



**FACULTAD DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA**  
**ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL Y GERENCIA DE**  
**CONSTRUCCIONES**

**Análisis dinámico no lineal del “Hospital Municipal Materno  
Infantil del Niño y la Mujer” de la ciudad de Cuenca, medidas  
de mitigación y refuerzo para disminuir su vulnerabilidad  
estructural**

**Trabajo de grado previo a la obtención del título de:**

**INGENIERO CIVIL CON ÉNFASIS EN GERENCIA DE CONSTRUCCIONES**

**AUTORES:**

**ANA GABRIELA CARRIÓN BRAVO**

**TANIA GABRIELA SINCHI BRITO**

**DIRECTOR:**

**JOSÉ FERNANDO VÁZQUEZ CALERO**

**Cuenca, Ecuador**

**2017**

## DEDICATORIA

Dedico de manera especial a mi madre, quien me ha brindado el apoyo incondicional a lo largo de todos mis años de estudio, guiándome en este camino de responsabilidad y deseos de superación.

Ana Gabriela Carrión

Este trabajo lo dedico a mi familia, quienes me han brindado fortaleza a lo largo de mi carrera universitaria; de manera especial a mis padres que son el principal cimiento de mi vida, por su esfuerzo y apoyo permanente.

A mis amigos que han estado junto a mí a lo largo de este camino tan importante dándome aliento para seguir adelante siempre.

A Dios por cada día de vida.

Por último a mis profesores quienes han sido guía dentro de mi formación universitaria.

Gabriela Sinchi Brito

## AGRADECIMIENTOS

Queremos expresar nuestro agradecimiento

En primer lugar al Ing. Francisco Xavier Flores. Ph.D., por brindarnos su ayuda incondicional en el desarrollo de este trabajo.

A nuestro director de Tesis, Ing. José Fernando Vázquez Calero, M.Sc., por su generosidad, confianza, afecto y amistad, fundamentales para la finalización de este trabajo.

Nuestro sincero agradecimiento también a la Universidad del Azuay y los diferentes docentes que brindaron sus conocimientos y su apoyo para seguir adelante día a día.

## ÍNDICE DE CONTENIDOS

DEDICATORIA.....	ii
AGRADECIMIENTOS.....	iii
ÍNDICE DE CONTENIDOS.....	iv
ÍNDICE DE FIGURAS.....	vi
ÍNDICE DE TABLAS.....	viii
ÍNDICE DE ANEXOS.....	ix
RESUMEN.....	x
ABSTRACT.....	xi
INTRODUCCIÓN.....	1
ANTECEDENTES.....	2
OJETIVOS.....	2
METODOLOGÍA.....	3
ESTADO DEL ARTE Y MARCO TEÓRICO.....	3
<b>CAPÍTULO 1: RECOPIACIÓN DE INFORMACIÓN.....</b>	<b>5</b>
1.1 Información general del Hospital Materno Infantil del Niño y la Mujer.....	5
1.2 Análisis y evaluación del ISH.....	5
1.3 Conclusiones y Recomendaciones de la investigación previa realizada por la Ing. Carla Mora e Ing. Edgar Molina .....	7
<b>CAPÍTULO 2: MODELACIÓN DE LA ESTRUCTURA.....</b>	<b>8</b>
2.1 Selección de pórticos a analizar.....	8
2.2 Cargas Gravitacionales.....	9
2.2.1 Cargas distribuidas.....	9
2.2.2 Pesos.....	10
2.3 Espectros de diseño.....	11
2.3.1 Espectro elástico horizontal de diseño (período de retorno 475 años)...	11
2.3.2 Espectro de diseño (período de retorno 2500 años).....	12
2.4 Generación y modelación dinámica estructural de los pórticos seleccionados en el software especializado.....	13

2.4.1	Análisis modal.....	13
2.4.2	Análisis dinámico lineal.....	15
2.4.3	Análisis Pushover.....	21
2.4.3.1	Cortante Basal.....	21
2.4.4	Análisis dinámico no lineal.....	24
<b>CAPÍTULO 3: MEDIDAS DE MITIGACIÓN.....</b>		<b>31</b>
3.1	Pre diseño del aislador sísmico.....	31
<b>CAPÍTULO 4: ANÁLISIS PRESUPUESTARIO.....</b>		<b>33</b>
<b>CONCLUSIONES.....</b>		<b>35</b>
<b>RECOMENDACIONES.....</b>		<b>36</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA.....</b>		<b>37</b>

## ÍNDICE DE FIGURAS

**Figura 1.2.1** mapa sísmico del Ecuador

**Figura 1.2.2** índice de seguridad hospitalario del Hospital Materno Infantil

**Figura 2.1.1** pórtico 1: eje X

**Figura 2.1.2** pórtico 2: eje Y

**Figura 2.1.3** sección transversal de los elementos estructurales

**Figura 2.3.1.1** espectro elástico de diseño del Hospital Materno Infantil (T = 475 años)

**Figura 2.3.2.1** espectro elástico de diseño del Hospital Materno Infantil (T = 2500 años)

**Figura 2.4.2.1** derivas elásticas del Pórtico 1, primera planta. Sismo ACHN-E (T = 475 años)

**Figura 2.4.2.2** derivas elásticas del Pórtico 1, segunda planta. Sismo ACHN-E (T = 475 años)

**Figura 2.4.2.3** derivas elásticas del Pórtico 1, primera planta. Sismo ACUE-N (T = 475 años)

**Figura 2.4.2.4** derivas elásticas del Pórtico 1, segunda planta. Sismo ACUE-N (T = 475 años)

**Figura 2.4.2.5** derivas elásticas del Pórtico 1, primera planta. Sismo AES2-E (T = 475 años)

**Figura 2.4.2.6** derivas elásticas del Pórtico 1, segunda planta. Sismo AES2-E (T = 475 años)

**Figura 2.4.2.7** derivas elásticas del Pórtico 2, primera planta. Sismo ACHN-E (T = 475 años)

**Figura 2.4.2.8** derivas elásticas del Pórtico 2, segunda planta. Sismo ACHN-E (T = 475 años)

**Figura 2.4.2.9** derivas elásticas del Pórtico 2, primera planta. Sismo ACUE-N (T = 475 años)

**Figura 2.4.2.10** derivas elásticas del Pórtico 2, segunda planta. Sismo ACUE-N (T = 475 años)

**Figura 2.4.2.11** derivas elásticas del Pórtico 2, primera planta. Sismo AES2-E (T = 475 años)

**Figura 2.4.2.12** derivas elásticas del Pórtico 2, segunda planta. Sismo AES2-E (T = 475 años)

**Figura 2.4.3.1** cortante Basal para el pórtico 1 (T = 475 años)

**Figura 2.4.3.2** cortante Basal para el pórtico 1 (T = 2500 años)

**Figura 2.4.3.3** cortante Basal para el pórtico 2 (T = 475 años)

**Figura 2.4.3.4** cortante Basal para el pórtico 2 (T = 2500 años)

**Figura 2.4.4.1** derivas inelásticas del Pórtico 1, primera planta. Sismo ACHN-E (T = 2500 años)

**Figura 2.4.4.2** derivas inelásticas del Pórtico 1, segunda planta. Sismo ACHN-E (T = 2500 años)

**Figura 2.4.4.3** derivas inelásticas del Pórtico 1, primera planta. Sismo ACUE-N (T = 2500 años)

**Figura 2.4.4.4** derivas inelásticas del Pórtico 1, segunda planta. Sismo ACUE-N (T = 2500 años)

**Figura 2.4.4.5** derivas inelásticas del Pórtico 1, primera planta. Sismo AES2-E (T = 2500 años)

**Figura 2.4.4.6** derivas inelásticas del Pórtico 1, segunda planta. Sismo AES2-E (T = 2500 años)

**Figura 2.4.4.7** derivas elásticas del Pórtico 2, primera planta. Sismo ACHN-E (T = 475 años)

**Figura 2.4.4.8** derivas inelásticas del Pórtico 2, segunda planta. Sismo ACHN-E (T = 2500 años)

**Figura 2.4.4.9** derivas inelásticas del Pórtico 2, primera planta. Sismo ACUE-N (T = 2500 años)

**Figura 2.4.4.10** derivas inelásticas del Pórtico 2, segunda planta. Sismo ACUE-N (T = 2500 años)

**Figura 2.4.4.11** derivas inelásticas del Pórtico 2, primera planta. Sismo AES2-E (T = 2500 años)

**Figura 2.4.4.12** derivas inelásticas del Pórtico 2, segunda planta. Sismo AES2-E (T = 2500 años)

**Figura 4** costos de aisladores de acuerdo a su tamaño

## ÍNDICE DE TABLAS

**Tabla 2.2.1.1** cargas distribuidas del pórtico 1

**Tabla 2.2.1.2** cargas distribuidas del pórtico 2

**Tabla 2.2.2.1** pesos

**Tabla 2.3.1.1** factores necesarios para el cálculo del espectro de diseño ( $T = 475$  años)

**Tabla 2.3.2.1** factores necesarios para el cálculo del espectro de diseño ( $T = 2500$  años)

**Tabla 2.4.1.1** períodos de vibración

**Tabla 2.4.1.2** factores de escalamiento sísmico ( $T = 475$  años)

**Tabla 2.4.1.3** factores de escalamiento sísmico ( $T = 2500$  años)

**Tabla 2.4.2.1** derivas elásticas del Pórtico 1 y 2 ( $T = 475$  años)

**Tabla 2.4.4.1** derivas elásticas del Pórtico 1 y 2 ( $T = 2500$  años)

**Tabla 3.1.1** catálogo de aisladores

**Tabla 3.1.2** características del aislador a utilizar

**Tabla 3.1.3** incremento de períodos con el uso de aisladores

## ÍNDICE DE ANEXOS

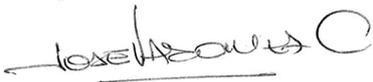
<b>Anexo 1</b> Definiciones.....	38
<b>Anexo 2</b> Vibración Libre.....	41

**ANÁLISIS DINÁMICO NO LINEAL DEL “HOSPITAL MUNICIPAL MATERNO  
INFANTIL DEL NIÑO Y LA MUJER” DE LA CIUDAD DE CUENCA, MEDIDAS  
DE MITIGACIÓN Y REFUERZO PARA DISMINUIR SU VULNERABILIDAD  
ESTRUCTURAL**

**RESUMEN**

El “Hospital Materno Infantil del Niño y la Mujer” cuenta con dos plantas, ubicado en el cantón Cuenca, al sur del Ecuador. La edificación no fue construida siguiendo las normas para estructuras esenciales. Se realiza un análisis dinámico en el software OpenSees, para observar el comportamiento de la edificación en el rango no lineal, ante los efectos de un sismo extremo. Estos resultados fueron comparados con lo que recomienda la Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC-14) para determinar su nivel de vulnerabilidad, y establecer medidas de mitigación mediante el uso de aisladores sísmicos de base, para procurar la funcionalidad continua del hospital ante situaciones de desastre; de esta manera, se determina si es factible reforzar o construir una nueva.

**Palabras claves:** amenazas, vulnerabilidad, mitigación, funcionalidad continua, rango no lineal.



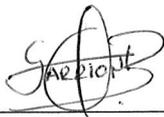
José Fernando Vázquez Calero

**Director del Trabajo de Titulación**



José Fernando Vázquez Calero

**Director de Escuela**



Ana Gabriela Carrión Bravo

**Autora**



Tania Gabriela Sinchi Brito

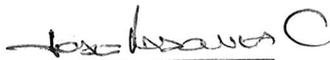
**Autora**

**NON-LINEAL DYNAMIC ANALYSIS OF “HOSPITAL MUNICIPAL MATERNO INFANTIL DEL NIÑO Y LA MUJER” IN THE CITY OF CUENCA, MITIGATION AND REINFORCEMENT MEASURES TO REDUCE ITS STRUCTURAL VULNERABILITY**

**ABSTRACT**

The “Hospital Materno Infantil del Niño y la Mujer “consists of a two-story building, and is located in the canton of Cuenca, south of Ecuador. The construction was not built in accordance with the standards for essential structures. Therefore, a dynamic analysis in OpenSees software was performed to observe the behavior of the building in the nonlinear range in case of an extreme earthquake. These results were compared with the recommendations of the Ecuadorian Construction Standard (NEC-14) to determine its level of vulnerability, and to establish mitigation measures through the use of basic seismic isolators in order to provide the hospital's continuous functionality in situations of disaster. In this way, it was possible to determine whether it was feasible to reinforce the construction or to build a new one.

**Keywords:** threats, vulnerability, mitigation, continuous functionality, nonlinear range.



José Fernando Vázquez Calero  
**Thesis Director**



José Fernando Vázquez Calero  
**School Director**



Ana Gabriela Carrión Bravo  
**Author**



Tania Gabriela Sinchi Brito  
**Author**



Magali Ortega  
UNIVERSIDAD DEL  
AZUAY  
Dpto. Idiomas



Translated by,  
Lic. Lourdes Crespo

Carrión Bravo Ana Gabriela

Sinchi Brito Tania Gabriela

Trabajo de Titulación

Ing. José Fernando Vázquez Calero, M.Sc.

Agosto, 2017.

**ANÁLISIS DINÁMICO NO LINEAL DEL “HOSPITAL MUNICIPAL  
MATERNO INFANTIL DEL NIÑO Y LA MUJER” DE LA CIUDAD DE  
CUENCA, MEDIDAS DE MITIGACIÓN Y REFUERZO PARA DISMINUIR SU  
VULNERABILIDAD ESTRUCTURAL**

**INTRODUCCIÓN**

Los hospitales al ser considerados estructuras esenciales son responsables de salvaguardar la integridad física de las personas y operar al máximo de su capacidad ante cualquier amenaza sísmica que se pueda presentar; para ello, se requiere que su construcción sea concebida bajo el criterio de Ingeniería Sismorresistente.

Partiendo de una primera evaluación, en la que se realizó una modelación dinámica estructural y ensayos no destructivos dentro del rango elástico, se determinó si el hospital cumple o no cumple con los criterios de diseño y construcción. Posteriormente se procede con un análisis dinámico no lineal para determinar si la estructura entraría dentro del rango inelástico, y según las derivas que se produzcan, establecer cuales serán las principales zonas de fallo que necesiten reforzamiento, para asegurar que la estructura trabaje siempre dentro del rango elástico. Para realizar las mencionadas evaluaciones es necesario tomar en cuenta un período de retorno de 2500 años.

Si bien las deformaciones excesivas dentro de los miembros estructurales no son tan peligrosas, al estar vinculados con los miembros no estructurales, sí representan un riesgo ya que estas últimas pueden ocasionar muertes.

Una vez realizados los análisis, se pueden proponer diferentes medidas de mitigación que ayudarán a reducir la vulnerabilidad de la edificación.

## **ANTECEDENTES**

En América Latina y el Caribe, las edificaciones están vulnerables a desastres, pues atraviesan el Cinturón de Fuego del Pacífico; muchos de ellos han quedado inservibles después de la ocurrencia de los mismos. Un hospital es una estructura esencial que debe ser segura y garantizar que sus servicios permanezcan accesibles y funcionando a su máxima capacidad. Por ello, debe ser diseñado tomando todas las medidas de seguridad, para afrontar las consecuencias de desastres, emergencias y otras crisis causadas por un sismo.

Al evaluar una construcción actual, puede existir la duda, si el comportamiento de esta ante un evento sísmico será positivo, por lo cual surge la necesidad de disminuir el riesgo, mayormente en edificios que prestan atención ante emergencias procedentes de sismos, implementando métodos de reestructuración o rehabilitación, total o parcialmente, en la edificación; esto se puede lograr incluyendo a la estructura elementos adicionales tales como: muros en el interior y exterior del edificio, pórticos, encamisado de columnas y vigas, etc. Estas adiciones aumentan la rigidez de los edificios, disminuyen los desplazamientos laterales debido a sismos y evitando en mayor cantidad el daño estructural. (Organización Panamericana de la Salud, 2000)

La ingeniería sísmica se basa en las siguientes medidas: rendimiento, la armonización de los niveles de rendimiento entre los componentes estructurales y no estructurales se ha convertido en algo vital. La reducción en el rendimiento a causa de la vulnerabilidad de los componentes no estructurales se ha visto durante los últimos terremotos en todo el mundo, en cuanto a la inversión en componentes no estructurales y contenidos de construcción es mucho mayor que el de los componentes estructurales y molduras. (Filiatrault, 2014)

## **OBJETIVOS**

### **Objetivo general**

Realizar el análisis dinámico no lineal del “Hospital Materno Infantil del Niño y la Mujer”, de la ciudad de Cuenca, provincia del Azuay, para determinar medidas pertinentes de mitigación y reforzamiento.

### **Objetivos específicos**

- Sistematizar la evaluación estructural disponible del “Hospital Materno Infantil del Niño y la Mujer”.
- Realizar el análisis dinámico no lineal de la estructura de la edificación hospitalaria.
- Diseñar el reforzamiento y medidas de mitigación para la edificación hospitalaria. (FEMA 356, 2000) (ACI 440.2R-08, 2008) (ACI 318, 2011)
- Realizar un análisis costo beneficio de las medidas evaluadas.

### **METODOLOGÍA**

Se partirá de la información, recolectada y clasificada del trabajo de investigación previo realizado por los ingenieros Edgar Molina y Carla Mora, para ejecutar un análisis dinámico no lineal de la edificación.

Mediante la utilización del software especializado OpenSees, se obtendrá el modelo matemático idealizado, analizando la estructura en el rango inelástico; el ingreso de cargas se lo hará de acuerdo a la normativa vigente en el país (NEC – Peligro Sísmico, 2014) en donde se determinarán las zonas de plastificación de la estructura para su posible colapso parcial, progresivo o total de la misma.

Se diseñarán medidas de refuerzo y mitigación para disminuir la vulnerabilidad estructural de la edificación hospitalaria.

Finalmente, se estimará el costo de la estructura hospitalaria existente mediante la obtención de un presupuesto conceptual de la misma, dependiendo de su tipo y clasificación para finalmente compararla con el costo que representa la implementación de una medida de mitigación.

### **ESTADO DEL ARTE Y MARCO TEÓRICO**

En la actualidad los centros de salud y edificaciones en general deben cumplir las normas generales de construcción, considerando aspectos de seguridad y de mitigación de riesgos, con un diseño sismorresistente, que parta desde la concepción del proyecto hasta su construcción. (Bambaren Alatrística, 2007)

Una investigación de tres hospitales realizada en Chile y Nicaragua presenta una gran oportunidad de aplicar y evaluar el diseño estructural de estos edificios especialmente en zonas de alta sismicidad, teniendo en cuenta los requisitos y criterios relacionados con la vulnerabilidad de hospitales, normativa sísmica, análisis realizado y el comportamiento estructural de diferentes proyectos. (García, 2014) Los países deberían asegurar que en el sector de salud todos los establecimientos sean seguros frente a desastres.

“Los hospitales requieren consideraciones especiales en relación con la mitigación de riesgos debido a la función que desempeñan en el medio en donde se encuentran, a sus características de ocupación y a su papel durante situaciones de desastre.” (Organización Panamericana de la Salud, 1999)

### **Definiciones**

Referirse al Anexo 1.

## CAPÍTULO 1

### RECOPIACIÓN DE INFORMACIÓN

#### 1.1 Información general del Hospital Materno Infantil del Niño y la Mujer

El Hospital Municipal del Niño y la Mujer, es un hospital que pertenece al Gobierno Autónomo Descentralizado de Cuenca, fue fundado en el año 2004. Es un hospital básico y materno infantil, en donde la función principal es prestar servicio a la comunidad cuencana y azuaya, especialmente a la población que se encuentra en la parroquia Hermano Miguel y a sectores aledaños como Mayancela, Patamarca y los Trigales. El Hospital Municipal ofrece atención en: medicina general, medicina interna, pediatría, ginecología, obstetricia, neonatología, odontología, traumatología, urología, otorrinolaringología, entre otros.

La entidad hospitalaria se encuentra ubicada en el Sector de Patamarca, calle del Camal, tiene al momento 17 camas, de las cuales un 65% se mantienen ocupadas en situaciones normales. (Molina & Mora, 2016)

#### 1.2 Análisis y evaluación del ISH

De acuerdo a la evaluación realizada por los ingenieros Edgar Molina y Carla Mora, el Hospital Materno Infantil del Niño y la Mujer obtuvo un nivel alto de amenaza, pues presenta una aceleración sísmica de 0.25g, de acuerdo al mapa de diseño sísmico.

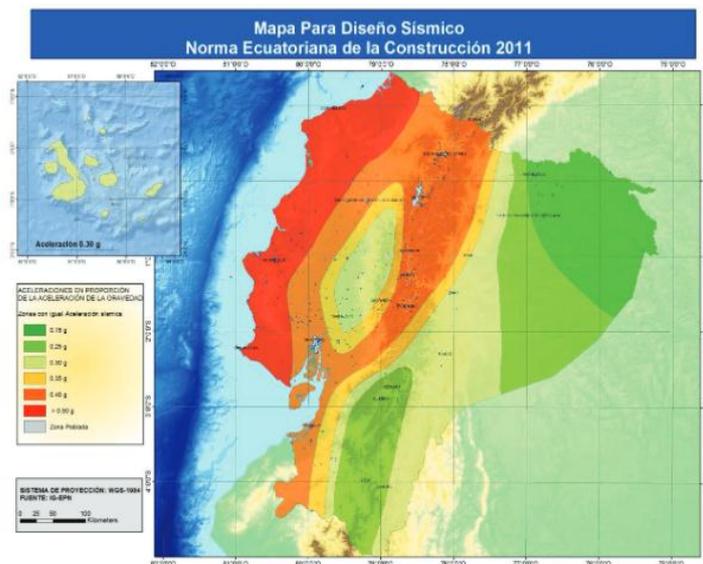


Figura 1.2.1 mapa de riesgo sísmico del Ecuador

De igual manera posee gran vulnerabilidad por la concentración de la población, debido a la cercanía al camal municipal, lo cual impide el paso peatonal y vehicular al hospital; también el flujo elevado de tráfico impide el acceso hacia el hospital, lo que genera preocupación en caso de producirse una tragedia que abarque cifras elevadas de afectados. (Molina & Mora, 2016)

No se presentaron amenazas considerables en cuanto a los factores sanitario-ecológico por malos olores, especialmente el día que se desalojan los residuos del camal municipal, sin embargo, genera desconfianza en la población que requiere sus servicios; por otra parte, el hospital cuenta con el equipo adecuado para evitar incendios, fuga de materiales peligrosos o explosiones. (Molina & Mora, 2016)

De acuerdo al estudio de suelo, se determinó que el mismo no es susceptible a presentar problemas de licuefacción pues no posee nivel freático a los 3 metros de profundidad y el análisis de suelo demostró que se trata de una grava pobremente graduada, además no existen taludes cercanos que pongan en riesgo a la estructura. (Molina & Mora, 2016)

En los antecedentes del hospital no se encontró que el mismo haya sufrido daños estructurales por fenómenos naturales, adicionalmente se realizaron ensayos no destructivos para determinar la calidad de los materiales y elementos, lo que permite conocer si la construcción cumple con las especificaciones y requerimientos mínimos para su funcionamiento estructural (NEC - Peligro Sísmico, 2014), los cuales mostraron resultados positivos. (Molina & Mora, 2016)

El Hospital Materno Infantil del Niño y la Mujer, obtuvo un índice de seguridad de 0.62 y un índice de vulnerabilidad de 0.38, ubicándose en la categoría B, con un rango de seguridad (0.36-0.65) de acuerdo a la Organización Panamericana de la Salud. (Molina & Mora, 2016)

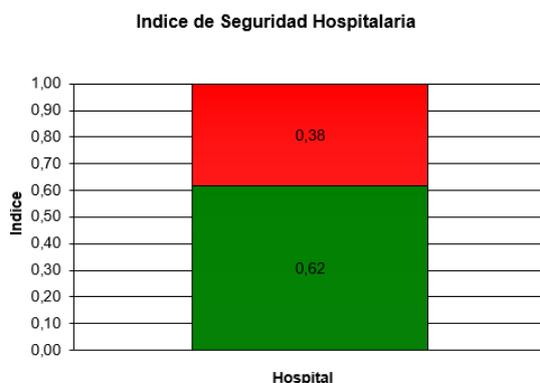


Figura 1.2.2 índice de seguridad hospitalario del Hospital Materno Infantil

### **1.3 Conclusiones y Recomendaciones de la investigación previa realizada por la Ing. Carla Mora e Ing. Edgar Molina**

La principal amenaza detectada son los vectores y factores de tipo social, generados por el camal municipal de la ciudad de Cuenca.

Según el formulario de ISH, existe un comportamiento adecuado de los miembros estructurales, “un 50% de la estructura soportante tiene alta probabilidad de funcionar adecuadamente, un caso muy similar al de los elementos no estructurales que tienen un 80% de probabilidad de funcionar correctamente. Al revisar la seguridad no funcional, se encontró que tan sólo tiene un 23% de probabilidad de que responda correctamente, esto se debe a que el plan operativo de la entidad de salud se está elaborando”. (Molina & Mora, 2016)

Los resultados obtenidos en el software especializado CYPE mostró que el hospital es deficiente en el 100% de las columnas, y un 44% de las vigas; por otro lado, las losas son unidireccionales y las derivas de las columnas se encontraron dentro del rango permitido. Debido a que el hospital se encuentra en una categoría B, se recomienda tomar medidas necesarias a corto plazo. (Molina & Mora, 2016)

Los ingenieros Edgar Molina y Carla Mora, concluyeron que es necesario realizar una evaluación a profundidad especializada, a más del ISH, además que la estructura amerita un reforzamiento urgente.

Sus recomendaciones son:

Realizar un análisis integral de la estructura considerándola en el rango inelástico, reemplazar el criterio de viga débil-columna fuerte por unión fuerte y viga débil. Realizar un análisis no lineal y revisar la posibilidad de colapso, umbral del colapso, colapso parcial, colapso progresivo y colapso total; como medidas de mitigación, se propone realizar un encamisado de las columnas existentes con acero o fibras de carbono, o implementar diagonales rigidizadoras perimetrales. (Molina & Mora, 2016)

## CAPÍTULO 2

### MODELACIÓN DE LA ESTRUCTURA

A continuación, se procede con la modelación y correspondiente análisis de dos pórticos del total de la estructura hospitalaria, en el software OpenSees.

#### 2.1 Selección de pórticos a analizar

Estos fueron seleccionados de acuerdo a su configuración, por ser los más representativos, ya que cuentan con las mayores luces y áreas de aporte. Los pórticos pertenecen a ambos sentidos de la edificación.

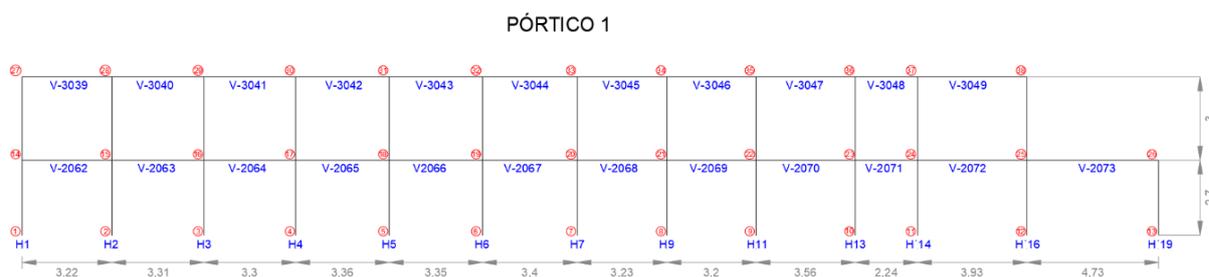


Figura 2.1.1 pórtico 1: eje X.

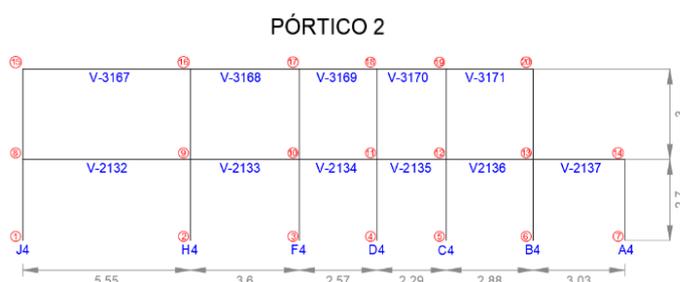
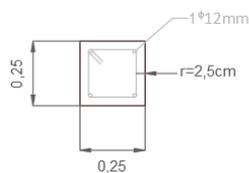


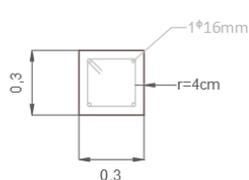
Figura 2.1.2 pórtico 2: eje Y.

#### Sección-Viga1



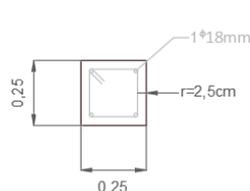
V-3039, V-3040, V-3041, V-3042, V-3043, V-3044, V-3045, V-3046, V-3047, V-3048, V-3049, V-3167, V-3168, V-3170, V-3171.

#### Sección-Columna



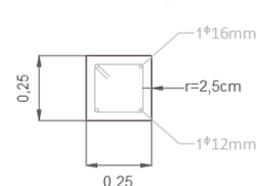
H1, H2, H3, H4, H5, H6, H7, H9, H11, H13, H'14, H'16, H'19, J4, F4, D4, C4, B4, A4.

#### Sección-Viga3



V-2062, V-2063, V-2064, V-2065, V-2066, V-2067, V-2068, V-2069, V-2070, V-2071, V-2072, V-2073, V-2132, V-2133, V-2134, V-2135, V-2136, V-2137.

#### Sección-Viga2



V-3169

Figura 2.1.3 sección transversal de los elementos estructurales

## 2.2 Cargas gravitacionales

### 2.2.1 Cargas distribuidas

Estas cargas se utilizan para realizar el análisis no lineal y se calculan usando  $0.25L+D$ , donde L es la carga viva y D la carga muerta, estas cargas dependerán de la longitud tributaria que tendrán las vigas de los pórticos seleccionados y su respectiva unidad de carga y varían en cada piso. Las cargas correspondientes de cada pórtico serán:

Tabla 2.2.1.1 cargas distribuidas del pórtico 1

PÓRTICO 1(N2+70)			
Viga	longitud tributaria	q (kg/m)	q (Tn/m)
2062	4.58	3169.5	3.17
2063			
2064			
2065			
2066	3.71	2598.6	2.60
2067			
2068			
2069			
2070	3.35	2361	2.36
2071			
2072			
2073			

PÓRTICO 1 (N5+70)			
Viga	longitud tributaria	q (kg/m)	q (Tn/m)
3039	4.58	2426.06	2.43
3040			
3041			
3042			
3043	2.60	1443.5	1.44
3044			
3045			
3046			
3047	1.50	896.25	0.90
3048			
3049	3.35	1816.63	1.82

Tabla 2.2.1.2 cargas distribuidas del pórtico 2

<b>PÓRTICO 2 (N2+70)</b>			
<b>Viga</b>	<b>longitud tributaria</b>	<b>q (kg/m)</b>	<b>q (Tn/m)</b>
2132	3.33	2344.5	2.34
2133			
2134			
2135			
2136	4.08	2842.8	2.84
2137			

<b>PÓRTICO 2 (N5+70)</b>			
<b>Viga</b>	<b>longitud tributaria</b>	<b>q (kg/m)</b>	<b>q (Tn/m)</b>
3167	3.33	1804.19	1.80
3168			
3169			
3170			
3171	1.68	983.31	0.98

### 2.2.2 Pesos

Estas cargas se utilizan para realizar el análisis lineal y están conformadas por la totalidad de la carga muerta (D). Las cargas correspondientes de cada pórtico serán:

Tabla 2.2.2.1 pesos

<b>PÓRTICO 1</b>		
<b>NIVEL</b>	<b>q (kg)</b>	<b>q (Tn)</b>
N2+70	109374.21	109.37
N5+70	64366.71	64.37

<b>PÓRTICO 2</b>		
<b>NIVEL</b>	<b>q (kg)</b>	<b>q (Tn)</b>
N2+70	48900.86	48.90
N5+70	26050.68	26.05

### 2.3 Espectros de diseño

#### 2.3.1 Espectro elástico horizontal de diseño (período de retorno 475 años)

“El espectro elástico de respuesta de aceleraciones  $S_a$ , expresado como fracción de la aceleración de la gravedad, para el nivel del sismo de diseño consistente con: el factor de zona sísmica Z, el tipo de suelo del sitio del emplazamiento de la estructura y la consideración de los valores de los coeficientes de amplificación del suelo.” (Norma Ecuatoriana de la Construcción: Peligro Sísmico, 2014) El espectro elástico horizontal de diseño se utilizará para análisis dinámicos dentro del rango lineal y los parámetros utilizados para el cálculo del mismo fueron tomados de la NEC: Peligro Sísmico.

Tabla 2.3.1.1 factores necesarios para el cálculo del espectro de diseño (T = 475 años)

ESPECTRO DE DISEÑO SÍSMICO		
Período de retorno: 475 años		
DATOS:	ZONA:	Cuenca
	SUELO:	C
	Z	0.25g
Zona Sísmica		II
Caracterización de la amenaza sísmica		ALTA
Factor de importancia		1.5
Fa	1.3	
Fd	1.5	
Fs	1.1	
R	1	
N	2.48	

$$T_C = 0.55 F_s \frac{F_d}{F_a} \quad (1)$$

Tc	0.698	seg
variación	0.02	seg

$$S_a = \eta Z F_a \text{ para } 0 \leq T \leq T_C \quad (2)$$

Sa	0.806	g
----	-------	---

$$T_L = 2.4 F_d \quad (3)$$

TL	3.600	seg
----	-------	-----

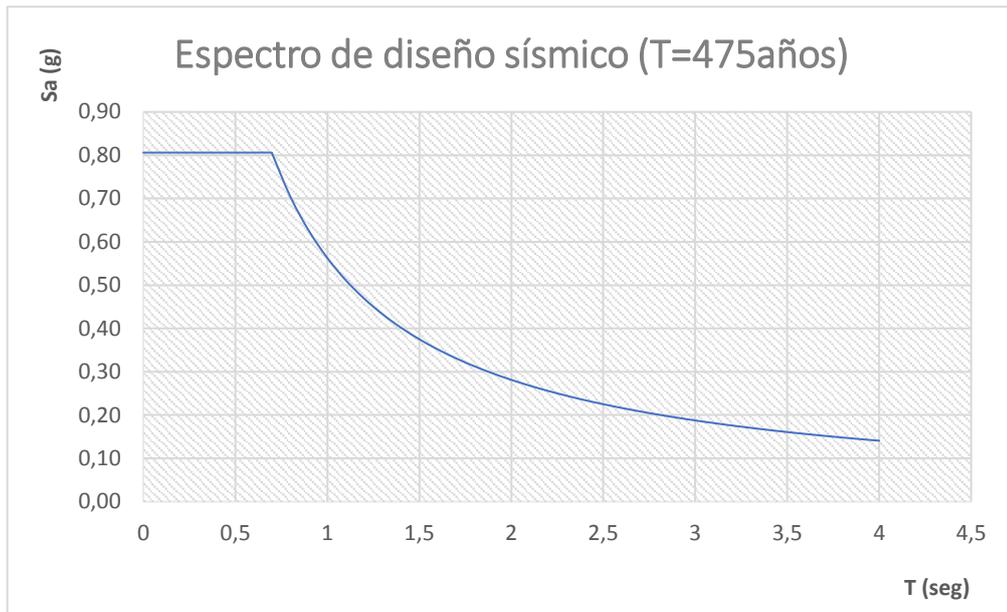


Figura 2.3.1.1 espectro elástico de diseño del Hospital Materno Infantil (T = 475 años)

### 2.3.2 Espectro de diseño (período de retorno 2500 años)

El espectro inelástico de respuesta se utilizará para análisis dinámicos dentro del rango no lineal y los parámetros utilizados para el cálculo del mismo fueron tomados de la NEC: Peligro Sísmico.

Tabla 2.3.2.1 factores necesarios para el cálculo del espectro de diseño (T = 2500 años)

<b>ESPECTRO DE DISEÑO SÍSMICO</b>	
<b>Período de retorno: 2500 años</b>	
<b>DATOS</b>	<b>ZONA:</b> CUENCA
	<b>REGIÓN:</b> 2
	<b>Z</b> 0.34g
	<b>SUELO:</b> C
<b>Zona Sísmica</b> II	
<b>Factor de importancia</b> 1.5	
<b>Fa</b>	1.3
<b>Fd</b>	1.28
<b>Fs</b>	0.94
<b>r</b>	1
<b>η</b>	2.48

<b>período de retorno</b>	
$T_C = 0.55 F_s \frac{F_d}{F_a}$ (4)	<b>Tc</b> 0.5090
$T_0 = 0.10 F_s \frac{F_d}{F_a}$ (5)	<b>To</b> 0.0926

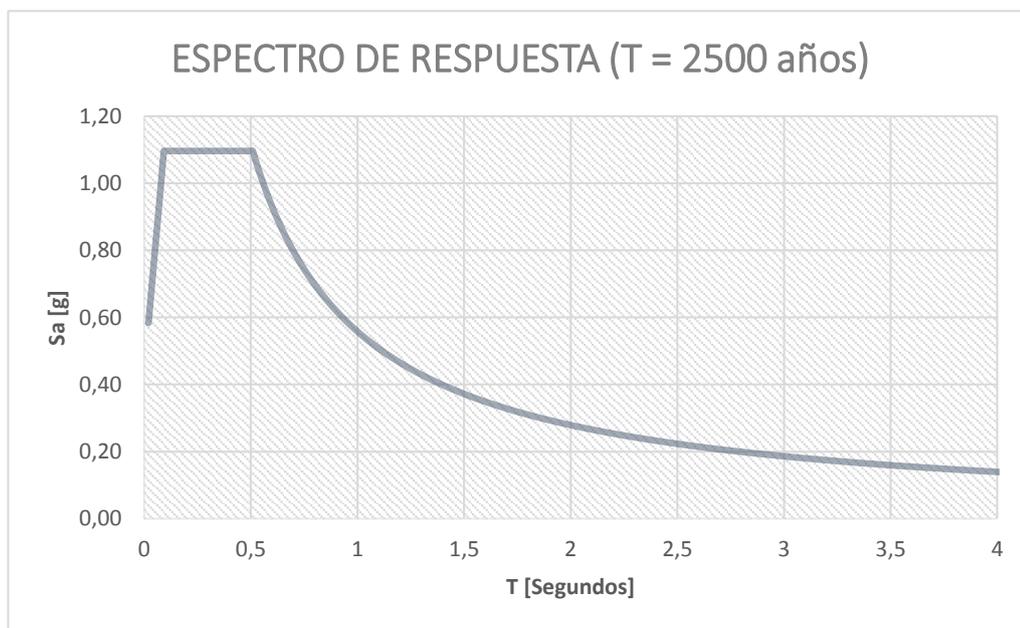


Figura 2.3.2.1 espectro elástico de diseño del Hospital Materno Infantil (T = 2500 años)

## 2.4 Generación y modelación dinámica estructural de los pórticos seleccionados en el software especializado

### 2.4.1 Análisis modal

Mediante este análisis se determinó el período fundamental de la estructura en base a las características geométricas de los elementos estructurales, así como las propiedades de los materiales que los conforman; para cada pórtico se obtuvieron los siguientes valores:

Tabla 2.4.1.1 períodos de vibración

Pórtico	Período (sg)
<b>1</b>	0.38
<b>2</b>	0.34

Estos valores sirven para realizar el escalamiento de los sismos utilizados en esta investigación, para lograr que las aceleraciones espectrales de cada uno coincidan con la del espectro de diseño en un período de retorno de 475 y 2500 años.

El escalamiento sísmico del espectro con período de retorno de 475 años fue utilizado en un análisis dinámico lineal mientras que el escalamiento sísmico del espectro con período de retorno de 2500 años servirá para realizar un análisis dinámico no lineal y comprobar si los resultados son los determinados o presentan un cambio significativo.

Los sismos seleccionados, fueron proporcionados por el Instituto Geofísico de la Escuela Politécnica Nacional y el factor de escalamiento de cada uno se detalla a continuación:

Tabla 2.4.1.2 factores de escalamiento sísmico (T = 475 años)

SISMO	FACTOR DE ESCALA	
	pórtico 1	pórtico 2
ACHN-E	2.04	1.61
AES2-E	3.90	4.01
ACUE-N	1.02	1.35

Tabla 2.4.1.3 factores de escalamiento sísmico (T = 2500 años)

SISMO	FACTOR DE ESCALA	
	pórtico 1	pórtico 2
ACHN-E	3.10	2.31
AES2-E	5.92	5.75
ACUE-N	1.56	1.93

### 2.4.2 Análisis dinámico lineal

Análisis utilizado para calcular las derivas máximas de cada piso, las mismas que no deberán exceder el 2%.

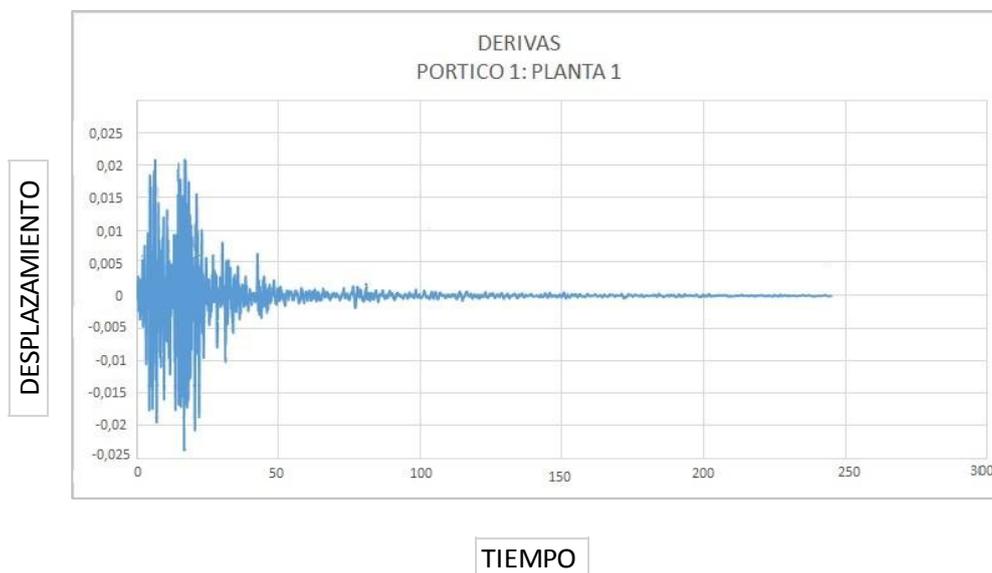


Figura 2.4.2.1 derivas elásticas del pórtico 1, primera planta. Sismo ACHN-E (T = 475 años)

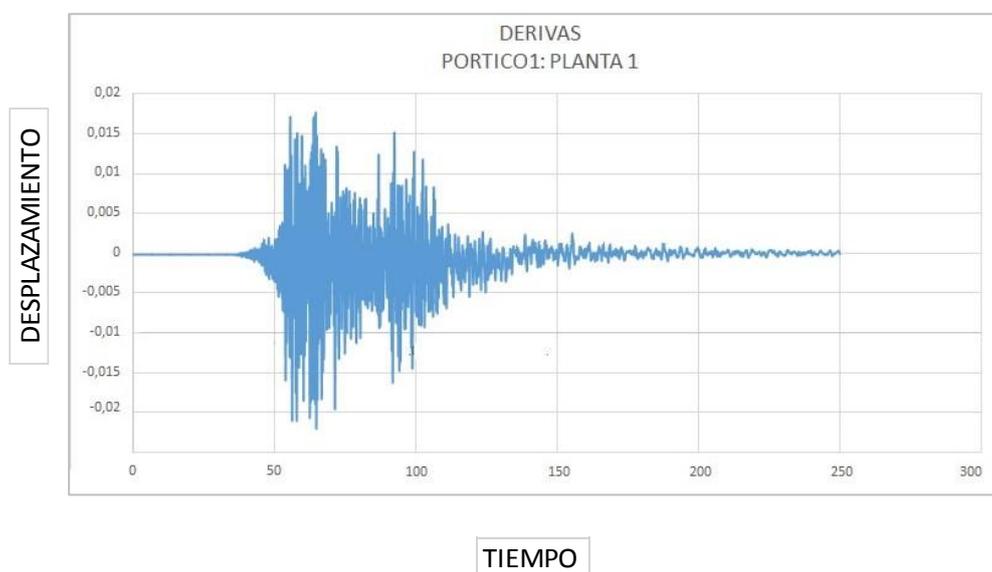


Figura 2.4.2.2 derivas elásticas del pórtico 1, segunda planta. Sismo ACHN-E (T = 475 años)

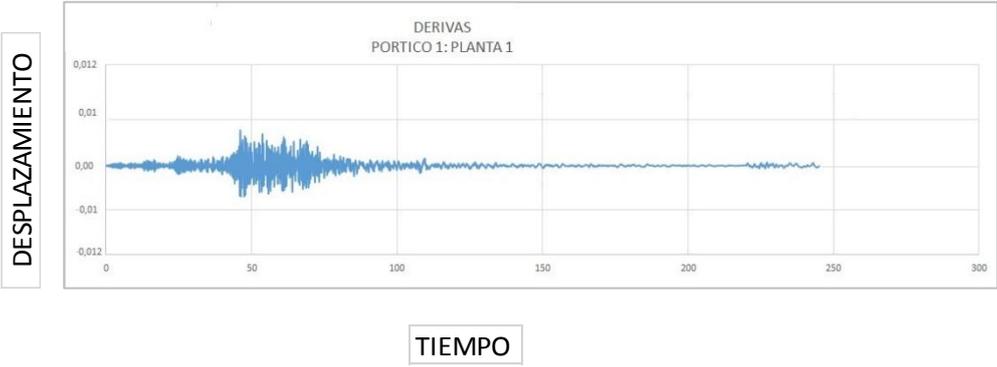


Figura 2.4.2.3 derivas elásticas del pórtico 1, primera planta. Sismo ACUE-N (T = 475 años)

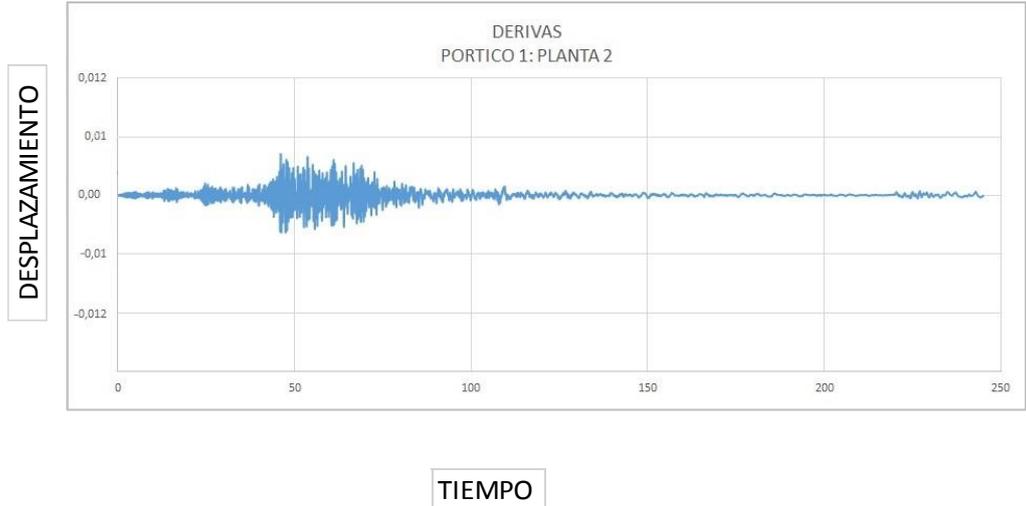


Figura 2.4.2.4 derivas elásticas del pórtico 1, segunda planta. Sismo ACUE-N (T = 475 años)

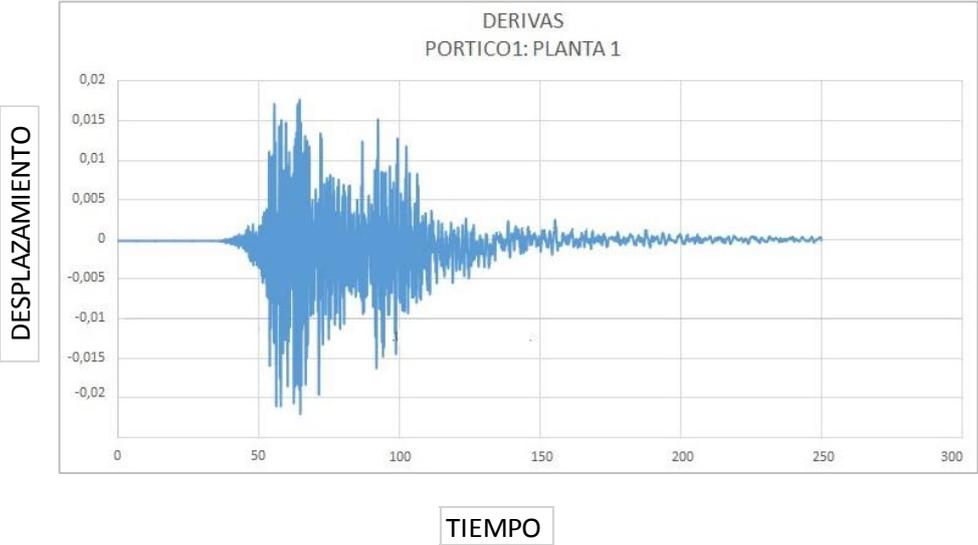


Figura 2.4.2.5 derivas elásticas del pórtico 1, primera planta. Sismo AES2-E (T = 475 años)

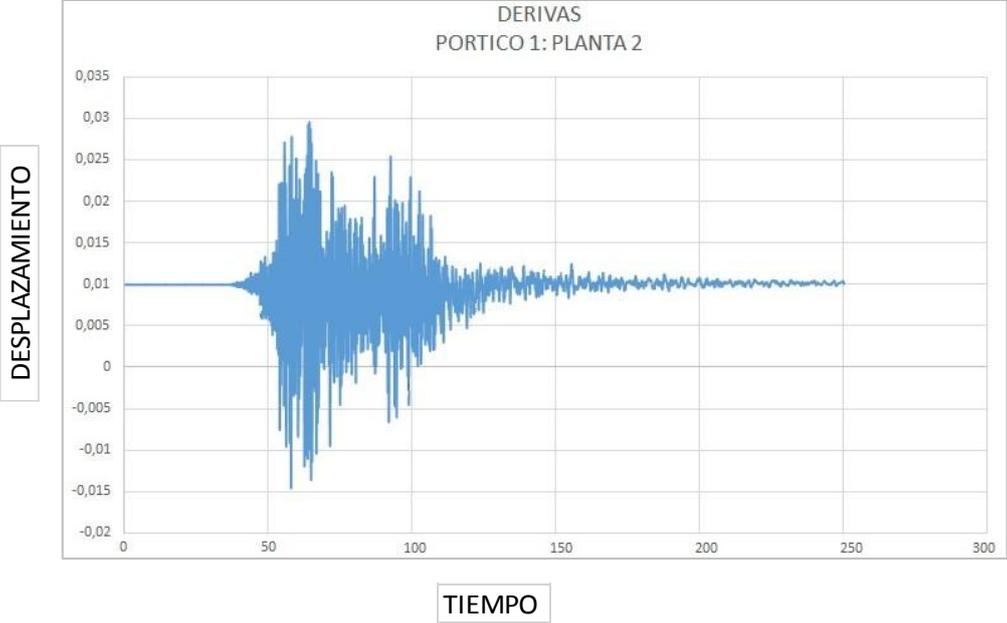


Figura 2.4.2.6 derivas elásticas del pórtico 1, segunda planta. Sismo AES2-E (T = 475 años)

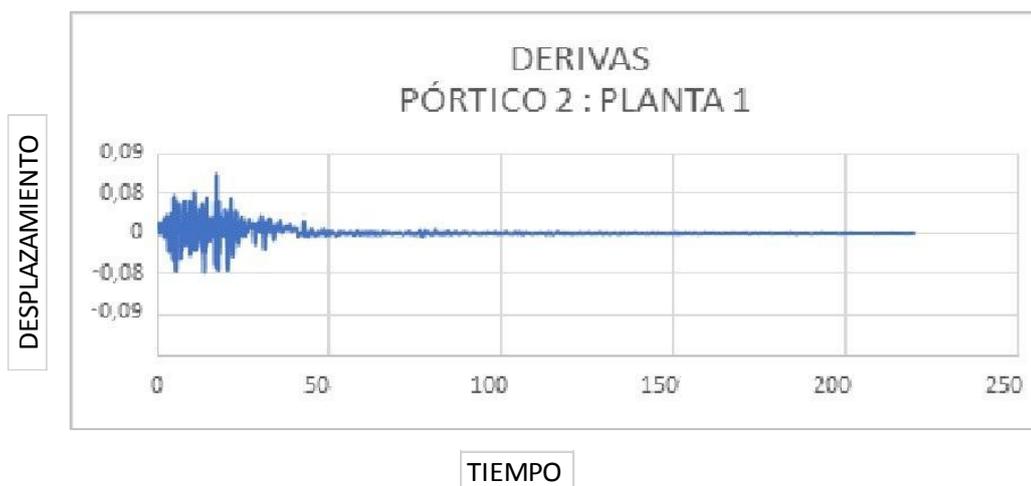


Figura 2.4.2.7 derivas elásticas del pórtico 2, primera planta. Sismo ACHN-E (T = 475 años)



Figura 2.4.2.8 derivas elásticas del pórtico 2, segunda planta. Sismo ACHN-E (T = 475 años)

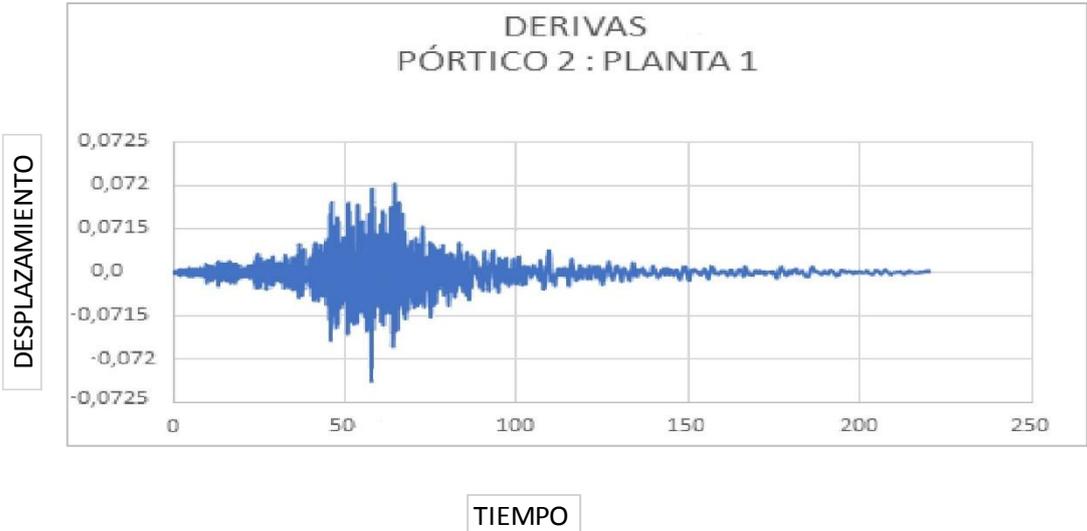


Figura 2.4.2.9 derivas elásticas del pórtico 2, primera planta. Sismo ACUE-N (T = 475 años)

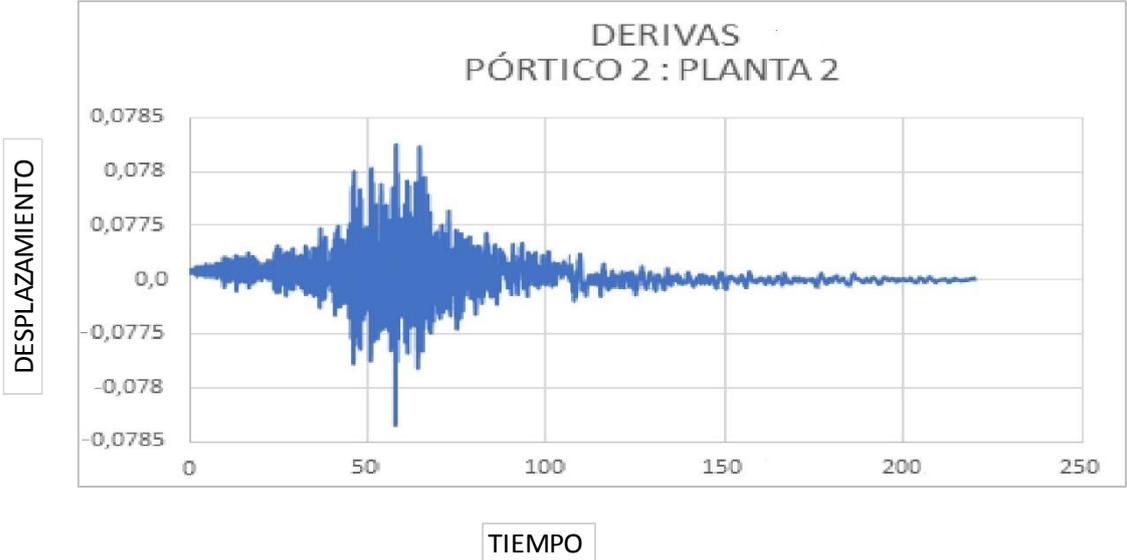


Figura 2.4.2.10 derivas elásticas del pórtico 2, segunda planta. Sismo ACUE-N (T = 475 años)

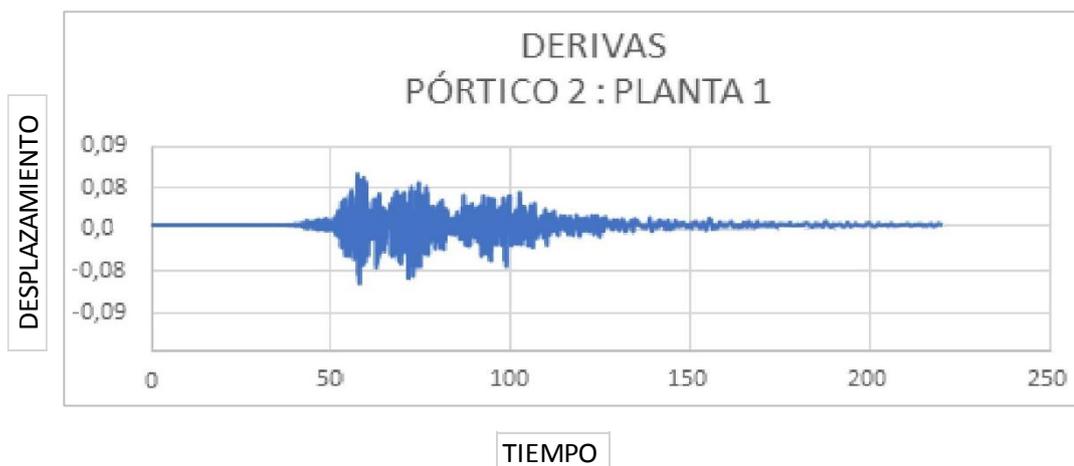


Figura 2.4.2.11 derivas elásticas del pórtico 2, primera planta. Sismo AES2-E (T = 475 años)

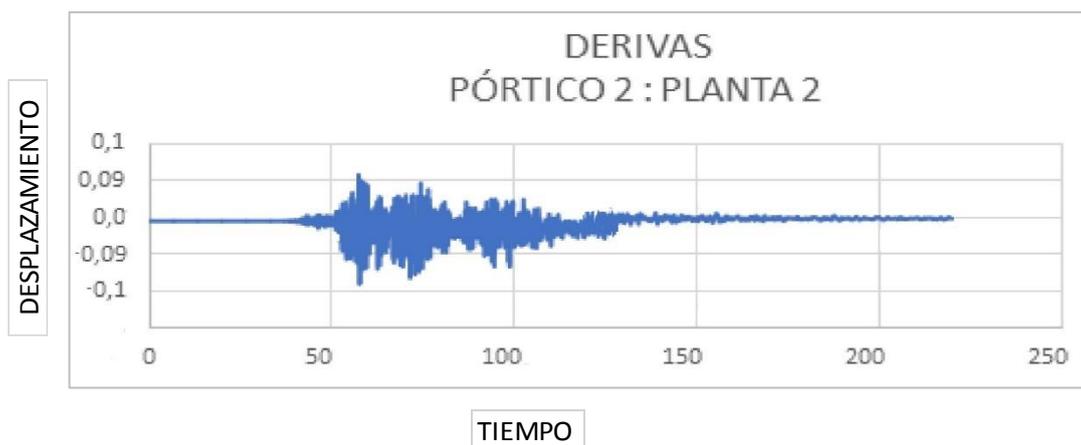


Figura 2.4.2.12 derivas elásticas del pórtico 2, segunda planta. Sismo AES2-E (T = 475 años)

De acuerdo al análisis lineal, las derivas que se encontraron aparentemente cumplen con el máximo del 2% de la norma, con un excedente poco significativo; las derivas calculadas se muestran a continuación:

Tabla 2.4.2.1 derivas elásticas del pórtico 1 y 2 (T = 475 años)

PÓRTICO 1 DERIVAS	Planta 1	Observaciones	Planta 2	Observaciones
	ACHN-E	2.97%	NO CUMPLE	3.20%
ACUE-N	1.01%	CUMPLE	1.02%	CUMPLE
AES2-E	2.77%	NO CUMPLE	2.96%	NO CUMPLE

PÓRTICO 2 DERIVAS	Planta 1	Observaciones	Planta 2	Observaciones
	ACHN-E	1.95%	CUMPLE	2.11%
ACUE-N	1.73%	CUMPLE	1.87%	CUMPLE
AES2-E	1.93%	CUMPLE	2.11%	NO CUMPLE

### 2.4.3 Análisis Pushover

“El análisis no lineal por el método *Pushover* consiste en un empuje lateral incremental hasta que se supone que la estructura ha llegado al colapso.” (Peralta, 2012) Mediante este análisis obtenemos la curva de capacidad de los pórticos, la cual servirá para determinar si el cortante basal de cada uno se encuentra por debajo de ella, lo que supone un diseño adecuado de los mismos.

Posteriormente, se realizará un análisis dinámico no lineal con lo cual se podrá comprobar el verdadero comportamiento de la estructura.

#### 2.4.3.1 Cortante basal

Para calcular el cortante basal se toma la fórmula dispuesta por la Norma Ecuatoriana de la Construcción: Peligro Sísmico, situada en la sección 6.3.2.

$$V = \frac{I S_a(T_a)}{R \phi_P \phi_E} \cdot W \quad (6)$$

Dónde:

- **Sa(Ta)** Espectro de diseño en aceleración
- $\phi_P \phi_E$  Coeficientes de configuración en planta y elevación
- **I** Coeficiente de importancia
- **R** Factor de reducción de resistencia sísmica
- **V** Cortante basal total de diseño
- **W** Carga sísmica reactiva
- **Ta** Período de vibración

Utilizando la fórmula mencionada en el apartado 2.4.3.1 obtenemos para cada pódico los siguientes valores de cortante basal:

- **Pódico 1**

El valor de cortante basal para el pódico 1 es 586372.5 N en  $T = 475$  años

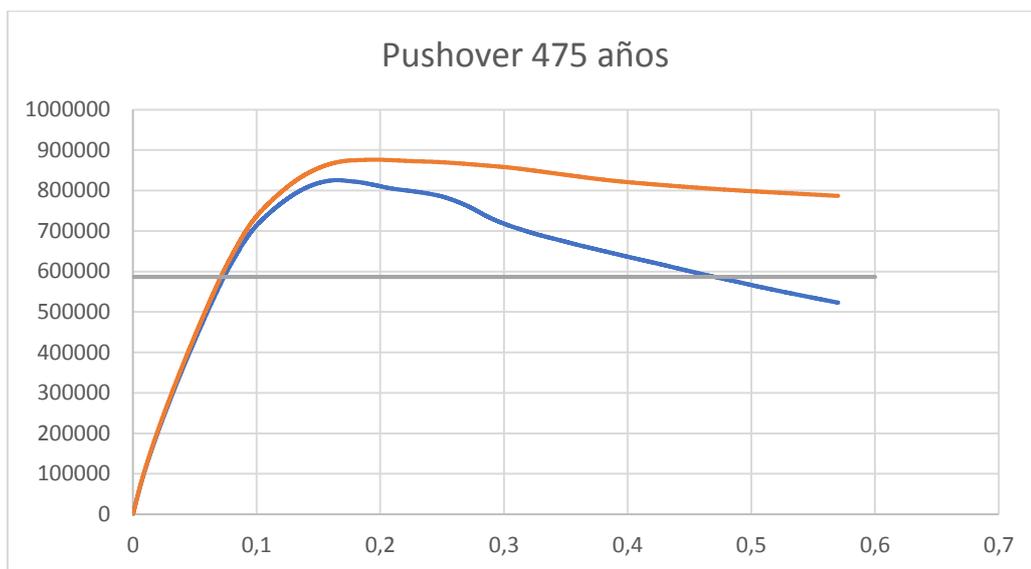


Figura 2.4.3.1 cortante basal para el pódico 1 ( $T = 475$  años)

El valor de cortante basal para el pódico 1 es 793557.45 N en  $T = 2500$  años

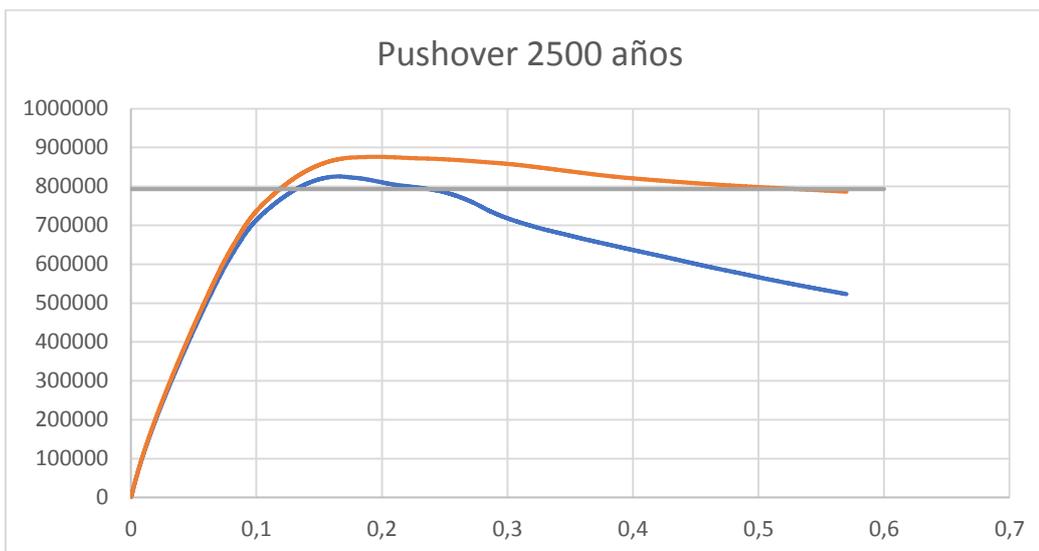


Figura 2.4.3.2 cortante basal para el pódico 1 ( $T = 2500$  años)

- **Pórtico 2**

El valor de cortante basal para el pórtico 2 es 252281.25 N en T = 475 años

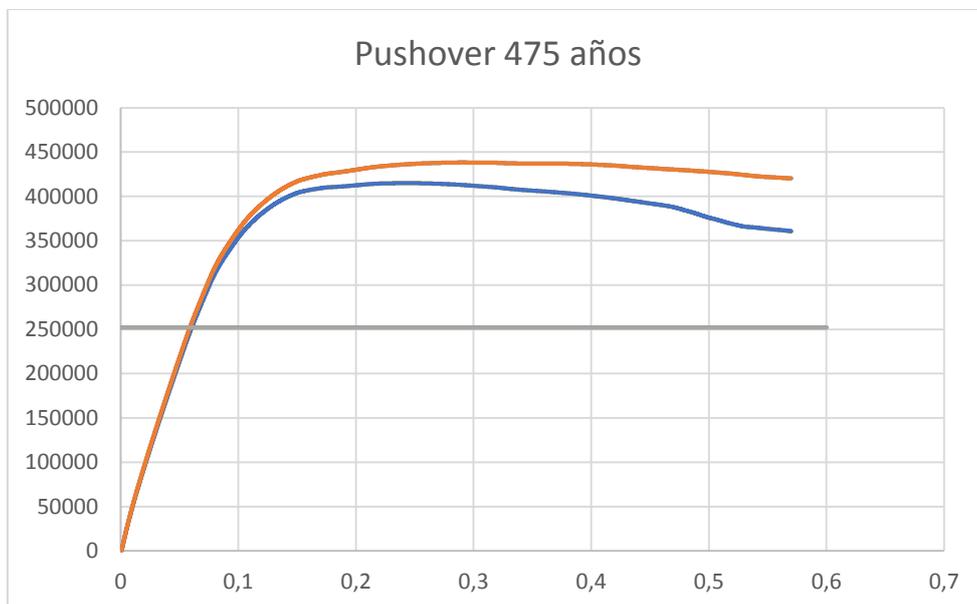


Figura 2.4.3.3 cortante basal para el pórtico 2 (T = 475 años)

El valor de cortante basal para el pórtico 2 es 340486.25 N en T = 2500 años

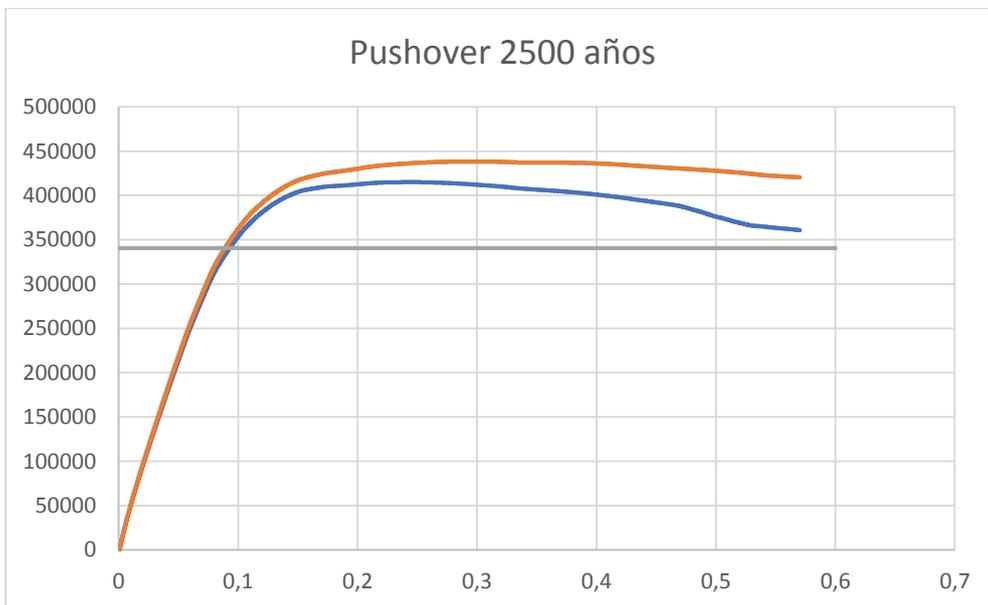


Figura 2.4.3.4 cortante basal para el pórtico 2 (T = 2500 años)

Según los resultados del análisis *pushover*, el cortante basal se encuentra apenas por debajo de la curva de capacidad, lo que supone que la estructura posee poca capacidad de resistencia al cortante, aproximándola al riesgo de colapso.

#### 2.4.4 Análisis dinámico no lineal

Este análisis se realiza para comprobar si los resultados obtenidos en el análisis lineal y *pushover* son correctos o presentan un cambio significativo.

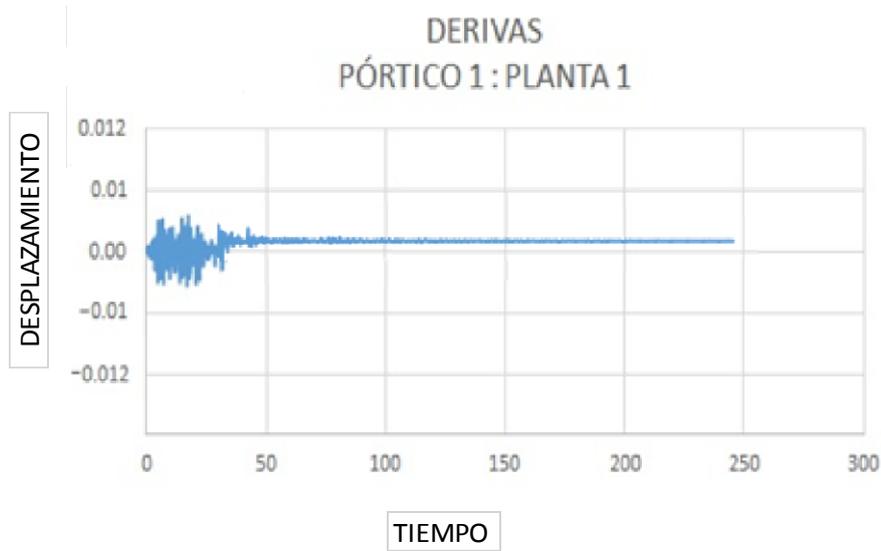


Figura 2.4.4.1 derivas inelásticas del pórtico 1, primera planta. Sismo ACHN-E (T = 2500 años)

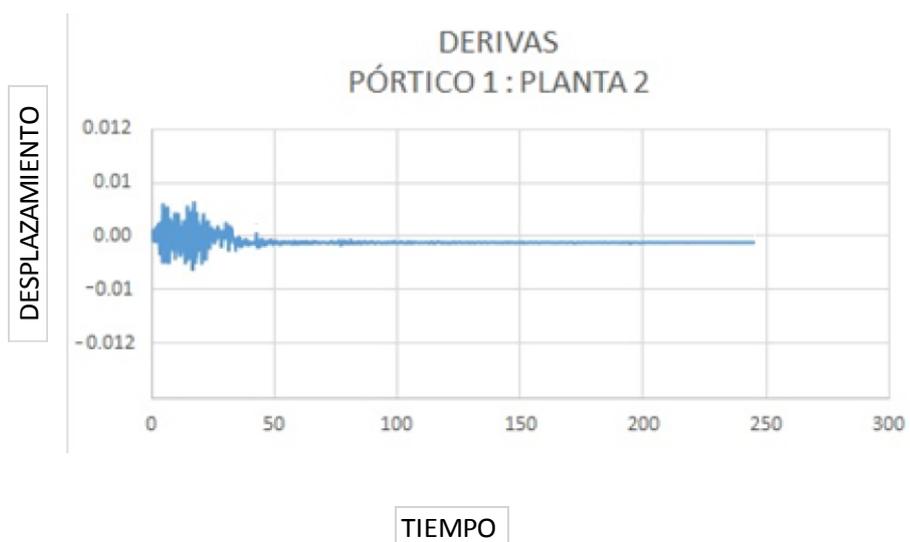


Figura 2.4.4.2 derivas inelásticas del pórtico 1, segunda planta. Sismo ACHN-E (T = 2500 años)

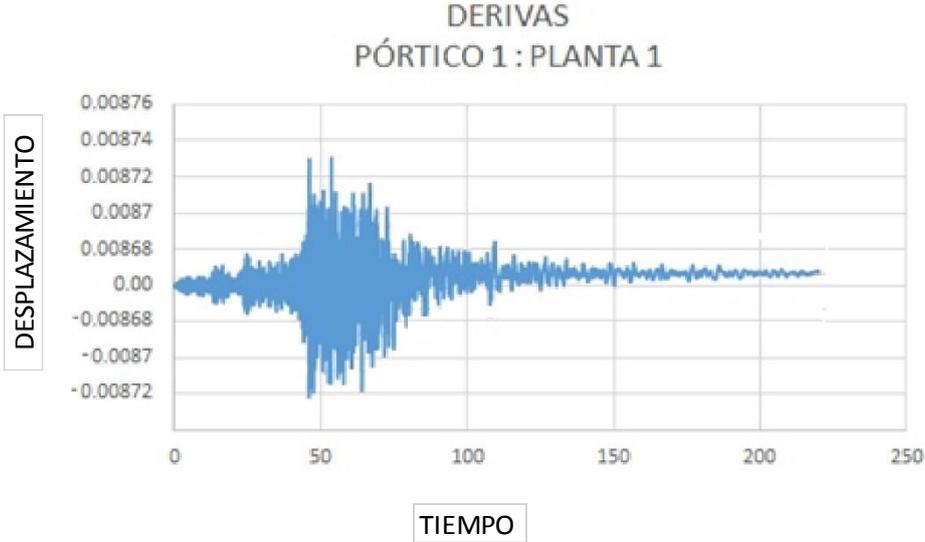


Figura 2.4.4.3 derivas inelásticas del pórtico 1, primera planta. Sismo ACUE-N (T = 2500 años)

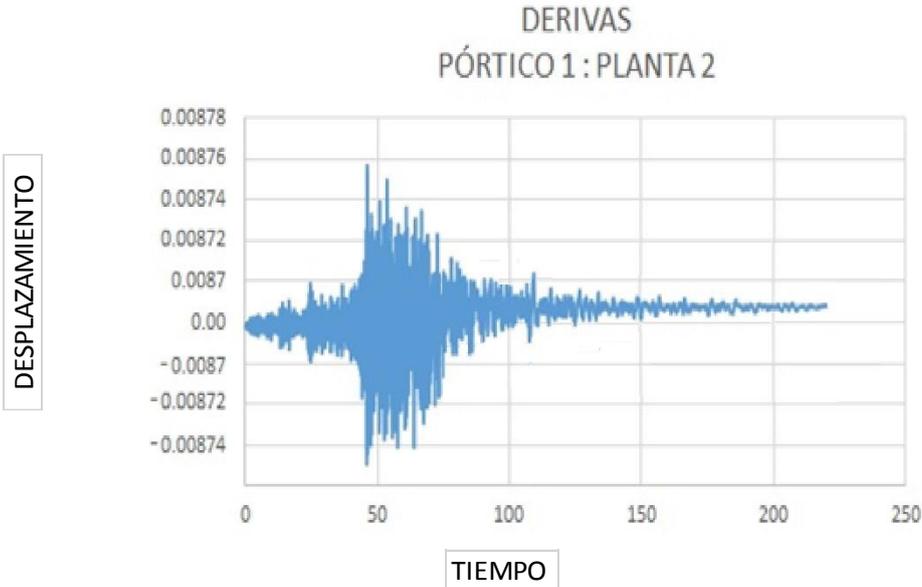


Figura 2.4.4.4 derivas inelásticas del pórtico 1, segunda planta. Sismo ACUE-N (T = 2500 años)

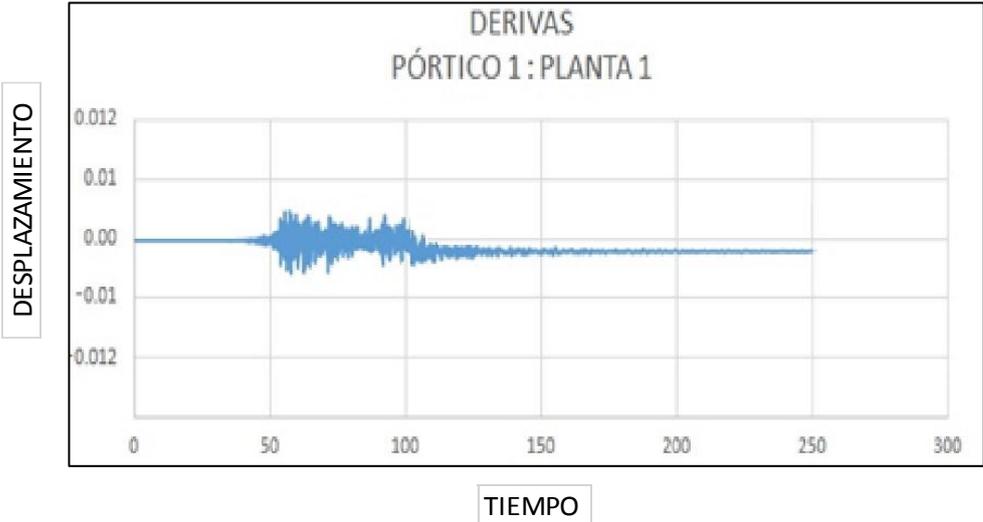


Figura 2.4.4.5 derivas inelásticas del pórtico 1, primera planta. Sismo AES2-E (T = 2500 años)

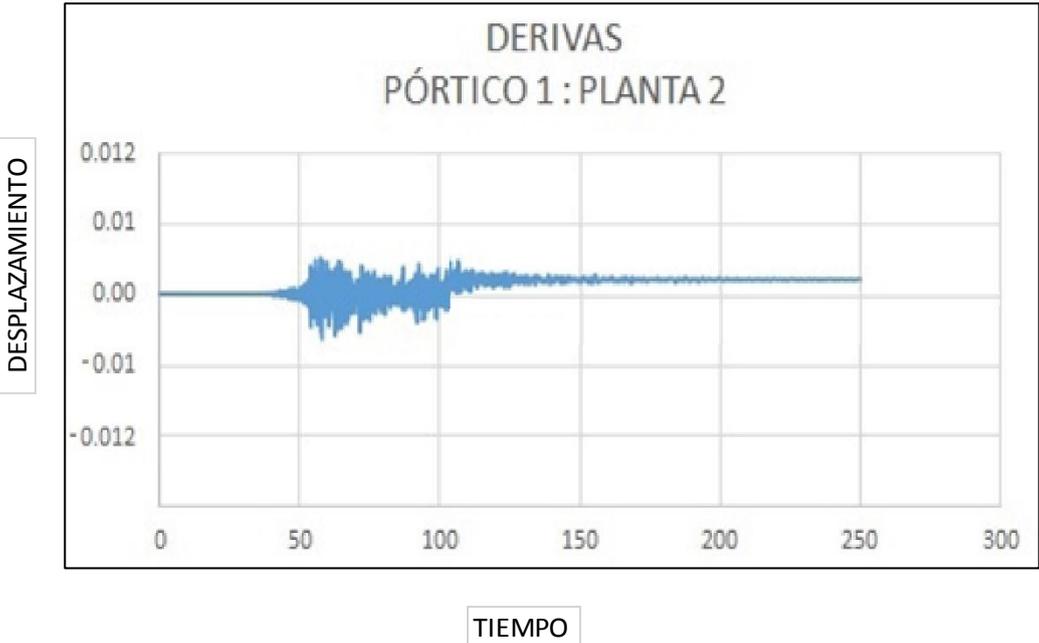


Figura 2.4.4.6 derivas inelásticas del pórtico 1, segunda planta. Sismo AES2-E (T = 2500 años)



Figura 2.4.4.7 derivas inelásticas del pórtico 2, primera planta. Sismo ACHN-E (T = 2500 años)



Figura 2.4.4.8 derivas inelásticas del pórtico 2, segunda planta. Sismo ACHN-E (T = 2500 años)

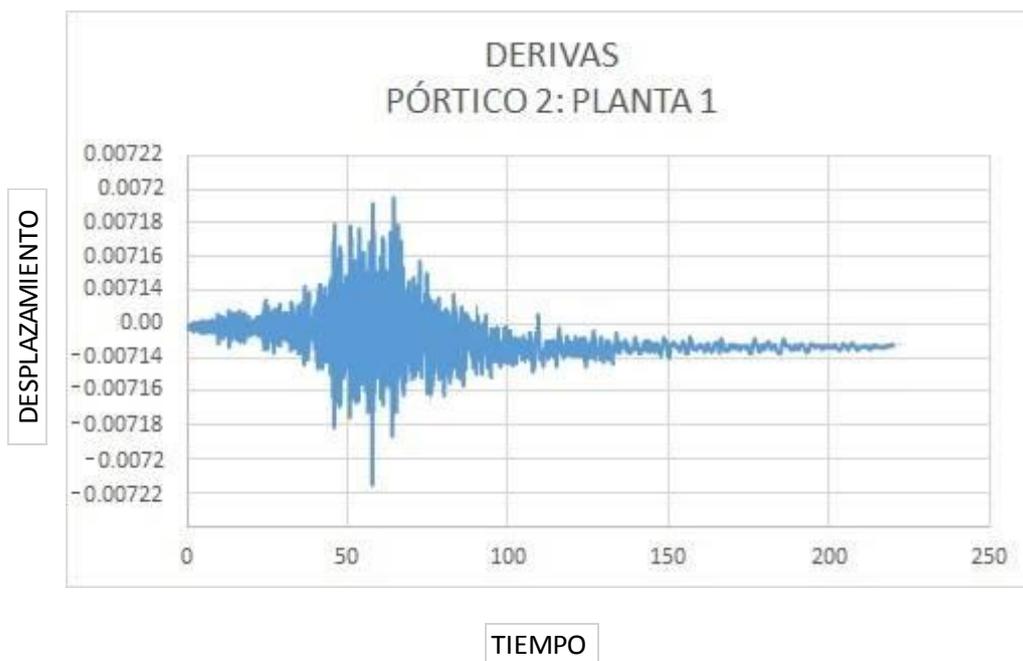


Figura 2.4.4.9 derivas inelásticas del pórtico 2, primera planta. Sismo ACUE-N (T = 2500 años)

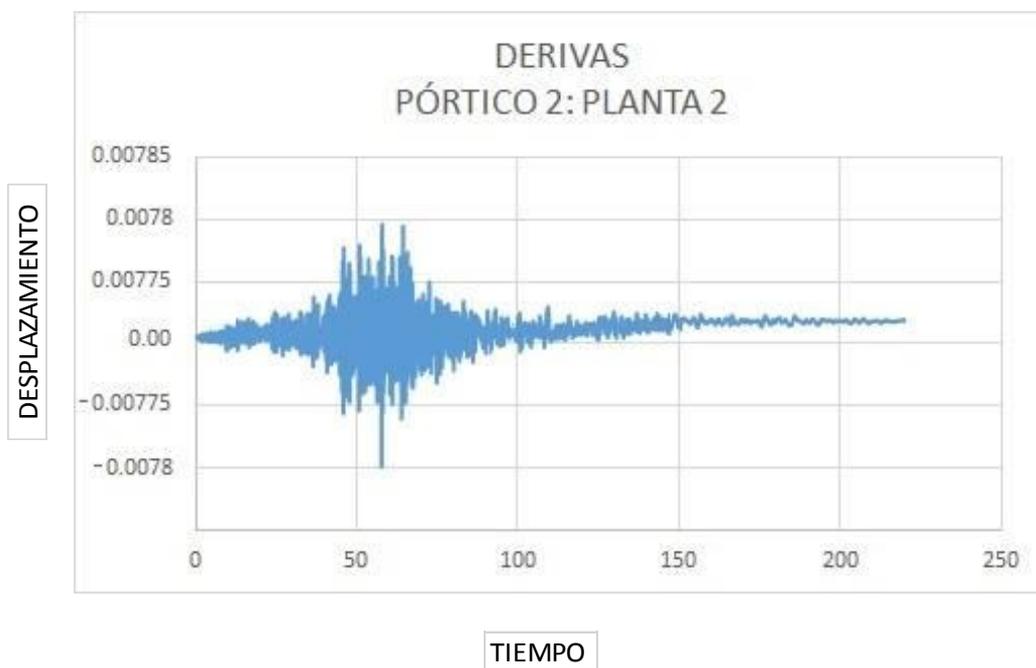


Figura 2.4.4.10 derivas inelásticas del pórtico 2, segunda planta. Sismo ACUE-N (T = 2500 años)

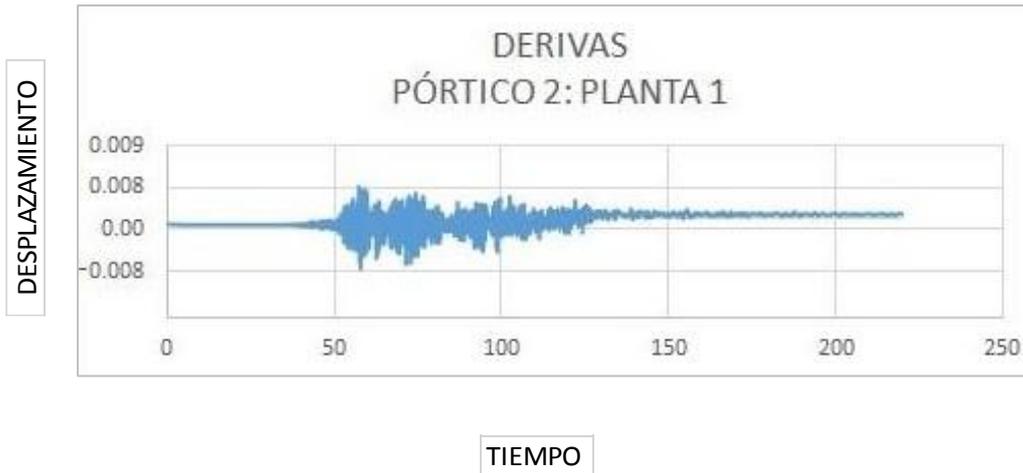


Figura 2.4.4.11 derivas inelásticas del pórtico 2, primera planta. Sismo AES2-E (T = 2500 años)



Figura 2.4.4.12 derivas inelásticas del pórtico 2, segunda planta. Sismo AES2-E (T = 2500 años)

Mediante el análisis no lineal, queda comprobado que las derivas que se encontraron en el análisis lineal, no son suficientes para determinar el comportamiento y la vulnerabilidad de la estructura. Las derivas que se encontraron en esta parte del análisis, son alarmantes, ya que ninguna cumple con el máximo del 2%; las derivas calculadas se muestran a continuación:

Tabla 2.4.4.1 derivas inelásticas del pórtico 1 y 2 (T = 2500 años)

<b>PÓRTICO 1</b> <b>DERIVAS</b>	<b>Planta 1</b>	<b>Observaciones</b>	<b>Planta 2</b>	<b>Observaciones</b>
<b>ACHN-E</b>	7.85%	<b>NO CUMPLE</b>	7.94%	<b>NO CUMPLE</b>
<b>ACUE-N</b>	6.99%	<b>NO CUMPLE</b>	7.01%	<b>NO CUMPLE</b>
<b>AES2-E</b>	7.72%	<b>NO CUMPLE</b>	7.76%	<b>NO CUMPLE</b>

<b>PÓRTICO 2</b> <b>DERIVAS</b>	<b>Planta 1</b>	<b>Observaciones</b>	<b>Planta 2</b>	<b>Observaciones</b>
<b>ACHN-E</b>	8.47%	<b>NO CUMPLE</b>	9.15%	<b>NO CUMPLE</b>
<b>ACUE-N</b>	7.22%	<b>NO CUMPLE</b>	7.83%	<b>NO CUMPLE</b>
<b>AES2-E</b>	8.34%	<b>NO CUMPLE</b>	9.16%	<b>NO CUMPLE</b>

## CAPÍTULO 3

### MEDIDAS DE MITIGACIÓN

Para procurar que la entidad hospitalaria cumpla con el criterio de funcionalidad continua, se propondrán medidas de mitigación que disminuyan la vulnerabilidad de la estructura, para este estudio se optó por el uso de aisladores sísmicos en la base, que separen la estructura del terreno, de tal manera que frente a un evento sísmico se minimice el daño en la misma.

El uso de dispositivos de aislamiento con las propiedades y características mecánicas adecuadas y una gran capacidad de disipación; pueden lograr que la estructura se mantenga dentro de un rango elástico y garantice el control de daños en los elementos estructurales y no estructurales de la edificación, habilitando su uso durante y después de un sismo de magnitud considerable. (Zayas & Mahin, 2010)

El aislamiento sísmico en estructuras se encarga de absorber el desplazamiento producido por el sismo, manteniendo a la estructura en el rango elástico y minimizando la aceleración y derivas de piso. (Zayas, Seismic Designs for Resilient Structures, 2013)

#### 3.1 Pre diseño del aislador sísmico

Debido a que en Ecuador no existe un método de pre diseño de aisladores, se utilizarán normas extranjeras para determinar el aislador que se empleará. Se utiliza el siguiente catálogo de aisladores elastoméricos con núcleo de plomo, que son regulados por los fabricantes:

Tabla 3.1.1 catálogo de aisladores

Dimensiones del dispositivo			Dimensiones de la placa de anclaje						
Do	H	# capas de goma	Di	L	t	# de orificios	φ orificio	A	B
mm	mm		mm	mm	mm		mm	mm	mm
305	125-280	4-14	0-100	355	25	4	27	50	-
355	150-305	5-16	0-100	405	25	4	27	50	-
405	175-330	6-20	0-125	455	25	4	27	50	-
455	175-355	6-20	0-125	510	25	4	27	50	-
520	205-380	8-24	0-180	570	25	8	27	50	50
570	205-380	8-24	0-180	620	25	8	27	50	50
650	205-380	8-24	0-205	700	32	8	27	50	50
700	205-430	8-30	0-205	750	32	8	33	65	75

Fuente: Aguilar, R., Vergara, F., Guaygua, B., & Monge, J. (2016). Análisis sísmico de una estructura con aisladores FPS de primera y segunda generación y elastoméricos con núcleo de plomo.

Para el código de programación en el software, se toman en cuenta tres factores, diámetro del aislador ( $D_o$ ), diámetro del plomo ( $D_i$ ) y altura del aislador ( $H$ ), con los parámetros correctos y luego de realizar varias simulaciones en el software libre OpenSees, el aislador escogido es el siguiente:

Tabla 3.1.2 características del aislador a utilizar

Aislador	$D_o$ (cm)	$D_i$ (cm)	$H$ (cm)
	30.5	1	28

El uso de aisladores, presentó un incremento en los períodos fundamentales de la estructura, los cuales se muestran a continuación:

Tabla 3.1.3 incremento de períodos con el uso de aisladores

PÓRTICO	Sin Aislador	Con Aislador
	T (s)	T (s)
1	0.38	1.05
2	0.34	0.99

A pesar del aumento del período natural de la estructura, se necesita comprobar que las derivas que se calculen con el uso de aisladores, cumplan con los criterios dispuestos por la norma, sin embargo, se necesita de un análisis adicional; lastimosamente en Ecuador, no se cuenta con los métodos necesarios para realizar las pruebas correspondientes.

## CAPÍTULO 4

### ANÁLISIS PRESUPUESTARIO

En el siguiente capítulo se comparará el costo que tendrá la construcción de un nuevo hospital, frente al costo de implementar aisladores con núcleo de plomo en la entidad hospitalaria.

Para aproximar el valor que representa la construcción de un nuevo hospital, se tomó como referencia el presupuesto de la obra denominada “Construcción del Hospital Básico de Piñas de 30 camas”; con un monto de USD 23.370.402,91 y un área de 5.925,97 m<sup>2</sup> exhibido en el Portal de Compras Públicas (SERCOP). El precio por metro cuadrado de la entidad hospitalaria es aproximadamente de USD 3.945, sin contar con el equipamiento médico. Este hospital, posee similitud con el hospital Municipal Materno Infantil del Niño y la Mujer, analizado en este informe, el mismo que posee un área de 1.197,85 m<sup>2</sup> y consta de dos pisos.

Utilizando el precio referencial por metro cuadrado del Hospital de Piñas, para la construcción del Hospital Materno Infantil, se obtiene que el bloque analizado tendría un valor de 8.840.893,90 USD.

Por otro lado, mediante investigación se encontró que el costo de un aislador varía dependiendo de su tamaño (Anrango, 2015), lo que se puede apreciar en la siguiente figura:

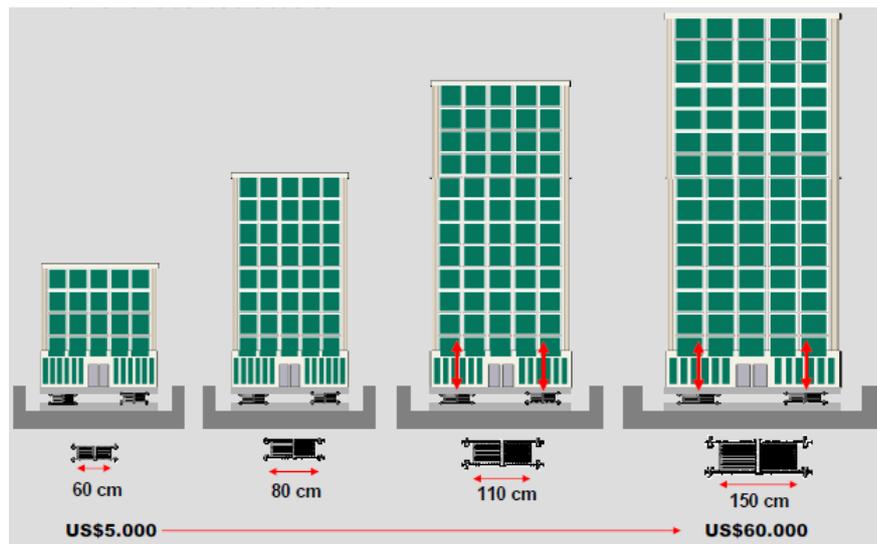


Figura 4. costos de aisladores de acuerdo a su tamaño

El diámetro de nuestro aislador es de 30.5 cm y tendrá un costo de alrededor de 2.500 USD más un 50% de costos indirectos de colocación e instalación, dando un total de 3.750 USD. Al considerar el uso de aisladores en la estructura hospitalaria, se calcula un total de 135 aisladores, de acuerdo a la cantidad de columnas que tiene la construcción; por lo tanto, se obtiene un valor total de 506.250 USD, lo que representa un 5.73% del costo total de la edificación.

Se puede observar que la implementación de aisladores, genera un costo adicional en el presupuesto referencial de construcción que, a pesar de no ser considerable, será justificado con el tiempo en la disminución de daños estructurales y no estructurales, en el caso de que se presente un sismo.

## CONCLUSIONES

- Los ingenieros Edgar Molina y Carla Mora, concluyen en la primera investigación, que el hospital Municipal Materno Infantil del Niño y la Mujer es deficiente estructuralmente, tanto en columnas como en vigas, por lo cual, es necesaria una intervención a corto plazo; también manifiestan que el principal problema que presenta la entidad, es de tipo social debido a la presencia del camal municipal, motivo por el que se ve dificultado un servicio oportuno y ordenada, en caso de emergencia.
- En la segunda investigación, elaborada en este trabajo, se partió de un análisis de la estructura en el software libre OpenSees para visualizar el estado actual de la misma, conocer su período de vibración y su comportamiento ante la aplicación de cargas y sismos.
- El análisis lineal y *Pushover* indicaron que, si bien la estructura no cumple debidamente con los valores de derivas máximas del 2% proporcionados por la NEC, pues posee un excedente poco significativo, pero incumple; sin embargo, a pesar que el cortante basal se encuentra por debajo de la curva *Pushover*, ésta cuenta con un margen de seguridad muy pequeño, que podrá dar paso a un posible colapso.
- Mediante el análisis no lineal, las derivas aumentaron hasta en un 7% aproximadamente, demostrando que la entidad hospitalaria se enfrentaría a un problema real de colapso, obligando su evacuación inmediata y dejando a la estructura inservible, aclarando que ésta no cumple con el criterio de estructura esencial de acuerdo a la norma.
- Se comprobó que el uso de aisladores sísmicos con núcleo de plomo en la base, son una medida de mitigación pertinente, pues aumentó significativamente el período de vibración de la estructura, otorgándole flexibilidad y capacidad para asumir el sismo esperado.
- En el análisis costo-beneficio, se evidenció que el presupuesto referencial de la edificación, aumentaría en un 5.73% si se opta por la incorporación de esta medida de mitigación en la construcción tradicional, sin embargo, es una inversión

necesaria si se trata de salvaguardar la integridad física de las personas y garantizar la funcionalidad continua de la estructura.

## **RECOMENDACIONES**

- Los hospitales, son estructuras esenciales y/o peligrosas, deben ser diseñadas y construidas utilizando todas las consideraciones necesarias que garanticen su funcionalidad continua y ocupacionalidad; por lo mismo, en la Norma Ecuatoriana de la Construcción debería constar el requerimiento de análisis extensos y detallados sobre mecanismos de aislamiento y disipación, que expongan el comportamiento de la estructura frente a cualquier evento que la pueda perjudicar, y así disminuya notablemente su vulnerabilidad; de esta manera no sólo se consigue que la edificación continúe trabajando en su máxima capacidad, sino también se disminuye el costo de mantenimiento después de ocurrido un evento.
- Finalmente, se deberá exigir la construcción de hospitales cumpliendo al máximo las especificaciones técnicas requeridas, pensando en la vida de sus ocupantes, debe ser el principal propósito a cumplir; los países de toda Latinoamérica, están obligados a pensar no sólo en las pérdidas materiales, sino también en las pérdidas humanas, que muchas veces son alarmantes, y difíciles de sobrellevar; por esta razón, no se debería limitar recursos si se trata de optar por la incorporación de dispositivos que aumenten la seguridad de la estructura, mientras cuente con su respectiva justificación y estudios adecuados.

## BIBLIOGRAFÍA

- ACI 318. (2011). *American Concrete Institute - Building Code Requirements for Structural Concrete ACI 318-11*. United States of America.
- ACI 440.2R-08. (2008). *American Concrete Institute - Guide for the Design and Construction of Externally Bonded FRP Systems for Strengthening Concrete Structures*. United States of America.
- Anrango, C. M. (2015). *Análisis y rediseño de la cimentación de un edificio en acero con asiladores sísmicos*. Quito - Ecuador: UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR.
- Bambaren Alatriza, C. &. (2007). Hospitales seguros ante desastres. *Revista Médica Herediana*, 149-154.
- FEMA 356. (2000). *Federal Emergency Management Agency Prestandard and Commentary for the Seismic Rehabilitation of Buildings*. United States of America.
- Filiatrault, A. &. (2014). Performance-based seismic design of nonstructural building components: The next frontier of earthquake engineering. *Earthquake Engineering and Engineering Vibration*, 17-46.
- García, D. d. (2014). Structural design of hospitals in areas of high seismicity: projects in Chile and Nicaragua. *IABSE Symposium Report*, 2272-2279.
- Molina, E., & Mora, C. (2016). *Evaluación estructural del "Hospital Municipal de la Mujer y del Niño" de la ciudad de Cuenca-provincia del Azuay-para cuantificar las amenazas y vulnerabilidad de la edificación hospitalaria*. Cuenca.
- NEC - Peligro Sísmico. (2014). *Norma Ecuatoriana de la Construcción - Peligro Sísmico*. Ecuador.
- NEC - Peligro Sísmico. (2014). *Norma Ecuatoriana de la Construcción - Peligro Sísmico*. Ecuador.
- NEC. (2014). *Norma Ecuatoriana de la Construcción*. Ecuador.
- Organización Panamericana de la Salud. (1999). *Fundamentos para la mitigación de desastres en establecimientos de salud*. Washington D.C.
- Organización Panamericana de la Salud, P. d. (2000). *Fundamentos para la mitigación de desastres en establecimientos de salud*. Washington, D.C: Pan American Health Organization.
- Peralta, M. (2012). *Análisis estático no lineal y análisis dinámico no lineal del hospital de Vielha*. Barcelona: UPC.
- Zayas, V. (2013). *Seismic Designs for Resilient Structures*. California.
- Zayas, V., & Mahin, S. (2010). SEISMIC DESIGN METHODOLOGY TO AVOID DAMAGE TO STRUCTURES, NONSTRUCTURAL COMPONENTS AND CONTENTS .

## Anexo 1

### Definiciones

**Amenaza:** es el factor de riesgo externo de un sujeto o sistema, representado por un peligro latente asociado con un fenómeno físico de origen natural o tecnológico que puede presentarse en un sitio específico y en un tiempo determinado, produciendo efectos adversos en las personas, los bienes y/o el medio ambiente, expresado matemáticamente como la probabilidad de exceder un nivel de ocurrencia de un evento con una cierta intensidad en un cierto sitio y en cierto período de tiempo (Organización Panamericana de la Salud, 2000).

**Análisis Dinámico no Lineal:** este análisis reconoce el comportamiento no lineal en el diseño de edificaciones conocidas como esenciales; en las reducciones por ductilidad de los espectros de diseño y en la exigencia de refuerzo que permitan a la estructura alcanzar grandes deformaciones tanto en elementos estructurales y no estructurales, disipar mucha energía, pero sin llegar a colapsar.

**ISH: Índice de Seguridad Hospitalaria:** valor numérico que expresa la probabilidad de que un establecimiento de salud existente continúe funcionando en casos de desastre. (Ugarte, 2010)

**Riesgo:** es el nivel de destrucción o pérdida esperada, obtenida de la combinación de la probabilidad de ocurrencia de eventos peligrosos y de la vulnerabilidad de los elementos expuestos a tales amenazas, matemáticamente expresado como la probabilidad de exceder un nivel de consecuencias económicas y sociales en un cierto sitio y en un cierto período de tiempo. (Organización Panamericana de la Salud, 2000)

**Vulnerabilidad:** la vulnerabilidad estructural se refiere a la susceptibilidad que la estructura presenta frente a posibles daños en aquellas partes del establecimiento hospitalario que lo mantienen en pie ante un sismo intenso. Esto incluye cimientos, columnas, muros, vigas y losas. (Organización Panamericana de la Salud, 2000)

**Histéresis:** persistencia de un fenómeno cuando cesa la causa que lo ha producido. (NEC - Peligro Sísmico, 2014)

**Estructura esencial:** son las estructuras que deben permanecer operativas luego de un terremoto para atender emergencias. (NEC - Peligro Sísmico, 2014)

**Rigidez:** es la capacidad de un elemento estructural para soportar esfuerzos sin adquirir grandes deformaciones y/o desplazamientos. Los principales parámetros que la definen son la longitud e inercia de los elementos estructurales, los tipos de uniones, los materiales utilizados. (NEC - Peligro Sísmico, 2014)

**Sismo de diseño:** evento sísmico que tiene una probabilidad del 10% de ser excedido en 50 años (período de retorno de 475 años), determinado a partir de un análisis de la peligrosidad sísmica del sitio de emplazamiento de la estructura o a partir de un mapa de peligro sísmico. (NEC - Peligro Sísmico, 2014)

**Mitigación:** “ejecución de medidas de intervención dirigidas a reducir o disminuir el riesgo de los desastres en la población y en la infraestructura económica”. (Organización Panamericana de la Salud, 2013)

**Método de Rehabilitación Simplificado:** la rehabilitación simplificada no requiere procedimientos analíticos avanzados y solo es aplicable para cierto tipo de edificaciones que cumplan los criterios de aplicación del método con el fin de reducir el riesgo sísmico de manera eficiente. (FEMA 356, 2000)

**Método de Rehabilitación Sistemática:** la rehabilitación sistemática se centra en el comportamiento no lineal de la respuesta estructural y es aplicable para cualquier tipo de edificación sin restricción, para aplicar el método se debe desarrollar comprobaciones completas de los elementos estructurales verificando los desplazamientos esperados y fuerzas sísmicas, este método es similar al diseño de nuevos edificios por su proceso iterativo y por tanto se necesita un diseño preliminar para definir la extensión y configuración de medidas correctoras con el detalle suficiente para estimar la interacción de la rigidez, resistencia, y el comportamiento post-producción de todo nuevo, modificado, o elementos existentes que se utilizará para la resistencia a la fuerza lateral. (FEMA 356, 2000).

**Espectro de Respuesta para Diseño:** “el espectro de diseño puede representarse mediante un espectro de respuesta basado en las condiciones geológicas, tectónicas, sismológicas y del tipo de suelo asociadas con el sitio de emplazamiento de la estructura.

Es un espectro de tipo elástico para una fracción de amortiguamiento respecto al crítico del 5%, utilizado con fines de diseño para representar los efectos dinámicos del sismo de diseño.” (NEC - Peligro Sísmico, 2014).

**Aislamiento Sísmico:** el aislamiento sísmico en estructuras se encarga de absorber el desplazamiento producido por el sismo, manteniendo a la estructura en el rango elástico y minimizando la aceleración y derivas de piso (Zayas & Mahin, 2010)

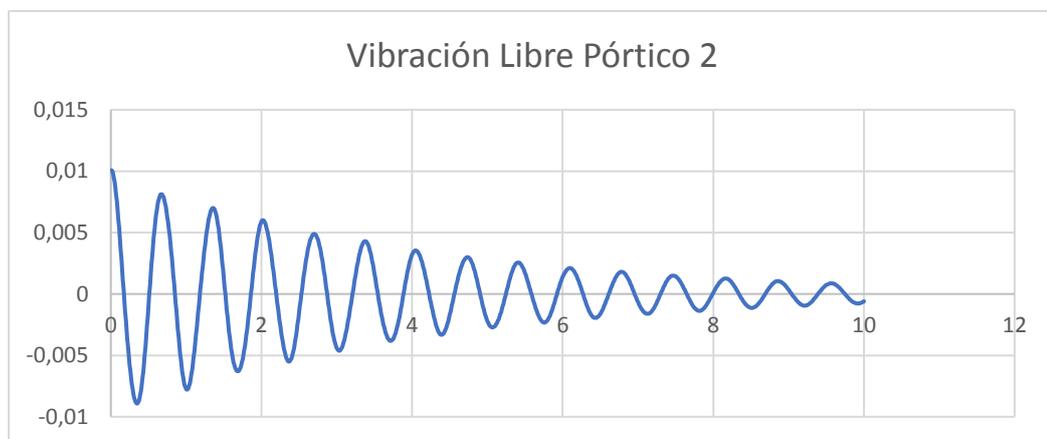
## Anexo 2

### Vibración Libre

“Se dice que una estructura experimenta vibración libre cuando es perturbada de su posición de equilibrio estático y después se deja vibrar sin ninguna excitación dinámica externa (...) Se verá que la razón del decaimiento del movimiento en vibración libre está controlada por la fracción de amortiguamiento”

Para entender este concepto puede decirse que este análisis consiste en empujar a la estructura un cierto desplazamiento y dejarla que vibre libremente por un tiempo determinado, hasta que ésta regrese a su posición inicial.

Al realizar la modelación dinámica en el software libre *OpenSees*, se consideró un amortiguamiento del 3% y un desplazamiento inicial de 0.01cm con un incremento de 0.01 segundos durante un período de vibración de 10 segundos; los resultados obtenidos se muestran a continuación:



# ARTÍCULO CIENTÍFICO

# **Análisis dinámico no lineal del “Hospital Municipal Materno Infantil del Niño y la Mujer de la ciudad de Cuenca” y evaluación del uso de aisladores sísmicos para disminuir su vulnerabilidad estructural**

**Ana Gabriela Carrión Bravo**

Universidad del Azuay, Cuenca, Ecuador, [gabycarri0n@icloud.com](mailto:gabycarri0n@icloud.com)

**Tania Gabriela Sinchi Brito**

Universidad del Azuay, Cuenca, Ecuador, [tanigaby94@hotmail.com](mailto:tanigaby94@hotmail.com)

**Ing. Francisco Xavier Flores Solano, Ph.D.**

Universidad de Cuenca, Cuenca, Ecuador, [fancisco.flores@ucuenca.edu.ec](mailto:fancisco.flores@ucuenca.edu.ec)

**Ing. José Fernando Vázquez Calero, M.Sc.**

Universidad del Azuay, Cuenca, Ecuador, [jfvazquez@uazuay.edu.ec](mailto:jfvazquez@uazuay.edu.ec)

## **ABSTRACT**

The “*Hospital Materno Infantil del Niño y la Mujer*” consists of a two-story building, and is located in the canton of Cuenca, south of Ecuador. The construction was not built in accordance with the standards for essential structures. Therefore, a dynamic analysis in OpennSees software was performed to observe the behavior of the building in the nonlinear range in case of an extreme earthquake. These results were compared with the recommendations of the Ecuadorian Construction Standard (NEC-14) to determine its level of vulnerability, and to establish mitigation measures through the use of basic seismic isolators in order to provide the hospital’s continuous functionality in situations of disaster. In this way, it was possible to determine whether it was feasible to reinforce the construction or to build a new one.

**Keywords:** threats, vulnerability, mitigation, continuous functionality, nonlinear range.

## **RESUMEN**

El “*Hospital Municipal Materno Infantil del Niño y la Mujer*” que cuenta con dos plantas, se encuentra ubicado en el cantón Cuenca, en la región sur del Ecuador. La edificación no fue construida siguiendo las normas para estructuras esenciales y/o peligrosas; en la presente investigación se realiza un análisis dinámico, para observar el comportamiento de la edificación en el rango no lineal, ante los efectos que produce un sismo extremo. Estos resultados fueron comparados con lo que recomienda la Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC - Peligro Sísmico, 2014) para determinar el nivel de vulnerabilidad que presenta y así establecer como medidas de mitigación el uso de aisladores sísmicos de base y su evaluación, para procurar la funcionalidad continua de la entidad hospitalaria ante situaciones de desastre.

**Palabras claves:** amenazas, vulnerabilidad, mitigación, funcionalidad continua, rango no lineal.

## 1. INTRODUCCIÓN

Los establecimientos de salud, especialmente los hospitales, están considerados como edificaciones esenciales, es decir vitales para la respuesta ante la emergencia y posterior recuperación del desastre. (Bambaren Alatrística C. &, 2007). Actualmente los centros de salud y edificaciones deben cumplir las normas generales de construcción, considerando aspectos de seguridad y de mitigación de riesgos, con un diseño sismorresistente, que parta desde la concepción del proyecto hasta su construcción. (Bambaren Alatrística C. &, 2007). La OPS/OMS ha desarrollado un Índice de Seguridad Hospitalaria que permite evaluar el nivel de seguridad existente en los establecimientos de salud en caso que sean afectados por un desastre. (Morales-Soto, 2008)

La Norma Ecuatoriana de la Construcción para estructuras esenciales tienen el propósito de “limitar los daños estructurales, buscando elevar el nivel de protección y propendiendo a que las estructuras puedan mantenerse operacionales aún después de la ocurrencia del sismo de diseño” (Norma Ecuatoriana de la Construcción: Peligro Sísmico, 2014), debido a que sismos de gran magnitud producen daños severos en estructuras esenciales dejándolas inhabilitadas. Las técnicas convencionales de disipación de energía se han complementado con sistemas adicionales a los componentes estructurales de la edificación, los cuales modifican las características dinámicas de la estructura, controlando o disipando parte de la energía impuesta por el sismo. El uso de estas técnicas de control de respuesta sísmica tiene como objetivo reducir la demanda sísmica de la propia estructura controlando su deformación y, por lo tanto, su daño. (Oviedo, 2006)

Para mantener la funcionalidad de estructuras aisladas es vital diseñarlas en el rango elástico utilizando  $R=1$  para el sismo base de diseño. Mientras que para las derivas se limitan a 0.3% o 0.4% de la altura de los pisos. La aceleración media espectral de piso se limita a 0.4g o 0.6g. (Zayas, 2017)

Para la reducción de las sollicitaciones sísmicas en este estudio se hará uso de aisladores, que son dispositivos que cuentan con una elevada rigidez a cargas verticales, pero son flexibles frente a sollicitaciones laterales. Este análisis se enfoca en el uso de aisladores elastoméricos, los cuales aprovechan la flexibilidad de un material similar al caucho para conseguir una baja rigidez lateral, pero lo combinan con planchas de acero para elevar la rigidez vertical. (Parra, 2010)

De acuerdo a las regulaciones del *Federal Emergency Management Agency*, FEMA 450-2003 (FEMA 450-2 (2003), s.f.), los edificios aislados deben:

- Resistir movimientos sísmicos menores y moderados sin daño a los elementos estructurales, elementos no estructurales o a los contenidos del edificio.
- Resistir movimientos sísmicos mayores sin que el sistema de aislamiento colapse, sin daño significativo a los elementos estructurales y no estructurales y sin mayor interrupción al funcionamiento del edificio.

“Los hospitales requieren consideraciones especiales en relación con la mitigación de riesgos debido a la función que desempeñan en el medio en donde se encuentran, a sus características de ocupación y a su papel durante situaciones de desastre.” (Organización Panamericana de la Salud, 1999), por lo tanto, en la Norma Ecuatoriana de la Construcción es fundamental

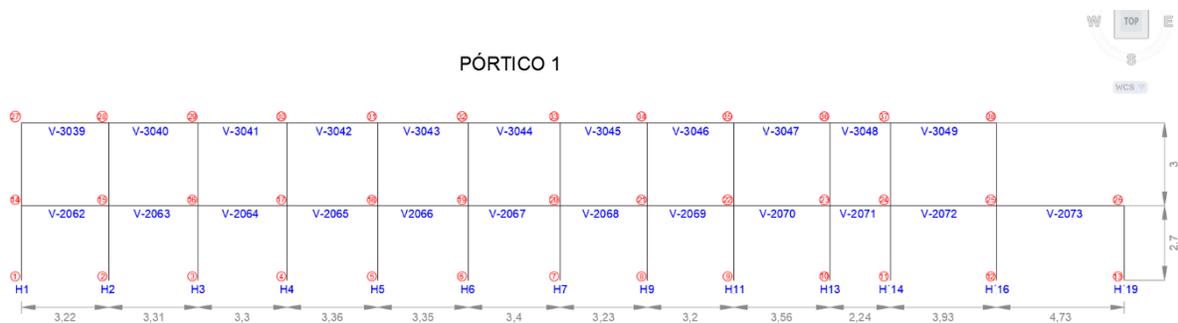
considerar la funcionalidad continua, al igual que una evaluación y comparación del comportamiento de las estructuras con y sin aislamiento sísmico.

## 2. METODOLOGÍA

En la actualidad los centros de salud y edificaciones en general deben cumplir las normas generales de construcción, considerando aspectos de seguridad y de mitigación de riesgos, con un diseño sismorresistente, que parta desde la concepción del proyecto hasta su construcción (Bambaren Alatrística & Alatrística Gutierrez, 2007). En primer instante, se partió de la evaluación del Índice de Seguridad Hospitalario del “Hospital Materno Infantil del Niño y la Mujer”, el cual obtuvo un nivel alto de amenaza con un índice de seguridad de 0.62 y un índice de vulnerabilidad de 0.38, ubicándose en la categoría B, de acuerdo a la Organización Panamericana de la Salud (Molina & Mora, 2016), con estas pautas se da inicio a un análisis del comportamiento estructural dentro del rango inelástico, para posteriormente tomar las medidas de refuerzo y mitigación necesarias para disminuir la vulnerabilidad estructural de la edificación hospitalaria y mejorar su capacidad de respuesta frente a un desastre.

Para realizar el análisis no lineal del “Hospital Materno Infantil del Niño y la Mujer” se seleccionó un pórtico equivalente, el cual posee las mayores luces y está ubicado en el bloque más vulnerable; además, también se utilizó el espectro de diseño de la zona de ubicación del hospital, con un período de retorno de 2500 años como indica la Norma Ecuatoriana de la Construcción y tres registros sísmicos proporcionados por el Instituto Geofísico de la Escuela Politécnica Nacional (IGEPN), ocurridos en la zona de estudio.

Mediante la utilización del software especializado, *OpenSees*, se obtendrá el modelo matemático idealizado de la estructura y se determinarán las zonas de plastificación para su posible colapso parcial, progresivo o total. Como punto de partida, se inició con un análisis modal para determinar el período fundamental de la estructura, en base a las características geométricas de los elementos estructurales, así como las propiedades de los materiales que los conforman, tales como la resistencia del hormigón, densidad y módulo de elasticidad (Figura 1); este resultado será utilizado para el escalamiento de los tres registros sísmicos seleccionados; por el método propuesto por el *American Society of Civil Engineers (ASCE 7-10)* para lograr que las aceleraciones espectrales de cada uno, coincidan con la del espectro de diseño en el periodo fundamental de la estructura, obteniendo así un factor de escala para cada sismo (Figura 2).



```

# Densidad del hormigon
set ro [expr 2400*$kgf/pow($m,3)/9.81];

# Recubrimientos en columnas y vigas
set coverC [expr 0.04*$m]
set coverV [expr 0.025*$m]

# Modulo de elasticidad del hormigon de columnas y vigas
set EC [expr 269000.0*$kgcm2]
set EV [expr 325000.0*$kgcm2]

# Seccion Rectangular (Confinada y no Confinada)
# Seccion con fibras Columna
set WidthC [expr 0.3*$m]
set DepthC [expr 0.3*$m]
set A_C [expr $WidthC*$DepthC]
set I_C [expr $WidthC*pow($DepthC,3)/12]

# Seccion con fibras Viga
set WidthV [expr 0.25*$m]
set DepthV [expr 0.25*$m]
set A_V [expr $WidthV*$DepthV]
set I_V [expr $WidthV*pow($DepthV,3)/12]

# Hormigon Confinado
set Hconf1 1
set fc_conf1 [expr -3.2*$ksi]
set st_conf_max1 -0.003
set fu_conf1 [expr -2*$ksi]
set st_conf_ult1 -0.014

set Hconf2 2
set fc_conf2 [expr -4.7*$ksi]
set st_conf_max2 -0.003
set fu_conf2 [expr -2*$ksi]
set st_conf_ult2 -0.014

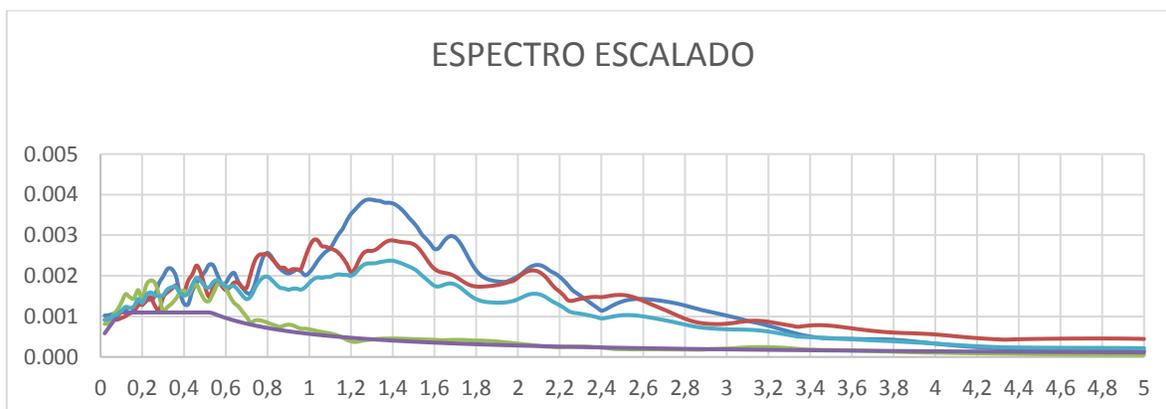
# Hormigon Desconfinado
set Hdesconf1 3
set fc_unconf1 [expr -2*$ksi]
set st_unconf_max1 -0.003
set fu_unconf1 0
set st_unconf_ult1 -0.006

set Hdesconf2 4
set fc_unconf2 [expr -2*$ksi]
set st_unconf_max2 -0.003
set fu_unconf2 0
set st_unconf_ult2 -0.006

# Acero Varillas
set pi 3.1416
set Es [expr 210000*$kgcm2]
set Fy [expr 4200*$kgcm2]
set AsVar 5; #nomenclatura para identificar el material
set AsV12 [expr 1.131*$cm2]; # area de cada varilla
set AsV16 [expr 2.011*$cm2]; # area de cada varilla
set AsV18 [expr 2.545*$cm2]; # area de cada varilla

```

Figura 1: Pórtico analizado, modelado en el software libre OpenSees



SISMO 2500 años		SISMO ACHN-E		AES2-E		ACUE-N	
		PGA	0.510	PGA	0.267	PGA	1.017
PGA	1.0962	FPS	2.149	FPS	4.105	FPS	1.078
PERIODO	0.38	FS	3.10	FS	5.92	FS	1.56

Figura 2: Escalamiento de sismos.

Con la obtención de estos factores de escalamiento, se sometió a la estructura a un análisis por el método *Pushover*, el cual consiste en un empuje lateral incremental de la estructura hasta que ésta haya llegado al colapso (Peralta, 2012). Mediante este análisis se obtuvo la curva de capacidad del pórtico equivalente, que sirvió para compararla con el cortante basal, lo que servirá para determinar el margen de resistencia que posee.

Cabe recalcar que estos resultados no nos muestran un verdadero comportamiento de la estructura, por lo que posteriormente se realizó un análisis dinámico no lineal, para comprobar que la estructura presente deformaciones inelásticas controlables, según la Norma Ecuatoriana de la Construcción, procurando que las derivas máximas de la misma sean inferiores al 2%.

Con respecto al tema de la funcionalidad continua, se plantearon medidas de mitigación que disminuyan la vulnerabilidad de la estructura, con el fin de reducir las aceleraciones espectrales producidas por sismos de gran magnitud, mediante el análisis y diseño de dispositivos de aislamiento y disipación sísmica, que contribuyan con este propósito.

### 3. RESULTADOS

Al concluir con los análisis estructurales inelásticos, se obtuvieron los siguientes resultados:

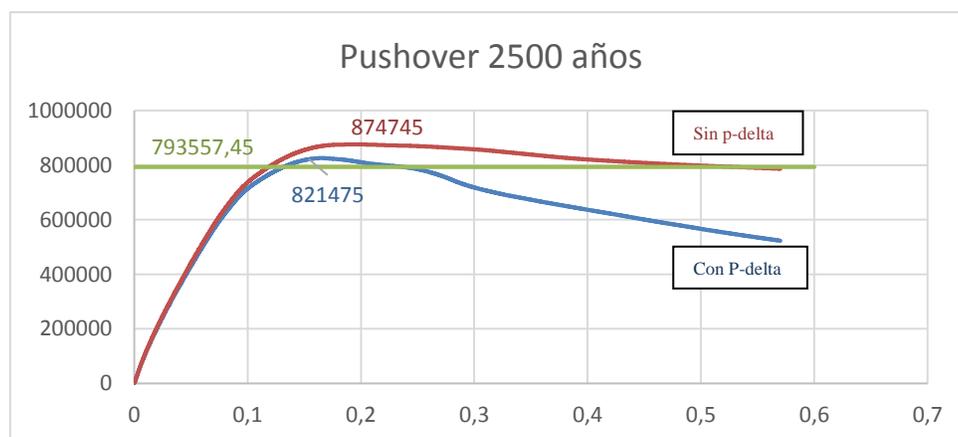
Mediante el análisis modal se obtuvo que el período fundamental de la estructura es 0.38 segundos, lo cual representa el tiempo en el cual la estructura regresa a su posición inicial, durante un movimiento ondulatorio u oscilatorio.

Para un período fundamental de 0.38 segundos se obtuvieron los siguientes factores de escalamiento para los sismos seleccionados:

**Tabla 1: Factores de escalamiento sísmico (T = 2500 años)**

SISMO	FACTOR DE ESCALA
ACHN-E	3.10
AES2-E	5.92
ACUE-N	1.56

El cortante basal calculado de acuerdo a los requerimientos de la Norma Ecuatoriana de la Construcción resultó ser de 79,36 Ton, mientras que el análisis *Pushover* determinó que la máxima capacidad de resistencia del pórtico analizado es de 82,14 Ton; al comparar estos dos valores se obtiene que la estructura tiene un margen de resistencia de 3,38% más que el indicado en la norma. (Figura 3)



**Figura 3: Análisis *Pushover* comparado con el cortante basal de diseño.**

Al realizar la modelación dinámica no lineal de los tres sismos reales, con un período de retorno de 2500 años, se calculan las derivas inelásticas, las mismas que son alarmantes, ya que ninguna cumple con el máximo del 2%, produciéndose así un posible colapso progresivo, que dejaría inhabilitada las funciones de la entidad hospitalaria; las derivas calculadas se muestran a continuación:

**Tabla 2: Derivas de piso resultantes del análisis dinámico no lineal**

<b>PÓRTICO 1</b>	<b>Planta 1</b>	<b>Observaciones</b>	<b>Planta 2</b>	<b>Observaciones</b>
<b>DERIVAS</b>				
<b>ACHN-E</b>	7.85%	<b>NO CUMPLE</b>	7.94%	<b>NO CUMPLE</b>
<b>ACUE-N</b>	6.99%	<b>NO CUMPLE</b>	7.01%	<b>NO CUMPLE</b>
<b>AES2-E</b>	7.72%	<b>NO CUMPLE</b>	7.76%	<b>NO CUMPLE</b>

Una vez concluidos los análisis previos, para procurar que la entidad hospitalaria cumpla con el criterio de funcionalidad continua, se propondrán medidas de mitigación que disminuyan la vulnerabilidad de la estructura; para este estudio se analizó a la estructura nuevamente en el software *OpenSees*, utilizando aisladores elastoméricos con núcleo de plomo en la base de la estructura, con el fin de que separen la estructura del terreno, de tal manera que frente a un evento sísmico se minimice el daño en la misma.

Se observó como el uso de aisladores, presentó un aumento en el período fundamental de la estructura, obteniendo como nuevo valor 1,05 segundos que representa un incremento de tiempo de 63,80%. Sin embargo, a pesar del aumento del período natural de la estructura, se necesita comprobar que las derivas que se calculen con el uso de aisladores, cumplan con los criterios dispuestos por la norma; además la implementación de esta medida no garantiza la funcionalidad continua, ya que el hospital es deficiente, tanto en columnas, como en vigas, por lo cual, es necesaria una intervención a corto plazo.

#### **4. CONCLUSIONES**

En este informe se partió de una modelación de la estructura en el software libre *OpenSees* para visualizar el estado actual de la estructura, conocer su período de vibración y su comportamiento ante la aplicación de cargas y sismos.

Un análisis lineal y *Pushover* indicaron que, si bien la estructura no cumple debidamente con los valores de derivas máximas del 2% proporcionados por la NEC, pues posee un excedente poco significativo, éstos son posibles de tolerar; sin embargo, a pesar que el cortante basal se encuentra por debajo de la curva *Pushover*, ésta cuenta con un margen de seguridad muy pequeño, que podrá dar paso a un posible colapso.

Mediante el análisis no lineal, las derivas aumentaron hasta en un 7% aproximadamente, demostrando que la entidad hospitalaria se enfrentaría a un gran problema de colapso, obligando su evacuación inmediata y dejando a la estructura inservible, al no cumplir con el criterio de estructura esencial.

Se comprobó que el uso de aisladores sísmicos con núcleo de plomo en la base, simboliza una medida de mitigación pertinente, pues aumentó significativamente el período de vibración de la estructura, otorgándole flexibilidad y capacidad para asumir un eventual sismo.

En el análisis costo-beneficio, se evidenció que el presupuesto referencial de la edificación, aumentaría en un 5,73% si se opta por la incorporación de esta medida de mitigación en la construcción tradicional, sin embargo, sería una inversión necesaria si se trata de salvaguardar la integridad física de las personas y garantizar la funcionalidad continua de la estructura.

## 5. BIBLIOGRAFÍA

- ACI 318. (2011). *American Concrete Institute - Building Code Requirements for Structural Concrete ACI 318-11*. United States of America.
- ACI 440.2R-08. (2008). *American Concrete Institute - Guide for the Design and Construction of Externally Bonded FRP Systems for Strengthening Concrete Structures*. United States of America.
- Anrango, C. M. (2015). *Análisis y rediseño de la cimentación de un edificio en acero con aisladores sísmicos*. Quito - Ecuador: UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR.
- Bambaren Alatrística, C. &. (2007). Hospitales seguros ante desastres. *Revista Médica Herediana*, 149-154.
- FEMA 356. (2000). *Federal Emergency Management Agency Prestandard and Commentary for the Seismic Rehabilitation of Buildings*. United States of America.
- FEMA 450-2 (2003). (s.f.). Obtenido de //www.fema.gov/
- Filiatrault, A. &. (2014). Performance-based seismic design of nonstructural building components: The next frontier of earthquake engineering. *Earthquake Engineering and Engineering Vibration*, 17-46.
- García, D. d. (2014). Structural design of hospitals in areas of high seismicity: projects in Chile and Nicaragua. *IABSE Symposium Report*, 2272-2279.
- Molina, E., & Mora, C. (2016). *Evaluación estructural del "Hospital Municipal de la Mujer y del Niño" de la ciudad de Cuenca-provincia del Azuay-para cuantificar las amenazas y vulnerabilidad de la edificación hospitalaria*. Cuenca.
- Morales-Soto, N. &-O. (2008). Vulnerabilidad sísmica del componente organizativo y funcional de grandes hospitales. *Revista Peruana de Medicina Experimental y Salud Pública*, 225-229.
- NEC - Peligro Sísmico. (2014). *Norma Ecuatoriana de la Construcción - Peligro Sísmico*. Ecuador.
- NEC - Peligro Sísmico. (2014). *Norma Ecuatoriana de la Construcción - Peligro Sísmico*. Ecuador.
- NEC. (2014). *Norma Ecuatoriana de la Construcción*. Ecuador.
- Organización Panamericana de la Salud. (1999). *Fundamentos para la mitigación de desastres en establecimientos de salud*. Washington D.C.
- Organización Panamericana de la Salud, P. d. (2000). *Fundamentos para la mitigación de desastres en establecimientos de salud*. Washington, D.C: Pan American Health Organization.
- Oviedo, J. A. (2006). Sistemas de control de respuesta sísmica en edificaciones. *Revista EIA*, 105-120.
- Parra, A. &. (2010). *Análisis de aisladores sísmicos elastoméricos construidos en el Ecuador*. Quito: SANGOLQUÍ/ESPE/2010.
- Peralta, M. (2012). *Análisis estático no lineal y análisis dinámico no lineal del hospital de Vielha*. Barcelona: UPC.
- Zayas, V. (2013). *Seismic Designs for Resilient Structures*. California.
- Zayas, V. (2017). Estandar de Aislamiento Sísmico para la Funcionalidad Continua. 1-35.

Zayas, V., & Mahin, S. (2010). SEISMIC DESIGN METHODOLOGY TO AVOID DAMAGE TO STRUCTURES, NONSTRUCTURAL COMPONENTS AND CONTENTS .