad - Excentricidad- LRFD - Comb. S - SI  
 Ratio demanda capacidad - Excentricidad- LRFD - Comb. 1 - SI  
 Ratio demanda capacidad - Excentricidad- LRFD - Comb. 2 - SI  
 Ratio demanda capacidad - Excentricidad- LRFD - Comb. 3 - SI  
 Ratio demanda capacidad - Excentricidad- LRFD - Comb. 4 - SI  
 Ratio demanda capacidad - Excentricidad- LRFD - Comb. 5 - SI  
 Ratio demanda capacidad - Excentricidad- LRFD - Comb. 6 - SI  
 Ratio demanda capacidad - Excentricidad- LRFD - Comb. 7 - SI

### c. Capacidad Portante

$$q_u = 7.5 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$$

Capacidad última admisible kgf/cm<sup>2</sup>

$$q_u = 735.499 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

Capacidad última admisible kN/m<sup>2</sup>

$$\phi q_u = 478.074 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

Capacidad portante admisible - Considerando el factor de seguridad  $\phi$

#### c.1. Capacidad Portante - Cimentado sobre suelo

$$\sigma_{vPII} := \left( \frac{FV_{EII}}{B - 2 \cdot e_{EII}} \right) = \begin{bmatrix} 128.838 \\ 143.116 \\ 161.006 \\ 154.656 \\ 143.536 \\ 172.439 \\ 151.641 \\ 154.497 \end{bmatrix} \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

Presión máxima de contacto Tierra - Comb. S - SI  
 Presión máxima de contacto Tierra - Comb. 1 - SI  
 Presión máxima de contacto Tierra - Comb. 2 - SI  
 Presión máxima de contacto Tierra - Comb. 3 - SI  
 Presión máxima de contacto Tierra - Comb. 4 - SI  
 Presión máxima de contacto Tierra - Comb. 5 - SI  
 Presión máxima de contacto Tierra - Comb. 6 - SI  
 Presión máxima de contacto Tierra - Comb. 7 - SI

#### c.2. Capacidad Portante - Cimentado sobre roca Dentro del 1/3 central - **PARA REVISIÓN DEL R D/C**

$$\sigma_{vImaxII} := \left( \frac{FV_{EII}}{B} \right) \cdot \left( 1 + 6 \cdot \frac{e_{EII}}{B} \right) = \begin{bmatrix} 141.911 \\ 176.957 \\ 198.848 \\ 172.856 \\ 141.449 \\ 194.747 \\ 163.617 \\ 199.125 \end{bmatrix} \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

Presión máxima de contacto Roca - Comb. S - SI  
 Presión máxima de contacto Roca - Comb. 1 - SI  
 Presión máxima de contacto Roca - Comb. 2 - SI  
 Presión máxima de contacto Roca - Comb. 3 - SI  
 Presión máxima de contacto Roca - Comb. 4 - SI  
 Presión máxima de contacto Roca - Comb. 5 - SI  
 Presión máxima de contacto Roca - Comb. 6 - SI  
 Presión máxima de contacto Roca - Comb. 7 - SI

$$\sigma_{vIminII} := \left( \frac{FV_{EII}}{B} \right) \cdot \left( 1 - 6 \cdot \frac{e_{EII}}{B} \right) = \begin{bmatrix} 101.511 \\ 65.299 \\ 74.115 \\ 116.282 \\ 147.689 \\ 125.099 \\ 126.882 \\ 44.492 \end{bmatrix} \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

Presión mínima de contacto Roca - Comb. S - SI  
 Presión mínima de contacto Roca - Comb. 1 - SI  
 Presión mínima de contacto Roca - Comb. 2 - SI  
 Presión mínima de contacto Roca - Comb. 3 - SI  
 Presión mínima de contacto Roca - Comb. 4 - SI  
 Presión mínima de contacto Roca - Comb. 5 - SI  
 Presión mínima de contacto Roca - Comb. 6 - SI  
 Presión mínima de contacto Roca - Comb. 7 - SI

## c.2. Capacidad Portante - Cimentado sobre roca - Fuera del 1/3 central

$$\sigma_{v2máxII} := \left( \frac{2 \cdot FV_{EII}}{3 \cdot \left( \frac{B}{2} - e_{EII} \right)} \right) = \begin{bmatrix} 171.784 \\ 190.821 \\ 214.675 \\ 206.208 \\ 191.382 \\ 229.919 \\ 202.188 \\ 205.996 \end{bmatrix} \frac{kN}{m}$$

Presión máxima II de contacto Roca - Comb. S - SI  
 Presión máxima II de contacto Roca - Comb. 1 - SI  
 Presión máxima II de contacto Roca - Comb. 2 - SI  
 Presión máxima II de contacto Roca - Comb. 3 - SI  
 Presión máxima II de contacto Roca - Comb. 4 - SI  
 Presión máxima II de contacto Roca - Comb. 5 - SI  
 Presión máxima II de contacto Roca - Comb. 6 - SI  
 Presión máxima II de contacto Roca - Comb. 7 - SI

$$\sigma_{v2minII} := 0 \frac{kN}{m}$$

Presión mínima II de contacto Roca

$$R_{DCPII} := \left( \frac{\sigma_{v1máxII}}{\phi q_u} \right) = \begin{bmatrix} 0.297 \\ 0.37 \\ 0.416 \\ 0.362 \\ 0.296 \\ 0.407 \\ 0.342 \\ 0.417 \end{bmatrix}$$

Ratio demanda capacidad - C. Portante - LRFD - Comb. S - SI  
 Ratio demanda capacidad - C. Portante - LRFD - Comb. 1 - SI  
 Ratio demanda capacidad - C. Portante - LRFD - Comb. 2 - SI  
 Ratio demanda capacidad - C. Portante - LRFD - Comb. 3 - SI  
 Ratio demanda capacidad - C. Portante - LRFD - Comb. 4 - SI  
 Ratio demanda capacidad - C. Portante - LRFD - Comb. 5 - SI  
 Ratio demanda capacidad - C. Portante - LRFD - Comb. 6 - SI  
 Ratio demanda capacidad - C. Portante - LRFD - Comb. 7 - SI

## d. Deslizamiento

$$F_{dII} := F_{EH} \cdot S_{-II}^{(2)} + F_{LLH} \cdot S_{-II}^{(4)} = \begin{bmatrix} 182.738 \\ 268.232 \\ 268.232 \\ 268.232 \\ 196.445 \\ 268.232 \\ 196.445 \\ 268.232 \end{bmatrix} kN$$

Fuerza deslizante - LRFD - Comb. S - SI  
 Fuerza deslizante - LRFD - Comb. 1 - SI  
 Fuerza deslizante - LRFD - Comb. 2 - SI  
 Fuerza deslizante - LRFD - Comb. 3 - SI  
 Fuerza deslizante - LRFD - Comb. 4 - SI  
 Fuerza deslizante - LRFD - Comb. 5 - SI  
 Fuerza deslizante - LRFD - Comb. 6 - SI  
 Fuerza deslizante - LRFD - Comb. 7 - SI

$$F_{RII} := \left( FV_{EII} \cdot \mu + B \cdot c_F \cdot 1 \right) = \begin{bmatrix} 364.884 \\ 364.152 \\ 383.438 \\ 393.596 \\ 393.596 \\ 412.883 \\ 394.451 \\ 365.006 \end{bmatrix} kN$$

Fuerza resistente- LRFD - Comb. S - SI  
 Fuerza resistente- LRFD - Comb. 1 - SI  
 Fuerza resistente- LRFD - Comb. 2 - SI  
 Fuerza resistente- LRFD - Comb. 3 - SI  
 Fuerza resistente- LRFD - Comb. 4 - SI  
 Fuerza resistente- LRFD - Comb. 5 - SI  
 Fuerza resistente- LRFD - Comb. 6 - SI  
 Fuerza resistente- LRFD - Comb. 7 - SI

$$F_{RTDII} := \phi_T \cdot F_{RII} + \phi_{ep} \cdot F_{Pp} \cdot S_{-II}^{(2)} = \begin{bmatrix} 356.394 \\ 369.735 \\ 387.092 \\ 396.235 \\ 382.235 \\ 413.592 \\ 383.004 \\ 370.504 \end{bmatrix} kN$$

Fuerza resistente total - LRFD - Comb. S - SI  
 Fuerza resistente total - LRFD - Comb. 1 - SI  
 Fuerza resistente total - LRFD - Comb. 2 - SI  
 Fuerza resistente total - LRFD - Comb. 3 - SI  
 Fuerza resistente total - LRFD - Comb. 4 - SI  
 Fuerza resistente total - LRFD - Comb. 5 - SI  
 Fuerza resistente total - LRFD - Comb. 6 - SI  
 Fuerza resistente total - LRFD - Comb. 7 - SI



$$R_{DCDII} := \frac{F_{dII}}{F_{RTDII}} = \begin{bmatrix} 0.513 \\ 0.725 \\ 0.693 \\ 0.677 \\ 0.514 \\ 0.649 \\ 0.513 \\ 0.724 \end{bmatrix}$$

Ratio demanda capacidad - Deslizamiento- LRFD - Comb. S - SI  
 Ratio demanda capacidad - Deslizamiento- LRFD - Comb. 1 - SI  
 Ratio demanda capacidad - Deslizamiento- LRFD - Comb. 2 - SI  
 Ratio demanda capacidad - Deslizamiento- LRFD - Comb. 3 - SI  
 Ratio demanda capacidad - Deslizamiento- LRFD - Comb. 4 - SI  
 Ratio demanda capacidad - Deslizamiento- LRFD - Comb. 5 - SI  
 Ratio demanda capacidad - Deslizamiento- LRFD - Comb. 6 - SI  
 Ratio demanda capacidad - Deslizamiento- LRFD - Comb. 7 - SI

## 5.2. REVISIÓN A LA CONDICIÓN DE ESTABILIDAD - ASD

### a. Volteo

$$M_U := M_{LLH} + M_{EH} = 459.115 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

Momento último - ASD - Estático

$$M_{R1} := M_{DC} + M_{EV} + M_{Pp} = 1869.467 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

Momento resistente - ASD - Estático

$$M_{R2} := M_{DC} + M_{EV} + M_{Pp} + M_{LLV} = 2073.973 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

Momento resistente - ASD - Estático con LLv

$$DC_{V1} := \frac{M_{R1}}{M_U} = 4.072$$

Factor volteo - ASD - Caso estático

$$DC_{V2} := \frac{M_{R2}}{M_U} = 4.517$$

Factor volteo - ASD - Caso estático con LLv

$$R_{V1} := \text{if } DC_{V1} > ASD_{NEC}(1, 0) = \text{"Cumple"}$$

Revisión ASD - Caso estático

|| "Cumple"  
 else  
 || "No cumple"

$$R_{V2} := \text{if } DC_{V2} > ASD_{NEC}(1, 0) = \text{"Cumple"}$$

Revisión ASD - Caso estático con LLv

|| "Cumple"  
 else  
 || "No cumple"

### b. Excentricidad

$$e_{max\_est\_NEC} := ASD_{NEC1,1} = 0.883 \text{ m}$$

Excentricidad máxima - ASD - Estático

$$F_{V1} := F_{DC} + F_{EV} = 587.459 \text{ kN}$$

Fuerza vertical - ASD - Estático

$$F_{V2} := F_{DC} + F_{EV} + F_{LLV} = 645.067 \text{ kN}$$

Fuerza vertical - ASD - Estático con LLv

$$e_1 := \frac{B}{2} - \frac{M_{R1} - M_U}{F_{V1}} = 0.249 \text{ m}$$

Excentricidad 1 - ASD - Estático

$$e_2 := \frac{B}{2} - \frac{M_{R2} - M_U}{F_{V2}} = 0.147 \text{ m}$$

Excentricidad 2- ASD - Estático con LLv

$$R_{E1} := \text{if } e_1 < e_{max\_est\_NEC} = \text{"Cumple"}$$

Revisión ASD - Caso estático

|| "Cumple"  
 else  
 || "No cumple"

$$R_{E2} := \text{if } e_2 < e_{max\_est\_NEC} = \text{"Cumple"}$$

Revisión ASD - Caso estático - Con LLv

|| "Cumple"  
 else  
 || "No cumple"

$$q_{P1} := \frac{F_{V1}}{B} \cdot \left(1 + 6 \cdot \frac{e_1}{B}\right) = 142.116 \frac{kN}{m}$$

Carga sobre la punta - ASD - Estático

$$q_{T1} := \frac{F_{V1}}{B} \cdot \left(1 - 6 \cdot \frac{e_1}{B}\right) = 79.567 \frac{kN}{m}$$

Carga sobre el talón - ASD - Estático

$$q_{P2} := \frac{F_{V2}}{B} \cdot \left(1 + 6 \cdot \frac{e_2}{B}\right) = 141.911 \frac{kN}{m}$$

Carga sobre la punta - ASD - Estático con LLv

$$q_{T2} := \frac{F_{V2}}{B} \cdot \left(1 - 6 \cdot \frac{e_2}{B}\right) = 101.511 \frac{kN}{m}$$

Carga sobre el talón - ASD - Estático con LLv

#### c. Capacidad portante

$$q_u = 735.499 \frac{kN}{m^2}$$

Capacidad última admisible kN/m2

$$\phi q_u = 478.074 \frac{kN}{m}$$

Capacidad portante admisible - Considerando el factor de seguridad  $\phi$

$$DC_{C1} := \frac{\phi q_u}{q_{P1}} = 3.364$$

Factor de Cap. Portante 1 - ASD - Caso estático

$$DC_{C2} := \frac{\phi q_u}{q_{P2}} = 3.369$$

Factor de Cap. Portante 2 - ASD - Caso estático con LLv

$$R_{C1} := \begin{cases} \text{if } DC_{C1} > ASD_{NEC}(1, 2) \\ \text{“Cumple”} \\ \text{else} \\ \text{“No cumple”} \end{cases}$$

Revisión - Capacidad portante ASD - Caso estático

$$R_{C2} := \begin{cases} \text{if } DC_{C2} > ASD_{NEC}(1, 2) \\ \text{“Cumple”} \\ \text{else} \\ \text{“No cumple”} \end{cases}$$

Revisión - Capacidad portante ASD - Caso estático con LLv

#### d. Deslizamiento

$$k_1 := \frac{2}{3}$$

Factor de reducción de resistencia del suelo k1

$$k_2 := k_1 = 0.667$$

Factor de reducción de resistencia del suelo k2

$$F_{DU} := F_{EH} + F_{LLH} = 182.738 \text{ kN}$$

Fuerza deslizando última

$$F_{R1} := (F_{EV} + F_{DC}) \cdot \tan(k_1 \cdot \phi_E) + B \cdot k_2 \cdot c_F \cdot 1 \text{ m} + F_{pp} = 411.148 \text{ kN}$$

Fuerza resistente ASD - Estático

$$F_{R2} := (F_{EV} + F_{DC} + F_{LLV}) \cdot \tan(k_1 \cdot \phi_E) + B \cdot k_2 \cdot c_F \cdot 1 \text{ m} + F_{pp} = 432.116 \text{ kN}$$

Fuerza resistente ASD - Estático con LLv

$$DC_{D1} := \frac{F_{R1}}{F_{DU}} = 2.25$$

Factor de deslizamiento 1 - ASD - Caso estático

$$DC_{D2} := \frac{F_{R2}}{F_{DU}} = 2.365$$

Factor de deslizamiento 2 - ASD - Caso estático con LLv

$$R_{D1} := \begin{cases} \text{if } DC_{D1} > ASD_{NEC}(1, 3) \\ \text{“Cumple”} \\ \text{else} \\ \text{“No cumple”} \end{cases}$$

Revisión - Deslizamiento ASD - Caso estático

$$R_{D2} := \begin{cases} \text{if } DC_{D2} > ASD_{NEC}(1, 3) \\ \text{“Cumple”} \\ \text{else} \\ \text{“No cumple”} \end{cases}$$

Revisión - Deslizamiento ASD - Caso estático con LLv

## 6. REVISIÓN SÍSMICA

### 6.1. MONONOBÉ OKABÉ & MATSUO - PAE

Empuje : Activo

$$Z := 0.25 \text{ g}$$

$$F_a := 1$$

$$H = 5 \text{ m}$$

$$\gamma_E = 18 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3}$$

$$\alpha_R = 10^\circ$$

$$\phi_E = 30 \text{ deg}$$

$$\delta_a := \frac{2}{3} \cdot \phi_E = 20 \text{ deg}$$

$$\delta_p := 0 \text{ deg}$$

$$\beta := \text{atan}\left(\frac{b_e}{H}\right) = 3.434 \text{ deg}$$

$$i := \alpha_R = 10 \text{ deg}$$

Tipo de empuje - Tierra desestabilizante

Aceleración en roca - Pseudoestático

Factor de amplificación - Periodos cortos - VARIA.

Densidad - Material empuje

Ángulo de inclinación - Material de relleno

Ángulo de fricción - Material de relleno

Ángulo de rozamiento - Estructura - Terreno Act.

Ángulo de rozamiento - Estructura - Terreno Pas.

Ángulo de inclinación - Espuelón

Ángulo de inclinación del terreno con la horizontal

$$k_{AE} := \frac{(\cos(\phi_E - \beta))^2}{\cos(\beta)^2 \cdot \cos(\delta_a + \beta) \cdot \left(1 + \sqrt{\frac{\sin(\phi_E + \delta_a) \cdot \sin(\phi_E - i)}{\cos(\delta_a + \beta) \cdot \cos(i - \beta)}}\right)^2} = 0.371$$

Coefficiente activo - Estático

$$k_h := 0.6 \cdot Z \cdot \frac{F_a}{g} = 0.15$$

Coefficiente horizontal

$$k_v := \frac{1}{2} \cdot k_h = 0.075$$

Coefficiente vertical

$$\theta := \text{atan}\left(\frac{k_h}{1 - k_v}\right) = 9.211 \text{ deg}$$

Ángulo de gravedad aparente -  
Respecto a la horizontal

$$k_{AD} := \frac{(1 + k_v) \cdot (\cos(\phi_E - \beta - \theta))^2}{\cos(\theta) \cos(\beta)^2 \cdot \cos(\delta_a + \beta + \theta) \cdot \left(1 + \sqrt{\frac{\sin(\phi_E + \delta_a) \cdot \sin(\phi_E - i - \theta)}{\cos(\delta_a + \beta + \theta) \cdot \cos(i - \beta)}}\right)^2} = 0.591$$

Coefficiente activo Dinámico

$$E_{AE} := \frac{1}{2} \cdot \gamma_E \cdot H^2 \cdot k_{AE} \cdot 1 \text{ m} = 83.435 \text{ kN}$$

Resultante del empuje activo Estático

$$E_{AD} := \frac{1}{2} \cdot \gamma_E \cdot H^2 \cdot k_{AD} \cdot 1 \text{ m} = 133.066 \text{ kN}$$

Resultante del empuje activo Dinámico

$$\Delta E_{AD} := \frac{1}{2} \cdot \gamma_E \cdot H^2 \cdot (k_{AD} - k_{AE}) \cdot 1 \text{ m} = 49.631 \text{ kN}$$

Resultante del aporte sísmico

$$F_{PAE} := \Delta E_{AD} = 49.631 \text{ kN}$$

FUERZA DINÁMICA ACTIVO POR EL SISMO  
- PAE

$$M_{PAE} := (H + h_b) \cdot \left(\frac{2}{3}\right) \cdot F_{PAE} = 205.142 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

MOMENTO DINÁMICO ACTIVO POR EL  
SISMO - MPAE

## 6.2. DETERMINACIÓN DE LA FUERZA INERCIAL - PIR

### 6.2.1. Centro de gravedad del muro

$$\#_{FIGM} = \begin{bmatrix} \text{"1 - Base"} \\ \text{"2 - Pantalla Frontal"} \\ \text{"3 - Pantalla Central"} \\ \text{"4. Espuelón"} \end{bmatrix}$$

Nombre de la figura - Base

Nombre de la figura - Pantalla frontal

Nombre de la figura - Pantalla central

**Nota:** Este muro si cuenta con espuelón

$$h_M = \begin{bmatrix} 1.2 \\ 5 \\ 5 \\ 5 \end{bmatrix} \text{ m}$$

Altura de la figura - Base

Altura de la figura - Pantalla frontal

Altura de la figura - Pantalla central

**Nota:** Este muro si cuenta con espuelón

$$b_M = \begin{bmatrix} 5.3 \\ 0.5 \\ 0.3 \\ 0.3 \end{bmatrix} \text{ m}$$

Base de la figura - Base

Base de la figura - Pantalla frontal

Base de la figura - Pantalla central

**Nota:** Este muro si cuenta con espuelón

$$a_M = \begin{bmatrix} 6.36 \\ 1.25 \\ 1.5 \\ 0.75 \end{bmatrix} \text{ m}^2$$

Área de la figura - Base

Área de la figura - Pantalla frontal

Área de la figura - Pantalla central

**Nota:** Este muro si cuenta con espuelón

$$y_{CGM} := \begin{bmatrix} \frac{h_b}{2} \\ h_b + \frac{1}{3} \cdot H \\ h_b + \frac{1}{2} \cdot H \\ h_b + \frac{1}{3} \cdot H \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.6 \\ 2.867 \\ 3.7 \\ 2.867 \end{bmatrix} \text{ m}$$

Centro de gravedad de la figura - Base

Centro de gravedad de la figura - Pantalla frontal

Centro de gravedad de la figura - Pantalla central

**Nota:** Este muro si cuenta con espuelón

$$y_{cgM} := \frac{\sum a_M \cdot y_{CGM}}{\sum a_M} = 1.531 \text{ m}$$

Centro de gravedad del muro

### 6.2.2. Centro de gravedad de la tierra

$$\#_{FIGT} = \begin{bmatrix} \text{"1 - Talón"} \\ \text{"2 Espuelón"} \\ \text{"3 - Relleno inclinado"} \\ \text{"4 - Punta"} \\ \text{"5 - Pv"} \end{bmatrix}$$

Nombre de la figura - Tierra - Talón

Nombre de la figura - Tierra - Espuelón

Nombre de la figura - Tierra - Relleno inclinado

Nombre de la figura - Tierra - Punta

Fuerza por el material de empuje - Componente vertical

$$h_T = \begin{bmatrix} 5 \\ 5 \\ 0.608 \\ 0.5 \\ 0 \end{bmatrix} \text{ m}$$

Altura de la figura - Tierra - Talón

Altura de la figura - Tierra - Espuelón

Altura de la figura - Tierra - Relleno inclinado

Altura de la figura - Tierra - Desplante

$$b_T = \begin{bmatrix} 3.2 \\ 0.3 \\ 3.5 \\ 1 \\ 0 \end{bmatrix} \text{ m}$$

$$a_T = \begin{bmatrix} 16 \\ 0.75 \\ 1.064 \\ 0.5 \\ 0 \end{bmatrix} \text{ m}^2$$

$$y_{CGT} := \begin{bmatrix} h_b + \frac{H}{2} \\ h_b + \frac{2}{3} \cdot H \\ h_b + H + \frac{1}{3} h_R \\ \frac{(D - h_b)}{2} + h_b \\ 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 3.7 \\ 4.533 \\ 6.403 \\ 1.45 \\ 0 \end{bmatrix} \text{ m}$$

$$y_{cgT} := \frac{\sum \overrightarrow{a_T \cdot y_{CGT}}}{\sum a_T} = 3.83 \text{ m}$$

$$F_{PIR} := (F_{DC} + F_{EV}) \cdot k_h = 88.119 \text{ kN}$$

$$M_{PIR} := (F_{DC} \cdot y_{cgM} + F_{EV} \cdot y_{cgT}) \cdot k_h = 257.313 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

Base de la figura - Tierra - Talón

Base de la figura - Tierra - Espuelón

Base de la figura - Tierra - Relleno inclinado

Base de la figura - Tierra - Punta

**Nota:** Este muro no cuenta con espuelón

Área de la figura - Tierra - Talón

Área de la figura - Tierra - Espuelón

Área de la figura - Tierra - Relleno inclinado

Área de la figura - Tierra - Punta

**Nota:** Este muro si cuenta con espuelón

Centro de gravedad de la figura - Tierra - Talón

Centro de gravedad de la figura - Tierra - Espuelón

Centro de gravedad de la figura - Tierra - Relleno inclinado

Centro de gravedad de la figura - Tierra - Punta

**Nota:** Este muro si cuenta con espuelón

Centro de gravedad de la tierra

FUERZA INERCIAL POR EL SISMO - PIR

MOMENTO INERCIAL POR EL SISMO - MPIR

## 7. RESUMEN DE FUERZAS ESTABILIZANTES Y DESESTABILIZANTES - SÍSMICA

$$F_{DC} = 232.499 \text{ kN}$$

$$M_{DC} = 528.679 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$F_{EV} = 354.961 \text{ kN}$$

$$M_{EV} = (1.309 \cdot 10^3) \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$F_{EH} = 143.574 \text{ kN}$$

$$M_{EH} = 325.806 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$F_{Pp} = 55.997 \text{ kN}$$

$$M_{Pp} = 31.732 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$F_{LLH} = 39.164 \text{ kN}$$

$$M_{LLH} = 133.309 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$F_{LLV} = 57.607 \text{ kN}$$

$$M_{LLV} = 204.506 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

FUERZA RES. - CARGA MUERTA - DC

MOMENTO RES. - CARGA MUERTA - DC

FUERZA - EMPUJE VERTICAL - EV

MOMENTO - EMPUJE VERTICAL - EV

FUERZA - EMPUJE HORIZONTAL - EH

MOMENTO- EMPUJE HORIZONTAL - EH

FUERZA PASIVA SOBRE LA PUNTA - Pp

MOMENTO PASIVO SOBRE LA PUNTA - Pp

FUERZA - CARGA VIVA - LL - Horizontal

MOMENTO - CARGA VIVA - LL - Horizontal

FUERZA - CARGA VIVA - LL - Vertical

MOMENTO - CARGA VIVA - LL - Vertical

$$F_{PAE} = 49.631 \text{ kN}$$

$$M_{PAE} = 205.142 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

FUERZA DINÁMICA ACTIVO POR EL SISMO - PAE  
MOMENTO DINÁMICO ACTIVO POR EL SISMO - MPAE

$$F_{PIR} = 88.119 \text{ kN}$$

$$M_{PIR} = 257.313 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

FUERZA INERCIAL POR EL SISMO - PIR  
MOMENTO INERCIAL POR EL SISMO - MPIR

## 8. REVISIÓN A LA CONDICIÓN DE ESTABILIDAD - EVENTO EXTREMO I

### 8.1. REVISIÓN A LA CONDICIÓN DE ESTABILIDAD LRFD - EVENTO EXTREMO I

#### a. Volteo

$$\#_{coms} := \begin{bmatrix} \text{"Combinación 1"} \\ \text{"Combinación 2"} \\ \text{"Combinación 3"} \\ \text{"Combinación 4"} \\ \text{"Combinación 5"} \\ \text{"Combinación 6"} \end{bmatrix}$$

Comb. 1 - Evento Extremo I

Comb. 2 - Evento Extremo I

Comb. 3 - Evento Extremo I

Comb. 4 - Evento Extremo I

Comb. 5 - Evento Extremo I

Comb. 6 - Evento Extremo I

$$M_{U\_EEI} := M_{EH} \cdot EX\_I^{(2)} + M_{LLH} \cdot EX\_I^{(4)} + M_{PAE} \cdot EX\_I^{(6)} + M_{PIR} \cdot EX\_I^{(7)} = \begin{bmatrix} 685.69 \\ 659.604 \\ 818.999 \\ 792.913 \\ 818.999 \\ 792.913 \end{bmatrix} \text{ kN} \cdot \text{m}$$

Mom. ult - Comb. 1 EEI  
Mom. ult - Comb. 2 EEI  
Mom. ult - Comb. 3 EEI  
Mom. ult - Comb. 4 EEI  
Mom. ult - Comb. 5 EEI  
Mom. ult - Comb. 6 EEI

$$M_{R\_EEI} := M_{DC} \cdot EX\_I^{(1)} + M_{EV} \cdot EX\_I^{(3)} + M_{PP} \cdot EX\_I^{(2)} + M_{LLV} \cdot EX\_I^{(5)} = \begin{bmatrix} 1.869 \cdot 10^3 \\ 1.869 \cdot 10^3 \\ 1.869 \cdot 10^3 \\ 1.869 \cdot 10^3 \\ 2.074 \cdot 10^3 \\ 2.074 \cdot 10^3 \end{bmatrix} \text{ kN} \cdot \text{m}$$

Mom Res - Comb. 1 EEI  
Mom Res - Comb. 2 EEI  
Mom Res - Comb. 3 EEI  
Mom Res - Comb. 4 EEI  
Mom Res - Comb. 5 EEI  
Mom Res - Comb. 6 EEI

$$R_{DCV\_EEI} := \frac{M_{U\_EEI}}{M_{R\_EEI}} = \begin{bmatrix} 0.367 \\ 0.353 \\ 0.438 \\ 0.424 \\ 0.395 \\ 0.382 \end{bmatrix}$$

Ratio demanda capacidad - Volteo - LRFD - Comb. 1 - EEI  
Ratio demanda capacidad - Volteo - LRFD - Comb. 2 - EEI  
Ratio demanda capacidad - Volteo - LRFD - Comb. 3 - EEI  
Ratio demanda capacidad - Volteo - LRFD - Comb. 4 - EEI  
Ratio demanda capacidad - Volteo - LRFD - Comb. 5 - EEI  
Ratio demanda capacidad - Volteo - LRFD - Comb. 6 - EEI

#### b. Excentricidad

$$e_{max\_sis\_LRFD} := LRFD_{AASHTO\_SIS1,1} = 1.325 \text{ m}$$

Excentricidad máxima - Condición estática

$$FV_{E\_EEI} := F_{DC} \cdot EX\_I^{(1)} + F_{EV} \cdot EX\_I^{(3)} + F_{LLV} \cdot EX\_I^{(5)} = \begin{bmatrix} 587.459 \\ 587.459 \\ 587.459 \\ 587.459 \\ 645.067 \\ 645.067 \end{bmatrix} \text{ kN}$$

Fuerza vertical estabilizante - Comb. 1 - EEI  
Fuerza vertical estabilizante - Comb. 2 - EEI  
Fuerza vertical estabilizante - Comb. 3 - EEI  
Fuerza vertical estabilizante - Comb. 4 - EEI  
Fuerza vertical estabilizante - Comb. 5 - EEI  
Fuerza vertical estabilizante - Comb. 6 - EEI

$$e_{E\_EEI} := \frac{\overrightarrow{B}}{2} - \frac{\overrightarrow{(M_{R\_EEI} - M_{U\_EEI})}}{FV_{E\_EEI}} = \begin{bmatrix} 0.635 \\ 0.591 \\ 0.862 \\ 0.817 \\ 0.705 \\ 0.664 \end{bmatrix} \frac{m}{m}$$

Excentricidad - Comb. 1 - EE1

Excentricidad - Comb. 2 - EE1

Excentricidad - Comb. 3 - EE1

Excentricidad - Comb. 4 - EE1

Excentricidad - Comb. 5 - EE1

Excentricidad - Comb. 6 - EE1

$$R_{DCE\_EEI} := \frac{\overrightarrow{e_{E\_EEI}}}{e_{max\_sis\_LRFD}} = \begin{bmatrix} 0.479 \\ 0.446 \\ 0.65 \\ 0.617 \\ 0.532 \\ 0.501 \end{bmatrix}$$

Ratio demanda capacidad - Excentricidad- LRFD - Comb. 1 - EE1

Ratio demanda capacidad - Excentricidad- LRFD - Comb. 2 - EE1

Ratio demanda capacidad - Excentricidad- LRFD - Comb. 3 - EE1

Ratio demanda capacidad - Excentricidad- LRFD - Comb. 4 - EE1

Ratio demanda capacidad - Excentricidad- LRFD - Comb. 5 - EE1

Ratio demanda capacidad - Excentricidad- LRFD - Comb. 6 - EE1

### c. Portante

$$q_u = 7.5 \frac{kgf}{cm^2}$$

Capacidad última admisible kgf/cm<sup>2</sup>

$$q_u = 735.499 \frac{kN}{m^2}$$

Capacidad última admisible kN/m<sup>2</sup>

$$\phi q_u = 478.074 \frac{kN}{m}$$

Capacidad portante admisible - Considerando el factor de seguridad  $\phi$

#### c.1. Capacidad Portante - Cimentado sobre suelo

$$\sigma_{vP\_EEI} := \frac{\overrightarrow{FV_{E\_EEI}}}{B - 2 \cdot e_{E\_EEI}} = \begin{bmatrix} 145.766 \\ 142.623 \\ 164.264 \\ 160.284 \\ 165.785 \\ 162.409 \end{bmatrix} \frac{kN}{m}$$

Presión máxima de contacto - Comb. 1 - EE1

Presión máxima de contacto - Comb. 2 - EE1

Presión máxima de contacto - Comb. 3 - EE1

Presión máxima de contacto - Comb. 4 - EE1

Presión máxima de contacto - Comb. 5 - EE1

Presión máxima de contacto - Comb. 6 - EE1

#### c.2. Capacidad Portante - Cimentado sobre roca Dentro del 1/3 central - **PARA REVISIÓN R D/C**

$$\sigma_{vImax\_SIS} := \left( \frac{FV_{E\_EEI}}{B} \right) \cdot \left( 1 + 6 \cdot \frac{e_{E\_EEI}}{B} \right) = \begin{bmatrix} 190.512 \\ 184.94 \\ 218.986 \\ 213.415 \\ 218.781 \\ 213.21 \end{bmatrix} \frac{kN}{m}$$

Presión máxima de contacto Roca - Comb. 1 - EE1

Presión máxima de contacto Roca - Comb. 2 - EE1

Presión máxima de contacto Roca - Comb. 3 - EE1

Presión máxima de contacto Roca - Comb. 4 - EE1

Presión máxima de contacto Roca - Comb. 5 - EE1

Presión máxima de contacto Roca - Comb. 6 - EE1

$$\sigma_{vImin\_SIS} := \left( \frac{FV_{E\_EEI}}{B} \right) \cdot \left( 1 - 6 \cdot \frac{e_{E\_EEI}}{B} \right) = \begin{bmatrix} 31.171 \\ 36.743 \\ 2.696 \\ 8.268 \\ 24.64 \\ 30.212 \end{bmatrix} \frac{kN}{m}$$

Presión mínima de contacto Roca - Comb. 1 - EE1

Presión mínima de contacto Roca - Comb. 2 - EE1

Presión mínima de contacto Roca - Comb. 3 - EE1

Presión mínima de contacto Roca - Comb. 4 - EE1

Presión mínima de contacto Roca - Comb. 5 - EE1

Presión mínima de contacto Roca - Comb. 6 - EE1

## c.2. Capacidad Portante - Cimentado sobre roca - Fuera del 1/3 central

$$\sigma_{v2m\acute{a}x\_SIS} := \left( \frac{2 \cdot FV_{E\_EEI}}{3 \cdot \left( \frac{B}{2} - e_{E\_EEI} \right)} \right) = \begin{bmatrix} 194.354 \\ 190.164 \\ 219.019 \\ 213.712 \\ 221.046 \\ 216.545 \end{bmatrix} \frac{kN}{m}$$

Presi3n máxima II de contacto Roca - Comb. 1 - EEI  
 Presi3n máxima II de contacto Roca - Comb. 2 - EEI  
 Presi3n máxima II de contacto Roca - Comb. 3 - EEI  
 Presi3n máxima II de contacto Roca - Comb. 4 - EEI  
 Presi3n máxima II de contacto Roca - Comb. 5 - EEI  
 Presi3n máxima II de contacto Roca - Comb. 6 - EEI

$$\sigma_{v2min\_SIS} := 0 \frac{kN}{m}$$

Presi3n mínima II de contacto Roca

$$R_{DCP\_EEI} := \frac{\sigma_{v1m\acute{a}x\_SIS}}{\phi q_u} = \begin{bmatrix} 0.398 \\ 0.387 \\ 0.458 \\ 0.446 \\ 0.458 \\ 0.446 \end{bmatrix}$$

Ratio demanda capacidad - C. Portante - LRFD - Comb. 1 - EEI  
 Ratio demanda capacidad - C. Portante - LRFD - Comb. 2 - EEI  
 Ratio demanda capacidad - C. Portante - LRFD - Comb. 3 - EEI  
 Ratio demanda capacidad - C. Portante - LRFD - Comb. 4 - EEI  
 Ratio demanda capacidad - C. Portante - LRFD - Comb. 5 - EEI  
 Ratio demanda capacidad - C. Portante - LRFD - Comb. 6 - EEI

## d. Deslizamiento

$$F_{d\_EEI} := F_{EH} \cdot EX\_I^{(2)} + F_{LLH} \cdot EX\_I^{(4)} + F_{PAE} \cdot EX\_I^{(6)} + F_{PIR} \cdot EX\_I^{(7)} = \begin{bmatrix} 256.508 \\ 237.264 \\ 295.672 \\ 276.428 \\ 295.672 \\ 276.428 \end{bmatrix} kN$$

Fuerza des - Com. 1 - EEI  
 Fuerza des - Com. 2 - EEI  
 Fuerza des - Com. 3 - EEI  
 Fuerza des - Com. 4 - EEI  
 Fuerza des - Com. 5 - EEI  
 Fuerza des - Com. 6 - EEI

$$F_{RI\_EEI} := FV_{E\_EEI} \cdot \mu + B \cdot c_F \cdot 1 \text{ m} = \begin{bmatrix} 351.23 \\ 351.23 \\ 351.23 \\ 351.23 \\ 364.884 \\ 364.884 \end{bmatrix} kN$$

Fuerza resistente- LRFD - Comb. 1 - EEI  
 Fuerza resistente- LRFD - Comb. 2 - EEI  
 Fuerza resistente- LRFD - Comb. 3 - EEI  
 Fuerza resistente- LRFD - Comb. 4 - EEI  
 Fuerza resistente- LRFD - Comb. 5 - EEI  
 Fuerza resistente- LRFD - Comb. 6 - EEI

$$F_{RTD\_EEI} := \phi_T \cdot F_{RI\_EEI} + \phi_{ep} \cdot F_{Pp} \cdot EX\_I^{(2)} = \begin{bmatrix} 344.106 \\ 344.106 \\ 344.106 \\ 344.106 \\ 356.394 \\ 356.394 \end{bmatrix} kN$$

Fuerza resistente total - LRFD - Comb. 1 - EEI  
 Fuerza resistente total - LRFD - Comb. 2 - EEI  
 Fuerza resistente total - LRFD - Comb. 3 - EEI  
 Fuerza resistente total - LRFD - Comb. 4 - EEI  
 Fuerza resistente total - LRFD - Comb. 5 - EEI  
 Fuerza resistente total - LRFD - Comb. 6 - EEI

$$R_{DCD\_EEI} := \frac{F_{d\_EEI}}{F_{RTD\_EEI}} = \begin{bmatrix} 0.745 \\ 0.69 \\ 0.859 \\ 0.803 \\ 0.83 \\ 0.776 \end{bmatrix}$$

Ratio demanda capacidad - Deslizamiento- LRFD - Comb. 1 - EEI  
 Ratio demanda capacidad - Deslizamiento- LRFD - Comb. 2 - EEI  
 Ratio demanda capacidad - Deslizamiento- LRFD - Comb. 3 - EEI  
 Ratio demanda capacidad - Deslizamiento- LRFD - Comb. 4 - EEI  
 Ratio demanda capacidad - Deslizamiento- LRFD - Comb. 5 - EEI  
 Ratio demanda capacidad - Deslizamiento- LRFD - Comb. 6 - EEI



## 8.2. REVISIÓN A LA CONDICIÓN DE ESTABILIDAD - ASD

### a. Volteo

$$M_{U\_S} := M_{LLH} + M_{EH} + M_{PAE} + M_{PIR} = 921.569 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

Momento último - ASD - Estático

Momento resistente - ASD - Estático

$$M_{R1} = 1869.467 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

Momento resistente - ASD - Estático con LLv

$$M_{R2} = 2073.973 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

Factor volteo - ASD - Caso estático

$$DC_{VS1} := \frac{M_{R1}}{M_{U\_S}} = 2.029$$

Factor volteo - ASD - Caso estático con LLv

$$DC_{VS2} := \frac{M_{R2}}{M_{U\_S}} = 2.25$$

$$R_{VS1} := \begin{cases} \text{if } DC_{VS1} > ASD_{NEC\_SIS}(1, 0) \\ \text{“Cumple”} \\ \text{else} \\ \text{“No cumple”} \end{cases}$$

Revisión ASD - Caso estático

$$R_{VS2} := \begin{cases} \text{if } DC_{VS2} > ASD_{NEC\_SIS}(1, 0) \\ \text{“Cumple”} \\ \text{else} \\ \text{“No cumple”} \end{cases}$$

Revisión ASD - Caso estático con LLv

### b. Excentricidad

$$e_{max\_sis\_ASD} := ASD_{NEC\_SIS1,1} = 1.325 \text{ m}$$

Excentricidad máxima - ASD - Sísmico

$$F_{V1} = 587.459 \text{ kN}$$

Fuerza vertical - ASD - Estático

$$F_{V2} = 645.067 \text{ kN}$$

Fuerza vertical - ASD - Estático con LLv

$$e_{S1} := \frac{B}{2} - \frac{M_{R1} - M_{U\_S}}{F_{V1}} = 1.036 \text{ m}$$

Excentricidad 1 - ASD - Estático

$$e_{S2} := \frac{B}{2} - \frac{M_{R2} - M_{U\_S}}{F_{V2}} = 0.864 \text{ m}$$

Excentricidad 2- ASD - Estático con LLv

$$R_{ES1} := \begin{cases} \text{if } e_{S1} < e_{max\_sis\_ASD} \\ \text{“Cumple”} \\ \text{else} \\ \text{“No cumple”} \end{cases}$$

Revisión ASD - Caso estático

$$R_{ES2} := \begin{cases} \text{if } e_{S2} < e_{max\_sis\_ASD} \\ \text{“Cumple”} \\ \text{else} \\ \text{“No cumple”} \end{cases}$$

Revisión ASD - Caso estático con LLv

$$q_{PS1} := \frac{F_{V1}}{B} \cdot \left(1 + 6 \cdot \frac{e_{S1}}{B}\right) = 240.895 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

Carga sobre la punta - ASD - Estático

$$q_{TS1} := \frac{F_{V1}}{B} \cdot \left(1 - 6 \cdot \frac{e_{S1}}{B}\right) = -19.213 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

Carga sobre el talón - ASD - Estático

$$q_{PS2} := \frac{F_{V2}}{B} \cdot \left(1 + 6 \cdot \frac{e_{S2}}{B}\right) = 240.69 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

Carga sobre la punta - ASD - Estático con LLv

$$q_{TS2} := \frac{F_{V2}}{B} \cdot \left(1 - 6 \cdot \frac{e_{S2}}{B}\right) = 2.731 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

Carga sobre el talón - ASD - Estático con LLv

### c. Capacidad portante

$$q_u = 735.499 \frac{kN}{m^2}$$

$$\phi q_u = 478.074 \frac{kN}{m}$$

$$DC_{CS1} := \frac{\phi q_u}{q_{PS1}} = 1.985$$

$$DC_{CS2} := \frac{\phi q_u}{q_{PS2}} = 1.986$$

$$R_{CS1} := \begin{cases} \text{if } DC_{CS1} > ASD_{NEC\_SIS_{1,2}} \\ \text{then "Cumple"} \\ \text{else "No cumple"} \end{cases} = \text{"Cumple"}$$

$$R_{CS2} := \begin{cases} \text{if } DC_{CS2} > ASD_{NEC\_SIS_{1,2}} \\ \text{then "Cumple"} \\ \text{else "No cumple"} \end{cases} = \text{"Cumple"}$$

Capacidad portante admisible

Capacidad portante admisible -  
Considerando el factor de seguridad  $\phi$

Factor de Cap. Portante 1 - ASD - Caso  
estático

Factor de Cap. Portante 2 - ASD - Caso  
estático con LLv

Revisión - Capacidad portante ASD - Caso  
estático

Revisión - Capacidad portante ASD - Caso  
estático con LLv

### d. Deslizamiento

$$k_1 = 0.667$$

$$k_2 = 0.667$$

$$F_{DUS} := F_{EH} + F_{LLH} + F_{PAE} + F_{PIR} = 320.488 \text{ kN}$$

$$F_{R1} = 411.148 \text{ kN}$$

$$F_{R2} = 432.116 \text{ kN}$$

Factor de reducción de resistencia del suelo  $k1$

Factor de reducción de resistencia del suelo  $k2$

Fuerza deslizante última

Fuerza resistente ASD - Estático

Fuerza resistente ASD - Estático con LLv

$$DC_{DS1} := \frac{F_{R1}}{F_{DUS}} = 1.283$$

$$DC_{DS2} := \frac{F_{R2}}{F_{DUS}} = 1.348$$

Factor de deslizamiento 1 - ASD - Caso estático

Factor de deslizamiento 2 - ASD - Caso estático  
con LLv

$$R_{DS1} := \begin{cases} \text{if } DC_{DS1} > ASD_{NEC\_SIS_{1,3}} \\ \text{then "Cumple"} \\ \text{else "No cumple"} \end{cases} = \text{"Cumple"}$$

$$R_{DS2} := \begin{cases} \text{if } DC_{DS2} > ASD_{NEC\_SIS_{1,3}} \\ \text{then "Cumple"} \\ \text{else "No cumple"} \end{cases} = \text{"Cumple"}$$

Revisión - Deslizamiento ASD - Caso estático

Revisión - Deslizamiento ASD - Caso  
estático con LLv

## DISEÑO DE MUROS DE CONTENCIÓN - PANTALLA

### 1. DATOS DE ENTRADA

#### 1.1. Datos del muro

$$\gamma_H := 23.58 \frac{kN}{m^3}$$

$$H := 6 \text{ m}$$

$$\#_{gc} := 1$$

$$h_{gc} := H = 6 \text{ m}$$

$$b_{gc} := 1.5 \text{ m}$$

$$\#_{gt} := 3$$

$$h_{gt} := \frac{H}{\#_{gt} + 1} = 1.5 \text{ m}$$

$$b_{gt} := 0.5 \text{ m}$$

$$\#_{gp} := 3$$

$$h_{gp} := \frac{H}{\#_{gp} + 1} = 1.5 \text{ m}$$

$$b_{gp} := 1 \text{ m}$$

$$\#_g := \#_{gc} + \#_{gt} + \#_{gp} = 7$$

$$b_c := b_{gc} = 1.5 \text{ m}$$

$$b_l := \#_{gt} \cdot b_{gt} = 1.5 \text{ m}$$

$$b_p := \#_{gp} \cdot b_{gp} = 3 \text{ m}$$

$$\alpha_R := 10^\circ$$

$$h_R := (b_l) \cdot \sin(\alpha_R) = 0.26 \text{ m}$$

$$B := \#_{gt} \cdot b_{gt} + \#_{gc} \cdot b_{gc} + \#_{gp} \cdot b_{gp} = 6 \text{ m}$$

$$h_{eq} := \left\| \begin{array}{l} \text{if } H \leq 5 \text{ ft} \\ \quad \left\| \begin{array}{l} h_{eq} \leftarrow 4 \text{ ft} \end{array} \right\| \\ \text{else if } 5 \text{ ft} < H < 20 \text{ ft} \\ \quad \left\| \begin{array}{l} h_{eq} \leftarrow 3 \text{ ft} \end{array} \right\| \\ \text{else} \\ \quad \left\| \begin{array}{l} h_{eq} \leftarrow 2 \text{ ft} \end{array} \right\| \end{array} \right\| = 0.914 \text{ m}$$

Densidad del material del muro

Altura - Pantalla Muro

Número de gaviones - Centro

Altura del gavión - Central

Número de gaviones - Talón

Diferencia de altura - Gaviones del talón

Número de gaviones - Punta

Diferencia de altura - Gaviones de la punta

Total de gaviones

Ancho de la base del gavión - Centro

Ancho de la base del gavión - Talón

Ancho de la base del gavión - Punta

Ángulo de inclinación del terreno con la horizontal

Altura del relleno inclinado

Base - Muro

Altura equivalente de la carga viva

#### 1.2. DATOS DE LA TIERRA DESESTABILIZANTE Y ESTABILIZANTE

$$\gamma_F := 19 \frac{kN}{m^3}$$

$$\phi_F := 20^\circ$$

$$c_F := 40 \frac{kN}{m^2}$$

$$\gamma_E := 18 \frac{kN}{m^3}$$

$$\phi_E := 30^\circ$$

$$c_E := 0 \frac{kN}{m^2}$$

$$h_{eq} = 0.914 \text{ m}$$

Densidad - Suelo de fundación

Ángulo de fricción - Suelo de fundación

Cohesión - Suelo de fundación

Densidad - Material de Empuje

Ángulo de fricción - Material de Empuje

Cohesión - Material de Empuje

Altura equivalente - Carga Viva

$$q_u := 7.5 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$$

$$\phi_{qu} := 0.65$$

$$\mu := \tan\left(\frac{2}{3} \cdot \phi_F\right) = 0.237$$

$$D := 1.7 \text{ m}$$

$$k_{pFR} := \tan\left(45^\circ + \frac{\phi_F}{2}\right)^2 = 2.04$$

$$\phi_T := 0.9$$

$$\phi_{ep} := 0.5$$

$$k_{aER} := \cos(\alpha_R) \cdot \frac{\cos(\alpha_R) - \sqrt{(\cos(\alpha_R))^2 - (\cos(\phi_E))^2}}{\cos(\alpha_R) + \sqrt{(\cos(\alpha_R))^2 - (\cos(\phi_E))^2}} = 0.35$$

$$k_{pER} := \cos(\alpha_R) \cdot \frac{\cos(\alpha_R) + \sqrt{(\cos(\alpha_R))^2 - (\cos(\phi_E))^2}}{\cos(\alpha_R) - \sqrt{(\cos(\alpha_R))^2 - (\cos(\phi_E))^2}} = 2.775$$

Presión admisible - Suelo de fundación

Factor de reducción última del suelo

Coefficiente de fricción - Suelo de fundación

Profundidad de desplante - Suelo de fundación

Coefficiente de empuje pasivo de tierra - Fundación Rankine

Factor de reducción de resistencia - Deslizamiento

Factor de reducción de resistencia - Tierra pasiva

Coefficiente de empuje activo de tierra - Empuje Rankine - INCLINADO

Coefficiente de empuje activo de tierra - Empuje Rankine - INCLINADO

### 1.3. ESQUEMA DEL MURO

#### a. Coordenadas de dibujo del muro

$$c_{xM} := \left\| \begin{array}{l} dis_x \leftarrow 0 \text{ m} \\ \text{for } i \in 0, 2 \dots \#_g \cdot 2 \\ \quad \text{if } i \leq \#_{gp} \cdot 2 \\ \quad \quad M_{x_i} \leftarrow dis_x \\ \quad \quad M_{x_{i+1}} \leftarrow dis_x \\ \quad \quad dis_x \leftarrow dis_x + b_{gp} \\ \quad \text{else if } i \leq (\#_{gp} + \#_{gc}) \cdot 2 \\ \quad \quad M_{x_i} \leftarrow dis_x + b_{gc} - b_{gp} \\ \quad \quad M_{x_{i+1}} \leftarrow dis_x + b_{gc} - b_{gp} \\ \quad \quad dis_x \leftarrow dis_x + b_{gc} - b_{gp} \\ \quad \text{else} \\ \quad \quad M_{x_i} \leftarrow dis_x + b_{gt} \\ \quad \quad M_{x_{i+1}} \leftarrow dis_x + b_{gt} \\ \quad \quad dis_x \leftarrow dis_x + b_{gt} \\ \end{array} \right\| = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 1 \\ \vdots \end{bmatrix} \text{ m}$$

$$c_{yM} := \left\| \begin{array}{l} dis_y \leftarrow 0 \text{ m} \\ \text{for } i \in 0, 2 \dots \#_g \cdot 2 \\ \quad \text{if } i \leq \#_{gp} \cdot 2 \\ \quad \quad M_{y_i} \leftarrow dis_y \\ \quad \quad M_{y_{i+1}} \leftarrow dis_y + h_{gp} \\ \quad \quad dis_y \leftarrow dis_y + h_{gp} \\ \quad \text{else} \\ \quad \quad M_{y_i} \leftarrow dis_y \\ \quad \quad M_{y_{i+1}} \leftarrow dis_y - h_{gt} \\ \quad \quad dis_y \leftarrow dis_y - h_{gt} \\ \end{array} \right\| = \begin{bmatrix} 0 \\ 1.5 \\ 1.5 \\ \vdots \end{bmatrix} \text{ m}$$

#### b. Coordenadas de dibujo del material de desplante

$$int_T := 0.1 \text{ m}$$

$$c_{xD} := \left\| \begin{array}{l} \text{for } i \in 0, 1 \dots \frac{b_{gp}}{int_T} \\ \quad c_{xD_i} \leftarrow int_T \cdot i \\ \end{array} \right\| = \begin{bmatrix} 0 \\ 0.1 \\ 0.2 \\ 0.3 \\ \vdots \end{bmatrix} \text{ m}$$

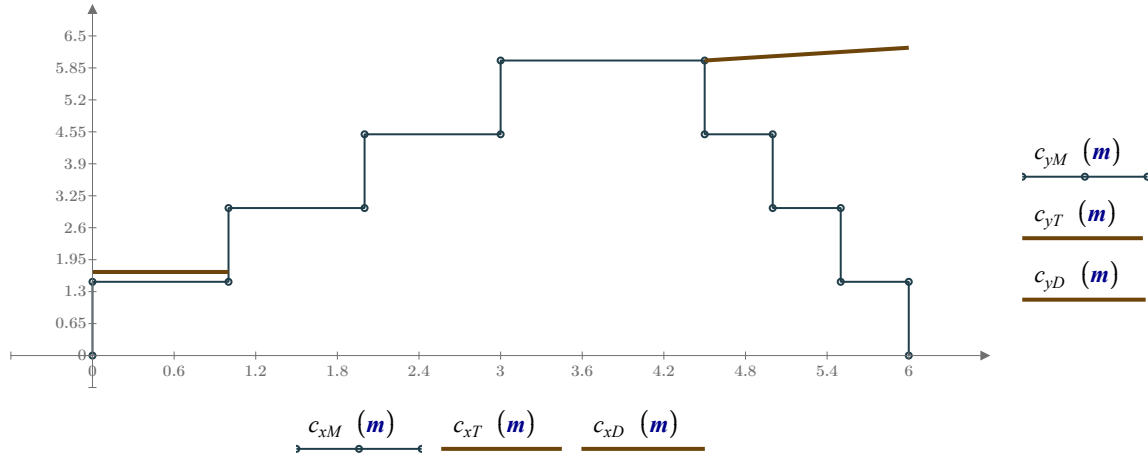
$$c_{yT} := \left\| \begin{array}{l} \text{for } i \in 0, 1 \dots \frac{b_t}{int_T} \\ \quad c_{yT_i} \leftarrow H + int_T \cdot i \cdot \sin(\alpha_R) \\ \end{array} \right\| = \begin{bmatrix} 6 \\ 6.017 \\ 6.035 \\ 6.052 \\ \vdots \end{bmatrix} \text{ m}$$

### c. Coordenadas de dibujo del material de empuje

$$c_{yD} := \left\| \begin{array}{l} \text{for } i \in 0, 1 \dots \frac{b_p}{int_T} \\ \left\| c_{xD_i} \leftarrow D \right. \\ \left. c_{xD} \right. \end{array} \right\| = \begin{bmatrix} 1.7 \\ 1.7 \\ 1.7 \\ 1.7 \\ \vdots \end{bmatrix} m$$

$$c_{xT} := \left\| \begin{array}{l} \text{for } i \in 0, 1 \dots \frac{b_t}{int_T} \\ \left\| c_{xT_i} \leftarrow b_p + b_c + int_T \cdot i \right. \\ \left. c_{xT} \right. \end{array} \right\| = \begin{bmatrix} 4.5 \\ 4.6 \\ 4.7 \\ 4.8 \\ \vdots \end{bmatrix} m$$

### d. Esquema final del muro - Pantalla



## 2. FUERZAS ACTUANTES SOBRE EL MURO

### 2.1. FUERZAS DESESTABILIZANTES

#### 2.1.1. FUERZA - EMPUJE LATERAL DE LA TIERRA - EH

$$H' := H + h_R = 6.26 \text{ m}$$

Altura - Efectiva presión lateral de tierra

$$P_a := \frac{1}{2} \cdot k_{aER} \cdot \gamma_E \cdot H'^2 \cdot 1 \text{ m} = 123.29 \text{ kN}$$

Resultante - Empuje lateral

$$P_v := P_a \cdot \sin(\alpha_R) = 21.409 \text{ kN}$$

Fuerza desestabilizante - Vertical

$$M_{P_v} := P_v \cdot B = 128.455 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$P_h := P_a \cdot \cos(\alpha_R) = 121.417 \text{ kN}$$

Fuerza desestabilizante - Horizontal

$$F_{EH} := P_h = 121.417 \text{ kN}$$

FUERZA - EMPUJE HORIZONTAL - EH

$$M_{EH} := P_h \cdot \left( \frac{1}{3} \cdot H' \right) = 253.376 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

MOMENTO- EMPUJE HORIZONTAL - EH

#### 2.1.2. FUERZA - EMPUJE LATERAL DE LA CARGA VIVA - LL

$$F_{LLH} := H' \cdot k_{aER} \cdot h_{eq} \cdot \gamma_E \cdot 1 \text{ m} = 36.015 \text{ kN}$$

FUERZA - CARGA VIVA - LL - Horizontal

$$M_{LLH} := F_{LLH} \cdot \frac{H'}{2} = 112.737 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

MOMENTO - CARGA VIVA - LL - Horizontal

$$F_{LLV} := (b_t) \cdot k_{aER} \cdot h_{eq} \cdot \gamma_E \cdot 1 \text{ m} = 8.629 \text{ kN}$$

FUERZA - CARGA VIVA - LL - Vertical

$$M_{LLV} := F_{LLV} \cdot \left( B - \frac{b_t}{2} \right) = 45.303 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

MOMENTO - CARGA VIVA - LL - Vertical

## 2.2. FUERZAS ESTABILIZANTES

### 2.2.1. PESO PROPIO DEL MURO

$$h_{MP} := \left\| \begin{array}{l} h_{gp} \\ \text{for } i \in 0, 1 \dots \#_{gp} - 1 \\ \quad \left\| h_{MP_i} \leftarrow h_{gp} + (i \cdot h_{gp}) \right\| \\ h_{MP} \end{array} \right\| = \begin{bmatrix} 1.5 \\ 3 \\ 4.5 \end{bmatrix} \text{ m}$$

Vector de altura del muro - Punta

$$b_{MP} := b_{gp} = 1 \text{ m}$$

Base de los gaviones - Punta

$$h_{MC} := H = 6 \text{ m}$$

Altura de los gaviones centrales

$$b_{MC} := b_{gc} = 1.5 \text{ m}$$

Base de los gaviones centrales

$$h_{MT} := \left\| \begin{array}{l} \text{for } i \in 0, 1 \dots \#_{gt} - 1 \\ \quad \left\| h_{MT_i} \leftarrow h_{gt} + (i \cdot h_{gt}) \right\| \\ h_{MT} \end{array} \right\| = \begin{bmatrix} 1.5 \\ 3 \\ 4.5 \end{bmatrix} \text{ m}$$

Vector de altura del muro - Talón

$$b_{MT} := b_{gt} = 0.5 \text{ m}$$

Base de los gaviones - Talón

$$c_{GMP} := \left\| \begin{array}{l} c_g \leftarrow \frac{b_{gp}}{2} \\ \text{for } i \in 0, 1 \dots \#_{gp} - 1 \\ \quad \left\| c_{GMP_i} \leftarrow c_g + (i \cdot b_{gp}) \right\| \\ c_{GMP} \end{array} \right\| = \begin{bmatrix} 0.5 \\ 1.5 \\ 2.5 \end{bmatrix} \text{ m}$$

Centro de gravedad gaviones - Punta

$$c_{GMC} := b_p + \frac{b_{gc}}{2} = 3.75 \text{ m}$$

Centro de gravedad - Gavión central

$$c_{GMT} := \left\| \begin{array}{l} c_g \leftarrow \frac{b_{gt}}{2} \\ \text{for } i \in 0, 1 \dots \#_{gt} - 1 \\ \quad \left\| c_{GMP_i} \leftarrow b_p + b_c + c_g + (i \cdot b_{gp}) \right\| \\ c_{GMP} \end{array} \right\| = \begin{bmatrix} 4.75 \\ 5.75 \\ 6.75 \end{bmatrix} \text{ m}$$

Centro de gravedad - Gaviones talón

$$h_M := \left\| \begin{array}{l} j \leftarrow 0 \\ \text{for } i \in 0, 1 \dots \#_g - 1 \\ \quad \left\| \begin{array}{l} \text{if } i \leq \#_{gp} - 1 \\ \quad \left\| h_{M_i} \leftarrow h_{MP_i} \right\| \\ \text{else if } i = \#_{gp} \\ \quad \left\| h_{M_i} \leftarrow h_{gc} \right\| \\ \text{else} \\ \quad \left\| h_{M_i} \leftarrow H - h_{MT_j} \right\| \\ \quad j \leftarrow j + 1 \end{array} \right\| \\ h_M \end{array} \right\| = \begin{bmatrix} 1.5 \\ \vdots \end{bmatrix} \text{ m}$$

Vector de altura de los gaviones

$$b_M := \left\| \begin{array}{l} \text{for } i \in 0, 1 \dots \#_g - 1 \\ \quad \left\| \begin{array}{l} \text{if } i \leq \#_{gp} - 1 \\ \quad \left\| b_{M_i} \leftarrow b_{MP} \right. \\ \text{else if } i = \#_{gp} \\ \quad \left\| b_{M_i} \leftarrow b_{gc} \right. \\ \text{else} \\ \quad \left\| b_{M_i} \leftarrow b_{MT} \right. \end{array} \right. \\ b_M \end{array} \right\| = \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \\ \vdots \end{bmatrix} \mathbf{m}$$

Vector de la base de los gaviones

$$c_{gM} := \left\| \begin{array}{l} j \leftarrow 0 \\ \text{for } i \in 0, 1 \dots \#_g - 1 \\ \quad \left\| \begin{array}{l} \text{if } i \leq \#_{gp} - 1 \\ \quad \left\| c_{gM_i} \leftarrow c_{GMP_i} \right. \\ \text{else if } i = \#_{gp} \\ \quad \left\| c_{gM_i} \leftarrow c_{GMC} \right. \\ \text{else} \\ \quad \left\| c_{gM_i} \leftarrow c_{GMT_j} \right. \\ \quad j \leftarrow j + 1 \end{array} \right. \\ c_{gM} \end{array} \right\| = \begin{bmatrix} 0.5 \\ 1.5 \\ \vdots \end{bmatrix} \mathbf{m}$$

Vector del centro de gravedad de los gaviones

$$F_{RM} := \left( \sum \overrightarrow{h_M \cdot b_M} \right) \cdot \gamma_H \cdot 1 \mathbf{m} = 530.55 \mathbf{kN}$$

Fuerza resistente del muro

$$M_{RM} := \left( \sum \overrightarrow{h_M \cdot b_M \cdot c_{gM}} \right) \gamma_H \cdot 1 \mathbf{m} = 1759.658 \mathbf{kN \cdot m}$$

Momento resistente del muro

$$F_{DC} := F_{RM} = 530.55 \mathbf{kN}$$

FUERZA CARGA MUERTA - DC

$$M_{DC} := M_{RM} = 1759.658 \mathbf{kN \cdot m}$$

MOMENTO CARGA MUERTA - DC

## 2.2.2. TIERRA ESTABILIZANTE

$$h_{TT} := \left\| \begin{array}{l} \text{for } i \in 1, 2 \dots \#_{gt} \\ \quad \left\| h_{TT_{i-1}} \leftarrow (i \cdot h_{gt}) \right. \\ h_{TT} \end{array} \right\| = \begin{bmatrix} 1.5 \\ 3 \\ 4.5 \end{bmatrix} \mathbf{m}$$

Altura del material del talón

$$b_{TT} := b_{gt} = 0.5 \mathbf{m}$$

Ancho del material del talón

$$c_{GTT} := c_{GMT} = \begin{bmatrix} 4.75 \\ 5.75 \\ 6.75 \end{bmatrix} \mathbf{m}$$

Centro de gravedad del material del talón

$$F_{RT} := \left( \sum \overrightarrow{h_{TT} \cdot b_{TT}} \right) \cdot \gamma_E \cdot 1 \mathbf{m} + P_v = 102.409 \mathbf{kN}$$

Fuerza resistente

$$M_{RT} := \left( \sum \overrightarrow{h_{TT} \cdot b_{TT} \cdot c_{GTT}} \right) \gamma_E \cdot 1 \text{ m} + M_{Pv} = 621.205 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

Momento resistente

$$F_{EV} := F_{RT} = 102.409 \text{ kN}$$

FUERZA - EMPUJE VERTICAL - EV

$$M_{EV} := M_{RT} = 621.205 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

MOMENTO - EMPUJE VERTICAL - EV

### 2.2.3. TIERRA DESPLANTE

$$c_{FR} := c_F \cdot 0 = 0 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

Cohesión real del suelo de fundación - Conservadora

$$F_{Pp} := \frac{1}{2} \cdot k_{pFR} \cdot \gamma_F \cdot D^2 \cdot 1 \text{ m} + 2 \cdot c_{FR} \cdot \sqrt{k_{pFR}} \cdot D \cdot 1 \text{ m} = 55.997 \text{ kN}$$

FUERZA PASIVA SOBRE LA PUNTA - Pp

$$M_{Pp} := F_{Pp} \cdot \left( \frac{1}{3} \right) \cdot D = 31.732 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

MOMENTO PASIVO SOBRE LA PUNTA - Pp

## 3. RESUMEN DE FUERZAS ESTABILIZANTES Y DESESTABILIZANTES - ESTÁTICO

$$F_{DC} = 530.55 \text{ kN}$$

FUERZA CARGA MUERTA - DC

$$M_{DC} = 1759.658 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

MOMENTO CARGA MUERTA - DC

$$F_{EV} = 102.409 \text{ kN}$$

FUERZA - EMPUJE VERTICAL - EV

$$M_{EV} = 621.205 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

MOMENTO - EMPUJE VERTICAL - EV

$$F_{EH} = 121.417 \text{ kN}$$

FUERZA - EMPUJE HORIZONTAL - EH

$$M_{EH} = 253.376 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

MOMENTO - EMPUJE HORIZONTAL - EH

$$F_{Pp} = 55.997 \text{ kN}$$

FUERZA PASIVA SOBRE LA PUNTA - Pp

$$M_{Pp} = 31.732 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

MOMENTO PASIVO SOBRE LA PUNTA - Pp

$$F_{LLH} = 36.015 \text{ kN}$$

FUERZA - CARGA VIVA - LL - Horizontal

$$M_{LLH} = 112.737 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

MOMENTO - CARGA VIVA - LL - Horizontal

$$F_{LLV} = 8.629 \text{ kN}$$

FUERZA - CARGA VIVA - LL - Vertical

$$M_{LLV} = 45.303 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

MOMENTO - CARGA VIVA - LL - Vertical

## 4. PLANTEAMIENTO DE COMBINACIONES DE CARGA (LRFD) Y ESTADOS LÍMITE (ASD)

### 4.1. COMBINACIONES DE CARGA RESISTENCIA I - AASTHO

|          | “Strength I” | “DC” | “EH” | “EV” | “LLh” | “LLv” | “EQ(PAE)” | “EQ(PIR)” | Comb. Servicio - Resistencia I |
|----------|--------------|------|------|------|-------|-------|-----------|-----------|--------------------------------|
| $S_I :=$ | “S”          | 1    | 1    | 1    | 1     | 1     | 0         | 0         | Comb. 1 - Resistencia I        |
|          | 1            | 0.9  | 1.5  | 1    | 1.75  | 1.75  | 0         | 0         | Comb. 2 - Resistencia I        |
|          | 2            | 1.25 | 1.5  | 1    | 1.75  | 1.75  | 0         | 0         | Comb. 3 - Resistencia I        |
|          | 3            | 0.9  | 1.5  | 1.35 | 1.75  | 1.75  | 0         | 0         | Comb. 4 - Resistencia I        |
|          | 4            | 0.9  | 1    | 1.35 | 1.75  | 1.75  | 0         | 0         | Comb. 5 - Resistencia I        |
|          | 5            | 1.25 | 1.5  | 1.35 | 1.75  | 1.75  | 0         | 0         | Comb. 6 - Resistencia I        |
|          | 6            | 1.25 | 1    | 1.35 | 1.75  | 0     | 0         | 0         | Comb. 7 - Resistencia I        |
|          | 7            | 1.25 | 1.5  | 1    | 1.75  | 0     | 0         | 0         |                                |



#### 4.2. COMBINACIONES DE CARGA - RESISTENCIA II - AASTHO

|             | “Strength I” | “DC” | “EH” | “EV” | “LLh” | “LLv” | “EQ(PAE)” | “EQ(PIR)” |                                        |
|-------------|--------------|------|------|------|-------|-------|-----------|-----------|----------------------------------------|
| $S_{II} :=$ | “S”          | 1    | 1    | 1    | 1     | 1     | 0         | 0         | <i>Comb. Servicio - Resistencia II</i> |
|             | 1            | 0.9  | 1.5  | 1    | 1.35  | 1.35  | 0         | 0         | <i>Comb. 1 - Resistencia II</i>        |
|             | 2            | 1.25 | 1.5  | 1    | 1.35  | 1.35  | 0         | 0         | <i>Comb. 2 - Resistencia II</i>        |
|             | 3            | 0.9  | 1.5  | 1.35 | 1.35  | 1.35  | 0         | 0         | <i>Comb. 3 - Resistencia II</i>        |
|             | 4            | 0.9  | 1    | 1.35 | 1.35  | 1.35  | 0         | 0         | <i>Comb. 4 - Resistencia II</i>        |
|             | 5            | 1.25 | 1.5  | 1.35 | 1.35  | 1.35  | 0         | 0         | <i>Comb. 5 - Resistencia II</i>        |
|             | 6            | 1.25 | 1    | 1.35 | 1.35  | 0     | 0         | 0         | <i>Comb. 6 - Resistencia II</i>        |
|             | 7            | 1.25 | 1.5  | 1    | 1.35  | 0     | 0         | 0         | <i>Comb. 7 - Resistencia II</i>        |

#### 4.3. COMBINACIONES DE CARGA - EVENTO EXTREMO I - AASTHO

|           | “Strength I” | “DC” | “EH” | “EV” | “LLh” | “LLv” | “EQ(PAE)” | “EQ(PIR)” |                                 |
|-----------|--------------|------|------|------|-------|-------|-----------|-----------|---------------------------------|
| $EX_I :=$ | 1            | 1    | 1    | 1    | 0     | 0     | 0.5       | 1         | <i>Comb. 1 - Evento Extr. I</i> |
|           | 2            | 1    | 1    | 1    | 0     | 0     | 1         | 0.5       | <i>Comb. 2 - Evento Extr. I</i> |
|           | 3            | 1    | 1    | 1    | 1     | 0     | 0.5       | 1         | <i>Comb. 3 - Evento Extr. I</i> |
|           | 4            | 1    | 1    | 1    | 1     | 0     | 1         | 0.5       | <i>Comb. 4 - Evento Extr. I</i> |
|           | 5            | 1    | 1    | 1    | 1     | 1     | 0.5       | 1         | <i>Comb. 5 - Evento Extr. I</i> |
|           | 6            | 1    | 1    | 1    | 1     | 1     | 1         | 0.5       | <i>Comb. 6 - Evento Extr. I</i> |

#### 4.4. ESTADOS LÍMITE - LRFD - ASD

$$LRFD_{AASHTO} := \begin{bmatrix} \text{“Volteo”} & \text{“Excentricidad”} & \text{“Capacidad Portante”} & \text{“Deslizamiento”} \\ 1 & \frac{B}{6} & 1 & 1 \end{bmatrix}$$

$$LRFD_{AASHTO\_SIS} := \begin{bmatrix} \text{“Volteo”} & \text{“Excentricidad”} & \text{“Capacidad Portante”} & \text{“Deslizamiento”} \\ 1 & \frac{B}{4} & 1 & 1 \end{bmatrix}$$

$$ASD_{NEC} := \begin{bmatrix} \text{“Volteo”} & \text{“Excentricidad”} & \text{“Capacidad Portante”} & \text{“Deslizamiento”} \\ 3 & \frac{B}{6} & 3 & 1.6 \end{bmatrix}$$

$$ASD_{NEC\_SIS} := \begin{bmatrix} \text{“Volteo”} & \text{“Excentricidad”} & \text{“Capacidad Portante”} & \text{“Deslizamiento”} \\ 2 & \frac{B}{4} & 1.5 & 1.05 \end{bmatrix}$$

### 5. REVISIÓN A LA CONDICIÓN DE ESTABILIDAD

#### 5.1. REVISIÓN A LA CONDICIÓN DE ESTABILIDAD - LRFD

##### 5.1.1. REVISIÓN A LA CONDICIÓN DE ESTABILIDAD - LRFD - STRENGTH I

###### a. Volteo

|               |     |                                       |
|---------------|-----|---------------------------------------|
| $\#_{com} :=$ | “S” | <i>Comb. Servicio - Resistencia I</i> |
|               | “1” | <i>Comb. 1 - Resistencia I</i>        |
|               | “2” | <i>Comb. 2 - Resistencia I</i>        |
|               | “3” | <i>Comb. 3 - Resistencia I</i>        |
|               | “4” | <i>Comb. 4 - Resistencia I</i>        |
|               | “5” | <i>Comb. 5 - Resistencia I</i>        |
|               | “6” | <i>Comb. 6 - Resistencia I</i>        |
|               | “7” | <i>Comb. 7 - Resistencia I</i>        |

$$M_{UVI} := M_{EH} \cdot S_{-}f^{(2)} + M_{LLH} \cdot S_{-}f^{(4)} = \begin{bmatrix} 366.113 \\ 577.353 \\ 577.353 \\ 577.353 \\ 450.665 \\ 577.353 \\ 450.665 \\ 577.353 \end{bmatrix} \text{ kN} \cdot \text{m}$$

Momento último - Comb. S SI  
 Momento último - Comb. 1 SI  
 Momento último - Comb. 2 SI  
 Momento último - Comb. 3 SI  
 Momento último - Comb. 4 SI  
 Momento último - Comb. 5 SI  
 Momento último - Comb. 6 SI  
 Momento último - Comb. 7 SI

$$M_{RVI} := M_{DC} \cdot S_{-}f^{(1)} + M_{EV} \cdot S_{-}f^{(3)} + M_{PP} \cdot S_{-}f^{(2)} + M_{LLV} \cdot S_{-}f^{(5)} = \begin{bmatrix} 2457.897 \\ 2331.775 \\ 2947.655 \\ 2549.197 \\ 2533.331 \\ 3165.077 \\ 3069.93 \\ 2868.374 \end{bmatrix} \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$M_{om}$  Res - Comb. S SI  
 $M_{om}$  Res - Comb. 1 SI  
 $M_{om}$  Res - Comb. 2 SI  
 $M_{om}$  Res - Comb. 3 SI  
 $M_{om}$  Res - Comb. 4 SI  
 $M_{om}$  Res - Comb. 5 SI  
 $M_{om}$  Res - Comb. 6 SI  
 $M_{om}$  Res - Comb. 7 SI

$$R_{DCVI} := \left( \frac{M_{UVI}}{M_{RVI}} \right) = \begin{bmatrix} 0.149 \\ 0.248 \\ 0.196 \\ 0.226 \\ 0.178 \\ 0.182 \\ 0.147 \\ 0.201 \end{bmatrix}$$

Ratio demanda capacidad - Volteo - LRFD - Comb. S - SI  
 Ratio demanda capacidad - Volteo - LRFD - Comb. 1 - SI  
 Ratio demanda capacidad - Volteo - LRFD - Comb. 2 - SI  
 Ratio demanda capacidad - Volteo - LRFD - Comb. 3 - SI  
 Ratio demanda capacidad - Volteo - LRFD - Comb. 4 - SI  
 Ratio demanda capacidad - Volteo - LRFD - Comb. 5 - SI  
 Ratio demanda capacidad - Volteo - LRFD - Comb. 6 - SI  
 Ratio demanda capacidad - Volteo - LRFD - Comb. 7 - SI

#### b. Excentricidad

$$e_{max\_est} := LRFD_{AASHTO_{1,1}} = 1 \text{ m}$$

Excentricidad máxima - Condición estática

$$FV_{EI} := F_{DC} \cdot S_{-}f^{(1)} + F_{EV} \cdot S_{-}f^{(3)} + F_{LLV} \cdot S_{-}f^{(5)} = \begin{bmatrix} 641.588 \\ 595.005 \\ 780.698 \\ 630.848 \\ 630.848 \\ 816.541 \\ 801.44 \\ 765.597 \end{bmatrix} \text{ kN}$$

Fuerza vertical estabilizante - Comb. S - SI  
 Fuerza vertical estabilizante - Comb. 1 - SI  
 Fuerza vertical estabilizante - Comb. 2 - SI  
 Fuerza vertical estabilizante - Comb. 3 - SI  
 Fuerza vertical estabilizante - Comb. 4 - SI  
 Fuerza vertical estabilizante - Comb. 5 - SI  
 Fuerza vertical estabilizante - Comb. 6 - SI  
 Fuerza vertical estabilizante - Comb. 7 - SI

$$e_{EI} := \frac{B}{2} - \left( \frac{M_{RVI} - M_{UVI}}{FV_{EI}} \right) = \begin{bmatrix} -0.26 \\ 0.051 \\ -0.036 \\ -0.126 \\ -0.301 \\ -0.169 \\ -0.268 \\ 0.008 \end{bmatrix} \text{ m}$$

Excentricidad - Comb. S - SI  
 Excentricidad - Comb. 1 - SI  
 Excentricidad - Comb. 2 - SI  
 Excentricidad - Comb. 3 - SI  
 Excentricidad - Comb. 4 - SI  
 Excentricidad - Comb. 5 - SI  
 Excentricidad - Comb. 6 - SI  
 Excentricidad - Comb. 7 - SI  
 Excentricidad - Comb. 8 - SI

$$R_{DCEI} := \frac{e_{EI}}{e_{max\_est}} = \begin{bmatrix} -0.26 \\ 0.051 \\ -0.036 \\ -0.126 \\ -0.301 \\ -0.169 \\ -0.268 \\ 0.008 \end{bmatrix}$$

Ratio demanda capacidad - Excentricidad- LRFD - Comb. S - SI  
 Ratio demanda capacidad - Excentricidad- LRFD - Comb. 1 - SI  
 Ratio demanda capacidad - Excentricidad- LRFD - Comb. 2 - SI  
 Ratio demanda capacidad - Excentricidad- LRFD - Comb. 3 - SI  
 Ratio demanda capacidad - Excentricidad- LRFD - Comb. 4 - SI  
 Ratio demanda capacidad - Excentricidad- LRFD - Comb. 5 - SI  
 Ratio demanda capacidad - Excentricidad- LRFD - Comb. 6 - SI  
 Ratio demanda capacidad - Excentricidad- LRFD - Comb. 7 - SI

### c. Capacidad Portante

$$q_u = 7.5 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$$

Capacidad última admisible kgf/cm<sup>2</sup>

$$q_u = 735.499 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

Capacidad última admisible kN/m<sup>2</sup>

$$\phi q_u := \phi_{qu} \cdot q_u \cdot 1 \text{ m} = 478.074 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

Capacidad portante admisible - Considerando el factor de seguridad  $\phi$

#### c.1. Capacidad Portante - Cimentado sobre suelo

$$\sigma_{vPI} := \left( \frac{FV_{EI}}{B - 2 \cdot e_{EI}} \right) = \begin{bmatrix} 98.393 \\ 100.897 \\ 128.568 \\ 100.913 \\ 95.543 \\ 128.827 \\ 122.612 \\ 127.921 \end{bmatrix} \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

Presión máxima de contacto - Comb. S - SI  
 Presión máxima de contacto - Comb. 1 - SI  
 Presión máxima de contacto - Comb. 2 - SI  
 Presión máxima de contacto - Comb. 3 - SI  
 Presión máxima de contacto - Comb. 4 - SI  
 Presión máxima de contacto - Comb. 5 - SI  
 Presión máxima de contacto - Comb. 6 - SI  
 Presión máxima de contacto - Comb. 7 - SI

#### c.2. Capacidad Portante - Cimentado sobre roca - Dentro del tercio central-**PARA REVISIÓN DEL R D/C**

$$\sigma_{vImáxI} := \left( \frac{FV_{EI}}{B} \right) \cdot \left( 1 + 6 \cdot \frac{e_{EI}}{B} \right) = \begin{bmatrix} 79.095 \\ 104.267 \\ 125.415 \\ 91.925 \\ 73.455 \\ 113.073 \\ 97.749 \\ 128.561 \end{bmatrix} \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

Presión máxima de contacto Roca - Comb. S - SI  
 Presión máxima de contacto Roca - Comb. 1 - SI  
 Presión máxima de contacto Roca - Comb. 2 - SI  
 Presión máxima de contacto Roca - Comb. 3 - SI  
 Presión máxima de contacto Roca - Comb. 4 - SI  
 Presión máxima de contacto Roca - Comb. 5 - SI  
 Presión máxima de contacto Roca - Comb. 6 - SI  
 Presión máxima de contacto Roca - Comb. 7 - SI

$$\sigma_{vIminI} := \left( \frac{FV_{EI}}{B} \right) \cdot \left( 1 - 6 \cdot \frac{e_{EI}}{B} \right) = \begin{bmatrix} 134.768 \\ 94.069 \\ 134.818 \\ 118.358 \\ 136.828 \\ 159.107 \\ 169.398 \\ 126.638 \end{bmatrix} \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

Presión mínima de contacto Roca - Comb. S - SI  
 Presión mínima de contacto Roca - Comb. 1 - SI  
 Presión mínima de contacto Roca - Comb. 2 - SI  
 Presión mínima de contacto Roca - Comb. 3 - SI  
 Presión mínima de contacto Roca - Comb. 4 - SI  
 Presión mínima de contacto Roca - Comb. 5 - SI  
 Presión mínima de contacto Roca - Comb. 6 - SI  
 Presión mínima de contacto Roca - Comb. 7 - SI

### c.3. Capacidad Portante - Cimentado sobre roca - Fuera del tercio central

$$\sigma_{v2máxl} := \left( \frac{2 \cdot FV_{EI}}{3 \cdot \left( \frac{B}{2} - e_{EI} \right)} \right) = \begin{bmatrix} 131.191 \\ 134.529 \\ 171.424 \\ 134.551 \\ 127.391 \\ 171.77 \\ 163.482 \\ 170.561 \end{bmatrix} \frac{kN}{m}$$

$$\sigma_{v2minl} := 0 \frac{kN}{m}$$

$$R_{DCPI} := \left( \frac{\sigma_{v1máxl}}{\phi q_u} \right) = \begin{bmatrix} 0.165 \\ 0.218 \\ 0.262 \\ 0.192 \\ 0.154 \\ 0.237 \\ 0.204 \\ 0.269 \end{bmatrix}$$

Presión máxima II de contacto Roca - Comb. S - SI  
 Presión máxima II de contacto Roca - Comb. 1 - SI  
 Presión máxima II de contacto Roca - Comb. 2 - SI  
 Presión máxima II de contacto Roca - Comb. 3 - SI  
 Presión máxima II de contacto Roca - Comb. 4 - SI  
 Presión máxima II de contacto Roca - Comb. 5 - SI  
 Presión máxima II de contacto Roca - Comb. 6 - SI  
 Presión máxima II de contacto Roca - Comb. 7 - SI

Presión mínima II de contacto Roca

Ratio demanda capacidad - C. Portante - LRFD - Comb. S - SI  
 Ratio demanda capacidad - C. Portante - LRFD - Comb. 1 - SI  
 Ratio demanda capacidad - C. Portante - LRFD - Comb. 2 - SI  
 Ratio demanda capacidad - C. Portante - LRFD - Comb. 3 - SI  
 Ratio demanda capacidad - C. Portante - LRFD - Comb. 4 - SI  
 Ratio demanda capacidad - C. Portante - LRFD - Comb. 5 - SI  
 Ratio demanda capacidad - C. Portante - LRFD - Comb. 6 - SI  
 Ratio demanda capacidad - C. Portante - LRFD - Comb. 7 - SI

### d. Deslizamiento

$$F_{dl} := F_{EH} \cdot S_{-} I^{(2)} + F_{LLH} \cdot S_{-} I^{(4)} = \begin{bmatrix} 157.432 \\ 245.153 \\ 245.153 \\ 245.153 \\ 184.444 \\ 245.153 \\ 184.444 \\ 245.153 \end{bmatrix} kN$$

$$F_{RII} := \left( FV_{EI} \cdot \mu + B \cdot c_F \cdot 1 \right) = \begin{bmatrix} 392.059 \\ 381.019 \\ 425.029 \\ 389.514 \\ 389.514 \\ 433.524 \\ 429.945 \\ 421.45 \end{bmatrix} kN$$

$$F_{RTDI} := \phi_T \cdot F_{RII} + \phi_{ep} \cdot F_{Pp} \cdot S_{-} I^{(2)} = \begin{bmatrix} 380.852 \\ 384.915 \\ 424.524 \\ 392.56 \\ 378.561 \\ 432.169 \\ 414.949 \\ 421.303 \end{bmatrix} kN$$

Fuerza deslizante - LRFD - Comb. S - SI  
 Fuerza deslizante - LRFD - Comb. 1 - SI  
 Fuerza deslizante - LRFD - Comb. 2 - SI  
 Fuerza deslizante - LRFD - Comb. 3 - SI  
 Fuerza deslizante - LRFD - Comb. 4 - SI  
 Fuerza deslizante - LRFD - Comb. 5 - SI  
 Fuerza deslizante - LRFD - Comb. 6 - SI  
 Fuerza deslizante - LRFD - Comb. 7 - SI

Fuerza resistente- LRFD - Comb. S - SI  
 Fuerza resistente- LRFD - Comb. 1 - SI  
 Fuerza resistente- LRFD - Comb. 2 - SI  
 Fuerza resistente- LRFD - Comb. 3 - SI  
 Fuerza resistente- LRFD - Comb. 4 - SI  
 Fuerza resistente- LRFD - Comb. 5 - SI  
 Fuerza resistente- LRFD - Comb. 6 - SI  
 Fuerza resistente- LRFD - Comb. 7 - SI

Fuerza resistente total - LRFD - Comb. S - SI  
 Fuerza resistente total - LRFD - Comb. 1 - SI  
 Fuerza resistente total - LRFD - Comb. 2 - SI  
 Fuerza resistente total - LRFD - Comb. 3 - SI  
 Fuerza resistente total - LRFD - Comb. 4 - SI  
 Fuerza resistente total - LRFD - Comb. 5 - SI  
 Fuerza resistente total - LRFD - Comb. 6 - SI  
 Fuerza resistente total - LRFD - Comb. 7 - SI

$$R_{DCDI} := \frac{\overrightarrow{F_{dl}}}{F_{RTDI}} = \begin{bmatrix} 0.413 \\ 0.637 \\ 0.577 \\ 0.624 \\ 0.487 \\ 0.567 \\ 0.444 \\ 0.582 \end{bmatrix}$$

Ratio demanda capacidad - Deslizamiento- LRFD - Comb. S - SI  
 Ratio demanda capacidad - Deslizamiento- LRFD - Comb. 1 - SI  
 Ratio demanda capacidad - Deslizamiento- LRFD - Comb. 2 - SI  
 Ratio demanda capacidad - Deslizamiento- LRFD - Comb. 3 - SI  
 Ratio demanda capacidad - Deslizamiento- LRFD - Comb. 4 - SI  
 Ratio demanda capacidad - Deslizamiento- LRFD - Comb. 5 - SI  
 Ratio demanda capacidad - Deslizamiento- LRFD - Comb. 6 - SI  
 Ratio demanda capacidad - Deslizamiento- LRFD - Comb. 7 - SI

## 5.1.2. REVISIÓN A LA CONDICIÓN DE ESTABILIDAD - LRFD - STRENGTH II

### a. Volteo

$$\#_{com} = \begin{bmatrix} \text{"S"} \\ \text{"1"} \\ \text{"2"} \\ \text{"3"} \\ \text{"4"} \\ \text{"5"} \\ \text{"6"} \\ \text{"7"} \end{bmatrix}$$

Comb. Servicio - Resistencia II  
 Comb. 1 - Resistencia II  
 Comb. 2 - Resistencia II  
 Comb. 3 - Resistencia II  
 Comb. 4 - Resistencia II  
 Comb. 5 - Resistencia II  
 Comb. 6 - Resistencia II  
 Comb. 7 - Resistencia II

$$M_{UVII} := M_{EH} \cdot S_{II}^{(2)} + M_{LLH} \cdot S_{II}^{(4)} = \begin{bmatrix} 366.113 \\ 532.259 \\ 532.259 \\ 532.259 \\ 405.571 \\ 532.259 \\ 405.571 \\ 532.259 \end{bmatrix} \text{ kN} \cdot \text{m}$$

Momento último - Comb. S SII  
 Momento último - Comb. 1 SII  
 Momento último - Comb. 2 SII  
 Momento último - Comb. 3 SII  
 Momento último - Comb. 4 SII  
 Momento último - Comb. 5 SII  
 Momento último - Comb. 6 SII  
 Momento último - Comb. 7 SII

$$M_{RVII} := M_{DC} \cdot S_{II}^{(1)} + M_{EV} \cdot S_{II}^{(3)} + M_{PP} \cdot S_{II}^{(2)} + M_{LLV} \cdot S_{II}^{(5)} = \begin{bmatrix} 2457.897 \\ 2313.654 \\ 2929.534 \\ 2531.076 \\ 2515.21 \\ 3146.956 \\ 3069.93 \\ 2868.374 \end{bmatrix} \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$M_{om} R_{es}$  - Comb. S SII  
 $M_{om} R_{es}$  - Comb. 1 SII  
 $M_{om} R_{es}$  - Comb. 2 SII  
 $M_{om} R_{es}$  - Comb. 3 SII  
 $M_{om} R_{es}$  - Comb. 4 SII  
 $M_{om} R_{es}$  - Comb. 5 SII  
 $M_{om} R_{es}$  - Comb. 6 SII  
 $M_{om} R_{es}$  - Comb. 7 SII

$$R_{DCVII} := \left( \frac{M_{UVII}}{M_{RVII}} \right) = \begin{bmatrix} 0.149 \\ 0.23 \\ 0.182 \\ 0.21 \\ 0.161 \\ 0.169 \\ 0.132 \\ 0.186 \end{bmatrix}$$

Ratio demanda capacidad - Volteo - LRFD - Comb. S - SII  
 Ratio demanda capacidad - Volteo - LRFD - Comb. 1 - SII  
 Ratio demanda capacidad - Volteo - LRFD - Comb. 2 - SII  
 Ratio demanda capacidad - Volteo - LRFD - Comb. 3 - SII  
 Ratio demanda capacidad - Volteo - LRFD - Comb. 4 - SII  
 Ratio demanda capacidad - Volteo - LRFD - Comb. 5 - SII  
 Ratio demanda capacidad - Volteo - LRFD - Comb. 6 - SII  
 Ratio demanda capacidad - Volteo - LRFD - Comb. 7 - SII

## b. Excentricidad

$$e_{\max\_est} = 1 \text{ m}$$

Excentricidad máxima - Condición estática

$$FV_{EI} := F_{DC} \cdot S_{-II}^{(1)} + F_{EV} \cdot S_{-II}^{(3)} + F_{LLV} \cdot S_{-II}^{(5)} = \begin{bmatrix} 641.588 \\ 591.554 \\ 777.246 \\ 627.397 \\ 627.397 \\ 813.089 \\ 801.44 \\ 765.597 \end{bmatrix} \text{ kN}$$

Fuerza vertical estabilizante - Comb. S - SI  
Fuerza vertical estabilizante - Comb. 1 - SI  
Fuerza vertical estabilizante - Comb. 2 - SI  
Fuerza vertical estabilizante - Comb. 3 - SI  
Fuerza vertical estabilizante - Comb. 4 - SI  
Fuerza vertical estabilizante - Comb. 5 - SI  
Fuerza vertical estabilizante - Comb. 6 - SI  
Fuerza vertical estabilizante - Comb. 7 - SI

$$e_{EI} := \frac{B}{2} - \left( \frac{M_{RVII} - M_{UVII}}{FV_{EI}} \right) = \begin{bmatrix} -0.26 \\ -0.011 \\ -0.084 \\ -0.186 \\ -0.363 \\ -0.216 \\ -0.324 \\ -0.051 \end{bmatrix} \text{ m}$$

Excentricidad - Comb. S - SI  
Excentricidad - Comb. 1 - SI  
Excentricidad - Comb. 2 - SI  
Excentricidad - Comb. 3 - SI  
Excentricidad - Comb. 4 - SI  
Excentricidad - Comb. 5 - SI  
Excentricidad - Comb. 6 - SI  
Excentricidad - Comb. 7 - SI

$$R_{DCEI} := \frac{e_{EI}}{e_{\max\_est}} = \begin{bmatrix} -0.26 \\ -0.011 \\ -0.084 \\ -0.186 \\ -0.363 \\ -0.216 \\ -0.324 \\ -0.051 \end{bmatrix}$$

Ratio demanda capacidad - Excentricidad- LRFD - Comb. S - SI  
Ratio demanda capacidad - Excentricidad- LRFD - Comb. 1 - SI  
Ratio demanda capacidad - Excentricidad- LRFD - Comb. 2 - SI  
Ratio demanda capacidad - Excentricidad- LRFD - Comb. 3 - SI  
Ratio demanda capacidad - Excentricidad- LRFD - Comb. 4 - SI  
Ratio demanda capacidad - Excentricidad- LRFD - Comb. 5 - SI  
Ratio demanda capacidad - Excentricidad- LRFD - Comb. 6 - SI  
Ratio demanda capacidad - Excentricidad- LRFD - Comb. 7 - SI

## c. Capacidad Portante

$$q_u = 7.5 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$$

Capacidad última admisible kgf/cm2

$$q_u = 735.499 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

Capacidad última admisible kN/m2

$$\phi q_u = 478.074 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

Capacidad portante admisible - Considerando el factor de seguridad  $\phi$

### c.1. Capacidad Portante - Cimentado sobre suelo

$$\sigma_{VII} := \left( \frac{FV_{EI}}{B - 2 \cdot e_{EI}} \right) = \begin{bmatrix} 98.393 \\ 98.22 \\ 126 \\ 98.465 \\ 93.292 \\ 126.423 \\ 120.537 \\ 125.451 \end{bmatrix} \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

Presión máxima de contacto Tierra - Comb. S - SI  
Presión máxima de contacto Tierra - Comb. 1 - SI  
Presión máxima de contacto Tierra - Comb. 2 - SI  
Presión máxima de contacto Tierra - Comb. 3 - SI  
Presión máxima de contacto Tierra - Comb. 4 - SI  
Presión máxima de contacto Tierra - Comb. 5 - SI  
Presión máxima de contacto Tierra - Comb. 6 - SI  
Presión máxima de contacto Tierra - Comb. 7 - SI

c.2. Capacidad Portante - Cimentado sobre roca Dentro del tercio central-**PARA REVISIÓN DEL R D/C**

$$\sigma_{v1máxII} := \left( \frac{FV_{EII}}{B} \right) \cdot \left( 1 + 6 \cdot \frac{e_{EII}}{B} \right) = \begin{bmatrix} 79.095 \\ 97.47 \\ 118.618 \\ 85.128 \\ 66.658 \\ 106.277 \\ 90.233 \\ 121.045 \end{bmatrix} \frac{kN}{m}$$

$$\sigma_{v1minII} := \left( \frac{FV_{EII}}{B} \right) \cdot \left( 1 - 6 \cdot \frac{e_{EII}}{B} \right) = \begin{bmatrix} 134.768 \\ 99.715 \\ 140.464 \\ 124.004 \\ 142.474 \\ 164.753 \\ 176.913 \\ 134.154 \end{bmatrix} \frac{kN}{m}$$

Presión máxima de contacto Roca - Comb. S - SI  
 Presión máxima de contacto Roca - Comb. 1 - SI  
 Presión máxima de contacto Roca - Comb. 2 - SI  
 Presión máxima de contacto Roca - Comb. 3 - SI  
 Presión máxima de contacto Roca - Comb. 4 - SI  
 Presión máxima de contacto Roca - Comb. 5 - SI  
 Presión máxima de contacto Roca - Comb. 6 - SI  
 Presión máxima de contacto Roca - Comb. 7 - SI

Presión mínima de contacto Roca - Comb. S - SI  
 Presión mínima de contacto Roca - Comb. 1 - SI  
 Presión mínima de contacto Roca - Comb. 2 - SI  
 Presión mínima de contacto Roca - Comb. 3 - SI  
 Presión mínima de contacto Roca - Comb. 4 - SI  
 Presión mínima de contacto Roca - Comb. 5 - SI  
 Presión mínima de contacto Roca - Comb. 6 - SI  
 Presión mínima de contacto Roca - Comb. 7 - SI

c.2. Capacidad Portante - Cimentado sobre roca - Fuera del tercio central

$$\sigma_{v2máxII} := \left( \frac{2 \cdot FV_{EII}}{3 \cdot \left( \frac{B}{2} - e_{EII} \right)} \right) = \begin{bmatrix} 131.191 \\ 130.959 \\ 167.999 \\ 131.287 \\ 124.39 \\ 168.564 \\ 160.715 \\ 167.269 \end{bmatrix} \frac{kN}{m}$$

$$\sigma_{v2minII} := 0 \frac{kN}{m}$$

$$R_{DCPII} := \left( \frac{\sigma_{v1máxII}}{\phi q_u} \right) = \begin{bmatrix} 0.165 \\ 0.204 \\ 0.248 \\ 0.178 \\ 0.139 \\ 0.222 \\ 0.189 \\ 0.253 \end{bmatrix}$$

Presión máxima II de contacto Roca - Comb. S - SI  
 Presión máxima II de contacto Roca - Comb. 1 - SI  
 Presión máxima II de contacto Roca - Comb. 2 - SI  
 Presión máxima II de contacto Roca - Comb. 3 - SI  
 Presión máxima II de contacto Roca - Comb. 4 - SI  
 Presión máxima II de contacto Roca - Comb. 5 - SI  
 Presión máxima II de contacto Roca - Comb. 6 - SI  
 Presión máxima II de contacto Roca - Comb. 7 - SI

Presión mínima II de contacto Roca

Ratio demanda capacidad - C. Portante - LRFD - Comb. S - SI  
 Ratio demanda capacidad - C. Portante - LRFD - Comb. 1 - SI  
 Ratio demanda capacidad - C. Portante - LRFD - Comb. 2 - SI  
 Ratio demanda capacidad - C. Portante - LRFD - Comb. 3 - SI  
 Ratio demanda capacidad - C. Portante - LRFD - Comb. 4 - SI  
 Ratio demanda capacidad - C. Portante - LRFD - Comb. 5 - SI  
 Ratio demanda capacidad - C. Portante - LRFD - Comb. 6 - SI  
 Ratio demanda capacidad - C. Portante - LRFD - Comb. 7 - SI

d. Deslizamiento

$$F_{dII} := F_{EH} \cdot S_{-II}^{(2)} + F_{LLH} \cdot S_{-II}^{(4)} = \begin{bmatrix} 157.432 \\ 230.746 \\ 230.746 \\ 230.746 \\ 170.038 \\ 230.746 \end{bmatrix} kN$$

Fuerza deslizante - LRFD - Comb. S - SI  
 Fuerza deslizante - LRFD - Comb. 1 - SI  
 Fuerza deslizante - LRFD - Comb. 2 - SI  
 Fuerza deslizante - LRFD - Comb. 3 - SI  
 Fuerza deslizante - LRFD - Comb. 4 - SI

$$\begin{bmatrix} 230.740 \\ 170.038 \\ 230.746 \end{bmatrix}$$

Fuerza deslizante - LRFD - Comb. 5 - SI  
Fuerza deslizante - LRFD - Comb. 6 - SI  
Fuerza deslizante - LRFD - Comb. 7 - SI

$$F_{RIII} := \overrightarrow{(FV_{EII} \cdot \mu + B \cdot c_F \cdot 1 \text{ m})} = \begin{bmatrix} 392.059 \\ 380.201 \\ 424.211 \\ 388.696 \\ 388.696 \\ 432.706 \\ 429.945 \\ 421.45 \end{bmatrix} \text{ kN}$$

Fuerza resistente- LRFD - Comb. 5 - SI  
Fuerza resistente- LRFD - Comb. 1 - SI  
Fuerza resistente- LRFD - Comb. 2 - SI  
Fuerza resistente- LRFD - Comb. 3 - SI  
Fuerza resistente- LRFD - Comb. 4 - SI  
Fuerza resistente- LRFD - Comb. 5 - SI  
Fuerza resistente- LRFD - Comb. 6 - SI  
Fuerza resistente- LRFD - Comb. 7 - SI

$$F_{RTDII} := \phi_T \cdot F_{RIII} + \phi_{ep} \cdot F_{Pp} \cdot S_{II}^{(2)} = \begin{bmatrix} 380.852 \\ 384.179 \\ 423.788 \\ 391.824 \\ 377.825 \\ 431.433 \\ 414.949 \\ 421.303 \end{bmatrix} \text{ kN}$$

Fuerza resistente total - LRFD - Comb. 5 - SI  
Fuerza resistente total - LRFD - Comb. 1 - SI  
Fuerza resistente total - LRFD - Comb. 2 - SI  
Fuerza resistente total - LRFD - Comb. 3 - SI  
Fuerza resistente total - LRFD - Comb. 4 - SI  
Fuerza resistente total - LRFD - Comb. 5 - SI  
Fuerza resistente total - LRFD - Comb. 6 - SI  
Fuerza resistente total - LRFD - Comb. 7 - SI

$$R_{DCDII} := \frac{\overrightarrow{F_{dII}}}{F_{RTDII}} = \begin{bmatrix} 0.413 \\ 0.601 \\ 0.544 \\ 0.589 \\ 0.45 \\ 0.535 \\ 0.41 \\ 0.548 \end{bmatrix}$$

Ratio demanda capacidad - Deslizamiento- LRFD - Comb. 5 - SI  
Ratio demanda capacidad - Deslizamiento- LRFD - Comb. 1 - SI  
Ratio demanda capacidad - Deslizamiento- LRFD - Comb. 2 - SI  
Ratio demanda capacidad - Deslizamiento- LRFD - Comb. 3 - SI  
Ratio demanda capacidad - Deslizamiento- LRFD - Comb. 4 - SI  
Ratio demanda capacidad - Deslizamiento- LRFD - Comb. 5 - SI  
Ratio demanda capacidad - Deslizamiento- LRFD - Comb. 6 - SI  
Ratio demanda capacidad - Deslizamiento- LRFD - Comb. 7 - SI

## 5.2. REVISIÓN A LA CONDICIÓN DE ESTABILIDAD - ASD

### a. Volteo

$$M_U := M_{LLH} + M_{EH} = 366.113 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

Momento último - ASD - Estático

$$M_{RI} := M_{DC} + M_{EV} + M_{Pp} = 2412.594 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

Momento resistente - ASD - Estático

$$M_{R2} := M_{DC} + M_{EV} + M_{Pp} + M_{LLV} = 2457.897 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

Momento resistente - ASD - Estático con LLV

$$DC_{V1} := \frac{M_{RI}}{M_U} = 6.59$$

Factor volteo - ASD - Caso estático

$$DC_{V2} := \frac{M_{R2}}{M_U} = 6.713$$

Factor volteo - ASD - Caso estático con LLV

$$R_{V1} := \text{if } DC_{V1} > ASD_{NEC}(1, 0) \text{ then "Cumple" else "No cumple"}$$

$$R_{V2} := \text{if } DC_{V2} > ASD_{NEC}(1, 0) \text{ then "Cumple" else "No cumple"}$$

Revisión ASD - Caso estático

Revisión ASD - Caso estático con LLV



## b. Excentricidad

$$e_{max\_est\_NEC} := ASD_{NEC1,1} = 1 \text{ m}$$

Excentricidad máxima - ASD - Estático

$$F_{V1} := F_{DC} + F_{EV} = 632.959 \text{ kN}$$

Fuerza vertical - ASD - Estático

$$F_{V2} := F_{DC} + F_{EV} = 632.959 \text{ kN}$$

Fuerza vertical - ASD - Estático con LLv

$$e_1 := \frac{B}{2} - \frac{M_{R1} - M_U}{F_{V1}} = -0.233 \text{ m}$$

Excentricidad 1 - ASD - Estático

$$e_2 := \frac{B}{2} - \frac{M_{R2} - M_U}{F_{V2}} = -0.305 \text{ m}$$

Excentricidad 2- ASD - Estático con LLv

$$R_{E1} := \text{if } e_1 < e_{max\_est\_NEC} \text{ then "Cumple"}$$

Revisión ASD - Caso estático

"Cumple"

else

"No cumple"

$$R_{E2} := \text{if } e_2 < e_{max\_est\_NEC} \text{ then "Cumple"}$$

Revisión ASD - Caso estático - Con LLv

"Cumple"

else

"No cumple"

$$q_{P1} := \frac{F_{V1}}{B} \cdot \left(1 + 6 \cdot \frac{e_1}{B}\right) = 80.893 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

Carga sobre la punta - ASD - Estático

$$q_{T1} := \frac{F_{V1}}{B} \cdot \left(1 - 6 \cdot \frac{e_1}{B}\right) = 130.094 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

Carga sobre el talón - ASD - Estático

$$q_{P2} := \frac{F_{V2}}{B} \cdot \left(1 + 6 \cdot \frac{e_2}{B}\right) = 73.342 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

Carga sobre la punta - ASD - Estático con LLv

$$q_{T2} := \frac{F_{V2}}{B} \cdot \left(1 - 6 \cdot \frac{e_2}{B}\right) = 137.644 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

Carga sobre el talón - ASD - Estático con LLv

## c. Capacidad portante

$$q_u = 735.499 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

Capacidad última admisible kN/m2

$$\phi q_u = 478.074 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

Capacidad portante admisible - Considerando el factor de seguridad  $\phi$ 

$$DC_{C1} := \frac{\phi q_u}{q_{P1}} = 5.91$$

Factor de Cap. Portante 1 - ASD - Caso estático

$$DC_{C2} := \frac{\phi q_u}{q_{P2}} = 6.518$$

Factor de Cap. Portante 2 - ASD - Caso estático con LLv

$$R_{C1} := \text{if } DC_{C1} > ASD_{NEC}(1, 2) \text{ then "Cumple"}$$

Revisión - Capacidad portante ASD - Caso estático

"Cumple"

else

"No cumple"

$$R_{C2} := \text{if } DC_{C2} > ASD_{NEC}(1, 2) \text{ then "Cumple"}$$

Revisión - Capacidad portante ASD - Caso estático con LLv

"Cumple"

else

"No cumple"

#### d. Deslizamiento

$$k_1 := \frac{2}{3}$$

Factor de reducción de resistencia del suelo  $k_1$

$$k_2 := k_1 = 0.667$$

Factor de reducción de resistencia del suelo  $k_2$

$$F_{DU} := F_{EH} + F_{LLH} = 157.432 \text{ kN}$$

Fuerza deslizando última

$$F_{R1} := (F_{EV} + F_{DC}) \cdot \tan(k_1 \cdot \phi_E) + B \cdot k_2 \cdot c_F \cdot 1 \text{ m} + F_{pp} = 446.376 \text{ kN}$$

Fuerza resistente ASD - Estático

$$F_{R2} := (F_{EV} + F_{DC} + F_{LLV}) \cdot \tan(k_1 \cdot \phi_E) + B \cdot k_2 \cdot c_F \cdot 1 \text{ m} + F_{pp} = 449.516 \text{ kN}$$

Fuerza resistente ASD - Estático con LLv

$$DC_{D1} := \frac{F_{R1}}{F_{DU}} = 2.835$$

Factor de deslizamiento 1 - ASD - Caso estático

$$DC_{D2} := \frac{F_{R2}}{F_{DU}} = 2.855$$

Factor de deslizamiento 2 - ASD - Caso estático con LLv

$$R_{D1} := \text{if } DC_{D1} > ASD_{NEC}(1, 3) \mid \begin{array}{l} \text{"Cumple"} \\ \text{else} \\ \text{"No cumple"} \end{array}$$

Revisión - Deslizamiento ASD - Caso estático

$$R_{D2} := \text{if } DC_{D2} > ASD_{NEC}(1, 3) \mid \begin{array}{l} \text{"Cumple"} \\ \text{else} \\ \text{"No cumple"} \end{array}$$

Revisión - Deslizamiento ASD - Caso estático con LLv

### 6. REVISIÓN SÍSMICA

#### 6.1. MONONOBÉ OKABÉ & MATSUO - PAE

Empuje : Activo

Tipo de empuje - Tierra desestabilizante

$$Z := 0.25 \text{ g}$$

Aceleración en roca - Pseudoestático

$$F_a := 1$$

Factor de amplificación - Periodos cortos - VARIA.

$$H = 6 \text{ m}$$

$$\gamma_E = 18 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3}$$

Densidad - Material empuje

$$\alpha_R = 10^\circ$$

Ángulo de inclinación - Material de relleno

$$\phi_E = 30 \text{ deg}$$

Ángulo de fricción - Material de relleno

$$\delta_a := \frac{2}{3} \cdot \phi_E = 20 \text{ deg}$$

Ángulo de rozamiento - Estructura - Terreno Act.

$$\delta_p := 0 \text{ deg}$$

Ángulo de rozamiento - Estructura - Terreno Pas.

$$\beta := 0 \text{ deg}$$

Ángulo de inclinación - Espuelón

$$i := \alpha_R = 10 \text{ deg}$$

Ángulo de inclinación del terreno con la horizontal

$$k_{AE} := \frac{(\cos(\phi_E - \beta))^2}{\cos(\beta)^2 \cdot \cos(\delta_a + \beta) \cdot \left(1 + \sqrt{\frac{\sin(\phi_E + \delta_a) \cdot \sin(\phi_E - i)}{\cos(\delta_a + \beta) \cdot \cos(i - \beta)}}\right)^2} = 0.34$$

Coefficiente activo - Estático

$$k_h := 0.6 \cdot Z \cdot \frac{F_a}{g} = 0.15$$

Coefficiente horizontal

$$k_v := \frac{1}{2} \cdot k_h = 0.075$$

Coefficiente vertical

$$\theta := \text{atan} \left( \frac{k_h}{1 - k_v} \right) = 9.211 \text{ deg}$$

Ángulo de gravedad aparente - Respecto a la horizontal

$$k_{AD} := \frac{(1 + k_v) \cdot (\cos(\phi_E - \beta - \theta))^2}{\cos(\theta) \cos(\beta)^2 \cdot \cos(\delta_a + \beta + \theta) \cdot \left( 1 + \sqrt{\frac{\sin(\phi_E + \delta_a) \cdot \sin(\phi_E - i - \theta)}{\cos(\delta_a + \beta + \theta) \cdot \cos(i - \beta)}} \right)^2} = 0.55 \text{ Coeficiente activo Dinámico}$$

$$E_{AE} := \frac{1}{2} \cdot \gamma_E \cdot H^2 \cdot k_{AE} \cdot 1 \text{ m} = 110.167 \text{ kN}$$

Resultante del empuje activo Estático

$$E_{AD} := \frac{1}{2} \cdot \gamma_E \cdot H^2 \cdot k_{AD} \cdot 1 \text{ m} = 178.118 \text{ kN}$$

Resultante del empuje activo Dinámico

$$\Delta E_{AD} := \frac{1}{2} \cdot \gamma_E \cdot H^2 \cdot (k_{AD} - k_{AE}) \cdot 1 \text{ m} = 67.951 \text{ kN}$$

Resultante del aporte sísmico

$$F_{PAE} := \Delta E_{AD} = 67.951 \text{ kN}$$

FUERZA DINÁMICA ACTIVO POR EL SISMO - PAE

$$M_{PAE} := (H) \cdot \left( \frac{2}{3} \right) \cdot F_{PAE} = 271.803 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

MOMENTO DINÁMICO ACTIVO POR EL SISMO - MPAE

## 6.2. DETERMINACIÓN DE LA FUERZA INERCIAL - PIR

### 6.2.1. Centro de gravedad del muro

$$\#_{FIGM} := \#_g = 7$$

Nombre de la figura

$$h_M = \begin{bmatrix} 1.5 \\ 3 \\ 4.5 \\ 6 \\ 4.5 \\ 3 \\ 1.5 \end{bmatrix} \text{ m}$$

Altura de la figura

$$b_M = \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \\ 1 \\ 1.5 \\ 0.5 \\ 0.5 \\ 0.5 \end{bmatrix} \text{ m}$$

Base de la figura

$$a_M := \overrightarrow{b_M \cdot h_M} = \begin{bmatrix} 1.5 \\ 3 \\ 4.5 \\ 9 \\ 2.25 \\ 1.5 \\ 0.75 \end{bmatrix} \text{ m}^2$$

Área de la figura

$$y_{CGM} := \frac{h_M}{2} = \begin{bmatrix} 0.75 \\ 1.5 \\ 2.25 \\ 3 \\ 2.25 \\ 1.5 \\ 0.75 \end{bmatrix} \text{ m}$$

Centro de gravedad de la figura

$$y_{cgM} := \frac{\sum \overrightarrow{a_M \cdot y_{CGM}}}{\sum a_M} = 2.25 \text{ m}$$

Centro de gravedad del muro

### 6.2.2. Centro de gravedad de la tierra

$$\#_{FIGT} := \#_{gt} = 3$$

Nombre de la figura - Tierra

$$h_{TT} = \begin{bmatrix} 1.5 \\ 3 \\ 4.5 \end{bmatrix} \text{ m}$$

Altura de la figura

$$b_{TT} = 0.5 \text{ m}$$

Base de la figura

$$a_{TT} := \overrightarrow{h_{TT} \cdot b_{TT}} = \begin{bmatrix} 0.75 \\ 1.5 \\ 2.25 \end{bmatrix} \text{ m}^2$$

Área de la figura

$$y_{CGT} := H - \frac{h_{TT}}{2} = \begin{bmatrix} 5.25 \\ 4.5 \\ 3.75 \end{bmatrix} \text{ m}$$

Centro de gravedad de la figura

$$y_{cgT} := \frac{\sum \overrightarrow{a_{TT} \cdot y_{CGT}}}{\sum a_{TT}} = 4.25 \text{ m}$$

Centro de gravedad de la tierra

$$F_{PIR} := (F_{DC} + F_{EV}) \cdot k_h = 94.944 \text{ kN}$$

FUERZA INERCIAL POR EL SISMO - PIR

$$M_{PIR} := (F_{DC} \cdot y_{cgM} + F_{EV} \cdot y_{cgT}) \cdot k_h = 244.346 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

MOMENTO INERCIAL POR EL SISMO - MPIR

## 7. RESUMEN DE FUERZAS ESTABILIZANTES Y DESESTABILIZANTES - SÍSMICA

$$F_{DC} = 530.55 \text{ kN}$$

FUERZA RES. - CARGA MUERTA - DC

$$M_{DC} = 1759.658 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

MOMENTO RES. - CARGA MUERTA - DC

$$F_{EV} = 102.409 \text{ kN}$$

FUERZA - EMPUJE VERTICAL - EV

$$M_{EV} = 621.205 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

MOMENTO - EMPUJE VERTICAL - EV

$$F_{EH} = 121.417 \text{ kN}$$

FUERZA - EMPUJE HORIZONTAL - EH

$$M_{EH} = 253.376 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

MOMENTO - EMPUJE HORIZONTAL - EH

$$F_{Pp} = 55.997 \text{ kN}$$

FUERZA PASIVA SOBRE LA PUNTA - Pp

$$M_{Pp} = 31.732 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

MOMENTO PASIVO SOBRE LA PUNTA - Pp

$$F_{LLH} = 36.015 \text{ kN}$$

FUERZA - CARGA VIVA - LL - Horizontal

$$M_{LLH} = 112.737 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

MOMENTO - CARGA VIVA - LL - Horizontal

$$F_{LLV} = 8.629 \text{ kN}$$

FUERZA - CARGA VIVA - LL - Vertical

$$M_{LLV} = 45.303 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

MOMENTO - CARGA VIVA - LL - Vertical

$$F_{PAE} = 67.951 \text{ kN}$$

FUERZA DINÁMICA ACTIVO POR EL SISMO - PAE

$$M_{PAE} = 271.803 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

MOMENTO DINÁMICO ACTIVO POR EL SISMO - MPAE

$$F_{PIR} = 94.944 \text{ kN}$$

$$M_{PIR} = 244.346 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

FUERZA INERCIAL POR EL SISMO - PIR  
MOMENTO INERCIAL POR EL SISMO - MPIR

## 8. REVISIÓN A LA CONDICIÓN DE ESTABILIDAD - EVENTO EXTREMO I

### 8.1. REVISIÓN A LA CONDICIÓN DE ESTABILIDAD LRFD - EVENTO EXTREMO I

#### a. Volteo

$$\#_{coms} := \begin{bmatrix} \text{"Combinación 1"} \\ \text{"Combinación 2"} \\ \text{"Combinación 3"} \\ \text{"Combinación 4"} \\ \text{"Combinación 5"} \\ \text{"Combinación 6"} \end{bmatrix}$$

Comb. 1 - Evento Extremo I

Comb. 2 - Evento Extremo I

Comb. 3 - Evento Extremo I

Comb. 4 - Evento Extremo I

Comb. 5 - Evento Extremo I

Comb. 6 - Evento Extremo I

$$M_{U\_EEI} := M_{EH} \cdot EX\_I^{(2)} + M_{LLH} \cdot EX\_I^{(4)} + M_{PAE} \cdot EX\_I^{(6)} + M_{PIR} \cdot EX\_I^{(7)} = \begin{bmatrix} 633.624 \\ 647.352 \\ 746.361 \\ 760.089 \\ 746.361 \\ 760.089 \end{bmatrix} \text{ kN} \cdot \text{m}$$

Momento últ - Comb. 1 EEI  
Momento últ - Comb. 2 EEI  
Momento últ - Comb. 3 EEI  
Momento últ - Comb. 4 EEI  
Momento últ - Comb. 5 EEI  
Momento últ - Comb. 6 EEI

$$M_{R\_EEI} := M_{DC} \cdot EX\_I^{(1)} + M_{EV} \cdot EX\_I^{(3)} + M_{PP} \cdot EX\_I^{(2)} + M_{LLV} \cdot EX\_I^{(5)} = \begin{bmatrix} 2412.594 \\ 2412.594 \\ 2412.594 \\ 2412.594 \\ 2457.897 \\ 2457.897 \end{bmatrix} \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$M_{om} R_{es}$  - Comb. 1 EEI  
 $M_{om} R_{es}$  - Comb. 2 EEI  
 $M_{om} R_{es}$  - Comb. 3 EEI  
 $M_{om} R_{es}$  - Comb. 4 EEI  
 $M_{om} R_{es}$  - Comb. 5 EEI  
 $M_{om} R_{es}$  - Comb. 6 EEI

$$R_{DCV\_EEI} := \frac{M_{U\_EEI}}{M_{R\_EEI}} = \begin{bmatrix} 0.263 \\ 0.268 \\ 0.309 \\ 0.315 \\ 0.304 \\ 0.309 \end{bmatrix}$$

Ratio demanda capacidad - Volteo - LRFD - Comb. 1 - EEI  
Ratio demanda capacidad - Volteo - LRFD - Comb. 2 - EEI  
Ratio demanda capacidad - Volteo - LRFD - Comb. 3 - EEI  
Ratio demanda capacidad - Volteo - LRFD - Comb. 4 - EEI  
Ratio demanda capacidad - Volteo - LRFD - Comb. 5 - EEI  
Ratio demanda capacidad - Volteo - LRFD - Comb. 6 - EEI

#### b. Excentricidad

$$e_{max\_sis\_LRFD} := LRFD_{AASHTO\_SIS1,1} = 1.5 \text{ m}$$

Excentricidad máxima - Condición estática

$$FV_{E\_EEI} := F_{DC} \cdot EX\_I^{(1)} + F_{EV} \cdot EX\_I^{(3)} + F_{LLV} \cdot EX\_I^{(5)} = \begin{bmatrix} 632.959 \\ 632.959 \\ 632.959 \\ 632.959 \\ 641.588 \\ 641.588 \end{bmatrix} \text{ kN}$$

Fuerza vertical estabilizante - Comb. 1 - EEI  
Fuerza vertical estabilizante - Comb. 2 - EEI  
Fuerza vertical estabilizante - Comb. 3 - EEI  
Fuerza vertical estabilizante - Comb. 4 - EEI  
Fuerza vertical estabilizante - Comb. 5 - EEI  
Fuerza vertical estabilizante - Comb. 6 - EEI

$$e_{E\_EEI} := \frac{\overrightarrow{B}}{2} - \frac{\overrightarrow{(M_{R\_EEI} - M_{U\_EEI})}}{FV_{E\_EEI}} = \begin{bmatrix} 0.189 \\ 0.211 \\ 0.368 \\ 0.389 \\ 0.332 \\ 0.354 \end{bmatrix} \frac{m}{m}$$

Excentricidad - Comb. 1 - EE1

Excentricidad - Comb. 2 - EE1

Excentricidad - Comb. 3 - EE1

Excentricidad - Comb. 4 - EE1

Excentricidad - Comb. 5 - EE1

Excentricidad - Comb. 6 - EE1

$$R_{DCE\_EEI} := \frac{\overrightarrow{e_{E\_EEI}}}{e_{max\_sis\_LRFD}} = \begin{bmatrix} 0.126 \\ 0.141 \\ 0.245 \\ 0.259 \\ 0.222 \\ 0.236 \end{bmatrix}$$

Ratio demanda capacidad - Excentricidad- LRFD - Comb. 1 - EE1

Ratio demanda capacidad - Excentricidad- LRFD - Comb. 2 - EE1

Ratio demanda capacidad - Excentricidad- LRFD - Comb. 3 - EE1

Ratio demanda capacidad - Excentricidad- LRFD - Comb. 4 - EE1

Ratio demanda capacidad - Excentricidad- LRFD - Comb. 5 - EE1

Ratio demanda capacidad - Excentricidad- LRFD - Comb. 6 - EE1

### c. Portante

$$q_u = 7.5 \frac{kgf}{cm^2}$$

Capacidad última admisible kgf/cm<sup>2</sup>

$$q_u = 735.499 \frac{kN}{m^2}$$

Capacidad última admisible kN/m<sup>2</sup>

$$\phi q_u = 478.074 \frac{kN}{m}$$

Capacidad portante admisible - Considerando el factor de seguridad  $\phi$

#### c.1. Capacidad Portante - Cimentado sobre suelo

$$\sigma_{vP\_EEI} := \frac{\overrightarrow{FV_{E\_EEI}}}{B - 2 \cdot e_{E\_EEI}} = \begin{bmatrix} 112.604 \\ 113.479 \\ 120.222 \\ 121.221 \\ 120.253 \\ 121.226 \end{bmatrix} \frac{kN}{m}$$

Presión máxima de contacto - Comb. 1 - EE1

Presión máxima de contacto - Comb. 2 - EE1

Presión máxima de contacto - Comb. 3 - EE1

Presión máxima de contacto - Comb. 4 - EE1

Presión máxima de contacto - Comb. 5 - EE1

Presión máxima de contacto - Comb. 6 - EE1

#### c.2. Capacidad Portante - Cimentado sobre roca Dentro del tercio central - **PARA REVISIÓN R D/C**

$$\sigma_{vImax\_SIS} := \left( \frac{FV_{E\_EEI}}{B} \right) \cdot \left( 1 + 6 \cdot \frac{e_{E\_EEI}}{B} \right) = \begin{bmatrix} 125.478 \\ 127.766 \\ 144.267 \\ 146.555 \\ 142.469 \\ 144.757 \end{bmatrix} \frac{kN}{m}$$

Presión máxima de contacto Roca - Comb. 1 - EE1

Presión máxima de contacto Roca - Comb. 2 - EE1

Presión máxima de contacto Roca - Comb. 3 - EE1

Presión máxima de contacto Roca - Comb. 4 - EE1

Presión máxima de contacto Roca - Comb. 5 - EE1

Presión máxima de contacto Roca - Comb. 6 - EE1

$$\sigma_{vImin\_SIS} := \left( \frac{FV_{E\_EEI}}{B} \right) \cdot \left( 1 - 6 \cdot \frac{e_{E\_EEI}}{B} \right) = \begin{bmatrix} 85.509 \\ 83.221 \\ 66.719 \\ 64.431 \\ 71.393 \\ 69.105 \end{bmatrix} \frac{kN}{m}$$

Presión mínima de contacto Roca - Comb. 1 - EE1

Presión mínima de contacto Roca - Comb. 2 - EE1

Presión mínima de contacto Roca - Comb. 3 - EE1

Presión mínima de contacto Roca - Comb. 4 - EE1

Presión mínima de contacto Roca - Comb. 5 - EE1

Presión mínima de contacto Roca - Comb. 6 - EE1

## c.2. Capacidad Portante - Cimentado sobre roca - Fuera del tercio central

$$\sigma_{v_{2\max\_SIS}} := \left( \frac{2 \cdot FV_{E\_EEI}}{3 \cdot \left( \frac{B}{2} - e_{E\_EEI} \right)} \right) = \begin{bmatrix} 150.138 \\ 151.306 \\ 160.297 \\ 161.628 \\ 160.338 \\ 161.634 \end{bmatrix} \frac{kN}{m}$$

Presión máxima II de contacto Roca - Comb. 1 - EEI  
 Presión máxima II de contacto Roca - Comb. 2 - EEI  
 Presión máxima II de contacto Roca - Comb. 3 - EEI  
 Presión máxima II de contacto Roca - Comb. 4 - EEI  
 Presión máxima II de contacto Roca - Comb. 5 - EEI  
 Presión máxima II de contacto Roca - Comb. 6 - EEI

$$\sigma_{v_{2\min\_SIS}} := 0 \frac{kN}{m}$$

Presión mínima II de contacto Roca

$$R_{DCP\_EEI} := \frac{\sigma_{v_{1\max\_SIS}}}{\phi q_u} = \begin{bmatrix} 0.262 \\ 0.267 \\ 0.302 \\ 0.307 \\ 0.298 \\ 0.303 \end{bmatrix}$$

Ratio demanda capacidad - C. Portante - LRFD - Comb. 1 - EEI  
 Ratio demanda capacidad - C. Portante - LRFD - Comb. 2 - EEI  
 Ratio demanda capacidad - C. Portante - LRFD - Comb. 3 - EEI  
 Ratio demanda capacidad - C. Portante - LRFD - Comb. 4 - EEI  
 Ratio demanda capacidad - C. Portante - LRFD - Comb. 5 - EEI  
 Ratio demanda capacidad - C. Portante - LRFD - Comb. 6 - EEI

## d. Deslizamiento

$$F_{d\_EEI} := F_{EH} \cdot EX_{-}I^{(2)} + F_{LLH} \cdot EX_{-}I^{(4)} + F_{PAE} \cdot EX_{-}I^{(6)} + F_{PIR} \cdot EX_{-}I^{(7)} = \begin{bmatrix} 250.336 \\ 236.84 \\ 286.352 \\ 272.855 \\ 286.352 \\ 272.855 \end{bmatrix} kN$$

Fuerza des - Com. 1 - EEI  
 Fuerza des - Com. 2 - EEI  
 Fuerza des - Com. 3 - EEI  
 Fuerza des - Com. 4 - EEI  
 Fuerza des - Com. 5 - EEI  
 Fuerza des - Com. 6 - EEI

$$F_{RI\_EEI} := FV_{E\_EEI} \cdot \mu + B \cdot c_F \cdot 1 \text{ m} = \begin{bmatrix} 390.014 \\ 390.014 \\ 390.014 \\ 390.014 \\ 392.059 \\ 392.059 \end{bmatrix} kN$$

Fuerza resistente- LRFD - Comb. 1 - EEI  
 Fuerza resistente- LRFD - Comb. 2 - EEI  
 Fuerza resistente- LRFD - Comb. 3 - EEI  
 Fuerza resistente- LRFD - Comb. 4 - EEI  
 Fuerza resistente- LRFD - Comb. 5 - EEI  
 Fuerza resistente- LRFD - Comb. 6 - EEI

$$F_{RTD\_EEI} := \phi_T \cdot F_{RI\_EEI} + \phi_{ep} \cdot F_{Pp} \cdot EX_{-}I^{(2)} = \begin{bmatrix} 379.011 \\ 379.011 \\ 379.011 \\ 379.011 \\ 380.852 \\ 380.852 \end{bmatrix} kN$$

Fuerza resistente total - LRFD - Comb. 1 - EEI  
 Fuerza resistente total - LRFD - Comb. 2 - EEI  
 Fuerza resistente total - LRFD - Comb. 3 - EEI  
 Fuerza resistente total - LRFD - Comb. 4 - EEI  
 Fuerza resistente total - LRFD - Comb. 5 - EEI  
 Fuerza resistente total - LRFD - Comb. 6 - EEI

$$R_{DCD\_EEI} := \frac{F_{d\_EEI}}{F_{RTD\_EEI}} = \begin{bmatrix} 0.66 \\ 0.625 \\ 0.756 \\ 0.72 \\ 0.752 \\ 0.716 \end{bmatrix}$$

Ratio demanda capacidad - Deslizamiento- LRFD - Comb. 1 - EEI  
 Ratio demanda capacidad - Deslizamiento- LRFD - Comb. 2 - EEI  
 Ratio demanda capacidad - Deslizamiento- LRFD - Comb. 3 - EEI  
 Ratio demanda capacidad - Deslizamiento- LRFD - Comb. 4 - EEI  
 Ratio demanda capacidad - Deslizamiento- LRFD - Comb. 5 - EEI  
 Ratio demanda capacidad - Deslizamiento- LRFD - Comb. 6 - EEI

## 8.2. REVISIÓN A LA CONDICIÓN DE ESTABILIDAD - ASD

### a. Volteo

$$M_{U\_S} := M_{LLH} + M_{EH} + M_{PAE} + M_{PIR} = 882.262 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

Momento último - ASD - Estático

Momento resistente - ASD - Estático

$$M_{R1} = 2412.594 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

Momento resistente - ASD - Estático con LLv

$$M_{R2} = 2457.897 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

Factor volteo - ASD - Caso estático

$$DC_{VS1} := \frac{M_{R1}}{M_{U\_S}} = 2.735$$

Factor volteo - ASD - Caso estático con LLv

$$DC_{VS2} := \frac{M_{R2}}{M_{U\_S}} = 2.786$$

$$R_{VS1} := \begin{cases} \text{"Cumple"} \\ \text{else} \\ \text{"No cumple"} \end{cases} \quad \left| \begin{array}{l} DC_{VS1} > ASD_{NEC\_SIS}(1, 0) \\ \end{array} \right| = \text{"Cumple"}$$

Revisión ASD - Caso estático

$$R_{VS2} := \begin{cases} \text{"Cumple"} \\ \text{else} \\ \text{"No cumple"} \end{cases} \quad \left| \begin{array}{l} DC_{VS2} > ASD_{NEC\_SIS}(1, 0) \\ \end{array} \right| = \text{"Cumple"}$$

Revisión ASD - Caso estático con LLv

### b. Excentricidad

$$e_{max\_sis\_ASD} := ASD_{NEC\_SIS1,1} = 1.5 \text{ m}$$

Excentricidad máxima - ASD - Sísmico

$$F_{V1} = 632.959 \text{ kN}$$

Fuerza vertical - ASD - Estático

$$F_{V2} = 632.959 \text{ kN}$$

Fuerza vertical - ASD - Estático con LLv

$$e_{S1} := \frac{B}{2} - \frac{M_{R1} - M_{U\_S}}{F_{V1}} = 0.582 \text{ m}$$

Excentricidad 1 - ASD - Estático

$$e_{S2} := \frac{B}{2} - \frac{M_{R2} - M_{U\_S}}{F_{V2}} = 0.511 \text{ m}$$

Excentricidad 2- ASD - Estático con LLv

$$R_{ES1} := \begin{cases} \text{"Cumple"} \\ \text{else} \\ \text{"No cumple"} \end{cases} \quad \left| \begin{array}{l} e_{S1} < e_{max\_sis\_ASD} \\ \end{array} \right| = \text{"Cumple"}$$

Revisión ASD - Caso estático

$$R_{ES2} := \begin{cases} \text{"Cumple"} \\ \text{else} \\ \text{"No cumple"} \end{cases} \quad \left| \begin{array}{l} e_{S2} < e_{max\_sis\_ASD} \\ \end{array} \right| = \text{"Cumple"}$$

Revisión ASD - Caso estático con LLv

$$q_{PS1} := \frac{F_{V1}}{B} \cdot \left( 1 + 6 \cdot \frac{e_{S1}}{B} \right) = 166.917 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

Carga sobre la punta - ASD - Estático

$$q_{TS1} := \frac{F_{V1}}{B} \cdot \left( 1 - 6 \cdot \frac{e_{S1}}{B} \right) = 44.069 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

Carga sobre el talón - ASD - Estático

$$q_{PS2} := \frac{F_{V2}}{B} \cdot \left( 1 + 6 \cdot \frac{e_{S2}}{B} \right) = 159.367 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

Carga sobre la punta - ASD - Estático con LLv

$$q_{TS2} := \frac{F_{V2}}{B} \cdot \left( 1 - 6 \cdot \frac{e_{S2}}{B} \right) = 51.62 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

Carga sobre el talón - ASD - Estático con LLv



### c. Capacidad portante

$$q_u = 735.499 \frac{kN}{m^2}$$

$$\phi q_u = 478.074 \frac{kN}{m}$$

$$DC_{CS1} := \frac{\phi q_u}{q_{PS1}} = 2.864$$

$$DC_{CS2} := \frac{\phi q_u}{q_{PS2}} = 3$$

Capacidad portante admisible

Capacidad portante admisible -  
Considerando el factor de seguridad  $\phi$

Factor de Cap. Portante 1 - ASD - Caso  
estático

Factor de Cap. Portante 2 - ASD - Caso  
estático con LLv

$$R_{CS1} := \begin{cases} \text{if } DC_{CS1} > ASD_{NEC\_SIS_{1,2}} \\ \quad \parallel \text{ "Cumple" } \\ \quad \text{else} \\ \quad \parallel \text{ "No cumple" } \end{cases} = \text{"Cumple"}$$

Revisión - Capacidad portante ASD - Caso  
estático

$$R_{CS2} := \begin{cases} \text{if } DC_{CS2} > ASD_{NEC\_SIS_{1,2}} \\ \quad \parallel \text{ "Cumple" } \\ \quad \text{else} \\ \quad \parallel \text{ "No cumple" } \end{cases} = \text{"Cumple"}$$

Revisión - Capacidad portante ASD - Caso  
estático con LLv

### d. Deslizamiento

$$k_1 = 0.667$$

$$k_2 = 0.667$$

$$F_{DUS} := F_{EH} + F_{LLH} + F_{PAE} + F_{PIR} = 320.327 \text{ kN}$$

$$F_{R1} = 446.376 \text{ kN}$$

$$F_{R2} = 449.516 \text{ kN}$$

Factor de reducción de resistencia del suelo  $k1$

Factor de reducción de resistencia del suelo  $k2$

Fuerza deslizante última

Fuerza resistente ASD - Estático

Fuerza resistente ASD - Estático con LLv

$$DC_{DS1} := \frac{F_{R1}}{F_{DUS}} = 1.393$$

$$DC_{DS2} := \frac{F_{R2}}{F_{DUS}} = 1.403$$

Factor de deslizamiento 1 - ASD - Caso estático

Factor de deslizamiento 2 - ASD - Caso estático  
con LLv

$$R_{DS1} := \begin{cases} \text{if } DC_{DS1} > ASD_{NEC\_SIS_{1,3}} \\ \quad \parallel \text{ "Cumple" } \\ \quad \text{else} \\ \quad \parallel \text{ "No cumple" } \end{cases} = \text{"Cumple"}$$

Revisión - Deslizamiento ASD - Caso estático

$$R_{DS2} := \begin{cases} \text{if } DC_{DS2} > ASD_{NEC\_SIS_{1,3}} \\ \quad \parallel \text{ "Cumple" } \\ \quad \text{else} \\ \quad \parallel \text{ "No cumple" } \end{cases} = \text{"Cumple"}$$

Revisión - Deslizamiento ASD - Caso  
estático con LLv

## 10. REVISIÓN DE NIVEL POR NIVEL

### 10.1. FUERZAS DESESTABILIZANTES

#### 10.1.1. FUERZA - EMPUJE LATERAL DE LA TIERRA - EH

$$n := \#_{gt} + 1 = 4$$

Cantidad de niveles a analizar -  
Incluye el muro completo

$$B_N := \left\| \begin{array}{l} \text{for } i \in 0, 1 \dots \#_{gt} \\ \quad \left\| B_{N_i} \leftarrow b_{gc} + b_{gp} \cdot i + b_{gt} \cdot i \right\| \\ \quad \left\| B_N \right\| \end{array} \right\| = \begin{bmatrix} 1.5 \\ 3 \\ 4.5 \\ 6 \end{bmatrix} m$$

Base del muro - Nivel 1

Base del muro - Nivel 2

...

...

...

Base del muro - Nivel "n"

$$F_{EH\_EV\_N} := \left\| \begin{array}{l} \text{for } i \in 0, 1 \dots n-1 \\ \quad \left\| \begin{array}{l} \text{if } i = n-1 \\ \quad \left\| h' \leftarrow H' \right\| \\ \quad \text{else} \\ \quad \left\| h' \leftarrow h_{gt} \cdot (i+1) + b_{gt} \cdot (i+1) \cdot \sin(\alpha_R) \right\| \\ \quad \left\| P_a \leftarrow \frac{1}{2} \cdot k_{aER} \cdot \gamma_E \cdot (h')^2 \cdot 1 \right\| m \\ \quad \left\| \begin{array}{l} \text{if } i = 0 \\ \quad \left\| F_{EH\_N_i,0} \leftarrow 0 \right\| \\ \quad \text{else} \\ \quad \left\| F_{EH\_N_i,0} \leftarrow P_a \cdot \sin(\alpha_R) \right\| \end{array} \right\| \\ \quad \left\| F_{EH\_N_i,1} \leftarrow P_a \cdot \cos(\alpha_R) \right\| \end{array} \right\| \\ \quad \left\| F_{EH\_N} \right\| \end{array} \right\| = \begin{bmatrix} 0 & 7.801 \\ 5.502 & 31.202 \\ 12.379 & 70.205 \\ 21.409 & 121.417 \end{bmatrix} kN$$

Fuerzas verticales y horizontales para  
cada nivel- EMPUJE HORIZONTAL

Fuerza horizontal - Nivel 1

Fuerza horizontal - Nivel 2

...

...

...

Fuerza horizontal - Nivel "n"

$$F_{EH\_NH} := F_{EH\_EV\_N}^{(1)} = \begin{bmatrix} 7.801 \\ 31.202 \\ 70.205 \\ 121.417 \end{bmatrix} kN$$

Fuerza vertical - Nivel 1

Fuerza vertical - Nivel 2

...

...

...

Fuerza vertical - Nivel "n"

$$F_{EH\_NV} := F_{EH\_EV\_N}^{(0)} = \begin{bmatrix} 0 \\ 5.502 \\ 12.379 \\ 21.409 \end{bmatrix} kN$$

Momento horizontal - Nivel 1

Momento horizontal - Nivel 2

...

...

...

Momento horizontal - Nivel "n"

$$M_{EH\_NH} := \left\| \begin{array}{l} \text{for } i \in 0, 1 \dots n-1 \\ \quad \left\| \begin{array}{l} \text{if } i = n-1 \\ \quad \left\| h' \leftarrow H' \right\| \\ \quad \text{else} \\ \quad \left\| h' \leftarrow h_{gt} \cdot (i+1) \right\| \end{array} \right\| \end{array} \right\| = \begin{bmatrix} 3.9 \\ 31.202 \\ 105.307 \\ 253.376 \end{bmatrix} kN \cdot m$$

$$\left\| \left\| \begin{array}{l} M_{EH\_N_i} \leftarrow F_{EH\_NH_i} \cdot \frac{1}{3} h' \\ M_{EH\_N} \end{array} \right\| \right\|$$

Momento vertical - Nivel 1

Momento vertical - Nivel 2

...

...

...

Momento vertical - Nivel "n"

$$M_{EH\_NV} := \left\| \left\| \begin{array}{l} \text{for } i \in 0, 1 \dots n-1 \\ M_{EH\_NV_i} \leftarrow F_{EH\_NV_i} \cdot B_{N_i} \\ M_{EH\_NV} \end{array} \right\| \right\| = \begin{bmatrix} 0 \\ 16.505 \\ 55.705 \\ 128.455 \end{bmatrix} \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$F_{EH\_NH} = \begin{bmatrix} 7.801 \\ 31.202 \\ 70.205 \\ 121.417 \end{bmatrix} \text{ kN}$$

FUERZA - EMPUJE HORIZONTAL - EH

$$M_{EH\_NH} = \begin{bmatrix} 3.9 \\ 31.202 \\ 105.307 \\ 253.376 \end{bmatrix} \text{ kN} \cdot \text{m}$$

MOMENTO- EMPUJE HORIZONTAL - EH

$$F_{EH\_NV} = \begin{bmatrix} 0 \\ 5.502 \\ 12.379 \\ 21.409 \end{bmatrix} \text{ kN}$$

FUERZA - EMPUJE VERTICAL - EH

$$M_{EH\_NV} = \begin{bmatrix} 0 \\ 16.505 \\ 55.705 \\ 128.455 \end{bmatrix} \text{ kN} \cdot \text{m}$$

MOMENTO- EMPUJE VERTICAL - EH

### 10.1.2. FUERZA - EMPUJE LATERAL DE LA TIERRA - EH

$$F_{LL\_N} := \left\| \left\| \begin{array}{l} \text{for } i \in 0, 1 \dots n-1 \\ \quad \text{if } i = n-1 \\ \quad \quad h' \leftarrow H' \\ \quad \quad b' \leftarrow b_l \\ \quad \text{else} \\ \quad \quad h' \leftarrow h_{gt} \cdot (i+1) + b_{gt} \cdot (i+1) \cdot \sin(a_R) \\ \quad \quad b' \leftarrow b_{gt} \cdot i \\ \quad F_{LLh} \leftarrow k_{aER} \cdot \gamma_E \cdot (h') \cdot h_{eq} \cdot 1 \text{ m} \\ \quad F_{LLv} \leftarrow (b') \cdot k_{aER} \cdot h_{eq} \cdot \gamma_E \cdot 1 \text{ m} \\ \quad F_{LL\_N_{i,0}} \leftarrow F_{LLh} \\ \quad F_{LL\_N_{i,1}} \leftarrow F_{LLv} \\ F_{LL\_N} \end{array} \right\| \right\| = \begin{bmatrix} 9.129 & 0 \\ 18.257 & 2.876 \\ 27.386 & 5.753 \\ 36.015 & 8.629 \end{bmatrix} \text{ kN}$$

Fuerzas verticales y horizontales para  
cada nivel - CARGA VIVA

$$F_{LL\_NH} := F_{LL\_N}^{(0)} = \begin{bmatrix} 9.129 \\ 18.257 \\ 27.386 \\ 36.015 \end{bmatrix} \text{ kN}$$

Fuerza horizontal - Nivel 1

Fuerza horizontal - Nivel 2

...

...

...

Fuerza horizontal - Nivel "n"

$$F_{LL\_NV} := F_{LL\_N}^{(1)} = \begin{bmatrix} 0 \\ 2.876 \\ 5.753 \\ 8.629 \end{bmatrix} \text{ kN}$$

Fuerza vertical - Nivel 1

Fuerza vertical - Nivel 2

...

...

...

Fuerza vertical - Nivel "n"

$$M_{LL\_N} := \left\| \begin{array}{l} \text{for } i \in 0, 1 \dots n-1 \\ \left\| \begin{array}{l} \text{if } i = n-1 \\ \left\| \begin{array}{l} h' \leftarrow H' \\ b' \leftarrow b_i \end{array} \right\| \\ \text{else} \\ \left\| \begin{array}{l} h' \leftarrow (h_{gt} \cdot (i+1)) \\ b' \leftarrow (b_{gt} \cdot (i+1)) \end{array} \right\| \\ M_{LL\_N\_h} \leftarrow F_{LL\_NH_i} \cdot \frac{h'}{2} \\ M_{LL\_N_{i,0}} \leftarrow M_{LL\_N\_h} \\ M_{LL\_N\_v} \leftarrow F_{LL\_N_{i,1}} \cdot \left( \frac{b'}{2} + b_{gc} + b_{gp} \cdot i \right) \\ M_{LL\_N_{i,1}} \leftarrow M_{LL\_N\_v} \end{array} \right\| \\ M_{LL\_N} \end{array} \right\| = \begin{bmatrix} 6.847 & 0 \\ 27.386 & 8.629 \\ 61.619 & 24.449 \\ 112.737 & 45.303 \end{bmatrix} \text{ kN} \cdot \text{m}$$

Momento horizontal - vertical - Nivel 1

Momento horizontal - vertical - Nivel 2

...

...

...

Momento horizontal - vertical - Nivel "n"

$$F_{LLH\_N} := F_{LL\_N}^{(0)} = \begin{bmatrix} 9.129 \\ 18.257 \\ 27.386 \\ 36.015 \end{bmatrix} \text{ kN}$$

FUERZA - CARGA VIVA - LL - Horizontal

$$M_{LLH\_N} := M_{LL\_N}^{(0)} = \begin{bmatrix} 6.847 \\ 27.386 \\ 61.619 \\ 112.737 \end{bmatrix} \text{ kN} \cdot \text{m}$$

MOMENTO - CARGA VIVA - LL - Horizontal

$$F_{LLV\_N} := F_{LL\_N}^{(1)} = \begin{bmatrix} 0 \\ 2.876 \\ 5.753 \\ 8.629 \end{bmatrix} \text{ kN}$$

FUERZA - CARGA VIVA - LL - Vertical

$\sqrt{\phantom{x}}$

$$M_{LLV\_N} := M_{LL\_N}^{(1)} = \begin{bmatrix} 0 \\ 8.629 \\ 24.449 \\ 45.303 \end{bmatrix} \text{ kN} \cdot \text{m}$$

MOMENTO - CARGA VIVA - LL - Vertical

### 10.1.3. FUERZA - PESO PROPIO DEL MURO

$$h_{M\_N} := \left\| \begin{array}{l} \text{if } h_{gt} = h_{gp} \\ \quad \left\| \begin{array}{l} h_{gc\_N} \leftarrow h_{gt} \\ h_{gp\_N} \leftarrow h_{gt} \\ h_{gt\_N} \leftarrow h_{gt} \end{array} \right\| \\ \text{else if } h_{gt} > h_{gp} \\ \quad \left\| \begin{array}{l} h_{gc\_N} \leftarrow h_{gt} \\ h_{gp\_N} \leftarrow h_{gt} - h_{gp} \\ h_{gt\_N} \leftarrow h_{gt} \end{array} \right\| \\ \text{else} \\ \quad \left\| \begin{array}{l} h_{gc\_N} \leftarrow h_{gp} \\ h_{gp\_N} \leftarrow h_{gp} \\ h_{gt\_N} \leftarrow h_{gp} - h_{gt} \end{array} \right\| \\ h_{M\_N0} \leftarrow h_{gp\_N} \\ h_{M\_N1} \leftarrow h_{gc\_N} \\ h_{M\_N2} \leftarrow h_{gt\_N} \\ h_{M\_N} \end{array} \right\| = \begin{bmatrix} 1.5 \\ 1.5 \\ 1.5 \end{bmatrix} \mathbf{m} \quad \text{Altura de desnivel de cada Nivel}$$

$$h_{M\_N} = \begin{bmatrix} 1.5 \\ 1.5 \\ 1.5 \end{bmatrix} \mathbf{m} \quad \text{Altura de desnivel de cada Nivel}$$

$$h_{G\_N} := \left\| \begin{array}{l} pos_c \leftarrow \#_{gp} \\ \text{for } i \in 0, 1 \dots \#_{gt} \\ \quad \left\| \begin{array}{l} h_p \leftarrow h_{M\_N0} \\ h_t \leftarrow h_{M\_N2} \cdot i \\ \text{for } j \in 0, 1 \dots \#_g - 1 \\ \quad \left\| \begin{array}{l} \text{if } h_{gt} = h_{gp} \\ \quad \left\| \begin{array}{l} pos_p \leftarrow pos_c - i \\ pos_t \leftarrow pos_c + i \\ \text{if } pos_p \leq j \wedge j < pos_c \\ \quad \left\| \begin{array}{l} h_{G\_N_{i,j}} \leftarrow h_p \\ h_p \leftarrow h_p + h_{M\_N0} \end{array} \right\| \\ \text{else if } j = pos_c \\ \quad \left\| h_{G\_N_{i,j}} \leftarrow h_{M\_N1} + h_{M\_N1} \cdot i \end{array} \right\| \\ \text{else if } pos_c < j \wedge j \leq pos_t \\ \quad \left\| \begin{array}{l} h_{G\_N_{i,j}} \leftarrow h_t \\ h_t \leftarrow h_t - h_{M\_N2} \end{array} \right\| \end{array} \right\| \end{array} \right\| \end{array} \right\| = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 1.5 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1.5 & 3 & 1.5 & 0 & 0 \\ 0 & 1.5 & 3 & 4.5 & 3 & 1.5 & 0 \\ 1.5 & 3 & 4.5 & 6 & 4.5 & 3 & 1.5 \end{bmatrix} \mathbf{m} \quad \begin{array}{l} \text{Altura de los gaviones por cada} \\ \text{nivel} \end{array}$$

$$b_{G\_N} := \begin{bmatrix} b_{gp} \\ b_{gc} \\ b_{gt} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 \\ 1.5 \\ 0.5 \end{bmatrix} \mathbf{m} \quad \begin{array}{l} \text{Base de los gaviones de la punta} \\ \text{Base de los gaviones del centro} \\ \text{Base de los gaviones del talón} \end{array}$$

$$a_{G\_N} := \left\| \begin{array}{l} \text{for } i \in 0, 1 \dots n-1 \\ \quad \text{for } j \in 0, 1 \dots \#_g - 1 \\ \quad \quad \text{if } j < n-1 \\ \quad \quad \quad a_{G\_N_{i,j}} \leftarrow b_{gp} \cdot h_{G\_N_{i,j}} \\ \quad \quad \quad \text{else if } j = n-1 \\ \quad \quad \quad a_{G\_N_{i,j}} \leftarrow b_{gc} \cdot h_{G\_N_{i,j}} \\ \quad \quad \quad \text{else} \\ \quad \quad \quad a_{G\_N_{i,j}} \leftarrow b_{gt} \cdot h_{G\_N_{i,j}} \\ \quad \quad a_{G\_N} \end{array} \right\| = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 2.25 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1.5 & 4.5 & 0.75 & 0 & 0 \\ 0 & 1.5 & 3 & 6.75 & 1.5 & 0.75 & 0 \\ 1.5 & 3 & 4.5 & 9 & 2.25 & 1.5 & 0.75 \end{bmatrix} \mathbf{m}^2 \quad \text{Área de los gaviones por cada nivel}$$

$$cg_{G\_N} := \left\| \begin{array}{l} pos_c \leftarrow \#_{gt} \\ \text{for } i \in 0, 1 \dots \#_{gt} \\ \quad b_p \leftarrow 0 \mathbf{m} \\ \quad \text{for } j \in 0, 1 \dots \#_g - 1 \\ \quad \quad \text{if } h_{gt} = h_{gp} \\ \quad \quad \quad pos_p \leftarrow pos_c - i \\ \quad \quad \quad pos_t \leftarrow pos_c + i \\ \quad \quad \quad \text{if } pos_p \leq j \wedge j < pos_c \\ \quad \quad \quad \quad cg_{G\_N_{i,j}} \leftarrow b_p + \frac{b_{gp}}{2} \\ \quad \quad \quad \quad b_p \leftarrow b_p + b_{gp} \\ \quad \quad \quad \text{else if } j = pos_c \\ \quad \quad \quad \quad cg_{G\_N_{i,j}} \leftarrow b_p + \frac{b_{gc}}{2} \\ \quad \quad \quad \quad b_p \leftarrow b_p + b_{gc} \\ \quad \quad \quad \text{else if } pos_c < j \wedge j \leq pos_t \\ \quad \quad \quad \quad cg_{G\_N_{i,j}} \leftarrow b_p + \frac{b_{gt}}{2} \\ \quad \quad \quad \quad b_p \leftarrow b_p + b_{gt} \\ \quad \quad cg_{G\_N} \end{array} \right\| = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0.75 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0.5 & 1.75 & 2.75 & 0 & 0 \\ 0 & 0.5 & 1.5 & 2.75 & 3.75 & 4.25 & 0 \\ 0.5 & 1.5 & 2.5 & 3.75 & 4.75 & 5.25 & 5.75 \end{bmatrix} \mathbf{m} \quad \text{Centro de gravedad de los gaviones por cada nivel}$$

$$F_{DC\_N} := \left\| \begin{array}{l} \text{for } i \in 0, 1 \dots n-1 \\ \quad F_{DC\_N_i} \leftarrow \sum a_{G\_N} \widehat{i} \\ \quad F_{DC\_N} \end{array} \right\| \cdot \gamma_H \cdot 1 \mathbf{m} = \begin{bmatrix} 53.055 \\ 159.165 \\ 318.33 \\ 530.55 \end{bmatrix} \mathbf{kN} \quad \begin{array}{l} \text{Fuerza resistente - Nivel 1} \\ \text{Fuerza resistente - Nivel 2} \\ \dots \\ \dots \\ \dots \\ \text{Fuerza resistente - Nivel "n"} \end{array}$$

$$M_{DC\_N} := \left\| \begin{array}{l} \text{for } i \in 0, 1 \dots n-1 \\ \quad sum \leftarrow 0 \\ \quad \text{for } j \in 0, 1 \dots \#_g - 1 \\ \quad \quad sum \leftarrow sum + a_{G\_N_{i,j}} \cdot cg_{G\_N_{i,j}} \\ \quad M_{DC\_N_i} \leftarrow sum \\ \quad M_{DC\_N} \end{array} \right\| \cdot \gamma_H \cdot 1 \mathbf{m} = \begin{bmatrix} 39.791 \\ 252.011 \\ 769.298 \\ 1724.288 \end{bmatrix} \mathbf{kN} \cdot \mathbf{m} \quad \begin{array}{l} \text{Momento resistente - Nivel 1} \\ \text{Momento resistente - Nivel 2} \\ \dots \\ \dots \\ \dots \\ \text{Momento resistente - Nivel "n"} \end{array}$$

$$F_{DC\_N} = \begin{bmatrix} 53.055 \\ 159.165 \\ 318.33 \\ 530.55 \end{bmatrix} \text{ kN}$$

FUERZA - PESO PROPIO - DC

$$M_{DC\_N} = \begin{bmatrix} 39.791 \\ 252.011 \\ 769.298 \\ 1724.288 \end{bmatrix} \text{ kN} \cdot \text{m}$$

MOMENTO - PESO PROPIO - DC

#### 10.1.4. FUERZA - TIERRA ESTABILIZANTE - EV

$$h_{TT\_N} := \left\| \begin{array}{l} \text{for } i \in 0, 1 \dots \#_{gt} \\ \left\| h_{TT\_N_i} \leftarrow (i) \cdot h_{gt} \right\| \\ h_{TT\_N} \end{array} \right\| = \begin{bmatrix} 0 \\ 1.5 \\ 3 \\ 4.5 \end{bmatrix} \text{ m}$$

Altura tierra - Nivel 1

Altura tierra - Nivel 2

...

...

...

Altura tierra - Nivel "n"

$$b_{gt} = 0.5 \text{ m}$$

Ancho del material del talón

$$c_{GTT\_N} := \left\| \begin{array}{l} \text{for } i \in 0, 1 \dots \#_{gt} \\ \left\| \begin{array}{l} \text{for } j \in 0, 1 \dots \#_{gt} \\ \left\| \begin{array}{l} \text{if } j < i \vee i = 0 \\ c_{GTT\_N_{j,i}} \leftarrow 0 \text{ m} \\ \text{else} \\ c_{GTT\_N_{j,i}} \leftarrow b_{gc} + b_{gt} \cdot (j) + b_{gp} \cdot (i-1) + \frac{b_{gt}}{2} \end{array} \right\| \end{array} \right\| \end{array} \right\| = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 2.25 & 0 & 0 \\ 0 & 2.75 & 3.75 & 0 \\ 0 & 3.25 & 4.25 & 5.25 \end{bmatrix} \text{ m}$$

Centros de grav. - Nivel 1

Centros de grav. - Nivel 2

...

...

...

Centros de grav. - Nivel "n"

$$F_{RT\_N} := \overrightarrow{h_{TT\_N} \cdot b_{gt} \cdot \gamma_E \cdot 1} \text{ m} = \begin{bmatrix} 0 \\ 13.5 \\ 27 \\ 40.5 \end{bmatrix} \text{ kN}$$

Fuerza resistente - Nivel 1

Fuerza resistente - Nivel 2

...

...

...

Fuerza resistente - Nivel "n"

$$F_{EV\_N} := \left\| \begin{array}{l} i \leftarrow 0 \\ sum \leftarrow F_{RT\_N_i} + F_{EH\_NV_i} \\ \text{while } i \leq \#_{gt} \\ \left\| \begin{array}{l} F_{EV\_N_i} \leftarrow sum \\ i \leftarrow i + 1 \\ \text{if } i \leq \#_{gt} \\ \left\| sum \leftarrow F_{EV\_N_{i-1}} + F_{RT\_N_i} \right\| \end{array} \right\| \\ F_{EV\_N} \end{array} \right\| = \begin{bmatrix} 0 \\ 13.5 \\ 40.5 \\ 81 \end{bmatrix} \text{ kN}$$

Vector de fuerzas

$$F_{EV\_N} := F_{EV\_NI} + F_{EH\_NV} = \begin{bmatrix} 0 \\ 19.002 \\ 52.879 \\ 102.409 \end{bmatrix} \text{ kN}$$

Fuerza resistente EV - Nivel 1

Fuerza resistente EV - Nivel 2

...

...

...

Fuerza resistente EV - Nivel "n"

$$M_{RT\_N} := \left\| \begin{array}{l} \text{for } i \in 0, 1 \dots \#_{gt} \\ \left\| \begin{array}{l} \text{for } j \in 0, 1 \dots \#_{gt} \\ \left\| M_{RT\_N_{i,j}} \leftarrow F_{RT\_N_j} \cdot c_{GTT\_N_{i,j}} \right\| \\ M_{RT\_N} \end{array} \right\| \end{array} \right\| = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 30.375 & 0 & 0 \\ 0 & 37.125 & 101.25 & 0 \\ 0 & 43.875 & 114.75 & 212.625 \end{bmatrix} \text{ kN} \cdot \text{m}$$

Momento resistente - Nivel 1

Momento resistente - Nivel 2

...

...

...

Momento resistente - Nivel "n"

$$M_{EV\_NI} := \left\| \begin{array}{l} \text{for } i \in 0, 1 \dots n-1 \\ \left\| M_{EV\_N_i} \leftarrow \sum \widehat{M_{RT\_N}}_i \right\| \\ M_{EV\_N} \end{array} \right\| = \begin{bmatrix} 0 \\ 30.375 \\ 138.375 \\ 371.25 \end{bmatrix} \text{ kN} \cdot \text{m}$$

Momento resistente - Nivel 1

Momento resistente - Nivel 2

...

...

...

Momento resistente - Nivel "n"

$$M_{EV\_N} := M_{EV\_NI} + M_{EH\_NV} = \begin{bmatrix} 0 \\ 46.88 \\ 194.08 \\ 499.705 \end{bmatrix} \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$F_{EV\_N} = \begin{bmatrix} 0 \\ 19.002 \\ 52.879 \\ 102.409 \end{bmatrix} \text{ kN}$$

FUERZA - EMPUJE VERTICAL - EV

$$M_{EV\_N} = \begin{bmatrix} 0 \\ 46.88 \\ 194.08 \\ 499.705 \end{bmatrix} \text{ kN} \cdot \text{m}$$

MOMENTO - EMPUJE VERTICAL - EV

#### 10.1.5. FUERZA - TIERRA DE DESPLANTE

$$c_{FR} = 0 \text{ Pa}$$

Cohesión del suelo de fundación -  
Conservadora

$$D\_F_{Pp\_N} := \left\| \begin{array}{l} j \leftarrow \#_{gp} \\ \text{for } i \in 0, 1 \dots \#_{gp} \\ \left\| \begin{array}{l} \text{if } H - \max(h_{G\_N}) > D \\ \left\| F_{Pp\_N_i} \leftarrow 0 \text{ m} \right\| \\ \text{else} \\ \left\| F_{Pp\_N_i} \leftarrow D - h_{gp} \cdot j \right\| \\ j \leftarrow j - 1 \\ F_{Pp\_N} \end{array} \right\| \end{array} \right\| = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0.2 \\ 1.7 \end{bmatrix} \text{ m}$$

Profundidad de desplante para cada  
nivel del muro



$$F_{pp\_N} := \left\| \begin{array}{l} \text{for } i \in 0, 1 \dots \#_{gp} \\ \left\| \begin{array}{l} F_{pp\_N\_1} \leftarrow \frac{1}{2} \cdot k_{pFR} \cdot \gamma_F \cdot (D_{-F_{pp\_N\_i}})^2 \cdot 1 \text{ m} \\ F_{pp\_N\_2} \leftarrow 2 \cdot c_{FR} \cdot \sqrt{k_{pFR}} \cdot (D_{-F_{pp\_N\_i}}) \cdot 1 \text{ m} \\ F_{pp\_N\_i} \leftarrow F_{pp\_N\_1} + F_{pp\_N\_2} \end{array} \right\| \\ F_{pp\_N} \end{array} \right\| = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0.775 \\ 55.997 \end{bmatrix} \text{ kN} \quad \text{FUERZA DE DESPLANTE - CADA NIVEL}$$

$$M_{pp\_N} := \left\| \begin{array}{l} \text{for } i \in 0, 1 \dots \#_{gp} \\ \left\| \begin{array}{l} M_{pp\_N\_i} \leftarrow F_{pp\_N\_i} \cdot \left( \frac{1}{3} D_{-F_{pp\_N}} \right)_i \end{array} \right\| \\ M_{pp\_N} \end{array} \right\| = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0.052 \\ 31.732 \end{bmatrix} \text{ kN} \cdot \text{m} \quad \text{MOMENTO DE DESPLANTE - CADA NIVEL}$$

#### 4. RESUMEN DE FUERZAS ESTABILIZANTES Y DESESTABILIZANTES - ESTÁTICO

$$F_{DC\_N} = \begin{bmatrix} 53.055 \\ 159.165 \\ 318.33 \\ 530.55 \end{bmatrix} \text{ kN} \quad \text{FUERZA CARGA MUERTA - DC}$$

$$M_{DC\_N} = \begin{bmatrix} 39.791 \\ 252.011 \\ 769.298 \\ 1724.288 \end{bmatrix} \text{ kN} \cdot \text{m} \quad \text{MOMENTO CARGA MUERTA - DC}$$

$$F_{EV\_N} = \begin{bmatrix} 0 \\ 19.002 \\ 52.879 \\ 102.409 \end{bmatrix} \text{ kN} \quad \text{FUERZA - EMPUJE VERTICAL - EV}$$

$$M_{EV\_N} = \begin{bmatrix} 0 \\ 46.88 \\ 194.08 \\ 499.705 \end{bmatrix} \text{ kN} \cdot \text{m} \quad \text{MOMENTO - EMPUJE VERTICAL - EV}$$

$$F_{EH\_NH} = \begin{bmatrix} 7.801 \\ 31.202 \\ 70.205 \\ 121.417 \end{bmatrix} \text{ kN} \quad \text{FUERZA - EMPUJE HORIZONTAL - EH}$$

$$M_{EH\_NH} = \begin{bmatrix} 3.9 \\ 31.202 \\ 105.307 \\ 253.376 \end{bmatrix} \text{ kN} \cdot \text{m} \quad \text{MOMENTO- EMPUJE HORIZONTAL - EH}$$

$$F_{pp\_N} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0.775 \\ 55.997 \end{bmatrix} \text{ kN} \quad \text{FUERZA PASIVA SOBRE LA PUNTA - Pp}$$

$$M_{pp\_N} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0.052 \\ 31.732 \end{bmatrix} \text{ kN} \cdot \text{m} \quad \text{MOMENTO PASIVO SOBRE LA PUNTA - Pp}$$

$$F_{LLH\_N} = \begin{bmatrix} 9.129 \\ 18.257 \\ 27.386 \\ 36.015 \end{bmatrix} \text{ kN}$$

FUERZA - CARGA VIVA - LL - Horizontal

$$M_{LLH\_N} = \begin{bmatrix} 6.847 \\ 27.386 \\ 61.619 \\ 112.737 \end{bmatrix} \text{ kN} \cdot \text{m}$$

MOMENTO - CARGA VIVA - LL - Horizontal

$$F_{LLV\_N} = \begin{bmatrix} 0 \\ 2.876 \\ 5.753 \\ 8.629 \end{bmatrix} \text{ kN}$$

FUERZA - CARGA VIVA - LL - Vertical

$$M_{LLV\_N} = \begin{bmatrix} 0 \\ 8.629 \\ 24.449 \\ 45.303 \end{bmatrix} \text{ kN} \cdot \text{m}$$

MOMENTO - CARGA VIVA - LL - Vertical

## 6. REVISIÓN A LA CONDICIÓN DE ESTABILIDAD

### 6.1. REVISIÓN A LA CONDICIÓN DE ESTABILIDAD - LRFD

#### 6.1.1. REVISIÓN A LA CONDICIÓN DE ESTABILIDAD - LRFD - STRENGTH I

##### a. Volteo

$$\#_{com} = \begin{bmatrix} \text{"S"} \\ \text{"1"} \\ \text{"2"} \\ \text{"3"} \\ \text{"4"} \\ \text{"5"} \\ \text{"6"} \\ \text{"7"} \end{bmatrix}$$

Comb. Servicio - Resistencia I

Comb. 1 - Resistencia I

Comb. 2 - Resistencia I

Comb. 3 - Resistencia I

Comb. 4 - Resistencia I

Comb. 5 - Resistencia I

Comb. 6 - Resistencia I

Comb. 7 - Resistencia I

$$M_{UVI\_N} := \left\| \begin{array}{l} \text{for } i \in 0, 1 \dots \text{cols}(S\_I) - 1 \\ \quad \left\| \begin{array}{l} \text{for } j \in 0, 1 \dots n - 1 \\ \quad \left\| \begin{array}{l} M_1 \leftarrow M_{EH\_NH_j} \cdot S_{-I_{i,2}} \\ M_2 \leftarrow M_{LLH\_N_j} \cdot S_{-I_{i,4}} \\ M_{UVI\_N_{i,j}} \leftarrow M_1 + M_2 \end{array} \right\| \\ M_{UVI\_N} \end{array} \right\| \end{array} \right\| = \begin{bmatrix} 10.747 & 58.588 & 166.926 & 366.113 \\ 17.832 & 94.729 & 265.793 & 577.353 \\ 17.832 & 94.729 & 265.793 & 577.353 \\ 17.832 & 94.729 & 265.793 & 577.353 \\ 15.882 & 79.128 & 213.14 & 450.665 \\ 17.832 & 94.729 & 265.793 & 577.353 \\ 15.882 & 79.128 & 213.14 & 450.665 \\ 17.832 & 94.729 & 265.793 & 577.353 \end{bmatrix} \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$M_{RVI\_N} := \left\| \begin{array}{l} \text{for } i \in 0, 1 \dots \text{cols}(S\_I) - 1 \\ \quad \text{for } j \in 0, 1 \dots n - 1 \\ \quad \quad M_1 \leftarrow M_{DC\_N_j} \cdot S_{-I_{i,1}} \\ \quad \quad M_2 \leftarrow M_{EV\_N_j} \cdot S_{-I_{i,3}} \\ \quad \quad M_3 \leftarrow M_{PP\_N_j} \cdot S_{-I_{i,2}} \\ \quad \quad M_4 \leftarrow M_{LLV\_N_j} \cdot S_{-I_{i,5}} \\ \quad \quad M_{RVI\_N_{i,j}} \leftarrow M_1 + M_2 + M_3 + M_4 \\ \quad M_{RVI\_N} \end{array} \right\| = \begin{bmatrix} 39.791 & 307.521 & 987.879 & 2301.027 \\ 35.812 & 288.792 & 929.312 & 2178.442 \\ 49.739 & 376.996 & 1198.566 & 2781.943 \\ 35.812 & 305.2 & 997.24 & 2353.339 \\ 35.812 & 305.2 & 997.215 & 2337.473 \\ 49.739 & 393.404 & 1266.494 & 2956.84 \\ 49.739 & 378.302 & 1223.682 & 2861.693 \\ 49.739 & 361.894 & 1155.78 & 2702.662 \end{bmatrix} \quad kN \cdot m$$

$$R_{DCVI\_N} := \left\| \begin{array}{l} \text{for } i \in 0, 1 \dots \text{cols}(S\_I) - 1 \\ \quad \text{for } j \in 0, 1 \dots n - 1 \\ \quad \quad \quad M_{UVI\_N_{i,j}} \\ \quad \quad R_{DCVI\_N_{i,j}} \leftarrow \frac{M_{UVI\_N_{i,j}}}{M_{RVI\_N_{i,j}}} \\ \quad R_{DCVI\_N} \end{array} \right\| = \begin{bmatrix} 0.27 & 0.191 & 0.169 & 0.159 \\ 0.498 & 0.328 & 0.286 & 0.265 \\ 0.359 & 0.251 & 0.222 & 0.208 \\ 0.498 & 0.31 & 0.267 & 0.245 \\ 0.443 & 0.259 & 0.214 & 0.193 \\ 0.359 & 0.241 & 0.21 & 0.195 \\ 0.319 & 0.209 & 0.174 & 0.157 \\ 0.359 & 0.262 & 0.23 & 0.214 \end{bmatrix}$$

#### b. Excentricidad

$$e_{max\_est\_N} := \left\| \begin{array}{l} \text{for } i \in 0, 1 \dots n - 1 \\ \quad \quad \quad LRFD_{AASHTO_{1,1}} \\ \quad \quad e_{max\_est\_N_i} \leftarrow \frac{LRFD_{AASHTO_{1,1}}}{B} \cdot B_{N_i} \\ \quad e_{max\_est\_N} \end{array} \right\| = \begin{bmatrix} 0.25 \\ 0.5 \\ 0.75 \\ 1 \end{bmatrix} m$$

Excentricidad máx - Nivel 1  
Excentricidad máx - Nivel 1  
...  
...  
Excentricidad máx - Nivel n

$$e_{max\_est} = 1 \quad m$$

Excentricidad máxima - Condición estática

$$FV_{EI\_N} := \left\| \begin{array}{l} \text{for } i \in 0, 1 \dots \text{cols}(S\_I) - 1 \\ \quad \text{for } j \in 0, 1 \dots n - 1 \\ \quad \quad F_1 \leftarrow F_{DC\_N_j} \cdot S_{-I_{i,1}} \\ \quad \quad F_2 \leftarrow F_{EV\_N_j} \cdot S_{-I_{i,3}} \\ \quad \quad F_3 \leftarrow F_{LLV\_N_j} \cdot S_{-I_{i,5}} \\ \quad \quad FV_{EI\_N_{i,j}} \leftarrow F_1 + F_2 + F_3 \\ \quad FV_{EI\_N} \end{array} \right\| = \begin{bmatrix} 53.055 & 181.043 & 376.962 & 641.588 \\ 47.75 & 167.284 & 349.443 & 595.005 \\ 66.319 & 222.992 & 460.859 & 780.698 \\ 47.75 & 173.935 & 367.951 & 630.848 \\ 47.75 & 173.935 & 367.951 & 630.848 \\ 66.319 & 229.642 & 479.367 & 816.541 \\ 66.319 & 224.609 & 469.299 & 801.44 \\ 66.319 & 217.958 & 450.791 & 765.597 \end{bmatrix} \quad kN$$

$$e_{EI\_N} := \left\| \begin{array}{l} \text{for } i \in 0, 1 \dots \text{cols}(S\_I) - 1 \\ \quad \text{for } j \in 0, 1 \dots n - 1 \\ \quad \quad B_{N_j} \\ \quad \quad e_1 \leftarrow \frac{\quad}{2} \\ \quad \quad \quad M_{RVI\_N_{i,j}} - M_{UVI\_N_{i,j}} \\ \quad \quad e_2 \leftarrow \frac{\quad}{FV_{EI\_N_{i,j}}} \\ \quad \quad e_{EI\_N_{i,j}} \leftarrow e_1 - e_2 \\ \quad e_{EI\_N} \end{array} \right\| = \begin{bmatrix} 0.203 & 0.125 & 0.072 & -0.016 \\ 0.373 & 0.34 & 0.351 & 0.309 \\ 0.269 & 0.234 & 0.226 & 0.176 \\ 0.373 & 0.29 & 0.262 & 0.185 \\ 0.333 & 0.2 & 0.119 & 0.009 \\ 0.269 & 0.199 & 0.162 & 0.086 \\ 0.239 & 0.168 & 0.097 & -0.008 \\ 0.269 & 0.274 & 0.276 & 0.224 \end{bmatrix} m$$

$$R_{DCEI\_N} := \left\| \begin{array}{l} \text{for } i \in 0, 1 \dots \text{rows}(S\_I) - 1 \\ \quad \text{for } j \in 0, 1 \dots n - 1 \\ \quad \quad e_{EI\_N_{i,j}} \\ \quad \quad R_{DCEI\_N_{i,j}} \leftarrow \frac{\quad}{e_{max\_est\_N_j}} \\ \quad R_{DCEI\_N} \end{array} \right\| = \begin{bmatrix} 0.81 & 0.25 & 0.096 & -0.016 \\ 1.494 & 0.68 & 0.468 & 0.309 \\ 1.076 & 0.468 & 0.301 & 0.176 \\ 1.494 & 0.58 & 0.349 & 0.185 \\ 1.33 & 0.4 & 0.159 & 0.009 \\ 1.076 & 0.399 & 0.217 & 0.086 \\ 0.958 & 0.336 & 0.129 & -0.008 \\ 1.076 & 0.548 & 0.368 & 0.224 \end{bmatrix}$$

### c. Capacidad Portante

$$q_u = 7.5 \frac{kgf}{cm^2}$$

Capacidad última admisible kgf/cm<sup>2</sup>

$$q_u = 735.499 \frac{kN}{m^2}$$

Capacidad última admisible kN/m<sup>2</sup>

$$\phi q_u = 478.074 m \cdot \frac{kN}{m^2}$$

Capacidad portante admisible - Considerando el factor de seguridad  $\phi$

#### c.1. Capacidad Portante - Cimentado sobre suelo

$$\sigma_{v_{PI\_N}} := \left\| \begin{array}{l} \text{for } i \in 0, 1 \dots \text{rows}(S\_I) - 1 \\ \quad \text{for } j \in 0, 1 \dots n - 1 \\ \quad \quad FV_{EI\_N_{i,j}} \\ \quad \quad \sigma_{v_{PI\_N_{i,j}}} \leftarrow \frac{\quad}{B_{N_j} - 2 \cdot e_{EI\_N_{i,j}}} \\ \quad \sigma_{v_{PI\_N}} \end{array} \right\| = \begin{bmatrix} 48.457 & 65.834 & 86.546 & 106.37 \\ 63.403 & 72.1 & 92.017 & 110.56 \\ 68.921 & 88.082 & 113.849 & 138.232 \\ 63.403 & 71.87 & 92.548 & 112.042 \\ 57.199 & 66.911 & 86.336 & 105.461 \\ 68.921 & 88.283 & 114.816 & 140.101 \\ 64.952 & 84.314 & 108.972 & 133.202 \\ 68.921 & 88.907 & 114.166 & 137.895 \end{bmatrix} \frac{kN}{m}$$

#### c.2. Capacidad Portante - Cimentado sobre roca - Dentro del tercio central-**PARA REVISIÓN DEL R D/C**

$$\sigma_{v_{l\acute{m}axI\_N}} := \left\| \left\| \begin{array}{l} \text{for } i \in 0, 1 \dots \text{rows}(S\_I) - 1 \\ \quad \left\| \begin{array}{l} \text{for } j \in 0, 1 \dots n - 1 \\ \quad \left\| \begin{array}{l} FV_{EI\_N_{i,j}} \\ \sigma_1 \leftarrow \frac{FV_{EI\_N_{i,j}}}{B_{N_j}} \\ \sigma_2 \leftarrow \left( 1 + 6 \cdot \frac{e_{EI\_N_{i,j}}}{B_{N_j}} \right) \\ \sigma_{v_{l\acute{m}axI\_N_{i,j}}} \leftarrow \sigma_1 \cdot \sigma_2 \end{array} \right\| \\ \sigma_{v_{l\acute{m}axI\_N}} \end{array} \right\| \end{array} \right\| = \begin{bmatrix} 64.028 & 75.436 & 91.832 & 105.24 \\ 79.385 & 93.67 & 114.018 & 129.822 \\ 91.764 & 109.145 & 133.275 & 153.034 \\ 79.385 & 91.599 & 110.343 & 124.568 \\ 74.184 & 81.198 & 94.749 & 106.098 \\ 91.764 & 107.073 & 129.6 & 147.78 \\ 86.564 & 100.028 & 117.735 & 132.455 \\ 91.764 & 112.5 & 137.004 & 156.18 \end{bmatrix} \frac{kN}{m}$$

$$\sigma_{v_{lminI\_N}} := \left\| \left\| \begin{array}{l} \text{for } i \in 0, 1 \dots \text{rows}(S\_I) - 1 \\ \quad \left\| \begin{array}{l} \text{for } j \in 0, 1 \dots n - 1 \\ \quad \left\| \begin{array}{l} FV_{EI\_N_{i,j}} \\ \sigma_1 \leftarrow \frac{FV_{EI\_N_{i,j}}}{B_{N_j}} \\ \sigma_2 \leftarrow \left( 1 - 6 \cdot \frac{e_{EI\_N_{i,j}}}{B_{N_j}} \right) \\ \sigma_{v_{lminI\_N_{i,j}}} \leftarrow \sigma_1 \cdot \sigma_2 \end{array} \right\| \\ \sigma_{v_{lminI\_N}} \end{array} \right\| \end{array} \right\| = \begin{bmatrix} 6.712 & 45.26 & 75.707 & 108.623 \\ -15.719 & 17.853 & 41.29 & 68.513 \\ -3.339 & 39.517 & 71.551 & 107.199 \\ -15.719 & 24.358 & 53.191 & 85.715 \\ -10.518 & 34.758 & 68.785 & 104.185 \\ -3.339 & 46.022 & 83.452 & 124.401 \\ 1.861 & 49.711 & 90.843 & 134.691 \\ -3.339 & 32.805 & 63.348 & 99.019 \end{bmatrix} \frac{kN}{m}$$

c.3. Capacidad Portante - Cimentado sobre roca - Fuera del tercio central

$$\sigma_{v_{2\acute{m}axI\_N}} := \left\| \left\| \begin{array}{l} \text{for } i \in 0, 1 \dots \text{rows}(S\_I) - 1 \\ \quad \left\| \begin{array}{l} \text{for } j \in 0, 1 \dots n - 1 \\ \quad \left\| \begin{array}{l} 2 \cdot FV_{EI\_N_{i,j}} \\ \sigma_{v_{2\acute{m}axI\_N_{i,j}}} \leftarrow \frac{2 \cdot FV_{EI\_N_{i,j}}}{3 \cdot \left( \frac{B_{N_j}}{2} - e_{EI\_N_{i,j}} \right)} \end{array} \right\| \\ \sigma_{v_{2\acute{m}axI\_N}} \end{array} \right\| \end{array} \right\| = \begin{bmatrix} 64.61 & 87.779 & 115.394 & 141.827 \\ 84.537 & 96.134 & 122.69 & 147.413 \\ 91.895 & 117.443 & 151.799 & 184.309 \\ 84.537 & 95.827 & 123.397 & 149.389 \\ 76.266 & 89.214 & 115.115 & 140.615 \\ 91.895 & 117.71 & 153.088 & 186.802 \\ 86.602 & 112.418 & 145.296 & 177.602 \\ 91.895 & 118.542 & 152.222 & 183.86 \end{bmatrix} \frac{kN}{m}$$

$$\sigma_{v_{2minI\_N}} := 0 \frac{kN}{m}$$

Presión mínima II de contacto Roca

$$\begin{bmatrix} 0.134 & 0.158 & 0.192 & 0.22 \\ 0.166 & 0.196 & 0.238 & 0.272 \\ 0.192 & 0.228 & 0.279 & 0.32 \end{bmatrix}$$

$$R_{DCPI\_N} := \left\| \begin{array}{l} \text{for } i \in 0, 1 \dots \text{rows}(S\_I) - 1 \\ \quad \left\| \begin{array}{l} \text{for } j \in 0, 1 \dots n - 1 \\ \quad \left\| \begin{array}{l} R_{DCEI\_N_{i,j}} \leftarrow \frac{\sigma v_{lmaxI\_N_{i,j}}}{\phi q_u} \\ R_{DCEI\_N} \end{array} \right\| \end{array} \right\| \end{array} \right\| = \begin{bmatrix} 0.166 & 0.192 & 0.231 & 0.261 \\ 0.155 & 0.17 & 0.198 & 0.222 \\ 0.192 & 0.224 & 0.271 & 0.309 \\ 0.181 & 0.209 & 0.246 & 0.277 \\ 0.192 & 0.235 & 0.287 & 0.327 \end{bmatrix}$$

#### d. Deslizamiento

$$\mu_R := 0.8$$

$$F_{dl\_N} := \left\| \begin{array}{l} \text{for } i \in 0, 1 \dots \text{cols}(S\_I) - 1 \\ \quad \left\| \begin{array}{l} \text{for } j \in 0, 1 \dots n - 1 \\ \quad \left\| \begin{array}{l} F_1 \leftarrow F_{EH\_NH_j} \cdot S_{I_{i,2}} \\ F_2 \leftarrow F_{LLH\_N_j} \cdot S_{I_{i,4}} \\ F_{dl\_N_{i,j}} \leftarrow F_1 + F_2 \end{array} \right\| \\ F_{dl\_N} \end{array} \right\| \end{array} \right\| = \begin{bmatrix} 16.929 & 49.459 & 97.591 & 157.432 \\ 27.676 & 78.754 & 153.233 & 245.153 \\ 27.676 & 78.754 & 153.233 & 245.153 \\ 27.676 & 78.754 & 153.233 & 245.153 \\ 23.776 & 63.153 & 118.13 & 184.444 \\ 27.676 & 78.754 & 153.233 & 245.153 \\ 23.776 & 63.153 & 118.13 & 184.444 \\ 27.676 & 78.754 & 153.233 & 245.153 \end{bmatrix} \text{ kN}$$

$$F_{RII\_N} := \left\| \begin{array}{l} \text{for } i \in 0, 1 \dots \text{cols}(S\_I) - 1 \\ \quad \left\| \begin{array}{l} \text{for } j \in 0, 1 \dots n - 1 \\ \quad \left\| \begin{array}{l} \text{if } j < n - 1 \\ \quad \left\| \mu_D \leftarrow \mu_R \right\| \\ \text{else} \\ \quad \left\| \mu_D \leftarrow \mu \right\| \\ F_1 \leftarrow FV_{EI\_N_{i,j}} \cdot \mu_D \\ F_2 \leftarrow B_{N_j} \cdot c_F \cdot 1 \text{ m} \\ F_{RII\_N_{i,j}} \leftarrow F_1 + F_2 \end{array} \right\| \\ F_{RII\_N} \end{array} \right\| \end{array} \right\| = \begin{bmatrix} 102.444 & 264.835 & 481.569 & 392.059 \\ 98.2 & 253.827 & 459.555 & 381.019 \\ 113.055 & 298.393 & 548.687 & 425.029 \\ 98.2 & 259.148 & 474.361 & 389.514 \\ 98.2 & 259.148 & 474.361 & 389.514 \\ 113.055 & 303.714 & 563.493 & 433.524 \\ 113.055 & 299.687 & 555.439 & 429.945 \\ 113.055 & 294.366 & 540.633 & 421.45 \end{bmatrix} \text{ kN}$$

$$F_{RTDI\_N} := \left\| \begin{array}{l} \text{for } i \in 0, 1 \dots \text{cols}(S\_I) - 1 \\ \quad \left\| \begin{array}{l} \text{for } j \in 0, 1 \dots n - 1 \\ \quad \left\| \begin{array}{l} F_1 \leftarrow F_{RII\_N_{i,j}} \cdot \phi_T \\ F_2 \leftarrow F_{Pp\_N_j} \cdot \phi_{ep} \cdot S_{I_{i,2}} \\ F_{RTDI\_N_{i,j}} \leftarrow F_1 + F_2 \end{array} \right\| \\ F_{RTDI\_N} \end{array} \right\| \end{array} \right\| = \begin{bmatrix} 92.2 & 238.351 & 433.8 & 380.852 \\ 88.38 & 228.444 & 414.181 & 384.915 \\ 101.75 & 268.554 & 494.4 & 424.524 \\ 88.38 & 233.233 & 427.506 & 392.56 \\ 88.38 & 233.233 & 427.312 & 378.561 \\ 101.75 & 273.342 & 507.725 & 432.169 \\ 101.75 & 269.718 & 500.283 & 414.949 \\ 101.75 & 264.93 & 487.151 & 421.303 \end{bmatrix} \text{ kN}$$

$$R_{DCDI\_N} := \left\| \begin{array}{l} \text{for } i \in 0, 1 \dots \text{rows}(S\_I) - 1 \\ \quad \left\| \begin{array}{l} \text{for } j \in 0, 1 \dots n - 1 \\ \quad \left\| \begin{array}{l} R_{DCEI\_N_{i,j}} \leftarrow \frac{F_{dI\_N_{i,j}}}{F_{RTDI\_N_{i,j}}} \\ R_{DCEI\_N} \end{array} \right\| \end{array} \right\| \end{array} \right\| = \begin{bmatrix} 0.184 & 0.208 & 0.225 & 0.413 \\ 0.313 & 0.345 & 0.37 & 0.637 \\ 0.272 & 0.293 & 0.31 & 0.577 \\ 0.313 & 0.338 & 0.358 & 0.624 \\ 0.269 & 0.271 & 0.276 & 0.487 \\ 0.272 & 0.288 & 0.302 & 0.567 \\ 0.234 & 0.234 & 0.236 & 0.444 \\ 0.272 & 0.297 & 0.315 & 0.582 \end{bmatrix}$$

## 6.1.2. REVISIÓN A LA CONDICIÓN DE ESTABILIDAD - LRFD - STRENGTH II

### a. Volteo

$$\#_{com} = \begin{bmatrix} \text{"S"} \\ \text{"1"} \\ \text{"2"} \\ \text{"3"} \\ \text{"4"} \\ \text{"5"} \\ \text{"6"} \\ \text{"7"} \end{bmatrix} \begin{array}{l} \text{Comb. Servicio - Resistencia II} \\ \text{Comb. 1 - Resistencia II} \\ \text{Comb. 2 - Resistencia II} \\ \text{Comb. 3 - Resistencia II} \\ \text{Comb. 4 - Resistencia II} \\ \text{Comb. 5 - Resistencia II} \\ \text{Comb. 6 - Resistencia II} \\ \text{Comb. 7 - Resistencia II} \end{array}$$

$$M_{UVII\_N} := \left\| \begin{array}{l} \text{for } i \in 0, 1 \dots \text{cols}(S\_I) - 1 \\ \quad \left\| \begin{array}{l} \text{for } j \in 0, 1 \dots n - 1 \\ \quad \left\| \begin{array}{l} M_1 \leftarrow M_{EH\_NH_j} \cdot S_{-II_{i,2}} \\ M_2 \leftarrow M_{LLH\_N_j} \cdot S_{-II_{i,4}} \\ M_{UVII\_N_{i,j}} \leftarrow M_1 + M_2 \end{array} \right\| \end{array} \right\| \end{array} \right\| = \begin{bmatrix} 10.747 & 58.588 & 166.926 & 366.113 \\ 15.093 & 83.774 & 241.146 & 532.259 \\ 15.093 & 83.774 & 241.146 & 532.259 \\ 15.093 & 83.774 & 241.146 & 532.259 \\ 13.143 & 68.173 & 188.492 & 405.571 \\ 15.093 & 83.774 & 241.146 & 532.259 \\ 13.143 & 68.173 & 188.492 & 405.571 \\ 15.093 & 83.774 & 241.146 & 532.259 \end{bmatrix} \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$M_{RVII\_N} := \left\| \begin{array}{l} \text{for } i \in 0, 1 \dots \text{cols}(S\_I) - 1 \\ \quad \left\| \begin{array}{l} \text{for } j \in 0, 1 \dots n - 1 \\ \quad \left\| \begin{array}{l} M_1 \leftarrow M_{DC\_N_j} \cdot S_{-II_{i,1}} \\ M_2 \leftarrow M_{EV\_N_j} \cdot S_{-II_{i,3}} \\ M_3 \leftarrow M_{PP\_N_j} \cdot S_{-II_{i,2}} \\ M_4 \leftarrow M_{LLV\_N_j} \cdot S_{-II_{i,5}} \\ M_{RVII\_N_{i,j}} \leftarrow M_1 + M_2 + M_3 + M_4 \end{array} \right\| \end{array} \right\| \end{array} \right\| = \begin{bmatrix} 39.791 & 307.521 & 987.879 & 2301.027 \\ 35.812 & 285.34 & 919.532 & 2160.321 \\ 49.739 & 373.544 & 1188.787 & 2763.822 \\ 35.812 & 301.748 & 987.461 & 2335.218 \\ 35.812 & 301.748 & 987.435 & 2319.352 \\ 49.739 & 389.952 & 1256.715 & 2938.718 \\ 49.739 & 378.302 & 1223.682 & 2861.693 \\ 49.739 & 361.894 & 1155.78 & 2702.662 \end{bmatrix} \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$R_{DCVII\_N} := \left\| \begin{array}{l} \text{for } i \in 0, 1 \dots \text{cols}(S\_I) - 1 \\ \quad \left\| \begin{array}{l} \text{for } j \in 0, 1 \dots n - 1 \\ \quad \left\| \begin{array}{l} R_{DCVII\_N_{i,j}} \leftarrow \frac{M_{UVII\_N_{i,j}}}{M_{RVII\_N_{i,j}}} \\ R_{DCVII\_N} \end{array} \right\| \end{array} \right\| \end{array} \right\| = \begin{bmatrix} 0.27 & 0.191 & 0.169 & 0.159 \\ 0.421 & 0.294 & 0.262 & 0.246 \\ 0.303 & 0.224 & 0.203 & 0.193 \\ 0.421 & 0.278 & 0.244 & 0.228 \\ 0.367 & 0.226 & 0.191 & 0.175 \\ 0.303 & 0.215 & 0.192 & 0.181 \\ 0.264 & 0.18 & 0.154 & 0.142 \\ 0.303 & 0.231 & 0.209 & 0.197 \end{bmatrix}$$

#### b. Excentricidad

$$e_{max\_est\_N} = \begin{bmatrix} 0.25 \\ 0.5 \\ 0.75 \\ 1 \end{bmatrix} \mathbf{m}$$

$$e_{max\_est} = 1 \mathbf{m}$$

Excentricidad máxima - Condición estática

$$FV_{EII\_N} := \left\| \begin{array}{l} \text{for } i \in 0, 1 \dots \text{cols}(S\_I) - 1 \\ \quad \left\| \begin{array}{l} \text{for } j \in 0, 1 \dots n - 1 \\ \quad \left\| \begin{array}{l} F_1 \leftarrow F_{DC\_N_j} \cdot S_{-II}_{i,1} \\ F_2 \leftarrow F_{EV\_N_j} \cdot S_{-II}_{i,3} \\ F_3 \leftarrow F_{LLV\_N_j} \cdot S_{-II}_{i,5} \\ FV_{EII\_N_{i,j}} \leftarrow F_1 + F_2 + F_3 \\ FV_{EII\_N} \end{array} \right\| \end{array} \right\| \end{array} \right\| = \begin{bmatrix} 53.055 & 181.043 & 376.962 & 641.588 \\ 47.75 & 166.133 & 347.142 & 591.554 \\ 66.319 & 221.841 & 458.558 & 777.246 \\ 47.75 & 172.784 & 365.65 & 627.397 \\ 47.75 & 172.784 & 365.65 & 627.397 \\ 66.319 & 228.492 & 477.065 & 813.089 \\ 66.319 & 224.609 & 469.299 & 801.44 \\ 66.319 & 217.958 & 450.791 & 765.597 \end{bmatrix} \mathbf{kN}$$

$$e_{EII\_N} := \left\| \begin{array}{l} \text{for } i \in 0, 1 \dots \text{cols}(S\_I) - 1 \\ \quad \left\| \begin{array}{l} \text{for } j \in 0, 1 \dots n - 1 \\ \quad \left\| \begin{array}{l} B_{N_j} \\ e_1 \leftarrow \frac{B_{N_j}}{2} \\ M_{RVII\_N_{i,j}} - M_{UVII\_N_{i,j}} \\ e_2 \leftarrow \frac{M_{RVII\_N_{i,j}} - M_{UVII\_N_{i,j}}}{FV_{EII\_N_{i,j}}} \\ e_{EII\_N_{i,j}} \leftarrow e_1 - e_2 \\ e_{EII\_N} \end{array} \right\| \end{array} \right\| \end{array} \right\| = \begin{bmatrix} 0.203 & 0.125 & 0.072 & -0.016 \\ 0.316 & 0.287 & 0.296 & 0.248 \\ 0.228 & 0.194 & 0.183 & 0.129 \\ 0.316 & 0.238 & 0.209 & 0.126 \\ 0.275 & 0.148 & 0.065 & -0.05 \\ 0.228 & 0.16 & 0.121 & 0.04 \\ 0.198 & 0.119 & 0.044 & -0.065 \\ 0.228 & 0.224 & 0.221 & 0.165 \end{bmatrix} \mathbf{m}$$



$$R_{DCEII\_N} := \left\| \begin{array}{l} \text{for } i \in 0, 1 \dots \text{rows}(S\_I) - 1 \\ \quad \left\| \begin{array}{l} \text{for } j \in 0, 1 \dots n - 1 \\ \quad \left\| \begin{array}{l} R_{DCEII\_N_{i,j}} \leftarrow \frac{e_{EII\_N_{i,j}}}{e_{max\_est\_N_j}} \\ R_{DCEII\_N} \end{array} \right\| \end{array} \right\| \end{array} \right\| = \begin{bmatrix} 0.81 & 0.25 & 0.096 & -0.016 \\ 1.264 & 0.573 & 0.394 & 0.248 \\ 0.91 & 0.388 & 0.245 & 0.129 \\ 1.264 & 0.477 & 0.279 & 0.126 \\ 1.101 & 0.296 & 0.087 & -0.05 \\ 0.91 & 0.32 & 0.162 & 0.04 \\ 0.793 & 0.238 & 0.059 & -0.065 \\ 0.91 & 0.448 & 0.295 & 0.165 \end{bmatrix}$$

### c. Capacidad Portante

$$q_u = 7.5 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$$

Capacidad última admisible kgf/cm2

$$q_u = 735.499 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

Capacidad última admisible kN/m2

$$\phi q_u = 478.074 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

Capacidad portante admisible - Considerando el factor de seguridad  $\phi$

#### c.1. Capacidad Portante - Cimentado sobre suelo

$$\sigma_{VPII\_N} := \left\| \begin{array}{l} \text{for } i \in 0, 1 \dots \text{rows}(S\_I) - 1 \\ \quad \left\| \begin{array}{l} \text{for } j \in 0, 1 \dots n - 1 \\ \quad \left\| \begin{array}{l} \sigma_{VPII\_N_{i,j}} \leftarrow \frac{FV_{EII\_N_{i,j}}}{B_{N_j} - 2 \cdot e_{EII\_N_{i,j}}} \\ \sigma_{VPII\_N} \end{array} \right\| \end{array} \right\| \end{array} \right\| = \begin{bmatrix} 48.457 & 65.834 & 86.546 & 106.37 \\ 55.023 & 68.465 & 88.819 & 107.47 \\ 63.473 & 84.918 & 110.947 & 135.356 \\ 55.023 & 68.482 & 89.573 & 109.161 \\ 50.289 & 63.907 & 83.673 & 102.84 \\ 63.473 & 85.259 & 112.051 & 137.362 \\ 60.091 & 81.336 & 106.377 & 130.756 \\ 63.473 & 85.405 & 111.09 & 135.03 \end{bmatrix} \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

#### c.2. Capacidad Portante - Cimentado sobre roca Dentro del tercio central-**PARA REVISIÓN DEL R D/C**

$$\sigma_{VImáxII\_N} := \left\| \begin{array}{l} \text{for } i \in 0, 1 \dots \text{rows}(S\_I) - 1 \\ \quad \left\| \begin{array}{l} \text{for } j \in 0, 1 \dots n - 1 \\ \quad \left\| \begin{array}{l} \sigma_1 \leftarrow \frac{FV_{EII\_N_{i,j}}}{B_{N_j}} \\ \sigma_2 \leftarrow \left( 1 + 6 \cdot \frac{e_{EII\_N_{i,j}}}{B_{N_j}} \right) \\ \sigma_{VImáxII\_N_{i,j}} \leftarrow \sigma_1 \cdot \sigma_2 \\ \sigma_{VImáxII\_N} \end{array} \right\| \end{array} \right\| \end{array} \right\| = \begin{bmatrix} 64.028 & 75.436 & 91.832 & 105.24 \\ 72.082 & 87.134 & 107.567 & 123.025 \\ 84.461 & 102.609 & 126.824 & 146.237 \\ 72.082 & 85.063 & 103.892 & 117.771 \\ 66.881 & 74.662 & 88.298 & 99.301 \\ 84.461 & 100.537 & 123.149 & 140.983 \\ 79.261 & 92.725 & 110.432 & 124.94 \\ 84.461 & 105.197 & 129.701 & 148.664 \end{bmatrix} \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$\sigma_{v_{1minII\_N}} := \left\| \left\| \left\| \begin{array}{l} \text{for } i \in 0, 1 \dots \text{rows}(S\_I) - 1 \\ \quad \left\| \left\| \begin{array}{l} \text{for } j \in 0, 1 \dots n - 1 \\ \quad \left\| \left\| \begin{array}{l} FV_{EI\_N_{i,j}} \\ \sigma_1 \leftarrow \frac{FV_{EI\_N_{i,j}}}{B_{N_j}} \\ \sigma_2 \leftarrow \left( 1 - 6 \cdot \frac{e_{EI\_N_{i,j}}}{B_{N_j}} \right) \\ \sigma_{v_{1minII\_N_{i,j}}} \leftarrow \sigma_1 \cdot \sigma_2 \end{array} \right\| \\ \sigma_{v_{1minII\_N}} \end{array} \right\| \end{array} \right\| \end{array} \right\| = \begin{bmatrix} 6.712 & 45.26 & 75.707 & 108.623 \\ -8.416 & 23.621 & 46.718 & 74.159 \\ 3.964 & 45.286 & 76.979 & 112.845 \\ -8.416 & 30.126 & 58.619 & 91.361 \\ -3.215 & 40.527 & 74.213 & 109.831 \\ 3.964 & 51.791 & 88.88 & 130.047 \\ 9.164 & 57.014 & 98.145 & 142.207 \\ 3.964 & 40.108 & 70.651 & 106.535 \end{bmatrix} \frac{kN}{m}$$

c.2. Capacidad Portante - Cimentado sobre roca - Fuera del tercio central

$$\sigma_{v_{2máxII\_N}} := \left\| \left\| \left\| \begin{array}{l} \text{for } i \in 0, 1 \dots \text{rows}(S\_I) - 1 \\ \quad \left\| \left\| \begin{array}{l} \text{for } j \in 0, 1 \dots n - 1 \\ \quad \left\| \left\| \begin{array}{l} 2 \cdot FV_{EI\_N_{i,j}} \\ \sigma_{v_{2máxII\_N_{i,j}}} \leftarrow \frac{2 \cdot FV_{EI\_N_{i,j}}}{3 \cdot \left( \frac{B_{N_j}}{2} - e_{EI\_N_{i,j}} \right)} \end{array} \right\| \\ \sigma_{v_{2máxII\_N}} \end{array} \right\| \end{array} \right\| \end{array} \right\| = \begin{bmatrix} 64.61 & 87.779 & 115.394 & 141.827 \\ 73.363 & 91.286 & 118.426 & 143.293 \\ 84.631 & 113.225 & 147.929 & 180.475 \\ 73.363 & 91.309 & 119.431 & 145.548 \\ 67.052 & 85.21 & 111.564 & 137.12 \\ 84.631 & 113.678 & 149.402 & 183.15 \\ 80.121 & 108.447 & 141.837 & 174.341 \\ 84.631 & 113.873 & 148.12 & 180.04 \end{bmatrix} \frac{kN}{m}$$

$$\sigma_{v_{2minII}} = 0 \frac{kN}{m}$$

Presión mínima II de contacto Roca

$$R_{DCPII\_N} := \left\| \left\| \left\| \begin{array}{l} \text{for } i \in 0, 1 \dots \text{rows}(S\_I) - 1 \\ \quad \left\| \left\| \begin{array}{l} \text{for } j \in 0, 1 \dots n - 1 \\ \quad \left\| \left\| \begin{array}{l} \sigma_{v_{1máxII\_N_{i,j}}} \\ R_{DCPII\_N_{i,j}} \leftarrow \frac{\sigma_{v_{1máxII\_N_{i,j}}}}{\phi q_u} \end{array} \right\| \\ R_{DCPII\_N} \end{array} \right\| \end{array} \right\| \end{array} \right\| = \begin{bmatrix} 0.134 & 0.158 & 0.192 & 0.22 \\ 0.151 & 0.182 & 0.225 & 0.257 \\ 0.177 & 0.215 & 0.265 & 0.306 \\ 0.151 & 0.178 & 0.217 & 0.246 \\ 0.14 & 0.156 & 0.185 & 0.208 \\ 0.177 & 0.21 & 0.258 & 0.295 \\ 0.166 & 0.194 & 0.231 & 0.261 \\ 0.177 & 0.22 & 0.271 & 0.311 \end{bmatrix}$$

d. Deslizamiento

$$F_{dII\_N} := \left\| \left\| \left\| \begin{array}{l} \text{for } i \in 0, 1 \dots \text{cols}(S\_I) - 1 \\ \quad \left\| \left\| \begin{array}{l} \text{for } j \in 0, 1 \dots n - 1 \\ \quad \left\| \left\| \begin{array}{l} F_1 \leftarrow F_{EH\_NH_j} \cdot S_{II_{i,2}} \\ F_2 \leftarrow F_{LLH\_N_j} \cdot S_{II_{i,4}} \\ F_{dII\_N_{i,j}} \leftarrow F_1 + F_2 \end{array} \right\| \\ F_{dII\_N} \end{array} \right\| \end{array} \right\| \end{array} \right\| = \begin{bmatrix} 16.929 & 49.459 & 97.591 & 157.432 \\ 24.025 & 71.451 & 142.278 & 230.746 \\ 24.025 & 71.451 & 142.278 & 230.746 \\ 24.025 & 71.451 & 142.278 & 230.746 \\ 20.124 & 55.85 & 107.176 & 170.038 \\ 24.025 & 71.451 & 142.278 & 230.746 \\ 20.124 & 55.85 & 107.176 & 170.038 \\ 24.025 & 71.451 & 142.278 & 230.746 \end{bmatrix} kN$$

$$F_{RIII\_N} := \left\| \begin{array}{l} \text{for } i \in 0, 1 \dots \text{cols}(S\_I) - 1 \\ \quad \left\| \begin{array}{l} \text{for } j \in 0, 1 \dots n - 1 \\ \quad \left\| \begin{array}{l} \text{if } j < n - 1 \\ \quad \mu_D \leftarrow \mu_R \\ \text{else} \\ \quad \mu_D \leftarrow \mu \end{array} \right\| \\ \quad F_1 \leftarrow FV_{EII\_N_{i,j}} \cdot \mu_D \\ \quad F_2 \leftarrow B_{N_j} \cdot c_F \cdot 1 \text{ } \mathbf{m} \\ \quad F_{RIII\_N_{i,j}} \leftarrow F_1 + F_2 \end{array} \right\| \\ F_{RIII\_N} \end{array} \right\| = \begin{bmatrix} 102.444 & 264.835 & 481.569 & 392.059 \\ 98.2 & 252.907 & 457.714 & 380.201 \\ 113.055 & 297.473 & 546.846 & 424.211 \\ 98.2 & 258.227 & 472.52 & 388.696 \\ 98.2 & 258.227 & 472.52 & 388.696 \\ 113.055 & 302.793 & 561.652 & 432.706 \\ 113.055 & 299.687 & 555.439 & 429.945 \\ 113.055 & 294.366 & 540.633 & 421.45 \end{bmatrix} \mathbf{kN}$$

$$F_{RTDII\_N} := \left\| \begin{array}{l} \text{for } i \in 0, 1 \dots \text{cols}(S\_I) - 1 \\ \quad \left\| \begin{array}{l} \text{for } j \in 0, 1 \dots n - 1 \\ \quad \left\| \begin{array}{l} F_1 \leftarrow F_{RIII\_N_{i,j}} \cdot \phi_T \\ F_2 \leftarrow F_{Pp\_N_j} \cdot \phi_{ep} \cdot S_{II_{i,2}} \\ F_{RTDII\_N_{i,j}} \leftarrow F_1 + F_2 \end{array} \right\| \\ F_{RTDII\_N} \end{array} \right\| = \begin{bmatrix} 92.2 & 238.351 & 433.8 & 380.852 \\ 88.38 & 227.616 & 412.524 & 384.179 \\ 101.75 & 267.726 & 492.743 & 423.788 \\ 88.38 & 232.405 & 425.849 & 391.824 \\ 88.38 & 232.405 & 425.655 & 377.825 \\ 101.75 & 272.514 & 506.068 & 431.433 \\ 101.75 & 269.718 & 500.283 & 414.949 \\ 101.75 & 264.93 & 487.151 & 421.303 \end{bmatrix} \mathbf{kN}$$

$$R_{DCDII\_N} := \left\| \begin{array}{l} \text{for } i \in 0, 1 \dots \text{rows}(S\_I) - 1 \\ \quad \left\| \begin{array}{l} \text{for } j \in 0, 1 \dots n - 1 \\ \quad \left\| \begin{array}{l} F_{dII\_N_{i,j}} \\ R_{DCDII\_N_{i,j}} \leftarrow \frac{F_{dII\_N_{i,j}}}{F_{RTDII\_N_{i,j}}} \end{array} \right\| \\ R_{DCDII\_N} \end{array} \right\| = \begin{bmatrix} 0.184 & 0.208 & 0.225 & 0.413 \\ 0.272 & 0.314 & 0.345 & 0.601 \\ 0.236 & 0.267 & 0.289 & 0.544 \\ 0.272 & 0.307 & 0.334 & 0.589 \\ 0.228 & 0.24 & 0.252 & 0.45 \\ 0.236 & 0.262 & 0.281 & 0.535 \\ 0.198 & 0.207 & 0.214 & 0.41 \\ 0.236 & 0.27 & 0.292 & 0.548 \end{bmatrix}$$

## 6.1. REVISIÓN A LA CONDICIÓN DE ESTABILIDAD - ASD

### a. Volteo

$$M_{U\_N} := M_{LLH\_N} + M_{EH\_NH} = \begin{bmatrix} 10.747 \\ 58.588 \\ 166.926 \\ 366.113 \end{bmatrix} \mathbf{kN} \cdot \mathbf{m}$$

$$M_{RI\_N} := M_{DC\_N} + M_{EV\_N} + M_{Pp\_N} = \begin{bmatrix} 39.791 \\ 298.892 \\ 963.43 \\ 2255.724 \end{bmatrix} \mathbf{kN} \cdot \mathbf{m}$$

$$M_{R2\_N} := M_{DC\_N} + M_{EV\_N} + M_{Pp\_N} + M_{LLV\_N} = \begin{bmatrix} 39.791 \\ 307.521 \\ 987.879 \\ 2301.027 \end{bmatrix} \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$DC_{V1\_N} := \left\| \begin{array}{l} \text{for } i \in 0, 1 \dots \text{rows}(M_{U\_N}) - 1 \\ \left\| \begin{array}{l} DC_{V1\_N_i} \leftarrow \frac{M_{R1\_N_i}}{M_{U\_N_i}} \\ DC_{V1\_N} \end{array} \right\| \end{array} \right\| = \begin{bmatrix} 3.703 \\ 5.102 \\ 5.772 \\ 6.161 \end{bmatrix}$$

$$DC_{V2\_N} := \left\| \begin{array}{l} \text{for } i \in 0, 1 \dots \text{rows}(M_{U\_N}) - 1 \\ \left\| \begin{array}{l} DC_{V1\_N_i} \leftarrow \frac{M_{R2\_N_i}}{M_{U\_N_i}} \\ DC_{V1\_N} \end{array} \right\| \end{array} \right\| = \begin{bmatrix} 3.703 \\ 5.249 \\ 5.918 \\ 6.285 \end{bmatrix}$$

$$R_{V1\_N} := \left\| \begin{array}{l} \text{for } i \in 0, 1 \dots \text{rows}(M_{U\_N}) - 1 \\ \left\| \begin{array}{l} R_{V1\_N_i} \leftarrow \text{if } DC_{V1\_N_i} > ASD_{NEC}(1, 0) \\ \left\| \begin{array}{l} \text{"Cumple"} \\ \text{else} \\ \text{"No cumple"} \end{array} \right\| \end{array} \right\| \end{array} \right\| = \begin{bmatrix} \text{"Cumple"} \\ \text{"Cumple"} \\ \text{"Cumple"} \\ \text{"Cumple"} \end{bmatrix}$$

$$R_{V2\_N} := \left\| \begin{array}{l} \text{for } i \in 0, 1 \dots \text{rows}(M_{U\_N}) - 1 \\ \left\| \begin{array}{l} R_{V1\_N_i} \leftarrow \text{if } DC_{V2\_N_i} > ASD_{NEC}(1, 0) \\ \left\| \begin{array}{l} \text{"Cumple"} \\ \text{else} \\ \text{"No cumple"} \end{array} \right\| \end{array} \right\| \end{array} \right\| = \begin{bmatrix} \text{"Cumple"} \\ \text{"Cumple"} \\ \text{"Cumple"} \\ \text{"Cumple"} \end{bmatrix}$$

#### b. Excentricidad

$$e_{max\_est\_NEC} = 1 \text{ m}$$

Excentricidad máxima - ASD - Estático

$$F_{V1\_N} := F_{DC\_N} + F_{EV\_N} = \begin{bmatrix} 53.055 \\ 178.167 \\ 371.209 \\ 632.959 \end{bmatrix} \text{ kN}$$

$$F_{V2\_N} := F_{DC\_N} + F_{EV\_N} = \begin{bmatrix} 53.055 \\ 178.167 \\ 371.209 \\ 632.959 \end{bmatrix} \text{ kN}$$

$$e_{l\_N} := \left\| \left\| \begin{array}{l} \text{for } i \in 0, 1 \dots \text{rows}(M_{U\_N}) - 1 \\ \left\| \begin{array}{l} B_{N_i} \quad M_{R1\_N_i} - M_{U\_N_i} \\ e_{l\_N_i} \leftarrow \frac{\quad}{2} - \frac{\quad}{F_{Vl\_N_i}} \end{array} \right\| \\ e_{l\_N} \end{array} \right\| \right\| = \begin{bmatrix} 0.203 \\ 0.151 \\ 0.104 \\ 0.015 \end{bmatrix} \mathbf{m}$$

$$e_{2\_N} := \left\| \left\| \begin{array}{l} \text{for } i \in 0, 1 \dots \text{rows}(M_{U\_N}) - 1 \\ \left\| \begin{array}{l} B_{N_i} \quad M_{R2\_N_i} - M_{U\_N_i} \\ e_{2\_N_i} \leftarrow \frac{\quad}{2} - \frac{\quad}{F_{Vl\_N_i}} \end{array} \right\| \\ e_{2\_N} \end{array} \right\| \right\| = \begin{bmatrix} 0.203 \\ 0.103 \\ 0.038 \\ -0.057 \end{bmatrix} \mathbf{m}$$

$$R_{E1\_N} := \left\| \left\| \begin{array}{l} \text{for } i \in 0, 1 \dots \text{rows}(M_{U\_N}) - 1 \\ \left\| \begin{array}{l} R_{Vl\_N_i} \leftarrow \text{if } e_{l\_N_i} < \frac{e_{\max\_est\_NEC}}{B} \cdot B_{N_i} \\ \left\| \begin{array}{l} \text{"Cumple"} \\ \text{else} \\ \text{"No cumple"} \end{array} \right\| \end{array} \right\| \\ R_{Vl\_N} \end{array} \right\| \right\| = \begin{bmatrix} \text{"Cumple"} \\ \text{"Cumple"} \\ \text{"Cumple"} \\ \text{"Cumple"} \end{bmatrix}$$

$$R_{E2\_N} := \left\| \left\| \begin{array}{l} \text{for } i \in 0, 1 \dots \text{rows}(M_{U\_N}) - 1 \\ \left\| \begin{array}{l} R_{E2\_N_i} \leftarrow \text{if } e_{l\_N_i} < \frac{e_{\max\_est\_NEC}}{B} \cdot B_{N_i} \\ \left\| \begin{array}{l} \text{"Cumple"} \\ \text{else} \\ \text{"No cumple"} \end{array} \right\| \end{array} \right\| \\ R_{E2\_N} \end{array} \right\| \right\| = \begin{bmatrix} \text{"Cumple"} \\ \text{"Cumple"} \\ \text{"Cumple"} \\ \text{"Cumple"} \end{bmatrix}$$

$$q_{Pl\_N} := \left\| \left\| \begin{array}{l} \text{for } i \in 0, 1 \dots \text{rows}(M_{U\_N}) - 1 \\ \left\| \begin{array}{l} F_{Vl\_N_i} \left( 1 + 6 \cdot \frac{e_{l\_N_i}}{B_{N_i}} \right) \\ q_{Pl\_N_i} \leftarrow \frac{\quad}{B_{N_i}} \cdot \left( 1 + 6 \cdot \frac{e_{l\_N_i}}{B_{N_i}} \right) \end{array} \right\| \\ q_{Pl\_N} \end{array} \right\| \right\| = \begin{bmatrix} 64.028 \\ 77.353 \\ 93.962 \\ 107.038 \end{bmatrix} \frac{kN}{m}$$

$$q_{Tl\_N} := \left\| \left\| \begin{array}{l} \text{for } i \in 0, 1 \dots \text{rows}(M_{U\_N}) - 1 \\ \left\| \begin{array}{l} F_{Vl\_N_i} \left( 1 - 6 \cdot \frac{e_{l\_N_i}}{B_{N_i}} \right) \\ q_{Tl\_N_i} \leftarrow \frac{\quad}{B_{N_i}} \cdot \left( 1 - 6 \cdot \frac{e_{l\_N_i}}{B_{N_i}} \right) \end{array} \right\| \\ q_{Tl\_N} \end{array} \right\| \right\| = \begin{bmatrix} 6.712 \\ 41.424 \\ 71.019 \\ 103.949 \end{bmatrix} \frac{kN}{m}$$

$$q_{P2\_N} := \left\| \begin{array}{l} \text{for } i \in 0, 1 \dots \text{rows}(M_{U\_N}) - 1 \\ \left\| \begin{array}{l} F_{V2\_N_i} \left( 1 + 6 \cdot \frac{e_{2\_N_i}}{B_{N_i}} \right) \\ q_{P2\_N_i} \leftarrow \frac{F_{V2\_N_i}}{B_{N_i}} \end{array} \right\| \\ \left\| q_{P2\_N} \right\| \end{array} \right\| = \begin{bmatrix} 64.028 \\ 71.601 \\ 86.718 \\ 99.487 \end{bmatrix} \frac{kN}{m}$$

$$q_{T2\_N} := \left\| \begin{array}{l} \text{for } i \in 0, 1 \dots \text{rows}(M_{U\_N}) - 1 \\ \left\| \begin{array}{l} F_{V2\_N_i} \left( 1 - 6 \cdot \frac{e_{2\_N_i}}{B_{N_i}} \right) \\ q_{T2\_N_i} \leftarrow \frac{F_{V2\_N_i}}{B_{N_i}} \end{array} \right\| \\ \left\| q_{T2\_N} \right\| \end{array} \right\| = \begin{bmatrix} 6.712 \\ 47.177 \\ 78.264 \\ 111.499 \end{bmatrix} \frac{kN}{m}$$

### c. Capacidad portante

$$q_u = 735.499 \frac{kN}{m^2}$$

Capacidad última admisible kN/m<sup>2</sup>

$$\phi q_u = 478.074 \frac{kN}{m}$$

Capacidad portante admisible - Considerando el factor de seguridad  $\phi$

$$DC_{C1\_N} := \left\| \begin{array}{l} \text{for } i \in 0, 1 \dots \text{rows}(M_{U\_N}) - 1 \\ \left\| \begin{array}{l} DC_{C1\_N_i} \leftarrow \frac{\phi q_u}{q_{P1\_N_i}} \end{array} \right\| \\ \left\| DC_{C1\_N} \right\| \end{array} \right\| = \begin{bmatrix} 7.467 \\ 6.18 \\ 5.088 \\ 4.466 \end{bmatrix}$$

$$DC_{C2\_N} := \left\| \begin{array}{l} \text{for } i \in 0, 1 \dots \text{rows}(M_{U\_N}) - 1 \\ \left\| \begin{array}{l} DC_{C2\_N_i} \leftarrow \frac{\phi q_u}{q_{P2\_N_i}} \end{array} \right\| \\ \left\| DC_{C2\_N} \right\| \end{array} \right\| = \begin{bmatrix} 7.467 \\ 6.677 \\ 5.513 \\ 4.805 \end{bmatrix}$$

$$R_{C1\_N} := \left\| \begin{array}{l} \text{for } i \in 0, 1 \dots \text{rows}(M_{U\_N}) - 1 \\ \left\| \begin{array}{l} R_{V1\_N_i} \leftarrow \text{if } DC_{C1\_N_i} > ASD_{NEC}(1, 2) \\ \left\| \begin{array}{l} \text{"Cumple"} \\ \text{else} \\ \text{"No cumple"} \end{array} \right\| \end{array} \right\| \\ \left\| R_{V1\_N} \right\| \end{array} \right\| = \begin{bmatrix} \text{"Cumple"} \\ \text{"Cumple"} \\ \text{"Cumple"} \\ \text{"Cumple"} \end{bmatrix}$$

$$R_{C2\_N} := \left\| \begin{array}{l} \text{for } i \in 0, 1 \dots \text{rows}(M_{U\_N}) - 1 \\ \left\| \begin{array}{l} R_{V1\_N_i} \leftarrow \text{if } DC_{C2\_N_i} > ASD_{NEC}(1, 2) \\ \left\| \begin{array}{l} \text{"Cumple"} \\ \text{else} \\ \text{"No cumple"} \end{array} \right\| \end{array} \right\| \\ \left\| R_{V1\_N} \right\| \end{array} \right\| = \begin{bmatrix} \text{"Cumple"} \\ \text{"Cumple"} \\ \text{"Cumple"} \\ \text{"Cumple"} \end{bmatrix}$$

#### d. Deslizamiento

$$k_1 = 0.667$$

Factor de reducción de resistencia del suelo  $k_1$

$$k_2 = 0.667$$

Factor de reducción de resistencia del suelo  $k_2$

$$F_{DU\_N} := \left\| \begin{array}{l} \text{for } i \in 0, 1 \dots \text{rows}(M_{U\_N}) - 1 \\ \left\| F_{DU\_N_i} \leftarrow F_{EH\_N_i} + F_{LLH\_N_i} \right\| \\ F_{DU\_N} \end{array} \right\| = \begin{bmatrix} 16.929 \\ 49.459 \\ 97.591 \\ 157.432 \end{bmatrix} \text{ kN}$$

$$F_{R1\_N} := \left\| \begin{array}{l} \text{for } i \in 0, 1 \dots \text{rows}(M_{U\_N}) - 1 \\ \left\| \begin{array}{l} F_1 \leftarrow (F_{EV\_N_i} + F_{DC\_N_i}) \cdot \tan(k_1 \cdot \phi_E) \\ F_2 \leftarrow B_{N_i} \cdot k_2 \cdot c_F \cdot 1 \text{ m} \\ F_3 \leftarrow F_{pp\_N_i} \\ F_{R1\_N_i} \leftarrow F_1 + F_2 + F_3 \end{array} \right\| \\ F_{R1\_N} \end{array} \right\| = \begin{bmatrix} 59.31 \\ 144.847 \\ 255.884 \\ 446.376 \end{bmatrix} \text{ kN}$$

$$F_{R2\_N} := \left\| \begin{array}{l} \text{for } i \in 0, 1 \dots \text{rows}(M_{U\_N}) - 1 \\ \left\| \begin{array}{l} F_1 \leftarrow (F_{EV\_N_i} + F_{DC\_N_i} + F_{LLV\_N_i}) \cdot \tan(k_1 \cdot \phi_E) \\ F_2 \leftarrow B_{N_i} \cdot k_2 \cdot c_F \cdot 1 \text{ m} \\ F_3 \leftarrow F_{pp\_N_i} \\ F_{R2\_N_i} \leftarrow F_1 + F_2 + F_3 \end{array} \right\| \\ F_{R2\_N} \end{array} \right\| = \begin{bmatrix} 59.31 \\ 145.894 \\ 257.978 \\ 449.516 \end{bmatrix} \text{ kN}$$

$$DC_{D1\_N} := \left\| \begin{array}{l} \text{for } i \in 0, 1 \dots \text{rows}(M_{U\_N}) - 1 \\ \left\| \begin{array}{l} \frac{F_{R1\_N_i}}{F_{DU\_N_i}} \\ DC_{D1\_N_i} \leftarrow \frac{F_{R1\_N_i}}{F_{DU\_N_i}} \end{array} \right\| \\ DC_{D1\_N} \end{array} \right\| = \begin{bmatrix} 3.503 \\ 2.929 \\ 2.622 \\ 2.835 \end{bmatrix}$$

$$DC_{D2\_N} := \left\| \begin{array}{l} \text{for } i \in 0, 1 \dots \text{rows}(M_{U\_N}) - 1 \\ \left\| \begin{array}{l} \frac{F_{R2\_N_i}}{F_{DU\_N_i}} \\ DC_{D2\_N_i} \leftarrow \frac{F_{R2\_N_i}}{F_{DU\_N_i}} \end{array} \right\| \\ DC_{D2\_N} \end{array} \right\| = \begin{bmatrix} 3.503 \\ 2.95 \\ 2.643 \\ 2.855 \end{bmatrix}$$

$$R_{D1\_N} := \left\| \begin{array}{l} \text{for } i \in 0, 1 \dots \text{rows}(M_{U\_N}) - 1 \\ \left\| \begin{array}{l} R_{VI\_N_i} \leftarrow \text{if } DC_{D1\_N_i} > ASD_{NEC}(1, 3) \\ \left\| \begin{array}{l} \text{"Cumple"} \\ \text{else} \\ \text{"No cumple"} \end{array} \right\| \end{array} \right\| \\ R_{VI\_N} \end{array} \right\| = \begin{bmatrix} \text{"Cumple"} \\ \text{"Cumple"} \\ \text{"Cumple"} \\ \text{"Cumple"} \end{bmatrix}$$

$$R_{D2\_N} := \left\| \begin{array}{l} \text{for } i \in 0, 1 \dots \text{rows}(M_{U\_N}) - 1 \\ \left\| \begin{array}{l} R_{VI\_N_i} \leftarrow \text{if } DC_{D2\_N_i} > ASD_{NEC}(1, 3) \\ \left\| \begin{array}{l} \text{"Cumple"} \\ \text{else} \\ \text{"No cumple"} \end{array} \right\| \end{array} \right\| \\ R_{VI\_N} \end{array} \right\| = \begin{bmatrix} \text{"Cumple"} \\ \text{"Cumple"} \\ \text{"Cumple"} \\ \text{"Cumple"} \end{bmatrix}$$

## 7. REVISIÓN SÍSMICA

### 7.1. MONONOBE OKABE & MATSUO - PAE

*Empuje : Activo*

$Z = 0.25 \text{ g}$

$F_a = 1$

$H = 6 \text{ m}$

$\gamma_E = 18 \frac{kN}{m^3}$

$\alpha_R = 10^\circ$

$\phi_E = 30 \text{ deg}$

$\delta_a = 20 \text{ deg}$

$\delta_p = 0 \text{ deg}$

$\beta = 0 \text{ deg}$

$i = 10 \text{ deg}$

$k_{AE} = 0.34$

$k_h = 0.15$

$k_v = 0.075$

$\theta = 9.211 \text{ deg}$

*Tipo de empuje - Tierra desestabilizante*

*Aceleración en roca - Pseudoestático*

*Factor de aplicación - Periodos cortos - VARIA.*

*Densidad - Material empuje*

*Ángulo de inclinación - Material de relleno*

*Ángulo de fricción - Material de relleno*

*Ángulo de rozamiento - Estructura - Terreno Act.*

*Ángulo de rozamiento - Estructura - Terreno Pas.*

*Ángulo de inclinación - Espuelón*

*Ángulo de inclinación del terreno con la horizontal*

*Coefficiente activo - Estático*

*Coefficiente horizontal*

*Coefficiente vertical*

*Ángulo de gravedad aparente - Respecto a la horizontal*



$$k_{AD} = 0.55$$

Coefficiente activo Dinámico

$$H_N := \left\| \begin{array}{l} \text{for } i \in 0, 1 \dots \#_{gt} \\ \left\| \begin{array}{l} h_{N_i} \leftarrow h_{gt} \cdot (i + 1) \\ h_N \end{array} \right\| \end{array} \right\| = \begin{bmatrix} 1.5 \\ 3 \\ 4.5 \\ 6 \end{bmatrix} m$$

$$E_{AE\_N} := \left\| \begin{array}{l} \text{for } i \in 0, 1 \dots \#_{gt} \\ \left\| \begin{array}{l} E_{AE\_N_i} \leftarrow \frac{1}{2} \cdot \gamma_E \cdot H_{N_i}^2 \cdot k_{AE} \cdot 1 \\ E_{AE\_N} \end{array} \right\| \end{array} \right\| = \begin{bmatrix} 6.885 \\ 27.542 \\ 61.969 \\ 110.167 \end{bmatrix} kN$$

$$E_{AD\_N} := \left\| \begin{array}{l} \text{for } i \in 0, 1 \dots \#_{gt} \\ \left\| \begin{array}{l} E_{AE\_N_i} \leftarrow \frac{1}{2} \cdot \gamma_E \cdot H_{N_i}^2 \cdot k_{AD} \cdot 1 \\ E_{AE\_N} \end{array} \right\| \end{array} \right\| = \begin{bmatrix} 11.132 \\ 44.529 \\ 100.191 \\ 178.118 \end{bmatrix} kN$$

$$\Delta E_{AD\_N} := \left\| \begin{array}{l} \text{for } i \in 0, 1 \dots \#_{gt} \\ \left\| \begin{array}{l} \Delta E_{AD\_N_i} \leftarrow \frac{1}{2} \cdot \gamma_E \cdot H_{N_i}^2 \cdot (k_{AD} - k_{AE}) \cdot 1 \\ \Delta E_{AD\_N} \end{array} \right\| \end{array} \right\| = \begin{bmatrix} 4.247 \\ 16.988 \\ 38.222 \\ 67.951 \end{bmatrix} kN$$

$$F_{PAE\_N} := \Delta E_{AD\_N} = \begin{bmatrix} 4.247 \\ 16.988 \\ 38.222 \\ 67.951 \end{bmatrix} kN$$

FUERZA DINÁMICA ACTIVO POR EL SISMO  
- PAE

$$M_{PAE\_N} := \left\| \begin{array}{l} \text{for } i \in 0, 1 \dots \#_{gt} \\ \left\| \begin{array}{l} M_{PAE\_N_i} \leftarrow F_{PAE\_N_i} \cdot H_{N_i} \cdot \frac{2}{3} \\ M_{PAE\_N} \end{array} \right\| \end{array} \right\| = \begin{bmatrix} 4.247 \\ 33.975 \\ 114.667 \\ 271.803 \end{bmatrix} m \cdot kN$$

MOMENTO DINÁMICO ACTIVO POR EL  
SISMO - MPAE

## 7.2. DETERMINACIÓN DE LA FUERZA INERCIAL - PIR

### 7.2.1. Centro de gravedad del muro

$$h_{G\_N} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 1.5 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1.5 & 3 & 1.5 & 0 & 0 \\ 0 & 1.5 & 3 & 4.5 & 3 & 1.5 & 0 \\ 1.5 & 3 & 4.5 & 6 & 4.5 & 3 & 1.5 \end{bmatrix} m \quad b_{G\_N} = \begin{bmatrix} 1 \\ 1.5 \\ 0.5 \end{bmatrix} m$$

$$c_{G\_PIR} := \frac{h_{G\_N}}{2} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0.75 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0.75 & 1.5 & 0.75 & 0 & 0 \\ 0 & 0.75 & 1.5 & 2.25 & 1.5 & 0.75 & 0 \\ 0.75 & 1.5 & 2.25 & 3 & 2.25 & 1.5 & 0.75 \end{bmatrix} \mathbf{m}$$

$$a_{G\_N} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 2.25 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1.5 & 4.5 & 0.75 & 0 & 0 \\ 0 & 1.5 & 3 & 6.75 & 1.5 & 0.75 & 0 \\ 1.5 & 3 & 4.5 & 9 & 2.25 & 1.5 & 0.75 \end{bmatrix} \mathbf{m}^2$$

$$y_{cgM\_N} := \left\| \begin{array}{l} \text{for } i \in 0, 1 \dots \text{rows}(a_{G\_N}) - 1 \\ \quad \left\| \begin{array}{l} sum_n \leftarrow 0 \\ sum_d \leftarrow 0 \\ \text{for } j \in 0, 1 \dots \text{cols}(a_{G\_N}) - 1 \\ \quad \left\| \begin{array}{l} sum_n \leftarrow a_{G\_N,i,j} \cdot c_{G\_PIR,i,j} + sum_n \\ sum_d \leftarrow a_{G\_N,i,j} + sum_d \end{array} \right\| \\ \quad \text{if } sum_d > 0 \\ \quad \quad \left\| y_{cgM\_N,i} \leftarrow \frac{sum_n}{sum_d} \right\| \end{array} \right\| \\ y_{cgM\_N} \end{array} \right\| = \begin{bmatrix} 0.75 \\ 1.25 \\ 1.75 \\ 2.25 \end{bmatrix} \mathbf{m}$$

$$y_{cgM} = 2.25 \mathbf{m}$$

Centro de gravedad del muro

### 7.2.1. Centro de gravedad de la tierra

$$h_{TT\_N} = \begin{bmatrix} 0 \\ 1.5 \\ 3 \\ 4.5 \end{bmatrix} \mathbf{m}$$

Altura del material del talón

$$c_{G\_PIR\_T} := H - \frac{h_{TT\_N}}{2} = \begin{bmatrix} 6 \\ 5.25 \\ 4.5 \\ 3.75 \end{bmatrix} \mathbf{m}$$

Centro de gravedad

$$sum_{n\_T} := \left\| \begin{array}{l} \text{for } i \in 0, 1 \dots \text{rows}(h_{TT\_N}) - 1 \\ \quad \left\| \begin{array}{l} sum_{n\_T,i} \leftarrow h_{TT\_N,i} \cdot b_{gt} \cdot c_{G\_PIR\_T,i} \end{array} \right\| \\ sum_{n\_T} \end{array} \right\| = \begin{bmatrix} 0 \\ 3.938 \\ 6.75 \\ 8.438 \end{bmatrix} \mathbf{m}^3$$

Sumatoria

$$sum_{d\_T} := \left\| \begin{array}{l} \text{for } i \in 0, 1 \dots \text{rows}(h_{TT\_N}) - 1 \\ \quad \left\| \begin{array}{l} sum_{d\_T,i} \leftarrow h_{TT\_N,i} \cdot b_{gt} \end{array} \right\| \\ sum_{d\_T} \end{array} \right\| = \begin{bmatrix} 0 \\ 0.75 \\ 1.5 \\ 2.25 \end{bmatrix} \mathbf{m}^2$$

Sumatorai

$$y_{cgT\_N} := \left\| \begin{array}{l} sum_n \leftarrow 0 \\ sum_d \leftarrow 0 \\ \text{for } i \in 0, 1 \dots \text{rows}(h_{TT\_N}) - 1 \end{array} \right\| = \begin{bmatrix} 0 \\ 5.25 \\ 4.75 \\ 4.25 \end{bmatrix} \mathbf{m}$$

$$\begin{aligned}
& \text{sum}_n \leftarrow \text{sum}_n + \text{sum}_{n\_T_i} \\
& \text{sum}_d \leftarrow \text{sum}_d + \text{sum}_{d\_T_i} \\
& \text{if } \text{sum}_d > 0 \\
& \quad y_{cgT\_N_i} \leftarrow \frac{\text{sum}_n}{\text{sum}_d} \\
& \text{else} \\
& \quad y_{cgT\_N_i} \leftarrow 0 \\
& y_{cgT\_N}
\end{aligned}$$

$$y_{cgT} = 4.25 \text{ m}$$

Centro de gravedad de la tierra

$$F_{PIR\_N} := (F_{DC\_N} + F_{EV\_N}) \cdot k_h = \begin{bmatrix} 7.958 \\ 26.725 \\ 55.681 \\ 94.944 \end{bmatrix} \text{ kN}$$

FUERZA INERCIAL POR EL SISMO - PIR

$$M_{PIR\_N} := \begin{aligned} & \text{for } i \in 0, 1 \dots \text{rows}(h_{TT\_N}) - 1 \\ & \quad M_{PIR\_N_i} \leftarrow (F_{DC\_N_i} \cdot y_{cgM\_N_i} + F_{EV\_N_i} \cdot y_{cgT\_N_i}) \cdot k_h \\ & M_{PIR\_N} \end{aligned} = \begin{bmatrix} 5.969 \\ 44.807 \\ 121.238 \\ 244.346 \end{bmatrix} \text{ kN} \cdot \text{m}$$

MOMENTO INERCIAL POR EL SISMO - MPIR

## 9. REVISIÓN A LA CONDICIÓN DE ESTABILIDAD

### 9.1. REVISIÓN A LA CONDICIÓN DE ESTABILIDAD LRFD - EVENTO EXTREMO I

#### a. Volteo

$$\#_{coms} = \begin{bmatrix} \text{"Combinación 1"} \\ \text{"Combinación 2"} \\ \text{"Combinación 3"} \\ \text{"Combinación 4"} \\ \text{"Combinación 5"} \\ \text{"Combinación 6"} \end{bmatrix}$$

Comb. 1 - Evento Extremo I

Comb. 2 - Evento Extremo I

Comb. 3 - Evento Extremo I

Comb. 4 - Evento Extremo I

Comb. 5 - Evento Extremo I

Comb. 6 - Evento Extremo I

$$M_{U\_EEI\_N} := \begin{aligned} & \text{for } i \in 0, 1 \dots \text{rows}(EX\_I) - 1 \\ & \quad \text{for } j \in 0, 1 \dots n - 1 \\ & \quad \quad M_1 \leftarrow M_{EH\_NH_j} \cdot EX\_I_{i,2} \\ & \quad \quad M_2 \leftarrow M_{LLH\_N_j} \cdot EX\_I_{i,4} \\ & \quad \quad M_3 \leftarrow M_{PAE\_N_j} \cdot EX\_I_{i,6} \\ & \quad \quad M_4 \leftarrow M_{PIR\_N_j} \cdot EX\_I_{i,7} \\ & \quad \quad M_{U\_EEI\_N_{i,j}} \leftarrow M_1 + M_2 + M_3 + M_4 \\ & M_{U\_EEI\_N} \end{aligned} = \begin{bmatrix} 11.992 & 92.997 & 283.878 & 633.624 \\ 11.132 & 87.581 & 280.593 & 647.352 \\ 18.839 & 120.383 & 345.497 & 746.361 \\ 17.978 & 114.967 & 342.212 & 760.089 \\ 18.839 & 120.383 & 345.497 & 746.361 \\ 17.978 & 114.967 & 342.212 & 760.089 \end{bmatrix} \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$M_{R\_EEI\_N} := \left\| \left\| \left\| \begin{array}{l} \text{for } i \in 0, 1 \dots \text{rows}(EX\_I) - 1 \\ \quad \left\| \left\| \begin{array}{l} \text{for } j \in 0, 1 \dots n - 1 \\ \quad \left\| \begin{array}{l} M_1 \leftarrow M_{DC\_N_j} \cdot EX\_I_{i,1} \\ M_2 \leftarrow M_{EV\_N_j} \cdot EX\_I_{i,3} \\ M_3 \leftarrow M_{PP\_N_j} \cdot EX\_I_{i,2} \\ M_4 \leftarrow M_{LLV\_N_j} \cdot EX\_I_{i,5} \\ M_{R\_EEI\_N_{i,j}} \leftarrow M_1 + M_2 + M_3 + M_4 \end{array} \right. \\ \quad M_{R\_EEI\_N} \end{array} \right. \end{array} \right. \right\| \right\| = \begin{bmatrix} 39.791 & 298.892 & 963.43 & 2255.724 \\ 39.791 & 298.892 & 963.43 & 2255.724 \\ 39.791 & 298.892 & 963.43 & 2255.724 \\ 39.791 & 298.892 & 963.43 & 2255.724 \\ 39.791 & 307.521 & 987.879 & 2301.027 \\ 39.791 & 307.521 & 987.879 & 2301.027 \end{bmatrix} \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$R_{DCV\_EEI\_N} := \left\| \left\| \left\| \begin{array}{l} \text{for } i \in 0, 1 \dots \text{rows}(EX\_I) - 1 \\ \quad \left\| \left\| \begin{array}{l} \text{for } j \in 0, 1 \dots n - 1 \\ \quad \left\| \begin{array}{l} M_{U\_EEI\_N_{i,j}} \\ R_{DCVII\_N_{i,j}} \leftarrow \frac{M_{U\_EEI\_N_{i,j}}}{M_{R\_EEI\_N_{i,j}}} \end{array} \right. \\ \quad R_{DCVII\_N} \end{array} \right. \end{array} \right. \right\| \right\| = \begin{bmatrix} 0.301 & 0.311 & 0.295 & 0.281 \\ 0.28 & 0.293 & 0.291 & 0.287 \\ 0.473 & 0.403 & 0.359 & 0.331 \\ 0.452 & 0.385 & 0.355 & 0.337 \\ 0.473 & 0.391 & 0.35 & 0.324 \\ 0.452 & 0.374 & 0.346 & 0.33 \end{bmatrix}$$

### b. Excentricidad

$$e_{max\_sis\_LRFD\_N} := \left\| \left\| \left\| \begin{array}{l} \text{for } i \in 0, 1 \dots n - 1 \\ \quad \left\| \left\| \begin{array}{l} LRFD_{AASHTO\_SIS_{1,1}} \\ e_{max\_est\_N_i} \leftarrow \frac{LRFD_{AASHTO\_SIS_{1,1}}}{B} \cdot B_{N_i} \end{array} \right. \\ \quad e_{max\_est\_N} \end{array} \right. \right\| \right\| = \begin{bmatrix} 0.375 \\ 0.75 \\ 1.125 \\ 1.5 \end{bmatrix} \text{ m}$$

$$FV_{E\_EEI\_N} := \left\| \left\| \left\| \begin{array}{l} \text{for } i \in 0, 1 \dots \text{rows}(EX\_I) - 1 \\ \quad \left\| \left\| \begin{array}{l} \text{for } j \in 0, 1 \dots n - 1 \\ \quad \left\| \begin{array}{l} F_1 \leftarrow F_{DC\_N_j} \cdot EX\_I_{i,1} \\ F_2 \leftarrow F_{EV\_N_j} \cdot EX\_I_{i,3} \\ F_3 \leftarrow F_{LLV\_N_j} \cdot EX\_I_{i,5} \\ FV_{E\_EEI\_N_{i,j}} \leftarrow F_1 + F_2 + F_3 \end{array} \right. \\ \quad FV_{E\_EEI\_N} \end{array} \right. \end{array} \right. \right\| \right\| = \begin{bmatrix} 53.055 & 178.167 & 371.209 & 632.959 \\ 53.055 & 178.167 & 371.209 & 632.959 \\ 53.055 & 178.167 & 371.209 & 632.959 \\ 53.055 & 178.167 & 371.209 & 632.959 \\ 53.055 & 181.043 & 376.962 & 641.588 \\ 53.055 & 181.043 & 376.962 & 641.588 \end{bmatrix} \text{ kN}$$

$$e_{E\_EEI\_N} := \left\| \left\| \left\| \begin{array}{l} \text{for } i \in 0, 1 \dots \text{rows}(EX\_I) - 1 \\ \quad \left\| \left\| \begin{array}{l} \text{for } j \in 0, 1 \dots n - 1 \\ \quad \left\| \begin{array}{l} B_{N_j} \\ e_i \leftarrow \frac{B_{N_j}}{B} \end{array} \right. \end{array} \right. \right\| \right\| = \begin{bmatrix} 0.226 & 0.344 & 0.419 & 0.437 \\ 0.21 & 0.314 & 0.411 & 0.459 \\ 0.355 & 0.498 & 0.585 & 0.615 \\ 0.339 & 0.468 & 0.577 & 0.637 \\ 0.355 & 0.466 & 0.546 & 0.577 \\ 0.339 & 0.436 & 0.537 & 0.598 \end{bmatrix} \text{ m}$$

$$\begin{aligned}
& \left\| \left\| \left\| \frac{M_{R\_EEI\_N_{i,j}}^2 - M_{U\_EEI\_N_{i,j}}}{FV_{E\_EEI\_N_{i,j}}} \right\| \right\| \\
& e_2 \leftarrow \frac{M_{R\_EEI\_N_{i,j}}^2 - M_{U\_EEI\_N_{i,j}}}{FV_{E\_EEI\_N_{i,j}}} \\
& e_{E\_EEI\_N_{i,j}} \leftarrow e_1 - e_2 \\
& e_{E\_EEI\_N}
\end{aligned}$$

$$R_{DCE\_EEI\_N} := \left\| \left\| \left\| \begin{aligned} & \text{for } i \in 0, 1 \dots \text{rows}(EX\_I) - 1 \\ & \quad \text{for } j \in 0, 1 \dots n - 1 \\ & \quad \quad \frac{e_{E\_EEI\_N_{i,j}}}{e_{\max\_sis\_LRFD\_N_j}} \\ & \quad R_{DCEII\_N_{i,j}} \leftarrow \frac{e_{E\_EEI\_N_{i,j}}}{e_{\max\_sis\_LRFD\_N_j}} \\ & R_{DCEII\_N} \end{aligned} \right\| \right\| = \begin{bmatrix} 0.603 & 0.459 & 0.373 & 0.292 \\ 0.559 & 0.419 & 0.365 & 0.306 \\ 0.947 & 0.664 & 0.52 & 0.41 \\ 0.904 & 0.624 & 0.512 & 0.425 \\ 0.947 & 0.622 & 0.485 & 0.385 \\ 0.904 & 0.582 & 0.477 & 0.399 \end{bmatrix}$$

*c. Portante*

$$q_u = 7.5 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2} \quad \text{Capacidad última admisible kgf/cm}^2$$

$$q_u = 735.499 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \quad \text{Capacidad última admisible kN/m}^2$$

$$\phi q_u = 478.074 \frac{\text{kN}}{\text{m}} \quad \text{Capacidad portante admisible - Considerando el factor de seguridad } \phi$$

*c.1. Capacidad Portante - Cimentado sobre suelo*

$$\sigma_{P\_EEI\_N} := \left\| \left\| \left\| \begin{aligned} & \text{for } i \in 0, 1 \dots \text{rows}(EX\_I) - 1 \\ & \quad \text{for } j \in 0, 1 \dots n - 1 \\ & \quad \quad \frac{FV_{E\_EEI\_N_{i,j}}}{B_{N_j} - 2 \cdot e_{E\_EEI\_N_{i,j}}} \\ & \quad \sigma_{P\_EEI_{i,j}} \leftarrow \frac{FV_{E\_EEI\_N_{i,j}}}{B_{N_j} - 2 \cdot e_{E\_EEI\_N_{i,j}}} \\ & \sigma_{P\_EEI} \end{aligned} \right\| \right\| = \begin{bmatrix} 50.629 & 77.087 & 101.388 & 123.493 \\ 49.108 & 75.111 & 100.9 & 124.547 \\ 67.172 & 88.913 & 111.498 & 132.717 \\ 64.521 & 86.295 & 110.908 & 133.935 \\ 67.172 & 87.574 & 110.604 & 132.387 \\ 64.521 & 85.11 & 110.041 & 133.567 \end{bmatrix} \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

*c.2. Capacidad Portante - Cimentado sobre roca Dentro del tercio central - PARA REVISIÓN R D/C*

$$\sigma_{l\max\_SIS\_N} := \left\| \left\| \left\| \begin{aligned} & \text{for } i \in 0, 1 \dots \text{rows}(EX\_I) - 1 \\ & \quad \text{for } j \in 0, 1 \dots n - 1 \\ & \quad \quad \frac{FV_{E\_EEI\_N_{i,j}}}{B_{N_j}} \\ & \quad \sigma_1 \leftarrow \frac{FV_{E\_EEI\_N_{i,j}}}{B_{N_j}} \\ & \quad \sigma_2 \leftarrow \left( 1 + 6 \cdot \frac{e_{E\_EEI\_N_{i,j}}}{B_{N_j}} \right) \\ & \sigma_{l\max II\_N_{i,j}} \leftarrow \sigma_1 \cdot \sigma_2 \end{aligned} \right\| \right\| = \begin{bmatrix} 67.35 & 100.293 & 128.615 & 151.623 \\ 65.054 & 96.682 & 127.642 & 153.911 \\ 85.607 & 118.55 & 146.872 & 170.412 \\ 83.311 & 114.939 & 145.899 & 172.7 \\ 85.607 & 116.633 & 144.742 & 168.614 \\ 83.311 & 113.022 & 143.768 & 170.902 \end{bmatrix} \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$\sigma_{v_{lmin\_SIS\_N}} := \left\| \left\| \left\| \begin{array}{l} \text{for } i \in 0, 1 \dots \text{rows}(EX\_I) - 1 \\ \quad \text{for } j \in 0, 1 \dots n - 1 \\ \quad \quad \quad FV_{E\_EEI\_N_{i,j}} \\ \quad \quad \sigma_1 \leftarrow \frac{FV_{E\_EEI\_N_{i,j}}}{B_{N_j}} \\ \quad \quad \sigma_2 \leftarrow \left( 1 - 6 \cdot \frac{e_{E\_EEI\_N_{i,j}}}{B_{N_j}} \right) \\ \quad \quad \sigma_{v_{lminII\_N_{i,j}}} \leftarrow \sigma_1 \cdot \sigma_2 \\ \quad \sigma_{v_{lminII\_N}} \end{array} \right\| \right\| \right\| = \begin{bmatrix} 3.39 & 18.485 & 36.367 & 59.364 \\ 5.686 & 22.096 & 37.34 & 57.076 \\ -14.867 & 0.228 & 18.109 & 40.574 \\ -12.571 & 3.838 & 19.083 & 38.286 \\ -14.867 & 4.063 & 22.797 & 45.248 \\ -12.571 & 7.674 & 23.77 & 42.96 \end{bmatrix} \frac{kN}{m}$$

c.2. Capacidad Portante - Cimentado sobre roca - Fuera del tercio central

$$\sigma_{v_{2m\acute{a}x\_SIS\_N}} := \left\| \left\| \left\| \begin{array}{l} \text{for } i \in 0, 1 \dots \text{rows}(EX\_I) - 1 \\ \quad \text{for } j \in 0, 1 \dots n - 1 \\ \quad \quad \quad \sigma_{v_{2m\acute{a}x\_SIS\_N_{i,j}}} \leftarrow \frac{2 \cdot FV_{E\_EEI\_N_{i,j}}}{3 \cdot \left( \frac{B_{N_j}}{2} - e_{E\_EEI\_N_{i,j}} \right)} \\ \quad \sigma_{v_{2m\acute{a}x\_SIS\_N}} \end{array} \right\| \right\| \right\| = \begin{bmatrix} 67.505 & 102.782 & 135.183 & 164.658 \\ 65.477 & 100.148 & 134.533 & 166.063 \\ 89.563 & 118.551 & 148.664 & 176.956 \\ 86.028 & 115.06 & 147.877 & 178.581 \\ 89.563 & 116.765 & 147.472 & 176.516 \\ 86.028 & 113.481 & 146.722 & 178.089 \end{bmatrix} \frac{kN}{m}$$

$$\sigma_{v_{2min\_SIS}} = 0 \frac{kN}{m}$$

Presi3n m3nima II de contacto Roca

$$R_{DCP\_EEI\_N} := \left\| \left\| \left\| \begin{array}{l} \text{for } i \in 0, 1 \dots \text{rows}(EX\_I) - 1 \\ \quad \text{for } j \in 0, 1 \dots n - 1 \\ \quad \quad \quad R_{DCP_{II\_N_{i,j}}} \leftarrow \frac{\sigma_{v_{lmax\_SIS\_N_{i,j}}}}{\phi q_u} \\ \quad R_{DCP_{II\_N}} \end{array} \right\| \right\| \right\| = \begin{bmatrix} 0.141 & 0.21 & 0.269 & 0.317 \\ 0.136 & 0.202 & 0.267 & 0.322 \\ 0.179 & 0.248 & 0.307 & 0.356 \\ 0.174 & 0.24 & 0.305 & 0.361 \\ 0.179 & 0.244 & 0.303 & 0.353 \\ 0.174 & 0.236 & 0.301 & 0.357 \end{bmatrix}$$

d. Deslizamiento

$$F_{d\_EEI\_N} := \left\| \left\| \left\| \begin{array}{l} \text{for } i \in 0, 1 \dots \text{rows}(EX\_I) - 1 \\ \quad \text{for } j \in 0, 1 \dots n - 1 \\ \quad \quad \quad F_1 \leftarrow F_{EH\_NH_j} \cdot EX\_I_{i,2} \\ \quad \quad \quad F_2 \leftarrow F_{LLH\_N_j} \cdot EX\_I_{i,4} \end{array} \right\| \right\| \right\| = \begin{bmatrix} 17.882 & 66.421 & 144.997 & 250.336 \\ 16.027 & 61.552 & 136.268 & 236.84 \\ 27.011 & 84.678 & 172.383 & 286.352 \\ 25.155 & 79.81 & 163.654 & 272.855 \\ 27.011 & 84.678 & 172.383 & 286.352 \\ 25.155 & 79.81 & 163.654 & 272.855 \end{bmatrix} kN$$

$$\begin{aligned}
& F_3 \leftarrow F_{PAE\_Nj} \cdot EX\_I_{i,6} \\
& F_4 \leftarrow F_{PIR\_Nj} \cdot EX\_I_{i,7} \\
& F_{d\_EEI\_N_{i,j}} \leftarrow F_1 + F_2 + F_3 + F_4 \\
& F_{d\_EEI\_N}
\end{aligned}$$

$$F_{RI\_EEI\_N} := \begin{aligned} & \text{for } i \in 0, 1 \dots \text{rows}(EX\_I) - 1 \\ & \quad \text{for } j \in 0, 1 \dots n - 1 \\ & \quad \quad \text{if } j < n - 1 \\ & \quad \quad \quad \mu_D \leftarrow \mu_R \\ & \quad \quad \text{else} \\ & \quad \quad \quad \mu_D \leftarrow \mu \\ & \quad \quad F_1 \leftarrow FV_{E\_EEI\_N_{i,j}} \cdot \mu_D \\ & \quad \quad F_2 \leftarrow B_{N_j} \cdot c_F \cdot 1 \text{ } \mathbf{m} \\ & \quad \quad F_{RI\_EEI\_N_{i,j}} \leftarrow F_1 + F_2 \\ & \quad F_{RI\_EEI\_N} \end{aligned} = \begin{bmatrix} 102.444 & 262.533 & 476.967 & 390.014 \\ 102.444 & 262.533 & 476.967 & 390.014 \\ 102.444 & 262.533 & 476.967 & 390.014 \\ 102.444 & 262.533 & 476.967 & 390.014 \\ 102.444 & 264.835 & 481.569 & 392.059 \\ 102.444 & 264.835 & 481.569 & 392.059 \end{bmatrix} \mathbf{kN}$$

$$F_{RTD\_EEI\_N} := \begin{aligned} & \text{for } i \in 0, 1 \dots \text{rows}(EX\_I) - 1 \\ & \quad \text{for } j \in 0, 1 \dots n - 1 \\ & \quad \quad F_1 \leftarrow F_{RI\_EEI\_N_{i,j}} \cdot \phi_T \\ & \quad \quad F_2 \leftarrow F_{Pp\_Nj} \cdot \phi_{ep} \cdot EX\_I_{i,2} \\ & \quad \quad F_{RTD\_EEI\_N_{i,j}} \leftarrow F_1 + F_2 \\ & \quad F_{RTD\_EEI\_N} \end{aligned} = \begin{bmatrix} 92.2 & 236.28 & 429.658 & 379.011 \\ 92.2 & 236.28 & 429.658 & 379.011 \\ 92.2 & 236.28 & 429.658 & 379.011 \\ 92.2 & 236.28 & 429.658 & 379.011 \\ 92.2 & 238.351 & 433.8 & 380.852 \\ 92.2 & 238.351 & 433.8 & 380.852 \end{bmatrix} \mathbf{kN}$$

$$R_{DCD\_EEI\_N} := \begin{aligned} & \text{for } i \in 0, 1 \dots \text{rows}(EX\_I) - 1 \\ & \quad \text{for } j \in 0, 1 \dots n - 1 \\ & \quad \quad \quad F_{d\_EEI\_N_{i,j}} \\ & \quad \quad R_{DCDII\_N_{i,j}} \leftarrow \frac{F_{d\_EEI\_N_{i,j}}}{F_{RTD\_EEI\_N_{i,j}}} \\ & \quad R_{DCDII\_N} \end{aligned} = \begin{bmatrix} 0.194 & 0.281 & 0.337 & 0.66 \\ 0.174 & 0.261 & 0.317 & 0.625 \\ 0.293 & 0.358 & 0.401 & 0.756 \\ 0.273 & 0.338 & 0.381 & 0.72 \\ 0.293 & 0.355 & 0.397 & 0.752 \\ 0.273 & 0.335 & 0.377 & 0.716 \end{bmatrix}$$

## 9.2. REVISIÓN A LA CONDICIÓN DE ESTABILIDAD - ASD

### a. Volteo

$$M_{U\_S\_N} := M_{LLH\_N} + M_{EH\_NH} + M_{PAE\_N} + M_{PIR\_N} = \begin{bmatrix} 20.962 \\ 137.371 \\ 402.83 \\ 882.262 \end{bmatrix} \mathbf{kN} \cdot \mathbf{m}$$

$$M_{R1\_N} = \begin{bmatrix} 39.791 \\ 298.892 \\ 963.43 \\ 2.256 \cdot 10^3 \end{bmatrix} \quad \textcolor{blue}{kN \cdot m}$$

Momento resistente - ASD - Estático

$$M_{R2\_N} = \begin{bmatrix} 39.791 \\ 307.521 \\ 987.879 \\ 2.301 \cdot 10^3 \end{bmatrix} \quad \textcolor{blue}{kN \cdot m}$$

Momento resistente - ASD - Estático con LLv

$$DC_{VSI\_N} := \frac{\overrightarrow{M_{R1\_N}}}{M_{U\_N}} = \begin{bmatrix} 1.898 \\ 2.176 \\ 2.392 \\ 2.557 \end{bmatrix}$$

Factor volteo - ASD - Caso estático

$$DC_{VS2\_N} := \frac{\overrightarrow{M_{R2\_N}}}{M_{U\_N}} = \begin{bmatrix} 1.898 \\ 2.239 \\ 2.452 \\ 2.608 \end{bmatrix}$$

Factor volteo - ASD - Caso estático con LLv

$$R_{VSI\_N} := \left\| \begin{array}{l} \text{for } i \in 0, 1 \dots \text{rows}(M_{U\_N}) - 1 \\ \left\| \begin{array}{l} R_{VI\_N_i} \leftarrow \text{if } DC_{VSI\_N_i} > ASD_{NEC\_SIS}(1, 0) \\ \left\| \begin{array}{l} \text{"Cumple"} \\ \text{else} \\ \text{"No cumple"} \end{array} \right\| \\ \end{array} \right\| \\ R_{VI\_N} \end{array} \right\| = \begin{bmatrix} \text{"No cumple"} \\ \text{"Cumple"} \\ \text{"Cumple"} \\ \text{"Cumple"} \end{bmatrix}$$

$$R_{VS2\_N} := \left\| \begin{array}{l} \text{for } i \in 0, 1 \dots \text{rows}(M_{U\_N}) - 1 \\ \left\| \begin{array}{l} R_{VI\_N_i} \leftarrow \text{if } DC_{VS2\_N_i} > ASD_{NEC\_SIS}(1, 0) \\ \left\| \begin{array}{l} \text{"Cumple"} \\ \text{else} \\ \text{"No cumple"} \end{array} \right\| \\ \end{array} \right\| \\ R_{VI\_N} \end{array} \right\| = \begin{bmatrix} \text{"No cumple"} \\ \text{"Cumple"} \\ \text{"Cumple"} \\ \text{"Cumple"} \end{bmatrix}$$



## b. Excentricidad

$$e_{max\_sis\_ASD\_N} := e_{max\_sis\_LRFD\_N} = \begin{bmatrix} 0.375 \\ 0.75 \\ 1.125 \\ 1.5 \end{bmatrix} m$$

Excentricidad máxima - ASD - Sísmico

$$F_{V1\_N} = \begin{bmatrix} 5.306 \cdot 10^4 \\ 1.782 \cdot 10^5 \\ 3.712 \cdot 10^5 \\ 6.33 \cdot 10^5 \end{bmatrix} N$$

Fuerza vertical - ASD - Estático

$$F_{V2\_N} = \begin{bmatrix} 53.055 \\ 178.167 \\ 371.209 \\ 632.959 \end{bmatrix} kN$$

Fuerza vertical - ASD - Estático con LLv

$$e_{S1\_N} := \left\| \begin{array}{l} \text{for } i \in 0, 1 \dots \text{rows}(M_{U\_N}) - 1 \\ \left\| \begin{array}{l} B_{N_i} \quad M_{R1\_N_i} - M_{U\_S\_N_i} \\ e_{S1\_N_i} \leftarrow \frac{B_{N_i}}{2} - \frac{M_{R1\_N_i} - M_{U\_S\_N_i}}{F_{V1\_N_i}} \end{array} \right\| \\ e_{S1\_N} \end{array} \right\| = \begin{bmatrix} 0.395 \\ 0.593 \\ 0.74 \\ 0.83 \end{bmatrix} m$$

$$e_{S2\_N} := \left\| \begin{array}{l} \text{for } i \in 0, 1 \dots \text{rows}(M_{U\_N}) - 1 \\ \left\| \begin{array}{l} B_{N_i} \quad M_{R2\_N_i} - M_{U\_S\_N_i} \\ e_{2\_N_i} \leftarrow \frac{B_{N_i}}{2} - \frac{M_{R2\_N_i} - M_{U\_S\_N_i}}{F_{V1\_N_i}} \end{array} \right\| \\ e_{2\_N} \end{array} \right\| = \begin{bmatrix} 0.395 \\ 0.545 \\ 0.674 \\ 0.759 \end{bmatrix} m$$

$$R_{ES1\_N} := \left\| \begin{array}{l} \text{for } i \in 0, 1 \dots \text{rows}(M_{U\_N}) - 1 \\ \left\| \begin{array}{l} R_{V1\_N_i} \leftarrow \text{if } e_{1\_N_i} < \frac{e_{max\_sis\_ASD}}{B} \cdot B_{N_i} \\ \left\| \begin{array}{l} \text{"Cumple"} \\ \text{else} \\ \text{"No cumple"} \end{array} \right\| \end{array} \right\| \\ R_{V1\_N} \end{array} \right\| = \begin{bmatrix} \text{"Cumple"} \\ \text{"Cumple"} \\ \text{"Cumple"} \\ \text{"Cumple"} \end{bmatrix}$$

$$R_{ES2\_N} := \left\| \begin{array}{l} \text{for } i \in 0, 1 \dots \text{rows}(M_{U\_N}) - 1 \\ \left\| \begin{array}{l} R_{E2\_N_i} \leftarrow \text{if } e_{2\_N_i} < \frac{e_{max\_sis\_ASD}}{B} \cdot B_{N_i} \\ \left\| \begin{array}{l} \text{"Cumple"} \\ \text{else} \\ \text{"No cumple"} \end{array} \right\| \end{array} \right\| \\ \end{array} \right\| = \begin{bmatrix} \text{"Cumple"} \\ \text{"Cumple"} \\ \text{"Cumple"} \\ \text{"Cumple"} \end{bmatrix}$$

Revisión ASD - Caso estático con LLv

$$\left\| \left\| R_{E2\_N} \right\| \right\|$$

$$q_{PS1\_N} := \left\| \left\| \begin{array}{l} \text{for } i \in 0, 1 \dots \text{rows}(M_{U\_N}) - 1 \\ \left\| q_{PS1\_N_i} \leftarrow \frac{F_{V1\_N_i}}{B_{N_i}} \cdot \left( 1 + 6 \cdot \frac{e_{S1\_N_i}}{B_{N_i}} \right) \right\| \end{array} \right\| \right\| = \begin{bmatrix} 91.27 \\ 129.875 \\ 163.86 \\ 193.062 \end{bmatrix} \frac{kN}{m}$$

$$q_{TS1\_N} := \left\| \left\| \begin{array}{l} \text{for } i \in 0, 1 \dots \text{rows}(M_{U\_N}) - 1 \\ \left\| q_{TS1\_N_i} \leftarrow \frac{F_{V1\_N_i}}{B_{N_i}} \cdot \left( 1 - 6 \cdot \frac{e_{S1\_N_i}}{B_{N_i}} \right) \right\| \end{array} \right\| \right\| = \begin{bmatrix} -20.53 \\ -11.097 \\ 1.122 \\ 17.924 \end{bmatrix} \frac{kN}{m}$$

$$q_{PS2\_N} := \left\| \left\| \begin{array}{l} \text{for } i \in 0, 1 \dots \text{rows}(M_{U\_N}) - 1 \\ \left\| q_{PS2\_N_i} \leftarrow \frac{F_{V2\_N_i}}{B_{N_i}} \cdot \left( 1 + 6 \cdot \frac{e_{S2\_N_i}}{B_{N_i}} \right) \right\| \end{array} \right\| \right\| = \begin{bmatrix} 91.27 \\ 124.122 \\ 156.616 \\ 185.512 \end{bmatrix} \frac{kN}{m}$$

$$q_{TS2\_N} := \left\| \left\| \begin{array}{l} \text{for } i \in 0, 1 \dots \text{rows}(M_{U\_N}) - 1 \\ \left\| q_{TS2\_N_i} \leftarrow \frac{F_{V2\_N_i}}{B_{N_i}} \cdot \left( 1 - 6 \cdot \frac{e_{S2\_N_i}}{B_{N_i}} \right) \right\| \end{array} \right\| \right\| = \begin{bmatrix} -20.53 \\ -5.345 \\ 8.366 \\ 25.475 \end{bmatrix} \frac{kN}{m}$$

### c. Capacidad portante

$$q_u = 735.499 \frac{kN}{m^2}$$

Capacidad portante admisible

$$\phi q_u = 478.074 \frac{kN}{m}$$

Capacidad portante admisible -  
Considerando el factor de seguridad  $\phi$

$$DC_{CS1\_N} := \left\| \left\| \begin{array}{l} \text{for } i \in 0, 1 \dots \text{rows}(M_{U\_N}) - 1 \\ \left\| DC_{CS1\_N_i} \leftarrow \frac{\phi q_u}{q_{PS1\_N_i}} \right\| \end{array} \right\| \right\| = \begin{bmatrix} 5.238 \\ 3.681 \\ 2.918 \\ 2.476 \end{bmatrix}$$

$$DC_{CS2\_N} := \left\| \left\| \begin{array}{l} \text{for } i \in 0, 1 \dots \text{rows}(M_{U\_N}) - 1 \\ \left\| DC_{CS2\_N_i} \leftarrow \frac{\phi q_u}{q_{PS2\_N_i}} \right\| \end{array} \right\| \right\| = \begin{bmatrix} 5.238 \\ 3.852 \end{bmatrix}$$

$$q_{PS2\_N} := \left\| \left\| \left\| DC_{C1\_N} \leftarrow \frac{\phi q_u}{q_{PS2\_N_i}} \right\| \right\| \right\| \begin{bmatrix} 3.053 \\ 2.577 \end{bmatrix}$$

$$DC_{C1\_N}$$

$$R_{C1\_NN} := \left\| \left\| \left\| \text{for } i \in 0, 1 \dots \text{rows}(M_{U\_N}) - 1 \right. \right. \right\| = \begin{bmatrix} \text{"Cumple"} \\ \text{"Cumple"} \\ \text{"Cumple"} \\ \text{"Cumple"} \end{bmatrix}$$

$$\left\| \left\| \begin{array}{l} R_{V1\_N_i} \leftarrow \text{if } DC_{CS1\_N_i} > ASD_{NEC\_SIS}(1, 2) \\ \quad \left\| \text{"Cumple"} \right\| \\ \quad \text{else} \\ \quad \left\| \text{"No cumple"} \right\| \end{array} \right\| \right\|$$

$$R_{V1\_N}$$

$$R_{C2\_NN} := \left\| \left\| \left\| \text{for } i \in 0, 1 \dots \text{rows}(M_{U\_N}) - 1 \right. \right. \right\| = \begin{bmatrix} \text{"Cumple"} \\ \text{"Cumple"} \\ \text{"Cumple"} \\ \text{"Cumple"} \end{bmatrix}$$

$$\left\| \left\| \begin{array}{l} R_{V1\_N_i} \leftarrow \text{if } DC_{CS2\_N_i} > ASD_{NEC\_SIS}(1, 2) \\ \quad \left\| \text{"Cumple"} \right\| \\ \quad \text{else} \\ \quad \left\| \text{"No cumple"} \right\| \end{array} \right\| \right\|$$

$$R_{V1\_N}$$

#### d. Deslizamiento

$$k_1 = 0.667$$

Factor de reducción de resistencia del suelo  $k1$

$$k_2 = 0.667$$

Factor de reducción de resistencia del suelo  $k2$

$$F_{DUS\_N} := F_{EH\_NH} + F_{LLH\_N} + F_{PAE\_N} + F_{PIR\_N} = \begin{bmatrix} 2.913 \cdot 10^4 \\ 9.317 \cdot 10^4 \\ 1.915 \cdot 10^5 \\ 3.203 \cdot 10^5 \end{bmatrix} N$$

$$F_{R1\_N} = \begin{bmatrix} 5.931 \cdot 10^4 \\ 1.448 \cdot 10^5 \\ 2.559 \cdot 10^5 \\ 4.464 \cdot 10^5 \end{bmatrix} N$$

$$F_{R2\_N} = \begin{bmatrix} 5.931 \cdot 10^4 \\ 1.459 \cdot 10^5 \\ 2.58 \cdot 10^5 \\ 4.495 \cdot 10^5 \end{bmatrix} N$$

$$F_{R2} = 449.516 \text{ kN}$$

Fuerza resistente ASD - Estático con LLv

$$DC_{NEC\_M} := \left\| \left\| \left\| \text{for } i \in 0, 1 \dots \text{rows}(M_{T1\_N}) - 1 \right. \right. \right\| = \begin{bmatrix} 2.036 \\ 1.555 \end{bmatrix}$$

$$DC_{DS1\_N} := \left\| \left\| \left\| \begin{array}{c} F_{R1\_N_i} \\ DC_{DS1\_N_i} \leftarrow \frac{F_{R1\_N_i}}{F_{DUS\_N_i}} \end{array} \right\| \right\| \right\| DC_{DS1\_N} \left\| \right\| \left\| \begin{array}{c} 1.336 \\ 1.393 \end{array} \right\|$$

$$DC_{DS2\_N} := \left\| \left\| \left\| \begin{array}{c} \text{for } i \in 0, 1 \dots \text{rows}(M_{U\_N}) - 1 \\ F_{R2\_N_i} \\ DC_{DS2\_N_i} \leftarrow \frac{F_{R2\_N_i}}{F_{DUS\_N_i}} \end{array} \right\| \right\| \right\| DC_{DS2\_N} \left\| \right\| \left\| \begin{array}{c} 2.036 \\ 1.566 \\ 1.347 \\ 1.403 \end{array} \right\|$$

$$R_{DS1\_N} := \left\| \left\| \left\| \begin{array}{c} \text{for } i \in 0, 1 \dots \text{rows}(M_{U\_N}) - 1 \\ R_{V1\_N_i} \leftarrow \text{if } DC_{DS1\_N_i} > ASD_{NEC\_SIS}(1, 3) \\ \quad \left\| \begin{array}{c} \text{"Cumple"} \\ \text{else} \\ \text{"No cumple"} \end{array} \right\| \end{array} \right\| \right\| \right\| R_{V1\_N} \left\| \right\| \left\| \begin{array}{c} \text{"Cumple"} \\ \text{"Cumple"} \\ \text{"Cumple"} \\ \text{"Cumple"} \end{array} \right\|$$

$$R_{DS2\_N} := \left\| \left\| \left\| \begin{array}{c} \text{for } i \in 0, 1 \dots \text{rows}(M_{U\_N}) - 1 \\ R_{V1\_N_i} \leftarrow \text{if } DC_{DS2\_N_i} > ASD_{NEC\_SIS}(1, 3) \\ \quad \left\| \begin{array}{c} \text{"Cumple"} \\ \text{else} \\ \text{"No cumple"} \end{array} \right\| \end{array} \right\| \right\| \right\| R_{V1\_N} \left\| \right\| \left\| \begin{array}{c} \text{"Cumple"} \\ \text{"Cumple"} \\ \text{"Cumple"} \\ \text{"Cumple"} \end{array} \right\|$$