

# UNIVERSIDAD PERUANA UNIÓN

FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA

Escuela Profesional de Ingeniería Civil



*Una Institución Adventista*

## **Confiabilidad estructural en edificios troncopiramidales de concreto armado a mediana altura**

Tesis para obtener el Título Profesional de Ingeniero Civil

Por:

Jonatan German Choquechambi Mamani

Eleo Wilfredo Iarico Cerezo

Asesor:

Ing. Herson Duberly Pari Cusi

**Juliaca, agosto de 2022**

## DECLARACIÓN JURADA DE AUTORÍA DEL INFORME DE TESIS

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

### DECLARO:

Que el presente informe de investigación titulado: “**CONFIABILIDAD ESTRUCTURAL EN EDIFICIOS TRONCOPIRAMIDALES DE CONCRETO ARMADO A MEDIANA ALTURA**” constituye la memoria que presenta los Bachilleres **Jonatan German Choquechambi Mamani** y **Eleo Wilfredo Larico Cerezo** para obtener el título de Profesional de Ingeniero Civil, cuya tesis ha sido realizada en la Universidad Peruana Unión bajo mi dirección.

Las opiniones y declaraciones en este informe son de entera responsabilidad del autor, sin comprometer a la institución.

Y estando de acuerdo, firmo la presente declaración en Juliaca, a los 23 días del mes de septiembre del año 2022



---

Ing. Herson Duberly Pari Cusi  
Asesor



178

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

En Puno, Juliaca, Villa Chullunquiari, a 31 día(s) del mes de agosto del año 2022 siendo las 19:00 horas, se reunieron en el Salón de Grados y Títulos de la Universidad Peruana Unión, Filial Juliaca, bajo la dirección del Señor Presidente del jurado: Ing. Juana Beatriz Aquise Pari, el secretario: Mg. Henry Antonio Aguilar Chuguinia y los demás miembros: Ing. Wilson Gomez Paredes y el asesor: Ing. Herson Ruberly Pari Lusi

con el propósito de administrar el acto académico de sustentación de la tesis titulada: Confiabilidad estructural en edificios troncopiramidales de concreto armado a mediana altura

de el(los)/a(las) bachiller(es): a) Jonatan German Choquechambi Mamani b) Elio Wilfredo Larico Lerezo

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

con mención en

El Presidente inició el acto académico de sustentación invitando al (los)/a(la)/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 el(los)/a(la)/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:

Candidato (a): Jonatan German Choquechambi Mamani

CALIFICACIÓN	ESCALAS			Mérito
	Vigesimal	Líteral	Cualitativa	
Aprobado	17	B+	Muy Bueno	Sobresaliente

Candidato (b): Elio Wilfredo Larico Lerezo

CALIFICACIÓN	ESCALAS			Mérito
	Vigesimal	Líteral	Cualitativa	
Aprobado	17	B+	Muy Bueno	Sobresaliente

(\*) Ver parte posterior

Finalmente, el Presidente del jurado invitó al(los)/a(la)/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

[Firma] Asesor

[Firma] Candidato(a) (a)

[Firma] Miembro

[Firma] Secretario

[Firma] Candidato(a) (b)

## **DEDICATORIA**

A Dios, por permitirnos estar con salud y a nuestros padres porque ellos son los que nos motivaron a poder llegar a ser profesionales, y a nuestros hermanos para que puedan seguir nuestros pasos, a nuestros docentes que nos dirigieron en la vida profesional para que podamos tener principios éticos y morales.

## **AGRADECIMIENTO**

Primeramente, a Dios, tu amor y tu bondad no tiene fin, por cuidarnos durante estos años de estudio nos permitiste aprender y formarse cada día para ser mejor profesional en los cuatro ámbitos: social, físico, espiritual y mental.

A la universidad peruana unión por permitir todos estos años aprender y formarse a ser un buen profesional con ética y valores, a nuestros padres de alguna u otra forma estuvieron junto con nosotros. Gracias a cada maestro por inculcarnos sus conocimientos que hizo parte de este proceso integral de formación

## ÍNDICE GENERAL

DEDICATORIA.....	iv
AGRADECIMIENTO.....	v
ÍNDICE DE TABLAS.....	vii
ÍNDICE DE FIGURAS.....	viii
ÍNDICE DE ANEXOS.....	ix
RESUMEN:.....	10
ABSTRACT:.....	11
1 INTRODUCCIÓN.....	12
2 METODOLOGIA.....	13
2.1 Descripción de los edificios.....	13
2.2 Evaluación probabilista mediante la simulación de Montecarlo.....	16
2.2.1 Propiedades aleatorias.....	16
3 RESULTADOS.....	18
3.1 Análisis no lineal estático y simulación de Montecarlo.....	18
3.2 Confiabilidad estructural.....	10
3.2.1 Resultado de la probabilidad de falla en las simulaciones.....	20
3.2.2. Resultados de las simulaciones respecto de la media e índice de confiabilidad estructural.....	24
3.2.3. Comparativa en materiales, área techada e del riesgo estructural para el edificio troncopiramidal y prismático.....	27
4 CONCLUSIONES.....	29
REFERENCIAS.....	30
ANEXOS.....	31

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>TABLA 1.</b> Derivas del edificio prismático y troncopiramidal. ....	14
<b>TABLA 2.</b> Dimensiones y aceros en vigas. ....	15
<b>TABLA 3.</b> Dimensiones y aceros en columnas. ....	15
<b>TABLA 4.</b> Parámetros aleatorios considerados en el método de Montecarlo. ....	16
<b>TABLA 5.</b> Valores de media y covarianza para cada variable. ....	17
<b>TABLA 6.</b> Cálculo de la probabilidad de falla para rotaciones en vigas, columnas y derivas para edificio 7 niveles. ....	21
<b>TABLA 7.</b> Cálculo de la probabilidad de falla para rotaciones en vigas, columnas y derivas para edificio 10 niveles. ....	22
<b>TABLA 8.</b> Cálculo de la probabilidad de falla para rotaciones en vigas, columnas y derivas para edificio 15 niveles. ....	23
<b>TABLA 9.</b> Índice de confiabilidad para las edificaciones de 7 niveles. de forma prismático y troncopiramidal. ....	24
<b>TABLA 10.</b> Índice de confiabilidad para las edificaciones de 10 niveles. de forma prismático y troncopiramidal. ....	25
<b>TABLA 11.</b> Índice de confiabilidad para las edificaciones de 15 niveles. de forma prismático y troncopiramidal. ....	26

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>FIGURA 1.</b> Primera planta del edificio prismático y troncopiramidal del edificio de 7-10-15, niveles.....	13
<b>FIGURA 2.</b> Planta de último nivel del edificio troncopiramidal de 7 niveles .....	13
<b>FIGURA 3.</b> Planta de último nivel del edificio troncopiramidal de 10 niveles .....	13
<b>FIGURA 4.</b> Planta de último nivel del edificio troncopiramidal de 15 niveles .....	13
<b>FIGURA 5.</b> Edificio a analizar de planta prismático y troncopiramidal .....	14
<b>FIGURA 6.</b> . Registro sísmico escalados al espectro de la norma E030 y periodos de los edificios de 7-10 y 15 niveles.....	17
<b>FIGURA 7.</b> Curvas de capacidad obtenidas de la simulación de Montecarlo de los edificios prismático y troncopiramidal 7 niveles.....	18
<b>FIGURA 8.</b> Curvas de capacidad obtenidas de la simulación de Montecarlo de los edificios prismático y troncopiramidal 10 niveles.....	10
<b>FIGURA 9.</b> . Curvas de capacidad obtenidas de la simulación de Montecarlo de los edificios prismático y troncopiramidal 15 niveles.....	10
<b>FIGURA 10.</b> . Representación del índice de confiabilidad.....	20
<b>FIGURA 11.</b> Zona de falla y zona segura para el edificio de 7 niveles.....	21
<b>FIGURA 12.</b> Zona de falla y zona segura para el edificio de 10 niveles.....	22
<b>FIGURA 13.</b> Zona de falla y zona segura para el edificio de 15 niveles.....	23
<b>FIGURA 14.</b> Resultados de las simulaciones y capacidad media para el edificio de 7 niveles.....	24
<b>FIGURA 15.</b> Resultados de las simulaciones y capacidad media para el edificio de 10 niveles.....	25
<b>FIGURA 16.</b> Resultados de las simulaciones y capacidad media para el edificio de 15 niveles.....	26
<b>FIGURA 17.</b> Comparación del índice de confiabilidad para edificios troncopiramidal y prismático de 7,10 y 15 niveles .....	27
<b>FIGURA 18.</b> Comparación del área techada, volumen de concreto y peso del acero en ratios para edificios troncopiramidal y prismático de 7,10 y 15 niveles .....	28

## ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo A . Evidencia de sumisión a una revista indexada.....	31
Anexo B. Modelo de un edificio troncopiramidal Madrid España.....	31
Anexo C. Edificio la previsora Venezuela. ....	32
Anexo D. Vista 3D de un edificio tronco piramidal.....	32
Anexo E. Riesgo tolerable. ....	33
Anexo F. Probabilidad de densidad, acumulada y $f^c$ para $W$ .. ....	34
Anexo G. Parametro de la curva de fragilidad estructural:moderada nivel de diseño sismico de codigo. ....	34

## **Confiabilidad estructural en edificios troncopiramidales de concreto armado a mediana altura**

### **RESUMEN:**

Las configuraciones volumétricas de forma prismática y troncopiramidal son utilizadas actualmente, y esta última con mayor frecuencia en construcción de edificios modernos. El cálculo de la respuesta no lineal de un edificio se aproxima bastante al del edificio real, pero sigue siendo determinista por ello es necesario someterlo a incertidumbres. La evaluación de la respuesta estructural se realiza en función si este sobrepasa los límites de desempeño en resguardo de vida en función de rotaciones plásticas inelásticas y derivas. El análisis no lineal estático se realiza acorde a los lineamientos del ASCE 41-17 y se considera la no linealidad de las columnas como tipo fibra y las vigas como rotulas concentradas. Para realizar el análisis probabilístico se realiza con el método Montecarlo y para la variabilidad se tomará principalmente las consideraciones del e EPRI. La confiabilidad estructural para cargas de gravedad y sismo esperado es de 1.75 acorde a ANSI-A 58 LRFD y se obtienen valores cercanos a ello para edificio troncopiramidal de 15 niveles. En términos generales la confiabilidad y la probabilidad de falla brindan resultados de mayor seguridad sísmica para el edificio troncopiramidal.

**Palabras clave:** confiabilidad estructural, análisis no lineal, troncopiramidal, probabilidad de falla, pórticos.

# **Structural reliability in mid-rise truncated pyramidal buildings of reinforced concrete**

## **ABSTRACT:**

Volumetric configurations of prismatic and frustopyramidal form are currently used, and the latter more often in the construction of modern buildings. The calculation of the non-linear response of a building is quite close to the real building, but it is still deterministic, so it is necessary to subject it to uncertainties. The evaluation of the structural response will be carried out based on whether it exceeds the performance limits of life protection based on inelastic and derivative plastic rotations. The nonlinear static analysis is performed according to the ASCE 41-17 guidelines and the nonlinearity of the columns is considered as fiber type and the beams as concentrated hinges. To carry out the probabilistic analysis, the montecarlo method is carried out and for the exceptionality, the epri considerations will be taken mainly. The structural reliability for gravity loads and expected earthquake is 1.75 according to ANSI-A 58 LRFD and values close to it are obtained for the 15-level truncated pyramidal building. In general terms, the reliability and the probability of failure provided results of greater seismic safety for the truncated pyramidal building.

**Keywords:** Structural reliability, nonlinear analysis, truncated pyramidal, failure probability, frames.

## 1 INTRODUCCIÓN

La gran mayoría de edificios son de forma prismática, en edificaciones modernas hay una búsqueda por lo económico y estético por tanto las edificaciones troncopiramidales son una opción atractiva (Sindhu, Anandh, Kumar, Puskar and Mohammed, 2021)

en términos de respuesta estructural, las edificaciones troncopiramidales tienen menores desplazamientos (Khan et al. 2017)

El análisis no lineal estático permite un mayor alcance a la respuesta experimental para estructuras regulares con un modo fundamental que pueda representar el comportamiento dinámico del edificio (Krawinkler and Seneviratna, 2020)

Aun así un análisis no lineal sigue siendo determinista debido a que en un análisis no lineal se trabaja con valores esperados (ACHISINA 2017)

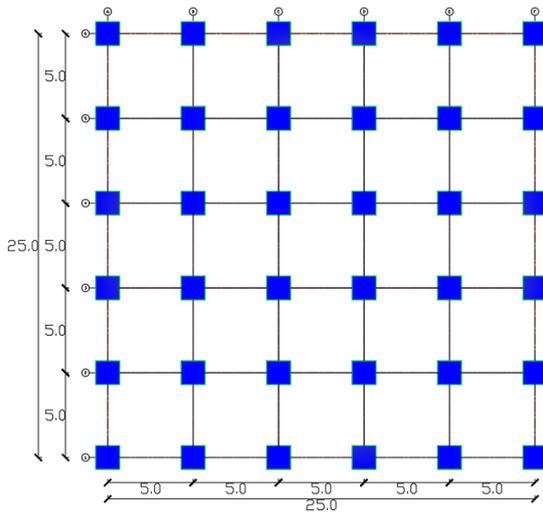
El análisis probabilista parte de que toda actividad en la vida tiene algún nivel de riesgo, por ello es necesario definir cuán segura es una estructura (Jonkman and Vrijling, 2017)

La comparación entre la configuración de forma prismática y el troncopiramidal se realizó en función del riesgo estructural.(AISC 2016) considera que la confiabilidad estructural es adecuada si bajo cargas sísmicas y de gravedad se tiene un índice de confiabilidad de 1.75 y de 3 en caso de cargas de gravedad.

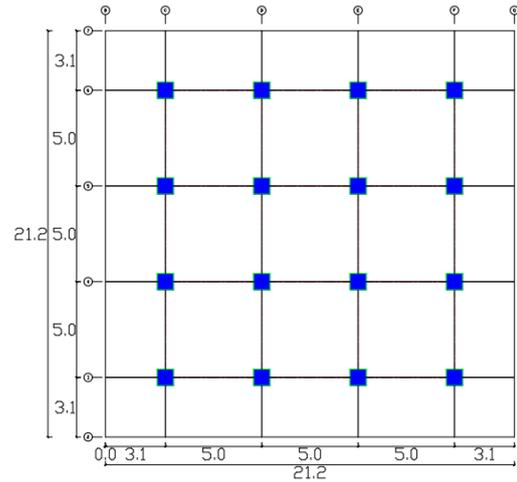
## 2. METODOLOGIA

### 2.1 Descripción de los edificios

Los edificios a analizar corresponden a: 3 de volumen prismático con base de 25x25m y otros 3 troncopiramidales con base de 25x25m, las 3 edificaciones corresponden a 7,10 y 15 niveles, el primer piso de 3.8m de altura y en altura típica de 3m en todos los casos.

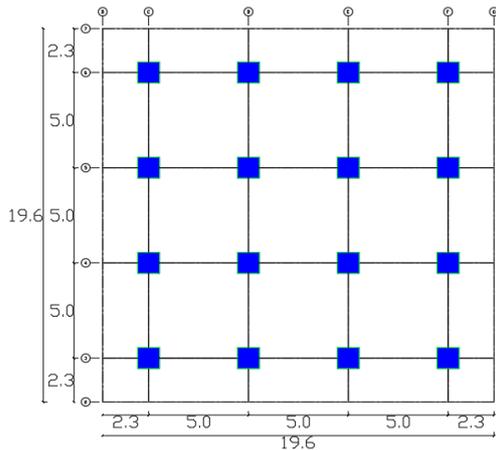


**FIGURA 1.** Primera planta del edificio prismático y troncopiramidal del edificio de 7-10-15, niveles.

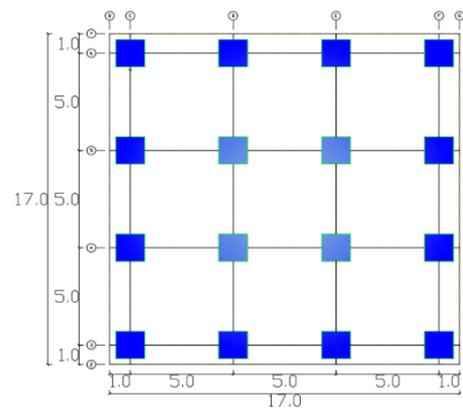


**FIGURA 2.** Planta de ultimo nivel del edificio troncopiramidal de 7 niveles

Fuente: Elaboracion Propia.

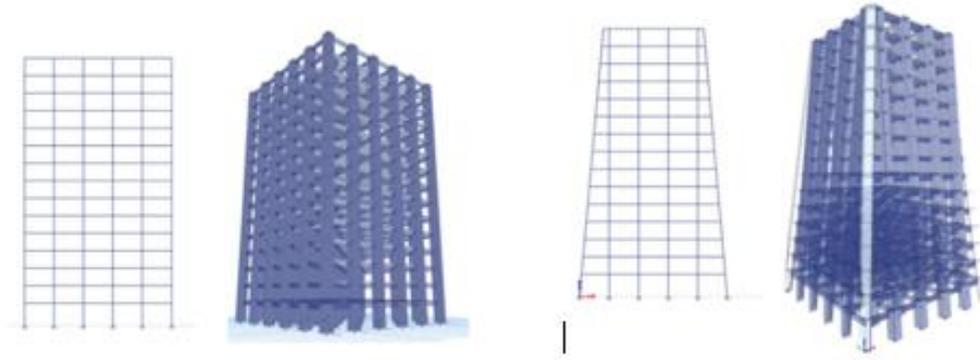


**FIGURA 3.** Planta de ultimo nivel del edificio troncopiramidal de 10 niveles



**FIGURA 4.** Planta de ultimo nivel del edificio troncopiramidal de 15 niveles

Fuente: Elaboracion Propia.



**FIGURA 5.** Edificio a analizar de planta prismático y troncopiramidal

*Fuente:* Elaboracion Propia.

El cálculo y dimensionamiento de vigas y columnas con resistencia a la compresión de concreto  $f'c=280\text{kg/cm}^2$  se realizaron en función de obtener una deriva cercana al límite 7% acorde a la norma peruana sismorresistente E030 y se utilizaron las mismas dimensiones para el edificio troncopiramidal (R.N.E, 2018) Las derivas alcanzadas y peso sísmico del edificio se muestran en la tabla 1.

**TABLA 1.** Derivas del edificio prismático y troncopiramidal.

<b>Edificio Prismático</b>	Deriva E-030 (1/1000)	Peso sísmico (Ton)
7 niveles	6.70	4,527.98
10 niveles	6.70	7,723.41
15 niveles	6.98	15,674.42

<b>Edificio Tronco Piramidal</b>	Deriva E-030 (1/1000)	Peso sísmico (Ton)
7 niveles	5.60	3,716.40
10 niveles	3.40	6,929.66
15 niveles	4.90	10,790.00

*Fuente:* Elaboracion Propia.

Con las dimensiones obtenidas al limitar la deriva a 7%, Se considero acero que cumpla con las combinaciones de la norma peruana E060 y E020 y se obtienen las siguientes dimensiones y cantidad de acero en las tablas 2 y 3.

**TABLA 2. Dimensiones y aceros en vigas.**

Edificio prismático	Vigas				
	Dimensión(cm)	Sup.(cm2)	Inf.(cm2)	As.Transversal	Pisos
7 niveles	30x70	10.13	10.13	1φ3/8"@0.05,10 φ 3/8" @0.1, resto @0.20	T1,T6 y T7
	30x70	9.13	10.13	1φ3/8"@0.05,10 φ 3/8" @0.1, resto @0.20	T2-T5
10 niveles	30x75	7.9	10.13	1φ3/8"@0.05,10 φ 3/8" @0.1, resto @0.20	T1,T7 -T10
	30x75	10.71	11.64	1φ3/8"@0.05,10 φ 3/8" @0.1, resto @0.20	T2-T6
15 niveles	30x80	11.49	11.64	1φ3/8"@0.05,10 φ 3/8" @0.1, resto @0.20	T1,T2,T9 y T15
	30x80	11.32	11.64	1φ3/8"@0.05,10 φ 3/8" @0.1, resto @0.20	T3-T8
Vigas					
Edificio troncopiramidal	Dimensión(cm)	Sup.(cm2)	Inf.(cm2)	As.Transversal	Pisos
7 niveles	30x70	19.25	19.25	1φ 3/8"@0.05,10 φ 3/8" @0.1, resto @0.20	T1-T4
	30x70	15.30	15.30	1φ 3/8"@0.05,10 φ 3/8" @0.1, resto @0.20	T5-T6
	30x70	8.55	8.55	1φ 3/8"@0.05,10 φ 3/8" @0.1, resto @0.20	T7
10 niveles	30x75	15.30	15.30	1φ 3/8"@0.05,10 φ 3/8" @0.1, resto @0.20	T1
	30x75	19.25	19.25	1φ 3/8"@0.05,10 φ 3/8" @0.1, resto @0.20	T2-T7
	30x75	8.55	8.55	1φ 3/8"@0.05,10 φ 3/8" @0.1, resto @0.20	T10
15 niveles	30x80	10.13	10.13	1φ 3/8"@0.05,10 φ 3/8" @0.1, resto @0.20	T1-T2 y T10-T15
	30x80	12.82	12.82	1φ 3/8"@0.05,10 φ 3/8" @0.1, resto @0.20	T3-T9

Fuente: Elaboracion Propia.

**TABLA 3. Dimensiones y aceros en columnas.**

Edificio prismático	Columnas		
	Dimensión(cm)	As.Long(%)	As. Transversal
7 niveles	85x85	1.70	1 φ 1/2"@0.05,8 φ1/2"@0.10, resto@0.20
10 niveles	110x110	1.10	1 φ 1/2"@0.05,8 φ1/2"@0.10, resto@0.20
15 niveles	140x140	1.60	1 φ 1/2"@0.05,8 φ1/2"@0.10, resto@0.20

Edificio truncopiramidal	Columnas		
	Dimensión(cm)	As.Long.(%)	As. Transversal
7 niveles	85x85	1.70	1 $\phi$ 1/2"@0.05,8 $\phi$ 1/2"@0.10, resto@0.20
10 niveles	110x110	2.00	1 $\phi$ 1/2"@0.05,8 $\phi$ 1/2"@0.10, resto@0.20
15 niveles	140x140	1.60	1 $\phi$ 1/2"@0.05,8 $\phi$ 1/2"@0.10, resto@0.20

Fuente: Elaboracion Propia.

## 2.2 Evaluación probabilista mediante la simulación de Montecarlo

### 2.2.1 Propiedades aleatorias.

La variabilidad de cada parámetro es definida en función de alguna distribución, entre las más comunes se tiene la normal, Weibull y Lognormal (EPRI, 2018) la distribución se define en función de una media y la variabilidad de la media, se muestran las variables en la tabla 4

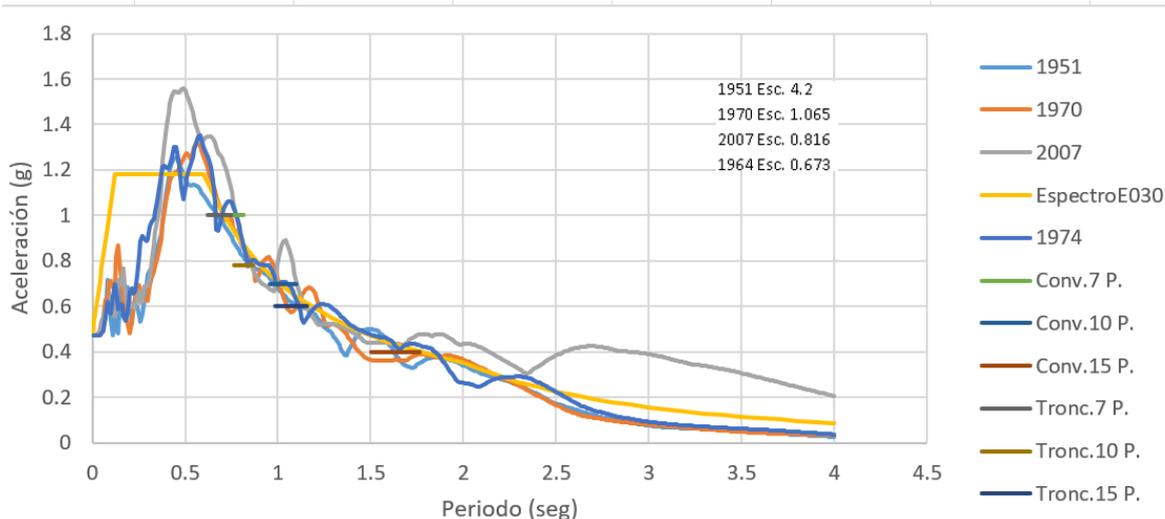
**TABLA 4.** *Parametros aleatorios considerados en el metodo de Montecarlo.*

Variable	Distribución probabilística	Referencia
Peso	Normal	(Ellingwood, 1980)
Resistencia del concreto	Lognormal	(EPRI, 2018)
Fluencia del acero	Lognormal	(EPRI, 2018)
Módulo de elasticidad	Lognormal	(Geyskens, Kiureghian and Monteiro, 1998)
Demanda sísmica	Lognormal	Registros de Perú
Rotación en vigas	Lognormal	(ASCE, 2017)
Rotación en columnas	Lognormal	(Comartin, Niewiarowski and Rojahn, 1996)
Derivas Hazus	Lognormal	(Mr, 2003)

Fuente: Elaboracion Propia.

Para las variables como el concreto y acero se consideró valores característicos del EPRI , para concreto el valor de la media es  $1.5 f'c$  y para acero es  $4640 \text{ kg/cm}^2$  y la característica como  $4200 \text{ kg/cm}^2$ .(EPRI, 2018) El módulo de elasticidad acorde a Geykans se calcula en función de la resistencia del concreto como  $E=15100 \times \sqrt{f'c}$  (Geyskens et al., 1998).

La variable de peso se encuentra en función de qué tanto se amplifica, respecto a su peso nominal y la incertidumbre en la demanda sísmica se ha calculado en función de 4 registros en consideracion del espectro E030, los registros considerados son de falla por subducción ocurridos en Perú en Lima 1951, Lima 1974, Ancash 1970 y Pisco 2007, los cuales han sido escalados al PGA del espectro peruano de suelo S2, tal como se muestra en la figura 6



**FIGURA 6.** . Registro sísmico escalados al espectro de la norma E030 y periodos de los edificios de 7-10 y 15 niveles.

*Fuente:* Elaboracion Propia.

Las variables de rotación en vigas y columnas se consideran en función de los límites del resguardo de vida según el ASCE 41-17 y ATC40 respectivamente, la covarianza se obtuvo del FEMA P58 (FEMA 2005). La variable de derivas se definió respecto de un daño extensivo en Hazus donde se definen para estructuras de pórticos de mediana altura para el caso de 7 niveles y alto para edificios de 10 y 15 niveles, además Hazus también brinda valores de covarianza (MR, 2020). Estas dos variables son tomadas como capacidad debido a que si la demanda excede estas variables se consideraría que sobrepasa el estado de desempeño que se busca en las normas de diseño sismorresistente. Finalmente se muestran las medias y covarianzas de todas las variables en la tabla 5.

**TABLA 5.** *Valores de media y covarianza para cada variable.*

Variable	Media	Cov.
Peso (adimensional)	1	0.1
Resistencia del concreto (kg/cm <sup>2</sup> )	420	0.17
Fluencia del acero (kg/cm <sup>2</sup> )	4640	0.06
Módulo de elasticidad (kg/cm <sup>2</sup> )	309458	0.046
Demanda sísmica (adimensional)	1	Variable (alrededor a 0.08)
Rotación en vigas (rad)	25	0.5
Rotación en columnas (rad)	10	0.5
Derivas Hazus - Edificio 10 y 15 N	15/1000	0.67
Derivas Hazus - Edificio 7 N	20/1000	0.68

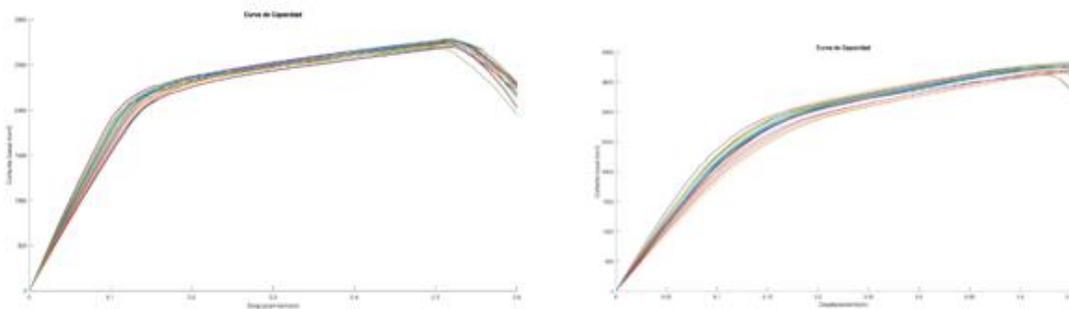
*Fuente:* Elaboracion Propia.

### 3 RESULTADOS

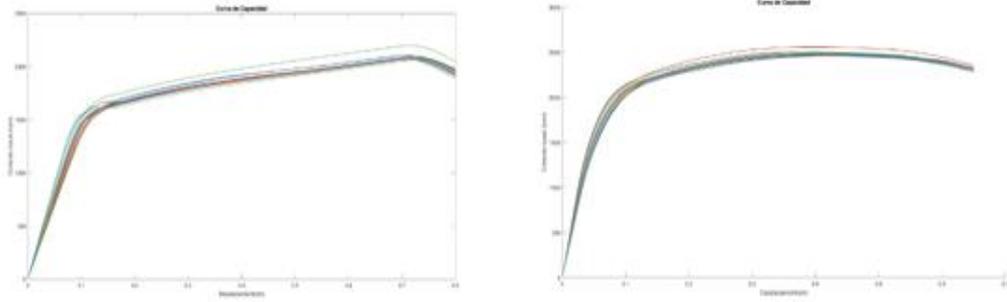
#### 3.1 Análisis no lineal estático y simulación de Montecarlo

El análisis no lineal estático se realiza acorde a los lineamientos del ASCE 41-17, el cual se realiza aplicando una carga lateral incremental, en la que se mide como punto de control de desplazamiento el ubicado en el centro de masa del último nivel (ASCE 2017), Jonkman menciona que la confiabilidad de una estructura puede ser dividida en 5 grupos, donde el nivel 0 son cálculos deterministas, el 1 semi-probabilístico, el 2 aproximado, el 3 numérico y el nivel 4 basado en riesgos. El método de Montecarlo está incluido dentro del nivel 3 donde la probabilidad de falla es calculada mediante sus simulaciones. Las simulaciones se realizan con la creación de números aleatorios que cumplan con la distribución de probabilidad de cada variable, (Jonkman et al. 2017), el total de simulaciones realizadas por cada estructural es de 20, al ser 6 estructuras ( 3 troncopiramidales y 3 de planta cuadrada), en total se han realizado 120 simulaciones

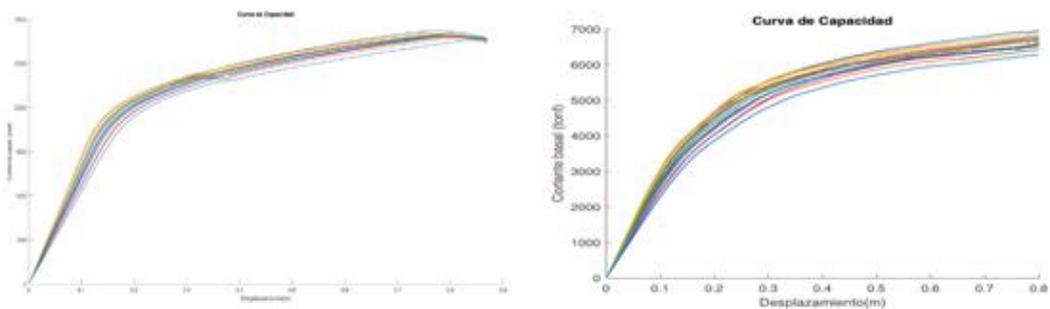
En las figuras 7, 8 y 9 se muestran las 20 curvas de capacidad obtenidas en cada estructura producto de la simulación de Montecarlo.



**FIGURA 7.** Curvas de capacidad obtenidas de la simulación de Montecarlo de los edificios prismático y troncopiramidal 7 niveles



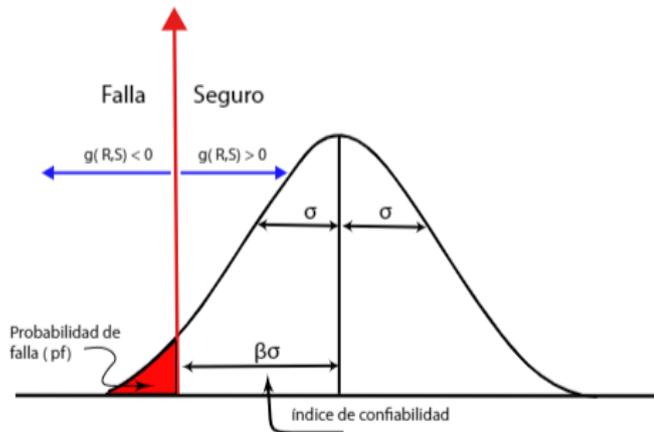
**FIGURA 8.** Curvas de capacidad obtenidas de la simulación de Montecarlo de los edificios prismático y troncopiramidal 10 niveles



**FIGURA 9.** Curvas de capacidad obtenidas de la simulación de Montecarlo de los edificios prismático y troncopiramidal 15 niveles

### 3.2 Confiabilidad estructural

La probabilidad de falla queda definida como la cantidad de veces que se excede la capacidad, que en este caso es el límite definido de rotación en vigas y columnas o derivas dividido entre el total de simulaciones realizadas que en el presente caso es de 20 por cada edificación. En el presente artículo además de la probabilidad de falla se calcula el índice de confiabilidad conocido como  $\beta$ . (Cornell 1969) define el índice de confiabilidad como el número de desviaciones estándar entre el valor medio de la función de estado límite o margen de seguridad y el borde o línea que define la región segura y (Hasofer and Lind 1974) como la menor distancia entre el origen y la superficie de falla en el espacio de variables tipificadas. Entre mayor sea el valor  $\beta$  mayor será el margen de seguridad y menor la probabilidad de falla. La figura 10 muestra la interpretación geométrica del índice de confiabilidad y la probabilidad de falla sombreada (Diaz 2008)



**FIGURA 10.** . Representación del índice de confiabilidad.

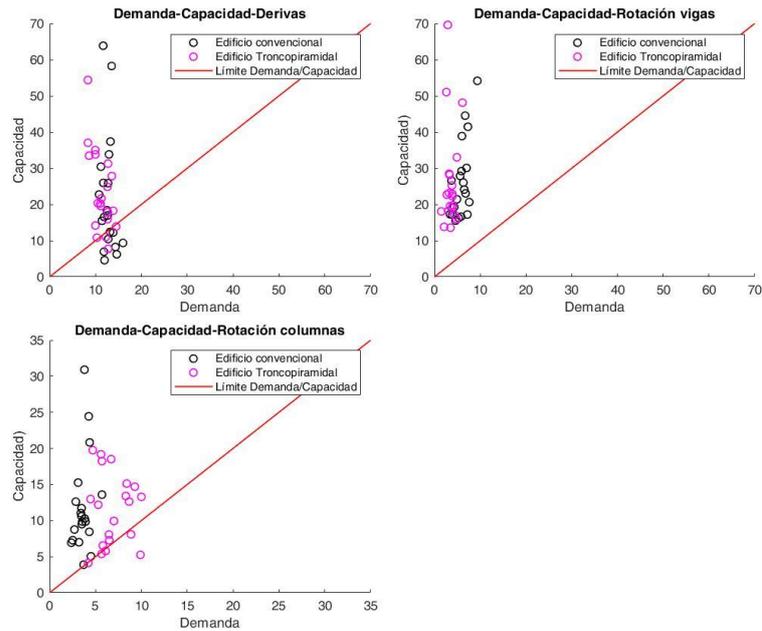
*Fuente:* Elaboracion Propia

$$\beta = \frac{\mu_R - \mu_S}{\sqrt{\sigma_R^2 + \sigma_S^2}}$$

$\beta = \text{Índice de confiabilidad}$

### 3.2.1 Resultado de la probabilidad de falla en las simulaciones.

En la presente sección se presenta en todos los gráficos de demanda y capacidad, además de una línea a 45° que divide en dos zonas, una parte superior donde la capacidad es mayor a la demanda, es decir, que no falla y la zona inferior donde la demanda es mayor a la capacidad que quiere decir que sí falla.



**FIGURA 11.** Zona de falla y zona segura para el edificio de 7 niveles.

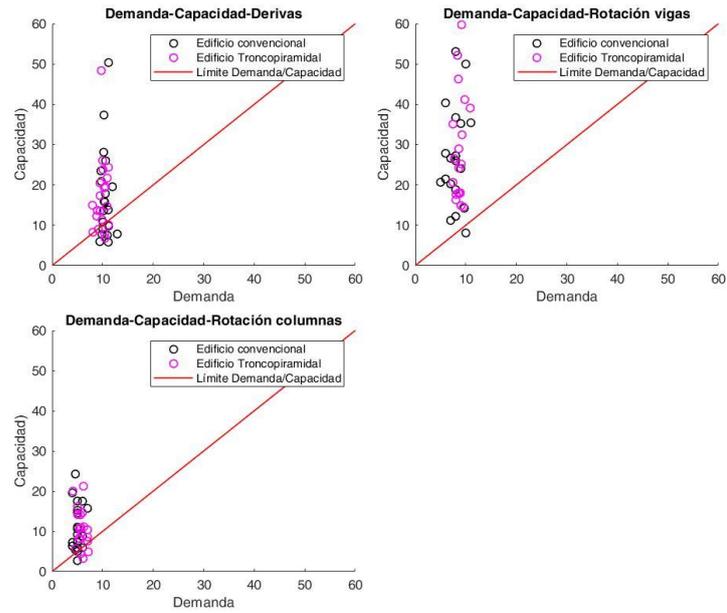
Fuente: Elaboracion Propia (MATLAB).

**TABLA 6.** Calculo de la probabilidad de falla para rotaciones en vigas, columnas y derivas para edificio 7 niveles.

Probabilidad De Falla	Prismático - 7 Niveles	Troncopiramidal -7 Niveles
DERIVA	0.40	0.15
Viga	0.00	0.00
Columna	0.00	0.25

Fuente: Elaboracion Propia

Se observa que para derivas el edificio de 7 niveles troncopiramidal tiene menor probabilidad de falla respecto del edificio prismático, en ambos casos no hay probabilidad de falla en vigas, y en el edificio de 7 niveles troncopiramidal la probabilidad de falla es mayor que en el prismático.



**FIGURA 12.** Zona de falla y zona segura para el edificio de 10 niveles.

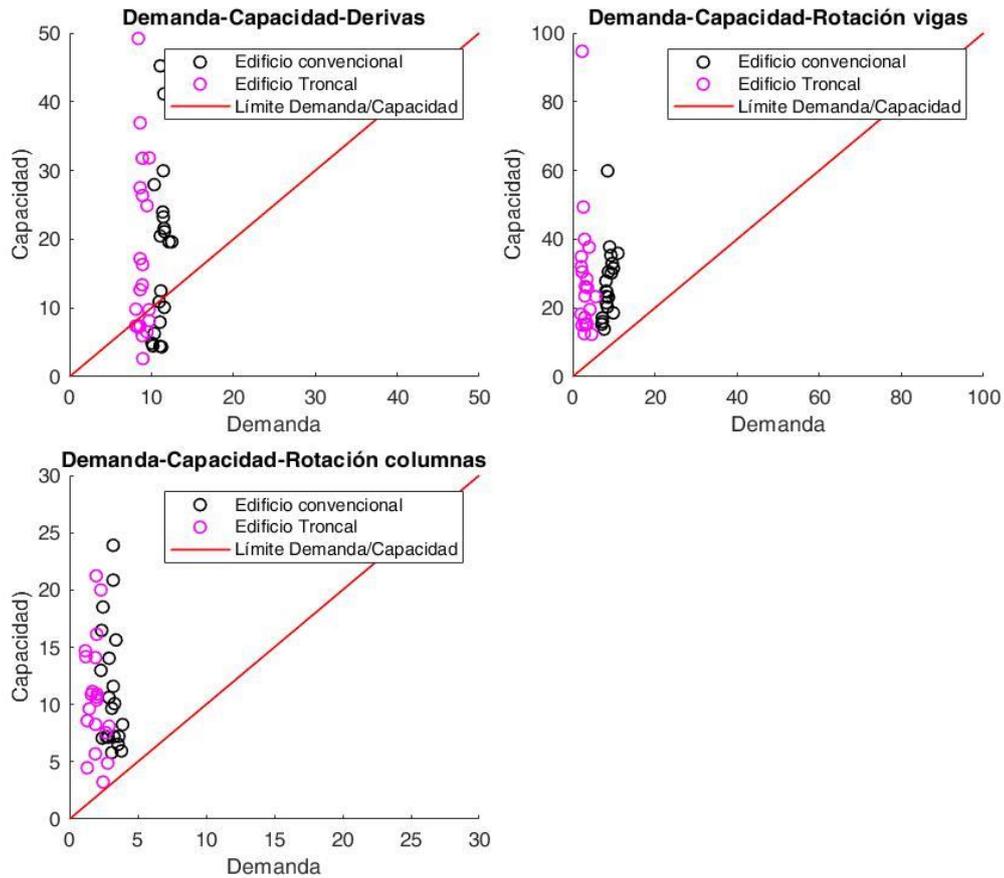
Fuente: Elaboracion Propia (MATLAB).

**TABLA 7.** Calculo de la probabilidad de falla para rotaciones en vigas, columnas y derivas para edificio 10 niveles.

Probabilidad De Falla	Prismático - 10 Niveles	truncopiramidal -10 Niveles
DERIVA	0.35	0.20
Viga	0.05	0.00
Columna	0.10	0.15

Fuente: Elaboracion Propia

Se observa que para derivas el edificio de 10 niveles truncopiramidal tiene menor probabilidad de falla respecto al de forma prismático, similar en columnas y en vigas.



**FIGURA 13.** Zona de falla y zona segura para el edificio de 15 niveles.

Fuente: Elaboracion Propia (MATLAB).

**TABLA 8.** Calculo de la probabilidad de falla para rotaciones en vigas, columnas y derivas para edificio 15 niveles.

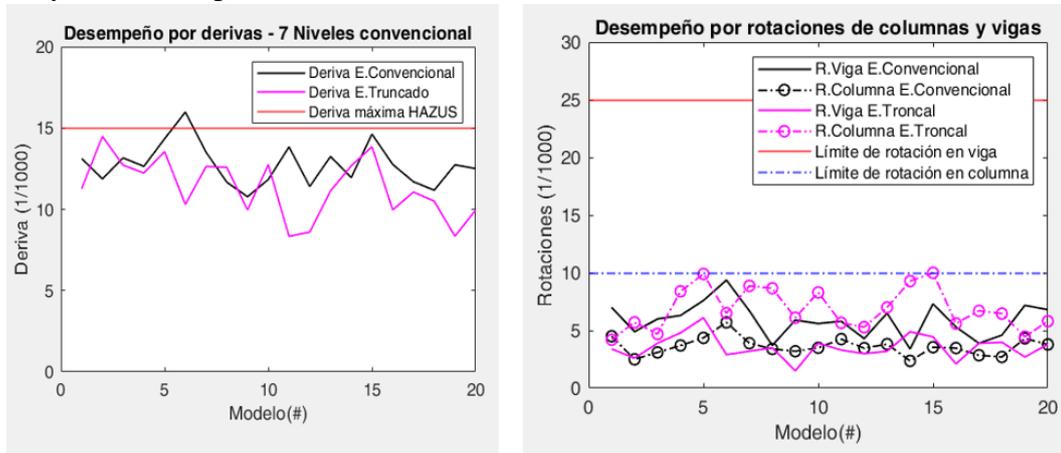
Probabilidad De Falla	Prismatico - 15 Niveles	Troncopiramidal -15 Niveles
DERIVA	0.40	0.35
Viga	0.00	0.00
Columna	0.00	0.00

Fuente: Elaboracion Propia

Se observa que para derivas el edificio de 15 niveles troncopiramidal tiene menor probabilidad de falla respecto al de forma prismático y es inexistente en vigas y columnas.

### 3.2.2. Resultados de las simulaciones respecto de la media e índice de confiabilidad estructural.

En la presente sección se muestran los resultados de las 20 simulaciones y el límite en derivas y rotaciones promedio.



**FIGURA 14.** Resultados de las simulaciones y capacidad media para el edificio de 7 niveles.

-Fuente: Elaboracion Propia (MATLAB).

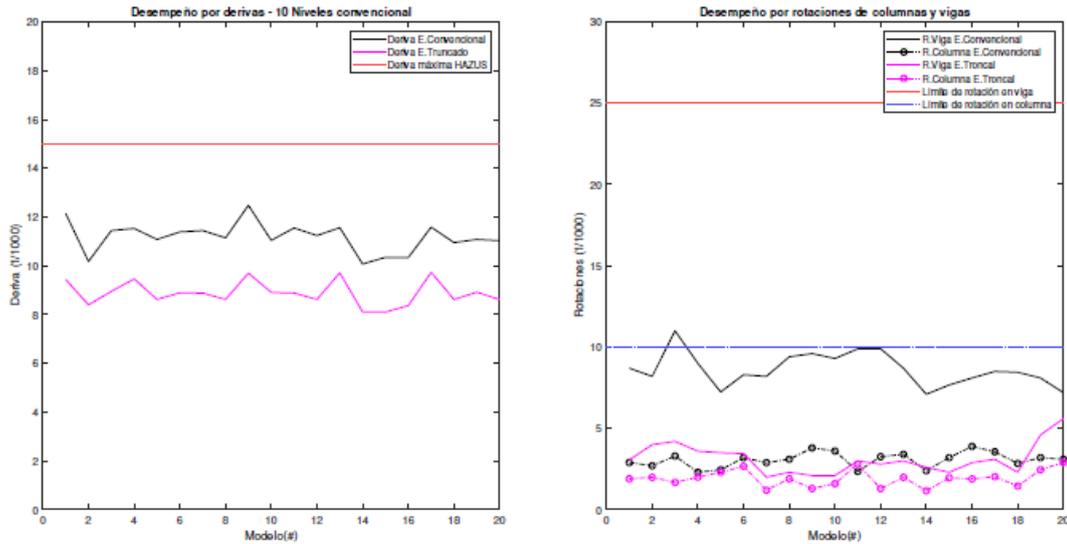
**TABLA 9.** Índice de confiabilidad para las edificaciones de 7 niveles. de forma prismático y troncopiramidal.

7 Niveles - Prismático	Capacidad		Demanda		índice de confiabilidad ( $\beta$ )
	Parámetro de daño	Media ( $\mu$ )	Desv ( $\sigma$ )	Media ( $\mu$ )	
Derivas	20	13.60	12.73	1.29	0.53
Rotación en viga	25	12.50	5.91	1.50	1.52
Rotación en columna	10	5.00	3.62	0.78	1.26

7 Niveles - Troncopiramidal	Capacidad		Demanda		índice de confiabilidad ( $\beta$ )
	Parámetro de daño	Media ( $\mu$ )	Desv ( $\sigma$ )	Media ( $\mu$ )	
Derivas	20	13.60	11.34	1.10	0.63
Rotación en viga	25	12.50	3.55	1.34	1.71
Rotación en columna	10	5.00	6.88	0.57	0.62

Fuente: Elaboracion Propia

En el edificio de 7 niveles se observa que no se alcanza la confiabilidad de 1.75 que se espera ante cargas sísmicas y de gravedad acorde al AISC, se observa que para la capacidad de desviación estándar es alta respecto de la demanda. Una desviación estándar alta genera que los índices de confiabilidad sean bajas. (FEMA 2005) menciona que la alta desviación estándar de capacidad corresponde a la incertidumbre en el diseño, material a emplear y la calidad de construcción.



**FIGURA 15.** Resultados de las simulaciones y capacidad media para el edificio de 10 niveles.

Fuente: Elaboracion Propia (MATLAB).

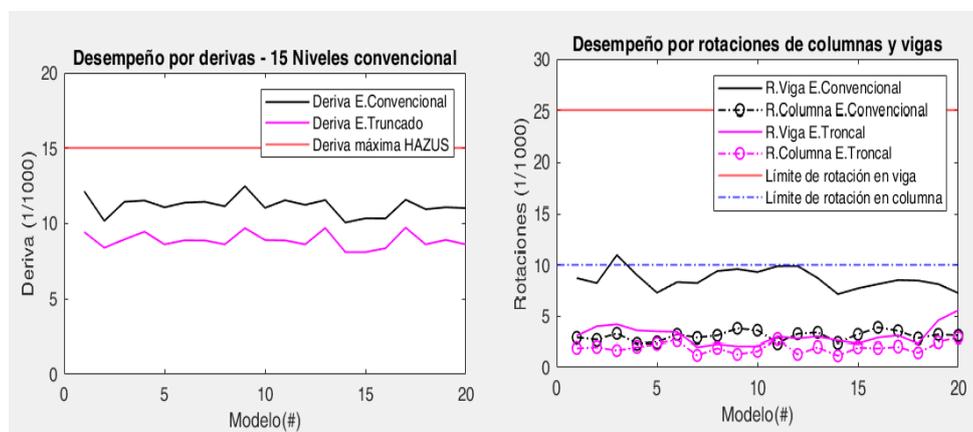
**TABLA 10.** Índice de confiabilidad para las edificaciones de 10 niveles. de forma prismático y troncopiramidal.

10 Niveles - Prismático	Capacidad		Demanda		índice de confiabilidad ( $\beta$ )
Parámetro de daño	Media ( $\mu$ )	Desv( $\sigma$ )	Media ( $\mu$ )	Desv( $\sigma$ )	
Derivas	15	10.05	10.58	0.83	0.44
Rotación en viga	25	12.50	7.94	1.55	1.38
Rotación en columna	10	5.00	5.06	0.73	1.00

Parámetro de daño	Capacidad		Demanda		índice de confiabilidad ( $\beta$ )
	Media ( $\mu$ )	Desv ( $\sigma$ )	Media ( $\mu$ )	Desv ( $\sigma$ )	
Derivas	15	10.05	9.84	0.73	0.51
Rotación en viga	25	12.5	8.74	1.11	1.30
Rotación en columna	10	5.00	5.81	0.64	0.83

Fuente: Elaboracion Propia

Se observa para el edificio de 10 niveles que se han mejorado los índices de confiabilidad respecto al de 7 niveles, debido a la gran ductilidad en las vigas se observa que el índice de confiabilidad es alta en vigas.



**FIGURA 16.** Resultados de las simulaciones y capacidad media para el edificio de 15 niveles.

Fuente: Elaboracion Propia (MATLAB).

**TABLA 11.** Índice de confiabilidad para las edificaciones de 15 niveles. de forma prismático y troncopiramidal.

Parámetro de daño	Capacidad		Demanda		índice de confiabilidad ( $\beta$ )
	Media ( $\mu$ )	Desv ( $\sigma$ )	Media ( $\mu$ )	Desv ( $\sigma$ )	
Derivas	15	10.05	11.18	0.61	0.38
Rotación en viga	25	12.5	8.63	1.01	1.31
Rotación en columna	10	5.00	3.07	0.47	1.38

15 Niveles - Troncopiramidal	Capacidad		Demanda		índice de confiabilidad ( $\beta$ )
	Parámetro de daño	Media ( $\mu$ )	Desv ( $\sigma$ )	Media ( $\mu$ )	
Derivas	15	10.05	8.88	0.63	0.61
Rotación en viga	25	12.5	3.13	0.96	1.74
Rotación en columna	10	5.00	1.92	0.47	1.61

Fuente: Elaboracion Propia

Los edificios tienen un mejor comportamiento conforme aumenta la cantidad de pisos. Se observa que para el edificio de 15 niveles troncopiramidal se alcanzan valores cercanos de 1.75 de confiabilidad para rotaciones en vigas y columnas que de forma más precisa significaría que el edificio corresponde a un desempeño en resguardo de vida con un riesgo adecuado.

### 3.2.3. Comparativa en materiales, área techada e del riesgo estructural para el edificio troncopiramidal y prismático.

La diferencia que se mostrará en la presente sección es la correspondiente a los factores de confiabilidad obtenidos en ambas edificaciones para rotaciones en vigas, columnas y derivas de entrepiso, además de la volumen de concreto, acero de refuerzo utilizado y el área techada disponible total que se obtiene en cada tipo de edificio con la finalidad de que puedan ser utilizados como variables para la toma de decisión.

En la figura 17 se muestra la comparativa respecto de la confiabilidad estructural que tiene el edificio troncopiramidal y prismático de 7,10 y 15 niveles.

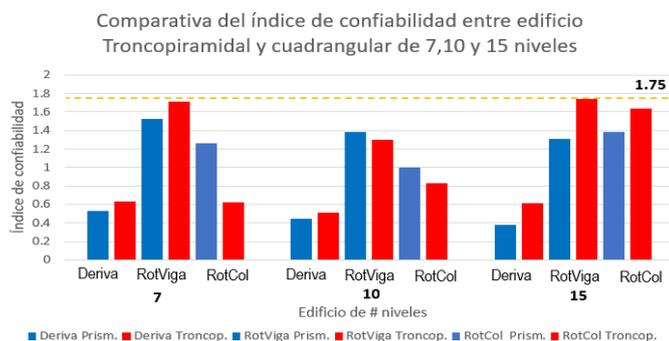
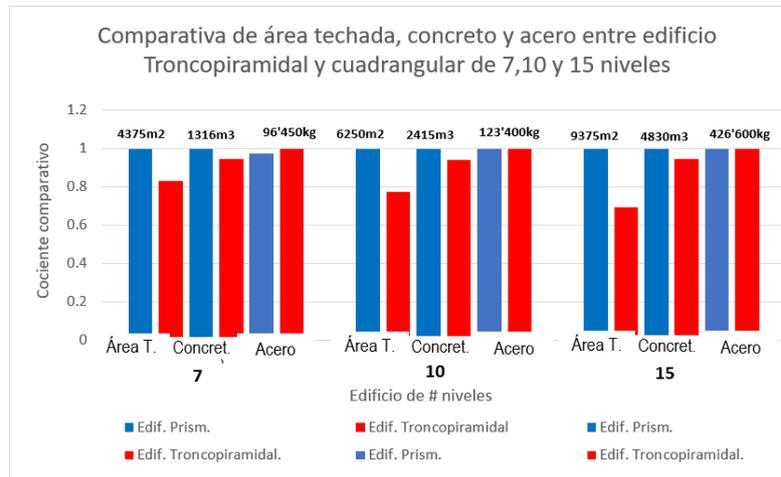


FIGURA 17. Comparacion del indice de confiabilidad para edificios troncopiramidal y prismatico de 7,10 y 15 niveles

Fuente: Elaboracion Propia (Microsoft Excel).

Se observa en la figura 17 que el edificio troncopiramidal de 15 niveles es el que se encuentra más cercano a la confiabilidad estructural objetivo de 1.75 acorde al desempeño en resguardo de vida en columnas y vigas.

En la figura 18 se muestran las comparaciones de área techada, volúmen del concreto y peso del acero en ratio respecto del edificio Prismático y troncopiramidal.



**FIGURA 18.** Comparacion del area techada, volumen de concret y peso del acero en ratios para edificios troncopiramidal y prismatico de 7,10 y 15 niveles

*Fuente:* Elaboracion Propia (Microsoft Excel).

Se observa que las principales diferencias se generan en función del área techada y se hace más notorio conforme se aumentan los niveles, además se observa un ligero ahorro en volumen de concreto.

## 4 CONCLUSIONES

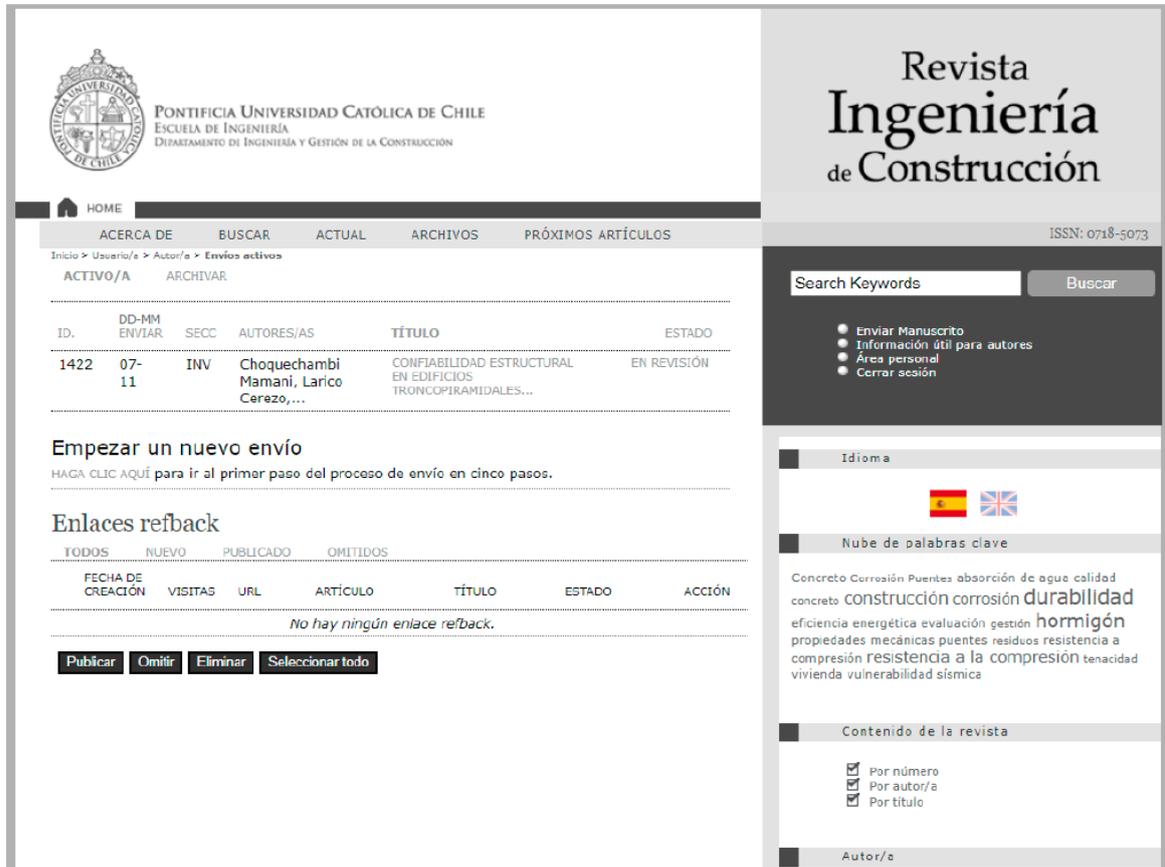
- (1) Se realizó el análisis de los edificios troncopiramidales y prismáticos, considerando 5 incertidumbres por cada edificio es de 20 simulaciones, al ser 6 estructuras (3 troncopiramidales y 3 de planta cuadrada), en total se han realizado 120 simulaciones.
- (2) El desempeño se realizó por el método de los coeficientes del ASCE 41-17 y en función del desempeño de cada edificación se obtuvo, derivas, rotación en vigas y rotación en columnas.
- (3) Acorde a ANSI A-58 LRFD se sugiere un valor de confiabilidad de 1.75 para combinaciones de carga D+L+E (muerta, viva y sísmica), el edificio troncopiramidal de 15 niveles el índice  $\beta$  alcanzo un valor de 1.74 acercándose al 99.42% de la confiabilidad objetivo de rotación de vigas y 1.61 acercándose al 92.00 % a la confiabilidad objetivo en columnas.
- (4) Se concluye que el valor de confiabilidad sale muy por debajo en función de derivas, debido a que la desviación estándar es muy alta en HAZUS estos valores son para casos generales (edificios de más de 8 niveles y sistema estructural de pórticos para el caso de C1H).
- (5) Se concluye que la confiabilidad estructural es mayor para las edificaciones troncopiramidales, así como menor probabilidad de falla en términos generales.
- (6) Se concluye que en todos los edificios el índice de confiabilidad en vigas es mayor que el de columnas. A pesar de que la demanda sea mayor en vigas, la capacidad debido a la ductilidad de las vigas es mucho mayor al de las columnas, lo que al final resulta en un mayor índice de confiabilidad.
- (7) Se observa que la confiabilidad estructural es mayor conforme el edificio aumenta en niveles, para el edificio de 15 niveles, en ambos tipos (troncopiramidal y prismático) se tiene 0% de probabilidad de falla para columnas y vigas, además de acercarse al 99.42% con el índice de confiabilidad de 1.75 en el caso troncopiramidal.
- (8) Se concluye que al comparar los materiales utilizados para el edificio de troncopiramidal y prismático, el peso del acero en ambos edificios es el mismo, en volumen de concreto hay una reducción de un 7% en el edificio troncopiramidal y que hay una reducción de área techada del 17%, 22% y 31% en el edificio troncopiramidal de 7, 10 y 15 niveles.

## REFERENCIAS

- ACHISINA. 2017. "Diseño Sísmico Basado En Desempeño." Novimebre:23.
- AISC. 2016. "Specification for Structural Steel Buildings, ANSI/AISC 360-16." *American Institute of Steel Construction* 676.
- ASCE. 2017. *Minimum Design Loads and Associated Criteria for Buildings and Other Structures*.
- Cornell, C. A. 1969. "A Probability-Based Structural Code." *Journal Proceedings*.
- Diaz, J. 2008. "Criterios de Aceptacion Para El Diseño Sismico Por Desempeño y Confiabilidad de Edificios de Concreto Reforzado, Con Piso Suave En Planta Baja, Desplantado En Suelos Blandos de La Ciudad de Mexico."
- FEMA. 2005. "Improvement of Nonlinear Static Seismic Analysis Procedures." *FEMA 440, Federal Emergency Management Agency, Washington DC* (June).
- Hasofer, A. M., and N. D. Lind. 1974. "Exact and Variant Second-Moment Code Format." *Journal of Structural Engineering* 124:89–95.
- Jonkman, S. N., A. C. W. M. Vrouwenvelder, R. D. J. M. Steenbergen, O. Morales-Nápoles, and J. K. Vrijling. 2017. "Probabilistic Design: Risk and Reliability Analysis in Civil Engineering, Lecture Notes CIE4130." 271.
- Khan, Sameer, Sandip Kumar Saha, Vasant A. Matsagar, and Benno Hoffmeister. 2017. "Fragility of Steel Frame Buildings under Blast Load." *Journal of Performance of Constructed Facilities* 31(4):04017019. doi: 10.1061/(asce)cf.1943-5509.0001016.
- Masciotta, Maria Giovanna, Daniele Pellegrini, Maria Girardi, Cristina Padovani, Alberto Barontini, Paulo B. Lourenço, Daniele Brigante, and Giovanni Fabbrocino. 2020. "Dynamic Characterization of Progressively Damaged Segmental Masonry Arches with One Settled Support: Experimental and Numerical Analyses." *Frattura Ed Integrita Strutturale* 14(51):423–41. doi: 10.3221/IGF-ESIS.51.31.
- Mccormack, Timothy L. H., Michael Cottier, Natsri Anshari, Harkristuti Harkrisnowo, Rina Rusman, Hukum Pidana Nasional, Heru Cahyono, Konvensi Den Haag, and War Crimes. 2003. "Hazard MR." (01):2020.
- Sindhu, Nachiar S., S. Anandh, Ajit Kumar, Abhinav Puskar, and Fardeen Mohammed. 2021. "Comparative Seismic Analysis of Conical and Pyramidal Frustum Shaped Commercial Building (G+6) at Janakpuri, Delhi." *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering* 1130(1):012003. doi: 10.1088/1757-899x/1130/1/012003.

## ANEXOS

### ANEXO A. Evidencia de sumisión a una revista indexada.



The screenshot displays the website for 'Revista Ingeniería de Construcción' from the Pontificia Universidad Católica de Chile. The page shows a submission status for article ID 1422, titled 'CONFIABILIDAD ESTRUCTURAL EN EDIFICIOS TRONCOPIRAMIDALES...', submitted by Mamani, Larico, and Carezo. The status is 'EN REVISIÓN'. The page also includes a search bar, a language selector (Spanish/English), a keyword cloud, and a reback link section.

**Revista Ingeniería de Construcción**  
ISSN: 0718-5073

HOME | ACERCA DE | BUSCAR | ACTUAL | ARCHIVOS | PRÓXIMOS ARTÍCULOS

Inicio > Usuario/a > Autor/a > Envíos activos

ACTIVO/A | ARCHIVAR

ID.	DD-MM ENVIAR	SECC	AUTORES/AS	TÍTULO	ESTADO
1422	07-11	INV	Choquechambi Mamani, Larico Carezo,...	CONFIABILIDAD ESTRUCTURAL EN EDIFICIOS TRONCOPIRAMIDALES...	EN REVISIÓN

**Empezar un nuevo envío**  
HAGA CLIC AQUÍ para ir al primer paso del proceso de envío en cinco pasos.

**Enlaces reback**

TODOS	NUEVO	PUBLICADO	OMITIDOS			
FECHA DE CREACIÓN	VISITAS	URL	ARTÍCULO	TÍTULO	ESTADO	ACCIÓN

No hay ningún enlace reback.

Publicar | Omitir | Eliminar | Seleccionar todo

Idioma:  

Nube de palabras clave: Concreto, Corrosión, Puentes, absorción de agua, calidad, concreto, construcción, corrosión, durabilidad, eficiencia energética, evaluación, gestión, hormigón, propiedades mecánicas, puentes, residuos, resistencia a compresión, resistencia a la compresión, tenacidad, vivienda, vulnerabilidad, sísmica.

Contenido de la revista:  
 Por número  
 Por autor/a  
 Por título

Autor/a

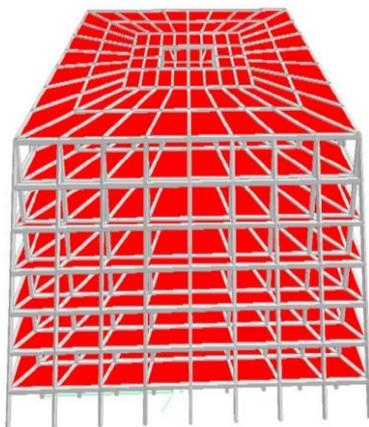
### ANEXO B. Modelo de un edificio troncopiramidal Madrid España.



**ANEXO C.** *Edificio la previsora Venezuela.*

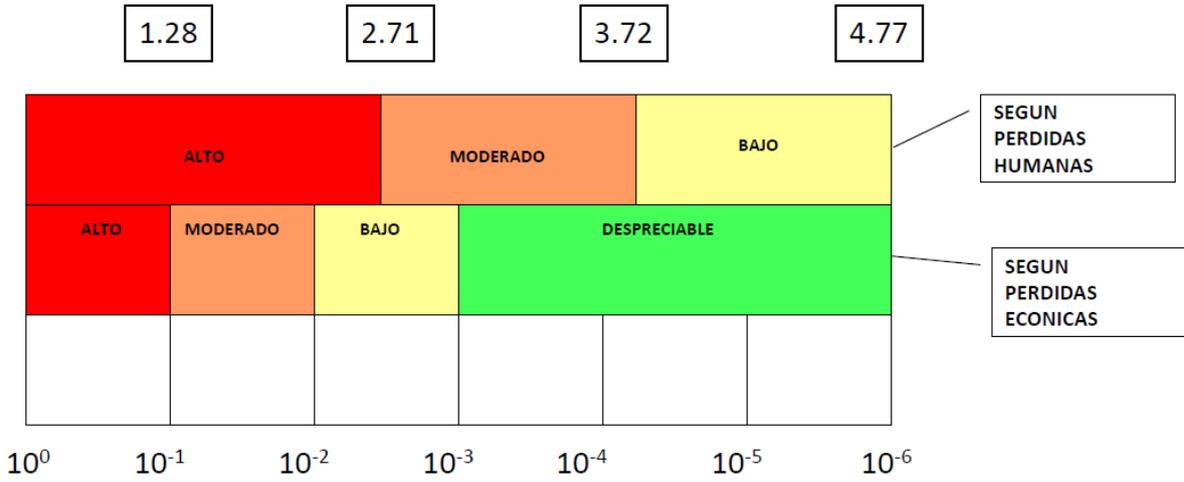


**ANEXO D.** *Vista 3D de un edificio troncopiramidal.*



ANEXO E. *Riesgo tolerable.*

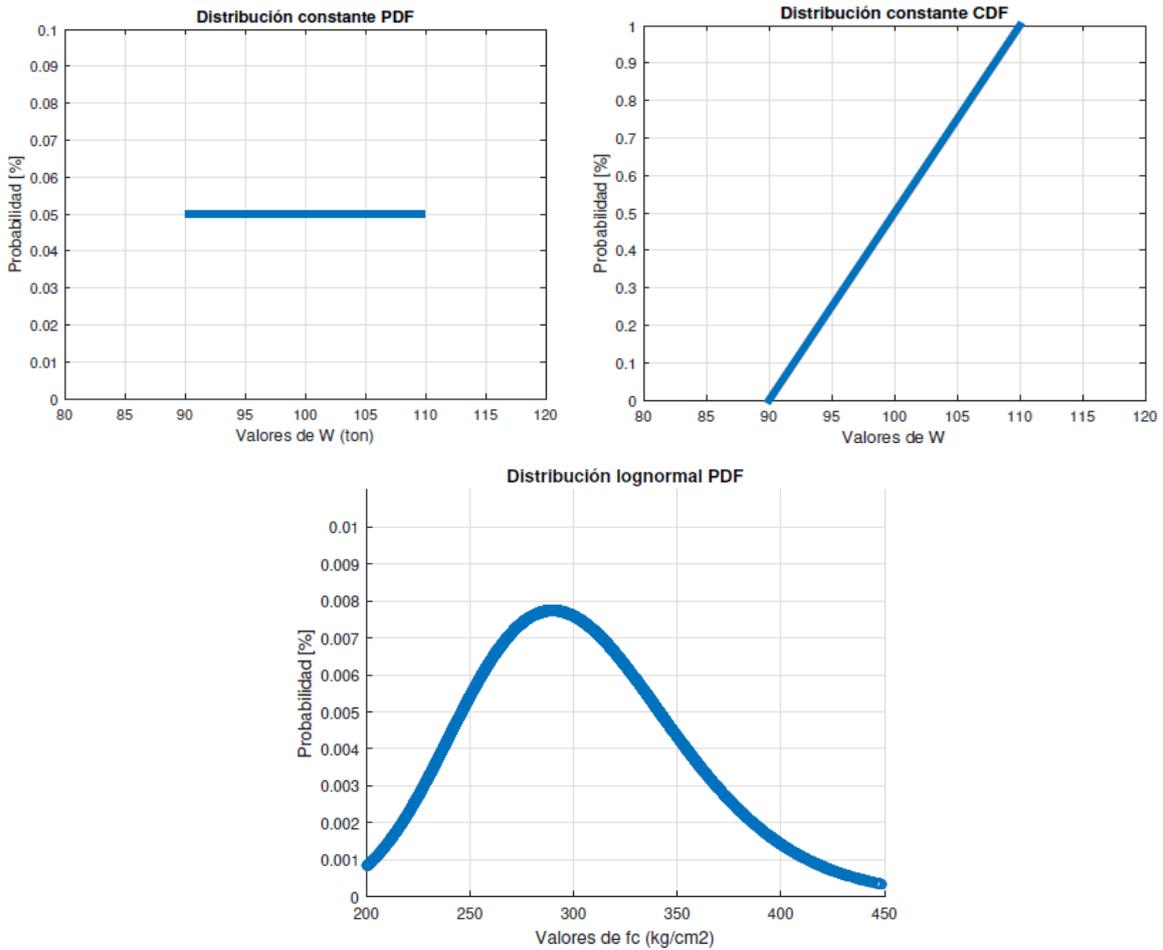
INDICE DE CONFIABILIDAD,  $\beta$



PROBABILIDAD ANUAL DE OCURENCIA

ESTADO LIMITE	$\beta$
DAÑO LIGERO	2.0
DAÑO MODERADO	2.5
DAÑO SEVERO	3.0
PREVIO AL COLAPSO SIN PERDIDA DE VIDAS	3.5
COLAPSO CON PERDIDA DE VIDAS	4.0

**ANEXO F. Probabilidad de densidad, acumulada y f'c para W.**



**ANEXO G. Parametro de la curva de fragilidad estructural:moderada nivel de diseño sismico de codigo**

Building Properties Type	Height (inches)		Intensity Drift at				Spectral Displacement (inches)							
			Threshold of Damage State				Slight		Moderate		Extensive		Complete	
			Slight	Moderate	Extensive	Complete	Median	Beta	Median	Beta	Median	Beta	Median	Beta
W1	168	126	0.0040	0.0099	0.0306	0.0750	0.50	0.84	1.25	0.86	3.86	0.89	9.45	1.04
W2	288	216	0.0040	0.0099	0.0306	0.0750	0.86	0.89	2.14	0.95	6.62	0.95	16.20	0.92
S1L	288	216	0.0060	0.0104	0.0235	0.0600	1.30	0.80	2.24	0.75	5.08	0.74	12.96	0.88
S1M	720	540	0.0040	0.0069	0.0157	0.0400	2.16	0.65	3.74	0.68	8.46	0.69	21.60	0.87
S1H	1872	1123	0.0030	0.0052	0.0118	0.0300	3.37	0.64	5.83	0.64	13.21	0.71	33.70	0.83
S2L	288	216	0.0050	0.0087	0.0233	0.0600	1.08	0.93	1.87	0.92	5.04	0.93	12.96	0.93
S2M	720	540	0.0033	0.0058	0.0156	0.0400	1.80	0.70	3.12	0.69	8.40	0.69	21.60	0.89
S2H	1872	1123	0.0025	0.0043	0.0117	0.0300	2.81	0.66	4.87	0.64	13.10	0.69	33.70	0.80
S3	180	135	0.0040	0.0070	0.0187	0.0525	0.54	0.88	0.94	0.92	2.52	0.97	7.09	0.89
S4L	288	216	0.0040	0.0069	0.0187	0.0525	0.86	0.96	1.50	1.00	4.04	1.03	11.34	0.92
S4M	720	540	0.0027	0.0046	0.0125	0.0350	1.44	0.75	2.50	0.72	6.73	0.72	18.90	0.94
S4H	1872	1123	0.0020	0.0035	0.0093	0.0262	2.25	0.66	3.90	0.67	10.50	0.70	29.48	0.90
S5L														
S5M														
S5H														
C1L	240	180	0.0050	0.0087	0.0233	0.0600	0.90	0.89	1.56	0.90	4.20	0.90	10.80	0.89
C1M	600	450	0.0033	0.0058	0.0156	0.0400	1.50	0.70	2.60	0.70	7.00	0.70	18.00	0.89
C1H	1440	864	0.0025	0.0043	0.0117	0.0300	2.16	0.66	3.74	0.66	10.08	0.76	25.92	0.91
C2L	240	180	0.0040	0.0084	0.0232	0.0600	0.72	0.91	1.52	0.97	4.17	1.03	10.80	0.87
C2M	600	450	0.0027	0.0056	0.0154	0.0400	1.20	0.81	2.53	0.77	6.95	0.73	18.00	0.91
C2H	1440	864	0.0020	0.0042	0.0116	0.0300	1.73	0.66	3.64	0.68	10.00	0.70	25.92	0.87
C3L														
C3M														
C3H														
PC1	180	135	0.0040	0.0070	0.0187	0.0525	0.54	0.89	0.94	0.92	2.52	0.97	7.09	1.04
PC2L	240	180	0.0040	0.0069	0.0187	0.0525	0.72	0.96	1.25	1.00	3.37	1.03	9.45	0.88
PC2M	600	450	0.0027	0.0046	0.0125	0.0350	1.20	0.82	2.08	0.79	5.61	0.75	15.75	0.93
PC2H	1440	864	0.0020	0.0035	0.0094	0.0263	1.73	0.68	3.00	0.69	8.08	0.77	22.68	0.89
RM1L	240	180	0.0040	0.0069	0.0187	0.0525	0.72	0.96	1.25	0.99	3.37	1.05	9.45	0.94
RM1M	600	450	0.0027	0.0046	0.0125	0.0350	1.20	0.81	2.08	0.82	5.61	0.80	15.75	0.89
RM2L	240	180	0.0040	0.0069	0.0187	0.0525	0.72	0.91	1.25	0.96	3.37	1.02	9.45	0.93
RM2M	600	450	0.0027	0.0046	0.0125	0.0350	1.20	0.81	2.08	0.80	5.61	0.75	15.75	0.88
RM2H	1440	864	0.0020	0.0035	0.0094	0.0263	1.73	0.67	3.00	0.69	8.08	0.70	22.68	0.86
URML														
URMM														
MH	120	120	0.0040	0.0080	0.0240	0.0700	0.48	0.91	0.96	1.00	2.88	1.03	8.40	0.92