

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ
ESCUELA DE GRADUADOS



PONTIFICIA
UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DEL PERÚ

**INFLUENCIA DE LA TABIQUERÍA EN LA RESPUESTA SÍSMICA
DE EDIFICIOS DE CONCRETO ARMADO**

Tesis para optar el Grado de **Magister en Ingeniería Civil**, que presenta el Ingeniero:

John Percy Aragón Brousset

ASESOR: Ing. Juan Antonio Montalbetti Solari

Lima, Agosto del 2015

RESUMEN

Desde hace tiempo se sabe que la tabiquería de albañilería colocada adherida al sistema estructural de edificios de concreto armado, interactúa con éste modificando la respuesta sísmica del edificio, respecto de la respuesta sísmica del mismo pero en el que la tabiquería es colocada de manera aislada. La particularidad de la tabiquería de albañilería es que es, al mismo tiempo, muy rígida, frágil y tiene un peso suficiente como para que, si colapsa, causar daño a los ocupantes y contenidos del edificio.

Un análisis sísmico confiable de un edificio requiere, entre otras cosas, que la rigidez lateral de éste sea definida de la manera más auténtica posible; por lo que necesariamente la tabiquería adherida debe ser representada en los modelos de análisis. A pesar de este requerimiento no es usual, en la práctica profesional, representar a la tabiquería; se cree que esto se debe a que: se supone que con los desplazamientos laterales admisibles de entrepiso prescritos por la norma de Diseño Sismorresistente (Sencico 2003), la tabiquería no tiene mayor influencia en la respuesta sísmica; y debido a que no se tiene un elemento confiable y fácil de incorporar en un modelo de análisis estructural que represente cabalmente a la tabiquería.

La tabiquería de un edificio se puede adherir a su estructura a través de varias condiciones de contorno. La tabiquería que más nos interesa es la enmarcada, es decir, aquella tabiquería adherida a dos columnas, al piso (en su parte inferior) y a una viga (en su parte superior); esto porque, dada sus condiciones de contorno, este tipo de tabiquería puede conservar sus características de rigidez y resistencia para deformaciones laterales mucho mayores a la de los otros tipos de tabiques.

Cualquier intento por cuantificar la influencia de la tabiquería en la respuesta sísmica de los edificios pasa, en primer lugar, por definir un elemento que represente a ésta en un modelo de análisis. En la bibliografía revisada se plantean varios elementos mecánicos para representar a la tabiquería “enmarcada”; de todos ellos, creemos, que el más eficiente y fácil de incluir en un modelo de análisis es la “diagonal equivalente”. El problema con este elemento está en la definición de su “ancho”.

Este trabajo de tesis tiene como uno de sus propósitos definir dicho “ancho” a través de una sola variable. Para ello se tuvo que considerar a todas las variables involucradas en el problema, y así poder definir cuál de todas ellas es la más importante. El trabajo ha concluido en que esta variable es la rigidez de las columnas, expresada a través de su peralte “H”.

Definido el elemento mecánico -que representa a la tabiquería- y su geometría: “ancho”. Se estudió la influencia de la tabiquería en la respuesta sísmica de edificios de concreto armado; para ello se varió tres características de los mismos: número de pisos (5, 10, 15 y 20 pisos), rigidez lateral (rigidez lateral “mínima”: rigidez lateral que permite cumplir con la distorsión máxima de entrepiso prescrita por la norma, rigidez lateral “máxima”: rigidez lateral mucho mayor a la mínima) y densidad de la tabiquería (densidad “alta”: tabiques de 25cm de espesor, densidad “baja”: tabiques de 15cm de espesor).

La respuesta sísmica de los edificios fue registrada a través de seis parámetros: periodo de vibración, distorsión máxima de entrepiso, cortante basal, momento flector en la base de las placas, fuerza contante en la base de las placas y fuerza axial en las diagonales equivalentes.

Entre otras cosas, se concluye que, para edificios con rigidez lateral “mínima”, la influencia de la tabiquería en la respuesta sísmica es muy considerable, por lo que la tabiquería adherida debe ser representada en los modelos de análisis.





DEDICATORIA

A mi esposa y a mi hijo

A mis padres

A mi hermano "Coco"

AGRADECIMIENTOS

Un especial agradecimiento a mi asesor: Ing. Juan Antonio Montalbetti Solari

*Un eterno agradecimiento y admiración para los ingenieros: Alejandro Muñoz Peláez y
Luis Zegarra Ciquero*



ÍNDICE

	Pág.
RESUMEN	
CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN	
1.1. Problemática	1
1.2. Objetivos	3
1.3. Hipótesis	3
1.4. Alcances	3
1.5. Plan de Trabajo	3
CAPÍTULO II. UTILIZACIÓN DE DIAGONALES COMO MODELO PARA REPRESENTAR A LA TABIQUERÍA	
2.1. Introducción	9
2.2. Planteamiento de un modelo de referencia	13
2.3. Parámetros que definen el ancho de la diagonal equivalente	14
2.4. Verificación de la equivalencia entre dos diagonales: una trabajando en compresión y la otra en tracción	32
CAPÍTULO III. INFLUENCIA DE LA TABIQUERÍA EN LA RESPUESTA SÍSMICA DE EDIFICIOS	
3.1. Introducción	41
3.2. Influencia de la tabiquería en la respuesta sísmica de edificios de 5 pisos	43
3.3. Influencia de la tabiquería en la respuesta sísmica de edificios de 10 pisos	53
3.4. Influencia de la tabiquería en la respuesta sísmica de edificios de 15 pisos	63
3.5. Influencia de la tabiquería en la respuesta sísmica de edificios de 20 pisos	73
3.6. Influencia de la tabiquería en función del número de pisos del edificio	82
3.7. Verificación de la resistencia de los tabiques en función de las fuerzas de compresión calculadas en las diagonales equivalentes	91
CAPÍTULO IV. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	92
BIBLIOGRAFÍA	96

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

1.1.- PROBLEMÁTICA

La tabiquería de un edificio puede ser de distintos materiales: albañilería y/o paneles ligeros (tabiquería tipo drywall), y puede ser colocada de dos maneras: aislada o adherida a los elementos estructurales circundantes. La particularidad de la tabiquería de albañilería es que es, al mismo tiempo, muy rígida, frágil y tiene un peso suficiente como para que, si colapsa, causar daño a los ocupantes y contenidos del edificio.

Desde tiempo atrás se sabe que la tabiquería de albañilería colocada adherida a la estructura interactúa con ésta, modificando la respuesta sísmica del edificio respecto de la respuesta sísmica del mismo pero en el que la tabiquería es colocada de manera aislada. La experiencia ha permitido establecer una relación directa entre el desplazamiento relativo de los entresijos y el daño, tanto estructural como no estructural, en un edificio; entendiéndose por daño no estructural al causado, fundamentalmente, en tabiques. Es por ello que la tendencia en las normas de diseño sismorresistente, en el mundo, es restringir los desplazamientos laterales para así controlar el daño. La norma peruana de Diseño Sismorresistente (Sencico 2003) no es la excepción y prescribe que los desplazamientos laterales de entresijo, en edificios de concreto armado, no sean mayores a 0.7% de la altura de los mismos. Con este nivel de desplazamientos se espera que se cumpla con la filosofía de diseño estipulada en la misma.

Dadas estas circunstancias, podríamos concluir que la tabiquería de los edificios siempre debería colocarse de manera aislada para evitar su interacción con la estructura. Pero desgraciadamente esto no siempre es posible debido a la función que debe cumplir el edificio. Por ejemplo, en un edificio de vivienda multifamiliar o en un hospital, no podría colocarse la tabiquería aislada ya que de hacerlo, en el primero no se podría cumplir con la función de privacidad y en el segundo con la función de asepsia. Por otro lado se debe mencionar que para lograr un aislamiento efectivo de la tabiquería se deben seguir, escrupulosamente, especificaciones constructivas que, en muchos casos, no son fáciles de cumplir.

Aunque en el artículo 8 de la norma de Diseño Sismorresistente (Sencico 2003) se indica explícitamente que debe considerarse el efecto de los elementos no estructurales en el comportamiento sísmico de las estructuras (lo cual significa que se debe representar a la tabiquería adherida en el modelo a través del cual pronosticamos la respuesta sísmica del edificio); es habitual no considerar a la tabiquería en los modelos de análisis, creemos, por dos razones fundamentales: se supone que con los desplazamientos laterales admisibles de entresijo prescritos por la norma, la tabiquería no tiene mayor influencia en la respuesta sísmica; y debido a que no se tiene un elemento confiable y fácil de incorporar en un modelo de análisis estructural, que represente cabalmente a la tabiquería.

El objetivo principal de este trabajo de tesis es cuantificar, a través de distintos parámetros, la influencia de la tabiquería de albañilería maciza en la respuesta sísmica de edificios de concreto

armado cuyos desplazamientos relativos de entrepiso máximos cumplen con la norma. Como se podrá observar, para poder cumplir con el objetivo, previamente, debemos definir un elemento capaz de representar a la tabiquería en los modelos de análisis. Es en este punto donde surge una interrogante natural: si observamos los tabiques de un edificio, veremos una gran variedad de ellos en cuanto a geometría y condiciones de contorno. Centremos la atención únicamente en la tabiquería que va de piso a techo, aun así, tenemos tabiques con distintas condiciones de contorno. El trabajo de tesis se enfocará únicamente en la tabiquería enmarcada por dos columnas, la viga superior y el piso; debido a que este marco actuará, casi, como un confinamiento, permitiendo al tabique conservar sus propiedades de rigidez y resistencia para deformaciones laterales mucho mayores a la de tabiques con condiciones de contorno distintas a ésta.

Es así que dentro del desarrollo de la tesis, el primer paso fue definir un elemento mecánico capaz de modelar apropiadamente a la tabiquería enmarcada.

Por lo general no es fácil modelar la tabiquería de un edificio debido, fundamentalmente, a que las condiciones de contorno de una tabiquería adherida “cambia” durante un sismo. Esto se complica aún más debido a la reversibilidad de las fuerzas sísmicas.

Por mucho tiempo se ha venido utilizando, como elemento para modelar los tabiques “enmarcados” por un pórtico, diagonales en compresión (Stafford Smith, 1962). Se utilizan modelos compuestos por una sola diagonal, por dos diagonales y por tres diagonales (Crisafulli, 2007). El modelo compuesto por una diagonal, representa la restricción al desplazamiento traslacional relativo que ofrece el tabique; pero dadas las condiciones de contorno, el tabique no solo restringe el desplazamiento traslacional relativo del pórtico sino también los desplazamientos rotacionales de los nudos del mismo. Es por ello que surgieron los modelos de dos y tres diagonales; estos modelos, además de representar la restricción al desplazamiento traslacional relativo, también representan la restricción a los desplazamientos rotacionales de los nudos del pórtico que enmarca al tabique. Aun así, se prefiere utilizar una sola diagonal para representar a la tabiquería debido a su sencillez para incorporarse en los modelos de análisis de edificios y porque lo que se requiere cuantificar es la rigidez lateral del conjunto tabique-pórtico, y con una sola diagonal podemos conseguirlo. Por ejemplo, la norma de albañilería (Sencico 2007), en su artículo 33.2, propone utilizar un puntal de ancho igual a un cuarto de la longitud de la diagonal para representar a los tabiques enmarcados.

Existen muchas expresiones, de diferente índole, que permiten definir el área transversal del puntal en compresión. Muchas de estas expresiones definen “el ancho del puntal equivalente” en función de la geometría del pórtico: largo y altura. Creemos que existen más variables que definen este parámetro como son la rigidez de las columnas y viga del pórtico.

En muchos de los modelos de edificios en los que se utiliza diagonales para representar a los tabiques, éstas están emplazadas de manera tal que trabajan en compresión solo para un sentido de fuerzas laterales, pero el sismo genera fuerzas en dos sentidos (ida y vuelta). Esta situación llevaría a pensar que para representar a la tabiquería enmarcada por un pórtico, a través de un “puntal equivalente en compresión”, se necesitaría de dos diagonales opuestas con la

característica de que, cuando una de ellas entre en tracción, se debe “desconectar” de la estructura.

En conclusión, no se tiene un modelo totalmente confiable que represente a la tabiquería enmarcada. Esta es una de las razones por las que, en nuestro medio, no se acostumbra a representar a la tabiquería en los modelos estructurales.

1.2.- OBJETIVOS

Los objetivos fundamentales de esta tesis son los siguientes:

I.- Verificar la confiabilidad de las diagonales como elementos utilizados para representar a la tabiquería enmarcada, ya que éstas son los elementos que con mayor facilidad se pueden incluir en los modelos de análisis de los edificios. Para cumplir con este objetivo debemos despejar interrogantes como:

a).- ¿Qué parámetros definen el ancho del “puntal equivalente” utilizado para representar a la tabiquería?

b).- ¿Es lo mismo, para la respuesta sísmica global del edificio, que la “diagonal equivalente” trabaje en tracción o compresión?

II.- Cuantificar la influencia de la tabiquería, representada a través de diagonales, en la respuesta sísmica de los edificios de concreto armado. Para cumplir con este objetivo se tomará un conjunto de parámetros característicos de la estructura que nos permitan medir, de la manera más exhaustiva, la respuesta estructural global de la misma.

1.3.- HIPÓTESIS

La metodología de diseño sismorresistente, mundialmente aceptada, indica que la resistencia de una edificación puede establecerse a través de un análisis lineal – elástico para fuerzas menores a las fuerzas sísmicas elásticas del sismo de diseño (fuerzas elásticas del sismo de diseño divididas entre un factor de reducción); por ello es que, frente a la ocurrencia del sismo de diseño, se espera que la edificación incurra en el régimen inelástico. Los desplazamientos inelásticos pueden calcularse a partir de los desplazamientos del modelo elástico asumiendo que: los desplazamientos máximos del sistema inelástico son iguales a los desplazamientos máximos del sistema elástico. Por esta razón se asumirá comportamiento lineal – elástico en los materiales de los elementos de los modelos utilizados para la realización del presente trabajo. Los análisis realizados no consideran la geometría deformada de las estructuras.

1.4.- ALCANCES

El alcance del presente trabajo de tesis está limitado a cuantificar la influencia de la tabiquería en la respuesta “global” de las edificaciones. Por ello es que se utiliza el modelo del “puntal diagonal equivalente”. A través de los modelos de diagonales, que representan a la tabiquería; no es posible determinar los esfuerzos locales, en la zona de interacción entre el pórtico y el tabique.

1.5.- PLAN DE TRABAJO

Para lograr los objetivos de la tesis, el trabajo ha sido dispuesto de la siguiente manera:

Como primer paso, se tiene que definir un modelo de referencia, es decir, un modelo lo suficientemente confiable para representar el comportamiento estructural de un sistema tabique-pórtico que permita **verificar la confiabilidad de las diagonales**. Se ha establecido, como modelo de referencia, uno en el que la interacción tabique-pórtico está representada por un conjunto de bielas, con comportamiento no lineal, distribuidas uniformemente en el perímetro interior del pórtico. La no linealidad considerada está en que dichas bielas trabajan solo a compresión; si las bielas tienen deformaciones de tracción éstas se “desconectan” del pórtico (ver figura 1). En el trabajo en compresión de las bielas se considera que la relación entre esfuerzos y deformaciones es lineal. Las bielas están espaciadas a cada 0.25m, a lo largo del perímetro interior del pórtico de concreto armado, y reaccionan contra un panel de albañilería, ubicado al interior del pórtico, modelado a través de elemento finito y cuyo comportamiento es lineal elástico. La rigidez de las bielas y del panel ha sido calculada en base a la expresión prescrita por la norma de “albañilería” (Sencico 2007) para el cálculo del módulo de elasticidad de la albañilería: 500 f'm. La idea central, para plantear este modelo, fue que se conservase las bondades de un modelo de elementos finitos, pero al mismo tiempo, fuese expeditivo para construirlo dentro del programa de cómputo y leer sus resultados; pues se sabía que para la realización de esta tesis, se tendrá que realizar una gran cantidad de análisis computarizados.

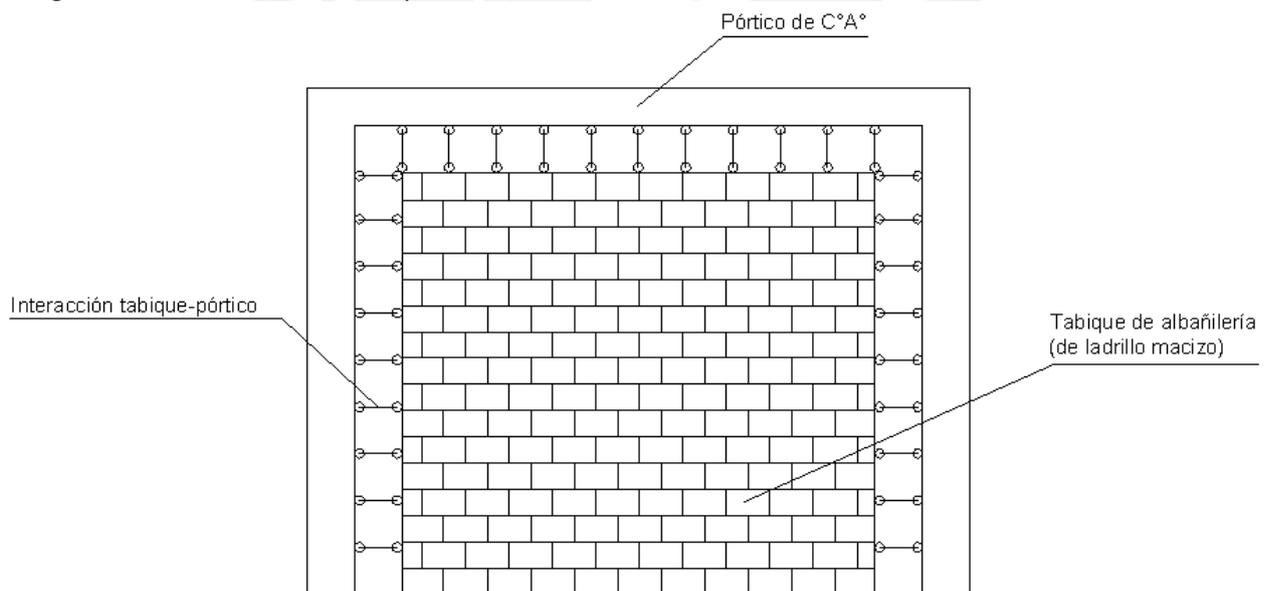


Figura 1. Modelo de referencia, utilizado como patrón de comparación

En segundo lugar hay que definir las variables que determinan el “ancho del puntal equivalente” de un modelo “pórtico-diagonal equivalente”. Para ello debemos de involucrar, en el análisis, a las variables más representativas y en base a los resultados determinar la importancia de cada una de ellas. En este trabajo se han considerado cuatro variables: La geometría del tabique, a través de su relación largo/altura, la rigidez de las columnas y vigas del pórtico, a través de sus secciones, y finalmente el espesor del tabique:

a).-Geometría del tabique. Se manejarán dos geometrías: una correspondiente a un tabique rectangular: 6.00m de largo por 2.50m de altura (largo/altura = 2.4), denominada geometría “rectangular”; y otra correspondiente a un tabique más cuadrado: 3.50m de largo por 2.50m de altura (largo/altura = 1.4), denominada geometría “cuadrada”. El criterio para definir estas dimensiones ha sido, en primer lugar, tener dos tabiques extremos: uno “muy rectangular” y otro más cuadrado. El otro criterio fue el de tener luces y alturas normalmente usadas en edificios de concreto armado.

b).-Rigidez de las columnas del pórtico. Se tendrá dos tipos de columnas: una “rígida” de sección 0.25x0.60m y una “flexible” de sección 0.25x0.35m; para ambas geometrías de pórticos. El criterio para definir estas dimensiones fue el mismo que el anterior: peraltes de columnas usualmente utilizadas en la práctica y al mismo tiempo tener dos extremos en cuanto a rigidez se refiere. El ancho asumido es el ancho mínimo reglamentario para elementos que reciben fuerzas sísmicas (Sencico 2009).

c).-Rigidez de la viga del pórtico. Para el caso de las vigas se tendrá, para la geometría “rectangular”, las siguientes secciones: “viga rígida” de sección 0.25x0.60m ($h \approx L/10$) y “viga flexible” de sección 0.25x0.35m ($h \approx L/17$); para el caso de la geometría “cuadrada”, se tendrá las siguientes secciones para las vigas: “viga rígida” de sección 0.25x0.35m ($h \approx L/10$) y “viga flexible” de sección 0.25x0.20m ($h \approx L/17$). El criterio utilizado para definir estas secciones fue tener dos extremos, en cuanto a rigidez se refiere; pero con dimensiones usualmente utilizadas en la práctica. Una expresión muy utilizada en el predimensionamiento del peralte de vigas en edificios de concreto armado ubicados en zonas de alto peligro sísmico, es $h=L/10$. Por otra lado la norma de diseño en Concreto Armado (Sencico 2009) prescribe que la verificación de las deflexiones, en vigas cuyos peraltes sean iguales o mayores a $h=L/21$, puede obviarse; por lo tanto pareció que un límite extremo para el peralte de vigas podría ser $h=L/17$. Luego, el ancho de la viga se definió teniendo en cuenta el ancho mínimo prescrito para vigas que reciben fuerzas sísmicas (Sencico 2009).

Con estas dimensiones de columnas y vigas se configuró cuatro tipos de pórticos: **Caso 1:** columnas rígidas y viga rígida, **Caso 2:** Columnas rígidas y viga flexible, **Caso 3:** Columnas flexibles y viga flexible y **Caso 4:** columnas flexibles y viga rígida.

d).-Espesor de la tabiquería. Hoy existe una gran variedad de tipos de ladrillos y bloques para construir tabiques en los edificios. El trabajo de tesis está dirigido a la tabiquería de ladrillo macizo de arcilla ya que es con éste que normalmente se construye la tabiquería en las distintas zonas del Perú. Se utilizarán dos espesores para los tabiques: 15cm y 25cm. El valor de $f'm$ utilizado fue de 50 kg/cm².

En tercer lugar, dado que las fuerzas sísmicas podrían generar cortantes de signos contrarios en los distintos entresijos del edificio; el modelado de la tabiquería, a través de diagonales dispuestas en una sola dirección, produciría que, frente a la circunstancia descrita, unas trabajen en compresión y otras en tracción. Por lo tanto interesa conocer si las diagonales trabajando en tracción tienen el mismo efecto, para la respuesta estructural global, que las diagonales en compresión. Esto se podría solucionar con el uso de dos diagonales, con comportamiento no lineal, para representar a un tabique, de tal manera que una trabaje en compresión, mientras que

la otra, cuyo trabajo sería en tracción, se “desconecta” de la estructura (ver figura 2). Ese tipo de elemento no está implementado en todos los programas utilizados en nuestro medio, por lo tanto es necesaria esta verificación. Para ello se planteará un pórtico de dos pisos y un tramo y sobre él generaremos cortantes de distinto signo en cada entrepiso y se verificará el comportamiento de las diagonales dispuestas en una sola dirección. La confiabilidad de los resultados se determinará con el modelo de referencia. En este caso, el modelo de referencia tendrá dos niveles y será definido con el mismo criterio utilizado para el modelo de referencia de un nivel.

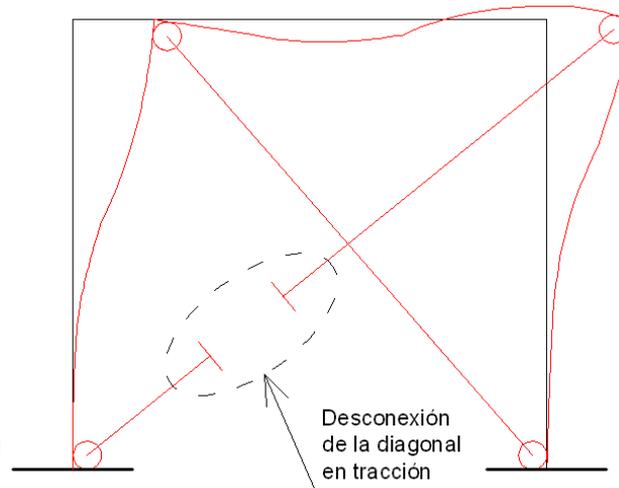


Figura 2. Desconexión de la diagonal para asegurar que éstas trabajen solo en compresión

Además, recordemos, que cuando se realiza un análisis sísmico por superposición modal espectral, los esfuerzos finales son producto de la combinación de los esfuerzos obtenidos de la aplicación de las fuerzas laterales asociadas a cada modo de vibración de la estructura. Las fuerzas asociadas a varios de los modos varían de sentido, nivel a nivel. Por lo cual hay que verificar si la respuesta se ve afectada por el cambio de un puntal, que debería trabajar en compresión, por uno trabajando en tracción.

Finalmente, definida la confiabilidad y geometría de las diagonales para representar a la tabiquería adherida y enmarcada por un pórtico; pasaremos a utilizarlas en modelos de edificios, para así medir la influencia de la tabiquería en la respuesta global de los mismos. Para ello se ha definido un edificio hipotético con características usualmente utilizadas en el Perú.

La influencia de la tabiquería en los edificios será estudiada variando las siguientes tres características del edificio hipotético:

1.-Número de pisos.- Se ha tratado de tomar un rango de alturas de manera tal de abarcar al mayor porcentaje de los edificios construidos en el país. Se han tomado cuatro alturas: 5 pisos, 10 pisos, 15 pisos y 20 pisos.

2.- Rigidez lateral del sistema estructural.- La planta del edificio hipotético (ver figura 3) tiene una distribución de placas que lo convierten, en una dirección, en un edificio de rigidez lateral alta, y en la otra dirección, en un edificio de rigidez lateral mínima. Entiéndase por rigidez lateral mínima a aquella que permite obtener un desplazamiento relativo máximo de entrepiso del orden de 0.007. Por lo tanto se manejará dos niveles de rigidez lateral: rigidez lateral “mínima” y rigidez

lateral “alta”. Esta distribución de rigidez es típica para muchos edificios, ya que, normalmente, en un edificio se tiene dos elevaciones, paralelas, abiertas; y dos elevaciones, paralelas, cerradas (correspondientes a las colindancias). En la dirección de las elevaciones abiertas, normalmente, se tiene dificultades para lograr que el edificio tenga la rigidez lateral mínima especificada por la norma. En la dirección perpendicular, normalmente, se tiene una rigidez lateral mucho mayor a la mínima especificada por la normativa.

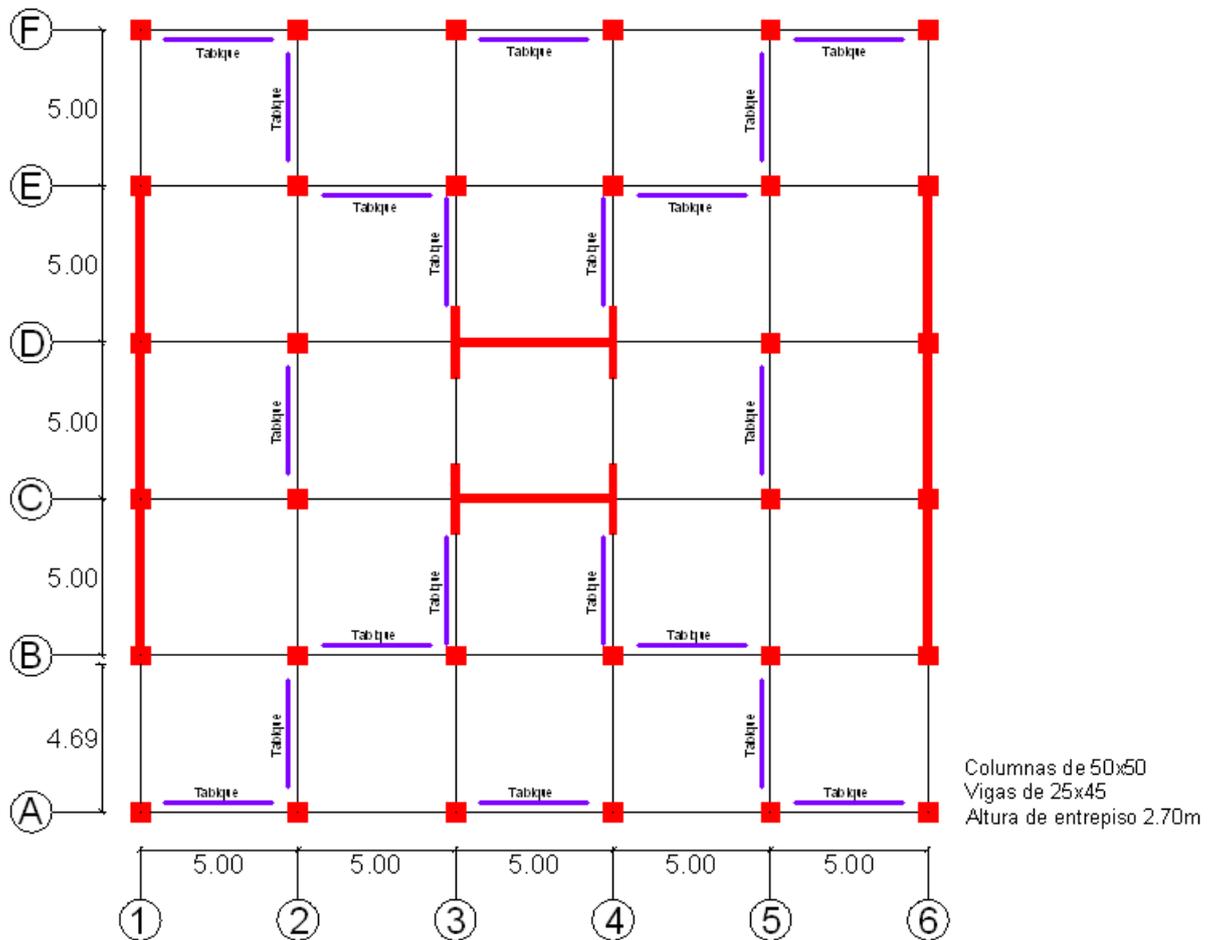


Figura 3. Planta típica del edificio hipotético

3.- Densidad de la tabiquería.- Se han tomado tres niveles para la densidad de la tabiquería: sin tabiquería, densidad baja y densidad alta. La diferencia entre densidad alta y baja se define por el “espesor de los tabiques”. Para una densidad baja los tabiques son de espesor 15cm. Para una densidad alta, a los mismos tabiques, se les considera con un espesor de 25cm.

La tabiquería se ha distribuido, simétricamente, en cada dirección, con el fin de no introducir otra variable en el modelo, la cual sería la torsión. En la dirección de “rigidez lateral alta” la tabiquería se ha distribuido en los ejes 2, 3, 4 y 5. En los ejes 2 y 5 los tabiques están dispuestos según la figura 4 y en los ejes 3 y 4 la distribución de tabiques se ha hecho de acuerdo con la figura 5. En la dirección de “rigidez lateral mínima” la tabiquería se ha distribuido en los ejes A, B, E y F. En los ejes A y F los tabiques se han distribuido de acuerdo con la figura 4 y en los ejes B y E la distribución de tabiques se ha realizado de acuerdo a la figura 5.

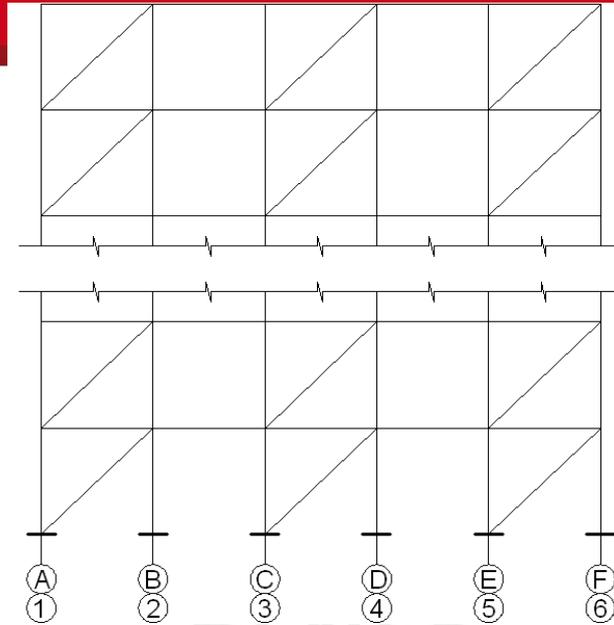


Figura 4. Distribución de la tabiquería para los ejes 2, 5, A y F

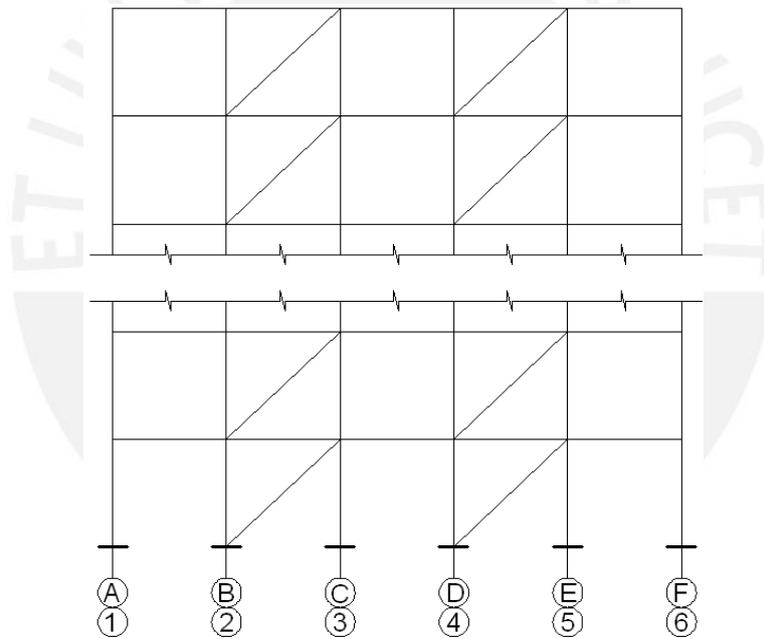


Figura 5. Distribución de la tabiquería para los ejes 3, 4, B y E

La respuesta sísmica de los edificios, para medir la influencia de la tabiquería, será cuantificada a través de 6 parámetros:

- 1.- *Periodo predominante de vibración.*
- 2.- *Desplazamiento relativo máximo de entrepiso (Drift).*
- 3.- *Cortante sísmico basal del edificio.*
- 4.- *Momento flector en la base de las placas.*
- 5.- *Fuerza cortante en la base de las placas.*
- 6.- *Fuerza axial máxima en los puntales.*

Todos los análisis estructurales requeridos se realizarán con el programa *ETABS*.

CAPÍTULO II

UTILIZACIÓN DE DIAGONALES COMO MODELO PARA REPRESENTAR A LA TABIQUERÍA

2.1.- INTRODUCCIÓN

Los elementos utilizados para representar a la tabiquería en los modelos de análisis se dividen en: modelos macro o globales (cuyo elemento más representativo es la diagonal equivalente en compresión) y modelos micro o locales (cuyos elementos utilizan el *método del elemento finito* para su representación) (Crisafulli 2000). La diferencia entre los elementos macro y micro es que los primeros solo pueden representar la influencia de la tabiquería en la respuesta global de las edificaciones; en cambio los modelos micro, además de lo anterior, también pueden representar los esfuerzos locales en la zona de interacción tabique – pórtico.

Uno de los primeros trabajos en los que se sugiere el uso del “puntal diagonal equivalente” como *modelo Macro* para la tabiquería enmarcada por pórticos fue el de Holmes (Crisafulli 2000), basado en el siguiente comportamiento:

Bajo cargas laterales relativamente pequeñas, el pórtico relleno de tabiquería se comporta como una unidad integral. Conforme la carga lateral crece, se observa que el tabique se separa del pórtico circundante, excepto en las esquinas diagonalmente opuestas al sentido de la fuerza (ver figura 6).

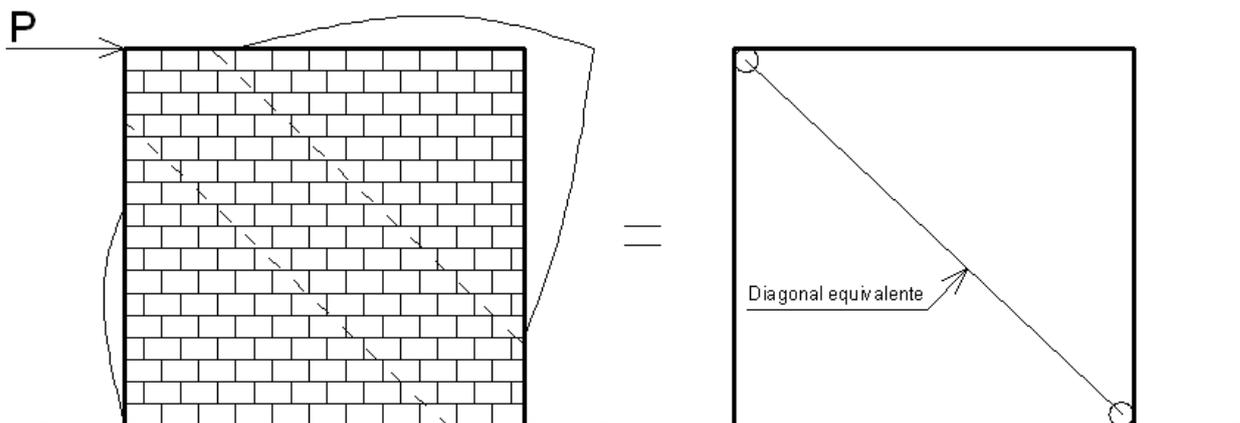


Figura 6. Modelo del tabique a través de un puntal en compresión

Es así que se sugirió que el tabique podría ser modelado por un puntal diagonal equivalente en compresión. Holmes concluye en que el ancho del puntal diagonal equivalente “W” tiene una dimensión igual a un tercio de la longitud de dicha diagonal.

Posteriormente Bryan Stafford Smith (Stafford Smith 1962) encontró que las propiedades del puntal diagonal en compresión no sólo dependen del tamaño, espesor, proporciones y material

del tabique, sino también de la longitud y distribución de la carga aplicada en las esquinas comprimidas (ver figura 7). En general el análisis de la distribución de estas cargas es sumamente complejo.

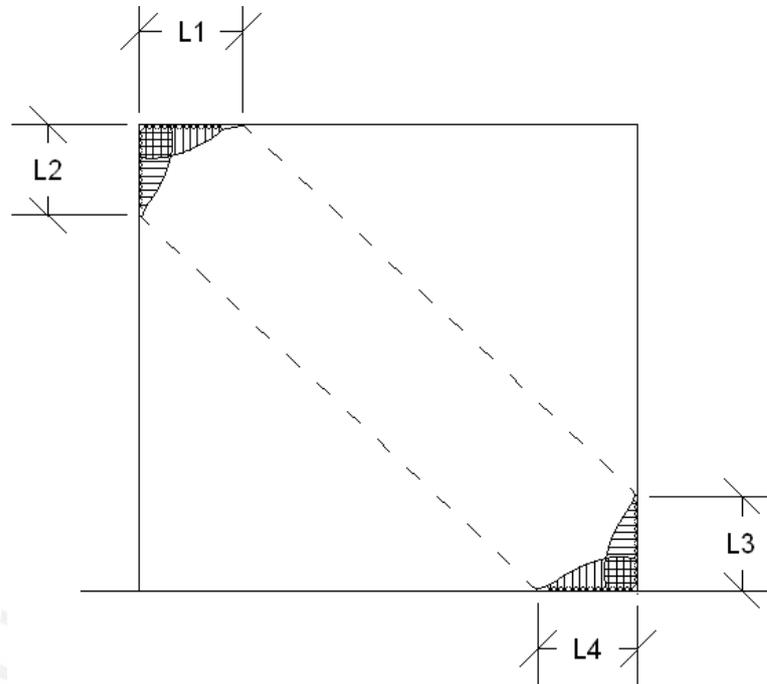


Figura 7. Longitudes de contacto entre el tabique y el pórtico

Con el propósito de evitar complicaciones, se asumió que la distribución de cargas en las esquinas se da en una región muy pequeña, es decir, prácticamente como una carga concentrada.

Finalmente planteó que el ancho de la diagonal equivalente podía ser obtenido a través de la curva de la figura 8:

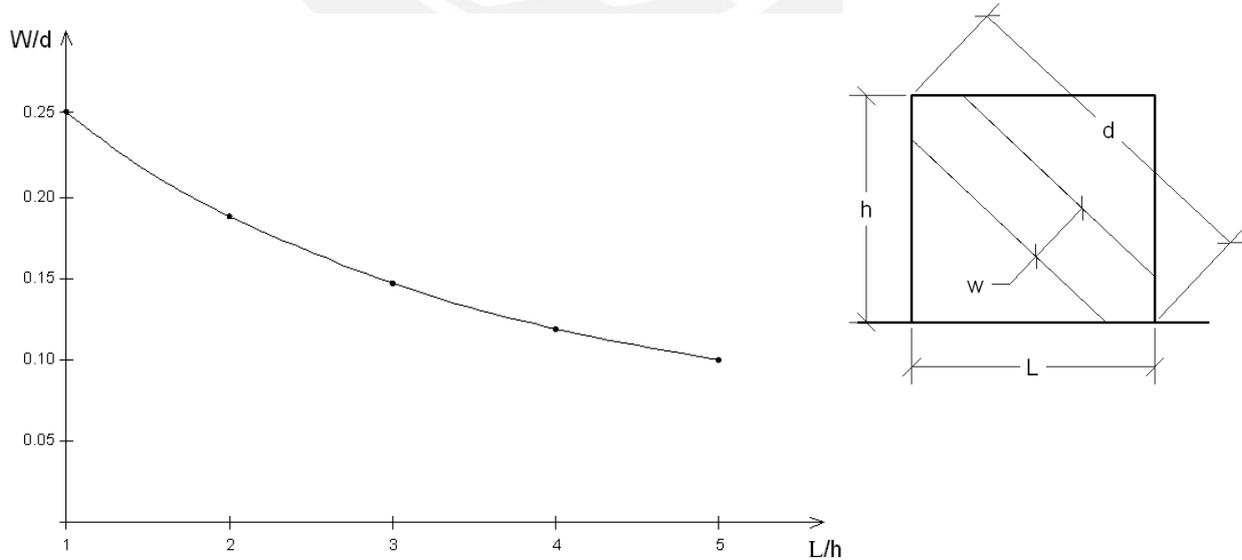


Figura 8. Gráfico que permite obtener el ancho "W" del puntal equivalente(Stafford Smith 1962)

Como se puede observar en la figura 8 los valores de W/d varían entre 0.1 y 0.25 para relaciones L/h entre 1 y 5.

Luego, Liauw y Kawn (Liauw 1984) determinan que el ancho del puntal equivalente debería ser calculado con la siguiente expresión:

$$W = 0.95 h_w \cos\theta (\lambda_h)^{-0.5} \quad (1)$$

Donde " λ_h " se calcula con la siguiente expresión:

$$\lambda_h = h^4 \sqrt{\frac{E_m t \operatorname{sen} 2\theta}{4 E_c I_c h_m}} \quad (2)$$

Posteriormente Esteva propone la siguiente fórmula para encontrar el ancho de la diagonal equivalente (Bazán y Meli 1985):

$$\text{Ancho} = (0.35 + 0.22\lambda)h \quad (3)$$

Donde:

$$\lambda = \frac{E_c A_c}{G_m A_m} \quad (4)$$

h = Altura del tabique

E_c = Módulo de elasticidad del concreto de los elementos del pórtico.

A_c = Área transversal de las columnas que circundan el tabique.

G_m = Módulo de corte del material del tabique.

A_m = Área transversal del tabique.

Luego Paulay y Priestley (Paulay 1992) proponen que el ancho del puntal equivalente debe ser definido con la expresión:

$$W = 0.25d_m \quad (5)$$

Donde " d_m " es la longitud de la diagonal equivalente.

En lo que concierne a *modelos Micro* se tiene el modelo planteado en la investigación realizada por J. Axley y V. Bertero: *Infilled Panels their Influence on Seismic Response of Buildings* (Axley y Bertero 1979).

El reporte explica que la tabiquería no solo restringe el grado de libertad traslacional horizontal de la estructura, sino que también restringe los grados de libertad rotacionales de los nudos. El elemento propuesto es capaz de representar no solo los tabiques que van de piso a techo, sino también tabiques con altura parcial (los cuales generan, muchas veces fallas por columna corta), tabiques con abertura, etc.

El modelo para el tabique es planteado asumiendo que el pórtico restringe la forma de deformación del tabique; es así que a través de este artificio conceptual, el campo de deformaciones del tabique queda sujeto al campo de deformaciones del pórtico circundante (el campo de desplazamientos de un pórtico plano queda definido por 3 grados de libertad por nudo). Es así que es posible condensar los grados de libertad del modelo del tabique por elementos finitos, a un modelo de 12 grados de libertad (3 grados de libertad por nudo).

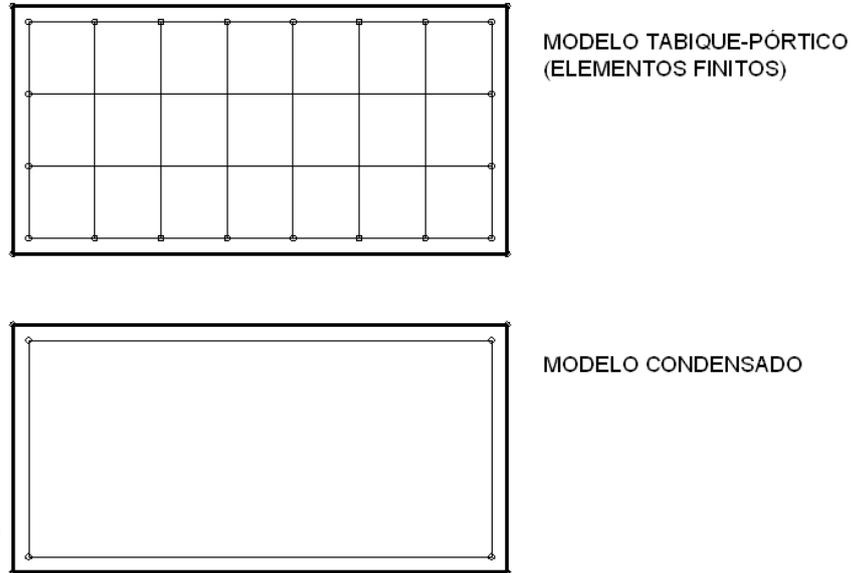


Figura 9. Modelos para la tabiquería obtenidos con el método de elementos finitos

Evidentemente, este tipo de *modelos Micro*, no son muy atractivos para ser incorporados a la práctica profesional.

También se consultó una investigación (Pflucker 1988) en la que se sugiere un modelo constituido por un “panel de corte” (ver figura 10) para representar a la rigidez de la tabiquería. Creemos que este modelo es apropiado para representar a los tabiques “no enmarcados” por un pórtico; es decir a aquellos cuyo contacto con la estructura se da solo por su parte inferior y superior.

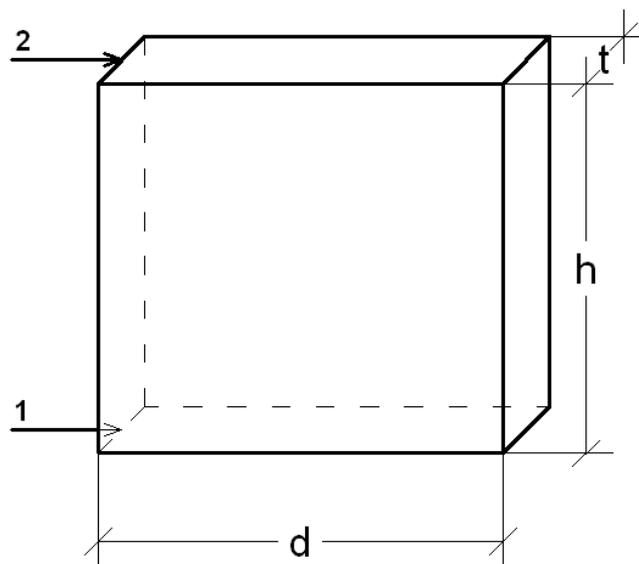


Figura 10. Modelo para tabiquería adherida a la estructura solo por su parte superior e inferior y cuya cinemática está definida por los dos grados de libertad mostrados

De la revisión bibliográfica especializada en el tema podemos obtener tres conclusiones:

1. La proposición de un modelo atractivo para su uso en la práctica profesional debe hacerse a través de un *modelo Macro*; es decir a través de un modelo que represente a la tabiquería enmarcada con diagonales en compresión.
2. La gran dificultad existente en el uso de “diagonales equivalentes” para representar a la tabiquería enmarcada por un pórtico, es la definición del ancho de éstas. Existe una gran cantidad de expresiones, para definir el ancho del “puntal equivalente”, basadas en distintos parámetros los cuales tienen que ver con la geometría del tabique, rigidez del tabique y rigidez de las columnas y viga del pórtico. Todas estas expresiones exhiben una gran variación entre sus resultados.
3. La gran mayoría de las investigaciones más importantes acerca de la interacción tabique-pórtico provienen de Nueva Zelanda, un país con alto peligro sísmico y que ha optado por los “pórticos dúctiles especiales” como sistema estructural para sus edificios. No se tiene investigaciones importantes, a cerca de la interacción tabique – pórtico, provenientes de países con alto peligro sísmico y en los que se ha optado por los “muros estructurales” como sistema estructural para sus edificios (caso de Chile, Japón y Perú). Parece ser que en los países en los que priman los sistemas estructurales rígidos, como es el caso del Perú; se piensa que el efecto de la tabiquería en la respuesta sísmica de los edificios ha perdido importancia. ¿Cuánto de importancia ha perdido la tabiquería en la respuesta sísmica de los edificios en esta coyuntura? Responder a esta pregunta es justamente el propósito de este trabajo de tesis.

El Perú, en 1997, cambió su norma de Diseño Sismorresistente (Sencico 1997) a raíz del sismo de Nazca ocurrido en noviembre de 1996. La norma anterior a la de 1997 estuvo vigente por 20 años y no predecía adecuadamente los desplazamientos laterales de las edificaciones (Bariola 1992), subestimándolos. El código de 1997 cambia el espectro de diseño y reduce los desplazamientos relativos máximos de entrepiso, convirtiéndose así en uno de los códigos más exigentes, en cuanto a control de desplazamiento laterales se refiere, de América (Andrade 2004). Esta podría ser una de las razones por las que en la práctica profesional de nuestro medio no se modelan los tabiques.

2.2.- PLANTEAMIENTO DE UN MODELO DE REFERENCIA

Cualquier intento para definir un ancho para la “diagonal equivalente” requiere de un modelo que represente, confiablemente, la interacción tabique-pórtico; de tal manera que sirva como patrón de referencia. Los modelos más depurados con los que cuenta el análisis estructural son los elaborados con “elementos finitos”, pues ellos nos permiten “modelar” la “continuidad” la cual, dependiendo de la geometría del elemento, puede ser unidireccional, bidireccional o tridimensional. Debido a la geometría de los tabiques, se necesita de un elemento que represente la continuidad, por lo menos en dos dimensiones, para modelarlos; por lo tanto se necesita de un elemento finito tipo área. Luego, se sabe que en un tabique enmarcado por un pórtico, cuando está sometido a carga lateral (sismo), varios tramos de su perímetro se separan del pórtico debido a que la deformación del pórtico es distinta a la deformación del tabique (compatibilidad de deformaciones), pues el vínculo entre el perímetro exterior del tabique y el perímetro interior del pórtico no soporta tracciones.

El modelo de referencia, tal como se indicó en el plan de trabajo, tiene las siguientes características: El pórtico de concreto armado esta modelado a través de elementos unidimensionales con comportamiento lineal elástico; a la viga del pórtico se le asignó un “factor de área” de 100 para simular la presencia de un diafragma rígido horizontal. El tabique de albañilería esta modelado a través de elementos finitos bidimensionales rectangulares de cuatro nudos con comportamiento lineal elástico; el modulo de elasticidad del tabique fue calculado con la expresión dada por la norma de Albañilería para tal fin, y asumiendo un $f'm = 50 \text{ kg/cm}^2$ (Sencico 2007). La interacción tabique-pórtico se modeló a través de un conjunto de bielas, espaciadas cada 0.25m a lo largo de la zona de interacción, las cuales trabajan únicamente en compresión; si las bielas se deforman en tracción se desconectan del pórtico. El trabajo en compresión de las bielas es lineal elástico con un módulo de elasticidad calculado con la expresión dada por la norma de albañilería para tal fin; el $f'm$ asumido fue de 50 kg/cm^2 . Se eligió este modelo porque, al mismo tiempo que conserva las características de un modelo definido totalmente con elementos finitos, es muy expeditivo para construirlo y leer sus resultados.

El programa Etabs (que como ya se indicó, es el programa con el que se realizarán los análisis estructurales para esta tesis) no cuentan con elementos que puedan “desconectarse” si trabajan en tracción, por lo tanto la desconexión de las bielas en la zona de interacción tabique-pórtico se hará “a mano”.

El modelo propuesta, en detalle, se muestra en la figura 11:

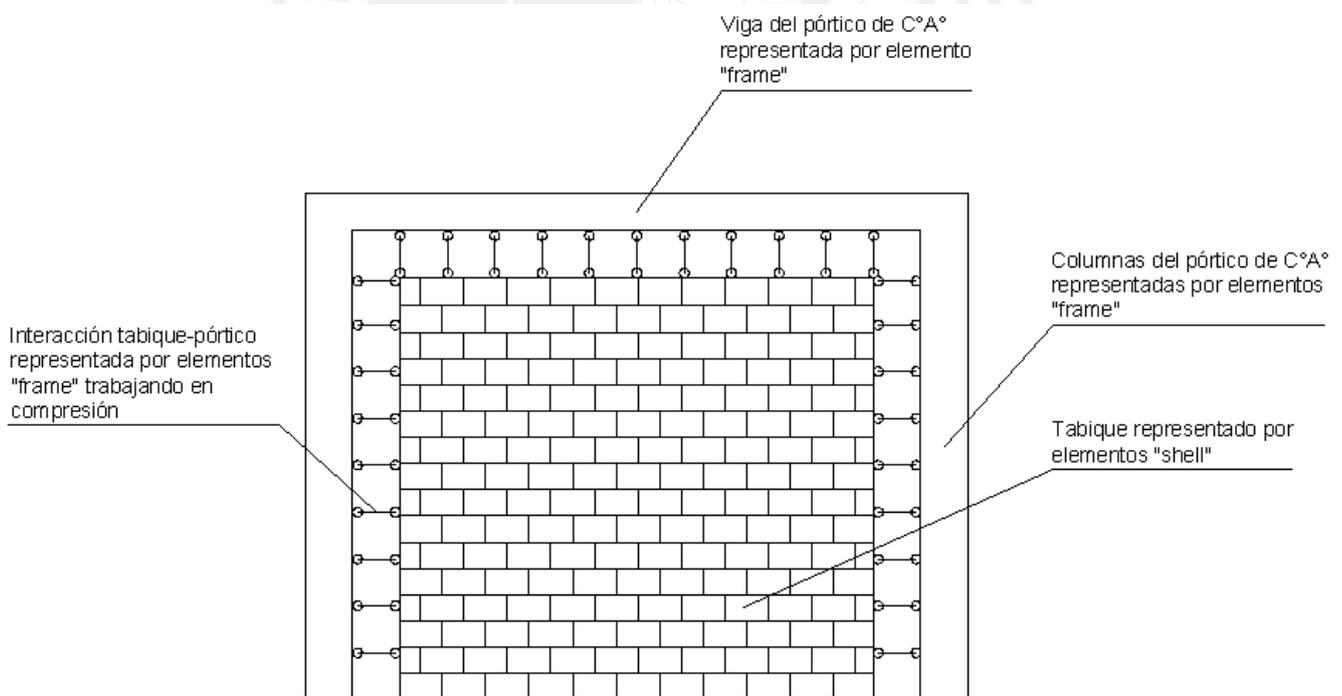


Figura 11. Modelo de referencia

2.3.- PARÁMETROS QUE DEFINEN EL ANCHO DE LA DIAGONAL EQUIVALENTE

Hoy en día se puede utilizar una gran variedad de herramientas de cómputo las cuales permiten realizar cientos de análisis en un breve tiempo. Nos proponemos determinar los parámetros más

importantes que definen el ancho del puntal equivalente utilizando estas herramientas. Las variables más resaltantes en un tabique enmarcado por un pórtico de concreto armado son cuatro: la geometría del tabique, expresada por su largo y altura; la rigidez de las columnas del pórtico, expresada por su sección transversal; la rigidez de la viga del pórtico, expresada por su sección transversal; y el ancho del tabique. Ahora hay que darle valores a estas variables, abarcando un amplio rango en cada una de ellas, y configurar un conjunto de casos que nos permitan obtener conclusiones confiables. Es así que en el presente trabajo se han asignado los siguientes valores a cada una de las cuatro variables consideradas:

Se consideraron dos geometrías de tabiques: una denominada “rectangular”, de 6.00m de longitud y 2.50m de alto, y otra denominada “cuadrada”, de 3.50m de longitud y 2.50m de alto. Se Tomó dos rigideces para las columnas del pórtico, para ambas geometrías: una “columna rígida”, de sección 25cmx60cm, y una “columna flexible”, de sección 25cmx35cm. En lo que respecta a la viga del pórtico, también se tomó dos rigideces: una “viga rígida” y una “viga flexible”. Las vigas asumidas para el pórtico de 6.00m de longitud y 2.50m de alto son: la “viga rígida” tiene una sección de 25cmx60cm (cuyo peralte cumple con la expresión $h \approx L/10$) y la “viga flexible” tiene una sección de 25cmx35cm (cuyo peralte cumple con la expresión $h \approx L/17$); para el pórtico de 3.50m de longitud y 2.50m de alto, las vigas asumidas son: la “viga rígida” tiene una sección de 25cmx35cm (cuyo peralte cumple con la expresión $h \approx L/10$) y la “viga flexible” tiene una sección de 25cmx20cm (cuyo peralte cumple con la expresión $h \approx L/17$). Finalmente se consideró dos anchos para los tabiques: 15cm y 25cm.

Con estas cuatro variables se han configurado 16 casos los cuales se muestran en el cuadro 1:

CUADRO 1.- Combinación de las cuatro variables definidas para la determinación del “ancho del puntal equivalente”

Caso	Geometría del tabique	Rigidez de la columna del pórtico	Rigidez de la viga del pórtico	Espesor del tabique (cm)	Nomenclatura del caso
Caso 1	Tabique rectangular	Columna rígida	Viga rígida	15	TR-CR-VR-E15
Caso 2				25	TR-CR-VR-E25
Caso 3			Viga flexible	15	TR-CR-VF-E15
Caso 4				25	TR-CR-VF-E25
Caso 5	Tabique rectangular	Columna flexible	Viga flexible	15	TR-CF-VF-E15
Caso 6				25	TR-CF-VF-E25
Caso 7			Viga rígida	15	TR-CF-VR-E15
Caso 8				25	TR-CF-VR-E25
Caso 9	Tabique cuadrado	Columna rígida	Viga rígida	15	TC-CR-VR-E15
Caso 10				25	TC-CR-VR-E25
Caso 11			Viga flexible	15	TC-CR-VF-E15
Caso 12				25	TC-CR-VF-E25
Caso 13	Tabique cuadrado	Columna flexible	Viga flexible	15	TC-CF-VF-E15
Caso 14				25	TC-CF-VF-E25
Caso 15			Viga rígida	15	TC-CF-VR-E15
Caso 16				25	TC-CF-VR-E25

Ahora debemos de definir un rango de anchos para los “puntales equivalentes” en compresión y asignarlos a cada uno de los 16 casos propuestos. Los resultados obtenidos de los “modelos pórtico-puntal” se compararán con los resultados del “modelo de referencia”.

Luego de efectuar algunos cálculos previos se ha determinado que los anchos de los “puntales equivalentes”, para todos los casos considerados en esta tesis, podrían encontrarse en un rango de $1.75H$ a $4.25H$; siendo “H” el peralte de las columnas del pórtico. Como se comprobará más adelante, es el peralte de la columna del pórtico el parámetro más apropiado para definir el ancho del “puntal equivalente”. Es así que se ha decidido plantear 3 anchos para los puntales equivalentes: $1.75H$, $3H$ y $4.25H$. Se ha considerado el ancho $3H$ (que es el promedio de los valores extremos: $1.75H$ y $4.25H$) como referencia, para así poder definir el tipo de relación que existe entre la rigidez lateral del sistema y el ancho del puntal.

En cada uno de los 16 casos planteados, se tendrá 4 modelos: modelo de referencia, modelo pórtico-puntal equivalente con un ancho de $1.75H$, modelo pórtico-puntal equivalente con un ancho de $3H$ y modelo pórtico-puntal equivalente con un ancho de $4.25H$. A cada uno de los 64 modelos se le ha aplicado una carga lateral de 20 toneladas (esto para tener una mayor deformación lateral y poderla “leer” con mayor exactitud). Además, para simular la presencia del techo, a las vigas se les asignó un “factor de área” de 100.

Los resultados obtenidos del análisis estructural de los modelos deben ser organizados de tal manera que nos permitan definir la “importancia”, de cada una de las cuatro variables consideradas, en la determinación del “ancho del puntal equivalente”. Puesto que el “puntal equivalente” se utiliza para representar el aporte de “rigidez lateral” del tabique al sistema tabique-pórtico; el resultado que registraremos, de cada uno de los modelos procesados, será el desplazamiento lateral, y a partir de él determinaremos la rigidez lateral del sistema tabique-pórtico (ver figura 12).

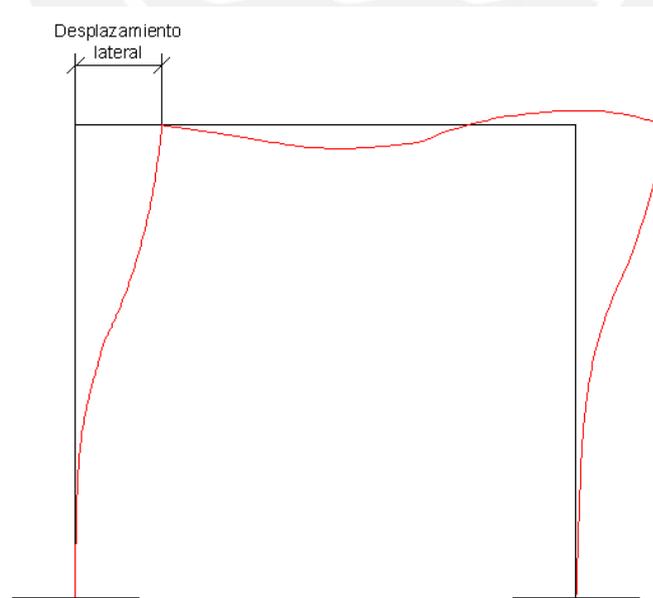


Figura 12. Desplazamiento lateral que se registrará como parámetro de comparación entre los modelos y a partir del cual se calculará la rigidez lateral de los mismos.

A continuación se muestra el cuadro 2 en el que se presentan los resultados obtenidos de los modelos, con tabiques de geometría rectangular, registrados a través de sus desplazamientos laterales y de sus correspondientes rigideces laterales:

CUADRO 2.- Desplazamientos y rigideces laterales en tabiques enmarcados de dimensiones: largo 6.00m y altura 2.50m (geometría rectangular)

Caso	Desplaz. Lat. Modelo de Referencia (mm)	Desplaz. Lat. Modelo con ancho de puntal 1.75H (mm)	Desplaz. Lat. Modelo con ancho de puntal 3H (mm)	Desplaz. Lat. Modelo con ancho de puntal 4.25H (mm)	Rigidez Lat. Modelo de Referencia (Ton/m)	Rigidez Lat. Modelo con ancho de puntal 1.75H (Ton/m)	Rigidez Lat. Modelo con ancho de puntal 3H (Ton/m)	Rigidez Lat. Modelo con ancho de puntal 4.25H (Ton/m)
Caso 1: CR – VR – E25	1.039	1.267	0.922	0.728	19249	15785	21692	27473
Caso 2: CR – VR – E15	1.329	1.609	1.248	1.022	15049	12430	16026	19569
Caso 3: CR – VF – E25	1.289	1.515	1.046	0.802	15516	13201	19120	24938
Caso 4: CR – VF – E15	1.698	2.033	1.488	1.176	11779	9838	13441	17007
Caso 5: CF – VF – E25	1.781	3.078	2	1.497	11230	6498	10000	13360
Caso 6: CF – VF – E15	2.472	4.412	3.014	2.294	8091	4533	6636	8718
Caso 7: CF – VR – E25	1.529	2.757	1.868	1.418	13080	7254	10707	14104
Caso 8: CF – VR – E15	2.103	3.778	2.705	2.112	9510	5294	7394	9470

A continuación se muestra el cuadro 3 en el que se presentan los resultados obtenidos de los modelos, con tabiques de geometría cuadrada, registrados a través de sus desplazamientos laterales y de sus correspondientes rigideces laterales:

CUADRO 3.- Desplazamientos y rigideces laterales en tabiques enmarcados de dimensiones: largo 3.50m y altura 2.50m (geometría cuadrada)

Caso	Desplaz. Lat. Modelo de Referencia (mm)	Desplaz. Lat. Modelo con ancho de puntal 1.75H (mm)	Desplaz. Lat. Modelo con ancho de puntal 3H (mm)	Desplaz. Lat. Modelo con ancho de puntal 4.25H (mm)	Rigidez Lat. Modelo de Referencia (Ton/m)	Rigidez Lat. Modelo con ancho de puntal 1.75H (Ton/m)	Rigidez Lat. Modelo con ancho de puntal 3H (Ton/m)	Rigidez Lat. Modelo con ancho de puntal 4.25H (Ton/m)
Caso 1: CR – VR – E25	1.34	1.337	0.935	0.728	14925	14959	21390	27473
Caso 2: CR – VR – E15	1.74	1.786	1.314	1.047	11494	11198	15221	19102
Caso 3: CR – VF – E25	1.571	1.462	0.993	0.762	12731	13680	20141	26247
Caso 4: CR – VF – E15	2.078	2.02	1.434	1.12	9625	9901	13947	17857
Caso 5: CF – VF – E25	2.268	2.969	1.9	1.42	8818	6736	10526	14085
Caso 6: CF – VF – E15	3.182	4.413	2.9	2.18	6285	4532	6897	9174
Caso 7: CF – VR – E25	1.868	2.693	1.789	1.357	10707	7427	11179	14738
Caso 8: CF – VR – E15	2.585	3.821	2.639	2.03	7737	5234	7579	9852

Con los datos consignados en los cuadros 2 y 3, se han construido los siguientes gráficos:

-Relación entre la rigidez lateral y el ancho del puntal, para cada uno de los 16 casos considerados (gráficos 1 al 4).

-Variación en porcentaje, de la rigidez lateral de los modelos, obtenida con los tres anchos del puntal equivalente, respecto de la rigidez lateral del modelo de referencia; para cada uno de los 16 casos considerados (gráficos 5 al 8):

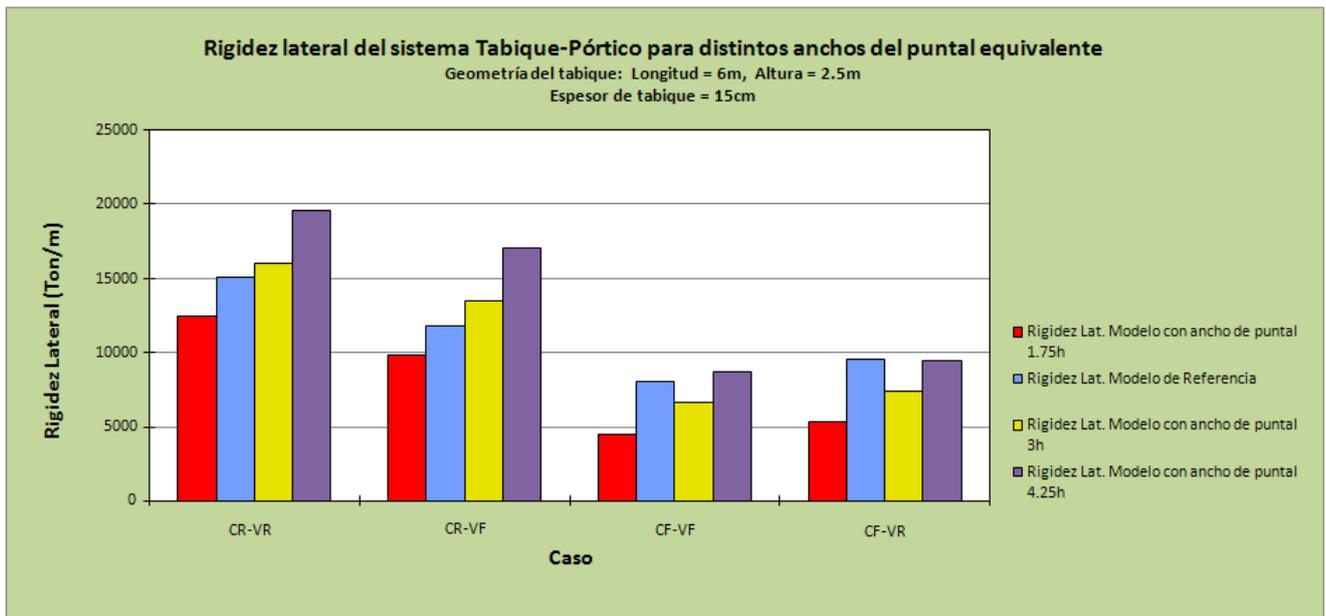


Gráfico 1. Relación entre la rigidez lateral y el ancho del puntal equivalente Geometría "rectangular" Espesor del tabique: 15cm

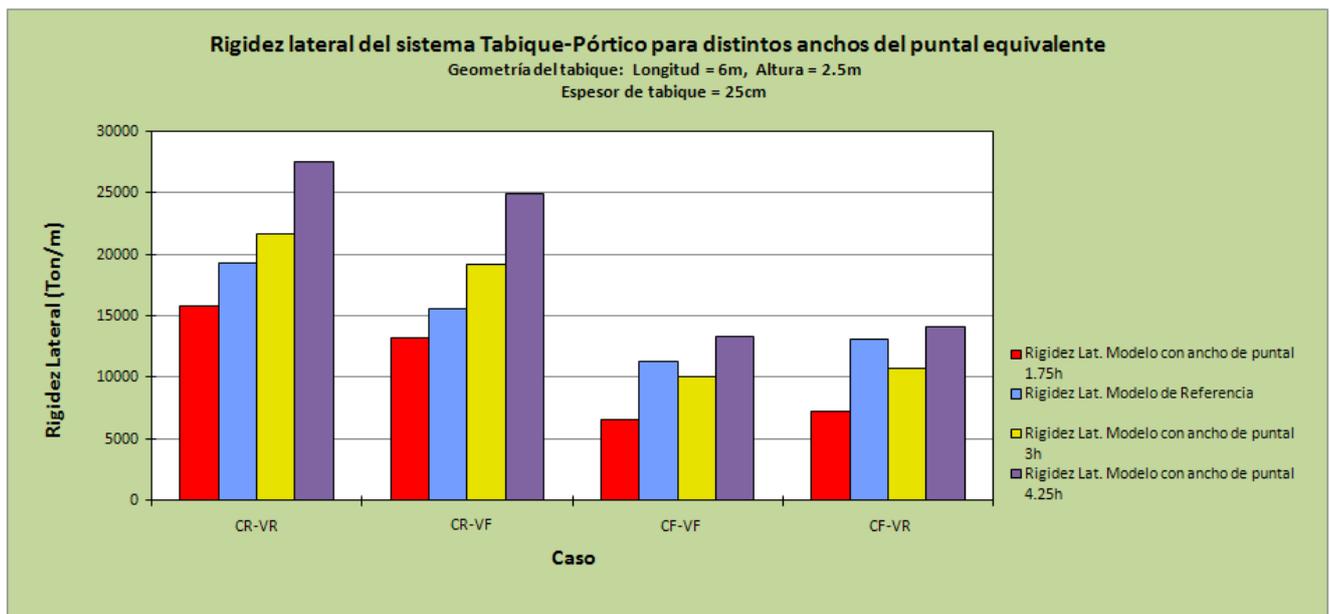


Gráfico 2. Relación entre la rigidez lateral y el ancho del puntal equivalente Geometría "rectangular" Espesor del tabique: 25cm

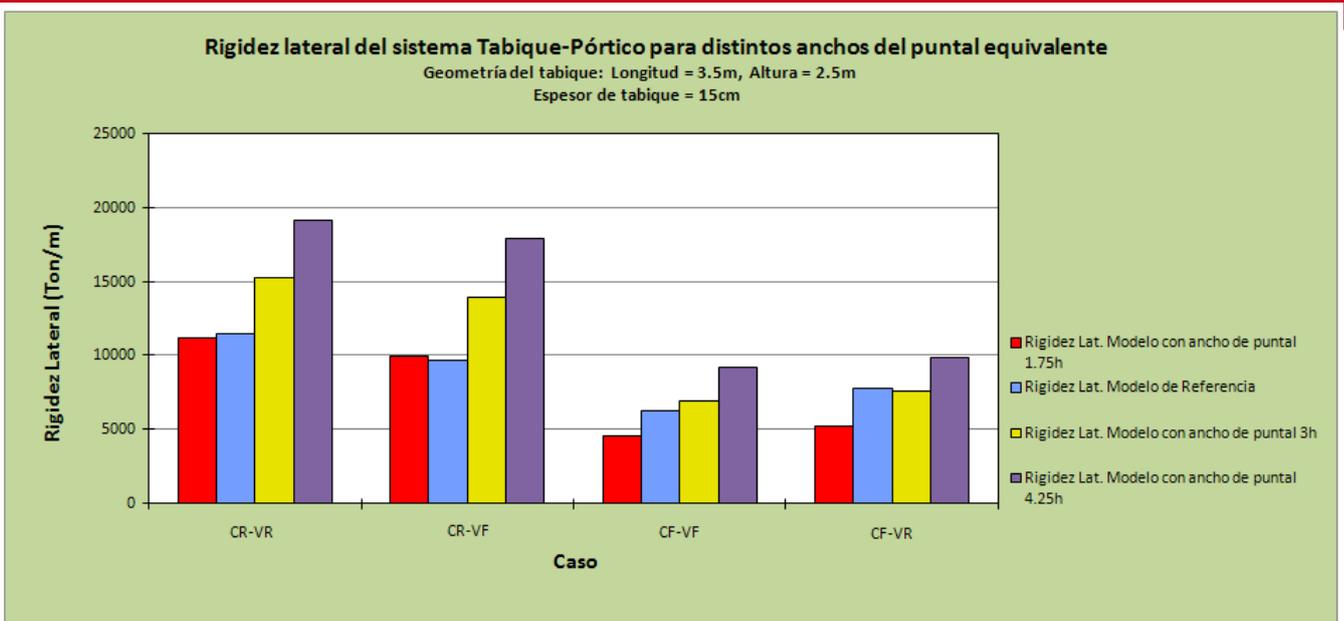


Gráfico 3. Relación entre la rigidez lateral y el ancho del puntal equivalente
Geometría “cuadrada”
Espesor del tabique: 15cm

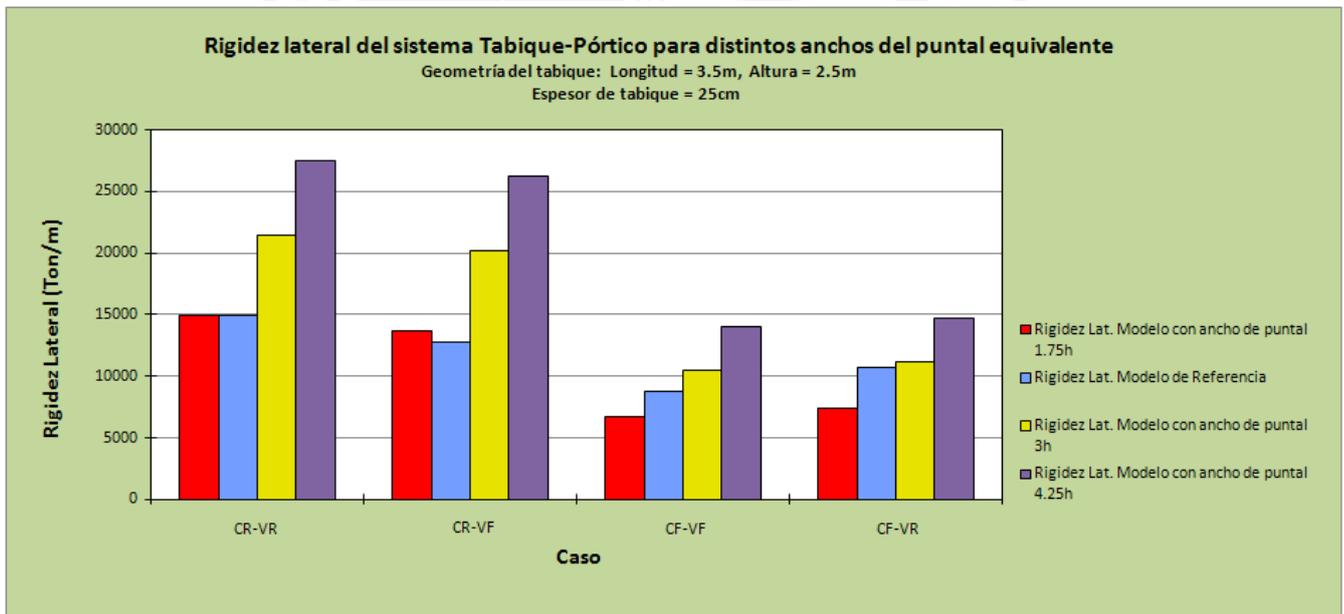


Gráfico 4. Relación entre la rigidez lateral y el ancho del puntal equivalente
Geometría “cuadrada”
Espesor del tabique: 25cm

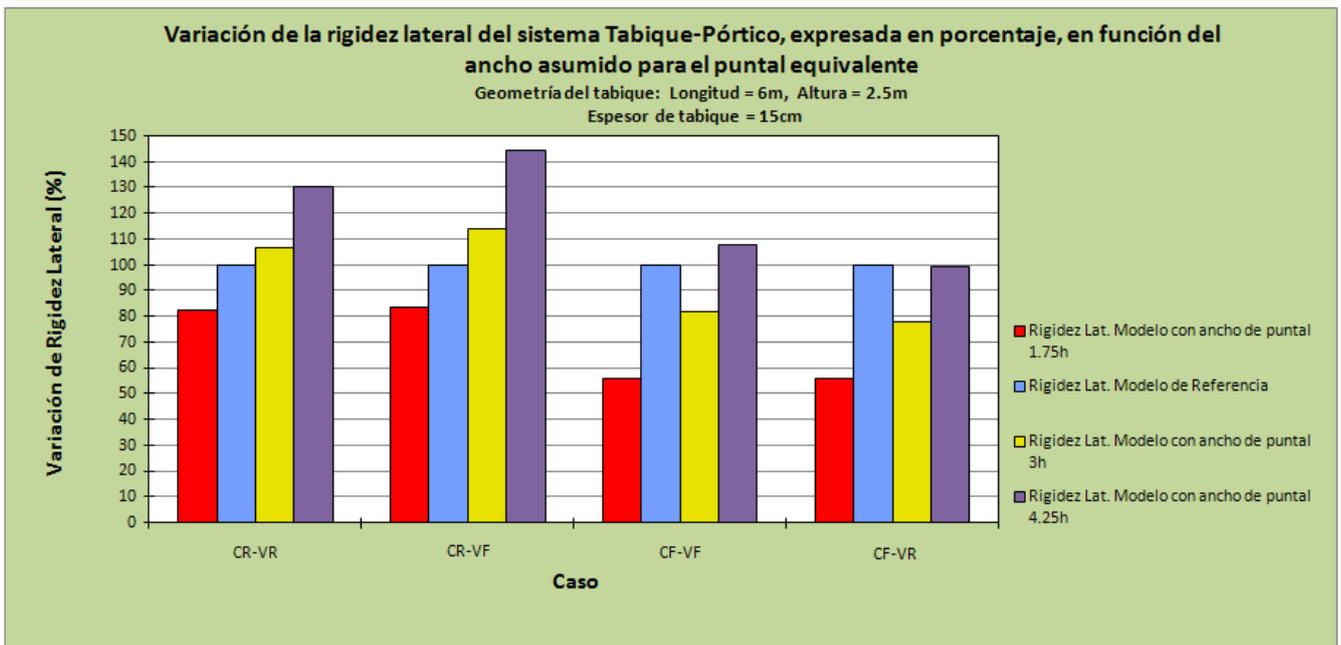


Gráfico 5. Variación de la rigidez lateral del sistema pórtico-puntal, para los 3 anchos (de puntal) considerados, respecto de la rigidez lateral del modelo de referencia Geometría “rectangular” Espesor del tabique: 15cm

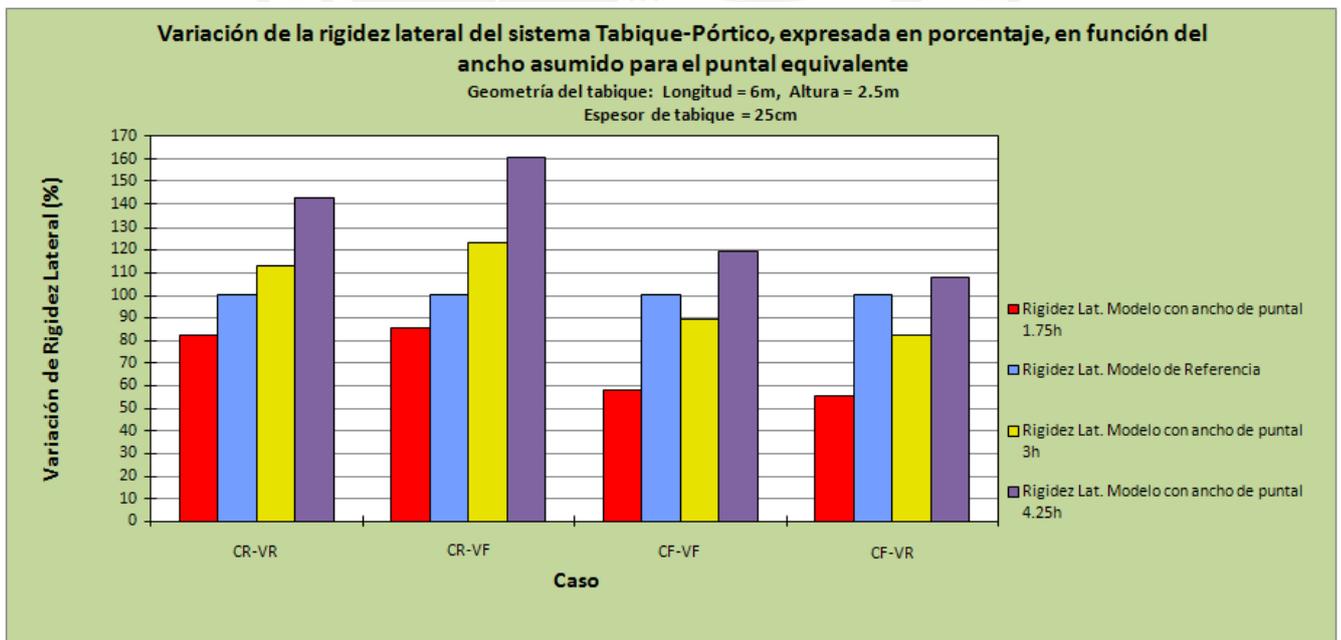


Gráfico 6. Variación de la rigidez lateral del sistema pórtico-puntal, para los 3 anchos (de puntal) considerados, respecto de la rigidez lateral del modelo de referencia Geometría “rectangular” Espesor del tabique: 25cm

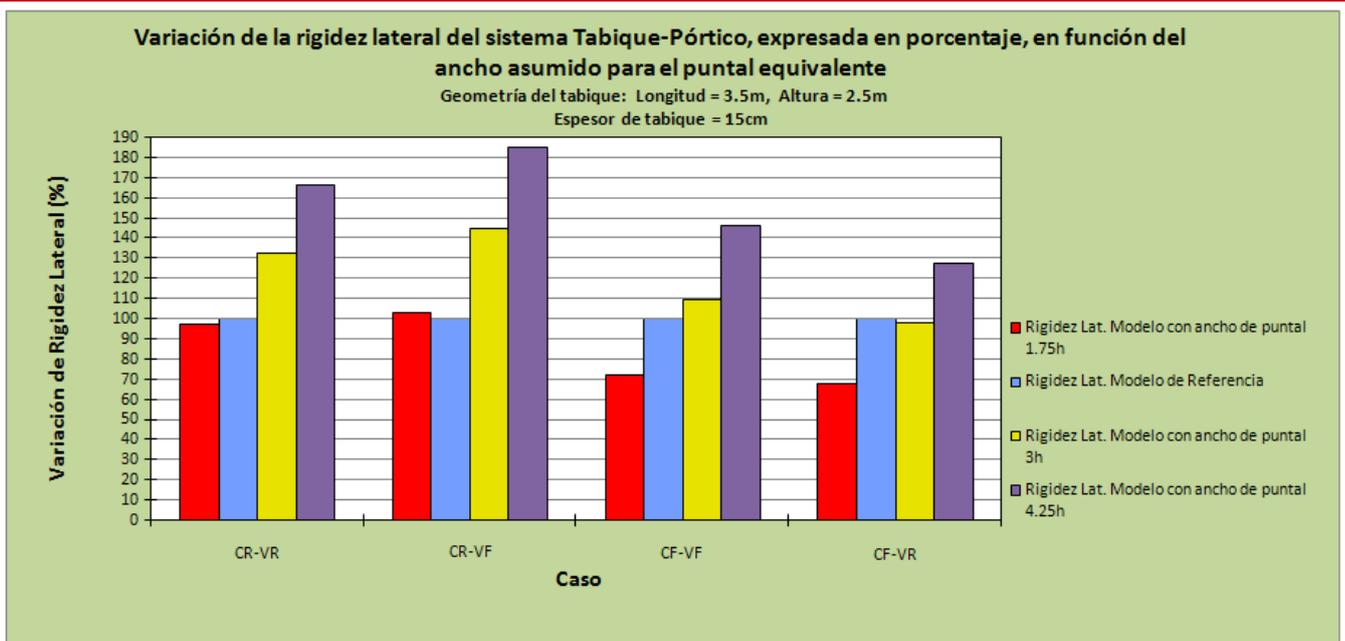


Gráfico 7. Variación de la rigidez lateral del sistema pórtico-puntal, para los 3 anchos (de puntal) considerados, respecto de la rigidez lateral del modelo de referencia Geometría “cuadrada” Espesor del tabique: 15cm

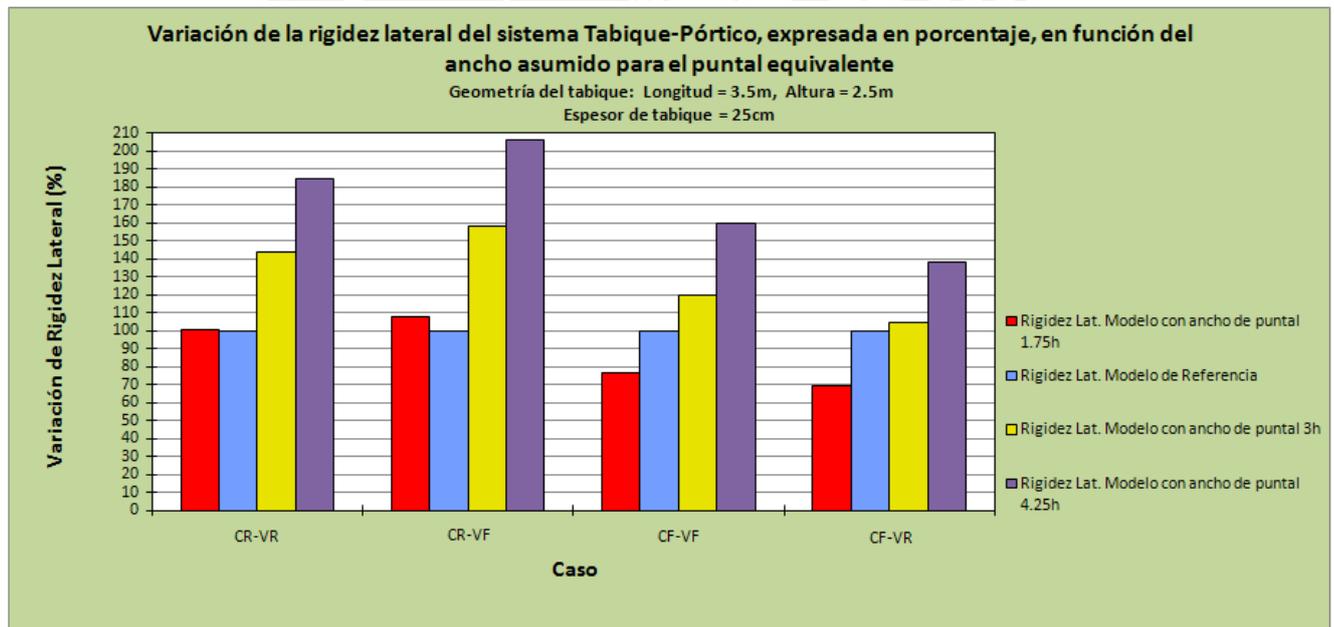


Gráfico 8. Variación de la rigidez lateral del sistema pórtico-puntal, para los 3 anchos (de puntal) considerados, respecto de la rigidez lateral del modelo de referencia Geometría “cuadrada” Espesor del tabique: 25cm

En los gráficos 1 al 8, podemos observar que la rigidez lateral del “modelo de referencia” está ubicada **entre** las rigideces de los modelos “pórtico – diagonal equivalente” con anchos de diagonal 1.75H y 4.25H. Por lo tanto se puede concluir que, efectivamente, los “anchos de los

puntales equivalentes” para los casos previstos, se encuentran en un rango entre 1.75H y 4.25H (siendo “H” el peralte de la columna del pórtico).

De acuerdo con los gráficos 3 y 4, la rigidez lateral del sistema “tabique-pórtico” puede ser representada por un modelo “pórtico-puntal” con un ancho aproximado de 1.75H para el “puntal equivalente”; esto es para el *Caso COLUMNA RIGIDA-VIGA RIGIDA*, geometría CUADRADA y para ambos espesores considerados para el tabique: 15cm y 25cm.

De acuerdo con los gráficos 1 y 2, la rigidez lateral del sistema “tabique-pórtico” puede ser representada por un modelo “pórtico-puntal” con un ancho aproximado de 4.25H para el “puntal equivalente”; esto es para el *Caso COLUMNA FLEXIBLE-VIGA RIGIDA*, geometría RECTANGULAR y para ambos espesores considerados para el tabique: 15cm y 25cm.

Para el resto de los 16 casos considerados, el espesor del puntal equivalente se encuentra entre estos dos extremos.

La importancia de las cuatro variables consideradas en la definición del ancho del “puntal equivalente” se evaluará de la siguiente manera:

De los resultados obtenidos se ha podido concluir en que la rigidez lateral del sistema “pórtico-puntal” es directamente proporcional al ancho del “puntal equivalente”. A continuación se presenta el cuadro 4 que sustenta esta conclusión:

Cuadro 4.- Rigidez lateral de modelos pórtico-puntal con ancho 3H para el puntal equivalente, obtenidas por interpolación lineal entre los valores 1.75H y 4.25H, y por análisis estructural

Caso	Geometría del tabique (largo x altura)	Espesor del tabique (cm)	Rigidez obtenida por interpolación Ancho 3H (Ton/m)	Rigidez obtenida por análisis Ancho 3H (Ton/m)
CR – VR	6.0x2.5	25	19249	19249
	6.0x2.5	15	15049	15049
	3.5x2.5	25	14925	14925
	3.5x2.5	15	11494	11494
CR – VF	6.0x2.5	25	15516	15516
	6.0x2.5	15	11779	11779
	3.5x2.5	25	12731	12731
	3.5x2.5	15	9625	9625
CF – VF	6.0x2.5	25	11230	11230
	6.0x2.5	15	8091	8091
	3.5x2.5	25	8818	8818
	3.5x2.5	15	6285	6285
CF – VR	6.0x2.5	25	13080	13080
	6.0x2.5	15	9510	9510
	3.5x2.5	25	10707	10707
	3.5x2.5	15	7737	7737

En el cuadro 4 se consigna las rigideces laterales, de los 16 casos contemplados en la tesis, obtenidas por análisis estructural de un modelo pórtico-puntal, en el que el ancho del puntal equivalente es 3H. En el mismo cuadro se consignan las rigideces laterales de los 16 casos, obtenidas por interpolación lineal entre los valores extremos: 1.75H y 4.25H, para un ancho de puntal equivalente de 3H. Como se puede comprobar, la rigidez obtenida por interpolación lineal, entre los anchos 1.75H y 4.25H, coincide perfectamente con la rigidez obtenida por análisis estructural.

Puesto que existe esta relación lineal entre la rigidez lateral y el ancho del “puntal equivalente”; vamos a establecer, a través de la rigidez lateral del modelo de referencia y por interpolación lineal, cual debería ser el ancho “exacto” del “puntal equivalente” para cada uno de los 16 casos considerados. Los resultados se muestran en el cuadro 5:

Cuadro 5.- Anchos requeridos para el puntal equivalente

Caso	Geometría del tabique (largo x altura)	Espesor del tabique (cm)	Ancho de puntal requerido
CR – VR	6.0x2.5	25	2.49H
	6.0x2.5	15	2.67H
	3.5x2.5	25	1.74H
	3.5x2.5	15	1.84H
CR – VF	6.0x2.5	25	2.24H
	6.0x2.5	15	2.43H
	3.5x2.5	25	1.56H
	3.5x2.5	15	1.66H
CF – VF	6.0x2.5	25	3.47H
	6.0x2.5	15	3.88H
	3.5x2.5	25	2.46H
	3.5x2.5	15	2.69H
CF – VR	6.0x2.5	25	3.88H
	6.0x2.5	15	4.27H
	3.5x2.5	25	2.87H
	3.5x2.5	15	3.10H

Si se lleva a un gráfico estos resultados, en él se podría observar la importancia que tiene cada una de las cuatro variables consideradas para definir el ancho del puntal equivalente de un modelo pórtico-puntal. A continuación se presenta el gráfico 9 en el que se muestran los “anchos de puntal equivalente” necesarios para representar “exactamente” la rigidez lateral de un sistema tabique-pórtico a través de un modelo pórtico-puntal.

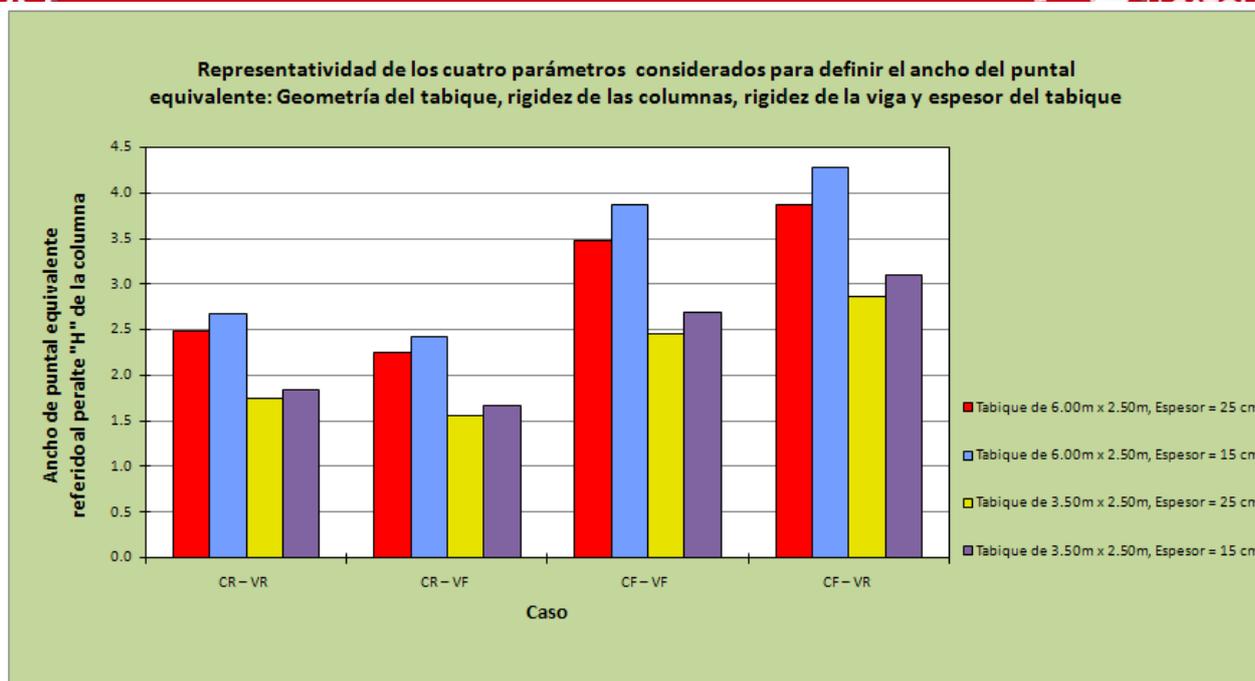


Gráfico 9. Representatividad de los cuatro parámetros utilizados para definir el ancho del puntal equivalente para un modelo pórtico-puntal

De la observación del gráfico 9, se puede concluir:

- 1.- En todos los casos, el espesor del tabique no tiene mayor importancia en la definición del ancho del puntal equivalente: no hay un cambio sustancial entre las alturas de las barras roja y celeste y entre las alturas de las barras amarilla y magenta.
- 2.- En todos los casos, la rigidez de la viga no tiene mayor importancia en la definición del ancho del puntal equivalente: la altura de las barras no se modifican sustancialmente al pasar de un caso con viga flexible a otro análogo pero con viga rígida.
- 3.- La geometría del tabique tiene importancia considerable en la definición del ancho del puntal equivalente. Conforme el tabique se hace más “cuadrado”, el ancho del puntal equivalente disminuye: la altura de las barras se modifican si se pasa de un caso con geometría cuadrada a otro análogo pero con geometría rectangular.
- 4.- La rigidez de la columna tiene primordial importancia en la definición del ancho del puntal equivalente: hay una variación sustancial en la altura de las barras cuando pasamos de un caso con columna flexible a otro análogo pero con columna rígida.
 - Cuando se tiene un **tabique “rectangular”** (de espesor 15cm ó 25cm), un pórtico con **columnas rígidas** (la viga puede ser rígida o flexible); el ancho del puntal equivalente se aproxima a 2.5H.
 - Cuando se tiene un **tabique “rectangular”** (de espesor 15cm ó 25cm), un pórtico con **columnas flexibles** (la viga puede ser rígida o flexible); el ancho del puntal equivalente se aproxima a 4H.
 - Cuando se tiene un **tabique “cuadrado”** (de espesor 15cm ó 25cm), un pórtico con **columnas rígidas** (la viga puede ser rígida o flexible); el ancho del puntal equivalente se aproxima a 1.7H.

- Cuando se tiene un **tabique “cuadrado”** (de espesor 15cm ó 25cm), un pórtico con **columnas flexibles** (la viga puede ser rígida o flexible); el ancho del puntal equivalente se aproxima a 2.75H.

Es así que en la definición del “ancho” del puntal equivalente se tienen dos variables con importancia considerable: la rigidez de las columnas del pórtico y la geometría del tabique. Puesto que uno de los objetivos de nuestra investigación es definir este “ancho” de manera confiable pero al mismo tiempo fácil de utilizar en la práctica profesional; nos proponemos definir el “ancho” del puntal equivalente solo a través de un parámetro: el peralte “H” de las columnas.

Entre la geometría del tabique y la rigidez de las columnas del pórtico, mayor importancia tiene la rigidez de la columna: si llevamos un pórtico “rectangular” con columnas rígidas a uno “cuadrado” con columnas rígidas, pasamos de un puntal de ancho 2.5H a otro de ancho 1.7H (0.8H de diferencia). En cambio si llevamos el mismo pórtico “rectangular” con columnas rígidas a un pórtico “rectangular” con columnas flexibles, pasamos de un puntal de ancho 2.5H a otro de ancho 4H (1.5H de diferencia). A continuación se presentan dos cuadros, cuya finalidad es cuantificar la importancia de la “geometría del tabique” contra la “rigidez de la columna”:

En el cuadro 6 se consigna el “cambio” en el tamaño del “ancho” del puntal equivalente cuando se varía la rigidez de las columnas del pórtico mientras los otros tres parámetros permanecen constantes: geometría del tabique, rigidez de la viga y espesor del tabique.

Cuadro 6.- “Cambios” en el “ancho” del puntal equivalente cuando varía la rigidez de las columnas del pórtico

Constantes	Variables	Diferencia entre los "anchos" de las diagonales equivalentes
– Geometría rectangular – Viga rígida – Espesor 15 cm	Pasamos de CR a CF	1.61H
– Geometría rectangular – Viga rígida – Espesor 25 cm	Pasamos de CR a CF	1.39H
– Geometría rectangular – Viga flexible – Espesor 15 cm	Pasamos de CR a CF	1.45H
– Geometría rectangular – Viga flexible – Espesor 25 cm	Pasamos de CR a CF	1.23H
– Geometría cuadrada – Viga rígida – Espesor 15 cm	Pasamos de CR a CF	1.26H
– Geometría cuadrada – Viga rígida – Espesor 25 cm	Pasamos de CR a CF	1.13H
– Geometría cuadrada – Viga flexible – Espesor 15 cm	Pasamos de CR a CF	1.03H
– Geometría cuadrada – Viga flexible – Espesor 25 cm	Pasamos de CR a CF	0.90H

En el cuadro 7 se consigna el “cambio” en el “ancho” del puntal equivalente cuando se varía la geometría del tabique mientras los otros tres parámetros permanecen constantes: rigidez de las columnas, rigidez de la viga y espesor del tabique.

Cuadro 7.- “Cambios” en el “ancho” del puntal equivalente cuando varía la geometría del tabique

Constantes	Variables	Diferencia entre los "anchos" de las diagonales equivalentes
– Columna rígida	Pasamos de geometría "rect." a geometría "cuad."	0.82H
– Viga rígida		
– Espesor 15 cm		
– Columna rígida	Pasamos de geometría "rect." a geometría "cuad."	0.75H
– Viga rígida		
– Espesor 25 cm		
– Columna rígida	Pasamos de geometría "rect." a geometría "cuad."	0.76H
– Viga flexible		
– Espesor 15 cm		
– Columna rígida	Pasamos de geometría "rect." a geometría "cuad."	0.68H
– Viga flexible		
– Espesor 25 cm		
– Columna flexible	Pasamos de geometría "rect." a geometría "cuad."	1.17H
– Viga rígida		
– Espesor 15 cm		
– Columna flexible	Pasamos de geometría "rect." a geometría "cuad."	1.01H
– Viga rígida		
– Espesor 25 cm		
– Columna flexible	Pasamos de geometría "rect." a geometría "cuad."	1.18H
– Viga flexible		
– Espesor 15 cm		
– Columna flexible	Pasamos de geometría "rect." a geometría "cuad."	1.02H
– Viga flexible		
– Espesor 25 cm		

Si promediamos los valores consignados en el cuadro 6, se obtiene un valor que representa la importancia del “cambio de rigidez de las columnas” en la definición del “ancho del puntal equivalente”; ese promedio es **1.25H** (con una desviación estándar de 0.2).

Luego, si promediamos los valores consignados en el cuadro 7, se obtiene un valor que representa la importancia del “cambio de la geometría del tabique” en la definición del “ancho del puntal equivalente”; ese promedio es **0.9H** (con una desviación estándar de 0.2).

Es así que se sustenta que, en la definición del ancho de la diagonal equivalente, la rigidez de las columnas tiene mayor influencia que la geometría del tabique: el cambio de la rigidez de las columnas implica una variación del ancho del puntal equivalente mayor a la que implicaría una variación en la geometría del tabique.

Puesto que uno de los objetivos de la tesis es establecer un “ancho” confiable para las diagonales equivalentes, pero que al mismo tiempo pueda ser calculado fácilmente; de tal manera de auspiciar su uso en la práctica profesional. Por ello es que se necesita definir dicho “ancho” en función de una sola variable; y esta variable tendría que ser el peralte “H” de las columnas del pórtico. Si vamos al cuadro 5 y agrupamos los “anchos del puntal requeridos” de la siguiente forma:

- “anchos de puntal requeridos” para todos los casos en que se tenga “columnas rígidas” y “geometría rectangular: $2.49H - 2.67H - 2.24H - 2.43H$.
- “anchos de puntal requeridos” para todos los casos en que se tenga “columnas rígidas” y “geometría cuadrada”: $1.74H - 1.84H - 1.56H - 1.66H$.
- “anchos de puntal requeridos” para todos los casos en que se tenga “columnas flexibles” y “geometría rectangular: $3.47H - 3.88H - 3.88H - 4.27H$.
- “anchos de puntal requeridos” para todos los casos en que se tenga “columnas flexibles” y “geometría cuadrada”: $2.46H - 2.69H - 2.87H - 3.1H$.

Como se puede observar, los valores correspondientes a cada grupo, están muy cercanos entre sí por lo que el “promedio” de los mismos representaría adecuadamente al grupo. Los promedios, para cada grupo son: $2.46H$, $1.7H$, $3.87H$ y $2.78H$, respectivamente. Considerando que en la gran mayoría de edificios la geometría de los tabiques enmarcados son más “rectangulares” que “cuadrados” y que el “ancho” del puntal equivalente disminuye conforme la geometría se hace más “cuadrada”; podemos “retirar” la variable: “geometría del tabique”, calculando el promedio de los valores del “ancho del puntal equivalente” de los casos en los que se tenga la misma rigidez para las columnas, y estaríamos en una posición conservadora. De esta manera se obtienen dos valores extremos para los “anchos del puntal equivalente” en función, solo, del peralte “H” de las columnas: uno obtenido para una columna de 35cm de peralte, y otro obtenido para una columna de 60cm de peralte. Para ser consistente en este procedimiento, vamos a crear 2 casos auxiliares: uno para definir la forma de la variación entre la geometría y el ancho del puntal equivalente y otro para definir la forma de la variación entre la rigidez de las columnas y el ancho del puntal equivalente. Por lo tanto se creará una geometría denominada “intermedia” de largo 4.75m y altura 2.50m, cuya relación largo/altura es 1.9; ya que las dos geometrías previamente definidas y denominadas “geometría rectangular” y “geometría cuadrada” tienen relaciones “largo/altura” iguales a 2.4 y 1.4, respectivamente. Así mismo se creará una “columna intermedia” de sección $0.25m \times 0.475m$, que también tiene un peralte intermedio respecto de los dos previamente definidos: 0.35m, para la “columna flexible” y 0.60m, para la “columna rígida”. Los dos casos auxiliares tienen las siguientes características:

El primer caso auxiliar:

- Geometría intermedia: 4.75m de largo por 2.50m de altura (largo/altura = 1.9)
- Columnas rígidas: sección 25cm x 60cm.
- Viga rígida: sección 25cm x 47.5cm (peralte $\approx L/10$).
- Espesor del tabique: 25cm.

El segundo caso auxiliar:

- Geometría “rectangular: 6.00m de largo por 2.50m de altura (largo/altura = 2.4).
- Columnas intermedias: sección 25cm x 47.5cm.

-Viga rígida: sección 25cm x 60cm (peralte $\approx L/10$).

-Espesor del tabique: 25cm

Los resultados del análisis estructural para estos dos casos se muestran en el cuadro 8:

Cuadro 8.- Desplazamientos y rigideces laterales para los casos auxiliares considerados

Caso	Desplaz. Lat. Modelo de Referencia (mm)	Desplaz. Lat. Modelo con ancho de puntal 1.75H (mm)	Desplaz. Lat. Modelo con ancho de puntal 4.25H (mm)	Rigidez Lat. Modelo de Referencia (Ton/m)	Rigidez Lat. Modelo con ancho de puntal 1.75H (Ton/m)	Rigidez Lat. Modelo con ancho de puntal 4.25H (Ton/m)
Caso auxiliar 1:	1.237	1.772	0.972	16168	11287	20576
Caso auxiliar 2:	1.149	1.277	0.707	17406	15662	28289

Con estos resultados podemos obtener, en cada caso auxiliar, el ancho “exacto” requerido para el puntal equivalente (por interpolación lineal); los cuales se consignan en el cuadro 9:

Cuadro 9.- Anchos “exactos” para el puntal equivalente

Caso	Geometría del tabique (largo x altura)	Sección de las columnas	Sección de las vigas	Espesor del tabique (cm)	Ancho de puntal requerido
Caso auxiliar 1:	4.75x2.5 "Geometría intermedia"	25x60 "Columna rígida"	25x47.5 "Viga rígida"	25	2.10H
Caso auxiliar 2:	6x2.5 "Geometría rectangular"	25x47.5 "Columna intermedia"	25x60 "Viga rígida"	25	3.06H

Con estos dos casos que representan casos intermedios a los previamente considerados, definiremos, por interpolación, la forma de la variación entre: “la geometría y el ancho del puntal”, y “la rigidez de las columnas y el ancho del puntal”.

Para definir la variación entre la geometría y el ancho del puntal se ha tomado: el caso “auxiliar 1”, el caso “CR-VR-E25-geometria rectangular” y el caso “CR-VR-E25-geometria cuadrada”. Como se puede observar, en los tres casos considerados, se ha conservado la rigidez de las columnas: “columna rígida”, se ha conservado la rigidez de las vigas pues en los tres casos se tienen vigas con peraltes iguales a $L/10$ y se ha conservado el espesor del tabique, 25cm; solo se ha variado la geometría. Es así que se ha obtenido el gráfico 10, el cual indica la forma de la relación entre ambas variables:

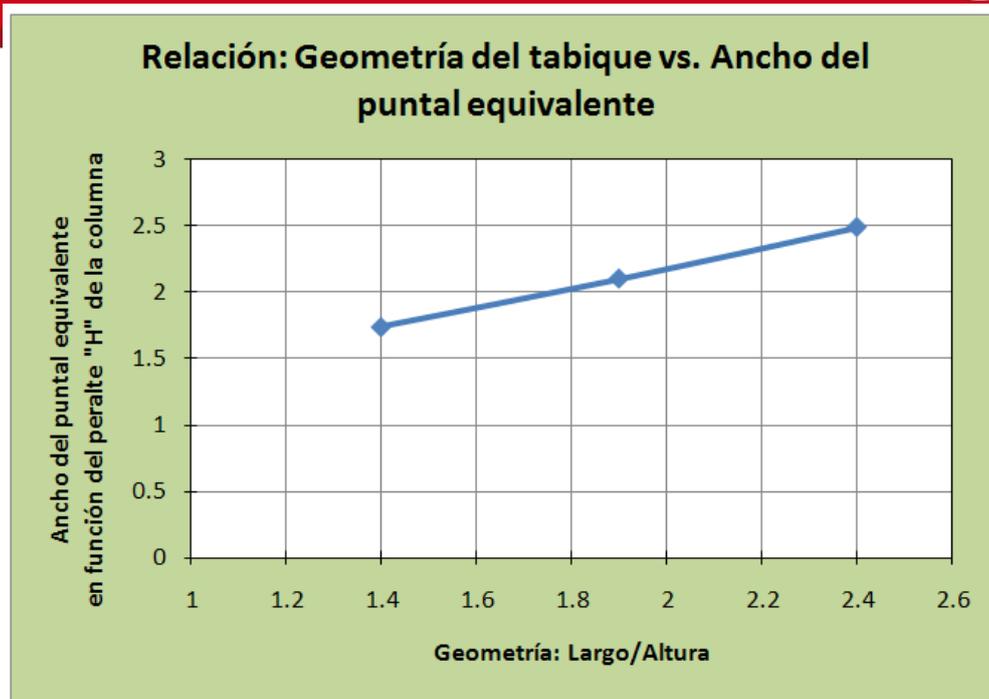


Gráfico 10. Variación entre la geometría y el ancho del puntal equivalente

Como se puede observar, en el gráfico 10, la variación entre la geometría expresada por su relación largo/altura y el ancho del puntal equivalente expresado en función del peralte "H" de las columnas del pórtico, es, prácticamente, lineal. Por lo tanto el "promedio aritmético" entre los anchos del puntal equivalente para geometría "rectangular" y geometría "cuadrada", es conservador por las razones arriba esgrimidas.

Por lo tanto se tendría que:

- **Para pórticos con columnas rígidas ($H=60\text{cm}$), el ancho del puntal equivalente es $2.0H$.**
- **Para pórticos con columnas flexibles ($H=35\text{cm}$), el ancho del puntal equivalente es $3.3H$.**

Ahora queda definir como varía la rigidez de las columnas del pórtico con el ancho del puntal equivalente.

Para definir la variación entre la rigidez de las columnas y el ancho del puntal se ha tomado: el caso "auxiliar 2", el caso "CR-VR-E25-geometría rectangular" y el caso "CF-VR-E25-geometría rectangular". Como se puede observar, en los tres casos considerados, se ha conservado la geometría: "rectangular", se ha conservado la rigidez de las vigas pues en los tres casos se tienen vigas de sección 25cm x 60cm y se ha conservado el espesor del tabique, 25cm; solo se ha variado la rigidez de las columnas. Es así que se ha obtenido el gráfico 11, que indica la forma de la relación entre ambas variables:

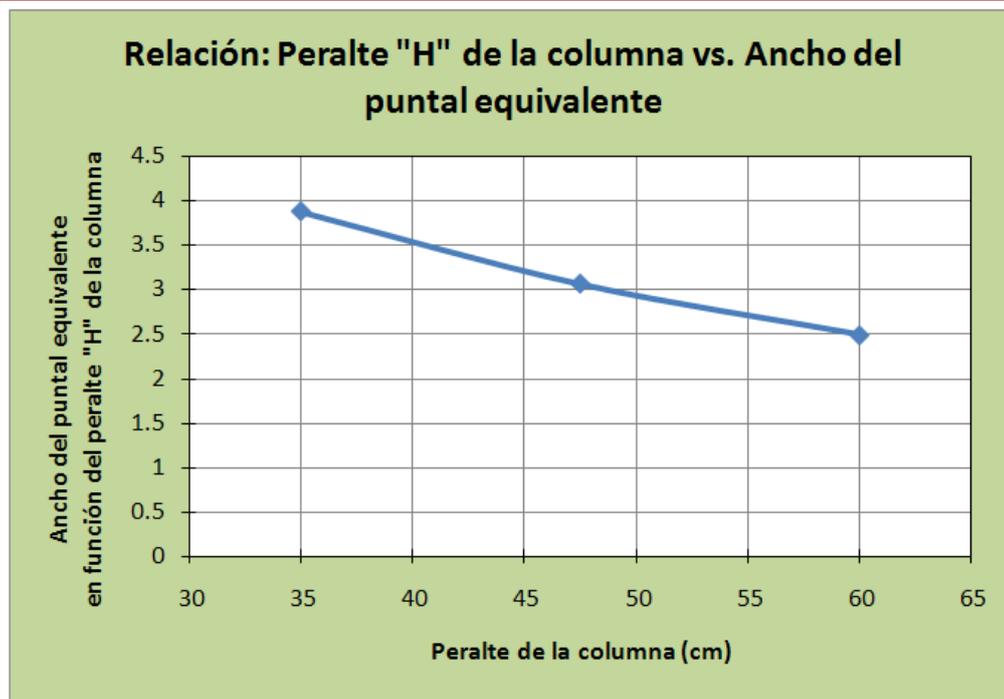


Gráfico 11. Variación entre la rigidez de las columnas y el ancho del puntal equivalente

De acuerdo con el gráfico 11, la relación entre el peralte de las columnas del pórtico y el ancho del puntal equivalente “tiende” a ser lineal, al menos en el rango considerado: de 35cm a 60cm.

Por lo tanto una expresión conservadora para calcular el ancho del puntal equivalente a través del peralte “H” de las columnas del pórtico, obtenida del gráfico 11, es:

$$\text{Ancho del puntal equivalente} = [3.3 + \frac{(35-H) \cdot 1.3}{25}] \cdot H \text{ (cm) Para } 35 \leq H \leq 60$$

Graticando esta ecuación, para valores de “H” entre 35cm y 60cm, se obtiene el gráfico 12:

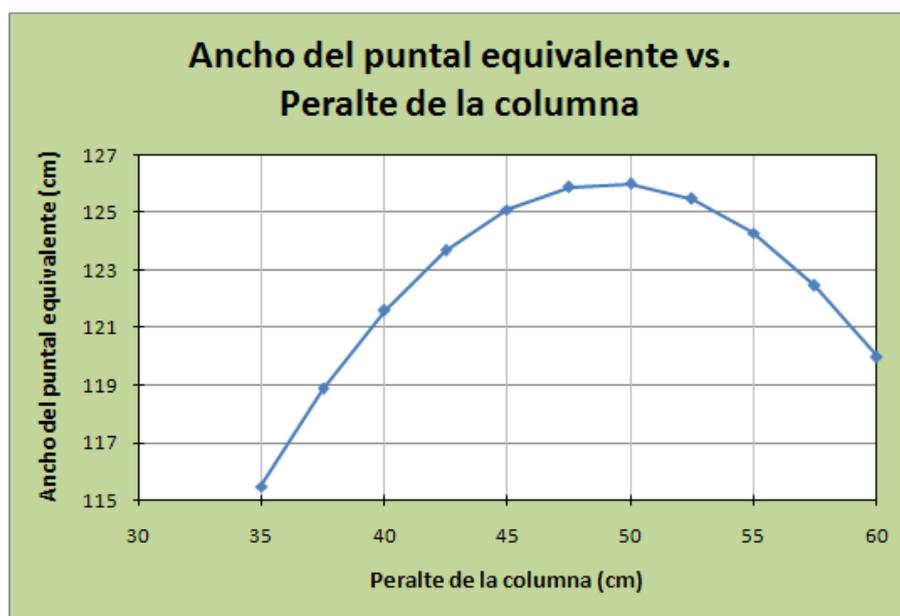


Gráfico 12. Anchos del puntal equivalente para valores de H entre 35cm y 60cm

Como se puede observar en el gráfico 12, todos los valores están muy cercanos entre sí y se ubican alrededor de 120cm. Por lo tanto podemos concluir en que, en edificios con columnas cuyas secciones transversales tienen peraltes entre 35cm y 60cm, **los tabiques enmarcados pueden ser representados con una diagonal de ancho 1.20m.**

Para concluir, se procesaron, los 16 casos considerados en la tesis más los casos auxiliares, con un modelo pórtico-diagonal equivalente con ancho de 1.20m; obteniéndose los resultados consignados en el cuadro 10 y en el gráfico 13:

Cuadro 10.- Diferencia entre la rigidez lateral del modelo de referencia y la rigidez lateral obtenida con el modelo pórtico-puntal equivalente con ancho de 1.20m; para todos los casos contemplados en la tesis

Caso	Rigidez Lateral con ancho de diagonal 1.20m (Ton/m)	Rigidez Lateral modelo de referencia (Ton/m)	Diferencia en porcentaje (%)
Geometría "rectangular"			
CR – VR – E15	13149	15049	-12.60
CR – VR – E25	16978	19249	-11.80
CR – VF – E15	10560	11779	-10.30
CR – VF – E25	14389	15516	-7.30
CF – VF – E15	7353	8091	-9.11
CF – VF – E25	11130	11230	-0.90
CF – VR – E15	8107	9510	-14.70
CF – VR – E25	11877	13080	-9.20
Geometría "cuadrada"			
CR – VR – E15	12012	11494	4.50
CR – VR – E25	16273	14925	9.00
CR – VF – E15	10718	9625	11.40
CR – VF – E25	15004	12731	17.80
CF – VF – E15	7683	6285	22.20
CF – VF – E25	11758	8818	33.30
CF – VR – E15	8365	7737	8.10
CF – VR – E25	12415	10707	15.90
Casos auxiliares			
Auxiliar 1	16964	16168	4.90
Auxiliar 2	14215	17406	-18.30

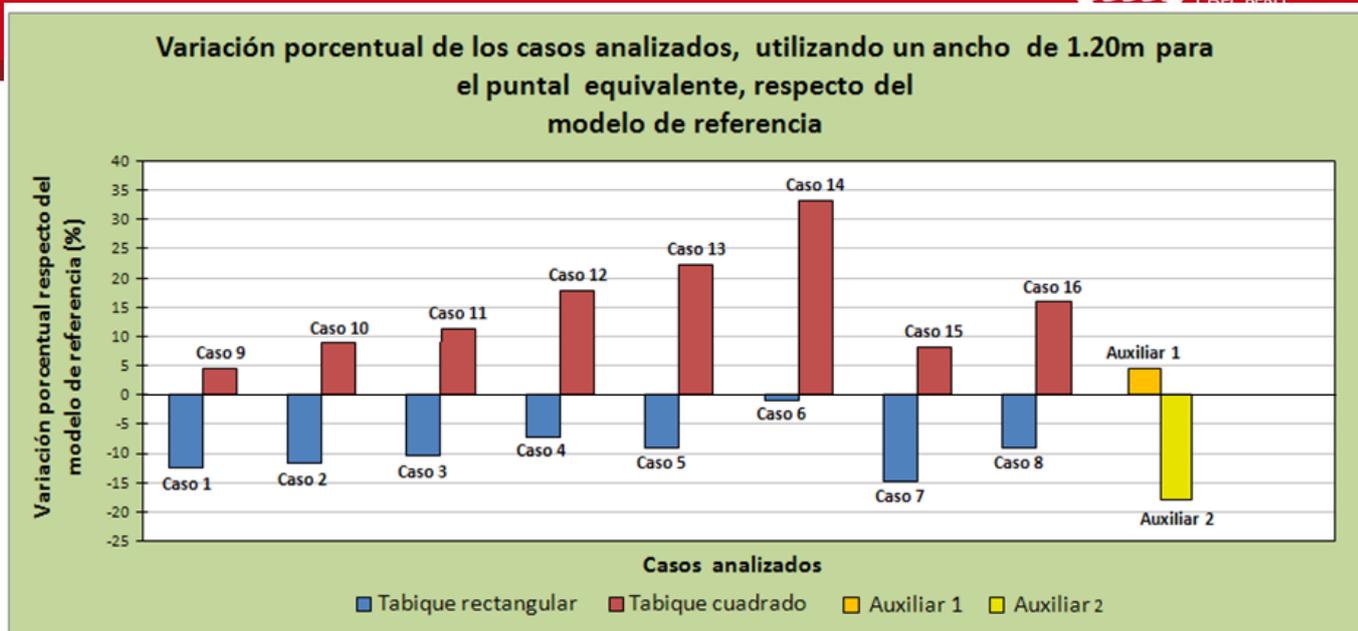


Gráfico 13. Variación porcentual de los casos analizados, utilizando un ancho de 1.20m para el puntal equivalente, respecto del modelo de referencia.

Como se observa en el cuadro 10 y el gráfico 13; para el caso de una geometría “rectangular”, la máxima variación entre los resultados del modelo pórtico-diagonal con ancho de 1.20m y el modelo de referencia, es del orden del 12.6%; lo cual es aceptable para una aplicación práctica. En el caso de una geometría “cuadrada”, la máxima variación entre los resultados del modelo pórtico-diagonal con ancho de 1.20m y el modelo de referencia, es del orden del 17.8%; con excepción de los casos de CF-VF-E15 que tiene una diferencia del 22.2% y el caso de CF-VF-E25 que tiene una diferencia del 33.3%. En ambos casos se tienen vigas flexibles: “VF”; lo cual no es usual utilizar en la estructuración de edificios peruanos ($h \approx L/17$). En los casos auxiliares, como se ve, se obtiene una variación entre los resultados del modelo pórtico-diagonal con ancho de 1.20m y el modelo de referencia, del orden de 4.9%, para el caso auxiliar 1 (geometría “intermedia”), y de 18.3%, para el caso auxiliar 2 (columnas “intermedias”).

Por lo tanto podemos afirmar que representando la interacción tabique-pórtico, a través de un modelo pórtico-diagonal equivalente con un ancho de 1.20m, se logra una buena aproximación en lo que respecta a la rigidez lateral.

2.4.- VERIFICACIÓN DE LA EQUIVALENCIA ENTRE DOS DIAGONALES: UNA TRABAJANDO EN COMPRESIÓN Y LA OTRA EN TRACCIÓN

La metodología de análisis sísmico dinámico más utilizada es el análisis modal espectral. Las fuerzas asociadas a muchos de los modos son fuerzas horizontales de sentidos opuestos. Por lo tanto si se disponen diagonales en una sola dirección para modelar la tabiquería, éstas, en algunos pisos trabajarán en compresión –que es como debería ser- pero en otros pisos trabajarán en tracción. Esto podría solucionarse colocando dos diagonales en cada crujía, para representar al tabique enmarcado; de manera tal que la diagonal que entre en tracción se “desconecte” del sistema. Pero esta opción no está disponible en todos los programas utilizados en el medio. Por lo tanto hay que realizar la verificación si la respuesta global del modelo es la misma, estando las diagonales en compresión o tracción.

Esta verificación no sería necesaria si existiera la certeza que el “acortamiento” de la diagonal, opuesta al sentido de la fuerza lateral, es igual al “alargamiento” de la diagonal emplazada en el sentido de la fuerza lateral (ver figura13).

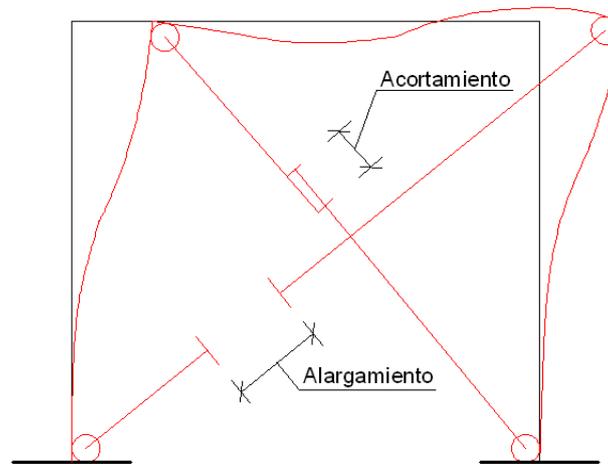


Figura 13. Deformaciones de las diagonales frente a cargas laterales.

Para hacer esta verificación se tomará el modelo de referencia descrito en el punto 2.2, adecuado para un pórtico de dos niveles. La interacción tabique-pórtico se representa a través de bielas uniformemente distribuidas en el perímetro interior de los pórticos. Los extremos interiores de las bielas se “apoyan” sobre un panel de albañilería. El módulo de elasticidad, tanto del panel como de las bielas, corresponde al módulo de elasticidad de la albañilería obtenido de la norma correspondiente (Sencico 2007): $E = 500 \text{ f'm}$. El lado horizontal inferior del panel del segundo piso descansa, también, sobre bielas uniformemente distribuidas (ver figura 14). El comportamiento de los compontes del modelo es lineal elástico, exceptuando el de las bielas; las cuales, dependiendo del caso, las haremos trabajar únicamente a compresión o tracción.

Para simular la presencia de los techos, a las secciones transversales de las vigas se les ha asignado un “factor de área” de 100. En la figura 14 se muestra el modelo de referencia en detalle para el programa Etabs:

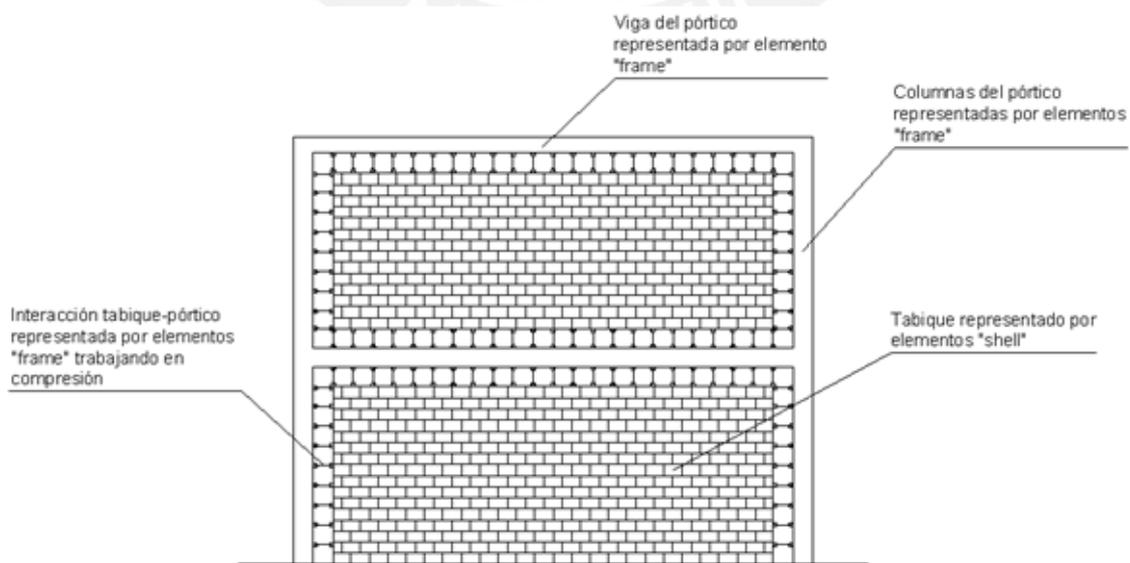


Figura 14. Modelo de referencia para un pórtico de dos niveles

El procedimiento para la verificación en cuestión se ha desarrollado de la siguiente manera:

1.- Sobre el modelo de referencia se han aplicado fuerzas laterales de sentidos opuestos (figura 15), en cada piso, en proporciones tales que, las diagonales del modelo de la figura 16, trabajan en compresión; para ello se han desconectado todas las bielas con trabajo en tracción. El parámetro registrado ha sido el desplazamiento lateral de cada piso.

2.- Sobre el mismo modelo de referencia se han aplicado las mismas fuerzas, pero ahora, las diagonales mostradas en el modelo de la figura 16, trabajan en tracción; para ello se ha desconectado todas las bielas con trabajo en compresión. El resultado registrado ha sido el desplazamiento lateral de cada piso.

3.- Las características del modelo utilizado son:

- Geometría “cuadrada”: largo 3.50m y altura 2.50m (en ambos niveles).
- Espesor del tabique: 25cm.
- Rigidez de las columnas: columna “rígida” de sección 25cm x 60cm y columna “flexible” de sección 25cm x 35cm.
- Rigidez de las vigas: viga “rígida” de sección 25cm x 35cm y viga “flexible” de sección 25cm x 20cm.

Variando la rigidez de las columnas y vigas y manteniendo la geometría y el espesor del tabique, se formaron 4 casos:

- CR-VR-E25-geometria “cuadrada”.
- CR-VF-E25-geometria “cuadrada”.
- CF-VR-E25-geometria “cuadrada”.
- CF-VF-E25-geometria “cuadrada”.

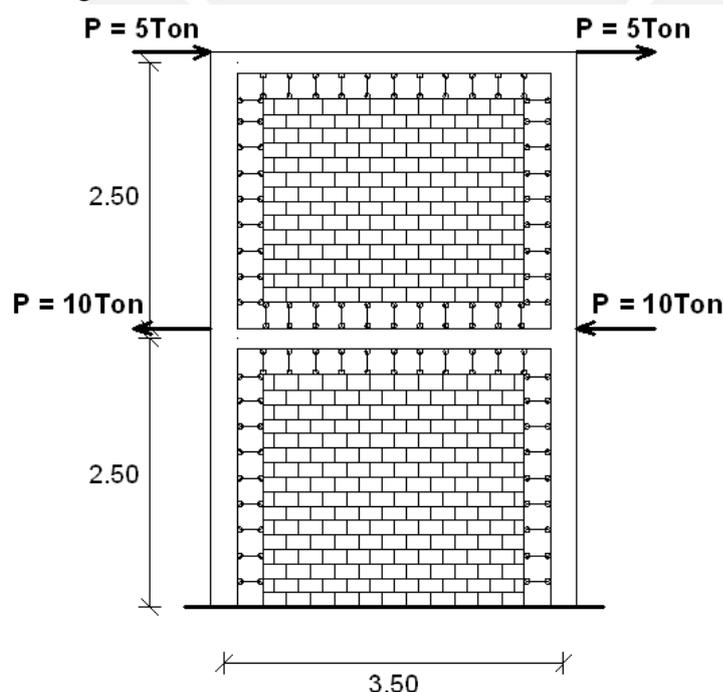


Figura 15. Fuerzas sobre el modelo.

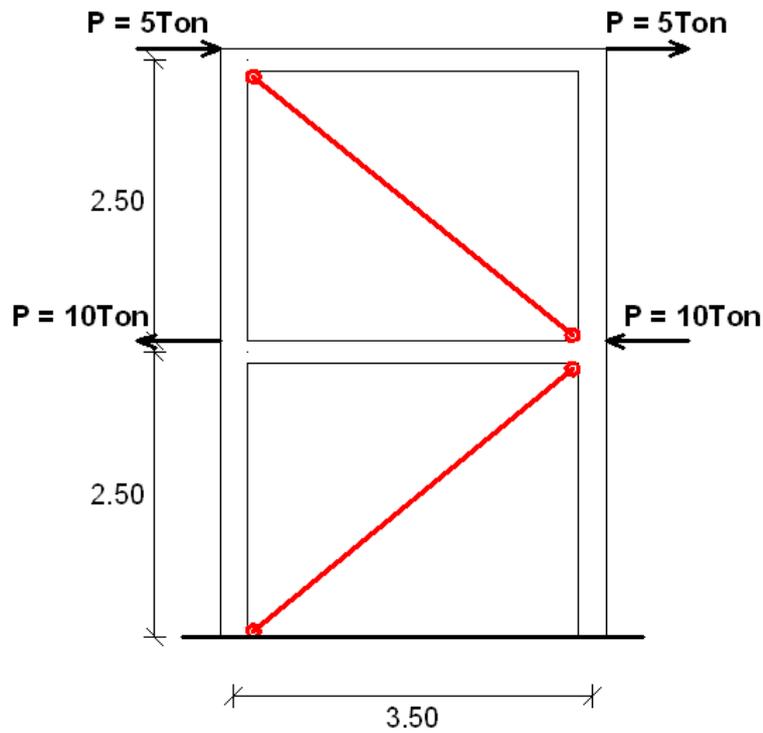


Figura 16. Puntales equivalentes trabajando en compresión

A continuación se muestran los gráficos presentados por el programa Etabs, correspondientes al caso de análisis: geometría “cuadrada”, columnas flexibles, viga rígida y espesor del tabique 25cm:

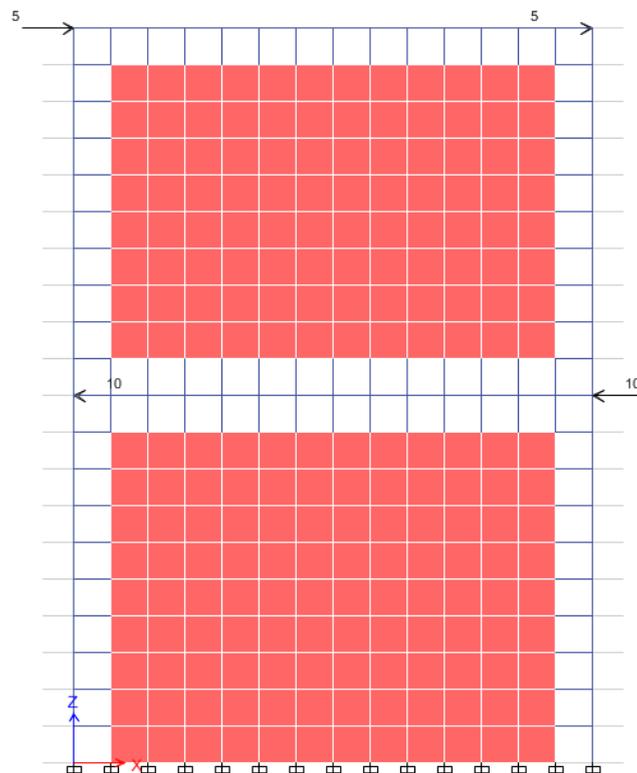


Figura 17. Fuerzas laterales aplicadas al sistema tabique – pórtico (imagen capturada del programa Etabs)

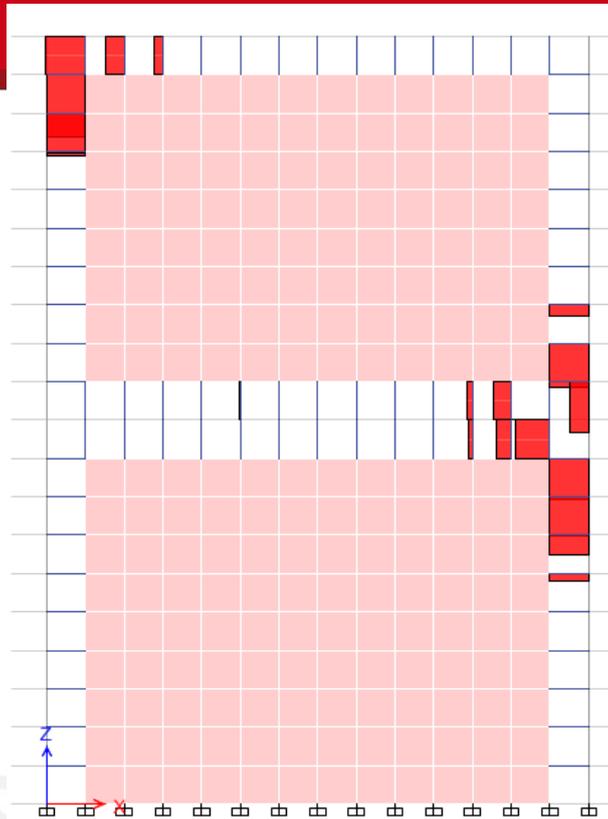


Figura 18. Fuerzas de compresión en las bielas (bielas trabajando solo en compresión) (imagen capturada del programa Etabs)

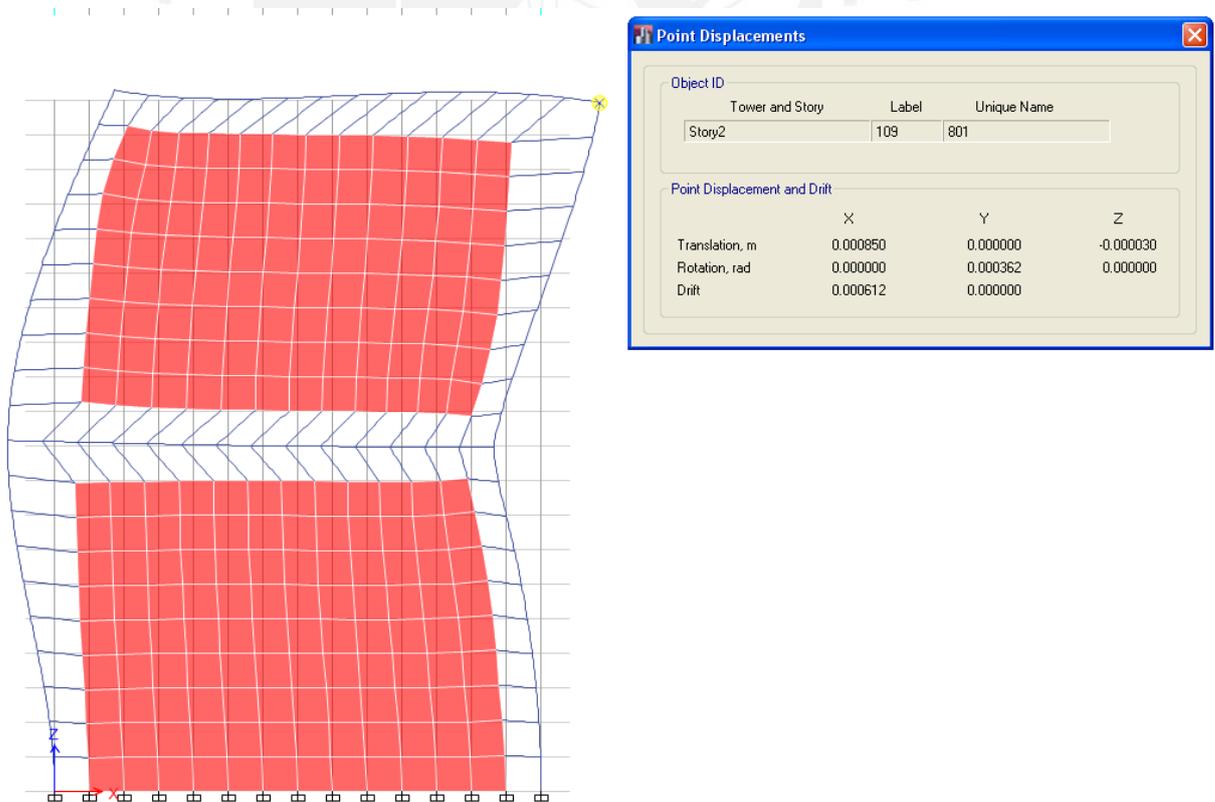


Figura 19. Desplazamiento lateral del segundo nivel (bielas trabajando solo en compresión) (imagen capturada del programa Etabs)

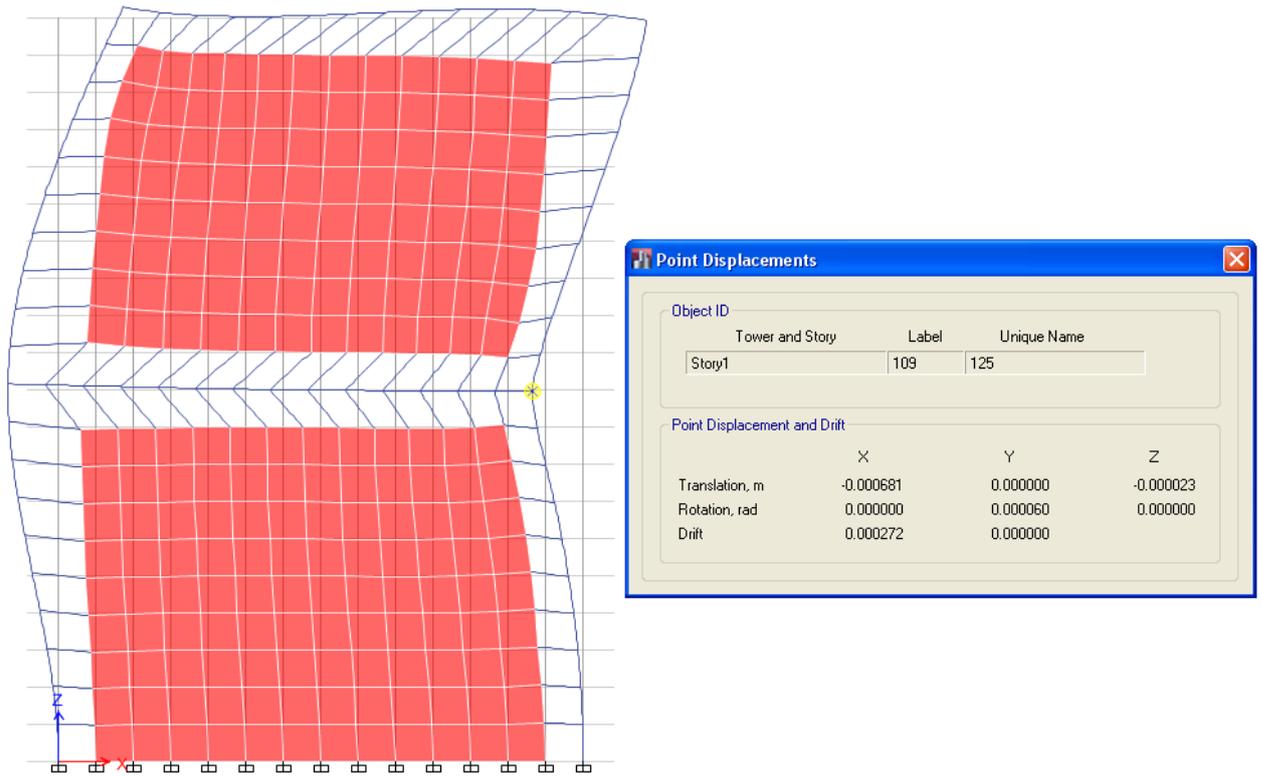


Figura 20. Desplazamiento lateral del primer nivel (bielas trabajando solo en compresión) (imagen capturada del programa Etabs)

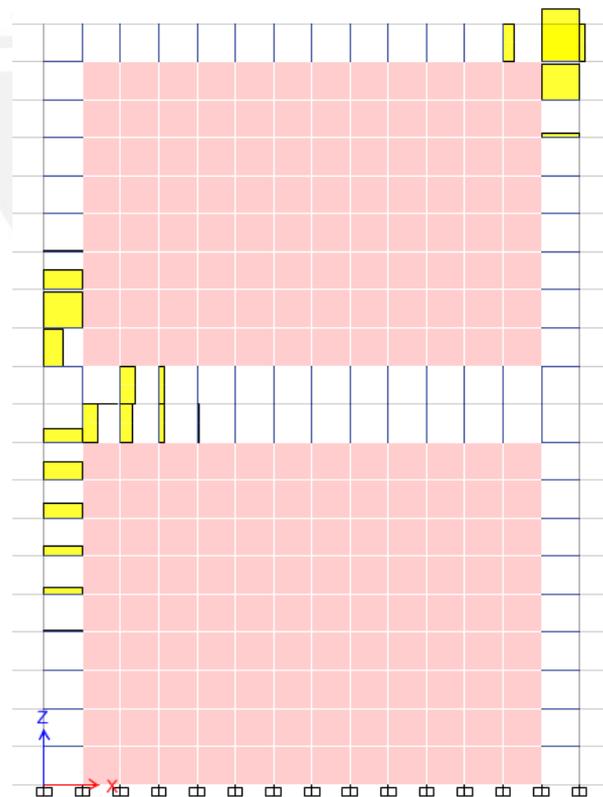


Figura 21. Fuerzas de tracción en las bielas (bielas trabajando solo en tracción) (imagen capturada del programa Etabs)

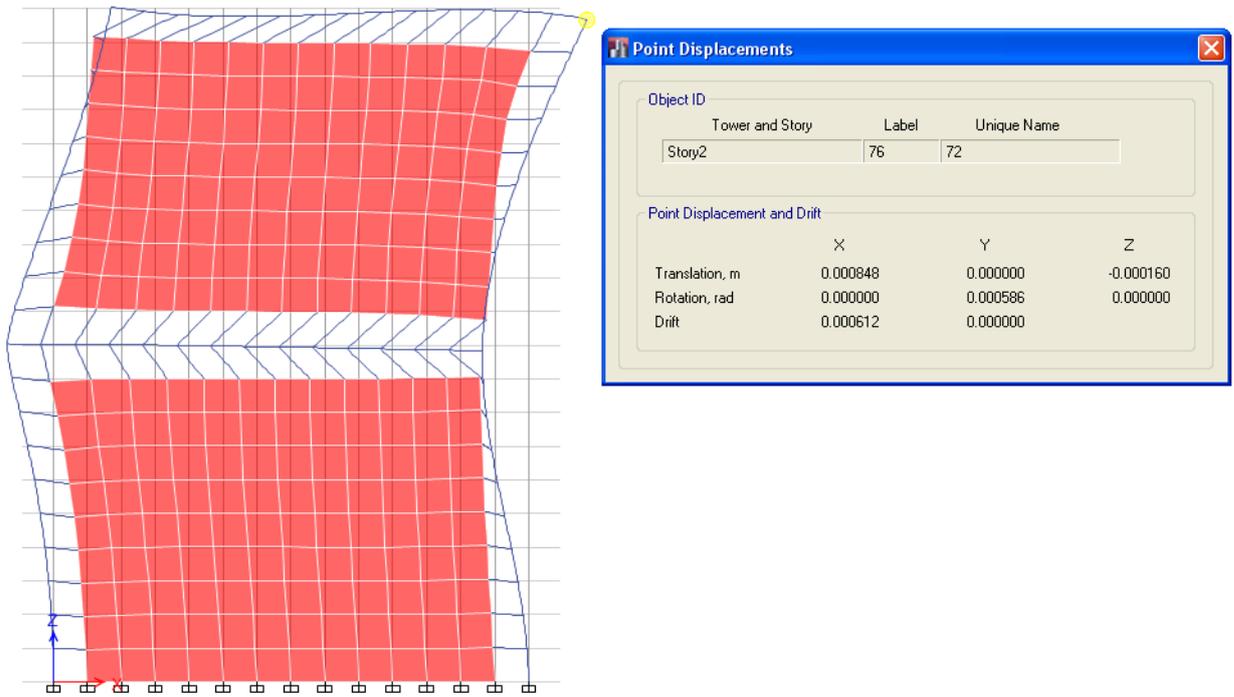


Figura 22. Desplazamiento lateral del segundo nivel (bielas trabajando solo en tracción) (imagen capturada del programa Etabs)

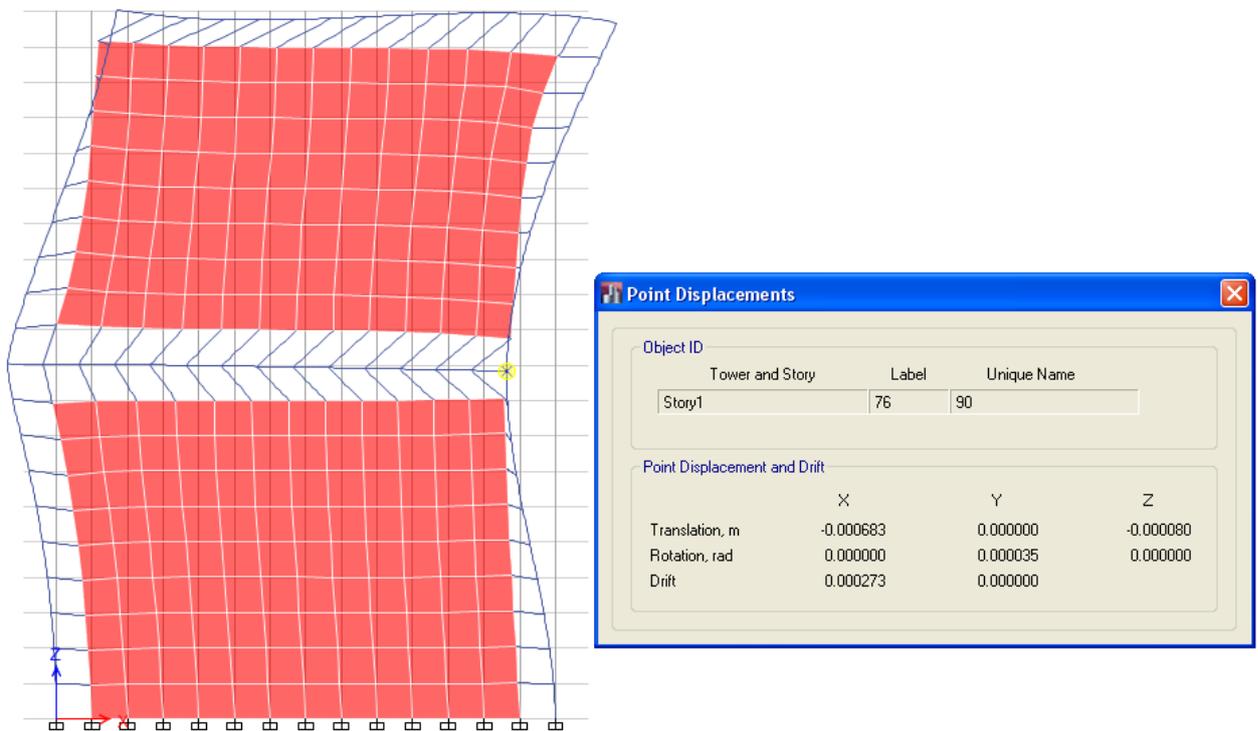


Figura 23. Desplazamiento lateral del primer nivel (bielas trabajando solo en tracción) (imagen capturada del programa Etabs)

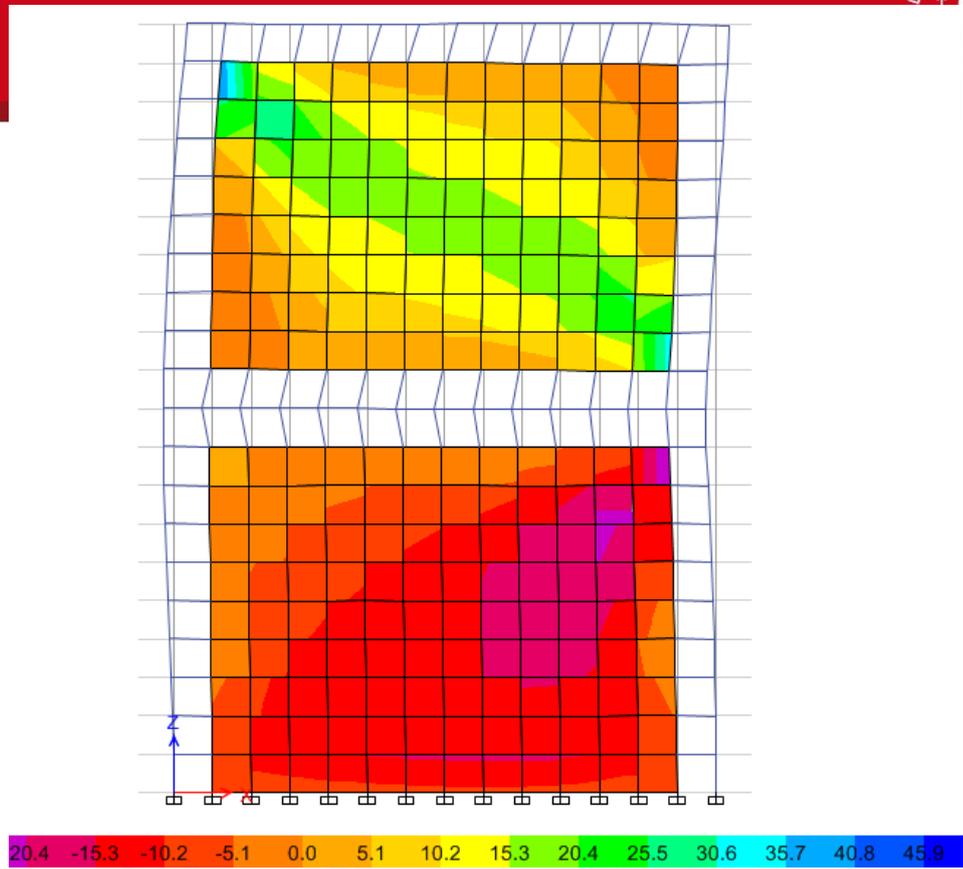


Figura 24. Esfuerzos de corte en la albañilería (bielas trabajando solo en compresión) (imagen capturada del programa Etabs)

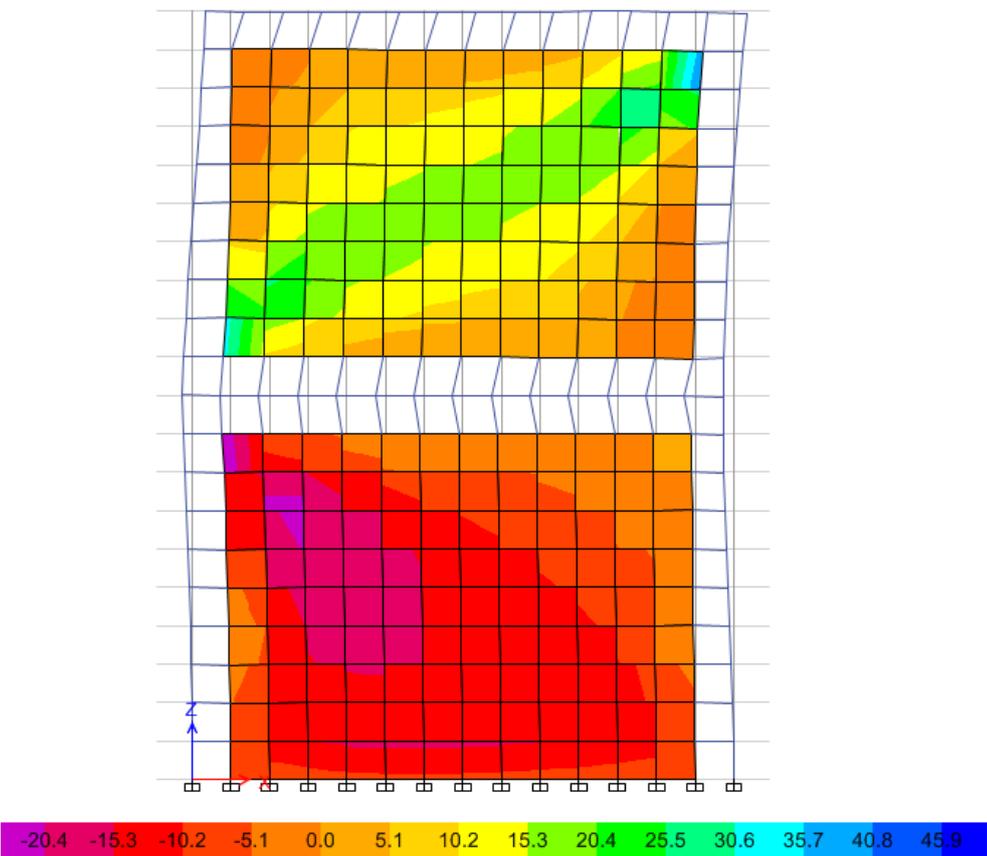


Figura 25. Esfuerzos de corte en la albañilería (bielas trabajando solo en tracción) (imagen capturada del programa Etabs)

Los resultados obtenidos para los cuatro casos procesados se muestran en el cuadro 11:

Cuadro 11.- Desplazamientos laterales en el modelo de referencia de dos pisos

**MODELOS DE 2 PISOS – DESPLAZAMIENTO LATERAL
GEOMETRÍA “CUADRADA”**

CASOS		Desplaz. Lat. Absoluto con bielas trabajando en compresión (mm)	Desplaz. Lat. Absoluto con bielas trabajando en compresión (mm)	Desplaz. Lat. Relativo con bielas trabajando en tracción (mm)	Desplaz. Lat. Relativo con bielas trabajando en tracción (mm)
		1er Piso	2do Piso	1er Piso	2do Piso
Caso 1:	Modelo de referencia	-0.319	0.696	-0.32	0.694
CR – VR					
E = 25cm					
Caso 2:	Modelo de referencia	-0.279	0.963	-0.28	0.96
CR – VF					
E = 25cm					
Caso 3:	Modelo de referencia	-0.66	1.16	-0.667	1.157
CF – VF					
E = 25cm					
Caso 4:	Modelo de referencia	-0.68	0.85	-0.68	0.848
CF – VR					
E = 25cm					

Como se puede ver, los desplazamientos laterales son prácticamente los mismos, ya sea con bielas trabajando en compresión que con bielas trabajando en tracción. Por lo tanto ***sí es posible modelar un tabique enmarcado con una sola diagonal.***

CAPÍTULO III

INFLUENCIA DE LA TABIQUERÍA EN LA RESPUESTA SÍSMICA DE EDIFICIOS

3.1.- INTRODUCCIÓN

En el capítulo II se determinaron dos importantes características de la tabiquería enmarcada por pórticos de concreto armado. En primer lugar se determinó que la rigidez lateral del sistema tabique-pórtico puede ser representada, cabalmente, por un modelo pórtico-puntal, donde el puntal representa al tabique; el ancho del puntal depende fundamentalmente de la rigidez de las columnas del pórtico y puede variar conservadoramente entre $2H$ y $3.3H$ (linealmente), siendo “H” el peralte de las columnas. Dada las pequeñas diferencias, en el ancho del puntal, obtenidos con la ecuación deducida, para peraltes de columnas entre 35cm y 60cm; es que, conservadoramente, podemos tomar un ancho de 1.20m, para el puntal equivalente, en todos los casos. En segundo lugar se determinó que, para representar la rigidez lateral de un sistema tabique-pórtico a través de un modelo pórtico-diagonal; la diagonal puede estar trabajando en compresión o tracción. Por lo tanto un tabique puede ser representado con una sola diagonal en un modelo pórtico-diagonal equivalente.

En este Capítulo se va a aplicar estas dos características, de la tabiquería enmarcada y representada a través de un modelo pórtico-puntal, al análisis de un edificio “hipotético” para así “cuantificar” la influencia de la tabiquería en la respuesta sísmica de los edificios. Tres son las variables que se han considerado para medir la influencia de la tabiquería: número de pisos, rigidez lateral del sistema estructural y densidad de la tabiquería.

La planta del edificio “hipotético” se muestra en la figura 26 y su característica es la de tener una mayor rigidez lateral en la dirección de los ejes “numéricos” respecto de la rigidez lateral en la dirección de los ejes “alfabéticos”. Se denominará, a la rigidez en dirección de los ejes numéricos, “rigidez alta”; y a la rigidez, en la dirección de los ejes alfabéticos, “rigidez mínima”. Se le ha denominado “rigidez mínima” porque en cada uno de los edificios, para las alturas consideradas, los anchos de las placas, en esta dirección, serán definidos de tal manera que, la máxima distorsión de entrepiso (sin considerar la influencia de la tabiquería), cumpla con la máxima distorsión admitida por la norma E.030, es decir, 0.007 de la altura del entrepiso.

Se han considerado cuatro alturas de edificios: 5, 10, 15 y 20 pisos, con lo cual se abarca buena parte del rango de periodos de los edificios más construidos en el Perú. Se ha considerado dos rigideces laterales: rigidez lateral alta y rigidez lateral mínima. Finalmente se ha considerado 3 densidades para la tabiquería: sin tabiquería, densidad baja: tabiquería de 15cm de espesor, y densidad alta: tabiquería de 25cm de espesor.

Para cada altura considerada para los edificios, se definirán tres modelos: sin tabiquería, con densidad de tabiquería baja y con densidad de tabiquería alta. Para los casos en que se considere la tabiquería, ésta será modelada con una diagonal de ancho 1.20m, y con una resistencia $f'm=50\text{kg/cm}^2$.

Las secciones de vigas y columnas, para las cuatro alturas de edificios considerados, son las mismas. Esto porque como se ha verificado que el ancho del puntal equivalente depende fundamentalmente de dichas secciones y para poder hacer una comparación coherente, teníamos que conservar dichas dimensiones. La sección de las columnas es de 50cm x 50cm y la sección de las vigas es de 25cm x 50cm.

Finalmente, como ya se indicó, la influencia de la tabiquería en la respuesta sísmica de los edificios, será registrada a través de 6 parámetros:

- 1.- *Periodo predominante de vibración.*
- 2.- *Desplazamiento relativo máximo de entrepiso (Drift).*
- 3.- *Cortante sísmico basal del edificio.*
- 4.- *Momento flector en la base de las placas.*
- 5.- *Fuerza cortante en la base de las placas.*
- 6.- *Fuerza axial máxima en los puntales.*

El análisis sísmico realizado a los edificios es uno elástico, modal y espectral. El espectro de diseño utilizado es el definido por la norma de Diseño Sismorresistente (Sencico 2003). Los parámetros utilizados para definir el espectro de diseño, para ambas direcciones, fueron:

$Z = 0.4$ $U = 1$ $S = 1.2$ $T_p = 0.6$ $R = 7.5$ (muros estructurales).

Se utilizó un factor $R = 7.5$ para obtener los resultados en condición de *servicio*.

Tanto en los modelos que consideran, como en los que no consideran, el aporte de rigidez de la tabiquería, se consideró su peso propio. En los casos en que se consideró a la tabiquería, el módulo de elasticidad de ésta fue calculada con un $f'm = 50\text{kg/cm}^2$. Los porcentajes de variación registrados en los cuadros de los ítems 3.2, 3.3, 3.4 y 3.5 están calculados respecto de la estructura en la que no se ha modelado la tabiquería.

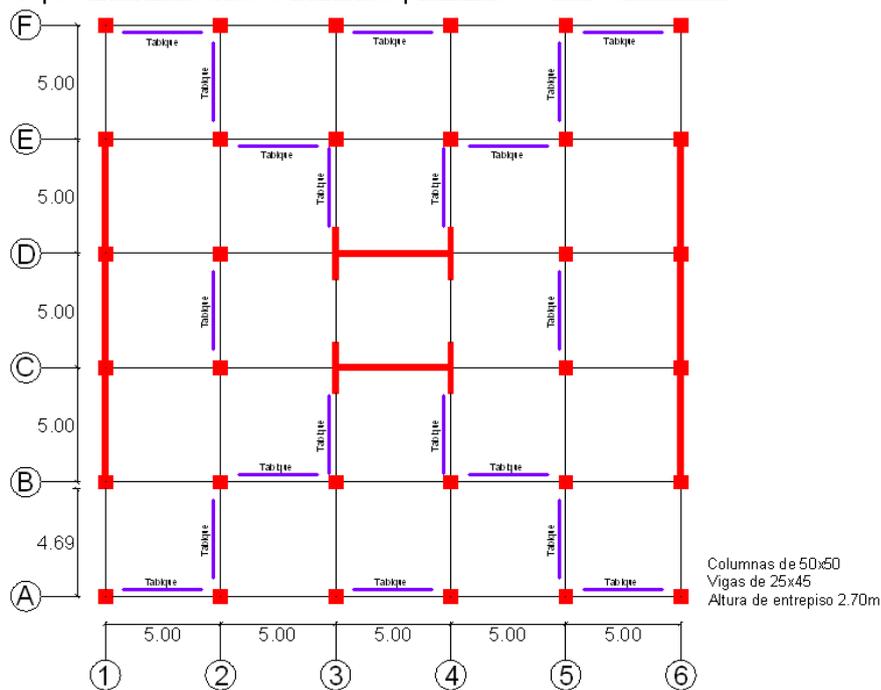


Figura 26. Planta del edificio "hipotético"

3.2.-INFLUENCIA DE LA TABIQUERÍA EN LA RESPUESTA SÍSMICA DE EDIFICIOS DE 5 PISOS

Los porcentajes de variación registrados en el cuadro 12, 13, 14, 15 y 16 están calculados respecto de la estructura en la que no se modeló la tabiquería.

3.2.1.-INFLUENCIA EN EL PERIODO DE VIBRACIÓN

Cuadro 12.-Periodos de vibración.- Unidades en segundos (s)

5 PISOS	PERIODOS DE VIBRACIÓN					
	Densidad de tabiquería					
	Sin tab.		Baja		Alta	
RIGIDEZ DEL SISTEMA ESTRUCTURAL	s	% Var.	s	% Var.	s	% Var.
MÍNIMA	0.49	0	0.39	-20.41	0.36	-26.53
ALTA	0.153	0	0.139	-9.15	0.14	-8.50

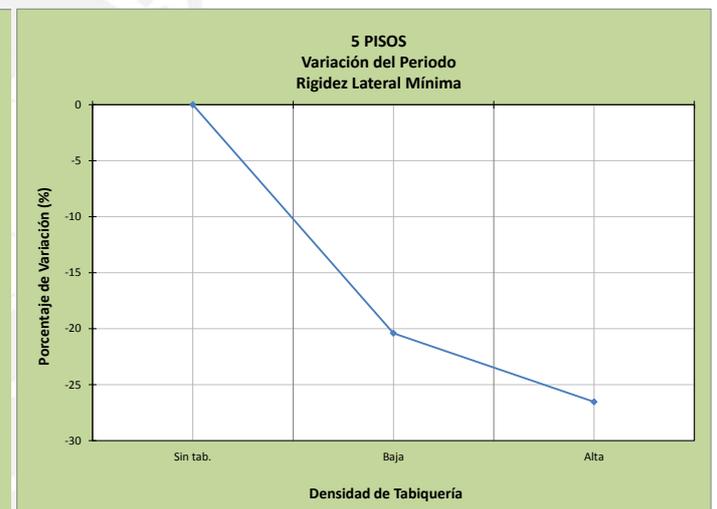
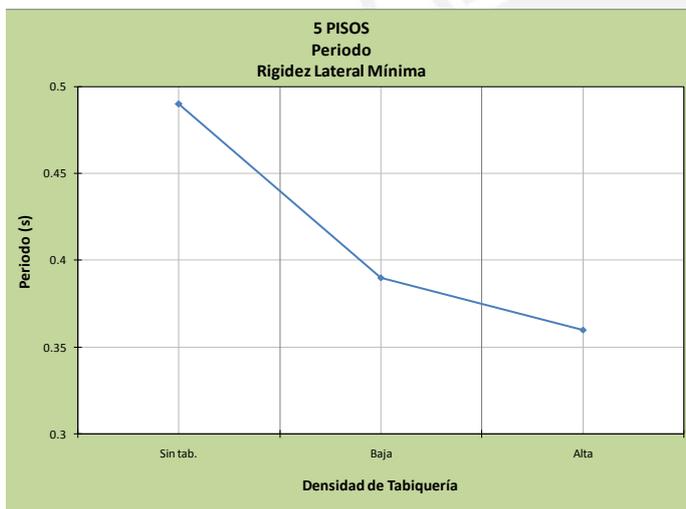


Gráfico 14 (a) y (b). Periodo dirección rigidez "mínima"

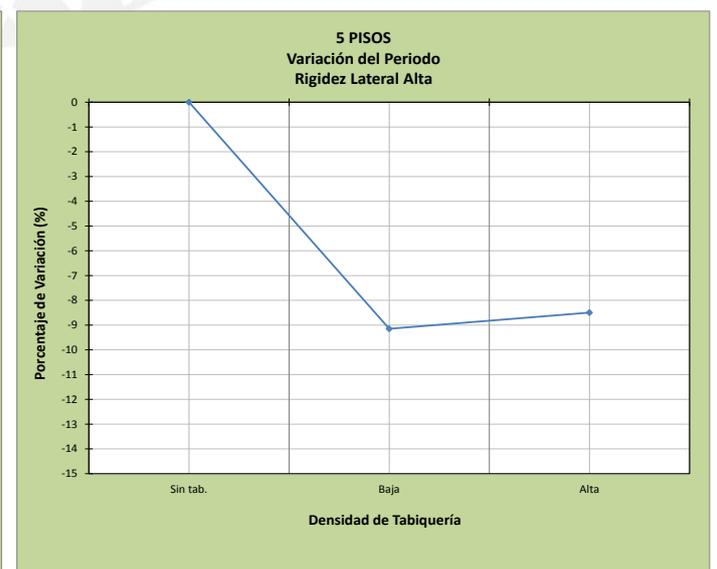
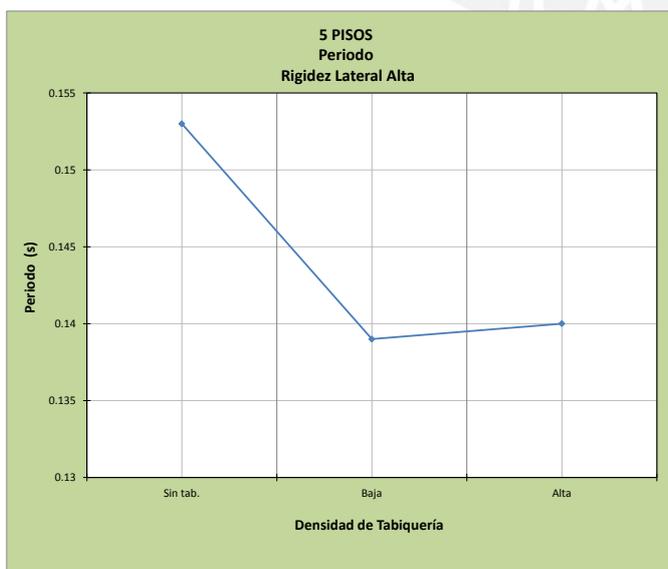


Gráfico 15 (a) y (b). Periodo dirección rigidez "alta"

3.2.2.-INFLUENCIA EN LA DISTORSIÓN DE ENTREPISO

Cuadro 13.- Distorsión de entrepiso

5 PISOS	DISTORSIÓN DE ENTREPISO					
	Densidad de tabiquería					
	Sin tab.		Baja		Alta	
RIGIDEZ DEL SISTEMA ESTRUCTURAL		% Var.		% Var.		% Var.
MÍNIMA	0.0068	0	0.0044	-35.3	0.0037	-45.6
ALTA	0.00049	0	0.0005	2.04	0.0005	2.04

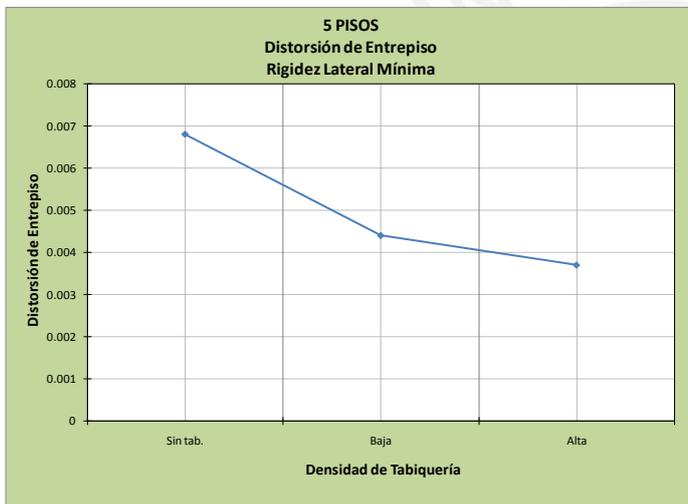


Gráfico 16 (a) y (b). Distorsión de entrepiso dirección rigidez "mínima"

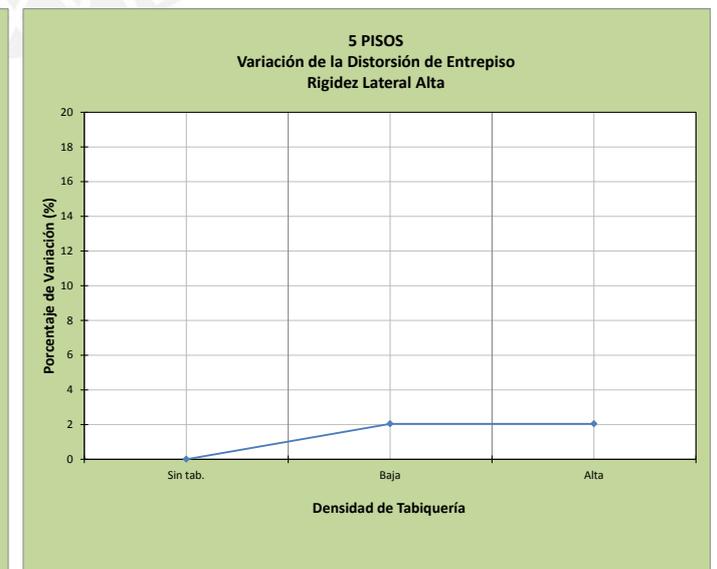
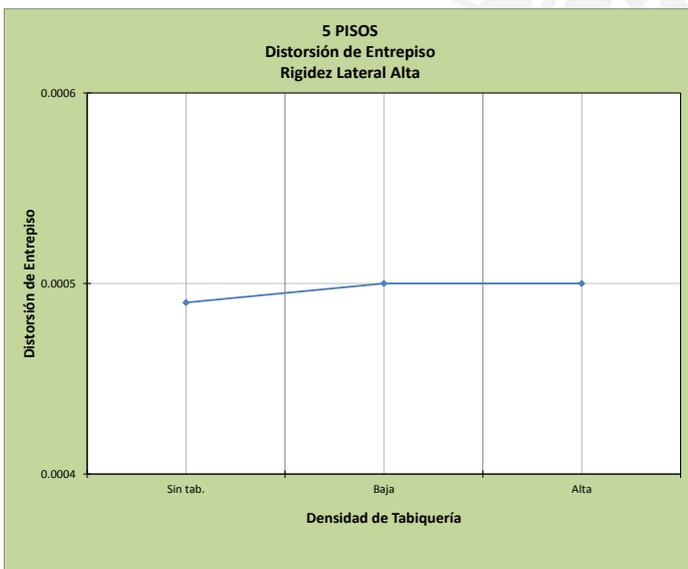


Gráfico 17 (a) y (b). Distorsión de entrepiso dirección rigidez "alta"

3.2.3.-INFLUENCIA EN EL CORTANTE SÍSMICO BASAL

Cuadro 14.- Cortante basal

5 PISOS	CORTANTE BASAL					
	Densidad de tabiquería					
	Sin tab.		Baja		Alta	
RIGIDEZ DEL SISTEMA ESTRUCTURAL	Ton	% Var.	Ton	% Var.	Ton	% Var.
MÍNIMA	283.5	0	312.8	10.34	329.8	16.33
ALTA	286.8	0	310.9	8.40	326.7	13.91

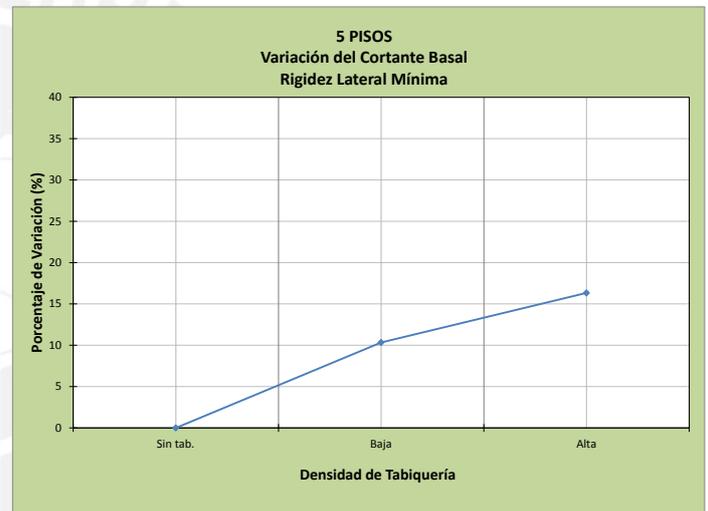
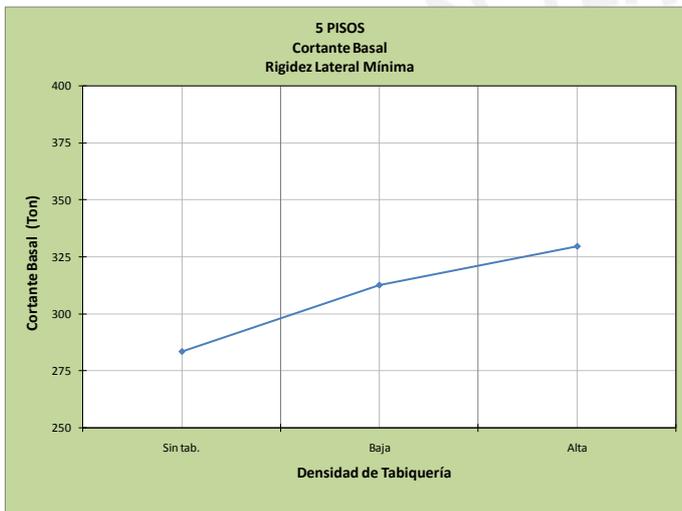


Gráfico 18 (a) y (b). Cortante sísmico basal dirección rídez "mínima"

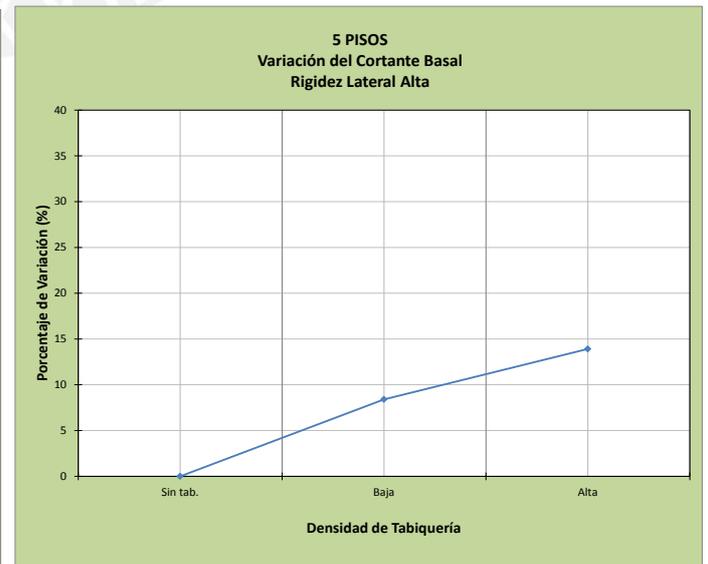
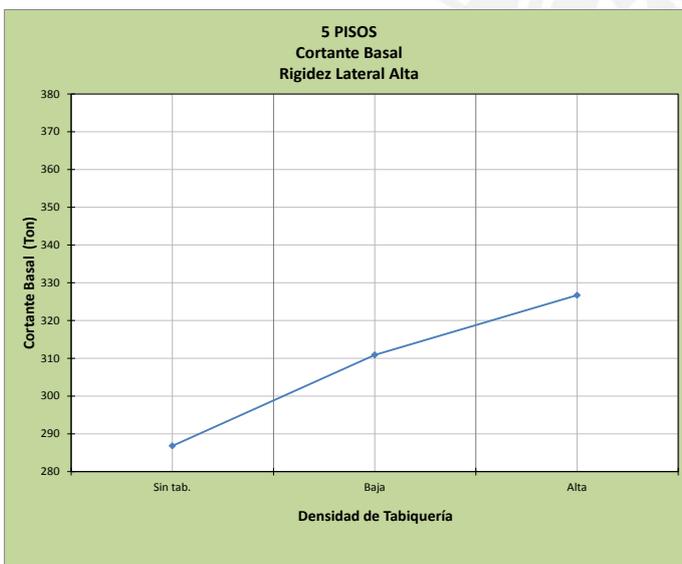


Gráfico 19 (a) y (b). Cortante sísmico basal dirección rídez "alta"

3.2.4.-INFLUENCIA EN EL MOMENTO FLECTOR EN LA BASE DE LAS PLACAS

Cuadro 15.- Momento flector en la base de las placas

5 PISOS	MOMENTO FLECTOR EN LA BASE DE LAS PLACAS					
	Densidad de tabiquería					
	Sin tab.		Baja		Alta	
RIGIDEZ DEL SISTEMA ESTRUCTURAL	ton.m	% Var.	ton.m	% Var.	ton.m	% Var.
MÍNIMA	591.7	0	368.7	-37.69	305.5	-48.37
ALTA	1291.7	0	1315.25	1.82	1336.20	3.45

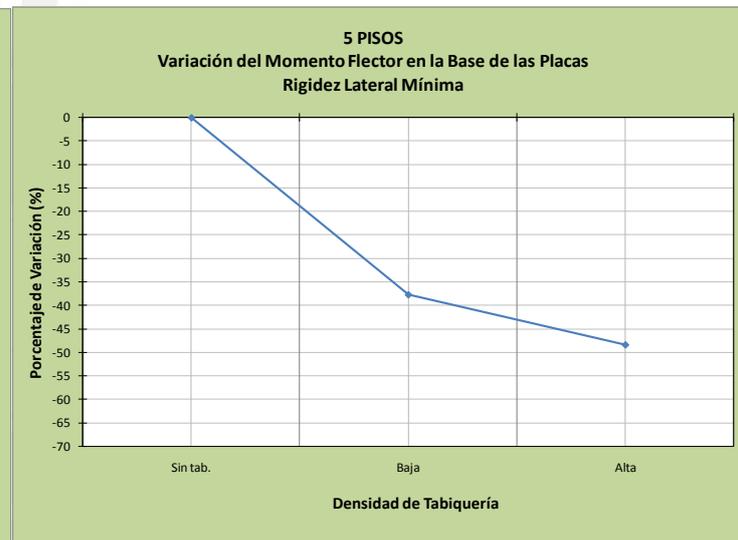
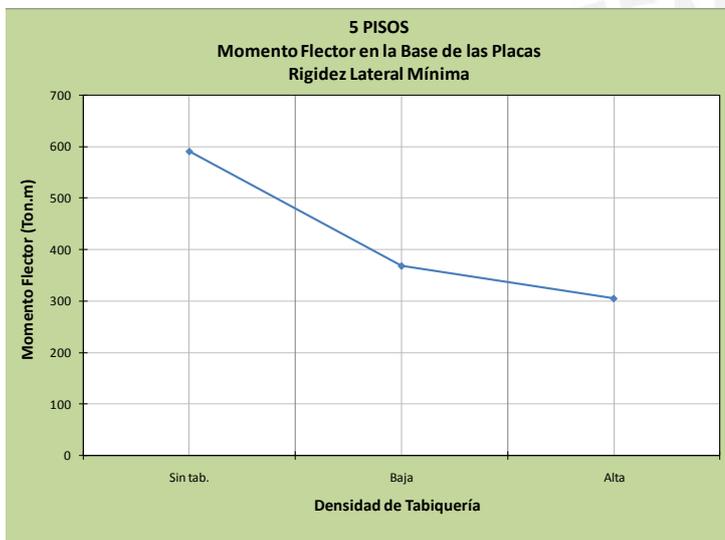


Gráfico 20 (a) y (b). Momento flector en la base de las placas dirección rigidez lateral "mínima"

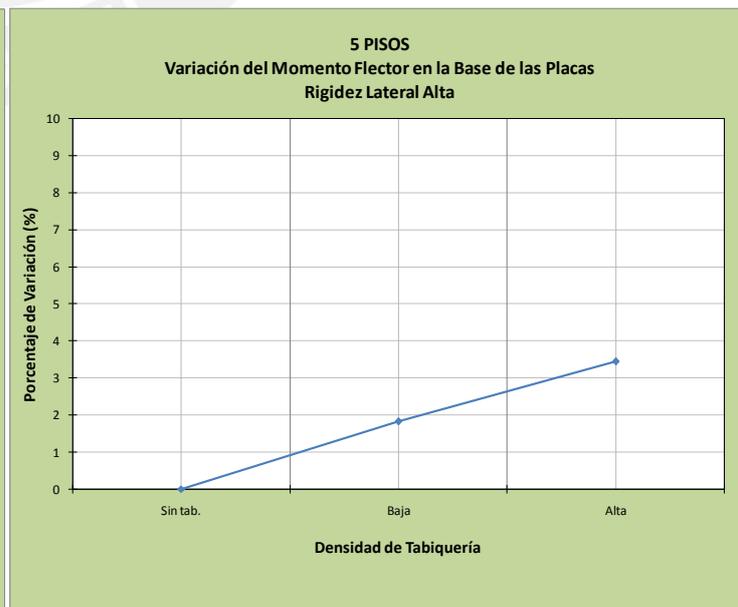
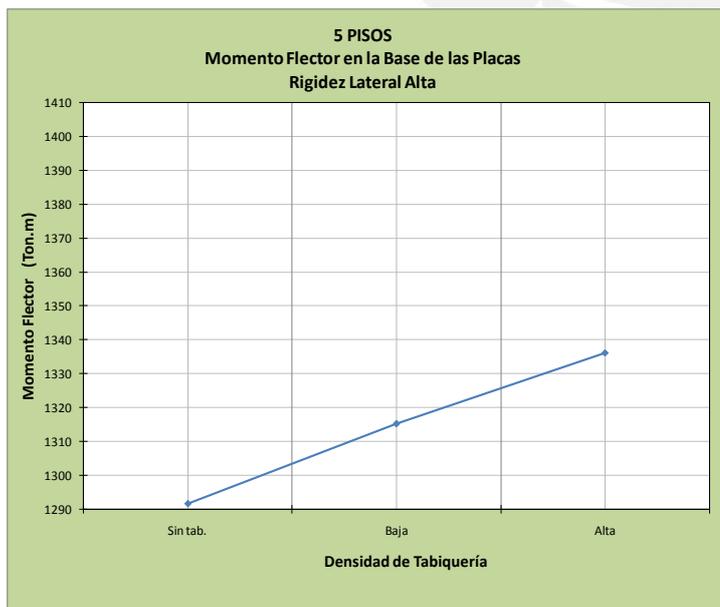


Gráfico 21 (a) y (b). Momento flector en la base de las placas dirección rigidez lateral "alta"

3.2.5.-INFLUENCIA EN EL CORTANTE EN LA BASE DE LAS PLACAS

Cuadro 16.- Cortante en la base de las placas

5 PISOS	FUERZA CORTANTE EN LA BASE DE LAS PLACAS					
	Densidad de tabiquería					
	Sin tab.		Baja		Alta	
RIGIDEZ DEL SISTEMA ESTRUCTURAL	ton	% Var.	ton	% Var.	ton	% Var.
MÍNIMA	59.4	0	45.16	-23.97	40.13	-32.44
ALTA	135.9	0	141.1	3.83	144.6	6.40

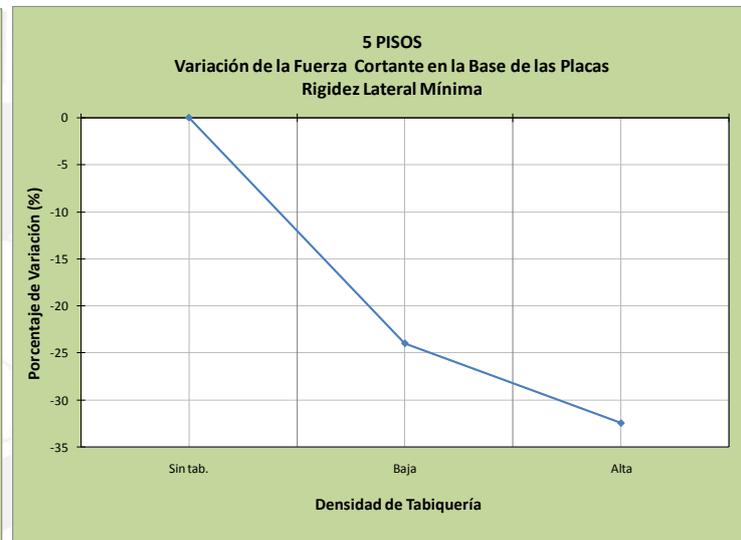
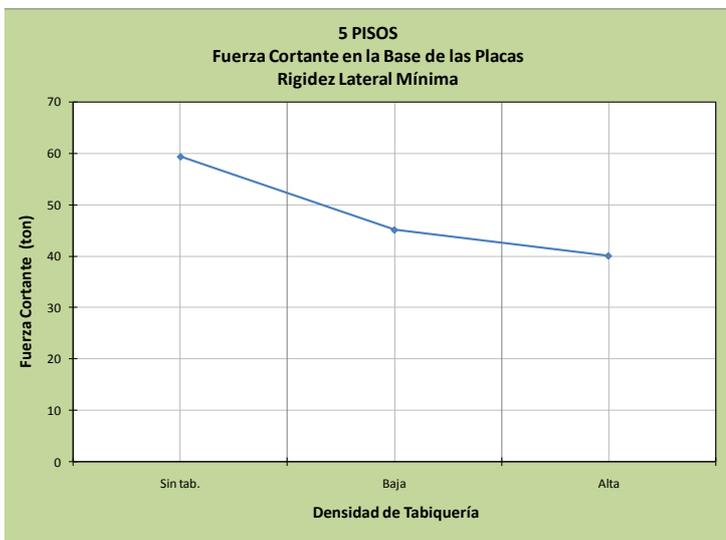


Gráfico 22 (a) y (b). Cortante en la base de las placas dirección rigidez lateral "mínima"

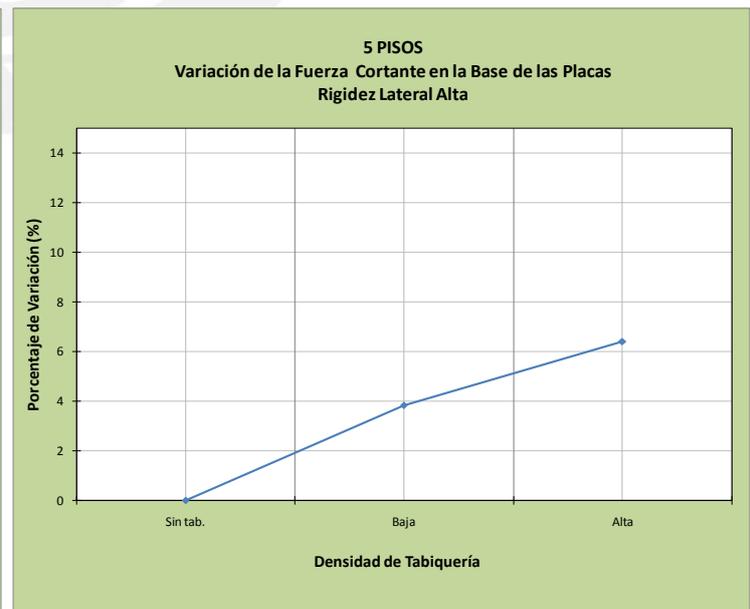
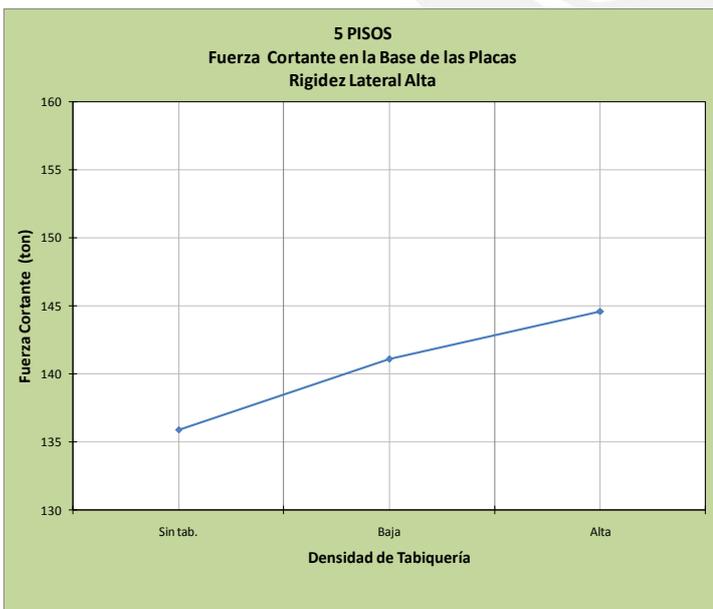


Gráfico 23 (a) y (b). Cortante en la base de las placas dirección rigidez lateral "alta"

3.2.6.-FUERZA AXIAL EN LAS DIAGONALES

Cuadro 17.- Fuerza axial en las diagonales

5 PISOS	FUERZA AXIAL MÁXIMA EN LOS PUNTALES EN COMPRESIÓN					
	Densidad de tabiquería					
	Sin tab.		Baja		Alta	
RIGIDEZ DEL SISTEMA ESTRUCTURAL	ton	% Var.	ton	% Var.	ton	% Var.
MÍNIMA	0	0	14	0	19.1	0
ALTA	0	0	1.55	0	2.55	0

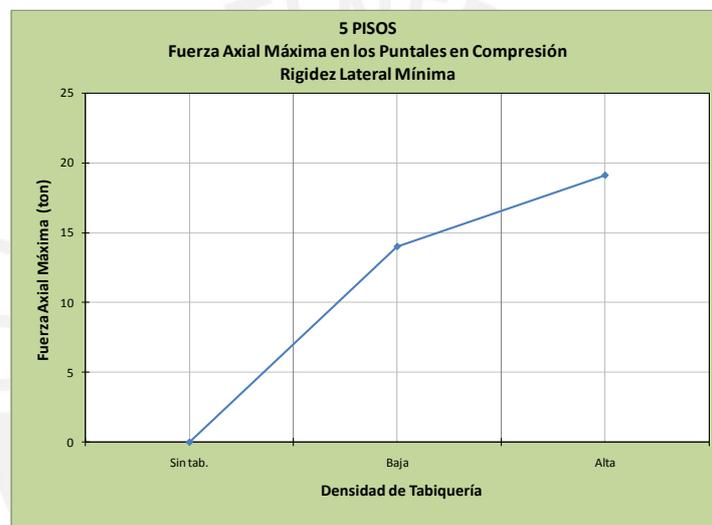


Gráfico 24. Fuerza axial en las diagonales dirección rigidez lateral "mínima"

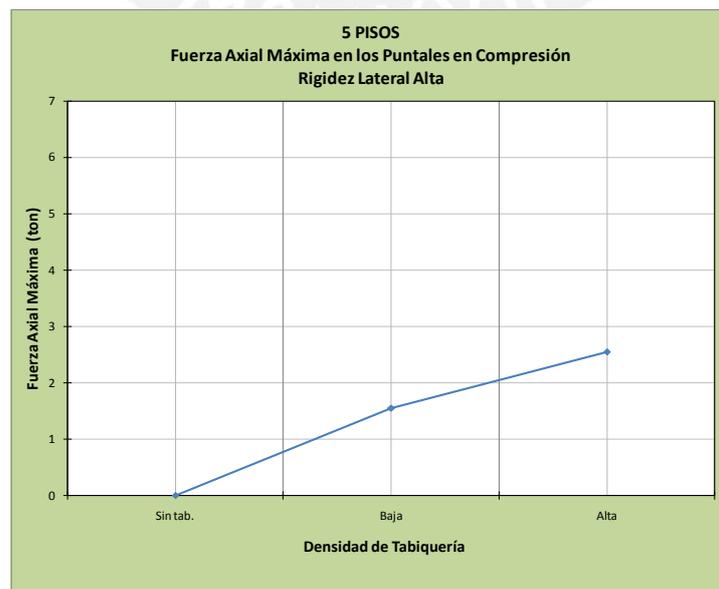


Gráfico 25. Fuerza axial en las diagonales dirección rigidez lateral "alta"

De acuerdo con los gráficos 14 al 25, en los que se “cuantifica” la interacción entre la tabiquería y la estructura, modelada a través de un sistema pórtico-diagonal equivalente, en edificios de 5 pisos; se puede concluir:

1.-Influencia en el periodo predominante de vibración

1a.- Dirección con rigidez lateral “mínima”

Como se puede observar en los gráficos 14(a) y 14(b), la influencia de la tabiquería en el periodo predominante de la estructura es proporcional con la “densidad” de la misma: a mayor “densidad” de tabiquería mayor influencia en el periodo.

El periodo predominante de vibración disminuye, en relación al periodo del edificio en el que no se considera la interacción tabique-estructura, en un 20% para una densidad baja y en un 26% para una densidad alta de la tabiquería.

En este punto se debe indicar que la norma de Diseño Sismorresistente E.030 prescribe, en su artículo 17.2, que el periodo de la estructura, cuando no se considere el efecto de los elementos no estructurales (tabiquería), debe tomarse como 0.85 del valor obtenido. Es decir que la norma asume que el efecto de la tabiquería en el periodo predominante es del orden del 15%. De acuerdo con nuestros resultados, tanto para “densidades” baja y alta de la tabiquería, en edificios de 5 pisos; la reducción del periodo es mayor (del orden de 20.4%, para densidad baja, y del orden de 26.5% para densidad alta), tal como se puede observar.

1b.- Dirección con rigidez lateral “alta”

Como se observa en los gráficos 15(a) y 15(b) la influencia de la tabiquería en el periodo predominante de la estructura, es prácticamente la misma, tanto para “densidades” bajas como altas. La reducción en el periodo predominante, respecto del periodo del edificio en el que no se considera la interacción tabique-pórtico, es de un 9%.

Se concluye que, la influencia de la tabiquería en el periodo fundamental de vibración de una estructura de 5 pisos es inversamente proporcional con la rigidez lateral de la misma: a menor rigidez lateral mayor reducción del periodo.

2.- Influencia en la distorsión de entrepiso

2a.- Dirección con rigidez lateral “mínima”

De los gráficos 16(a) y 16(b) se observa que la influencia de la tabiquería, en la distorsión máxima de entrepiso de un edificio, es proporcional a la “densidad” de la misma: a mayor “densidad” de tabiquería mayor disminución de la distorsión.

Para el caso de “densidades” bajas, la distorsión máxima de entrepiso, expresada como fracción de la altura del mismo (drift), disminuye de 0.007 (que es la distorsión máxima del edificio, sin considerar la interacción tabique-pórtico) a, aproximadamente, 0.0044. Para el caso de “densidades” altas de tabiquería, la distorsión máxima de entrepiso puede disminuir de 0.007 a 0.0037, aproximadamente.

Como se puede ver, en lo que respecta a la distorsión máxima de entrepiso, tener una tabiquería “adherida” a la estructura es “beneficioso” para la respuesta estructural sísmica; ya que como se sabe, la distorsión de entrepiso es un parámetro que nos permite controlar el daño, tanto estructural como no estructural, en una edificación: a menor distorsión de entrepiso menor daño.

Las distorsiones disminuyen a 0.0044 y 0.0037, para “densidades” baja y alta, respectivamente; lo cual permite concluir en que, después de un sismo severo, la tabiquería adherida quedará en una condición “reparable”; pues 0.005 es el límite de reparabilidad, según la norma E.070.

2b.- Dirección con rigidez lateral “alta”

En los gráficos 17(a) y 17(b) se ve que la tabiquería no influye en la distorsión máxima de entrepiso. Tanto para “densidades” bajas como altas, la distorsión máxima de entrepiso permanece igual a la del modelo que no considera la interacción tabique-pórtico.

Se concluye que, la influencia de la tabiquería, en la máxima distorsión de entrepiso de una estructura de 5 pisos, es inversamente proporcional con la rigidez lateral de la misma: a menor rigidez lateral mayor cambio en la distorsión máxima.

3.- Influencia en el cortante basal del edificio

3a.- Dirección con rigidez lateral “mínima”

En los gráficos 18(a) y 18(b) se ve que la influencia de la tabiquería, en el cortante basal del edificio, es proporcional a la “densidad” de la tabiquería: a mayor “densidad” se registra un mayor aumento en el cortante basal, respecto del cortante basal del edificio en el que no se ha considerado la interacción tabique-pórtico.

Para densidades bajas de tabiquería, se registra un aumento del cortante basal del orden del 10%, y para densidades altas de tabiquería, se registra un aumento del cortante basal del orden del 16%. Este aumento en el cortante basal se debe a que con la inclusión de la interacción tabique-pórtico en el modelo, las formas modales cambian y el porcentaje de contribución de los mismos a la respuesta; el modo predominante aumenta su participación en la respuesta.

3b.- Dirección con rigidez lateral “alta”

Los gráficos 19(a) y 19(b), registran un aumento del cortante basal del edificio, respecto del cortante basal del edificio en el que no se ha considerado la interacción tabique-pórtico, entre 8% y 14%, dependiendo de la “densidad” de la tabiquería.

Por lo tanto, la influencia de la tabiquería, en el aumento del cortante sísmico basal, es inversamente proporcional con la rigidez lateral en edificios de 5 pisos: a menor rigidez lateral mayor cambio en el cortante basal.

4.- Influencia en el momento flector en la base de las placas

4a.- Dirección con rigidez lateral “mínima”

En los gráficos 20(a) y 20(b) se cuantifica la influencia de la tabiquería en el valor de los momentos flectores en la base de las placas; se observa que esta influencia es mayor con la “densidad” de la tabiquería.

Para densidades bajas se aprecia una disminución en el momento en la base de las placas del orden del 38%; y cuando la densidad es alta la disminución llega al 48%. A pesar de que el cortante basal aumenta con la consideración de la interacción tabique-pórtico, los momentos en la base de las placas disminuyen. Esto se debe, como ya se dijo, a que con la consideración de interacción tabique-pórtico en el modelo, las formas modales cambian y consecuentemente la distribución de las fuerzas de los mismos; además, al considerar la interacción tabique-pórtico, los pórticos se hacen más rígidos por lo que toman más cortante, “descargando” a las placas.

4b.- Dirección con rigidez lateral “alta”

En los gráficos 21(a) y 21(b), se observa que la influencia de la tabiquería en el valor de los momentos flectores en la base de las placas es proporcional a la densidad de la tabiquería: a mayor densidad mayor variación en los momentos.

Para densidades, tanto bajas como altas de la tabiquería, los momentos flectores en las placas, prácticamente permanecen constantes. Se observa un aumento del orden de 2%, para densidades bajas, y un aumento del orden del 3%, para densidades altas. Como se ve las variaciones de los momentos no son sustanciales como sí lo son en la dirección de rigidez lateral mínima.

Se concluye que, la influencia de la tabiquería en los valores del momento flector en la base de las placas de edificios de 5 pisos es inversamente proporcional con la rigidez lateral de los mismos: a menor rigidez lateral mayor disminución en el momento de la base de las placas.

5.- Influencia en el cortante de la base de las placas

5a.- Dirección con rigidez lateral “mínima”

En los gráficos 22(a) y 22(b), se observa que la influencia de la tabiquería, en el cortante de la base de las placas, es proporcional a la densidad de la misma: a mayor densidad de tabiquería mayor disminución del cortante.

Para una densidad baja de tabiquería, la disminución del cortante en la base de las placas, respecto del cortante obtenido en un modelo donde no se considera la interacción tabique-pórtico, es del orden del 24%; y para una densidad alta, la disminución en el cortante es del orden del 32%. Como se podrá notar, a pesar de tener un aumento en el cortante basal del edificio, se tiene una disminución del cortante en las placas; esto se debe, en lo fundamental, a que al considerar la interacción tabique-pórtico en el modelo, los pórticos se hacen más rígidos y toman mayor cortante, “descargando” a las placas.

5b.- Dirección con rigidez lateral “alta”

Observamos en los gráficos 23(a) y 23(b) que el cortante en la base de las placas, contrario al caso anterior, aumenta ligeramente con la densidad de tabiquería, respecto del cortante obtenido en un modelo donde no se ha considerado la interacción tabique-pórtico. El aumento del cortante en

la base de las placas va desde un 4%, para densidades bajas de tabiquería, hasta un 6% para densidades altas.

Como se puede ver, la influencia de la tabiquería en los valores del cortante en la base de las placas de edificios de 5 pisos, es inversamente proporcional con la rigidez lateral de los mismos: a menor rigidez lateral mayor disminución en el cortante de la base de las placas.

6.- Fuerza axial en las diagonales equivalentes

6a.- Dirección con rigidez lateral “mínima”

Como se puede observar en el gráfico 24, la fuerza axial en las diagonales que representan a los tabiques en el modelo de análisis, dependen de la densidad de la tabiquería. Para el caso de densidades bajas, las fuerzas axiales están en el orden de 14ton; en el caso de densidades altas, las fuerzas axiales están en el orden de 19ton. En este punto es importante referir lo siguiente: el sistema de tabiquería no tiene la misma “ductilidad” de la estructura. El análisis estructural se realiza con el factor de reducción “R” especificado para el sistema estructural correspondiente, el cual, en nuestro caso, fue de 7.5: sistema de muros estructurales. Si el sistema de tabiquería, idealmente, pudiera desarrollar la ductilidad de una albañilería confinada, la fuerza axial en las diagonales serían 7.5/3 veces las fuerzas obtenidas en este análisis. Por lo tanto el valor de las fuerzas axiales en las diagonales serían 2.5 veces el valor de las obtenidas; o sea 35ton para una densidad baja y 47.5ton para una densidad alta.

Tal como se observa, las fuerzas axiales en las diagonales que representan a las fuerzas en la tabiquería del edificio, son muy considerables, en los casos en que se tiene una rigidez lateral mínima; por ello es que en estos casos debiera especificarse una albañilería maciza para la tabiquería.

6b.- Dirección con rigidez lateral “alta”

Como se puede observar en el gráfico 25, las fuerzas axiales en las diagonales que representan a los tabiques en el modelo de análisis, están en el orden de 1.5ton, para densidades bajas de la tabiquería, y en el orden de 2.5ton para densidades altas de tabiquería.

Como ya se indicó, la tabiquería no tiene la misma ductilidad del sistema estructural, por lo que las fuerzas en las diagonales son aproximadamente 2.5 veces los valores obtenidos en el análisis (por el cambio del valor de “R”).

Como se puede ver, las fuerzas axiales en las diagonales equivalentes son inversamente proporcionales con la rigidez lateral del edificio: a menor rigidez lateral mayores fuerzas axiales.

3.3.-INFLUENCIA DE LA TABIQUERÍA EN LA RESPUESTA SÍSMICA DE EDIFICIOS DE 10 PISOS

Los porcentajes de variación registrados en el cuadro 18, 19, 20, 21 y 22 están calculados respecto de la estructura en la que no se modeló la tabiquería.

3.3.1.-INFLUENCIA EN EL PERIODO DE VIBRACIÓN

Cuadro 18.- Periodos.- Unidades en segundos (s)

10 PISOS	PERIODOS DE VIBRACIÓN					
	Densidad de tabiquería					
	Sin tab.		Baja		Alta	
RIGIDEZ DEL SISTEMA ESTRUCTURAL	s	% Var.	s	% Var.	s	% Var.
MÍNIMA	0.767	0	0.64	-16.56	0.608	-20.73
ALTA	0.301	0	0.3	-0.33	0.3	-0.33

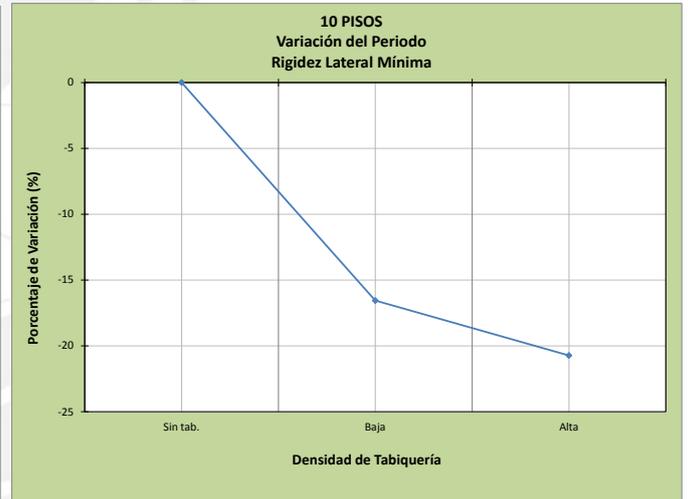
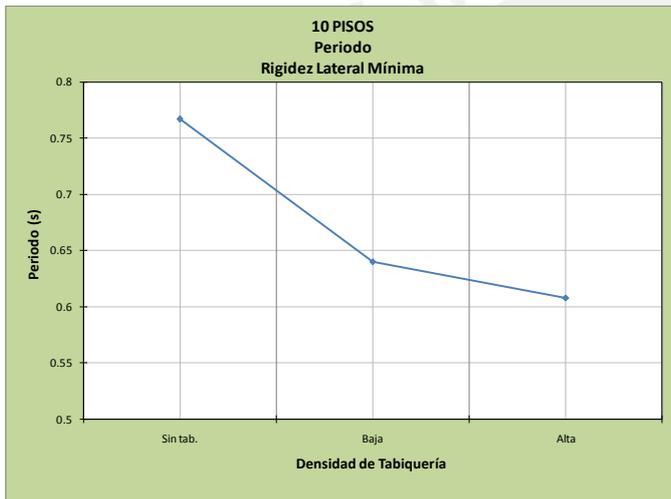


Gráfico 26 (a) y (b). Periodos dirección rigidez lateral "mínima"

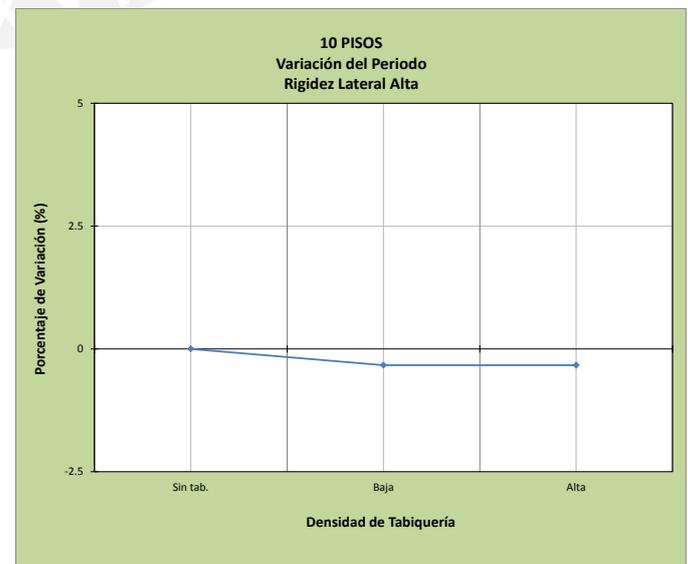
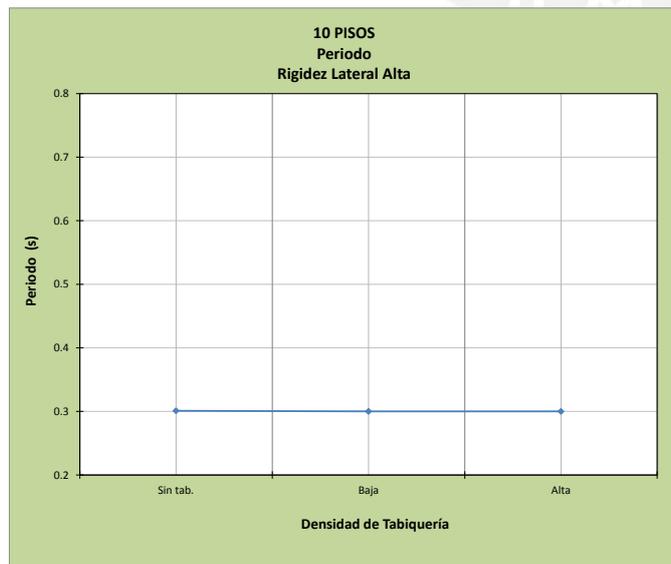


Gráfico 27 (a) y (b). Periodos dirección rigidez lateral "alta"

3.3.2.-INFLUENCIA EN LA DISTORSIÓN DE ENTREPISO

Cuadro 19.- Distorsión de entrepiso

10 PISOS	DISTORSIÓN DE ENTREPISO					
	Densidad de tabiquería					
	Sin tab.		Baja		Alta	
RIGIDEZ DEL SISTEMA ESTRUCTURAL		% Var.		% Var.		% Var.
MÍNIMA	0.0069	0	0.0055	-20.29	0.005	-27.54
ALTA	0.0013	0	0.00127	-2.31	0.0013	0.00

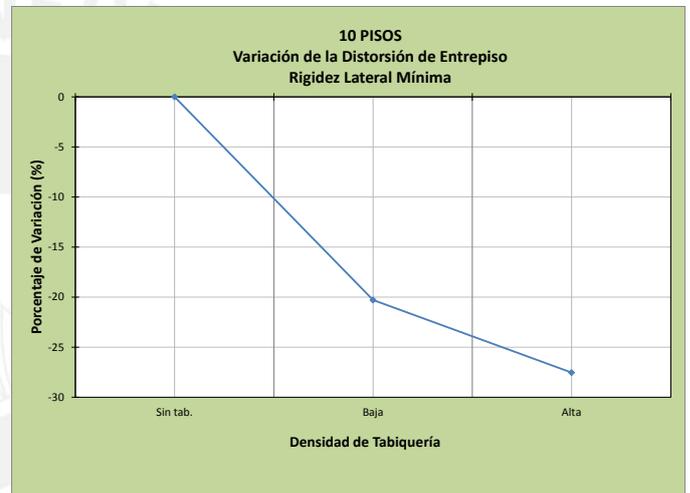
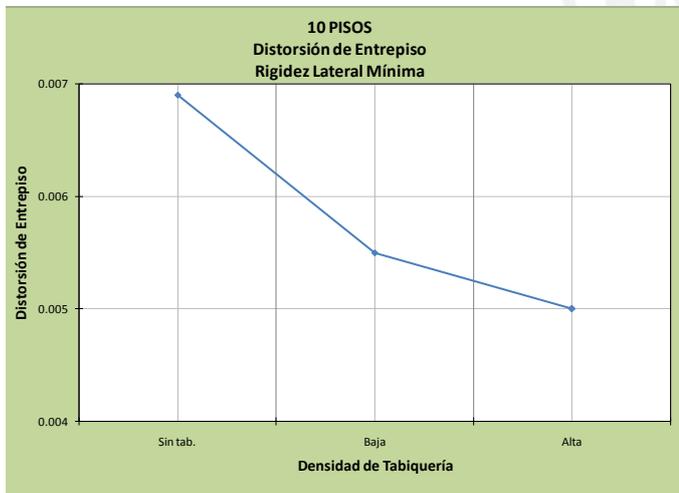


Gráfico 28 (a) y (b). Distorsión de entrepiso dirección rigidez lateral "mínima"

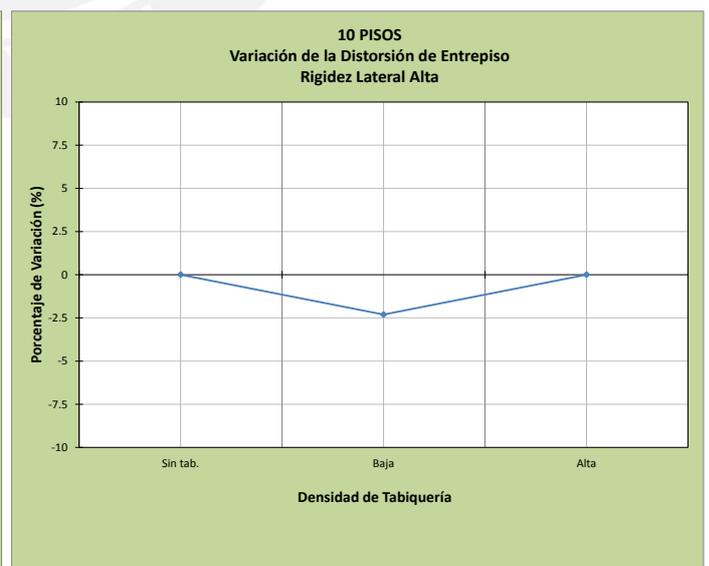
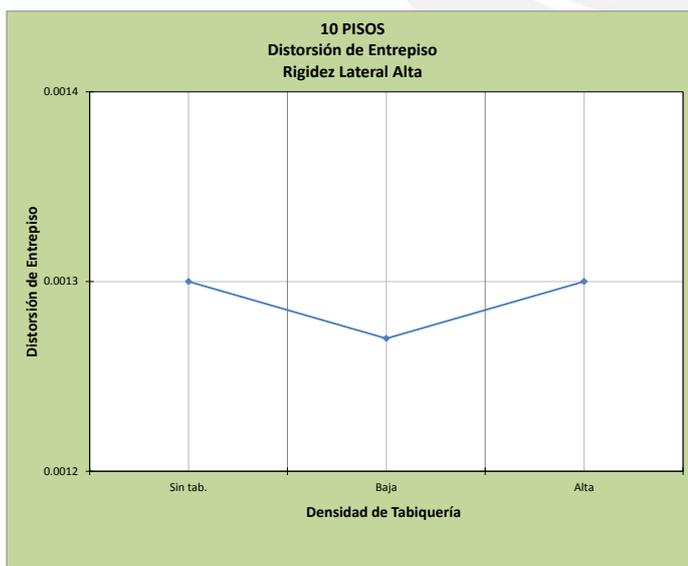


Gráfico 29 (a) y (b). Distorsión de entrepiso dirección rigidez lateral "alta"

3.3.3.-INFLUENCIA EN EL CORTANTE SÍSMICO BASAL

Cuadro 20.- Cortante sísmico basal

10 PISOS	CORTANTE BASAL					
	Densidad de tabiquería					
	Sin tab.		Baja		Alta	
RIGIDEZ DEL SISTEMA ESTRUCTURAL	ton	% Var.	ton	% Var.	ton	% Var.
MÍNIMA	439.1	0	566.4	28.99	630	43.48
ALTA	565	0	610.5	8.05	640.1	13.29

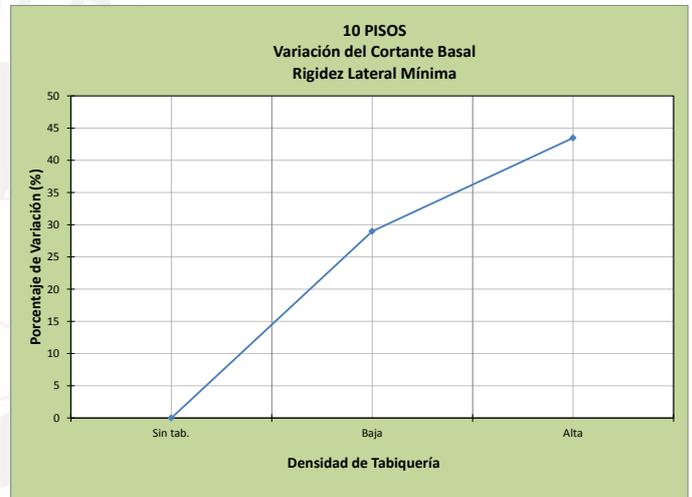
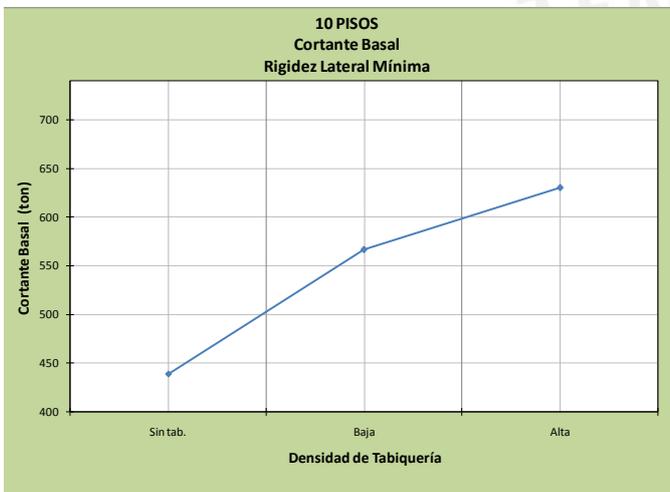


Gráfico 30 (a) y (b). Cortante sísmico basal dirección rigidez lateral "mínima"

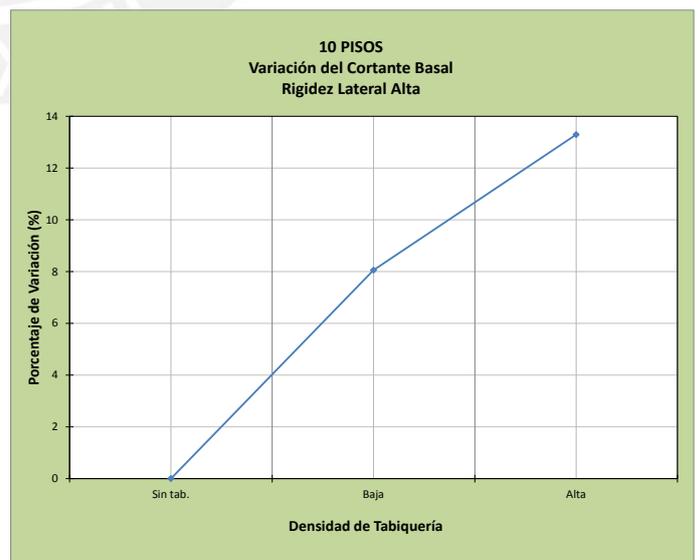
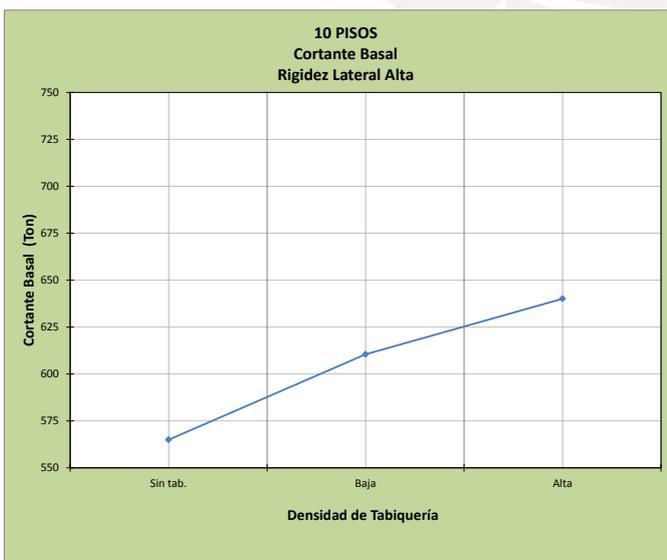


Gráfico 31 (a) y (b). Cortante sísmico basal dirección rigidez lateral "alta"

3.3.4.-INFLUENCIA EN EL MOMENTO FLECTOR EN LA BASE DE LAS PLACAS

Cuadro 21.- Momento flector en la base de las placas

10 PISOS	MOMENTO FLECTOR EN LA BASE DE LAS PLACAS					
	Densidad de tabiquería					
	Sin tab.		Baja		Alta	
RIGIDEZ DEL SISTEMA ESTRUCTURAL	ton.m	% Var.	ton.m	% Var.	ton.m	% Var.
MÍNIMA	2526.1	0	2390.5	-5.37	2348.40	-7.03
ALTA	4689.4	0	4712.7	0.50	4784.80	2.03

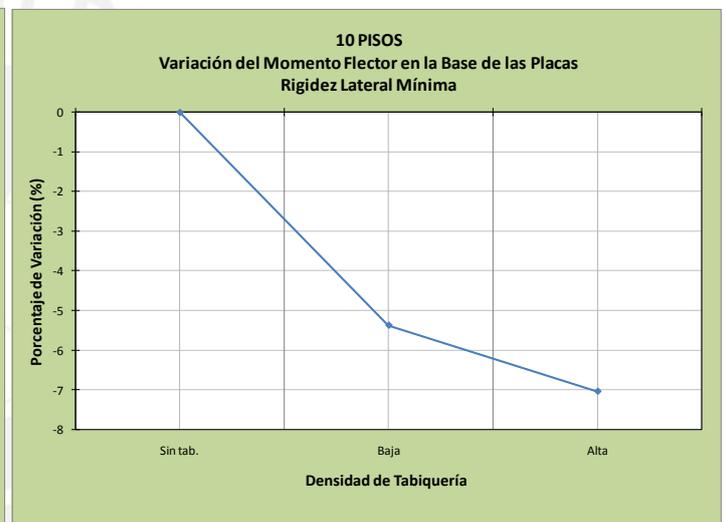
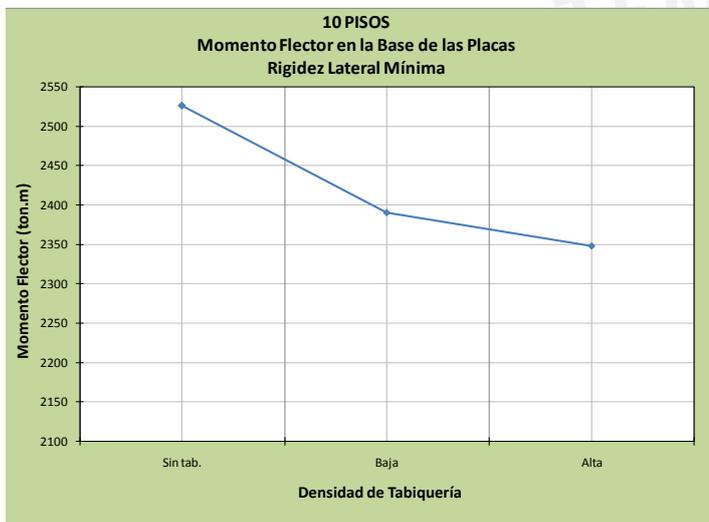


Gráfico 32 (a) y (b). Momento flector en la base de las placas dirección rigidez lateral "mínima"

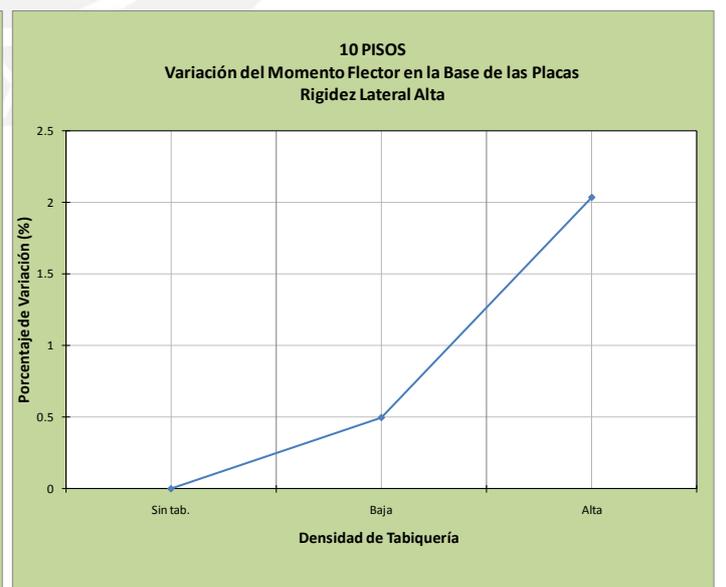
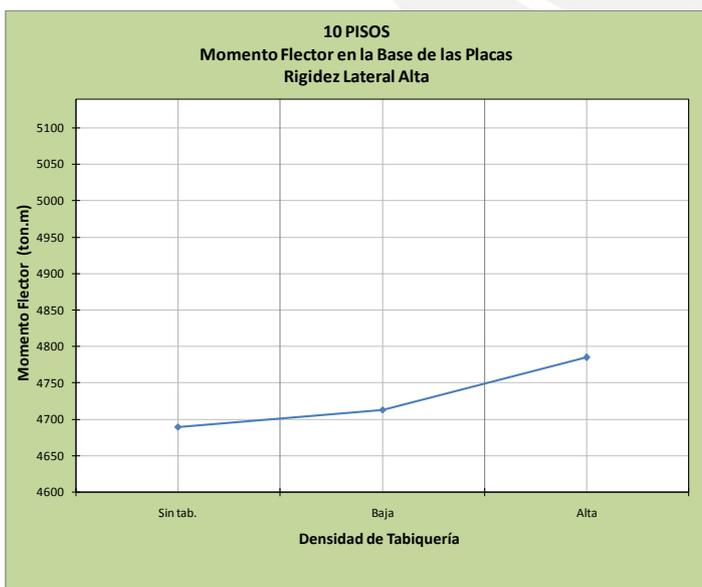


Gráfico 33 (a) y (b). Momento flector en la base de las placas dirección rigidez lateral "alta"

3.3.5.-INFLUENCIA EN EL CORTANTE EN LA BASE DE LAS PLACAS

Cuadro 22.- Cortante en la base de las placas

10 PISOS	FUERZA CORTANTE EN LA BASE DE LAS PLACAS					
	Densidad de tabiquería					
	Sin tab.		Baja		Alta	
RIGIDEZ DEL SISTEMA ESTRUCTURAL	ton	% Var.	ton	% Var.	ton	% Var.
MÍNIMA	186.1	0	218.9	17.62	231.8	24.56
ALTA	252.6	0	265.2	4.99	273.6	8.31

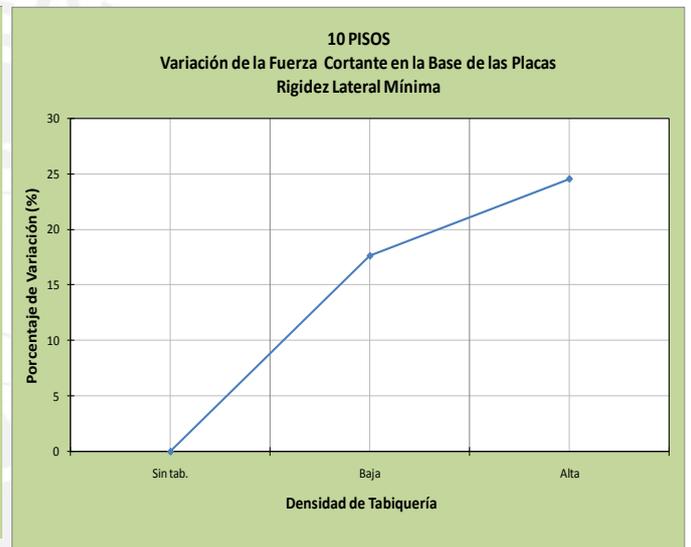
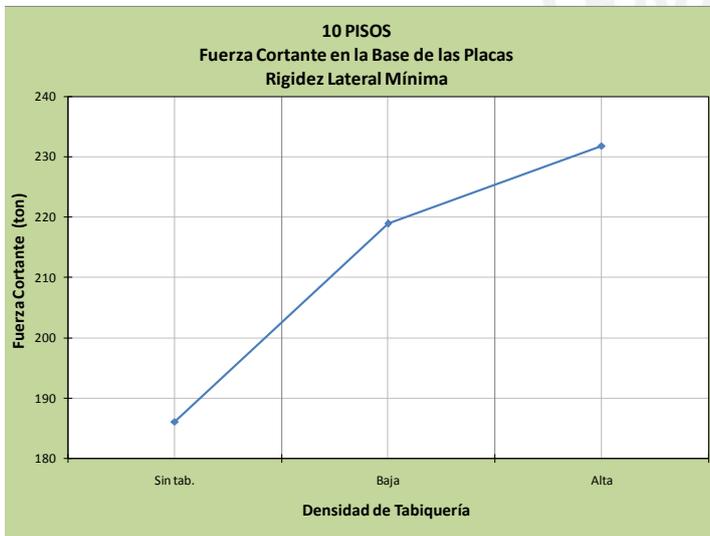


Gráfico 34 (a) y (b). Cortante en la base de las placas dirección rigidez lateral "mínima"

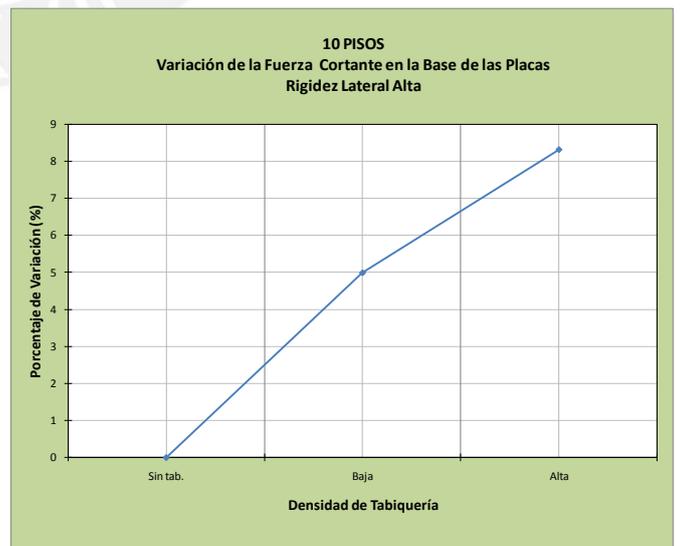
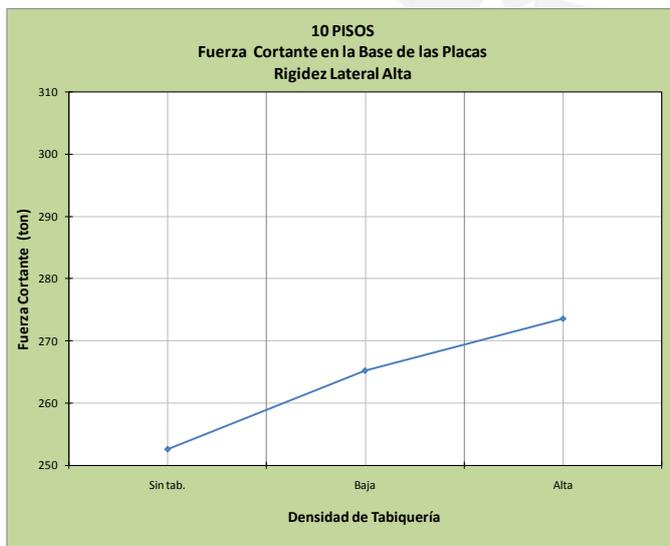


Gráfico 35 (a) y (b). Cortante en la base de las placas dirección rigidez lateral "alta"

3.3.6.-FUERZA AXIAL EN LAS DIAGONALES

Cuadro 23.- Fuerza axial en las diagonales

10 PISOS	FUERZA AXIAL MÁXIMA EN LOS PUNTALES EN COMPRESIÓN					
	Densidad de tabiquería					
	Sin tab.		Baja		Alta	
RIGIDEZ DEL SISTEMA ESTRUCTURAL	ton	% Var.	ton	% Var.	ton	% Var.
MÍNIMA	0	0	16.5	0	24.7	0
ALTA	0	0	4.5	0	6.7	0

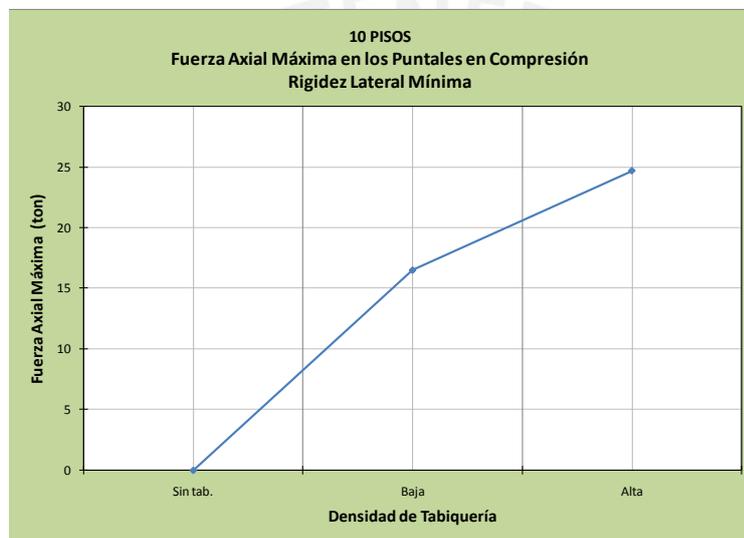


Gráfico 36. Fuerza axial en diagonales dirección rigidez lateral "mínima"

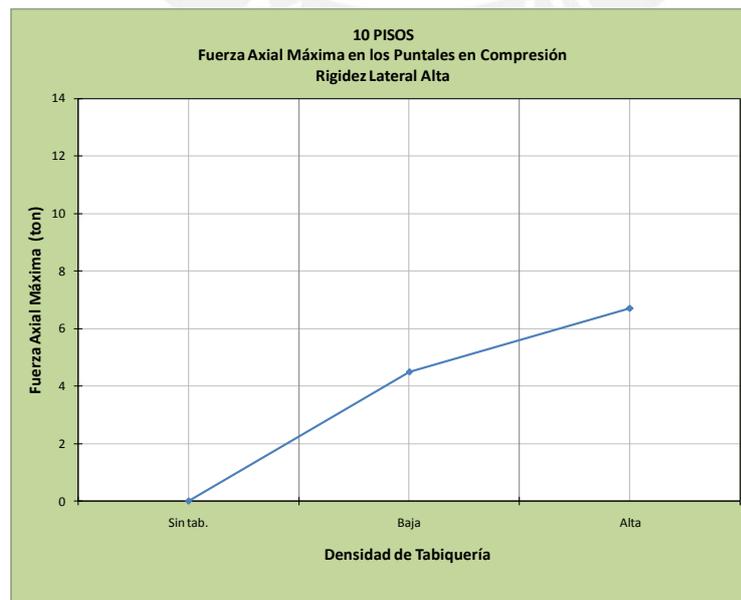


Gráfico 37. Fuerza axial en diagonales dirección rigidez lateral "alta"

De acuerdo con los gráficos 26 al 37, en los que se “cuantifica” la interacción entre la tabiquería y la estructura, modelada a través de un sistema pórtico-diagonal equivalente, en edificios de 10 pisos; se puede concluir:

1.-Influencia en el periodo predominante de vibración

1a.- Dirección con rigidez lateral “mínima”

Como se puede observar en los gráficos 26(a) y 26(b), la influencia de la tabiquería en el periodo predominante de la estructura es proporcional con la “densidad” de la misma: a mayor “densidad” de tabiquería mayor influencia en el periodo.

El periodo predominante de vibración disminuye, en relación al periodo del edificio en el que no se considera la interacción tabique-estructura, en un 16% para una densidad baja y en un 21% para una densidad alta de la tabiquería.

De acuerdo con los resultados, tanto para “densidades” baja y alta de la tabiquería, en edificios de 10 pisos; la reducción del periodo es mayor a la prescrita por la norma E.030 en el artículo 17.2 (Sencico 2003).

1b.- Dirección con rigidez lateral “alta”

Como se observa en los gráficos 27(a) y 27(b) la tabiquería no tiene mayor influencia en el periodo predominante de la estructura, tanto para “densidades” bajas como altas. La reducción en el periodo predominante, respecto del periodo del edificio en el que no se considera la interacción tabique-pórtico, es de un 0.3%.

Como se podrá notar, la influencia de la tabiquería en el periodo fundamental de vibración de una estructura de 10 pisos es inversamente proporcional con la rigidez lateral de la misma: a menor rigidez lateral mayor reducción del periodo.

2.- Influencia en la distorsión de entrepiso

2a.- Dirección con rigidez lateral “mínima”

De los gráficos 28(a) y 28(b) se observa que la influencia de la tabiquería, en la distorsión máxima de entrepiso de un edificio, es proporcional a la “densidad” de la misma: a mayor “densidad” de tabiquería mayor disminución de la distorsión.

Para el caso de “densidades” bajas, la distorsión máxima de entrepiso, expresada como fracción de la altura del mismo (drift), disminuye de 0.007 (que es la distorsión máxima del edificio, sin considerar la interacción tabique-pórtico) a aproximadamente, 0.0055. Para el caso de “densidades” altas de tabiquería, la distorsión máxima de entrepiso puede disminuir de 0.007 a 0.005, aproximadamente.

Como se ve, en lo que respecta a la distorsión máxima de entrepiso, tener una tabiquería “adherida” a la estructura es “beneficioso” para la respuesta estructural sísmica de un edificio de 10 pisos; pues la distorsión de entrepiso es un parámetro que nos permite controlar el daño, tanto estructural como no estructural, en una edificación: a menor distorsión de entrepiso menor daño. Las distorsiones disminuyen a 0.0055 y 0.005, para “densidades” baja y alta,

respectivamente; lo cual permite concluir en que, después de un sismo severo, la tabiquería adherida quedará en una condición “reparable”.

2b.- Dirección con rigidez lateral “alta”

En los gráficos 29(a) y 29(b) se ve que la tabiquería no tiene mayor influencia, en la distorsión máxima de entrepiso, tanto con “densidades” bajas como altas. La reducción de la distorsión, tanto para una “densidad” baja como alta, es 2%, aproximadamente, respecto de la distorsión máxima de entrepiso del edificio en el que no se ha considerado la interacción tabique-pórtico.

Se concluye que, la influencia de la tabiquería, en la máxima distorsión de entrepiso de una estructura de 10 pisos, es inversamente proporcional con la rigidez lateral de la misma: a menor rigidez lateral mayor cambio en la distorsión máxima.

3.- Influencia en el cortante basal del edificio

3a.- Dirección con rigidez lateral “mínima”

En los gráficos 30(a) y 30(b) se ve que la influencia de la tabiquería, en el cortante basal del edificio, es proporcional a la “densidad” de la tabiquería: a mayor “densidad” se registra un mayor aumento en el cortante basal, respecto del cortante basal del edificio en el que no se ha considerado la interacción tabique-pórtico.

Para densidades bajas de tabiquería, se registra un aumento del cortante basal del orden del 29%, y para densidades altas de tabiquería, se registra un aumento del cortante basal del orden del 43%. Este aumento en el cortante basal se debe a: que con la disminución del periodo el edificio se ubica en una zona más “exigida” del espectro de diseño. Además, la inclusión de la interacción tabique-pórtico en el modelo, cambia las formas modales y el porcentaje de contribución de los mismos a la respuesta; el modo predominante aumenta su participación en la respuesta.

3b.- Dirección con rigidez lateral “alta”

Los gráficos 31(a) y 31(b), registran un aumento del cortante basal del edificio, respecto del cortante basal del edificio en el que no se ha considerado la interacción tabique-pórtico, entre 8% y 13%, dependiendo de la “densidad” de la tabiquería.

Por lo tanto, la influencia de la tabiquería, en el aumento del cortante sísmico basal, es inversamente proporcional con la rigidez lateral de un edificio de 10 pisos: a menor rigidez lateral mayor cambio en el cortante basal.

4.- Influencia en el momento flector en la base de las placas

4a.- Dirección con rigidez lateral “mínima”

En los gráficos 32(a) y 32(b) se cuantifica la influencia de la tabiquería en el valor de los momentos flectores en la base de las placas; se observa que esta influencia es mayor con la “densidad” de la tabiquería.

Para densidades bajas se aprecia una disminución en el momento en la base de las placas del orden del 5%; y cuando la densidad es alta la disminución llega al 7%. A pesar de que el cortante

basal aumenta con la consideración de la interacción tabique-pórtico, los momentos en la base de las placas disminuyen. Esto se debe, como ya se dijo, a que con la consideración de la interacción tabique-pórtico en el modelo, las formas modales cambian y consecuentemente la distribución de las fuerzas de los mismos. Además, al considerar la interacción tabique-pórtico, los pórticos se hacen más rígidos por lo que toman más cortante, “descargando” a las placas.

4b.- Dirección con rigidez lateral “alta”

En los gráficos 33(a) y 33(b), se observa que la tabiquería no tiene mayor influencia en el valor de los momentos flectores en la base de las placas. Para densidades bajas y altas de la tabiquería los momentos permanecen prácticamente iguales.

Se observa que, la influencia de la tabiquería en los valores del momento flector en la base de las placas de edificios de 10 pisos es inversamente proporcional con la rigidez lateral de los mismos: a menor rigidez lateral mayor disminución en el momento de la base de las placas.

5.- Influencia en el cortante de la base de las placas

5a.- Dirección con rigidez lateral “mínima”

En los gráficos 34(a) y 34(b), se observa que la influencia de la tabiquería, en el cortante de la base de las placas, es proporcional a la densidad de la misma: a mayor densidad de tabiquería mayor aumento del cortante.

Para una densidad baja de tabiquería, el aumento del cortante en la base de las placas, respecto del cortante obtenido en un modelo donde no se considera la interacción tabique-pórtico, es del orden del 18%; y para una densidad alta, el aumento en el cortante es del orden del 25%. Como se puede observar, en este caso de edificios de 10 pisos, en lo que respecta al cortante en la base de las placas, sucede lo contrario al caso de los edificios de 5 pisos; pues se tiene un aumento en lugar de una disminución del cortante. Esto se debe, fundamentalmente, como ya se indicó, a que el edificio, con la reducción del periodo, es llevado a una zona más “exigente” del espectro de diseño.

5b.- Dirección con rigidez lateral “alta”

Observamos en los gráficos 35(a) y 35(b) que el cortante en la base de las placas también experimenta un aumento, respecto del cortante obtenido en un modelo donde no se ha considerado la interacción tabique-pórtico. El aumento del cortante en la base de las placas va desde un 5%, para densidades bajas de tabiquería, hasta un 8% para densidades altas.

Como se puede ver, la influencia de la tabiquería en los valores del cortante en la base de las placas de edificios de 10 pisos, es inversamente proporcional con la rigidez lateral de los mismos: a menor rigidez lateral mayor aumento en el cortante de la base de las placas.

6.- Fuerza axial en las diagonales equivalentes

6a.- Dirección con rigidez lateral “mínima”

Como se puede observar en el gráfico 36, la fuerza axial en las diagonales que representan a los tabiques en el modelo de análisis, dependen de la densidad de la tabiquería. Para el caso de

densidades bajas, las fuerzas axiales están en el orden de 16ton; en el caso de densidades altas, las fuerzas axiales están en el orden de 25ton.

6b.- Dirección con rigidez lateral “alta”

Como se puede observar en el gráfico 37, las fuerzas axiales en las diagonales que representan a los tabiques en el modelo de análisis, están en el orden de 4.5ton, para densidades bajas de la tabiquería, y en el orden de 7ton para densidades altas de tabiquería.

Como ya se indicó, la tabiquería no tiene la misma ductilidad del sistema estructural, por lo que las fuerzas en las diagonales son aproximadamente 2.5 veces los valores obtenidos en el análisis (por el cambio del valor de “R”).

Como se puede ver, las fuerzas axiales en las diagonales equivalentes son inversamente proporcionales con la rigidez lateral del edificio: a menor rigidez lateral mayores fuerzas axiales.



3.4.-INFLUENCIA DE LA TABIQUERÍA EN LA RESPUESTA SÍSMICA DE EDIFICIOS DE 15 PISOS

Los porcentajes de variación registrados en el cuadro 24, 25, 26, 27 y 28 están calculados respecto de la estructura en la que no se modeló la tabiquería.

3.4.1.-INFLUENCIA EN EL PERIODO DE VIBRACIÓN

Cuadro 24.- Periodos.- Unidades en segundos (s)

15 PISOS	PERIODOS DE VIBRACIÓN					
	Densidad de tabiquería					
	Sin tab.		Baja		Alta	
RIGIDEZ DEL SISTEMA ESTRUCTURAL	s	% Var.	s	% Var.	s	% Var.
MÍNIMA	1.092	0	0.945	-13.46	0.9	-17.58
ALTA	0.585	0	0.573	-2.05	0.57	-2.56

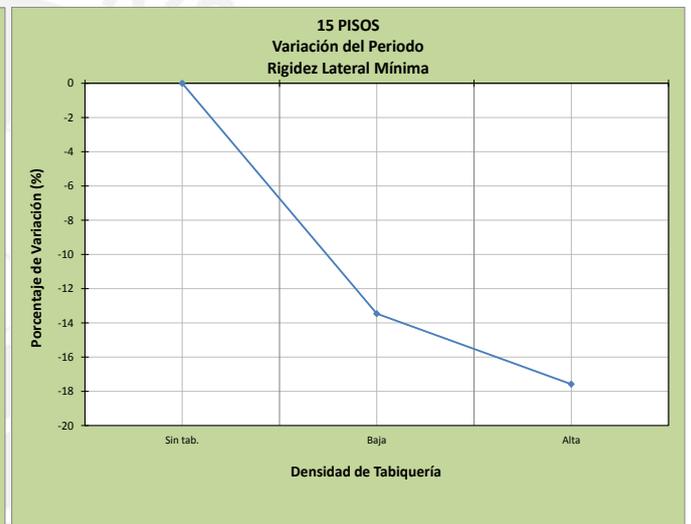
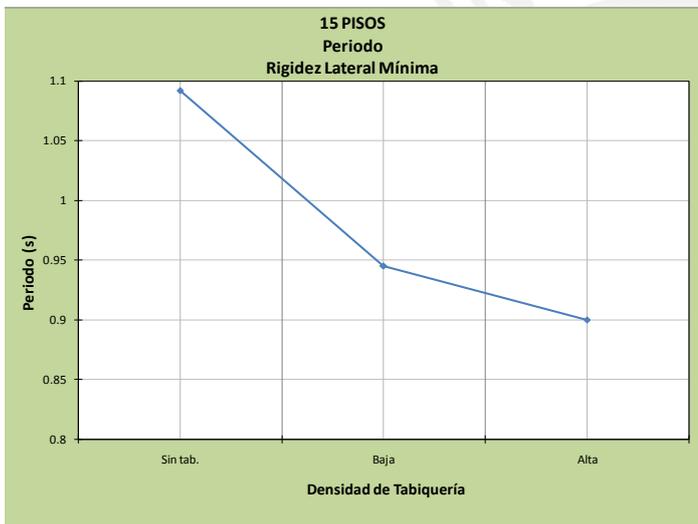


Gráfico 38 (a) y (b). Periodos dirección rigidez lateral "mínima"

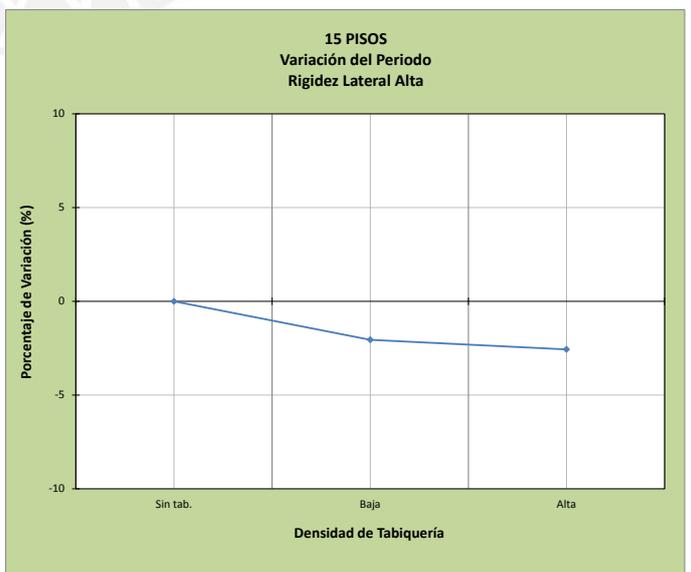
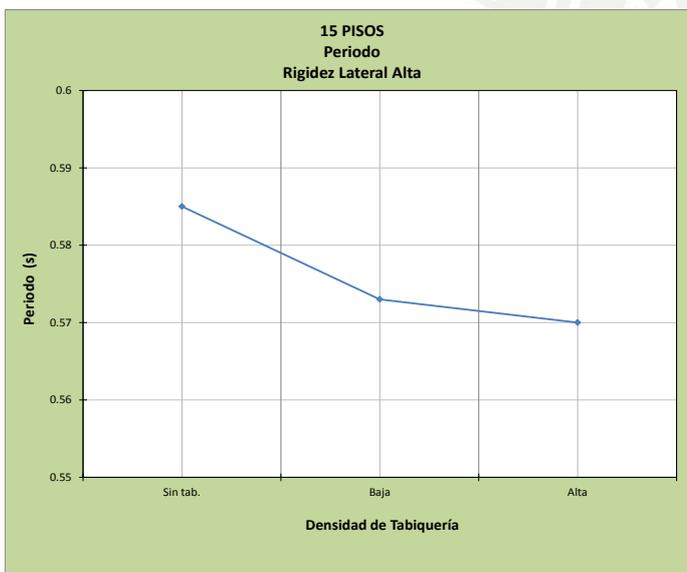


Gráfico 39 (a) y (b). Periodos dirección rigidez lateral "alta"

3.4.2.-INFLUENCIA EN LA DISTORSIÓN DE ENTREPISO

Cuadro 25.- Distorsión lateral de entrepiso

15 PISOS	DISTORSIÓN DE ENTREPISO					
	Densidad de tabiquería					
	Sin tab.		Baja		Alta	
RIGIDEZ DEL SISTEMA ESTRUCTURAL		% Var.		% Var.		% Var.
MÍNIMA	0.0068	0	0.0056	-17.65	0.0054	-20.59
ALTA	0.00347	0	0.0033	-4.90	0.0033	-4.90

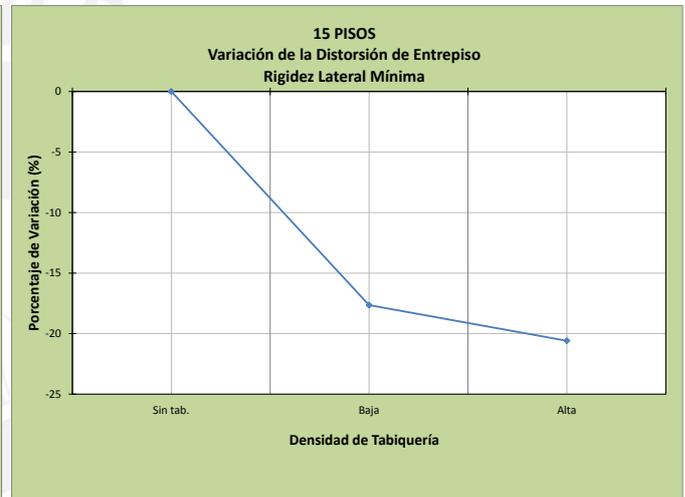
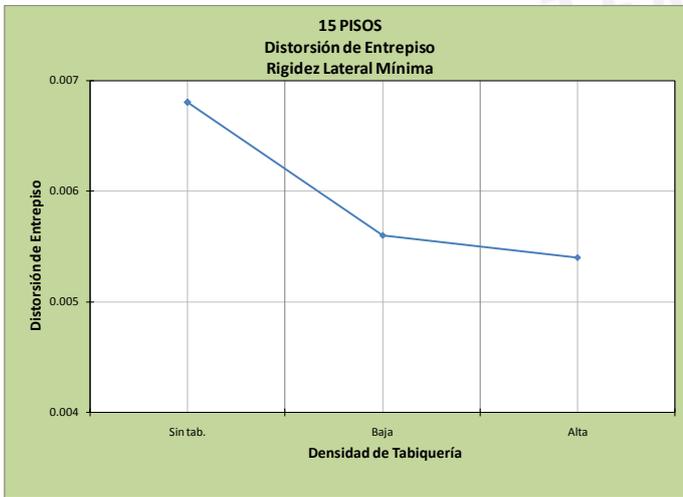


Gráfico 40 (a) y (b). Distorsión lateral de entrepiso dirección rigidez lateral "mínima".

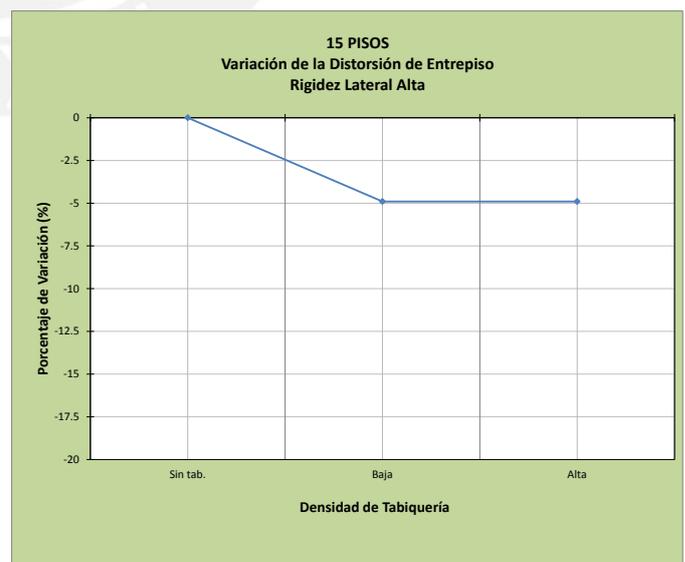
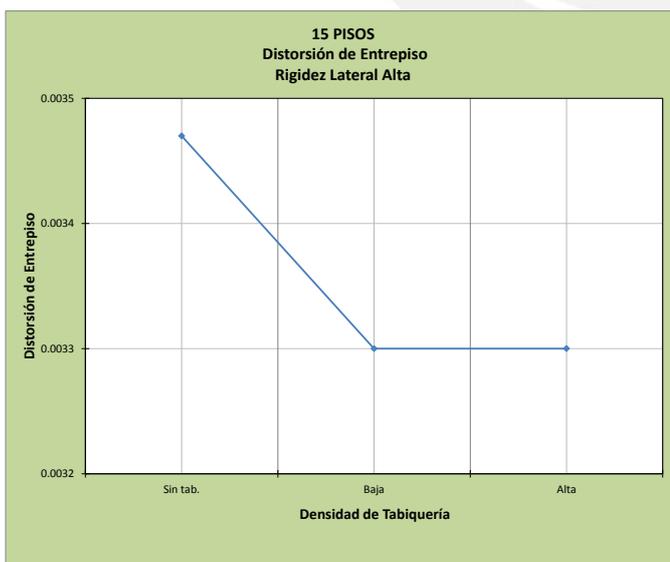


Gráfico 41 (a) y (b). Distorsión lateral de entrepiso dirección rigidez lateral "alta"

3.4.3.-INFLUENCIA EN EL CORTANTE SÍSMICO BASAL

Cuadro 26.- Cortante sísmico basal

15 PISOS	CORTANTE BASAL					
	Densidad de tabiquería					
	Sin tab.		Baja		Alta	
RIGIDEZ DEL SISTEMA ESTRUCTURAL	ton	% Var.	ton	% Var.	ton	% Var.
MÍNIMA	514.8	0	623.9	21.19	678.2	31.74
ALTA	866.25	0	933.5	7.76	976.6	12.74

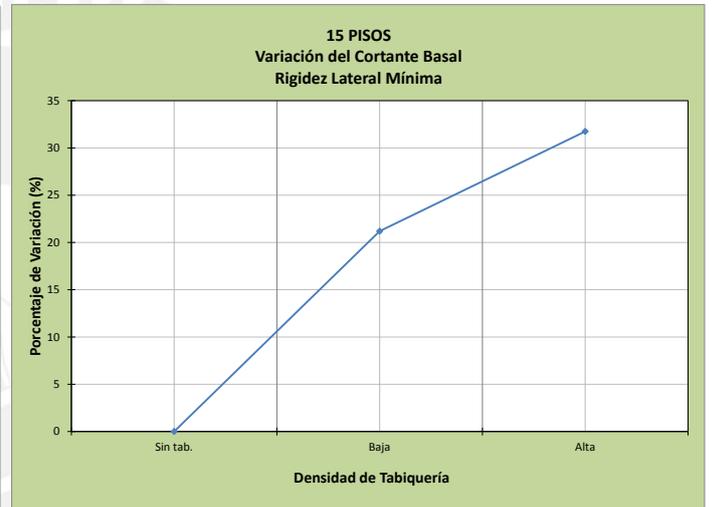
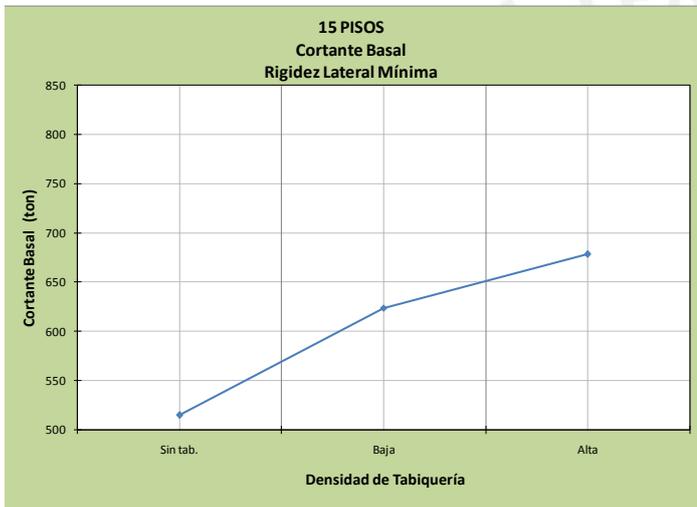


Gráfico 42 (a) y (b). Cortante sísmico basal dirección rigidez lateral "mínima"

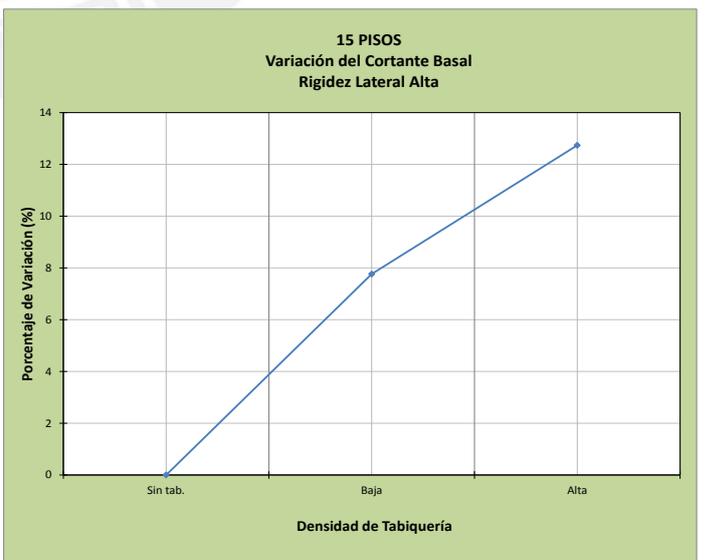
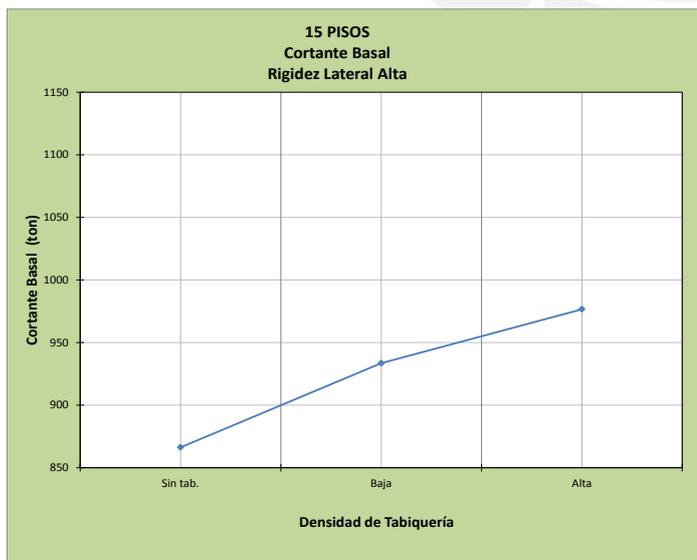


Gráfico 43 (a) y (b). Cortante sísmico basal dirección rigidez lateral "alta"

3.4.4.-INFLUENCIA EN EL MOMENTO FLECTOR EN LA BASE DE LAS PLACAS

Cuadro 27.- Momento flector en la base de las placas

15 PISOS	MOMENTO FLECTOR EN LA BASE DE LAS PLACAS					
	Densidad de tabiquería					
	Sin tab.		Baja		Alta	
RIGIDEZ DEL SISTEMA ESTRUCTURAL	ton.m	% Var.	ton.m	% Var.	ton.m	% Var.
MÍNIMA	4569.2	0	4388	-3.97	4345.2	-4.90
ALTA	9744	0	9608.2	-1.39	9712.4	-0.32

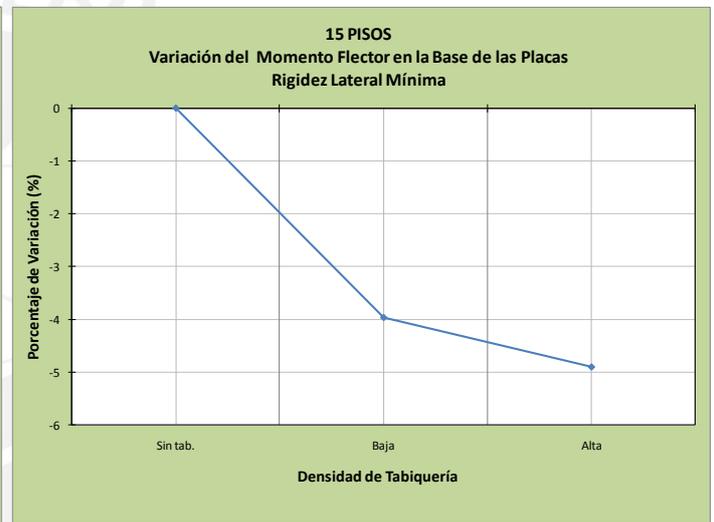
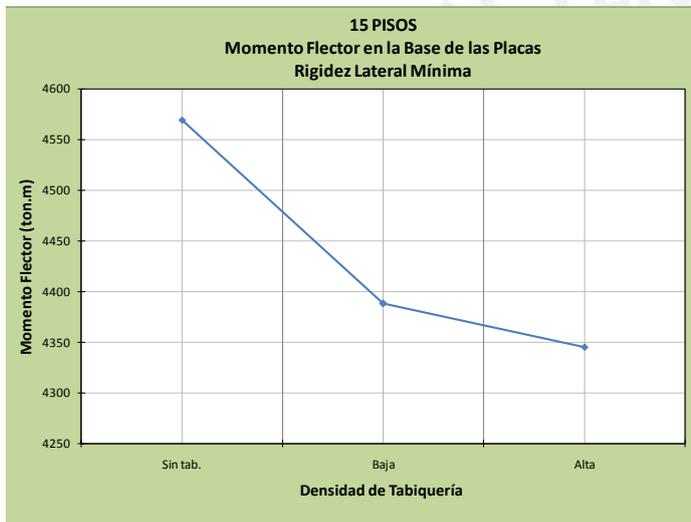


Gráfico 44 (a) y (b). Momento flector en la base de las placas dirección rigidez lateral "mínima"

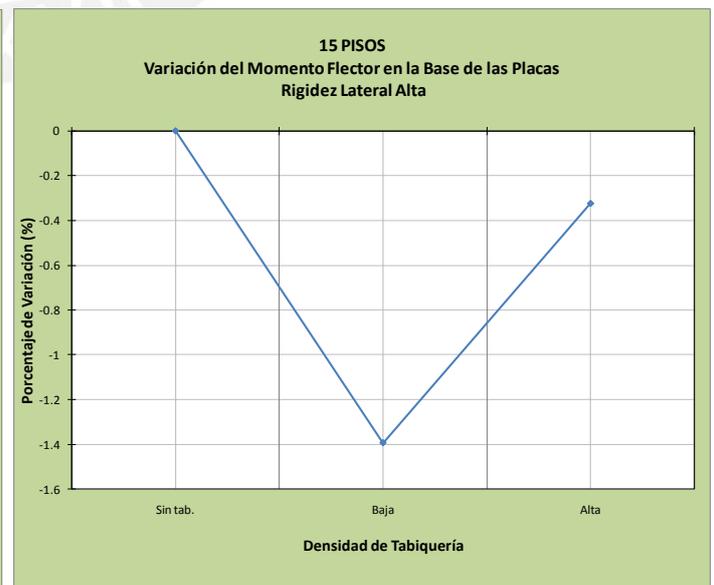
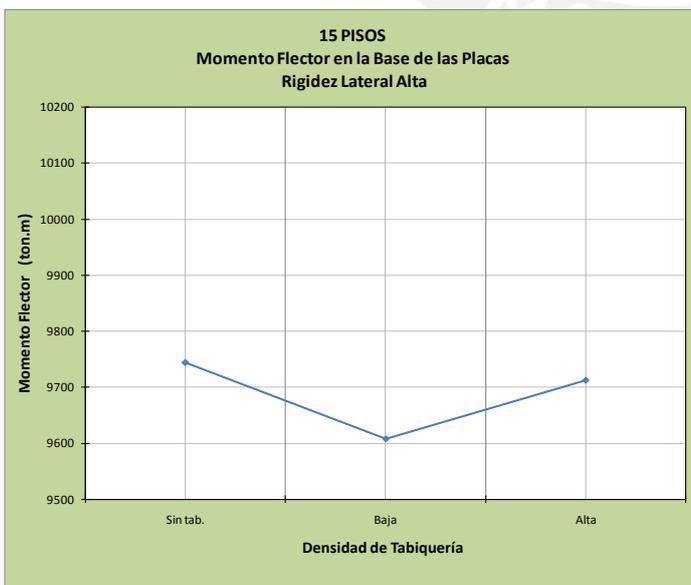


Gráfico 45 (a) y (b). Momento flector en la base de las placas dirección rigidez lateral "alta"

3.4.5.-INFLUENCIA EN EL CORTANTE EN LA BASE DE LAS PLACAS

Cuadro 28.- Fuerza cortante en la base de las placas

15 PISOS	FUERZA CORTANTE EN LA BASE DE LAS PLACAS					
	Densidad de tabiquería					
	Sin tab.		Baja		Alta	
RIGIDEZ DEL SISTEMA ESTRUCTURAL	ton	% Var.	ton	% Var.	ton	% Var.
MÍNIMA	234.5	0	268.5	14.50	282.9	20.64
ALTA	334	0	351.8	5.33	363.7	8.89

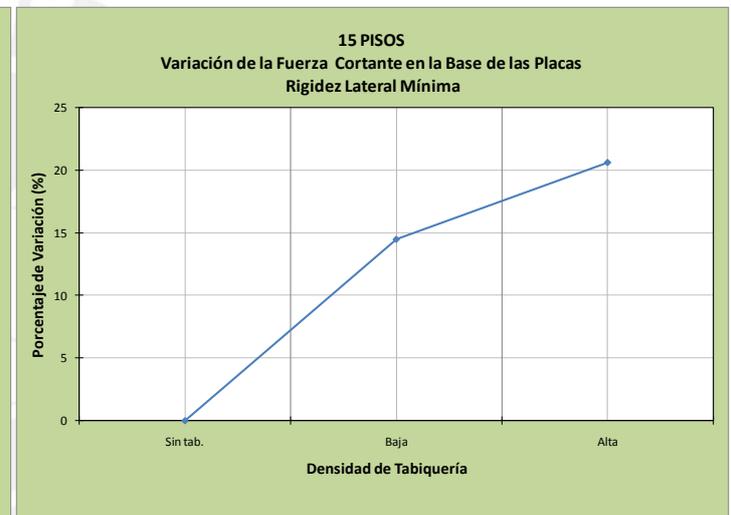


Gráfico 46 (a) y (b). Fuerza cortante en la base de las placas dirección rigidez lateral "mínima"

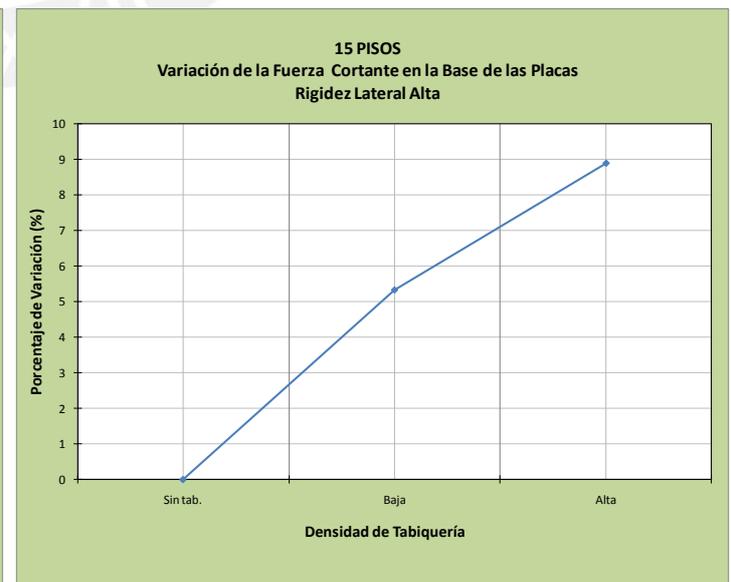
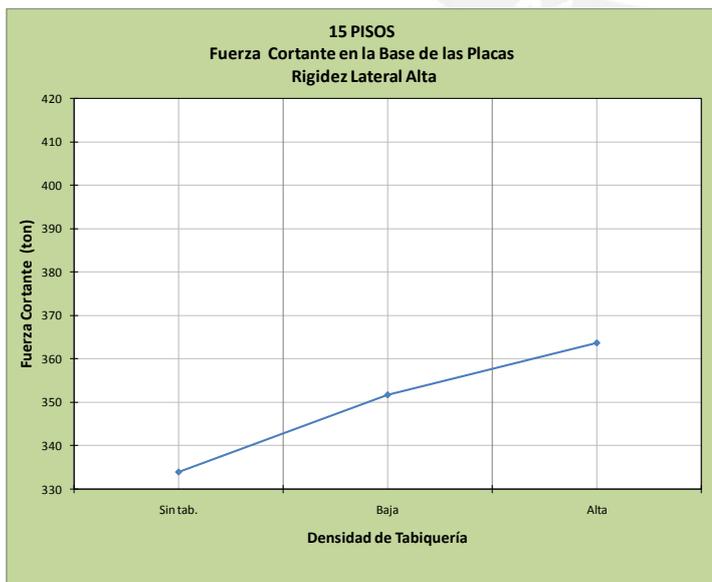


Gráfico 47 (a) y (b). Fuerza cortante en la base de las placas dirección rigidez lateral "alta"

3.4.6.-FUERZA AXIAL EN LAS DIAGONALES

Cuadro 29.- Fuerza axial en las diagonales

15 PISOS	FUERZA AXIAL MÁXIMA EN LOS PUNTALES EN COMPRESIÓN					
	Densidad de tabiquería					
	Sin tab.		Baja		Alta	
RIGIDEZ DEL SISTEMA ESTRUCTURAL	ton	% Var.	ton	% Var.	ton	% Var.
MÍNIMA	0	0	15.9	0	23.4	0
ALTA	0	0	9.6	0	13.9	0

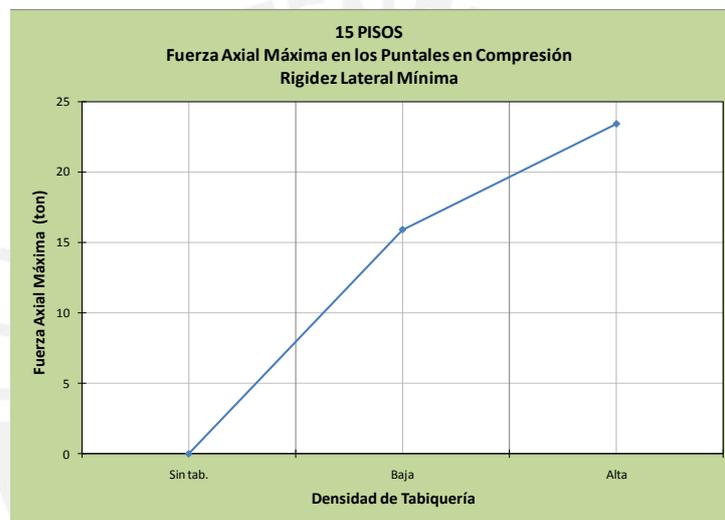


Gráfico 48. Fuerzas axiales en las diagonales dirección rigidez lateral “mínima”

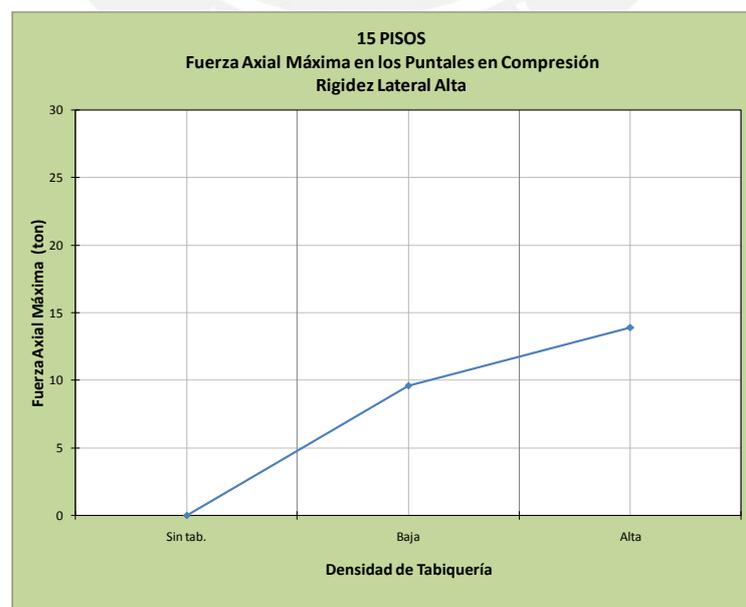


Gráfico 49. Fuerzas axiales en las diagonales dirección rigidez lateral “alta”

De acuerdo con los gráficos 38 al 49, en los que se “cuantifica” la interacción entre la tabiquería y la estructura, modelada a través de un sistema pórtico-diagonal equivalente, en edificios de 15 pisos; se puede concluir:

1.-Influencia en el periodo predominante de vibración

1a.- Dirección con rigidez lateral “mínima”

Como se puede observar en los gráficos 38(a) y 38(b), la influencia de la tabiquería en el periodo predominante de la estructura es proporcional con la “densidad” de la misma: a mayor “densidad” de tabiquería mayor influencia en el periodo.

El periodo predominante de vibración disminuye, en relación al periodo del edificio en el que no se considera la interacción tabique-estructura, en un 13% para una densidad baja y en un 18% para una densidad alta de la tabiquería.

De acuerdo con los resultados, tanto para “densidades” bajas y altas de la tabiquería, en edificios de 15 pisos; la reducción del periodo es similar a la prescrita por la norma en el artículo 17.2 (Sencico 2003).

1b.- Dirección con rigidez lateral “alta”

Como se observa en los gráficos 39(a) y 39(b) la tabiquería no tiene mayor influencia en el periodo predominante de la estructura, tanto para “densidades” bajas como altas. La reducción en el periodo predominante, respecto del periodo del edificio en el que no se considera la interacción tabique-pórtico, es de un 2%.

Como se podrá notar, la influencia de la tabiquería en el periodo fundamental de vibración de una estructura de 15 pisos es inversamente proporcional con la rigidez lateral de la misma: a menor rigidez lateral mayor reducción del periodo.

2.- Influencia en la distorsión de entrepiso

2a.- Dirección con rigidez lateral “mínima”

De los gráficos 40(a) y 40(b) se observa que la influencia de la tabiquería, en la distorsión máxima de entrepiso de un edificio, es proporcional a la “densidad” de la misma: a mayor “densidad” de tabiquería mayor disminución de la distorsión.

Para el caso de “densidades” bajas, la distorsión máxima de entrepiso, expresada como fracción de la altura del mismo (drift), disminuye de 0.007 (que es la distorsión máxima del edificio, sin considerar la interacción tabique-pórtico) a aproximadamente, 0.0056. Para el caso de “densidades” altas de tabiquería, la distorsión máxima de entrepiso puede disminuir de 0.007 a 0.0054, aproximadamente.

Como se ve, en lo que respecta a la distorsión máxima de entrepiso, tener una tabiquería “adherida” a la estructura es “beneficioso” para la respuesta estructural sísmica de un edificio de 15 pisos; pues la distorsión de entrepiso es un parámetro que nos permite controlar el daño, tanto estructural como no estructural, en una edificación: a menor distorsión de entrepiso menor daño. Las distorsiones disminuyen a 0.0056 y 0.0054, para “densidades” baja y alta,

respectivamente; lo cual permite concluir en que, después de un sismo severo, la tabiquería adherida quedará en una condición “reparable”.

2b.- Dirección con rigidez lateral “alta”

En los gráficos 41(a) y 41(b) se ve que la tabiquería no tiene mayor influencia, en la distorsión máxima de entrepiso, para “densidades” bajas como altas. La reducción de la distorsión, tanto para una “densidad” baja como alta, es 5%, aproximadamente, respecto de la distorsión máxima de entrepiso del edificio en el que no se ha considerado la interacción tabique-pórtico.

Se concluye que, la influencia de la tabiquería, en la máxima distorsión de entrepiso de una estructura de 15 pisos, es inversamente proporcional con la rigidez lateral de la misma: a menor rigidez lateral mayor cambio en la distorsión máxima.

3.- Influencia en el cortante basal del edificio

3a.- Dirección con rigidez lateral “mínima”

En los gráficos 42(a) y 42(b) se ve que la influencia de la tabiquería, en el cortante basal del edificio, es proporcional a la “densidad” de la tabiquería: a mayor “densidad” se registra un mayor aumento en el cortante basal, respecto del cortante basal del edificio en el que no se ha considerado la interacción tabique-pórtico.

Para densidades bajas de tabiquería, se registra un aumento del cortante basal del orden del 21%, y para densidades altas de tabiquería, se registra un aumento del cortante basal del orden del 32%. Este aumento en el cortante basal se debe a que con la disminución del periodo, el edificio se ubica en una zona más “exigida” del espectro de diseño. Además, la inclusión de la interacción tabique-pórtico en el modelo, cambia las formas modales y el porcentaje de contribución de los mismos a la respuesta; el modo predominante aumenta su participación en la respuesta.

3b.- Dirección con rigidez lateral “alta”

Los gráficos 43(a) y 43 (b), registran un aumento del cortante basal del edificio, respecto del cortante basal del edificio en el que no se ha considerado la interacción tabique-pórtico, entre 8% y 13%, dependiendo de la “densidad” de la tabiquería.

Por lo tanto, la influencia de la tabiquería, en el aumento del cortante sísmico basal de un edificio de 15 pisos, es inversamente proporcional con la rigidez lateral: a menor rigidez lateral mayor aumento en el cortante basal.

4.- Influencia en el momento flector en la base de las placas

4a.- Dirección con rigidez lateral “mínima”

En los gráficos 44(a) y 44(b) se cuantifica la influencia de la tabiquería en el valor de los momentos flectores en la base de las placas; se observa que esta influencia es mayor con la “densidad” de la tabiquería.

Para densidades bajas se aprecia una disminución en el momento en la base de las placas del orden del 4%; y cuando la densidad es alta la disminución llega al 5%; lo cual no es significativo. A

pesar de que el cortante basal aumenta con la consideración de la interacción tabique-pórtico, los momentos en la base de las placas disminuyen. Esto se debe a que, con la consideración de la interacción tabique-pórtico en el modelo, las formas modales cambian y consecuentemente la distribución de las fuerzas de los mismos. Adicionalmente, al considerar la interacción tabique-pórtico, los pórticos se hacen más rígidos por lo que toman más cortante, “descargando” a las placas.

4b.- Dirección con rigidez lateral “alta”

En los gráficos 45(a) y 45(b), se observa que la tabiquería no tiene mayor influencia en el valor de los momentos flectores en la base de las placas. Para densidades bajas y altas de la tabiquería los momentos permanecen prácticamente iguales.

Se observa que, la influencia de la tabiquería en los valores del momento flector en la base de las placas de edificios de 15 pisos es inversamente proporcional con la rigidez lateral de los mismos: a menor rigidez lateral mayor disminución en el momento de la base de las placas.

5.- Influencia en el cortante de la base de las placas

5a.- Dirección con rigidez lateral “mínima”

En los gráficos 46(a) y 46(b), se observa que la influencia de la tabiquería, en el cortante de la base de las placas, es proporcional a la densidad de la misma: a mayor densidad de tabiquería mayor aumento del cortante.

Para una densidad baja de tabiquería, el aumento del cortante en la base de las placas, respecto del cortante obtenido en un modelo donde no se considera la interacción tabique-pórtico, es del orden del 15%; y para una densidad alta, el aumento en el cortante es del orden del 21%. Esto se debe, fundamentalmente, como ya se indicó, a que el edificio, con la reducción del periodo, es llevado a una zona más “exigente” del espectro de diseño.

5b.- Dirección con rigidez lateral “alta”

En los gráficos 47(a) y 47(b) se observa que el cortante en la base de las placas también experimenta un aumento, respecto del cortante obtenido en un modelo donde no se ha considerado la interacción tabique-pórtico. El aumento del cortante en la base de las placas va desde un 5%, para densidades bajas de tabiquería, hasta un 9% para densidades altas.

Como se puede ver, la influencia de la tabiquería en los valores del cortante en la base de las placas de edificios de 15 pisos, es inversamente proporcional con la rigidez lateral del edificio: a menor rigidez lateral mayor aumento en el cortante de la base de las placas.

6.- Fuerza axial en las diagonales equivalentes

6a.- Dirección con rigidez lateral “mínima”

Como se puede observar en el gráfico 48, la fuerza axial en las diagonales que representan a los tabiques en el modelo de análisis, dependen de la densidad de la tabiquería. Para el caso de densidades bajas, las fuerzas axiales están en el orden de 16ton; en el caso de densidades altas, las fuerzas axiales están en el orden de 23ton.

6b.- Dirección con rigidez lateral “alta”

Como se puede observar en el gráfico 49, las fuerzas axiales en las diagonales que representan a los tabiques en el modelo de análisis, están en el orden de 10ton, para densidades bajas de la tabiquería, y en el orden de 14ton para densidades altas de tabiquería.

Como ya se indicó, la tabiquería no tiene la misma ductilidad del sistema estructural, por lo que las fuerzas en las diagonales son aproximadamente 2.5 veces los valores obtenidos en el análisis (por el cambio del valor de “R”).

Como se puede ver, las fuerzas axiales en las diagonales equivalentes son inversamente proporcionales con la rigidez lateral del edificio: a menor rigidez lateral mayores fuerzas axiales.



3.5.-INFLUENCIA DE LA TABIQUERÍA EN LA RESPUESTA SÍSMICA DE EDIFICIOS DE 20 PISOS

Los porcentajes de variación registrados en el cuadro 30, 31, 32, 33 y 34 están calculados respecto de la estructura en la que no se modeló la tabiquería.

3.5.1.-INFLUENCIA EN EL PERIODO DE VIBRACIÓN

Cuadro 30.- Periodos.- Unidades en segundos (s)

20 PISOS	PERIODOS DE VIBRACIÓN					
	Densidad de tabiquería					
	Sin tab.		Baja		Alta	
RIGIDEZ DEL SISTEMA ESTRUCTURAL	s	% Var.	s	% Var.	s	% Var.
MÍNIMA	1.465	0	1.29	-11.95	1.245	-15.02
ALTA	0.956	0	0.93	-2.72	0.93	-2.72

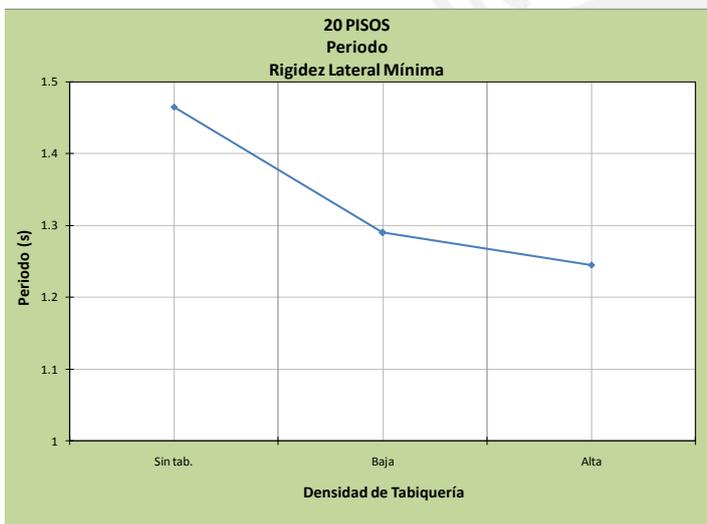


Gráfico 50 (a) y (b). Periodos dirección rigidez lateral "mínima"

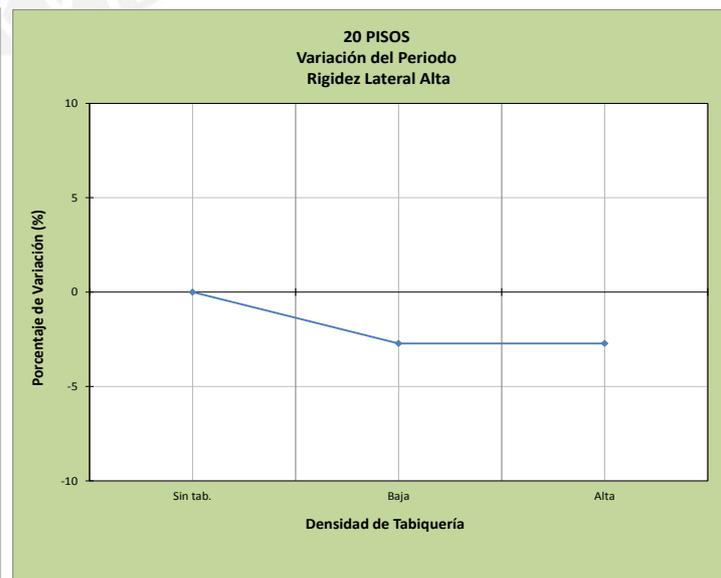
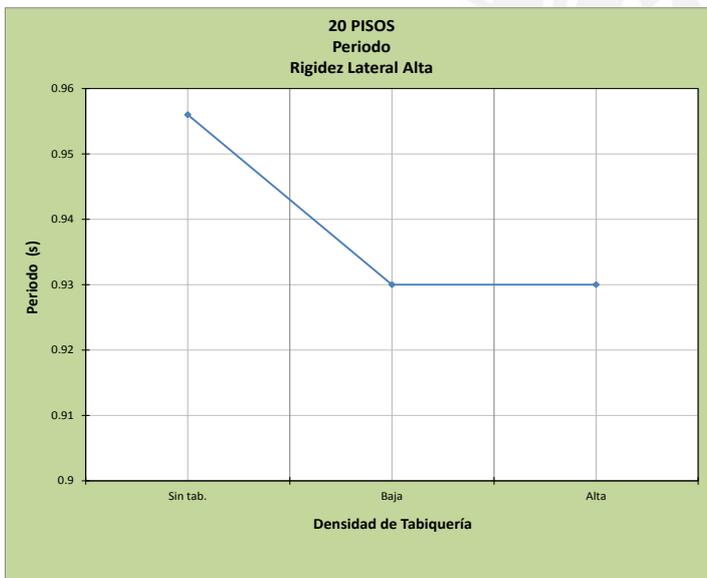


Gráfico 51 (a) y (b). Periodos dirección rigidez lateral "alta"

3.5.2.-INFLUENCIA EN LA DISTORSIÓN DE ENTREPISO

Cuadro 31.- Distorsión lateral de entrepiso

20 PISOS	DISTORSIÓN DE ENTREPISO					
	Densidad de tabiquería					
	Sin tab.		Baja		Alta	
RIGIDEZ DEL SISTEMA ESTRUCTURAL		% Var.		% Var.		% Var.
MÍNIMA	0.007	0	0.0059	-15.71	0.00570	-18.57
ALTA	0.00476	0	0.0046	-3.36	0.00460	-3.36

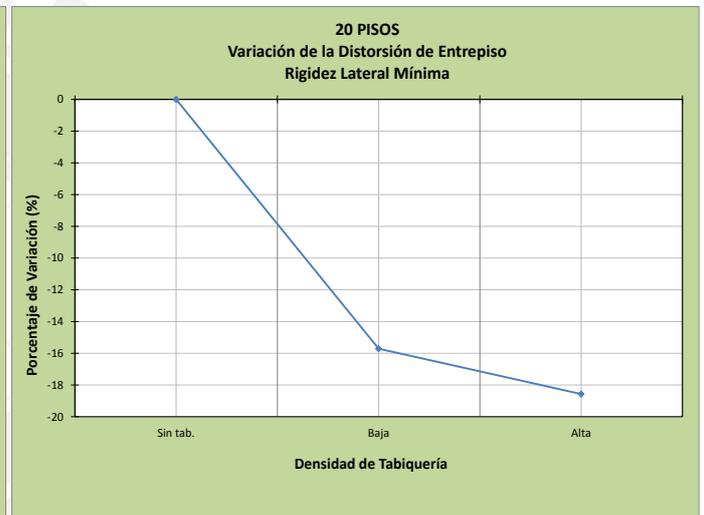
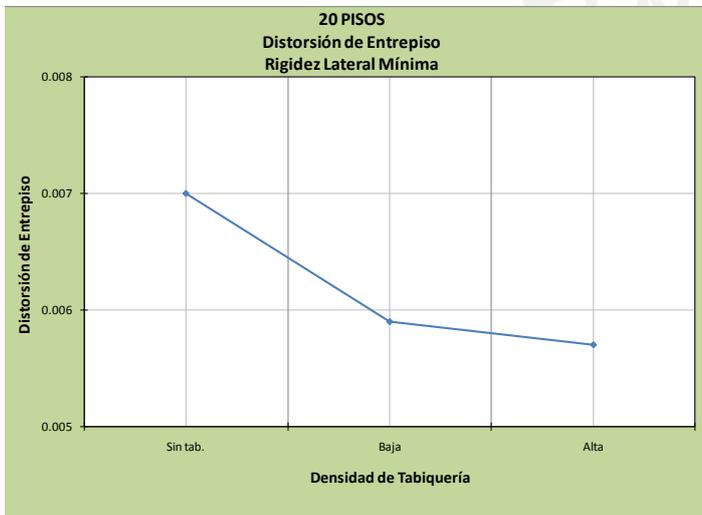


Gráfico 52 (a) y (b). Distorsión de entrepiso dirección rigidez lateral "mínima"

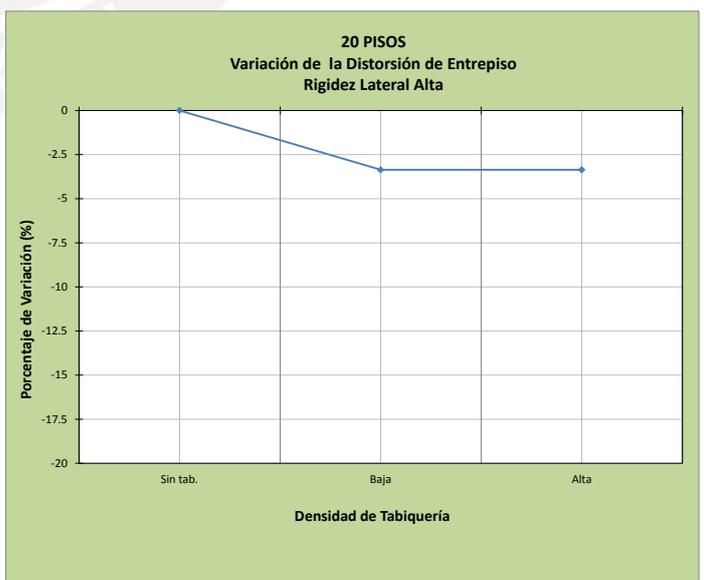
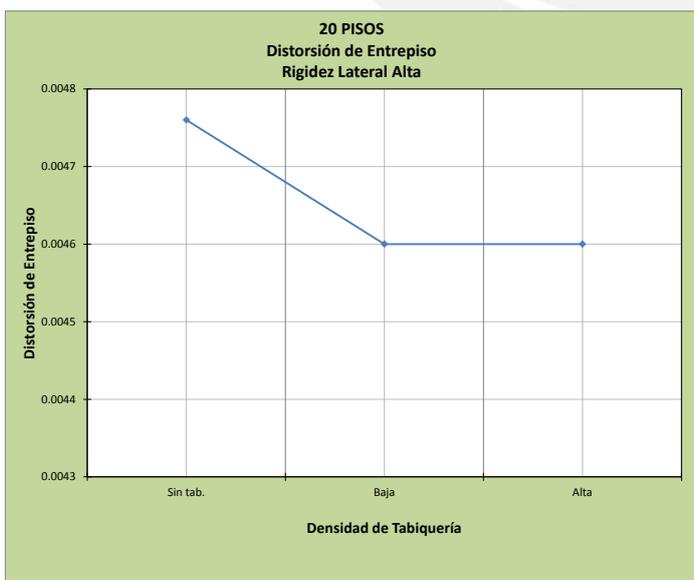


Gráfico 53 (a) y (b). Distorsión de entrepiso dirección rigidez lateral "alta"

3.5.3.- INFLUENCIA EN EL CORTANTE SÍSMICO BASAL

Cuadro 32.- Cortante sísmico basal

20 PISOS	CORTANTE BASAL					
	Densidad de tabiquería					
	Sin tab.		Baja		Alta	
RIGIDEZ DEL SISTEMA ESTRUCTURAL	Ton	% Var.	Ton	% Var.	Ton	% Var.
MÍNIMA	599	0	694.5	15.94	742.6	23.97
ALTA	822.2	0	898.9	9.33	936.8	13.94

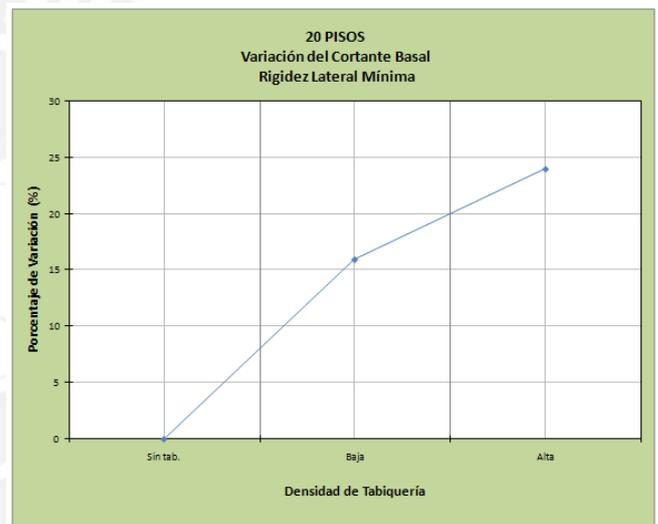
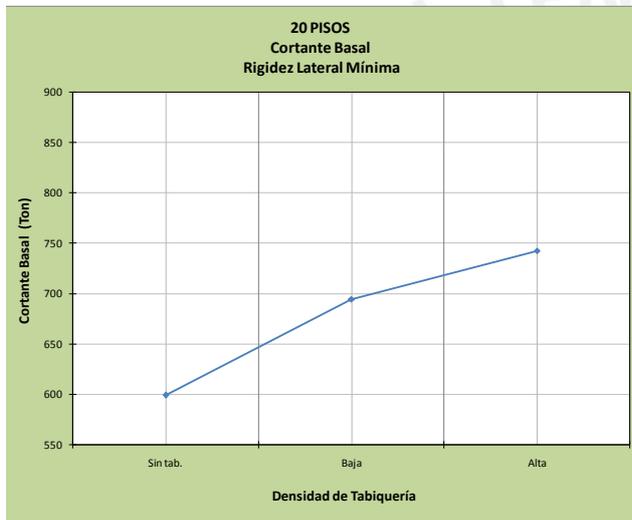


Gráfico 54 (a) y (b). Cortante sísmico basal dirección rigidez lateral "mínima"

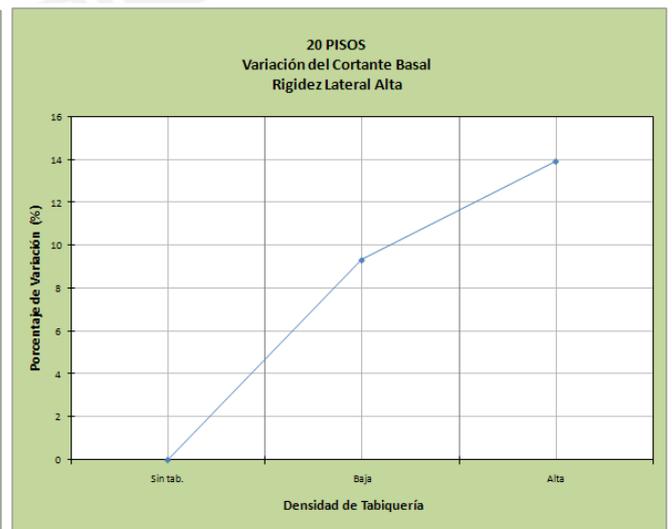
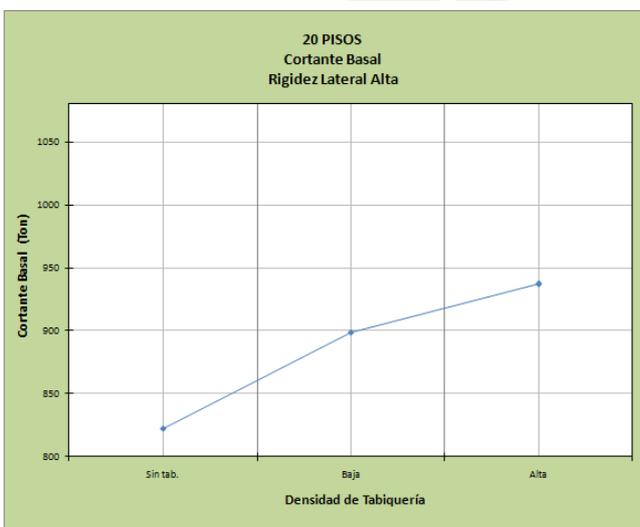


Gráfico 55 (a) y (b). Cortante sísmico basal dirección rigidez lateral "alta"

3.5.4.-INFLUENCIA EN EL MOMENTO FLECTOR EN LA BASE DE LAS PLACAS

Cuadro 33.- Momentos flectores en la base de las placas

20 PISOS	MOMENTO FLECTOR EN LA BASE DE LAS PLACAS					
	Densidad de tabiquería					
	Sin tab.		Baja		Alta	
RIGIDEZ DEL SISTEMA ESTRUCTURAL	Ton.m	% Var.	Ton.m	% Var.	Ton.m	% Var.
MÍNIMA	6681.2	0	6477.4	-3.05	6445.70	-3.52
ALTA	10894.4	0	10965.3	0.65	11071.00	1.62

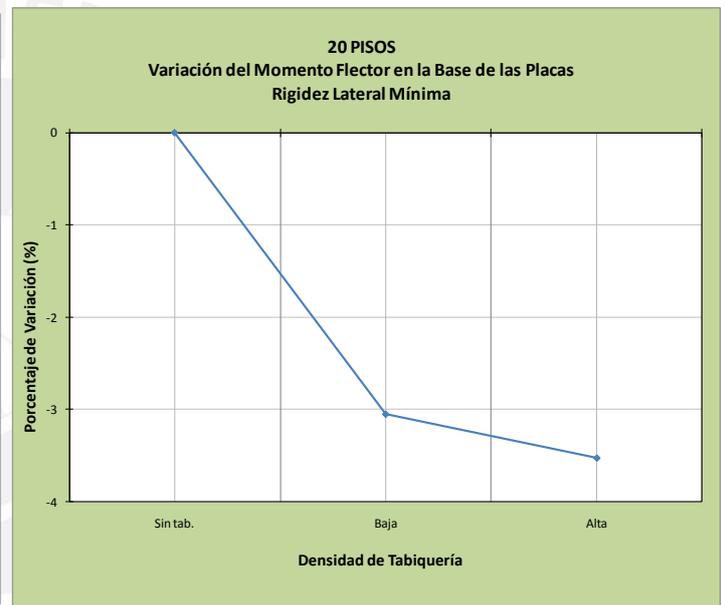
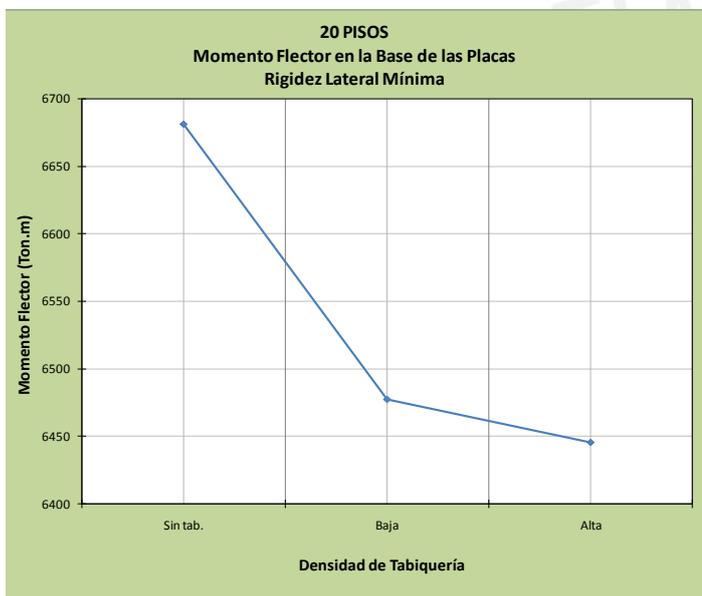


Gráfico 56 (a) y (b). Momento flector en la base de las placas dirección rigidez lateral "mínima"

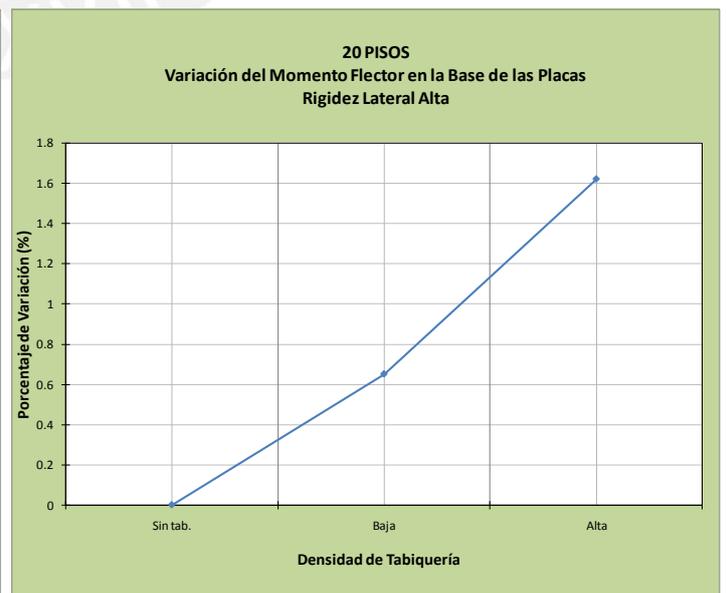
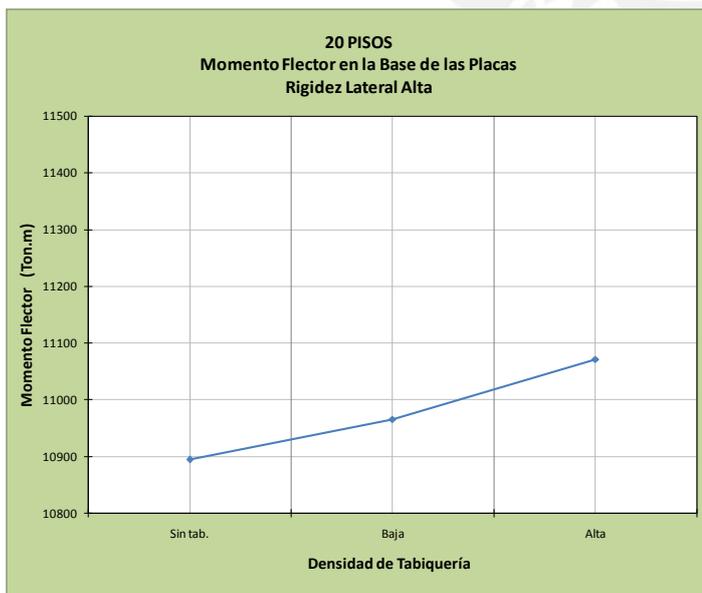


Gráfico 57 (a) y (b). Momento flector en la base de las placas dirección rigidez lateral "alta"

3.5.5.-INFLUENCIA EN EL CORTANTE EN LA BASE DE LAS PLACAS

Cuadro 34.- Fuerza cortante en la base de las placas

20 PISOS	FUERZA CORTANTE EN LA BASE DE LAS PLACAS					
	Densidad de tabiquería					
	Sin tab.		Baja		Alta	
RIGIDEZ DEL SISTEMA ESTRUCTURAL	ton	% Var.	ton	% Var.	ton	% Var.
MÍNIMA	283.7	0	317.6	11.95	333.1	17.41
ALTA	283.9	0	306.2	7.85	316.6	11.52

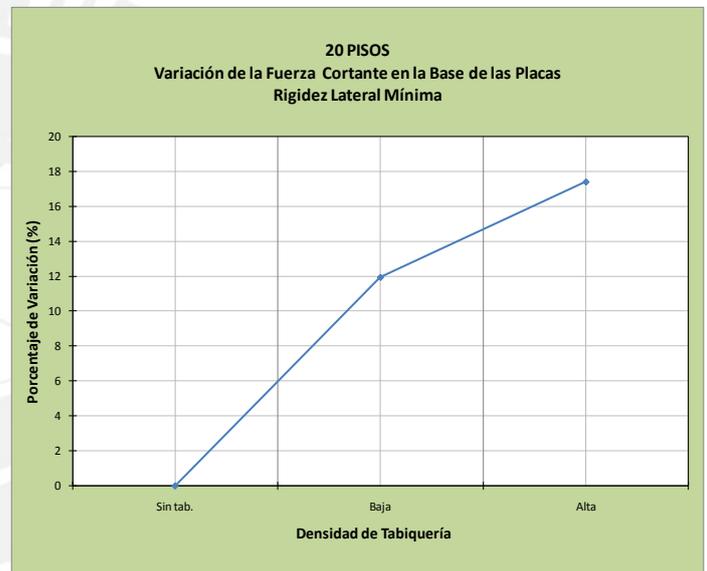
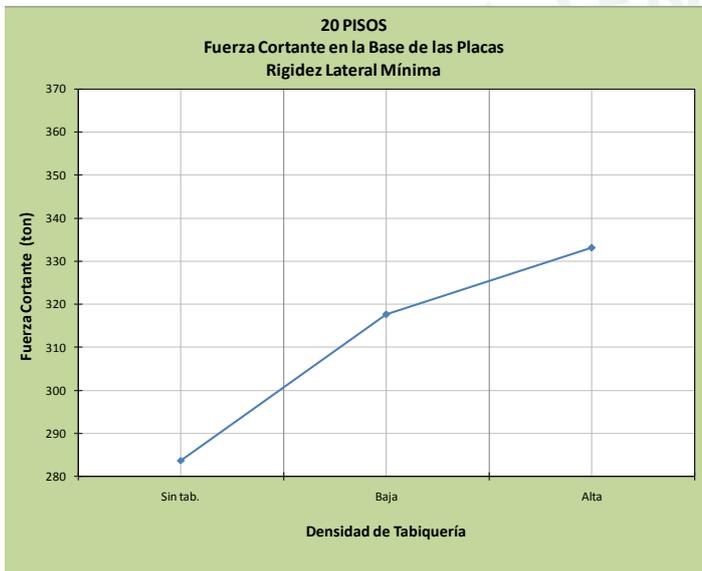


Gráfico 58 (a) y (b). Fuerza cortante en la base de las placas dirección rídez lateral "míxima"

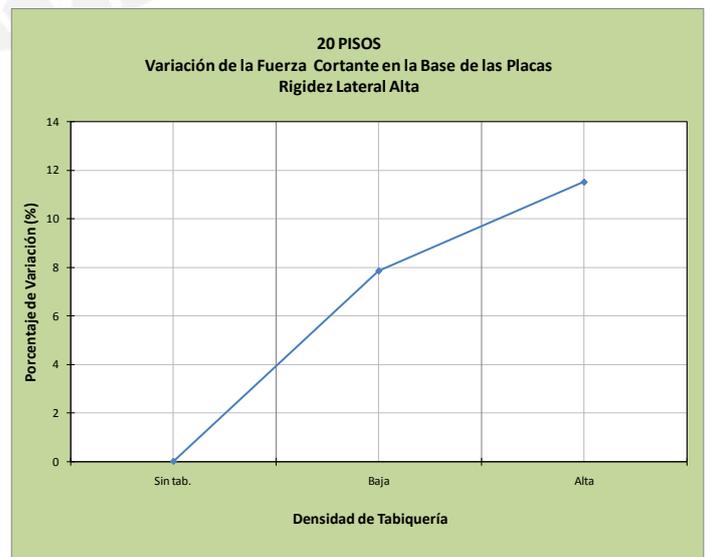
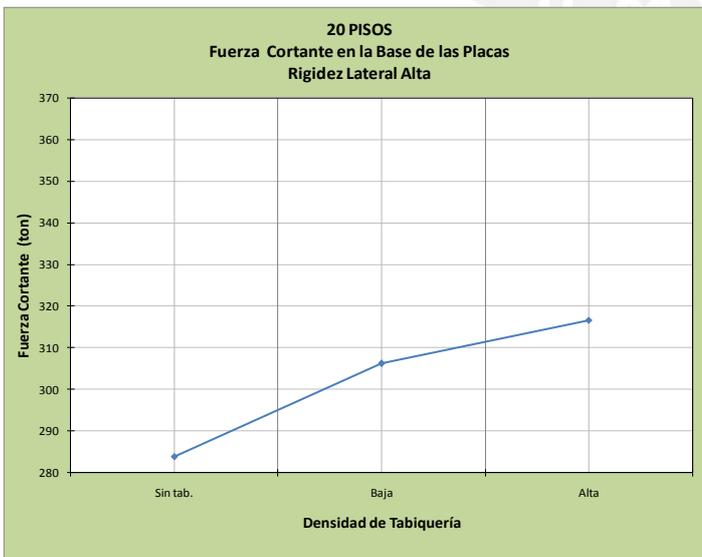


Gráfico 59 (a) y (b). Fuerza cortante en la base de las placas dirección rídez lateral "alta"

3.5.6.-FUERZAS AXIALES EN LAS DIAGONALES

Cuadro 35.- Fuerzas axiales en las diagonales

20 PISOS	FUERZA AXIAL MÁXIMA EN LOS PUNTALES EN COMPRESIÓN					
	Densidad de tabiquería					
	Sin tab.		Baja		Alta	
RIGIDEZ DEL SISTEMA ESTRUCTURAL	ton	% Var.	ton	% Var.	ton	% Var.
MÍNIMA	0	0	15.5	0	22.4	0
ALTA	0	0	10.3	0	14.8	0

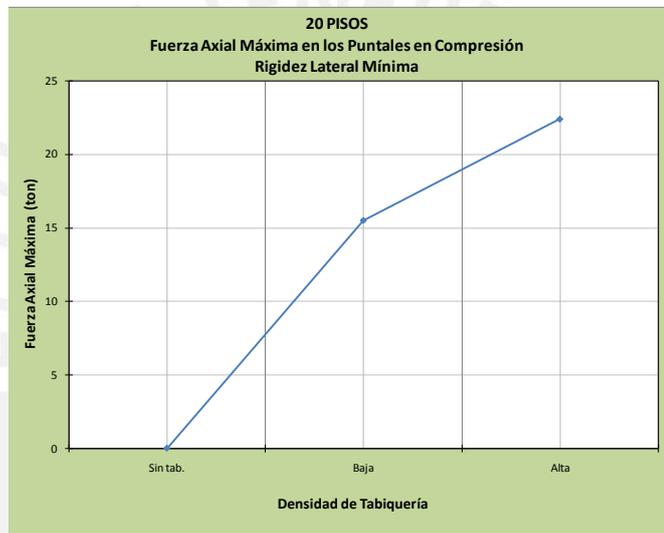


Gráfico 60. Fuerzas axiales en diagonales dirección rigidez lateral “mínima”

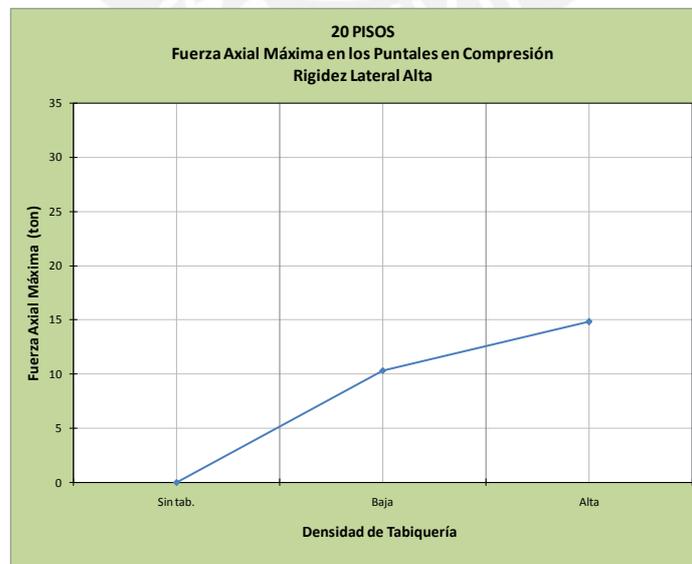


Gráfico 61. Fuerzas axiales en diagonales dirección rigidez lateral “alta”

De acuerdo con los gráficos 50 al 61, en los que se “cuantifica” la interacción entre la tabiquería y la estructura, modelada a través de un sistema pórtico-diagonal equivalente, en edificios de 20 pisos; se puede concluir:

1.-Influencia en el periodo predominante de vibración

1a.- Dirección con rigidez lateral “mínima”

Como se puede observar en los gráficos 50(a) y 50(b), la influencia de la tabiquería en el periodo predominante de la estructura es proporcional con la “densidad” de la misma: a mayor “densidad” de tabiquería mayor influencia en el periodo.

El periodo predominante de vibración disminuye, en relación al periodo del edificio en el que no se considera la interacción tabique-estructura, en un 12% para una densidad baja y en un 15% para una densidad alta de la tabiquería.

De acuerdo con nuestros resultados, tanto para “densidades” baja y alta de la tabiquería, en edificios de 20 pisos; la reducción del periodo es similar a la prescrita por la norma E.030 en el artículo 17.2 (Sencico 2003).

1b.- Dirección con rigidez lateral “alta”

Como se observa en los gráficos 51(a) y 51(b) la tabiquería no tiene mayor influencia en el periodo predominante de la estructura, tanto para “densidades” bajas como altas. La reducción en el periodo predominante, respecto del periodo del edificio en el que no se considera la interacción tabique-pórtico, es de un 2.7%.

Como se podrá notar, la influencia de la tabiquería en el periodo fundamental de vibración de una estructura de 20 pisos es inversamente proporcional con la rigidez lateral de la misma: a menor rigidez lateral mayor reducción del periodo.

2.- Influencia en la distorsión de entrepiso

2a.- Dirección con rigidez lateral “mínima”

De los gráficos 52(a) y 52(b) se observa que la influencia de la tabiquería, en la distorsión máxima de entrepiso de un edificio, es proporcional a la “densidad” de la misma: a mayor “densidad” de tabiquería mayor disminución de la distorsión.

Para el caso de “densidades” bajas, la distorsión máxima de entrepiso, expresada como fracción de la altura del mismo (drift), disminuye de 0.007 (que es la distorsión máxima del edificio, sin considerar la interacción tabique-pórtico) a aproximadamente, 0.0059. Para el caso de “densidades” altas de tabiquería, la distorsión máxima de entrepiso puede disminuir de 0.007 a 0.0057, aproximadamente.

Como se ve, en lo que respecta a la distorsión máxima de entrepiso, tener una tabiquería “adherida” a la estructura es “beneficioso” para la respuesta estructural sísmica de un edificio de 20 pisos; pues la distorsión de entrepiso es un parámetro que nos permite controlar el daño, tanto estructural como no estructural, en una edificación: a menor distorsión de entrepiso menor daño. Las distorsiones disminuyen a 0.0059 y 0.0057, para “densidades” baja y alta,

respectivamente; lo cual permite concluir en que, después de un sismo severo, la tabiquería adherida quedará en una condición “reparable.

2b.- Dirección con rigidez lateral “alta”

En los gráficos 53(a) y 53(b) se ve que la tabiquería no tiene mayor influencia, en la distorsión máxima de entrepiso, tanto con “densidades” bajas como altas. La reducción de la distorsión, tanto para una “densidad” baja como alta, es 3%, aproximadamente, respecto de la distorsión máxima de entrepiso del edificio en el que no se ha considerado la interacción tabique-pórtico.

Se concluye que, la influencia de la tabiquería, en la máxima distorsión de entrepiso de una estructura de 20 pisos, es inversamente proporcional con la rigidez lateral de la misma: a menor rigidez lateral mayor cambio en la distorsión máxima.

3.- Influencia en el cortante basal del edificio

3a.- Dirección con rigidez lateral “mínima”

En los gráficos 54(a) y 54(b) se ve que la influencia de la tabiquería, en el cortante basal del edificio, es proporcional a la “densidad” de la tabiquería: a mayor “densidad” se registra un mayor aumento en el cortante basal, respecto del cortante basal del edificio en el que no se ha considerado la interacción tabique-pórtico.

Para densidades bajas de tabiquería, se registra un aumento del cortante basal del orden del 16%, y para densidades altas de tabiquería, se registra un aumento del cortante basal del orden del 24%. Este aumento en el cortante basal se debe a que con la disminución del periodo el edificio se ubica en una zona más “exigente” del espectro de diseño. Además, la inclusión de la interacción tabique-pórtico en el modelo, cambia las formas modales y el porcentaje de contribución de los mismos a la respuesta; el modo predominante aumenta su participación en la respuesta.

3b.- Dirección con rigidez lateral “alta”

Los gráficos 55(a) y 55(b), registran un aumento del cortante basal del edificio, respecto del cortante basal del edificio en el que no se ha considerado la interacción tabique-pórtico, entre 9% y 14%, dependiendo de la “densidad” de la tabiquería.

Por lo tanto, la influencia de la tabiquería, en el aumento del cortante sísmico basal en un edificio de 20 pisos, es inversamente proporcional con la rigidez lateral: a menor rigidez lateral mayor cambio en el cortante basal.

4.- Influencia en el momento flector en la base de las placas

4a.- Dirección con rigidez lateral “mínima”

En los gráficos 56(a) y 56(b) se cuantifica la influencia de la tabiquería en el valor de los momentos flectores en la base de las placas; se observa que esta influencia es mínima para ambas densidades de tabiquería.

Para densidades bajas y altas se obtiene reducciones del orden del 3%. A pesar de que el cortante basal aumenta con la consideración de la interacción tabique-pórtico, los momentos en la base de

las placas disminuyen. Esto se debe, como ya se dijo, a que con la consideración de la interacción tabique-pórtico en el modelo, las formas modales cambian y consecuentemente la distribución de las fuerzas de los mismos. Además, al considerar la interacción tabique-pórtico, los pórticos se hacen más rígidos por lo que toman más cortante, “descargando” a las placas.

4b.- Dirección con rigidez lateral “alta”

En los gráficos 57(a) y 57(b), se observa que la tabiquería no tiene mayor influencia en el valor de los momentos flectores en la base de las placas. Para densidades bajas y altas de la tabiquería los momentos permanecen prácticamente iguales.

Se observa que, la influencia de la tabiquería en los valores del momento flector en la base de las placas de edificios de 20 pisos es inversamente proporcional con la rigidez lateral del mismo: a menor rigidez lateral mayor disminución en el momento de la base de las placas.

5.- Influencia en el cortante de la base de las placas

5a.- Dirección con rigidez lateral “mínima”

En los gráficos 58(a) y 58(b), se observa que la influencia de la tabiquería, en el cortante de la base de las placas, es proporcional a la densidad de la misma: a mayor densidad de tabiquería mayor aumento del cortante.

Para una densidad baja de tabiquería, el aumento del cortante en la base de las placas, respecto del cortante obtenido en un modelo donde no se considera la interacción tabique-pórtico, es del orden del 12%; y para una densidad alta, el aumento en el cortante es del orden del 17%. Esto se debe, fundamentalmente, como ya se indicó, a que el edificio, con la reducción del periodo, es llevado a una zona más “exigente” del espectro de diseño.

5b.- Dirección con rigidez lateral “alta”

Observamos en los gráficos 59(a) y 59(b) que el cortante en la base de las placas también experimenta un aumento, respecto del cortante obtenido en un modelo donde no se ha considerado la interacción tabique-pórtico. El aumento del cortante en la base de las placas va desde un 8%, para densidades bajas de tabiquería, hasta un 12% para densidades altas.

Como se puede ver, la influencia de la tabiquería en los valores del cortante en la base de las placas de edificios de 20 pisos, es inversamente proporcional con la rigidez lateral de los mismos: a menor rigidez lateral mayor aumento en el cortante de la base de las placas.

6.- Fuerza axial en las diagonales equivalentes

6a.- Dirección con rigidez lateral “mínima”

Como se puede observar en el gráfico 60, la fuerza axial en las diagonales que representan a los tabiques en el modelo de análisis, dependen de la densidad de la tabiquería. Para el caso de densidades bajas, las fuerzas axiales están en el orden de 16ton; en el caso de densidades altas, las fuerzas axiales están en el orden de 22ton.

6b.- Dirección con rigidez lateral “alta”

Como se puede observar en el gráfico 61, las fuerzas axiales en las diagonales que representan a los tabiques en el modelo de análisis, están en el orden de 10ton, para densidades bajas de la tabiquería, y en el orden de 15ton para densidades altas de tabiquería.

Como ya se indicó, la tabiquería no tiene la misma ductilidad del sistema estructural, por lo que las fuerzas en las diagonales son aproximadamente 2.5 veces los valores obtenidos en el análisis (por el cambio del valor de “R”).

Como se puede ver, las fuerzas axiales en las diagonales equivalentes son inversamente proporcionales con la rigidez lateral del edificio: a menor rigidez lateral mayores fuerzas axiales.

3.6.- INFLUENCIA DE LA TABIQUERÍA EN FUNCIÓN DEL NÚMERO DE PISOS DEL EDIFICIO

Es de interés conocer la influencia de la tabiquería en función de la altura de los edificios. Como se ha podido concluir de los resultados de los análisis realizados a los edificios de 5, 10, 15 y 20 pisos; el nivel de influencia de la tabiquería, en cada uno de ellos, es distinto, y no solo eso, para una misma altura de edificio, es distinto en cada uno de los seis parámetros establecidos para medir dicha influencia. Por ejemplo, el edificio más “afectado”, en lo que se refiere a su “periodo fundamental de vibración”, es el edificio de 5 pisos con “rigidez lateral mínima”. Pero, en lo que se refiere al “cortante basal”, el edificio más “afectado” es el de 10 pisos con “rigidez lateral mínima”.

A continuación se ha organizado los datos de manera tal de mostrar la influencia de la tabiquería -registrada a través de los seis parámetros establecidos para tal propósito- en función de la altura de los edificios. Puesto que la idea es medir la influencia de la tabiquería respecto del modelo en el que ésta no ha sido considerada, la información se presentará en gráficos cuyo formato es el siguiente: En el eje horizontal se tiene el número de pisos y en el eje vertical se tiene la variación porcentual del parámetro de medición respecto de su valor registrado en el modelo donde no se ha considerado la tabiquería.

En algunos gráficos la variación porcentual se muestra con signo negativo y en otros con signo positivo. El signo negativo, en la variación porcentual, significa que el parámetro de medición ha disminuido respecto de su valor registrado en el modelo donde la tabiquería no ha sido representada. El signo positivo significa lo contrario, es decir que el parámetro de medición de la influencia de la tabiquería ha aumentado respecto de su valor registrado en el modelo donde los tabiques no han sido representados.

La variación de cada parámetro -definido para la medición de la influencia de la tabiquería- en función del número de pisos, se muestra por separado para las dos rigideces laterales consideradas en la tesis: “rigidez lateral mínima” y “rigidez lateral alta”.

3.6.1.- RELACIÓN ENTRE EL PERIODO Y EL NÚMERO DE PISOS

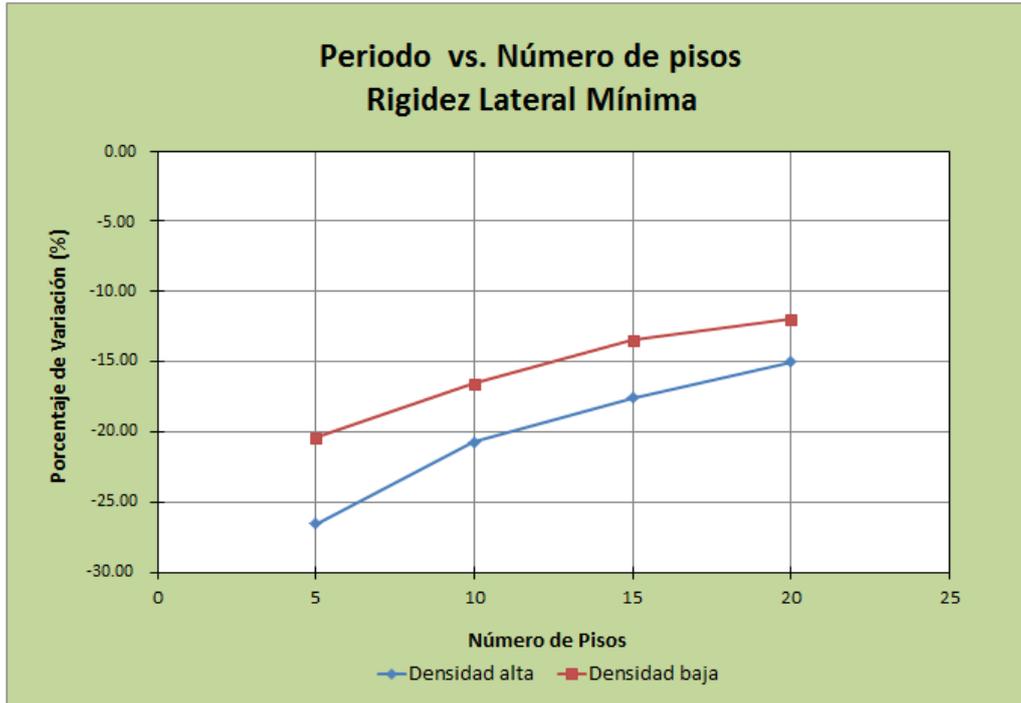


Gráfico 62. Relación entre el periodo y el número de pisos dirección rigidez lateral "mínima"

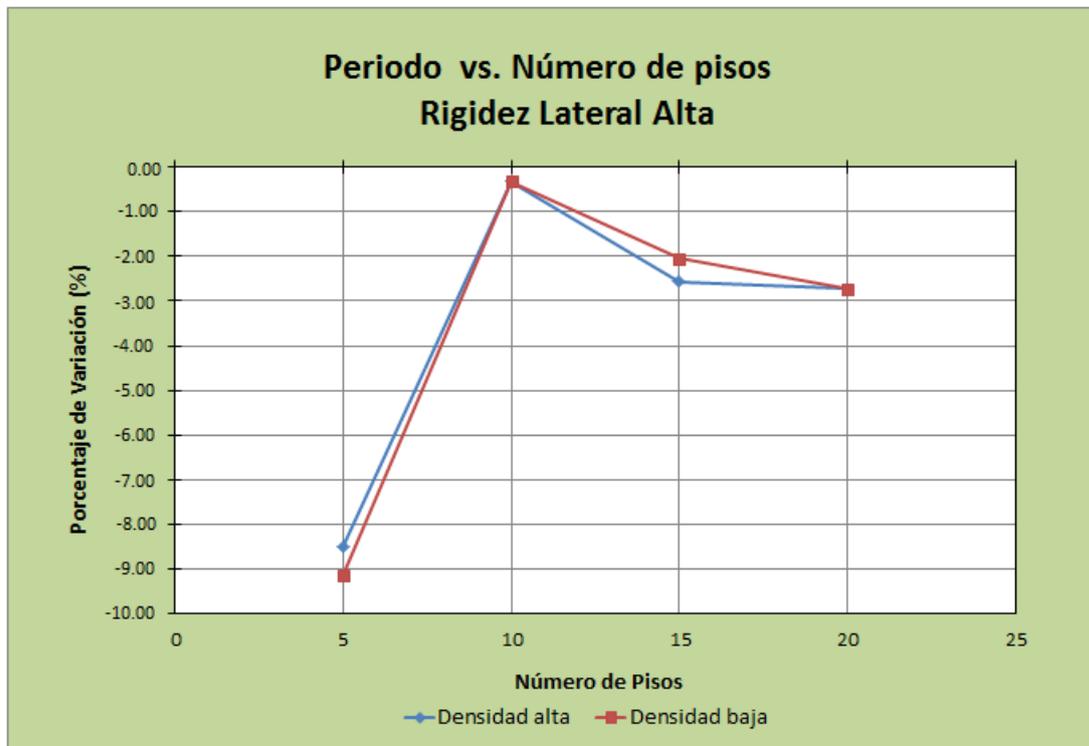


Gráfico 63. Relación entre el periodo y el número de pisos dirección rigidez lateral "alta"

3.6.2.- RELACIÓN ENTRE LA DISTORSIÓN DE ENTREPISO Y EL NÚMERO DE PISOS

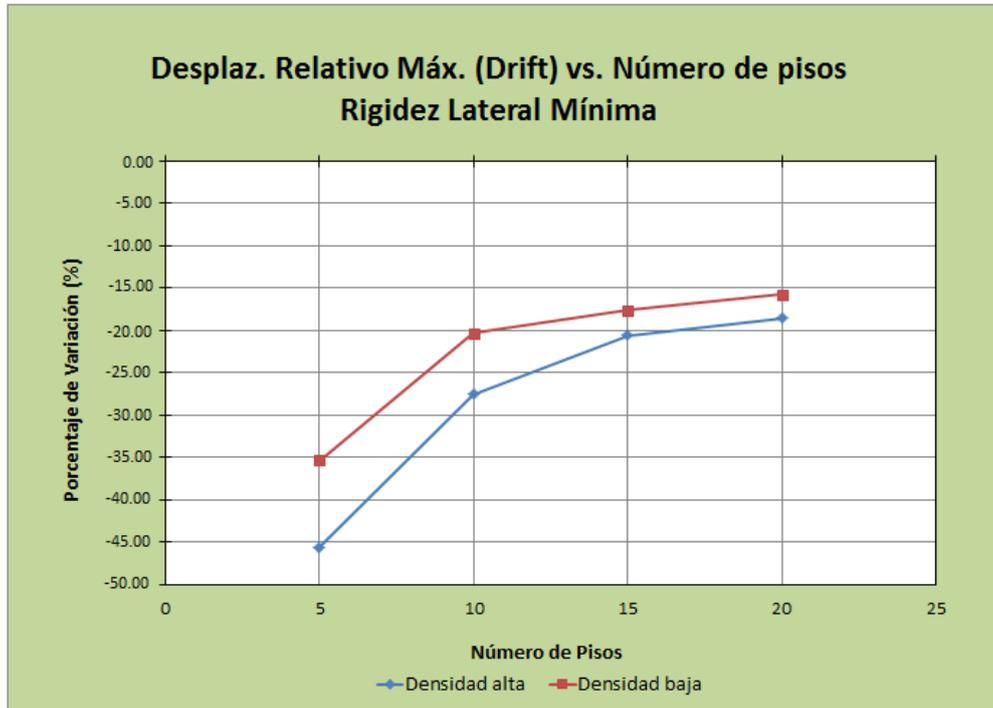


Gráfico 64. Relación entre distorsión de entrepiso y el número de pisos dirección rigidez lateral "mínima"

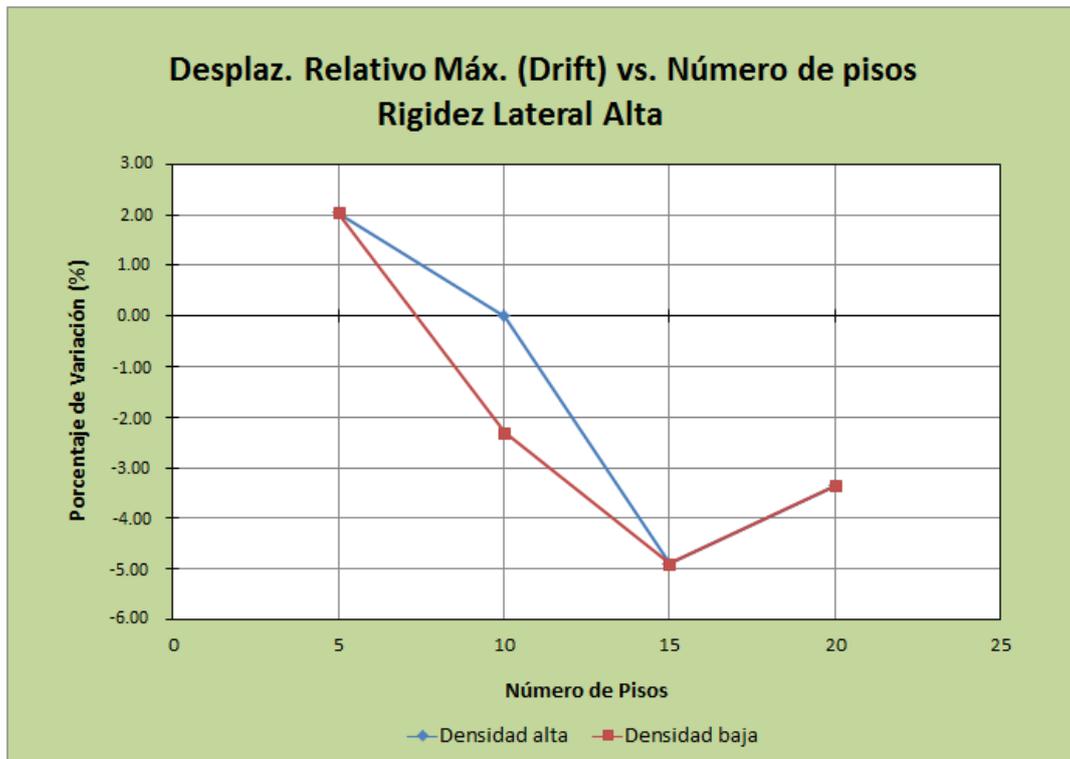


Gráfico 65. Relación entre distorsión de entrepiso y el número de pisos dirección rigidez lateral "alta"

3.6.3.- RELACIÓN ENTRE CORTANTE BASAL SÍSMICO Y EL NÚMERO DE PISOS

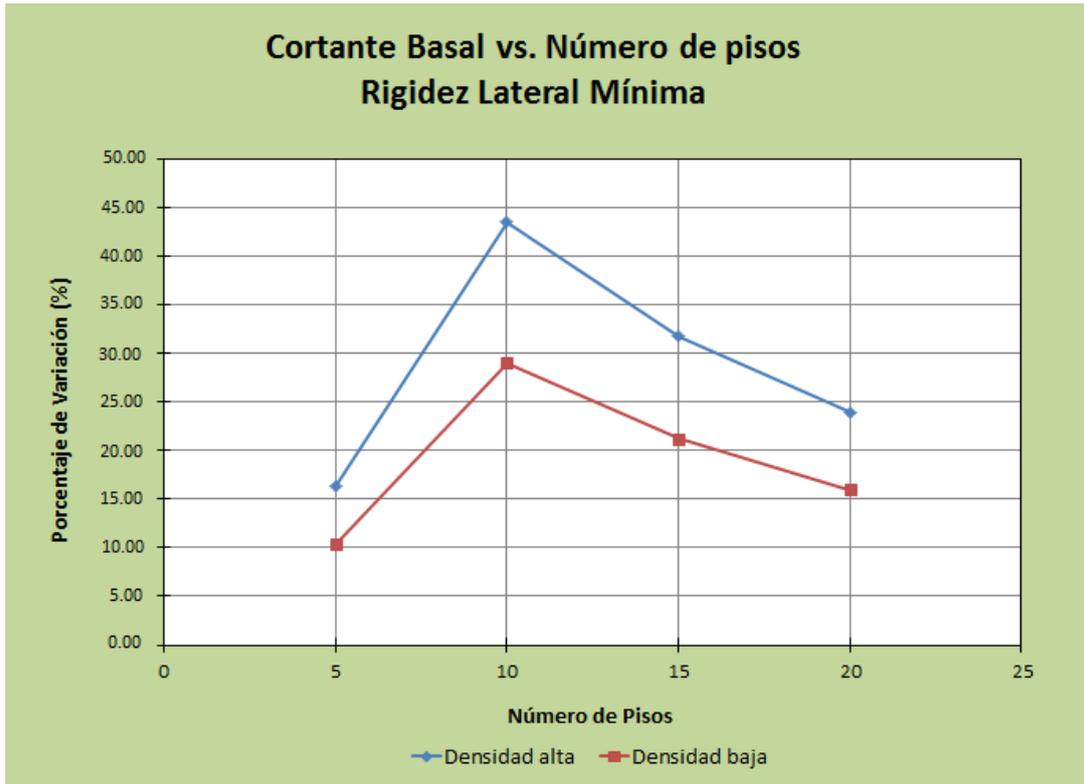


Gráfico 66. Relación entre el cortante basal sísmico y el número de pisos dirección rigidez lateral "mínima"

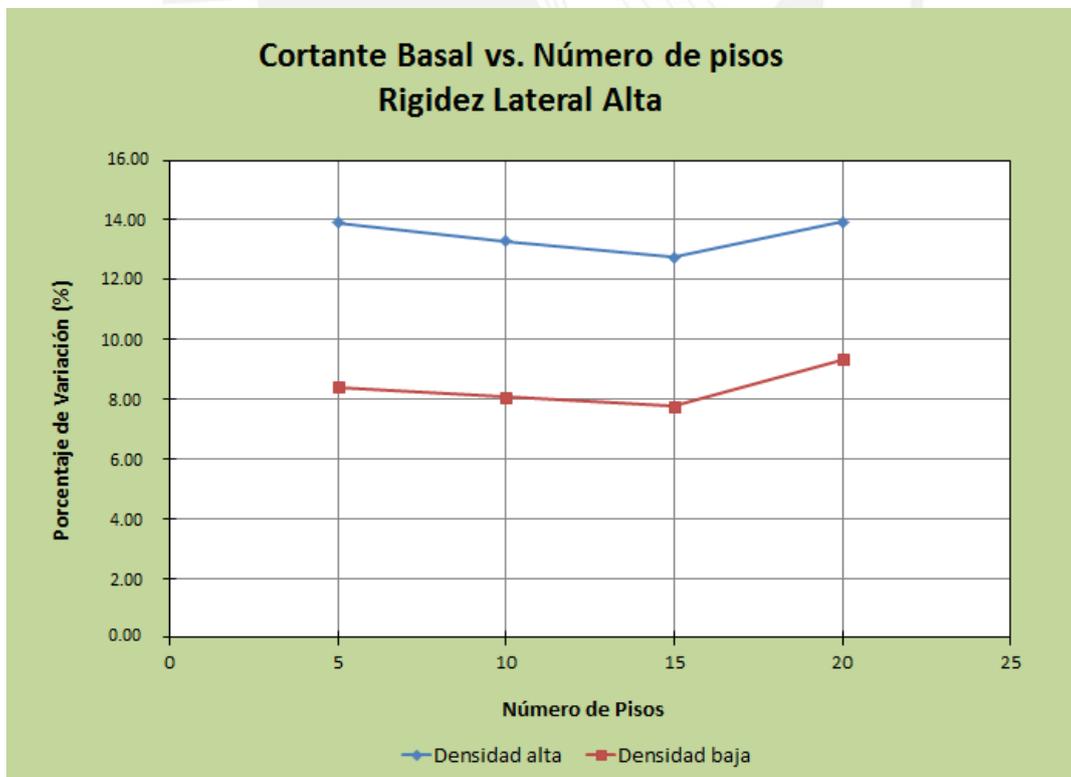


Gráfico 67. Relación entre el cortante basal sísmico y el número de pisos dirección rigidez lateral "alta"

3.6.4.- RELACIÓN ENTRE EL MOMENTO FLECTOR EN LA BASE DE LAS PLACAS Y EL NÚMERO DE PISOS

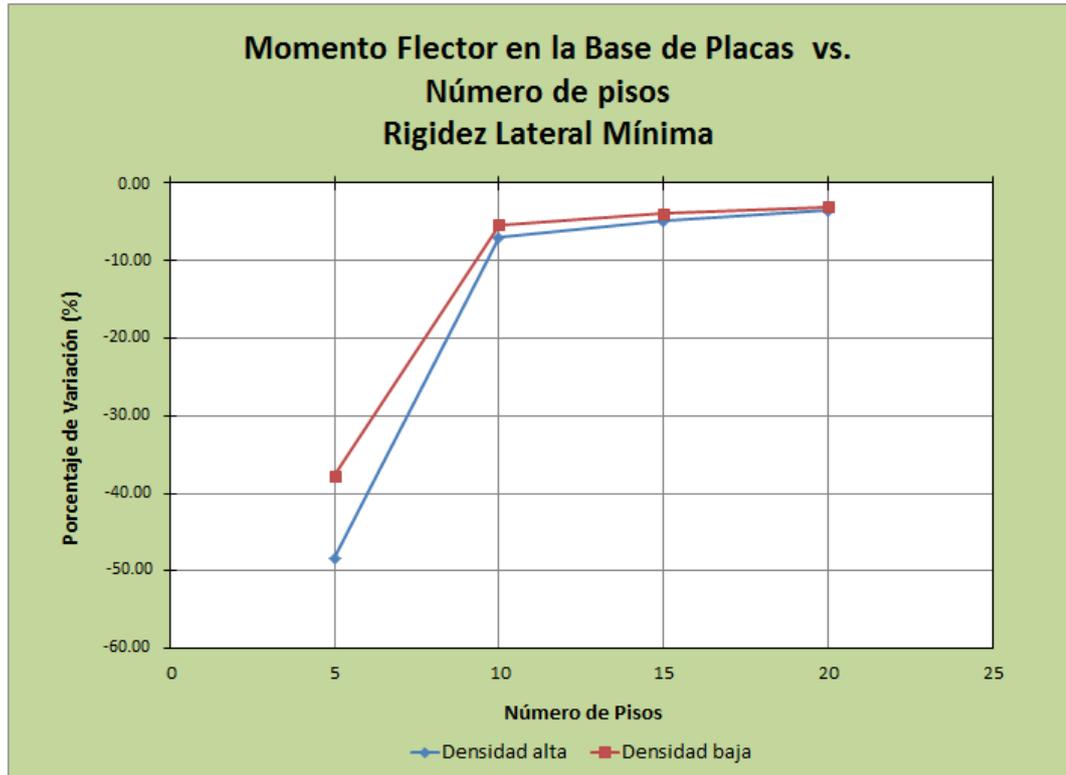


Gráfico 68. Relación entre el momento flector en la base de las placas y el número de pisos dirección rigidez lateral "mínima"

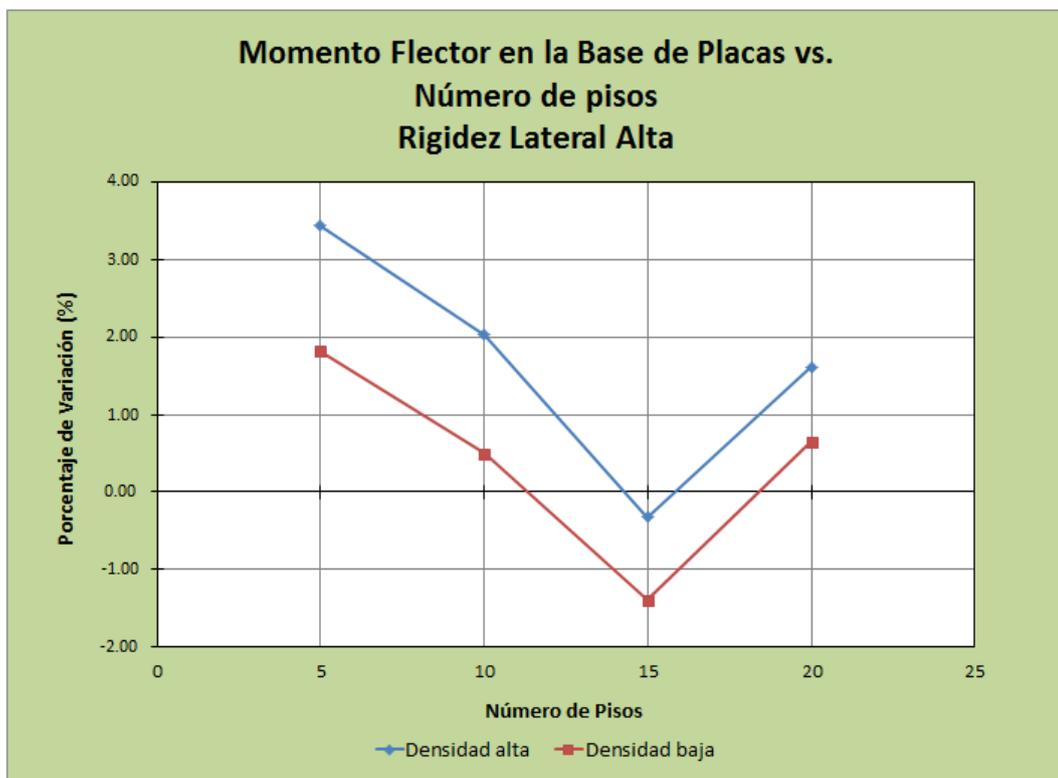


Gráfico 69. Relación entre el momento flector en la base de las placas y el número de pisos dirección rigidez lateral "alta"

3.6.5.- RELACIÓN ENTRE EL CORTANTE EN LA BASE DE LAS PLACAS Y EL NÚMERO DE PISOS

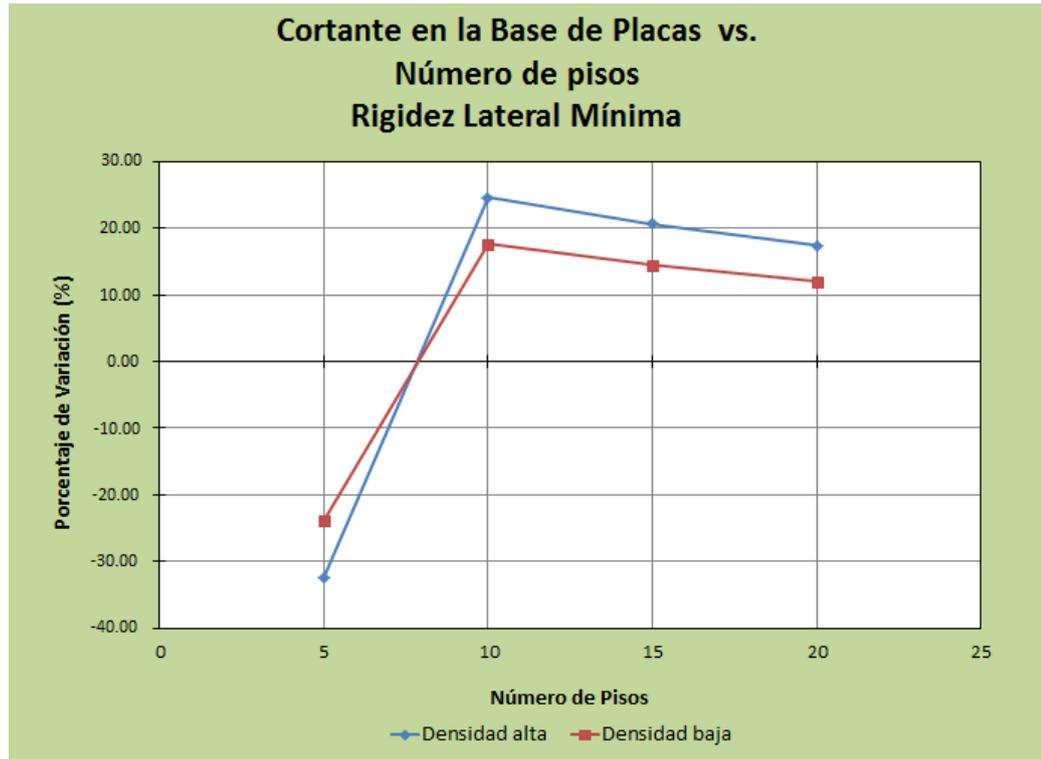


Gráfico 70. Relación entre el cortante en la base de las placas y el número de pisos dirección rigidez lateral "mínima"

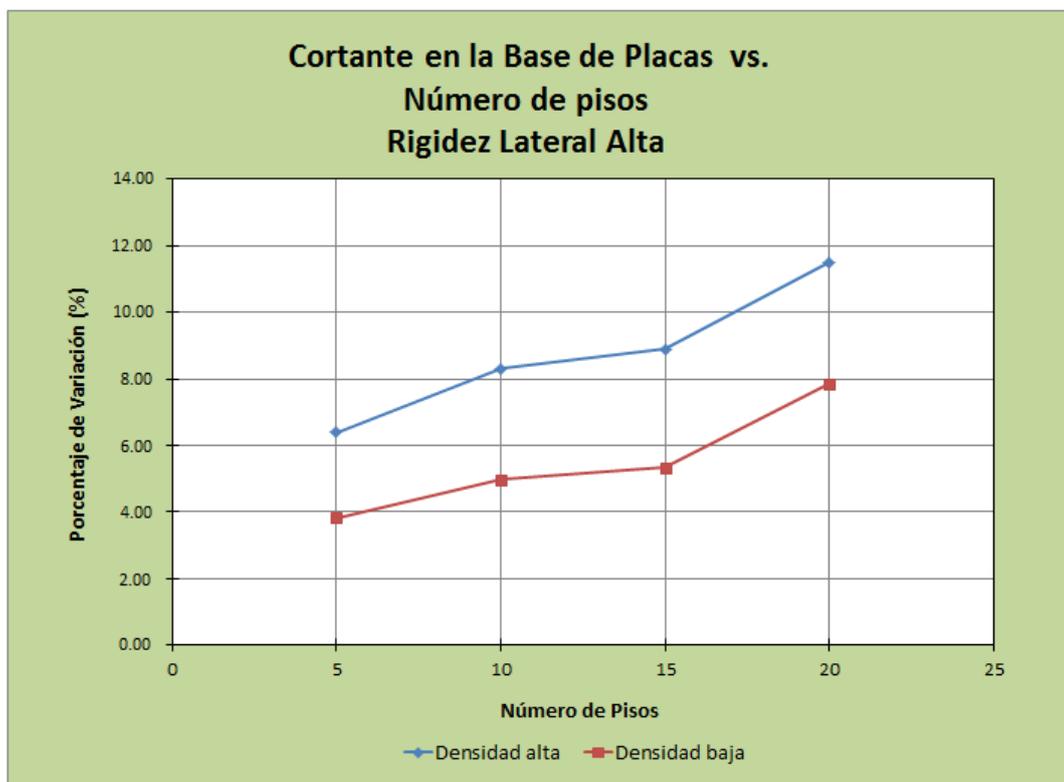


Gráfico 71. Relación entre el cortante en la base de las placas y el número de pisos dirección rigidez lateral "alta"

3.6.6.- RELACIÓN ENTRE LA FUERZA AXIAL EN LAS DIAGONALES Y EL NÚMERO DE PISOS

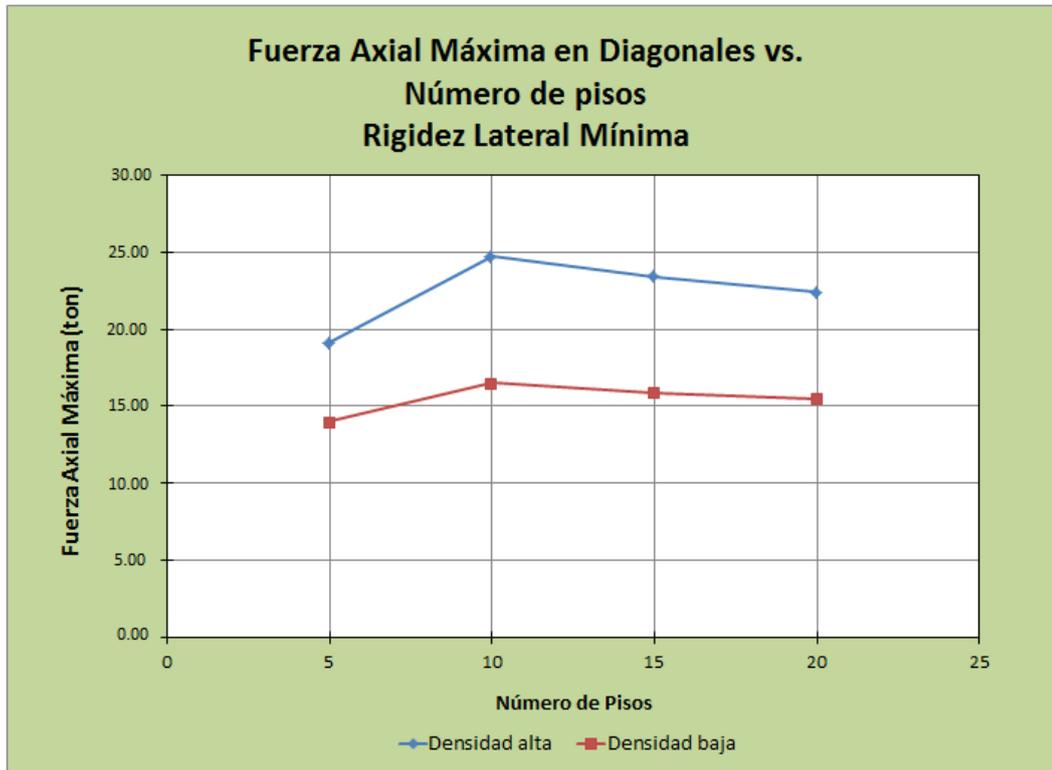


Gráfico 72. Relación entre la fuerza axial en las diagonales y el número de pisos dirección rigidez lateral "mínima"

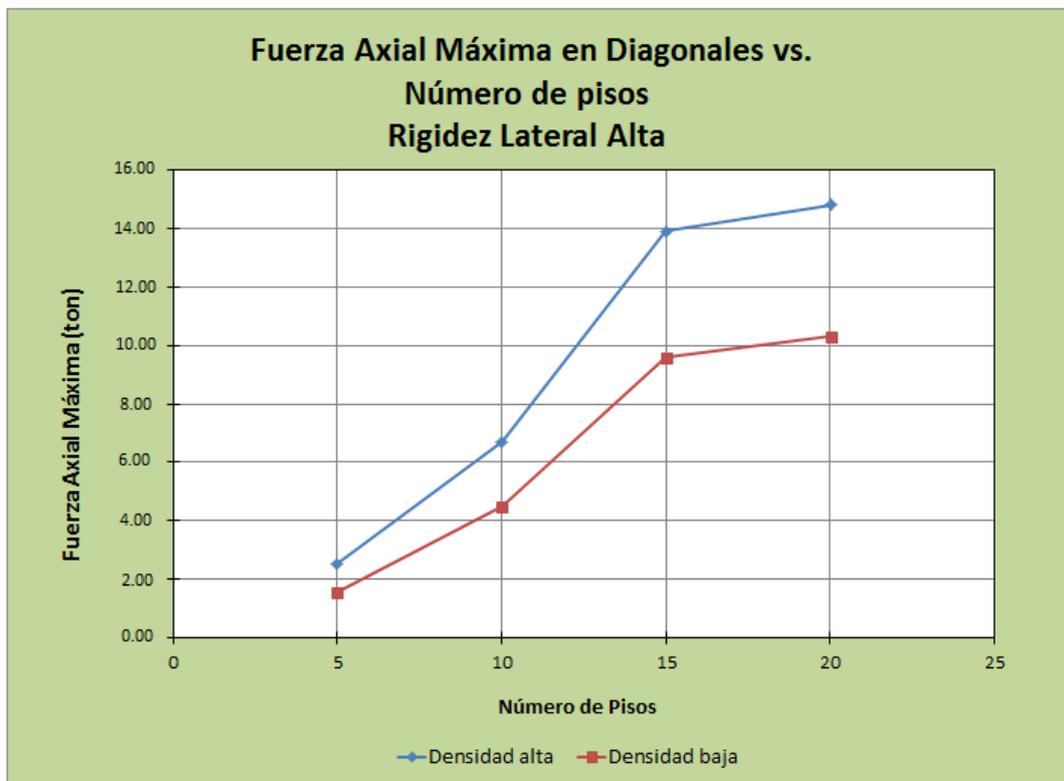


Gráfico 73. Relación entre la fuerza axial en las diagonales y el número de pisos dirección rigidez lateral "alta"

De los gráficos 62 al 73 que registran la interacción de la tabiquería, a través de los 6 parámetros considerados, y el número de pisos del edificio; se concluye:

- La tabiquería adherida puede tener una influencia considerable en la respuesta sísmica de los edificios.
- Como era de esperarse, la influencia de la tabiquería es mayor cuanto menor es la rigidez lateral del sistema estructural.
- En edificios con rigidez lateral “mínima” y densidad de tabiquería “baja”, el periodo se reduce, con la tabiquería adherida: hasta un 20%, para edificios de 5 pisos; hasta un 16%, en edificios de 10 pisos; hasta un 13%, en edificios de 15; y hasta 12%, en edificios de 20 pisos. En edificios con rigidez lateral “mínima” y densidad de tabiquería “alta”, el periodo se reduce, con la tabiquería adherida: hasta un 26%, para edificios de 5 pisos; hasta un 21%, en edificios de 10 pisos; hasta un 18%, en edificios de 15; y hasta 15%, en edificios de 20 pisos.

Por lo tanto la influencia de la tabiquería adherida en el periodo fundamental es inversamente proporcional al número de pisos del edificio: el edificio más afectado es el de 5 pisos y el menos afectado es el de 20 pisos.

- En edificios con rigidez lateral “mínima” y densidad de tabiquería “baja”, el desplazamiento relativo máximo de entrepiso se reduce, con la tabiquería adherida: hasta un 35%, para edificios de 5 pisos; hasta un 20%, en edificios de 10 pisos; hasta un 18%, en edificios de 15; y hasta un 16%, en edificios de 20 pisos. En edificios con rigidez lateral “mínima” y densidad de tabiquería “alta”, el desplazamiento relativo máximo de entrepiso se reduce, con la tabiquería adherida: hasta un 46%, para edificios de 5 pisos; hasta un 28%, en edificios de 10 pisos; hasta un 21%, en edificios de 15; y hasta un 19%, en edificios de 20 pisos.

Entonces, la influencia de la tabiquería adherida en el desplazamiento relativo de entrepiso es inversamente proporcional al número de pisos del edificio: el edificio más afectado es el de 5 pisos y el menos afectado es el de 20 pisos.

- En edificios con rigidez lateral “mínima” y con densidad de tabiquería “baja”, el cortante basal del edificio aumenta, con la tabiquería adherida: hasta en 10%, para edificios de 5 pisos; hasta un 29%, en edificios de 10 pisos; hasta un 21%, en edificios de 15 pisos y hasta un 16%, en edificios de 20 pisos. En edificios con rigidez lateral “mínima” y con densidad de tabiquería “alta”, el cortante basal del edificio aumenta, con la tabiquería adherida: hasta en 16%, para edificios de 5 pisos; hasta un 43%, en edificios de 10 pisos; hasta un 32%, en edificios de 15 pisos y hasta un 24%, en edificios de 20 pisos.

Por lo tanto la influencia de la tabiquería adherida en el cortante sísmico basal es directamente proporcional al número de pisos del edificio, para edificios entre 5 y

10 pisos; e inversamente proporcional, para edificios entre 10 y 20 pisos. El edificio más afectado es el de 10 pisos.

- En edificios con rigidez lateral “mínima” y con densidad de tabiquería “baja”, el momento flector en la base de las placas disminuye, con la tabiquería adherida: hasta en 38%, para edificios de 5 pisos; hasta un 5%, en edificios de 10 pisos; hasta un 4%, en edificios de 15 pisos y hasta un 3%, en edificios de 20 pisos. En edificios con rigidez lateral “mínima” y con densidad de tabiquería “alta”, el momento flector en la base de las placas disminuye, con la tabiquería adherida: hasta en 48%, para edificios de 5 pisos; hasta un 7%, en edificios de 10 pisos; hasta un 5%, en edificios de 15 pisos y hasta un 3%, en edificios de 20 pisos.

Por lo tanto la influencia de la tabiquería adherida en el momento flector en la base de las placas es inversamente proporcional con el número de pisos del edificio: el edificio más afectado es el de 5 pisos y el menos afectado es el de 20 pisos.

- En edificios con rigidez lateral “mínima” y con densidad de tabiquería “baja”, el cortante en la base de las placas, con la tabiquería adherida: disminuye hasta en 24%, para edificios de 5 pisos; aumenta hasta un 18%, en edificios de 10 pisos; aumenta hasta un 15%, en edificios de 15 pisos; y aumenta hasta un 12%, en edificios de 20 pisos. En edificios con rigidez lateral “mínima” y con densidad de tabiquería “alta”, el cortante en la base de las placas, con la tabiquería adherida: disminuye hasta en 32%, para edificios de 5 pisos; aumenta hasta un 25%, en edificios de 10 pisos; aumenta hasta un 21%, en edificios de 15 pisos; y aumenta hasta un 17%, en edificios de 20 pisos.

El edificio más afectado con la influencia de la interacción tabique-pórtico en el cortante en la base de las placas es el edificio de 10 pisos.

- En edificios con rigidez lateral “mínima”, con densidad de tabiquería “baja” y con la tabiquería adherida; las fuerzas axiales máximas en las diagonales que se utilizan para modelar a la tabiquería, tienen valores del orden de 14ton, para edificios de 5 pisos, de 16ton, para edificios de 10, 15 y 20 pisos. En edificios con rigidez lateral “mínima”, con densidad de tabiquería “alta” y con la tabiquería adherida; las fuerzas axiales máximas en las diagonales que se utilizan para modelar a la tabiquería, tienen valores del orden de 19ton, para edificios de 5 pisos y de 24ton, para edificios de 10, 15 y 20 pisos.

Como ya se indicó, la ductilidad de la tabiquería no es la misma de la estructura; por lo tanto para calcular las verdaderas fuerzas en las diagonales debe hacerse la adecuación respectiva.

3.7.- VERIFICACIÓN DE LA RESISTENCIA DE LOS TABIQUES EN FUNCIÓN DE LAS FUERZAS DE COMPRESIÓN CALCULADAS EN LAS DIAGONALES EQUIVALENTES

La Norma de Albañilería (Sencico 2007) dedica su capítulo 10 a la “Interacción Tabique de Albañilería – Estructura Aporticada”. En el artículo 33.3 de esta norma, se indica que los tabiques “colocados de forma adherida a la estructura” deben permanecer en el rango elástico, incluso para sismos severos; por lo cual, en el artículo 33.4, prescribe que debe verificarse la resistencia de los tabiques a través de la fuerza axial obtenida con el modelo de la “diagonal equivalente”.

A continuación se presenta el cuadro 36 en el que se consigna esta verificación:

Cuadro 36.- Verificación de la resistencia de los tabiques a través de las fuerzas axiales obtenidas con el modelo de diagonales equivalentes, de acuerdo con la Norma de Albañilería (Sencico 2007).

Dirección “rigidez lateral mínima”.

Edificio	Fuerza máxima en puntales equivalentes provenientes del análisis con R=7.5 (Ton)	Fuerza máxima en puntales equivalentes provenientes del análisis con R=3 (Ton)	Resistencia al aplastamiento (Ton)	Resistencia a tracción diagonal (Ton)	Resistencia a cizalla (Ton)	Verificación
Edificio 5 pisos. Rigidez mínima. Densidad de tabiquería baja.	14.0	35.0	51.1	51.2	43.5	ok
Edificio 5 pisos. Rigidez mínima. Densidad de tabiquería alta.	19.1	47.8	85.2	85.3	72.4	ok
Edificio 10 pisos. Rigidez mínima. Densidad de tabiquería baja.	16.5	41.3	51.1	51.2	43.5	ok
Edificio 10 pisos. Rigidez mínima. Densidad de tabiquería alta.	24.7	61.8	85.2	85.3	72.4	ok
Edificio 15 pisos. Rigidez mínima. Densidad de tabiquería baja.	15.9	39.8	51.1	51.2	43.5	ok
Edificio 15 pisos. Rigidez mínima. Densidad de tabiquería alta.	23.4	58.5	85.2	85.3	72.4	ok
Edificio 20 pisos. Rigidez mínima. Densidad de tabiquería baja.	15.5	38.8	51.1	51.2	43.5	ok
Edificio 20 pisos. Rigidez mínima. Densidad de tabiquería alta.	22.4	56.0	85.2	85.3	72.4	ok

Es así que se ha verificado que la tabiquería de los edificios analizados, en todos los casos, permanecerá en el rango elástico frente a la acción de sismos severos.

CAPÍTULO IV

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- 1.- La interacción tabique-estructura, para el caso de tabiquería “enmarcada”, puede ser adecuadamente representada a través de un modelo “pórtico-diagonal equivalente”.
- 2.- De las cuatro variables consideradas, en el presente trabajo, para definir el “ancho” del “puntal equivalente”; la rigidez de la viga y el espesor del tabique no tienen mayor importancia en esta definición. Son, la rigidez de las columnas y la geometría del tabique, las variables que definen el ancho del puntal equivalente.
- 3.- De las dos variables que definen el ancho del puntal equivalente (de las cuatro variables consideradas en el presente trabajo); es la rigidez de las columnas, expresada a través de su peralte “H”, la variable con mayor preponderancia.
- 4.- El “ancho” del puntal equivalente, expresado únicamente a través del peralte “H” de las columnas del pórtico, varía linealmente entre $2.0H$ y $3.3H$; esto es válido para columnas con peraltes entre 35cm y 60cm.
- 5.- Al definir los “anchos” de los puntales equivalentes, en pórticos con columnas de peraltes entre 35cm y 60cm; se encuentra que todos ellos están alrededor de 1.20m. Por lo tanto la interacción tabique-estructura puede ser representada en un modelo de análisis, con suficiente aproximación, a través de una diagonal de ancho 1.20m y con un módulo de elasticidad igual al del material del tabique.
- 6.- La rigidez lateral del sistema tabique-pórtico, representado a través de un modelo “pórtico-diagonal equivalente”; no sufre variación si el trabajo de la diagonal equivalente es en tracción o compresión; por lo que la tabiquería puede ser representada por una sola diagonal.
- 7.- La influencia de la tabiquería en la respuesta sísmica de edificios **es considerable**. La influencia es inversamente proporcional a la rigidez lateral de los edificios. En el caso de edificios de 5 hasta 20 pisos, cuyos sistemas estructurales tienen una rigidez lateral, propia, que admite un desplazamiento inelástico máximo de entrepiso del orden de 0.007 –que es el caso típico de una de las direcciones de los edificios construidos en el Perú–, la variación entre la respuesta obtenida considerando y no considerando a la tabiquería en el modelo es:
 - Al considerar la tabiquería en el modelo de análisis se obtiene una reducción del periodo fundamental entre 12% y 27%. Los edificios más “afectados” son los de 5 pisos.
 - Al considerar la tabiquería en el modelo de análisis se obtiene una reducción de los desplazamientos de entrepiso entre 16% y 46%. Los edificios más “afectados” (debería decir: más favorecidos) son los edificios de 5 pisos.
 - Al considerar la tabiquería en el modelo de análisis se obtiene un aumento del cortante sísmico basal entre 10% y 43%. Los edificios más afectados son los de 10 pisos.

- Al considerar la tabiquería en el modelo de análisis se obtiene una disminución de los momentos flectores en la base de las placas entre 3% y 48%. Los edificios más “afectados” son los de 5 pisos.
- Al considerar la tabiquería en el modelo de análisis se obtiene una disminución de las fuerzas cortantes en la base de las placas, en los edificios de 5 pisos, hasta del orden de 32%. Y un aumento, del mismo esfuerzo, del orden de 24% en los edificios de 10 pisos. En edificios de 15 pisos el aumento del cortante en la base de las placas puede llegar hasta un 21%, y en edificios de 20 pisos el aumento puede ser del 17%.
- Las fuerzas en las diagonales, que representan a las fuerzas en los tabiques de un edificio, varían entre 14ton y 25ton, pero estos valores deben ser re-calculados de acuerdo con la ductilidad de la tabiquería.

8.- Las fuerzas en las diagonales son mayores a las calculadas en un modelo elástico con fuerzas sísmicas reducidas ya que la “ductilidad de la tabiquería” es menor a la “ductilidad del sistema estructural”. Por lo tanto para tener una mejor idea del nivel de las fuerzas axiales en las diagonales, éstas deben ser multiplicadas por la relación de factores de reducción de la respuesta “R”: “factor de reducción para el sistema estructural” entre “factor de reducción para la albañilería confinada”.

9.- De los resultados obtenidos se puede concluir en que adherir los tabiques a la estructura, siempre y cuando el edificio tenga una rigidez lateral propia que cumpla con la normativa sismorresistente, mejora considerablemente la respuesta sísmica de la edificación. Fundamentalmente porque se reduce, sustancialmente, los desplazamientos relativos de entrepiso. Por lo tanto se podría afirmar que la tabiquería se auto-protege reduciendo los drift. Esta afirmación es aplicable a tabiques construidos con ladrillo macizo, pues como se observa en los resultados, las fuerzas de compresión obtenidas en las diagonales que los representan son altas. Esta conclusión no debería aplicarse a tabiquería fabricada con otro tipo de ladrillo o bloque.

10.- Se ha observado que en edificios de 5 y 10 pisos la ubicación de las diagonales, con las fuerzas axiales máximas, coinciden con la ubicación de los entrepisos en los que se producen las distorsiones máximas. En cambio en los edificios de 15 y 20 pisos la ubicación de las diagonales, con las fuerzas axiales máximas, no coincide con la ubicación de los entrepisos en los que se producen las distorsiones máximas. Esto se debe a que en edificios de esta altura, los esfuerzos en las diagonales no solo provienen de la distorsión de entrepiso sino que también provienen de la distorsión por flexión que experimenta el edificio en su altura.

11.- La prescripción del artículo 17.2 de la norma sismorresistente, que indica que cuando no se considere el efecto de los elementos no estructurales (tabiques) en el modelo de análisis, el periodo fundamental de la estructura debe tomarse como 0.85 del valor obtenido; no es suficiente, tal como se ha podido comprobar. La tabiquería no solo afecta el periodo de vibración sino que también afecta: las distorsiones de entrepiso, el cortante basal y los momentos y cortantes en las placas.

12.- A continuación se muestra el cuadro 37 en el que se calculan los anchos para el puntal diagonal equivalente de acuerdo con tres expresiones: la de Paulay y Priestley (que es también

recomendada por la Norma de Albañilería E.070), la cual es una expresión muy sencilla expresada en función de una sola variable; la de Liauw y Kawn, la cual es una expresión mucho más complicada en la que intervienen todas las variables consideradas en el presente trabajo, con excepción de la rigidez de la viga; y finalmente se presentan los anchos consignados en el Cuadro 5 de la tesis, los cuales han sido calculados con el procedimiento planteado en ésta:

Cuadro 37.- Anchos para el puntal equivalente calculados con tres procedimientos distintos

Caso	Anchos para el puntal diagonal equivalente		
	Ecuación de Paulay y Priestley $\omega=0.25d_m$ (cm)	Ecuación de Liaw y Kwan $\omega=0.95h_m \text{Cose}(\lambda_h)^{(0.5)}$ (cm)	Valores encontrados en este trabajo y consignados en el Cuadro 5 (cm)
Caso 1: CR – VR – E15	160	140.0	160.2
Caso 2: CR – VR – E25	160	131.4	149.4
Caso 3: CR – VF – E15	160	140.0	145.8
Caso 4: CR – VF – E25	160	131.4	134.4
Caso 5: CF – VF – E15	160	114.4	135.8
Caso 6: CF – VF – E25	160	107.3	121.5
Caso 7: CF – VR – E15	160	114.4	149.5
Caso 8: CF – VR – E25	160	107.3	135.8
Caso 9: CR – VR – E15	108	100.2	110.4
Caso 10: CR – VR – E25	108	94.0	104.4
Caso 11: CR – VF – E15	108	100.2	99.6
Caso 12: CR – VF – E25	108	94.0	93.6
Caso 13: CF – VF – E15	108	81.8	94.2
Caso 14: CF – VF – E25	108	76.8	86.1
Caso 15: CF – VR – E15	108	81.8	108.5
Caso 16: CF – VR – E25	108	76.8	100.5
Caso auxiliar 1	134	144.0	126.0
Caso auxiliar 2	160	140.3	145.4

A la luz de los resultados obtenidos en el cuadro precedente, creemos que el ancho constante de 1.20m, sugerido por el trabajo de tesis para el puntal equivalente, es razonablemente conservador y *promueve* el uso de este modelo para representar a la tabiquería adherida en los modelos de análisis.

13.- Dado el nivel de influencia de la tabiquería en la respuesta sísmica de edificios, cuya rigidez lateral admite distorsiones laterales máximas de entrepiso alrededor de 0.007; se sugiere modificar el artículo 33.2 de la norma E.070 con el fin de disponer un “ancho constante”, para el puntal equivalente, de 1.20m. Con lo cual se promoverá, en la práctica profesional, la inclusión de los tabiques adheridos en los modelos de análisis de los edificios.



- 10.- EL-DAKHAKHNI, W., A. HAMID, M. ELGAALY
2004 "Strength and stiffness prediction of masonry infill panels". 13th World Conference on Earthquake Engineering. Paper N° 3089.
- 11.- KLINGNER, R, V. BERTERO
1976 Report N° EERC 76-32. *Infilled frames in earthquake – Resistant construction*. Berkeley. University of California, Berkeley.
- 12.- LIAUW, T. C., K. H. KAWN
1984 New development in research of infilled frames. 8th World Conference on Earthquake Engineering. San Francisco 1984.
- 13.-MEEHAN, J. F
1971 "Performance of school buildings in the Peru earthquake of May 31, 1970". Bulletin of the Seismological Society of America, 61, 3.
- 14.- PAULAY, T, M. PRIESTLEY
1992 Seismic design of reinforced concrete and masonry buildings. United States of America: John Wiley & Sons, Inc.
- 15.- PFLUCKER, M
1988 *Efectos de la tabiquería en el comportamiento dinámico de estructuras apertadas*. Tesis de Ingeniero Civil. Lima: Universidad Nacional de Ingeniería, Facultad de Ingeniería Civil.
- 16.- SAN BARTOLOME, A
1994 "Construcciones de albañilería –comportamiento sísmico y diseño estructural." Fondo editorial – PUCP.
- 17.- SATTAR, S
2013 "Influence of masonry infill walls and other building characteristics on seismic collapse of concrete frame buildings". Tesis Doctoral Universidad de Colorado Boulder.
- 18.- SENCICO
1997 "Norma técnica de Edificación E.030 Diseño Sismorresistente".
- 19.- SENCICO
2003 "Norma técnica de Edificación E.030 Diseño Sismorresistente".
- 20.- SENCICO
2007 "Norma Técnica E.070 Albañilería".
- 21.- SENCICO
2009 "Norma E.060 Concreto Armado".

22.- SINGH, N., V. K. VERMA

2015

“Seismic evaluation of RC frame with brick masonry infill walls”. International Journal of Research in Engineering and Technology, Mar-2015.

23.-STAFFORD SMITH, BRYAN

1962

“Lateral stiffness of infilled frames”. Journal of the Structural Division- ASCE.

24.- STRATTA, J. L., J. FELDMAN

1971

“Interaction of infill walls and concrete frames during earthquakes”. Bulletin of the Seismological Society of America, 61, 3.

25.- UZSOY, S. Z., E. CITIPITIOGLU

1972

“Influence of infill walls on building frame: An example from the may 12, 1971 earthquake in Turkey”. Bulletin of the Seismological Society of America, 62, 5.

