



UNIVERSIDAD DEL AZUAY

FACULTAD DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA

ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL Y GERENCIA DE

CONSTRUCCIONES

**Análisis dinámico no lineal del “Hospital Básico Misereor”
(Gualaquiza), medidas de mitigación y refuerzo para
disminuir su vulnerabilidad estructural.**

**Trabajo de graduación previo a la obtención del título de Ingeniero Civil con
énfasis en Gerencia de Construcciones.**

Autores:

MATEO XAVIER MANZANO ALVARADO

MARÍA DANIELA SANTACRUZ SARMIENTO

Director:

ING. JOSÉ FERNANDO VÁZQUEZ CALERO, M.Sc.

CUENCA – ECUADOR

2017

DEDICATORIA

A mis padres, Constantino y Estrella,
quienes han sido el faro de luz que ha guiado mi vida,
y quienes me han impulsado día a día
para cumplir mis sueños;
este gran logro es para ustedes...

María Daniela Santacruz Sarmiento

A mi familia,
por su comprensión y
apoyo incondicional,
de manera especial
a mis padres
por motivarme cada día
a seguir adelante...

Mateo Xavier Manzano Alvarado

AGRADECIMIENTO

De manera especial, queremos agradecer al Ing. Francisco Flores, Ph.D., por compartir con nosotros parte de su conocimiento, pieza fundamental para la culminación de este trabajo investigativo; gracias también al Ing. José Vázquez Calero, M.Sc., por su apertura y apoyo constante a lo largo de este camino.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

DEDICATORIA.....	ii
AGRADECIMIENTO.....	iii
ÍNDICE DE CONTENIDOS.....	iv
ÍNDICE DE FIGURAS.....	vi
ÍNDICE DE TABLAS.....	vii
ÍNDICE DE ANEXOS.....	vii
RESUMEN.....	ix
ABSTRACT.....	ix
INTRODUCCIÓN.....	1
ANTECEDENTES.....	2
OBJETIVOS.....	3
METODOLOGÍA.....	3
ESTADO DEL ARTE Y MARCO TEÓRICO.....	4
CAPÍTULO I: RECOPIACIÓN DE INFORMACIÓN.....	5
1.1 Información general del Hospital Básico Misereor.....	5
1.2 Información relacionada con la arquitectura e ingeniería del hospital.....	6
CAPÍTULO II: MODELACIÓN DE LA ESTRUCTURA.....	7
2.1 Selección de pórticos a analizar.....	7
2.2 Espectro de diseño.....	8
2.2.1. Espectro elástico horizontal de diseño (período de retorno de 475 años).....	8
2.2.2. Espectro de diseño (período de retorno de 2500 años).....	9
2.3. Generación y modelación dinámica estructural de los pórticos seleccionados en software especializado.....	10
2.3.1. Generación del modelo estructural.....	10
2.3.2. Análisis dinámico lineal.....	11
2.3.2.1. Derivas de piso. Pórtico 1.....	12

2.3.2.2. Derivas de piso. Pórtico 2	15
2.3.3 Análisis no lineal: <i>Pushover</i>	18
2.3.3.1. Cortante Basal de diseño	18
2.3.4. Análisis dinámico no lineal.....	20
2.3.4.1. Derivas inelásticas de piso. Pórtico 1.....	22
2.3.4.2. Derivas inelásticas de piso. Pórtico 2.....	25
CAPÍTULO III: MEDIDAS DE MITIGACIÓN	29
3.1 Pre diseño del aislador sísmico.....	30
CAPÍTULO IV: ANÁLISIS PRESUPUESTARIO	32
CONCLUSIONES.....	33
RECOMENDACIONES	35
BIBLIOGRAFÍA	36

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1: Distribución física.....	5
Figura 2.1.1: Pórtico 1: Maternidad, eje X.....	7
Figura 2.1.2: Pórtico 2: Maternidad, eje Y.....	7
Figura 2.1.3: Sección transversal de los elementos estructurales	7
Figura 2.2.1.1: Espectro elástico de diseño - 475 años	9
Figura 2.2.2.1: Espectro elástico de diseño – 2500 años	10
Figura 2.3.1.1: Modelación realizada en OpenSees. Pórtico 1	10
Figura 2.3.1.2: Modelación realizada en OpenSees. Pórtico 2	11
Figura 2.3.2.1.1: Derivas de piso. Pórtico 1. Sismo AMIL-E	12
Figura 2.3.2.1.2: Derivas de piso. Pórtico 1. Sismo AMNT-N	13
Figura 2.3.2.1.3: Derivas de piso. Pórtico 1. Sismo ASDO-N	14
Figura 2.3.2.2.1: Derivas de piso. Pórtico 2. Sismo AMIL-E	15
Figura 2.3.2.2.2: Derivas de piso. Pórtico 2. Sismo AMNT-N	16
Figura 2.3.2.2.3: Derivas de piso. Pórtico 2. Sismo ASDO-N	17
Figura 2.3.3.1: Análisis Pushover – 475 años, pórtico 1.....	19
Figura 2.3.3.2: Análisis Pushover – 2500 años, pórtico 1	19
Figura 2.3.3.3: Análisis Pushover – 475 años, pórtico 2.....	20
Figura 2.3.3.4: Análisis Pushover – 2500 años, pórtico 2	20
Figura 2.3.4.1.1: Derivas inelásticas de piso, pórtico 1, sismo AMIL-E	22
Figura 2.3.4.1.2: Derivas inelásticas de piso, pórtico 1, sismo AMNT-N.....	23
Figura 2.3.4.1.3: Derivas inelásticas de piso, pórtico 1, sismo ASDO-N	24
Figura 2.3.4.2.1: Derivas inelásticas de piso, pórtico 2, sismo AMIL-E.....	25
Figura 2.3.4.2.2: Derivas inelásticas de piso, pórtico 2, sismo AMNT-N.....	26
Figura 2.3.4.2.3: Derivas inelásticas de piso, pórtico 2, sismo ASDO-N.....	27

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.2.1.1: Factores necesarios para el cálculo del espectro de diseño ($T = 475$ años).....	8
Tabla 2.2.2.1: Factores necesarios para el cálculo del espectro de diseño ($T = 2500$ años).....	9
Tabla 2.3.2.1: Factores de escalamiento sísmico.....	11
Tabla 2.3.2.1.1: Deriva máxima de piso, pórtico 1, sismo AMIL-E	12
Tabla 2.3.2.1.2: Deriva máxima de piso, pórtico 1, sismo AMNT-N.....	13
Tabla 2.3.2.1.3: Deriva máxima de piso, pórtico 1, sismo ASDO-N.....	14
Tabla 2.3.2.2.1: Deriva máxima de piso, pórtico 2, sismo AMIL-E	15
Tabla 2.3.2.2.2: Deriva máxima de piso, pórtico 2, sismo AMNT-N.....	16
Tabla 2.2.2.2.3: Deriva máxima de piso, pórtico 2, sismo ASDO-N.....	17
Tabla 2.3.4.1: Factores de escalamiento sísmico	21
Tabla 2.3.4.1.1: Deriva inelástica máxima de piso, pórtico 1, sismo AMIL-E.....	22
Tabla 2.3.4.1.2: Deriva inelástica máxima de piso, pórtico 1, sismo AMNT-N	23
Tabla 2.3.4.1.3: Deriva inelástica máxima de piso, pórtico 1, sismo AMNT-N	24
Tabla 2.3.4.2.1: Deriva inelástica máxima de piso, pórtico 2, sismo AMIL-E.....	25
Tabla 2.3.4.2.2: Deriva inelástica máxima de piso, pórtico 2, sismo AMNT-N	26
Tabla 2.3.4.2.3: Deriva inelástica máxima de piso, pórtico 2, sismo AMNT-N	27

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo No. 1: Definiciones

Anexo No. 2: Información relacionada con la arquitectura e ingeniería del hospital

Anexo No. 3: Definición de cargas y características del lugar de emplazamiento

Anexo No. 4: Cálculo de derivas inelásticas de piso

Anexo No. 5: Aisladores elastoméricos con núcleo de plomo

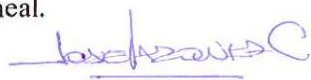
Anexo No. 6: Análisis de vibración libre

**ANÁLISIS DINÁMICO NO LINEAL DEL “HOSPITAL BÁSICO MISEREOR”
(GUALAQUIZA), MEDIDAS DE MITIGACIÓN Y REFUERZO PARA
DISMINUIR SU VULNERABILIDAD ESTRUCTURAL**

RESUMEN

El “Hospital Básico Misereor” se encuentra ubicado en el cantón Gualaquiza, en la región oriental del país, perteneciente a la red de salud pública del Ecuador. En el desarrollo de la presente investigación se analiza el comportamiento de la edificación en el rango no lineal, ante los efectos que produce la presencia de una amenaza sísmica. Al estar considerada por la Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC-14) como una estructura esencial y/o peligrosa, es de suma importancia conocer el nivel de vulnerabilidad que presenta ante situaciones de emergencia. Este tipo de estructuras son responsables de salvaguardar la integridad física de las personas, por lo que deben apegarse al criterio de funcionalidad continua, es decir, operar al máximo de su capacidad cuando se suscita un desastre natural. Es necesario proponer medidas de mitigación como el uso de aisladores sísmicos, con el fin de minimizar el riesgo de daño de las edificaciones hospitalarias; sin embargo, no siempre se garantizará la operatividad continua de la edificación hospitalaria, si no existe una norma que riga este tipo de análisis y diseños.

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



José Fernando Vázquez Calero

Director del Trabajo de Titulación



José Fernando Vázquez Calero

Director de Escuela



Mateo Xavier Manzano Alvarado

Autor



María Daniela Santacruz Sarmiento

Autora

**NON-LINEAR DYNAMIC ANALYSIS OF *MISEREOR* BASIC HOSPITAL
(GUALAQUIZA); MITIGATION AND REINFORCEMENT MEASURES TO
REDUCE STRUCTURAL VULNERABILITY**

ABSTRACT

Misereor Basic Hospital was built without National Standard regulations for construction. Consequently, this building became vulnerable to threats that could. For this reason, the motivation to carry out this work was to analyze the most vulnerable portals in the nonlinear range. Studies were performed through OpenSees software, giving as results the maximum inelastic drifts of each floor of the porticos, so that their values could be compared with the specifications of the Ecuadorian Construction Standard (NEC, as per its Spanish acronym). Subsequently, mitigation measures were proposed so as to contribute to maintain the continuous functionality of the building in the face of identified threats.

Keywords: threats, nonlinear dynamic analysis, inelastic drifts, mitigation, continuous functionality.



José Fernando Vázquez Calero
Thesis Director



José Fernando Vázquez Calero
School Director



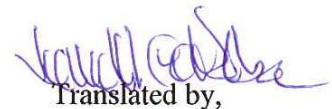
Mateo Xavier Manzano Alvarado
Author



María Daniela Santacruz Sarmiento
Author



UNIVERSIDAD DE AZUAY
Dpto. Idiomas



Translated by,
Lic. Lourdes Crespo

Manzano Alvarado Mateo Xavier

Santacruz Sarmiento María Daniela

Trabajo de Titulación

Ing. José Fernando Vázquez Calero, M.Sc.

Julio, 2017.

**ANÁLISIS DINÁMICO NO LINEAL DEL “HOSPITAL BÁSICO MISEREOR”
(GUALAQUIZA), MEDIDAS DE MITIGACIÓN Y REFUERZO PARA
DISMINUIR SU VULNERABILIDAD ESTRUCTURAL**

INTRODUCCIÓN

Los hospitales son considerados estructuras esenciales en la Norma Ecuatoriana de la Construcción, por lo tanto, estas edificaciones deben cumplir con características importantes en cuanto a criterios de diseño y construcción, para responder de la mejor manera ante diferentes amenazas sísmicas que se puedan presentar a lo largo de su vida útil. Al ser estructuras tan importantes deberán cumplir con el criterio de funcionalidad continua, para que su actividad no se vea afectada después de un desastre natural.

Al no tener certeza de cuáles serán las zonas de la estructura con peligro de colapso, se deben realizar análisis exhaustivos para garantizar un nivel bajo de vulnerabilidad; así como también cumplir con las normas dispuestas por la institución, que regule los procesos constructivos del lugar de emplazamiento.

Los análisis de edificaciones en el rango no lineal, tienen como objetivo evaluar el comportamiento de las estructuras ante efectos que ponen en riesgo su estabilidad y funcionamiento. Para realizar las mencionadas evaluaciones es necesario tomar en cuenta un período de retorno de 2500 años.

Una vez realizados los análisis, se pueden proponer diferentes medidas de mitigación de acuerdo a las necesidades de cada estructura, lo que ayudará a reducir la vulnerabilidad de la edificación.

ANTECEDENTES

Ecuador es un país considerado de alto riesgo ante la ocurrencia de fenómenos naturales, por ubicarse en el “Cinturón de Fuego del Pacífico”, donde se libera el 85% de la energía sísmica del planeta, que lo convierte en una zona de gran actividad sísmica y geológica. Por esto, existe la necesidad de promover una minuciosa preparación para disminuir la vulnerabilidad de sus edificaciones y poder enfrentar las catástrofes que se producen por la ocurrencia de estos fenómenos.

En la Política Nacional de Hospitales Seguros, aprobada en el año 2007 por el Ministerio de Salud Pública, se indica que:

1. El 80% de la población está expuesta a desastres de carácter sísmico, generados por 52 fuentes sismo genéticas, 8 de las cuales son calificadas de alto riesgo.
2. El 35% de la población se encuentra asentada en zonas amenazadas por deslizamientos de tierras, inundaciones, flujos de lodo y escombros.
3. El 30% de la población se encuentra en los Andes Septentrionales Ecuatorianos donde se localiza la mayor concentración de estructuras volcánicas pertenecientes al período cuaternario.
4. El 30% de la población de las regiones Litoral y Amazónica y el 15% de la superficie nacional, están sujetos a inundaciones periódicas.
5. El 10% de la población se encuentra asentada en la línea de costa y está expuesta a los tsunamis y maremotos.

Aproximadamente, el 50% de los 15000 hospitales en América Latina y el Caribe están ubicados en zonas de alto riesgo; diversos eventos adversos lo han confirmado, lo que ha ocasionado la interrupción en la prestación de servicios de salud y ha dejado a la población sin posibilidad de acceder a éstos. (Organización Panamericana de la Salud, 2007).

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 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.

OBJETIVOS

Objetivo general

Realizar el análisis dinámico no lineal del “Hospital Básico Misereor”, del cantón Gualaquiza, provincia de Morona Santiago, para determinar medidas pertinentes de mitigación y reforzamiento.

Objetivos específicos

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

METODOLOGÍA

Se recolectará y clasificará la información arquitectónica y de ingeniería de la edificación hospitalaria, del trabajo de investigación previo realizado por los ingenieros Paola Delgado y Geovanny Sempértegui, sistematizando la misma, con el fin de contar con la información necesaria para ejecutar un análisis dinámico no lineal de la edificación.

Se realizará el modelo matemático idealizado de la estructura mediante la utilización de software especializado, analizando la estructura en el rango inelástico; el ingreso de cargas se lo hará de acuerdo a la normativa vigente en el país (NEC – Peligro Sísmico, 2014); y así serán determinadas las zonas de plastificación de la estructura en donde es posible el colapso parcial, progresivo o total de la misma.

Se diseñarán medidas de mitigación y refuerzo para disminuir la vulnerabilidad estructural de la edificación hospitalaria, basadas en las normativas: Federal Emergency

Management Agency: Prestandard and Commentary for the Seismic Rehabilitation of Buildings (FEMA 356), American Concrete Institute - Guide for the Design and Construction of Externally Bonded FRP Systems for Strengthening Concrete Structures (ACI 440. 2R-08) y American Concrete Institute - Building Code Requirements for Structural Concrete (ACI 18); se estimará el costo de la estructura hospitalaria existente mediante la obtención de un presupuesto conceptual de la misma, dependiendo de su tipo y clasificación para finalmente compararla con el costo que representa la implementación de una medida de mitigación.

ESTADO DEL ARTE Y MARCO TEÓRICO

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

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).

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

Definiciones

Referirse al Anexo 1.

CAPÍTULO I

RECOPILACIÓN DE INFORMACIÓN

Se extractará la información acerca del Hospital Básico Misereor obtenida en la investigación realizada por los ingenieros Geovanny Sempértegui y Paola Delgado; la misma que servirá para realizar el análisis dinámico no lineal de la estructura hospitalaria.

1.1 Información general del Hospital Básico Misereor

El hospital Básico Misereor está ubicado en el cantón Gualaquiza, perteneciente a la provincia de Morona Santiago. De acuerdo con cifras del último censo poblacional, realizado en 2010 por el Instituto Nacional de Estadísticas y Censos (INEC), el cantón cuenta con una población de 17200 habitantes.

El hospital Misereor, es una institución de salud tipo básica que forma parte de la coordinación zonal de salud 6; cuenta con 42 camas, las mismas que tienen un índice de ocupación de camas en situaciones normales del 180%. (Sempértegui & Delgado, 2016)

El Hospital Básico Misereor tiene una cobertura de población de varios cantones, los mismos que son: cantón Gualaquiza (17200), cantón San Juan Bosco (3908), de la provincia de Morona Santiago; y cantones: El Pangui (8619) y aproximadamente al 10% de la población de Yanzatza (18675) de la provincia de Zamora Chinchipe.; según el VII Censo de Población y VI de Vivienda realizado por el INEC en 2010.

Distribución física:



Figura 1.1: Distribución física.

Fuente: Evaluación estructural de la entidad hospitalaria “Hospital Misereor” de la Ciudad de Gualaquiza, Provincia de Morona Santiago, para cuantificar las amenazas y vulnerabilidad de la edificación hospitalaria.

1.2 Información relacionada con la arquitectura e ingeniería del hospital

Los datos señalados en el Anexo No. 2, indican la estructuración con la que cuenta el “Hospital Básico Misereor”, en cuanto a criterios arquitectónicos y de ingeniería; exponen la gran vulnerabilidad que posee la edificación debido a que su construcción no está basada en una norma que regule y controle la calidad y seguridad de la misma, indicando así, que existe una gran posibilidad de que ante una amenaza sísmica la estructura se convierta en un mecanismo y llegue al colapso. Por esta razón se realizarán los análisis pertinentes para lograr una propuesta de mitigación que sea capaz de disminuir dicha vulnerabilidad.

CAPÍTULO II

MODELACIÓN DE LA ESTRUCTURA

A continuación, se desarrollarán diferentes parámetros presentes en la Norma Ecuatoriana de la Construcción 2014 para el análisis lineal y no lineal de estructuras esenciales; además de la realización de los mismos.

2.1 Selección de pórticos a analizar

Luego de observar la distribución de los diferentes bloques que conforman el Hospital Básico Misereor, se procedió a escoger los pórticos a ser analizados. Fueron seleccionados los pórticos del área de maternidad debido a su vulnerabilidad, tanto por elevación como por configuración en planta. La mencionada edificación será analizada en ambos sentidos.



Figura 2.1.1: Pórtico 1: Maternidad, eje X.

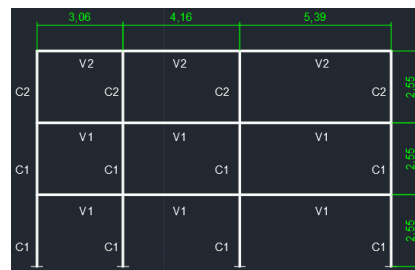


Figura 2.1.2: Pórtico 2: Maternidad, eje Y.

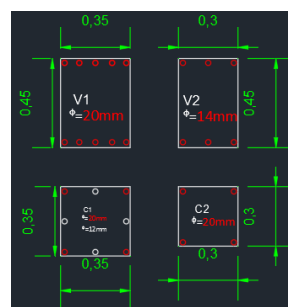


Figura 2.1.3: Sección transversal de los elementos estructurales

2.2 Espectro de diseño

2.2.1. Espectro elástico horizontal de diseño (período de retorno de 475 años): “El espectro elástico de respuesta de aceleraciones S_a , expresado como fracción de la aceleración de la gravedad, para el nivel del sismo de diseño consistente con: el factor de zona sísmica Z , el tipo de suelo del sitio del emplazamiento de la estructura y la consideración de los valores de los coeficientes de amplificación del suelo.” (Norma Ecuatoriana de la Construcción: Peligro Sísmico, 2014).

El espectro elástico de respuesta será utilizado en lo posterior para la realización de análisis dinámicos estructurales dentro del rango lineal.

Los parámetros utilizados para el cálculo de los espectros de diseño se detallan en el Anexo No. 3.

Tabla 2.2.1.1: Factores necesarios para el cálculo del espectro de diseño ($T = 475$ años)

ESPECTRO DE DISEÑO SÍSMICO		
PERIODO DE RETORNO: 475 años.		
Lugar:	GUALAQUIZA	Descripción
Región:	3	Provincias de la Costa
Zona sísmica:	III	Provincias de la Sierra,
Caracterización del Peligro Sísmico:		Provincias del Oriente
Valor Z :	0.3	

Tipo de Suelo:	D
Factor de Importancia:	1.5

Coefficientes de Amplificación del Suelo:

D - III	
F_a :	1.3
F_d :	1.36
F_s :	1.11
r	1
η	2.6

Periodo de Retorno

T_c	0.638676923	$T_c = 0.55 F_s \frac{F_d}{F_a}$
T_0	0.116123077	$T_0 = 0.10 F_s \frac{F_d}{F_a}$

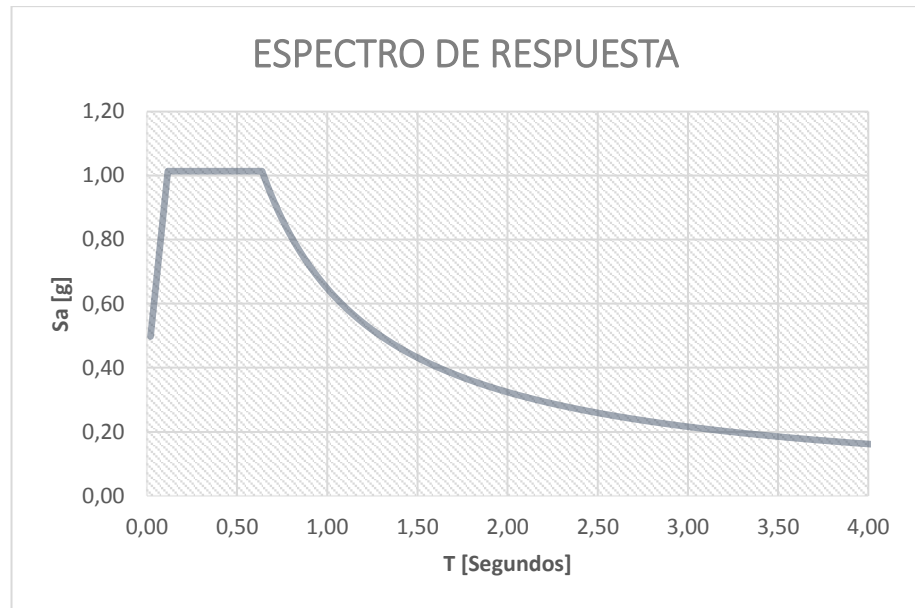


Figura 2.2.1.1: Espectro elástico de diseño del Hospital Básico Misereor (T = 475 años)

2.2.2. Espectro de diseño (período de retorno de 2500 años):

El espectro inelástico de respuesta será utilizado en lo posterior para la realización de análisis dinámicos estructurales dentro del NO rango lineal.

Tabla 2.2.2.1: Factores necesarios para el cálculo del espectro de diseño (T = 2500 años)

ESPECTRO DE DISEÑO SÍSMICO		
PERIODO DE RETORNO: 2500 años.		
Lugar:	GUALAQUIZA	Descripción
Región:	3	Provincias de la Costa
Zona sísmica:	V	Provincias de la Sierra,
Caracterización del Peligro Sísmico:		Provincias del Oriente
Valor Z: $\geq$	0.425	
Tipo de Suelo:	D	
Factor de Importancia:	1.5	
Coeficientes de Amplificación del Suelo:		
D - V		
Fa:	1.2	
Fd:	1.19	
Fs:	1.28	
r	1	
η	2.6	
Periodo de Retorno		
Tc	0.698133333	$T_c = 0.55 F_s \frac{F_d}{F_a}$
To	0.126933333	$T_0 = 0.10 F_s \frac{F_d}{F_a}$

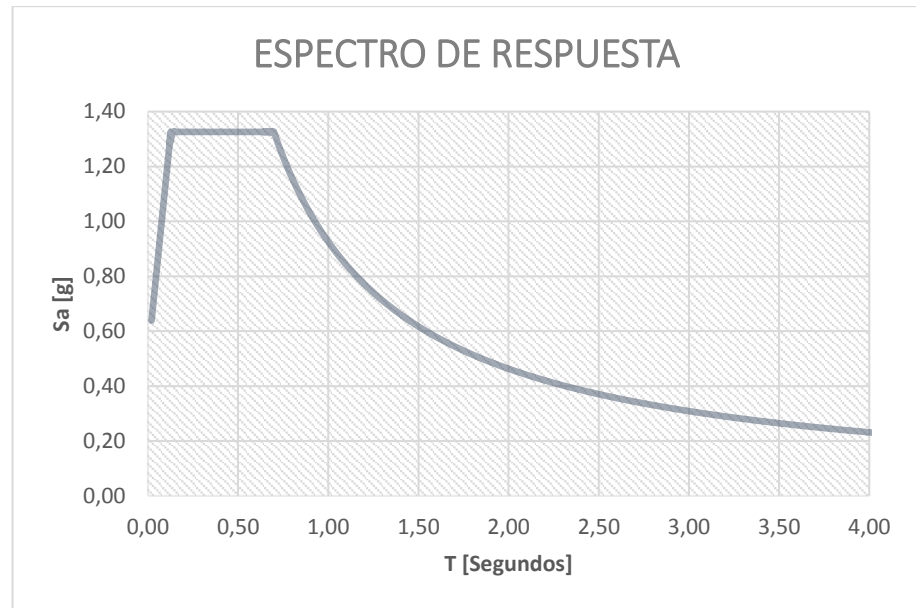


Figura 2.2.2.1: Espectro elástico de diseño del Hospital Básico Misereor ($T = 2500$ años)

2.3. Generación y modelación dinámica estructural de los pórticos seleccionados en software especializado

2.3.1. Generación del modelo estructural

La simulación se la realizó en el software libre OpenSees. Se definieron los parámetros necesarios para obtener el modelo de los pórticos a analizar, a través de la caracterización del material del que están constituidos los elementos estructurales, tales como resistencia del hormigón, módulo de elasticidad, densidad, dimensiones, características geométricas y de carga; para finalmente conseguir el período fundamental de la estructura a través de la codificación de un Análisis Modal; con el cual se obtuvieron los siguientes resultados:

- **Pórtico 1:** 0.52 segundos.
- **Pórtico 2:** 0.50 segundos.

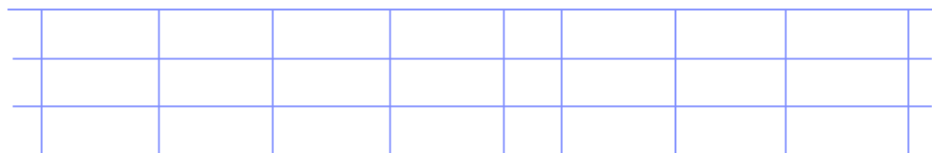


Figura 2.3.1.1: Modelación realizada en OpenSees. Pórtico 1.

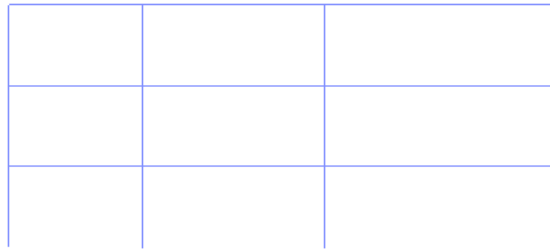


Figura 2.3.1.2: Modelación realizada en OpenSees. Pórtico 2.

2.3.2. Análisis dinámico lineal

Para la realización de este análisis fue necesario escoger tres sismos representativos, los cuales fueron escalados con el método de la (ASCE Standar 7-10.) para lograr que las aceleraciones espectrales de cada uno, coincidan con la del espectro de diseño en el período fundamental de la estructura, obteniendo así un factor de escala para cada sismo.

Los sismos tomados para el análisis fueron proporcionados por el Instituto Geofísico de la Escuela Politécnica Nacional, y estos son:

Tabla 2.3.2.1: Factores de escalamiento sísmico.

Sismo	Factor de escala	
	<i>Pórtico 1</i>	<i>Pórtico 2</i>
AMIL – E	12.2040	13.4004
AMNT – N	1.7213	1.9155
ASDO – N	3.4407	2.8372

Posteriormente, se programó el análisis dinámico, tomando en cuenta el acelerograma de cada sismo, al igual que su factor de escala. Teniendo como resultado la deriva elástica máxima de cada piso.

Se efectuó un control de deformaciones, a través del cálculo de las derivas inelásticas máximas de piso (véase anexo No. 4)

2.3.2.1. Derivas de piso. Pórtico 1.

- Sismo AMIL-E

Duración: 195.06 segundos.

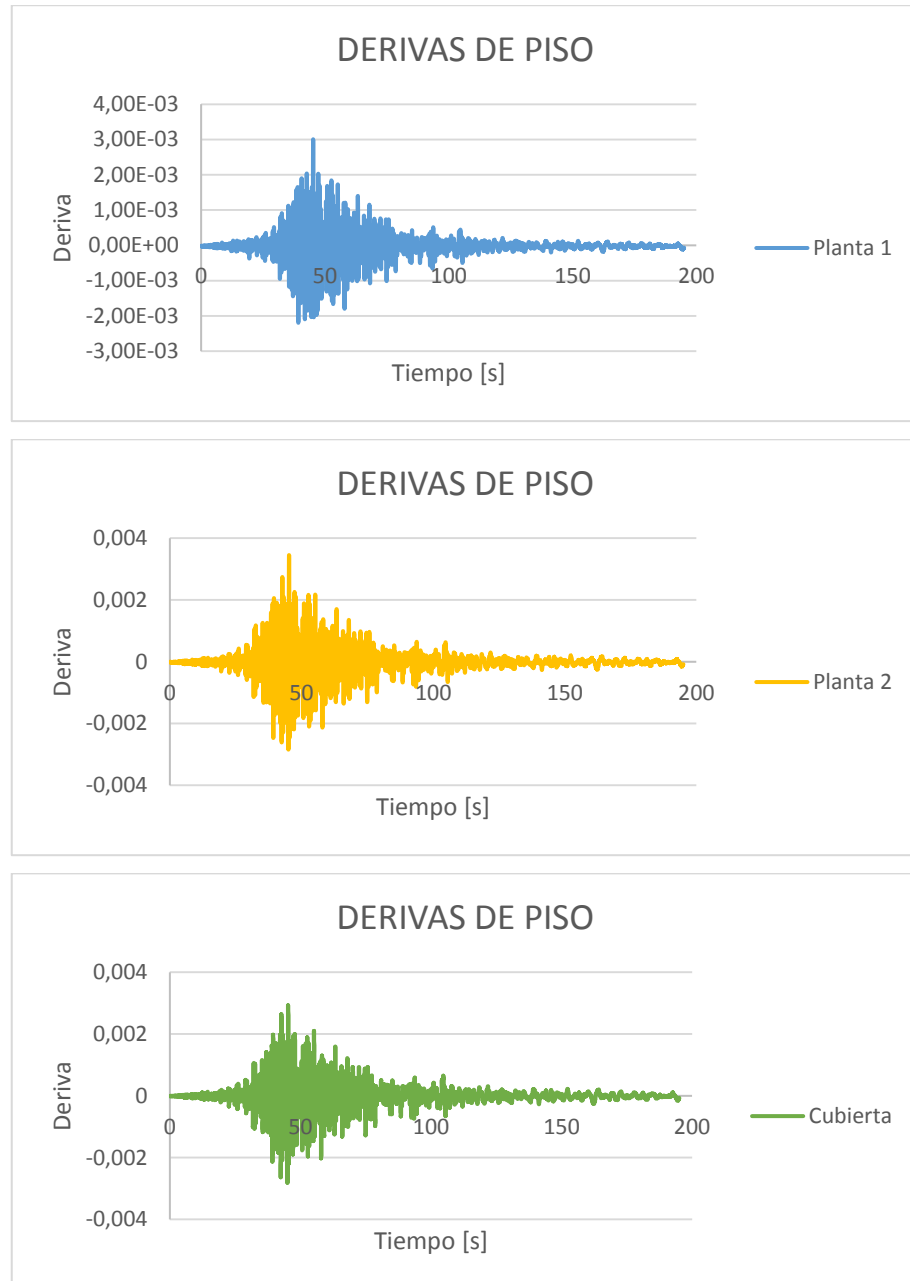


Figura 2.3.2.1.1: Derivas de piso, pórtico 1, sismo AMIL-E.

Tabla 2.3.2.1.1: Deriva máxima de piso, pórtico 1, sismo AMIL-E

	Deriva Elástica	Deriva Inelástica	
Planta 1	0.0030	1.80 %	Cumple
Planta 2	0.0035	2.07 %	No cumple
Cubierta	0.0029	1.76 %	Cumple

- **Sismo AMNT-N**

Duración: 50.05 segundos.

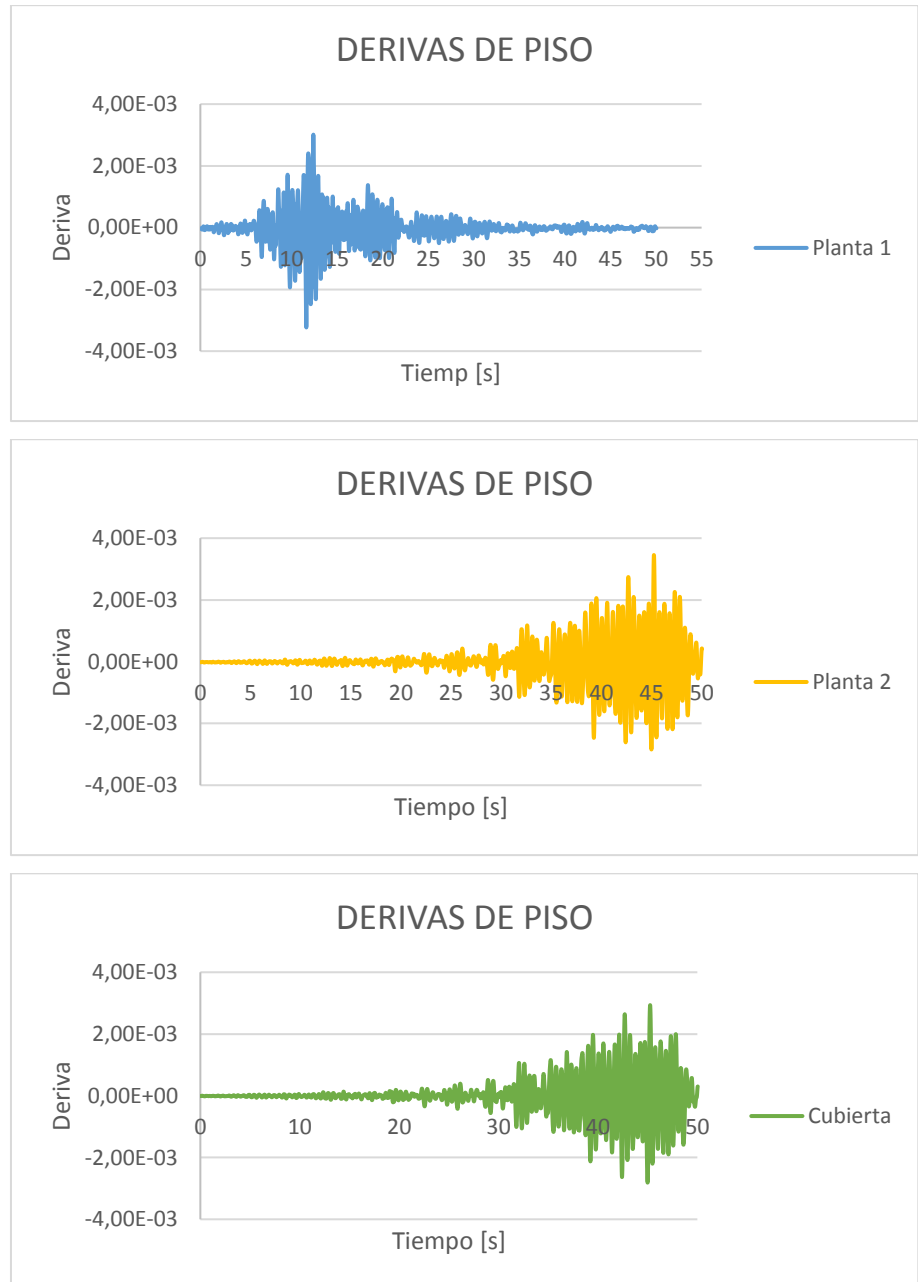


Figura 2.3.2.1.2: Derivas de piso, pórtico 1, sismo AMNT-N.

Tabla 2.3.2.1.2: Deriva máxima de piso, pórtico 1, sismo AMNT-N

	Deriva Elástica	Deriva Inelástica	
Planta 1	0.003012	1.81 %	Cumple
Planta 2	0.003488	2.07 %	No cumple
Cubierta	0.003526	2.12 %	No cumple

- **Sismo ASDO-N**

Duración: 80.04 segundos.

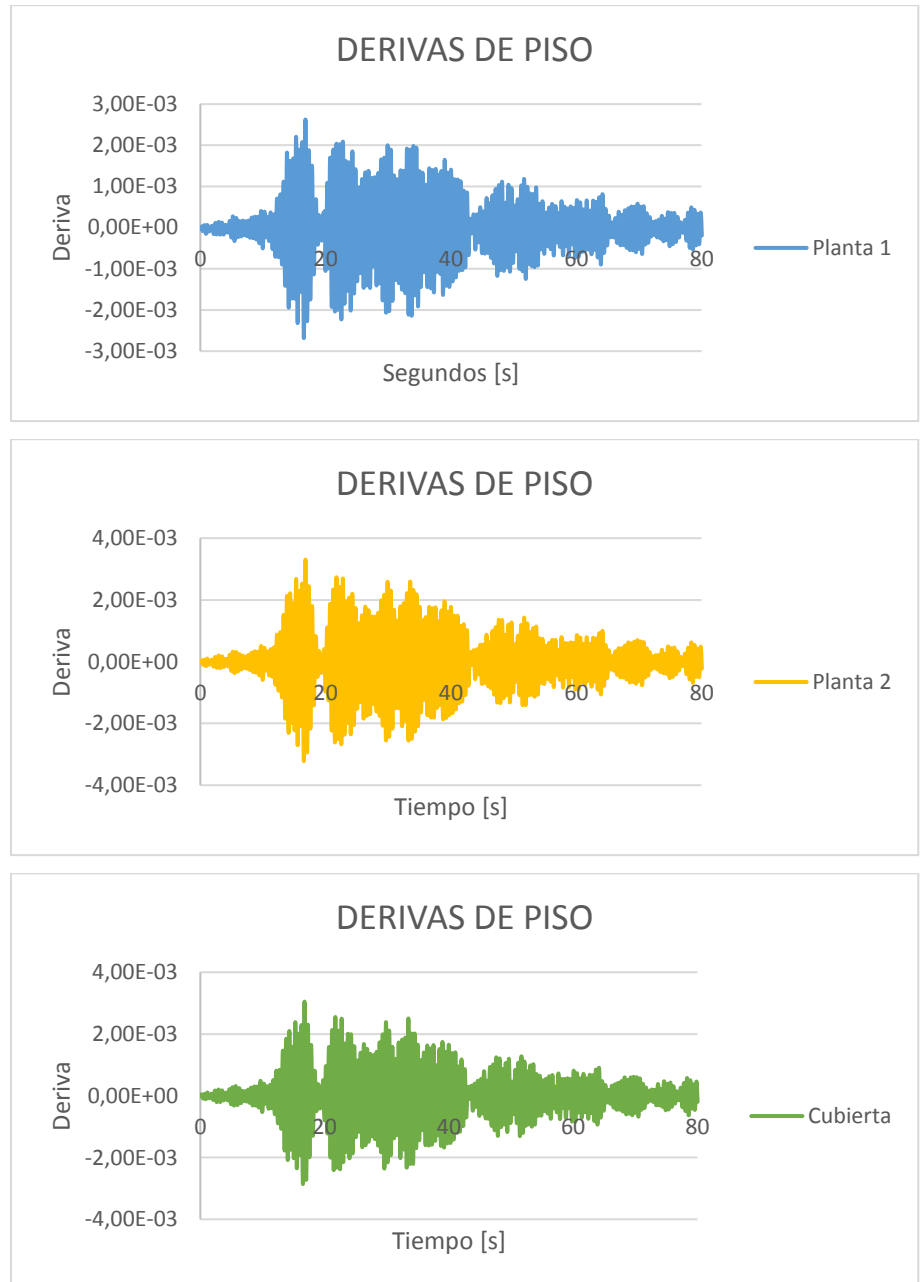


Figura 2.3.2.1.3: Derivas de piso, pórtico 1, sismo ASDO-N.

Tabla 2.3.2.1.3: Deriva máxima de piso, pórtico 1, sismo ASDO-N

	Deriva Elástica	Deriva Inelástica	
Planta 1	0.002627	1.58 %	Cumple
Planta 2	0.003307	1.98 %	Cumple
Cubierta	0.003050	1.83 %	Cumple

2.3.2.2. Derivas de piso. Pórtico 2.

- Sismo AMIL-E

Duración: 195.06 segundos.

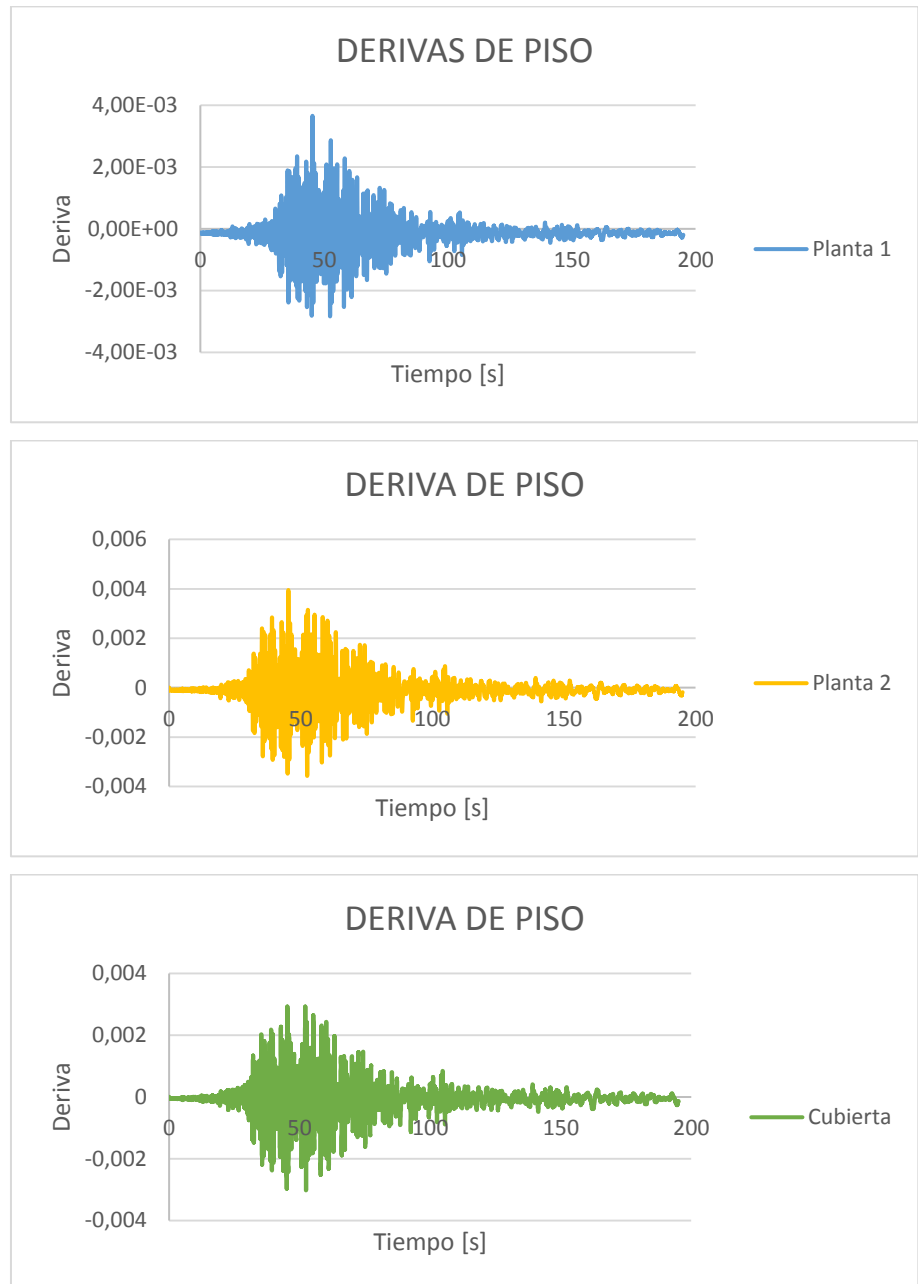


Figura 2.3.2.2.1: Derivas de piso, pórtico 2, sismo AMIL-E.

Tabla 2.3.2.2.1: Deriva máxima de piso, pórtico 2, sismo AMIL-E.

	Deriva Elástica	Deriva Inelástica	
Planta 1	0.0036	2.20 %	No cumple
Planta 2	0.0039	2.37 %	No cumple
Cubierta	0.0029	1.76 %	Cumple

- **Sismo AMNT-N**

Duración: 50.05 segundos.

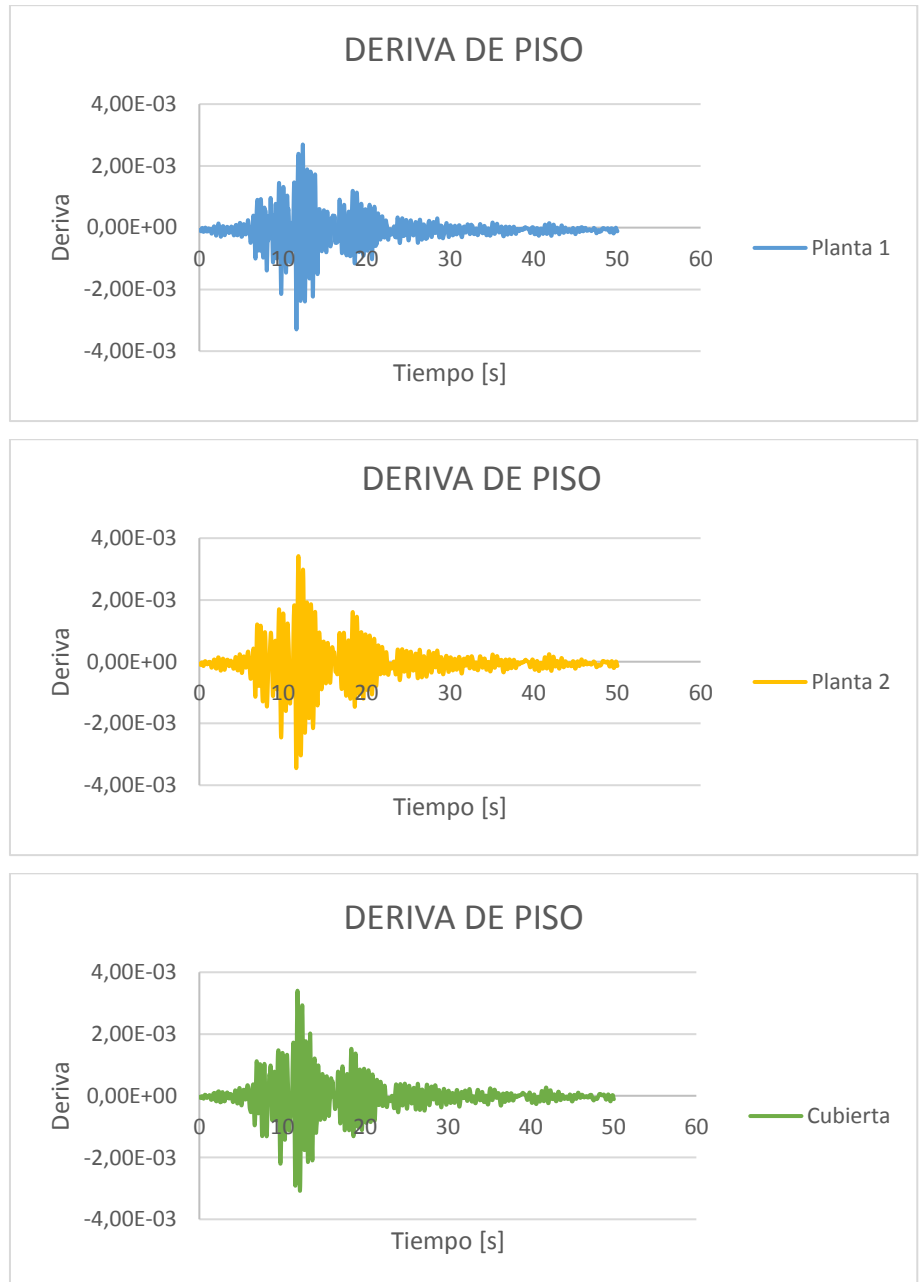


Figura 2.3.2.2.2: Derivas de piso, pórtico 2, sismo AMNT-N.

Tabla 2.3.2.2.2: Deriva máxima de piso, pórtico 2, sismo AMNT-N.

	Deriva Elástica	Deriva Inelástica	
Planta 1	0.0026	1.62 %	Cumple
Planta 2	0.0034	2.05 %	No cumple
Cubierta	0.0034	2.04 %	No cumple

- **Sismo ASDO-N**

Duración: 80.04 segundos.

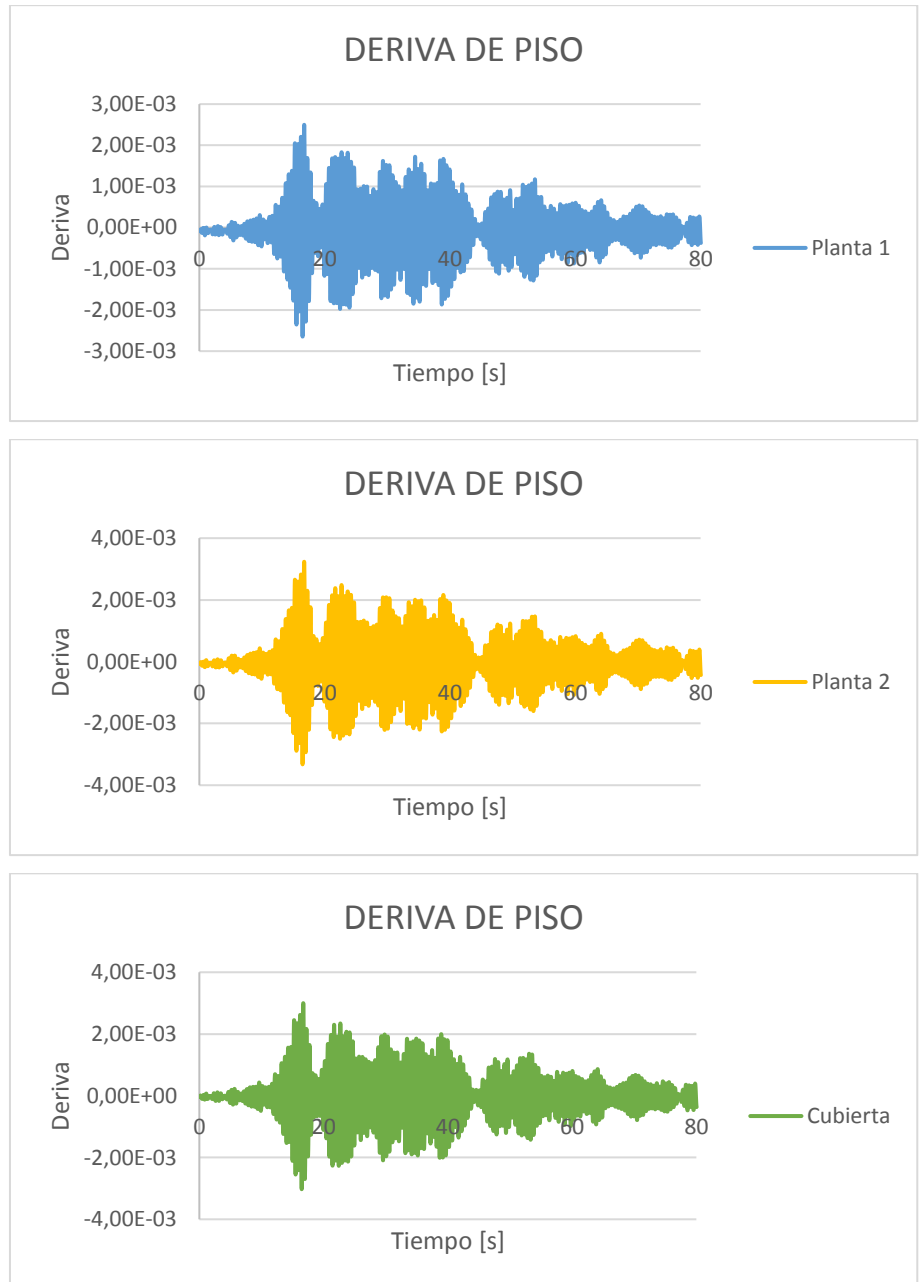


Figura 2.3.2.2.3: Derivas de piso, pórtico 2, sismo ASDO-N.

Tabla 2.3.2.2.3: Deriva máxima de piso, pórtico 2, sismo ASDO-E.

	Deriva Elástica	Deriva Inelástica	
Planta 1	0.0024	1.50 %	Cumple
Planta 2	0.0032	1.94 %	Cumple
Cubierta	0.0029	1.80 %	Cumple

2.3.3 Análisis no lineal: *Pushover*

“El análisis no lineal por el método *Pushover* consiste en un empuje lateral incremental hasta que se supone que la estructura ha llegado al colapso.” (Peralta, 2012) En éste se observa cómo interviene la capacidad de la estructura, representada por la curva de capacidad, que se define como la relación entre las fuerzas laterales y los desplazamientos demandados por las mismas.

2.3.3.1. Cortante Basal de diseño

“El cortante basal total de diseño V , a nivel de cargas últimas, aplicado a una estructura en una dirección especificada, se determinará mediante la expresión:” (Norma Ecuatoriana de la Construcción: Peligro Sísmico, 2014)

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

Donde:

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

El cortante basal de diseño producido en los pórticos analizados es de 64.8 Ton para el pórtico 1; y de 26.88 Ton para el pórtico 2, para un período de retorno de 475 años; mientras que, para un período de retorno de 2500 años, el cortante basal de diseño producido es de 85.73 Ton para el pórtico 1; y de 35.16 Ton en el pórtico 2.

Se ejecutó el análisis en el software libre OpenSees, para un período de retorno de 475 años y 2500 años, para posteriormente comparar su capacidad soportante contra el cortante basal producido; se obtuvieron los siguientes resultados:

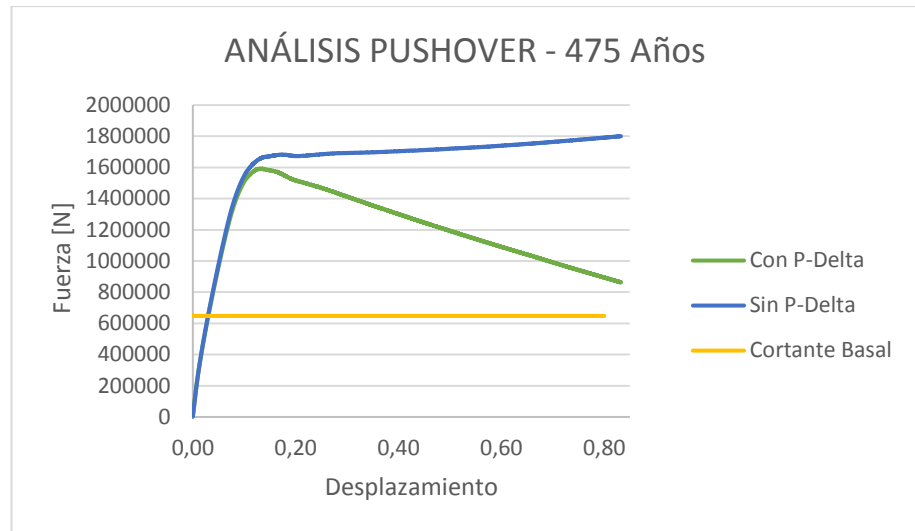


Figura 2.3.3.1: Análisis Pushover – 475 años, pórtico 1.

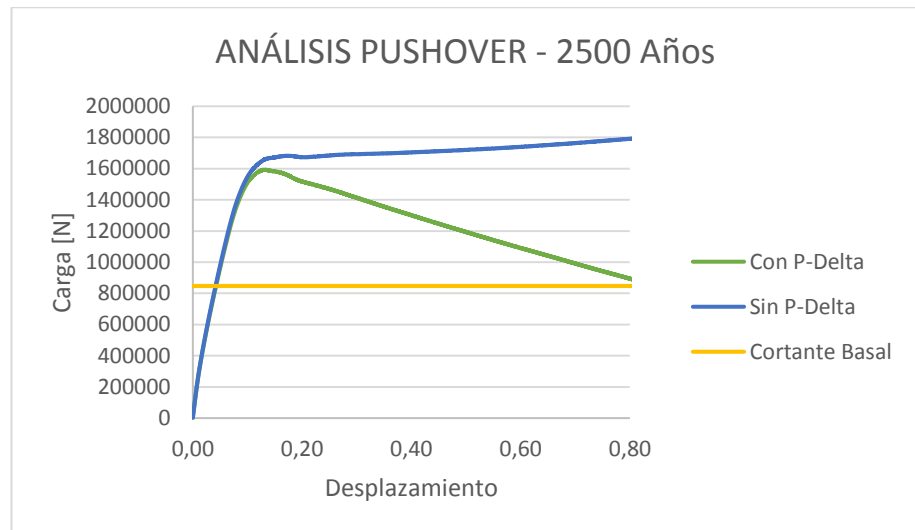


Figura 2.3.3.2: Análisis Pushover – 2500 años, pórtico 1.

La máxima capacidad de resistencia del pórtico 1 es 159.02 Ton, indicando así que el pórtico resistirá 59.3% más con respecto al cortante basal de diseño para un período de retorno de 475 años; mientras que para un período de retorno de 2500 años la capacidad resistente será superior en un 46.1%.

En cuanto al pórtico 2 se consiguió comprobar que la máxima capacidad de carga es de 67.31 Ton, demostrando que el pórtico resistirá adicionalmente el 60%, con solicitaciones mayores a la magnitud del cortante basal de diseño para un período de retorno de 475 años; para un período de retorno de 2500 años la resistencia del pórtico se incrementa en un 47.7%.

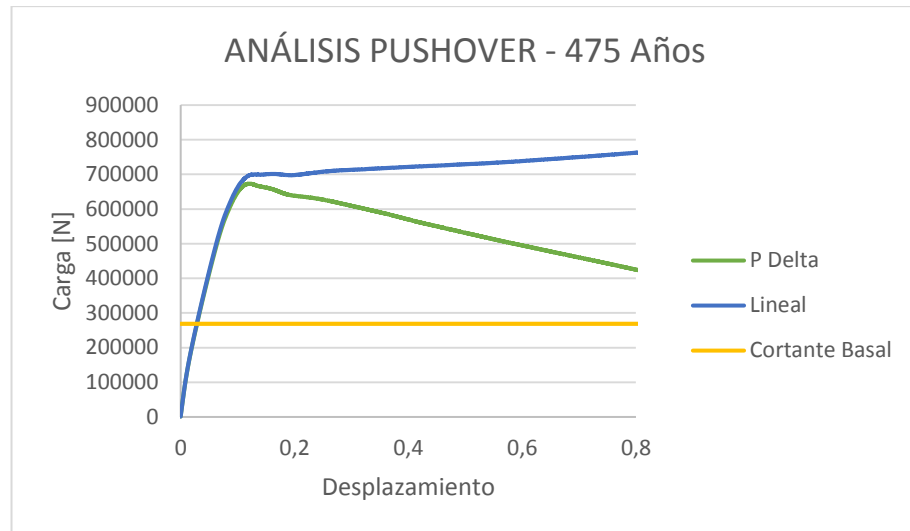


Figura 2.3.3.3: Análisis Pushover, período de retorno 475 años, pórtico 2.

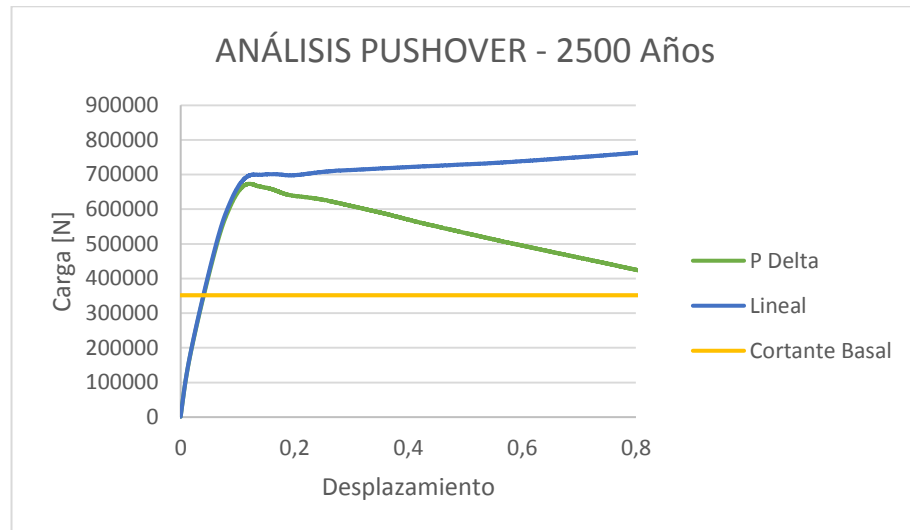


Figura 2.3.3.4: Análisis Pushover, período de retorno 2500 años, pórtico 2.

2.3.4. Análisis dinámico no lineal

Para realizar el análisis dinámico no lineal se requirió efectuar un nuevo escalamiento de los espectros sísmicos tomados del Instituto Geofísico de la Escuela Politécnica Nacional, de acuerdo a la normativa ASCE Estándar 7-10, comparando las aceleraciones espectrales sísmicas con la del espectro de diseño para un período de retorno de 2500 años; obteniendo así los siguientes factores de escala:

Tabla 2.3.4.1: Factores de escalamiento sísmico.

Sismo	Factor de escala	
	<i>Pórtico 1</i>	<i>Pórtico 2</i>
AMIL – E	21.9190	24.8016
AMNT – N	3.2820	3.4931
ASDO – N	6.2144	5.7056

Posteriormente, se programó el análisis dinámico, tomando en cuenta el acelerograma de cada sismo, al igual que su factor de escala. Teniendo como resultado la deriva inelástica máxima de cada piso, la misma que deberá ser menor al 2% para comprobar que la estructura presentará deformaciones inelásticas controlables.

2.3.4.1. Derivas inelásticas de piso. Pórtico 1.

- Sismo AMIL-E

Duración: 195.06 segundos.

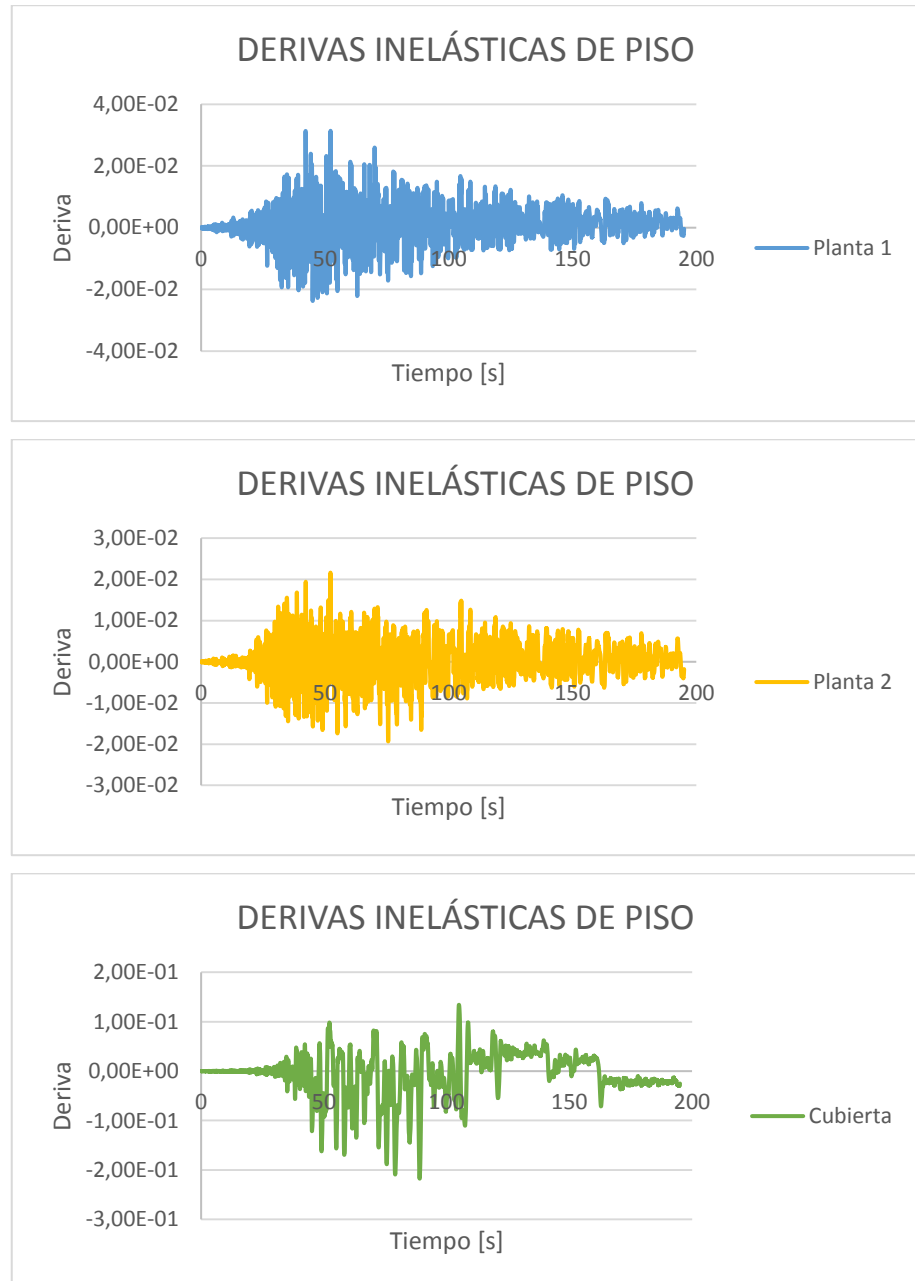


Figura 2.3.4.1.1: Derivas inelásticas de piso, pórtico 1, sismo AMIL-E.

Tabla 2.3.4.1.1: Deriva inelástica máxima de piso, pórtico 1, sismo AMIL-E.

Deriva Inelástica			
Planta 1	0.0313	2.35 %	No cumple
Planta 2	0.0216	1.62 %	Cumple
Cubierta	0.2174	16.31 %	No cumple

- **Sismo AMNT-N**

Duración: 50.05 segundos.

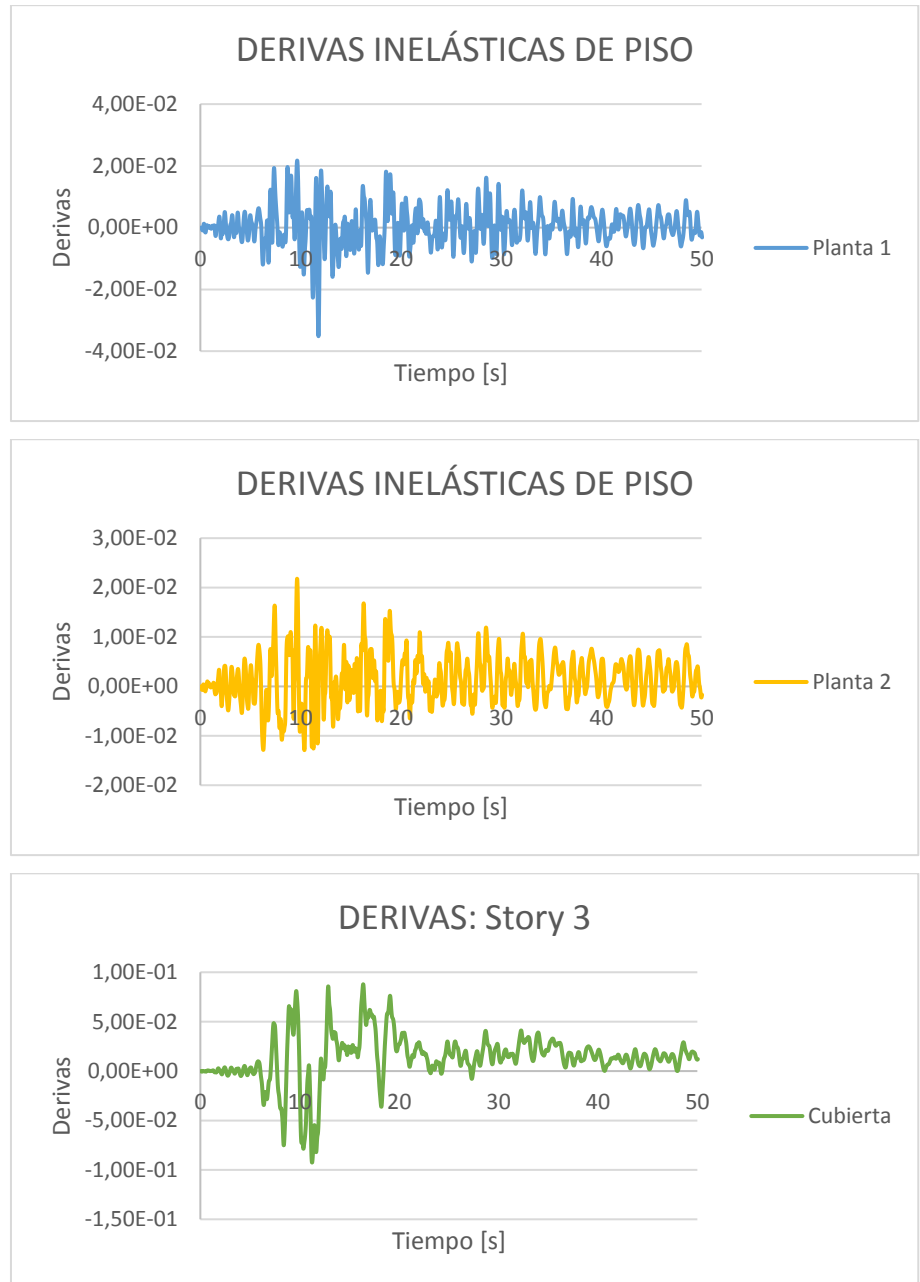


Figura 2.3.4.1.2: Derivas inelásticas de piso, pórtico 1, sismo AMNT-N.

Tabla 2.3.4.1.2: Deriva inelástica máxima de piso, pórtico 1, sismo AMNT-N.

Deriva Inelástica				Observaciones
Planta 1	0.0351	2.64 %	No cumple	
Planta 2	0.0217	1.63 %	Cumple	
Cubierta	0.0925	6.94 %	No cumple	La cubierta tiene una deformación residual

- **Sismo ASDO-N**

Duración: 80.04 segundos.

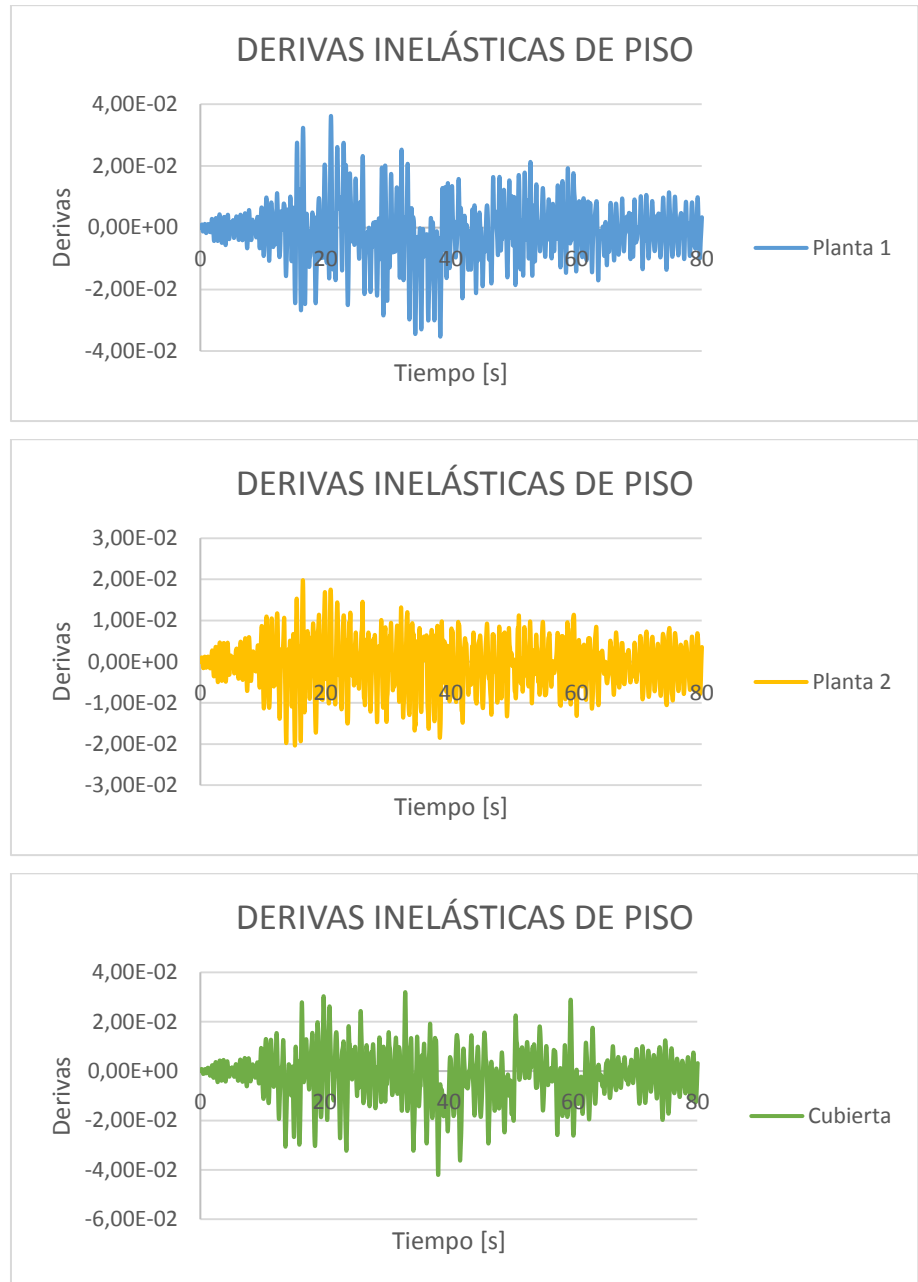


Figura 2.3.4.1.3: Derivas inelásticas de piso, pórtico 1, sismo ASDO-N.

Tabla 2.3.4.1.3: Deriva inelástica máxima de piso, pórtico 1, sismo ASDO-N.

Deriva Inelástica			
Planta 1	0.0362	2.71 %	No cumple
Planta 2	0.0204	1.53 %	Cumple
Cubierta	0.0421	3.15 %	No cumple

2.3.4.2. Derivas inelásticas de piso. Pórtico 2.

- Sismo AMIL-E

Duración: 195.06 segundos.

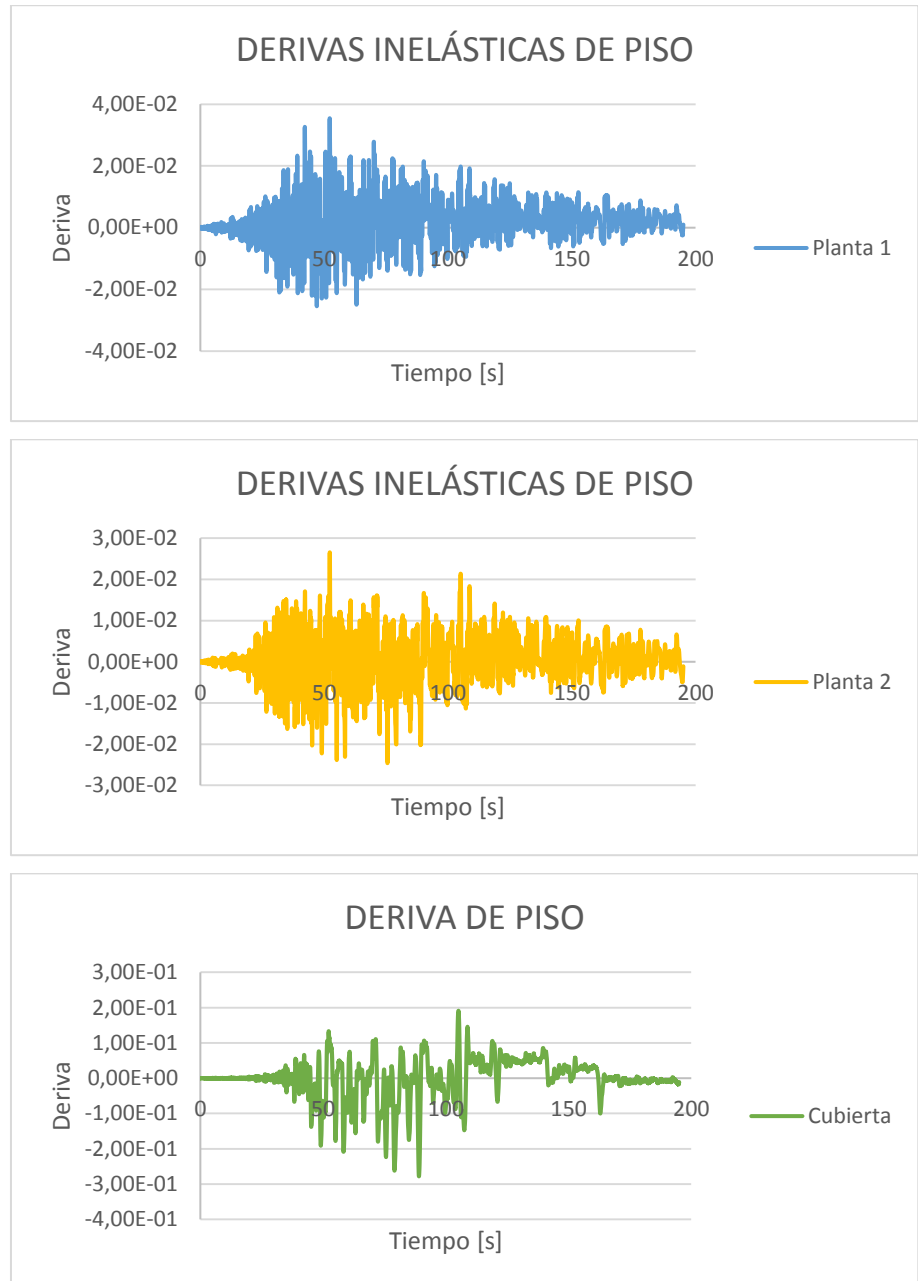


Figura 2.3.4.2.1: Derivas inelásticas de piso, pórtico 2, sismo AMIL-E.

Tabla 2.3.4.2.1: Deriva inelástica máxima de piso, pórtico 2, sismo AMIL-E.

Deriva Inelástica			
Planta 1	0.0354	2.66 %	No cumple
Planta 2	0.0266	1.99 %	Cumple
Cubierta	0.2779	20.85 %	No cumple

- **Sismo AMNT-N**

Duración: 50.05 segundos.

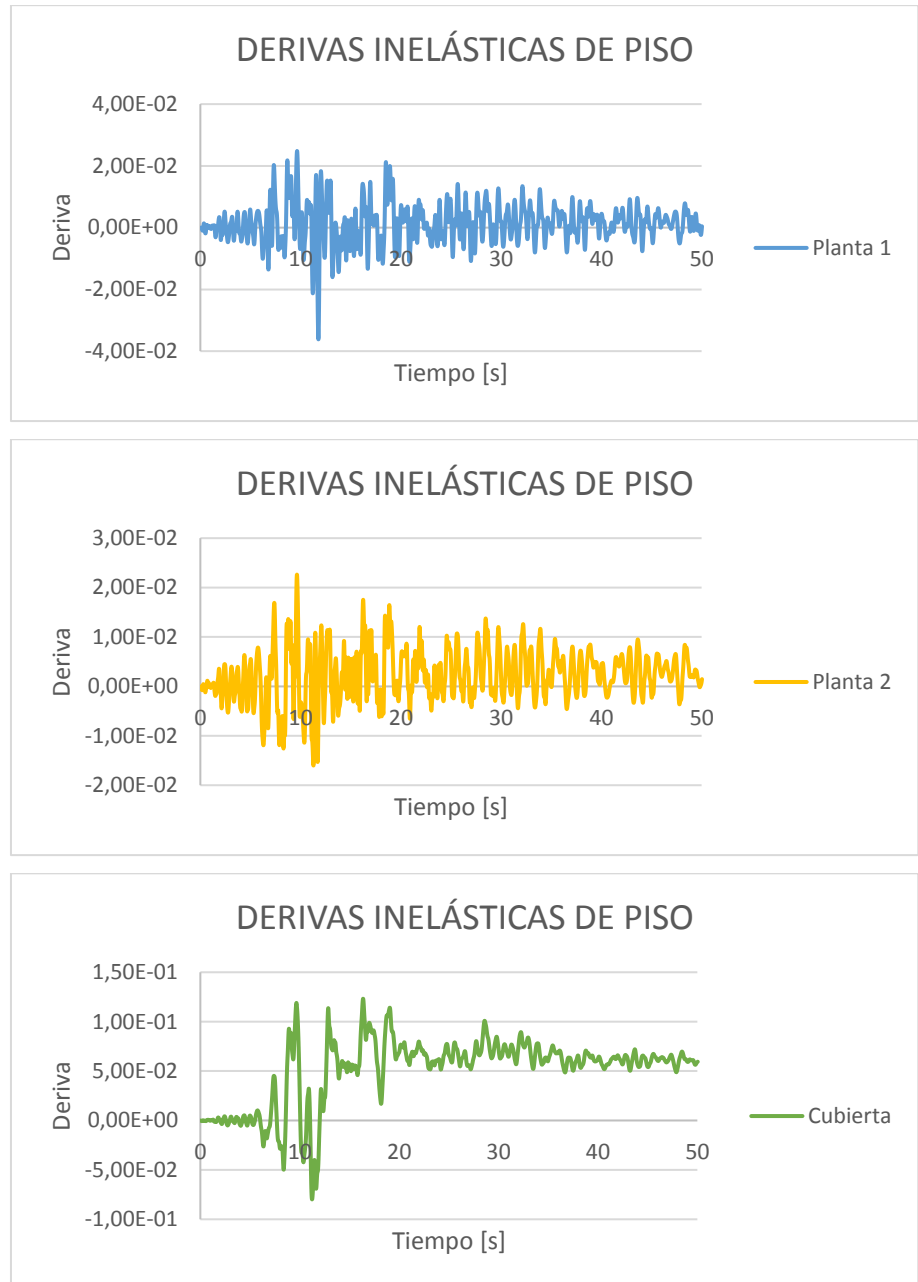


Figura 2.3.4.2.2: Derivas inelásticas de piso, pórtico 2, sismo AMNT-N.

Tabla 2.3.4.2.2: Deriva inelástica máxima de piso, pórtico 2, sismo AMNT-N.

Deriva Inelástica				Observaciones
Planta 1	0.0248	1.86 %	Cumple	
Planta 2	0.0226	1.70 %	Cumple	
Cubierta	0.1232	9.24 %	No cumple	La cubierta tiene una deformación residual

- **Sismo ASDO-N**

Duración: 80.04 segundos.

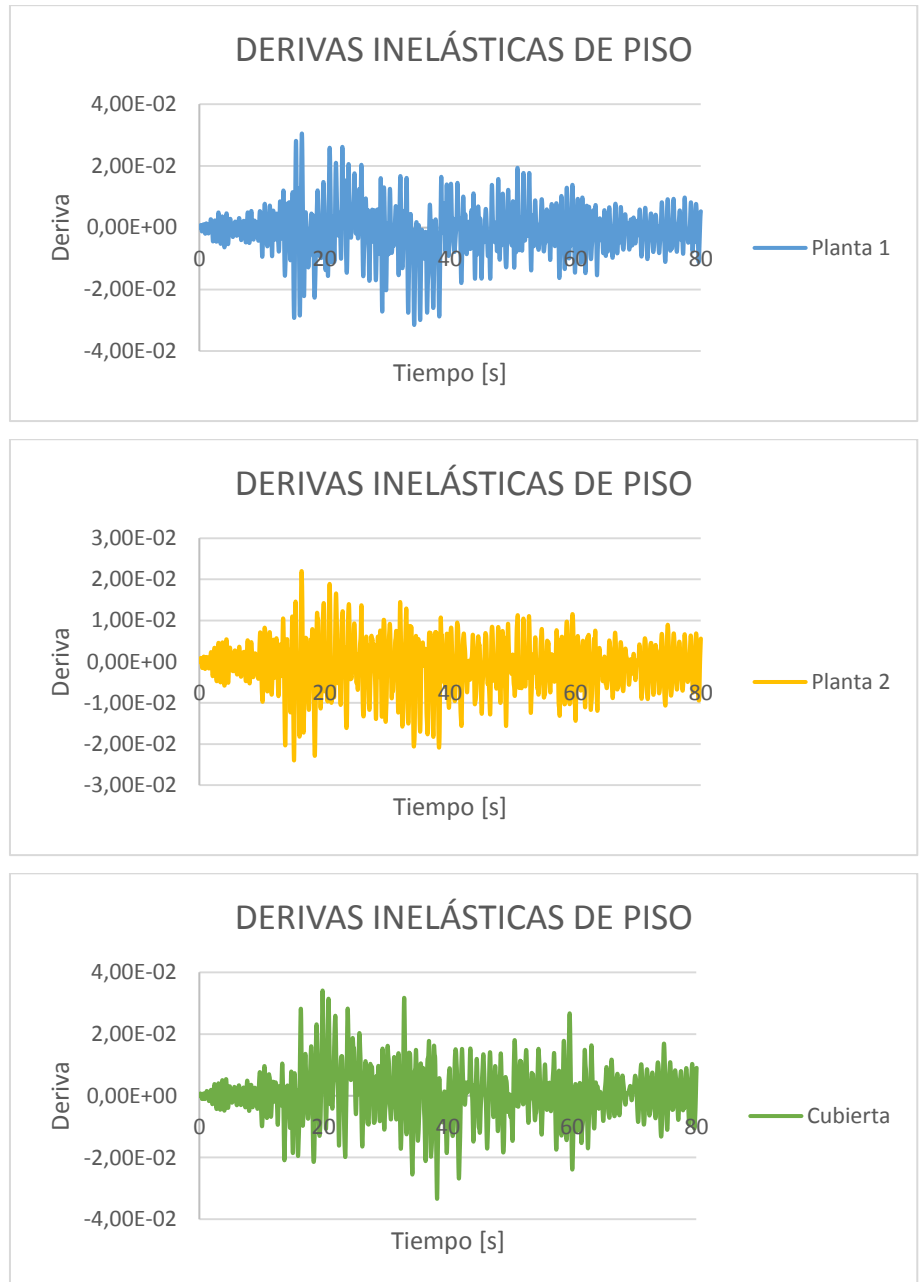


Figura 2.3.4.2.3: Derivas inelásticas de piso, pórtico 2, sismo ASDO-N.

Tabla 2.3.4.2.3: Deriva inelástica máxima de piso, pórtico 2, sismo ASDO-N.

Deriva Inelástica			
Planta 1	0.0315	2.36 %	No cumple
Planta 2	0.0239	1.80 %	Cumple
Cubierta	0.0341	2.56 %	No cumple

Una vez concluidos los análisis previamente presentados, notamos la extrema vulnerabilidad que la estructura posee actualmente, pues sus parámetros de respuesta no están acordes con los límites establecidos en la norma ecuatoriana, a pesar de que en uno de los análisis la edificación muestra un grado de resistencia superior a la fuerza cortante producida por la misma.

CAPÍTULO III

MEDIDAS DE MITIGACIÓN

A continuación, se propondrán medidas para reducir la vulnerabilidad estructural de la edificación analizada previamente, es decir, las acciones necesarias para que el Hospital Básico Misereor se comporte bajo el criterio de funcionalidad continua.

Los sismos de gran magnitud siguen causando graves daños en las estructuras hospitalarias, inhabilitando su uso ante una emergencia. Las disposiciones de la Norma Ecuatoriana de la Construcción para las estructuras esenciales tienen la intención de “limitar los daños estructurales, buscando elevar el nivel de protección y propendiendo a que las estructuras puedan mantenerse operacionales aún después de la ocurrencia del sismo de diseño” (Norma Ecuatoriana de la Construcción: Peligro Sísmico, 2014); sin embargo en la normativa no se reivindica estándares para la funcionalidad continua, por lo que es necesario utilizar criterios de diseño adicionales, enfocándose en controlar desplazamientos, fuerzas y aceleraciones que conducen a daños tanto estructurales como no estructurales y mejorando el manejo de instalaciones para lograr un funcionamiento integral, contribuyendo así a la sostenibilidad de la edificación, y todo ello a un costo razonable (Zayas & Mahin, 2010).

La clasificación de Resiliencia Sísmica Platino de REDi, Resilience-based Earthquake Design Initiative, plantea mejorar las estructuras y sus componentes arquitectónicos para que la edificación sufra un daño mínimo luego de un sismo, mediante directrices para el diseño sismo resistente y límites de daño para mantener la funcionalidad de las instalaciones esenciales (Almufti et al., 2013).

Al realizar el diseño para funcionalidad continua, se necesita el uso de aisladores sísmicos con capacidad suficiente para minimizar el daño en la estructura. Si se utiliza dispositivos de aislamiento con las propiedades y características mecánicas adecuadas y una gran capacidad de disipación; logrando que la estructura se mantenga dentro de un rango elástico, se garantiza el control de daños en los elementos estructurales y no estructurales de la edificación, habilitando su uso durante y después de un sismo de magnitud considerable. (Zayas & Mahin, 2010).

El aislamiento sísmico en estructuras se encarga de absorber el desplazamiento producido por el sismo, manteniendo a la estructura en el rango elástico y minimizando la aceleración y derivas de piso (Zayas, 2013). El aislamiento sísmico permite a los ingenieros decidir cómo un evento sísmico ocurrente afectará a la edificación en todos sus elementos, y ofrece una solución económica para el diseño de instalaciones con funcionalidad continua. (Zayas & Mahin, 2010).

El aislamiento sísmico, es una estrategia de diseño basada en la premisa de que es posible separar una estructura de los movimientos del suelo mediante la introducción de elementos flexibles entre la estructura y su fundación. El uso de aisladores permite en la estructura un mayor período de vibración y como consecuencia, ante la presencia de una amenaza sísmica se reducen las aceleraciones espectrales y por ende las fuerzas que actúan sobre ella son bajas (Aguilar, Almazán, Dechent, & Suárez, 2016).

“Existen varios métodos investigativos para la aislación basal, sin embargo, en Ecuador no se ha desarrollado ni se ha incluido en los códigos de diseño un documento que normalice los requerimientos mínimos que respalden la utilización de los aisladores de base, es por esto que se fundamenta en normas extranjeras y se las adapta a nuestra realidad.” (Guamán, 2017)

Luego de haber analizado las derivas del bloque de Maternidad del Hospital Básico Misereor en el rango no lineal, se ha determinado que la edificación necesita de dispositivos de aislamiento sísmico para resistir las aceleraciones espectrales de fuertes movimientos telúricos, por lo que en el software libre OpenSees se realizó la modelación y el cálculo del período fundamental de la estructura aplicando aisladores elastoméricos con núcleo de plomo (Véase anexo No. 5).

3.1 Pre diseño del aislador sísmico

De acuerdo a las tablas presentadas en el anexo No. 5 se seleccionaron diversos aisladores que cumplan con la característica de aumentar significativamente el período fundamental de la estructura. Luego de realizar varias simulaciones en el software libre OpenSees, se determinó que el dispositivo más adecuado posee las siguientes características:

- Diámetro elastomérico [Do]: 30.5 cm,
- Diámetro de plomo [Di]: 2.5 cm,
- Altura del aislador [h]: 20 cm;

Obteniendo como resultado, luego de realizado el análisis modal, un período de 1.75 segundos en el pórtico 1, lo que significa que el mismo aumenta en un 70%. En cuanto al pórtico 2, el período de vibración de la estructura aislada resulta 1.68 segundos, lo que representa un incremento del 71% aproximadamente.

No obstante, la implementación de un aislador sísmico con núcleo de plomo en el bloque de maternidad del “Hospital Básico Misereor”, no garantiza la funcionalidad continua de la edificación debido a su alta vulnerabilidad, por el armado y secciones de la estructura, razón por la cual en un futuro se deberían analizar otras alternativas de mitigación y reforzamiento.

CAPÍTULO IV

ANÁLISIS PRESUPUESTARIO

En el siguiente capítulo se realizará una comparación económica del costo por metro cuadrado que posee una estructura esencial, contra el impacto que la colocación de dispositivos de aislamiento tiene en la inversión de un proyecto estructural.

Se tomó como referencia el presupuesto presentado en el Portal de Compras Públicas (SERCOP) de la obra denominada “Construcción del Hospital Básico de Piñas de 30 camas”; cuyo monto fue USD 23’370.402,91; el mismo que fue adjudicado el 22 de mayo de 2017 por parte del Servicio de Contratación de Obras SECOB. El hospital a edificar cuenta con un área de construcción de 5.925,97 m², distribuidos en dos plantas. La configuración y futuro uso de la estructura mencionada tiene características similares a las del “Hospital Básico Misereor”; lo que hace factible su comparación en términos de costo. El precio referencial por metro cuadrado de la entidad hospitalaria es aproximadamente de USD 3.945, sin contar con el equipamiento médico.

Al disponer un área de 465,41 m² en el bloque de maternidad del Hospital Básico Misereor, se obtiene un presupuesto aproximado de USD 1’836.042,45.

Por otro lado, el costo promedio de un aislador sísmico es aproximadamente USD 2.500 por unidad (Anrango, 2015) y se considera un 50% de costos indirectos adicionales para la colocación y montaje del mismo. Al aplicar aisladores sísmicos con núcleo de plomo al bloque analizado en la presente investigación, se obtiene un presupuesto alrededor de USD 135.000; lo que significa que el costo total de la aplicación de la medida de mitigación representa el incremento del valor de la edificación en un 7.35%.

Cabe recalcar que, aunque la inversión inicial de una estructura con sistemas de protección sísmica es mayor que una estructura convencional, la reducción de la probabilidad de daño estructural y no estructural durante un evento sísmico compensa el gasto.

CONCLUSIONES

- El “Hospital Básico Misereor” ha sido analizado en una primera etapa por los ingenieros Geovanny Sempértegui Galarza y Paola Delgado Lituma, llegando a la comprobación de su diseño y obteniendo así las características estructurales que conforman la edificación.
- La concepción del “Hospital Básico Misereor”, al ser una estructura construida en varias etapas, no contó con una regulación en su proceso constructivo por lo que se ha encontrado criterios de diseño contradictorios a los que presenta la Norma Ecuatoriana de la Construcción 2014, como es el caso de columna débil – viga fuerte, posibilitando a que ante la presencia de una amenaza sísmica de magnitud y duración considerable, la edificación se convierta rápidamente en un mecanismo y se dé el colapso de la misma.
- Luego de realizado el análisis dinámico lineal del bloque de maternidad, se ratificó que la edificación posee un alto grado de vulnerabilidad estructural.
- Tomando en cuenta la zona sísmica y el tipo de suelo del lugar en que la entidad hospitalaria se encuentra emplazada; las derivas presentadas en la estructura están al límite de los valores permitidos en la norma, cumpliendo difícilmente con la resistencia frente al sismo de diseño; no obstante, las edificaciones esenciales y/o peligrosas deben ser diseñadas con un período de retorno de 2500 años.
- Luego de realizados varios análisis en el rango no lineal, basados en registros sísmicos presentados en el Ecuador, se determinó que la edificación posee una reserva de resistencia aparente, superior al cortante basal producido por la estructura; sin embargo, el edificio sufrirá colapso progresivo empezando desde su cubierta, que lo dejaría completamente inoperante ante una situación de emergencia, cuando ingrese al rango no lineal.
- El análisis dinámico no lineal de esta edificación hospitalaria ha demostrado que las consecuencias de daño estructural y/o arquitectónico se dan en mayores proporciones ante la presencia de sismos con duración prolongada.

- A pesar de que la evaluación esclerométrica realizada en la primera etapa de la investigación arrojó resultados de resistencias del hormigón de 300 kg/cm² en promedio, se llega a la conclusión de que el material pudo haber sufrido un fenómeno físico-químico de carbonatación debido a su edad, ya que el estudio demuestra la pronta indisposición de la edificación independientemente de la buena calidad de los materiales.
- Una vez conseguidos los resultados de la presente investigación se dedujo que los procesos ingenieriles detrás de la construcción no fueron los más adecuados, razón por la cual este inmueble no debería ser ocupado como una estructura esencial y/o peligrosa pues supone riesgo a la integridad de sus ocupantes en caso de presentarse eventos sísmicos esperados.
- En cuanto a la medida de mitigación analizada para el hospital, se logró que el período fundamental aumente significativamente a través de la presencia de dispositivos de aislamiento en la base de la estructura, no obstante, no se garantiza el desempeño efectivo del aislador en esta entidad debido a su alta vulnerabilidad estructural.
- Por otro lado, la propuesta de mitigación analizada no responde a un cambio significativo en la seguridad del inmueble, debería considerar en un futuro otras alternativas de mitigación y reforzamiento que disminuyan el riesgo de la edificación.
- Al realizar un análisis comparativo de costo – beneficio de las medidas de mitigación se infiere que la inversión en los dispositivos de reducción de vulnerabilidad es factible, pues cuando se habla de salvaguardar la integridad de las personas y garantizar la funcionalidad continua de una estructura esencial ante la presencia un evento adverso, no se deberían escatimar recursos, siempre y cuando esta inversión esté justificada con los estudios pertinentes.

RECOMENDACIONES

Las entidades gubernamentales que están a cargo de la salud pública deberán exigir una norma que rija la construcción de cualquier tipo de entidad hospitalaria, basándose en minuciosos y extensos estudios previos, que engloben en su totalidad el comportamiento de la estructura, incluyendo análisis, tanto en el rango lineal como en el no lineal, y la utilización de dispositivos de aislamiento y disipación sísmica.

Finalmente, las medidas de mitigación para disminuir la vulnerabilidad estructural en hospitales existentes deben ser un requerimiento en la evaluación de estructuras esenciales, para que independientemente de los eventos adversos que se presenten, la edificación pueda manejar el criterio de funcionalidad continua y de esta manera enfrentar positivamente situaciones de desastre y emergencia.

BIBLIOGRAFÍA

- ACI 318. (2011). *American Concrete Institute - Building Code Requirements for Structural Concrete ACI 318-11*. United States of America.
- ACI 318. (2011). *American Concrete Institute - Building Code Requirements for Structural Concrete ACI 318-11*. United States of America.
- ACI 440.2R-08. (2008). *American Concrete Institute - Guide for the Design and Construction of Externally Bonded FRP Systems for Strengthening Concrete Structures*. United States of America.
- Aguilar, R., Almazán, J. L., Dechent, P., & Suárez, V. (2016). *AISLADORES DE BASE ELASTOMÉRICOS Y FPS*. Quito.
- Almufti, I., Willford, M., Delucchi, M., Davis, C., Hanson, B., Langdon, D., ... Mote, T. (2013). *REDi™ Rating System*, (October).
- 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. Quito.
- ASCE Standar 7-10. (n.d.). *Minimum Design Loads for Buildings and Other Structures*. (American Society of Civil Engineers, Ed.). Virginia.
- 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. Quito.
- Norma Ecuatoriana de la Construcción: Peligro Sísmico (2014). Ecuador.
- Organización Panamericana de la Salud. (2007). ¿Su hospital es seguro? Preguntas y respuestas para el personal de salud. Ecuador.
- Peralta, M. (2012). Análisis estático no lineal y análisis dinámico no lineal del hospital de Vielha. Barcelona.
- Sempértegui, G., & Delgado, P. (2016). Evaluación estructural de la entidad hospitalaria “Hospital Misereor” de la Ciudad de Gualaquiza , Provincia de Morona Santiago, para cuantificar las amenazas y vulnerabilidad de la edificación hospitalaria. Cuenca.

Zayas, V. (2013). *Seismic Designs for Resilient Structures*. California.

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