



UNIVERSIDAD DEL AZUAY

FACULTAD DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA

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

**ANÁLISIS DINÁMICO NO LINEAL DEL “HOSPITAL
AIDA LEÓN DE RODRÍGUEZ LARA” (GIRÓN),
MEDIDAS DE MITIGACIÓN Y REFUERZO PARA
DISMINUIR SU VULNERABILIDAD ESTRUCTURAL**

**TRABAJO DE GRADUACIÓN PREVIO LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE
INGENIERO CIVIL CON MENCIÓN EN GERENCIA DE
CONSTRUCCIONES**

AUTOR

ADRIÁN ALEJANDRO GUAMÁN BUESTÁN

JOSÉ FERNANDO VÁZQUEZ CALERO

DIRECTOR

CUENCA, ECUADOR

2017

DEDICATORIA

Este trabajo va dedicado a Dios, por permitirme respirar todos los días, guiar mi camino, brindándome enseñanzas y la fortaleza necesaria para superar las pruebas que se interpongan en esta larga travesía en mi vida. Dedicado a mis padres, por su comprensión, sus enseñanzas, sus sacrificios y dedicación que han puesto en mi para llegar hasta el día de hoy. Gratitud con ustedes es poco para lo que me han enseñado.

A mi madre Alicia que fue quien me dio la vida y en el corto tiempo que compartimos, estoy seguro que este logro es gracias a tu amor incondicional.

También dedicar a todos mis profesores que han compartido sus conocimientos y experiencias, a mis amigos que me han acompañado a lo largo de esta carrera que está llegando a su fin, desearles lo mejor y un hasta pronto.

AGRADECIMIENTOS

A mis padres Manuel y Beatriz que han sido un apoyo incondicional en todo momento, buenos y malos, muchas gracias por darme una hermana, que desde que nació fue mi mayor motivación para conseguir lo que ahora está cerca, ha sido un camino largo y ustedes siempre han estado allí, sin importar lo duro que a veces la vida golpea. No me alcanza estas cortas palabras para expresar mis agradecimientos, porque hoy culmino una meta más en mi existencia.

Además, mis más sinceros agradecimientos, al Ing. Francisco Flores, Ph.D., por su paciencia y tiempo para recibirnos cada día y solventar nuestras dudas, al Ing. José Vázquez que ha estado animándonos para lograr algo tan anhelado como es terminar mi carrera universitaria.

Gracias a todos ustedes.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

DEDICATORIA	ii
AGRADECIMIENTOS	iii
ÍNDICE DE CONTENIDOS	iv
ÍNDICE DE FIGURAS Y TABLAS	vi
ÍNDICE DE ANEXOS.....	viii
RESUMEN.....	ix
ABSTRACT.....	x
INTRODUCCION	11
ANTECEDENTES.....	13
OBJETIVO GENERAL.....	13
OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	13
METODOLOGÍA	14
ESTADO DEL ARTE Y MARCO TEÓRICO.....	14
Definiciones.....	15
CAPÍTULO I: RECOPIACIÓN DE INFORMACIÓN.....	16
1.1 Recopilación de información.....	16
1.2 Información Arquitectónica	17
CAPÍTULO II: MODELACIÓN DE LA ESTRUCTURA EN OPENSEES.....	18
2.1 Modelación de la estructura	18
2.2 Cargas Gravitacionales.....	19
2.2.1 Cargas vivas y muertas.....	20
2.2.2 Cargas aplicadas.....	20
2.3 Factor de importancia.....	20
2.4 Sismo de diseño.....	21
2.5 Análisis modal.....	23
2.6 Análisis Pushover.....	24
2.8 Escalamiento de sismos.....	26
2.8.2 Pórtico 1 – No lineal – 475 años.....	27
2.8.3 Pórtico 1 – No lineal – 2500 años	27
2.8.5 Pórtico 2 – No lineal – 475 años	27
2.8.6 Pórtico 2 – No lineal – 2500 años	27
2.8.8 Pórtico 3 – No lineal – 475 años	27

2.8.9	Pórtico 3 – No lineal – 2500 años	28
2.8.11	Pórtico 4 – No lineal – 475 años	28
2.8.12	Pórtico 4 – No lineal – 2500 años	28
2.9	Análisis dinámico lineal	28
2.10	Análisis dinámico no lineal	29
CAPÍTULO III: MEDIDAS DE MITIGACIÓN		35
3.1	Medidas de mitigación	35
3.2	Aisladores sísmicos	36
CAPÍTULO IV: ANÁLISIS PRESUPUESTARIO		38
4.1	Presupuesto conceptual del hospital	38
4.2	Presupuesto de los aisladores sísmicos	39
CONCLUSIONES		41
RECOMENDACIONES.....		42
BIBLIOGRAFÍA.....		43

ÍNDICE DE FIGURAS Y TABLAS

FIGURAS

Figura 2.1 Geometría pórtico 1	18
Figura 2.2 Geometría pórtico 2	18
Figura 2.3 Geometría pórtico 3	18
Figura 2.4 Geometría pórtico 4	19
Figura 2.5 Espectro GYE-N	21
Figura 2.6 Espectro PRAM-N	21
Figura 2.7 Espectro ALAT-N	21
Figura 2.8 Espectro de diseño	22
Figura 2.9 Espectro de respuesta 475 años	22
Figura 2.10 Espectro de diseño	23
Figura 2.11 Curva pushover pórtico 1	24
Figura 2.12 Curva Pushover pórtico 2	25
Figura 2.13 Curva pushover pórtico 3	25
Figura 2.14 Curva Pushover pórtico 4	26
Figura 2.15 Derivas AGYE – N – 1 – 475	30
Figura 2.16 Derivas PRAM – N – 1 – 475	30
Figura 2.17 Derivas ALAT – N – 1 – 475	30
Figura 2.18 Derivas AGYE-N – 2 – 475	31
Figura 2.19 Derivas PRAM – N – 2 – 475	31
Figura 2.20 Derivas ALAT – N – 2 – 475	31
Figura 2.21 Derivas AGYE – N – 3 – 475	32
Figura 2.22 Derivas PRAM – N – 3 – 475	32
Figura 2.23 ALAT – N – 3 – 475	32
Figura 2.24 Derivas AGYE – N – 4 – 475	33
Figura 2.25 Derivas PRAM – N – 4 – 475	33
Figura 2.26 Derivas ALAT – N – 4 – 475	33
Figura 3.1 Aislador	35
Figura 3.2 Geometría de aislador	36
Figura 4.1 Estimación de costos	39

TABLAS

Tabla 2.1 Masas de pórticos	19
Tabla 2.2 Carga viva y muerta de norma.....	20
Tabla 2.3 Cargas vivas y muertas de pórticos	20
Tabla 2.4 Períodos de vibración	23
Tabla 2.5 Factor CC – pórtico 1 – 475 años	27
Tabla 2.6 Factor CC – pórtico 2 – 2500 años	27
Tabla 2.7 Factor CC – pórtico 2 – 475 años	27
Tabla 2.8 Factor CC – pórtico 2 – 2500 años	27
Tabla 2.9 Factor CC – pórtico 3 – 475 años	27
Tabla 2.10 Factor CC – pórtico 3 – 2500 años	28
Tabla 2.11 Factor CC – pórtico 4 – 475 años	28
Tabla 2.12 Factor CC – pórtico 4 – 2500 año.....	28
Tabla 2.13 Derivas máximas -1	29
Tabla 2.14 Derivas máximas - 2	29
Tabla 2.16 Derivas máximas – 4	29
Tabla 2.17 Derivas máximas – 1 – 475	31
Tabla 2.18 Deriva máximas – 2 – 475	32
Tabla 2.19 Derivas máximas – 3 – 475	33
Tabla 2.20 Derivas máximas – 4 – 475	34
Tabla 2.21 Derivas máximos con período de retorno 2500 años.....	34
Tabla 3.1 Catálogo aisladores	36
Tabla 3.2 Aislador.....	37
Tabla 3.3 Periodos de vibración	37
Tabla 3.4 Derivas con asiladores.....	37
Tabla 4.1 Áreas	38
Tabla 4.2 Costos referenciales	38
Tabla 4.3 Costo total de aisladores	39

ÍNDICE DE ANEXOS

- Anexos 1: Definiciones marco teórico
- Anexos 2: Plano arquitectónico y distribución
- Anexos 3: Secciones de columnas
- Anexos 4: Cálculo de cortante basal
- Anexos 5: Escalamiento de sismos

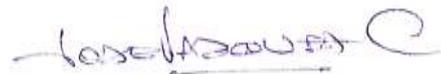
RESUMEN

Girón, cantón de la provincia del Azuay, cuenta con un hospital básico de una sola planta, que no fue construido con las normas que exigen el análisis y diseño de estructuras esenciales, entonces surge la necesidad de evaluar la vulnerabilidad de la entidad hospitalaria; a través de un análisis no lineal de la estructura, mediante la utilización del software libre Opensees, que permite analizar los pórticos de las estructuras, calculando sus derivas, y compararlos con lo exigido en la Norma Ecuatoriana de la Construcción. Se estableció medidas de mitigación con aisladores sísmicos, para disminuir derivas y establecer si es conveniente reforzar o resulta mejor la construcción de una nueva entidad hospitalaria que garantice la vida de los ocupantes, ante eventos catastróficos.

Palabras clave: entidad hospitalaria, vulnerabilidad, derivas, análisis no lineal, aisladores sísmicos.



José Fernando Vázquez Calero
Director del Trabajo de Titulación



José Fernando Vázquez Calero
Director de Escuela



Adrián Alejandro Guamán Buestán

Autor

NON-LINEAR DYNAMIC ANALYSIS OF AIDA LEON DE RODRIGUEZ LARA (GIRON) HOSPITAL; MITIGATION AND REINFORCEMENT MEASURES TO REDUCE ITS STRUCTURAL VULNERABILITY

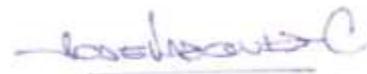
ABSTRACT

Giron, canton of the province of Azuay, has a single-storey basic hospital, which was not built under the standards required by the analysis and design of essential structures. This situation created the need to evaluate the vulnerability of the hospital building through a nonlinear analysis of the structure, using the Opensees free software, which allows the analysis of the frame structures, calculating their drifts, and comparing them with what is required in the Ecuadorian Construction Standard. Mitigation measures through seismic isolators were established in order to reduce drifts, and to determine if it is convenient to reinforce or improve the construction of a new hospital building that guarantees the life of the occupants in the face of catastrophic events.

Keywords: hospital building, vulnerability, drifts, nonlinear analysis, seismic isolators.



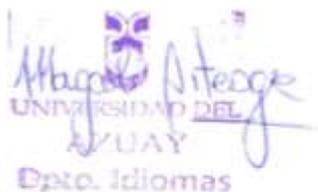
José Fernando Vázquez Calero
Thesis Director



José Fernando Vázquez Calero
School Director



Adrián Alejandro Guamán Buestán
Author



UNIVERSIDAD DEL AZUAY
Dpto. Idiomas



Translated by,
Lic. Lourdes Crespo

Guamán Buestán Adrián Alejandro

Trabajo de Titulación

Ing. José Fernando Vázquez Calero, Msc.

Julio, 2017

**“ANÁLISIS DINÁMICO NO LINEAL DEL HOSPITAL AIDA
LEÓN DE RODRÍGUEZ LARA (GIRÓN), MEDIDAS DE
MITIGACIÓN Y REFUERZO PARA DISMINUIR SU
VULNERABILIDAD ESTRUCTURAL”**

INTRODUCCION

La Organización Mundial de la Salud abreviada por sus siglas OMS, a raíz de los diferentes terremotos que han ocurrido en todo el mundo como en Japón, Chile, Haití, en 2008 empezó la campaña mundial Hospitales Seguros Frente a los Desastres, enfocándose en reducir el riesgo, proteger las instalaciones de salud y lo más importante, salvar vidas. En todo el mundo se han iniciado investigaciones en las entidades hospitalarias. Entonces, se inició la evaluación estructural de los hospitales en el austro ecuatoriano, como parte de una línea de investigación que abarca hospitales regionales, municipales, básicos, materno infantiles. Sin embargo, es necesario plantearse una interrogante, ¿Qué soluciones llevar a cabo para disminuir la vulnerabilidad de las entidades hospitalarias?

Los hospitales del austro no están diseñados para resistir un evento sísmico, con el terremoto de abril de 2016, quedó totalmente evidenciado que la irresponsabilidad de construir edificaciones sin ingeniería sismorresistente, fue lo que ocasionó cientos de muertes, con una fuerte mención en los hospitales que luego de ocurrido el evento, quedaron inservibles en su totalidad, cuando la norma los incluye como estructuras esenciales y/o peligrosas, el objetivo de esta clasificación implica que ante un evento de magnitudes considerables, puedan seguir brindando atención médica oportuna, es aquí donde el motivo del trabajo encuentra su razón de ser, ante una gran cantidad de establecimientos de salud construidos y en servicio, es importante tomar medidas para

el reforzamiento de cada estructura, garantizando que los hospitales luego de un desastre sísmico sigan funcionando a su máxima capacidad.

Existen diversos trabajos que se enfocan sobre el tema, uno de ellos es del Ing. Víctor Zayas, Ph.D., quién propone el diseño sismorresistente para la funcionalidad continua, que busca limitar el daño a las estructuras, la arquitectura y los contenidos a menos del 2% del costo total de reemplazo. Zayas indica tres criterios importantes de diseño, entre ellos: derivas máximas menores de tres por mil, diseño elástico de la estructura $R=1$ y aceleraciones medias del espectro del piso menor que $0.4g$. Para lograr los criterios especificados, Zayas establece un estándar de aislamiento sísmico para lograr la funcionalidad continua, que tiene como objetivos establecer normas para todo fabricante de aisladores, implicando calificaciones, factores de seguridad y tomando en cuenta el riesgo de colapso para las estructuras aisladas.

Diferentes normas en el mundo ya han implementado especificaciones que represente un Índice de Seguridad Hospitalario óptimo, a la hora de construir una entidad de estas características. Por ejemplo, en Lima, Perú, en su norma, exige que todo hospital, para ser construido, cuente con aisladores sísmicos, de lo contrario no se da paso a la aprobación de empezar la obra, de igual manera, Chile, ante sus sismos constantes, su norma es muy exigente, no sólo en hospitales sino en estructuras en general. Debe servir como ejemplo para todos los demás estados de la región, ya que así, la vida de los ciudadanos cuenta con más oportunidades ante desastres naturales.

Ante la presencia de diversas medidas de mitigación, lo que se quiere lograr con esta investigación es determinar la vulnerabilidad del hospital, obtener el resultado de un análisis no lineal, que determine el nivel de colapso que se produciría ante la eventual aparición de un sismo de magnitudes considerables. El alcance que se espera obtener con los resultados es de gran importancia y relevancia que signifique un gran aporte a la Ingeniería Civil y a la Comunidad Ecuatoriana.

ANTECEDENTES

La Norma Ecuatoriana de la Construcción, impone exigencias de manera rigurosa para las estructuras catalogadas como esenciales y/o peligrosas, en las que se encuentran incluidas los hospitales. Debido a que estas construcciones fueron realizadas con normativas desactualizadas, la vulnerabilidad podría incrementar y representar un riesgo continuo para sus ocupantes.

En base a la evaluación real y modelación del “Hospital Aida León de Rodríguez Lara”, realizada por el Egdo. Luis Bravo, basada en la norma vigente, significará un gran aporte para la investigación que se pretende ejecutar y proceder a la realización del análisis dinámico dentro del rango no lineal aplicando la normativa de la Federal Emergency Management Agency (FEMA 356, 2000).

OBJETIVO GENERAL

Realizar el análisis dinámico no lineal del “Hospital Aida León de Rodríguez Lara”, del cantón Girón, provincia del Azuay, para determinar medidas pertinentes de mitigación y reforzamiento.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Sistematizar la evaluación estructural disponible del “Hospital Aida León de Rodríguez Lara”.
- Realizar el análisis dinámico no lineal de la estructura de la edificación hospitalaria.
- Diseñar el reforzamiento y medidas de mitigación para la edificación hospitalaria.
- Realizar un análisis costo beneficio de las medidas evaluadas.

METODOLOGÍA

Se recolectará y se clasificará la información de la edificación hospitalaria, del trabajo de investigación previo realizado por el Egdo. Luis Bravo.

Se realizará el modelo matemático idealizado de la estructura mediante la utilización de software especializado y se analizará en el rango inelástico de la estructura. Se ingresarán las cargas de acuerdo a la normativa vigente. (NEC - Peligro Sísmico, 2014). Además, se analizarán las áreas de posible colapso parcial, progresivo y total.

Se seleccionarán medidas de reforzamiento y mitigación para disminuir la vulnerabilidad de la edificación hospitalaria.

Se obtendrá un presupuesto conceptual de la entidad hospitalaria dependiendo de su tipo y clasificación, se realizará el presupuesto mediante análisis de precios unitarios de las medidas de reforzamiento y mitigación seleccionadas, por último, se compararán los resultados de los presupuestos.

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 reales, en todos los aspectos de la reducción de riesgos. El sector salud debe 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 (México, 1996), varios hospitales han sido reforzados o construidos para ser resistentes, pero seguimos teniendo entidades de salud 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. (ACI 318, 2011)

Definiciones

Definiciones ver en Anexos 1.

CAPÍTULO I: RECOPIACIÓN DE INFORMACIÓN

1.1 Recopilación de información

En base a la información tomada de la investigación del egresado Luis Bravo en su tesis *Evaluación Estructural del " Hospital Aida León de Rodríguez Lara " del cantón Girón - provincia del Azuay, para cuantificar las amenazas y vulnerabilidad de la edificación hospitalaria*. Cuenca, Ecuador, se obtiene aspectos importantes que servirán para el desarrollo de la presente investigación.

La entidad hospitalaria se encuentra ubicada en el cantón Girón, provincia del Azuay, a 44 km con dirección al sur de Cuenca, a una altura de 2162 metros sobre el nivel del mar. Según el último censo de población y vivienda realizado en noviembre del 2010, el cantón cuenta con 12607 habitantes, de los cuales el 54.18% son de género femenino, mientras que, el restante es de género masculino correspondiente al 45,82%. . (Instituto Nacional de Estadísticas y Censos, 2010).

La construcción del “Hospital Aida León de Rodríguez Lara” se realiza a partir de la firma del Dr. José María Velasco Ibarra, iniciándose los procedimientos correspondientes para la construcción y la adquisición de los equipos necesarios para el funcionamiento. En 1971, con la presencia del presidente de ese entonces, el Gral. Guillermo Rodríguez Lara, se coloca la primera piedra. Al cabo de 3 años aproximadamente, el 20 de diciembre de 1974, el cantón Girón cuenta con su Hospital Básico, inaugurado con el nombre “Aida León de Rodríguez Lara”, en honor a la primera dama de esa época. Actualmente, este establecimiento brinda atención médica a los poblados de Girón, San Fernando, San Gerardo, La Asunción, Santa Isabel y Victoria del Portete.

Existe un centro de salud de primer nivel anexo al hospital. Este centro de salud cuenta con consultorios de odontología, medicina familiar, psicología, nutrición, además, de la unidad de vacunación que cubre a todos los pacientes en el hospital. El hospital tiene consultorios de pediatría, medicina interna, ginecología y cirugía. Dentro del área de hospitalización, está equipada con camas para pacientes de ginecología, medicina interna y cirugía, las cuales son separadas según el género del paciente. Además, la sala de pediatría cuenta con dos camas y dos cunas. Cabe mencionar que también posee una sala de aislamiento para cuando el caso así lo amerite.

Dentro del hospital existe también el área de quirófano, con zona de parto intercultural, además del área de apoyo y diagnóstico, que cuenta con rayos X y RX. Se cuenta con oficinas administrativas, farmacia, área de servicios, ésta última encargada de la cocina, comedor, sala de ropería, sala de alta tensión, vestidores para el personal que labora y la central de esterilización. En las inmediaciones, se encuentra un bunker, que, alberga el sistema de gas centralizado, contando con un cuarto para la disposición de desechos. También se tiene un área de lavandería y un cuarto de morgue.

1.2 Información arquitectónica

Según la investigación realizada por el Egdo. Luis Bravo, previas conversaciones con las autoridades respectivas del hospital, se obtuvo información como planes de emergencia, contingencia, etc. Además de obtener detalles arquitectónicos y de ingeniería que se detallarán en esta sección.

El hospital cuenta con un área de construcción de 1877m², esto se debe a una serie de ampliaciones que han variado la estructura original. El establecimiento se encuentra sobre un cuerpo de terreno plano a 4.8 metros por debajo de la vía de acceso principal, es por este motivo que le entidad hospitalaria no es visible desde la carretera principal.

El Hospital está construido con paredes de mampostería de ladrillo, enlucido de hormigón y revestimiento de pintura, se ha dado un buen mantenimiento a estos aspectos a través de los años desde su construcción. El material colocado en el piso es baldosa, en la mayoría de áreas del hospital. El cielo raso es de yeso, mientras que, la cubierta es de planchas de fibrocemento, que se encuentran instaladas en un sistema aporticado de celosías de acero sujetas a las columnas y vigas de la estructura principal, columnas y vigas son de hormigón armado. Están instaladas puertas de madera en cada consultorio, a excepción de las puertas de ingreso, que son de aluminio y vidrio con protecciones de hierro. En las ventanas se encuentra vidrio de 4 líneas con marco de aluminio, las cuales varían de transparente a semitransparente. Planos y detalles de construcción se encuentran en Anexos 2.

Según la investigación que realizó Luis Bravo, existen tres tipos de columnas en toda la estructura del hospital, a continuación, para las secciones y armados correspondientes ver detalle en Anexos 3.

CAPÍTULO II: MODELACIÓN DE LA ESTRUCTURA EN OPENSEES

2.1 Modelación de la estructura

Una vez concluida la revisión de la recopilación de información de la tesis realizada por el egresado Luis Enrique Bravo, se determinó la modelación y correspondiente análisis de cuatro pórticos del total de la estructura que conforman la entidad hospitalaria. Es importante mencionar que el hospital es de una sola planta con cubierta de acero en celosía. Los pórticos escogidos para el análisis corresponden a la construcción original, adecuaciones y ampliaciones que se hicieron después. El detalle de los pórticos se detalla a continuación:

- Pórtico 1: consta de 4 columnas de hormigón armado de 35x25cm con su respectiva viga de 20x30cm, con altura de piso de 2,30m.

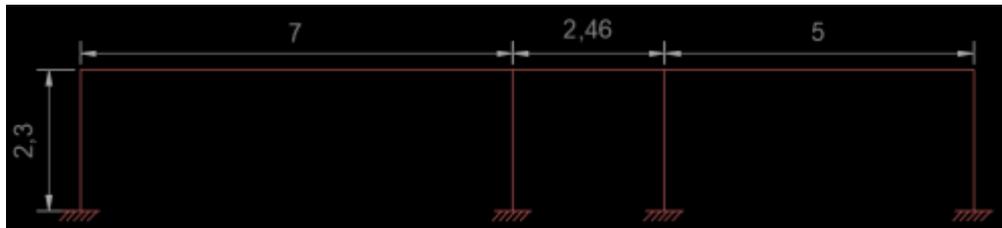


Figura 2.1 Geometría pórtico 1

- Pórtico 2: cuenta con 5 columnas construidas en hormigón armado de 35x25cm y viga de 20x30cm, altura de 2,85m.



Figura 2.2 Geometría pórtico 2

- Pórtico 3: con 3 columnas de 35x25cm y viga de 20x30cm, con $h=2,30$ m



Figura 2.3 Geometría pórtico 3

- Pórtico 4: formado con 7 columnas de 35x25cm y viga de 20x30cm. Su altura es de 2,85m.

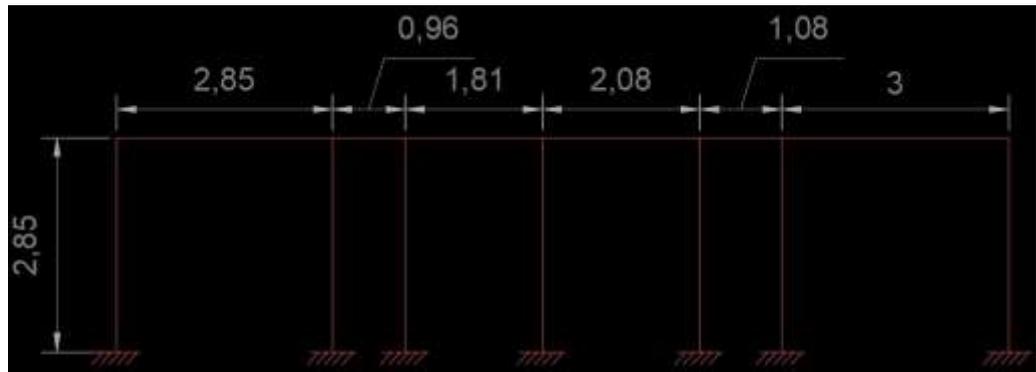


Figura 2.4 Geometría pórtico 4

Para la modelación de cada pórtico se utiliza el programa OpenSees que, es un software libre desarrollado por “PACIFIC EARTHQUAKE ENGINEERING RESEARCH CENTER”, que diferencia de los demás programas de simulación como lo son, ETABS, SAP, CYPE, etc., ya que su interfaz no es llamativa y consiste en códigos de programación para poder realizar los análisis respectivos.

2.2 Cargas gravitacionales

En una entidad hospitalaria las cargas gravitacionales consisten en las cargas vivas y cargas muertas que se encuentran aplicadas en la estructura. Sin embargo, en este caso, al ser de una sola planta, las cargas que se van a tener serán de la losa de cubierta del hospital y de la cubierta de acero.

Según la NEC, la carga muerta para una losa de cubierta es igual a 350 kg/cm^2 , mientras que la carga viva de cubierta equivale a 0.7 kN/m^2 . (NEC - Peligro Sísmico, 2014). Con las cargas gravitacionales establecidas para la estructura se obtiene la masa de la estructura estableciendo el área de carga tributaria de cada pórtico.

Tabla 2.1 Masas de pórticos

	A.T(m ²)	m1(tnf)	m2(tnf)	m3(tnf)	m4(tnf)
Pórtico 1	80.83	28.29	-	-	-
Pórtico 2	56.42	-	19.75	-	-
Pórtico 3	64.81	-	-	22.68	-
Pórtico 4	43.11	-	-	-	15.09

2.2.1 Cargas vivas y muertas

Las cargas vivas y muertas que se encuentran aplicadas sobre la estructura están determinadas por su ancho tributario y su respectiva unidad de carga, por lo tanto, en cada pórtico la carga distribuida estará de la siguiente manera:

Tabla 2.2 Carga viva y muerta de norma

Carga muerta	0.35	tnf/m ²
Carga viva	0.14	tnf/m ²

Fuente: (NEC, 2014)

Tabla 2.3 Cargas vivas y muertas de pórticos

	An.T(m)	CV(tnf/m)
Pórtico 1	5.59	0.7826
Pórtico 2	3.88	0.5432
Pórtico 3	5.53	0.7742
Pórtico 4	3.66	0.5124

	An.T(m)	CM(tnf/m)
Pórtico 1	5.59	1.96
Pórtico 2	3.88	1.36
Pórtico 3	5.53	1.94
Pórtico 4	3.66	1.28

2.2.2 Cargas aplicadas

Para el análisis elástico las cargas aplicadas solamente están conformadas por la totalidad de la carga muerta, mientras que para el análisis no lineal se aplica el total de la carga muerta más el 25% de la carga viva.

2.3 Factor de importancia

El factor de importancia que se utiliza para el espectro de diseño según la sección 4.1 (NEC - Peligro Sísmico, 2014), es la categorización de la edificación que se encuentra analizando, los hospitales, además de clínicas, bomberos, centros de salud están categorizados en estructuras esenciales y/o peligrosas con un $I = 1.5$.

2.4 Sismo de diseño

El sismo de diseño utilizado en este caso corresponde al de la norma, de la ciudad de Cuenca, ya que Girón no tiene un sismo de diseño exacto, por ende, el más próximo es el escogido, ya que se encuentra en la misma zona. Para el análisis dinámico lineal y no lineal, se escogen 3 sismos cualesquiera, en esta ocasión fueron: AGYE-N, PRAM-N, ALAT-N, estos sismos cuentan con sus respectivos espectros.

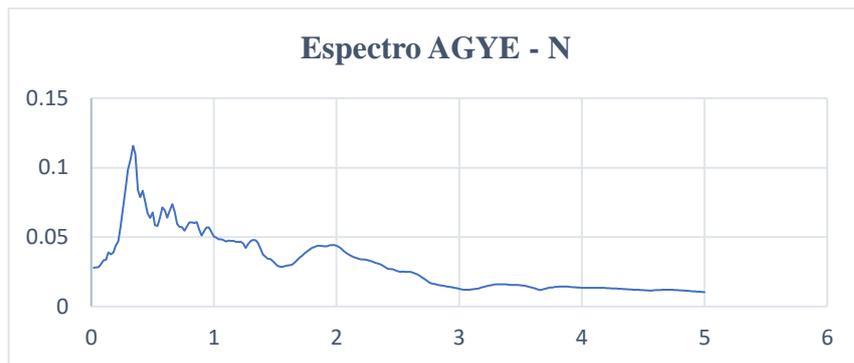


Figura 2.5 Espectro GYE-N



Figura 2.6 Espectro PRAM-N

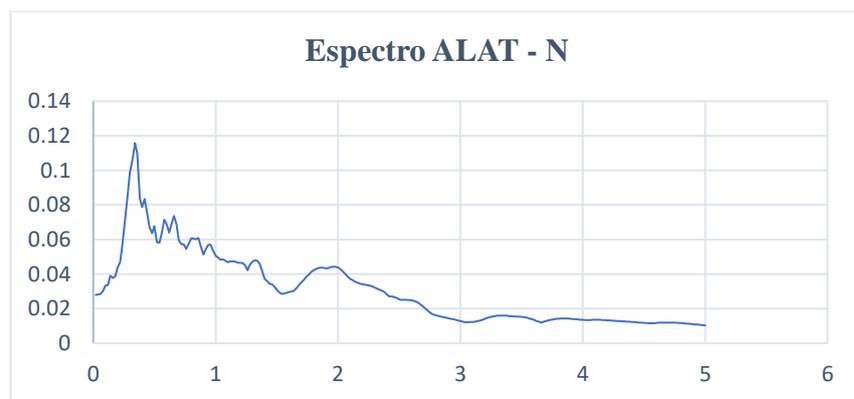


Figura 2.7 Espectro ALAT-N

Primero se realiza un análisis elástico con un período de retorno de 475 años, en donde $R=8$, para el cálculo de este espectro se determinó el valor de aceleración $z = 0.25$ tomada de la norma (NEC - Peligro Sísmico, 2014), entonces el espectro de diseño usado está en la figura 2.8.

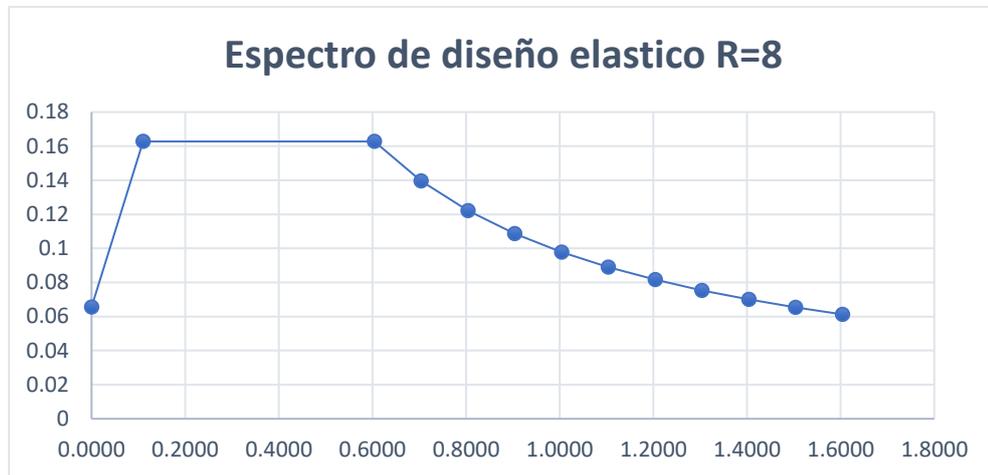


Figura 2.8 Espectro de diseño

Para el análisis dinámico no lineal el espectro de diseño cambia, se usa un $R=1$, dando como resultado el espectro de respuesta de la figura 2.9.

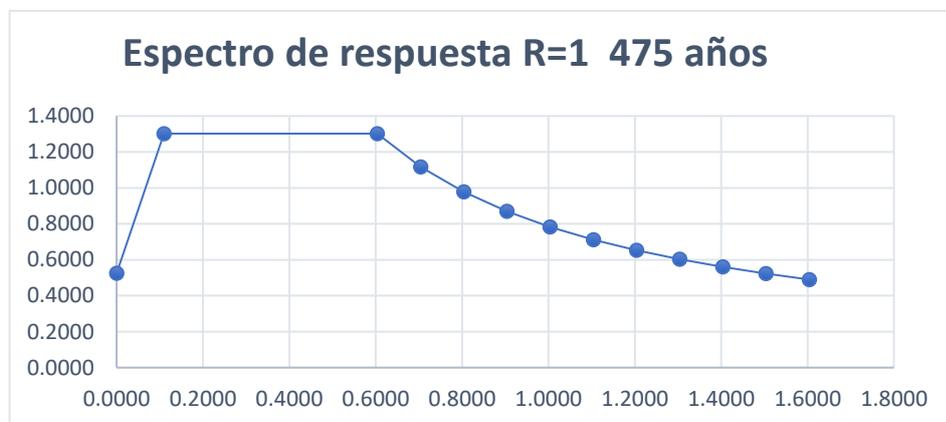


Figura 2.9 Espectro de respuesta 475 años

Se estableció un tercer sismo de diseño el cual corresponde para un período de retorno de $T=2500$ años, esto con la finalidad de analizar la estructura con este período. Entonces se obtuvo un nuevo z que es igual a 0.35, esto basado en la sección 3.1.2 (NEC - Peligro Sísmico, 2014). El nuevo sismo de diseño se detalla en la figura 2.10.

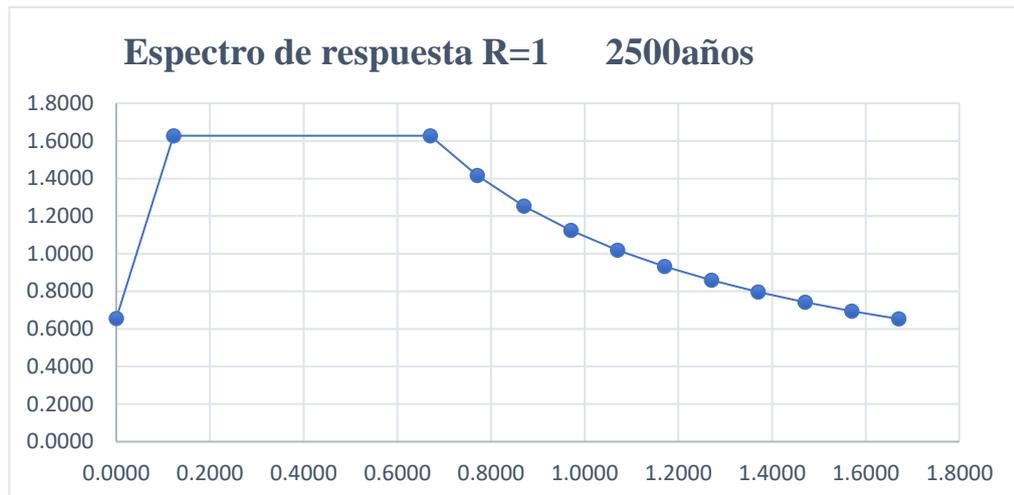


Figura 2.10 Espectro de diseño

2.5 Análisis modal

El análisis modal a través de Opensees, como en cualquier programa de modelación, permite determinar los modos de vibración y el período fundamental de la estructura. Es necesario tener la geometría de cada estructura, las resistencias de los hormigones usados en vigas y columnas, así como el armado de cada elemento estructural. Las resistencias en todos los análisis ya sea en vigas y en columnas es de 210 kg/cm^2 . En el programa se utiliza un código predeterminado por el software tanto para el hormigón y para las varillas, que son *Concrete01* y *Steel01*.

El análisis modal realizado en Opensees de los cuatro pórticos determinó diferentes períodos de vibración con sus respectivas frecuencias, éstas se detallan a continuación:

Tabla 2.4 Periodos de vibración

	T(s)	Freq(rad/s)
Pórtico 1	0.18	33.61
Pórtico 2	0.38	16.84
Pórtico 3	0.2	30.56
Pórtico 4	0.28	22.97

Los períodos obtenidos de todos los pórticos tienen un valor mínimo, esto se debe a que el hospital es de una sola planta y no tiene una correcta disposición de columnas. Estos valores sirven para el escalamiento de los sismos escogidos para esta investigación.

2.6 Análisis Pushover

Es un análisis sísmico no lineal que permite determinar la curva de capacidad de la estructura a través la aplicación de cargas. Para realizar el pushover en Opensees, se establece la geometría de cada pórtico, incluyendo las secciones y material de cada elemento estructural, agregando la transformación geométrica P-Delta, ya que nos encontramos realizando un no lineal, cabe recalcar que, el código del programa arroja resultados en las unidades de N/m. Para este análisis es necesario considerar las cargas de gravedad que se encuentran aplicadas de acuerdo a cada pórtico.

El resultado del pushover entrega datos para la curva de capacidad del pórtico 1, es necesario obtener el valor del cortante basal. Para el cálculo la fórmula de cortante se encuentra en la sección 6.3.2 de la norma (NEC - Peligro Sísmico, 2014). El cálculo de cortante basal de cada pórtico se detalla en Anexos 4.

- Pórtico 1

Aplicando la fórmula de la sección 6.3.2 de la norma, considerando período de retorno y sus factores correspondientes, el valor de cortante basal obtenido es de 76876.59 N. Ejecutando el análisis mediante OpenSees, la curva *pushover*, es la siguiente:

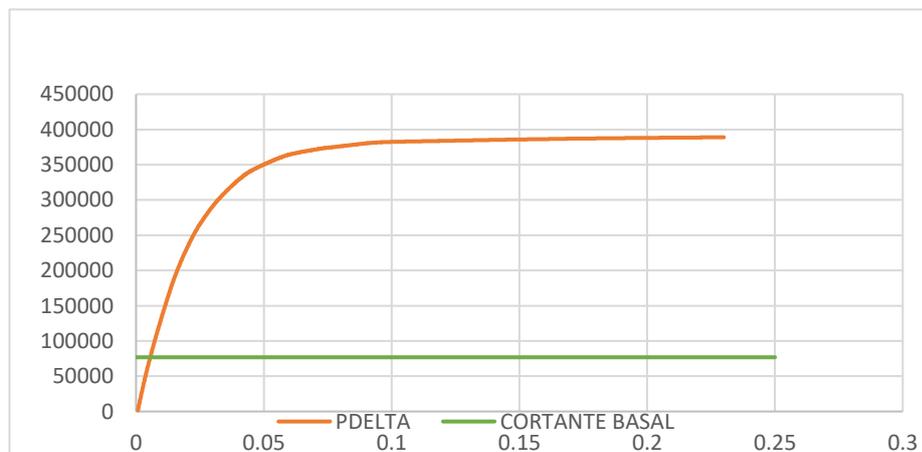


Figura 2.11 Curva *pushover* pórtico 1

Se puede observar que el valor de cortante basal, se encuentra por debajo de la curva pushover, haciendo pensar que el pórtico posee una reserva considerable de resistencia, sin embargo, es necesario determinar las derivas para tener claro el comportamiento de la estructura, más adelante se realizará el análisis dinámico no lineal y comprobaremos el verdadero estado de los pórticos.

- **Pórtico 2**

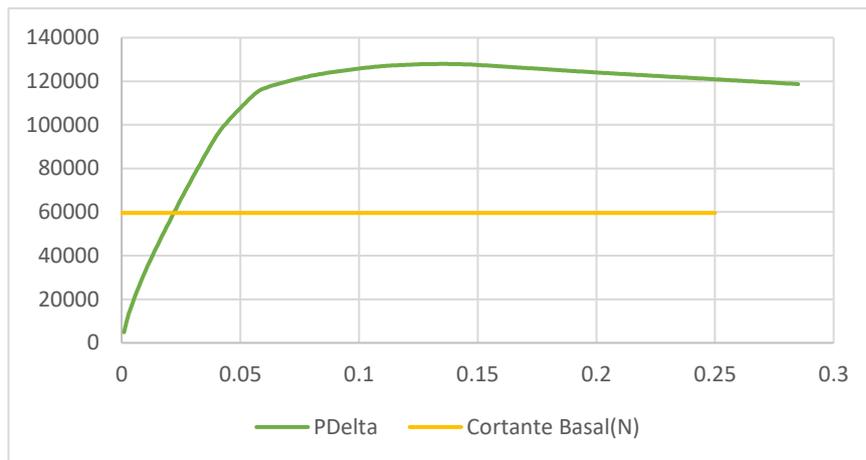


Figura 2.12 Curva *Pushover* pórtico 2

El cortante basal es de 59597.84 Newtons, de manera similar es necesario más análisis para estar en capacidad de brindar una conclusión. Sin embargo, el pushover nos entrega un resultado que significaría un margen de seguridad para la estructura. Para los siguientes pórticos el procedimiento es similar y los resultados son los siguientes:

- **Pórtico 3**

El valor de cortante basal para el pórtico 3 es 68521.89 N.

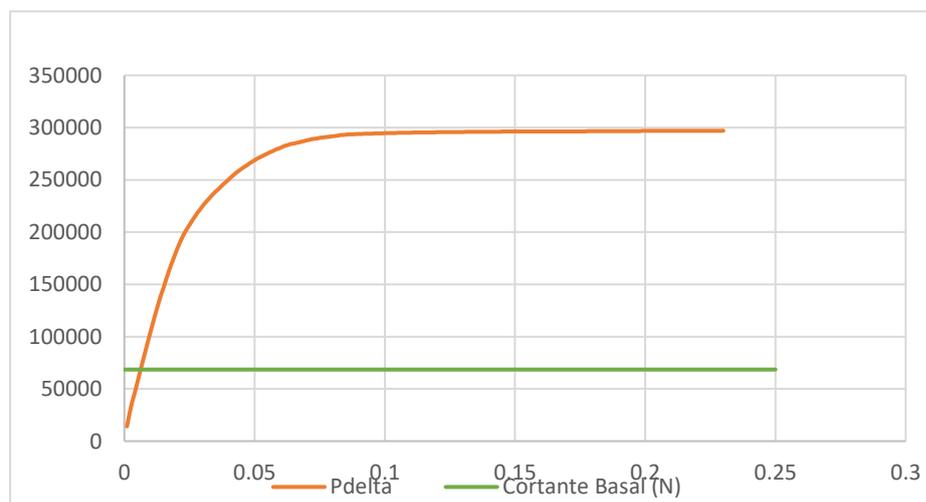


Figura 2.13 Curva *pushover* pórtico 3

- Pórtico 4

Cortante basal para el pórtico 4 es 40900.16 N.

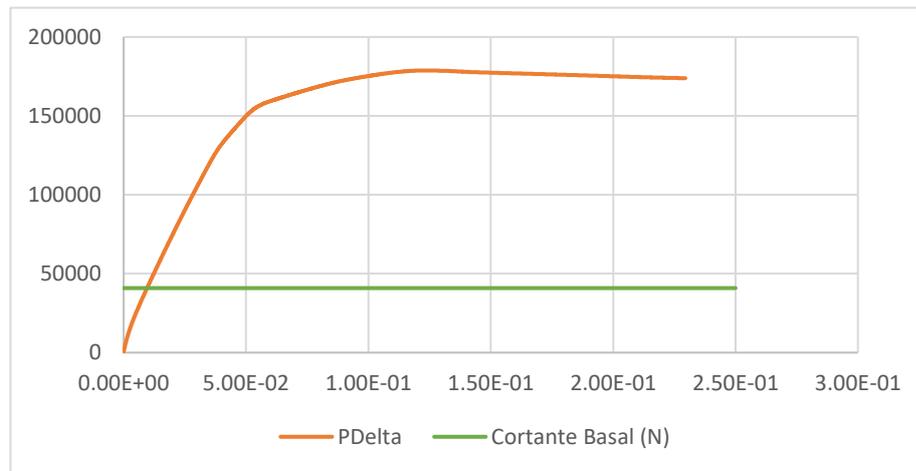


Figura 2.14 Curva *Pushover* pórtico 4

Los resultados de los análisis pushover, como se muestra en las figuras 2.9, 2.11, 2.13 y 2.15, indican la curva de capacidad de cada pórtico, con el cálculo del cortante basal, como ya se mencionó, se puede apreciar un margen de seguridad para todos los pórticos, ya que ningún cortante se encuentra por arriba de la curva pushover.

2.8 Escalamiento de sismos

Para realizar el análisis dinámico lineal y no lineal, es necesario tener los espectros de los sismos escogidos, escalados de tal manera que los factores sean los correctos para la programación en Opensees.

En el análisis dinámico lineal, se utiliza el espectro de respuesta con el factor de reducción de resistencia, $R=8$ para 475 años (NEC - Peligro Sísmico, 2014), los tres espectros de los sismos escogidos, en este caso GYE-N, PRAM-N, ALAT-N. Para el escalamiento se utilizó el método del ASCE-10 que indica encontrar factores denominado FPS, para que los espectros de los sismos escogidos tengan un punto en común con el espectro de diseño, en el período de vibración. Además, obtener un sismo promedio entre los 3 y obtener el factor SS haciendo que en el rango $0.2T$ segundos a $1.5T$ segundos, el sismo promedio se encuentre por encima del de diseño. Por último, el factor CC, que servirá para los análisis en Opensees es la multiplicación de los dos anteriores. Para el análisis dinámico no lineal de 475 y 2500 años, se usa $R=1$.

El procedimiento para todos los pórticos es el mismo, con la variación de que cada pórtico tendrá su respectivo período de vibración, obtenido con el análisis modal de la sección 2.6, por lo que a continuación se tabulan los resultados y escalamientos

respectivos, para los cuatro pórticos, tomando en cuenta que se realiza en base a los periodos de vibración obtenidos en cada pórtico. Ver detalle en Anexos 5.

2.8.2 Pórtico 1 – No lineal – 475 años

Tabla 2.5 Factor CC – pórtico 1 – 475 años

	FPS	SS	CC
GYE-N	18.3638928	1.28214923	23.545251
PRAM-N	26.6257669	1.28214923	34.1382064
ALAT-N	33.470437	1.28214923	42.914095

2.8.3 Pórtico 1 – No lineal – 2500 años

Tabla 2.6 Factor CC – pórtico 2 – 2500 años

	FPS	SS	CC
GYE-N	22.954866	1.28214923	29.4315637
PRAM-N	33.2822086	1.28214923	42.672758
ALAT-N	41.8380463	1.28214923	53.6426187

2.8.5 Pórtico 2 – No lineal – 475 años

Tabla 2.7 Factor CC – pórtico 2 – 475 años

	FPS	SS	CC
GYE-N	21.2745098	1.77926825	37.8530597
PRAM-N	16.9310793	1.77926825	30.1249318
ALAT-N	15.5	1.77926825	27.5786578

2.8.6 Pórtico 2 – No lineal – 2500 años

Tabla 2.8 Factor CC – pórtico 2 – 2500 años

	FPS	SS	CC
GYE-N	26.59314	1.54998937	41.2190844
PRAM-N	21.16385	1.54998937	32.8037426
ALAT-N	19.375	1.54998937	30.0310441

2.8.8 Pórtico 3 – No lineal – 475 años

Tabla 2.9 Factor CC – pórtico 3 – 475 años

	FPS	SS	CC
GYE-N	26.9565217	1.20811992	32.566711
PRAM-N	24.3364486	1.20811992	29.4013484
ALAT-N	29.6583144	1.20811992	35.8308005

2.8.9 Pórtico 3 – No lineal – 2500 años

Tabla 2.10 Factor CC – pórtico 3 – 2500 años

	FPS	SS	CC
GYE-N	33.6956522	1.04618238	35.2517976
PRAM-N	30.4205607	1.04618238	31.8254546
ALAT-N	37.0728929	1.04618238	38.7850073

2.8.11 Pórtico 4 – No lineal – 475 años

Tabla 2.11 Factor CC – pórtico 4 – 475 años

	FPS	SS	CC
GYE-N	34.0837696	1.41245221	48.1416957
PRAM-N	16.275	1.41245221	22.9876597
ALAT-N	15.2459016	1.41245221	21.5341074

2.8.12 Pórtico 4 – No lineal – 2500 años

Tabla 2.12 Factor CC – pórtico 4 – 2500 años

	FPS	SS	CC
GYE-N	42.604712	1.25894362	53.6369306
PRAM-N	20.34375	1.25894362	25.6116344
ALAT-N	19.057377	1.25894362	23.9921633

2.9 Análisis dinámico lineal

Está basado en un comportamiento elástico-lineal de los materiales que conforman la estructura, considerando el equilibrio sin tomar en cuenta la deformación (EDIFICACIÓN, 2009). Para realizar el análisis dinámico no lineal se considera el escalamiento de los sismos realizados en los literales anteriores, además de los sismos escogidos en la sección 2.3. Además, el amortiguamiento utilizado para este análisis es del 5%, según la NEC.

Para los cuatro pórticos en análisis, se realizaron las programaciones necesarias en OpenSees, tomando en cuenta que son 3 sismos escogidos para el análisis, detallado en la sección 2.4, los resultados mostrados a continuación reflejan el porcentaje de derivas de cada pórtico, cuando son sometidos a carga de sismos diferentes, sabiendo que la norma ecuatoriana menciona que las mismas no deben ser superiores al 2% (NEC, 2014).

- **Pórtico 1**

Tabla 2.13 Derivas máximas -1

Derivas	
AGYE-N	0.38%
PRAM-N	0.53%
ALAT-N	0.52%

- **Pórtico 2**

Tabla 2.14 Derivas máximas - 2

Derivas	
AGYE-N	1.79%
PRAM-N	1.54%
ALAT-N	2.00%

- **Pórtico 3**

Tabla 2.15 Derivas máximas - 3

Derivas	
AGYE-N	0.49%
PRAM-N	0.63%
ALAT-N	0.72%

- **Pórtico 4**

Tabla 2.16 Derivas máximas – 4

Derivas	
AGYE-N	0.86%
PRAM-N	1.04%
ALAT-N	1.04%

El resultado del análisis lineal de los cuatro pórticos, indican que las derivas se encuentran dentro de lo que exige la norma y es que, todas son menores al 2% en los pórticos. Sin embargo, un análisis no lineal permitirá comprobar si los resultados son correctos o presentan un cambio significativo.

2.10 Análisis dinámico no lineal

El análisis toma en cuenta la no linealidad o el comportamiento tenso-deformacional no lineal de los materiales, considera el equilibrio de la estructura en estado deformado (EDIFICACIÓN, 2009). Para realizar este análisis el amortiguamiento que se utiliza es del 3%, en relación al 5% del análisis anterior. El escalamiento de los sismos, en este caso utilizando un coeficiente de reducción de resistencia, $R=1$, se consideran dos

períodos de retorno, uno de 475 años y otro de 2500 años, que se especificó en la sección 2.3. El análisis en ambos casos, nos entregan los siguientes resultados.

- Pórtico 1 con espectro de diseño de 475 años

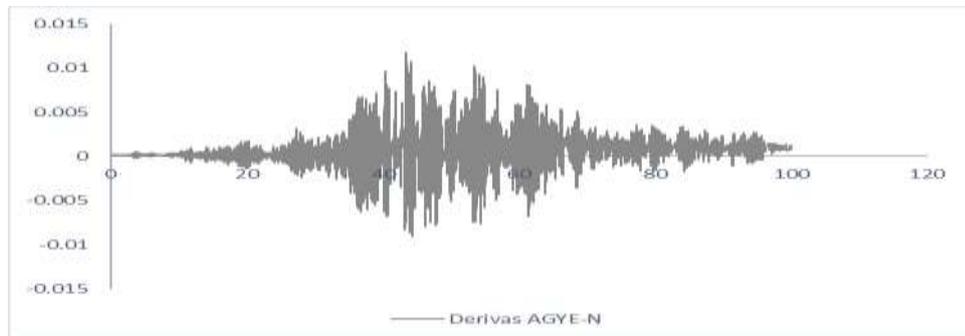


Figura 2.15 Derivas AGYE – N – 1 – 475

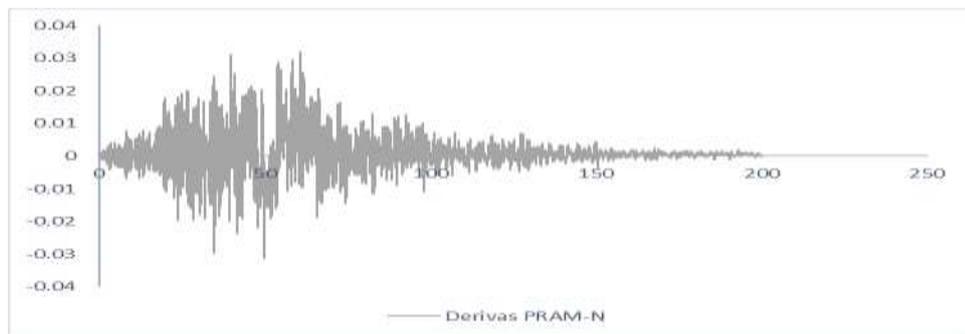


Figura 2.16 Derivas PRAM – N – 1 – 475

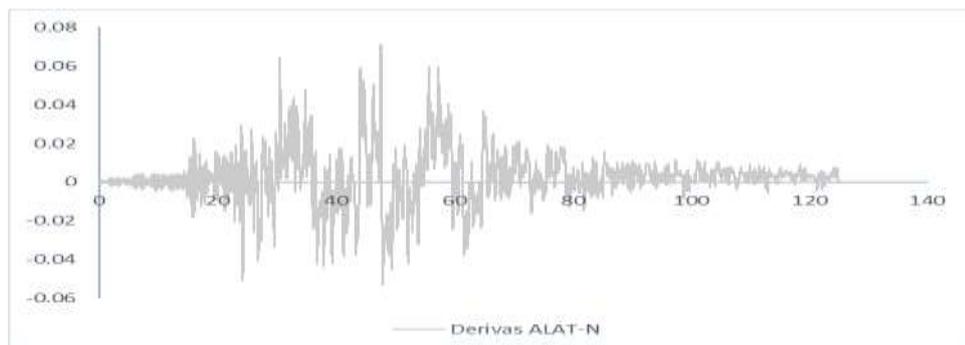


Figura 2.17 Derivas ALAT – N – 1 – 475

Como se puede observar en las gráficas de las derivas del pórtico 1, se nota un cambio notable en relación a las gráficas del análisis lineal, se puede observar que luego de ocurrido todos los sismos, la estructura queda al final con un valor residual, indicando que la edificación queda deformada, esto implica consecuencias que pueden ser de consideración. A continuación, se presentan las derivas máximas alcanzadas:

Tabla 2.17 Derivas máximas – 1 – 475

Derivas	
AGYE-N	1.17%
PRAM-N	3.20%
ALAT-N	7.09%

El análisis realizado indica que las derivas son superiores al 2% que exige la norma, con el sismo ALAT-N, la deriva llega hasta más del 7%, este valor representa que la estructura estaría acercándose al colapso total.

Los análisis de los demás pórticos brindan resultados similares a los del primer pórtico y son los siguientes:

- Pórtico 2 con espectro de diseño de 475 años

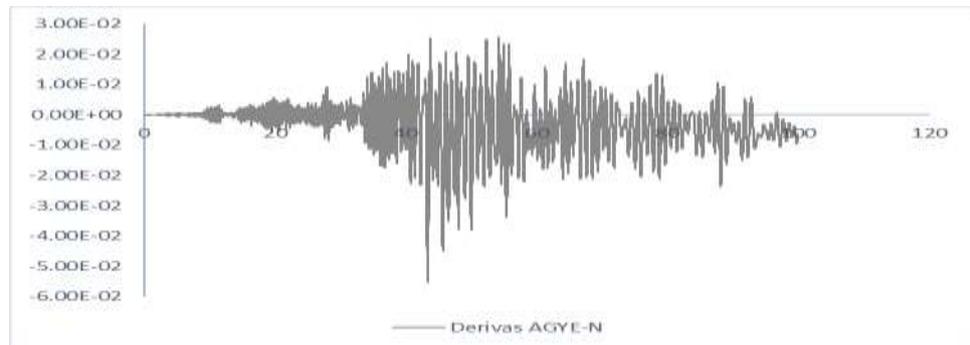


Figura 2.18 Derivas AGYE-N – 2 – 475

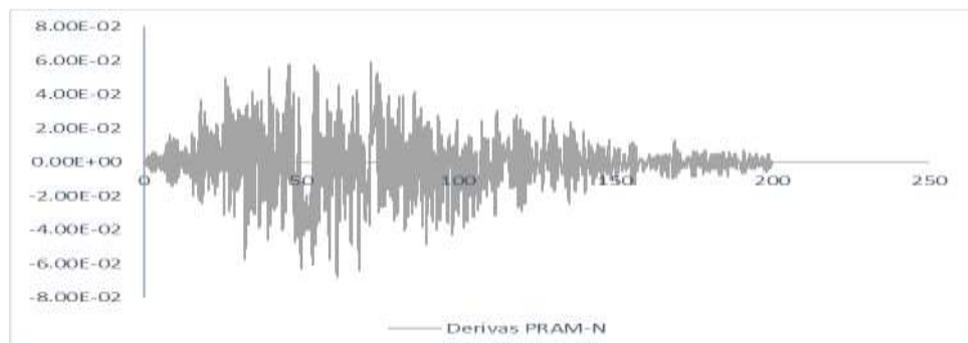


Figura 2.19 Derivas PRAM – N – 2 – 475

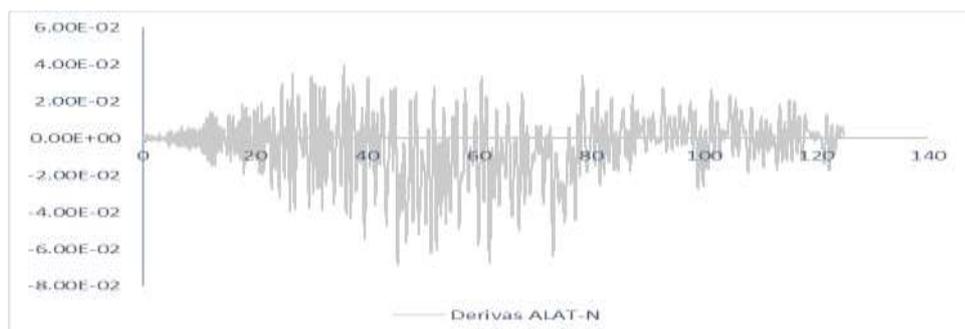


Figura 2.20 Derivas ALAT – N – 2 – 475

Las derivas máximas alcanzadas del pórtico con cada sismo son las siguientes:

Tabla 2.18 Deriva máximas – 2 – 475

Derivas	
AGYE-N	2.57%
PRAM-N	5.92%
ALAT-N	3.96%

- Pórtico 3 con espectro de diseño de 475 años

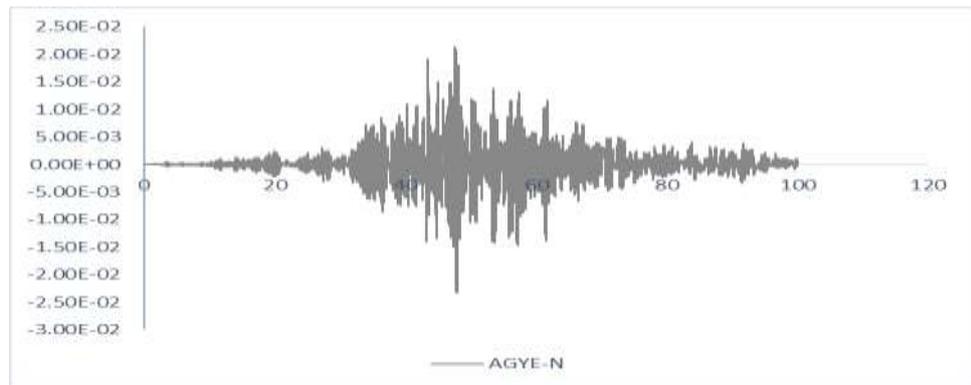


Figura 2.21 Derivas AGYE – N – 3 – 475

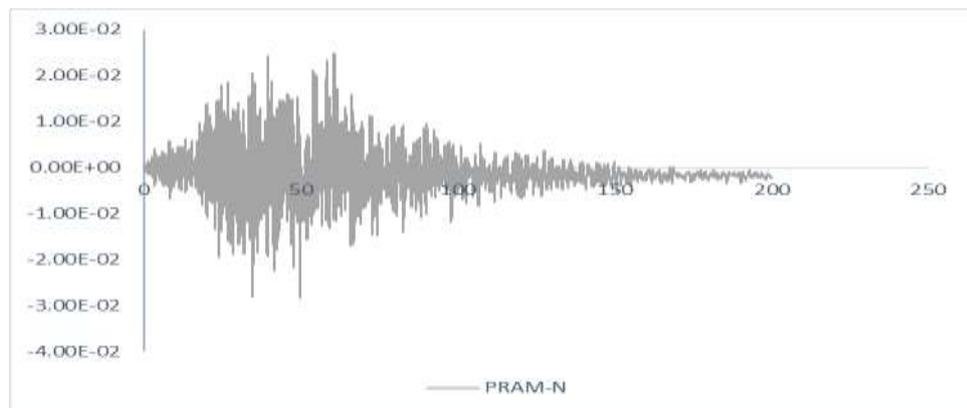


Figura 2.22 Derivas PRAM – N – 3 – 475

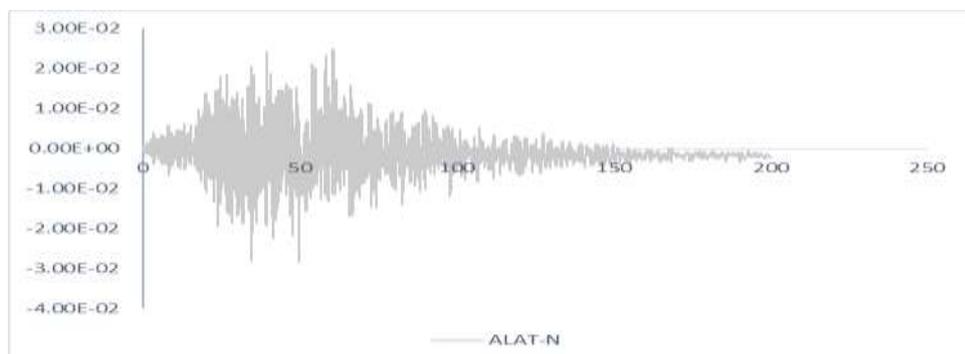


Figura 2.23 ALAT – N – 3 – 475

Del pórtico 3 las derivas máximas alcanzadas son:

Tabla 2.19 Derivas máximas – 3 – 475

Derivas	
AGYE-N	2.13%
PRAM-N	2.50%
ALAT-N	2.50%

En este pórtico las derivas, si bien no están por debajo del 2%, no está cumpliendo con la especificación de ser menores al 2%. Sin embargo se puede decir, que el pórtico no presentaría riesgo de colapso.

- Pórtico 4 con espectro de diseño de 475 años



Figura 2.24 Derivas AGYE – N – 4 – 475

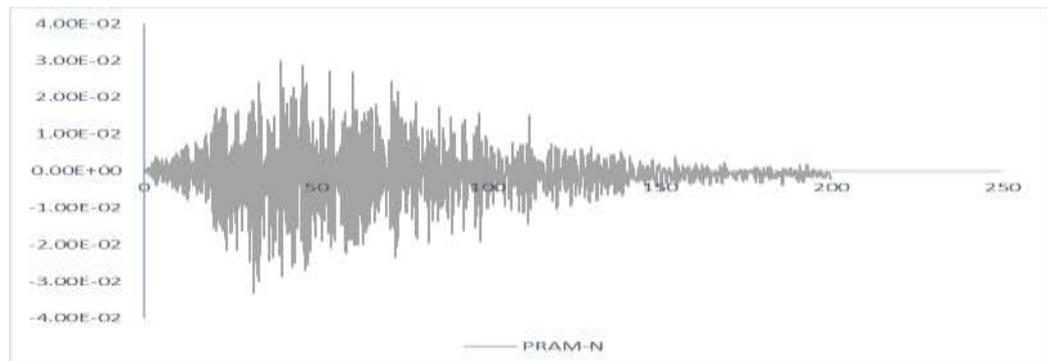


Figura 2.25 Derivas PRAM – N – 4 – 475

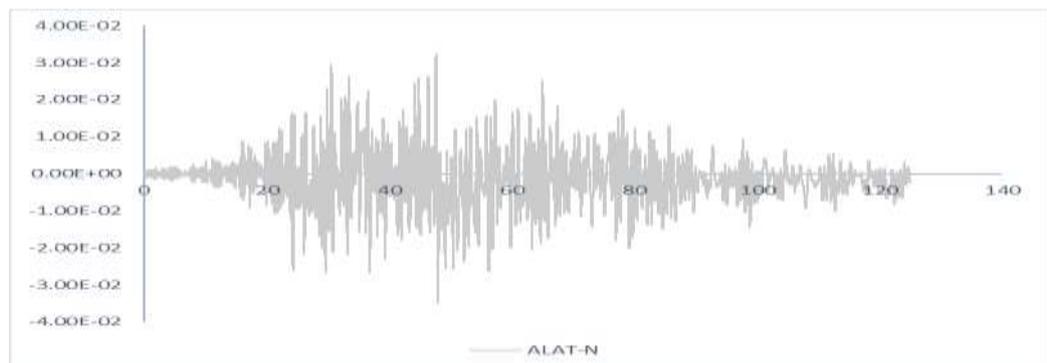


Figura 2.26 Derivas ALAT – N – 4 – 475

Por último, las derivas del pórtico final:

Tabla 2.20 Derivas máximas – 4 – 475

Derivas	
AGYE-N	3.15%
PRAM-N	3.01%
ALAT-N	3.24%

Con el análisis no lineal para 475 años, 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 se encuentra por debajo del 2%, cuando la NEC, incluye a los hospitales en las estructuras esenciales que, ante la ocurrencia de un sismo, deben seguir en operación.

Para completar el análisis, se realizó un no lineal para 2500 años, dando como resultado las derivas mostradas en la siguiente tabla:

Tabla 2.21 Derivas máximos con período de retorno 2500 años

DERIVAS	PÓRTICO 1	PÓRTICO 2	PÓRTICO 3	PÓRTICO 4
AGYE-N	1.63%	2.54%	2.28%	3.51%
PRAM-N	5.40%	6.67%	3.02%	3.23%
ALAT-N	10.57%	4.66%	6.38%	3.90%

Los resultados obtenidos permiten exponer que, la entidad hospitalaria no tiene la capacidad para soportar un sismo, si bien, con el análisis de 475 años, una deriva del 7% indicaba un probable colapso total de la estructura, con el resultado para 2500 años, la deriva máxima alcanza el 10%, cinco veces el valor que la norma impone.

Tanto el análisis lineal y no lineal sirven para determinar la vulnerabilidad de la entidad hospitalaria como parte de una línea de investigación, como se ha planteado al inicio de este trabajo, el capítulo de análisis se enfoca en la no linealidad de la estructura. Una vez con los resultados, añadiendo un análisis de la norma, es necesario plantearse medidas de mitigación para reforzar el establecimiento. Para el siguiente capítulo, se tomará en cuenta el concepto de aisladores sísmicos, el cual permitirá aumentar el período de vibración, esperando que las derivas disminuyan a valores menores al 2%.

3.2 Diseño de aisladores sísmicos

Existen diferentes métodos para el diseño de aisladores; en Ecuador la norma no incluye diseño de aisladores, debiéndose utilizar normas extranjeras para el diseño (Eliceo, 2017). Debido a esto, el diseño de un aislador queda como tema aparte para una investigación dedicada al diseño de dichos elementos.

En virtud de lo expuesto, 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 Catálogo aisladores
Fuente: Cueto (2013)

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

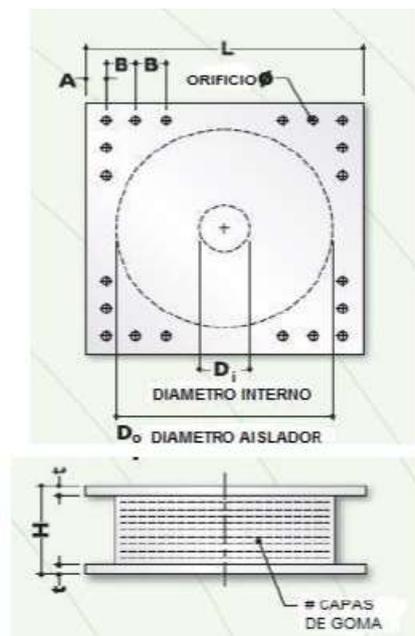


Figura 3.2 Geometría de aislador

Fuente: Cueto (2013)

Para el código de programación en el software, se toman en cuenta tres aspectos, diámetro del aislador (D_o), diámetro del plomo (D_i) y altura del aislador (H), con los parámetros correctos y comprobando que el período aumenta significativamente, el aislador escogido es el detallado en la tabla 3.2.

Tabla 3.2 Aislador

Aislador	Do(cm)	Di(cm)	H(cm)
	30.5	1	28

El aislador escogido tiene una característica particular, su diámetro del plomo es de apenas 1cm, la razón es porque al momento de realizar la simulación, los periodos de la sección 2.5, no variaban significativamente, entonces con este aislador los períodos alcanzaron los siguientes valores:

Tabla 3.3 Periodos de vibración

	Sin aislador	Con aislador
	T(s)	T(s)
Pórtico 1	0.18	1.08
Pórtico 2	0.38	0.88
Pórtico 3	0.20	1.11
Pórtico 4	0.28	0.66

Para determinar las derivas que se presentan en los pórticos ya con los aisladores, es necesario realizar un análisis dinámico no lineal, sin embargo, para ello, se requiere realizar pruebas de los aisladores en el laboratorio, lastimosamente en Ecuador, no existen los equipos para realizar las pruebas correspondientes y determinar un rango que se utiliza para escalar los sismos nuevamente.

Al aumentar el período natural, estamos logrando que no se produzca resonancia, ante la eventual ocurrencia de un sismo, las derivas obtenidas utilizando aisladores para un período de retorno de 2500 años se detallan en la tabla 3.4.

Tabla 3.4 Derivas con aislador

	Derivas
	Con aislador
Pórtico 1	
AGYE-N	1.15%
ALAT-N	1.44%
PRAM-N	1.08%

Las derivas calculadas es un aproximado debido a la falta de información, sin embargo, es evidente que las derivas disminuyeron notablemente.

CAPÍTULO IV: ANÁLISIS PRESUPUESTARIO

4.1 Presupuesto conceptual del hospital

Para la elaboración del presupuesto conceptual del Hospital “Aida León de Rodríguez Lara”, sin tomar en cuenta que el edificio tiene alrededor de 43 años en funcionamiento, y dos ampliaciones. Los pórticos analizados corresponden al bloque original de construcción con área de 1076 m² (Bravo, 2017) y a una ampliación con área de 371 m² (Bravo, 2017).

Es necesario aclarar que, el presupuesto no será de todo el hospital, solamente de los bloques analizados, por lo que el área total es la siguiente:

Tabla 4.1 Áreas

	Área(m ²)
Original	1076
Ampliación	371
Total	1076

El precio por metro cuadrado de un hospital en el Ecuador según la Cámara de Comercio, sin considerar obras exteriores y complementarias, analizando algunas ciudades, es el siguiente:

Tabla 4.2 Costos referenciales

Hospitales	Área(m ²)	Costo	Valor/m ²
IESS Machala	24000	39353700	\$ 1,639.74
IESS Quevedo	76000	123000000	\$ 1,618.42
IESS Los Ceibos	18000	47618675.16	\$ 2,645.48
IESS Quito	67000	146227581.5	\$ 2,182.50

Por motivos de investigación y al ser un presupuesto conceptual se va a tomar el promedio de los precios por metro cuadrado para establecer el presupuesto de los bloques analizados. El promedio se encuentra en \$2.021,54 por metro cuadrado de construcción de un hospital.

El precio de los dos bloques tiene un valor de **\$2'175.172,12** dólares de los Estados Unidos de América.

4.2 Presupuesto de los aisladores sísmicos

En Chile, donde los aisladores se encuentran en el mercado, el costo es de aproximadamente 7500 dólares por cada aislador ó 180000 dólares por todo el sistema de aisladores (Anrango, 2015), en la siguiente figura los precios de aisladores varían de acuerdo a su tamaño.

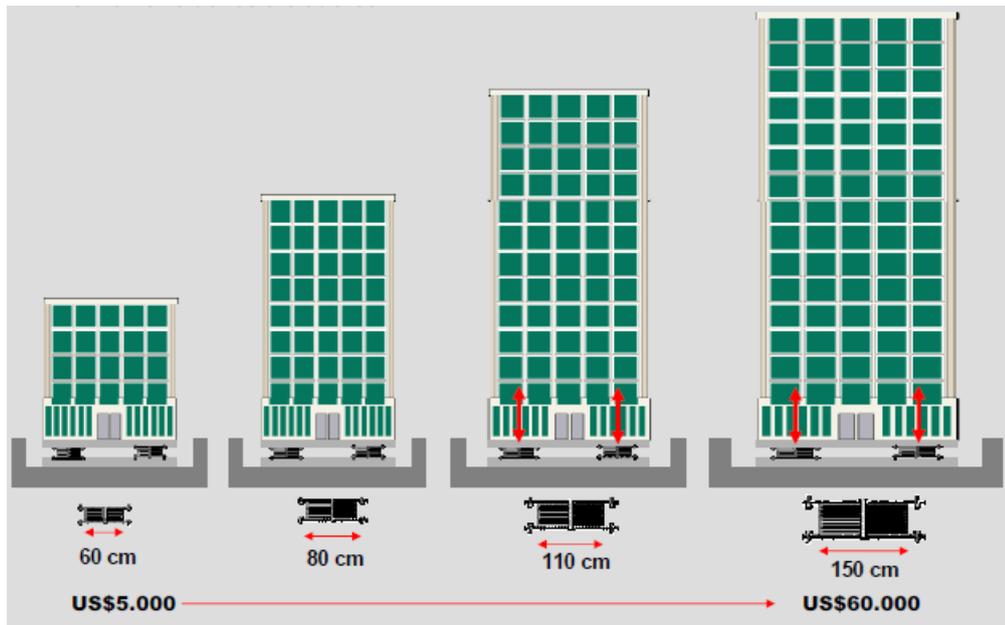


Figura 4.1 Estimación de costos

Se puede observar que, para un diámetro de 60 cm, el costo oscila por los \$5000 dólares, mientras que un aislador de 150 cm, asciende al valor de \$60000. Según la figura 4.5, nuestro aislador de 30,5 cm costaría alrededor de \$3000 dólares.

Según la investigación del Egdo. Luis Bravo, en los bloques analizados, están construidas 81 columnas, que tienen diferentes secciones. El presupuesto de aisladores sería el siguiente:

Tabla 4.3 Costo total de aisladores

Nro Columnas	Costo aislador	Costo sistema aisladores
81	\$ 3,000.00	\$ 180,000.00
Total	\$ 243,000.00	\$ 14,580,000.00

El costo de instalar aisladores tendría un valor de **\$243,000 dólares**, el precio por la instalación de aisladores representa el **11%** del total de la construcción de nuevos bloques.

Pensar en colocar aisladores en un hospital de una sola planta, que pronto cumplirá 50 años de servicio, no es la mejor opción, debido a su alto costo por lo complejo del montaje, más aún habiendo cumplido su vida útil. La instalación del sistema de aisladores se justifica plenamente en edificaciones en construcción, ya que su valor tiene una incidencia no mayor al 11% del costo total. Un análisis objetivo de lo expuesto, determina que resulta más conveniente construir un nuevo hospital para la comunidad de Girón.

CONCLUSIONES

- Según la evaluación realizada por el Egdo. Luis Bravo, debido al estado estructural de la edificación, se debe proponer un plan de intervención para asegurar la seguridad del personal y la integridad de los pacientes.
- El análisis no lineal realizado en los pórticos del hospital “Aida León de Rodríguez Lara”, determinaron que las derivas de piso no cumplen con la NEC, de ser menores al 2%. Además, en todos los pórticos la deformación residual es evidente, indicando que la estructura luego de ocurrido el sismo, queda deformada perdiendo capacidad de servicio, obligando a evacuar a los ocupantes que se encuentren en las inmediaciones de la entidad de salud.
- La modelación en Opensees permitió obtener resultados respecto a cómo se encuentra la estructura, conocer su período de vibración, conocer cómo actúa el pórtico ante la aplicación de cargas y ante lo más importante la ocurrencia de un sismo extremo.
- Derivas que superan el 2%, llegando hasta el 10% en algunos de los pórticos analizados; reflejan una realidad de colapso total de la estructura, quedando en evidencia que el establecimiento es altamente vulnerable ante las acciones que desencadenan un sismo de magnitudes considerables, sin embargo algunas derivas con valor del 6%, indicaría que luego del desastre, los usuario tendrían tiempo para evacuar, pero se concluye que el hospital de Girón no tiene capacidad para seguir funcionando cuando se produzca un terremoto extremo.
- Los aisladores sísmicos como medida de mitigación cumplirían una función de gran importancia ya que, ante la presencia de un terremoto, estos dispositivos logran que la estructura sea flexible y el período aumente para asumir el sismo que se presente. Sin embargo, pensar en instalar aisladores en edificaciones que están construidas y en funcionamiento, por la dificultad de montaje en la base de las columnas, representaría un alto costo de instalación.
- Por último, con los presupuestos conceptuales se llega a concluir que, resulta menos costoso usar aisladores que construir un nuevo hospital. Pero tomando en cuenta las deformaciones residuales en el Aida León de Rodríguez Lara, es imposible llegar a la funcionalidad continua. Construir nuevos hospitales seguros con aisladores sísmicos resulta mejor. El caso del hospital analizado no es aislado, pensar en reforzar, ya es perder dinero y valioso tiempo. Hablar de demolición suena grave, sin embargo, ante los resultados arrojados, se debe reflexionar y actuar.

RECOMENDACIONES

- La Norma Ecuatoriana de la Construcción debe incluir de manera mandatoria el uso de aisladores y disipadores sísmicos para cualquier establecimiento de salud. Se debe tomar conciencia sobre la categorización que se dan a los hospitales, están clasificadas como esenciales y/o peligrosas e incluir en las normas correspondientes el diseño y uso de los aisladores; el primer paso siempre será difícil para un país en desarrollo, pero de ello dependerá si en el futuro, las pérdidas tanto materiales como humanas, disminuyen o continúan en incremento.
- Es necesario realizar un análisis no lineal de las estructuras utilizando disipadores, como otra medida de mitigación aparte de los aisladores, para tener claro cómo responde la edificación ante una desastre natural.
- Procurar la funcionalidad continua es de gran importancia al momento de diseñar un hospital, ya que se garantiza que siga operativo en su máxima capacidad incluso ante situaciones de desastre. Construir hospitales seguros, pensando en la vida de sus ocupantes, debe ser el propósito a cumplir.
- Los gobiernos, no sólo de Ecuador, sino de toda Latinoamérica, siguiendo el ejemplo de sus similares de Chile y Perú, están obligados a reflexionar y meditar que, en la actualidad las entidades de salud que están construidas representan una carrera contrarreloj, porque el momento que un sismo de consideración se presente, las pérdidas humanas serán cuantiosas, el tiempo en estos casos es muy corto para tomar decisiones drásticas, ya sea reforzar o demoler los hospitales que no cumplan las especificaciones mínimas de la norma.

BIBLIOGRAFÍA

- ACI 318. (2011). *American Concrete Institute - Building Code Requirements for Structural Concrete ACI 318-11*. 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.
- Astorga, A. &. (2014). *Definición de términos básicos*. Recuperado el 24 de Noviembre de 2016, de Eduriesgo Chacao:
http://www.chacao.gob.ve/eduriesgo/vulnerabilidad_archivos/01_definicion_de_terminos_basicos.pdf
- Bravo, L. (2017). *Evaluación Estructural del "Hospital Aida León de Rodríguez Lara" del cantón Girón - provincia del Azuay, para cuantificar las amenazas y vulnerabilidad de la edificación hospitalaria*. Cuenca.
- Castellanos, V. (2010). *Sistema de gestión de hospitales seguros frente a desastres*. Obtenido de Fundación MAPFRE:
https://www.fundacionmapfre.org/documentacion/publico/i18n/catalogo_imagenes/grupo.cmd?path=1077152
- EDIFICACIÓN, D. D. (2009). PROYECTO DE ESTRUCTURAS DE HORMIGÓN. En U. P. -. MADRID.
- Eliceo, G. G. (2017). *Comparación del comportamiento estructural del edificio de aulas de la facultad de ingeniería, Universidad Central del Ecuador, empleando el metodo tradicional y el método de aislación sísmica*. Quito.
- FEMA 273. (1997). *Federal Emergency Management Agency Prestandard and Commentary for the Seismic Rehabilitation of Buildings*. United States of America.
- FEMA 356. (2000). *Federal Emergency Management Agency Prestandard and Commentary for the Seismic Rehabilitation of Buildings*. United States of America.
- Instituto Nacional de Estadísticas y Censos. (2010). *Resultados de censo 2010 de población y vivienda en el Ecuador*. Recuperado el 24 de Noviembre de 2016, de Instituto Nacional de Estadísticas y Censos:
<http://www.ecuadorencifras.gob.ec/resultados/>
- Lafita, F., & Mata, H. (1968). *Introducción a la teoría de las vibraciones mecánicas* .
- LLanes, C. (2013). *Hospitales seguros frente a desastres: Evaluación de las Amenazas*. La Havana : OPS .
- 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. (2000). *Fundamentos de la Mitigación de Desastres en Establecimientos de la Salud*.

Ugarte, C. (2010). *Índice de Seguridad Hospitalaria, Retos de la Gestión de Riesgos* 1-39.

Zapata, I. J. (2014). *Aisladores y disipadores sísmicos*. Granada.