

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



Una Institución Adventista

**Diseño sísmico por desempeño de elementos no estructurales
mediante la metodología de desplazamiento directo en edificios de
concreto armado**

Tesis para obtener el Título Profesional de Ingeniero Civil

Autor:

Geoffrey Collantes Julca

Asesor:

Mg. John Elvis La Torre Esquivel

Lima, diciembre de 2021

DECLARACIÓN JURADA DE TESIS

Quien suscribe: Mg. John Elvis La Torre Esquivel, docente de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil, Facultad de Ingeniería y Arquitectura de la Universidad Peruana Unión,

DECLARO:

Que el presente trabajo de investigación titulado: **“DISEÑO SÍSMICO POR DESEMPEÑO DE ELEMENTOS NO ESTRUCTURALES MEDIANTE LA METODOLOGÍA DE DESPLAZAMIENTO DIRECTO EN EDIFICIOS DE CONCRETO ARMADO”** constituye la memoria que presenta el Bachiller Geoffrey Collantes Julca para aspirar al título profesional de Ingeniero Civil, cuya tesis ha sido realizada en la Universidad Peruana Unión bajo mi asesoramiento.

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

Y estando de acuerdo, firmo la presente declaración en Lima a los 17 días del mes de diciembre del año 2021.



Mg. John Elvis La Torre Esquivel

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

En Lima, Ñaña, Villa Unión, a los 16 día(s) del mes de diciembre del año 2021 siendo las 10:00 horas, se reunieron en modalidad virtual u online sincrónica, bajo la dirección del Señor Presidente del jurado: **Mg. Leonel Chahuares Paucar**, el secretario: **Mg. Roberto Roland Yoctun Rios** y los demás miembros: **Ing. Ferrer Canaza Rojas** y el asesor **Mg. John Elvis La Torre Esquivel**, con el propósito de administrar el acto académico de sustentación de la tesis titulada: "Diseño sísmico por desempeño de elementos no estructurales mediante la metodología de desplazamiento directo en edificios de concreto armado"

.....de el(los)/la(las) bachiller/es: a)..... **GEOFFREY COLLANTES JULCA**...

.....b)
conducente a la obtención del título profesional de
**INGENIERO CIVIL**.....
 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)/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): **GEOFFREY COLLANTES JULCA**

CALIFICACIÓN	ESCALAS			Mérito
	Vigesimal	Literal	Cualitativa	
APROBADO	17	B+	MUY BUENO	SOBRESALIENTE

Candidato (b):

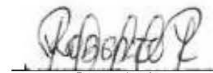
CALIFICACIÓN	ESCALAS			Mérito
	Vigesimal	Literal	Cualitativa	

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.

 Presidente
 Mg. Leonel
 Chahuares



 Asesor
 Mg. John Elvis La
 Torre Esquivel



 Secretario
 Mg. Roberto Roland
 Yoctun Rios

 Miembro
 Ing. Ferrer Canaza
 Rojas

 Miembro

 Candidato/a (a)
 Geoffrey Collantes
 Julca

 Candidato/a (b)
 --

ÍNDICE

ABSTRACT	3
RESUMEN	3
1. Introducción:	4
1.1. Diseño por desempeño:.....	4
1.2. Elementos no estructurales:	5
1.3. Diseño sísmico por desplazamiento directo:.....	6
2. Metodología:.....	8
2.1. Diseño Sísmico por Desplazamiento Directo:.....	8
2.2. Diseño Sísmico por la NTP E.030:.....	11
2.3. Objeto de Estudio:	11
3. Resultados y Discusiones:	14
3.1. Definir:.....	14
3.2. Graficar:	16
3.3. Calcular Fuerzas:.....	18
3.4. Diseño:.....	21
4. Conclusiones:	25
5. Referencias:.....	26

Seismic design for the performance of non-structural elements through the direct displacement methodology in reinforced concrete buildings

Diseño sísmico por desempeño de elementos no estructurales mediante la metodología de desplazamiento directo en edificios de concreto armado

Geoffrey Collantes Julca*¹, John Elvis La Torre Esquivel*²

* *Universidad Peruana Unión – Lima, Perú.*

¹ *Correo electrónico:* geoffreycollantes@upeu.edu.pe

² *Correo electrónico:* jhonesquivel@upeu.edu.pe

ABSTRACT

One of the little-researched branches of design-for-performance approaches is the design of non-structural elements. Non-structural elements are all those that do not participate directly in the structural resistance of a building, however, they present damage in the event of an earthquake. One of the methods developed in recent years is through direct displacement, which consists of restraining the non-structural element by giving it a maximum allowable displacement and calculating the allowable force by Hooke's law. Therefore, the non-structural elements for different configurations of a reinforced concrete building were designed using the direct displacement methodology and compared with the design according to Technical Standard E.030. Five reinforced concrete buildings (structural wall system) were modeled with the same plant for five different seismic movements and the design was carried out by the two methods for a specific anchoring system. In conclusion, the design based on direct displacement is more efficient than the traditional design, since it considers inelastic parameters. In addition, any non-structural element must be designed by both methods and apply the envelope criterion so as not to violate local regulations.

Key words: Design by performance, direct displacement, Standard E.030, non-structural elements, reinforced concrete buildings.

RESUMEN

Una de las ramas poco investigadas en los enfoques de diseño por desempeño es el diseño de elementos no estructurales. Los elementos no estructurales son todos los que no participan de manera directa en la resistencia estructural de una edificación, sin embargo, presentan daños frente a la ocurrencia de un sismo. Uno de los métodos desarrollados en los últimos años es mediante el desplazamiento directo, que consta de restringir al elemento no estructural dándole un máximo desplazamiento permisible y calcular la fuerza permisible por la ley de Hooke. Por lo tanto, se diseñó mediante la metodología de desplazamiento directo los elementos no estructurales para diferentes configuraciones de un edificio de concreto armado y se los comparó con el diseño según la Norma Técnica E.030. Se modeló cinco edificios de concreto armado (sistema de muros estructurales) con la misma planta para cinco diferentes movimientos sísmicos y se realizó el diseño por los dos métodos para un determinado sistema de anclajes. En conclusión, el diseño basado en el desplazamiento directo es más eficiente que el diseño tradicional, ya que considera parámetros inelásticos. Además, cualquier elemento no estructural debe ser diseñado por los dos métodos y aplicar el criterio de envolvente para no incumplir normas locales.

Palabras clave: Diseño por desempeño, desplazamiento directo, Norma E.030, elementos no estructurales, edificios de concreto armado.

1. Introducción:

1.1. Diseño por desempeño:

Un avance fundamental en la ingeniería sísmica en las últimas dos décadas ha sido la elaboración de conceptos basados en el desempeño hasta ser incorporados en las normas de construcción internacionales como en el ASCE (2000), ASCE (2017) y el (SEAOC, 1995) basados en niveles de desempeño según la intensidad sísmica y la fuerza vs el desplazamiento (Figura 01). Anteriormente la fuerza y el rendimiento se tomaban como sinónimos en términos de diseño, es por eso que el diseño sísmico fue criticado y en los últimos 25 años se ha dado más énfasis al “rendimiento” que a la “fuerza” considerando las propiedades inelásticas de los elementos, además que la distribución de la fuerza en un edificio es más importante que la cortante basal (R.Park, 1975).

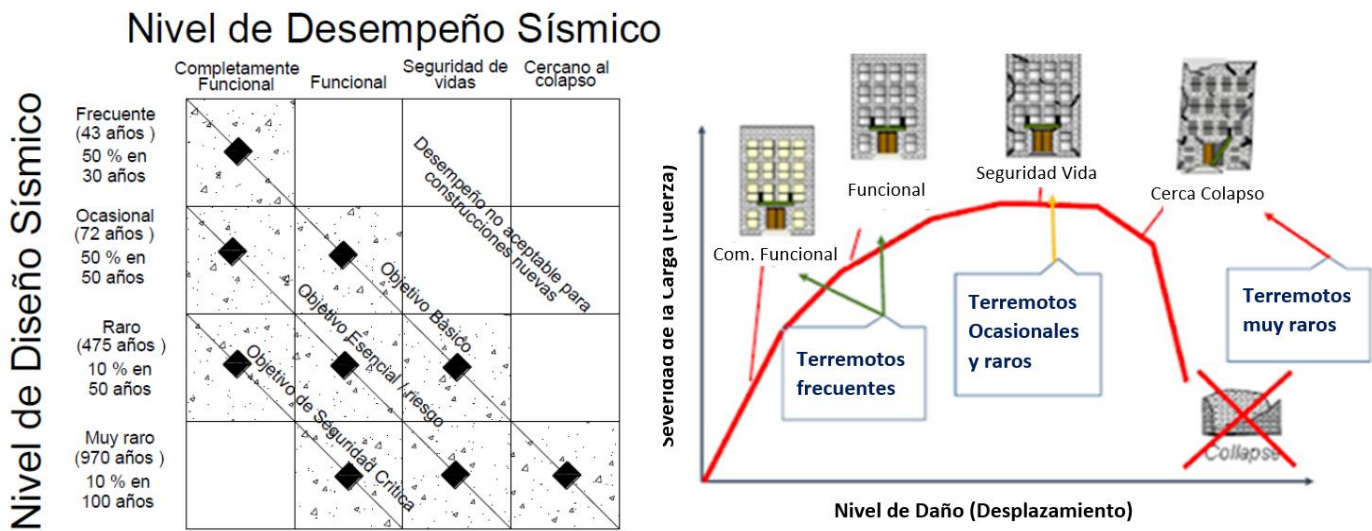


Figura 1. Diseño por Desempeño Sísmico.
Fuente: (SEAOC, 1995)

Para el diseño clásico, la capacidad de desplazamiento de ductilidad ($\mu\Delta$) se lo relaciona con el factor de reducción de la fuerza (R) (Ecuación 1) (Priestley, 2000), este factor se utiliza para reducir los niveles elásticos esperados de la fuerza cortante en la base como se muestra en la (Figura 2(a)). Hubo problemas con este enfoque, ya que la aproximación igual del desplazamiento es inapropiada para estructuras de períodos muy cortos y muy largos. Sin embargo, con referencia a la (Figura 2(b)), además de considerar el rango inelástico, el desplazamiento de fluencia (Δ_y) y el desplazamiento último (Δ_u) no son valores exactos de definir.

$$\mu\Delta = R \quad (1)$$

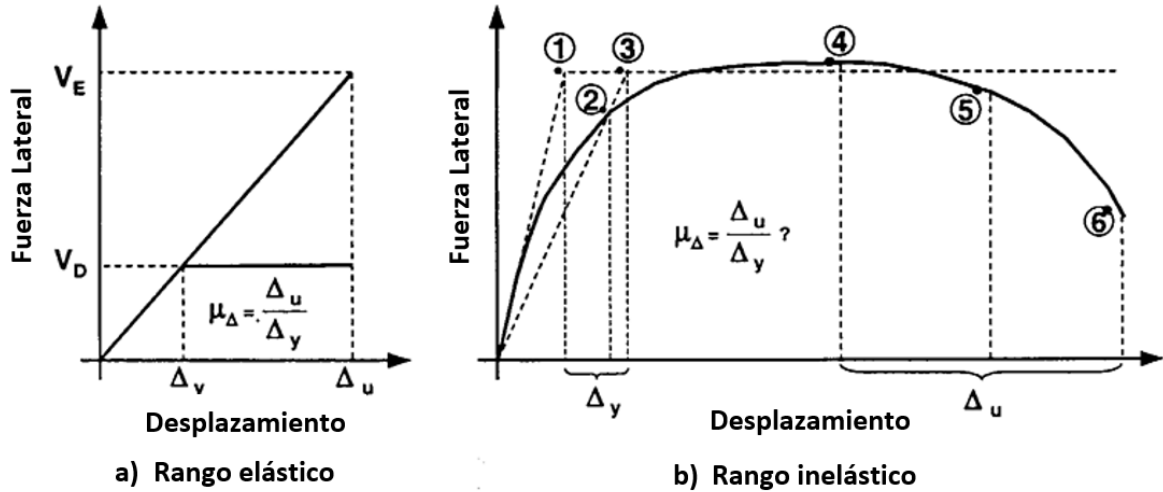


Figura 2. Rango elástico vs Rango inelástico.
Fuente: (Priestley, 2000)

1.2. Elementos no estructurales:

Es importante definir qué elementos son considerados como no estructurales. Es por eso que FEMA (2018), Porter (2005), Bachman y Dowty (2008), Christopoulos y Filiatrault (2006) y Tatarsky y Filiatrault (2019) nos dan pautas sobre el concepto, la taxonomía y los sistemas de protección, como son los aisladores sísmicos, para los elementos no estructurales. Sin embargo, la aplicación del diseño por desempeño a sistemas de elementos no estructurales sigue siendo en gran parte inexplorables. En la actualidad el diseño sísmico de elementos no estructurales tiene su fundamento en conceptos empíricos que se basa en el juicio y la intuición más que en datos experimentales y resultados analíticos (Filiatrault y Sullivan, 2014). Los elementos no estructurales son muy importantes ya que representan la mayor parte de las inversiones totales en edificios esenciales (Figura 3) siendo un 90% de las edificaciones que incluyen instalaciones eléctricas, saneamiento y gas según lo dicho en Taghavi y Miranda (2004) y FEMA (2018).

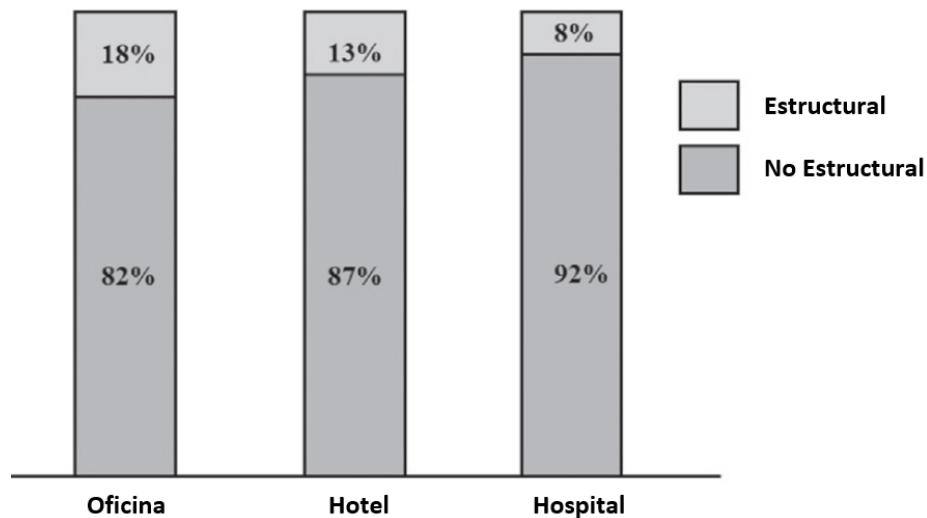


Figura 3. Inversiones en edificaciones.
Fuente: (Miranda y Taghavi, 2004)

La mayoría de los sismos dejan los elementos estructurales en condiciones funcionales pero son los elementos no estructurales los que presentan mayores daños después de un sismo ya que también dependen de respuestas sísmicas de la estructura (Perrone y Filiatrault, 2017). En el Perú el diseño sísmico para elementos no estructurales se rige bajo el Capítulo VI de la Norma Técnica Peruana E.030 (RNE, 2019). Dicho capítulo es deficiente ya que analizan los elementos no estructurales con el diseño clásico.

1.3. Diseño sísmico por desplazamiento directo:

Parte de esta investigación fueron los principales antecedentes dados en los últimos años que se consideran como el estado de arte para esta investigación: Elide Pantoli; Michelle C. Chen; Tara C. Hutchinson y Rodrigo Astroza (2015) ensayaron diferentes elementos no estructurales en un edificio de concreto armado a escala real en la Universidad de California sobre una base fija vibratoria. Por otro lado, en el Perú sólo se ha realizado una comparación cualitativa entre métodos de diseño para dichos elementos por Castro Aroni (2019). Por último, Córdova Shedan (2017) y Morales (2020) aplicaron el método a estructuras de sistema dual (muros y columnas).

El *diseño directo en base al desplazamiento* (DBDD) fue creado por Priestley (2000) que propone partir de un desplazamiento máximo de demanda hasta el cálculo de la máxima fuerza requerida (Figura 4). El alcance del DBDD considera a una “estructura sustituto” procedimiento de análisis desarrollado por Shibata y Sozen (1976) la cual representa toda la estructura como un oscilador SD1L equivalente (Figura 4(a)), para los elementos no estructurales es sencillo cumplir con este requisito ya que todos se idealizan como SD1L. El DBDD también caracteriza la estructura de rigidez secante (K_c) en un desplazamiento máximo (Δ_d) (Figura 4(b)) y un nivel de amortiguación visco-equivalente apropiada a la energía de histéresis absorbida durante la respuesta inelástica (Figura 4(c)). Finalmente se obtiene la fuerza de diseño mediante un espectro de desplazamiento como se muestra en la (Figura 4(d)).

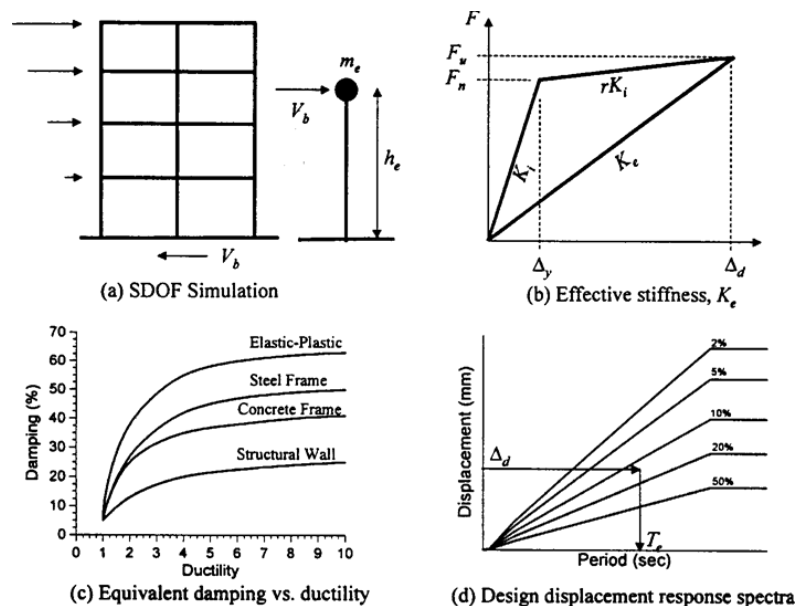


Figura 4. Fundamentos Basados en el Diseño Sísmico por Desplazamiento Directo.
Fuente: (Priestley; 2000)

De acuerdo a la los deficientes problemas que presenta el diseño clásico (elástico) y a la poca intervención del diseño por desempeño en elementos no estructurales, se diseña por DBDD los elementos no estructurales para unas configuraciones de edificios de concreto armado y se los comparó con el diseño tradicional.

2. Metodología:

2.1. Diseño Sísmico por Desplazamiento Directo:

La metodología es propuesta en 4 pasos como se muestra en la (Figura 5):

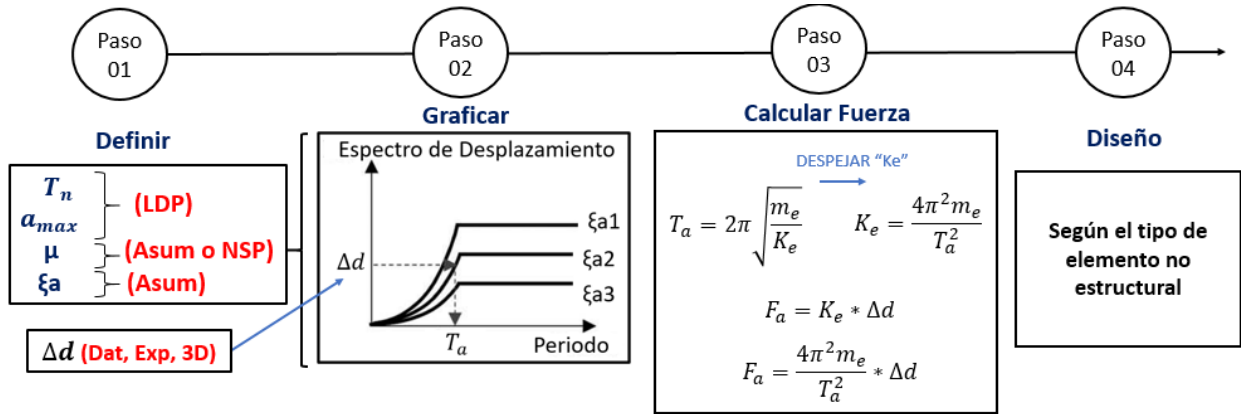


Figura 5. Metodología para el DBDD en elementos no estructurales.
Fuente: Propia

2.1.1. Paso 01:

Se definirán 5 parámetros:

Para el Periodo Natural Elástico de la estructura (T_n) y la aceleración máxima modal (a_{max}) se realizará un LDP (Linear dynamic process) o también llamado un Análisis Dinámico Lineal, el cual es ya conocido por la comunidad científica. Ya que, la aceleración requerida es modal, el LDP también será un análisis modal según la Norma E.030. Además, debe ser máxima, por lo tanto, se recomienda elegir la más crítica entre las aceleraciones de todos los pisos.

El diseñador asumirá, con un buen criterio y/o apoyándose de la literatura, la ductilidad de la estructura (μ) y el amortiguamiento equivalente del elemento no estructural (ξ_a). Se recomienda usar valores entre 0.01 a 0.15 para el amortiguamiento equivalente. Por otro lado, si se desea obtener la ductilidad de manera más exacta se debería realizar un NSP (Nonlinear static process) Análisis Estático No Lineal o también conocido como Pushover, pero para fines prácticos asumir una ductilidad de 1 con la cual se obtendrá la mayor respuesta.

Por último se definirá el desplazamiento directo (Δ_d) el cual se puede obtener de tres maneras: Se puede recopilar el dato de alguna literatura, se puede realizar una prueba de laboratorio experimental o se puede realizar una modelación computacional. Los resultados deberían ser mediante a una curva de capacidad (Figura 2(b)) o una curva cíclica – histerética.

2.1.2. Paso 02:

Se graficará el espectro de desplazamiento con los 4 primeros parámetros del paso 01 siguiendo la (Ecuación 2):

Filiatrault, Perrone, Merino y Calvi (2018), transformaron la fórmula de espectros de aceleración de Sullivan, Calvi y Nascimbene (2013) a una de espectro de desplazamiento en función del Periodo para elementos no estructurales (Ecuación 2):

$$S_{DF}(T_a) = \frac{T_a^3}{4\pi^2 T_n} \left[a_{max} \left(\frac{1}{\sqrt{\epsilon_a}} - 1 \right) \right] + \frac{T_a^2 a_{max}}{4\pi^2} ; T_a < T_n$$

$$S_{DF}(T_a) = \frac{T_a^2 a_{max}}{4\pi^2 \sqrt{\epsilon_a}} ; T_n \leq T_a < T_{eq}$$

$$S_{DF}(T_a) = \frac{T_a^2 a_{max}}{4\pi^2 \sqrt{\left(1 - \frac{T_a}{T_{eq}}\right)^2 + \epsilon_a}} ; T_a \geq T_{eq}$$

Tal que:

$$T_{eq} = T_n \text{ para } \mu \leq 1$$

$$T_{eq} = T_n \sqrt{\mu} \text{ para } \mu > 1 \quad (2)$$

Donde:

T_a = Periodo del elemento no estructural

T_{eq} = Periodo equivalente del elemento no estructural

T_n = Periodo natural elástico del sistema estructural

μ = Ductilidad del sistema estructural

a_{max} = aceleración máxima modal

ϵ_a = Amortiguamiento equivalente del elemento no estructural

Con el desplazamiento directo ($\Delta_d = S_{DF}(T_a)$) definido en el paso 01 se lee el periodo efectivo del elemento no estructural (T_a) como se muestra en el paso 02 de la (Figura 5).

2.1.3. Paso 03:

Se calcula la fuerza mediante conceptos básicos de dinámica:

Basándose en Thomson (1998), Chopra (2000) y Chopra (2014), siendo unos de los mayores exponentes de las bases teóricas de la dinámica estructural tenemos la (Ecuación 3) que relaciona el periodo con la masa y la rigidez en SD1L, pero considerando que estos valores ya son efectivos.

$$T_a = 2\pi \sqrt{\frac{m_e}{K_e}} \quad (3)$$

Donde:

m_e = Masa efectiva del elemento no estructural

K_e = Rigidez efectiva del elemento no estructural

Después se despeja la rigidez efectiva (Ecuación 04):

$$K_e = \frac{4\pi^2 m_e}{T_a^2} \quad (4)$$

Por último, se calcula la máxima fuerza en la base del elemento no estructural por la ley de Hooke (Ecuación 5):

$$F_a = K_e \Delta_d \quad (5)$$

2.1.4. Paso 04:

Se diseña el refuerzo de los elementos no estructurales según su tipo y la normativa que lo rige.

2.2. Diseño Sísmico por la NTP E.030:

El diseño sísmico de elementos no estructurales en el Perú se basa en su Norma Técnica E.030 Diseño Sismorresistente en el Capítulo VI: Elementos No Estructurales: Los anclajes y las conexiones de los elementos no estructurales se diseñan para resistir una fuerza sísmica horizontal (F) en cualquier dirección asociada a su peso (P_e), cuya resultante se aplica en el centro de masas del elemento, como se indica en la (Ecuación 6) (RNE E.030):

$$F = \frac{a_i}{g} C_1 P_e \quad (6)$$

Donde:

a_i = Aceleración horizontal en el nivel del elemento no estructural

g = Aceleración de la gravedad (9.81m/s²)

C_1 = Coeficiente de seguridad

P_e = Peso del elemento no estructural

Los valores de C_1 (coeficiente de seguridad) se toman de la Tabla N° 12 citada en dicha norma (Tabla 1):

Tabla 1. Valores de C_1

Tabla N°12	
VALORES DE C1	
Elementos que al fallar puedan precipitarse fuera de la edificación y sea peligrosos para personas u otras estructuras.	3.0
Muros y tabiques dentro de una edificación.	2.0
Tanques y parapetos sobre la azotea, casa de máquinas, pérgolas.	3.0
Equipos rígidos conectados rígidamente al piso.	1.5

Fuente: (RNE, 2019)

2.3. Objeto de Estudio:

Generalmente, se puede variar de dos maneras un edificio de concreto armado que son en planta y en altura. Para la formulación de desplazamiento directo en elementos no estructurales la variación en planta no es tan significativa como la variación en altura, ya que esta fórmula depende directamente del periodo estructural (Perez Martinez, 2019). Además, en muchas investigaciones los autores proponen diferentes configuraciones que no obedecen ningún patrón en planta y altura para sus diseños, por lo que la elección del objeto de estudio queda a criterio del investigador. Por lo tanto, se modeló cinco edificios de concreto armado similares en planta, pero variables en altura

en el Programa ETABS y se verificó que cumpla con una clasificación de “regular” según la Norma E.030. Los edificios tienen las características como se muestra en la (Figura 6) y en la (Tabla 2) adaptados de P. M. Calvi y Sullivan (2014):

Tabla 2. Configuración para el edificio de concreto armado

NOMBRE	Edificio	Edificio	Edificio	Edificio	Edificio
	1	2	3	4	5
Número de Pisos	2	4	8	12	20
Espesor de pared(m)			0.25		
L (m) (Figura 6)	1	2	4	6	10

Fuente: Propia

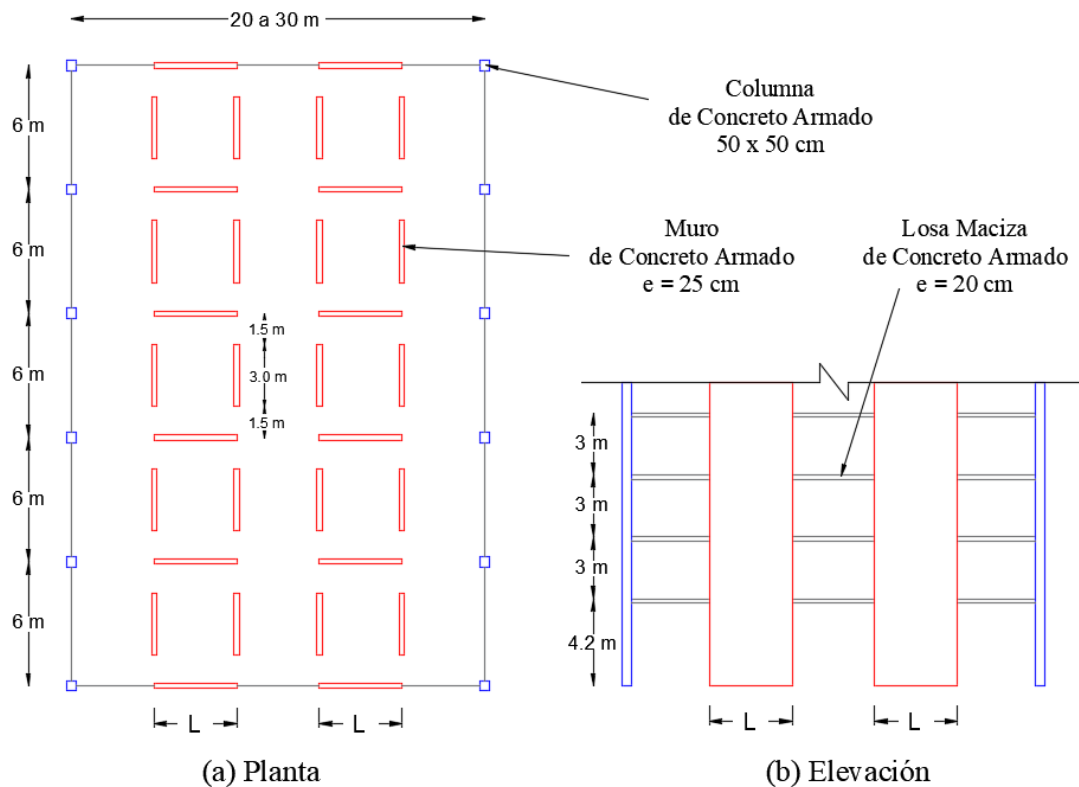


Figura 6. (a) Planta y (b) elevación del edificio de concreto armado.

Fuente: Adaptado de Calvi y Sullivan (2014)

El diseño sísmico de todo el sistema estructural se ha realizado según la Norma Técnica E.030 Diseño Sismorresistente. La estructura se ha categorizado como A2 (Establecimientos de Salud que no correspondan a la primera categoría) según la Norma E.030 en la Tabla N°5 y el sistema estructural propuesto es de “muros estructurales” según el artículo 16 de la misma norma. De la misma manera se han permutado cinco diferentes movimientos sísmicos: cuatro de ellos se han realizado mediante análisis espectral y variando la resistencia del suelo según la misma norma (RNE E.030), como se muestra en la (Tabla 3) y el quinto movimiento se ha obtenido mediante

análisis tiempo historia del sismo: Nor-Oeste de Pastaza, Alto Amazonas – Loreto descrito en la (Tabla 4) (CENSIS, 2019).

Tabla 3. Datos para el diseño del edificio de concreto armado según E.030

Parámetro	Valor	E.030
Zona	4	Tabla N°1
Suelo (Variable)	S3, S2, S1 y S0	Artículo 12
Categoría	A2	Tabla N°5
Sistema Estructural	Muros estructurales	Tabla N°7

Fuente: Propia

Tabla 4. Datos de sismo al Nor-Oeste de Pastaza, Alto Amazonas – Loreto

DATOS ICG	
Fecha	22/02/2019
Hora	05:17:00
Latitud	-2.25
Longitud	-77.19
Magnitud	7.7 ML
Profundidad	139 km

Fuente: (CENSIS,2019)

Ya que la estructura se consideró en la categoría A2 (Establecimiento de Salud sin Aislación Sísmica) de la Norma Técnica E.030 Diseño Sismorresistente, las cargas se eligieron según la Norma Técnica E.020 Cargas en el artículo 6 y 7 que describen las cargas para los pisos y el techo (RNE, 2006). También se tomó el criterio de aumentar la S/c en 100 Kg/m² con el objetivo de maximizar el periodo de toda la estructura y permutar las respuestas como se muestra en la (Tabla 5).

Tabla 5. Cargas para el diseño del edificio de concreto armado según categoría estructural

Set de Cargas	Carga	Kg/m ² (KPa)	Múltiplo de masa E.030
ENTREPISO	Elementos no estructurales	100 (1.0)	1.00
	S/c	500 (5.0)	0.50
	Tabiquería	150 (1.5)	0.50
TECHO	Elementos no estructurales	100 (1.0)	1.00
	S/c	100 (1.0)	0.25

Fuente: Propia

Los elementos no estructurales serán un sistema de 3 tuberías reforzados con anclajes. Los anclajes de diseño se muestran en la (Figura 7), constan de 4 soportes de anclajes (con 2 elementos verticales y 2 elementos diagonales), 3 anillos que sujetan a las tuberías y bisagras para unir todos los elementos. Estos anclajes tiene una resistencia de $F_n = 11.9 \text{ KN}$ y $\Delta_d = 15\text{mm}$ según los ensayos experimentales de Wood, Hutchinson, Hoehler y Kreidl (2014).

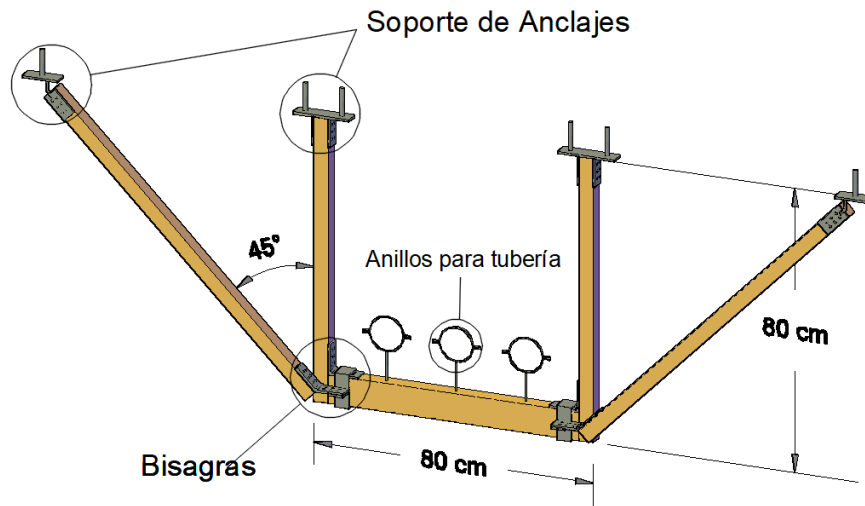


Figura 7. Anclajes para tuberías.
Fuente: Propia

3. Resultados y Discusiones:

3.1. Definir:

Del modelamiento en el software ETABS se obtuvieron los siguientes resultados considerando la aceleración máxima en el último piso (a_{max}) y el módulo fundamental para el Periodo del sistema estructural (T_n). Tanto (a_{max}) y (T_n) fueron comparados con todos los resultados en las dos direcciones para verificar que sean la mayor respuesta para cada edificios. Para la Ductilidad del sistema estructural (μ) se realizó un o también llamado Pushover (Tabla 6).

Tabla 6. Respuesta de la estructura (aceleraciones máximas)

NOMBRE	Edificio	Edificio	Edificio	Edificio	Edificio
	1	2	3	4	5
# de Pisos	2	4	8	12	20
Periodo (seg)	0.278	0.424	0.567	0.812	1.631
Ductilidad (μ)	10.18	4.95	5.51	5.77	7.13
<hr/>					
SISMO 22/02/19 (m/s ²)	4.19	5.69	9.22	10.77	7.74
a_{max} Z4-S3 (m/s ²)	4.04	4.65	5.05	5.11	4.95
Z4-S2 (m/s ²)	3.86	4.44	4.82	4.47	3.48
Z4-S1 (m/s ²)	3.67	4.03	3.60	3.30	2.84
Z4-S0 (m/s ²)	2.94	2.57	2.46	2.31	2.12

Fuente: Propia

Para la construcción del espectro de aceleración en la (Figura 8) se puede visualizar que: para una misma zona de riesgo sísmico, en este caso la zona 4 según la Tabla N°1 de la Norma E.030, la plataforma siendo la máxima aceleración (en periodos cortos) es directamente proporcional, en rango (magnitud de la aceleración) y dominio (periodos), al tipo de suelo.

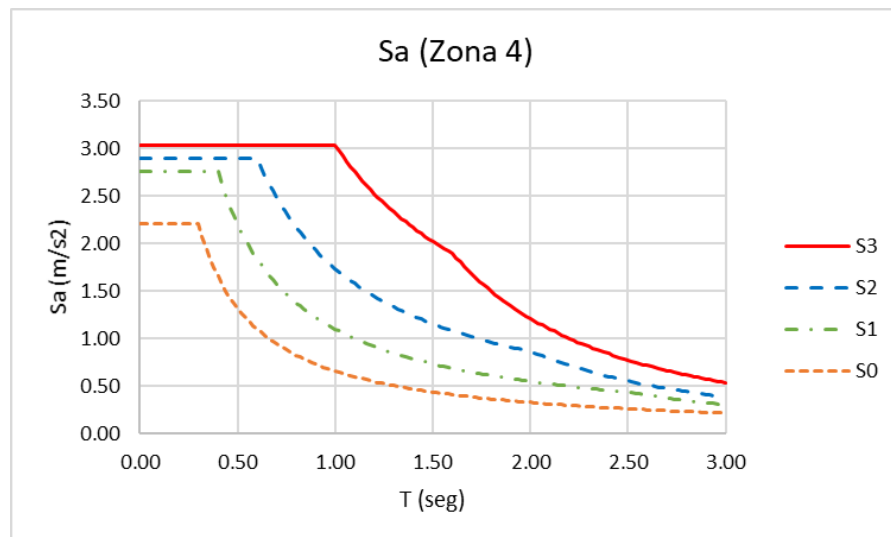


Figura 8. Espectro de aceleración para cuatro diferentes suelos.

Fuente: Propia

3.2. Graficar:

A continuación, se presenta el criterio general para comparar espectros de desplazamiento y su influencia en la fuerza de diseño (F_d). En la (Figura 8) se muestra cuatro espectros de desplazamiento a diferentes intensidades sísmicas siendo $Q_4 > Q_3 > Q_2 > Q_1$. Es importante tener en cuenta que son muchos los factores que definen la intensidad sísmica. Uno de estos factores es el suelo como se muestra en la (Figura 7), si nos referimos a un suelo blando, como el S3, tendrá mayores respuestas a la estructura (intensidad sísmica). Otro factor importante es el porcentaje de amortiguamiento equivalente (ϵ_a) que se define por la cantidad de energía que puede disipar un sistema, en este caso el elemento no estructural, frente a un sismo, por lo tanto, es inversamente proporcional a la intensidad sísmica cumpliendo lo propuesto por Priestley (2000) en la (Figura 4(d)). En la (Figura 9) se muestra la decadencia de la curva cuando se reduce la intensidad.

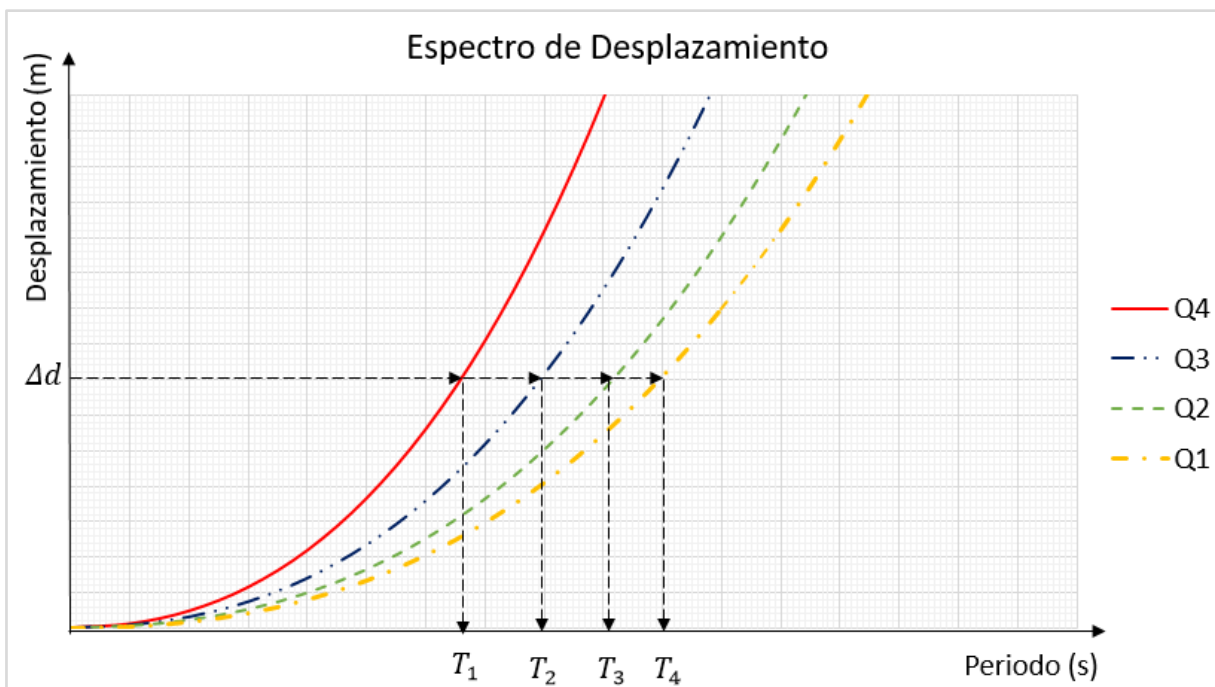


Figura 9. Interpretación general de los Espectro de desplazamiento.

Fuente: Propia

De la (Figura 9) se puede verificar que para un determinado elemento no estructural que esté definido por un desplazamiento objetivo (Δ_d) obtendremos que el Periodo Efectivo del elemento no estructural (T_i) es inversamente proporcional a la intensidad sísmica (Q_i). Al mismo tiempo el Periodo Efectivo del elemento no estructural (T_i) también es inversamente proporcional a la fuerza de diseño (F_d).

La (Ecuación 2), que grafica los espectros de desplazamientos, está dividida por 3 condiciones que a su vez son ecuaciones básicas (cuadrática, un cubo y una raíz) que tiene como variable independiente al Periodo del elemento no estructural (T_a). Estas tres condiciones (ecuaciones) se unen para dar menores valores del T_a con el incremento del Desplazamiento Objetivo (Δ_d), por lo

tanto, reducen la pendiente en cada punto de la curva y hacen decrecer la gráfica. Este criterio garantiza que la curva se mantenga constantemente decreciente para adoptar un comportamiento inelástico.

De la (Tabla 6) se puede extraer 5 edificios a 5 diferentes intensidades sísmicas, siendo un total de 25 espectros de desplazamientos para ser comparados. El criterio de comparación fue agruparlos por edificios y por intensidades sísmicas como se muestra en la (Figura 10) y (Figura 11) respectivamente.

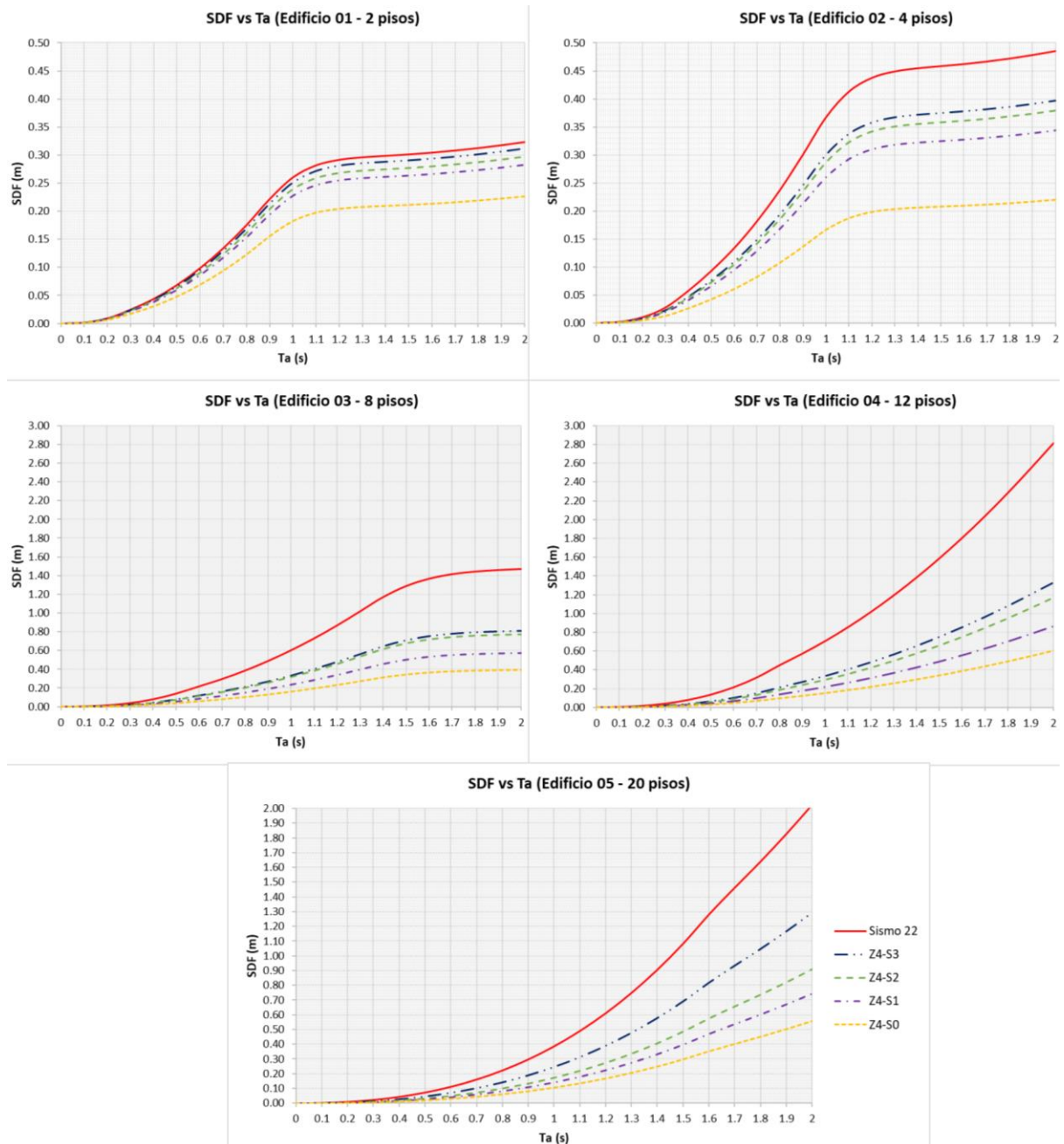


Figura 10. Espectro de desplazamiento para cinco edificios con variación en altura.
Fuente: Propia

De la (Figura 11) se puede visualizar que a menor altura del edificio mayor será la fuerza del diseño y los refuerzos de los elementos estructurales según lo analizado en la (Figura 9). Estas respuestas fueron similares para las otras intensidades sísmicas determinadas por el suelo y la zona sísmica según la (Tabla 6).

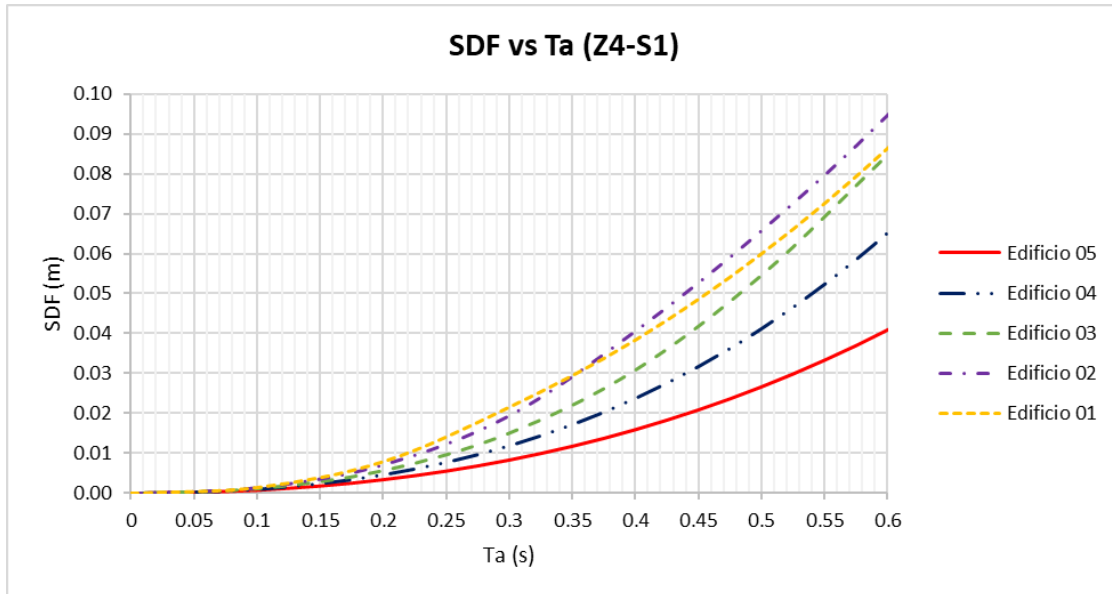


Figura 11. Espectro de desplazamiento para cinco edificios (con variación en altura) en un suelo S1 y una Zona 4 según E.030.

Fuente: Propia

3.3. Calcular Fuerzas:

Para la comparación de fuerzas se seleccionó el “Sismo 22” que es el registro sísmico de mayor respuesta. Se determinó un desplazamiento objetivo de 15 mm aproximado a los resultados del artículo de Wood, Hutchinson, Hoehler y Kreidl (2014) para un sistema de anclajes de acero perteneciente a un nivel de desempeño funcional. La (Ecuación 05 y 06) son divididas entre la propia masa equivalente del elemento no estructural (m_e) para mayor simplicidad del cálculo presentado en la (Tabla 7). De esta tabla se observa que la fuerza de diseño por la norma E.030 depende directamente proporcional del coeficiente de seguridad ($C1$) y de la aceleración horizontal (a_i), según criterio se podría obviar su dependencia a la aceleración horizontal ya que se consideran como constantes para cada estructura. Por otro lado, la fuerza de diseño por el DBDD tiene una dependencia directamente proporcional con el Desplazamiento Objetivo (Δ_d) e inversamente proporcional al periodo equivalente del elemento no estructural (T_e).

Tabla 7. Fuerza de diseño: E.030 vs DBDD

EDIFICIO	E.030			DBDD		
	ai (m/s ²)	C1	F (N)	Δd (m)	Te (s)	Fa (N)
1 (2 pisos)	4.19		6.29		0.24	9.25
2 (4 pisos)	5.69		8.53		0.23	10.07
3 (8 pisos)	9.22	1.50	13.83	0.015	0.21	12.68
4 (12 pisos)	10.77		16.16		0.20	13.32
5 (20 pisos)	7.74		11.62		0.25	8.53

Fuente: Propia

En la (Figura 12) se presentan las fuerzas de la (Tabla 7) y se puede observar que hay un punto de inflexión en donde una fuerza es mayor que la otra, este punto de inflexión es el piso 6. Por lo tanto, para los edificios menores a 6 pisos la fuerza de DBDD es mayor y para edificios mayores a 6 pisos la fuerza de E.030 es mayor. Cabe mencionar que la fuerza va relacionada con el refuerzo que tendrá el elemento no estructural.

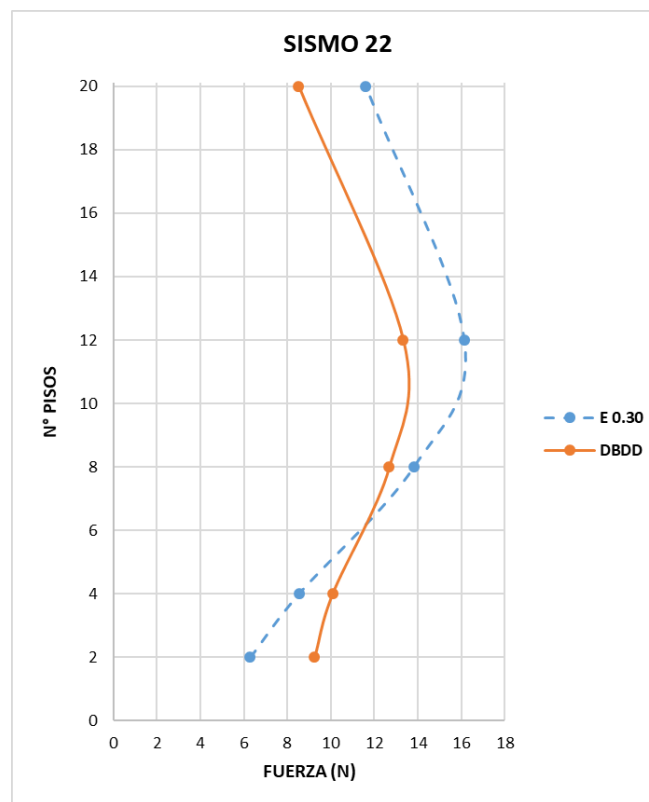


Figura 12. Fuerza de diseño según la Norma E.030 vs el DBDD.

Fuente: Propia

Por otro lado, para un segundo caso las fuerzas del DBDD podría superar en su totalidad a las del diseño tradicional de la Norma E.030 (Figura 13(a)). Sin embargo también existiría un tercer caso (Figura 13(b)) en donde las fuerzas del diseño tradicional de la Norma E.030 podrían superar en su totalidad las del DBDD por el incremento del coeficiente de seguridad (C1):

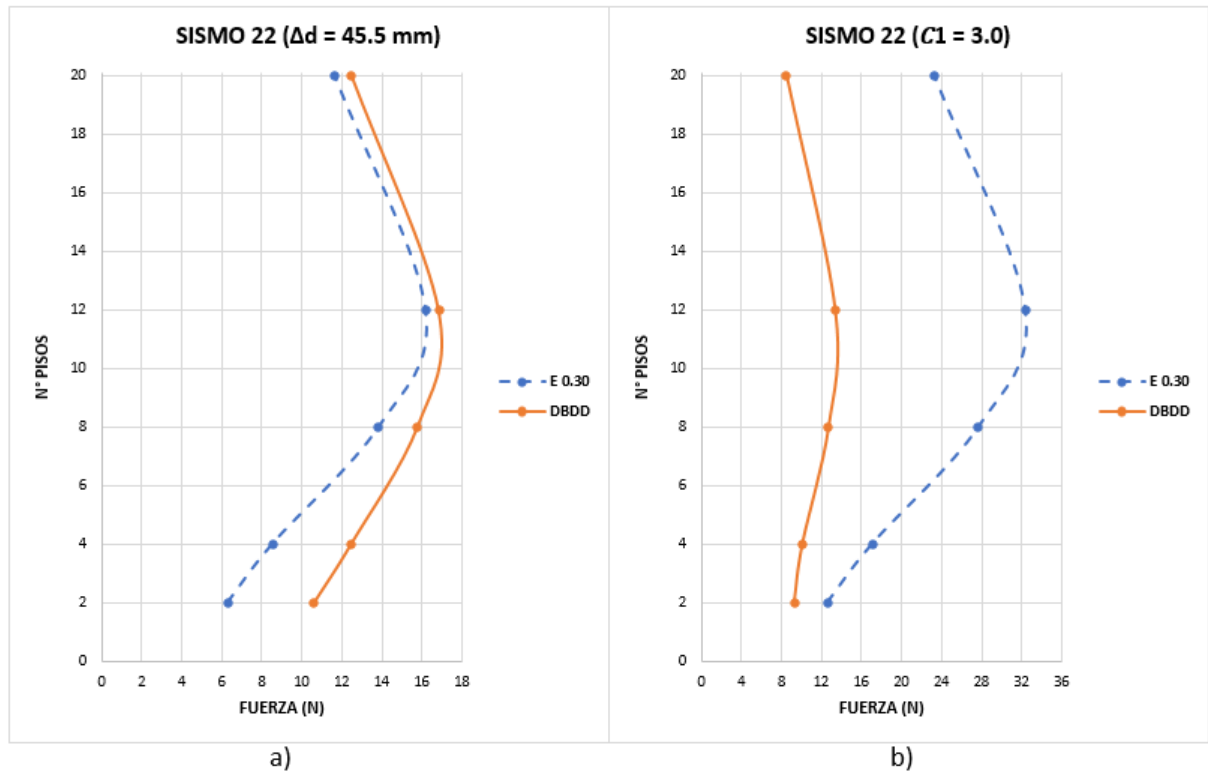


Figura 13. Fuerza de diseño según la Norma E.030 vs el DBDD, (a) considerando un $\Delta d = 45.5$ mm y (b) un $C1 = 3.0$

Fuente: Propia

A pesar que las fuerzas del Diseño tradicional sean mayores para ciertos casos (Figura 13(b)), está comprobado que el DBDD es más efectivo y exacto, ya que considera parámetros en el rango inelástico que el diseño tradicional no considera descrito anteriormente.

3.4. Diseño:

La fuerza equivalente (F_a) será menor igual a la fuerza nominal (F_n) dividida por un factor de resistencia $\gamma_m = 1.25$.

$$F_a \leq \frac{F_n}{\gamma_m} \quad (7)$$

Ya que el elemento no estructural elegido es un sistema de tuberías su peso (P_e) será igual a $1.15N_t w_a S$ en donde N_t es el número de tuberías (3 tuberías según la Figura 7), w_a es el peso de la tubería por metro lineal y S es la separación máxima requerida (CEN, 2018).

3.4.1. Diseño basado en la norma E.030:

Se reemplaza la (Ecuación 6) en la (Ecuación 7), luego se despeja la separación máxima requerida (S) y se obtiene:

$$S \leq \frac{g}{\gamma_m a_i C_1} \frac{F_n}{1.15 N_t w_a} \quad (8)$$

En la (Tabla 8) se presenta el resumen del diseño donde L_t es la longitud total de la tubería principal igual a 27 m.

Tabla 8. Diseño según E.030

Parámetro	Edificio 1	Edificio 2	Edificio 3	Edificio 4	Edificio 5
N° PISOS	2	4	8	12	20
g (m/s ²)			9.81		
F_n (KN)			11.90		
a_i	4.19	5.69	9.22	10.77	7.74
C_1			1.50		
γ_m			1.25		
N_t			3		
w_a (KN/m)			0.31		
S (m)	13.88	10.24	6.31	5.40	7.52
L_t (m)			27		
N° Anclajes	1	2	4	4	3

Fuente: Propia

3.4.2. Diseño basado en DBDD:

Se reemplaza la (Ecuación 4) en la (Ecuación 5) dentro de la (Ecuación 7), luego se despeja la separación máxima requerida (S) y se obtiene:

$$S \leq \frac{gT_a^2}{\gamma_m 4\pi^2 \Delta_d} \frac{F_n}{1.15N_t w_a} \quad (9)$$

En la (Tabla 9) se presenta el resumen del diseño donde L_t es la longitud total de la tubería principal igual a 27 m.

Tabla 9. Diseño según DBDD

Parámetro	Edificio 1	Edificio 2	Edificio 3	Edificio 4	Edificio 5
N° PISOS	2	4	8	12	20
g (m/s ²)			9.81		
T_a (s)	0.24	0.23	0.21	0.20	0.25
F_n (KN)			11.90		
Δ_d (m)			0.015		
γ_m			1.25		
N_t			3		
w_a (KN/m)			0.31		
S (m)	8.49	7.80	6.20	5.90	9.22
L_t (m)			27		
N° Anclajes	3	3	4	4	2

Fuente: Propia

La (Figura 14) muestra la comparación entre los dos diseños en donde se observa que para los edificios menores a 8 pisos es mayor el refuerzo (N° anclajes) según el DBDD y para edificios mayores a 12 pisos es mayor el refuerzo (N° anclajes) según el E.030. Además, vemos que entre los edificios de 8 a 10 pisos el refuerzo es igual y se aproximan a 4. Esta gráfica es proporcional a la (Figura 12) comprobando así que el refuerzo y la Fuerza de diseño (F y F_a) son directamente proporcionales.

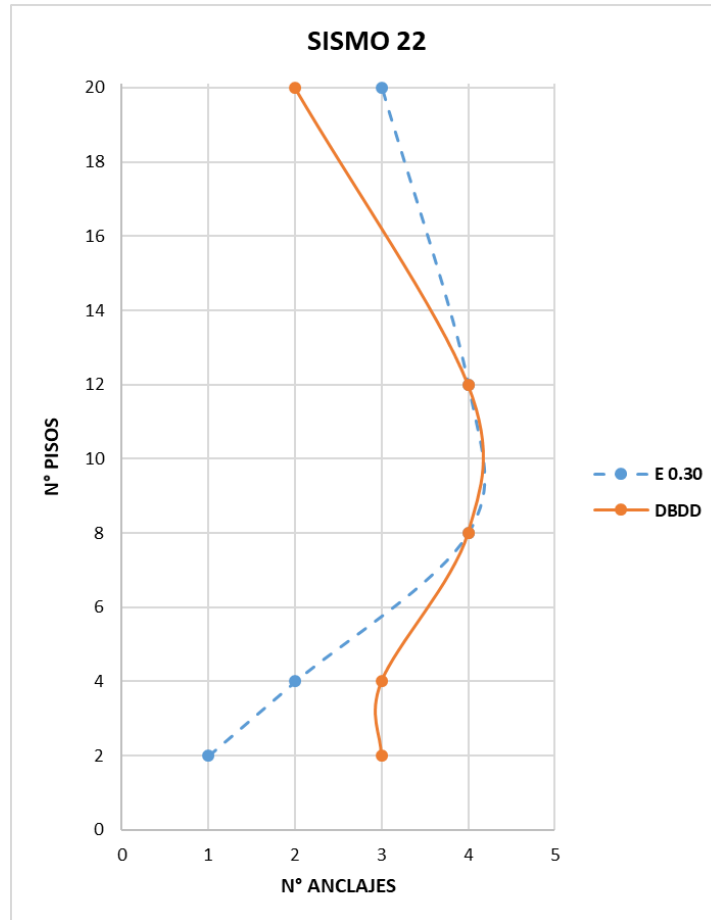


Figura 14. Diseño según la Norma E.030 vs el DBDD
Fuente: Propia

El diseño se a uniformizado para todos los niveles en cada edificio ya que se está considerando el piso más crítico. Como ejemplo en la (Figura 15) se muestra el diseño en planta para el edificio 02 (4 pisos) que consta de 3 líneas de tuberías principales de 3 tubos cada una referente a la (Figura 7), el número de anclajes y la separación requerida son los obtenidos en la (Tabla 8) y la (Tabla 9).

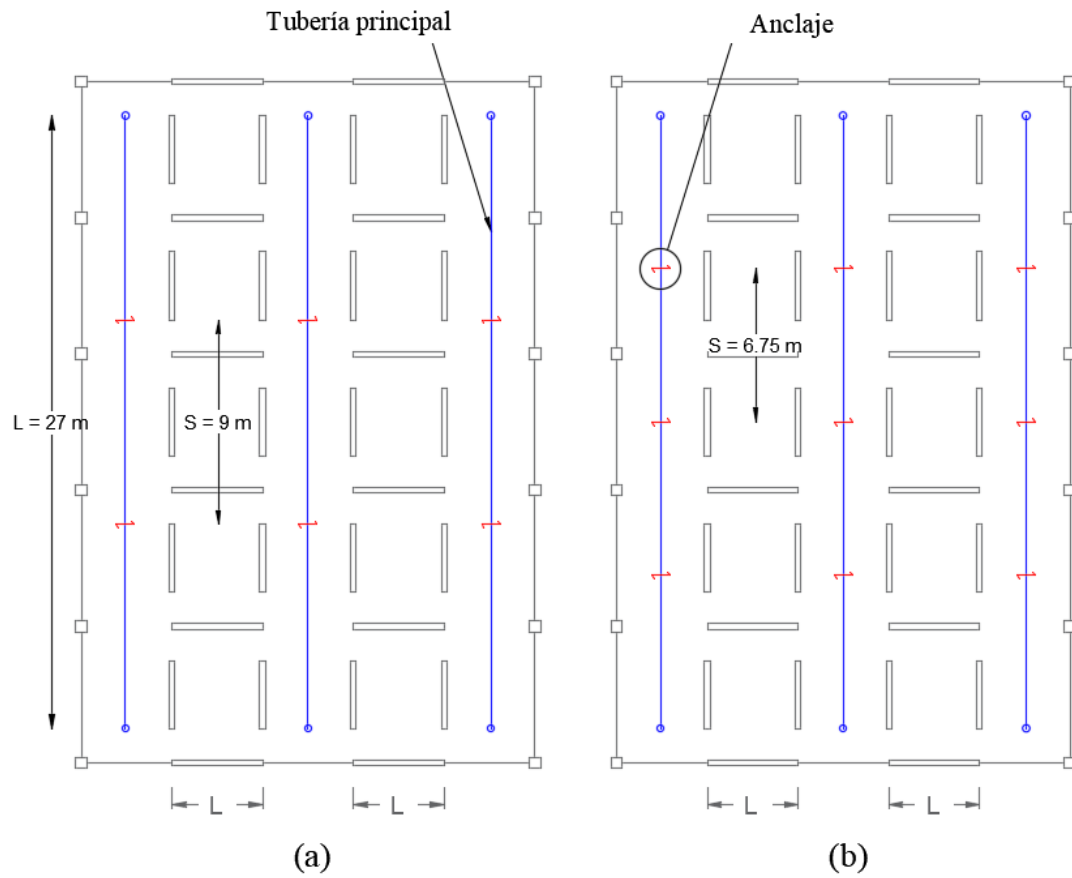


Figura 15. Vista en planta del diseño de anclajes en tuberías según (a) E.030 y (b) DBDD para el edificio 02 (4 pisos)
Fuente: Propia

4. Conclusiones:

El diseño basado en el desplazamiento directo para elementos no estructurales es más efectivo que el diseño basado en la Norma E.030 ya que considera parámetros elásticos e inelásticos del elemento como: el periodo natural del sistema estructural (T_n), la aceleración máxima modal del piso (a_{max}), a ductilidad del sistema estructural (μ), el amortiguamiento equivalente del elemento no estructural (ξ_a) y el desplazamiento objetivo (Δ_d). Los edificios 01 y 02 se refuerzan con 3 anclajes, los edificios 03 y 04 se refuerzan con 4 anclajes y el edificio 05 se refuerza con 2 anclajes en cada línea de tubería principal (Tabla 9).

Según el DBDD para una misma zona los edificios 01 y 02 (menor altura) son más reforzados que los edificios 04 y 05 (mayor altura) como se muestra en la (Figura 11). Además, el refuerzo por DBDD en elementos no estructurales es mayor para edificios inferiores a 8 pisos y menor para edificios de superiores a 12 pisos en comparación con el diseño de la Norma E.030 como se muestra en la (Figura 14). Está comprobado los criterios eficaces que toma el DBDD, sin embargo, para no incumplir la normativa nacional se recomienda trabajar con la mayor fuerza de los dos métodos siguiendo el criterio de envolvente.

El coeficiente de seguridad ($C1$) y la aceleración horizontal (a_i) incrementa de manera proporcional la fuerza del diseño en elementos no estructurales según la norma E.030. Del DBDD se concluye que la fuerza de diseño (F_a) o el reforzamiento es directamente proporcional al desplazamiento objetivo (Δ_d) y a la intensidad sísmica e inversamente proporcional al Periodo del elemento no estructural (T_a) y al amortiguamiento equivalente del elemento no estructural (ξ_a).

5. Referencias:

- ASCE. (2000). Minimum design loads for buildings and other structures: ASCE/SEI, 7-16. In *ANSI/ASCE Standard*.
- ASCE. (2017). Seismic Evaluation and Retrofit of Existing Buildings : ASCE/SEI, 41-17. In *Seismic Evaluation and Retrofit of Existing Buildings*.
<https://doi.org/10.1061/9780784414859>
- Bachman, R., & Dowty, S. (2008). *NO N S T R U C T U R A L Component NON B U I L D I N G Structure?* (May).
- Calvi, G. M., Priestley, M. J. N., & Kowalsky, M. J. (2008). Displacement Based Seismic Design of Structures - MJN Priestley high resolution.pdf. *5th New Zealand Society for Earthquake Engineering Conference*.
- Calvi, P. M., & Sullivan, T. J. (2014). Estimating floor spectra in multiple degree of freedom systems. *Earthquake and Structures*, 7(1), 17–38. <https://doi.org/10.12989/eas.2014.7.1.017>
- Castro Aroni, G. A. (2019). Evaluación de la seguridad sísmica de las fachadas de la catedral de Lima bajo el enfoque de mecanismos de colapso.
- CEN. (2018). UNE-EN 1998-5:2018 Eurocódigo 8: Proyecto de estructuras sismo. Retrieved September 6, 2020, from UNE website: <https://www.une.org/encuentra-tu-norma/busca-tu-norma/norma/?c=N0060366>
- CENSIS. (2019). Sismos reportados. Retrieved March 26, 2021, from Instituto Geofísico del Perú website: <https://ultimosismo.igp.gob.pe/ultimo-sismo/sismos-reportados>
- Chopra, A. K. (2000). Dynamics of structures 2nd Edition (PEARSON EDUCACIÓN, Ed.). Retrieved April 10, 2021, from PEARSON EDUCACIÓN website:
<https://www.pearson.com/us/higher-education/product/Chopra-Dynamics-of-Structures-Theory-and-Applications-to-Earthquake-Engineering-2nd-Edition/9780130869739.html>
- Chopra, A. K. (2014). Dinámica de estructuras 4ta Edition. In *PEARSON EDUCACIÓN* (Vol. 4). Retrieved from <http://marefateadyan.nashriyat.ir/node/150>
- Christopoulos, C., & Filiatrault, A. (2006). Principles of Passive Supplemental Damping and Seismic Isolation. *IUSS Press*, Vol. 1Christopo, p. 1192. Retrieved from <https://www.worldcat.org/title/principles-of-passive-supplemental-damping-and-seismic-isolation/oclc/123131116>
- Córdova Shedán, R. (2017). Diseño Sísmico Directo Basado en Desplazamientos de un Sistema Estructural Dual. *Pontificia Universidad Católica Del Perú*.
- Elide Pantoli; Michelle C. Chen; Tara C. Hutchinson; Rodrigo Astroza, J. P. C. H. E. J. I. R. X. W. (2015). Landmark Dataset from the Building Nonstructural Components and Systems (BNCS) Project. *Earthquake Spectra*.
- FEMA. (2018). Seismic Performance Assessment of Buildings, Volume 1 - Methodology, Second Edition. *Fema P-58-1, 1*(December 2018), 340. Retrieved from <https://femap58.atcouncil.org/%0Ahttps://www.fema.gov/media-library/assets/documents/90380>
- Filiatrault, A., Perrone, D., Merino, R. J., & Calvi, G. M. (2018). Performance-Based Seismic Design of Nonstructural Building Elements. *Journal of Earthquake Engineering*, 00(00), 1–33. <https://doi.org/10.1080/13632469.2018.1512910>
- Filiatrault, A., & Sullivan, T. (2014). Performance-based seismic design of nonstructural building

- components: The next frontier of earthquake engineering. *Earthquake Engineering and Engineering Vibration*, 13(1), 17–46. <https://doi.org/10.1007/s11803-014-0238-9>
- Morales, A. (2020). Método directo de diseño basado en desplazamientos (DDBD) aplicado a sistemas mixtos de hormigón armado. *Obras y Proyectos*, (28), 45–57. <https://doi.org/10.4067/s0718-28132020000200045>
- Perez Martinez, L. A. (2019). *ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL Análisis Comparativo del Diseño Estructural de un Edificio de Concreto Armado de 4 Niveles , por Método Clásico y los Programas Etabs y Cypecad , Carapongo Chosica , Lima 2019* (Universidad César Vallejo). Retrieved from https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/44890/Perez_ML_SD.pdf?sequence=8&isAllowed=y
- Perrone, D., & Filiatrault, A. (2017). Automated seismic design of non-structural elements with building information modelling. *Automation in Construction*, 84(September), 166–175. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2017.09.002>
- Porter, K. A. (2005). A Taxonomy of Building Components for Performance-Based Earthquake Engineering. *Pacific Earthquake Engineering Research*, (September).
- Priestley, M. J. N. (2000). Performance based seismic design. *Bulletin of the New Zealand Society for Earthquake Engineering*, 33(3), 325–346.
- R.Park. (1975). Design Concrete Structures. *Wiley Online Library*, (CONCRETE STRUCTURE), 769.
- RNE. (2006). Norma Técnica E.020 Cargas. *Reglamento Nacional De Edificaciones*. Retrieved from <http://www3.vivienda.gob.pe/pnc/docs/normatividad/varios/Reglamento Nacional de Edificaciones.pdf>
- RNE. (2019). Norma Técnica E.030 Diseño Sismoresistente. *Reglamento Nacional De Edificaciones*, 53(9), 1689–1699. Retrieved from <http://www3.vivienda.gob.pe/pnc/docs/normatividad/varios/Reglamento Nacional de Edificaciones.pdf>
- SEAOC. (1995). Seaoc Seismic Design Manual Examples.Pdf | Hormigón | Sistema estructural | uDocz. Retrieved March 25, 2021, from Gail Hynes Shea, Albany, California website: https://www.udocz.com/pe/read/16592/seaoc-seismic-design-manual-examples-pdf#_=_
- Shibata, & Sozen. (1976). Substitute-structure method to determine design forces in earthquake-resistant reinforced concrete frames. *Journal of Structural Division*, Vol. 102, pp. 1905–1910. Retrieved from http://www.iitk.ac.in/nicee/wcee/article/6_vol2_1905.pdf
- Sullivan, T. J., Calvi, P. M., & Nascimbene, R. (2013). Towards improved floor spectra estimates for seismic design. *Earthquake and Structures*, 4(1), 109–132. <https://doi.org/10.12989/eas.2013.4.1.109>
- Taghavi, S., & Miranda, E. (2004). Estimation of Seismic Acceleration Demands in Building Components. *Journal of Earthquake Engineering*, (3199), 3199.
- Tatarsky, M., & Filiatrault, A. (2019). Seismic response of viscously damped braced thin-wall piping system: a proof-of-concept case study. *Bulletin of Earthquake Engineering*, 17(1), 537–559. <https://doi.org/10.1007/s10518-018-0447-0>
- Thomson, W. T. (1998). Theory of vibration with applications, fourth edition. *Theory of Vibration with Applications, Fourth Edition*, 1–546. <https://doi.org/10.1201/9780203718841>
- Wood, R. L., Hutchinson, T. C., Hoehler, M. S., & Kreidl, B. (2014). Experimental

characterization of trapeze assemblies supporting suspended nonstructural systems. *NCEE 2014 - 10th U.S. National Conference on Earthquake Engineering: Frontiers of Earthquake Engineering*. <https://doi.org/10.4231/D3D21RJ9J>

SUMISIÓN



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

Revista Ingeniería de Construcción

ISSN: 0718-5073

HOME

SOBRE | BUSCAR | ACTUAL | ARCHIVO | YA DISPONIBLE

Inicio > Usuario > Autor > Envíos > # 1314 > Resumen

RESUMEN | REVISAR | EDICIÓN

Sumisión

Autores: Geoffrey Collantes Julca
Título: Diseño sísmico por desempeño en elementos no estructurales mediante la metodología de desplazamiento directo en edificios de concreto armado
Archivo original: 1314-7677-1-SM.DOCX 2021-11-29
Supp. archivos: Ninguno [AGREGAR UN ARCHIVO COMPLEMENTARIO](#)
Remitente: Geoffrey Collantes Julca 
Fecha Enviado: 29 de noviembre de 2021- 12: 00 PM
Sección: Investigacion original
Editor: Ninguno asignado

Estado

Estado: **En espera de la asignación**
Iniciado: 2021-11-29
Última modificación: 2021-11-29

Search Keywords

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

Idioma

Nube de palabras clave

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



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

Revista Ingeniería de Construcción

ISSN: 0718-5073

HOME

SOBRE | BUSCAR | ACTUAL | ARCHIVO | YA DISPONIBLE

Inicio > Usuario > Autor > Envíos > # 1314 > Resumen

RESUMEN | REVISAR | EDICIÓN

Sumisión

Autores: Geoffrey Collantes Julca
Título: Diseño sísmico por desempeño en elementos no estructurales mediante la metodología de desplazamiento directo en edificio de concreto armado
Archivo original: 1314-7677-1-SM.DOCX 2021-11-29
Supp. archivos: Ninguno [AGREGAR UN ARCHIVO COMPLEMENTARIO](#)
Remitente: Geoffrey Collantes Julca 
Fecha Enviado: 29 de noviembre de 2021- 12: 00 PM
Sección: Investigacion original
Editor: Ximena Araya Gallardo 

Estado

Estado: **En revisión**
Iniciado: 2021-11-29
Última modificación: 2021-11-29

Search Keywords

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

Idioma

Nube de palabras clave

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