

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



Una Institución Adventista

**Respuesta sísmica para una edificación residencial de concreto
armado acorde a las normas sudamericanas de la zona del Pacífico.
Estudio de caso para Perú, Chile y Ecuador**

Tesis para obtener el Título Profesional de Ingeniero Civil

Por:

Juan Alonso Alvarado Mamani

Asesor:

Ing. Henry Antonio Aguilar Chuquimia

Juliaca, agosto de 2022

DECLARACIÓN JURADA DE AUTORÍA DEL INFORME DE TESIS

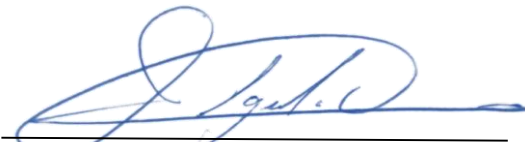
Henry Antonio Aguilar Chuquimia, de la Facultad de Ingeniería y arquitectura, Escuela Profesional de Ingeniería Civil, de la Universidad Peruana Unión.

DECLARO:

Que el presente informe de investigación titulado: **“RESPUESTA SÍSMICA PARA UNA EDIFICACIÓN RESIDENCIAL DE CONCRETO ARMADO ACORDE A LAS NORMAS SUDAMERICANAS DE LA ZONA DEL PACIFICO. ESTUDIO DE CASO PARA PERÚ, CHILE Y ECUADOR”** constituye la memoria que presenta el Bachiller **Juan Alonso Alvarado Mamani** para obtener el título de Profesional de Ingeniería 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 26 días del mes de agosto del año 2022.



Ing. Henry Antonio Aguilar Chuquimia

Asesor



ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

En Puno, Juliaca, Villa Chullunquiari, a 25 día(s) del mes de agosto del año 2022, siendo las 14:00 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: Ing. Nelson Duberly Pari Lusi y los demás miembros: Ing. Wilson Gómez Carides y el asesor Ing. Henry Antonio Aguilar Chuguinia

con el propósito de administrar el acto académico de sustentación de la tesis titulada: Respuesta sísmica para una edificación residencial de concreto armado acorde a las normas sudamericanas de la zona del Pacífico. Estudio de caso para Perú, Chile y Ecuador

de el(los)la(las) bachiller(es): a) Juan Monse Alvarado Mamani b)

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)la(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)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): Juan Monse Alvarado Mamani

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

Candidato (b):

CALIFICACIÓN	ESCALAS			Mérito
	Vigesimal	Literal	Cualitativa	

(*) Ver parte posterior

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


 Presidente

 Asesor

 Candidato(a) (a)


 Miembro


 Secretario

 Miembro

 Candidato(a) (b)

Respuesta sísmica para una edificación residencial de concreto armado acorde a las normas sudamericanas de la zona del Pacífico. Estudio de caso para Perú, Chile y Ecuador.

**Seismic response for a reinforced concrete residential edification according to South American standards of the Pacific zone.
Case study for Peru, Chile, and Ecuador.**

Juan Alonso Alvarado Mamani ^{1*} juan.am@upeu.edu.pe

Henry Antonio Aguilar Chuquimia * henry.ac@upeu.edu.pe

*Universidad Peruana Unión – Sede Juliaca, Perú.

Resumen

En el presente trabajo se realizó la estimación de la respuesta sísmica de una edificación de concreto armado representativa de residencias multifamiliares modernas de mediana altura de la zona sur del Perú, en concordancia con las normas sísmicas de la zona del Pacífico correspondientes a las directivas oficiales vigentes del Perú (E.030,2018), Chile (NCh433, 2012) y Ecuador (NEC, 2015), empleando para ello el análisis modal espectral con el propósito de destacar los aspectos más relevantes en las normas e identificar posibles parámetros ausentes que influyen de forma destacada sobre la demanda estructural. El análisis contempló la estimación de las fuerzas cortantes, la aceleración espectral y el desplazamiento relativo de entrepiso abarcando variables como la zonificación sísmica, tipología de suelos, categoría de uso, sistema estructural, entre otros; contemplando el planteamiento de un esquema uniforme para la comparación de límites entre los

desplazamientos relativos de entrepiso establecidos en cada norma. El proceso se realizó a partir de modelos numéricos de un edificio de concreto armado de 10 niveles constituido por pórticos y muros estructurales; encontrándose, entre otros, que la mayor demanda de aceleración a nivel de superficie en las regiones costeras para un suelo rocoso ($V_s \geq 900$ m/s) corresponde al Perú, seguida de Ecuador y Chile. Se concluye en general, que las mayores demandas y los límites más restrictivos para las diferentes zonas sísmicas y diferentes condiciones de suelo corresponden a las disposiciones reglamentarias del Perú.

Palabras clave: Análisis sísmico, cortante basal, desplazamiento lateral, aceleración espectral, respuesta sísmica.

Abstract

In the present work, the estimation of the seismic response of a representative reinforced concrete building of modern multi-family residences of medium height in the southern zone of Peru was carried out, in accordance with the seismic norms of the Pacific zone corresponding to the current official directives of Peru (E.030, 2018), Chile (NCh433, 2012) and Ecuador (NEC, 2015), using spectral modal analysis for this in order to highlight the most relevant aspects in the standards and identify possible absent parameters that influence prominently on structural demand. The analysis contemplated the estimation of the shear forces, the spectral acceleration and the relative displacement of the mezzanine, covering variables such as seismic zoning, soil typology, category of use, structural system, among others; contemplating the approach of a uniform scheme for the comparison of limits between the relative displacements of mezzanine established in each standard. The process was carried out from numerical models of a 10-level reinforced concrete building made by porches and structural walls; finding, among others, that the highest acceleration demand at surface level in coastal regions for rocky soil ($V_s \geq 900$ m/s) corresponds to Peru, followed by Ecuador and Chile. In general, it is concluded that the highest demands and the most restrictive limits for the different seismic zones and different soil conditions correspond to the regulatory provisions of Peru.

Keywords: Seismic analysis, basal shear, lateral displacement, spectral acceleration, seismic response.

1. Introducción

Durante el siglo XX en el mundo entero han ocurrido más de 1.100 terremotos violentos que han causado más de millón y medio de víctimas (Moreno y Bairán, 2012), siendo una de las regiones más afectadas la franja costera sudamericana con importantes eventos sísmicos reciente tales como Chile 2010 y Ecuador 2016 (Ruiz & Madariaga, 2018)(Jiménez et al., 2021); uno de los aspectos más relevantes, para el caso peruano es el incremento de la población y el desarrollo urbano desordenado de las ciudades (Tavera, 2014), es destacable la informalidad en las etapas de ingeniería y construcción de una edificación, siendo la fase de concepción estructural una etapa crítica en regiones con bajo porcentaje de especialistas estructurales, destacando las ciudades con menores ingresos per cápita (Riesco et al., 2021) tal como la región sur del Perú, la misma que abarca ciudades como Tacna, Juliaca y Puerto Maldonado comprendiendo en conjunto zonas costeras, de serranía y selváticas con una tendencia constructiva similar.

Las demandas sobre las edificaciones resultan en una preocupación creciente dado que se busca un adecuado nivel de seguridad estructural en proyectos de ingeniería, por ello es necesario asegurar que se contemplen los parámetros más relevantes y las restricciones más apropiadas para edificaciones que podrían ser proyectadas en las diferentes áreas geográficas de los países de la zona sudamericana del Pacífico y que han sido identificadas y plasmadas, entre otros, en normatividad chilena, peruana y ecuatoriana, las mismas que abarcan en conjunto una amplia gama de fuentes sísmicas, características de la región sudamericana del Pacífico contemplando latitudes como la costa, sierra y selva presentando una zonificación sísmica constante con la sismicidad de ciudades en crecimiento ubicadas en la región sur del Perú, área geográfica que presenta un avance progresivo en la presencia de modernos proyectos de edificación de mediana altura.

Dada la influencia del cinturón de Fuego del Pacífico sobre las diferentes latitudes poblacionales y el escaso número de registros sísmicos en esta parte del continente resulta indispensable que el nivel de aceleraciones probables acorde a los múltiples estudios de fuentes sísmicas en una región de naturaleza similar y plasmadas en las normas de los países sea adecuadamente contemplada y comparada en la respuesta general de las edificaciones (El-Kholy et al., 2018)(Fenwick et al., 2002)(Doğangü & Livaoğlu, 2006)(Pong et al., 2007)(Giri et al., 2018)(Faizian & Ishiyama, 2004)(Khose et al., 2012)(Nahhas, 2011).

2. Metodología

La respuesta estructural surgió a partir de la evaluación numérica de un modelo estructural representativo de una edificación moderna de concreto armado considerada en la zona sur del Perú. La edificación considera 10 niveles de entrepiso, 3000 m² de área proyectada para construcción, 2.8 m de altura de entrepiso, un sistema estructural mixto (pórticos y muros estructurales), una categoría de uso común para vivienda multifamiliar y disposiciones arquitectónicas reglamentarias acorde a las normas peruanas vigentes (A.010, 2021; EM.070, 2019 y A.120, 2019). El modelo numérico fue procesado en los softwares Revit Structural 2021 y Robot Structural Analysis Pro 2021, empleando el análisis modal espectral para la estimación de la respuesta sísmica de la edificación.

El proceso contempló la elección de una configuración a nivel arquitectónico y estructural considerando cargas gravitacionales coherentes con la normatividad peruana, sin embargo las acciones sísmicas se establecieron conforme las normas vigentes de Perú (E.030, 2018), Chile (NCh433, 2012) y Ecuador (NEC, 2015), abarcando las diferentes zonas y diferentes perfiles de suelo acorde a cada norma, estableciendo rangos de comparación en función a valores comunes

como las velocidades de ondas de corte y niveles de aceleración en roca acordes a regiones geográficas similares (zonas costeras, de serranía y selváticas).

2.1. Configuración arquitectónica

La distribución arquitectónica representativa se obtuvo a partir de la revisión de proyectos de edificación de algunas de las ciudades más distintivas de geografía sur del Perú (Tacna, Juliaca y Puerto Maldonado), abarcando regiones como la costa, sierra y selva concordante con la ubicación de muchas ciudades del Pacífico sudamericano, considerando una edificación correspondiente a un proyecto en una zona de expansión urbana de la ciudad de Juliaca (zona de serranía del altiplano peruano) ver tabla 1 y figura 1.

Tabla 1. Justificación de la configuración arquitectónica representativa para el análisis.

			
Lote típico Urb. “La Felicidad”- Juliaca	Edificio Costa (Ciudad de Tacna)	Edificio Sierra (Ciudad de Juliaca)	Edificio Selva (Ciudad de Puerto Maldonado)

Nota: La tabla presenta un área típica de terreno en zonas de expansión urbana y edificios modernos representativos para uso de vivienda multifamiliar o similar.

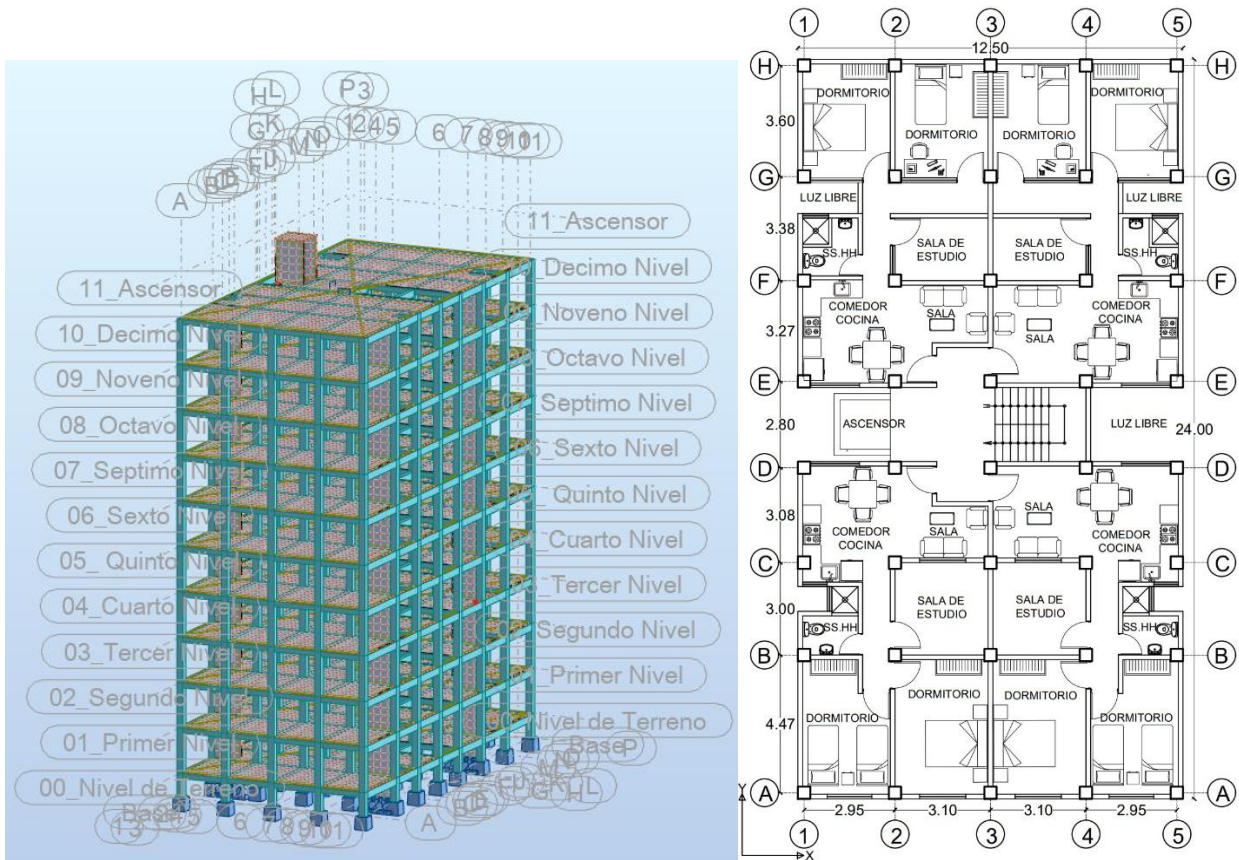


Figura 1. Vista en perspectiva (izquierda) y planta típica (derecha); dimensiones en metros (m).

2.2. Configuración estructural

Las dimensiones de los elementos estructurales (columnas, vigas, losas, muros estructurales, caja de ascensor y escalera) del proyecto fueron establecidas principalmente en función a bibliografía peruana relacionada al pre-dimensionamiento de edificaciones conforme (Blanco, 1994), (Morales, 2006), (Delgado, 2011), proyecto de NTP(E.060, 2009), presentados en la tabla 2.

Tabla 2. Dimensiones de elementos estructurales.

Columnas	0.40 x 0.40 m ²
Vigas	0.30 x 0.45 m ² y 0.30 x 0.30 m ²
Losas de entrepiso	0.17 m

Muros estructurales (inc. Caja de ascensor)	0.20 m
Espesor de losa de escalera	0.15 m

2.3. Propiedades mecánicas, cargas gravitacionales y peso sísmico.

Las propiedades mecánicas de los materiales fueron consideradas acorde a la norma peruana (E.060, 2009) de diseño en concreto armado (ver tabla 3), las cargas gravitacionales fueron establecidas conforme la norma peruana de cargas (E.020, 2006) y el peso sísmico fue considerado acorde a lo dispuesto en cada normatividad considerando para el Perú 100% de la carga muerta más 25% de la carga viva, para Ecuador 100% de la carga muerta, para Chile 100% de la carga muerta más 25% de la carga viva (excluyendo la carga viva de techo).

Tabla 3. *Propiedades mecánicas de materiales.*

Resistencia a la compresión, f'_c	28 MPa
Peso volumétrico	24 kN/m ³
Módulo de elasticidad, E'_c	25099.8 MPa
Módulo de corte, G_c	10913 MPa
Módulo de Poisson	0.20

2.4. Zonificación sísmica y perfiles de suelo

Para efectos comparativos se planteó compatibilizar las diferentes disposiciones normativas para las diferentes zonas sísmicas y diferentes perfiles de suelo acordes a cada país, conforme se visualiza en la tabla 4 y tabla 5, empleando como parámetro de comparación la velocidad de onda de corte según los perfiles de suelo establecidos en cada normatividad.

Tabla 4. Propuesta comparativa para tratamiento de resultados conforme zonificación sísmica y región geográfica.

Perú		Chile		Ecuador		Región
Zona	Factor de Zona Z	Zona sísmica	Aceleración efectiva Ao	Zona sísmica	Factor Z	geográfica común
1	0.10g			I	0.15g	Selva
2	0.25g	1	0.20g	II	0.25g	Selva Alta/Serranía
3	0.35g	2	0.30g	III IV	0.30g 0.35g	Serranía
4	0.45g	3	0.40g	V VI	0.40g 0.50g	Franja Costera

Nota: la tabla presenta una propuesta para la comparación entre las diferentes regiones geográficas.

Tabla 5. Propuesta comparativa para tratamiento de resultados conforme perfiles de suelo.

Perú		Chile		Ecuador		Rango de comparación
Perfil	Vs (m/s)	Suelo Tipo	Vs (m/s)	Perfil	Vs (m/s)	Vs (m/s)
So	>1500	A	≥ 900	A	>1500	>900 (Roca dura)
S1	500-1500	B	≥ 500	B	$1500 > Vs \geq 760$	>760

						(Roca o suelos muy densos)
		C	≥ 350	C	$760 > V_s \geq 360$	> 350
S2	180-500	D	≥ 180	D	$360 > V_s \geq 180$	(Suelo firme o intermedio)
S3	< 180	E	< 180	E	< 180	< 180
						(Suelo blando)
S4	Clasificación basada en el EMS	F	Suelos Especiales	F	Evaluación de sitio	

Nota: La tabla presenta una propuesta para la comparación entre diferentes perfiles de suelo.

2.5. Espectros normativos

Para efectos comparativos se planteó utilizar las diferentes disposiciones respecto de la aceleración espectral en las diferentes zonas sísmicas y diferentes perfiles de suelo, involucrando parámetros como la importancia, zonificación sísmica, factor de suelo, factor de amplificación dinámica y factor de reducción de fuerzas sísmicas, conforme se visualiza en la tabla 6.

Tabla 6. *Seudo-aceleración espectral normativa para la edificación de estudio.*

	Perú	Chile	Ecuador
La			
aceleración			
espectral	$S_a = \frac{ZUCS}{R_p} g$	$S_a = \frac{SA_0 \propto}{\left(\frac{R^*}{T}\right)}$	$S_a = \frac{ISa(Ta)}{R\phi p\phi e} g$
(Sa)			(Adaptado para una representación uniforme)

Categoría de edificación (U, I)	Categoría C U=1 (Tabla 5)	Categoría II I=1 (Tabla 4.3, 6.1)	Categoría: otras estructuras I=1 (Tabla 6)
Factor de reducción de fuerzas sísmicas (Rp, R*, R)	$R_{op} = \begin{cases} 7 \text{ (Dual)} \\ 8 \text{ (Pórtico)} \end{cases}$ (Tabla 7) Ia=1 (Tabla 8) Ip=0.75 (Tabla 9) Rp=Rop.Ia.Ip	Ro=11 (Tabla 5.1) $T^* = \begin{cases} 0.79s \text{ (Dir. X)} \\ 0.71s \text{ (Dir. Y)} \end{cases}$ To (Tabla 6.3) $R^* = 1 + \frac{T^*}{0.10T_o + \frac{T^*}{R_o}}$	R=8 (Tabla 15) $\emptyset p=0.9$ (Tabla 13) $\emptyset e=1$ (Tabla 14)
Factor de amplificación (*) (C, α, varios)	$\begin{cases} C = 2.5, T < T_p \\ C = 2.5 \left(\frac{T_p}{T}\right), T_p < T < T_L \\ C = 2.5 \left(\frac{T_p \cdot T_L}{T^2}\right), T_p < T < T_L \end{cases}$ “Tp” y “TL” (Tabla 4)	$\alpha = \frac{1+4.5\left(\frac{T_n}{T_o}\right)^p}{1+\left(\frac{T_n}{T_o}\right)^3}$ “To” (Tabla 6.3) “p” (Tabla 6.3)	$\begin{cases} Fa \left[1 + (n-1)\frac{T}{T_{oe}}\right], & T \leq T_{oe} \\ Fa, & 0 \leq T \leq T_c \\ Fa\left(\frac{T_c}{T}\right)^r, & T > T_c \end{cases}$ “n”, “Toe”, “Tc” (Art. 3.3.1)
<i>(*) adaptado para efectos comparativos</i>	(Dependiente del suelo)	(Dependiente del suelo)	(Dependiente del suelo y zonificación)
Factor de suelo (S, Fa, Fd, Fs)	“S” (Tabla 3) “Tp” y “TL” (incluido en el factor de amplificación)	“S” (Tabla 6.3) “To” y “p” (Incluido en el factor de amplificación)	“Fa” (Tabla 3) “Fd” (Tabla 4) “Fs” (Tabla 5) (Incluido en el factor de amplificación)

Nota: Las referencias son acordes a lo dispuesto en cada norma. Adicionalmente se indica el significado de cada factor indicado: “Z” y “Ao” Zonificación sísmica, “Ia” y “ $\emptyset e$ ” Irregularidad en altura, “Ip” y “ $\emptyset p$ ” Irregularidad en planta (con presencia de irregularidad torsional), “T*”

Periodo con mayor masa traslacional en la dirección de análisis, “ R_{op} ” Coeficiente básico de reducción de las fuerzas sísmicas, “ R_o ” Factor de modificación de respuesta estructural, “ R_p ” Coeficiente de Reducción de las Fuerzas Sísmicas, “ R^* ” factor de reducción, “ R ” factor de reducción de respuesta, “ F_a ” Coeficiente de amplificación de suelo en la zona de período corto, “ F_d ” amplificación de las ordenadas del espectro elástico de respuesta de desplazamientos para diseño en roca, “ F_s ” comportamiento no lineal de los suelos, “ p ” y “ T_o ” parámetro que depende del tipo de suelo, “ n ” amplificación espectral, “ T ” y “ T_n ” periodo de vibración del modo n .

En las figuras 2 se presentan una gráfica comparativa del factor de amplificación sísmica, en las figuras 3 a 6 se presentan los espectros normativos de cada país acordes a los diferentes perfiles de suelos, zonificación sísmica y tipo de edificación (sistema estructural, periodo, importancia, factor de reducción sísmica y factor de amplificación sísmica). Para la presentación de las gráficas se ha identificado a Perú con “(P)”, Chile “(Ch)” y Ecuador “(E)”; la direccionalidad con “X” e “Y”; la zonificación sísmica para Perú con “Z1”, “Z2”, “Z3” y “Z4”, para Chile con “Ao1”, “Ao2”, “Ao3”, para Ecuador con “Z1”, “Z2”, “Z3”, “Z4”, “Z5” y “Z6”, los perfiles de suelo para Perú con “So”, “S1”, “S2” y “S3”, para Chile y Ecuador con “A”, “B”, “C”, “D” y “E”.

Los espectros normativos fueron estudiados respecto de varios parámetros involucrados conforme se detalló en la tabla 6, destacando entre ellos el factor de amplificación de aceleraciones, que involucra variables fuertemente asociadas al perfil de suelo como el caso peruano y chileno presentando un único diagrama de amplificación para cada tipo de suelo en todas sus zonas sísmicas, sin embargo el caso ecuatoriano involucra además variables asociadas a la zonificación sísmica presentando seis diagramas de amplificación para cada tipo de suelo como podemos

evidenciar, por ejemplo, graficando los factores de amplificación para un suelo blando (S3, E) en las diferentes zonas sísmicas de cada país (figura 2).

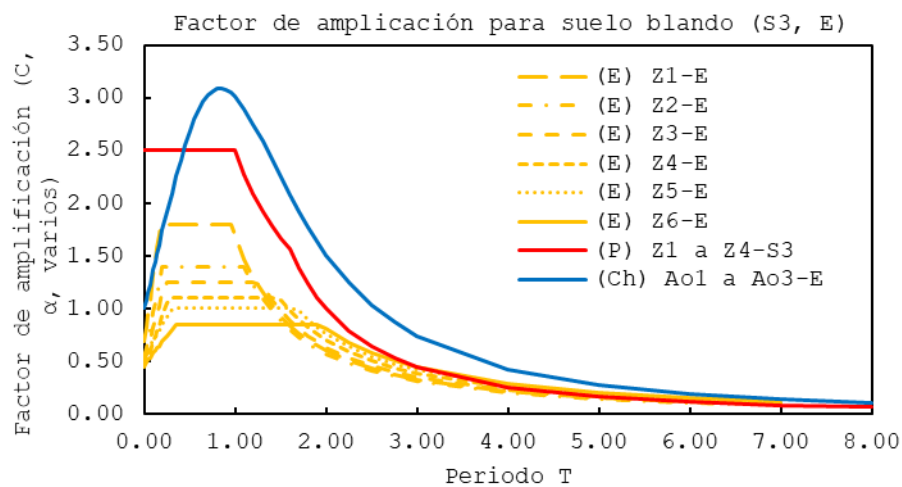


Figura 2. Factor de amplificación para suelo blando (S3, E).

2.5.1. Ordenadas espectrales para periodos cortos.

Los rangos de comparación entre las zonas y suelos se establecieron conforme las tablas 4 y 5, encontrándose en la región de periodos cortos que para suelos tipo roca dura, suelos muy densos y suelo firme, y para zonas catalogadas como costa, serranía y serranía/selva alta, que las ordenadas espectrales predominantes en orden descendente corresponden en general a Perú, Ecuador y Chile, y en algunos casos a Perú, Chile y Ecuador, con valores porcentuales que varían entre 47% y 85% para Ecuador respecto de Perú y entre 51% y 64% para Chile respecto de Perú, ver figura 3,4 y 5.

Sin embargo, para periodos cortos en suelos blandos (S3, E) en todas las zonas (costa, serranía y serranía/selva alta), los mayores valores espectrales se presentan para Chile seguido de forma alterna de Perú y Ecuador, con relaciones que varían entre 32% y 94% respecto de Chile, ver figura 6.

Para periodos cortos en las zonas catalogadas como selva los rangos de comparación corresponden, por su región geográfica, a Ecuador y Perú encontrándose relaciones que varían entre 78% y 100% para Perú respecto de Ecuador, ver figura 3,4,5 y 6.

2.5.2. Ordenadas espectrales para periodo fundamental ($T_x=0.79$).

Para el periodo fundamental de la edificación en la dirección “X” en suelo tipo roca dura (So, A) en las zonas de costa, serranía y serranía/selva alta, los mayores valores espectrales se presentan para Perú seguido de forma alterna de Ecuador y Chile, con relaciones que varían entre 36% y 96% respecto de Perú (figura 3). Para suelos muy densos y suelo firme, y para las diferentes zonas de costa, serranía y serranía/selva alta las ordenadas espectrales mayores corresponden en general a Perú, Ecuador y Chile en algunos casos a Perú, Chile y Ecuador, con valores porcentuales que varían entre 48% y 78% para Ecuador respecto de Perú y entre 40% y 50% para Chile respecto de Perú (figura 4 y 5). Para suelos blandos (S3, E) en las zonas de costa, serranía y serranía/selva alta, los mayores valores espectrales se presentan para Chile seguido de forma alterna de Perú y Ecuador, con relaciones que varían entre 32% y 94% respecto de Chile (figura 6).

Para el periodo en estudio en la región selvática (Ecuador y Perú) y en los suelos tipo roca dura, suelos muy densos y suelo blando los valores porcentuales varían entre 57% y 98% para Perú respecto de Ecuador. Sin embargo, para suelos intermedios (S2, C y D) en la misma zona el porcentaje es 75% para Ecuador respecto de Perú.

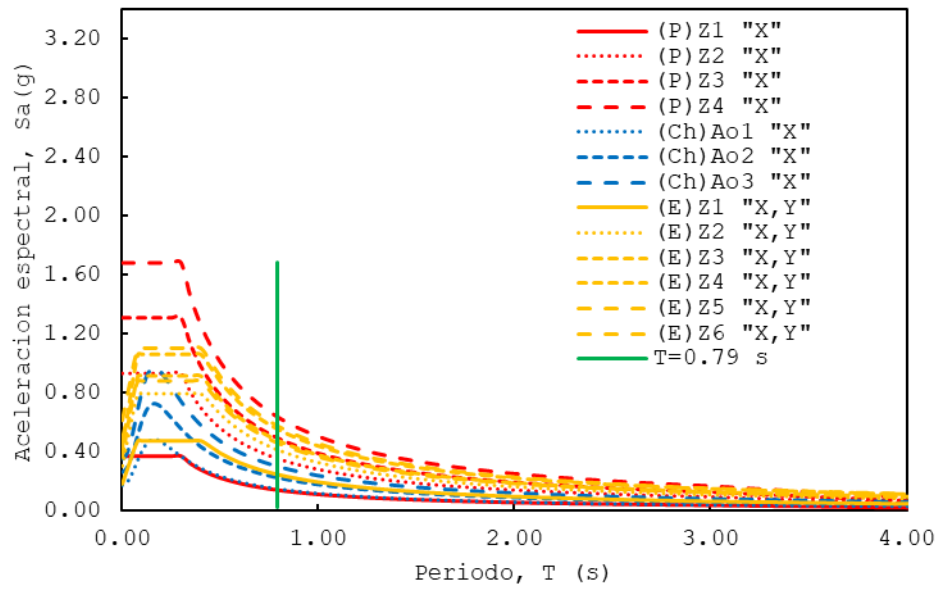


Figura 3. Aceleración espectral en roca dura (So, A).

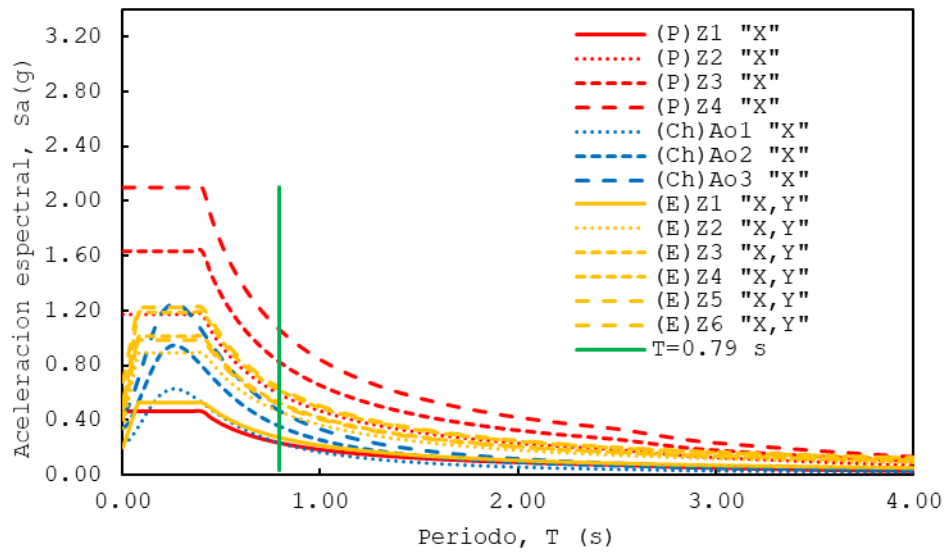


Figura 4. Aceleración espectral en suelos muy densos (S1, B).

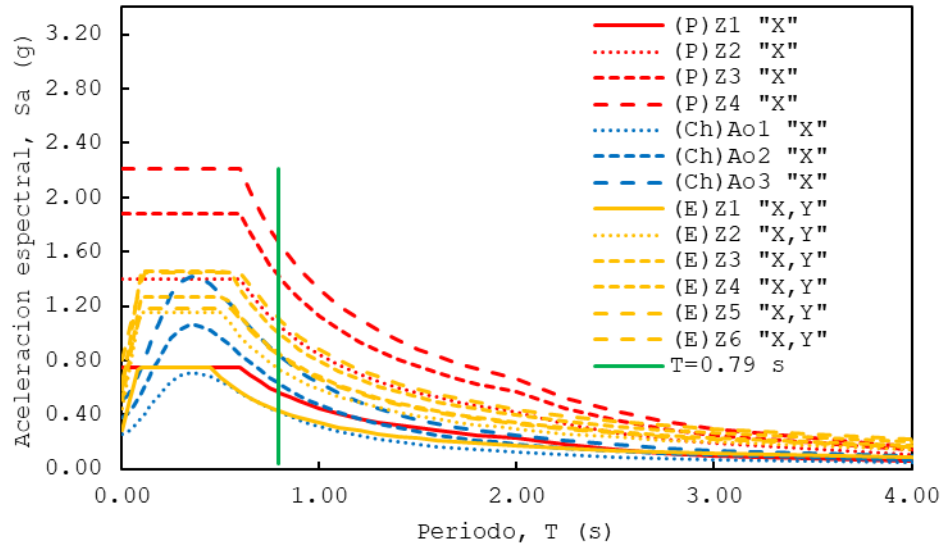


Figura 5. Aceleración espectral en suelo firme (S2, C y D).

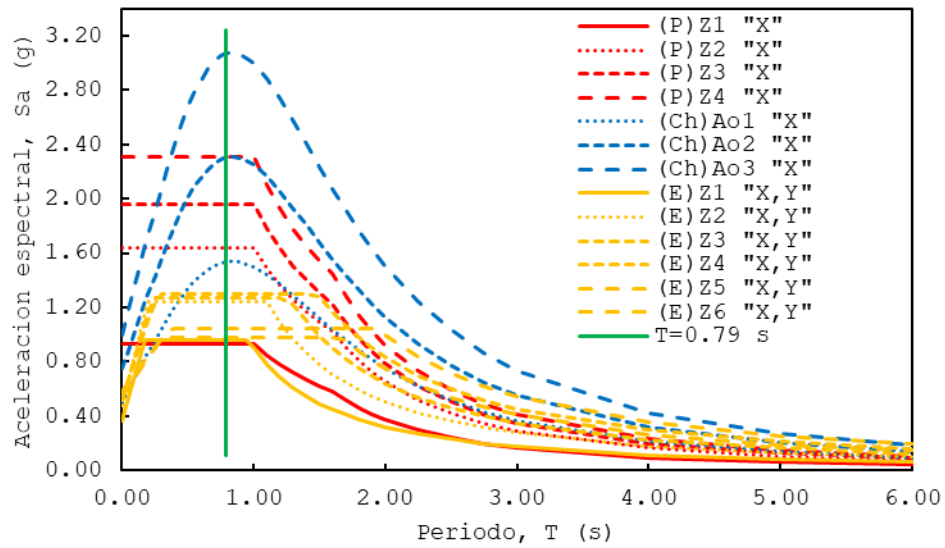


Figura 6. Aceleración espectral en suelo blando (S3, E).

3. Resultados y discusión

Los resultados de la fuerza cortante en la base y los desplazamientos relativos acorde a cada zonificación sísmica y al tipo de suelo se determinó mediante el análisis dinámico modal espectral

conforme cada normatividad. La presentación de resultados gráficos se realizó empleando la simbología indicada en el acápite correspondiente a los espectros normativos.

3.1. Tratamiento de desplazamientos y límites normativos

Los límites establecidos en las normas fueron compatibilizados en una propuesta que contempla valores equivalentes respecto de los desplazamientos máximos como se puede apreciar en la tabla 7, abarcando el estudio de casos regulares e irregulares del tipo torsional (resultado del proceso de análisis de la edificación en estudio).

Tabla 7. Límites normativos acondicionados para la evaluación de desplazamientos permisibles.

	Perú	Chile	Ecuador
Límite	0.007	0.002	0.02
normativo	E.030/Tabla 11	Nch433/Art. 5.9	Nec/Art. 6.3.9
	$\Delta_i = \delta_e \left(\frac{0.75R}{0.85R} \right)$ vs 0.007h	$\Delta_{e_{cm}} = \delta_{e_{cm}}$ vs 0.002h $\Delta_e = \delta_e$ vs 0.002h+0.001h	$\Delta_i = \delta_e (0.75R)$ vs 0.02h
Desplazamientos laterales relativos comparables	$\left(\frac{\delta_e}{h_i} \right) = \frac{0.007}{0.75R} = 0.00133$ (Ec.1)	$\Delta_{E_{cm}} = \left(\frac{\delta_e}{h_i} \right)_{cm} = 0.002$	$\left(\frac{\delta_e}{h_i} \right) = \frac{0.02}{0.75R} = 0.0033$ (Ec.6)
	$\left(\frac{\delta_e}{h_i} \right) = \frac{0.007}{0.85R} = 0.00157$ (Ec.2)	$\Delta_{E_{max}} = \left(\frac{\delta_e}{h_i} \right)_{cm} + 0.001 = 0.003$ (Ec.5)	

$$\left(\frac{\delta_e}{h_i}\right) = \frac{0.007}{0.75R} = 0.00117$$

(Ec.3)

$$\left(\frac{\delta_e}{h_i}\right) = \frac{0.007}{0.85R} = 0.00137$$

(Ec.4)

Nota: Las referencias son acordes a lo dispuesto en cada norma. Adicionalmente se indica el significado de cada factor indicado: δ_e : Desplazamiento lateral de entrepiso con acciones sísmicas reducidas, $\delta_{e_{cm}}$: Desplazamiento relativo máximo entre dos pisos consecutivos medido en el centro de masas, Δ_i : Desplazamiento lateral inelástico, Δ_e : Desplazamiento lateral elástico, h: Altura de entrepiso. Perú con sistema dual (Estructuras regulares R=7 (Ec.1), Estructuras irregulares R=5.25 (Ec.2)) y con sistema pórtico (Estructuras regulares R=8 (Ec.3); Estructuras irregulares R=6 (Ec.4)). Chile con sistemas mixtos (muros y pórticos) (Ec.5), Ecuador con sistemas duales y pórticos para estructuras regulares e irregulares R=8 (Ec.6)

3.2. Fuerza cortante basal

Los resultados, por fuerza cortante, son coherentes con lo encontrado para las ordenadas espectrales en el periodo en estudio (ítem 2.5.2), las magnitudes de la fuerza basal las encontramos en las figuras 7,8,9 y 10, las cortantes han sido obtenidas del análisis dinámico modal espectral, y para efectos comparativos se ha despreciado cualquier tipo de escalamiento con fines de diseño, destacando que para un perfil clasificado como roca dura la cortante mínima corresponde al Perú para la zona selvática con un coeficiente basal de 1.4% (Fuerza cortante / peso de la edificación), y para zona costera en el mismo perfil de suelo el coeficiente basal máximo es de 6.5% correspondiente también al Perú (ver figura 7).

Se puede afirmar que la tendencia general en los perfiles catalogados como suelos muy densos y suelo firme (acorde a la propuesta dada en la tabla 5) es básicamente igual al perfil de roca dura,

con los valores mínimos y máximos correspondientes a Perú, encontrándose coeficientes basales de entre 2.4% y 17.1% conforme se visualiza en las figuras 8 y 9. Sin embargo, para el perfil de suelo catalogado como blando los valores mínimos corresponden a Perú y Ecuador, y los máximos corresponde a Chile con porcentajes que varían entre 9.5% y 18.2% (ver figura 10).

En general, las magnitudes de cortante oscilan entre 300 Kilonewtons y 6395 Kilonewtons para todos los suelos, para todas las zonas y para todos los países, siendo el menor de todos para la zona selvática y el mayor de todos para la región costera, en “roca dura” y en el “suelo blando” respectivamente.

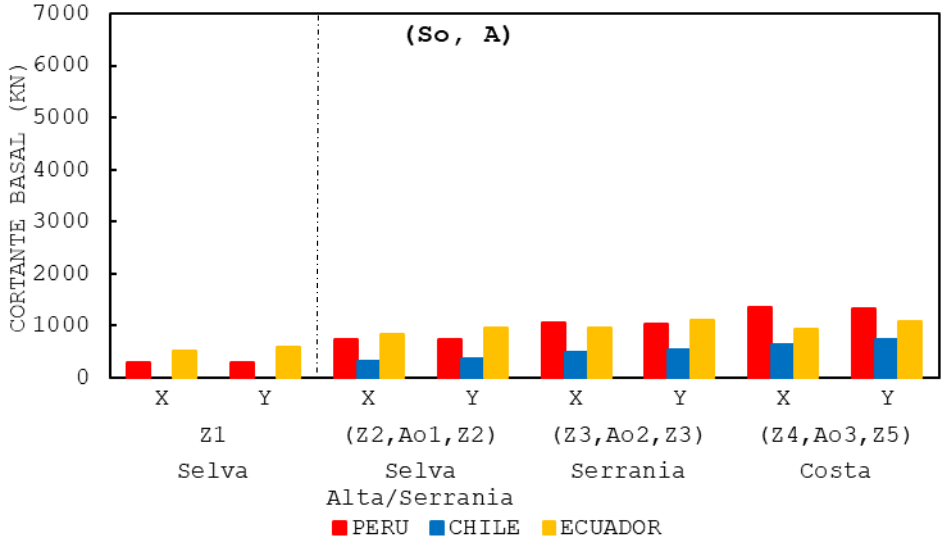


Figura 7. Cortante basal en roca dura (So, A).

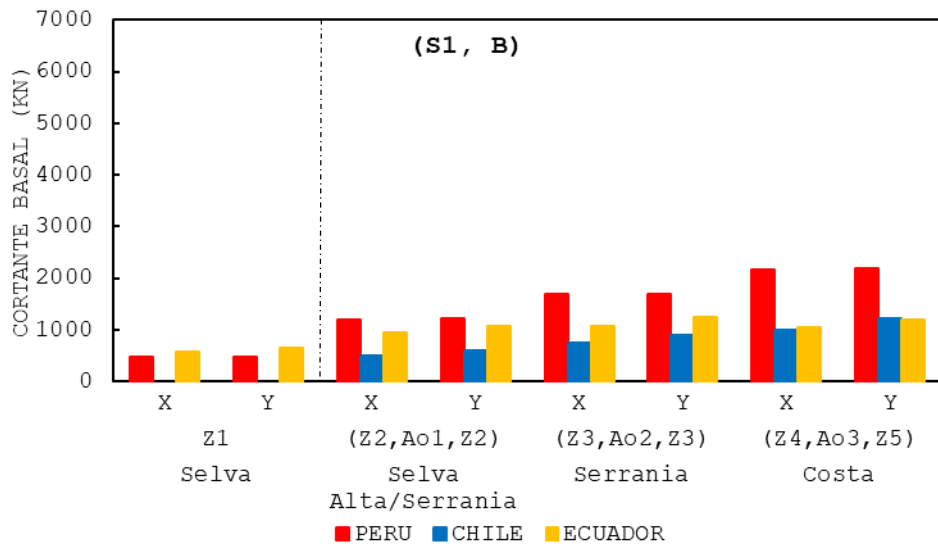


Figura 8. Cortante Basal en suelos muy densos (S1, B).

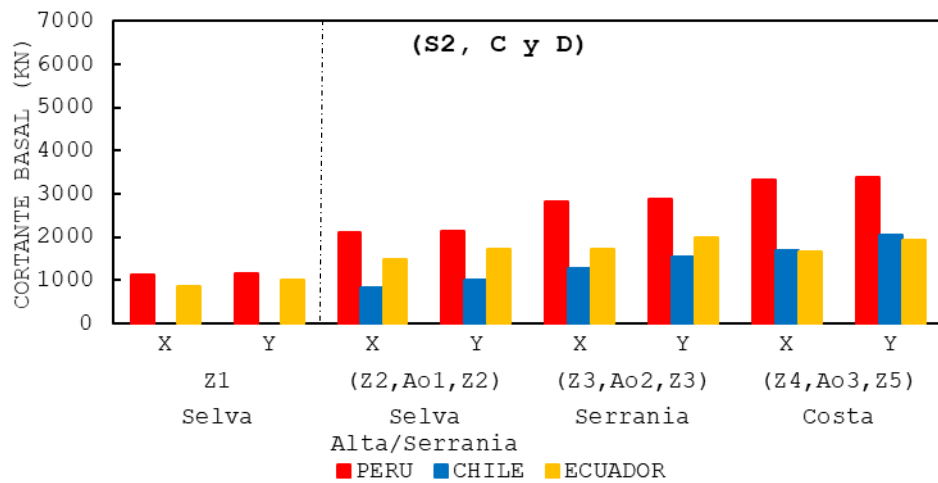


Figura 9. Cortante basal en suelo firme (S2, C y D).

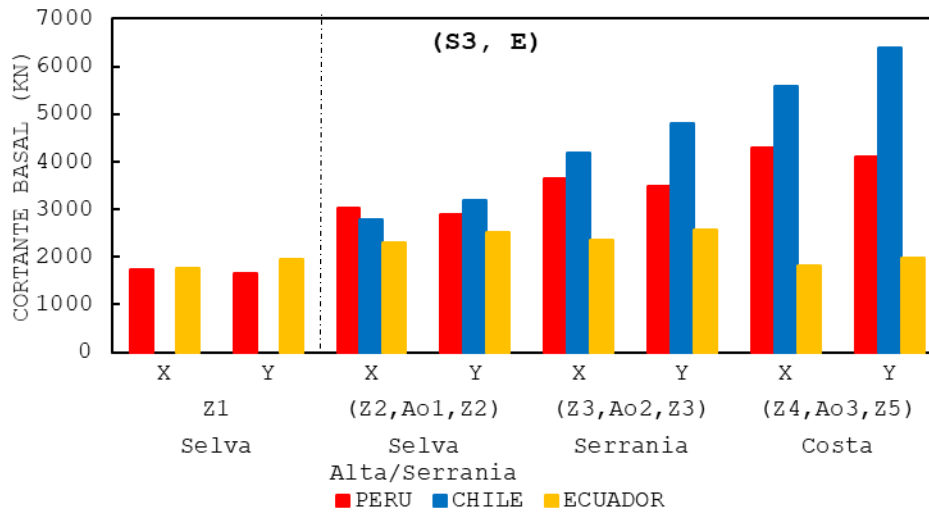


Figura 10. Cortante basal en suelo blando (S3, E).

3.3. Desplazamiento relativo por fuerzas sísmicas reducidas

Los desplazamientos han sido estimados para demandas sísmicas reducidas haciendo que los resultados obtenidos para las diferentes normas sean comparables acorde a las propuestas establecidas en las tablas 4,5,6 y 7.

Dada la abundancia de resultados y en favor de destacar los más relevantes se presenta en la tabla 8, las relaciones entre los desplazamientos relativos de entrepiso para las diferentes zonas sísmicas respecto de la zona más demandada con perfil de suelo blando. La misma tabla 8 identifica, por ejemplo para Chile, como 100% a los máximos desplazamientos estimados en dicho país y como 5% a los mínimos, siendo estas relaciones porcentuales respecto del máximo desplazamiento del país; del mismo modo se presenta valores para Perú y Ecuador.

Tabla 8. Relaciones de desplazamientos para diferentes tipos de suelo y zona.

Desplazamiento “i”/ desplazamiento máximo para Perú					
Zona	Tipo de suelo				Región geográfica
	So	S1	S2	S3	
Z1	6%	11%	26%	40%	Selva
Z2	16%	27%	49%	71%	Selva Alta/Serranía
Z3	23%	38%	66%	85%	Serranía
Z4	29%	49%	77%	100%	Franja Costera
Desplazamiento “i”/ desplazamiento máximo para Chile					
Zona	Tipo de suelo				Región geográfica
	A	B	C y D	E	
Ao1	5%	8%	15%	50%	Selva Alta/Serranía
Ao2	8%	13%	22%	75%	Serranía
Ao3	10%	17%	29%	100%	Franja Costera
Desplazamiento “i”/ desplazamiento máximo para Ecuador					
Zona	Tipo de suelo				Región geográfica
	A	B	C y D	E	
Z1	20%	23%	35%	74%	Selva
Z2	34%	38%	61%	96%	Selva Alta/Serranía
Z3	39%	43%	70%	98%	Serranía
Z4	45%	51%	82%	100%	
Z5	38%	42%	69%	75%	Franja Costera
Z6	47%	52%	91%	80%	

Nota: Para Dirección “X”; Z(i) y Ao(i)= Zona sísmica, Tipo de suelo= So, S1, S2, S3, A, B, C, D y E.

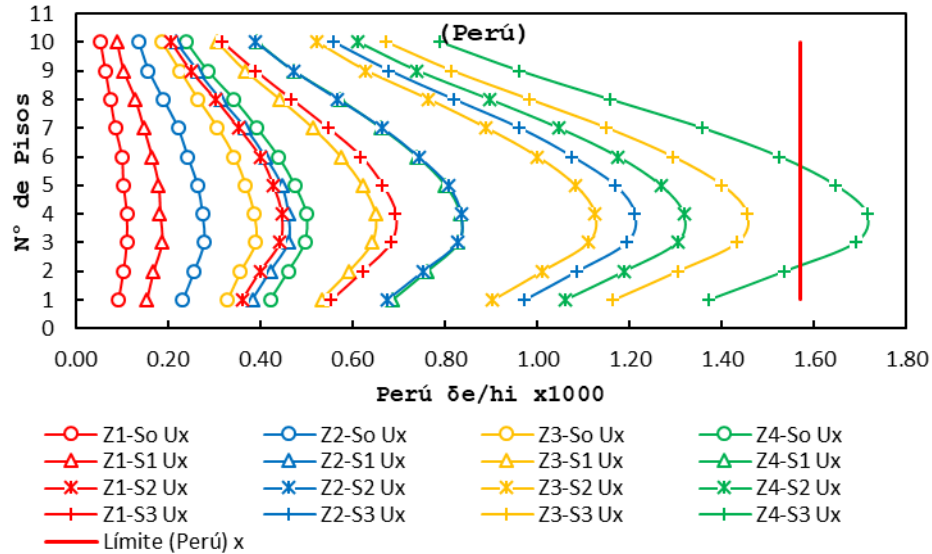


Figura 11. Desplazamiento relativo por fuerzas sísmicas reducidas para la norma peruana E.030.

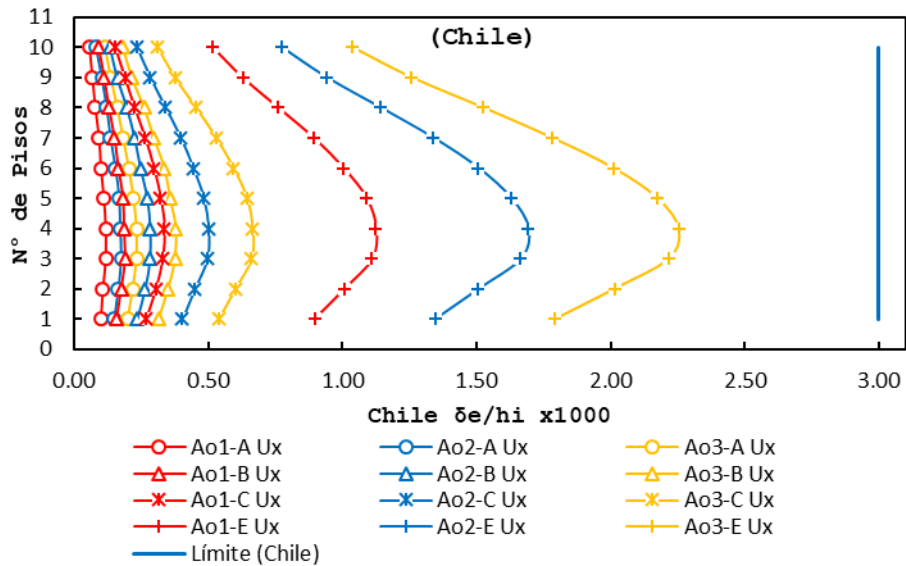


Figura 12. Desplazamiento relativo por fuerzas sísmicas reducidas para la norma chilena

Nch433.

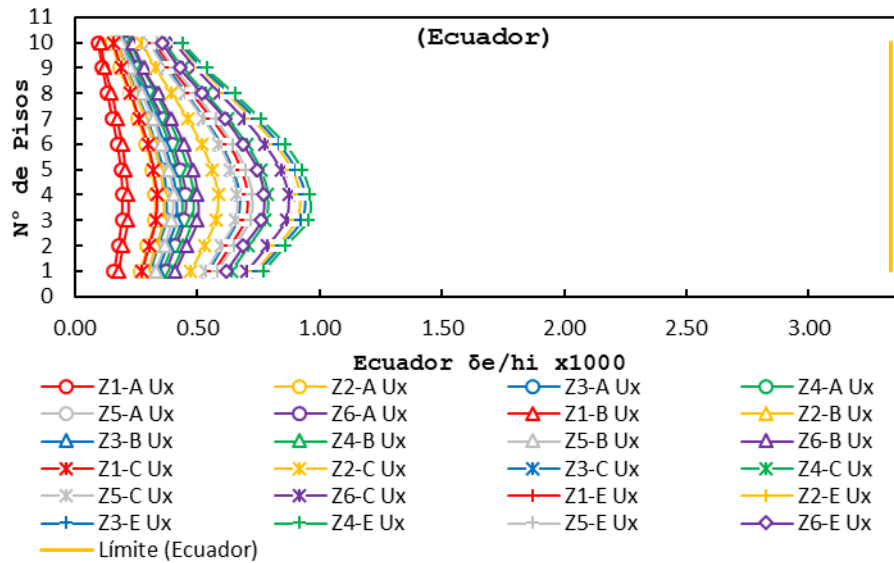


Figura 13. Desplazamiento relativo por fuerzas sísmicas reducidas para la norma ecuatoriana NEC.

La tabla 9 muestra los máximos resultados para la dirección “X”, obtenida según cada norma y para la edificación en estudio, encontrándose que los desplazamientos relativos máximos, en un perfil tipo roca dura son: para Perú 0.00050 (<0.00157), para Chile 0.00023(<0.00300), y para Ecuador 0.00045(<0.00333). En el mismo sentido se tiene que para un perfil de suelo blando los resultados son: para Perú 0.00171(>0.00157), para Chile 0.00225(<0.00300), y para Ecuador 0.00077(<0.00333); notándose que el límite más restrictivo ha sido superado en el caso peruano (conforme propuesta comparativa de la tabla 7), el detalle de los resultados se presenta de forma numérica en la tabla 9 y en forma gráfica en las figuras 14, 15, 16 y 17.

Tabla 9. Desplazamientos relativos máximos.

Desplazamiento relativo máximo (adimensional)		
Perfil de roca dura (So, A)		
Perú	Chile	Ecuador

Zona	X (o/oo)	Zona	X (o/oo)	Zona	X (o/oo)	Región geográfica
Z1(0.10g)	0.111			Z1(0.15g)	0.196	Selva
Z2(0.25g)	0.279	Ao1(0.20g)	0.118	Z2(0.25g)	0.325	Serranía/Selva Alta
Z3(0.35g)	0.389	Ao2(0.30g)	0.175	Z3(0.30g)	0.371	Serranía
				Z4(0.35g)	0.436	
Z4(0.45g)	0.500	Ao3(0.40g)	0.232	Z5(0.40g)	0.361	Franja
				Z6(0.50g)	0.454	Costera

Perfil de suelos muy densos (S1, B)

Perú		Chile		Ecuador		Región geográfica
Zona	X (o/oo)	Zona	X (o/oo)	Zona	X (o/oo)	
Z1(0.10g)	0.186			Z1(0.15g)	0.218	Selva
Z2(0.25g)	0.461	Ao1(0.20g)	0.189	Z2(0.25g)	0.361	Serranía/Selva Alta
Z3(0.35g)	0.650	Ao2(0.30g)	0.282	Z3(0.30g)	0.414	Serranía
				Z4(0.35g)	0.486	
Z4(0.45g)	0.832	Ao3(0.40g)	0.379	Z5(0.40g)	0.404	Franja
				Z6(0.50g)	0.500	Costera

Perfil de suelo firme (S2, C y D)

Perú		Chile		Ecuador		Región geográfica
Zona	X (o/oo)	Zona	X (o/oo)	Zona	X (o/oo)	

Z1(0.10g)	0.446			Z1(0.15g)	0.336	Selva
Z2(0.25g)	0.836	Ao1(0.20g)	0.336	Z2(0.25g)	0.586	Serranía/Selva Alta
Z3(0.35g)	1.125	Ao2(0.30g)	0.500	Z3(0.30g)	0.675	Serranía
				Z4(0.35g)	0.789	
Z4(0.45g)	1.318	Ao3(0.40g)	0.664	Z5(0.40g)	0.661	Franja
				Z6(0.50g)	0.875	Costera

Perfil de suelo blando (S3, E)

Perú		Chile		Ecuador		Región geográfica
Zona	X (o/oo)	Zona	X (o/oo)	Zona	X (o/oo)	
Z1(0.10g)	0.693			Z1(0.15g)	0.707	Selva
Z2(0.25g)	1.211	Ao1(0.20g)	1.125	Z2(0.25g)	0.918	Serranía/Selva Alta
Z3(0.35g)	1.454	Ao2(0.30g)	1.693	Z3(0.30g)	0.939	Serranía
				Z4(0.35g)	0.961	
Z4(0.45g)	1.714	Ao3 (0.3g)	2.254	Z5(0.40g)	0.725	Franja
				Z6(0.50g)	0.771	Costera

Nota: X=Dirección "X"; Z(i)= Zona sísmica.

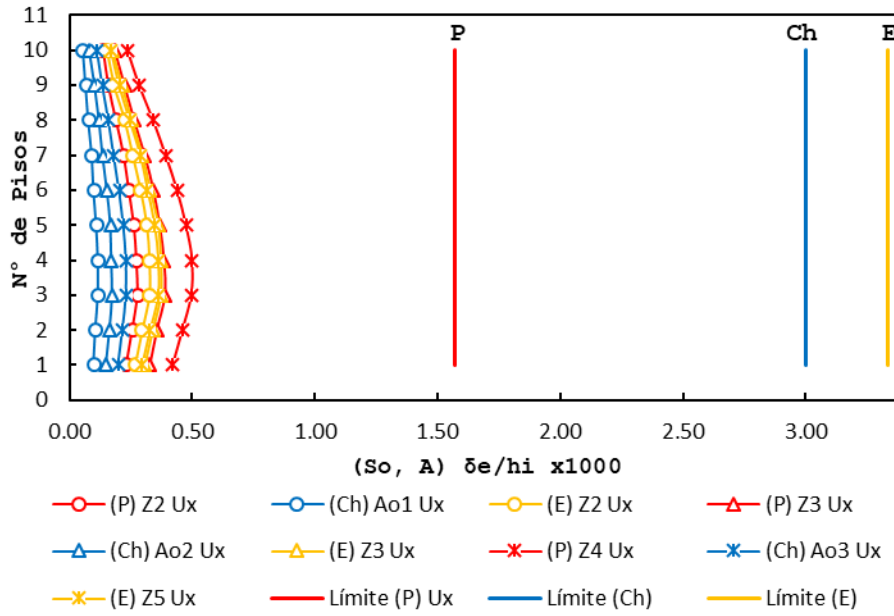


Figura 14. Desplazamiento relativo máximo en roca dura (So, A).

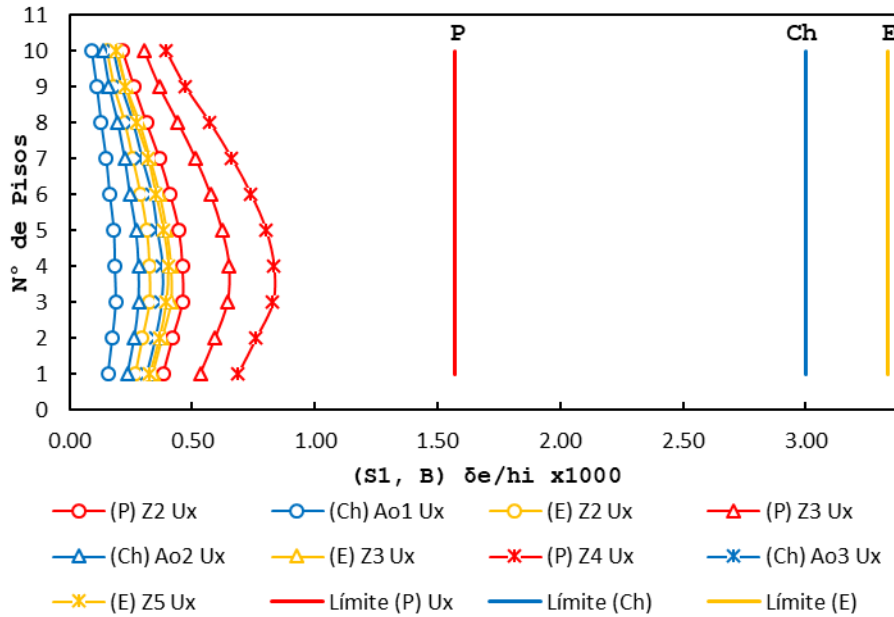


Figura 15. Desplazamiento relativo máximo en suelos muy densos (S1, B).

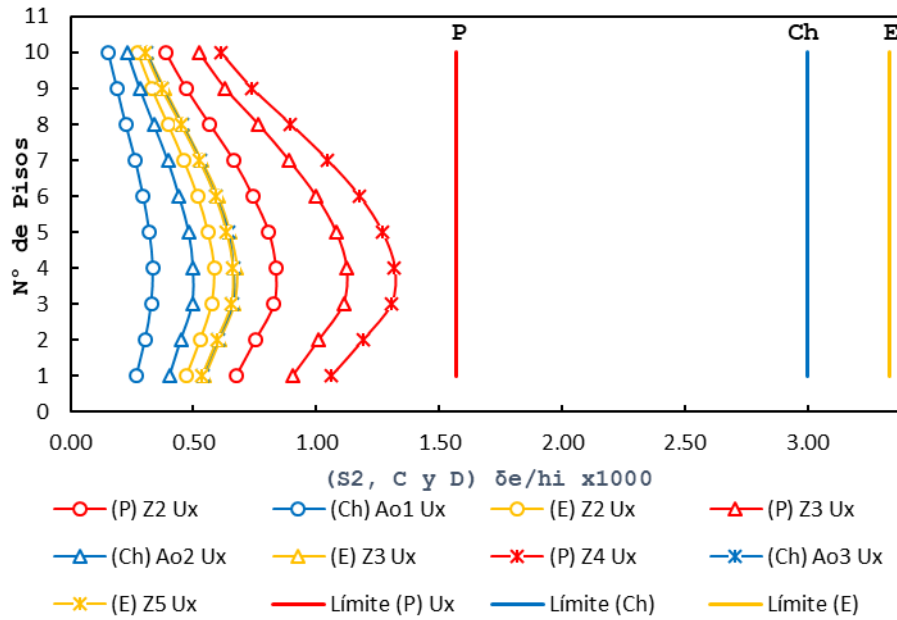


Figura 16. Desplazamiento relativo máximo en suelo firme (S2, C y D).

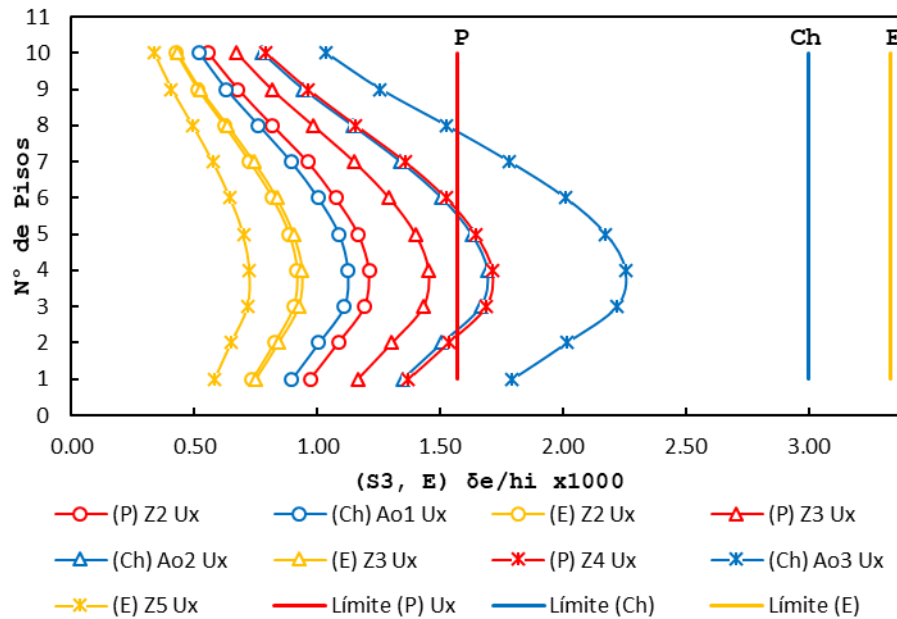


Figura 17. Desplazamiento relativo máximo en suelo Blando (S3, E).

4. Conclusiones

La respuesta sísmica de una edificación de concreto armado representativa de residencias multifamiliares modernas de la zona sur del Perú, han sido evaluadas en concordancia con las

normas sísmicas sudamericanas vigentes del Perú (E0.30,2018), Chile (NCh433, 2012) y Ecuador (NEC, 2015), empleando el análisis modal espectral y con un tratamiento uniforme de resultados, para ello se han generado cuatro grupos de suelos compatibles entre sí, se han agrupado en cuatro las zonas sísmicas conforme regiones geográficas compatibles, se ha planteado un tratamiento uniforme de los desplazamientos relativos en el rango elástico y se ha compatibilizado los límites establecidos en cada norma. Encontrándose que los máximos desplazamientos en el “suelo blando” y zona sísmica más demandada corresponde a Chile, sin embargo, en el resto de zonas sísmicas y perfiles de suelo los valores máximos corresponden al Perú.

Las fuerzas cortantes en la base para los periodos fundamentales de la edificación en estudio en las diversas zonas sísmicas y para los diferentes perfiles de suelo presentan valores diversos, encontrándose que estos oscilan entre 1.4% y 18.2% del peso de la edificación. En relación a los espectros, los factores de reducción de fuerza sísmica para el tipo de suelo blando presenta valores calculados para Perú $R_p=5.25$, para Chile $R^*=5.118$ y para Ecuador $R_{\phi e \phi p}=7.2$, sin embargo, R^* es un valor diferente en cada tipo de suelo, por lo tanto, se han encontrado que las mayores demandas corresponden en general al Perú, sin embargo, las ordenadas espectrales máximas establecidas para el “suelo blando” y la zona sísmica más demandada corresponde a Chile, con un máximo valor espectral de 3.1g, en el mismo sentido se ha encontrado que para la misma zona y suelo en Ecuador se tiene 1.0g y en Perú 2.3g.

Los desplazamientos relativos máximos para la edificación en estudio y considerando todas las normas, se han producido para el Perú en la zona sísmica más demandada y en el “suelo blando” con valores calculados en el rango elástico de 1.71 (o/oo) (equivalente a 7.6 (o/oo) en el rango inelástico), superando el límite establecido conforme la norma peruana de 7.0 (o/oo) (equivalente

a 1.57 (o/oo) en el rango elástico para un edificio con irregularidad torsional). Lo indicado ha sido planteado en el contexto de un tratamiento uniforme de resultados considerando detalladamente las diversas variables y límites establecidos en las normas vigentes de Perú, Chile y Ecuador. Adicionalmente se ha encontrado, entre otros, que los máximos desplazamientos relativos elásticos en las zonas costeras de cada país y considerando un perfil de suelo catalogado como muy denso, corresponde a 0.832 (o/oo) para Perú, 0.379 (o/oo) para Chile y 0.404 (o/oo) para Ecuador. Así mismo, en relación los límites normativos permisibles, se tiene que estos varían en el rango elástico entre 1.372 (o/oo) y 3.333 (o/oo) para Perú, Chile y Ecuador, encontrándose que los límites más restrictivos, en edificaciones de concreto armado, corresponden al Perú.

Se concluye finalmente que este tipo de estudios resultan muy importantes a efectos de identificar las diversas variables asociadas a la respuesta sísmica de una edificación, considerando regiones sísmicas compatibles y perfiles de suelo uniforme, por lo que permite contribuir en la mejora en que se ve las diferencias entre cada normativa de las normas sísmicas sudamericanas bajo un enfoque continental dada la fuente sísmica similar presente en los países estudiados.

5. Referencias

- A.010. (2021). *Norma Técnica A.010 “Condiciones generales de diseño” del reglamento nacional de edificaciones*. Ministerio de vivienda, construcción y saneamiento.
- A.120. (2019). *Norma Técnica A.120 “Accesibilidad Universal en Edificaciones” del reglamento de edificaciones*. Ministerio de vivienda, construcción y saneamiento.
- Blanco, A. (1994). *Estructuración y Diseño de Edificaciones de Concreto Armado*. Consejo Departamental de Lima.
- Delgado, G. (2011). *Diseño Estructuras Aperticadas de Concreto Armado* (Novena Edición).

EDICIVIL S.R.Ltda.

- Doğangü, A., & Livaoglu, R. (2006). A comparative study of the design spectra defined by Eurocode 8, UBC, IBC and Turkish Earthquake Code on R/C sample buildings. *Journal of Seismology*, 10(3), 335–351. <https://doi.org/10.1007/S10950-006-9020-4>
- E.020. (2006). *Norma Tecnica E.020 “Cargas” del reglamento nacional de edificaciones*. Ministerio de vivienda, construccion y saneamiento.
- E.030. (2018). *Norma Técnica E.030 “Diseño Sismorresistente” del reglamento nacional de edificaciones*. Ministerio de vivienda, construccion y saneamiento.
- E.060. (2009). *Norma Tecnica E.060 “Concreto Armado” del reglamento nacional de edificaciones*. Ministerio de vivienda, construccion y saneamiento.
- El-Kholy, A. M., Sayed, H., & Shaheen, A. A. (2018). Comparison of Egyptian Code 2012 with Eurocode 8-2013, IBC 2015 and UBC 1997 for seismic analysis of residential shear-walls RC buildings in Egypt. *Ain Shams Engineering Journal*, 9(4), 3425–3436. <https://doi.org/10.1016/J.ASEJ.2018.07.004>
- EM.070. (2019). *Norma Tecnica EM.070 “Transporte mecánico” del reglamento nacional de edificaciones*. Ministerio de vivienda, construccion y saneamiento.
- Faizian, M., & Ishiyama, Y. (2004). *COMPARISON OF SEISMIC CODES OF 1981 JAPAN (BSLJ), 2000 USA (IBC) AND 1999 IRAN (ICS)*. The Thailand Research Fund (TRF). <http://www.thaiseismic.com/comparison-of-seismic-codes-of-1981-japan-bslj-2000-usa-ibc-and-1999-iran-ics/>
- Fenwick, R., Lau, D., & Davidson, B. (2002). A comparison of the seismic design requirements in the New Zealand loadings standard with other major design codes. *Bulletin of the New Zealand Society for Earthquake Engineering*, 35(3), 190–203. <https://doi.org/10.5459/BNZSEE.35.3.190-203>

- Giri, P., Bhatt, A. D., Gautam, D., & Chaulagain, H. (2018). Comparison between the seismic codes of Nepal, India, Japan, and EU. *Asian Journal of Civil Engineering* 2018 20:2, 20(2), 301–312. <https://doi.org/10.1007/S42107-018-0102-8>
- Jiménez, C., Saavedra J., M., & Moreno, N. (2021). Seismic source characteristics of the 2016 Pedernales-Ecuador earthquake (Mw 7.8). *Physics of the Earth and Planetary Interiors*, 312(June 2020). <https://doi.org/10.1016/j.pepi.2021.106670>
- Khose, V. N., Singh, Y., & Lang, D. H. (2012). A Comparative Study of Design Base Shear for RC Buildings in Selected Seismic Design Codes: <https://doi.org/10.1193/1.4000057>, 28(3), 1047–1070. <https://doi.org/10.1193/1.4000057>
- Morales, R. (2006). *Diseño en Concreto Armado*. Instituto de la Construcción y Gerencia.
- Moreno, R., & Bairán, J. (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>
- Nahhas, T. M. (2011). A comparison of IBC with 1997 UBC for modal response spectrum analysis in standard-occupancy buildings. *Earthquake Engineering and Engineering Vibration*, 10(1), 99–113. <https://doi.org/10.1007/S11803-011-0050-8>
- NCh433. (2012). *NCh 433. of 1996 modificada en 2012 "Diseño sísmico de edificios"*. Instituto nacional de normalización.
- NEC. (2015). *La Norma ecuatoriana de la construcción NEC 2015, Código NEC-SE-DS: "Peligro Sísmico, diseño sísmo resistente."* Ministerio de desarrollo urbano y vivienda.
- Pong, W., Gannon, G. A., & Lee, Z. H. (2007). A comparative study of seismic provisions between the international building code 2003 and Mexico's manual of civil works 1993. *Advances in Structural Engineering*, 10(2), 153–170.

<https://doi.org/10.1260/136943307780429699>

Riesco, G., Arela, R., & Malaver, L. (2021). *Presupuesto público en el sur del Perú : Indicadores en el Bicentenario*. Universidad Católica San Pablo. <https://ucsp.edu.pe/wp-content/uploads/2021/06/Presupuesto-publico-en-el-sur-del-Peru.pdf>

Ruiz, S., & Madariaga, R. (2018). Historical and recent large megathrust earthquakes in Chile. *Tectonophysics*, 733, 37–56. <https://doi.org/10.1016/j.tecto.2018.01.015>

Tavera, H. (2014). *Evaluacion del peligro asociado a los sismos y efectos secundrios en Perú*. Instituto Geofísico del Perú.

6. Anexo

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CHILE
ESCUELA DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA Y GESTIÓN DE LA CONSTRUCCIÓN

Revista
Ingeniería
de Construcción

HOME

ACERCA DE BUSCAR ACTUAL ARCHIVO ANTES DE LA IMPRESIÓN SN: 0718-5073

Inicio > Usuario > Autor > Envíos > #1307 resumen >

RESUMEN REVISIÓN CORRECCIÓN

Sumisión

Autores Juan Alonso Alvarado Mamani, Henry Antonio Aguilar Chuquimia
Título Respuesta sísmica de una edificación de concreto armado conforme las normas de Perú, Chile y Ecuador. Caso de estudio: región sur del Perú.
Archivo original 1307-7665-1-SM.DOCX 2021-11-22
Archivos supp. Ninguno AGREGAR UN ARCHIVO COMPLEMENTARIO
Remitente Juan Alonso Alvarado
Fecha de envío Noviembre 22, 2021 - 12:30 PM
Sección Investigación original
Editor Ximena Araya Gallardo

Estado

Estado En revisión
Iniciado 2021-11-22
Última modificación 2021-11-22

Search Keywords Buscar

- Enviar un manuscrito
- Información útil del autor
- Inicio del usuario
- Cerrar sesión

Idioma

☐ ☐

Nube de palabras clave

Puentes de Brasil Puentes de hormigón resistencia a la compresión hormigón construcción corrosión degradación diseño durabilidad eficiencia energética evaluación gestión propiedades mecánicas calidad vulnerabilidad sísmica velocidad sostenibilidad tenacidad absorción de agua

Figura 18. Revista Ingeniería de Construcción (Proyecto en revisión).