

Diseño Sismorresistente de un Sistema de Muros Estructurales Aplicando la Norma E.030 del 2003 y 2018 en la Ciudad de La Libertad

Earthquake Resistant Design of a Structural Wall System applying Standard E.030 of 2003 and 2018 in the City of La Libertad

Projeto Resistente a Terremotos de um Sistema Estrutural de Parede aplicando a Norma E.030 de 2003 e 2018 na Cidade de La Libertad

Marcos Josué Rupay Vargas ^{1,(*)}, Regner Raúl Parra Lavado ², Jorge Santiago López Yarango ³

Recibido: 15/05/2024

Aceptado: 12/10/2024

Resumen. - El análisis comparativo se centra en investigar las discrepancias entre las normativas E.030 de 2003 y 2018 en relación con el diseño antisísmico. Este estudio se realiza en el contexto de estructuras de muros estructurales destinadas para un Centro Educativo ubicado en la ciudad de La Libertad. Se contrastan varios aspectos importantes, como los períodos de vibración, el porcentaje de masa participativa, el espectro de diseño, la deformación y diversas fuerzas, tales como la fuerza cortante basal estática y dinámica, además de las fuerzas máximas de diseño, como el momento flector, el cortante y la fuerza axial.

Utilizando el software Etabs v.20 para modelar las estructuras, se observaron variaciones significativas en los resultados al aplicar las normas según el año del 2003 y 2018. Es relevante señalar que la normativa de 2018 produce resultados intermedios en cuanto a los períodos modales para ambas estructuras, tanto en el análisis estático como en el dinámico. En síntesis, se demuestra que las modificaciones en la normativa tienen una influencia notable en el diseño y la respuesta sísmica de las estructuras, especialmente en aquellas con irregularidades, y es fundamental tener en cuenta estos aspectos al llevar a cabo análisis y diseño estructural.

Palabras clave: Diseño sismorresistente; Análisis dinámico; Periodos de vibración; Espectro de diseño

(*) Autor de correspondencia.

¹ Maestro en Ingeniería Civil. Universidad Nacional Intercultural de la Selva Central “Juan Santos Atahualpa” (Perú), mrupay@uniscjsa.edu.pe, ORCID iD: <https://orcid.org/0000-0002-7891-1838>

² Maestro en Ingeniería Civil. Universidad Nacional Intercultural de la Selva Central “Juan Santos Atahualpa” (Perú), rparra@uniscjsa.edu.pe, ORCID iD: <https://orcid.org/0000-0002-3564-4637>

³ Maestro en Ingeniería Civil. Universidad Nacional del Centro del Perú (Perú), jlopez@uniscjsa.edu.pe, ORCID iD: <https://orcid.org/0009-0008-8216-4928>

Summary. - *The comparative analysis focuses on investigating the discrepancies between the E.030 regulations of 2003 and 2018 in relation to anti-seismic design. This study is carried out in the context of structural wall structures intended for an Educational Center located in the city of La Libertad. Several important aspects are contrasted, such as vibration periods, percentage of participating mass, design spectrum, deformation and various forces, such as static and dynamic basal shear force, in addition to maximum design forces, such as moment bending, shear and axial force.*

Using the Etabs v.20 software to model the structures, significant variations in the results were observed when applying the standards according to the year 2003 and 2018. It is relevant to note that the 2018 regulations produce intermediate results in terms of modal periods for both. structures, both in static and dynamic analysis. In summary, it is shown that changes in regulations have a notable influence on the design and seismic response of structures, especially those with irregularities, and it is essential to take these aspects into account when carrying out structural analysis and design.

Keywords: *Seismic-resistant design; Dynamic analysis; Vibration periods; Design spectrum*

Resumo. - *A análise comparativa centra-se na investigação das discrepâncias entre os regulamentos E.030 de 2003 e 2018 em relação ao design anti-sísmico. Este estudo é realizado no contexto de estruturas estruturais de parede destinadas a um Centro Educacional localizado na cidade de La Libertad. Vários aspectos importantes são contrastados, como períodos de vibração, porcentagem de massa participante, espectro de projeto, deformação e forças diversas, como força cortante basal estática e dinâmica, além de forças máximas de projeto, como momento fletor, cisalhante e força axial.*

Utilizando o software Etabs v.20 para modelar as estruturas, foram observadas variações significativas nos resultados ao aplicar as normas de acordo com o ano de 2003 e 2018. É relevante notar que a regulamentação de 2018 produz resultados intermediários em termos de períodos modais para ambos. estruturas, tanto em análise estática como dinâmica. Em resumo, mostra-se que as alterações na regulamentação têm uma influência notável no dimensionamento e na resposta sísmica das estruturas, especialmente aquelas com irregularidades, sendo essencial ter estes aspectos em consideração na realização da análise e dimensionamento estrutural.

Palavras-chave: *Design resistente a sismos; análise dinâmica; Períodos de vibração; Espectro de design*

1. Introducción. - El análisis sísmico equivale a una inspección minuciosa que se efectúa en una estructura para garantizar que esté erigida de forma que pueda resistir terremotos, conforme a las directrices establecidas en la normativa de Diseño Sismorresistente E.030 (2003 y 2018).

La norma peruana E.030 de diseño sismorresistente ha sido actualizada a lo largo del tiempo por diversos motivos, comenzando con su primera versión en 1970, que incorporaba experiencias de terremotos significativos desde 1940 hasta 2001, y luego la actualización del comité Visión 2000 que llevó a la norma de 2003 [1]. Estas actualizaciones se extendieron hasta las ediciones de 2016 y 2018, donde, mediante análisis numéricos, se estableció un nuevo mapa de riesgo sísmico en contraste con el vigente hasta la fecha de 2003. Según [2], Lima, la capital del Perú, presenta una mayor probabilidad de experimentar un sismo de gran magnitud, lo que justifica que las actualizaciones de la norma E.030 sigan en constante investigación, abarcando aspectos de zonificación, estructuración, seguridad y economía. En esta investigación se realiza la comparación de dos normativas relevantes, considerando las normas [3] y [4]. También se examinará cómo varía el análisis de estructuras regulares conforme a los tres periodos autorizados por la normativa, mientras que para las estructuras irregulares se evaluará la diferencia en el análisis estático, dado que la normativa no lo admite.

Primero, se verifica que el edificio sea lo suficientemente rígido para soportar las sacudidas de un terremoto. Esto implica comprobar que no se doblará o colapsará fácilmente durante un evento sísmico. Luego, se calculan las fuerzas que se generarían dentro de las partes del edificio durante un terremoto. Estas fuerzas son como los empujones y tirones que experimentarían las diferentes partes del edificio debido a la sacudida sísmica. Con esta información [5], los ingenieros pueden diseñar cada parte del edificio para resistir estas fuerzas, asegurando así que el edificio permanezca en pie y seguro.

Por último, se determina cómo separar el edificio de otros edificios cercanos en caso de un terremoto. Esto es importante para evitar que los edificios se dañen mutuamente si se mueven durante el terremoto.

El estudio se realiza mediante un software específico denominado ETABS V.20, que organiza la estructura del edificio en tres ejes (X, Y, Z), pero da prioridad a los ejes X e Y como los más significativos para el análisis sísmico. Este enfoque se denomina análisis pseudotridimensional.

2. Parámetros de edificación. -

2.1. Factor de Zona “Z”. - Es esencial reconocer los principales factores sísmicos que influyen en las fuerzas de diseño, considerando las modificaciones presentes en las regulaciones de diseño sísmico E.030 de 2003 y 2018. Estos parámetros son elementos clave que influyen en la forma en que se calculan las fuerzas que un terremoto ejerce sobre un edificio o estructura. Algunos de estos factores podrían abarcar la localización geográfica del emplazamiento de construcción, el historial de actividad sísmica en la zona, la categorización de los tipos de suelo locales, así como la intensidad y la frecuencia anticipada de los terremotos, entre otros aspectos.

NORMA 2003		NORMA 2018		VARIACIÓN
Zona	Z (g)	Zona	Z (g)	V(%)
3	0.40	4	0.45	11.12
2	0.30	3	0.35	11.12
1	0.15	2	0.25	11.12
		1	0.10	11.12

Fuente: Elaboración Propia.

Tabla I. Factor de Zonificación.

2.2 Condiciones Geotécnicas: Factor “S”, Factor “TP” y Factor TL. - En las ediciones de la normativa de 2016 y 2018, se añadió una nueva variable denominada TL, que indica [6] el inicio de la zona espectral con un desplazamiento constante.

En el área de La Libertad, se registró una reducción en los coeficientes de suelo S, específicamente para los terrenos catalogados como blandos o de baja calidad. Sin embargo, para los suelos característicos de La Libertad, que son suelos

blandos (designados como S3), no hubo modificaciones en el factor S según las normativas del 2018. Para estos suelos S3, la norma (2018) asigna un factor S de 1.10. Además, los períodos cortos y largos para estos suelos son constantes en todas las normativas, siendo TP = 1.0 segundos y TL = 1.6 segundos.

NORMA 2003		NORMA 2018		VARIACIÓN
Zona	Suelo	Zona	Suelo	V (%)
3	S ₃	4	S ₃	-
	1.40		1.10	21.43
T_p	T_L	T_p	T_L	-
0.90	-	1.00	1.60	10.00

Tabla II. Factores de Condiciones Geotécnicas
Fuente: Elaboración Propia.

2.3 Coeficiente de Amplificación Sísmica “C”. - Las normativas sísmicas suelen actualizarse para considerar estos elementos. En la Tabla 3 se presentan las modificaciones y las nuevas consideraciones que deben tenerse en cuenta conforme a las regulaciones revisadas. Uno de los cambios notables está vinculado al período de vibración natural de la estructura, que representa el tiempo necesario para que la vibración complete un ciclo completo. Este período tiene un impacto directo en el factor C.

NORMA 2003		NORMA 2018		VARIACIÓN
Condiciones	C	Condiciones	C	V (%)
C ≤ 2.5	2.5 $\left(\frac{T_p}{T}\right)$	$T < T_p$	2.5	10.00
		$T_p < T < T_L$	2.5 $\left(\frac{T_p}{T}\right)$	100.00
		$T > T_L$	2.5 $\left(\frac{T_p \times T_L}{T^2}\right)$	100.00

Fuente: Elaboración Propia.
Tabla III. Factor de Amplificación Sísmica.

2.4 Factor de Uso “U”. - El valor del factor de importancia U permanece invariable en U=1.5, ya que se asigna a estructuras consideradas esenciales, clasificadas dentro de la categoría A2. Sin embargo, el coeficiente de reducción R, que influye en la consideración de la resistencia sísmica de una estructura en su diseño, puede variar dependiendo de la normativa y el tipo de estructura. En las normativas más recientes, como las de 2018, se han introducido nuevas consideraciones sobre las características estructurales que pueden influir en la capacidad de resistir terremotos. Esto incluye la forma en que se diseñan y construyen diferentes tipos de estructuras, como los pórticos, así como las irregularidades que pueden presentar en altura (Ia) y en planta (Ip).

NORMA 2003 Y 2018		VARIACIÓN
Categoría	Factor U	V (%)
A	1.5	-
B	1.3	-
C	1.0	-
D	(*)	-

Fuente: Elaboración Propia.
Tabla IV. Factor de Importancia

2.5 Sistema Estructura y Coeficiente Básico de Reducción de la Fuerza Sísmica “Ro”. - El coeficiente básico de reducción R_o se mantiene constante para los muros estructurales en $R_o = 6$, lo que significa que no ha habido cambios significativos en cómo se considera la resistencia de este tipo de estructuras en las últimas actualizaciones de la normativa.

Sin embargo, las irregularidades en altura y en planta han sido objeto de cambios en las normativas más recientes, como se detalla en la Tabla 5. Estas modificaciones indican un conocimiento más profundo sobre cómo ciertos aspectos del diseño pueden influir en la capacidad de una estructura para soportar terremotos.

NORMA 2003 y 2018	VARIACIÓN	
	R_o	V (%)
Sistema Estr.		
Pórticos	8.00	-
Dual	7.00	-
Muros Estructurales	6.00	-
Muros Ductilidad Limitada	4.00	-

Fuente: Elaboración Propia.

Tabla V. Irregularidades en Planta y en Altura

2.6 Coeficiente de Reducción de la Fuerza Sísmica “R”. - Este coeficiente "R" experimenta variaciones según el tipo de sistema estructural principal presente en la dirección donde se lleva a cabo el análisis. Esta cantidad se calcula considerando cuánta resistencia sería ideal para que la estructura se comporte elásticamente, es decir, sin sufrir daños permanentes. Sin embargo, esta cantidad ideal se ajusta mediante el factor "R", que tiene en cuenta el tipo de sistema estructural utilizado en la construcción. Dicho de otra manera, el factor "R" modifica la cantidad de resistencia necesaria dependiendo de la eficacia del sistema estructural para resistir fuerzas laterales.

El coeficiente ajustado refleja cómo las características específicas de la edificación pueden influir en su capacidad para resistir las fuerzas sísmicas.

$$E. 030 (2003) \rightarrow R = 1$$

$$E. 030 (2018) \rightarrow R = R_o \times I_a \times I_p$$

2.7. Regularidad Estructural. - Previo a llevar a cabo un análisis sísmico de una estructura, es esencial evaluar si la misma puede ser clasificada como regular o irregular, siguiendo las directrices establecidas en la normativa. Esta clasificación tiene un efecto directo en el coeficiente "R", el cual es fundamental para evaluar la capacidad de la estructura para resistir las fuerzas sísmicas. La tabla proporciona pautas concretas para esta clasificación, lo que simplifica la selección del enfoque apropiado para el análisis y diseño sísmico de la estructura.

Para cumplir con las regulaciones establecidas la [7], menciona que en el artículo N°22 de la normativa actual NTE E.030 y determinar los procedimientos de análisis, es necesario clasificar las estructuras en categorías de regulares o irregulares.

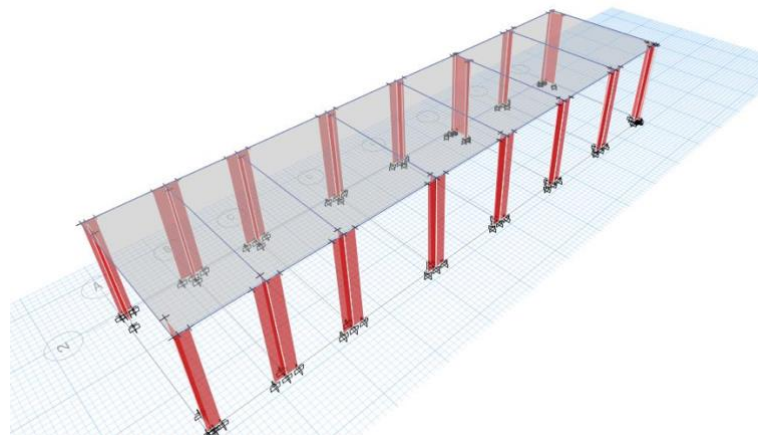


Figura I. Dimensiones de las esquinas entrantes. Fuente: Elaboración Propia.

Según [7], nos comenta que las estructuras identificadas como irregulares son aquellas que exhiben una o más de las condiciones enumeradas en la Tabla N°8 y Tabla N°9 de la normativa NTE E.030. Si una estructura presenta cualquiera de las irregularidades enumeradas en las tablas de la normativa, se considera irregular y se deben realizar evaluaciones específicas para determinar cómo estas irregularidades afectan su capacidad para resistir fuerzas sísmicas. Esto implica verificar y clasificar cada irregularidad para calcular los coeficientes correspondientes que ayudarán a ajustar los factores de diseño y asegurar que la estructura sea segura ante eventos sísmicos.

Inicialmente, en esta investigación se considerará que la edificación analizada es regular. Después de modelar la estructura, [7] se examinarán las posibles irregularidades, como la irregularidad de piso blando, la irregularidad extrema de rigidez, la irregularidad torsional y la irregularidad torsional extrema.

2.8. Modelo Estructural de Análisis. - Se empleó el software ETABS Versión 20 para llevar a cabo el análisis sísmico del edificio. Este programa permite realizar un análisis pseudotridimensional, lo que implica simular el comportamiento tridimensional del edificio mediante un enfoque simplificado. En este análisis, el software modela los muros y los pórticos planos como elementos estructurales interconectados, en los cuales las losas funcionan como diafragmas rígidos que vinculan estos elementos.

Esta característica posibilita la distribución de los desplazamientos entre los diversos elementos estructurales en cada dirección de análisis, lo cual optimiza la concordancia de los desplazamientos y ofrece una representación más exacta del comportamiento sísmico del edificio.

Se optó por usar elementos [8] de tipo "Frame" para modelar las vigas y columnas del edificio, mientras que se emplearon elementos de tipo "Wall" para los muros estructurales. Estos elementos están diseñados para soportar diferentes tipos de cargas, como corte, flexión y fuerzas axiales, características típicas de las estructuras de concreto armado.

Es esencial emplear conexiones rígidas al modelar los nodos del edificio para garantizar su adecuada representación. Estas conexiones rígidas, conocidas como brazos rígidos, funcionan como vínculos entre los elementos estructurales, asegurando la estabilidad del sistema. Siguiendo las recomendaciones del programa, [7] se ha establecido un factor de 0.5 para la opción "Factor de zona rígida".

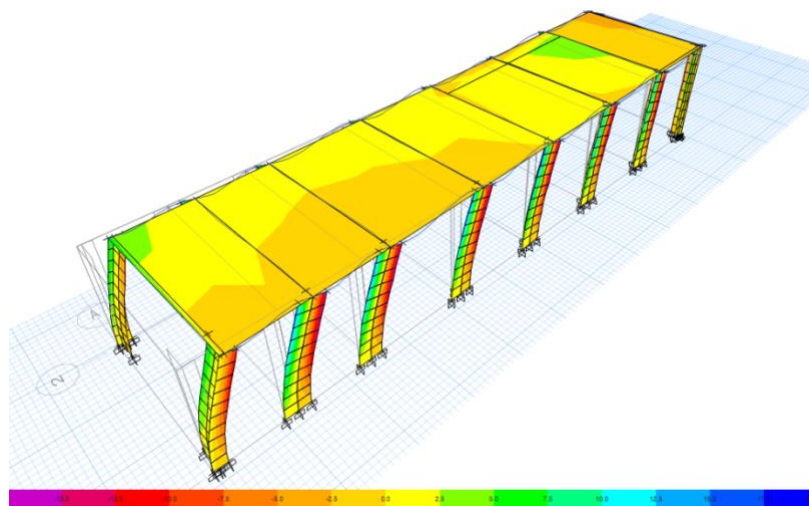
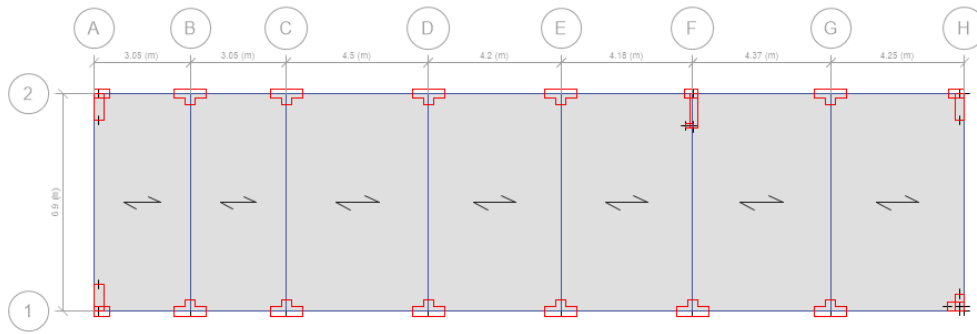


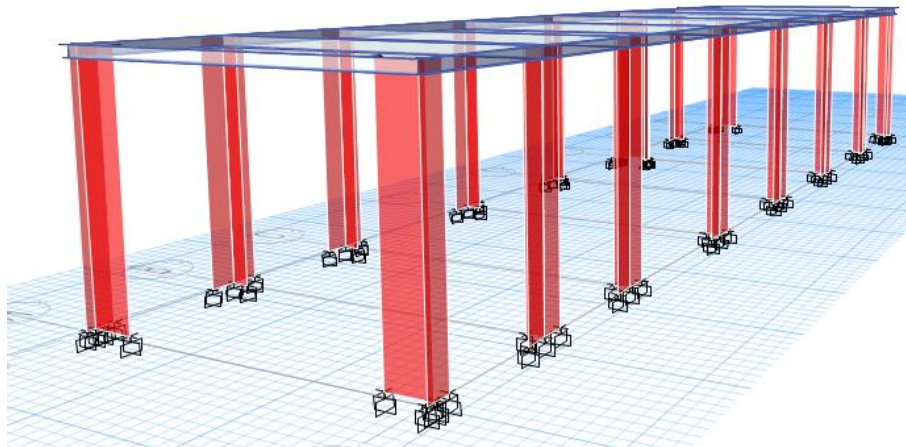
Figura II. Modelamiento en el ETABS V.20 empleando la Norma E.030 (2003)

Fuente: Elaboración Propia.



Fuente: Elaboración Propia.

Figura III. Modelo Estructural en Planta del Proyecto (ETABS V.20)



Fuente: Elaboración Propia.

Figura IV. Modelo Estructural en 3D con la Norma E.030 (20018)

2.8.1 Incertidumbres en modelos estructural de análisis. - En la aplicación de normativas de diseño sísmico es necesario el empleo de modelos de análisis sísmico de estructuras. En lo que sigue se comentan incertidumbres existentes en estos modelos, relacionadas con valores que se emplean para el módulo de elasticidad del concreto, y valores de momentos de inercia en elementos estructurales, propiedades que influyen de manera relevante en los periodos de vibrar de la estructura, y por tanto en la respuesta de ésta ante sismos. Adicionalmente se comentan incertidumbres que existen en el cómputo de la respuesta sísmica de estructuras irregulares, así como se muestran limitaciones del análisis modal convencional.

Variabilidad del módulo de Elasticidad del concreto. - El módulo de elasticidad del concreto es un parámetro relevante en el cómputo de demandas sísmicas en estructuras, ya que interviene de manera importante en la rigidez lateral de una estructura, y por tanto en los periodos de vibrar de ésta, relacionados directamente con los valores de demandas sísmicas especificadas en los espectros de diseño. Esto sugiere la necesidad de evaluar resultados de procedimientos existentes en normativas para el cómputo del módulo de elasticidad del concreto y comparar estos resultados con resultados experimentales.

Análisis sísmico en edificaciones irregulares. - Las estructuras irregulares se caracterizan por amplifican las demandas sísmicas en ellas, las que no se pueden conocer de manera confiable con procedimientos de análisis sísmicos elásticos comunes que se emplean en la práctica. Esto implica que es deseable limitar el empleo de estructuras irregulares, e incluso prohibirlas en zonas de alta sismicidad y en estructuras importantes, como se muestra en la tabla N°10 de la norma vigente E.030 de 2018.

2.9. Análisis dinámico por combinación espectral. - De acuerdo con [7], menciona que las regulaciones establecidas en la Norma E.030 actual, el método utilizado para evaluar un edificio puede ser aplicado de manera general a cualquier tipo de estructura. Por ejemplo, en este caso, el análisis dinámico puede ser llevado a cabo utilizando diversas técnicas, como la combinación espectral o el análisis de registro de tiempo. En esencia, se simula cómo respondería la estructura ante diferentes niveles de fuerzas sísmicas en un intervalo específico de frecuencias.

Utilizar un espectro inelástico significa que se tiene en cuenta la posibilidad de que la estructura experimente deformaciones plásticas durante un evento sísmico. Esto ofrece una descripción más precisa de cómo la estructura responde ante los terremotos.

PARÁMETROS SÍSMICOS		
Z	0.45	<i>Pacanga- Chepén- La Libertad</i>
U	1.5	<i>Educación-A2</i>
C	2.5	
S	1.10	<i>EMS</i>
Tp	1.0	<i>EMS</i>
TL	1.6	<i>EMS</i>
Rx	6.0	<i>Muros Estructurales (Regular)</i>
Ry	6.0	<i>Muros Estructurales (Regular)</i>

Tabla VI. Parámetros sísmicos. Fuente: Elaboración Propia.

Norma E.030 (2003)			Norma E.030 (2018)		
T (seg)	C	Sai	T (seg)	C	Sai
0.00	2.500	0.3500	0.00	2.500	0.3094
0.10	2.500	0.3500	0.20	2.500	0.3094
0.20	2.500	0.3500	0.40	2.500	0.3094
0.30	2.500	0.3500	0.60	2.500	0.3094
0.40	2.500	0.3500	0.80	2.500	0.3094
0.50	2.500	0.3500	1.00	2.500	0.3094
0.60	2.500	0.3500	1.40	1.786	0.2210
0.70	2.500	0.3500	1.80	1.235	0.1528
0.80	2.500	0.3500	2.20	0.826	0.1023
0.90	2.500	0.3500	2.60	0.592	0.0732
1.00	0.541	0.3150	3.00	0.444	0.0550
1.20	0.457	0.2625	3.50	0.327	0.0404
1.50	0.364	0.2100	4.00	0.250	0.0309
1.70	0.254	0.1853	4.50	0.198	0.0244
2.00	0.189	0.1575	5.00	0.160	0.0198
2.50	0.154	0.1260	6.00	0.111	0.0138
3.00	0.105	0.1050	7.00	0.082	0.0101
3.50	0.086	0.0900	8.00	0.063	0.0077
4.00	0.063	0.0788	9.00	0.049	0.0061

Tabla VII. Valores de C y Sai de la Norma E.030 del 2003 y 2018. Fuente: Elaboración Propia.

Este espectro se ha elaborado utilizando los parámetros sísmicos recomendados en el Estudio de Microzonificación Sísmica (EMS), así como las disposiciones establecidas en las normativas E-030 (2003 y 2018).

El espectro de diseño es una representación gráfica que muestra cómo varía la respuesta de la estructura ante diferentes frecuencias de excitación sísmica. Está basado en factores como la aceleración máxima esperada, la duración del movimiento sísmico y otros parámetros relevantes que se obtienen del EMS y de la normativa E-030.

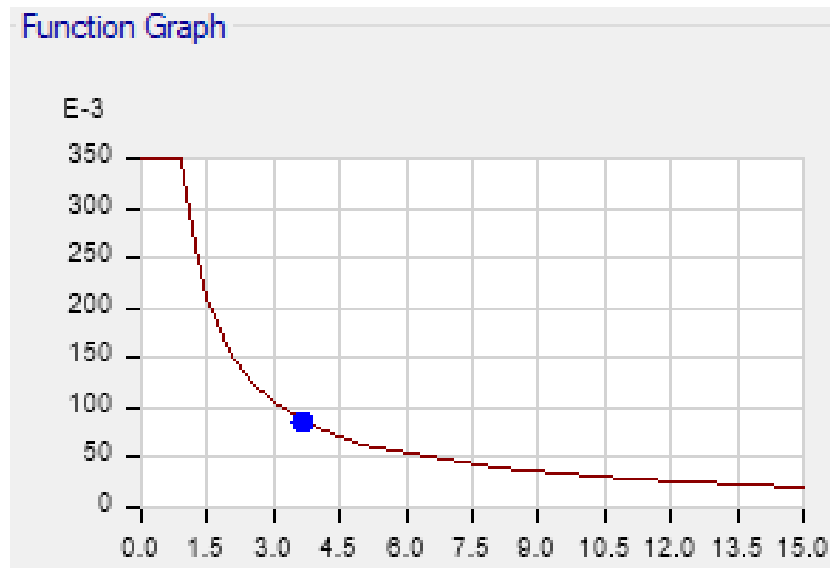


Figura V. Análisis Dinámico por Combinación Espectral según la Norma E.030 (2003)
Fuente: Elaboración Propia.

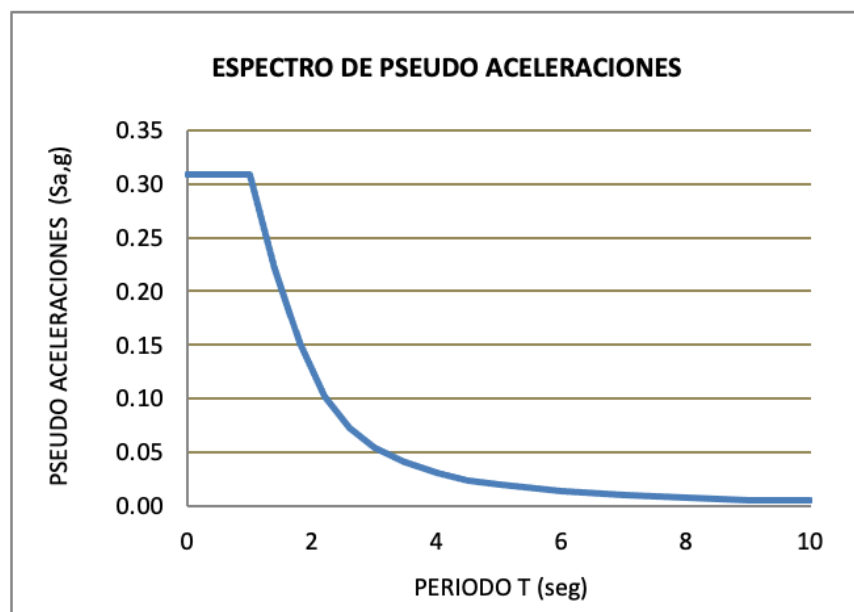


Figura VI. Análisis Dinámico por Combinación Espectral según la Norma E.030 (2018)
Fuente: Elaboración Propia.

2.10. Modos y periodos. - Se determino los mods de vibración de la estructura. Debido a que cada nivel posee 3 grados de libertad y hay 1 piso, en total se generan 3 modos de vibración (ver Tabla VIII).

Mode	Period sec	Frequency cyc/sec	CircFreq rad/sec	Eigenvalue rad ² /sec ²
1	0.152	6.57	41.282	1704.1994
2	0.121	8.235	51.7398	2677.012
3	0.119	8.432	52.9799	2806.8671
4	0.054	18.382	115.4999	13340.2158
5	0.029	34.929	219.4632	48164.1117
6	0.027	37.337	234.594	55034.3462
7	0.019	53.288	334.8183	112103.3253
8	0.015	65.5	411.5458	169369.9449
9	0.015	66.996	420.9482	177197.3641
10	0.014	70.713	444.3032	197405.3017
11	0.013	76.02	477.6448	228144.5225
12	0.013	76.984	483.7073	233972.7929

SpecCase	ModalCase	Mode	Period sec
SISMO X	Modal	1	0.152
SISMO X	Modal	2	0.121
SISMO X	Modal	3	0.119
SISMO X	Modal	4	0.054
SISMO X	Modal	5	0.029
SISMO X	Modal	6	0.027
SISMO X	Modal	7	0.019
SISMO X	Modal	8	0.015
SISMO X	Modal	9	0.015
SISMO X	Modal	10	0.014
SISMO X	Modal	11	0.013
SISMO X	Modal	12	0.013

SpecCase	ModalCase	Mode	Period sec
SISMO Y	Modal	1	0.152
SISMO Y	Modal	2	0.121
SISMO Y	Modal	3	0.119
SISMO Y	Modal	4	0.054
SISMO Y	Modal	5	0.029
SISMO Y	Modal	6	0.027
SISMO Y	Modal	7	0.019
SISMO Y	Modal	8	0.015
SISMO Y	Modal	9	0.015
SISMO Y	Modal	10	0.014
SISMO Y	Modal	11	0.013
SISMO Y	Modal	12	0.013

Fuente: Elaboración Propia.

Tabla VIII. Resultado de los Periodos y Modos según la Norma E.030 (2003)

En la dirección Y-Y, el primer modo de vibración posee un período de 0.152 segundos y representa el 99.52% de la masa participativa. En la dirección X-X, el tercer modo de vibración exhibe una masa participativa del 93.68%, con un período de 0.119 segundos.

Case	Mode	Period sec	UX	UY	UZ	SumUX	SumUY	SumUZ	RX
Modal	1	0.152	0.001	0.9952	0	0.001	0.9952	0	0.9952
Modal	2	0.121	0.0621	3.841E-05	0	0.0631	0.9952	0	3.841E-05
Modal	3	0.119	0.9368	0.001	0	0.9999	0.9962	0	0.001
Modal	4	0.054	0.0001	0.0036	0	0.9999	0.9998	0	0.0036
Modal	5	0.029	1.027E-05	0.0002	0	0.9999	1	0	0.0002
Modal	6	0.027	0.0001	1.217E-05	0	1	1	0	1.217E-05
Modal	7	0.019	1.509E-06	4.88E-06	0	1	1	0	4.88E-06
Modal	8	0.015	1.161E-06	5.354E-07	0	1	1	0	5.354E-07
Modal	9	0.015	0	4.687E-06	0	1	1	0	4.687E-06
Modal	10	0.014	1.614E-06	0	0	1	1	0	0
Modal	11	0.013	0	3.59E-06	0	1	1	0	3.59E-06
Modal	12	0.013	1.441E-06	0	0	1	1	0	0

Figura VII. Factores de Dirección Modal según la Norma E.030 (2018)

Fuente: Elaboración Propia.

Durante los análisis llevados a cabo, se determinó que los tres primeros modos de vibración de la estructura abarcan prácticamente toda la masa involucrada en el movimiento. Esto implica que estos modos reflejan de manera efectiva el movimiento de la mayor parte de la masa de la estructura durante un evento sísmico.

En la dirección X, el modo de vibración principal es el modo 2, el cual explica el 96.23% de la masa que participa en el movimiento. Esto sugiere que la mayor parte del movimiento sísmico en la dirección horizontal X está dominado por las características de vibración asociadas con el segundo modo.

Modo	Periodo	Ux	Uy	Rz
1	0.154	0.0044	0.9946	0.0006
2	0.126	0.9623	0.005	0.0348
3	0.118	0.0334	0.0004	0.9646
Sumatoria (%)		100.00	100.00	100.00

Tabla IX. Resultado de los Periodos y Modos según la Norma E.030 (2018)

Fuente: Elaboración Propia.

Por otro lado, en la dirección Y, el modo de vibración principal es el modo 1, el cual explica el 99.46% de la masa que participa en el movimiento.

Case	Periodo (T)	UX	%X	UY	%Y
Modo 1	0.411	0.0004	0.04%	0.6508	65.1%
Modo 2	0.429	0.7265	72.65%	0.0004	0.04%

Tabla X. Resultado de los Periodos y Modos según la Tesis de Análisis y diseño estructural sismo resistente de un centro comercial de 5 niveles ubicado en Trujillo – La Libertad

Como se puede tener en cuenta que según, [9] la tesis titulada “Análisis y diseño estructural sismo resistente de un centro comercial de 5 niveles ubicado en Trujillo – La Libertad” se toma mucha importancia los dos primeros modos ya que presentan la mayor masa participativo.

La suma de masa participativa en el contexto de la vibración de un edificio se refiere a cómo las diferentes masas del edificio (como paredes, pisos y techos) contribuyen a su comportamiento vibracional bajo ciertas condiciones. A través de estos modos, proporciona una comprensión integral de su comportamiento dinámico, lo que es fundamental para su diseño y seguridad.

- ✓ **Análisis de Seguridad:** Comprender todos los modos de vibración es esencial para el diseño y la evaluación de la seguridad estructural, especialmente en zonas sísmicas o con vientos fuertes.
- ✓ **Optimización del Diseño:** La representación de estos modos permite a los ingenieros optimizar la masa y la rigidez del edificio, mejorando su rendimiento y reduciendo costos.
- ✓ **Adaptación a Cargas Reales:** Al tener en cuenta múltiples modos de vibración, se puede anticipar cómo el edificio reaccionará a diferentes tipos de cargas, asegurando que se mantenga funcional y seguro en diversas condiciones.

2.11. Control de desplazamiento laterales. - Según [7] las directrices actuales de la normativa NTE 2018 E.030, para estructuras regulares, los desplazamientos laterales se calcularán multiplicando por 0.75R, y en el caso de estructuras irregulares, se empleará el valor de R sin ningún ajuste.

En esta situación, al suponer en primera instancia que la estructura es regular, se emplea el coeficiente de 0.75R, el cual se incorpora en el programa ETABS. Esto se realiza con el propósito de obtener directamente los desplazamientos inelásticos de la estructura.

La Norma Peruana fija un límite para el mayor desplazamiento relativo entre pisos en edificaciones de Concreto Armado. Los valores máximos de deriva en las direcciones X-X e Y-Y se detallan en la tabla 10.

X-X	NORMA 2003			NORMA 2018			VARIACIÓN
	X	Y	Z	X	Y	Z	V (%)
DIRECCIÓN							
Traducción (m)	0.000087	0.000030	0.000011	0.001251	0.000095	0.000007	65.94
Rotación (rad)	0.000009	0.000018	0.000002	0.000024	0.000292	0.000008	77.11
Derivas	0.000019	0.000006	-	0.000269	0.000020		76.47

Fuente: Elaboración Propia.

Tabla XI. Resultados de Desplazamientos Laterales según la Norma E.030 en el Eje X-X

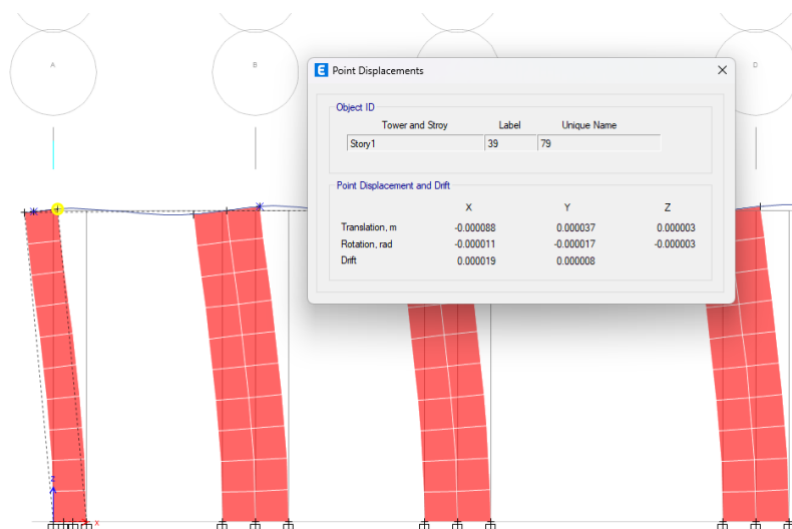
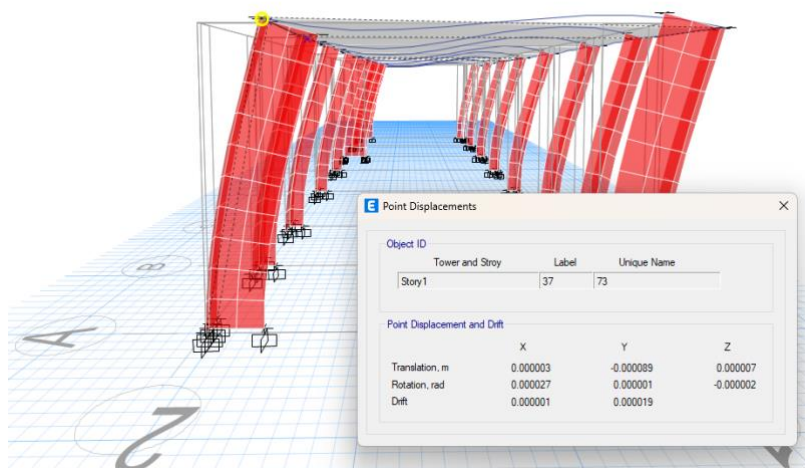


Figura VIII. Puntos de Desplazamiento en el Etabs v.20 en el Eje X-X. Fuente: Elaboración Propia.

Y-Y DIRECCIÓN	NORMA 2003			NORMA 2018			VARIACIÓN
	X	Y	Z	X	Y	Z	V (%)
Translación (m)	0.000003	0.000089	0.000007	0.000204	0.002125	0.008308	98.09
Rotación (rad)	0.000027	0.000001	0.000002	0.000584	0.000040	0.000025	94.96
Derivas	0.000001	0.000019	-	0.000044	0.000457		96.79

Fuente: Elaboración Propia.

Tabla XII. Resultados de Desplazamientos Laterales según la Norma E.030 en el Eje Y-Y



Fuente: Elaboración Propia.

Figura IX. Puntos de Desplazamiento en el Etabs v.20 en el Eje Y-Y.

Desplazamiento Máximo y Desplazamientos Relativos de Entrepiso según La Norma E.030 (2018)

Eje X-X

El desplazamiento relativo es de 0.0012, lo que indica que el primer nivel se ha desplazado respecto al nivel superior una cantidad equivalente a 0.0012 veces la altura del entrepiso. Para entender mejor este desplazamiento, es importante tener en cuenta que se trata de una deriva inelástica. Esto significa que se ha considerado la deformación plástica en la estructura, lo que indica que la estructura ha experimentado cierto grado de deformación permanente durante el evento sísmico.

NIVEL	CASO SISMICO	DERIVA ELASTICA	DERIVA INELASTICA (0.75R)
PISO 1	Dxx Max	0.000270	0.0012

NIVEL	CASO SISMICO	Desplaz. Abs. Máx. (cm)	Desplaz. Relativ. Máx. (cm)
PISO 1	Dxx Max	0.13	0.03

Fuente: Elaboración Propia.

Tabla XIII. Desplazamiento Máximo y Desplazamientos Relativos en el Eje X-X

En esta situación, el cálculo arroja una deriva inelástica de 0.0012, la cual es inferior al límite máximo aceptado para estructuras de concreto armado, fijado en 0.0070.

El desplazamiento máximo relativo de entrepiso, que es una medida precisa del movimiento entre dos niveles consecutivos, se fija en 0.03 cm. Este valor representa la cantidad de movimiento experimentado por el nivel inferior en relación con el nivel superior. En el nivel inferior, el desplazamiento máximo relativo de entrepiso es de 0.0012, lo

que indica una deriva inelástica dentro de los límites permitidos por la normativa para estructuras de concreto armado. Por lo tanto, el desplazamiento real entre niveles adyacentes es de 0.03 cm.

Eje Y-Y

En este caso, la deriva inelástica asociada a este desplazamiento es de 0.0021, indicando la cantidad de deformación permanente sufrida por la estructura durante un evento sísmico.

Es relevante destacar que este valor de 0.0021 para la deriva inelástica es inferior al límite máximo permitido para estructuras de concreto armado, establecido en 0.0070. Esto implica que la estructura cumple con los criterios de la normativa respecto a los desplazamientos máximos relativos entre pisos, ya que la deformación plástica se mantiene dentro de los límites establecidos.

NIVEL	CASO SISMICO	DERIVA ELASTICA	DERIVA INELASTICA (0.75R)
PISO 1	Dyy Max	0.000457	0.0021

NIVEL	CASO SISMICO	Desplaz. Abs. Máx. (cm)	Desplaz. Relativ. Máx. (cm)
PISO 1	Dyy Max	0.21	0.05

Fuente: Elaboración Propia.

Tabla XIV. Desplazamiento Máximo y Desplazamientos Relativos en el Eje Y-Y

El desplazamiento máximo relativo de entrepiso, que corresponde al movimiento real entre dos niveles adyacentes, se establece en 0.05 cm. Este valor representa la magnitud del movimiento experimentado por el primer nivel en comparación con el nivel superior. En el primer nivel, el desplazamiento máximo relativo de entrepiso es de 0.0021. El desplazamiento real entre niveles adyacentes es de 0.05 cm.

3. Discusión de Resultados. -

3.1. Cortante de diseño. - Según lo estipulado en la normativa actualizada NTE E.030 (2018), en cada dirección de análisis, la fuerza cortante en el edificio debe ser al menos el 80% del valor calculado por el método estático para estructuras regulares y no menos del 90% para estructuras irregulares. Si la fuerza cortante derivada del análisis dinámico es inferior a estos porcentajes, se requiere aumentarla para cumplir con los mínimos especificados.

3.2. Cortante Estática (Ve). - En la dirección X-X:

E.030	Dirección	Periodo	C	C/R	V estática (Tn)	80% V estática (Tn)	Variación (%)
2003	x-x	0.152	2.5	0.42	2.7806	2.22448	94.27
2018		0.154	2.5	0.42	48.5312	38.8250	

Fuente: Elaboración Propia.

Tabla XV. Cuadro comparativo de las Cortantes Estático en el Eje X-X

En la dirección Y-Y:

E.030	Dirección	Periodo	C	C/R	V estática (Tn)	80% V estática (Tn)	Variación (%)
2003	y-y	0.119	2.5	0.42	1.7401	1.39208	96.43
2018		0.118	2.5	0.42	48.7141	38.9713	

Fuente: Elaboración Propia.

Tabla XVI. Cuadro comparativo de las Cortantes Estático en el Eje Y-Y

Story	Output Case	Case Type	Step Type	Step Number	Step Label	Location	P tonf	VX tonf	VY tonf
Story1	Dead	LinStatic				Top	64.4407	0	0
Story1	Dead	LinStatic				Bottom	137.0548	0	0
Story1	Modal	LinModEigen	Mode	1		Top	0	0.055	1.7401
Story1	Modal	LinModEigen	Mode	1		Bottom	0	0.055	1.7401
Story1	Modal	LinModEigen	Mode	2		Top	0	-0.6826	0.017
Story1	Modal	LinModEigen	Mode	2		Bottom	0	-0.6826	0.017
Story1	Modal	LinModEigen	Mode	3		Top	0	2.7806	-0.09
Story1	Modal	LinModEigen	Mode	3		Bottom	0	2.7806	-0.09
Story1	Modal	LinModEigen	Mode	4		Top	0	0.0977	0.8212
Story1	Modal	LinModEigen	Mode	4		Bottom	0	0.0977	0.8212
Story1	Modal	LinModEigen	Mode	5		Top	0	-0.158	0.616
Story1	Modal	LinModEigen	Mode	5		Bottom	0	-0.158	0.616
Story1	Modal	LinModEigen	Mode	6		Top	0	-0.4942	-0.1965
Story1	Modal	LinModEigen	Mode	6		Bottom	0	-0.4942	-0.1965
Story1	Modal	LinModEigen	Mode	7		Top	0	-0.1409	0.2535

Figura X. Historia de Fuerzas para determinar el cortante Estático en Etabs V.20

Fuente: Elaboración Propia.

3.3. Cortante Dinámica (Vdin). - La fuerza de corte dinámica en la base del edificio se calculó mediante un análisis dinámico combinado con la superposición modal.

E.030	Dirección	V dinámica (Tn)	80% V estática (Tn)	Variación (%)
2003	X-X	35.1194	2.22448	26.69
2018		47.9054	38.8250	

E.030	Dirección	V dinámica (Tn)	80% V estática (Tn)	Variación (%)
2003	Y-Y	35.0996	1.39208	27.40
2018		48.3481	38.9713	

Fuente: Elaboración Propia.

Tabla XVII. Cuadro comparativo de las Cortantes Dinámico en el Eje X-X, Y-Y.

En la dirección X-X, se requiere aumentar las fuerzas en un 26.69%, mientras que en la dirección Y-Y el incremento será del 27.40%, según se detalla en la Tabla XVI.

Output Case	Case Type	Step Type	Step Number	Step Label	Location	P tonf	VX tonf	VY tonf	T tonf-m
Modal	LinModEigen	Mode	8		Top	0	-0.1868	0.1268	7.1763
Modal	LinModEigen	Mode	8		Bottom	0	-0.1868	0.1268	7.1763
Modal	LinModEigen	Mode	9		Top	0	0.0347	0.3927	7.8671
Modal	LinModEigen	Mode	9		Bottom	0	0.0347	0.3927	7.8671
Modal	LinModEigen	Mode	10		Top	0	0.2567	0.1006	-6.039
Modal	LinModEigen	Mode	10		Bottom	0	0.2567	0.1006	-6.039
Modal	LinModEigen	Mode	11		Top	0	0.1024	-0.4425	-13.4157
Modal	LinModEigen	Mode	11		Bottom	0	0.1024	-0.4425	-13.4157
Modal	LinModEigen	Mode	12		Top	0	0.2874	-0.0082	-10.3231
Modal	LinModEigen	Mode	12		Bottom	0	0.2874	-0.0082	-10.3231
SISMO X	LinRespSpec	Max			Top	0	35.1194	9.8654	981.9013
SISMO X	LinRespSpec	Max			Bottom	0	35.1194	9.8654	981.9013
SISMO Y	LinRespSpec	Max			Top	0	9.8708	35.0996	524.286
SISMO Y	LinRespSpec	Max			Bottom	0	9.8708	35.0996	524.286

Figura XI. Historia de Fuerzas para determinar el cortante Dinámico en Etabs V.20

Fuente: Elaboración Propia.

3.4. Verificación del Coeficiente de Reducción de la Fuerza Sísmica “R”. - La configuración de la estructura consiste en muros estructurales en ambas orientaciones. Sin embargo, es necesario confirmar esta suposición inicial mediante el análisis del porcentaje de cortante basal que incide en los muros y los pórticos.

Dirección X-X	Norma E.030 (2003)		Norma E.030 (2018)	
	V (ton)	%	V (ton)	%
Placas	33.3749	95.03	42.5308	88.78
Columnas	1.7445	4.97	5.3746	11.22
Total	35.1194	100.00	47.9054	100.00

Dirección Y-Y	Norma E.030 (2003)		Norma E.030 (2018)	
	V (ton)	%	V (ton)	%
Placas	34.2032	97.45	43.6968	90.38
Columnas	0.8964	2.55	4.6513	9.62
Total	35.0996	100.00	48.3481	100.00

Fuente: Elaboración Propia.

Tabla XVIII. Coeficiente de Reducción de la Fuerza Sísmica “R” según la Norma E.030

4. Conclusiones. - Este estudio emplea métodos aproximados para el cómputo de demandas de distorsiones de entrepiso en edificios regulares con diferentes estructuraciones sometidos a acciones sísmicas. Se consideró edificio con sistema estructural regular.

Se concluye que en el análisis sísmico aplicando la norma E.030-2018 en una edificación ubicada en la ciudad de La Libertad, influye significativamente en la resistencia de la edificación en comparación con la norma E.030-2008, esto debido a la diferencia de los parámetros sísmicos para un análisis dinámico espectral y estático, el cual se determina en función del cortante basal e irregularidad estructural. Una estructura tiene un mejor comportamiento sísmico cuando su configuración es regular ya que, las distorsiones relativas inelásticas están en función del factor de reducción, como ha sido el caso de la muestra estudiada.

La inclusión del término TL en el factor de amplificación sísmica (C) en la normativa E.030-2018 marca un avance significativo en el diseño sísmico de edificaciones, al considerar de manera más precisa las características estructurales y sísmicas de los edificios, especialmente aquellos con periodos largos. Este cambio refleja un esfuerzo por mejorar la seguridad y la resiliencia de las construcciones ante eventos sísmicos, lo que resulta en una normativa más completa y actualizada en comparación con la versión anterior.

Control de Desplazamiento Laterales

Para la Dirección X:

- **Traslación (X):** Se observa un aumento considerable en la traslación en la dirección X bajo la norma de 2018 en comparación con la norma de 2003, con una variación porcentual del 65.94%. Esto sugiere que la estructura está experimentando una mayor demanda de desplazamiento horizontal en la dirección X bajo la norma actualizada.
- **Rotación (X):** También se registra un aumento significativo en la rotación en la dirección X bajo la norma de 2018 en comparación con la norma de 2003. Este aumento en la rotación indica una mayor demanda en la capacidad de la estructura para resistir fuerzas de torsión inducidas por el sismo.
- **Derivas (X):** No se proporciona un valor específico para las derivas en la dirección X bajo la norma de 2018. Sin embargo, bajo la norma de 2003, se observa un valor de deriva que indica una demanda en la capacidad de deformación de la estructura en esa dirección.

Para la Dirección Y:

- Traslación (Y): Se observa un aumento aún más significativo en la traslación en la dirección Y bajo la norma de 2018 en comparación con la norma de 2003, con una variación porcentual del 98.09%. Esto indica una mayor demanda de desplazamiento vertical en la dirección Y bajo la norma actualizada.
- Rotación (Y): Al igual que en la dirección X, también se registra un aumento considerable en la rotación en la dirección Y bajo la norma de 2018 en comparación con la norma de 2003. Esto sugiere una mayor demanda en la capacidad de la estructura para resistir fuerzas de torsión en esa dirección.

La Cortante Basal en Ambos ejes

Para la Dirección X-X:

- Se observa un aumento significativo en la fuerza cortante estática (V estática) para la norma de 2018 en comparación con la norma de 2003. Este aumento se refleja en el valor calculado de V estática para 2018, que es 48.5312, en comparación con 35.1194 para 2003.
- La variación porcentual indica un aumento del 27.63% en la fuerza cortante estática entre las dos normas.
- Este aumento puede sugerir una mayor demanda en la resistencia de la estructura en la dirección X-X bajo la norma de 2018, lo que podría traducirse en una necesidad de diseño y construcción más robustos para cumplir con los nuevos estándares de seguridad sísmica.

Para la Dirección Y-Y:

- En esta dirección, se observa una disminución en la fuerza cortante estática (V estática) para la norma de 2018 en comparación con la norma de 2003. El valor calculado de V estática para 2018 es 28.0797, en comparación con 35.0996 para 2003.
- La variación porcentual indica una disminución del 27.95% en la fuerza cortante estática entre las dos normas.
- Esta disminución puede sugerir que la estructura experimentaría una menor demanda de resistencia en la dirección Y-Y bajo la norma de 2018 en comparación con la norma de 2003.

5. Recomendaciones. - Se recomienda que, para el diseño de edificios, debe estar orientado hacia el uso de configuraciones arquitectónicas y estructurales regulares, de tal forma, que se eviten efectos como la torsión, o como los mecanismos de fallo típicos de “esquina entrante”. Estos efectos distorsionan por completo la respuesta de los edificios y reducen drásticamente su capacidad para disipar energía, aumentando su fragilidad y probabilidad de colapso.

Para el análisis sismorresistente se debe recomendar que las derivas dadas por el RNE E0.30 (2018) sean menores a las que demande, puesto que el territorio del Perú está expuesto a presentarse movimientos sísmicos en cualquier momento y la edificación tiene que tener la rigidez necesaria para poder contrarrestar este problema.

Referencias

- [1] J. Yopez, «“Desempeño sísmico de edificaciones esenciales”,» Propues.Vis. 2000, vol. 65, pp. 65-86, 1996.
- [2] C. & C. a. H. Tavera, «“ÁREAS PROBABLES DE RUPTURA SÍSMICA EN EL BORDE OCCIDENTAL DEL PERÚ, A PARTIR DE LA VARIACIÓN DEL PARÁMETRO ‘b’,»,» Soc. Geol. del Perú SGP., vol. 36, n° 1997, pp. 23-36, 2006.
- [3] N.T.E, «“Norma técnica de edificación”,» SENCICO, pp. 1-45, 2003.
- [4] R.N.E, «“RM-355-2018-VIVIENDA”,» SENCICO, 2018.
- [5] L. Z. C. B. a. S. D. S. L. S. Hampshire De C. Santos, «“Comparative Study of Codes for Seismic Design of Structures”,» Math. Model. Civ., vol. 9, n° 1, pp. 1-12, 2013.
- [6] D. L. C. A. R. R. Y. R. Jorge Eduardo, «ANÁLISIS COMPARATIVO DEL DISEÑO ESTRUCTURAL DE UNA EDIFICACIÓN REGULAR E IRREGULAR DE,» de ANÁLISIS COMPARATIVO DEL DISEÑO ESTRUCTURAL DE UNA EDIFICACIÓN REGULAR E IRREGULAR DE, Lima, Revista Gaceta Técnica., 2021, p. 24.
- [7] M. H. G. M. S. D. León Ingaruca, «PUCP,» de Comparación estructural y económica de edificio de 7 pisos ante cambio de la norma E.030 diseño sismorresistente, Lima, PUCP, 2018, p. 91.
- [8] E. R. Mejía Ruiz y H. O. Tintaya Landeo, «EVALUACIÓN DEL DESEMPEÑO SÍSMICO MEDIANTE UN ANÁLISIS ESTÁTICO NO LINEAL DE UNA EDIFICACIÓN ESENCIAL DESTINADA A SERVICIOS DE SALUD EN LA CIUDAD DE LIMA,» de EVALUACIÓN DEL DESEMPEÑO SÍSMICO MEDIANTE UN ANÁLISIS ESTÁTICO NO LINEAL DE UNA EDIFICACIÓN ESENCIAL DESTINADA A SERVICIOS DE SALUD EN LA CIUDAD DE LIMA, Lima, Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas (UPC), 2024, pp. 65-89.
- [9] Gonzales Hualpa, Teobaldo Santiago y Reyes Lazo, Erick Ferrer, «Análisis y diseño estructural sísmo resistente de un centro comercial de 5 niveles ubicado en Trujillo – La Libertad,» de Análisis y diseño estructural sísmo resistente de un centro comercial de 5 niveles ubicado en Trujillo – La Libertad, Trujillo, Reposorio de la UCV, 2022.

Nota contribución de los autores:

1. Concepción y diseño del estudio
2. Adquisición de datos
3. Análisis de datos
4. Discusión de los resultados
5. Redacción del manuscrito
6. Aprobación de la versión final del manuscrito

MJRV ha contribuido en: 1, 2, 3, 4, 5 y 6.

RRPL ha contribuido en: 1, 2, 3, 4, 5 y 6.

JSLY ha contribuido en: 1, 2, 3, 4, 5 y 6.

Nota de aceptación: Este artículo fue aprobado por los editores de la revista Dr. Rafael Sotelo y Mag. Ing. Fernando A. Hernández Goberti.