

**PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ**

**FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA**



**Análisis sísmico comparativo entre los sistemas de concreto armado y  
albañilería confinada para la construcción de un edificio de viviendas  
multifamiliares del distrito de Surquillo**

**TRABAJO DE INVESTIGACIÓN PARA LA OBTENCIÓN DEL  
GRADO DE BACHILLER EN CIENCIAS CON MENCIÓN EN  
INGENIERIA CIVIL**

**AUTOR**

Jomar Berardo Barrueto Zamora

**ASESOR:**

Daniel Roberto Quiun Wong

Lima, Enero, 2019

## Resumen

La presente investigación se realiza con la finalidad de ejecutar un estudio comparativo del comportamiento sísmico entre un edificio de viviendas multifamiliares construido principalmente con concreto armado y otro que mezcla elementos de albañilería confinada con concreto armado. Lo que se busca es evaluar los parámetros sísmicos y las respuestas inelásticas de ambas estructuras, así como descubrir cuál de los modelos de edificios sufriría menos deterioro ante cargas sísmicas.

La motivación principal para realizar esta investigación se basa en encontrar las principales diferencias sísmicas entre los tipos de construcción según los sectores económicos de la población. Mientras que la población de recursos económicos altos puede costearse una vivienda de concreto armado, la población restante solo se puede permitir construir viviendas de albañilería. Debido a construcciones y/o análisis sísmicos ineficientes, se ha visto a lo largo de los años que las viviendas de albañilería son las primeras en colapsar ante cargas sísmicas.

La hipótesis de este trabajo de investigación plantea que, de diseñarse apropiadamente, los edificios de albañilería confinada pueden llegar a ser tan resistentes ante cargas sísmicas como los edificios de concreto armado.

Para poner a prueba lo planteado se ha realizado un modelo tridimensional de ambas estructuras en el software estructural ETABS 2016, teniendo como principales datos de salida los periodos, los desplazamientos y las derivas máximas. Los resultados indican que si bien es cierto que el sistema estructural de concreto armado tiene menor periodo y se encuentra más lejos de los límites exigidos por la Norma sismorresistente E.030, el sistema estructural de albañilería confinada no se encuentra tan alejado de su contrincante, hasta incluso tiene derivas mucho menores a la máxima permitida. Por este motivo se llega a la conclusión principal que los edificios de albañilería confinada pueden ser tan resistentes a cargas sísmicas como lo son los edificios de concreto armado.

# ÍNDICE DE CONTENIDO

1.	Introducción .....	1
2.	Marco teórico .....	2
2.1	Concreto armado .....	2
2.2	Albañilería confinada .....	3
3.	Materiales, cargas y geometría del edificio .....	4
3.1	Generalidades .....	4
3.2	Materiales .....	4
3.3	Metrado de cargas .....	5
4.	Predimensionamiento de los elementos de concreto armado.....	5
4.1	Generalidades .....	5
4.2	Edificio de concreto armado .....	6
4.3	Edificio de albañilería confinada .....	7
5.	Predimensionamiento de los muros de albañilería estructural .....	8
5.1	Espesor de muro .....	8
5.2	Densidad de muro .....	8
6.	Resultados .....	10
6.1	Generalidades .....	10
6.2	Modos de vibración.....	11
6.3	Desplazamientos .....	12
6.4	Derivas.....	13
6.5	Revisión de irregularidades .....	14
7.	Verificaciones en los muros de albañilería confinada.....	14
7.1	Generalidades .....	14
7.2	Control de esfuerzos axiales.....	15
7.3	Verificación de control de fisuración y capacidad de corte en muros .....	15
8.	Discusión.....	16
9.	Conclusiones.....	17
10.	Referencias .....	18
	ANEXOS .....	19

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Metrado de cargas de columnas del primer piso en la estructura de concreto armado.....	7
Tabla 2. Metrado de cargas para las columnas del primer piso en la estructura mixta .....	7
Tabla 3. Cálculo de la densidad de muros de albañilería en el eje X para la estructura mixta.....	9
Tabla 4. Cálculo de la densidad de muros de albañilería en el eje Y para la estructura mixta .....	9
Tabla 5. Modos de vibración para la estructura mixta .....	11
Tabla 6. Modos de vibración para la estructura de concreto armado.....	12
Tabla 7. Desplazamiento máximos obtenidos de la estructura mixta .....	12
Tabla 8. Desplazamiento máximos obtenidos de la estructura de concreto armado .....	13
Tabla 9. Derivas máximas y control de irregularidad de torsión de la estructura mixta .....	13
Tabla 10. Derivas máximas y control de irregularidad de torsión de la estructura de concreto armado .....	14
Tabla 11. Control de esfuerzos axiales para todos los pisos del muro X5 .....	15
Tabla 12. Control de esfuerzos axiales para todos los pisos del muro Y6.....	15
Tabla 13. Verificación de control de fisuración y capacidad de corte en todos los pisos del muro X5 .....	16
Tabla 14. Verificación de control de fisuración y capacidad de corte en todos los pisos del muro Y6 .....	16

## INDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1. Plano de plantas de ambas estructuras .....	6
Ilustración 2. Modelo sísmico de ambas estructuras en el programa ETABS 2016. ....	11

# 1. Introducción

Lima es una de las ciudades más pobladas de América Latina, es una ciudad en constante crecimiento demográfico, cuyo movimiento general comenzó en 1959 y no ha terminado hasta el día de hoy. Todo este volumen de personas tiene una serie de necesidades (transporte, alimentación, etc). Esto plantea un gran reto en lo que respecta a la vivienda. (Instituto Nacional de Estadística e Informática, 2017)

Debido a la escasez tanto de recursos como de oportunidades, los habitantes se ven obligados a habitar en pueblos jóvenes (INEI, 2017). Es en estos pueblos donde la construcción informal está tomando importancia. El uso constante de materiales de construcción de manera ineficiente pone en riesgo a las personas que habitan en ella (Radio Programas del Perú, 2017).

Si bien una de las principales causas de este problema es el crecimiento urbano desorganizado, esto no quita responsabilidad al sector de construcción. Ya que, para obras de construcción de menor escala, es frecuente que se prefiera contratar a maestros de obra. Estas personas suelen guiar su diseño y procedimiento constructivo en base a conocimiento empírico, el cual no necesariamente es el adecuado para todos los casos.

De promover una mejor capacitación a albañiles, maestros de obras o a la población misma, se podría disminuir la vulnerabilidad a estas viviendas que en caso de un sismo podrían comprometer la salud de sus habitantes y de los que los rodean

Hasta la fecha, según los últimos datos del Censo peruano del 2017 (INEI, 2017) se sabe que en Lima predominan las estructuras de albañilería. A pesar de ello, no es común que se les enseñe a los ingenieros civiles los procesos de diseño de dicho sistema estructural. Usualmente las universidades enfocan más en el diseño en concreto armado debido a su mejor aporte como sistema estructural.

Debido a que el Perú se encuentra en una zona de peligro sísmico, ha sido necesaria la elaboración de ciertas normas que puedan disminuir la vulnerabilidad de las construcciones ante los movimientos telúricos. Estas normas pertenecientes al Reglamento nacional de edificaciones (RNE) tratan de regular, bajo ciertos parámetros, el diseño y construcción de edificios para todo uso.

Como consecuencia de la fuerte demanda de materiales de construcción tales como la albañilería y el concreto armado, ha sido necesario añadir una propia norma para dichos sistemas estructurales. En el caso de la albañilería se tiene la norma E.070 mientras que para el concreto armado se tiene la E.060. A la par, ambos sistemas se rigen en base a los parámetros y límites que impone la norma sismorresistente E.030 (Reglamento Nacional de Edificaciones, 2006).

Como se mencionó previamente, es común contratar a maestros de obra más no a ingenieros al momento de diseñar una vivienda. Esto genera un mayor uso de albañilería como principal elemento de construcción, ya que este material es más usado por los maestros de obra y al mismo tiempo es más económico (INEI, 2017). Son pocas las veces en las que se considera usar un poco de ambos elementos, concreto armado y albañilería estructural, debido a la falta de información dentro de la norma de ambos sistemas estructurales usados en conjunto. Es por ello que es necesario realizar un estudio comparativo entre el concreto armado y la albañilería estructural.

Se realizarán dos modelos sísmicos con ayuda del software ETABS 2016. Un modelo para una estructura con un sistema estructural de concreto armado, mientras que la otra será una estructura mixta de elementos de albañilería confinada en su mayoría junto con algunos elementos de concreto armado. Esta investigación buscará comparar los resultados de ambos modelos: sus periodos, desplazamientos, fuerzas internas, derivas inelásticas, etc.

Este estudio no busca relacionar similitudes o diferencias entre ambos modelos sísmicos, pues ambas estructuras son totalmente diferentes entre sí. Lo que se desea es poder definir a gran escala cuales son las ventajas y desventajas de cada modelo. Se espera que la estructura de concreto armado arroje resultados más favorables, como por ejemplo: periodos mucho más cortos, menores desplazamientos, etc.

## 2. Marco teórico

### 2.1 Concreto armado

Se le considera concreto armado, a la unión entre acero y concreto con fines de añadir mayor resistencia y/u otras cualidades para crear un material con mayor provecho. Se sabe que el concreto por sí solo es débil ante fuerzas de tracción; mientras que el acero si las puede soportar, pero tiene un peso específico y precio mucho mayor. Estas y otras desventajas de estos elementos disminuyen a gran medida cuando se usan a la par.

También se le considera a este material como un material con aceptación universal, pues es relativamente fácil conseguir y/o transportar los materiales necesarios para su fabricación como: cemento, agregados, agua y refuerzos de acero (Otazzi, 2015).

Su proceso constructivo siempre es parecido para la gran mayoría de edificaciones. Primero se deben de colocar las armaduras de acero del elemento estructural y se vacía en concreto en los encofrados previamente colocados. Se repite el proceso creando así uniones monolíticas.

En el Perú solo las construcciones en zonas de clase A o B pueden permitirse poder construir con este tipo de material. Esto no se debe solamente al precio de los materiales, sino a la mano de obra capacitada. Es por ello que se prefiere contratar a mano de obra barata y poco capacitada (Contreras, 2015)

#### Sistemas estructurales

El concreto armado puede crear 4 distintos tipos de sistemas estructurales:

Las viviendas a base de pórticos son aquellas que al menos el 80% de la fuerza cortante basal actúa sobre la base de los pórticos

Las construcciones con un sistema estructural de muros es aquel en el que al menos el 70% de la fuerza cortante de la base del edificio es resistida por los muros. Para este trabajo de investigación se usará este sistema estructural.

Las viviendas de sistema estructural dual es un sistema balanceado entre los previamente mencionados. Los muros pueden tomar entre 20% y 70% de la fuerza cortante generada por el sismo mientras que el resto debe ser tomado por las columnas.

Por último se encuentran las edificaciones de muros de ductilidad limitada. Este sistema usa únicamente muros de concreto armado pero de espesores muy reducidos (RNE, 2006).

#### Comportamiento sísmico

Si se considerase al sismo como cargas estáticas distribuidas proporcionalmente en cada piso de un edificio, se podría tomar como un volado al modelo estructural de un edificio. Estas cargas generan desplazamientos laterales. Estos desplazamientos podrían clasificarse en dos tipos: Los desplazamientos tipo flexión y los tipos corte. La suma de estos dos últimos resulta en el desplazamiento total de la estructura.

Mientras menor sea el número de pisos de una estructura, mayor será la influencia de las deformaciones tipo corte en él. Pero, si el edificio tiene mayor cantidad de pisos, el desplazamiento tipo flexión predominará por sobre el tipo corte. Se podría decir que aproximadamente un edificio de 5 pisos o menos se comportará con desplazamientos tipo corte, mientras que si el edificio es mayor a 7 pisos, los desplazamientos laterales serán en su mayoría desplazamientos tipo flexión (Muñoz, 1999).

El daño de la estructura generado por el sismo se debe a su desplazamiento. Cuando los desplazamientos superan el rango elástico y deforman a la estructura plásticamente, generan un daño permanente que va deteriorando a la estructura poco a poco. Para que la estructura se vea menos comprometida sísmicamente, es necesario disminuir los desplazamientos.

## 2.2 Albañilería confinada

La albañilería o también llamada mampostería es el material estructural compuesto por unidades de albañilería generalmente asentadas por mortero. Se les conoce como unidades de albañilería a los ladrillos y bloques de concreto, sílice-cal o arcilla cocida. Pueden ser de distintos tipos dependiendo de su forma de uso (RNE, 2006).

Actualmente en el Perú, los precios de este tipo de construcciones son más económicos que los de concreto armado. Esa es una de las principales razones de la predominancia de este material en gran parte de este País.

El proceso constructivo depende del tipo de sistema estructural a usar. Pero, en la mayoría de los casos sigue los mismos principios que el proceso de los edificios de concreto armado: generar las armaduras correspondientes, reforzar con concreto y colocar las unidades de albañilería siguiendo el diseño correspondiente (Quispe y Apaza, 2017).

### Sistema estructural

Para el caso de la albañilería se pueden tener dos tipos de sistemas estructurales:

La albañilería confinada es el sistema que tiene a elementos de concreto armado como confinamiento en todo el perímetro de los muros de albañilería. El proceso constructivo, involucra además, el crear una conexión dentada entre el muro y las columnas de confinamiento. Este último paso es de vital importancia para que los muros de albañilería y los elementos de concreto armado puedan funcionar de manera integral.

La albañilería armada es el sistema estructural que posee acero horizontal y vertical en el interior de todos los muros de albañilería. El acero es integrado mediante concreto de tal forma que integre completamente el sistema muro de albañilería-acero.

### Comportamiento sísmico

Para el comportamiento sísmico nos centraremos netamente en el sistema estructural de albañilería confinada.

El comportamiento sísmico de una estructura de albañilería confinada depende de la unión muro de albañilería/confinamientos. Esto debido a que ambos se toman como un solo elemento monolítico gracias a la acción del dentado entre el muro con las columnas y vigas de confinamiento (Quispe y Apaza, 2017).

### 3. Materiales, cargas y geometría del edificio

#### 3.1 Generalidades

El inicio de este análisis comparativo comienza con la arquitectura como punto en común. El desarrollo arquitectónico será planteado como punto de inicio para ambas estructuraciones a realizar. El presente proyecto contempla un edificio de viviendas multifamiliares de 190 m<sup>2</sup> de área total del terreno en una zona de nivel socioeconómica intermedia ubicado en el distrito de Surquillo, Lima.

Se buscó realizar al edificio lo más simétrico posible, esto debido a que la geometría del terreno podría ayudar a que se presente torsión. También se evitaron el resto de irregularidades en planta y en altura. Esto se corroboró cumpliendo las tablas 4 y 5 del artículo 11 de la Norma E.030 del 2018. La corroboración de estas irregularidades se mostrará en el capítulo de análisis sísmico del presente proyecto.

Debido a la importancia del edificio, este no puede permitirse sufrir daños ante sismo leve. El edificio podrá permitirse daños tolerables hasta sismos moderados. Pero bajo ninguna circunstancia deberá colapsar.

Por cada piso se tendrán 2 departamentos. Cada departamento cuenta con aproximadamente 76 m<sup>2</sup>. Todos los departamentos cuentan con 2 baños, 1 sala comedor, 1 cocina lavandería y dependiendo del tipo de departamento; un estudio u otra habitación. El edificio será de 4 pisos y se ha decidido colocar un ascensor. El tanque elevado se ubicará sobre las placas de la escalera.

#### 3.2 Materiales

##### Concreto

Resistencia a la compresión:	$f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$
Deformación unitaria máxima:	$\epsilon_{cu} = 0.003$
Módulo de elasticidad:	$E_c = 15000 * \sqrt{f'c} \cong 217000 \text{ kg/cm}^2$
Módulo de poisson:	$\nu = 0.20$
Módulo de corte:	$G = E_c/2.4 = 90500 \text{ kg/cm}^2$

##### Acero

Esfuerzo de fluencia	$f_y = 4200 \text{ kg/cm}^2$
Deformación unitaria de fluencia	$\epsilon_s = 0.0021$
Módulo de elasticidad:	$E_c = 2000000 \text{ kg/cm}^2$

##### Albañilería

Según la tabla 2 del artículo 5.3, se deberán usar unidades sólido-industriales. Por lo que se escogieron unidades de arcilla tipo King Kong industrial (RNE, 2006).

Resistencia a compresión axial de las unidades	$f'b = 145 \text{ kg/cm}^2$
Resistencia a compresión axial en pilas	$f'm = 65 \text{ kg/cm}^2$
Resistencia a corte de muretes	$\nu'm = 8.1 \text{ kg/cm}^2$

Módulo de elasticidad

$$E_m = 500f'm = 32500 \text{ kg/cm}^2$$

Módulo de corte

$$G_m = 0.4 * E_m = 13000 \text{ kg/cm}^2$$

Debido a su  $f'b$ , se considera al ladrillo uno tipo IV según el artículo 5.2 de la norma E.070 (RNE, 2006).

### 3.3 Metrado de cargas

Por último, para ambos modelos se va a generalizar un solo peso tanto de los elementos estructurales como también de los tabiques. Dichos pesos unitarios se mostraran en breve. Los pesos unitarios, tanto para cargas vivas (CV) como para cargas muertas (CM), según la norma E.020 son los siguientes [21]:

#### Cargas muertas

Peso del concreto armado:  $2.40 \text{ tn/m}^3$

Peso de muros de albañilería confinada  $1.80 \text{ tn/m}^3$

Peso de la tabiquería hueca de ladrillo  $1.350 \text{ tn/m}^3$

Peso del piso terminado ( $e = 5 \text{ cm}$ )  $0.10 \text{ tn/m}^2$

Peso del agua  $1.00 \text{ tn/m}^3$

Aligerado en una dirección ( $h = 0.2 \text{ m}$ )  $0.30 \text{ tn/m}^2$

#### Cargas vivas

Sobrecarga en viviendas multifamiliares  $0.2 \text{ tn/m}^2$

Sobrecarga en corredores y escaleras  $0.2 \text{ tn/m}^2$

Sobrecarga en azoteas  $0.1 \text{ tn/m}^2$

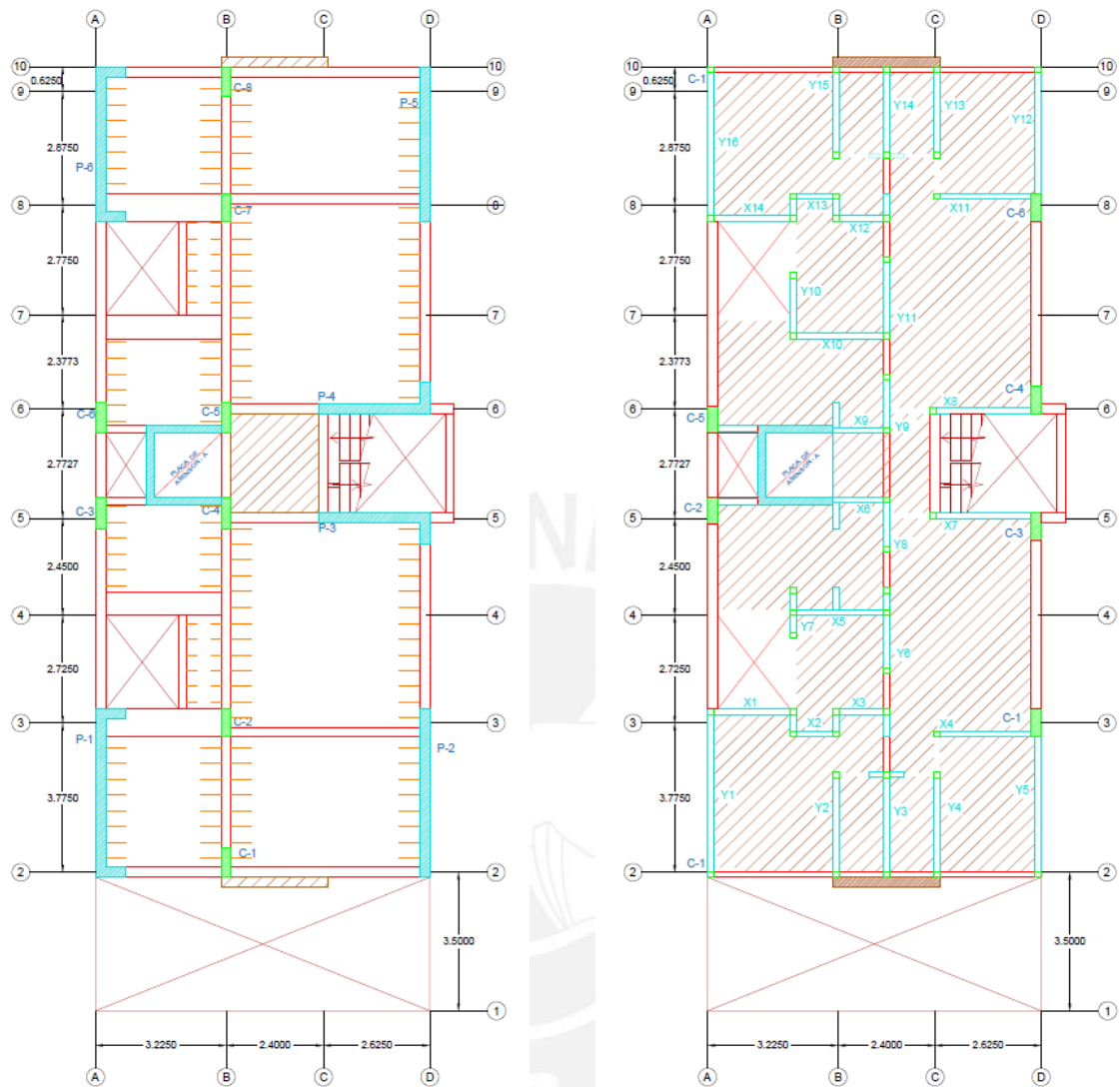
## 4. Predimensionamiento de los elementos de concreto armado

### 4.1 Generalidades

Con la estructuración se determina la localización de cada elemento estructural, tanto vertical como horizontal. Esto se hace con el fin de garantizar el adecuado funcionamiento ante las condiciones propias del terreno como también a las condiciones sísmicas.

A continuación mostrará la estructuración escogida para ambos casos a estudiar. Además de ello, se mostrarán los cálculos del predimensionamiento usados para justificar el porqué de las medidas de las secciones escogidas. Cabe resaltar que para el predimensionamiento se tomaron en cuenta las recomendaciones del libro del Ing. Blanco Blasco "Estructuración y diseño de edificaciones de concreto armado" y del reglamento nacional de edificaciones.

Ilustración 1. Plano de plantas de ambas estructuras



Fuente: Propia

#### 4.2 Edificio de concreto armado

Para la estructuración escogida se tenía una luz máxima de losa de 5.2 m en el eje Y y una de 4.7m en el eje X. Por lo tanto se decidió usar una losa aligerada de un espesor de 0.2m con ladrillos de techo de 0.15m.

Para la losa maciza se tienen medidas recomendadas muy pequeñas. Por lo tanto se procedió a colocar el peralte mínimo establecido en las recomendaciones del Ing. Blanco (Blanco, 1995). Se usará una losa maciza de 0.12m de espesor.

Para las vigas peraltadas se escogen dimensiones principales de 0.25m de base con 0.5m de peralte. También se usarán vigas chatas de 0.6mx0.2m y de 0.7mx0.2m. Esto debido a que en dichas zonas se concentran la mayor cantidad de tabiquería paralela al aligerado. Además se usaran vigas chatas de 0.25mx0.2m y de 0.2mx0.2m para que sirvan como vigas de borde.

Se realizó un metrado de cargas verticales para poder predimensionar las columnas:

Tabla 1. Metrado de cargas de columnas del primer piso en la estructura de concreto armado

Columna	Área tributaria (m <sup>2</sup> )	Peso unitario (tn/m <sup>2</sup> )	Pserv (ton)	Área columna (cm <sup>2</sup> )	Dimensiones (m)
Eje B-2	8.75	4	35	476.2	0.25x0.75
Eje B-3	16.50	4	66	698.5	0.25x0.7
Eje A-5	2.95	4	11.8	124.9	0.25x0.80
Eje B-5	8.45	4	33.8	357.7	0.25x0.80
Eje A-6	2.95	4	11.8	124.9	0.25x0.80
Eje B-6	8.25	4	33	349.2	0.25x0.80
Eje B-8	15.90	4	63.6	673.1	0.25x0.70
Eje B-10	8.25	4	33	449.5	0.25x0.75

Fuente: Propia

Se puede observar que las dimensiones escogidas superan de por mucho las dimensiones necesarias. Esto se hizo para que hubiese continuidad entre los espesores de columna con los de viga y placas. Además se escogieron dichas secciones para que se acoplen de manera idónea a los planos de arquitectura.

Por último, cabe resaltar que debido a la complejidad de las placas de concreto armado se es difícil poder predimensionarlas. Es por ello que se asumió un espesor constante de 0.25m para ambas direcciones. En caso sea necesario se recalcularán.

#### 4.3 Edificio de albañilería confinada

Debido a que las luces de losa son muy pequeñas, se puede colocar un espesor mínimo. Pero para la se usará una losa de 0.15m de peralte para poder aumentar rigidez.

Para las vigas peraltadas se escogen dimensiones principales de 0.25m de base con 0.5m de peralte. Además, se usarán vigas tipo dintel de 0.15mx0.3m y de 0.2mx0.2m. Esto debido a que estas zonas son zonas de amarre entre muros debido a vanos o puertas. También se usarán vigas de borde de 0.25mx0.2m y de 0.2mx0.2m.

Las vigas soleras serán netamente de la estructura de albañilería confinada. Para este caso se usarán vigas de 0.15mx0.15m.

Se realiza nuevamente el metrado de columnas para poder predimensionarlas:

Tabla 2. Metrado de cargas para las columnas del primer piso en la estructura mixta

Columna	Área tributaria (m <sup>2</sup> )	Peso unitario (tn/m <sup>2</sup> )	Pserv (ton)	Área columna (cm <sup>2</sup> )	Dimensiones (m)
Eje A-5	5.9	4	23.6	321.1	0.25x0.40
Eje D-3	10.4	4	41.6	570.1	0.25x0.40
Eje D-5	13.85	4	55.4	754.7	0.25x0.40
Eje D-6	14.1	4	56.4	767.4	0.25x0.40
Eje D-8	10.2	4	40.8	555.2	0.25x0.40
Eje A-6	5.9	4	23.6	321.1	0.25x0.40

Fuente: Propia

## 5. Predimensionamiento de los muros de albañilería estructural

### 5.1 Espesor de muro

Según el artículo 19 de la norma E.070 se puede calcular el espesor adecuado de la siguiente manera:

$$t \geq \frac{\text{altura libre de piso a piso}}{20} = \frac{2.7}{20} = 0.135 \text{ m}$$

Si bien el espesor se indica que sea de 0.14m, los ladrillos King Kong se fabrican para 0.13m. Debido que al final de este estudio se buscará realizar un presupuesto final, se tomará para este caso un espesor de 0.13m con el fin de encontrar los elementos de mampostería económicos

### 5.2 Densidad de muro

Según la norma E.070, el artículo 19.2 indica que debe existir una densidad mínima de muros de albañilería por un área total en planta de la estructura. Esta densidad de muros debe de ser calculada y verificada.

$$\text{Densidad mínima de muros} = \frac{\sum \text{Longitud} * \text{espesor}}{\text{Área de planta}} \geq \frac{ZUSN}{56}$$

Donde:

Z = Factor de zona sísmica. En lima (Zona 4) corresponde Z = 0.45g

U = Factor de importancia. Edificio de vivienda (Categoría C), U = 1.00

S = Factor de suelo (muy rígido), S = 1.00

N = Número de pisos, N = 4

Por ende:

$$\frac{ZUSN}{56} = \frac{0.45 * 1 * 1 * 4}{56} = 0.0321$$

A continuación se muestra una tabla que representa las longitudes de los muros y al procedimiento necesario para calcular la densidad. Cabe resaltar que en las siguientes tablas se considerarán las placas de concreto (Ascensor) con el fin de determinar la importancia de esta si es que se quisiese construir un edificio de mayor número de pisos.

Tabla 3. Cálculo de la densidad de muros de albañilería en el eje X para la estructura mixta

Eje X						
Nombre Muro	L (m)	e (m)	L x e(m2)	#muros	# x L x e (m2)	n x # x L x e Transf. (m2)
X1	2.20	0.13	0.286	1	0.286	0.286
X2	1.20	0.13	0.156	1	0.156	0.156
X3	1.40	0.13	0.182	1	0.182	0.182
X4	1.90	0.13	0.247	1	0.247	0.247
X5	2.45	0.13	0.319	1	0.319	0.319
X6	1.40	0.13	0.182	1	0.182	0.182
X7	2.00	0.13	0.260	1	0.260	0.260
X8	2.00	0.13	0.260	1	0.260	0.260
X9	1.40	0.13	0.182	1	0.182	0.182
X10	2.45	0.13	0.319	1	0.319	0.319
X11	1.90	0.13	0.247	1	0.247	0.247
X12	1.40	0.13	0.182	1	0.182	0.182
X13	1.20	0.13	0.156	1	0.156	0.156
X14	2.20	0.13	0.286	1	0.286	0.286
Xascensor	1.85	0.2	0.370	2	0.740	4.941

Fuente: Propia

Tabla 4. Cálculo de la densidad de muros de albañilería en el eje Y para la estructura mixta

Eje Y						
Nombre Muro	L (m)	e (m)	L x e(m2)	#muros	# x L x e (m2)	n x # x L x e Transf. (m2)
Y1	3.35	0.13	0.436	1	0.436	0.436
Y2	2.65	0.13	0.345	1	0.345	0.345
Y3	2.65	0.13	0.345	1	0.345	0.345
Y4	2.65	0.13	0.345	1	0.345	0.345
Y5	3.55	0.13	0.462	1	0.462	0.462
Y6	2.17	0.13	0.283	1	0.283	0.283
Y7	1.28	0.13	0.166	1	0.166	0.166
Y8	1.40	0.13	0.182	1	0.182	0.182
Y9	1.50	0.13	0.194	1	0.194	0.194
Y10	1.68	0.13	0.218	1	0.218	0.218
Y11	2.08	0.13	0.270	1	0.270	0.270
Y12	3.20	0.13	0.416	1	0.416	0.416
Y13	2.30	0.13	0.299	1	0.299	0.299
Y14	2.30	0.13	0.299	1	0.299	0.299
Y15	2.30	0.13	0.299	1	0.299	0.299
Y16	3.90	0.13	0.507	1	0.507	0.507
Yascensor	2.00	0.20	0.400	1	0.400	2.671

Fuente: Propia

Se puede observar que para los muros de concreto armado pertenecientes al ascensor se usó un factor de conversión “n” con un valor de 6.68 aproximadamente. Este valor es el cociente de la relación de los módulos de elasticidad de los muros de concreto y de los muros de albañilería.

$$n = \frac{E_c}{E_{alb}} = \frac{217000}{32500} \cong 6.68$$

Además se tiene como dato, que el edificio tiene un área neta construida de 172.25 m<sup>2</sup> y una área bruta construida de 158.83 m<sup>2</sup>.

Sumando todas las celdas de la última columna de la derecha de cada tabla, se tendrá una longitud por espesor total transformada de 8.20 m<sup>2</sup> en el eje X y una de 7.85 m<sup>2</sup> en el eje Y.

Al dividir estas áreas entre el área bruta de la planta típica se tiene una densidad de:

$$\sum \frac{n x L x e x \#}{A_p} x - x = \frac{8.20}{172.25} = 0.0476$$

$$\sum \frac{n x L x e x \#}{A_p} y - y = \frac{7.85}{172.25} = 0.0456$$

Se observa que la densidad de muros es más que suficiente, por lo que se puede afirmar que la estructuración inicial cumple con los requisitos.

## 6. Resultados

### 6.1 Generalidades

Al realizar el análisis sísmico a las estructuras, se obtendrá las respuestas y comportamientos de cada elemento estructural ante un sismo. Para poder aceptar a una estructuración como viable, esta de poder cumplir con al menos los siguientes objetivos básicos:

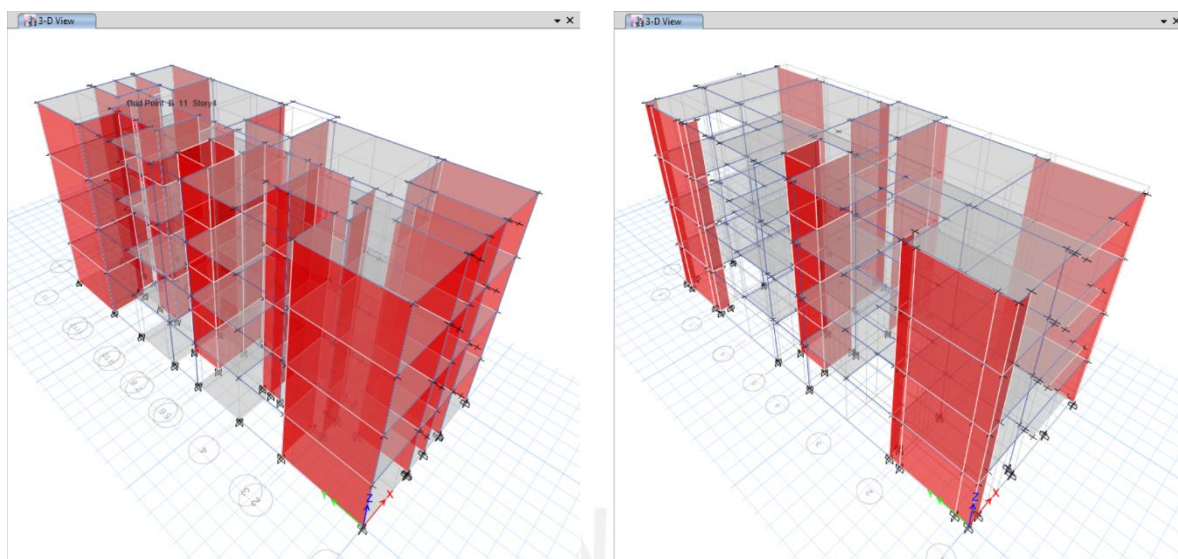
- La estructura no puede presentar daño ante sismos leves o comunes.
- La estructura deberá soportar las fuerzas producidas por un sismo moderado y se le es posible presentar daños, siempre y cuando estos estén en la capacidad de ser reparados.
- Ante un sismo severo, la estructura deberá evitar colapsar y salvaguardar a sus habitantes.

Para poder realizar el modelaje en este trabajo, se usó el programa ETABS 2016. Se asumieron las siguientes disposiciones según lo permite la norma E.030 (RNE, 2006).

- Modelo tridimensional de 4 pisos
- Empotrado en la base para simular cimentaciones
- Losas elementos tipo membrana (en una o dos direcciones como corresponda)
- Diafragma rígido
- Muros elementos frame
- Cargas y combinaciones según lo dicta la Norma E.020
- Se tomó masa sísmica según como lo dicta la norma CM+0.25CV (el programa lo hace instantáneamente)
- Se tomaron 3 modos de vibración: 2 de traslación y 1 en rotación.

Con respecto a las secciones de los muros se colocarán los datos de la sección y el programa se encargará de hallar sus propiedades básicas.

Ilustración 2. Modelo sísmico de ambas estructuras en el programa ETABS 2016.



Fuente: Propia

## 6.2 Modos de vibración

A continuación se mostrarán los modos de vibración correspondientes, así como también el porcentaje de masa participativa de cada uno.

Tabla 5. Modos de vibración para la estructura mixta

Albañilería confinada				
Case	Mode	Period (sec)	% Masa Participativa	
			X-X	Y-Y
Modal	1	0.339	0.0424	0.0304
Modal	2	0.231	0.7371	0.049
Modal	3	0.201	0.7459	0.7695
Modal	4	0.093	0.7546	0.777
Modal	5	0.06	0.929	0.7901
Modal	6	0.055	0.9385	0.9502
Modal	7	0.049	0.9408	0.9516
Modal	8	0.036	0.941	0.9524
Modal	9	0.03	0.9775	0.9624
Modal	10	0.029	0.9873	0.9904
Modal	11	0.022	0.991	0.9962
Modal	12	0.021	0.9984	0.9984

Fuente: Propia

Tabla 6. Modos de vibración para la estructura de concreto armado

Concreto armado				
Case	Mode	Period (sec)	% Masa Participativa	
			X-X	Y-Y
Modal	1	0.249	0.3609	0.0253
Modal	2	0.222	0.7364	0.0582
Modal	3	0.146	0.7367	0.7296
Modal	4	0.058	0.8271	0.7339
Modal	5	0.052	0.927	0.7385
Modal	6	0.034	0.927	0.9288
Modal	7	0.029	0.9272	0.9396
Modal	8	0.027	0.9469	0.941
Modal	9	0.024	0.9835	0.9416
Modal	10	0.018	0.9884	0.9417
Modal	11	0.017	0.9885	0.9692
Modal	12	0.016	0.9909	0.9694

Fuente: Propia

### 6.3 Desplazamientos

Se muestran los desplazamientos máximos y promedio de ambos edificios en las siguientes tablas:

Tabla 7. Desplazamiento máximos obtenidos de la estructura mixta

ALBAÑILERÍA CONFINADA					
Piso	Caso de Carga	Eje	Desplz. Máx. (m)	Desplz. Prom. (m)	Ratio
Story4	Envolvente Max	X	0.00987	0.00817	1.21
Story3	Envolvente Max	X	0.00713	0.00587	1.22
Story2	Envolvente Max	X	0.00419	0.00342	1.22
Story1	Envolvente Max	X	0.00152	0.00123	1.24
Story4	Envolvente Min	X	0.00961	0.00794	1.21
Story3	Envolvente Min	X	0.00696	0.00572	1.22
Story2	Envolvente Min	X	0.00410	0.00335	1.23
Story1	Envolvente Min	X	0.00150	0.00121	1.24
Story4	Envolvente Max	Y	0.00575	0.00527	1.09
Story3	Envolvente Max	Y	0.00416	0.00388	1.07
Story2	Envolvente Max	Y	0.00244	0.00231	1.06
Story1	Envolvente Max	Y	0.00090	0.00086	1.04
Story4	Envolvente Min	Y	0.00577	0.00527	1.09
Story3	Envolvente Min	Y	0.00417	0.00388	1.08
Story2	Envolvente Min	Y	0.00245	0.00232	1.06
Story1	Envolvente Min	Y	0.00090	0.00086	1.04

Fuente: Propia

Tabla 8. Desplazamiento máximos obtenidos de la estructura de concreto armado

CONCRETO ARMADO					
Piso	Caso de Carga	Eje	Desplz. Máx. (m)	Desplz. Prom. (m)	Ratio
Story4	Envolvente Max	X	0.00473	0.00399	1.19
Story3	Envolvente Max	X	0.00329	0.00277	1.19
Story2	Envolvente Max	X	0.00182	0.00153	1.19
Story1	Envolvente Max	X	0.00059	0.00050	1.19
Story4	Envolvente Min	X	0.00430	0.00354	1.21
Story3	Envolvente Min	X	0.00302	0.00249	1.21
Story2	Envolvente Min	X	0.00170	0.00140	1.21
Story1	Envolvente Min	X	0.00056	0.00046	1.21
Story4	Envolvente Max	Y	0.00159	0.00144	1.11
Story3	Envolvente Max	Y	0.00110	0.00099	1.11
Story2	Envolvente Max	Y	0.00061	0.00054	1.12
Story1	Envolvente Max	Y	0.00020	0.00018	1.11
Story4	Envolvente Min	Y	0.00155	0.00140	1.11
Story3	Envolvente Min	Y	0.00107	0.00096	1.11
Story2	Envolvente Min	Y	0.00059	0.00053	1.12
Story1	Envolvente Min	Y	0.00020	0.00018	1.12

Fuente: Propia

#### 6.4 Derivas

Por último, se muestran las derivas máximas y promedio del edificio.

Tabla 9. Derivas máximas y control de irregularidad de torsión de la estructura mixta

ALBAÑILERÍA CONFINADA								
Piso	Caso de Carga	Eje	Deriv. Máx.	Deriv. Prom.	Ratio	¿Deriv.Max >0.005?	¿Deriv.Max >0.5*0.005?	¿Ratio >1.3?
Story4	Envolvente Max	X	0.00276	0.00232	1.19	no	si	no
Story3	Envolvente Max	X	0.00296	0.00246	1.20	no	si	no
Story2	Envolvente Max	X	0.00267	0.00220	1.22	no	si	no
Story1	Envolvente Max	X	0.00152	0.00123	1.24	no	no	no
Story4	Envolvente Min	X	0.00266	0.00223	1.19	no	si	no
Story3	Envolvente Min	X	0.00287	0.00239	1.21	no	si	no
Story2	Envolvente Min	X	0.00261	0.00215	1.22	no	si	no
Story1	Envolvente Min	X	0.00150	0.00121	1.24	no	no	no
Story4	Envolvente Max	Y	0.00160	0.00140	1.14	no	no	no
Story3	Envolvente Max	Y	0.00172	0.00156	1.10	no	no	no
Story2	Envolvente Max	Y	0.00155	0.00146	1.07	no	no	no
Story1	Envolvente Max	Y	0.00090	0.00086	1.04	no	no	no
Story4	Envolvente Min	Y	0.00161	0.00140	1.15	no	no	no
Story3	Envolvente Min	Y	0.00173	0.00156	1.11	no	no	no
Story2	Envolvente Min	Y	0.00156	0.00146	1.07	no	no	no
Story1	Envolvente Min	Y	0.00090	0.00086	1.04	no	no	no

Fuente: Propia

Tabla 10. Derivas máximas y control de irregularidad de torsión de la estructura de concreto armado

CONCRETO ARMADO								
Piso	Caso de Carga	Eje	Deriv. Máx.	Deriv. Prom.	Ratio	¿Deriv.Max >0.007?	¿Deriv.Max >0.5*0.007?	¿Ratio >1.3?
Story4	Envolvente Max	X	0.00148	0.00124	1.19	no	no	no
Story3	Envolvente Max	X	0.00146	0.00123	1.19	no	no	no
Story2	Envolvente Max	X	0.00124	0.00104	1.19	no	no	no
Story1	Envolvente Max	X	0.00060	0.00050	1.20	no	no	no
Story4	Envolvente Min	X	0.00133	0.00110	1.22	no	no	no
Story3	Envolvente Min	X	0.00130	0.00106	1.22	no	no	no
Story2	Envolvente Min	X	0.00114	0.00094	1.21	no	no	no
Story1	Envolvente Min	X	0.00056	0.00046	1.21	no	no	no
Story4	Envolvente Max	Y	0.00050	0.00045	1.10	no	no	no
Story3	Envolvente Max	Y	0.00050	0.00045	1.11	no	no	no
Story2	Envolvente Max	Y	0.00041	0.00037	1.12	no	no	no
Story1	Envolvente Max	Y	0.00020	0.00018	1.12	no	no	no
Story4	Envolvente Min	Y	0.00048	0.00044	1.11	no	no	no
Story3	Envolvente Min	Y	0.00048	0.00044	1.10	no	no	no
Story2	Envolvente Min	Y	0.00040	0.00036	1.12	no	no	no
Story1	Envolvente Min	Y	0.00020	0.00018	1.12	no	no	no

Fuente: Propia

#### 6.5 Revisión de irregularidades

Irregularidad por rigidez: No se obtuvo pues, los elementos estructurales eran continuos, simétricos y la altura de entrepiso era igual para todos los pisos.

Irregularidad de Masa: El peso de todos los pisos eran iguales, debido a que había continuidad y simetría en los elementos estructurales.

Irregularidad por geometría vertical: La geometría de la planta es la misma para todo el edificio.

Irregularidad torsional: Se verifica en la tabla N° 10 y 11 que para todos los pisos el ratio entre la deriva máxima y la promedio es menor a 1.3.

Irregularidad por esquinas entrantes: Las dimensiones de las esquinas entrantes pertenecientes a los ductos no superan el 20% permitido por la norma.

Irregularidad por discontinuidad del diagrama: No se tiene puesto que las áreas vacías del diafragma no superan al 50% del área neta.

## 7. Verificaciones en los muros de albañilería confinada

### 7.1 Generalidades

A continuación se corroborará el cumplimiento de los requisitos mínimos faltantes escritos en la norma E.070 de albañilería, así como también la verificación de control de fisuración y capacidad de corte en los muros de albañilería.

## 7.2 Control de esfuerzos axiales

El artículo 19.1 de la norma E.070 detalla los requisitos mínimos a cumplir en los muros de albañilería en lo que respecta a los esfuerzos axiales.

Se deberá cumplir la siguiente condición:

$$\sigma_m(\text{Esfuerzo axial máximo}) = \frac{P_m}{L * t} \leq 0.2 * f'm \left[ 1 - \left( \frac{h}{35 * t} \right)^2 \right] \leq 0.15 * f'm$$

Donde:

$P_m$  = Cargas de gravedad máxima incluyendo el 100% de la sobrecarga

$L$  = Longitud total del muro a analizar

$t$  = Espesor efectivo del muro a analizar,  $t = 0.13$  m

$h$  = altura del muro a analizar,  $h = 2.7$  m

$f'm$  = Resistencia a la compresión axial en pilas,  $f'm = 65$  kg/cm<sup>2</sup>

Para este caso se analizarán los muros X5 e Y6. Pero el resto de tablas se adjuntarán en los anexos.

### Muro X5 (L = 2.45 m)

Tabla 11. Control de esfuerzos axiales para todos los pisos del muro X5

Piso	$\sigma_m$ (kg/cm <sup>2</sup> )	$0.2 * f'm * (1 - (h/35t)^2)$	$0.15 * f'm$
Story4	0.80	8.42	9.75
Story3	1.59	8.42	9.75
Story2	2.40	8.42	9.75
Story1	3.23	8.42	9.75

Fuente: Propia

### Muro Y6 (L = 2.17 m)

Tabla 12. Control de esfuerzos axiales para todos los pisos del muro Y6

Piso	$\sigma_m$ (kg/cm <sup>2</sup> )	$0.2 * f'm * (1 - (h/35t)^2)$	$0.15 * f'm$
Story4	0.80	8.42	9.75
Story3	1.63	8.42	9.75
Story2	2.47	8.42	9.75
Story1	3.37	8.42	9.75

Fuente: Propia

Se puede observar que tanto en la tabla 12 como en la tabla 13, se cumplen con las condiciones dictadas por la norma en el artículo 19.1.

## 7.3 Verificación de control de fisuración y capacidad de corte en muros

El artículo 26.2 de la norma E.070 tiene como propósito evitar las fisuraciones de los muros ante sismos frecuentes o moderados. Para esto se debe asegurar que las fuerzas cortantes producidas por el sismo moderado ( $V_e$ ) sean menores a 0.55 veces la resistencia a fuerza cortante ( $V_m$ ) producida por los muros de albañilería. Donde  $V_m$ :

$$V_m = 0.5 * v'm * \alpha * t * L + 0.23 * P_g$$

Donde:

$P_g$  = Cargas de gravedad máxima reduciendo la sobrecarga al 25%.

$L$  = Longitud total del muro a analizar

$t$  = Espesor efectivo del muro a analizar,  $t = 0.13$  m

$v'm$  = Resistencia a la compresión axial en pilas,  $v'm = 8.1$  kg/cm<sup>2</sup>

$\alpha = V_e * L / M_e$  = factor de reducción de resistencia al corte por efectos de esbeltez,  $0.33 \leq \alpha \leq 1$

El artículo 26.4 de la norma E.070 (RNE, 2006) tiene como propósito proporcionar una adecuada resistencia y rigidez al edificio. Esto se logra evaluando que en cada entrepiso se cumpla la siguiente condición:

$$\sum V_m \text{ de todos los muros de un entrepiso} \geq \text{Fuerza cortante del sismo severo}$$

Para este caso se analizarán los muros X5 e Y6. Pero el resto de tablas se adjuntarán en los anexos.

Muro X5 (L = 2.45 m)

Tabla 13. Verificación de control de fisuración y capacidad de corte en todos los pisos del muro X5

Piso	$P_g$ (tn)	$V_e$ (tn)	$M_e$ (tn*m)	alfa	$V_m$ (tn)	$0.55V_m$ (tn)	$V_m/V_e$	$V_u$ (tn)	$M_u$ (tn-m)	$V_e < 0.55V_m$
Piso4	2.37	2.00	2.87	1	13.44	7.39	3	6.01	8.62	si
Piso3	4.53	4.09	6.28	1	13.94	7.67	3	12.27	18.83	si
Piso2	6.76	5.58	9.26	1	14.45	7.95	2.6	14.45	24.00	si
Piso1	9.03	4.88	9.49	1	14.98	8.24	3	14.63	28.47	si
					$\sum V_m$	56.82		$\sum V_u$	47.37	

Fuente: Propia

Muro Y6 (L = 2.17 m)

Tabla 14. Verificación de control de fisuración y capacidad de corte en todos los pisos del muro Y6

Piso	$P_g$ (tn)	$V_e$ (tn)	$M_e$ (tn*m)	alfa	$V_m$ (tn)	$0.55V_m$ (tn)	$V_m/V_e$	$V_u$ (tn)	$M_u$ (tn-m)	$V_e < 0.55V_m$
Piso4	2.11	0.01	0.01	1	11.91	6.55	3	0.02	0.04	si
Piso3	4.11	0.02	0.04	1	12.37	6.80	3	0.07	0.11	si
Piso2	6.15	0.03	0.06	1	12.84	7.06	3	0.10	0.17	si
Piso1	8.31	0.04	0.07	1	13.34	7.33	3	0.11	0.22	si
					$\sum V_m$	50.46		$\sum V_u$	0.32	

Fuente: Propia

Se observa que tanto en el muro X5 como en el muro Y6 se llega a cumplir con los artículos 26.2 y 26.4 de la norma. Además se puede observar que el sismo será más agresivo en el eje X.

## 8. Discusión

A continuación se discutirán los resultados obtenidos en el anterior capítulo. Esto se hará con el fin de tener una forma de poder comparar ambos sistemas estructurales.

Gracias a la tabla 6 y 7, se puede observar mediante el porcentaje de masa participante, que el periodo fundamental en el eje X del edificio de albañilería confinada será de 0.231 segundos, mientras que en su eje Y es de 0.201 segundos. Por otra parte se tiene que el periodo fundamental del edificio de concreto armado es de 0.222 segundos en el eje X, mientras que será de 0.146 segundos para el eje Y.

Se puede considerar a una estructura rígida como tal, si es que esta posee un periodo menor a 0.3 segundos. Es por eso que ambas estructuras podrían considerarse rígidas en ambos ejes.

Como se mencionó previamente, la magnitud de un movimiento sísmico no afecta directamente en el daño recibido por una estructura. El principal factor que influye en los daños es el desplazamiento y/o deformación que la estructura presenta durante y después del sismo. Mientras más grande sean los desplazamientos permanentes, mayores serán los daños de la estructura.

Según la tabla 8 se tiene que el desplazamiento máximo en el edificio mixto con elementos de albañilería confinada es de 0.987 cm, mientras que su desplazamiento mínimo es de 0.0895 cm. Por otro lado, la tabla 9 indica que el desplazamiento máximo en el edificio de concreto armado es de 0.399 cm y su desplazamiento mínimo es de 0.0176 cm.

Se puede observar que bajo ninguna circunstancia de cargas, el desplazamiento del sismo supera el centímetro, por lo que se tiene un buen margen límite. A pesar de ello, estos valores no son suficientes para realizar una comparación en su eficiencia. Es por ello que se compararán principalmente las derivas para cada piso.

La deriva de un piso es igual al desplazamiento relativo entre piso y piso dividido entre la altura de piso. Gracias a un completo estudio se pueden definir derivas máximas que se pueden tener para cada tipo de edificio. Esto se debe que al superarse este valor, el edificio podría comenzar a tener daños severos. Para el edificio con elementos de albañilería estructural, se tolera una deriva máxima de 0.005. Mientras, que para el edificio de concreto armado, se permite una deriva máxima de 0.007.

Las tablas 10 y 11, nos muestran las derivas de entrepiso. Se tiene para el edificio con elementos de albañilería confinada una deriva máxima de 0.00296 y una mínima de 0.0009. Mientras que para el elemento de concreto armado una deriva máxima de 0.00148 y una deriva mínima de 0.0002.

Por lo tanto se puede deducir fácilmente que la deriva máxima actuante en el edificio de albañilería confinada posee 59.2% con respecto a su deriva máxima permitida, mientras que la del edificio de concreto armado es del 21.1%.

## 9. Conclusiones

- Se considera más rígida a la estructura hecha solamente con elementos de concreto armado ya que tiene menor periodo que la estructura mixta que posee elementos de albañilería confinada.
- Ambas estructuras cumplen con todos los artículos de la norma de diseño sismorresistente E.030.
- La estructura mixta con elementos de albañilería estructural se encuentra más cercana a la deriva máxima permitida que el edificio construido solamente con elementos de concreto armado.
- A pesar que la estructura de concreto armado posea resultados más favorables, se puede concluir que la estructura que posee elementos de albañilería confinada logró igualar a su contrincante en el análisis sismorresistente.

- Debido a que ambas estructuras cumplen con los requisitos de la norma E.030; será necesario realizar el diseño de ambas y realizar una evaluación económica para poder escoger la estructura más favorable teniendo en cuenta más factores que solamente seguridad.

## 10. Referencias

- Instituto Nacional de Estadística e Informática. (2017). Población total, crecimiento intercensal, anual y tasa de crecimiento promedio anual según año censal. Recuperado de <https://www.inei.gob.pe/estadisticas/indice-tematico/poblacion-y-vivienda/>
- Instituto Nacional de Estadística e Informática. (2017). Población total al 30 de junio, por grupos quinquenales de edad, según departamento, provincia y distrito. Recuperado de <https://www.inei.gob.pe/estadisticas/indice-tematico/poblacion-y-vivienda/>
- Radio Programas del Perú. (2017). Informalidad en el sector construcción: ¿Por qué las edificaciones se caen? ¿Cómo evitarlo? Recuperado de <https://rpp.pe/seamos-peruanos-de-calidad/informalidad-en-el-sector-construccion-por-que-las-edificaciones-se-caen-como-evitarlo-noticia-1078284>
- Instituto Nacional de Estadística e Informática. (2017). Viviendas, según material predominante en las paredes exteriores y área de residencia. Recuperado de <https://www.inei.gob.pe/estadisticas/indice-tematico/poblacion-y-vivienda/>
- Reglamento Nacional de Edificaciones. (2006). Instituto de la Construcción y Gerencia. Recuperado de <http://www.construccion.org/normas/rne2012/rne2006.htm>
- Otazzi Pasino, Antonio. (2005). Apuntes del curso Concreto Armado 1. Lima, Perú: Fondo editorial PUCP.
- Contreras, J. (15 de marzo del 2015). Cada vez están más caros los materiales de construcción en Lima. La República. Recuperado de <https://larepublica.pe/economia/863079-cada-vez-estan-mas-caros-los-materiales-de-construccion-en-lima>
- Muñoz Peláez, Alejandro. (1999). Ingeniería Sismorresistente. Lima, Perú: Fondo editorial PUCP.
- Quispe, E, & Apaza, P. (2017). Análisis y diseño estructural comparativo entre los sistemas de concreto armado y albañilería confinada para la construcción del edificio administrativo del distrito de Santa Lucía (Tesis de pregrado). Universidad Peruana Union, Lima, Perú.
- Blanco Blasco, Antonio. (1995). Estructuración y diseño de edificaciones de concreto armado. Lima, Perú: Colegios de ingenieros del Perú.

## ANEXOS

Anexo A. Control de esfuerzos axiales para todos los pisos de los muros del eje X

Muro	#Piso	L (m)	$\sigma_m$ (kg/cm <sup>2</sup> )	$0.2 \cdot f' \cdot m \cdot (1 - (h/35t)^2)$	$0.15 \cdot f' \cdot m$
X1	4	2.2	0.76	8.42	9.75
	3	2.2	1.74	8.42	9.75
	2	2.2	2.72	8.42	9.75
	1	2.2	3.73	8.42	9.75
X2	4	1.2	0.63	8.42	9.75
	3	1.2	1.29	8.42	9.75
	2	1.2	1.92	8.42	9.75
	1	1.2	2.49	8.42	9.75
X3	4	1.4	0.73	8.42	9.75
	3	1.4	1.59	8.42	9.75
	2	1.4	2.45	8.42	9.75
	1	1.4	3.31	8.42	9.75
X4	4	1.9	1.01	8.42	9.75
	3	1.9	2.00	8.42	9.75
	2	1.9	3.00	8.42	9.75
	1	1.9	4.06	8.42	9.75
X5	4	2.45	0.80	8.42	9.75
	3	2.45	1.59	8.42	9.75
	2	2.45	2.40	8.42	9.75
	1	2.45	3.23	8.42	9.75
X6	4	1.4	0.49	8.42	9.75
	3	1.4	0.85	8.42	9.75
	2	1.4	1.23	8.42	9.75
	1	1.4	1.66	8.42	9.75
X7	4	2	0.34	8.42	9.75
	3	2	0.60	8.42	9.75
	2	2	0.86	8.42	9.75
	1	2	1.16	8.42	9.75
X8	4	2	0.81	8.42	9.75
	3	2	1.75	8.42	9.75
	2	2	2.64	8.42	9.75
	1	2	3.56	8.42	9.75
X9	4	1.4	0.48	8.42	9.75
	3	1.4	0.86	8.42	9.75
	2	1.4	1.23	8.42	9.75
	1	1.4	1.66	8.42	9.75

Fuente: Propia

Muro	#Piso	L (m)	Pg (tn)	Ve (tn)	Me (tn*m)
X10	4	2.45	0.85	8.42	9.75
	3	2.45	1.76	8.42	9.75
	2	2.45	2.69	8.42	9.75
	1	2.45	3.65	8.42	9.75
X11	4	1.9	1.00	8.42	9.75
	3	1.9	1.97	8.42	9.75
	2	1.9	2.96	8.42	9.75
	1	1.9	4.02	8.42	9.75
X12	4	1.4	0.76	8.42	9.75
	3	1.4	1.65	8.42	9.75
	2	1.4	2.53	8.42	9.75
	1	1.4	3.41	8.42	9.75
X13	4	1.2	0.64	8.42	9.75
	3	1.2	1.29	8.42	9.75
	2	1.2	1.90	8.42	9.75
	1	1.2	2.47	8.42	9.75
X14	4	2.2	0.75	8.42	9.75
	3	2.2	1.69	8.42	9.75
	2	2.2	2.63	8.42	9.75
	1	2.2	3.59	8.42	9.75

Fuente: Propia

Anexo A. Control de esfuerzos axiales para todos los pisos de los muros del eje Y

Muro	#Piso	L (m)	$\sigma_m$ (kg/cm <sup>2</sup> )	$0.2 \cdot f' \cdot m \cdot (1 - (h/35t)^2)$	$0.15 \cdot f' \cdot m$
Y1	4	4.25	0.84	8.42	9.75
	3	4.25	1.81	8.42	9.75
	2	4.25	2.79	8.42	9.75
	1	4.25	3.79	8.42	9.75
Y2	4	2.65	1.02	8.42	9.75
	3	2.65	2.18	8.42	9.75
	2	2.65	3.35	8.42	9.75
	1	2.65	4.55	8.42	9.75
Y3	4	2.65	0.84	8.42	9.75
	3	2.65	1.89	8.42	9.75
	2	2.65	2.93	8.42	9.75
	1	2.65	3.93	8.42	9.75
Y4	4	2.65	0.88	8.42	9.75
	3	2.65	1.90	8.42	9.75
	2	2.65	2.95	8.42	9.75
	1	2.65	4.05	8.42	9.75
Y5	4	3.55	0.71	8.42	9.75
	3	3.55	1.49	8.42	9.75
	2	3.55	2.23	8.42	9.75
	1	3.55	2.96	8.42	9.75
Y6	4	2.17	0.80	8.42	9.75
	3	2.17	1.63	8.42	9.75
	2	2.17	2.47	8.42	9.75
	1	2.17	3.37	8.42	9.75
Y7	4	1.28	0.72	8.42	9.75
	3	1.28	1.45	8.42	9.75
	2	1.28	2.19	8.42	9.75
	1	1.28	2.91	8.42	9.75
Y8	4	1.40	0.61	8.42	9.75
	3	1.40	0.97	8.42	9.75
	2	1.40	1.42	8.42	9.75
	1	1.40	2.00	8.42	9.75
Y9	4	1.50	0.62	8.42	9.75
	3	1.50	0.98	8.42	9.75
	2	1.50	1.43	8.42	9.75
	1	1.50	2.01	8.42	9.75

Fuente: Propia

Muro	#Piso	L (m)	Pg (tn)	Ve (tn)	Me (tn*m)
Y10	4	1.68	0.81	8.42	9.75
	3	1.68	1.68	8.42	9.75
	2	1.68	2.54	8.42	9.75
	1	1.68	3.40	8.42	9.75
Y11	4	2.08	0.89	8.42	9.75
	3	2.08	1.81	8.42	9.75
	2	2.08	2.78	8.42	9.75
	1	2.08	3.83	8.42	9.75
Y12	4	3.20	0.69	8.42	9.75
	3	3.20	1.46	8.42	9.75
	2	3.20	2.19	8.42	9.75
	1	3.20	2.90	8.42	9.75
Y13	4	2.30	0.84	8.42	9.75
	3	2.30	1.84	8.42	9.75
	2	2.30	2.86	8.42	9.75
	1	2.30	3.92	8.42	9.75
Y14	4	2.30	0.81	8.42	9.75
	3	2.30	1.83	8.42	9.75
	2	2.30	2.84	8.42	9.75
	1	2.30	3.82	8.42	9.75
Y15	4	2.30	0.98	8.42	9.75
	3	2.30	2.10	8.42	9.75
	2	2.30	3.23	8.42	9.75
	1	2.30	4.39	8.42	9.75
Y16	4	3.90	0.82	8.42	9.75
	3	3.90	1.75	8.42	9.75
	2	3.90	2.70	8.42	9.75
	1	3.90	3.69	8.42	9.75

Fuente: Propia

Anexo C. Verificación de control de fisuración y capacidad de corte en todos los muros del eje X

Muro	#Piso	L (m)	Pg (tn)	Ve (tn)	Me (tn*m)	alfa	Vm (tn)	0.55Vm (tn)	Vm/Ve	Vu (tn)	Mu (tn-m)
X1	4	2.2	2.06	2.13	2.82	1.00	12.06	6.63	3.00	6.39	8.46
	3	2.2	4.59	3.99	5.83	1.00	12.64	6.95	3.00	11.97	17.48
	2	2.2	7.16	5.33	8.89	1.00	13.23	7.28	2.48	13.23	22.09
	1	2.2	9.80	5.44	11.02	1.00	13.84	7.61	2.54	13.84	28.03
X2	4	1.2	1.20	1.03	1.31	0.94	6.20	3.41	3.00	3.08	3.94
	3	1.2	2.40	1.73	2.36	0.88	6.11	3.36	3.00	5.20	7.09
	2	1.2	3.53	2.04	3.06	0.80	5.87	3.23	2.88	5.87	8.80
	1	1.2	4.58	3.09	5.11	0.73	5.63	3.10	2.00	6.17	10.22
X3	4	1.4	1.24	0.80	1.02	1.00	7.66	4.21	3.00	2.41	3.05
	3	1.4	2.62	1.87	2.60	1.00	7.97	4.39	3.00	5.62	7.79
	2	1.4	4.00	2.55	3.99	0.90	7.52	4.14	2.95	7.52	11.76
	1	1.4	5.40	3.76	6.59	0.80	7.13	3.92	2.00	7.53	13.18
X4	4	1.9	2.37	2.67	3.63	1.00	10.55	5.80	3.00	8.01	10.89
	3	1.9	4.51	4.84	7.34	1.00	11.04	6.07	2.28	11.04	16.75
	2	1.9	6.68	6.31	10.90	1.00	11.54	6.35	2.00	12.62	21.80
	1	1.9	8.98	5.78	12.33	0.89	10.98	6.04	2.00	11.57	24.67
X5	4	2.45	2.37	2.00	2.87	1.00	13.44	7.39	3.00	6.01	8.62
	3	2.45	4.53	4.09	6.28	1.00	13.94	7.67	3.00	12.27	18.83
	2	2.45	6.76	5.58	9.26	1.00	14.45	7.95	2.59	14.45	24.00
	1	2.45	9.03	4.88	9.49	1.00	14.98	8.24	3.00	14.63	28.47
X6	4	1.4	0.85	2.08	2.85	1.00	7.57	4.16	3.00	6.25	8.54
	3	1.4	1.43	2.96	4.14	1.00	7.70	4.24	2.60	7.70	10.76
	2	1.4	2.03	3.75	5.37	0.98	7.68	4.22	2.05	7.68	10.99
	1	1.4	2.72	2.93	4.34	0.95	7.60	4.18	2.59	7.60	11.25
X7	4	2	2.00	2.40	3.18	1.00	10.99	6.04	3.00	7.19	9.53
	3	2	4.20	3.96	6.14	1.00	11.50	6.32	2.91	11.50	17.83
	2	2	6.27	5.06	9.07	1.00	11.97	6.59	2.36	11.97	21.43
	1	2	8.42	4.55	10.45	0.87	11.10	6.11	2.44	11.10	25.51
X8	4	2	2.00	2.44	3.31	1.00	10.99	6.04	3.00	7.32	9.93
	3	2	4.19	3.94	6.12	1.00	11.49	6.32	2.91	11.49	17.84
	2	2	6.25	5.00	8.89	1.00	11.97	6.58	2.39	11.97	21.28
	1	2	8.39	4.34	9.75	0.89	11.30	6.21	2.61	11.30	25.40
X9	4	1.4	0.84	2.11	2.89	1.00	7.57	4.16	3.00	6.33	8.66
	3	1.4	1.44	3.13	4.37	1.00	7.70	4.24	2.46	7.70	10.76
	2	1.4	2.03	3.89	5.55	0.98	7.71	4.24	2.00	7.79	11.09
	1	1.4	2.72	2.92	4.27	0.96	7.68	4.22	2.63	7.68	11.24

Fuente: Propia

Muro	#Piso	L (m)	Pg (tn)	Ve (tn)	Me (tn*m)	alfa	Vm (tn)	0.55Vm (tn)	Vm/Ve	Vu (tn)	Mu (tn-m)
X10	4	2.45	2.53	2.62	3.84	1.00	13.48	7.41	3.00	7.86	11.52
	3	2.45	5.02	5.73	8.93	1.00	14.05	7.73	2.45	14.05	21.91
	2	2.45	7.56	7.92	13.71	1.00	14.64	8.05	2.00	15.84	27.42
	1	2.45	10.20	7.23	15.23	1.00	15.25	8.39	2.11	15.25	32.10
X11	4	1.9	2.34	2.17	2.99	1.00	10.54	5.80	3.00	6.50	8.96
	3	1.9	4.45	3.82	5.85	1.00	11.03	6.07	2.89	11.03	16.89
	2	1.9	6.60	4.95	8.60	1.00	11.52	6.34	2.33	11.52	20.00
	1	1.9	8.89	4.45	9.55	0.89	10.91	6.00	2.45	10.91	23.39
X12	4	1.4	1.29	0.64	0.80	1.00	7.67	4.22	3.00	1.91	2.41
	3	1.4	2.71	1.46	2.03	1.00	7.99	4.40	3.00	4.38	6.08
	2	1.4	4.12	2.00	3.14	0.89	7.53	4.14	3.00	6.00	9.41
	1	1.4	5.54	2.89	5.08	0.80	7.15	3.93	2.47	7.15	12.56
X13	4	1.2	0.94	0.86	1.11	0.93	6.09	3.35	3.00	2.58	3.33
	3	1.2	1.84	1.37	1.87	0.88	5.96	3.28	3.00	4.10	5.62
	2	1.2	2.69	1.62	2.43	0.80	5.66	3.11	3.00	4.85	7.30
	1	1.2	3.47	2.37	3.93	0.72	5.37	2.95	2.27	5.37	8.90
X14	4	2.2	2.03	2.82	3.76	1.00	12.05	6.63	3.00	8.47	11.27
	3	2.2	4.46	4.81	7.06	1.00	12.61	6.93	2.62	12.61	18.49
	2	2.2	6.92	6.29	10.53	1.00	13.17	7.25	2.09	13.17	22.05
	1	2.2	9.43	6.26	12.79	1.00	13.75	7.56	2.20	13.75	28.09

Fuente: Propia

Anexo D. Verificación de control de fisuración y capacidad de corte en todos los muros del eje Y

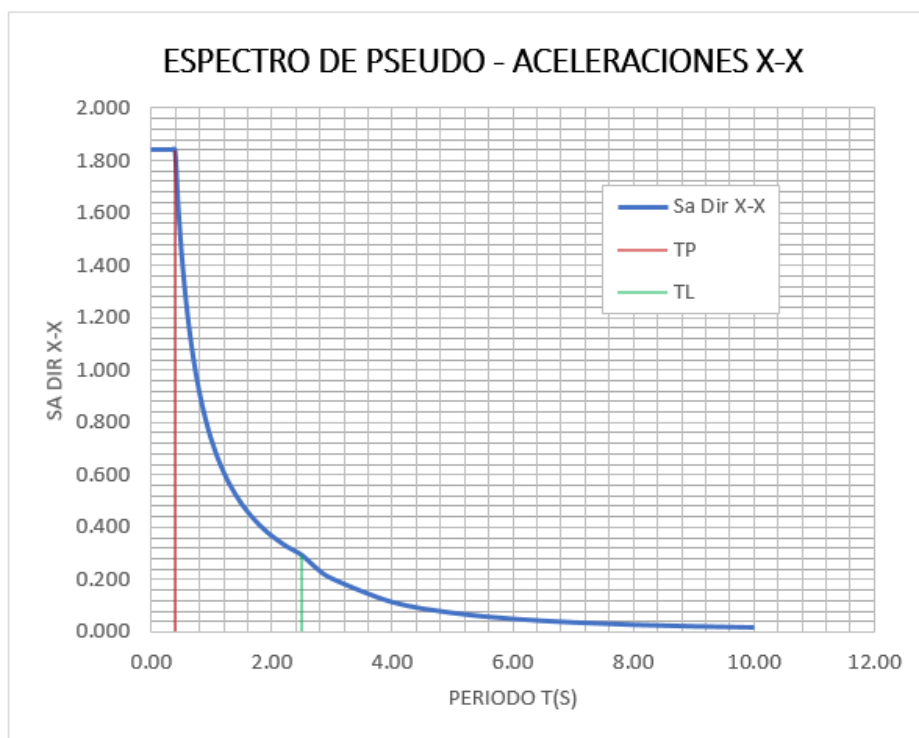
Muro	#Piso	L (m)	Pg (tn)	Ve (tn)	Me (tn*m)	alfa	Vm (tn)	0.55Vm (tn)	Vm/Ve	Vu (tn)	Mu (tn-m)
Y1	4	4.25	4.42	0.15	0.19	1	23.39	12.87	3	0.443	0.564
	3	4.25	9.24	0.16	0.21	1	24.50	13.48	3	0.469	0.642
	2	4.25	14.13	0.16	0.23	1	25.63	14.09	3	0.469	0.679
	1	4.25	19.18	0.12	0.21	1	26.79	14.73	3	0.365	0.620
Y2	4	2.65	3.29	0.20	0.26	1	14.71	8.09	3	0.593	0.786
	3	2.65	6.76	0.21	0.28	1	15.51	8.53	3	0.623	0.844
	2	2.65	10.28	0.19	0.26	1	16.32	8.97	3	0.578	0.791
	1	2.65	13.87	0.12	0.17	1	17.14	9.43	3	0.351	0.501
Y3	4	2.65	2.69	0.25	0.33	1	14.57	8.01	3	0.737	0.986
	3	2.65	5.95	0.26	0.34	1	15.32	8.43	3	0.767	1.033
	2	2.65	9.16	0.23	0.31	1	16.06	8.83	3	0.687	0.928
	1	2.65	12.29	0.13	0.18	1	16.78	9.23	3	0.394	0.540
Y4	4	2.65	2.84	0.24	0.32	1	14.60	8.03	3	0.724	0.958
	3	2.65	5.97	0.24	0.33	1	15.32	8.43	3	0.731	0.984
	2	2.65	9.17	0.22	0.29	1	16.06	8.83	3	0.653	0.884
	1	2.65	12.50	0.13	0.18	1	16.83	9.25	3	0.378	0.526
Y5	4	3.55	3.09	0.14	0.18	1	19.40	10.67	3	0.410	0.530
	3	3.55	6.27	0.15	0.21	1	20.13	11.07	3	0.454	0.621
	2	3.55	9.32	0.15	0.22	1	20.84	11.46	3	0.454	0.652
	1	3.55	12.31	0.11	0.19	1	21.52	11.84	3	0.340	0.562
Y6	4	2.17	2.11	0.01	0.01	1	11.91	6.55	3	0.025	0.036
	3	2.17	4.11	0.02	0.04	1	12.37	6.80	3	0.074	0.108
	2	2.17	6.15	0.03	0.06	1	12.84	7.06	3	0.103	0.169
	1	2.17	8.31	0.04	0.07	1	13.34	7.33	3	0.113	0.222
Y7	4	1.28	1.11	0.01	0.01	0.94	6.56	3.61	3	0.026	0.036
	3	1.28	2.18	0.02	0.03	0.88	6.43	3.53	3	0.055	0.080
	2	1.28	3.23	0.02	0.04	0.81	6.23	3.43	3	0.074	0.117
	1	1.28	4.28	0.02	0.04	0.70	5.73	3.15	3	0.071	0.130
Y8	4	1.40	1.04	0.05	0.06	1	7.61	4.19	3	0.153	0.191
	3	1.40	1.61	0.05	0.07	1	7.74	4.26	3	0.145	0.201
	2	1.40	2.32	0.05	0.07	0.99	7.80	4.29	3	0.147	0.209
	1	1.40	3.23	0.03	0.05	0.89	7.29	4.01	3	0.099	0.156
Y9	4	1.50	1.14	0.06	0.08	1	8.16	4.49	3	0.180	0.226
	3	1.50	1.75	0.06	0.08	1	8.30	4.56	3	0.166	0.229
	2	1.50	2.51	0.05	0.08	1	8.47	4.66	3	0.162	0.227
	1	1.50	3.48	0.03	0.05	0.98	8.53	4.69	3	0.102	0.157

Fuente: Propia

Muro	#Piso	L (m)	Pg (tn)	Ve (tn)	Me (tn*m)	alfa	Vm (tn)	0.55Vm (tn)	Vm/Ve	Vu (tn)	Mu (tn-m)
Y10	4	1.68	1.65	0.01	0.01	1	9.22	5.07	3	0.035	0.042
	3	1.68	3.29	0.02	0.02	1	9.60	5.28	3	0.047	0.068
	2	1.68	4.93	0.02	0.03	1	9.98	5.49	3	0.055	0.091
	1	1.68	6.55	0.02	0.04	0.79	8.50	4.67	3	0.060	0.128
Y11	4	2.08	2.24	0.01	0.01	1	11.47	6.31	3	0.016	0.021
	3	2.08	4.37	0.01	0.02	1	11.96	6.58	3	0.038	0.057
	2	2.08	6.61	0.02	0.03	1	12.47	6.86	3	0.051	0.092
	1	2.08	9.01	0.02	0.05	0.92	12.16	6.69	3	0.068	0.155
Y12	4	3.20	2.72	0.10	0.13	1	17.47	9.61	3	0.296	0.383
	3	3.20	5.55	0.11	0.15	1	18.12	9.97	3	0.327	0.446
	2	3.20	8.25	0.11	0.16	1	18.75	10.31	3	0.326	0.465
	1	3.20	10.88	0.08	0.13	1	19.35	10.64	3	0.241	0.394
Y13	4	2.30	2.37	0.16	0.22	1	12.65	6.96	3	0.491	0.651
	3	2.30	5.01	0.17	0.22	1	13.26	7.29	3	0.497	0.669
	2	2.30	7.71	0.15	0.20	1	13.88	7.64	3	0.444	0.600
	1	2.30	10.52	0.09	0.12	1	14.53	7.99	3	0.255	0.353
Y14	4	2.30	2.24	0.17	0.22	1	12.63	6.94	3	0.500	0.669
	3	2.30	5.01	0.17	0.23	1	13.26	7.29	3	0.519	0.699
	2	2.30	7.73	0.15	0.21	1	13.89	7.64	3	0.464	0.626
	1	2.30	10.39	0.09	0.12	1	14.50	7.97	3	0.264	0.361
Y15	4	2.30	2.75	0.13	0.18	1	12.74	7.01	3	0.402	0.534
	3	2.30	5.67	0.14	0.19	1	13.41	7.38	3	0.424	0.573
	2	2.30	8.63	0.13	0.18	1	14.09	7.75	3	0.392	0.536
	1	2.30	11.65	0.08	0.11	1	14.79	8.13	3	0.236	0.336
Y16	4	3.90	3.95	0.11	0.14	1	21.44	11.79	3	0.323	0.412
	3	3.90	8.23	0.11	0.16	1	22.43	12.33	3	0.341	0.466
	2	3.90	12.58	0.11	0.16	1	23.43	12.88	3	0.339	0.490
	1	3.90	17.12	0.09	0.15	1	24.47	13.46	3	0.260	0.439

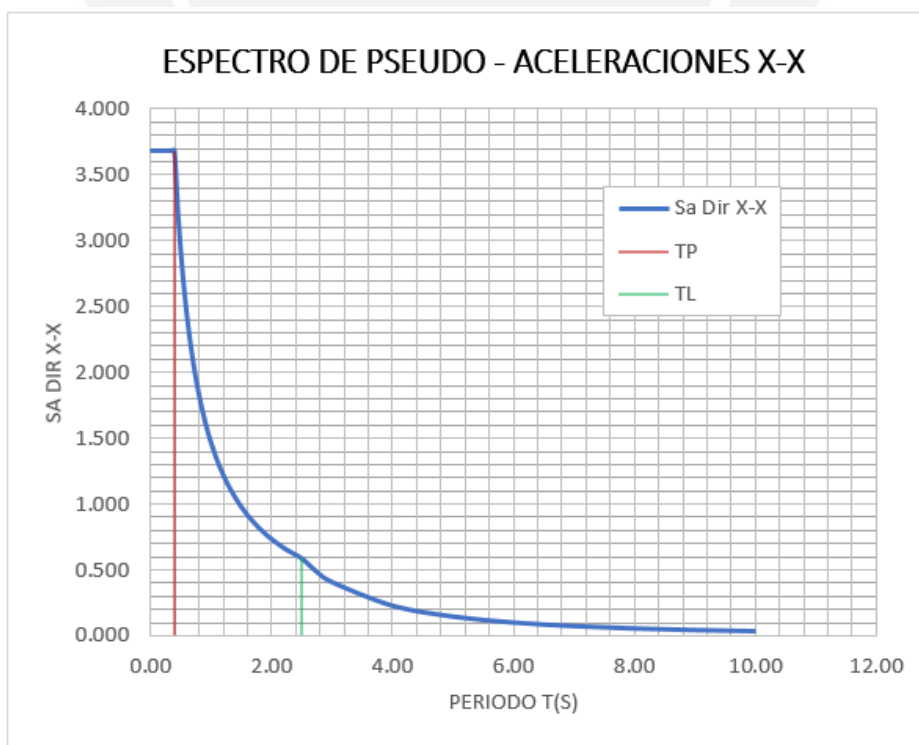
Fuente: Propia

Anexo E. Espectro de Pseudo – aceleraciones del sistema de concreto armado.



Fuente: RNE

Anexo F. Espectro de Pseudo – aceleraciones del sistema mixto con elementos de albañilería estructural



Fuente: RNE