

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ
FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA



PONTIFICIA
UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DEL PERÚ

**INFLUENCIA DEL AGRIETAMIENTO EN LA RESPUESTA SÍSMICA DE
EDIFICIOS PERUANOS DE MUROS DE CONCRETO ARMADO**

Tesis para optar el Título de **Ingeniero Civil**, que presentan los bachilleres:

DÁVILA PABLO, Odilio Niler
PÉREZ MALPARTIDA, Andrés

ASESORES: MUÑOZ PELAEZ, Juan Alejandro
TINMAN BEHAR, Marcos

Lima, noviembre de 2013

RESUMEN

El análisis sísmico de los edificios de concreto armado se desarrolla en el Perú considerando los elementos estructurales sin agrietar. Aparentemente existiría una contradicción entre las indicaciones de las Normas de Diseño Sismorresistente y las de Diseño en Concreto Armado respecto a qué nivel de agrietamiento se deberían considerar en un análisis sísmico.

En este trabajo se estudian los efectos del agrietamiento en los resultados del análisis sísmico de los edificios de muros de concreto armado.

Se trabajó con modelos de edificios de diferente altura con una planta típica y se redujo la inercia de los muros con factores que van de 1 a 0.35.

Se estudió la influencia del nivel de agrietamiento en los siguientes parámetros: período fundamental, cortante basal, deriva, distribución de momentos y cortantes.

Se sugieren algunos valores (límite de deriva, factor de reducción R), a considerar en el análisis de edificios de muros de concreto armado si se consideran los efectos del agrietamiento.

Agradecimientos

Los autores expresan un profundo agradecimiento a los Ingenieros Alejandro Muñoz Pelaez y Marcos Tinman Behar por el apoyo y colaboración en la elaboración de la presente tesis.





A mi padre, por su apoyo incondicional. A mi madre, que siempre guía mis pasos. A mi familia por el apoyo en cada momento.

ONDP



A mis padres que creyeron en mí y me apoyaron incondicionalmente. A mis hermanos por su apoyo en los momentos difíciles.

APM

ÍNDICE

| | |
|---|-----------|
| CAPÍTULO 1 Introducción..... | 1 |
| 1.1 Antecedentes..... | 1 |
| 1.2 Objetivos y alcances..... | 2 |
| 1.3 Organización del documento | 2 |
| CAPITULO 2 La Fisuración y las Normas de diseño sismorresistente... | 3 |
| 2.1 Norma peruana de edificaciones..... | 3 |
| 2.2 Norma Chilena Oficial NCH 433..... | 3 |
| 2.3 Normas técnicas para el diseño y construcción en elementos de concreto (México)..... | 3 |
| 2.4 Standard specifications for concrete structures (Japón)..... | 4 |
| CAPÍTULO 3 Influencia del Agrietamiento en la Respuesta Estructural... 4 | 4 |
| 3.1 Organización General del trabajo..... | 4 |
| 3.2 Modelo empleado para cada edificio..... | 5 |
| 3.3 Análisis Sísmico..... | 6 |
| 3.3.1 Espectro de Análisis | 7 |
| 3.4 Presentación y Análisis de Resultados..... | 8 |
| 3.5.1 Periodo de la Estructura..... | 9 |
| 3.5.2 Cortante basal | 10 |
| 3.5.3 Deriva..... | 11 |
| 3.5.4 Momento máximo y mínimo..... | 11 |
| 3.5.5 Cortante máxima y mínima..... | 12 |
| 3.6 Análisis de Resultados | 13 |
| CAPITULO 4 Conclusiones y Recomendaciones..... | 15 |
| Referencias..... | 17 |
| Bibliografía..... | 17 |
| ANEXOS | |

CAPÍTULO 1 Introducción

1.1 Antecedentes

El enfoque del Diseño Sismoresistente está orientado al control de los desplazamientos laterales de los edificios, con lo cual se espera controlar el daño que éstos puedan sufrir en terremotos fuertes. Así tenemos normas con derivas máximas que van desde $1^{0}/_{00}$ (Norma Sismorresistente chilena) hasta $3.5^{0}/_{00}$ (Norma Turca SSBDA-97), mientras que la norma peruana considera una deriva máxima de $7^{0}/_{00}$ para edificios de concreto armado.

Independientemente del tipo de suelo en el que se apoye un edificio, una estructura rígida presentará un mejor comportamiento frente a sollicitaciones sísmicas en contraposición de los edificios flexibles.

La Norma de Diseño Sismorresistente E030 establece valores para las derivas máximas de las edificaciones según su tipología sin especificar si se consideran o no los efectos de la fisuración en el análisis. La Norma E.060 de diseño en concreto armado solo considera la fisuración aplicando factores de reducción a la inercia según el tipo de elemento (placa, columna y viga)

Es parte de la práctica común en el análisis estructural considerar que las secciones de los elementos que conforman a una estructura de concreto armado trabajan con la “sección bruta” (I_g), esta suposición es ideal y no toma en cuenta las características y el comportamiento natural que tiene el concreto.

Existen códigos y/o normas de otros países que contemplan indicaciones acerca del análisis sísmico de edificios de muros de concreto armado considerando las reducciones de los momentos de inercia (como modo de incluir la fisuración en el análisis sísmico) mediante reducciones de la inercia bruta que son dadas de manera arbitraria para aplicar luego análisis con modelos elásticos considerando únicamente los efectos de primer orden.

El efecto de agrietamiento en la respuesta sísmica de edificios aporticados peruanos se encuentra reportado en el trabajo de tesis “Influencia del Agrietamiento en la Respuesta Sísmica de edificios Aporticados Peruanos” ⁽²⁾. Este documento ha sido de mucho valor para el desarrollo del presente estudio.

1.2 Objetivos y alcances

El objetivo principal de este trabajo es el de determinar la influencia de la fisuración en los desplazamientos laterales de edificios constituidos completamente por muros de concreto armado. Esto se medirá relacionando el nivel de fisuración supuesto ⁽²⁾ con los parámetros propios de la estructura: período fundamental, cortante basal, deriva máxima, distribución de momentos y cortantes.

El nivel de fisuración supuesto será incluido reduciendo la inercia de las secciones de los muros de concreto armado. Para este análisis se estudiarán 4 edificios de 8, 10, 12 y 14 pisos. No se considerará un análisis por reducción del Área de corte.

1.3 Organización del Documento

En el capítulo dos se presentan los diferentes enfoques y procedimientos adoptados por algunas normas extranjeras en el mundo para el control de la deriva.

En el capítulo tres se explica la organización de los casos estudiados, se presentan los resultados y se estudia la relación entre la fisuración y los principales parámetros de la respuesta estructural.

En el capítulo cinco se presentan las conclusiones y recomendaciones de este trabajo.

CAPÍTULO 2 La Fisuración y las Normas de diseño sismo resistente

Se presentan los diversos enfoques que toman las Normas de diseño sismo resistente en el mundo para incluir la fisuración en el análisis de las estructuras de concreto armado.

2.1 Norma Peruana de Edificaciones y ACI-318

Tanto en la Norma Peruana (Ítem 10.11) como el documento del ACI-318 (Ítem 10.11.1) indican que se debe realizar un análisis elástico de primer orden preliminar a los muros de concreto armado considerando $0.70I_g$, y de producirse agrietamiento considerando el módulo de rotura, se realizará nuevamente el análisis considerando $0.35I_g$ en los pisos que se anticipa agrietamiento, que constituirá el análisis definitivo considerando los efectos del agrietamiento en el concreto.

2.2 Norma Chilena Oficial NCh 433

En el capítulo 8.6 de la Norma Chilena NCh 430-08 R.8.6.1 como consideración general de análisis se indica que para una estructura que no tenga problemas de P-delta (efectos de segundo orden) puede utilizarse la sección de hormigón sin agrietar, I_g , para la obtención de esfuerzos y deformaciones sísmicas.

2.3 Normas técnicas para el diseño y construcción en elementos de concreto (México)

En el capítulo 1 (Ítem 1.4.1) de la Norma Mexicana indica que como consideración general para un análisis elástico es necesario tomar en cuenta el agrietamiento para los elementos estructurales, dando una reducción a $0.5 I_g$ para vigas y muros agrietados; y de inercia bruta para los no agrietados.

2.4 Standard Specifications for Concrete Structures (Japan)

En el capítulo 2 en la sección de modelamiento de la estructura, se hace mención del comportamiento de los elementos estructurales más allá del límite elástico lo cual generará grietas y por ende reducción en su

rigidez. La Norma contempla la reducción de $0.3I_g$ para pilares de puentes y $0.5I_g$ para elementos unidimensionales.

CAPÍTULO 3 Influencia del Agrietamiento en la Respuesta Estructural

3.1 Organización General del trabajo

En el Perú hay edificios de muros de concreto armado que van desde los 5 pisos hasta 20 o más pisos.

En este trabajo se estudió la respuesta sísmica de edificios de 8, 10, 12 y 14 pisos con la misma planta estructural mostrada en la figura 3.1.

Se consideraron las solicitaciones sísmicas correspondientes a la zona peruana de mayor sismicidad (Zona 3) y a la suposición que se apoyan sobre suelo duro (S1, con $T_p=0.4$)

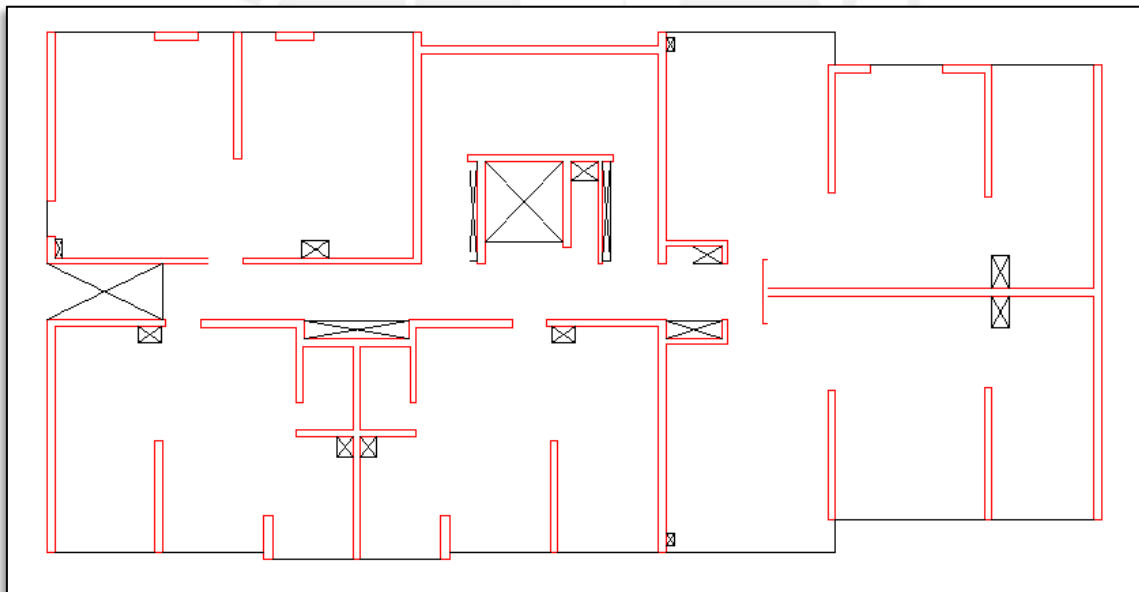


Figura 3.1 Distribución en planta típica para los edificios en análisis

Como parámetros de observación se consideraron: el período fundamental del edificio, la fuerza cortante en la base del edificio, la deriva máxima y la distribución de fuerzas internas (momentos máximos y mínimos; y fuerzas cortantes máximas y mínimas).

El punto de partida en el análisis fue el edificio constituido por los muros de concreto armado trabajando con las secciones sin agrietamiento, es decir con la inercia completa (I_g), cuyos resultados corresponderán a los que se usan en la práctica actual en el análisis sísmico de edificios en nuestro país.

Luego se desarrollaron análisis de edificios incluyendo reducciones de inercia que abarcaron un rango que va desde I_g hasta llegar a $0.35I_g$ (valor sugerido en el ACI018-05), teniendo como referencias los valores de porcentaje de I_g , $0.7I_g$ (análisis previo de verificación de fisuración) y $0.35I_g$ (análisis que considera secciones agrietadas).

El siguiente cuadro muestra el resumen de los porcentajes de la inercia de la sección bruta considerados en el análisis.

| Fracción de la Inercia de la sección de los muros de concreto armado | | | | | | | | | | | |
|--|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| 1 | 0.95 | 0.90 | 0.80 | 0.75 | 0.70 | 0.65 | 0.60 | 0.50 | 0.45 | 0.40 | 0.35 |

Tabla 3.1 Fracciones de Inercias consideradas en el análisis

3.2 Modelo empleado para cada edificio

Los edificios típicos se modelaron en el programa ETABS, usando un modelo 3-D.

Para el análisis se consideraron 3 grados de libertad dinámicos por cada nivel, el comportamiento de las losas se simuló con la inclusión de diafragmas rígidos dentro del programa.

La masa y el momento rotacional fueron asignadas de manera directa en el centro de gravedad de cada nivel. En el siguiente cuadro se presentan las masas consideradas y los momentos de inercia rotacional tomados en cuenta para el modelo, así como las coordenadas del centro de gravedad.

| Planta | Área | ton/m ² | Peso (ton) | Masa | I _{XX} | I _{yy} | I _{rotacional} |
|--------|-------|--------------------|------------|--------|-----------------|-----------------|-------------------------|
| Típica | 334.6 | 0.999 | 334.348 | 34.082 | 4247.910 | 20534.770 | 2524.364 |
| Azotea | 334.6 | 0.974 | 325.983 | 33.230 | 4247.910 | 20534.770 | 2461.207 |

Tabla 3.2 Inercia Rotacional de la Planta del Edificio

La figura 3.2 muestra una vista 3D del modelo realizado en el programa ETABS para el edificio de 8 pisos.

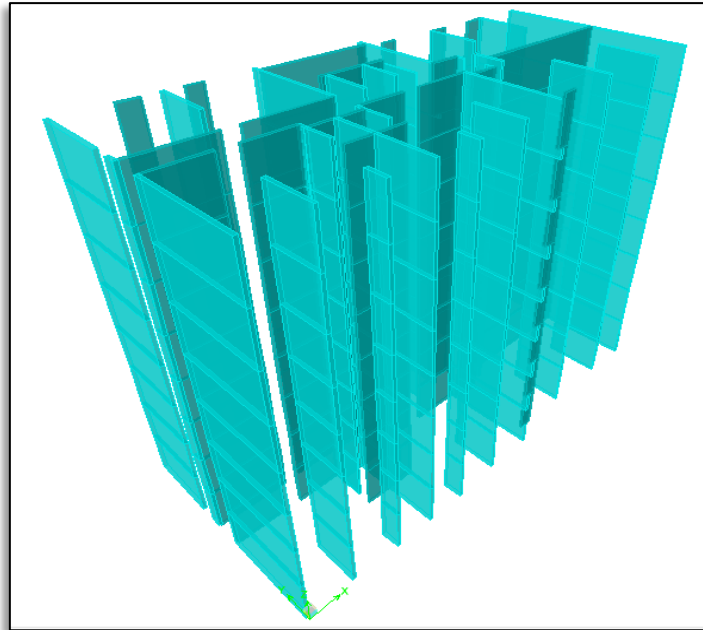


Figura 3.2 Vista en 3-D del edificio de 8 pisos modelado en el programa ETABS

Concreto Armado:

| | | |
|-----------------------------------|---|--|
| Módulo de Elasticidad (E) | : | 2.2 x 10 ⁶ ton/m ² |
| Coefficiente de Poisson (ν) | : | 0.15 |
| Módulo de Corte (G) | : | 9565000 ton/m ² |

3.3 Análisis Sísmico

El análisis empleado para estimar la respuesta sísmica de los 48 modelos de edificios fue el análisis dinámico modal espectral, considerando el criterio de

Combinación cuadrática completa (CQC), que es el criterio usado en los procedimientos de análisis en el Perú.

Para el análisis sísmico se consideró que el edificio se encuentra ubicado en la Zona sísmica 3 de acuerdo a la Norma de Diseño Sismo resistente E030, considerando un análisis frente a las mayores solicitaciones

que se presentan en las edificaciones conformadas por muros de concreto armado en el Perú

El suelo en el cual se apoyan cada uno de los edificios se considera suelo Tipo 1 que corresponde a roca o suelos muy rígidos con velocidades de propagación de onda de corte muy similares a las de la roca, aquí podemos considerar como ejemplo la grava de Lima.

3.3.1 Espectro de Análisis

Un espectro, cuyos parámetros de sitio se detallan a continuación:

- Factor de tipo de suelo $S=1.0$
- Coeficiente de uso $U=1.0$
- Factor de zona $Z=0.4$
- Período de la Plataforma Espectral $T_p=0.4\text{seg}$
- Coeficiente de amplificación sísmica $C=2.5(T_p/T) \quad C < 2.5$
- Coeficiente de Reducción $R=6$

Como se observa en los parámetros considerados, se tomó en cuenta que los edificios en análisis se apoyan en un suelo tipo S1 (Roca o suelos muy rígidos en los que el período fundamental para vibraciones de baja amplitud no excede de 0.25 segundos.)

El espectro obtenido para el análisis de los diferentes edificios es el siguiente:

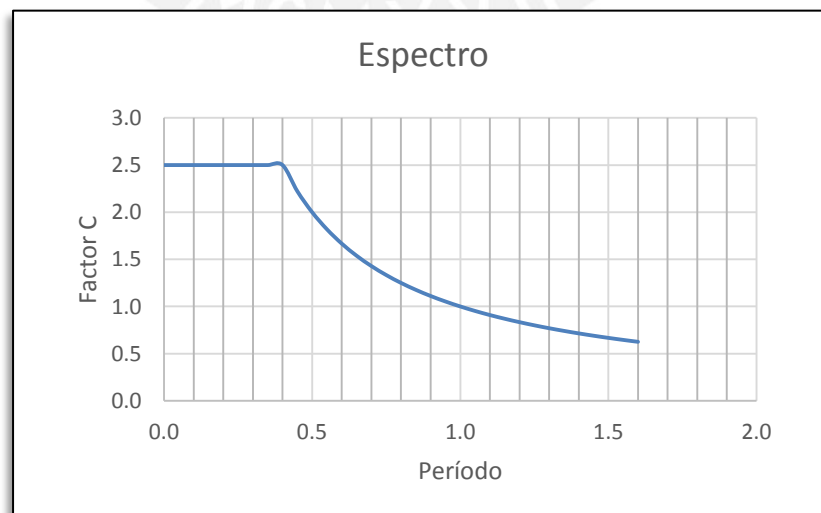


Figura 3.3 Valores tabulados para la obtención del espectro.

3.4 Presentación y Análisis de Resultados

Los resultados obtenidos de los 48 casos analizados se muestran en el Anexo 1, presentando curvas de tendencia de cada uno de los parámetros seleccionados para el análisis, a continuación se muestran los resultados para el edificio de 8 pisos y se comentan la influencia del agrietamiento para todos los casos estudiados.

La figura muestra la nomenclatura utilizada en el análisis de los edificios típicos, donde se analizaron los resultados de 2 muros: el más esforzado (P1) y el menos esforzado (P13). Se considera la Placa P13 ya que presenta esfuerzos significativos para ambas direcciones.

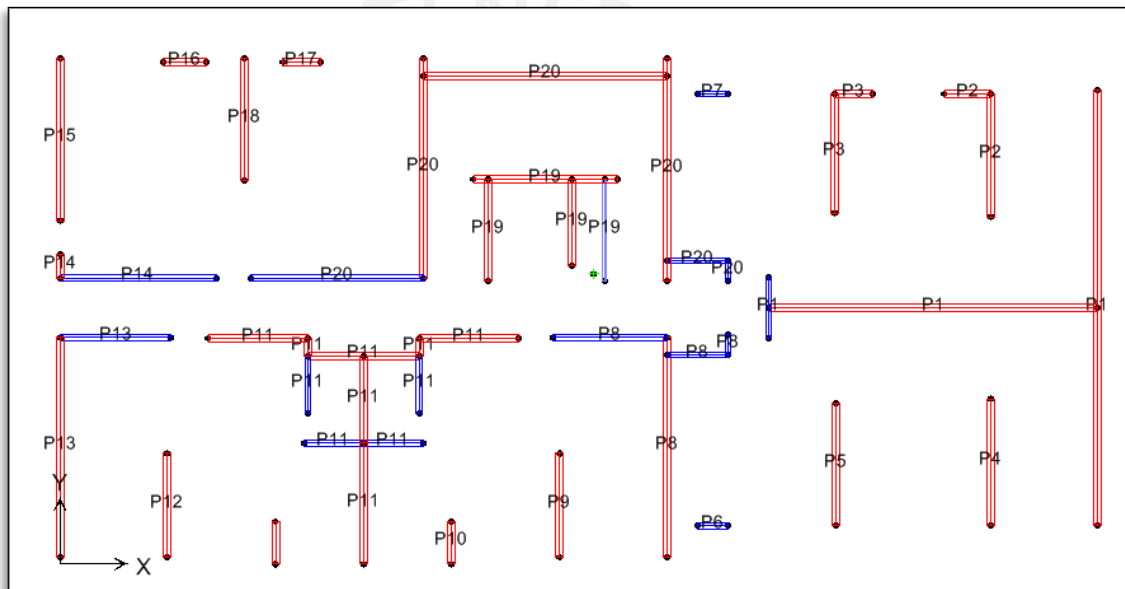
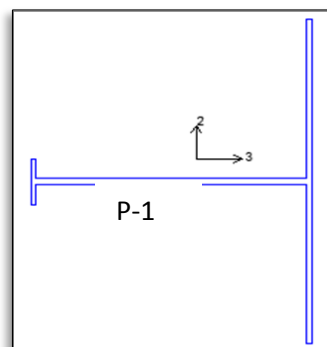


Figura 3.4 Planta típica con nomenclatura de los muros de concreto armado.

En la figura se muestra la placa más esforzada (P-1) y la placa menos esforzada (P-13) utilizadas en el análisis.



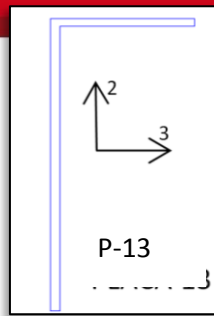


Figura 3.5 Planta de los muros considerados en el análisis de distribución de momentos y fuerza cortante.

3.4.1 Período de la estructura

La figura 3.6 muestra la variación del período fundamental en el edificio de 8 pisos en función del nivel de fisuración presente para ambas direcciones.

Los resultados muestran que cuando la inercia bruta se reduce por factores entre 1 a 0.35, el periodo crece por factores de 1 a 1.56 para la dirección XX y de 1 a 1.9 para la dirección YY.

Cuando la inercia se reduce por un factor de 0.70 los periodos de ambas direcciones crecen por un factor de 1.15 para los edificios de 8 y 10 pisos.

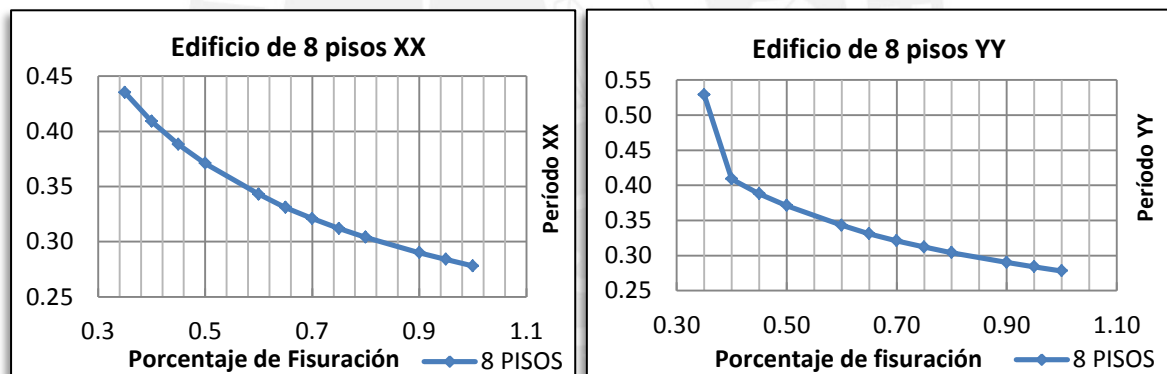


Figura 3.6 Influencia de la fisuración en el período fundamental del edificio de 8 pisos.

Para los edificios de 10, 12 y 14 pisos, al aplicar una reducción de la inercia bruta de 1 a 0.35, el período fundamental crece por factores de 1 a 1.61 en la dirección XX y de 1 a 1.98 en la dirección YY. Se observa una mayor amplificación del período estructural en la dirección YY debido a que los muros en esta dirección son más cortos, por tanto la modificación impuesta a la flexión para simular el agrietamiento es mucho más significativa en esta dirección.

Cuando la inercia de las secciones en los edificios de 12 y 14 pisos se reduce por un factor de 0.70, el período fundamental se incrementa por un factor de 1.17 en la dirección XX y por 1.44 en la dirección YY.

3.4.2 Cortante Basal

En la figura 3.7 se observa la variación del cortante basal del edificio de 8 pisos en función del nivel de fisuración presente en ambas direcciones.

Los resultados muestran que cuando la inercia bruta se reduce por factores entre 1 a 0.35, el cortante basal se reduce por un factor de 0.85 en ambas direcciones en el edificio de 8 pisos.

Cuando la inercia se reduce por un factor de 0.70, el cortante basal se reduce por un factor de 0.98 en ambas direcciones en el mismo edificio.

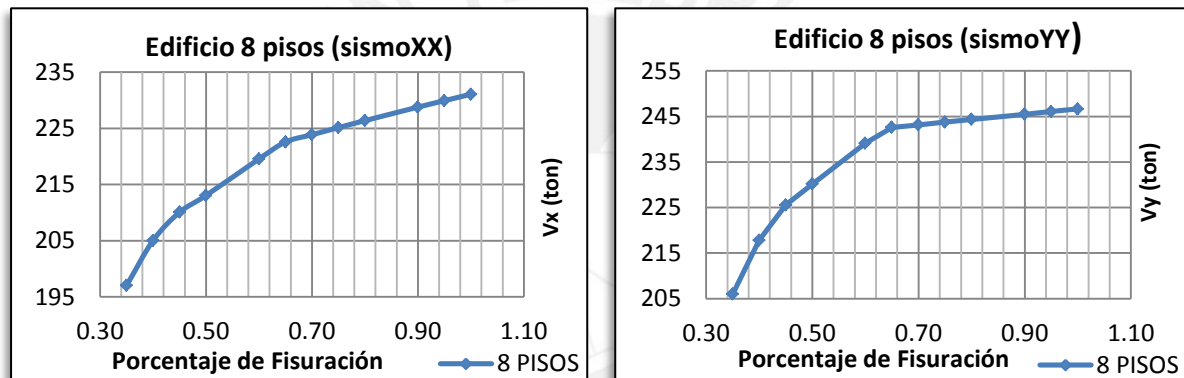


Figura 3.7 Influencia de la fisuración en el cortante basal del edificio de 8 pisos.

Para edificios de 10, 12 y 14 pisos, al aplicar una reducción de inercia de 0.35, el cortante basal se reduce por un factor de 0.70 en promedio en ambas direcciones.

Cuando la inercia se reduce por un factor de 0.70 en estos edificios, el cortante basal se reduce por un factor de 0.87 en promedio en ambas direcciones.

3.4.3 Deriva

Los resultados para el edificio de 8 pisos muestran que cuando la inercia bruta se reduce por factores entre 1 a 0.35, la deriva máxima se incrementa por un factor de 1.98 en la dirección XX y 2.24 en la dirección YY.

Cuando la inercia se reduce por un factor de 0.70, la deriva máxima se incrementa por un factor de 1.33 en la dirección XX y por 1.42 en la dirección más YY.

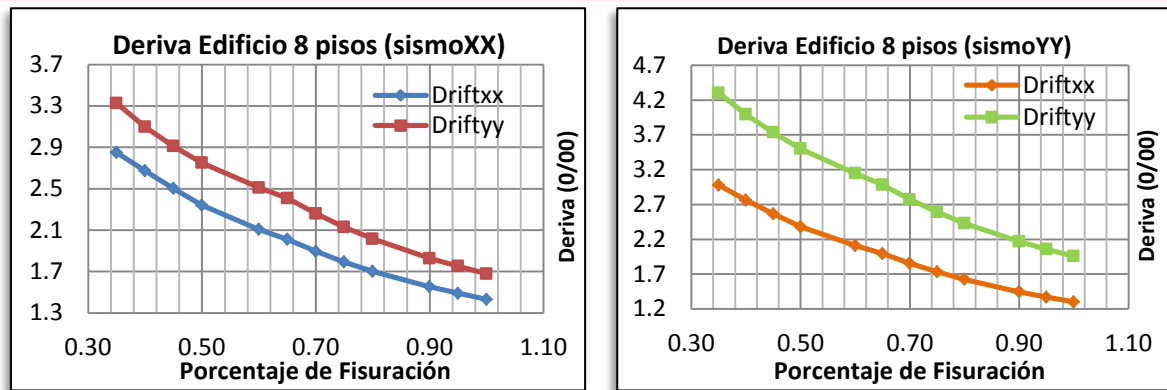


Figura 3.8 Influencia de la fisuración en la deriva máxima de entrepiso del edificio de 8 pisos.

En edificios de 10, 12 y 14 pisos, al aplicar una reducción de inercia de 1 a 0.35, la deriva máxima crece por un factor de 1.72 en promedio para la dirección XX y 1.83 para la dirección YY.

Cuando la inercia se reduce por un factor de 0.70 en estos edificios, la deriva máxima se incrementa por un factor de 1.19 en promedio en la dirección XX y por 1.22 en la dirección YY.

3.4.4 Momento máximo y mínimo

En el gráfico se muestra la variación en el momento M2 que presentan los muros P-1 Y P-13, con el mayor y menor momento respectivamente, cuando se aplica una reducción gradual de la inercia a todos los muros que conforman el edificio.

Los resultados para el edificio de 8 pisos muestran que cuando la inercia bruta se reduce por factores de 1 a 0.35, el momento M2 del muro P-1 se reduce por un factor de 0.85 para un sismo aplicado en la dirección XX y por 0.93 para un sismo aplicado en la dirección YY, mientras que el momento M2 del muro P-13 prácticamente no presenta variación para un sismo aplicado en la dirección XX y por 0.95 para un sismo aplicado en la dirección YY.

Cuando la inercia se reduce por un factor de 0.70, el momento M2 del muro P-1 es prácticamente el mismo cuando se aplica un sismo en la dirección XX y se incrementa por un factor de 1.05 cuando se aplica el sismo en la dirección YY, mientras que el momento M2 del muro P-13 se reduce por un factor de 0.97 para un sismo aplicado en la dirección XX y en la dirección YY.

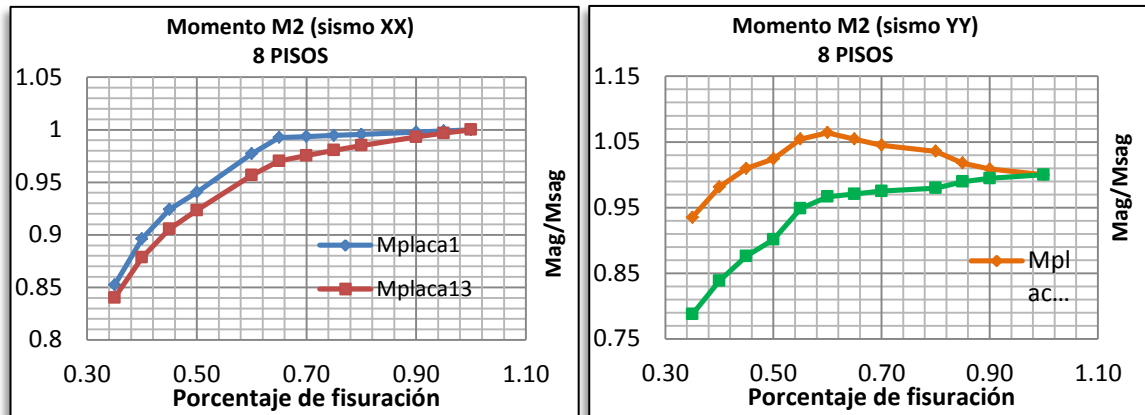


Figura 3.9 Influencia de la fisuración en el momento M2, tanto del muro P-1 como del muro P-13.

En edificios de **10, 12 y 14 pisos**, al aplicar una reducción de la inercia bruta de 1 a 0.35, el momento M2 del muro P-1 se reduce por un factor de 0.65 para un sismo aplicado en la dirección XX y por 0.68 para un sismo aplicado en la dirección YY, mientras que el momento M2 del muro P-13 se reduce por un factor de 0.65 en promedio para un sismo aplicado en la dirección XX y por 0.63 para un sismo aplicado en la dirección YY.

Cuando la inercia se reduce por un factor de 0.70, el momento M2 del muro P-1 se reduce por un factor de 0.87 para sismos aplicados en ambas direcciones, mientras que el momento M2 del P-13 se reduce por un factor de 0.85 para sismos en ambas direcciones.

3.4.5 Cortante máxima y mínima

En el gráfico se muestra la variación en la fuerza cortante V2 que presentan los muros con el mayor y menor cortante respectivamente cuando se aplica una reducción gradual de la inercia a todos los muros que conforman el edificio.

Los resultados para el edificio de 8 pisos muestran que cuando la inercia bruta se reduce por factores de 1 a 0.35, el cortante V2 del muro P-1 se incrementa por un factor de 1.1 para un sismo aplicado en la dirección XX y se mantiene prácticamente igual para un sismo aplicado en la dirección YY, mientras que el cortante V2 del muro P-13 se reduce por un factor de 0.89 para un sismo aplicado en la dirección XX y por 0.85 para un sismo aplicado en la dirección YY.

Cuando la inercia se reduce por un factor de 0.70, el cortante V2 del muro P-1 y P-13 se mantiene prácticamente igual para un sismo aplicado en ambas direcciones.

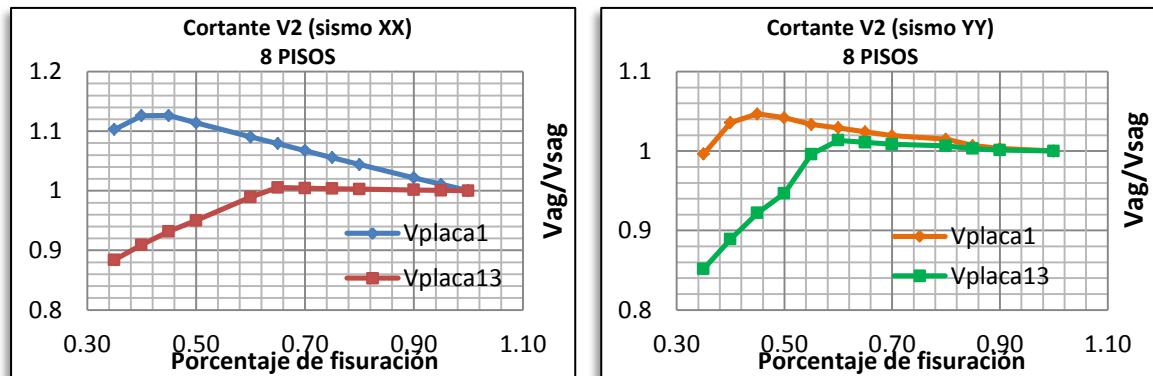


Figura 3.10 Influencia de la fisuración en la cortante V2, tanto para el muro P-1 como el muro P-13

En edificios de 10, 12 y 14 pisos, al aplicar una reducción de la inercia bruta de 1 a 0.35, el cortante V2 del muro P-1 se reduce por un factor de 0.81 al aplicar un sismo en la dirección XX y por 0.77 al aplicar un sismo en la dirección YY, mientras que el cortante V2 del muro P-13 se reduce por un factor de 0.77 para un sismo en ambas direcciones.

Cuando la inercia se reduce por un factor de 0.70 en el muro P-1, el cortante V2, se reduce por un factor de 0.93 para un sismo aplicado en ambas direcciones, mientras que el cortante V2 del muro P-13 se reduce por un factor de 0.92 al aplicar el sismo en la dirección XX y por 0.90 para un sismo aplicado en la dirección YY.

3.5 Análisis de Resultados

Los resultados muestran que el agrietamiento influye de manera diferente en la respuesta del edificio de 8 pisos en relación a la respuesta de los edificios de 10, 12 y 14 pisos, que presentan una tendencia similar.

Para una reducción de inercia de 1 a 0.35 el edificio de 8 pisos tiene un incremento de 1 a 1.35 en el periodo fundamental, mientras que los edificios de 10, 12 y 14 pisos incrementan su periodo en el rango de 1 a 1.61 para un sismo aplicado en la dirección XX. Para un sismo aplicado en la dirección YY, se tiene

un incremento en el período fundamental de 1 a 1.98 para los edificios de 10, 12 y 14 pisos, mientras que el edificio de 8 pisos muestra un incremento de 1 a 1.90.

Este mayor aumento en el período fundamental para el análisis al aplicar un sismo en la dirección YY indica una mayor flexibilidad en esta dirección, lo cual se puede verificar en el análisis de participación modal donde hay una variación del período en la dirección YY conforme se va produciendo una mayor reducción de la inercia de las secciones, ver Anexo 1.

Para una reducción de inercia de 1 a 0.35 el edificio de 8 pisos tiene un incremento de 1 a 1.98 en la deriva máxima de entrepiso, mientras que los edificios de 10, 12 y 14 pisos incrementan su deriva máxima en el rango de 1 a 1.72. Este análisis corresponde al sismo aplicado en la dirección XX, para el sismo aplicado en la dirección YY tenemos que para una reducción de inercia de 1 a 0.35 el edificio de 8 pisos presenta un incremento de 1 a 2.23 en su deriva máxima, mientras que los edificios de 10, 12 y 14 pisos presenta un incremento de 1 a 1.82

Una reducción de 1 a 0.35 en las inercias de las secciones del edificio de 8 pisos muestra una disminución del cortante basal de 1 a 0.85, mientras que para los edificios de 10, 12 y 14 pisos, para la misma reducción de inercia se presenta una disminución del cortante basal de 1 a 0.70. Se observa la misma tendencia para un sismo aplicado en ambas direcciones.

Numéricamente se presenta una disminución en el cortante basal en el edificio de 12 pisos con respecto al edificio de 10 pisos, debido a que el período fundamental del edificio de 10 pisos se encuentra en el límite de la plataforma del espectro de análisis, edificios con períodos superiores presentarán esta tendencia que se observa en las gráficas del Anexo 1.

El análisis de la distribución de fuerzas internas se realizó considerando el momento y fuerza cortante en la base de los muros correspondientes a cada edificio, para ello se escogió el muro que toma el mayor momento y el mayor cortante basal (P-1), así como el muro que toma los menores valores para el momento y cortante basal respectivamente (P-13).

En el caso del análisis de momentos en la base los resultados muestran que al aplicar una reducción de inercia de hasta 0.35 en los muros, tanto el muro P-1 como el muro P-13 reducen el valor del momento M2 por un factor de 0.85, para el edificio de 8 pisos; mientras que para edificios de 10, 12 y 14 pisos, tanto el muro P-1 como el muro P-13 reducen este valor hasta alcanzar un factor de 0.65.

Para el análisis de la distribución de la fuerza cortante V2 en la base tenemos que para el edificio de 8 pisos, al aplicar una reducción de inercia de hasta 0.35, el muro P-1 incrementa este valor de 1 a 1.10, mientras que el muro P-13 disminuye este valor por un factor de 0.57. En el caso de los edificios de 10, 12 y 14 pisos el muro P-1 reduce este valor por un factor de 0.80, mientras que el muro P-13 reduce este valor por un factor de 0.88.

CAPÍTULO 4 Conclusiones y Recomendaciones

- Existe una respuesta diferente en el edificio de 8 pisos en comparación con los edificios de 10, 12 y 14 pisos, tomando como referencia el período fundamental, el cortante basal, la deriva máxima y la distribución de momentos.
- La variación del período fundamental, al realizar un análisis de ambas direcciones con una reducción de inercia de 1 a 0.35, difiere en un punto donde se produce un salto en la tendencia del período fundamental para un sismo aplicado en la dirección YY (ver Anexo 1). Este salto en la tendencia se produce en cada uno de los 4 edificios, para diferentes niveles de agrietamiento.
- Al aplicar la reducción de inercia considerada en la norma peruana de Concreto Armado E060 de hasta 0.35, el período se incrementa por un factor de 1.56 al aplicar un sismo en la dirección XX y por un factor de 1.9 al aplicar un sismo en la dirección YY.
- Para la reducción de 0.35 aplicada a los muros de concreto armado se tiene que el cortante basal se reduce por un factor de 0.85 en edificios de 8 pisos y por un factor de 0.70 para edificios de mayor altura en ambas direcciones.
- Al aplicar la reducción de inercia de los muros por un factor de 0.35 la deriva se incrementa por un factor de 1.98 en edificios de 8 pisos, mientras que para

edificios de mayor altura el incremento se da con un factor de 1.68, en la dirección más corta.

- Para realizar un análisis de edificios de muros de concreto armado, manteniendo el mismo nivel de rigidez actual y considerando la fisuración en 0.35, el límite para la deriva podría aumentar hasta 12‰ .
- Para realizar un análisis de edificios de muros de concreto armado, manteniendo el mismo nivel de rigidez actual, conservando la fuerza cortante basal de la norma de concreto armado E060 y considerando los efectos de la fisuración, se deberá incrementar el espectro empleado para el análisis modal o en su defecto reducir el factor R por 0.7.
- El factor de reducción **R** de la Fuerza cortante máxima aplicada para un modelo elástico debe ser revisado en cada uno de los casos, tanto en edificios aporticados, duales y de muros de concreto armado, de considerarse los efectos del agrietamiento.
- Al aplicar la reducción de inercia de los muros de hasta 0.35 se observa que para edificios de menor altura (8 pisos en este caso) la reducción del cortante basal es menor con un factor de reducción de 0.85 y los otros 3 edificios (10, 12 y 14 pisos) presentan una mayor reducción con factor de 0.7.
- Debido a la geometría y distribución interna de muros del edificio estudiado, se observa que al aplicar una reducción de inercia de 0.35, el período fundamental del edificio tiene un comportamiento diferente al aplicar el análisis en cada dirección, en la dirección YY se observa una mayor flexibilización de los muros orientados también en esta dirección y el período fundamental presenta un comportamiento diferente al de la dirección XX, según el nivel de agrietamiento y el número de pisos de cada edificio. Ver Anexo 1.
- Al aplicar la reducción de inercia en los muros se observa una mayor amplificación del período estructural en la dirección YY debido a que los muros en esta dirección son más cortos, por tanto la modificación impuesta a la flexión para simular el agrietamiento es mucho más significativa en esta dirección.
- Realizar un análisis considerando agrietamiento permite considerar valores de deriva más ajustados. Se hace necesario realizar verificaciones para diferentes

edificios, con diferentes materiales y diferentes niveles de fisuración para obtener mejores valores de límites de deriva.

- Se recomienda desarrollar un estudio similar considerando edificios duales.

Referencias

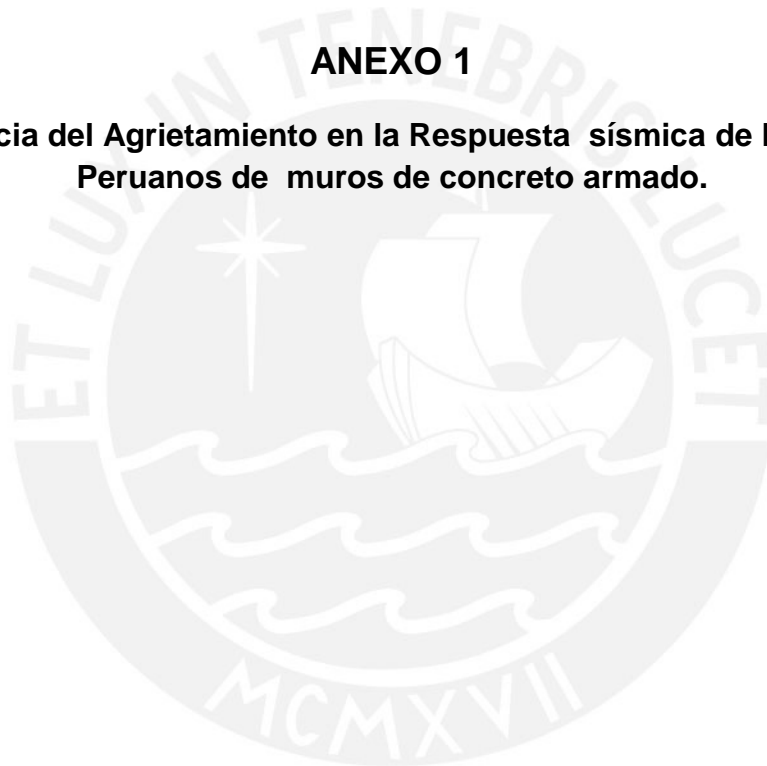
- 1) ASCE, FEMA, Prestandard and Commentary for the Seismic Rehabilitation of Buildings, FEMA, Noviembre de 2000.
- 2) C. Luk, L. Luque. Influencia del Agrietamiento en la Respuesta sísmica de edificios aporticados peruanos.
- 3) Comité ACI 318. Requisitos de Reglamento para Concreto Estructural ACI 318S-08. Enero de 2008
- 4) Instituto Nacional de Normalización. Hormigón Armado – Requisitos de diseño y cálculo. NCh430.Of2008.
- 5) Jefatura de Gobierno. Normas Técnicas Complementarias para diseño y construcción de Estructuras de Concreto. Octubre de 2004.
- 6) Japan Society of Civil Engineers. Standard Specifications for Concrete Structures – “Design”. 2007.

Bibliografía

- 7) The ETABS Series of Computers & Structures. 2011.
- 8) Muñoz Peláez, Alejandro, Ingeniería Sismorresistente, Pontificia Universidad Católica del Perú, Marzo de 2001.

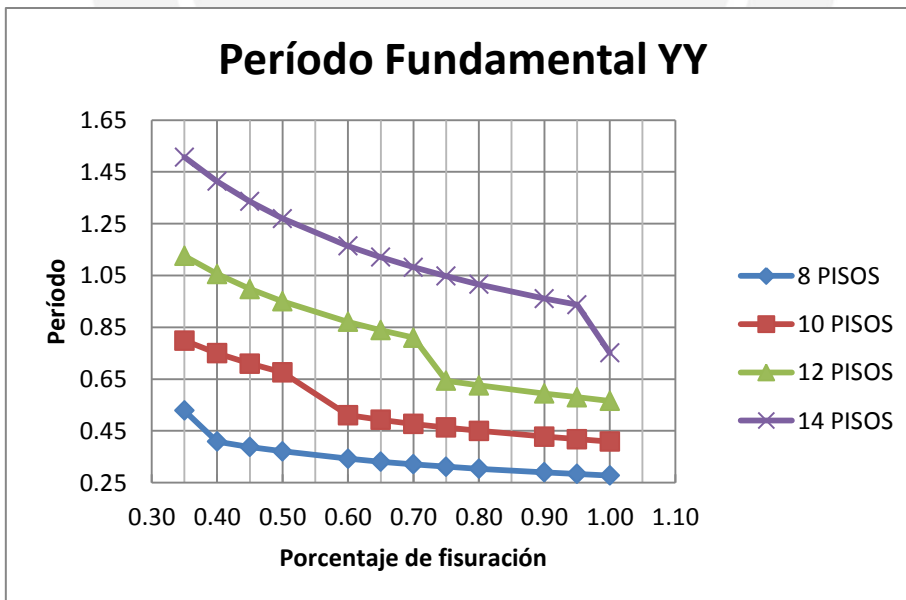
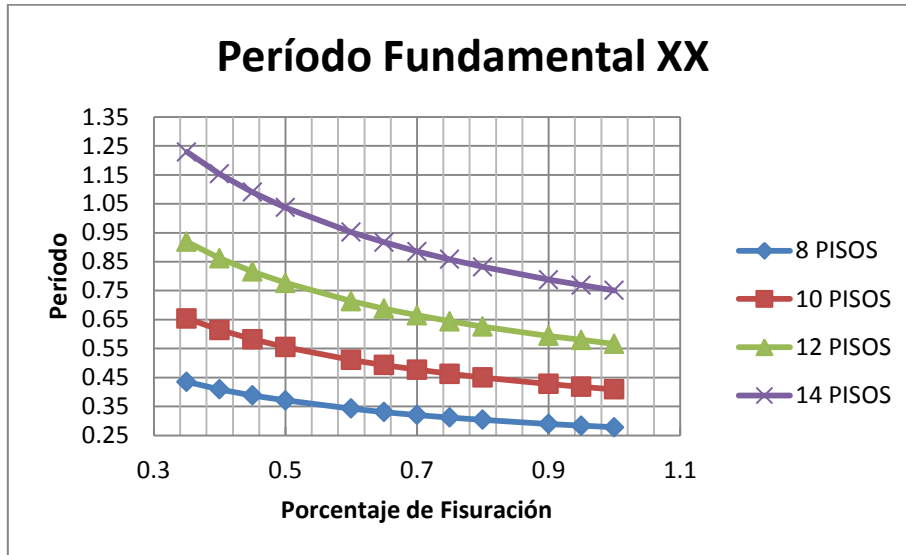
ANEXO 1

**Influencia del Agrietamiento en la Respuesta sísmica de Edificios
Peruanos de muros de concreto armado.**



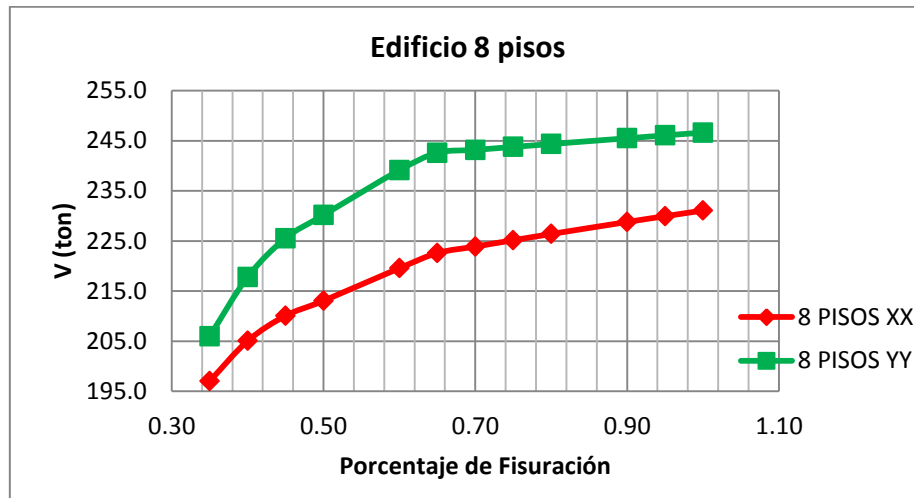
Análisis de edificios de 8, 10, 12 y 14 pisos.

Variación del período fundamental en los 4 edificios analizados

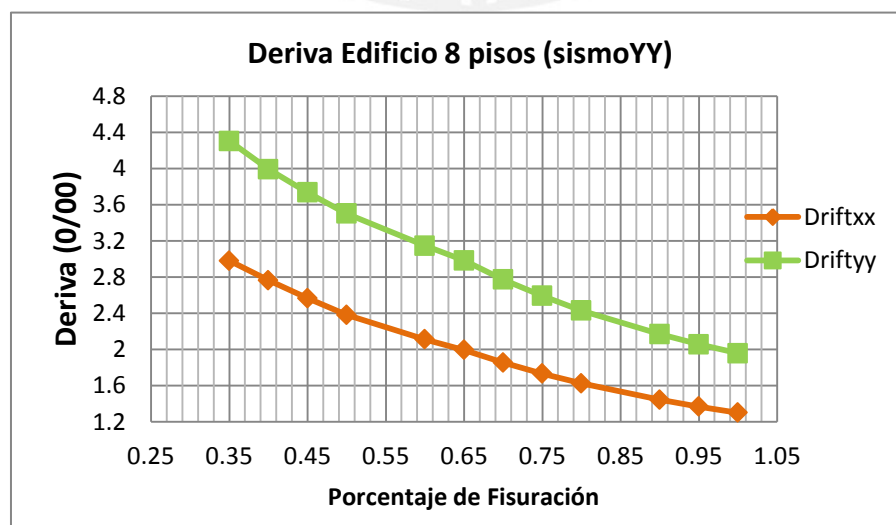
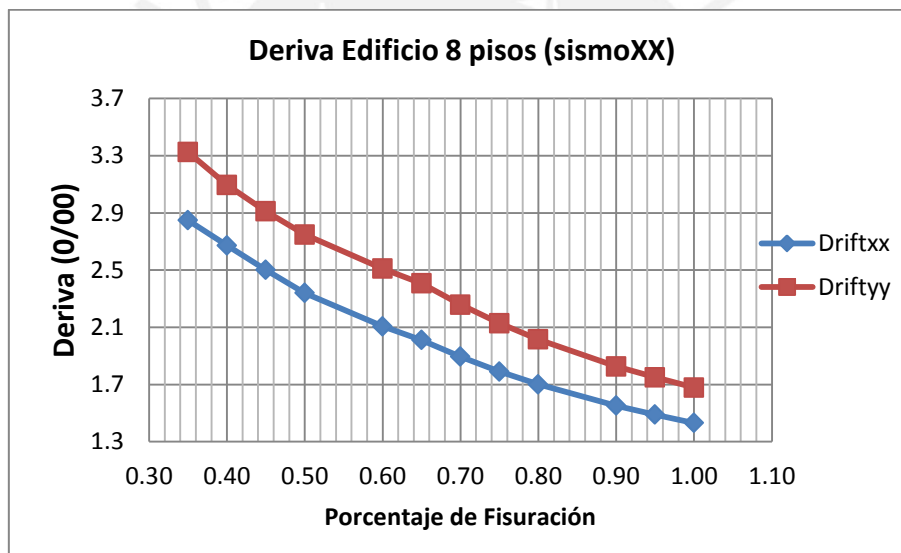


Edificio de 8 pisos

- Variación del cortante basal con el nivel de fisuración

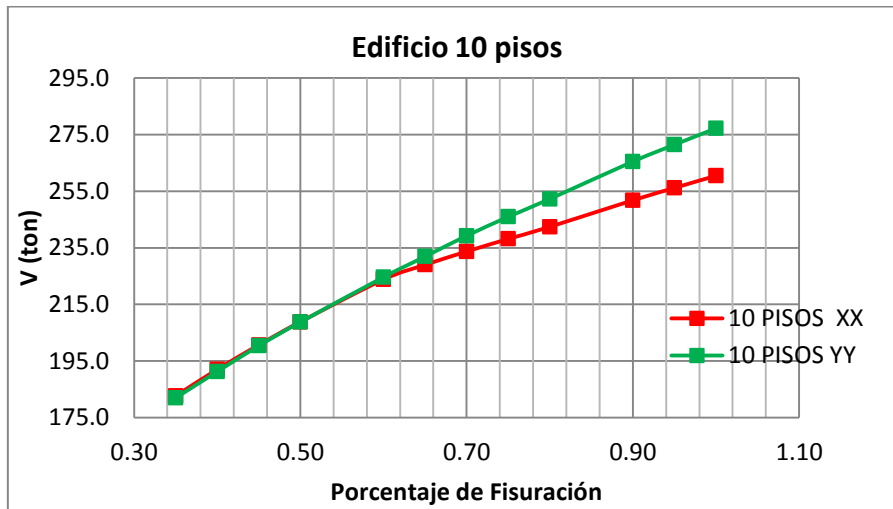


- Variación de la deriva con el nivel de fisuración

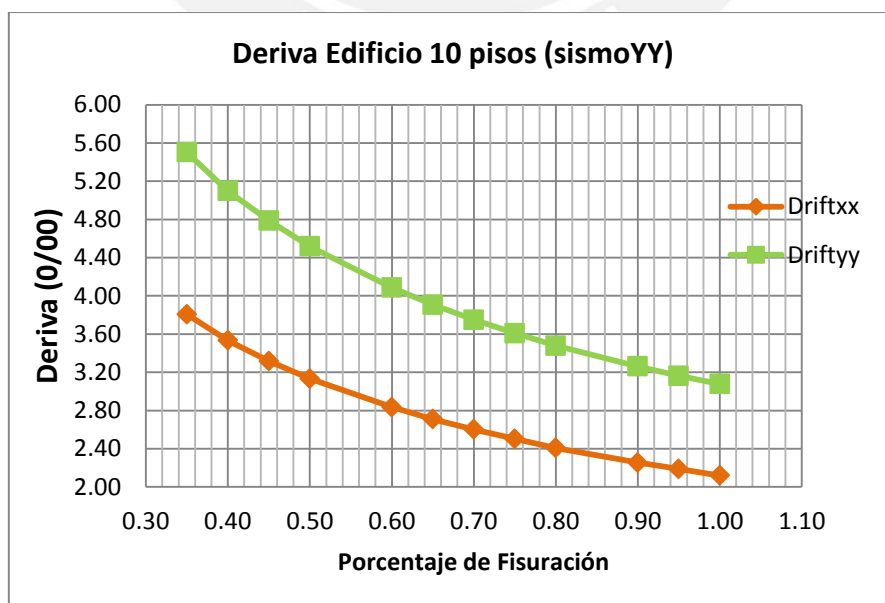
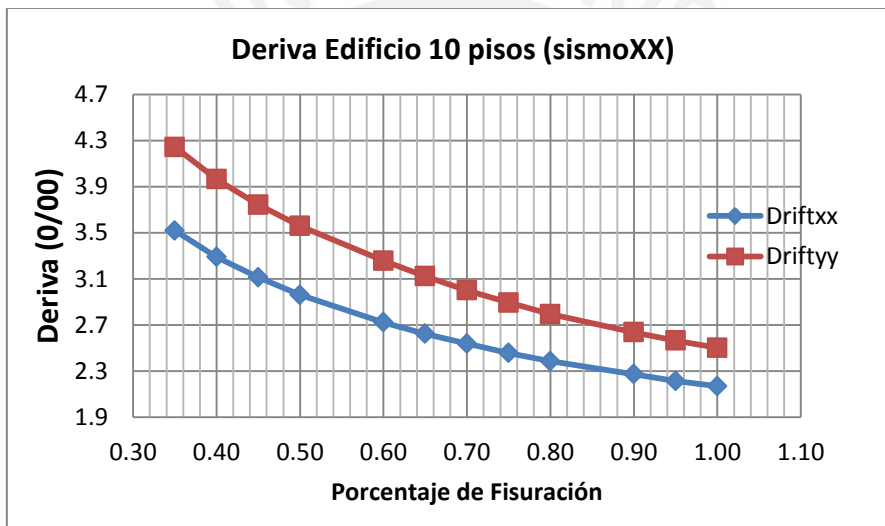


Edificio de 10 pisos

- Variación del cortante basal con el nivel de fisuración

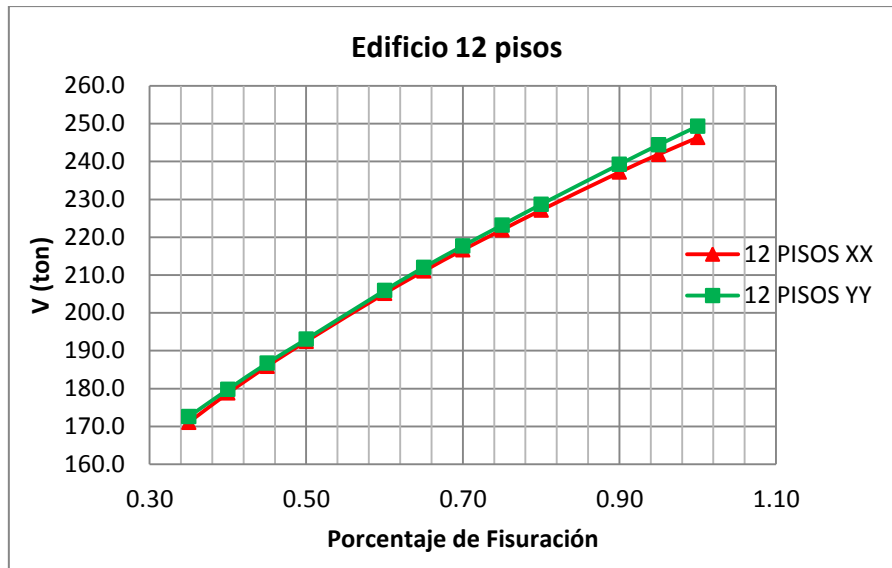


- Variación de la deriva con el nivel de fisuración

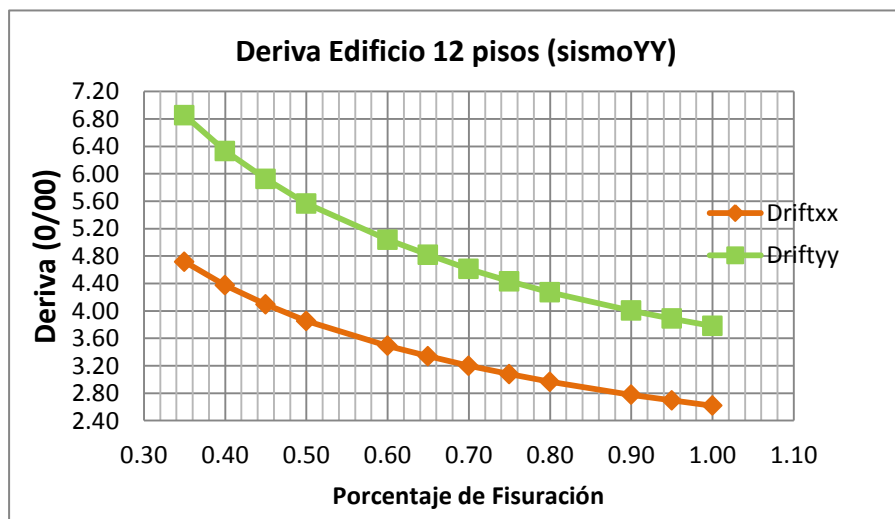
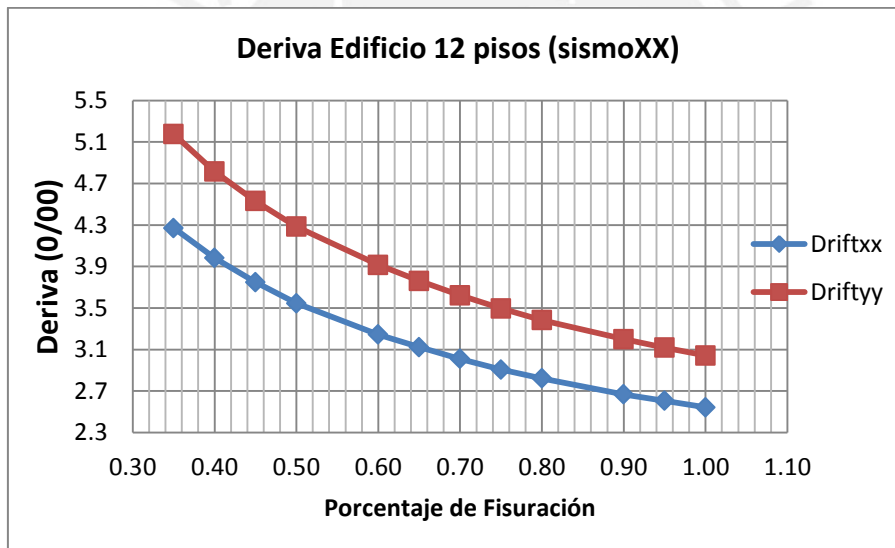


Edificio de 12 pisos

- Variación del cortante basal con el nivel de fisuración

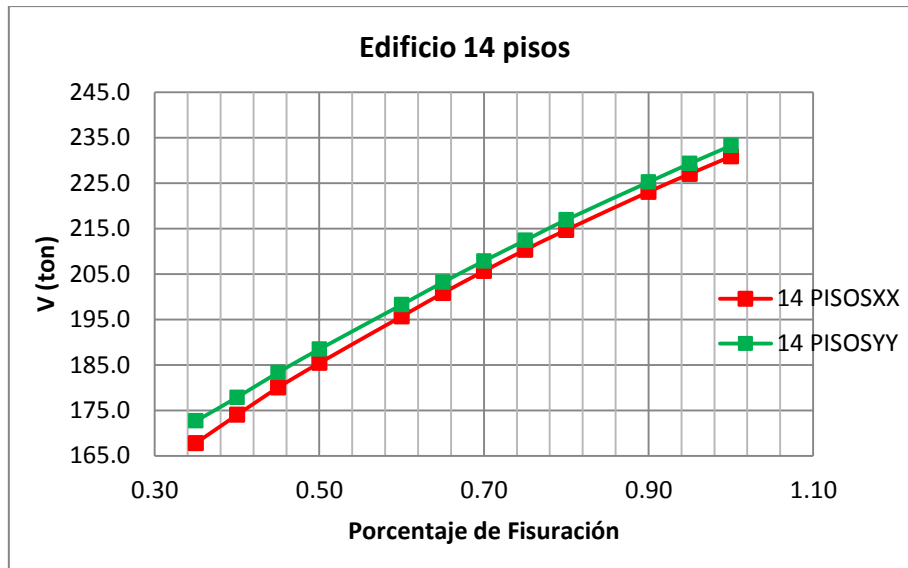


- Variación de la deriva con el nivel de fisuración

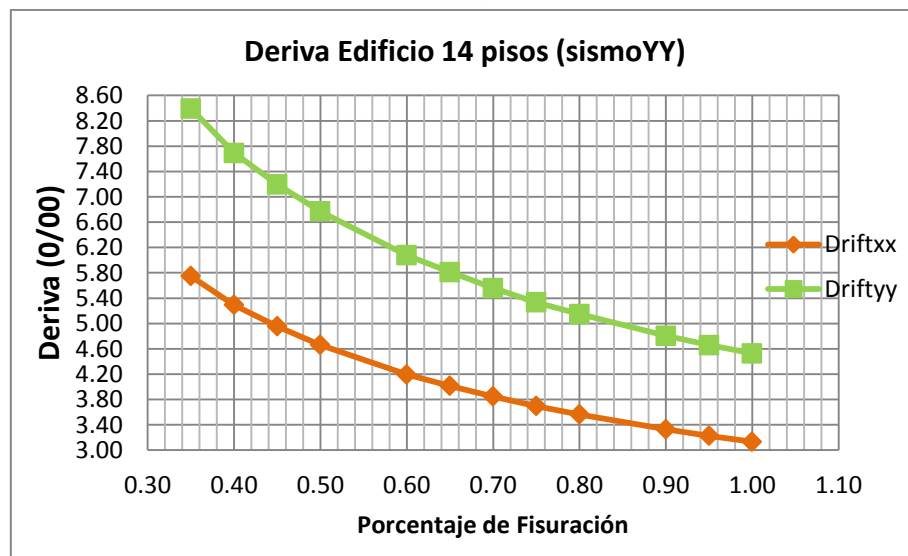
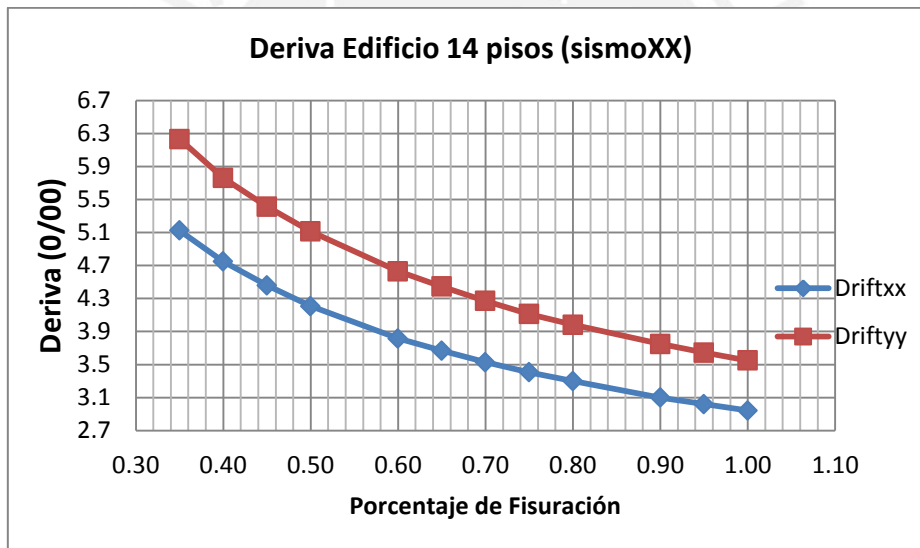


Edificio de 14 pisos

- Variación del cortante basal con el nivel de fisuración



- Variación de la deriva con el nivel de fisuración



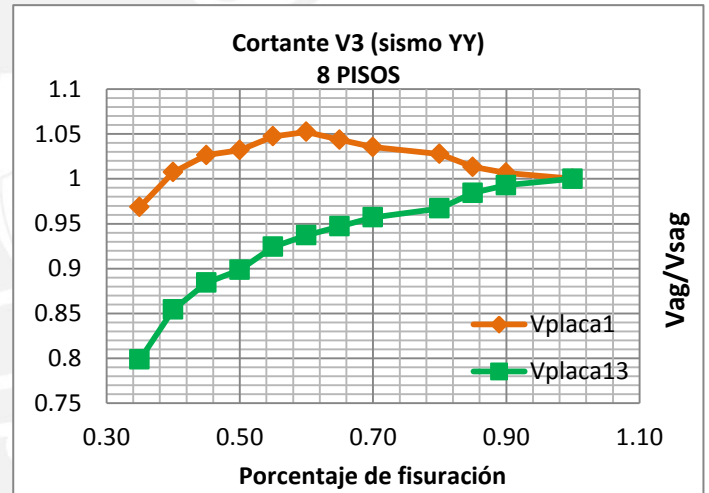
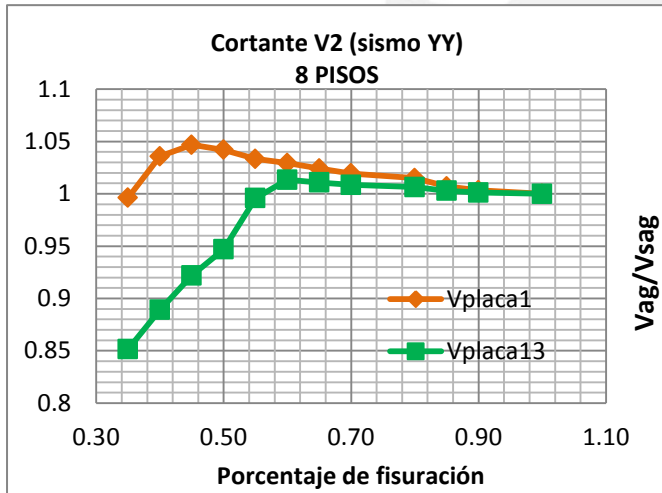
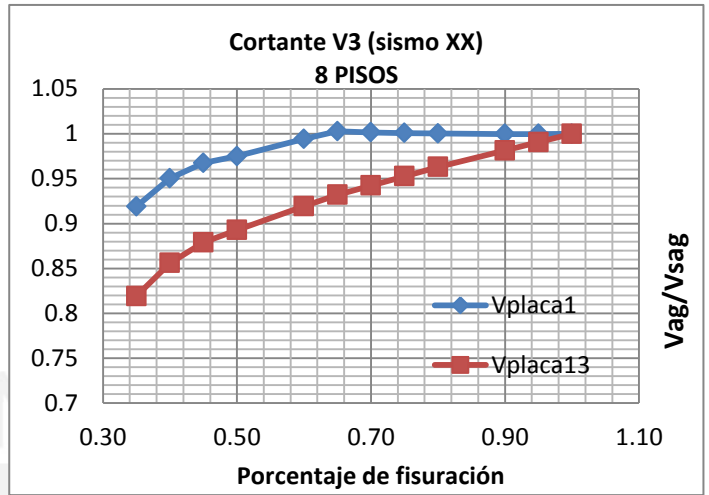
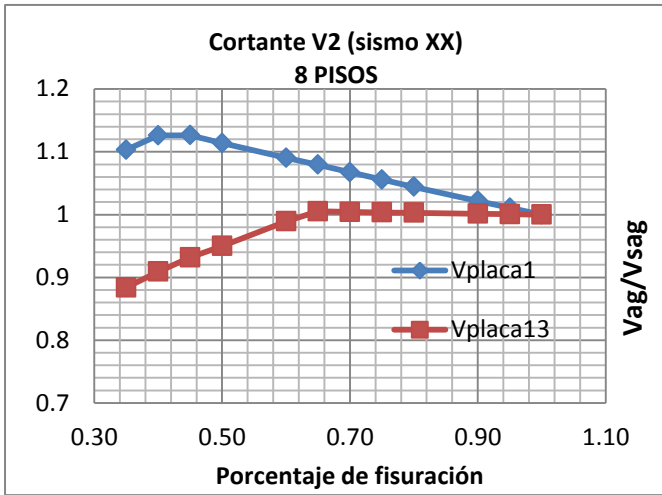


ANEXO 2

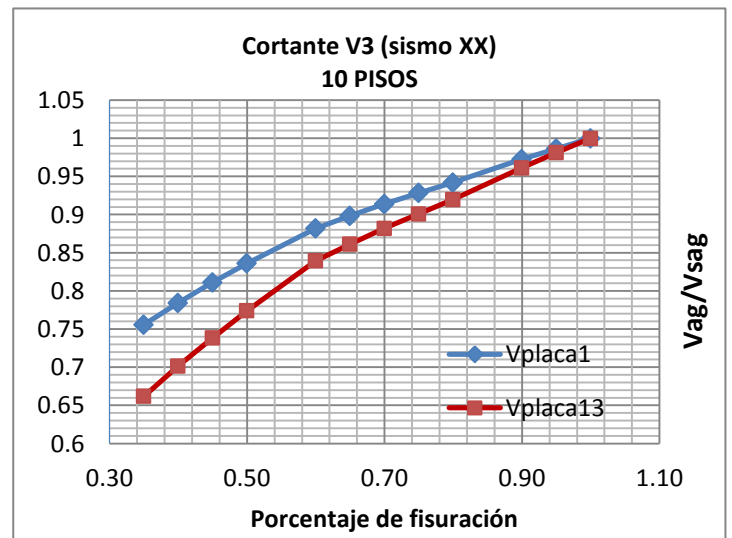
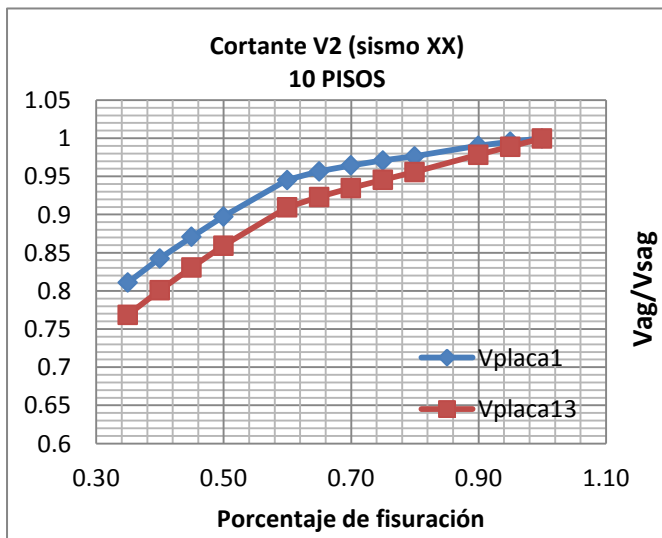
**Influencia del Agrietamiento en la Respuesta sísmica de Edificios
Peruanos de muros de concreto armado.**

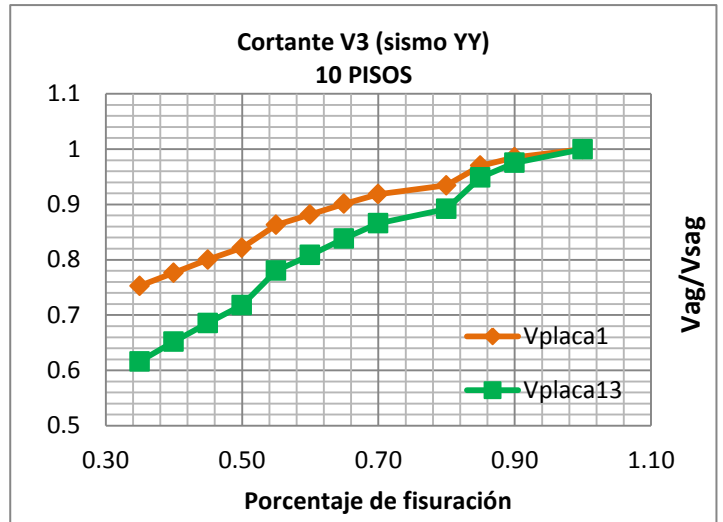
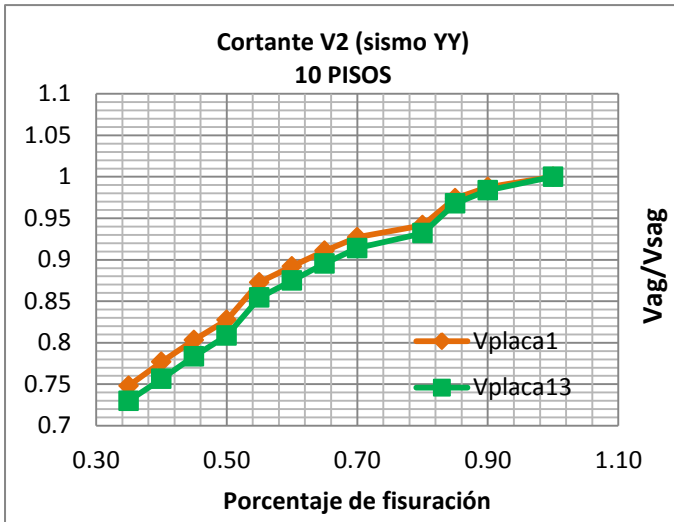
Variación de la relación entre la fuerza cortante en la base de la sección agrietada y de la sección sin agrietar, tomando en cuenta el muro P-1 y el muro P-13.

EDIFICIOS DE 8 PISOS

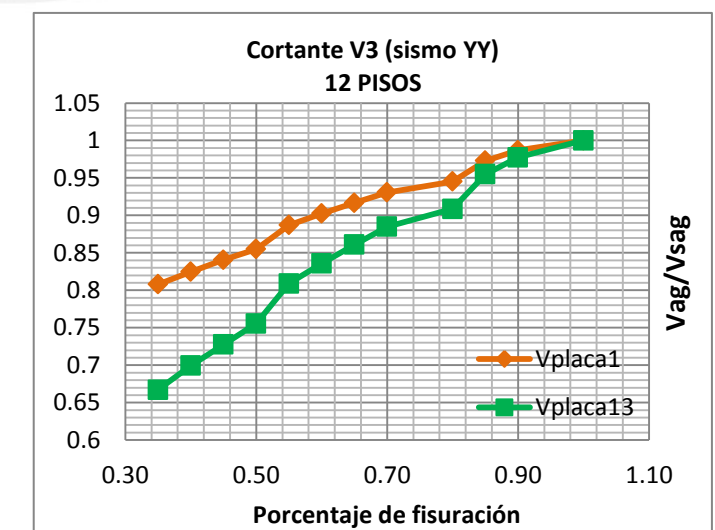
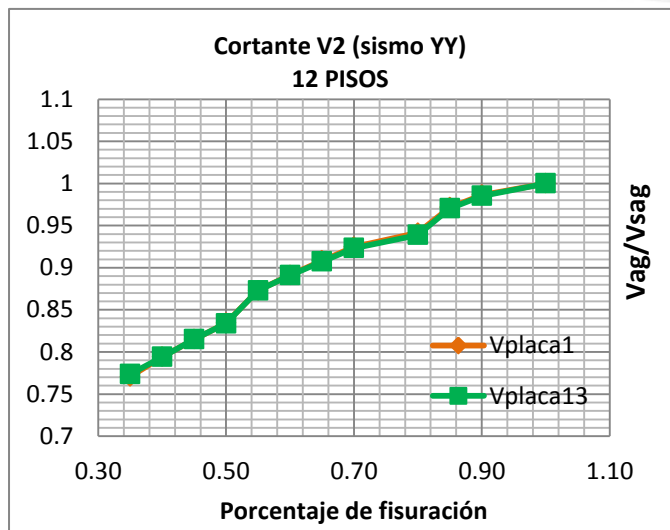
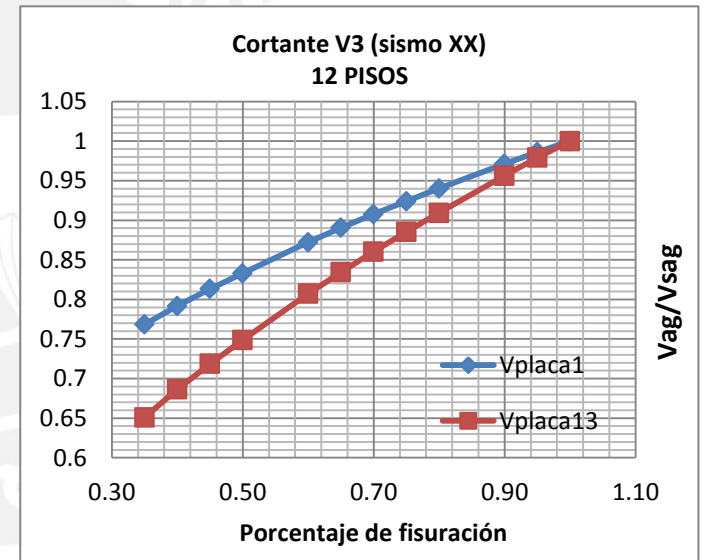
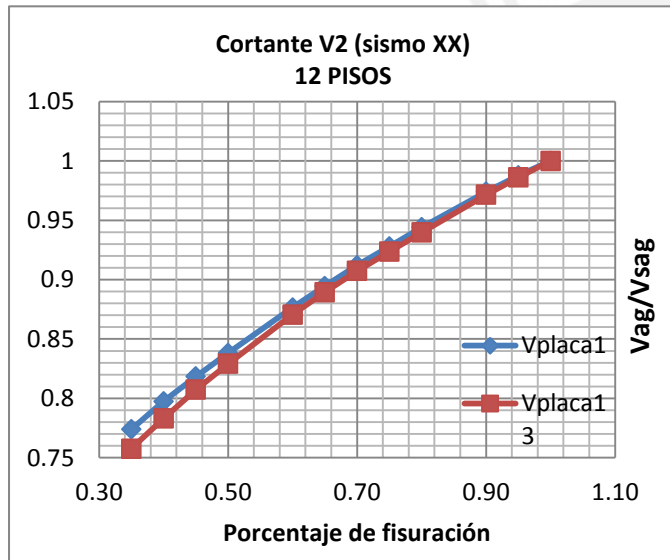


EDIFICIOS DE 10 PISOS

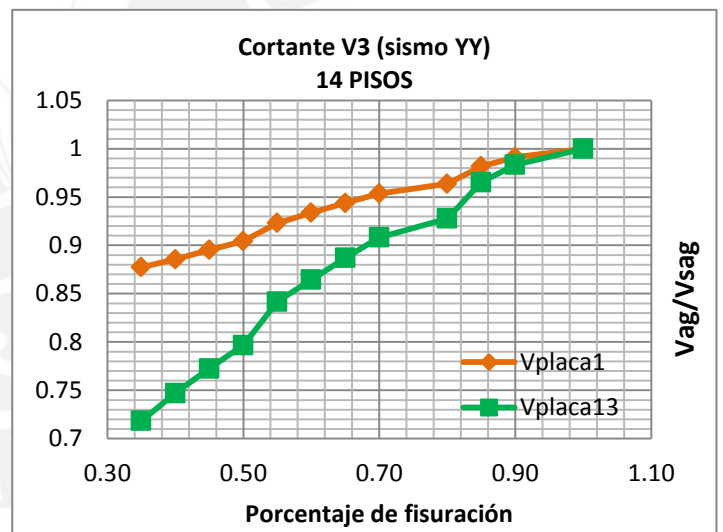
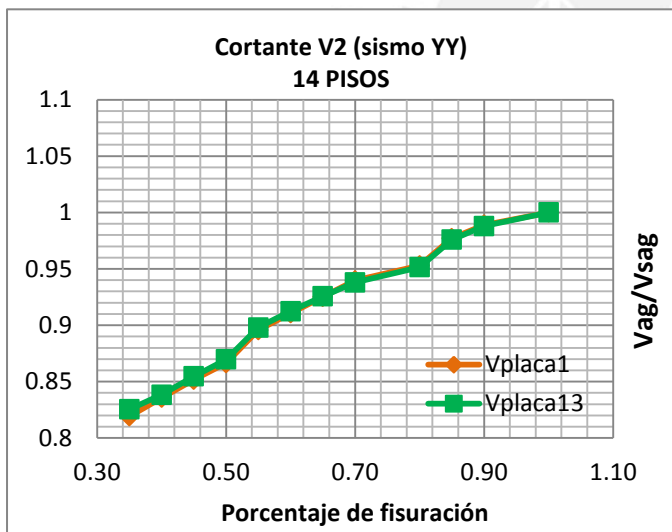
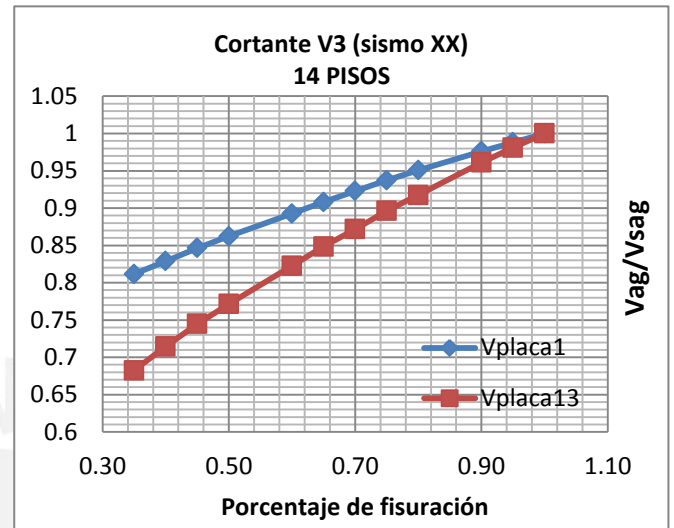
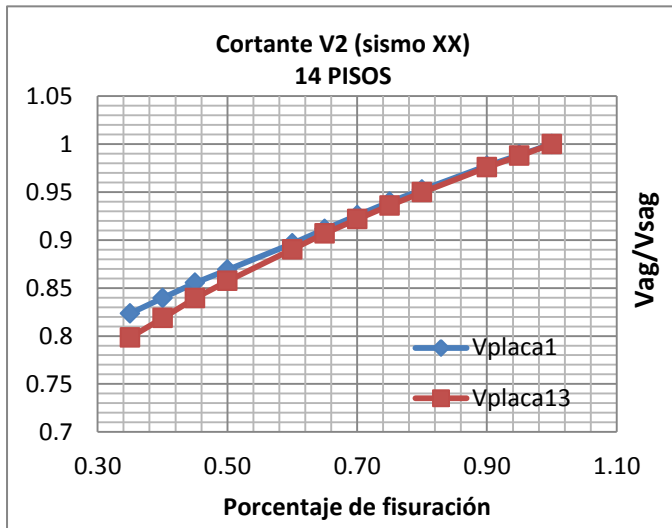




EDIFICIOS DE 12 PISOS

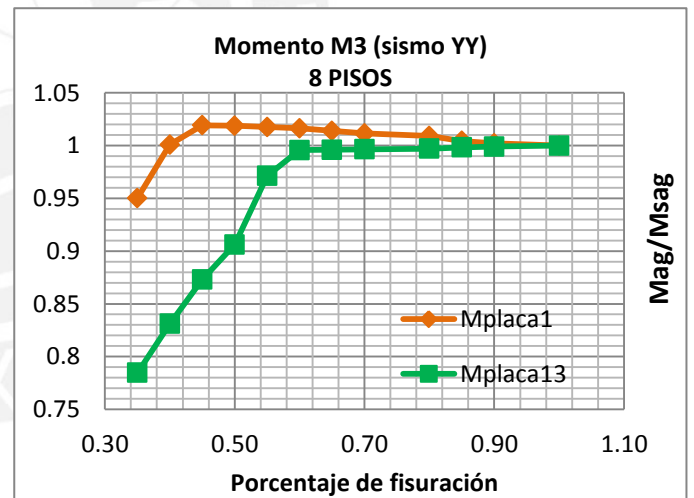
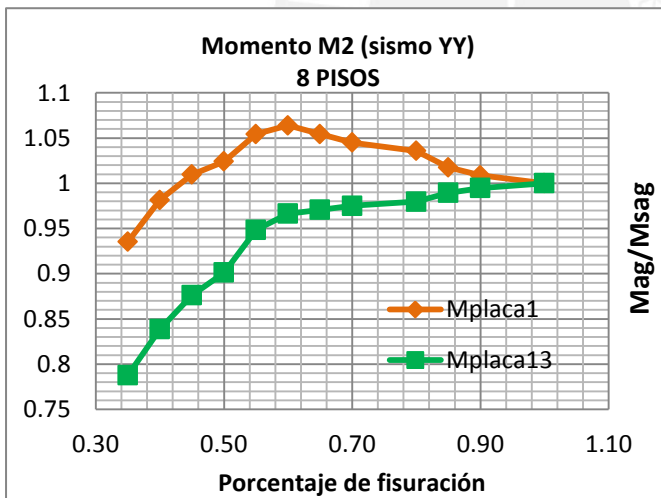
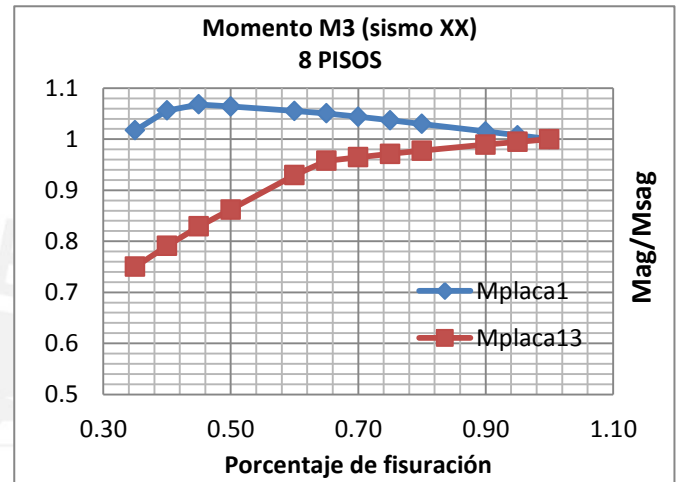
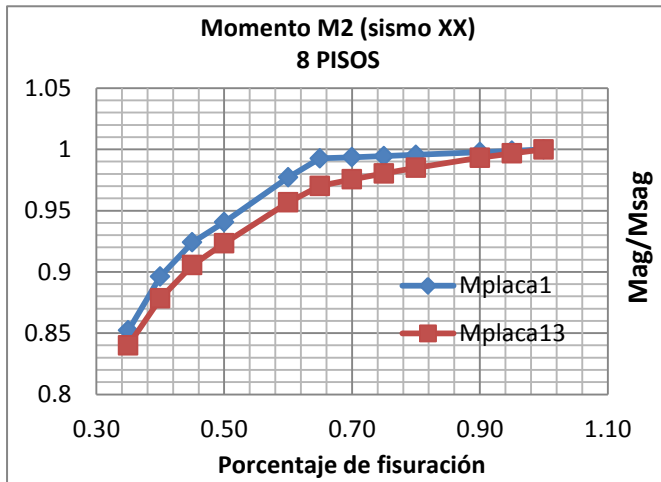


EDIFICIOS DE 14 PISOS

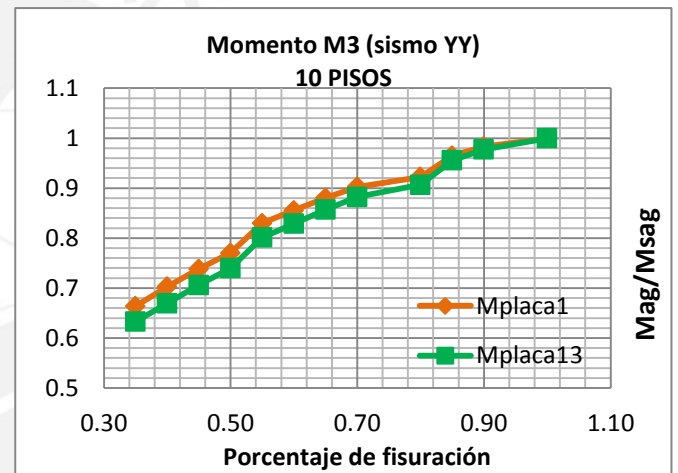
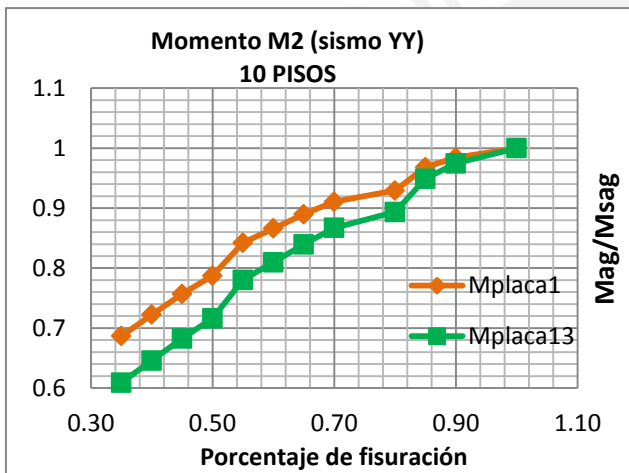
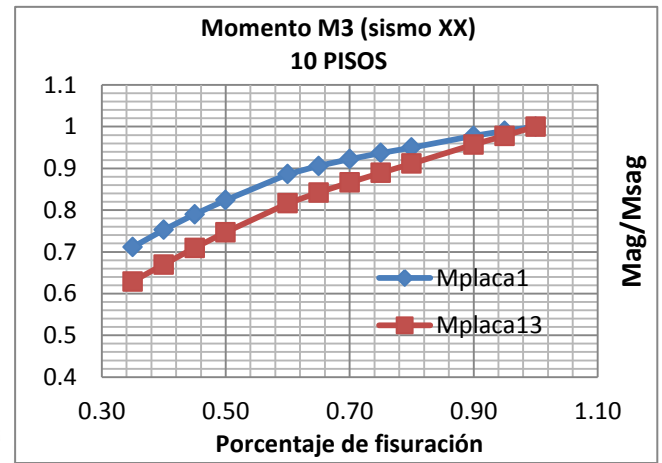
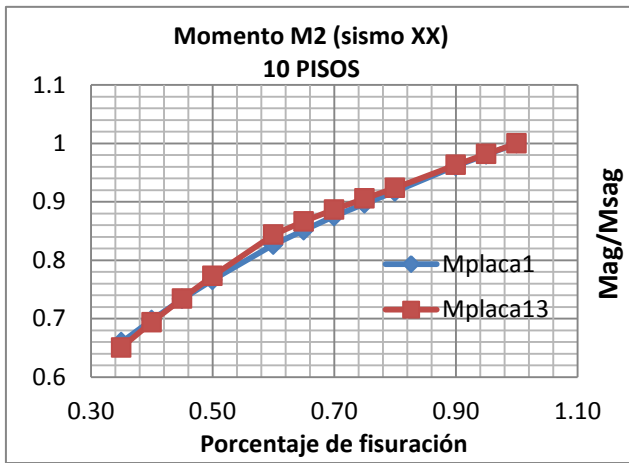


Variación de la relación entre el momento en la base de la sección agrietada y de la sección sin agrietar, tomando en cuenta el muro P-1 y el muro P-13.

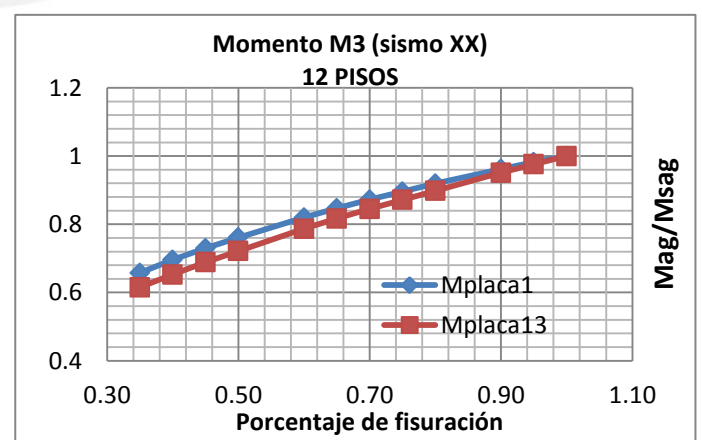
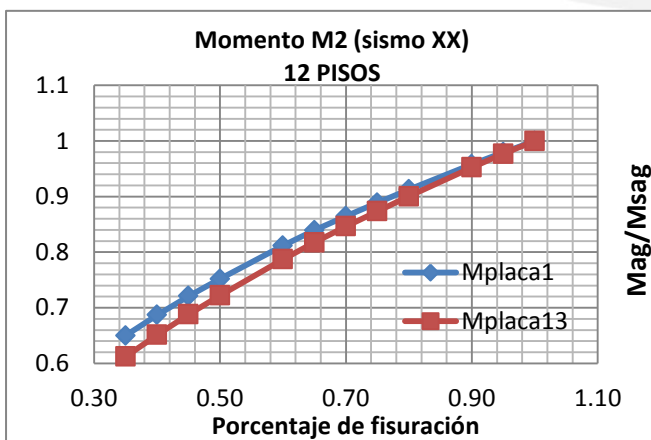
EDIFICIOS DE 8 PISOS

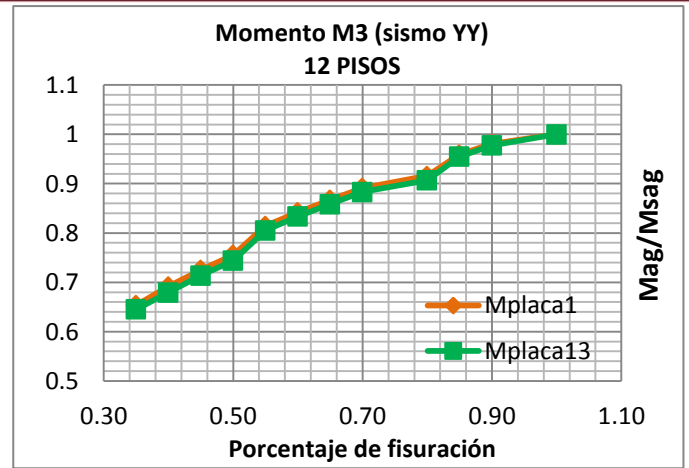
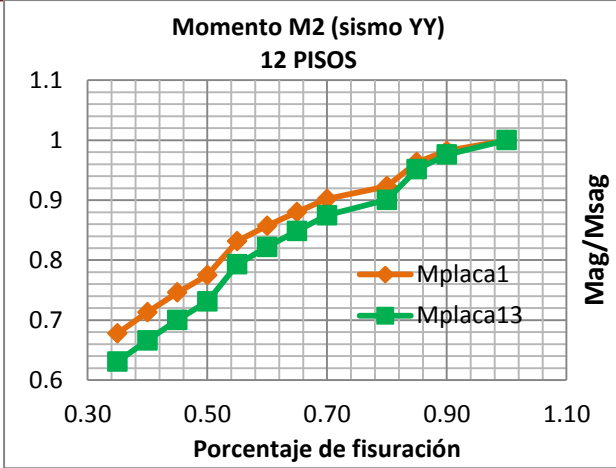


EDIFICIOS DE 10 PISOS



EDIFICIOS DE 12 PISOS





EDIFICIOS DE 14 PISOS

