

UNIVERSIDAD PERUANA UNIÓN
FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA
Escuela Profesional de Ingeniería Civil



**Verificación del comportamiento estructural No Lineal en edificios
de concreto armado en la ciudad de Cusco**

Tesis para obtener el Título Profesional de Ingeniero Civil

Autor:

German Huaman Huaman

Asesor:

Ing. Herson Duberly Pari Cusi

Juliaca, Diciembre de 2023

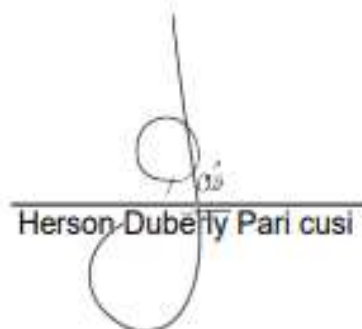
DECLARACIÓN JURADA DE ORIGINALIDAD DE TESIS

Yo Herson Duberly Pari Cusi, docente de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura, Escuela Profesional de Ingeniería Civil, de la Universidad Peruana Unión.

DECLARO:

Que la presente investigación titulada: **"VERIFICACIÓN DEL COMPORTAMIENTO ESTRUCTURAL NO LINEAL EN EDIFICIOS DE CONCRETO ARMADO EN LA CIUDAD DE CUSCO"** el autor German Huaman Huaman, tiene un índice de similitud de 16% verificable en el informe del programa Turnitin, y fue realizada en la Universidad Peruana Unión bajo mi dirección.

En tal sentido asumo la responsabilidad que corresponde ante cualquier falsedad u omisión de los documentos como de la información aportada, firmo la presente declaración en la ciudad de Juliaca, a los 10 días del mes de Abril del año 2024



Herson Duberly Pari Cusi

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS



En Puno, Juliaca, Villa Chullunquiari, a 18 día(s) del mes de diciembre del año 2023 siendo las 10:00 horas, se reunieron los miembros del jurado en la Universidad Peruana Unión Campus Juliaca, bajo la dirección del

(de la) presidente(a):

Ing. Rina Luzmer Yampara Licena, el (la) secretario(a): Mg. Henry Antonio Aguilar Chuguimía y los demás miembros: Dr. Leonel Suasaca Celino y el (la) asesor(a) Ing. Nelson Duberly Pari Lusi

con el propósito de administrar el acto académico de sustentación de la tesis titulado: Verificación del comportamiento estructural No Lineal en edificios de concreto armado en la ciudad de Lusco

del(los) bachiller(es): a) German Huaman Huaman
 b) _____
 c) _____

conducente a la obtención del título profesional de: Ingeniero Civil
(Denominación del Título Profesional)

El Presidente inició el acto académico de sustentación invitando al (a la) / a (los) (las) candidato(a)s hacer uso del tiempo determinado para su exposición. Concluida la exposición, el Presidente invitó a los demás miembros del jurado a efectuar las preguntas, y aclaraciones pertinentes, las cuales fueron absueltas por al (a la) / a (los) (las) candidato(a)s. Luego, se produjo un receso para las deliberaciones y la emisión del dictamen del jurado.

Posteriormente, el jurado procedió a dejar constancia escrita sobre la evaluación en la presente acta, con el dictamen siguiente:

Bachiller (a): German Huaman Huaman

CALIFICACIÓN	ESCALAS			Mérito
	Vigesimal	Literal	Cualitativa	
<u>Aprobado</u>	<u>14</u>	<u>C</u>	<u>Aceptable</u>	<u>Bueno</u>

Bachiller (b): _____

CALIFICACIÓN	ESCALAS			Mérito
	Vigesimal	Literal	Cualitativa	

Bachiller (c): _____

CALIFICACIÓN	ESCALAS			Mérito
	Vigesimal	Literal	Cualitativa	

(*) Ver parte posterior

Finalmente, el Presidente del jurado invitó al (a la) / a (los) (las) candidato(a)s a ponerse de pie, para recibir la evaluación final y concluir el acto académico de sustentación procediéndose a registrar las firmas respectivas.

[Firma]
 Presidente/a

[Firma]
 Asesor/a

[Firma]
 Bachiller (a)

[Firma]
 Miembro

 Bachiller (b)

[Firma]
 Secretario/a

 Miembro

 Bachiller (c)

DEDICATORIA

Quiero dedicar esta investigación a mis padres Paulino Huamán Mamani y Andrea Huamán Quispe, porque ellos han sido la razón de mi vida, por su apoyo incondicional y su paciencia que tuvieron en todo momento conmigo.

A toda mi familia que siempre está conmigo.

AGRADECIMIENTO

Mi agradecimiento primeramente con Dios por permitirme llegar hasta este momento y a mi casa de estudios la Universidad Peruana Unión lo cual me abrió sus puertas para formarme como buen profesional.

A mis docentes por las diferentes enseñanzas que me brindaron, quienes me incentivaron en muchos sentidos a seguir adelante y que sin su apoyo esto no hubiera podido ser posible.

INDICE GENERAL

DEDICATORIA.....	iv
AGRADECIMIENTO	v
INDICE GENERAL	vi
INDICE DE TABLAS.....	vii
INDICE DE FIGURAS.....	viii
INDICE DE ANEXOS.....	ix
RESUMEN.....	10
ABSTRACT.....	11
1. INTRODUCCION.....	12
2. MATERIALES Y MÉTODOS.....	14
2.1. Estructura en estudio	14
2.2. Metodología	16
2.2.1. Condiciones Estructurales.....	16
2.2.2. Propiedades de los materiales	18
2.2.3. Bases para la Verificación de Comportamiento.....	23
2.2.4. Espectros de Demanda.....	23
2.2.5. Calificación del desempeño sísmico.....	25
3. RESULTADOS.....	27
3.1. Resultados de Análisis Numéricos.....	27
4. DISCUSIÓN.....	44
5. CONCLUSIÓN.....	46
REFERENCIAS.....	47
ANEXOS.....	49

INDICE DE TABLAS

Tabla 1 <i>Probabilidad de Ocurrencia</i>	17
Tabla 2 <i>Resistencia fc</i>	19
Tabla 3 <i>Resistencia fc</i>	19
Tabla 4 <i>Resistencia fc</i>	20
Tabla 5 <i>Resistencia fc</i>	21
Tabla 6 <i>Resistencia fc</i>	21
Tabla 7 <i>Resistencia fc</i>	22
Tabla 8 <i>Probabilidad de Ocurrencia</i>	23
Tabla 9 <i>Niveles de sismo</i>	24
Tabla 10 <i>Niveles de desempeño sísmico</i>	26
Tabla 11 <i>Niveles de desempeño sísmico esperado</i>	26
Tabla 12 <i>Estructura 1, Porcentaje de Participación de las Masas</i>	27
Tabla 13 <i>Derivas de entre piso por Sismo en la dirección X, estructura 1</i>	28
Tabla 14 <i>Derivas de entre piso por Sismo en la dirección Y, estructura 1</i>	29
Tabla 15 <i>Nivel de desempeño Esperado y logrado Estructura N 01</i>	32
Tabla 16 <i>Estructura 2, Relaciones de Participación de las Masas</i>	33
Tabla 17 <i>Derivas de entre piso por Sismo en la dirección X, estructura 2</i>	34
Tabla 18 <i>Derivas de entre piso por Sismo en la dirección Y, estructura 2</i>	35
Tabla 19 <i>Nivel de desempeño Esperado y logrado Estructura N° 02</i>	37
Tabla 20 <i>Estructura 3, Relaciones de Participación de las Masas</i>	38
Tabla 21 <i>Derivas de entre piso por Sismo en la dirección X, estructura 3</i>	39
Tabla 22 <i>Derivas de entre piso por Sismo en la dirección Y, estructura 3</i>	40
Tabla 23 <i>Nivel de desempeño Esperado y logrado Estructura N° 03</i>	43

INDICE DE FIGURAS

Figura 1 Estructuración en planta de la estructura N° 1	14
Figura 2 Estructuración en planta estructura analizada N° 2.....	15
Figura 3 Modelo de la estructura analizada N° 3	16
Figura 4 Propiedades no Lineales de los materiales, modelo de Hognestad para el concreto y Elastoplástico para el acero	18
Figura 5 Histograma de frecuencias y distribución normal de la resistencia $f'c$ en columnas estructura N° 01	19
Figura 6 Histograma de frecuencias y distribución normal de la resistencia $f'c$ en columnas estructura N° 2.....	20
Figura 7 Histograma de frecuencias y distribución normal de la resistencia $f'c$ en columnas estructura N° 03.....	20
Figura 8 Histograma de frecuencias y distribución normal de la resistencia $f'c$ en Vigas estructura N° 01	21
Figura 9 Histograma de frecuencias y distribución normal de la resistencia $f'c$ en Vigas estructura N° 02.....	22
Figura 10 Histograma de frecuencias y distribución normal de la resistencia $f'c$ en Vigas estructura N° 02.....	22
Figura 11 Espectros de Respuestas Elásticas.....	25
Figura 12 Estructura 1, Derivas en X.....	29
Figura 13 Estructura 1, Derivas en Y.....	30
Figura 14 Estructura 1, Comportamiento no lineal dirección X (ASCE 41-17).....	30
Figura 15 Calificación del desempeño sísmico de acuerdo al FEMA 440, para sismo raro, ocasional, frecuente en función al nivel de daño de la estructura N° 01, Ocupación Inmediata (OI), Seguridad de Vida (SV), Cercano al colapso (CC), Colapso (C).....	31
Figura 16 Estructura 2, Derivas en X.....	34
Figura 17 Estructura 2, Derivas en Y.....	35
Figura 18 Estructura 2, Comportamiento no lineal dirección X (ASCE 41-17).....	36
Figura 19 Calificación del desempeño sísmico de acuerdo al FEMA 440, para sismo raro, ocasional, frecuente en función al nivel de daño de la estructura N° 02	37

Figura 20 <i>Estructura 3, Derivas en X</i>	40
Figura 21 <i>Estructura 3, Derivas en X</i>	41
Figura 22 <i>Estructura 3, Comportamiento no lineal dirección X (ASCE 41-17)</i>	41
Figura 23 <i>Calificación del desempeño sísmico de acuerdo al FEMA 440, para sismo raro, ocasional, frecuente en función al nivel de daño de la estructura N 03</i>	42

INDICE DE ANEXOS

Anexo 1 <i>Evidencias de sumisión del artículo en una revista de prestigio</i>	49
Anexo 2 <i>Resolución del proyecto de tesis en formato artículo aprobación y designación de Jurados de Sustentación</i>	50

Verificación del comportamiento estructural No Lineal en edificios de concreto armado en la ciudad de Cusco

RESUMEN

En el Perú más del 80% de viviendas son construidas sin un previo diseño y/o evaluación estructural, y se tiene mucha incertidumbre de su comportamiento ante un sismo, por lo que, se requiere de una evaluación de su desempeño estructural no lineal. En esta investigación, se presentan los resultados del comportamiento no lineal de tres estructuras con configuración regular tanto en planta como en altura de concreto armado en la ciudad de Cusco, Perú. Se consideró, la estructuración, zonificación y uso de las edificaciones, seleccionándose las estructuras de mayor frecuencia, que son aporticadas, regulares y de uso familiar. Para la muestra seleccionada se realizó el análisis estático no lineal PUSHOVER obteniéndose que todas las estructuras superan el 60% de desplazamiento inelástico máximo recomendado para edificaciones de categoría C durante un evento sísmico raro. Llegando a lograr un desempeño cercano al colapso o ya en zona de colapso. Además, las estructuras desarrollan poca ductilidad, por lo que se espera fallas frágiles. Las estructuras analizadas no cumplen tampoco con el diseño de acuerdo a la norma E.030, ya que en todos los casos se superó las derivas máximas permisibles de 0.007. Concluyendo que las edificaciones analizadas no cumplen los objetivos de desempeño esperados.

Palabra Clave: Comportamiento estructural, análisis estático no lineal, desempeño sísmico, evaluación del desempeño, estructura aporticado, Pushover, respuesta estructural.

Nonlinear Structural Behavior Verification in Reinforced Concrete Buildings in the City of Cusco

ABSTRACT

In Peru, over 80% of houses are constructed without prior design and/or structural evaluation, leading to considerable uncertainty regarding their behavior during earthquakes. Therefore, there is a need for evaluating their nonlinear structural performance. This research presents the results of the nonlinear behavior of three reinforced concrete structures in the city of Cusco, Peru, which have both regular plan and height configurations. The selection of structures considered their construction, zoning, and usage, opting for those with higher frequency, regular frames, and residential purposes. The chosen sample underwent nonlinear static PUSHOVER analysis, revealing that all the structures exceeded the recommended maximum inelastic displacement of 60% for Category C buildings during a rare seismic event. They exhibited performance close to collapse or already in the collapse range. Moreover, these structures displayed limited ductility, suggesting the likelihood of brittle failures. Additionally, the analyzed structures did not comply with the E.030 code's design standards, as they all exceeded the allowable maximum drift of 0.007. In conclusion, the examined buildings did not meet the expected performance objectives.

Keywords: Structural behavior, nonlinear static analysis, seismic performance, performance evaluation, frame structure, Pushover, structural response.

1. INTRODUCCION

El Perú se encuentra ubicado en el denominado Cinturón de Fuego del Pacífico y en su borde occidental se desarrolla el proceso de convergencia de la placa de Nazca bajo la Sudamericana, siendo la región de mayor actividad sísmica en el mundo por lo que, es necesario conocer el comportamiento probable de este peligro en un área determinada a fin de planificar y mitigar los efectos que podrían producirse en el futuro. (Tavera et al., 2016); Según Moreno González & Bairán García,(2012) La principal causa de pérdidas humanas y económicas que se producen a debido de una proyección inadecuada de edificaciones ante los terremotos, y un comportamiento sísmico inadecuado de las estructuras.

De acuerdo con Melone (2002). “La evaluación de la respuesta sísmica de un sistema consiste en la calificación de su capacidad de atender a los niveles de demanda impuestos por una crisis sísmica, de manera que permita identificar y diagnosticar situaciones que comprometen la efectividad de su funcionamiento”.

De acuerdo a Selena Mendoza-Intriago & Javier García-Vinces III, 2022. “El análisis Pushover es la metodología tradicional de análisis no lineal de tipo estático con una metodología factible para analizar la resistencia -deformación de una estructura; este método incursiona la estructura en un rango inelástico, donde mediante el incremento de fuerzas laterales se muestra el máximo desplazamiento que experimentará la edificación antes de llegar al fallo de sus elementos estructurales, de esta manera identificaremos los puntos donde se puede disipar la energía del sismo.”

Según Poursha et al. (Poursha et al., 2011) El procedimiento estático no lineal o análisis pushover se usa cada vez más para establecer las estimaciones de demandas sísmicas para estructuras de edificios, así mismo se ha empleado en el último tiempo para determinar la máxima resistencia de edificios sometidos a terremotos de intensidad variable Además, de acuerdo con Zou & Chan (2005) Los procedimientos de análisis no lineal se vuelven importantes en el análisis pushover, tificando los patrones y el nivel de daño,

con la finalidad de evaluar el comportamiento inelástico de la estructura y para comprender la respuesta de la estructura durante eventos sísmicos severos.

Para la evaluación del desempeño se usó la propuesta del Comité VISIÓN 2000 del (SEAOC, 1995) y para la estimación de la respuesta sísmica, procedimientos de análisis no lineal basados en espectros de demanda-capacidad. El documento Visión 2000 define claramente los objetivos de comportamiento sísmico, para lo cual relaciona los niveles de comportamiento con los niveles esperados de movimientos sísmicos (Priestley, 2000)

En relación a la problemática expuesta, el objetivo principal de esta contribución es evaluar el comportamiento estructural de tres edificaciones aporricados de concreto armado en la ciudad de Cusco, con el fin de determinar su comportamiento estructural inelástico, y analizar si cumplen con el nivel de desempeño requerido para este tipo de edificaciones

2. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1. Estructura en estudio

Las estructuras seleccionadas se encuentran en la Ciudad de Cusco, Departamento de Cusco. El suelo de soporte es tipo III de origen aluvional, los tipos de extractos más frecuentes son los rodados, y arenas arcillosas o limosas con gravas. Las estructuras son de pórticos de concreto armado de 5 niveles de altura. Se seleccionó estructuras con configuración regular tanto en planta como en altura, ubicadas dentro del área de estudio, aporticadas, regulares y de uso familiar.

Figura 1

Estructuración en planta de la estructura N° 1

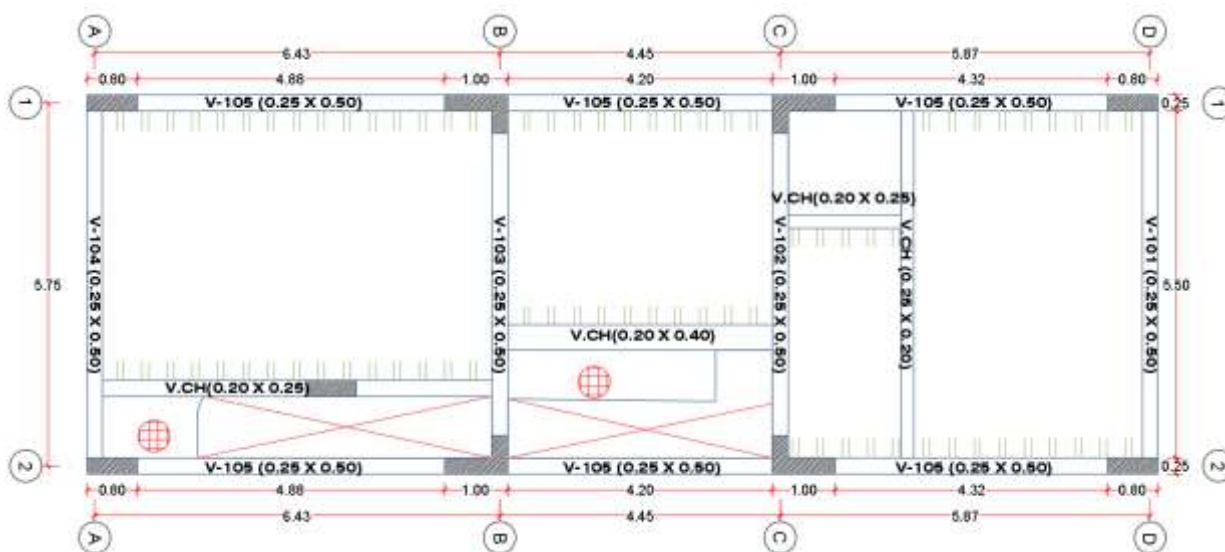


Figura 2

Estructuración en planta estructura analizada N° 2

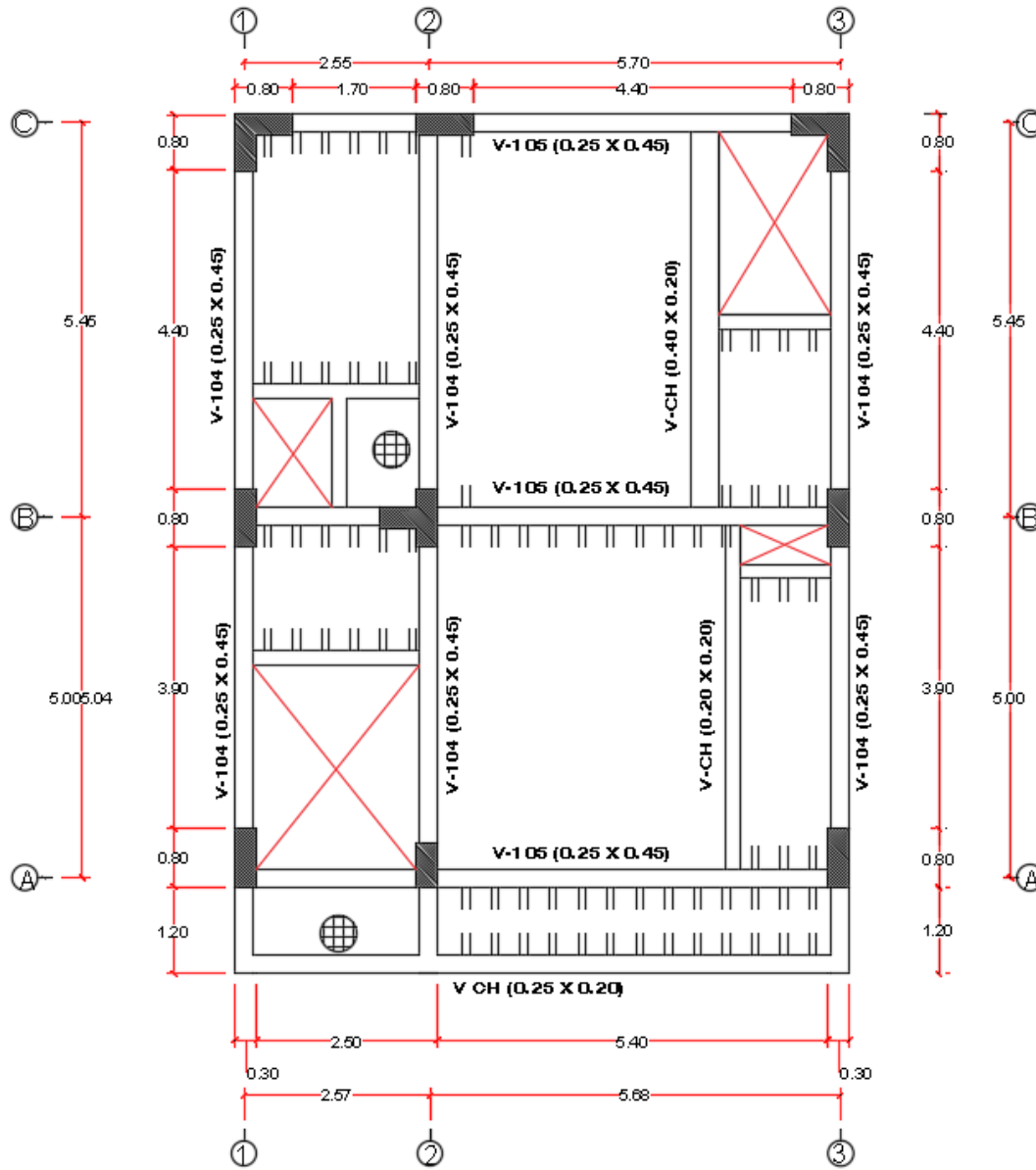
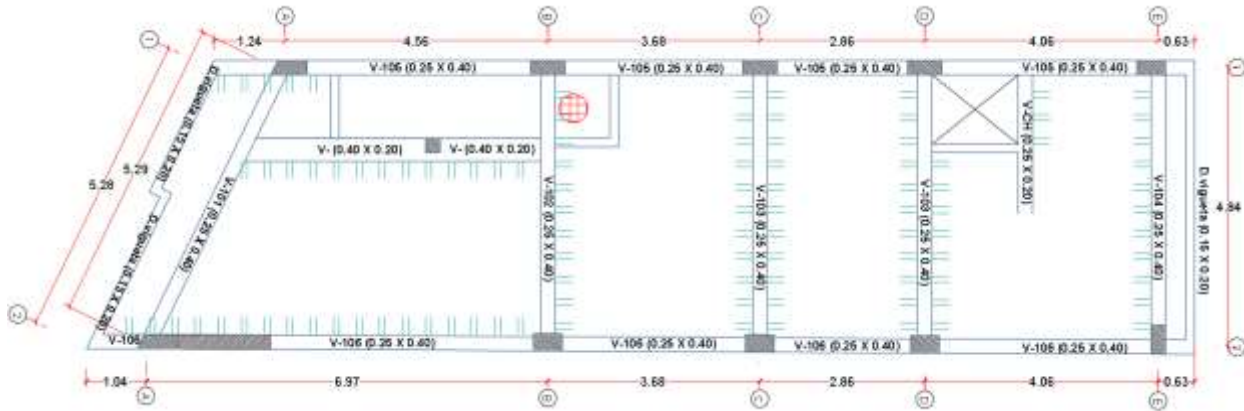


Figura 3

Modelo de la estructura analizada N° 3



2.2. Metodología

2.2.1. Condiciones Estructurales

A fin de comparar resultados, se tomarán los mismos factores o condiciones a las cuales estarán sometidos los edificios regulares, estos son los siguientes:

Tabla 1*Probabilidad de Ocurrencia*

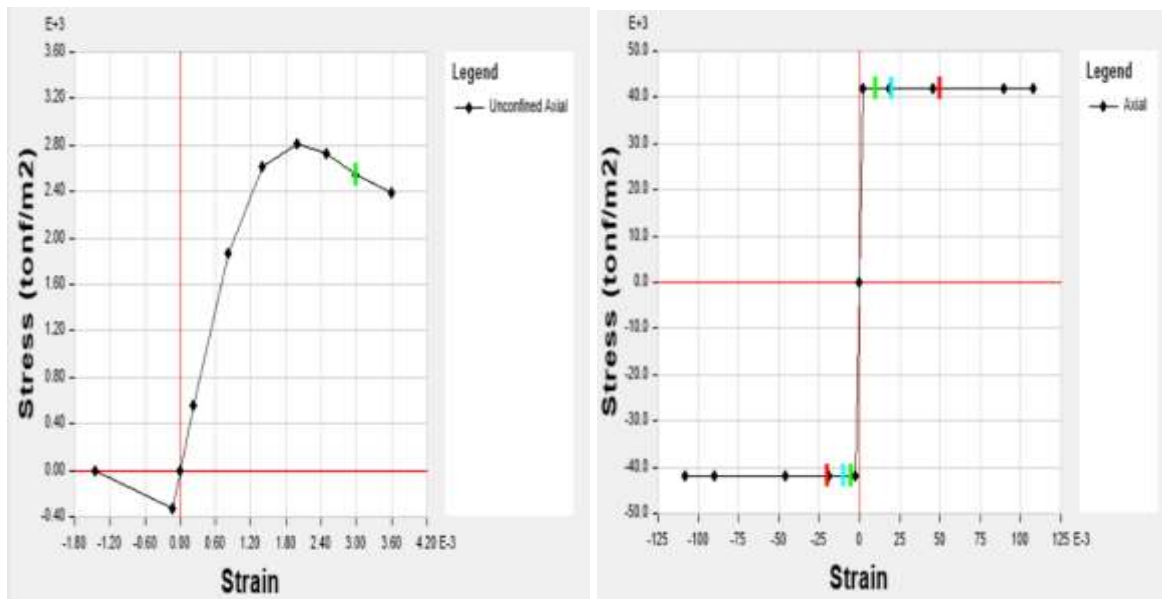
Descripción	Unidad	Valor
Factor de irregularidad en altura.		1
Factor de irregularidad en planta.		1
Geometría en altura.		Regular
Coefficiente básico de reducción de respuesta (Ro)		8
Coefficiente de reducción de las fuerzas sísmicas (R)		8
Categoría del edificio		C
Límite de distorsión del entrepiso.		0,007
Factor de importancia "U"		1
Altura del edificio.	m	16
Zona sísmica.		2
Factor de zona "Z"		0,25
Tipología estructural NT E.050		III
Tipo de suelo.		S3
Suelo, resistencia admisible permanente.	Kg/cm ²	2,0
Suelo, resistencia ultima sísmica y accidentales	Kg/cm ²	3
Periodo Tp	seg	0,6
Periodo Tl	seg	2
Factor de amplificación del suelo "S".		1,20
Resistencia a la compresión del concreto a los 28 días F'c.	Kg/cm ²	250
Módulo de elasticidad concreto.	Kg/cm ²	238.752
Resistencia a la fluencia del acero de refuerzo "fy".	Kg/cm ²	4.200
Resistencia a última del acero de refuerzo "fu".	Kg/cm ²	6.327
Capacidad portante del suelo	Kg/cm ²	

2.2.2. Propiedades de los materiales

Para el análisis se ha considerado el modelo no Lineal de Hognestad para el concreto, y el modelo elastoplástico para el acero:

Figura 4

Propiedades no Lineales de los materiales, modelo de Hognestad para el concreto y Elastoplástico para el acero



Se muestra las secciones de los elementos estructurales, y la resistencia calculada como media estadística de los datos obtenidos de los ensayos de esclerometría realizados en campo tanto para columnas como para vigas.

- **Resistencia del concreto en columnas**

Tabla 2

Resistencia f_c

Resistencia f_c	
Promedio:	300,03
Desviación:	52,776

Figura 5

Histograma de frecuencias y distribución normal de la resistencia f_c en columnas estructura N° 01

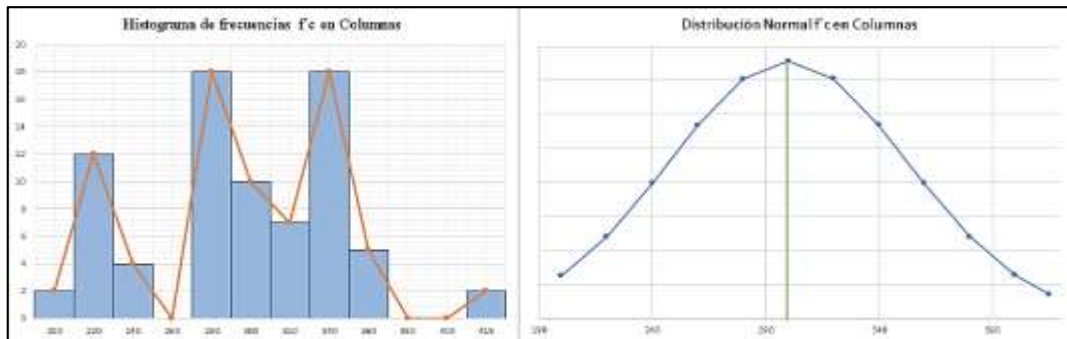


Tabla 3

Resistencia f_c

Resistencia f_c	
Promedio:	331,5
Desviación:	57.18

Figura 6

Histograma de frecuencias y distribución normal de la resistencia $f'c$ en columnas estructura N° 2

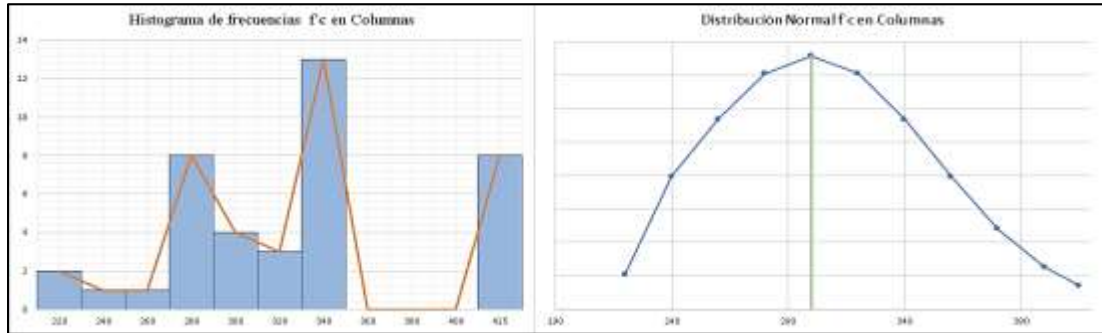


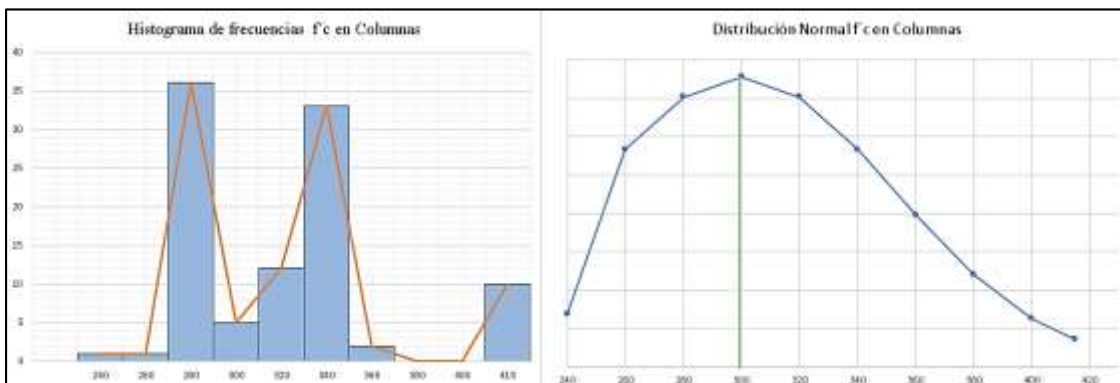
Tabla 4

Resistencia $f'c$

Resistencia $f'c$	
Promedio:	312,66
Desviación:	71,64

Figura 7

Histograma de frecuencias y distribución normal de la resistencia $f'c$ en columnas estructura N° 03



- **Resistencia del concreto en vigas**

Tabla 5

Resistencia f_c

Resistencia f_c	
Promedio:	268.84
Desviación:	57.63

Figura 8

Histograma de frecuencias y distribución normal de la resistencia f_c en Vigas estructura N° 01

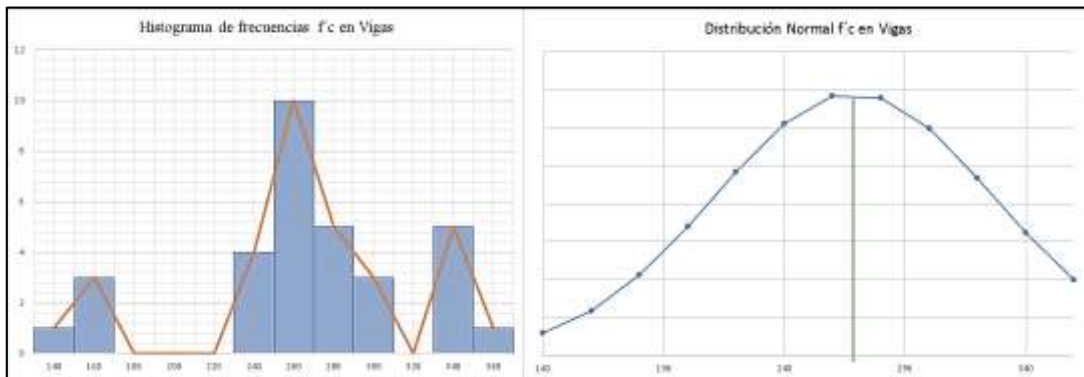


Tabla 6

Resistencia f_c

Resistencia f_c	
Promedio:	256.98
Desviación:	58.31

Figura 9

Histograma de frecuencias y distribución normal de la resistencia $f'c$ en Vigas estructura N° 02

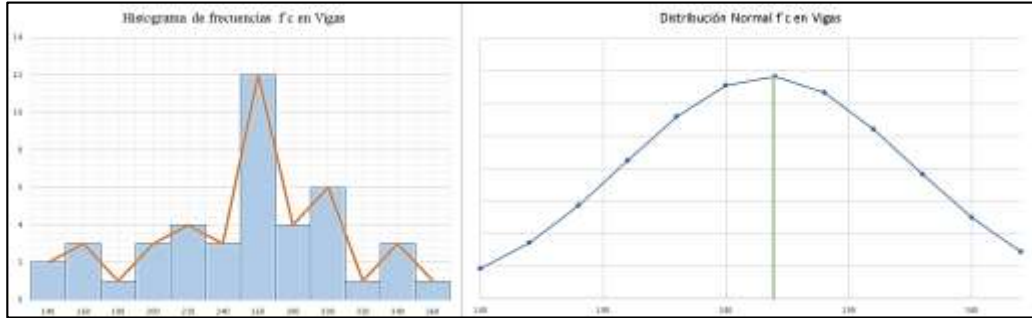


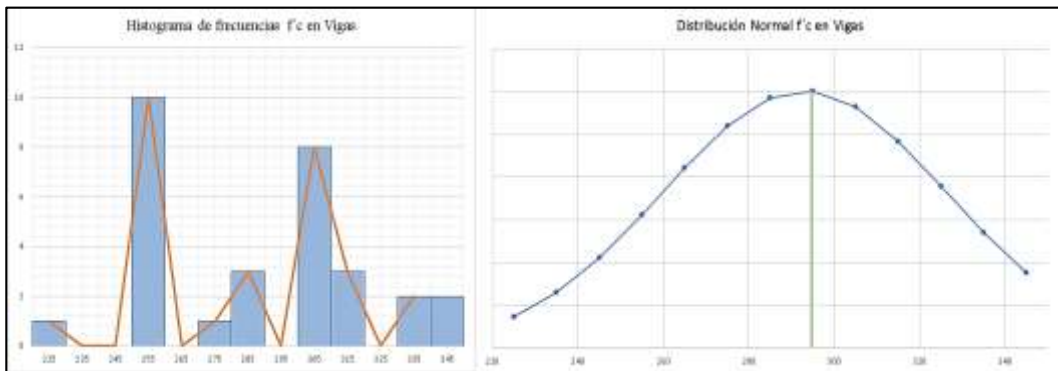
Tabla 7

Resistencia $f'c$

Resistencia $f'c$	
Promedio:	293,00
Desviación:	33,13

Figura 10

Histograma de frecuencias y distribución normal de la resistencia $f'c$ en Vigas estructura N° 02



2.2.3. Bases para la Verificación de Comportamiento

Se utilizó como criterio para la verificación de comportamiento de las estructuras el recomendado por el Comité Visión, 2000; el cual establece para edificios comunes lo siguiente: para sismos frecuente (45 años) completamente operativo, para sismos ocasionales (75 años) Operativo, para sismos raro (475 años) resguardo de vida y sismo muy raro (970 años) cerca del colapso. Se muestra a continuación los valores de ocurrencia sísmicas para diferente vida útil de las estructuras.

Tabla 8

Probabilidad de Ocurrencia

Sismo de Diseño	Período de Retorno	Probabilidad en 50 años
Frecuentes	45 años	67,1%
Ocasionales	75 años	48,7%
Raros	475 años	10,0%
Muy Raros	970 años	5,0%

Nota: Según Muñoz, (2012)

2.2.4. Espectros de Demanda

Los espectros de demanda para interceptar con el espectro de capacidad de las estructuras y obtener el nivel de desempeño sísmico estructural, se obtienen de los espectros de diseño que se muestran a continuación, corregidos por amortiguamiento. Se ha realizado el análisis para sismos frecuentes, ocasionales, raros (Espectro de diseño de acuerdo a la norma E030), eventos muy raros. (NTP E.030, 2017)

Tabla 9*Niveles de sismo*

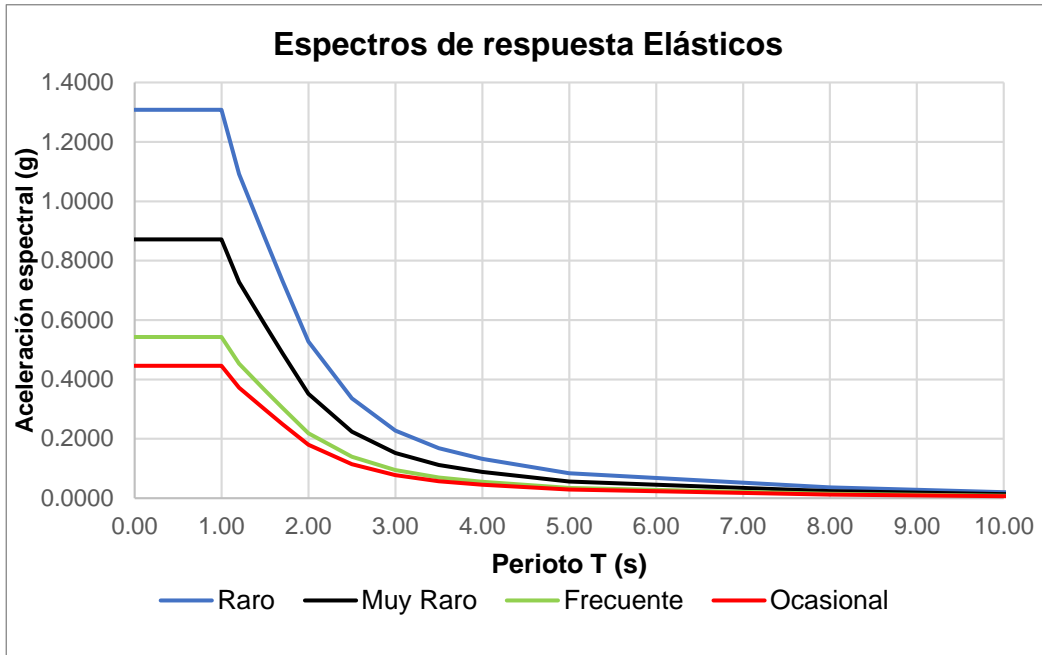
Sismo de Diseño	Período de Retorno	Aceleración	Comportamiento esperado
Frecuentes	45 años	0,23 g	Perfectamente elástico
Ocasionales	75 años	0,28 g	Prácticamente elástico
Raros	475 años	0,45 g	IncurSIONES inelásticas con pérdida de resistencia y rigidez. La estructura es reparable
Muy raro	2475 años	0,675 g	Severas incursiones inelásticas, pérdida casi total de rigidez y resistencia. No resulta práctico reparar la estructura

Nota: Comité VISIÓN 2000 (1994)

Los espectros de respuesta han sido calculados en función al espectro base obtenido de la norma técnica E030, en función a los parámetros sísmicos. Los cuales se muestran en la figura 5.

Figura 11

Espectros de Respuestas Elásticas



2.2.5. Calificación del desempeño sísmico

La tabla N° 05 es una tabla de doble entrada la cual muestra la categoría estructural o la seguridad estructural de acuerdo al uso de la edificación, la cual de acuerdo a la norma E. 030 se califica como Edificaciones Esenciales (categoría A), Edificaciones Importantes (Categoría B), edificaciones comunes (categoría C), y el nivel de desempeño esperado para los diferentes sismos. (Frecuentes, Ocasional, raro, Muy Raro)

Tabla 10*Niveles de desempeño sísmico*

Nivel de desempeño esperado de acuerdo a la Categoría Estructural					
Categoría	Frecuente	Ocasional	Raro	Muy	raro
estructural	(43 años)	(72 años)	(475 años)	(970 años)	
A			Completamente Operacional	Operacional	
B		Completamente Operacional	Operacional	Seguridad de Vida	
C	Completamente Operacional	Operacional	Seguridad de Vida	Prevencción de Colapso	

Para las estructuras analizadas en el presente artículo, las cuales son de categoría C, se muestran en la tabla N° 12.

Tabla 11*Niveles de desempeño sísmico esperado*

Sismo	Nivel de desempeño Esperado		Nomenclatura
Frecuente	Completamente operacional	Elástico	
Ocasional	Operacional	Ocupación inmediata	OI
Raro	Seguridad de vida	Seguridad de vida	SV

Muy (Tr= 970 años)	Raro	Prevención de colapso	Cercano al colapso	CC
-----------------------	------	-----------------------	--------------------	----

3. RESULTADOS

3.1. Resultados de Análisis Numéricos

De los análisis estructurales normativos realizados solo se presenta el análisis modal y el control de derivas. En cuanto al análisis estático no lineal se presenta la curva de capacidad de la estructura y los espectros de demanda para los diferentes sismos.

Estructura N° 1

La edificación muestra un comportamiento traslacional, lo cual se evidencia en el modo fundamental de vibración de acuerdo a la tabla 13, se aprecia también que el periodo fundamental de vibración es de 0,947 s, el cual es muy elevado para la estructura de 5 niveles, esto implica que la estructura es muy flexible y por ende los desplazamientos y derivas serán muy elevados.

Tabla 12

Estructura 1, Porcentaje de Participación de las Masas

Porcentaje de participación de masa modal							
Modo	Periodo	UX	UY	RZ	SumUX	SumUY	SumRZ
	sec						
1	0,9470	0,7400	0,0000	0,0390	0,7370	0,0000	0,0390

2	0,7170	0,0400	0,0000	0,7440	0,7750	0,0010	0,7830
3	0,6020	0,0000	0,7300	0,0010	0,7750	0,7320	0,7840
4	0,2660	0,1200	0,0000	0,0090	0,8990	0,7320	0,7920
5	0,2090	0,0100	0,0000	0,1200	0,9090	0,7320	0,9120
6	0,1540	0,0000	0,1600	0,0000	0,9090	0,8940	0,9120

En cuanto a las derivas para sismo en dirección X de la figura anterior, se observa que se está superando la deriva máxima permisible de 0,007 para estructuras de concreto. Se supera ampliamente este valor, llegando incluso a 0,018.

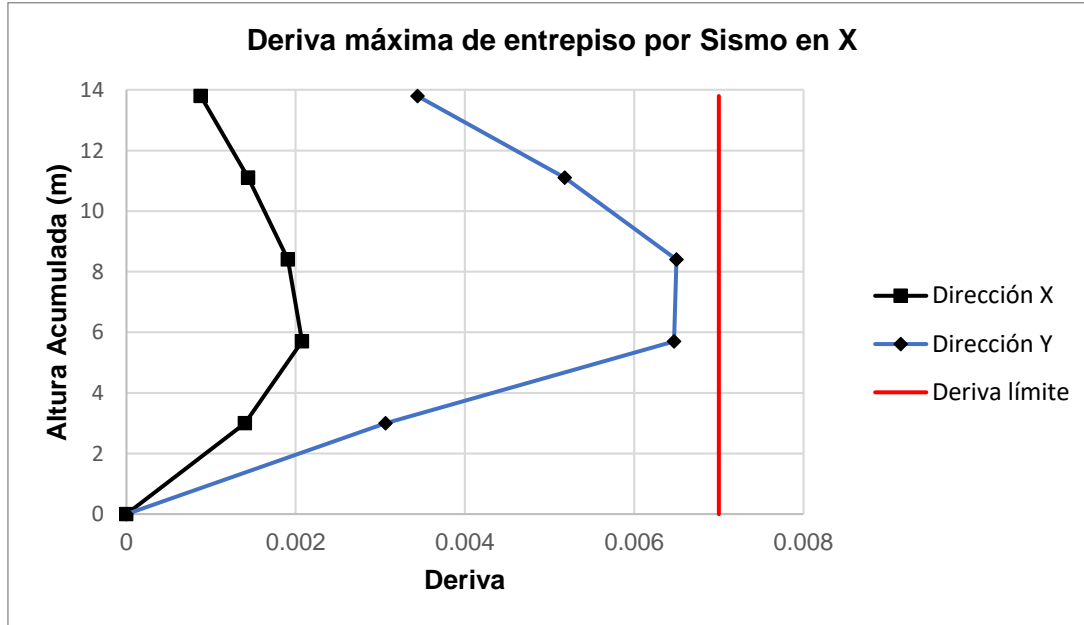
Tabla 13

Derivas de entre piso por Sismo en la dirección X, estructura 1

Nivel	Altura	Deriva máxima	
	Acumulada	Dirección X	Dirección Y
Quinto	13,6	0,0169	0,0007
Cuarto	10,9	0,0152	0,0011
Tercero	8,2	0,0182	0,0013
Segundo	5,5	0,0176	0,0013
Primero	2,8	0,0085	0,0007

Figura 12

Estructura 1, Derivas en X



En la dirección Y, la posición de la edificación le brinda una mayor rigidez, por lo que los valores de derivas son menores que en la dirección X. Sin embargo, aun así, se supera la deriva máxima permisible, la cual es 0,007286.

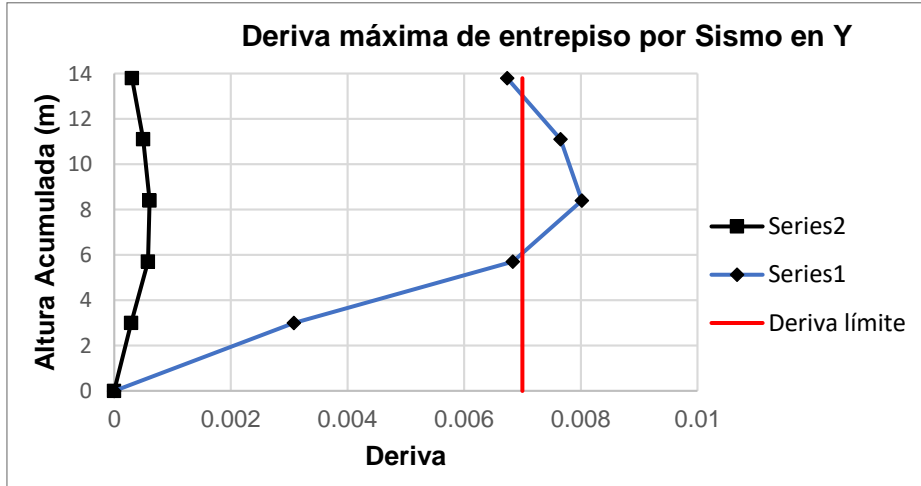
Tabla 14

Derivas de entre piso por Sismo en la dirección Y, estructura 1

Nivel	Altura Acumulada	Deriva máxima	
		Dirección X	Dirección Y
Quinto	13,6	0,0003	0,0067
Cuarto	10,9	0,0005	0,0077
Tercero	8,2	0,0006	0,0080
Segundo	5,5	0,0006	0,0068
Primero	2,8	0,0003	0,0031

Figura 13

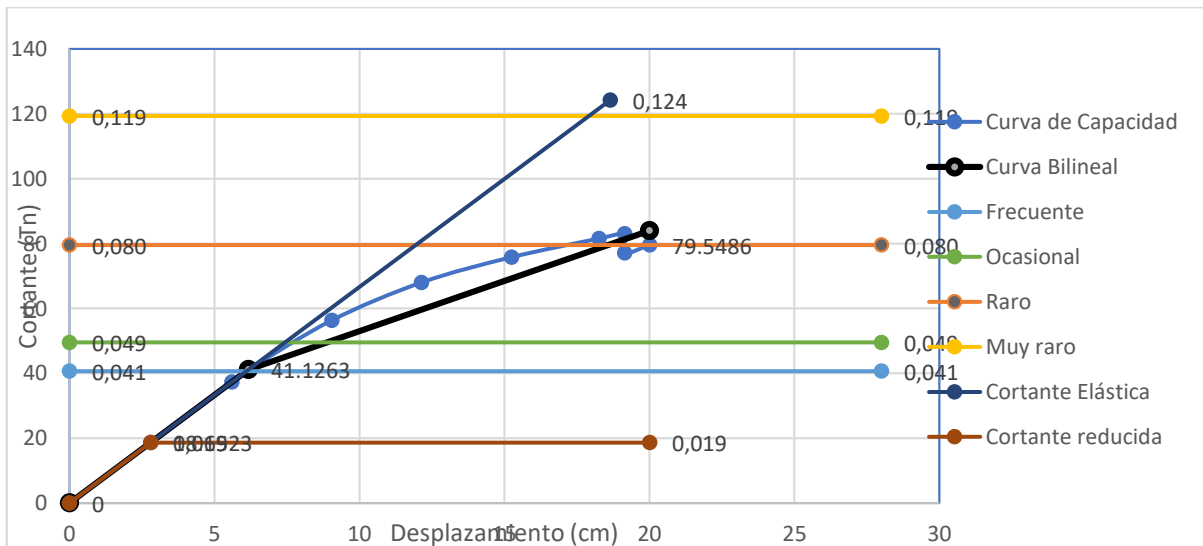
Estructura 1, Derivas en Y



Seguidamente al realizarse el análisis estático no lineal, los puntos de las curvas de capacidad para ambos sismos se graficaron en conjunto con las curvas bilineales, fuerza de corte versus desplazamiento de los diferentes sismos, tal como se muestra en la Figura 8.

Figura 14

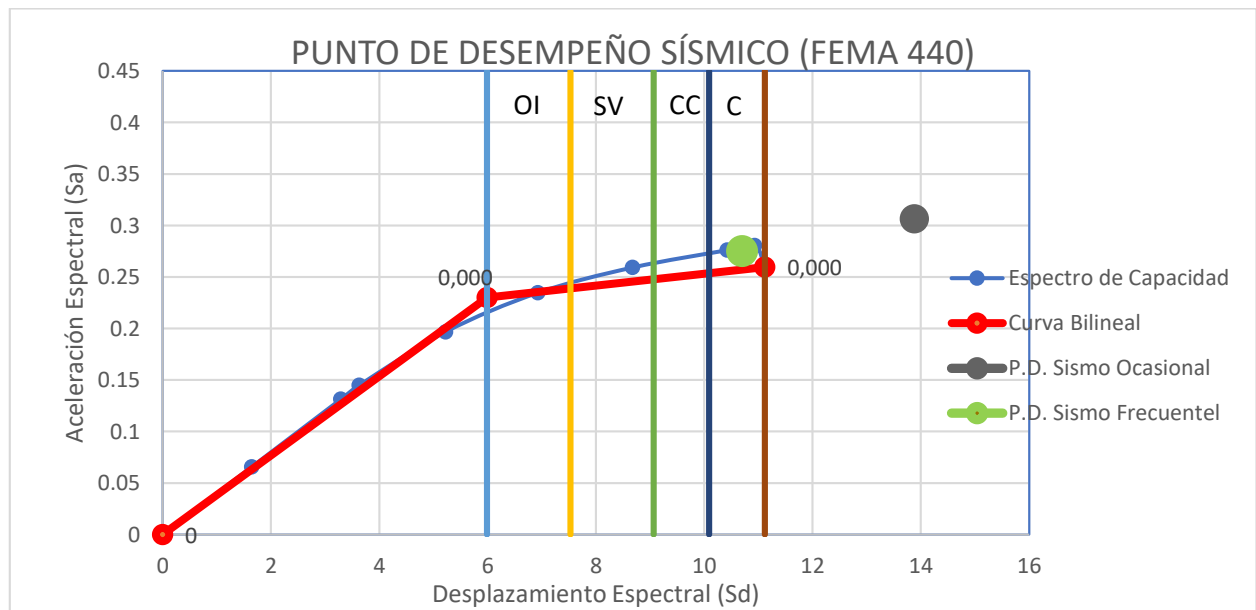
Estructura 1, Comportamiento no lineal dirección X (ASCE 41-17)



Luego, se ha convertido la curva de capacidad a coordenadas ADRS, para poder interceptar los espectros de demanda y calificar el desempeño sísmico. Se va a analizar el punto de desempeño para la edificación de categoría C, para los distintos espectros de demanda. Los resultados se muestran en la figura N° 9 y la tabla N° 16.

Figura 15

Calificación del desempeño sísmico de acuerdo al FEMA 440, para sismo raro, ocasional, frecuente en función al nivel de daño de la estructura N° 01, Ocupación Inmediata (OI), Seguridad de Vida (SV), Cercano al colapso (CC), Colapso (C)



En la tabla N° 18, se muestra la calificación del desempeño sísmico de la estructura, así como el nivel de desempeño esperado para la edificación en estudio.

Tabla 15

Nivel de desempeño Esperado y logrado Estructura N 01

Sismo	Nivel de desempeño	
	Esperado	Logrado
Frecuente	Elástico	Colapso
Ocasional	Ocupación inmediata	
Raro	Seguridad de vida	
Muy Raro	Colapso	

Se muestra también la ductilidad estructural.

$$\mu = \frac{du}{dy} = \frac{14,838}{5,99} = 2,477$$

Estructura N° 2

De la información de participación de masa, se presenta los resultados de periodos y relación de participación de las direcciones principales, para los tres primeros modos se encuentran valores superiores a 50%, aunque inferiores a la primera estructura analizada, se tiene una adecuada distribución de los elementos estructurales, los periodos encontrados son un poco mayores a 0,5s, pero de igual manera la estructura no es tan flexible como la estructura N° 01.

Tabla 16*Estructura 2, Relaciones de Participación de las Masas*

Porcentaje de participación de masa modal							
Modo	Periodo	UX	UY	SumUX	SumUY	RZ	SumRZ
	sec						
1	0,5640	0,5435	0,1406	0,5417	0,1434	0,1416	0,1416
2	0,5370	0,1552	0,6287	0,6994	0,7694	0,0043	0,1458
3	0,4170	0,1115	0,0121	0,8101	0,7814	0,6565	0,8023
4	0,1770	0,0928	0,0063	0,9030	0,7878	0,0149	0,8172
5	0,1620	0,0080	0,1171	0,9110	0,9049	0,0002	0,8174
6	0,1280	0,0170	0,0019	0,9279	0,9067	0,1052	0,9226
7	0,0970	0,0366	0,0012	0,9645	0,9079	0,0023	0,9249
8	0,0840	0,0015	0,0543	0,9661	0,9622	0,0003	0,9252
9	0,0690	0,0020	0,0003	0,9680	0,9625	0,0433	0,9685

En cuanto a las derivas para sismo en la dirección X, se puede apreciar que de igual manera en la dirección X se tiene una deriva máxima de 0,007748, la cual es un poco mayor a la deriva máxima permisible de 0,007.

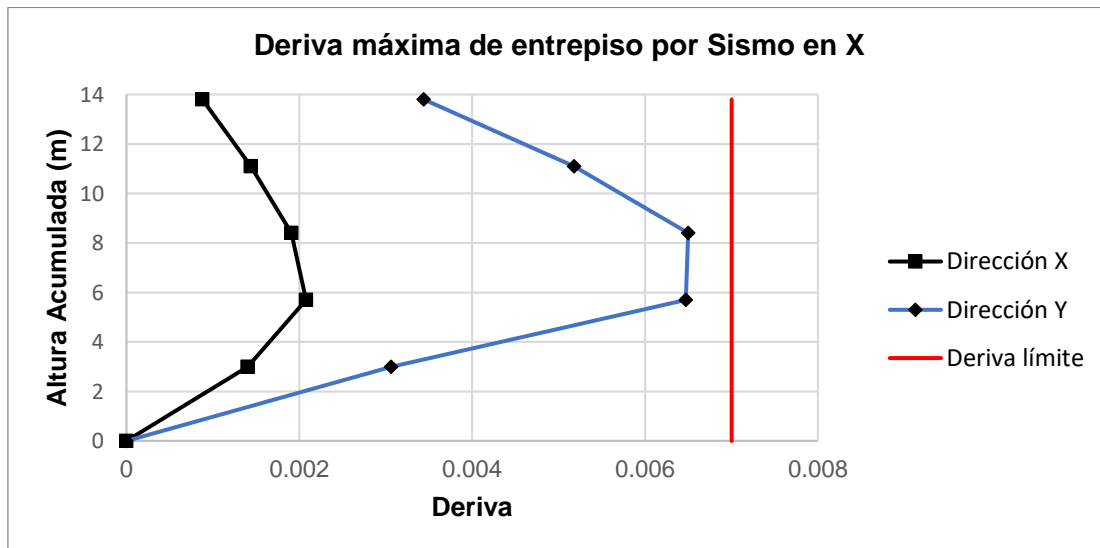
Tabla 17

Derivas de entre piso por Sismo en la dirección X, estructura 2

Nivel	Altura Acumulada	Deriva máxima	
		Dirección X	Dirección Y
Quinto	13,6	0,0033	0,0013
Cuarto	10,9	0,0055	0,0020
Tercero	8,2	0,0073	0,0026
Segundo	5,5	0,0079	0,0029
Primero	2,8	0,0054	0,0019

Figura 16

Estructura 2, Derivas en X



Las gráficas son muy parecidas en la dirección Y, los valores de las derivas encontrados no superan el máximo normativo de 7 por mil, siendo el máximo 0,00632.

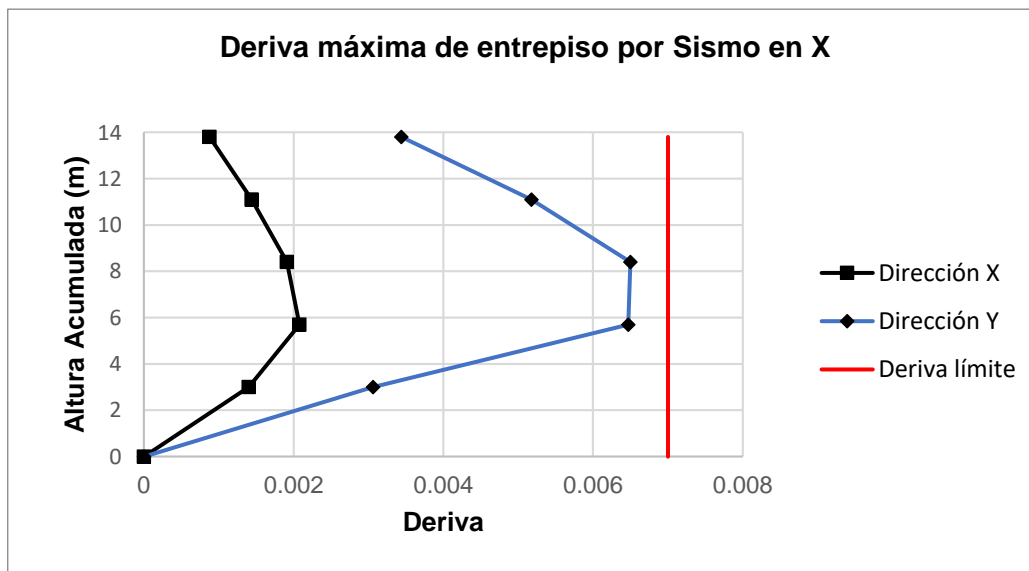
Tabla 18

Derivas de entre piso por Sismo en la dirección Y, estructura 2

Nivel	Altura Acumulada	Deriva máxima	
		Dirección X	Dirección Y
Quinto	13,6	0,0009	0,0034
Cuarto	10,9	0,0014	0,0052
Tercero	8,2	0,0019	0,0065
Segundo	5,5	0,0021	0,0065
Primero	2,8	0,0014	0,0031

Figura 17

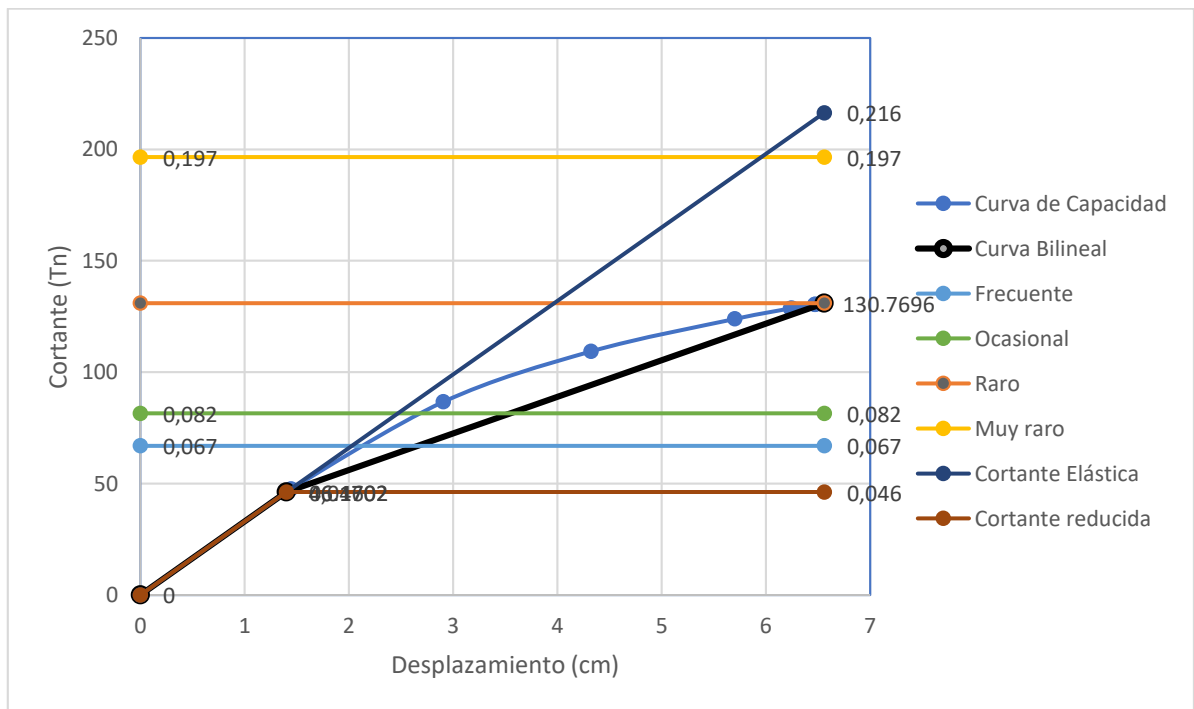
Estructura 2, Derivas en Y



En cuanto a la combinación de la curva de capacidad para sismo en X con las curvas bilineales, se observa que la estructura está en un comportamiento cercano al colapso para el sismo de diseño que es el sismo raro.

Figura 18

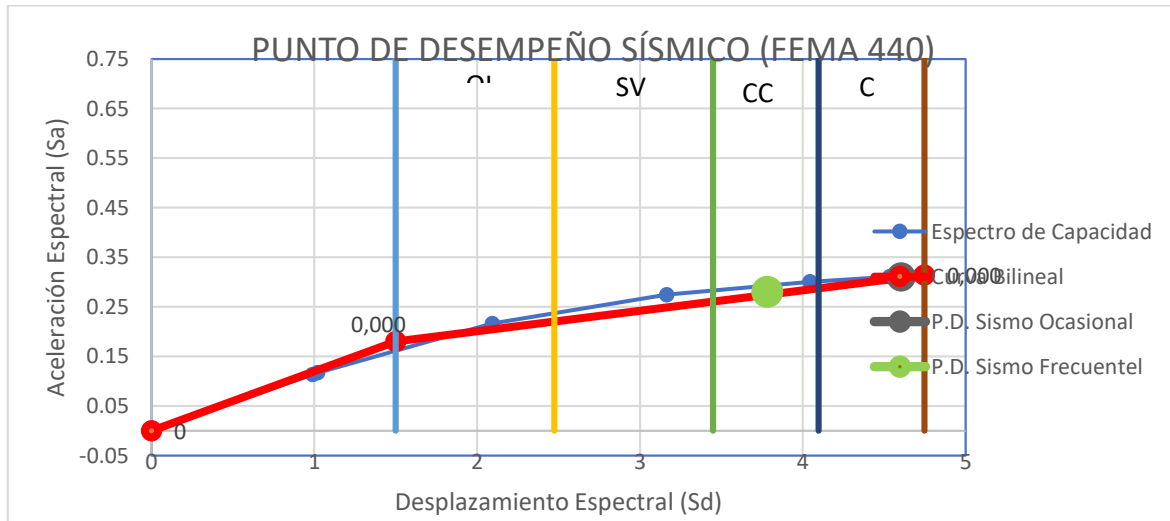
Estructura 2, Comportamiento no lineal dirección X (ASCE 41-17)



Luego, se ha convertido la curva de capacidad a coordenadas ADRS, para poder interceptar los espectros de demanda y calificar el desempeño sísmico. Se va a analizar el punto de desempeño para la edificación de categoría C, para los distintos espectros de demanda.

Figura 19

Calificación del desempeño sísmico de acuerdo al FEMA 440, para sismo raro, ocasional, frecuente en función al nivel de daño de la estructura N° 02



En la tabla N° 19, se muestra la calificación del desempeño sísmico de la estructura, así como el nivel de desempeño esperado para la edificación en estudio. Se puede apreciar que pese a tener el periodo y las derivas muy elevadas, el desempeño sísmico de la edificación cumple.

Tabla 19

Nivel de desempeño Esperado y logrado Estructura N° 02

Sismo	Nivel de desempeño	
	Esperado	Logrado
Frecuente	Elástico	Cercano al Colapso
Ocasional	Ocupación inmediata	Colapso
Raro	Seguridad de vida	-
Muy Raro	Colapso	-

Se muestra también la ductilidad estructural.

$$\mu = \frac{du}{dy} = \frac{8,18}{3,0} = 2,7267$$

La ductilidad obtenida para esta edificación es parecida al valor obtenido en la estructura N 1, de igual manera se encuentra por debajo del valor esperado.

Estructura N° 3

Se observa en la tabla de participación de masas para la estructura 3, períodos inferiores a los del suelo y un buen comportamiento de la estructura: Se logra valores de participación superiores al 90% a partir del séptimo modo. En cuanto al periodo, sí se puede apreciar que, para ser una edificación de solo cinco niveles, se tiene periodos de 1,336 s, lo cual hace que la estructura sea demasiado flexible. Los desplazamientos que va a generar van a ser muy elevados.

Tabla 20

Estructura 3, Relaciones de Participación de las Masas

Porcentaje de participación de masa modal							
Modo	Periodo	UX	UY	SumUX	SumUY	RZ	SumRZ
	sec						
1	1,3360	0,7331	0,0001	0,7331	0,0001	0,0735	0,0735
2	0,9890	0,0774	0,0043	0,8105	0,0044	0,7297	0,8032
3	0,6860	0,0015	0,7615	0,8120	0,7659	0,0009	0,8041
4	0,3940	0,1072	0,0010	0,9192	0,7669	0,0095	0,8136

5	0,2920	0,0084	0,0004	0,9276	0,7673	0,1075	0,9211
6	0,2000	0,0431	0,0042	0,9707	0,7715	0,0018	0,9229
7	0,1800	0,0008	0,1433	0,9715	0,9148	0,0032	0,9261
8	0,1490	0,0025	0,0000	0,9740	0,9149	0,0437	0,9698
9	0,1220	0,0196	0,0001	0,9936	0,9150	0,0011	0,9710

Cuando se analizan las derivas en la dirección X, como era de esperar se llega a 0.0395 de deriva máxima, la cual supera ampliamente la deriva máxima permisible de la norma técnica E.030. Esto debido a la flexibilidad que muestra la estructura en esa dirección de análisis.

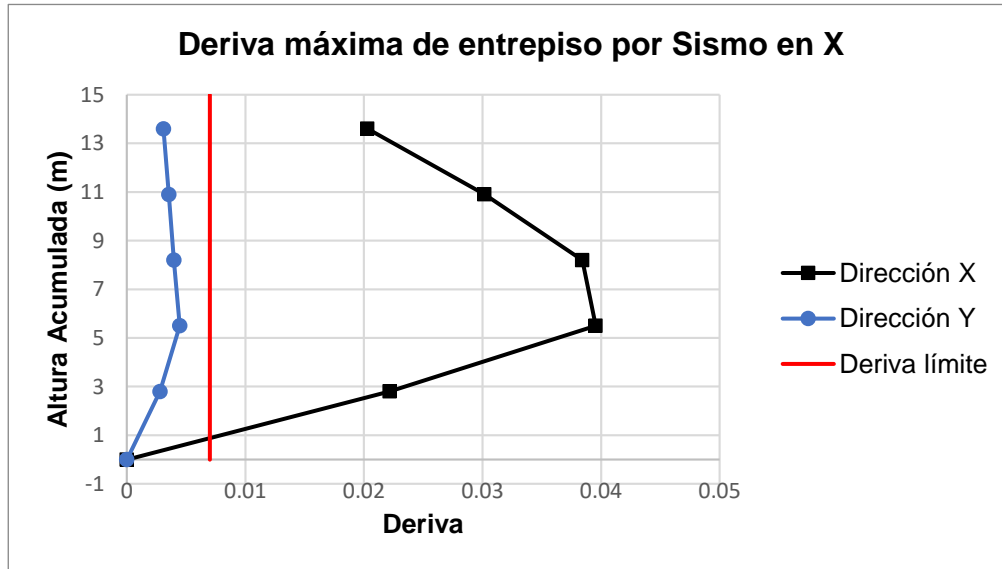
Tabla 21

Derivas de entre piso por Sismo en la dirección X, estructura 3

Nivel	Altura Acumulada	Deriva máxima	
		Dirección X	Dirección Y
Quinto	13,6	0,0203	0,0031
Cuarto	10,9	0,0302	0,0035
Tercero	8,2	0,0384	0,0040
Segundo	5,5	0,0395	0,0045
Primero	2,8	0,0222	0,0028

Figura 20

Estructura 3, Derivas en X



En la dirección Y, al haber mayor cantidad de ejes resistentes se tiene una gran reducción de la deriva en comparación a la obtenida en la dirección X, llegando a ser 0,01. Sin embargo, aun así, se supera la máxima permisible, en la dirección X incluso al ser tan flexible se llega a derivas máximas de 0,0055 debido a la fuerza sísmica aplicada en Y.

Tabla 22

Derivas de entre piso por Sismo en la dirección Y, estructura 3

Nivel	Altura Acumulada	Deriva máxima	
		Dirección X	Dirección Y
Quinto	13,6	0,0055	0,0080
Cuarto	10,9	0,0041	0,0094
Tercero	8,2	0,0029	0,0100
Segundo	5,5	0,0027	0,0091
Primero	2,8	0,0020	0,0051

Figura 21

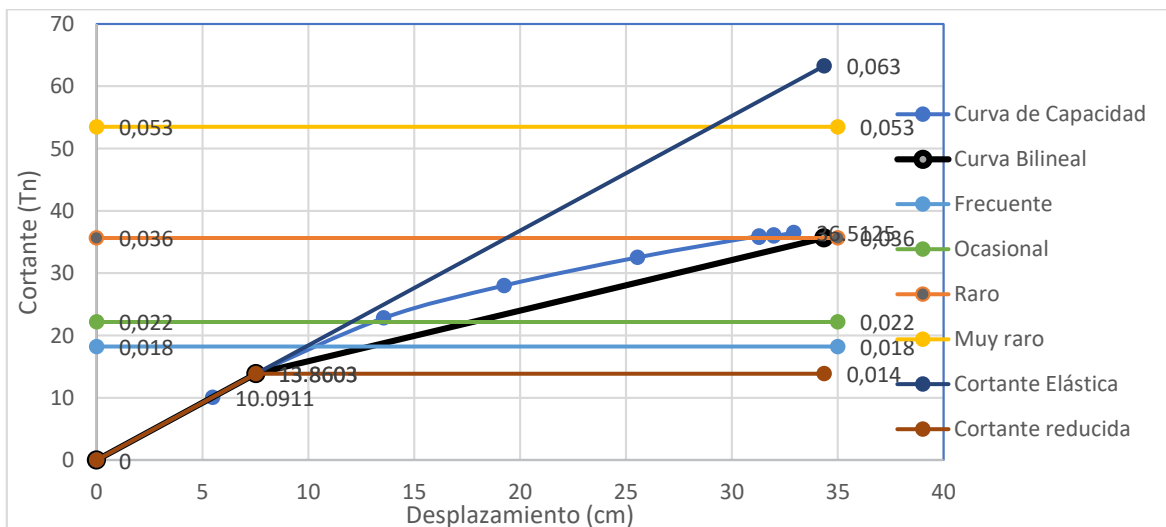
Estructura 3, Derivas en X



Al combinar la curva de capacidad en la dirección X con las curvas bilineales, se observa la falta de rigidez en la dirección X, se observa que la estructura no llega a soportar los esfuerzos de corte de un sismo raro. Y la estructura se encuentra en la zona de colapso.

Figura 22

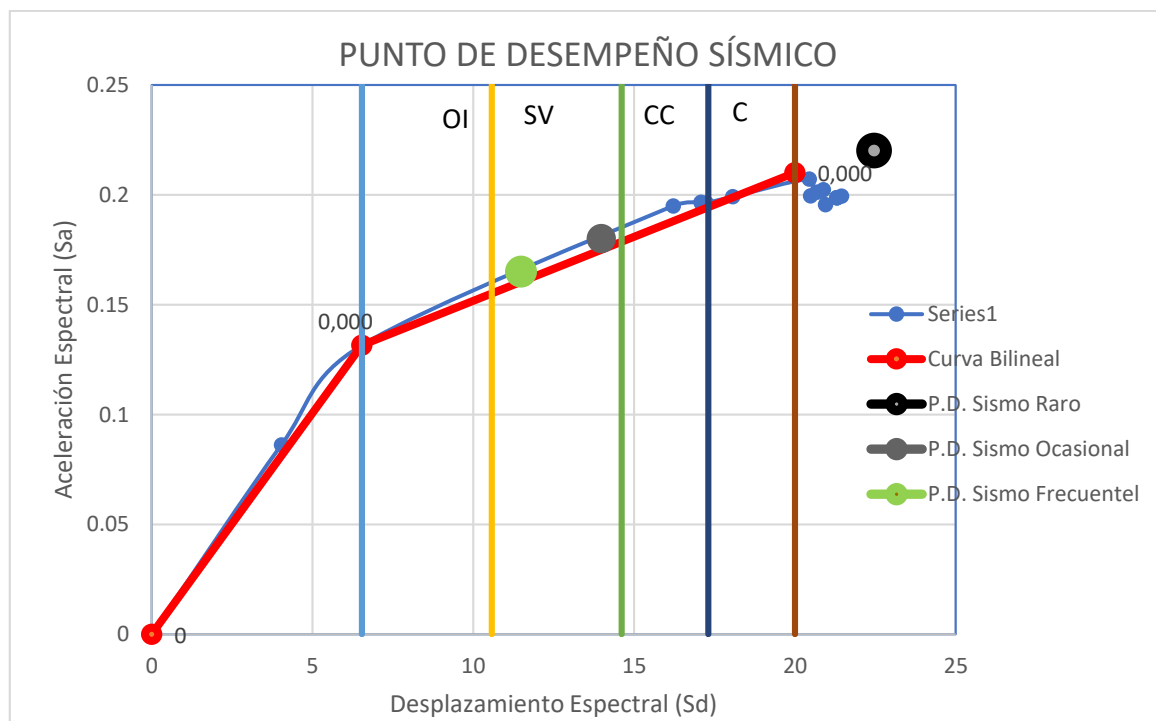
Estructura 3, Comportamiento no lineal dirección X (ASCE 41-17)



Luego, se ha convertido la curva de capacidad a coordenadas ADRS, para poder interceptar los espectros de demanda y calificar el desempeño sísmico. Se va a analizar el punto de desempeño para la edificación de categoría C, para los distintos espectros de demanda. Los resultados se muestran en la figura N° 17 y la tabla N° 17.

Figura 23

Calificación del desempeño sísmico de acuerdo al FEMA 440, para sismo raro, ocasional, frecuente en función al nivel de daño de la estructura N 03



En la tabla N° 26, se muestra la calificación del desempeño sísmico de la estructura, así como el nivel de desempeño esperado para la edificación en estudio. Se puede apreciar que está completamente en falla la edificación, de acuerdo al desempeño esperado.

Tabla 23*Nivel de desempeño Esperado y logrado Estructura N° 03*

Sismo	Nivel de desempeño	
	Esperado	Logrado
Frecuente	Elástico	Cercano al colapso
Ocasional	Ocupación inmediata	Seguridad de Vida
Raro	Seguridad de vida	Colapso
Muy Raro	Colapso	-

Se muestra también la ductilidad estructural, la cual de igual manera está por debajo del valor esperado.

$$\mu = \frac{du}{dy} = \frac{21,1363}{8,5} = 2,486$$

4. DISCUSIÓN

En el análisis modal se analizó que los periodos son muy elevados. El periodo fundamental de la estructura 1 es de 0.99 s, de la estructura 2 es 0.557s, mientras que de la estructura 3 fue de 1.336s, para edificaciones de 5 niveles se espera periodos de 0.5 s. Esto hace que las estructuras, principalmente la 1 y la 3 sean muy flexibles, y a su vez genera un incremento considerable en las derivas, y fallas en el diseño de los elementos estructurales.

Al determinar las derivas, en todas las edificaciones, se superó el máximo permisible de 0.007 de acuerdo a la norma E.030. En la edificación 1 se tiene una deriva de 0.018, en la edificación N 2 de 0.007748, ya que es la edificación con el periodo más cercano al recomendado, y en la edificación 3 si se supera de manera significativa la deriva máxima permisible, llegando a ser 0.0395.

Se analizó de igual manera la ductilidad estructural, en todos los casos se tienen valores pequeños para el sistema estructural a porticado. La estructura 1 tiene una ductilidad de 2.477, la estructura 2 de 2.7267 y la estructura 3 de 2.486. De acuerdo al ASCE 41-17, considera el factor R como producto de la sobre resistencia asumida de 2, por la ductilidad, y redundancia, por lo que se deberían obtener valores por encima de 4 para sistemas a porticados.

Se Analizó la curva de capacidad de las tres estructuras en función a los cortantes correspondientes a los distintos sismos, y se puede apreciar que, en todos los casos, el cortante generado por el sismo raro supera la capacidad de las estructuras, por lo que de acuerdo a la metodología del ASCE-SEI 41-17 están en zona de colapso estructural.

Los resultados obtenidos tienen concordancia con el estudio realizado por Aguilar R. , Ormeño N. (2020), realizaron un Análisis adaptativo pushover estático no lineal por desempeño de una estructura de concreto armado, Lima-Perú determinando que los niveles de desempeño para la estructura de uso multifamiliar no cumplen con los niveles de desempeño límite propuesto por el ASCE 41-17 para una edificación de categoría de riesgo “I y II” o de tipo “C”; donde las estructuras llegan a un desempeño en colapso total de la estructura para un sismo y raro con 10% de probabilidad de excedencia en 50 años.

Se aprecia que este problema se da principalmente en estructuras en las que no se tiene una adecuada proyección, ya que Llocle A. (2021) realizó la evaluación del desempeño estructural mediante el análisis Pushover el bloque del nivel secundario del colegio Emblemático Ladislao Espinar ubicado en la ciudad de Espinar – Cusco, en cuyo análisis la estructura tiene un desempeño en operacional en la dirección X y ocupación Inmediata en la dirección Y, que es el esperado para edificaciones importantes.

De igual manera, Mendoza, C., Rivera, C. (2022) Evaluaron el desempeño sismorresistente de la edificación de aulas generales de la Universidad Andina del Cusco, aplicando el método de análisis estático no lineal (Pushover) llegando a un desempeño en ocupación inmediata, cumpliendo de igual manera con el objetivo de desempeño.

Luego se procedió a calificar el desempeño sísmico de las tres edificaciones de acuerdo a la metodología del FEMA 440, y se calificó el desempeño de acuerdo a lo establecido en el comité visión 2000. Se comprobó que las edificaciones 1 y 3, que son las más flexibles, tienen el punto de desempeño en “Colapso” para el sismo “raro”, cuando el desempeño esperado es “Seguridad

de Vida”. En la estructura 2, de acuerdo a la metodología del FEMA 356 sí se cumple con el desempeño sísmico.

5. CONCLUSIÓN

De acuerdo a las normativas analizadas, todas las estructuras superan el 60% de desplazamiento inelástico máximo recomendado para edificaciones de categoría C durante un evento sísmico raro. Llegando a lograr un desempeño cercano al colapso o ya en zona de colapso, con esto no se cumplen los objetivos de desempeño para los cuales debieron haber sido diseñadas.

Las estructuras trabajan con ductilidades de 2.47 a 2.48, lo cual significa menos del 62% de ductilidad esperadas para estructuras a porticadas, por lo que se espera una falla frágil en su comportamiento estructural.

Las estructuras analizadas no cumplen incluso con el diseño de acuerdo a la norma E030, ya que en todos los casos se superó las derivas máximas permisibles de 0.007. superando en 157 %, 10% y 300% respectivamente para las tres estructuras, concluyendo que las edificaciones no fueron correctamente proyectadas desde la etapa inicial.

Finalmente, Se concluye que las estructuras de concreto armado con sistemas estructurales de pórticos, de acuerdo a la muestra representativa que se ha analizado de estructuras ya construidas existentes en la ciudad de Cusco, no cumplen con el desempeño sísmico esperado. Por lo que en las estructuras se recomienda realizar una reparación estructural, y en algunas edificaciones puede resultar más económico y seguro volver a construir bajo los lineamientos normativos.

REFERENCIAS

- ASCE/SEI 7-16. (2016). Minimum Design Loads for Buildings and Other Structures.
- Aguilar R., Ormeño N. (2020). Análisis adaptativo pushover estático no lineal por desempeño de una estructura de concreto armado, Lima-Perú
- Carrillo, J. (2008). Evaluación de la vulnerabilidad sísmica de estructuras utilizando un diseño por desempeño. *Dyna* 155, 91–102.
- Daei, A., & Zarrin, M. (2021). A multi-mode displacement-based pushover (MDP) procedure for seismic assessment of buildings. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 150. <https://doi.org/10.1016/j.soildyn.2021.106950>
- López López, A. T., Tomás Espín, A., & Sánchez Olivares, G. (2017). Influencia del tipo de rótula plástica en el análisis no lineal de estructuras de hormigón armado. *Hormigón y Acero*, 68(282), 107–119. <https://doi.org/10.1016/j.hya.2017.04.006>
- Llocle A. (2021) Evaluación de desempeño estructural utilizando Análisis Estático no lineal (Pushover) del bloque del nivel secundario del colegio Emblemático Ladislao Espinar ubicado en la ciudad de Espinar – Cusco
- Melone, S. (2002). Vulnerabilidad sísmica de edificaciones esenciales análisis de su contribución al riesgo sísmico.
- Mendoza, C., Rivera, C. (2022) Evaluación del desempeño sismorresistente de la edificación de aulas generales de la universidad andina del cusco, aplicando el método de análisis estático no lineal (pushover)
- Moreno González, R., & Bairán García, J. M. (2012). Evaluación sísmica de los edificios de mampostería típicos de Barcelona aplicando la metodología Risk-UE. *Revista Internacional de Metodos Numericos Para Calculo y Diseno En Ingenieria*, 28(3), 161–169. <https://doi.org/10.1016/j.rimni.2012.03.007>

- Muñoz, A. (2012). ingeniería sismorresistente (1st ed.).
- NTP E.030. (2017). E 030: Diseño Sismorresistente. .
- Poursha, M., Khoshnoudian, F., & Moghadam, A. S. (2011). A consecutive modal pushover procedure for nonlinear static analysis of one-way unsymmetric-plan tall building structures. *Engineering Structures*, 33(9), 2417–2434. <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2011.04.013>
- Priestley, M. J. N. (2000). Performance based seismic design.
- SEAOC. (1995). Vision 2000 Report on performance based seismic engineering of buildings.
- Selena Mendoza-Intriago, A. I., & Javier García-Vinces III, L. (2022). Análisis por pushover del edificio de docentes no1 de la Universidad Técnica de Manabí. 8, 306–326. <https://doi.org/10.23857/dc.v8i3>
- Seneviratna, G. D. P. K. , & Krawinkler, H. (1997). Evaluation of in-elastic MDOF effects for seismic design. John A.Blume Earthquake Engineering Center, Dept. of Civil Engineering,Stanford Univ., Stanford, Calif.
- Tavera, H., Fernández, E., & Cuya, A. (2016). Sismo de Lampa del 1 de Diciembre del 2016 (6.0 ML).
- Vargas, Y. F., Pujades, L. G., Barbat, A. H., & Hurtado, J. E. (2013). Evaluación probabilista de la capacidad, fragilidad y daño sísmico de edificios de hormigón armado. *Revista Internacional de Metodos Numericos Para Calculo y Diseno En Ingenieria*, 29(2), 63–78. <https://doi.org/10.1016/j.rimni.2013.04.003>
- Zou, X. K., & Chan, C. M. (2005). Optimal seismic performance-based design of reinforced concrete buildings using nonlinear pushover analysis. *Engineering Structures*, 27(8), 1289–1302. <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2005.04.001>

ANEXOS

Anexo 1

Evidencias de sumisión del artículo en una revista de prestigio



OM Omar Zegarra Marmanillo <ric@ing.puc.cl>
Para: GERMAN HUAMAN HUAMAN
Mar 24/10/2023 14:26

german huaman:

Gracias por enviar el manuscrito "la Verificación del comportamiento estructural No Lineal en edificios de concreto armado en la ciudad de Cusco: Verificación del comportamiento estructural no lineal en concreto armado " a Revista Ingeniería de Construcción. Con el sistema de gestión de publicaciones en línea que utilizamos podrá seguir el progreso a través del proceso editorial tras iniciar sesión en el sitio web de la publicación:

URL del manuscrito: <https://ojs.uc.cl/index.php/ric/authorDashboard/submission/69163>

Revista Ingeniería de Construcción
Publicación que fomenta la generación de conocimiento en torno a la ingeniería y gestión de la construcción
ojs.uc.cl

Nombre de usuario/a: 43738917

Si tiene alguna duda puede ponerse en contacto conmigo. Gracias por elegir esta editorial para mostrar su trabajo.

Omar Zegarra Marmanillo

Anexo 2

Resolución del proyecto de tesis en formato artículo aprobación y designación de Jurados de Sustentación



"AÑO DE LA UNIDAD, LA PAZ Y EL DESARROLLO"

RESOLUCIÓN N° 0708-2023/UPeU-FIA-CF-T

Lima, Naña, 28 de noviembre de 2023

VISTO:

El expediente del (de la) bachiller **German Huaman Huaman** identificado(a) con código universitario N° **201310782**, de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura de la Universidad Peruana Unión;

CONSIDERANDO:

Que la Universidad Peruana Unión tiene autonomía académica, administrativa y normativa, dentro del ámbito establecido por la Ley Universitaria N° 30220 y el Estatuto de la Universidad;

Que la Facultad de Ingeniería y Arquitectura de la Universidad Peruana Unión, mediante sus reglamentos académicos y administrativos, ha establecido las formas y procedimientos para la sustentación de la tesis en formato artículo;

Que el Comité Dictaminador ha emitido su dictamen aprobando el informe de tesis titulado "Verificación del comportamiento estructural No Lineal en edificios de concreto armado en la ciudad de Cusco", presentado por el(la) bachiller **German Huaman Huaman**, reuniendo de esta manera las condiciones previas para la declaratoria de expedito para la programación de la sustentación;

Estando a lo acordado en la sesión del Consejo de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura de la Universidad Peruana Unión, celebrada el 28 de noviembre de 2023, y en aplicación del Estatuto y el Reglamento General de investigación de la Universidad;

SE RESUELVE:

1. Declarar expedito al(a) bachiller **German Huaman Huaman**, para que sustente la tesis en formato artículo titulada "Verificación del comportamiento estructural No Lineal en edificios de concreto armado en la ciudad de Cusco", conducente a la obtención del título profesional de Ingeniero Civil, el 18 de diciembre de 2023, a las 10:00 horas, en el Auditorio Wellesley Muir.
2. Designar el Jurado de Sustentación, encargado de gestionar la sustentación respectiva, el mismo que queda constituido por los siguientes miembros:

Presidente: Ing Rina Luzmeri Yampara Ticona
Secretario: Mg. Henry Antonio Aguilar Chuquimia
Asesor: Ing Herson Duberly Pari Cusi
Vocal: Dr. Leonel Suasaca Pelinco

Regístrese, comuníquese y archívese.




Dra. Eraka Inés Acuña Salinas
DECANA




Mg. Ketty Magaly Arellano Lino
SECRETARIA ACADÉMICA

cc:
-Intercedido
-Jurado (04)
-Secretaría General
-Archivo