



Propuesta de Aislamiento para Mampostería de Bloques de Concreto en Pórticos de Hormigón Armado

Proposal for Concrete Block Masonry Insulation in Reinforced Concrete Frames

Chalco Erick | Universidad Central del Ecuador, Ecuador/Miracielo S.A. (Ecuador)

Viera Paulina | Universidad Central del Ecuador (Ecuador)/Universidad Politécnica de Valencia (España)

ARTICLE HISTORY

Received: 21/12/2022

Accepted: 08/05/2023

PALABRAS CLAVE

Aislación, daño, mampostería, pórticos, sismos, vulnerabilidad, estructuras, edificaciones, Ecuador, no lineal.

KEY WORDS

Isolation, damage, masonry, frame, earthquakes, vulnerability, structures, buildings, Ecuador, nonlinear.

RESUMEN

Ecuador se ubica en el Cinturón de Fuego del Pacífico, donde ocurre el 90% de la actividad sísmica del planeta. Por esta razón las edificaciones aporricadas que se construyen localmente son muy vulnerables a sufrir daños en sus elementos. A esto se suma el hecho de que constructivamente se suele integrar la mampostería a los pórticos, lo que determina un cambio en el comportamiento estructural previsto en el diseño. Este trabajo de investigación tiene como objetivo proponer una forma de aislar la mampostería, en base de la determinación del desplazamiento relativo «deriva» y los desplazamientos máximos que va a soportar la edificación a partir de la obtención de su «punto de desempeño» y el análisis estructural «no lineal». Con esto se espera, aportar criterios que sirvan para que diseñadores y constructores los integren a su trabajo y se minimicen las afectaciones en las edificaciones por sismos.

ABSTRACT

Ecuador is located in the Pacific Ring of Fire where 90% of the seismic activity of the planet occurs. For this reason, framed buildings that are built locally are very vulnerable to damage to their elements. Added to this is the fact that the masonry is usually integrated into the frames constructively, which determines a change in the structural behavior foreseen in the design. This research work aims to propose a way to isolate the masonry, based on the determination of the relative displacement «Drift» and the maximum displacements that the building will support from obtaining its «Performance Point» and the «Nonlinear» structural analysis. With this, it is expected to provide criteria that help designers and builders integrate them into their work and minimize effects on buildings due to earthquakes.

I. INTRODUCCIÓN

Ecuador es un país con alta peligrosidad sísmica [1]. Su legislación de construcción incorpora criterios de diseño sismorresistente. Sin embargo, según el Colegio de Arquitectos del Ecuador (CAE), el 60% de las construcciones del país son informales [2]. Es decir, no cuentan con estudios arquitectónicos ni estructurales. Las edificaciones que han obtenido una aprobación de estudios técnicos para su construcción no cuentan con fiscalización

adecuada en obra, que garantice la calidad de la construcción [3].

En el sismo del 16 de abril de 2016 (Ecuador), la gran mayoría de estructuras de la ciudad de Portoviejo fueron afectadas [4]. Algunas de estas edificaciones poseían estudios estructurales como es el caso de la Mutualista Pichincha, edificio IESS de Manta, hotel el Gato, entre otras [4].

Tras el mencionado evento sísmico, una de las principales causas de colapso fue la formación de «columna corta», producida por la mampostería que se construye integrada a los pórticos [4].

Al respecto de este tema, hay varias investigaciones que exponen la necesidad de evitar este comportamiento estructural [4], [5].

Se ha demostrado que, ante una carga sísmica, la ductilidad de un pórtico sin mampostería es el 31% mayor a la del mismo pórtico con mampostería. Es decir, tiene una mayor capacidad de desplazamiento en el «rango inelástico» [6].

El análisis de los daños que soporta una edificación se enfoca en los desplazamientos de esta en el «rango inelástico», y se lo realiza mediante la «curva de capacidad» y los «niveles de desempeño» de la estructura [7], [8].

El sistema estructural más utilizado en Ecuador, es un entramado espacial formado por pórticos [9]. La mampostería al ser integrada a los pórticos restringe el normal movimiento de estos y limita su capacidad de deformación [10].

Este trabajo propone un aislamiento de la mampostería a los pórticos [11]. Basándose en el desplazamiento que puede tener la estructura ante una amenaza sísmica.

Para ello se analizan dos edificaciones de 3 y 6 pisos. Estas alturas son las más comunes en edificaciones del país [12].

2. MÉTODO

Las edificaciones analizadas fueron diseñadas para que su «nivel de desempeño» llegue a «seguridad de vida» como indica la normativa NEC-SE-DS [1].

Luego, se procedió a realizar el modelamiento de la mampostería mediante dos procesos: «Paulay y Priestley» y «FEMA 356». Estos métodos se basan en incorporar la mampostería como una «diagonal equivalente» [13], unida a los pórticos (ver Figura 1).

La figura 1, explica los parámetros que se utilizan para determinar la «diagonal equivalente» y su «ancho equivalente» Estos se basan en las características geométricas de los pórticos: H , h , L_v , L y θ . Donde, teta es el ángulo que se forma por la diagonal. El ancho «a», es el ancho de la diagonal y su espesor es el ancho del bloque. Así como también, las propiedades de la mampostería como son: «módulo de elasticidad (E_m)» y «resistencia a la compresión (f'_m)» [4].

Posteriormente, se procede a realizar una evaluación de la estructura con la mampostería y se determina si se modifica el «nivel de desempeño» inicialmente obtenido. Así como también, los parámetros «modales».

A partir de los datos obtenidos, se propone una forma de aislamiento de la mampostería a los pórticos a nivel constructivo. Enfocándose en los desplazamientos a nivel «modal» y «no lineal» que va a tener la estructura. Para así llegar a un desplazamiento objetivo, y que la mampostería no afecte a la respuesta estructural inicialmente planteada.

La figura 2, muestra la forma esquemática del proceso realizado para el diseño de las edificaciones establecidas, obtención de desplazamientos y propuesta de aislamiento de la mampostería en función de los resultados obtenidos (ver Figura 2).

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 DESCRIPCIÓN DE LAS EDIFICACIONES

Las edificaciones poseen irregularidades en planta y elevación. Son de uso residencial. Se ubican en la ciudad de Quito en la parroquia de Calderón (Figuras 3 a, b, c y 4 a, b, c).

Están emplazadas sobre un perfil de suelo tipo D. Se evalúan con la incorporación de la mampostería según el plano arquitectónico.

ANÁLISIS MODAL - EDIFICACIÓN DE 3 PISOS

Para determinar el «análisis modal» se requiere de las secciones de los elementos estructurales, como indica la tabla 1. Estas secciones se obtienen de un predimensionamiento. Posteriormente, las secciones obtenidas se analizan en un software de análisis estructural y dimensionamiento de edificios (ver Tabla 1).

El «espectro sísmico» es inherente al sitio donde se va a construir la obra, al tipo de suelo y forma de la edificación. La tabla 2 indica todos los parámetros sísmicos para la obtención del «porcentaje de carga reactiva» que interviene en el «análisis modal» y «no lineal» (ver Tabla 2).

Los «resultados modales» están basados en los parámetros que delimita la normativa NEC-SE-DS, 2015 [1].

La tabla 3, indica los parámetros esenciales que se deben verificar, son: período de vibración de la estructura, modos de vibración, derivas, efectos $P \Delta$ y cortante basal estático y dinámico. Esto para que la edificación cumpla con criterios de sismorresistencia a nivel global (ver Tabla 3).

ANÁLISIS NO LINEAL - EDIFICACIÓN DE 3 PISOS

El «análisis no lineal» o también llamado «pushover», indica el desempeño que va a tener la estructura en fun-

Tabla 1.
Dimensiones de elementos estructurales - edificaciones de 3 y 6 pisos

Elementos:	Dimensiones		Unidad
	3 pisos	6 pisos	
Viga tipo 1	25x35	35x50	cm
	ρ_b (ro balanceado)	2,17%	-
	\emptyset (diámetro varilla) (+) y (-)	16	mm
Ductilidad	As (-) (área de acero negativo)	8,0384	cm ²
	ρ (cuantía negativa)	0,92%	-
	As (+) (área de acero positivo)	4,0192	cm ²
	ρ' (cuantía positiva)	0,46%	-
Viga tipo 2	-	45x55	cm
	ρ_b (ro balanceado)	-	-
	\emptyset (diámetro varilla) (+) y (-)	-	mm
Ductilidad	As (-) (área de acero negativo)	-	cm ²
	ρ (cuantía negativa)	-	-
	As (+) (área de acero positivo)	-	cm ²
	ρ' (cuantía positiva)	-	-
	Columna tipo 1	35x35	cm
	\emptyset (diámetro varilla) esquinero	18	mm
	\emptyset (diámetro varilla) longitudinal	18	mm
	# de varillas sentido "a"	3	u
Armado y Ductilidad	# de varillas sentido "p"	3	u
	\emptyset (diámetro varilla) estribo	10	mm
	Ag real (área transversal hormigón)	1225	cm ²
	As (área de acero)	20,3472	cm ²
	ρ (cuantía)	1,66%	-
	Columna tipo 2	35x40	cm
	\emptyset (diámetro varilla) esquinero	18	mm
	\emptyset (diámetro varilla) longitudinal	18	mm
	# de varillas sentido "a"	3	u
Armado y Ductilidad	# de varillas sentido "p"	3	u
	\emptyset (diámetro varilla) estribo	10	mm
	Ag real (área transversal hormigón)	1400	cm ²
	As (área de acero)	20,3472	cm ²
	ρ (cuantía)	1,45%	-
	Losa tipo 1	25	cm
	Losa tipo 2	20	cm

Tabla 2.
Espectro sísmico NEC-SE-DS, obtención del porcentaje de la carga reactiva – edificaciones de 3 y 6 pisos

Parámetro	Símbolo	Resultados	
		3 pisos	6 pisos
Zona sísmica	-	V	V
Factor Z	Z	0,4	0,4
Tipo de suelo	-	D	D
Factor de sitio:	Fa	1,2	1,2
Factor de sitio:	Fd	1,19	1,19
Factor de sitio:	Fs	1,28	1,28
Período crítico	Tc	0,7	0,7
Factor de ubicación geográfica	r	1	1
Amplificación espectral	η	2,48	2,48
Factor de importancia	I	1	1
Irregularidad en planta	$\emptyset p$	0,9	0,9
Irregularidad en elevación	$\emptyset e$	1	0,9
Factor de reducción sísmica	R	6	6
Aceleración espectral - espectro elástico	Sa	1,1904	1,1904
Porcentaje de carga reactiva	%	0,2204	0,2449

Figura 1.
Método empleado para aplicar la mampostería – FEMA 356 - Paulay y Priestley

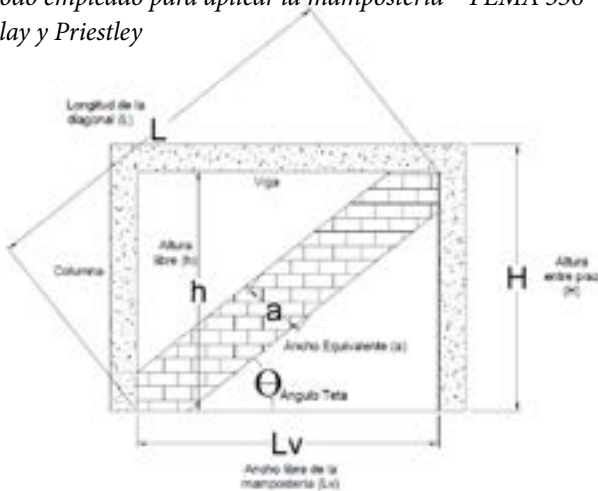


Figura 2.
Metodología planteada para el análisis de aislamiento de la mampostería a los pórticos

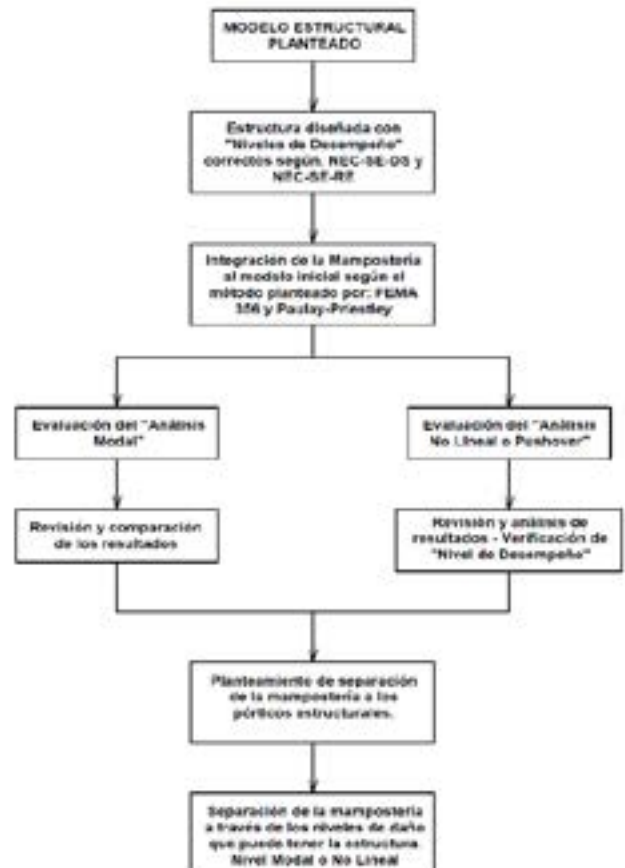


Tabla 3.

Resultados modales - edificaciones de 3 y 6 pisos

Parámetro	Símbolo	Resultados		Unidad
		3 pisos	6 pisos	
Cortante basal estático	V	70	390	T
Período de vibración	T	0,46	0,64	seg
Torsión en planta (Modo 1)	-	4	4	%
Torsión en planta (Modo 2)	-	19	4	%
Torsión en planta (Modo 3)	-	99	97	%
Deriva inelástica X	ΔM_x	1,30	1,36	%
Deriva inelástica Y	ΔM_y	1,17	1,43	%
Cortante basal dinámico X	VDx	59,23	332,66	T
Cortante basal dinámico Y	VDy	59,25	342,64	T
Torsión accidental (distorsión) X	Ux	2,09	4,98	cm
Torsión accidental (distorsión) Y	Uy	1,89	5,98	cm
Índice de estabilidad Q	Q	0,0024	0,0020	-
Efectos P delta	P Δ	NO	NO	-

Figura 3.

Edificación de 3 pisos: configuración en planta (a), configuración en elevación (b) e incorporación de la mampostería (método de puntal equivalente) (c)

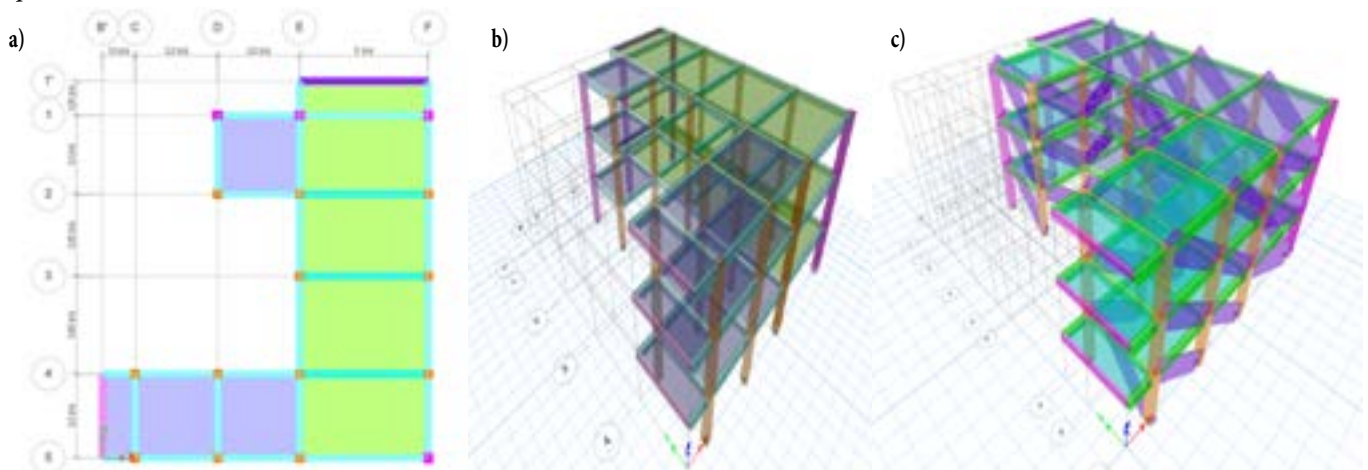
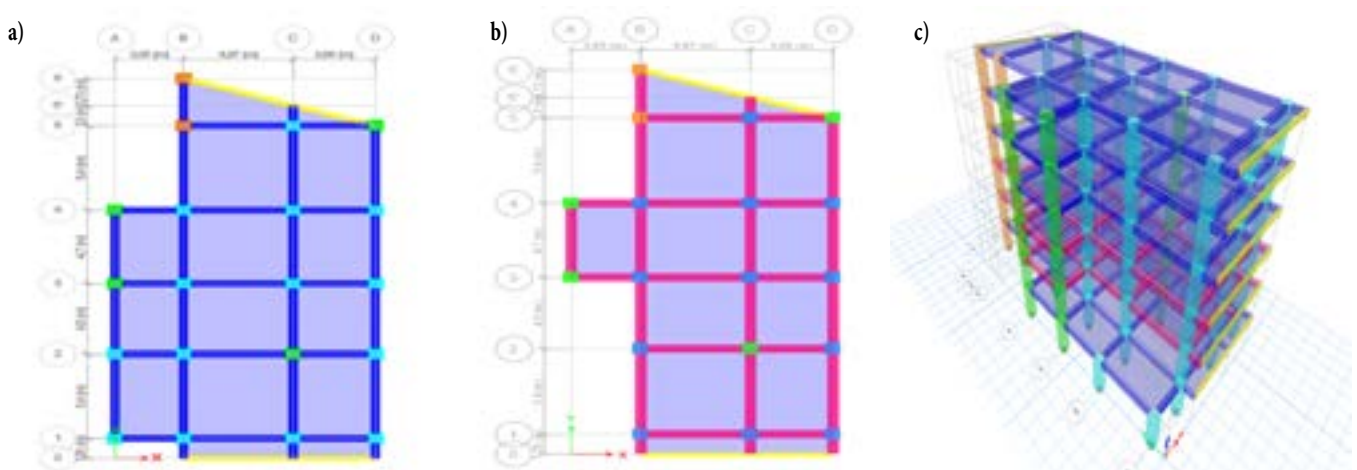


Figura 4.

Edificación de 6 pisos: configuración en planta PB (a), configuración en planta P2 a P6 (b), configuración en elevación (c) e incorporación de la mampostería (método de puntal equivalente) (d)



ción de la amenaza sísmica «sismo de diseño» [1]. Este se evidencia en el llamado «punto de desempeño» [8]. El cual se define a través de la intersección de la «curva de capacidad» y el «espectro sísmico».

Las tablas 4 y 5, indican el punto de desempeño por el método de «espectro de capacidad ATC (NTC 2008)» [14], «linealización equivalente (FEMA 440 EL)» [15] y «coeficientes de desplazamiento modificado FEMA 440 (ASCE 41-13)» (ver Tablas 4 y 5), [8].

A partir de la obtención del «punto de desempeño» se generan los «límites de aceptación» o «nivel de desempeño». Que están acorde a los criterios de ductilidad y desplazamientos [1], [16], [17].

Las figuras 5 y 6, indican los «niveles de desempeño» que posee la estructura mediante la obtención del «punto de desempeño (Pd)» por el método de «coeficientes de desplazamiento modificado FEMA 440 (ASCE 41-13)» [8].

Como se observa en la figura 5, la edificación se encuentra entre los límites de «seguridad de vida» y «prevención al colapso». De acuerdo al desplazamiento objetivo (dd importante - línea roja), obtenido del «punto de desempeño». Por tal razón la edificación está conforme a la normativa NEC-SE-DS (ver Figura 5).

Como se observa en la figura 6, la edificación se encuentra entre los límites de «seguridad de vida» y «prevención al colapso». De acuerdo al desplazamiento objetivo (línea roja), obtenido del «punto de desempeño». Por tal razón la edificación está conforme a la normativa NEC-SE-DS (ver Figura 6).

INCORPORACIÓN DE MAMPOSTERÍA, METODOLOGÍA DE PAULAY Y PRIESTLEY

La incorporación de la mampostería se basa en la formación de una «diagonal equivalente» y de su «ancho equivalente» [13].

La tabla 6, indica la formación de la «diagonal equivalente» y su «ancho equivalente». Según las dimensiones del pórtico crítico para la edificación de 3 pisos (ver Tabla 6).

3.3.2 INCORPORACIÓN DE MAMPOSTERÍA, METODOLOGÍA DE FEMA 356.

Este método se basa en la formación de un «puntal equivalente». La diferencia que existe con el de la sección 3.4, es la obtención del «ancho equivalente» [13].

Las tablas 7 y 8 indican la formación de la «diagonal equivalente» y su «ancho equivalente»; según las dimensiones del pórtico crítico para la edificación de 3 pisos (ver Tablas 7 y 8).

Las «diagonales equivalentes» obtenidas se incorporan a la estructura según el plano arquitectónico. Al considerar la mampostería a la edificación se procede a realizar

una vez más los análisis previamente realizados en los literales 3.2 y 3.3.

ANÁLISIS MODAL - EDIFICACIONES DE 3 Y 6 PISOS CON MAMPOSTERÍA (ver Tablas 9 y 10)

ANÁLISIS NO LINEAL - EDIFICACIONES DE 3 Y 6 PISOS CON MAMPOSTERÍA (ver Tablas 11 y 12)

Como indica la figura 7, la edificación se encuentra entre los límites de «ocupación inmediata» y «seguridad de vida». De acuerdo al desplazamiento objetivo (línea roja), obtenido del «punto de desempeño». Por tal razón la edificación está conforme a la normativa NEC-SE-DS (ver Figura 7).

Como indica la figura 8, la edificación se encuentra entre fuera del límite de «prevención al colapso». De acuerdo al desplazamiento objetivo (línea roja). Obtenido del «punto de desempeño». Por tal razón la edificación no cumple con la normativa NEC-SE-DS y no puede resistir la «amenaza sísmica» (ver Figura 8 y Tablas 13 y 14).

La figura 9 muestra que la edificación se encuentra entre los límites de «ocupación inmediata» y «seguridad de vida». De acuerdo al desplazamiento objetivo (línea roja), obtenido del «punto de desempeño». Por tal razón la edificación está conforme a la normativa NEC-SE-DS (ver Figura 9).

La figura 10, indica que la edificación se encuentra entre fuera del límite de «prevención al colapso». De acuerdo al desplazamiento objetivo (línea roja). Obtenido del «punto de desempeño». Por tal razón la edificación no cumple con la normativa NEC-SE-DS y no puede resistir la «amenaza sísmica» (ver Figura 10).

3.1 DISCUSIÓN

ESTRUCTURA DE 3 PISOS

La edificación de 3 pisos se diseña para llegar a un «nivel de desempeño» de «seguridad de vida» (ver Figura 5). Este diseño se justifica con los límites permitidos por la NEC-SE-DS tanto en derivas, modos de vibración, cortantes, etc. (ver Tabla 3).

Este diseño es la respuesta estructural esperada por el diseñador. No obstante, al incorporar la mampostería por el método de «Paulay y Priestley» o «FEMA 356», la respuesta estructural se modifica.

El «comportamiento modal», es afectado en sus parámetros como: cortante basal; enfocando en el incremento del mismo por el peso. Período de vibración; disminuyendo su valor por el incremento de la rigidez que proporciona la mampostería. Modos de vibración; incrementando

Tabla 4.

Punto de desempeño de la estructura por varios métodos en función de la carga «PUSH X» - edificaciones de 3 y 6 pisos

MÉTODO	CARGA PUSH X			
	3 pisos		6 pisos	
	DESPLAZAMIENTO (CM)	CORTANTE (T)	DESPLAZAMIENTO (CM)	CORTANTE (T)
ESPECTRO DE CAPACIDAD ATC 40 (NTC 2008)	10,29	219,59	26,08	315,31
LINEALIZACIÓN EQUIVALENTE (FEMA 440 EL)	11,55	223,63	25,29	311,48
COEFICIENTES DE DESPLAZAMIENTO MODIFICADO FEMA 440 (ASCE 41-13)	9,80	217,53	28,27	321,22

Tabla 5.

Punto de desempeño de la estructura por varios métodos en función de la carga «PUSH Y» - edificaciones de 3 y 6 pisos

MÉTODO	CARGA PUSH Y			
	3 pisos		6 pisos	
	DESPLAZAMIENTO (CM)	CORTANTE (T)	DESPLAZAMIENTO (CM)	CORTANTE (T)
ESPECTRO DE CAPACIDAD ATC 40 (NTC 2008)	9,22	221,31	23,35	368,75
LINEALIZACIÓN EQUIVALENTE (FEMA 440 EL)	10,31	225,11	21,74	362,49
COEFICIENTES DE DESPLAZAMIENTO	8,42	216,67	25,36	372,59

Figura 5.

Niveles de desempeño mediante carga PUSH X – edificación de 3 pisos

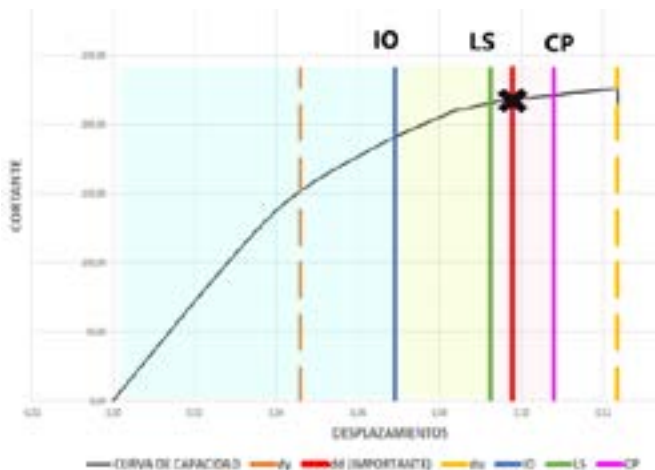
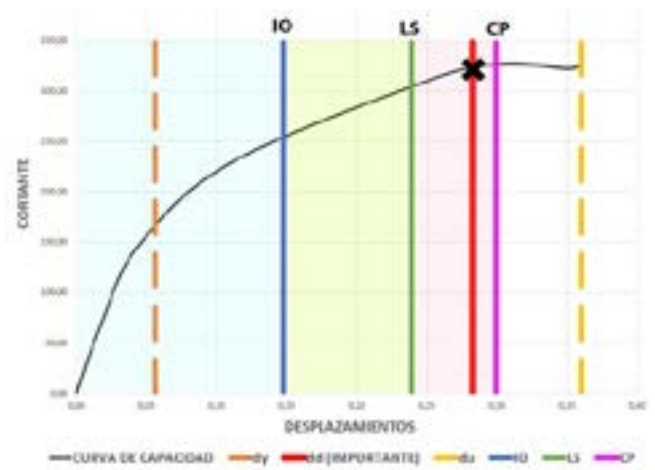


Figura 6.

Niveles de desempeño mediante carga PUSH X – edificación de 6 pisos



la torsión en los primeros 2 modos. Derivas inelásticas; disminuyendo su porcentaje por rigidez (ver Tabla 9).

Una vez comprobada la variación de la «respuesta modal», entonces se procede a revisar la respuesta «no lineal». Es decir, «punto de desempeño» y «niveles de desempeño» (ver Figuras 5, 7 y 9).

Esta modificación de la respuesta estructural se ve delimitada por el método empleado para incorporar la mampostería, ya sea «FEMA 356» o «Paulay y Priestley». Ya que estos métodos generan una «puntal equivalente» y su ancho depende del método generando más o menos rigidez.

A pesar de las modificaciones que posee la respuesta estructural a nivel «modal» y «no lineal», esta estructura mejora su capacidad global ante una excitación sísmica de diseño.

ESTRUCTURA DE 6 PISOS

La edificación de 6 pisos se diseña para llegar a un «nivel de desempeño» de «seguridad de vida» (ver Figura 6). Este diseño se justifica con los límites permitidos por la NEC-SE-DS tanto en derivas, modos de vibración, cortantes, etc. (ver Tabla 3).

Tabla 6.

Obtención del ancho equivalente –edificaciones de 3 y 6 pisos

Parámetro	Símbolo	Resultados		Unidad
		3 pisos	6 pisos	
Altura entre piso	H	270	300,6	cm
Altura libre	h	235	250,6	cm
Ancho libre de mampostería	Lv	465	470	cm
Longitud de la diagonal	L	521,01	532,64	cm
Ancho equivalente	a	130,25	133,159	cm

Tabla 8.

Obtención del ancho equivalente – edificación de 6 pisos – FEMA 356

Parámetro	Símbolo	Valor	Unidad
Resistencia a la compresión Mampostería	f'm	8,8	kg/cm ²
Módulo de elasticidad Mampostería	Em	7920	kg/cm ²
Resistencia a la compresión Hormigón armado	f'c	210	kg/cm ²
Módulo de elasticidad hormigón armado	Ec	182591	kg/cm ²
Altura entre piso	H	300,6	cm
Altura libre	h	250,6	cm
Ancho libre de mampostería	Lv	470	cm
Longitud de la diagonal	L	532,64	cm
Espesor del bloque de mampostería	t	15	cm
Ángulo teta generado por la diagonal	atan	0,49	-
	θ	28,07	rad
	sen 2θ	0,830	rad
Inercia de columnas	Ic 1	2000833	cm ⁴
	Ic 2	2000833	cm ⁴
	Ic promedio	2000833	cm ⁴
λh FEMA 356-2000	λh	0,00405	-
Ancho equivalente	a	86,15	cm

Al igual que la edificación de 3 pisos esta estructura posee modificaciones en su comportamiento. La «respuesta modal» y «no lineal» se ven afectadas en sus parámetros (ver Tabla 10 y Figuras 8 y 10).

En este caso la estructura de 6 pisos tiene un comportamiento diferente a la de 3 pisos. Los parámetros «modales» tienen relevancia pues el período de vibración aumenta en vez de disminuir. Las derivas inelásticas aumentan en vez de disminuir. Su cortante basal cambia por el incremento del peso de la estructura. Sus

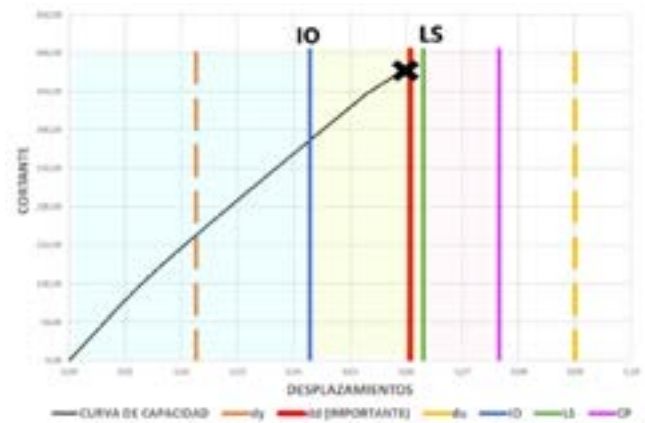
Tabla 7.

Obtención del ancho equivalente – edificación de 3 pisos – FEMA 356

Parámetro	Símbolo	Valor	Unidad
Resistencia a la compresión Mampostería	f'm	8,8	kg/cm ²
Módulo de elasticidad Mampostería	Em	7920	kg/cm ²
Resistencia a la compresión Hormigón armado	f'c	210	kg/cm ²
Módulo de elasticidad hormigón armado	Ec	182591	kg/cm ²
Altura entre piso	H	270	cm
Altura libre	h	235	cm
Ancho libre de mampostería	Lv	465	cm
Longitud de la diagonal	L	521,01	cm
Espesor del bloque de mampostería	t	15	cm
Ángulo teta generado por la diagonal	atan	0,47	-
	θ	26,81	rad
	sen 2θ	0,805	rad
Inercia de columnas	Ic 1	125052	cm ⁴
	Ic 2	186667	cm ⁴
	Ic promedio	155859	cm ⁴
λh FEMA 356-2000	λh	0,00773	-
Ancho equivalente	a	67,92	cm

Figura 7.

Niveles de desempeño mediante carga PUSH X – edificación de 3 pisos con mampostería – Paulay y Priestley



2 primeros modos de vibración tienen una alta concentración de torsión.

Al verificar la distorsión de la respuesta estructural «no lineal», la edificación no llega a un «nivel de desempeño» de «seguridad de vida», a diferencia de la edificación de 3 pisos.

Estos resultados demuestran que la mampostería independientemente del tipo de edificación (número de pisos), generan variación en su comportamiento esperado.

Tabla 9.

Resultados modales de la edificación con mampostería – edificación de 3 pisos

Parámetro	Símbolo	FEMA 356	Paulay y Priestley	Unidad
Cortante basal estático	V	70,09	76,33	T
Período de vibración	T	0,36	0,326	seg
Torsión en planta (Modo 1)	-	41	42	%
Torsión en planta (Modo 2)	-	3	8	%
Torsión en planta (Modo 3)	-	97	96	%
Deriva inelástica X	ΔMx	0,79	0,65	%
Deriva inelástica Y	ΔMy	0,73	0,63	%
Cortante basal Dinámico X	VDx	59,96	64,93	T
Cortante basal Dinámico Y	VDy	59,92	64,96	T
Índice de estabilidad Q	Q	0,0015	0,0014	-
Efectos P Δ	P Δ	NO	NO	-

Tabla 10.

Resultados modales de la edificación con mampostería – edificación de 6 pisos

Parámetro	Símbolo	FEMA 356	Paulay y Priestley	Unidad
Cortante basal estático	V	418,52	430,12	T
Período de vibración	T	0,70	0,696	seg
Torsión en planta (Modo 1)	-	6	6	%
Torsión en planta (Modo 2)	-	35	68	%
Torsión en planta (Modo 3)	-	64	33	%
Deriva inelástica X	ΔMx	1,98	1,99	%
Deriva inelástica Y	ΔMy	1,43	1,32	%
Cortante basal dinámico X	VDx	355,376	365,61	T
Cortante basal dinámico Y	VDy	355,82	365,89	T
Índice de estabilidad Q	Q	0,0029	0,0037	-
Efectos P Δ	P Δ	NO	NO	-

Figura 8.

Niveles de desempeño mediante carga PUSH X – edificación de 6 pisos con mampostería – Paulay y Priestley

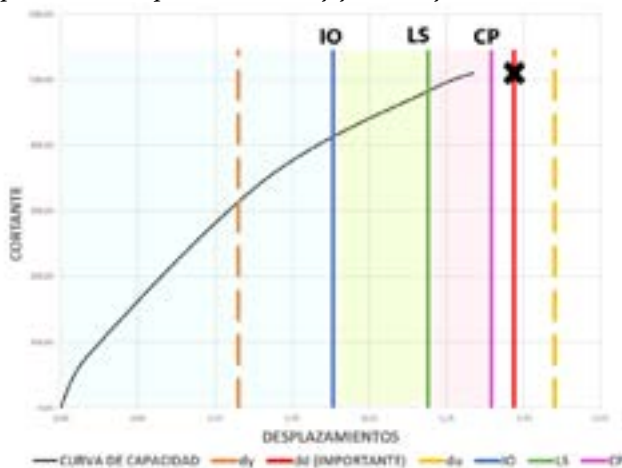


Figura 9.

Niveles de desempeño mediante carga PUSH X – edificación de 3 pisos con mampostería – FEMA 356

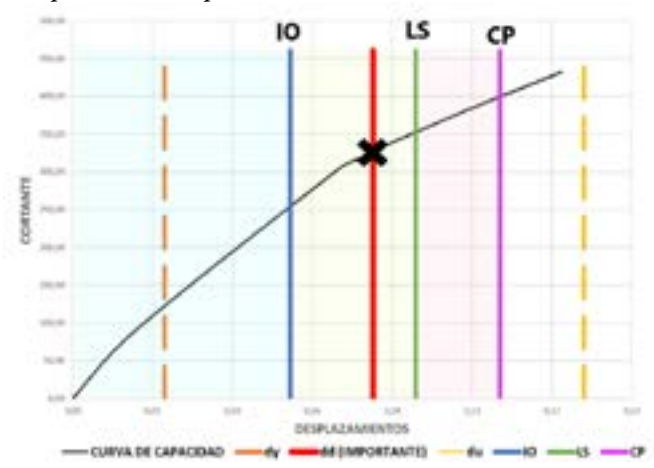


Figura 10.

Niveles de desempeño mediante carga PUSH X – edificación de 6 pisos con mampostería – FEMA 356

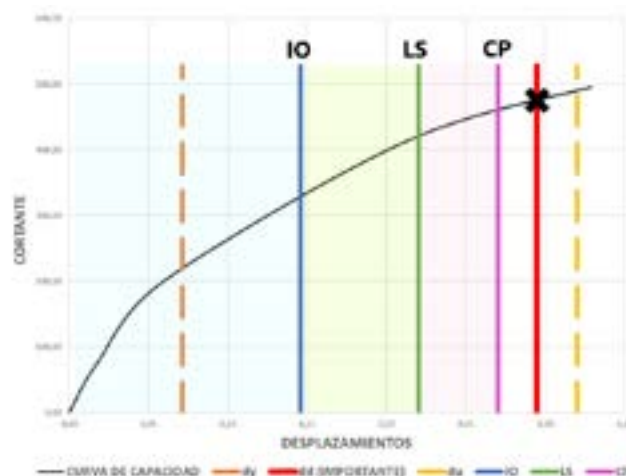


Tabla 13.

Punto de desempeño de la estructura con mampostería por varios métodos en función de la carga PUSH X - edificación de 3 y 6 pisos - método de FEMA 356

MÉTODO	CARGA PUSH X - FEMA 356			
	3 pisos		6 pisos	
	DESPLAZAMIENTO (CM)	CORTANTE (T)	DESPLAZAMIENTO (CM)	CORTANTE (T)
ESPECTRO DE CAPACIDAD ATC 40 (NTC 2008)	5,59	259,17	26,38	507,14
LINEALIZACIÓN EQUIVALENTE (FEMA 440 EL)	9,11	364,44	29,16	469,10
COEFICIENTES DE DESPLAZAMIENTO MODIFICADO FEMA 440 (ASCE 41-13)	7,52	326,58	29,52	471,61

Tabla 14.

Punto de desempeño de la estructura con mampostería por varios métodos en función de la carga PUSH Y - edificación de 3 y 6 pisos - método de FEMA 356

MÉTODO	CARGA PUSH Y - FEMA 356			
	3 pisos		6 pisos	
	DESPLAZAMIENTO (CM)	CORTANTE (T)	DESPLAZAMIENTO (CM)	CORTANTE (T)
ESPECTRO DE CAPACIDAD ATC 40 (NTC 2008)	4,43	259,99	21,20	881,01
LINEALIZACIÓN EQUIVALENTE (FEMA 440 EL)	7,83	404,48	28,12	1065,16
COEFICIENTES DE DESPLAZAMIENTO MODIFICADO FEMA 440 (ASCE 41-13)	6,19	348,54	22,56	917,07

Esto no puede ser controlado por el diseñador estructural, ya que tiene concepción en el modelo arquitectónico.

Se debe generar un aislamiento de la mampostería a los pórticos o analizar el diseño estructural desde un inicio con este tipo de material. Cabe recalcar, si el diseño estructural toma en cuenta a la mampostería, estos elementos deben ser sometidos a control de calidad y no ser modificados en el transcurso de la vida útil de la edificación.

3.2 PROPUESTA DE AISLAMIENTO

El aislamiento de la mampostería tiene como objetivo no interferir en la respuesta estructural esperada por el diseñador.

Este aislamiento se basa en la deformación que va a sufrir la estructura a partir de dos criterios. El primero se enfoca en la «deriva inelástica máxima» que va a tener la estructura. La normativa NEC-SE-DS, dispone que sea hasta el 2%.

El segundo criterio analiza el desplazamiento máximo que va a tener la estructura en el «rango no lineal», ya que va a sufrir mayores deformaciones para soportar el «sismo de diseño».

ANÁLISIS POR DEFORMACIONES CONTROLADAS (DERIVAS)

Este tipo de aislamiento parte de las características de la edificación como es su «altura de entre piso» y el porcentaje máximo de deriva que establece la NEC-SE-DS [1]. Obteniendo así un desplazamiento base que permita la movilidad libre del pórtico dentro de los límites permisibles de la «deriva máxima».

Altura de entre piso (He) = 3,06 m; edificación de 6 pisos.

Deriva máxima: 2%

Separación o aislamiento de mampostería (sm):

$$sm = 3,06 * 2\%$$

$$sm = 6,12 \text{ cm}$$

El aislamiento debe ser 3,5 cm de cada lado.

ANÁLISIS NO LINEAL

Este tipo de aislamiento se debe al máximo desplazamiento que va a tener la estructura una vez que esté sometida a la carga «PUSH», ya sea en el sentido «X» o «Y».

La figura 9 muestra el desplazamiento máximo que va a tener la estructura cuando es sometida a la carga «PUSH X», para soportar el «sismo de diseño» (ver Figura 11).

El desplazamiento máximo es de 25,8 cm en el último piso (6.º). No obstante, el resto de pisos tiene menores desplazamientos oscilando desde: 2, 7, 12, 18 y 23 cm, desde PB hasta P5, respectivamente (ver Tabla 15). Con lo cual se adoptó una media de 14,5 cm de desplazamientos.

Esta media indica que la separación de la mampostería a los pórticos debe ser de 7 cm a cada lado. Cabe recalcar que esta media de igual manera generará una leve intervención de la mampostería en la edificación al no permitir el desplazamiento estimado ante la acción sísmica de diseño.

En adición, se puede generar un aislamiento de la mampostería a los pórticos, según el nivel de piso y el desplazamiento obtenido en cada piso.

Desplazamiento medio: 14,5 cm

Separación de la mampostería (sm) = 7 cm

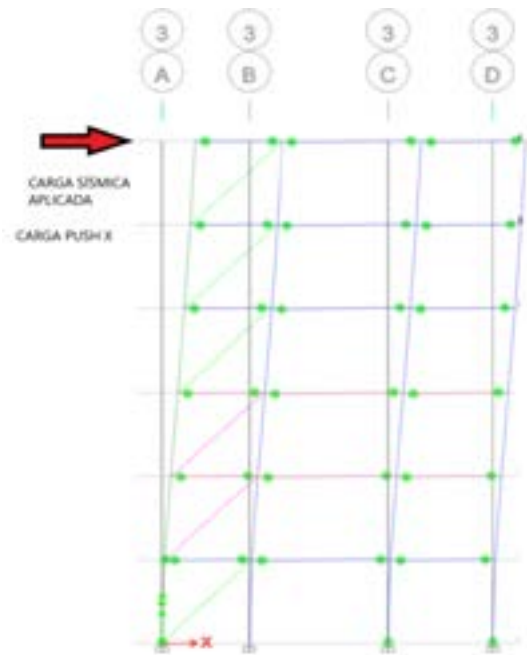
Tabla 15.

Desplazamientos generados por la carga PUSH X - edificación de 6 pisos

DESPLAZAMIENTOS	CARGA PUSH X
	DESPLAZAMIENTO UX (CM)
6TO.	25,00
5TO.	23,00
4TO.	18,00
3ER.	12,00
2DO.	7,00
PB	2,00

Figura 11.

Desplazamiento del pórtico «3», debido a la carga PUSH X - edificación de 6 pisos



El aislamiento de la mampostería debe ser 7 cm de cada lado.

La figura 12 (a) indica a detalle las características del armado de la propuesta de aislamiento de manera frontal.

La figura 12 (b) indica el detalle de manera transversal de los elementos que conforman la propuesta de aislamiento.

La separación de los pórticos con la mampostería, está rellena de un material elástico que permita su libre movimiento y ayude a cerrar los espacios libres. Ya que, por lo general, estos pórticos son perimetrales.

Las riostras verticales y horizontales ayudan a anclar a la mampostería para que esté sobre su eje. Para evitar el volcamiento de la mampostería se ancla a la «vigüeta», un par de varillas y se acoplan a la viga principal.

El acople de las varillas que impiden el volcamiento está sujeto o relleno con material epóxico.

Figura 12.

Detalle constructivo – vista frontal (a) y corte (b)

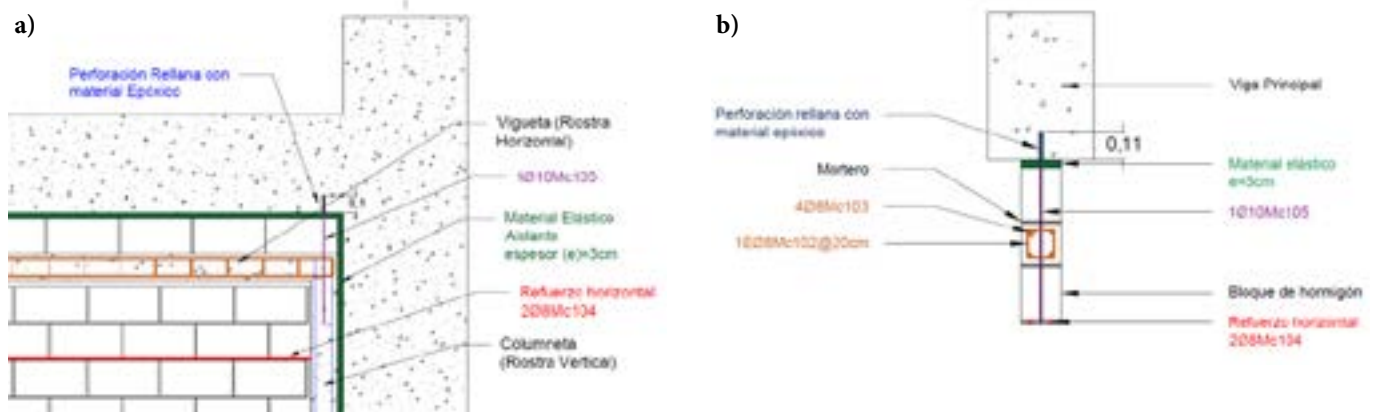
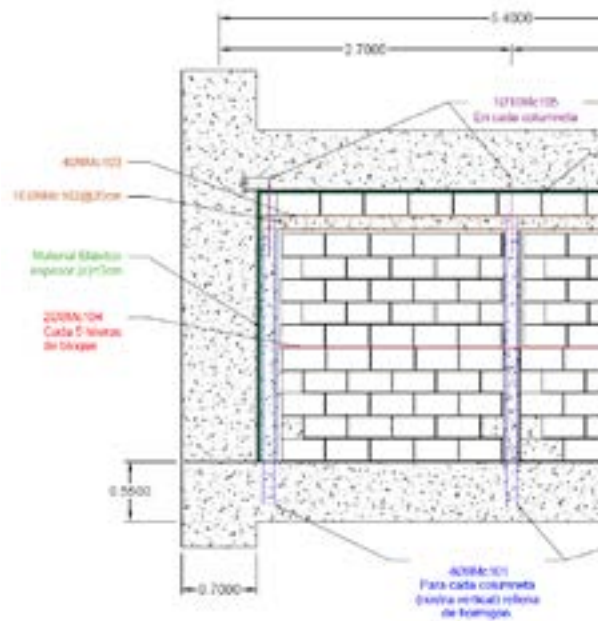


Figura 13.

Propuesta general de aislamiento de pórticos



PROPUESTA CONSTRUCTIVA DE AISLAMIENTO DEL MATERIAL (ver Figuras 12 y 13)

4. CONCLUSIONES

Los «resultados modales» de las edificaciones de 3 y 6 pisos se ven alterados cuando se evalúan a estas estructuras incorporando la mampostería a los pórticos. Esto debido a que la mampostería genera más rigidez y peso a la estructura. Los parámetros que se ven alterados por la incorporación de la mampostería (FEMA 356) a los pórticos de la edificación de 3 pisos son los siguientes: período de vibración, de 0,46 a 0,36 seg. Derivas inelásticas de 1,3 a 0,79% y de 1,17 a 0,73%, en el sentido «X» y «Y», respectivamente. Los modos de vibración, modificando el porcentaje de incidencia torsional en el primer modo de 4 a 41%.

De igual manera para la estructura de 6 pisos. Su período de vibración cambia de 0,64 a 0,7 segundos. Su deriva inelástica, de 1,36 a 1,98% en el sentido «X». Sus modos de vibración varían en el primer modo de 4 a 35% de incidencia torsional. Esto indica que las características «dinámicas o modales» se ven afectadas por la integración de la mampostería a los pórticos, debido al proceso constructivo.

Al analizar los resultados «no lineales» se observa que, en las figuras 5 y 6, las edificaciones llegan a «seguridad de vida». Al incorporar la mampostería a los pórticos estos resultados varían tanto para el método de «FEMA 356» y «Paulay-Priestley» modificando este «nivel de desempeño» inicialmente obtenido. Mejorando

su capacidad de disipación de energía en el caso de la edificación de 3 pisos y disminuyéndolo en el caso de la edificación de 6 pisos.

Los resultados obtenidos indican que la mampostería afecta al comportamiento esperado de las edificaciones. Para evitar este comportamiento se debe obviar que el proceso constructivo integre la mampostería a sus pórticos. Para ello se plantea una propuesta de aislamiento.

El aislamiento de la mampostería debe permitir el libre movimiento de los pórticos ante una excitación sísmica y no involucrar a la mampostería. Para ello se establece dos parámetros de desplazamiento a nivel «modal» y «no lineal». El desplazamiento a nivel «modal» separa a la mampostería en función de la mayor «deriva inelástica» que puede tener la edificación. Lo cual al superar los 3,5 cm de distancia se involucrará a los pórticos afectándolos en un menor grado.

Si el desplazamiento es a nivel «no lineal», entonces la distancia será la máxima que va a tener la estructura hasta llegar a su «punto de desempeño». Con la cual la mampostería no se involucrará en ningún momento con los pórticos dejando así que la estructura se comporte como en el diseño inicialmente planteado.

REFERENCIAS

- [1] Dirección de Comunicación Social MIDUVI. (2015, Junio, 29). NEC-SE-DS Peligro sísmico, diseño sismorresistente. [Online]. Available: <https://www.habitatyvivienda.gob.ec/documentos-normativos-nec-norma-ecuatori>

- ana-de-la-construccion/
- [2] CAE. (2019, Junio, 29). Proyecto piloto de reforzamiento estructural para edificaciones vulnerables frente a riesgos sísmicos. [Online]. Available: https://issuu.com/caepichincha/docs/reforzamiento_estructural
- [3] El Comercio. (2011, Junio, 29). La fiscalización protege a la obra. [Online]. Available: <https://www.elcomercio.com/tendencias/construir/fiscalizacion-protége-obra.html>
- [4] R. Poveda. «Modelación estructural del bloque 1 del centro de investigación y posgrado de la Universidad ESPE, usando mampostería tradicional y otros materiales de menor fragilidad y peso», tesis de ingeniería, ESPE, Sangolquí, 2017.
- [5] L. Viera y P. Caiza, «Modelamiento del comportamiento resistente de mamposterías con baja adherencia mortero-ladrillo», 2017. [Online]. Recuperado de https://www.researchgate.net/publication/339094205_Modelamiento_del_comportamiento_resistente_de_mamposterias_con_baja_adherencia_mortero-ladrillo
- [6] K. Lima y J. Paredes, “Estudio analítico-experimental del desempeño de un pórtico de hormigón armado con panel de relleno de bloque de baja resistencias, a través de un ensayo a carga lateral y modelo computacional”, tesis de ingeniería, EPN, Quito, 2017.
- [7] Dirección de Comunicación Social MIDUVI. (2015, Junio, 29) NEC-SE-RE, Riesgo sísmico, evaluación, rehabilitación de estructuras. [Online]. Available: <https://www.habitatyvivienda.gob.ec/documentos-normativos-nec-norma-ecuatoriana-de-la-construccion/>
- [8] ASCE 41-13, «Seismic evaluation and retrofit of existing buildings», 2013. American Society of Civil Engineers.
- [9] Dirección de Comunicación Social MIDUVI. (2015, Junio, 29). NEC-SE-HM, Estructuras de hormigón armado. [Online]. Available: <https://www.habitatyvivienda.gob.ec/documentos-normativos-nec-norma-ecuatoriana-de-la-construccion/>
- [10] P. Caiza y L. Viera, “Diseño de columnas, muros estructurales y diafragmas en hormigón armado”. Editorial ESPE, 2019. [Online]. Available: <http://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/21345/1/Dise%C3%B1o%20de%20columnas%20y%20muros%20estructurales.pdf>
- [11] T. Guevara y L. García, «El efecto de columna corta o columna cautiva», *Tecnología y Construcción*, vol. 17, n.º 1, 2001.
- [12] INEC. (2019, JUNIO, 29) *Encuesta Nacional de Edificaciones (ENED)*. [Online]. Available: https://www.ecuadorencifras.gob.ec/documentos/web-inec/Estadisticas_Economicas/Encuesta_Edificaciones/2019/3.%202019_ENED_Boletin_tecnico.pdf
- [13] R. Aguiar, *Análisis sísmico de edificios*, Sangolquí, Centro de Investigaciones Científicas, Escuela Politécnica del Ejército, 2008.
- [14] Federal Emergency Management Agency. FEMA-356. (2000, Junio, 29). Prestandar and commentary for the seismic rehabilitation of buildings. [Online]. Available: <https://www.nehrp.gov/pdf/fema356.pdf>
- [15] Federal Emergency Management Agency. FEMA-440 (2005, Junio 29). Improvement of nonlinea static analysis procedures. [Online]. Available: <https://mitigation.eeri.org/wp-content/uploads/fema-440.pdf>
- [16] B. Gallegos (2016, Junio, 29). Diseño basado en desempeño. [Online]. Available: https://www.researchgate.net/publication/315487018_Diseno_Basado_en_Desempeno_Perfomance_Based_Desing
- [17] L. Borda y A. Pastor, “Desempeño sísmico de un edificio aporticado peruano de seis pisos”. tesis de ingeniería, PUCP, Lima, 2007.