



UNIVERSIDAD DEL AZUAY

FACULTAD DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA

**ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL Y
GERENCIA DE CONSTRUCCIONES**

**Análisis dinámico no lineal del “Hospital Regional Vicente
Corral Moscoso” (Cuenca), medidas de mitigación y
refuerzo para disminuir su vulnerabilidad estructural**

**Trabajo de graduación previo a la obtención del título de:
INGENIERO CIVIL CON MENCIÓN EN
GERENCIA DE CONSTRUCCIONES**

Autores:

**JOSÉ ESTEBAN PALOMINO PULLA
ÁNGEL LEONCIO QUEZADA AGUILAR**

Director:

JOSÉ FERNANDO VÁZQUEZ CALERO

CUENCA, ECUADOR

2017

DEDICATORIA

A Dios, mi Padre Celestial, quien me bendice con su amor. A mis padres Mélida y Oswaldo, porque ellos fueron el principal cimiento para la construcción de mi vida, quienes sentaron en mí las bases de responsabilidad y deseos de superación, en ellos tengo el espejo en el cual quiero reflejarme, con sus virtudes y su buen corazón que me llevan a admirarlos cada día más. A mis abuelas Edelina y Natividad, los tesoros que la vida me ha regalado. A mi tía Rosita, mi segunda madre. A mi primo Ramón, el niño de quien aprendo día a día a ver la vida de manera más simple y feliz. A mis tíos, tías, primos y primas, que siempre han puesto su confianza en mí y me han brindado su apoyo incondicional.

José Esteban

A Dios, por darme fuerza y fortaleza; a mis padres Juan Quezada y Ana Aguilar, por brindarme todo el apoyo incondicional, quienes han sido la motivación principal para la culminación de mi carrera. A mis tíos y tías, en especial a Marcia, Martina y Jaime, por haberme brindado su apoyo durante toda mi carrera universitaria.

Ángel Leoncio

AGRADECIMIENTO

A la Universidad del Azuay, por permitirnos ser parte de ella y abrirnos las puertas para cumplir nuestro sueño.

A todos los profesores, por transmitirnos no sólo los conocimientos, sino los valores necesarios para enfrentar el futuro que tenemos en nuestras manos.

Al Ing. José F. Vázquez, M.Sc., por brindarnos el apoyo y la motivación para seguir adelante, por impartirnos todos los conocimientos necesarios para culminar nuestra tesis y guiarnos por el camino de la superación en esta etapa de nuestra vida. Por permitirnos ser parte de este gran proyecto de trabajo, un profundo agradecimiento.

Al Ing. Francisco Flores Solano Ph.D., por impartirnos los conocimientos para cumplir los objetivos planteados y brindarnos una parte de su tiempo en la revisión de nuestros proyectos. Para él, nuestro más sincero agradecimiento.

A los miembros del tribunal designado Ing. Roberto Gamón Torres Ph.D., M.Sc., e Ing. Juan Carlos Malo Donoso, por motivarnos y brindarnos parte de su tiempo para la revisión y corrección.

A todo el equipo de compañeros que forman parte de este proyecto, porque siempre pudimos encontrar apoyo y consejos para seguir adelante.

José Esteban Palomino

Ángel Leoncio Quezada

ÍNDICE DE CONTENIDOS

Dedicatoria.....	ii
Agradecimiento.....	iii
Índice de Contenidos.....	iv
Índice de Figuras.....	vi
Índice de Tablas.....	vii
Índice de Anexos.....	viii
Resumen.....	ix
Abstract.....	x
Introducción.....	1
Generalidades	3
Antecedentes.....	3
Objetivos.....	4
Objetivo general.....	4
Objetivos específicos.....	4
Metodología.....	4
Estado del arte y marco teórico.....	5
CAPÍTULO I.....	6
CAPÍTULO II.....	7
2.1. Información general.....	7
2.1.1. Modelo geométrico.....	7
2.1.2. Geometría.....	8
2.1.3. Cargas.....	9
2.1.3.1. Carga muerta.....	9
2.1.3.2. Carga viva.....	10
2.2. Análisis Modal.....	11
2.2.1. Pórtico 1.....	11
2.2.2. Pórtico 2.....	11
2.2.3. Pórtico 3.....	11
2.3. Escalamiento de sismos.....	12
2.3.1. Análisis dinámico lineal – período de retorno = 475 años.....	13
2.3.2. Análisis dinámico no lineal – período de retorno = 475 años.....	14

2.3.3. Análisis dinámico no lineal – período de retorno = 2500 años.....	14
2.4. Análisis <i>Pushover</i>	14
2.4.1. Pórtico 1.....	15
2.4.2. Pórtico 2.....	16
2.4.3. Pórtico 3.....	16
2.5. Análisis de Vibración Libre.....	17
2.6. Análisis Dinámico Lineal.....	17
2.7. Análisis Dinámico No Lineal.....	18
2.7.1. Para un período de retorno de 475 años.....	19
2.7.2. Para un período de retorno de 2500 años.....	20
2.8. Funcionalidad de las juntas constructivas.....	20
CAPÍTULO III.....	22
3.1. Estrategias de rehabilitación.....	22
3.2. Aisladores elastoméricos con núcleo de plomo.....	22
3.3. Prediseño del aislador.....	23
3.4. Cálculo de derivas considerando aislamiento sísmico.....	24
3.5. Cálculo de desplazamiento del aislador.....	25
3.5.1. Sismo AGYE N.....	25
3.5.2. Sismo PRAM N.....	25
3.5.3. Sismo AOTA N.....	25
CAPÍTULO IV.....	26
4.1. Presupuesto conceptual del “H.R. Vicente Corral Moscoso”	26
4.2. Presupuesto del aislador.....	27
4.3. Resultados y comparación.....	28
Conclusiones.....	29
Recomendaciones.....	30
Bibliografía.....	31

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1. Ubicación del Hospital Vicente Corral Moscoso.....	6
Figura 2.1. Vista en planta – piso 7.....	7
Figura 2.2. Vista en planta – pisos 1 – 6.....	7
Figura 2.3. Vista frontal.....	7
Figura 2.4. Vista en planta.....	8
Figura 2.5. Pórtico 1.....	8
Figura 2.6. Pórtico 2.....	8
Figura 2.7. Pórtico 3.....	8
Figura 2.8. Secciones del pórtico.....	9
Figura 2.9. Corte de vista en planta de pisos 1 – 6.....	9
Figura 2.10. Corte de vista en planta de piso 7.....	10
Figura 2.11. Sismo AGYE N.....	12
Figura 2.12. Sismo PRAM N.....	13
Figura 2.13. Sismo AOTA N.....	13
Figura 2.14. Curva <i>Pushover</i> con efectos Lineal y P-Delta, y V (475 años y 2500 años) – pórtico 1.....	15
Figura 2.15. Curva <i>Pushover</i> con efectos Lineal y P-Delta, y V (475 años y 2500 años) – pórtico 2.....	16
Figura 2.16. Curva <i>Pushover</i> con efectos Lineal y P-Delta, y V (475 años y 2500 años) – pórtico 3.....	17
Figura 3.1. Catálogo de aisladores elastoméricos con núcleo de plomo.....	23
Figura 4.1. Planta Tipo del Bloque Analizado.....	26
Figura 4.2. Estimación de costos para los aisladores según su tamaño.....	27

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1. Valores de Fcs.....	13
Tabla 2.2. Valores de Fcs.....	14
Tabla 2.3. Valores de Fcs.....	14
Tabla 2.4. Derivas inelásticas de todos los pisos del pórtico 1 con los sismos analizados.....	18
Tabla 2.5. Derivas inelásticas de todos los pisos del pórtico 2 con los sismos analizados.....	18
Tabla 2.6. Derivas inelásticas de todos los pisos del pórtico 3 con los sismos analizados.....	18
Tabla 2.7. Derivas inelásticas de todos los pisos del pórtico 1 con los sismos analizados.....	19
Tabla 2.8. Derivas inelásticas de todos los pisos del pórtico 2 con los sismos analizados.....	19
Tabla 2.9. Derivas inelásticas de todos los pisos del pórtico 3 con los sismos analizados.....	19
Tabla 2.10. Derivas inelásticas de todos los pisos del pórtico 1 con los sismos analizados.....	20
Tabla 2.11. Derivas inelásticas de todos los pisos del pórtico 2 con los sismos analizados.....	20
Tabla 2.12. Derivas inelásticas de todos los pisos del pórtico 3 con los sismos analizados.....	20
Tabla 2.13. Desplazamientos máximos de las estructuras y funcionalidad de las juntas.....	21
Tabla 3.1. Propiedades del aislador elegido.....	23
Tabla 3.2. Derivas de piso del pórtico 1 con los sismos analizados	24
Tabla 3.3. Derivas de piso del pórtico 2 con los sismos analizados	24
Tabla 3.4. Derivas de piso del pórtico 3 con los sismos analizados	24
Tabla 4.1. Precio por metro cuadrado de hospitales del IESS.....	26
Tabla 4.2. Presupuesto Conceptual de la Entidad Hospitalaria.....	27
Tabla 4.3. Presupuesto de los Aisladores.....	28

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1: Definiciones

Anexo 2: Información del hospital regional “Vicente Corral Moscoso”

Anexo 3: Análisis dinámico lineal – período de retorno = 475 años

Anexo 4: Análisis dinámico no lineal – período de retorno = 475 años

Anexo 5: Análisis dinámico no lineal – período de retorno = 2500 años

Anexo 6: Cortante basal de diseño V para el pórtico 1

Anexo 7: Cortante basal de diseño V para el pórtico 2

Anexo 8: Cortante basal de diseño V para el pórtico 3

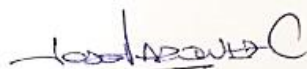
Anexo 9: Análisis de vibración libre

“ANÁLISIS DINÁMICO NO LINEAL DEL “HOSPITAL REGIONAL VICENTE CORRAL MOSCOSO” (CUENCA), MEDIDAS DE MITIGACIÓN Y REFUERZO PARA DISMINUIR SU VULNERABILIDAD ESTRUCTURAL”

RESUMEN

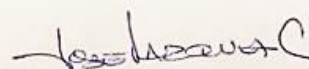
La investigación se basa en la realización del análisis dinámico no lineal de pórticos representativos del hospital regional Vicente Corral Moscoso de la ciudad de Cuenca. Mediante la ayuda del software libre OpenSees, se analizó un modelo matemático idealizado, obteniendo el comportamiento de los pórticos en el rango no lineal, permitiendo comparar los resultados con los requerimientos establecidos en la Norma Ecuatoriana de la Construcción; se planteó una medida de mitigación aplicando aisladores elastoméricos LRB que ayude a disminuir la vulnerabilidad de la estructura esencial, para así reducir el riesgo de colapso de la misma. Finalmente se elaboró un análisis costo beneficio de la implementación de la medida de mitigación.

Palabras clave: Análisis dinámico no lineal, mitigación, aisladores elastoméricos, vulnerabilidad, estructura esencial.



Ing. José Fernando Vázquez Calero.

Director del Trabajo de Titulación

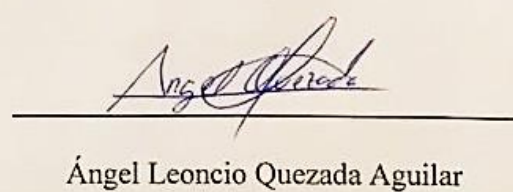


Ing. José Fernando Vázquez Calero.

Director de la Escuela



José Esteban Palomino Pulla



Ángel Leoncio Quezada Aguilar


Autores

**NON-LINEAR DYNAMIC ANALYSIS OF VICENTE CORRAL MOSCOSO
REGIONAL HOSPITAL (CUENCA); MITIGATION AND REINFORCEMENT
MEASURES TO REDUCE ITS STRUCTURAL VULNERABILITY**

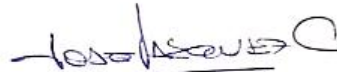
ABSTRACT

This research dealt with the nonlinear dynamic analysis of representative frames at the *Vicente Corral Moscoso* hospital of Cuenca. An idealized mathematical model was analyzed through OpenSees software, obtaining the behavior of frames in the nonlinear range. This allowed to compare the results with the requirements established in the Ecuadorian Standard of Construction. A mitigation measure was proposed through the application of LRB elastomeric insulators, which helped to decrease the vulnerability of the essential structure in order to reduce its risk of collapse. Finally a cost-benefit analysis of the implementation in the mitigation measure was performed.


Keywords: nonlinear dynamic analysis, mitigation, elastomeric insulators, vulnerability, essential structure.



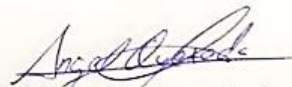
Ing. José Fernando Vázquez Calero
Thesis Director



Ing. José Fernando Vázquez Calero
School Director

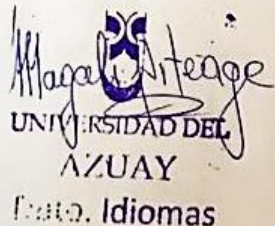


José Esteban Palomino Pulla

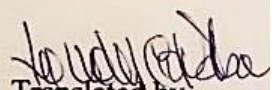


Angel Leoncio Quezada Aguilar

Authors



Magali Niteage
UNIVERSIDAD DEL
AZUAY
Cated. Idiomas



Translated by,
Lic. Lourdes Crespo

Palomino Pulla José Esteban

Quezada Aguilar Ángel Leoncio

Trabajo de Titulación

Ing. José Fernando Vázquez Calero M.Sc.

Junio, 2017

ANÁLISIS DINÁMICO NO LINEAL DEL “HOSPITAL REGIONAL VICENTE CORRAL MOSCOSO” (CUENCA), MEDIDAS DE MITIGACIÓN Y REFUERZO PARA DISMINUIR SU VULNERABILIDAD ESTRUCTURAL

INTRODUCCIÓN

El Ecuador está expuesto a grandes amenazas sísmicas debido a que se encuentra en una región sísmicamente activa, lo cual hace que las edificaciones se expongan a movimientos telúricos, provocando efectos negativos por fallas en el proceso de diseño y/o construcción; dichas fallas podrían ser mitigadas mediante diferentes métodos haciendo que las edificaciones continúen funcionando luego del sismo.

Actualmente la Norma Ecuatoriana de la Construcción cataloga a los hospitales como estructuras esenciales, limitando los daños estructurales, aumentando el nivel de protección y tendiendo a que estas operen aún después de la ocurrencia del sismo de diseño.

Por lo anteriormente expuesto se justifica la necesidad de continuar con el análisis del hospital regional “Vicente Corral Moscoso”, que fue construido en una época en la que las exigencias de construcción eran menores que la normativa actual, es por eso que se plantea un análisis dinámico no lineal, en donde se pueda apreciar el comportamiento de la estructura y así proponer medidas de mitigación para que pueda ser completamente seguro ante cualquier sismo.

En las Generalidades se explican los antecedentes, el objeto principal de la investigación y los objetivos específicos que ayudarán a desarrollar la investigación, complementándose con el fundamento teórico en el que se sustenta el presente trabajo.

En el Capítulo I se presenta un resumen general de los datos obtenidos en la primera parte de la investigación, la metodología que se empleó y los resultados obtenidos, para así continuar con el análisis en la siguiente sección.

En el Capítulo II se procede con la modelación y análisis de la entidad hospitalaria con el software libre OpenSees que realiza el análisis no lineal, ayudándonos a tener una perspectiva del comportamiento del hospital.

En el Capítulo III se propone una medida de mitigación y reforzamiento que contribuya a disminuir la vulnerabilidad de la estructura, en base a los datos recopilados en el Capítulo I y a la modelación del Capítulo II.

En el Capítulo IV se exponen los presupuestos correspondientes a la estructura existente y a la medida de mitigación y reforzamiento, para luego realizar una comparación y decidir sobre la aplicación de las medidas o la construcción de un nuevo hospital.

Finalmente se presenta la bibliografía, que complementa la investigación realizada.

GENERALIDADES

Antecedentes

El Ecuador, así como otros países de la región, presenta un alto nivel de riesgo sísmico por localizarse dentro del Cinturón de Fuego del Pacífico. A pesar de ello, la mayoría de las estructuras construidas han funcionado desde épocas en las que las exigencias sobre amenazas no eran un factor imprescindible para la construcción, lo que denota que, en situaciones de emergencia o catástrofe, puedan sufrir daños severos y no estén en capacidad de prestar el servicio al que fueron destinados. Entre las amenazas más representativas, los sismos tienen la característica de generar graves daños y gran cantidad de pérdidas humanas en poco tiempo (Franco, 2016).

Uno de los puntos principales a tomar en cuenta son las edificaciones llamadas esenciales y/o peligrosas (NEC, 2014), las que, según la norma, no pueden detener su servicio pese a cualquier circunstancia que se presente. Entre ellas están los hospitales y centros de salud. Según la Organización Panamericana de la Salud, “El 67% de los establecimientos de salud de la Región están ubicados en zonas de riesgo de desastres. En promedio, un hospital que no funciona en la Región deja a unas 200.000 personas sin atención sanitaria” (OPS; OMS, 2010).

Profundizando con la línea de investigación científica de Hospitales Seguros Frente a Desastres, se analizará una entidad de salud existente obteniendo su nivel de vulnerabilidad y susceptibilidad, el comportamiento de la estructura y el nivel de daño posible ante sismos esperados, para diseñar el tipo de refuerzo que se requerirá en caso de presentarse las amenazas identificadas. Las medidas de rehabilitación no tendrán como consecuencia una reducción en el nivel del servicio del edificio; se selecciona a partir de una combinación de niveles de rendimiento de componentes estructurales y no estructurales (FEMA 356, 2000). El reforzamiento que se propondrá para la edificación se basa en la implementación de aisladores elastoméricos con núcleo de plomo, la finalidad de todo el análisis es lograr que la entidad hospitalaria se mantenga dentro del rango de “Funcionalidad Continua”, donde las estructuras están diseñadas elásticamente utilizando $R = 1$ con límites especificados para las derivas máximas menores al 3/1000 y aceleraciones medianas del espectro de piso menores al 0.4 de la gravedad, los cuales limitarán los daños causados por los movimientos sísmicos a menos del 2% del costo de reemplazo, con una confiabilidad del 90% durante 50 años

de evitar cualquier daño significativo a los componentes estructurales y arquitectónicos (Zayas, 2017).

Objetivos

Objetivo general

Realizar el análisis dinámico no lineal del “Hospital Regional Vicente Corral Moscoso”, 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 Regional Vicente Corral Moscoso”.
- 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, 2008), (Comité ACI 318, 2008).
- Realizar un análisis costo beneficio de las medidas evaluadas.

Metodología

El trabajo de tesis empezará con la recolección y clasificación de la información arquitectónica y de ingeniería de la entidad hospitalaria, de la tesis realizada por la Ing. Carla Vintimilla y la Ing. Adriana Fajardo, con la finalidad de contar con los datos necesarios para realizar el análisis dinámico no lineal.

A continuación, se realizará el modelo matemático idealizado de la edificación hospitalaria con la ayuda del software libre OpenSees; las cargas correspondientes se ingresarán de acuerdo a la normativa vigente.(NEC, 2014). En base a todo lo anterior se podrá determinar el desempeño inelástico de la estructura.

Luego, y en caso de ser necesarias, se diseñarán las medidas de mitigación y reforzamiento para disminuir la vulnerabilidad de la edificación hospitalaria de acuerdo a las normativas (FEMA 356, 2000), (ACI 440.2R, 2008), (Comité ACI 318, 2008), (ASCE 7, 2010) con el fin de contar con un proyecto de reforzamiento y mitigación, del que se obtendrá un presupuesto referencial de la implantación de los

aisladores. También, se realizará la valoración de la edificación hospitalaria de acuerdo a un presupuesto conceptual.

Finalmente, se realizará una comparación entre los resultados de los presupuestos obtenidos con el fin de verificar la factibilidad económica del proyecto de mitigación y reforzamiento.

Estado del arte y marco teórico

En teoría, los países deberían asegurar que cada sector e institución sea resistente a los desastres y que sea posible reorientar todos los recursos necesarios para obtener resultados observables en todos los aspectos de la reducción de riesgos. El sector salud debería lograr simultáneamente que todos los establecimientos de salud sean seguros frente a desastres.

Desde la conferencia internacional sobre reducción de vulnerabilidad en establecimientos de salud (OPS; OMS, 1996), varios hospitales han sido reforzados o construidos para ser resistentes, pero seguimos teniendo hospitales destruidos por desastres. Cientos de hospitales son afectados por fenómenos naturales como terremotos en Perú (1970), Nicaragua (1972), Guatemala (1976), México (1985), Colombia (1999), El Salvador (2001), Perú (2007), Haití, Chile, México (2010) y Ecuador (2016), afectando cuatro hospitales ubicados en Chone, Pedernales, Manta y Portoviejo.

Por otro lado, el riesgo que se considera como el producto de la amenaza por la vulnerabilidad, da cuenta que para el austro ecuatoriano las amenazas de tipo: sísmicas, hidrometeorológicas, geotécnicas y sociales son las principales que se tomaron en cuenta al momento de la calificación.

Los establecimientos de salud son catalogados como edificaciones esenciales y/o peligrosas (NEC, 2014), es por esto que el nivel de análisis en el diseño de los miembros estructurales y no estructurales es más exigente, a nivel del rango inelástico (Comité ACI 318, 2008).

Definiciones

Ver Anexo 1.

CAPÍTULO I

RECOPILOCIÓN DE INFORMACIÓN

Según (Vintimilla & Fajardo, 2016), se asevera lo siguiente:

La entidad hospitalaria “Hospital Vicente Corral Moscoso” está situada en la ciudad de Cuenca provincia del Azuay, en la Av. Los Arupos y Av. 12 de Abril de la parroquia Huayna-Cápac.

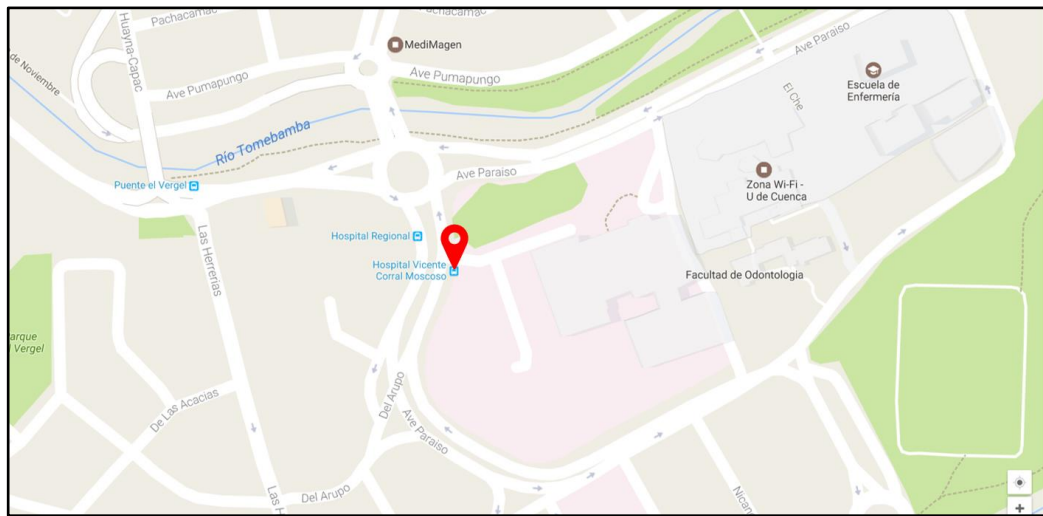


Figura 1.1. Ubicación del Hospital Vicente Corral Moscoso

Google Maps – marzo 2017

Se considera como uno de los hospitales más importantes de la ciudad de Cuenca, brinda servicios en 45 especialidades, oferta atención las 24 horas del día; además cuenta con la acreditación internacional de calidad, en el nivel oro, por parte de la organización Acreditación Canadá Internacional (ACI).

Esta unidad hospitalaria está dentro de la coordinación zonal de salud n° 6 y es de tipo general, cuenta con 299 camas disponibles para la atención de los pacientes; los servicios que ofrece esta entidad de salud son los siguientes: consulta externa, hospitalización, emergencia, centro químico y obstétrico, laboratorio clínico, imagenología, unidad de neonatología, unidad de cuidados intensivos y unidad de diálisis; además se encuentra equipado con salas de rayos X, ecosonógrafo y tomógrafo.

La información de infraestructura física, de ingeniería, arquitectónica y el Índice de Seguridad Hospitalaria se detallan en el Anexo 2.

CAPÍTULO II

MODELACIÓN DE LA ESTRUCTURA

2.1. Información general

2.1.1. Modelo geométrico

El pórtico que se analizó representa las características de toda la edificación hospitalaria, tiene siete plantas superiores, un piso subterráneo y dos juntas constructivas de 10 cm a lo largo de toda su longitud, por lo que se analizaron por separado cada una de las partes. Cabe mencionar que para el análisis se omitió lo que está por debajo del nivel cero por considerarse que tiene restricción de movimiento en todas las direcciones debido a la presencia de muros de sótano.

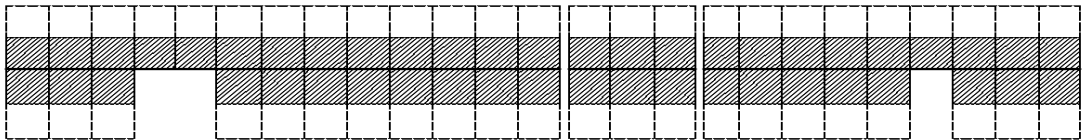


Figura 2.1. Vista en planta – piso 7

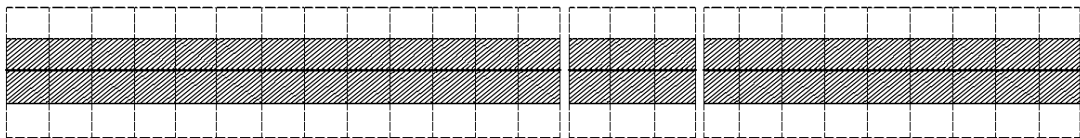
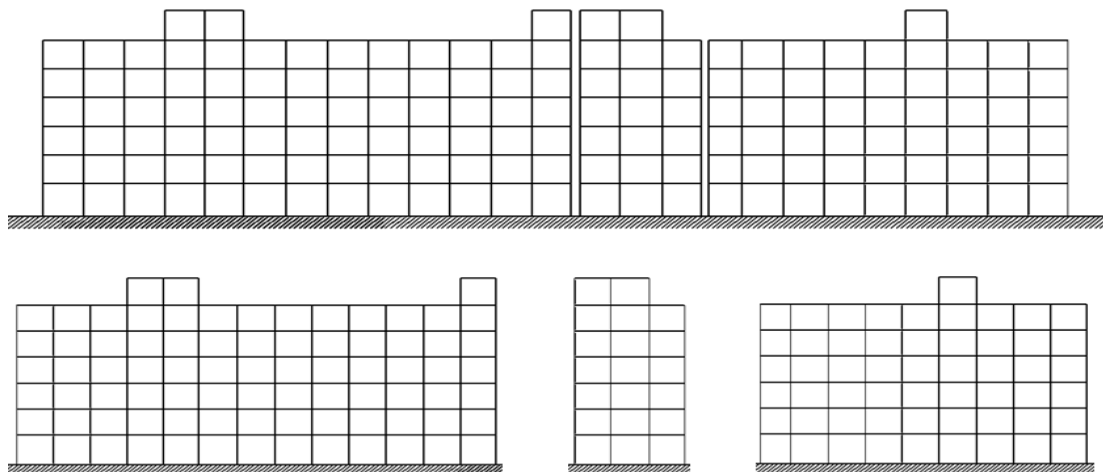


Figura 2.2. Vista en planta – pisos 1 – 6



Pórtico 1

Pórtico 2

Pórtico 3

Figura 2.3. Vista frontal

2.1.2. Geometría

El área de cargas tributaria que se utilizó para el análisis del pórtico se detalla en la figura 2.4.

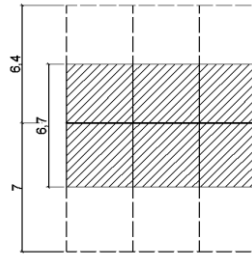


Figura 2.4. Vista en planta

El pórtico completo tiene 28 grupos de columnas separadas a diferentes distancias que se detallan en las figuras 2.5, 2.6 y 2.7.

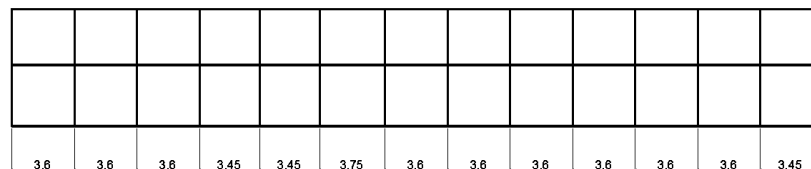


Figura 2.5. Pórtico 1

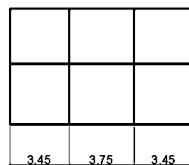


Figura 2.6. Pórtico 2

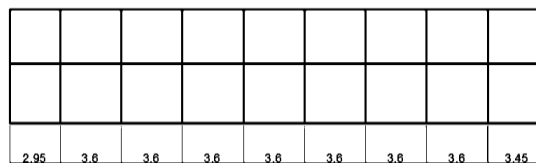


Figura 2.7. Pórtico 3

Las secciones de las columnas se presentan en la figura 2.8, en la que se pueden diferenciar tres tipos:

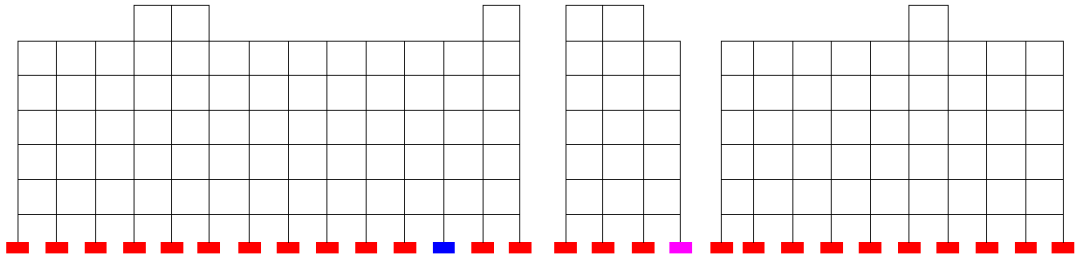
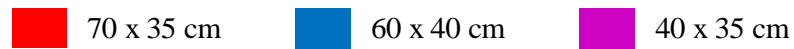


Figura 2.8. Secciones del pórtico



Las vigas tienen una sección de 35 x 30 cm.

2.1.3. Cargas

2.1.3.1. Carga muerta

Para el cálculo de la carga muerta “D” se distinguieron dos situaciones:

1. Cuando al pórtico, desde la vista en planta, le tributa el área desde ambos lados de la estructura. Este caso se presenta desde el piso 1 hasta el piso 6.

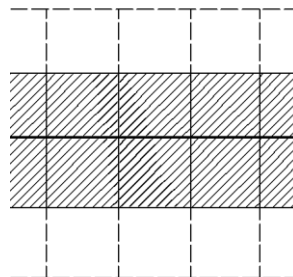


Figura 2.9. Corte de vista en planta de pisos 1-6

Para este caso, las cargas que se consideraron son las siguientes:

- Losas: 350 kg/m^2
- Paredes: 140 kg/m^2
- Cerámica: 50 kg/m^2
- Total: 540 kg/m^2

2. Cuando al pórtico, desde la vista en planta, le tributa solamente el área desde un lado de la estructura. Este caso se presenta en algunas secciones del piso 7.

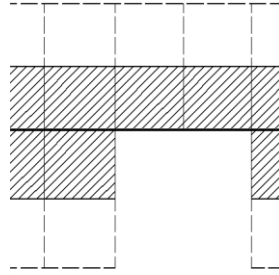


Figura 2.10. Corte de vista en planta de piso 7

Para este caso, las cargas que se consideraron son los siguientes valores:

- Losas de terraza: 350 kg/m^2
- Total: 350 kg/m^2

2.1.3.2. Carga viva

Para el cálculo de la carga viva “L” se consideraron las cargas establecidas en la (NEC, 2014) para hospitales, y son las siguientes:

- Quirófanos: 290 kg/m^2
- Laboratorios: 290 kg/m^2
- Pacientes: 200 kg/m^2
- Corredores PB: 480 kg/m^2
- Corredores Sup: 400 kg/m^2
- Terrazas: 480 kg/m^2
- Bodega Liv: 600 kg/m^2
- Oficinas: 240 kg/m^2
- Habitaciones: 200 kg/m^2
- Aulas: 200 kg/m^2
- Elevadores: 140 kg

Con estos valores, y dependiendo de la ocupación de cada sección, se calculó su carga viva correspondiente.

2.2. Análisis modal

El análisis modal de una estructura es una técnica de análisis dinámico que tiene como objetivo la estimación de propiedades dinámicas como las frecuencias y los períodos o modos naturales de vibración (Lasagni, 2015). En el caso de los pórticos seleccionados, se realizó la codificación en el software libre OpenSees, ingresando los datos que definen a las estructuras, como los materiales y sus propiedades, los elementos y sus secciones, la geometría y las masas que se aplican en la estructura como producto de la carga muerta.

Los resultados del análisis modal arrojaron los siguientes resultados:

2.2.1. Pórtico 1

Períodos:

Modo 1:	1.0780 s
Modo 2:	0.3310 s
Modo 3:	0.1805 s
Modo 4:	0.1352 s

2.2.2. Pórtico 2

Períodos:

Modo 1:	1.2014 s
Modo 2:	0.3678 s
Modo 3:	0.1936 s
Modo 4:	0.1205 s

2.2.3. Pórtico 3

Períodos:

Modo 1:	1.0269 s
Modo 2:	0.3083 s
Modo 3:	0.1602 s
Modo 4:	0.1061 s

Para los análisis posteriores se tomó el período natural de la estructura correspondiente al modo 1 de cada pórtico.

2.3. Escalamiento de sismos

Cada pórtico tiene un período fundamental distinto, por lo que el análisis se hizo de manera similar, únicamente variando los valores en los que influye el período, principalmente el escalamiento de los espectros de los sismos utilizados.

El escalamiento se realizó basándose en el método del (ASCE 7, 2010), con tres muestras de sismos en cada pórtico, y por tres veces para diferentes casos. La primera vez se realizó considerando un análisis elástico y un período de retorno de 475 años, donde cada valor del espectro de diseño fue afectado por el valor de $R = 8$. La segunda vez se realizó considerando un análisis dinámico y un período de retorno de 475 años, donde cada valor del espectro de diseño fue afectado por el valor de $R = 1$ (Guamán, 2017). La tercera vez se realizó considerando un análisis dinámico y un período de retorno de 2500 años, donde, de manera similar, cada valor del espectro de diseño fue afectado por el valor de $R = 1$.

En base al espectro de diseño se hizo el escalamiento de los acelerogramas de los sismos utilizados para el análisis del pórtico. Los espectros son propios del Ecuador, tomados de los Registros Sísmicos del Instituto Geofísico de la Escuela Polit cnica Nacional con fecha 16/05/2016.

Los sismos escogidos fueron el AGYE N, con 10002 puntos y una variación de 0.01 segundos, el PRAM N, con 20004 puntos y una variación de 0.01 segundos y el AOTA N, con 13002 puntos y una variación de 0.01 segundos.

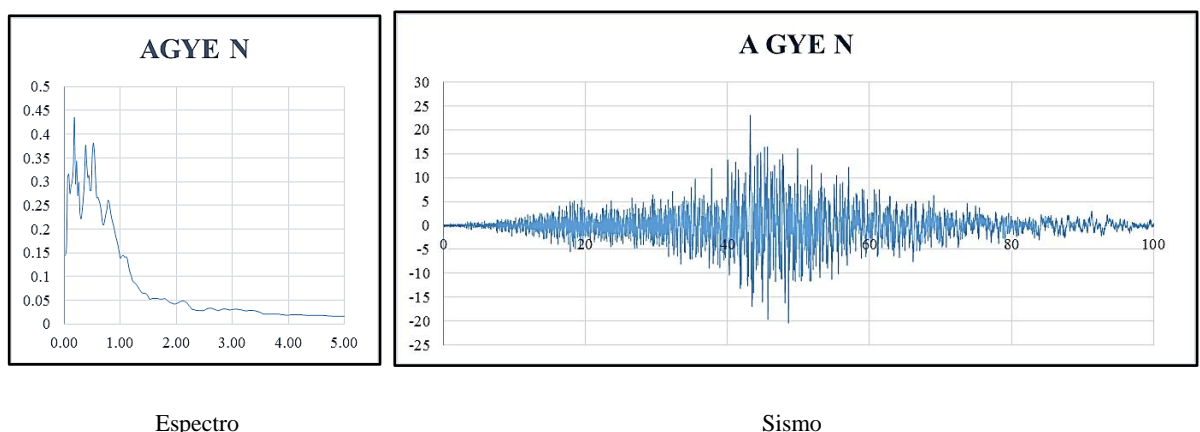


Figura 2.11. Sismo AGYE N

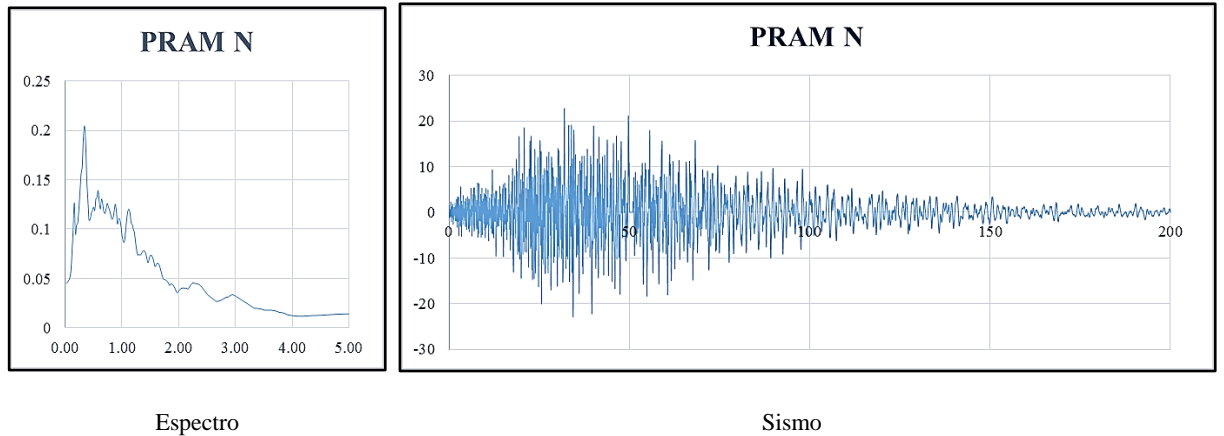


Figura 2.12. Sismo PRAM N

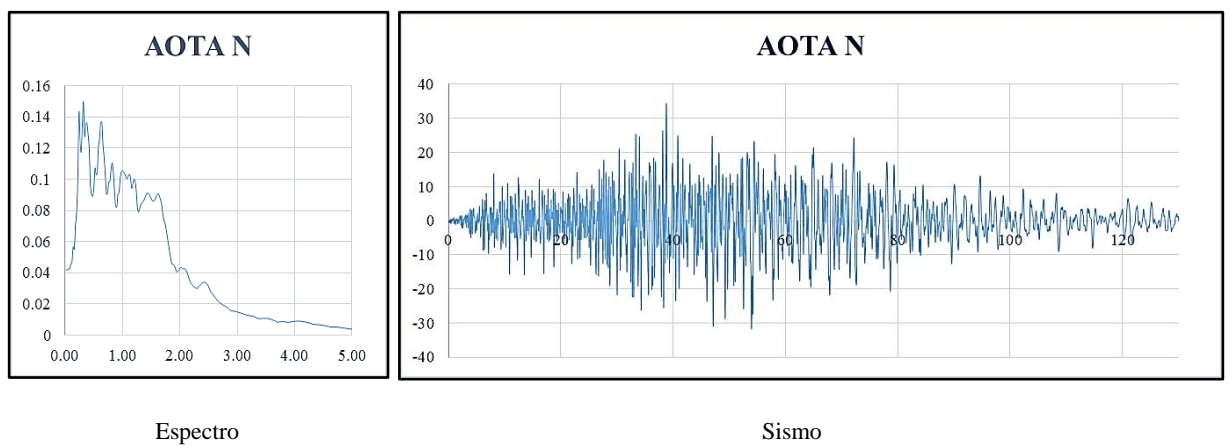


Figura 2.13. Sismo AOTA N

2.3.1. Análisis dinámico lineal – período de retorno = 475 años

El proceso de escalamiento de los sismos se puede observar en el [Anexo 3](#). Los valores de los factores Fcs, escalados a los períodos correspondientes, fueron los siguientes:

Tabla 2.1. Valores de Fcs

Pórtico 1		Pórtico 2		Pórtico 3	
Sismos	Fcs	Sismos	Fcs	Sismos	Fcs
AGYE N	5.36810	AGYE N	6.14554	AGYE N	5.08651
PRAM N	2.20699	PRAM N	1.94888	PRAM N	2.58256
AOTA N	1.45824	AOTA N	1.18969	AOTA N	1.33246

2.3.2. Análisis dinámico no lineal – período de retorno = 475 años

El escalamiento de los sismos se puede observar en el [Anexo 4](#). Los valores de los factores Fcs, escalados a los períodos correspondientes, fueron los siguientes:

Tabla 2.2. Valores de Fcs

Pórtico 1		Pórtico 2		Pórtico 3	
Sismos	Fcs	Sismos	Fcs	Sismos	Fcs
AGYE N	42.94478	AGYE N	49.16430	AGYE N	40.69209
PRAM N	17.65593	PRAM N	15.59101	PRAM N	20.66045
AOTA N	11.66590	AOTA N	9.51755	AOTA N	10.65996

2.3.3. Análisis dinámico no lineal – período de retorno = 2500 años

El escalamiento de los sismos se puede observar en el [Anexo 5](#). Los valores de los factores Fcs, escalados a los períodos correspondientes, fueron los siguientes:

Tabla 2.3. Valores de Fcs

Pórtico 1		Pórtico 2		Pórtico 3	
Sismos	Fcs	Sismos	Fcs	Sismos	Fcs
AGYE N	54.12443	AGYE N	63.24508	AGYE N	50.85860
PRAM N	22.25224	PRAM N	20.05632	PRAM N	25.82225
AOTA N	14.70284	AOTA N	12.24341	AOTA N	13.32287

2.4. Análisis *Pushover*

El análisis *Pushover* es un método de análisis estático no lineal (AENL), que consiste en que, sobre una estructura, actúen primero las cargas gravitatorias para que se produzcan las primeras deformaciones y luego actúen las cargas laterales con el fin de que se incrementen en el tiempo, en una dirección dada, hasta que se forme una primera rótula plástica y se presente una redistribución de rigidez en la estructura, siguiendo así el proceso iterativamente hasta que la estructura llegue a fallar totalmente. Así, se obtiene una gráfica que muestra el cortante basal V, relacionado con el desplazamiento al nivel superior (Rodríguez, 2013).

Con los pórticos seleccionados se realizó la modelación en el software libre OpenSees, contando con la información requerida en el análisis modal, más las acciones gravitacionales permanentes y las acciones laterales que se obtuvieron mediante la iteración de varias cargas que se aplicaron sobre la estructura hasta encontrar un valor de desplazamiento máximo, impuesto para el análisis.

También se calculó el cortante basal de diseño, el cual sirvió para comparar con el análisis *pushover*, de donde se obtiene la máxima capacidad de soportar el cortante basal al que se afectaría la estructura, para diseños con períodos de retorno de 475 y 2500 años.

A continuación se detallan los resultados del análisis:

2.4.1. Pórtico 1

Para cálculo del cortante basal de diseño, referirse al [Anexo 6](#).

El cortante basal V obtenido por la (NEC, 2014) fue:

$$V (475 \text{ años}) = 1969473.92 \text{ N}$$

$$V (2500 \text{ años}) = 2410636.07 \text{ N}$$

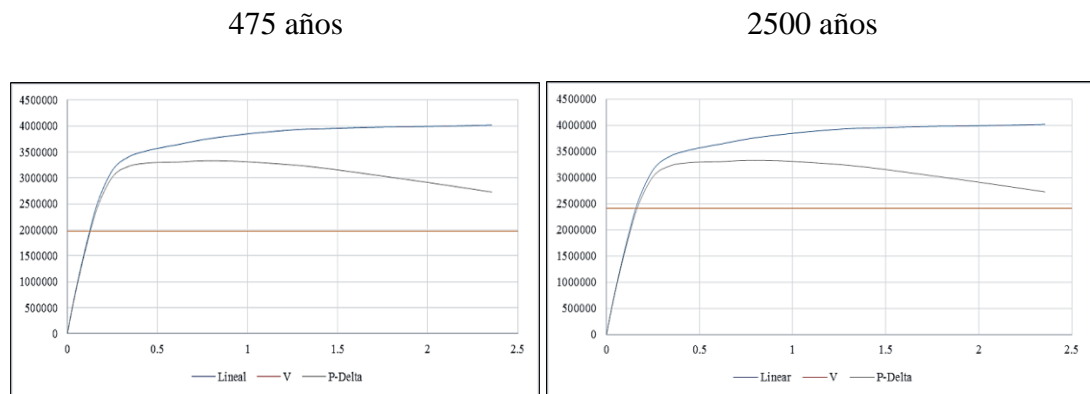


Figura 2.14. Curva *Pushover* con efectos lineal y P-Delta, y V (475 años y 2500 años) – pórtico 1

$$V_{pushover} = 3328360.00 \text{ N}$$

$$V (475 \text{ años}) = 1969473.92 \text{ N}$$

$$\% \text{ sobre resistencia} = 69.00\%$$

$$V (2500 \text{ años}) = 2410636.07 \text{ N}$$

$$\% \text{ sobre resistencia} = 38.07\%$$

2.4.2. Pórtico 2

Para cálculo del cortante basal de diseño, referirse al [Anexo 7](#).

El cortante basal V obtenido por la (NEC, 2014) fue:

$$V (475 \text{ años}) = 489756.94 \text{ N}$$

$$V (2500 \text{ años}) = 599462.50 \text{ N}$$

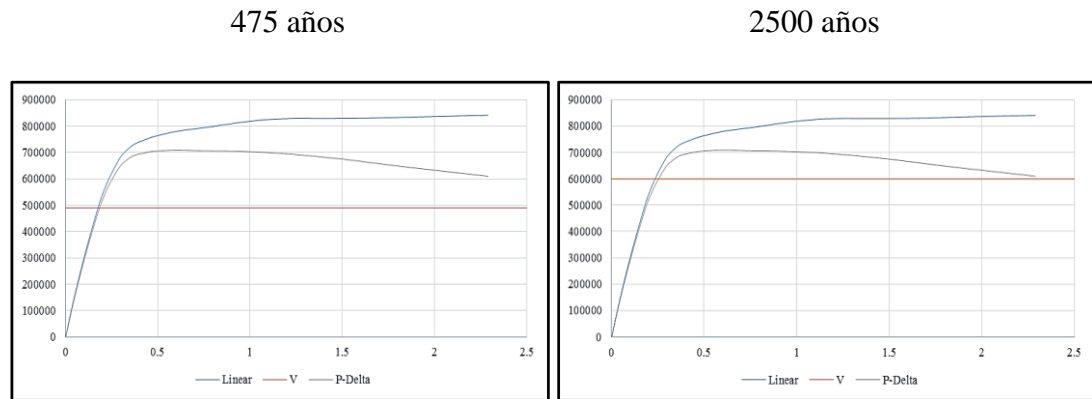


Figura 2.15. Curva *Pushover* con efectos lineal y P-Delta, y V (475 años y 2500 años) – pórtico 2

$$V_{pushover} = 708907.00 \text{ N}$$

$$V (475 \text{ años}) = 489756.94 \text{ N}$$

$$\% \text{ sobre resistencia} = 44.75\%$$

$$V (2500 \text{ años}) = 599462.50 \text{ N}$$

$$\% \text{ sobre resistencia} = 18.26\%$$

2.4.3. Pórtico 3

Para cálculo del cortante basal de diseño, referirse al [Anexo 8](#).

El cortante basal V obtenido por la (NEC, 2014) fue:

$$V (475 \text{ años}) = 1311531.93 \text{ N}$$

$$V (2500 \text{ años}) = 1605315.08 \text{ N}$$

475 años

2500 años

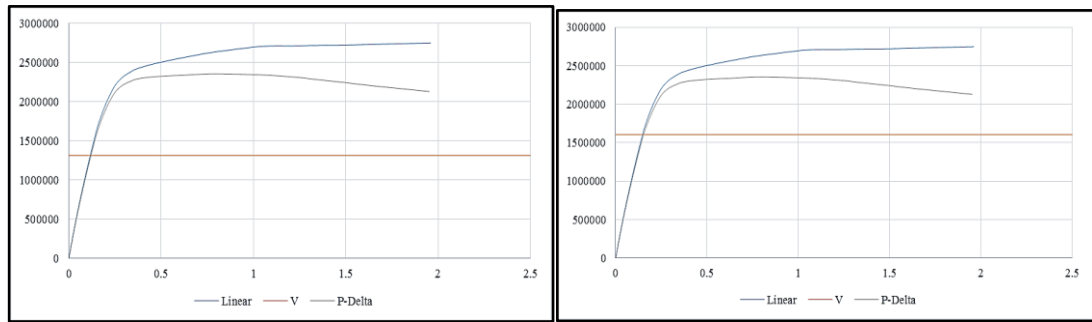


Figura 2.16. Curva *Pushover* con efectos lineal y P-Delta, y V (475 años y 2500 años) – pórtico 3

$$V_{pushover} = 2354270.00 \text{ N}$$

$$V(475 \text{ años}) = 1311531.93 \text{ N}$$

$$\% \text{ sobre resistencia} = 79.51\%$$

$$V(2500 \text{ años}) = 1605315.08 \text{ N}$$

$$\% \text{ sobre resistencia} = 46.65\%$$

2.5. Análisis de vibración libre

Referirse al [Anexo 9](#).

2.6. Análisis dinámico lineal

Se realizó la codificación en el software libre OpenSees, donde se ingresó los mismos datos considerados para el análisis modal, la carga gravitatoria y los sismos con su respectivo factor de escalamiento F_{cs} obtenido en la sección 2.3.

El escalamiento usado para este análisis fue el que se describió en la sección 2.3.1. El análisis arrojó los valores de las derivas elásticas de todos los pisos cuando se trabajó con inercias agrietadas con los coeficientes descritos en la NEC 2014, con la cual se calculó la deriva inelástica en base a la formulación descrita en la misma norma (2.1) y que expone lo siguiente:

$$\Delta_M = 0.75 \cdot R \cdot \Delta_E \quad (2.1)$$

Donde Δ_E es la deriva elástica obtenida de la programación en OpenSees, R el factor de reducción de resistencia y Δ_M la deriva inelástica.

Los resultados obtenidos fueron los siguientes:

Tabla 2.4. Derivas inelásticas de todos los pisos del pórtico 1 con los sismos analizados.

Sismo AGYE N		Sismo PRAM N		Sismo AOTA N	
planta 1	0.46%	planta 1	0.84%	planta 1	1.11%
planta 2	0.89%	planta 2	1.58%	planta 2	2.17%
planta 3	0.98%	planta 3	1.64%	planta 3	2.31%
planta 4	0.99%	planta 4	1.44%	planta 4	2.02%
planta 5	0.98%	planta 5	1.20%	planta 5	1.72%
planta 6	0.92%	planta 6	0.92%	planta 6	1.33%
planta 7	0.82%	planta 7	0.72%	planta 7	1.09%

Tabla 2.5. Derivas inelásticas de todos los pisos del pórtico 2 con los sismos analizados.

Sismo AGYE N		Sismo PRAM N		Sismo AOTA N	
planta 1	0.67%	planta 1	0.66%	planta 1	0.97%
planta 2	1.13%	planta 2	1.25%	planta 2	1.90%
planta 3	1.18%	planta 3	1.30%	planta 3	2.07%
planta 4	1.03%	planta 4	1.27%	planta 4	1.89%
planta 5	1.26%	planta 5	1.14%	planta 5	1.55%
planta 6	1.24%	planta 6	0.92%	planta 6	1.19%
planta 7	1.06%	planta 7	0.76%	planta 7	0.93%

Tabla 2.6. Derivas inelásticas de todos los pisos del pórtico 3 con los sismos analizados.

Sismo AGYE N		Sismo PRAM N		Sismo AOTA N	
planta 1	0.56%	planta 1	0.94%	planta 1	0.87%
planta 2	0.95%	planta 2	1.80%	planta 2	1.67%
planta 3	0.94%	planta 3	1.92%	planta 3	1.75%
planta 4	1.00%	planta 4	1.75%	planta 4	1.55%
planta 5	1.14%	planta 5	1.40%	planta 5	1.35%
planta 6	1.02%	planta 6	1.01%	planta 6	1.04%

2.7. Análisis dinámico no lineal

Tal como se describe en el marco teórico, el análisis dinámico no lineal es un método que 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 y disipar gran cantidad de energía sin llegar a colapsar.

Se realizó la modelación en el software libre OpenSees, donde se introdujeron los datos considerados para el análisis modal, la carga gravitatoria y los sismos con su respectivo factor de escalamiento F_{cs} obtenido en la sección 2.3. Para este análisis se pudieron

distinguir dos casos: el análisis para un período de retorno de 475 años y el análisis para un período de retorno de 2500 años, por lo que el escalamiento usado fue el que se describió en las secciones 2.3.2. y 2.3.3. respectivamente. El análisis arrojó los valores de las derivas inelásticas Δ_M de todos los pisos.

Los resultados fueron los que a continuación se detallan:

2.7.1. Para un período de retorno de 475 años

Los resultados fueron los siguientes:

Tabla 2.7. Derivas inelásticas de todos los pisos del pórtico 1 con los sismos analizados.

Sismo AGYE N		Sismo PRAM N		Sismo AOTA N	
planta 1	1.10%	planta 1	1.06%	planta 1	1.71%
planta 2	1.70%	planta 2	1.76%	planta 2	2.99%
planta 3	1.88%	planta 3	1.87%	planta 3	3.10%
planta 4	1.87%	planta 4	1.54%	planta 4	2.46%
planta 5	1.79%	planta 5	1.15%	planta 5	1.61%
planta 6	1.70%	planta 6	0.77%	planta 6	1.05%
planta 7	1.68%	planta 7	0.74%	planta 7	0.79%

Tabla 2.8. Derivas inelásticas de todos los pisos del pórtico 2 con los sismos analizados.

Sismo AGYE N		Sismo PRAM N		Sismo AOTA N	
planta 1	1.68%	planta 1	1.07%	planta 1	1.48%
planta 2	2.23%	planta 2	1.83%	planta 2	2.70%
planta 3	1.94%	planta 3	1.77%	planta 3	2.86%
planta 4	1.93%	planta 4	1.70%	planta 4	2.39%
planta 5	2.05%	planta 5	1.42%	planta 5	1.75%
planta 6	1.72%	planta 6	1.12%	planta 6	1.21%
planta 7	1.24%	planta 7	0.89%	planta 7	0.81%

Tabla 2.9. Derivas inelásticas de todos los pisos del pórtico 3 con los sismos analizados.

Sismo AGYE N		Sismo PRAM N		Sismo AOTA N	
planta 1	1.18%	planta 1	1.14%	planta 1	1.98%
planta 2	1.93%	planta 2	1.90%	planta 2	3.17%
planta 3	2.02%	planta 3	2.06%	planta 3	3.09%
planta 4	1.98%	planta 4	1.83%	planta 4	2.57%
planta 5	1.64%	planta 5	1.38%	planta 5	1.71%
planta 6	1.29%	planta 6	0.86%	planta 6	0.98%

2.7.2. Para un período de retorno de 2500 años

Los resultados fueron los siguientes:

Tabla 2.10. Derivas inelásticas de todos los pisos del pórtico 1 con los sismos analizados.

Sismo AGYE N		Sismo PRAM N		Sismo AOTA N	
planta 1	1.45%	planta 1	1.41%	planta 1	2.24%
planta 2	2.17%	planta 2	2.25%	planta 2	3.69%
planta 3	2.45%	planta 3	2.27%	planta 3	3.75%
planta 4	2.46%	planta 4	1.90%	planta 4	3.04%
planta 5	2.14%	planta 5	1.51%	planta 5	2.09%
planta 6	1.74%	planta 6	1.00%	planta 6	1.31%
planta 7	1.59%	planta 7	0.98%	planta 7	0.97%

Tabla 2.11. Derivas inelásticas de todos los pisos del pórtico 2 con los sismos analizados.

Sismo AGYE N		Sismo PRAM N		Sismo AOTA N	
planta 1	1.98%	planta 1	1.37%	planta 1	1.82%
planta 2	2.75%	planta 2	2.28%	planta 2	3.24%
planta 3	2.52%	planta 3	2.15%	planta 3	3.41%
planta 4	2.73%	planta 4	2.05%	planta 4	2.81%
planta 5	2.69%	planta 5	1.85%	planta 5	2.05%
planta 6	2.34%	planta 6	1.47%	planta 6	1.38%
planta 7	1.70%	planta 7	1.11%	planta 7	0.94%

Tabla 2.12. Derivas inelásticas de todos los pisos del pórtico 3 con los sismos analizados.

Sismo AGYE N		Sismo PRAM N		Sismo AOTA N	
planta 1	1.25%	planta 1	1.35%	planta 1	2.04%
planta 2	2.15%	planta 2	2.28%	planta 2	3.28%
planta 3	2.37%	planta 3	2.32%	planta 3	3.19%
planta 4	2.60%	planta 4	1.94%	planta 4	2.41%
planta 5	2.18%	planta 5	1.32%	planta 5	1.61%
planta 6	1.47%	planta 6	0.87%	planta 6	1.07%

2.8. Funcionalidad de las juntas constructivas

Antes de analizar las juntas existentes se realizó el cálculo de la junta según la (NEC, 2014), de donde se obtuvo el siguiente resultado:

Distancia Mínima de Separación

$$\Delta_E \geq 0.25\Delta_{Mup} + 0.005H_{ev}$$

$$\Delta_{Mup} \quad 41.13 \text{ cm}$$

$$H_{ev} \quad 22.90 \text{ m}$$

$$\Delta_E \quad 21.73 \text{ cm}$$

A continuación se detallan los desplazamientos máximos de los pórticos cuando se vean afectados por la presencia de cada uno de los sismos analizados y también las comprobaciones de funcionalidad de las juntas constructivas.

Tabla 2.13. Desplazamientos máximos de las estructuras y funcionalidad de las juntas

Período de retorno = 475 años	Sismo AGYE N	Pórtico 1 → $\Delta_M = 1.88\%$ → $d_1 = 6.02$ cm	Choque de pórticos 1 y 2: $d_1 + d_2 < 10$ cm 13.15 cm
		Pórtico 2 → $\Delta_M = 2.23\%$ → $d_2 = 7.14$ cm	
		Pórtico 3 → $\Delta_M = 2.02\%$ → $d_3 = 6.46$ cm	Choque de pórticos 2 y 3: $d_2 + d_3 < 10$ cm 13.60 cm
	Sismo PRAM N	Pórtico 1 → $\Delta_M = 1.87\%$ → $d_1 = 5.98$ cm	Choque de pórticos 1 y 2: $d_1 + d_2 < 10$ cm 11.84 cm
		Pórtico 2 → $\Delta_M = 1.83\%$ → $d_2 = 5.86$ cm	
		Pórtico 3 → $\Delta_M = 2.06\%$ → $d_3 = 6.59$ cm	Choque de pórticos 2 y 3: $d_2 + d_3 < 10$ cm 12.45 cm
	Sismo AOTA N	Pórtico 1 → $\Delta_M = 3.10\%$ → $d_1 = 9.92$ cm	Choque de pórticos 1 y 2: $d_1 + d_2 < 10$ cm 19.07 cm
		Pórtico 2 → $\Delta_M = 2.86\%$ → $d_2 = 9.15$ cm	
		Pórtico 3 → $\Delta_M = 3.17\%$ → $d_3 = 10.14$ cm	Choque de pórticos 2 y 3: $d_2 + d_3 < 10$ cm 19.30 cm
Período de retorno = 2500 años	Sismo AGYE N	Pórtico 1 → $\Delta_M = 2.46\%$ → $d_1 = 7.87$ cm	Choque de pórticos 1 y 2: $d_1 + d_2 < 10$ cm 16.67 cm
		Pórtico 2 → $\Delta_M = 2.75\%$ → $d_2 = 8.80$ cm	
		Pórtico 3 → $\Delta_M = 2.60\%$ → $d_3 = 8.32$ cm	Choque de pórticos 2 y 3: $d_2 + d_3 < 10$ cm 17.12 cm
	Sismo PRAM N	Pórtico 1 → $\Delta_M = 2.27\%$ → $d_1 = 7.26$ cm	Choque de pórticos 1 y 2: $d_1 + d_2 < 10$ cm 14.56 cm
		Pórtico 2 → $\Delta_M = 2.28\%$ → $d_2 = 7.30$ cm	
		Pórtico 3 → $\Delta_M = 2.28\%$ → $d_3 = 7.30$ cm	Choque de pórticos 2 y 3: $d_2 + d_3 < 10$ cm 14.59 cm
	Sismo AOTA N	Pórtico 1 → $\Delta_M = 3.75\%$ → $d_1 = 12.00$ cm	Choque de pórticos 1 y 2: $d_1 + d_2 < 10$ cm 22.91 cm
		Pórtico 2 → $\Delta_M = 3.41\%$ → $d_2 = 10.91$ cm	
		Pórtico 3 → $\Delta_M = 3.28\%$ → $d_3 = 10.50$ cm	Choque de pórticos 2 y 3: $d_2 + d_3 < 10$ cm 21.41 cm

CAPÍTULO III

MEDIDAS DE MITIGACIÓN

3.1. Estrategias de rehabilitación

Como se describió anteriormente, las estructuras esenciales deberán diseñarse para que trabajen ininterrumpidamente en caso de que se presenten amenazas identificadas, como las amenazas sísmicas tratadas puntualmente en este trabajo. El problema ocurre cuando se analiza estructuras antiguas, donde solamente se puede analizar la edificación para conocer las condiciones en las que se encuentra, y si está preparada para resistir las amenazas sísmicas, mas no proveer un diseño que refleje el comportamiento futuro dentro de la funcionalidad continua.

Los análisis realizados por (Vintimilla & Fajardo, 2016) dieron a conocer los riesgos que correría la estructura en caso de que se presenten las amenazas identificadas, por lo que el análisis actual da cuenta de las estrategias de rehabilitación que se pudieran aplicar para lograr que la edificación se comporte de mejor manera.

En base a la (NEC, 2014), la rehabilitación se puede lograr con la implantación de medidas de rehabilitación que puedan solventar las deficiencias identificadas en el proceso de levantamiento de información. Una de las estrategias que permite la norma y que garantiza que la estructura trabaje dentro del rango de funcionalidad continua (Zayas, 2017), es el aislamiento sísmico, es decir, el uso de aisladores sísmicos con capacidad suficiente para minimizar el daño en la estructura, tanto para los componentes estructurales como no estructurales.

3.2. Aisladores elastoméricos con núcleo de plomo

Los aisladores elastoméricos con núcleo de plomo, están conformados por láminas de caucho natural intercaladas con placas de acero, las cuales son vulcanizadas entre sí y poseen un núcleo de plomo que aumenta su capacidad de amortiguamiento. El amortiguamiento logrado con la inclusión del núcleo de plomo es del 20% o mayor. Estos dispositivos son fabricados a medida para cada proyecto, de acuerdo a la rigidez horizontal, rigidez vertical, desplazamiento, capacidad de carga y capacidad de amortiguamiento requerida (Aguilar, Vergara, Guaygua, & Monge, 2014).

3.3. Prediseño del aislador

Los aisladores elastoméricos con núcleo de plomo necesitan una serie de factores que, para mayor facilidad, se tomaron de un catálogo, del que se fueron probando cada uno de ellos hasta encontrar el que mejor se comporte con las estructuras analizadas. El factor principal para su comprobación fue el período, que según (Guamán, 2017), debe aumentar de 2 a 2.5 segundos al usar aislamiento sísmico.

A continuación se presenta el catálogo de donde se obtuvieron los aisladores, que fueron probados uno a uno hasta encontrar el más conveniente para la edificación.

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

Figura 3.1. Catálogo de aisladores elastoméricos con núcleo de plomo

(Guamán, 2017)

Se realizó la modelación en el software libre OpenSees, utilizando la modelación dinámica no lineal descrita en la sección 2.7.2., pero incluyendo el efecto del aislador, de donde se obtuvo el siguiente resultado:

Tabla 3.1. Propiedades del aislador elegido

Parámetros del Aislador	
D:	Diámetro del aislador 30.50 cm
Dp:	Diámetro del núcleo de plomo 5.00 cm
H:	Altura del aislador 28.00 cm
gr:	Módulo de corte del caucho 55.00 psi
tp:	Límite de fluencia del núcleo de plomo 1.30 ksi
α:	Módulo de corte del núcleo de plomo 85.00 psi
β:	Razón entre las rigideces inicial y de fluencia 10.00

Donde las propiedades gr , tp , α y β se tomaron de (ASCE 7, 2010) (International Code Council, 2012).

Cabe mencionar que los períodos naturales de las estructuras aumentaron considerablemente, dentro del rango para el que se prediseñó, como se puede observar en los siguientes resultados:

- Pórtico 1: T (sin aislamiento) = 1.08 s; **T (con aislamiento) = 2.08 s**
- Pórtico 2: T (sin aislamiento) = 1.20 s; **T (con aislamiento) = 2.06 s**
- Pórtico 3: T (sin aislamiento) = 1.02 s; **T (con aislamiento) = 2.00 s**

3.4. Cálculo de derivas considerando aislamiento sísmico

Las derivas usando el aislamiento sísmico disminuyeron considerablemente como se indica a continuación:

Tabla 3.2. Derivas de piso del pórtico 1 con los sismos analizados

AGYE N		PRAM N		AOTA N	
planta 1	0.28%	planta 1	0.21%	planta 1	0.14%
planta 2	0.42%	planta 2	0.36%	planta 2	0.25%
planta 3	0.46%	planta 3	0.43%	planta 3	0.34%
planta 4	0.46%	planta 4	0.43%	planta 4	0.37%
planta 5	0.41%	planta 5	0.38%	planta 5	0.33%
planta 6	0.31%	planta 6	0.28%	planta 6	0.25%
planta 7	0.24%	planta 7	0.23%	planta 7	0.20%

Tabla 3.3. Derivas de piso del pórtico 2 con los sismos analizados

AGYE N		PRAM N		AOTA N	
planta 1	0.33%	planta 1	0.18%	planta 1	0.16%
planta 2	0.57%	planta 2	0.31%	planta 2	0.32%
planta 3	0.62%	planta 3	0.42%	planta 3	0.40%
planta 4	0.58%	planta 4	0.45%	planta 4	0.39%
planta 5	0.55%	planta 5	0.44%	planta 5	0.38%
planta 6	0.45%	planta 6	0.37%	planta 6	0.34%
planta 7	0.33%	planta 7	0.28%	planta 7	0.28%

Tabla 3.4. Derivas de piso del pórtico 3 con los sismos analizados

AGYE N		PRAM N		AOTA N	
planta 1	0.23%	planta 1	0.22%	planta 1	0.14%
planta 2	0.36%	planta 2	0.37%	planta 2	0.25%
planta 3	0.38%	planta 3	0.42%	planta 3	0.31%
planta 4	0.38%	planta 4	0.39%	planta 4	0.33%
planta 5	0.32%	planta 5	0.32%	planta 5	0.33%
planta 6	0.23%	planta 6	0.22%	planta 6	0.26%

3.5. Cálculo del desplazamiento del aislador

Dependiendo del sismo que se analice, los aisladores presentaron los siguientes desplazamientos con respecto a su propio eje:

3.5.1. Sismo AGYE N

Pórtico 1: 66.13 cm

Pórtico 2: 68.46 cm

Pórtico 3: 50.74 cm

3.5.2. Sismo PRAM N

Pórtico 1: 34.18 cm

Pórtico 2: 28.08 cm

Pórtico 3: 40.04 cm

3.5.3. Sismo AOTA N

Pórtico 1: 21.05 cm

Pórtico 2: 15.53 cm

Pórtico 3: 18.85 cm

Por lo que, si se analiza la funcionalidad de las juntas, es evidente que son insuficientes en el caso de que se presenten esos desplazamientos, ya que sus claros son de 10 cm.

CAPÍTULO IV

ANÁLISIS PRESUPUESTARIO

4.1. Presupuesto conceptual del “Hospital Regional Vicente Corral Moscoso”

El presupuesto conceptual consiste en realizar una estimación del costo que tendría el bloque analizado de la entidad hospitalaria, se consideró un promedio del precio por metro cuadrado de hospitales del IESS, cuyo valor fue expuesto por el presidente del Consejo Directivo del IESS, Sr. Richard Espinosa (El Telégrafo, 2016), y se puede observar en la siguiente tabla:

Tabla 4.1. Precio por metro cuadrado de hospitales del IESS

PRECIO POR METRO CUADRADO DE HOSPITAL	
Hospitales del IESS	Dólares/m ²
Machala	\$ 1,639.00
Quevedo	\$ 2,645.00
Ceibos	\$ 1,618.00
Quito	\$ 1,182.50

El precio promedio aproximado por metro cuadrado del Hospital Regional Vicente Corral Moscoso sería de **\$1771.00**, en la tabla 4.2 se puede observar el costo del bloque analizado del hospital.



Figura 4.1. Planta tipo del bloque analizado

(Vintimilla & Fajardo, 2016)

Tabla 4.2. Presupuesto Conceptual de la Entidad Hospitalaria.

Presupuesto Conceptual			
Planta	Área (m2)	Precio(\$/m2)	Precio (\$)
Planta Baja	1711.66	\$ 1,771.00	\$ 3,031,349.86
1 Planta Alta	1711.66	\$ 1,771.00	\$ 3,031,349.86
2 Planta Alta	1711.66	\$ 1,771.00	\$ 3,031,349.86
3 Planta Alta	1711.66	\$ 1,771.00	\$ 3,031,349.86
4 Planta Alta	1711.66	\$ 1,771.00	\$ 3,031,349.86
5 Planta Alta	1711.66	\$ 1,771.00	\$ 3,031,349.86
6 Planta Alta	1711.66	\$ 1,771.00	\$ 3,031,349.86
Precio Total			\$21,219,449.02

4.2. Presupuesto del aislador

Según (Anrango, 2015), se puede estimar el costo de los aisladores mediante la figura 4.2, cuyo valor varía desde los 5000 hasta los 60000 dólares americanos dependiendo del tamaño.

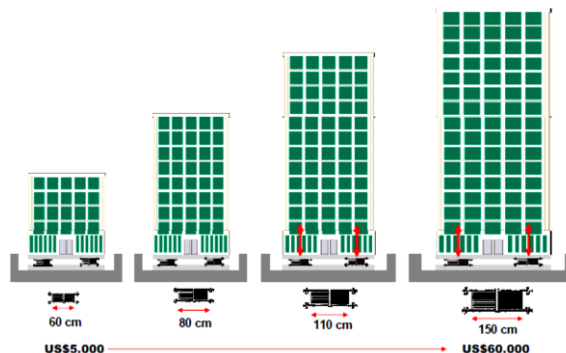


Figura 4.2. Estimación de costos para los aisladores según su tamaño

(Anrango, 2015)

El tamaño del aislador aplicado en el presente trabajo oscila entre los 60 cm, es así que podemos considerar el costo del aislador en unos 5000 dólares, a este valor se le debe aumentar el costo de instalación que dependerá del tipo de estructura y el modo de aplicación, que es único para cada proyecto.

Este presupuesto tomará en cuenta un incremento al valor del aislador de un 50%, debido al costo de instalación, es así que se considerará un valor de 7500 dólares por cada aislador. Se puede observar en la siguiente tabla el costo aproximado de los aisladores en el bloque analizado del Hospital.

Tabla 4.3. Presupuesto de los Aisladores.

PRESUPUESTO DE LOS AISLADORES		
Número de Aisladores	Precio/Aislado	Precio Total
44	\$ 7,500.00	\$ 330,000.00

4.3. Resultados y comparación

El presupuesto conceptual del hospital resultó ser de \$21`219.449,02 frente al presupuesto referencial de la implementación de los aisladores que es de \$330.000,00. Podemos decir en este proyecto que las implementaciones de los aisladores representan un 1.56% el valor del presupuesto del hospital.

CONCLUSIONES

- El Hospital Regional “Vicente Corral Moscoso” fue analizado en una primera etapa por las ingenieras Carla Vintimilla y Adriana Fajardo, que da cuenta de la alta vulnerabilidad que tiene la edificación por la calidad de los materiales.
- Luego de realizar el análisis dinámico lineal para un período de retorno de 475 años, se comprobó que las resistencias obtenidas en la primera etapa no son aptas para un edificio esencial, lo que se ve reflejado en que las derivas máximas inelásticas de cada piso están al límite de lo estipulado en la Norma Ecuatoriana de la Construcción NEC 2014.
- En base al análisis *pushover* realizado para períodos de retorno de 475 y 2500 años, se determinó que la estructura tiene una sobre resistencia de 44% y 18% respectivamente, en comparación al cortante basal de diseño.
- Después de realizar el análisis dinámico no lineal para los períodos de retorno que exige la norma, es decir de 475 y 2500 años, se determinaron las derivas máximas de cada piso, reflejando que la estructura no cumple con lo estipulado y que, en caso de que se presenten sismos con períodos de retorno detallados, la estructura presentaría deformación residual luego de los eventos, por lo que no cumpliría con el criterio de funcionalidad continua.
- Se comprobó que las juntas que tiene la estructura son insuficientes en separación con respecto a la junta de diseño, pero debido a la antigüedad de la edificación, no existe información de un correcto diseño sismo resistente que sea comparable con lo que estipula la norma actual.
- Los desplazamientos máximos obtenidos manifiestan que se presentará martilleo entre las estructuras analizadas, principalmente por el pórtico intermedio, donde el período de vibración es mayor a los otros dos.
- Luego de analizar la estructura con aislamiento sísmico, se comprobó que ésta cumple con los requerimientos de la norma respecto a las derivas máximas inelásticas de cada piso, gracias a que se obtuvo un aumento considerable en el período natural de vibración de la edificación, sin embargo, las juntas entre los bloques es insuficiente con respecto a los desplazamientos de los aisladores.
- Finalmente, habiendo realizado el análisis costo – beneficio, se concluye que se debe implementar los dispositivos de aislamiento sísmico, si se considera el punto de vista económico, representa 1.56% del costo del bloque analizado.

RECOMENDACIONES

- Se recomienda dejar abierto el proceso del análisis dinámico no lineal, considerando la implementación de disipación de energía, para ver el comportamiento de la estructura, sobre todo en lo relacionado a las juntas constructivas.
- En el caso de que no se implementen técnicas de reforzamiento, se recomienda disminuir la masa de la estructura, para así atenuar el efecto del martilleo entre los pórticos adyacentes, liberando los pisos superiores.
- La norma y autoridades encargadas de la aprobación de proyectos de construcción de estructuras esenciales, especialmente hospitales y centros de salud, deberán exigir diseños que garanticen que éstas se mantengan dentro del criterio de funcionalidad continua, ante la presencia de cualquier tipo de amenaza.
- Se debería afrontar los problemas con los hospitales y centros de salud existentes, para saber si es factible continuar con grandes inversiones en ellas o demolerlas y construir edificaciones nuevas que cumplan con todos los requerimientos expuestos en las normas analizadas.

BIBLIOGRAFÍA

ACI 440.2R. (2008). *Guide for the Design and Construction of Externally Bonded FRP Systems. American Concrete Institute ACI Committee 440.*

Aguilar, R., Vergara, F., Guaygua, B., & Monge, J. (2014). ANÁLISIS SÍSMICO DE UNA ESTRUCTURA CON AISLADORES FPS DE PRIMERA Y SEGUNDA GENERACIÓN Y ELASTOMÉRICOS CON NÚCLEO DE PLOMO. Retrieved from https://www.researchgate.net/profile/Roberto_Aguilar2/publication/277813054_ANALISIS_SISMICO_DE_UNA_ESTRUCTURA_CON_AISLADORES_FPS_DE_PRIMERA_Y_SEGUNDA_GENERACION_Y_ELASTOMERICOS_CON_NUCLEO_DE_PLOMO/links/5574163708aeacff1ffcac9f/ANALISIS-SISMICO-DE-UNA-EST

Anrango, M. (2015). ANÁLISIS Y REDISEÑO DE LA CIMENTACIÓN DE UN EDIFICIO EN ACERO CON AISLADORES SÍSMICOS “BLOQUE-E DEL HOSPITAL REGIONAL DE AMBATO” MODELAMIENTO EN EL PROGRAMA ETABS.

ASCE 7. (2010). *Minimum Design Load Requirements.*

Comité ACI 318. (2008). Requisitos de Reglamento para Acero para Acero Estructural ACI-318S-08. Retrieved from https://www.academia.edu/10778655/ACI-318-08_Español

El Telégrafo. (2016). Espinosa desmiente información de sobrepuestos en construcción de hospitales del IESS Esta noticia ha sido publicada originalmente por Diario EL TELÉGRAFO bajo la siguiente dirección: <http://www.eltelegrafo.com.ec/noticias/politica/2/espinosa-desmiente-in>. Retrieved from <http://www.eltelegrafo.com.ec/noticias/politica/2/espinosa-desmiente-informacion-falsa-de-sobrepuestos-en-construccion-de-hospitales-del-iess>

FEMA 356. (2000). Prestandard and Commentary for the Seismic Rehabilitation of Buildings. *Rehabilitation Requirements*, (1), 1–518.

Franco, J. (2016). Análisis del sismo en Ecuador (Pedernales) del 16 de abril de 2016.

Guamán, M. (2017). *COMPARACIÓN DEL COMPORTAMIENTO ESTRUCTURAL DEL EDIFICIO DE AULAS DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA, UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR, EMPLEANDO EL MÉTODO TRADICIONAL (NEC-14) Y EL MÉTODO DE AISLACIÓN SÍSMICA.*

International Code Council, I. (2012). *International Building Code.*

<https://doi.org/10.4037/ccn2016665>

Lasagni, F. (2015). Análisis Modal | CATEC. Retrieved June 30, 2017, from

<http://www.catec.aero/materiales-y-procesos/lisis-modal.htm>

NEC, P. S. (2014). *Norma Ecuatoriana de la Construcción.*

OPS; OMS. (1996). Conferencia Internacional sobre Mitigación de Desastres en Instalaciones de Salud. Retrieved from

http://www.paho.org/disasters/index.php?option=com_content&view=article&id=664:international-conference-on-disaster-mitigation-in-health-facilities&Itemid=924&lang=es

OPS; OMS. (2010). PLAN DE ACCIÓN DE HOSPITALES SEGUROS. *OMS-OPS. Washington, DC.*

Rodríguez, D. (2013). Análisis estático no lineal. Retrieved from

<http://civilgeeks.com/wp-content/uploads/2013/09/Método-Pushover-Análisis-Estático-No-Lineal-AENL.pdf>

Vintimilla, C., & Fajardo, A. (2016). Evaluación estructural de la entidad hospitalaria “ Hospital Vicente Corral Moscoso ” de la ciudad de Cuenca – provincia del Azuay para cuantificar las amenazas y vulnerabilidad de la edificación hospitalaria.

Zayas, V. (2017). Estándar de Aislamiento Sísmico para la Funcionalidad Continua, 1–35.