



7  
UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA  
DE MEXICO

FACULTAD DE INGENIERIA

"ESTUDIO PARAMETRICO DE LA INFLUENCIA DE  
LA DENSIDAD DE MUROS EN EL  
COMPORTAMIENTO SISMICO DE ESTRUCTURAS  
DE MAMPOSTERIA"

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:

I N G E N I E R O C I V I L

P R E S E N T A :

MARCOS ALBERTO ARAIZA MARQUEZ

ASESOR: DR. OSCAR HERNANDEZ BASILIO



MEXICO, D. F.

ENERO 2000



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.



UNIVERSIDAD NACIONAL  
AUTÓNOMA DE  
MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERIA  
DIRECCION  
FING/DCTG/SEAC/UTIT/166/98

Señor  
MARCOS ALBERTO ARAIZA MARQUEZ  
Presente

En atención a su solicitud me es grato hacer de su conocimiento el tema que propuso el profesor DR. OSCAR HERNANDEZ BASILIO, que aprobó esta Dirección, para que lo desarrolle usted como tesis de su examen profesional de INGENIERO CIVIL.

**"ESTUDIO PARAMETRICO DE LA INFLUENCIA DE LA DENSIDAD DE MUROS  
EN EL COMPORTAMIENTO SISMICO DE ESTRUCTURAS DE MAMPOSTERIA"**

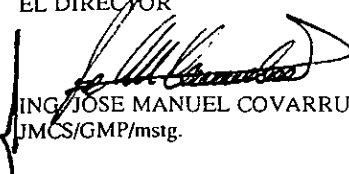
**INTRODUCCION**

- I. LA MAMPOSTERIA COMO MATERIAL DE CONSTRUCCION
- II. METODOLOGIA DEL ESTUDIO
- III. ANALISIS SISMICO
- IV. LA DENSIDAD DE MURO EN EL COMPORTAMIENTO SISMICO
- V. APLICACION DE RESULTADOS
- VI. CONCLUSIONES
- BIBLIOGRAFIA

Ruego a usted cumplir con la disposición de la Dirección General de la Administración Escolar en el sentido de que se imprima en lugar visible de cada ejemplar de la tesis el Título de ésta.

Asimismo le recuerdo que la Ley de Profesiones estipula que deberá prestar servicio social durante un tiempo mínimo de seis meses como requisito para sustentar Examen Profesional.

Atentamente  
"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"  
Cd. Universitaria a 27 de octubre de 1998  
EL DIRECTOR

  
ING. JOSÉ MANUEL COVARRUBIAS SOLÍS  
JMCS/GMP/mstg.

---

## DEDICATORIAS

A mi padre que con su ejemplo de sacrificio, responsabilidad y perseverancia, me enseñó el camino para alcanzar las metas que se anhelan.

A mi madre que entregó gran parte de su vida a velar siempre por el bienestar de nosotros que somos sus hijos.

A ambos por haber formado un hogar de amor y respeto que me dió tantas satisfacciones y la felicidad de seguir viviendolo.

A ti Claudia, mi esposa porque te amo, por la alegría y el impulso que me has dado para seguir adelante en los años de nuestra corta historia, por la familia que estamos iniciando y por lo feliz que soy a tu lado.

A ti Marco Alonso, mi niño, porque eres una lucecita que ha llenado de nuevas ilusiones mi vida al haberme dado la enorme felicidad de ser padre.

---

A mis hermanos Mylene, Michelle y Alain por la unión que siempre hemos tenido y que espero conservemos en todo momento.

A mis abuelitos Jesús, Eloisa y Nachita a quienes adoro y admiro por haber formado las familias que ahora podemos disfrutar.

---

## AGRADECIMIENTOS

Al Dr. Oscar Hernandez Basilio por haber aceptado dirigir esta tesis, por el tiempo dedicado, por los conocimientos adquiridos durante su elaboración, por su confianza y la relación amigable que me ofreció en todo momento.

A mis sinodales por sus valiosas aportaciones en el mejoramiento de este trabajo.

A todos mis profesores que contribuyeron con sus conocimientos a mi formación académica.

A la Universidad Nacional Autónoma de México, y con un cariño muy especial a la Facultad de Ingeniería que me dió la oportunidad y la gran satisfacción de haber cursado esta carrera dentro de sus instalaciones.

A todos mis compañeros de trabajo que de muy diversas maneras me apoyaron desde el inicio de la carrera hasta la conclusión de esta tesis.

A Dios por haberme permitido concluir felizmente con esta tesis un ciclo escolar de mi vida.

## INDICE

CONTENIDO	PAGINA
INTRODUCCION	1
<b>I.- LA MAMPOSTERIA COMO MATERIAL DE CONSTRUCCION</b>	<b>4</b>
I.1.- ANTECEDENTES.....	4
I.2.- MAMPOSTERIA SIN REFUERZO.....	4
I.3.- MAMPOSTERIA CON REFUERZO.....	5
I.4.- RESISTENCIA Y MODOS DE FALLA.....	7
I.5.- EFECTOS SISMICOS EN ESTRUCTURAS DE MAMPOSTERIA.....	13
<b>II.- METODOLOGIA DEL ESTUDIO</b>	<b>16</b>
II.1.- DESCRIPCION.....	16
II.2.- DATOS PRELIMINARES.....	19
<b>3.- ANALISIS SISMICO</b>	<b>22</b>
III.1.- PESO DEL EDIFICIO.....	22
III.2.- PERIODO DE LA ESTRUCTURA.....	23
III.3.- COEFICIENTE SISMICO.....	24
III.4.- CENTRO DE CARGAS.....	26
III.5.- FUERZAS SISMICAS.....	27
III.6.- POSICION DEL CORTANTE.....	28
III.7.- RIGIDEZ EN LOS MUROS.....	29
III.8.- CENTRO DE RIGIDEZ.....	31
III.9.- CORTANTE ULTIMO.....	33
III.10.- CORTANTE RESISTENTE.....	37

<b>IV.- LA DENSIDAD DE MURO EN EL COMPORTAMIENTO SISMICO</b>	<b>40</b>
IV.1.- LA DENSIDAD Y EL NUMERO DE NIVELES.....	40
IV.2.- RELACION ENTRE LAS FUERZAS CORTANTE Y RESISTENTE.....	50
IV.3.- RELACION $V_r/V_u$ COMO PARAMETRO DE EFICIENCIA.....	53
IV.4.- NORMALIZACION DE LOS RESULTADOS POR EL NUMERO DE NIVELES.....	63
IV.5.- OBTENCION DE GRAFICAS FINALES.....	68
<b>V.- APLICACION DE RESULTADOS</b>	<b>75</b>
V.1.- OBTENCION DEL AREA DE MURO A PARTIR DE LA RELACION DE COR- TANTES $\phi/N$ .....	75
V.2.- EJEMPLOS DE APLICACION.....	80
<b>VI.- CONCLUSIONES</b>	<b>95</b>
<b>ANEXOS</b>	<b>A</b>
ANEXO 1.- DATOS Y RESULTADOS DEL ANALISIS SISMICO DEL PROYECTO 15 REALIZADOS CON EL PROGRAMA ANEMGC.....	A1
ANEXO 2.- DISTRIBUCION DE MUROS EN PLANTA DE TODOS LOS PROYECTOS.....	A2
ANEXO 3.- DATOS SISMICOS DE TODOS LOS PROYECTOS EN CADA UNA DE LAS CONDICIONES DE ANALISIS.....	A3
ANEXO 4.- RECOMENDACIONES SOBRE ESTRUCTURACION EN EDIFICIOS DE MAMPOSTERIA.....	A4
<b>BIBLIOGRAFIA</b>	<b>B</b>



## INTRODUCCION

En las tres últimas décadas, el comportamiento sísmico de edificios ha recibido especial atención. Los estudios en este campo se han enfocado principalmente al comportamiento de estructuras de concreto y de acero, y se ha prestado menor atención a los edificios de muros de carga de mampostería, que es el sistema estructural de la mayoría de las construcciones de pocos pisos, usado principalmente para vivienda.

La mampostería tiende a entrar en desuso en los países industrializados debido a que se requiere el uso intensivo de mano de obra, lo que la hace poco competitiva con otros materiales, sin embargo, sigue teniendo amplio campo de aplicación en muchos países como el nuestro, cada vez más en relación con las piezas de tipo industrializado y de mejores propiedades estructurales.

Demasiadas estructuras se han dañado por sismos pasados. Por ejemplo, en los sismos de San Francisco, en Estados Unidos (1906), Kanto, Japón en (1923), y la bahía de Hawke en Nueva Zelanda (1931), muchas estructuras de mampostería sufrieron daños y se reveló la inferioridad de los edificios convencionales de mampostería como estructuras resistentes a sismos. En el sismo de Skopje en Yugoslavia en 1963, de 50,000 estructuras, el 10 % se demumbó por completo y el 37 % se dañó seriamente y fue demolido, siendo la mayoría en ambos casos, estructuras de cuatro a cinco pisos de mampostería o de mampostería mezclada con concreto reforzado.

Con ejemplos como estos se pudo ver que los daños causados por sismos intensos en construcciones de mampostería fueron con frecuencia muy severos por lo que era común que el desempeño de estas construcciones se comparara desfavorablemente con el de estructuras de acero y de concreto. Sin embargo, la mayoría de las fallas se presentaron en construcciones de mampostería que no fueron objeto de un diseño estructural y que adolecían de defectos obvios de estructuración, de construcción y de calidad de materiales.

Actualmente, si bien es cierto que la mampostería es considerada como un material de baja resistencia a tensión, de comportamiento frágil, y particularmente sensible a los efectos sísmicos, también está demostrado que con refuerzo y confinamiento adecuados se pueden superar estos inconvenientes y proyectar estructuras sismoresistentes, especialmente aprovechando la alta densidad de muros que se tienen en construcciones a base de muros de carga de este material.

El número de estructuras de mampostería existentes en la ciudad de México es muy elevado y continúa utilizándose como material de construcción, principalmente en casas habitación y en gran parte de los edificios de poca altura, aunque también existen ejemplos de construcciones de 15 ó más pisos con muros de mampostería de piezas de alta resistencia con grandes cantidades de refuerzo.

Analizando de manera general la situación presentada en 1985, la estadística relativa al sistema estructural revela principalmente la muy baja incidencia de falla en construcciones a base de muros de mampostería, que son ciertamente las construcciones más abundantes, y que por su adecuada reglamentación se hizo posible que la cantidad de daños fuera prácticamente nulo.

Se considera que la presencia de una alta densidad de muros fue en la mayoría de los casos benéfica y evitó el colapso de un gran número de edificios en la zona afectada. Esto ocurrió cuando dichos muros estaban colocados en forma simétrica y regular en todos los pisos, ya que absorbieron una porción mayoritaria de las cargas laterales debidas al sismo y en el caso de edificios, protegieron a las columnas de su posible falla. Aún cuando ésto dio lugar en muchos casos a un agrietamiento diagonal de los muros mismos, éstos siguieron contribuyendo a la resistencia y ayudaron a disipar la energía inducida por el sismo.

En un estudio realizado para el sismo del 85 en ocho estructuras de mampostería que se eligieron como muestra, se concluyó que aquellas que tenían una densidad de muros mayor ó igual a 30 cm por m<sup>2</sup> de piso, no sufrieron daños o presentaron agrietamientos menores. En

estas estructuras el espesor de los muros era de 12 cm.

Así también, después de los terremotos de 1967 en Caldirán y de 1977 en Palú, en Turquía, se determinó el daño en cinco edificios con muros de cortante de mampostería y se comparó con su densidad de muros, y se encontró que edificios con densidades menores de  $25 \text{ cm/m}^2$  resultaron también severamente dañados; para este caso no se indicó cual fue el espesor de los muros.

Aparentemente la densidad de muros es un parámetro que se puede tomar en cuenta como indicativo para decidir la supervivencia de una estructura de mampostería después de un sismo intenso, sin embargo, si se analizan los casos mencionados en los párrafos anteriores, se tiene que aun cuando las densidades son muy similares, no existe la certeza para afirmar que por el hecho de tener cierto grado de densidad, no se presentarán problemas que involucren fallas considerables o el colapso de la estructura.

Es por ello que el objetivo primordial de este trabajo consiste en estudiar la densidad de muro, desde el punto de vista de la reglamentación existente, para evaluar la validez de considerarlo representativo de la resistencia que tendrá una estructura ante la acción de un sismo, además de poder optimizar su influencia para lograr una estructuración más eficiente considerando la topología de las construcciones de mampostería que se usan para vivienda en México.

## I. LA MAMPOSTERIA COMO MATERIAL DE CONSTRUCCION

### I.1 ANTECEDENTES

Los materiales pétreos de procedencia natural o artificial, fueron, junto con la madera, los primeros utilizados por el hombre en sus construcciones. Hasta el principio del siglo XX, la construcción de mampostería era el sistema estructural básico para edificios de mediana altura pero ha sido remplazado por nuevos materiales, como el concreto reforzado y el acero. Sin embargo, todavía se utiliza en áreas propensas a sismos porque es fácil de obtener, es económica y adecuada para el aislamiento y el acabado.

La variedad disponible en forma, color y textura, hace a la mampostería un material de construcción muy popular, como lo hace su amplia disponibilidad geográfica, y en algunos casos su comparativo bajo costo. Este material se caracteriza por tener resistencia y módulo de elasticidad en compresión relativamente altos y por una baja resistencia a tensión; la falla es de carácter frágil, tanto en compresión como en tensión, pero usado propiamente, también tiene una razonable resistencia a las fuerzas horizontales.

La mampostería incluye una amplia gama de tipos de materiales: pizarras, arcillas, esquistos, piedra y concreto; así como diversas formas constructivas, desde los bloques de piedra apilados sin ligarlos con mortero, en que la resistencia a las fuerzas laterales se proporciona tan sólo mediante la estabilidad debida a la gravedad y a la fricción, hasta los muros de mampostería cuidadosamente detallados y diseñados para responder de manera dúctil ante los sismos.

### I.2 MAMPOSTERIA SIN REFUERZO

En los materiales naturales (como la piedra y la madera) o en los de producción artesanal (como algunos ladrillos) la dispersión de las propiedades es relativamente alta debido al poco control

que puede ejercerse sobre las características de los materiales constitutivos y sobre el proceso de construcción que en general es esencialmente artesanal. La variación suele ser mayor en los materiales frágiles que en los dúctiles, ya que en los primeros puede bastar un defecto local para dar lugar a una falla, mientras que en los segundos existe redistribución de esfuerzos y los efectos de un defecto local se disuelven.

El aprovechamiento mejor de la mampostería para fines estructurales se tiene en elementos masivos que están sometidos esencialmente a esfuerzos de compresión como los muros y los arcos.

Los muros de carga de mampostería han constituido el sistema estructural clásico para edificios de varios niveles, sin embargo, tiene la limitación de que por su escasa resistencia a cortante y a tensión, se obliga a una alta densidad de muros con espesores considerables. Por ello este tipo de estructuración es aceptable sólo cuando el uso de la construcción implica la subdivisión del espacio en áreas pequeñas, como en edificios de vivienda y hospitales, ya que la distribución de áreas no puede modificarse con el tiempo, debido a que los muros tienen función estructural.

Desde el punto de vista estructural las ventajas básicas son, la transmisión de cargas verticales por fuerzas esencialmente axiales y la gran rigidez ante cargas laterales que se logra por la alta densidad de muros en ambas direcciones.

### **I.3 MAMPOSTERIA CON REFUERZO**

La mampostería reforzada consta de cuatro materiales independientes: unidades de ladrillo, mortero de relleno, mortero de liga, y refuerzo, los cuales se requiere que actúen en forma combinada. La tendencia a fallar en forma frágil es el problema central de la mampostería. Mientras que la mampostería sin refuerzo puede ser categóricamente catalogada como frágil, existen dudas sobre la capacidad de deformación que puede lograrse con la mampostería reforzada.

El refuerzo de los materiales pétreos permite eliminar la principal limitación estructural de la mampostería, que es su baja resistencia a esfuerzos de tensión. En general el refuerzo consiste en barras de acero integradas a la mampostería en las zonas y en la dirección en la que pueden aparecer tensiones. Debido a su dudosa ductilidad, la mampostería reforzada (así como la no reforzada), debe diseñarse y analizarse como un material elástico lineal.

Los ejemplos habituales de mampostería reforzada se muestran en la figura.1.1. En la primera, las varillas de refuerzo están colocadas entre dos capas de mampostería, y el espacio se rellena con concreto que contiene grava fina como agregado. En la segunda, se coloca un par de unidades huecas, se incluye el refuerzo vertical y horizontal y existe un mortero en los huecos, que también debe colocarse en los huecos verticales sin refuerzo.

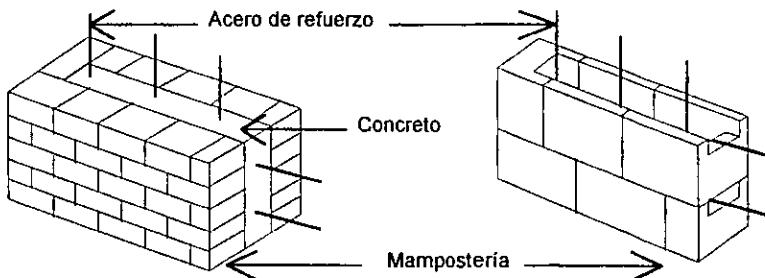


FIGURA 1.1. Formas de construcción de mampostería reforzada.

En la actualidad la construcción a base de muros de carga de mampostería se emplea usualmente para edificios hasta de cinco pisos.

## **I.4 RESISTENCIA Y MODOS DE FALLA**

### **I.4.1 COMPRESION**

Valores típicos del coeficiente de variación de resistencia en compresión de elementos de mampostería se encuentran entre 30 y 40 por ciento, aunque en los elementos de piezas fabricadas industrialmente y contruidos con mano de obra cuidadosa pueden lograrse valores sustancialmente menores. Por la elevada variación de las propiedades, los factores de seguridad fijados por las normas para el diseño de estructuras de mampostería son mayores que los que corresponden a los otros materiales estructurales.

Es difícil predecir las características en compresión de la mampostería en conjunto con base en sus materiales constitutivos, así como tampoco se pueden predecir fácilmente las propiedades del concreto a partir de las resistencias y módulos de elasticidad individuales del agregado y la pasta de cemento.

Las curvas esfuerzo-deformación unitarias de los prismas utilizados para este tipo de ensayos, tienden a ser intermedias entre las de los materiales constitutivos, como se ve en la figura 1.2. Los esfuerzos de aplastamiento exceden a los del mortero, que es la conexión más débil, y la porción descendiente de la curva es más plana y se prolonga más que la de las unidades de mampostería de ladrillo o de concreto. Los ensayos con prismas rellenos con mortero indican una modificación de la curva esfuerzo-deformación unitaria, alejándose del comportamiento frágil de la unidad.

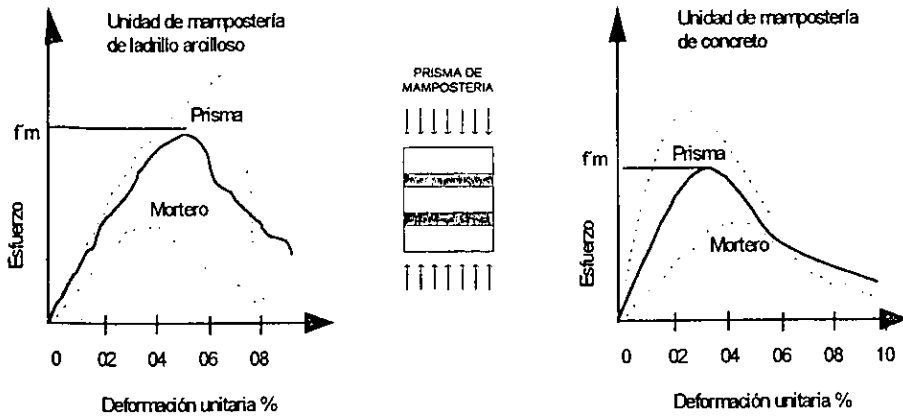


FIGURA 1.2. Curvas esfuerzo-deformación unitaria para prismas de mampostería

La falla bajo compresión monoaxial, casi siempre se inicia con un agrietamiento vertical de tensión en la unidad relativamente más resistente, en vez de un aplastamiento apreciable del mortero, como se aprecia en la figura 1.3. La falla podría ocurrir inmediatamente, de manera explosiva, debido a la reducción repentina del confinamiento lateral del mortero, o gradualmente formándose un mayor número de grietas verticales.

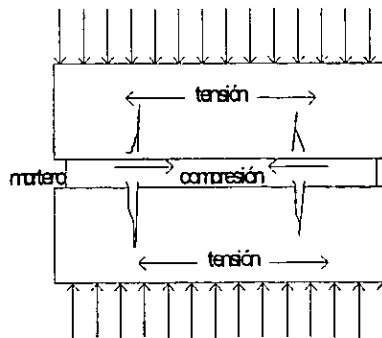


FIGURA 1.3. Agrietamiento por tensión en la unidad de mampostería.



La resistencia de la mampostería es menor que la mitad de la resistencia del elemento más fuerte y se incrementa con el aumento de la resistencia del mortero. Esto es debido a que el coeficiente de Poisson para el mortero de la junta se incrementa gradualmente cuando el esfuerzo de compresión se aproxima a la máxima resistencia (figura 1.4.). Esto desarrolla el esfuerzo de tensión en los elementos de mampostería y, a la larga, provoca agrietamientos.

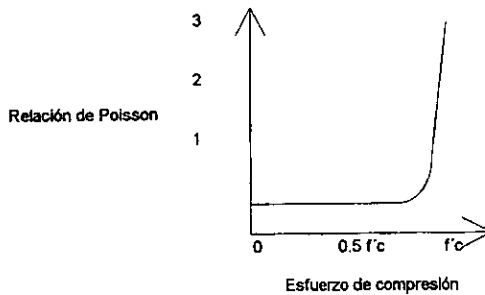


FIGURA 1.4. Variación de la relación de Poisson en el mortero con los esfuerzos de compresión.

Si el mortero pudiera deformarse con libertad, su deformación lateral, como resultado de la combinación de los efectos antes mencionados, excedería a la de la unidad de ladrillo o de concreto. La fricción y la compatibilidad de deformaciones obligan a que sean iguales tanto las deformaciones laterales en el mortero como en las piezas, induciendo un alto valor de compresión lateral en el mortero, y tensión lateral en la unidad de ladrillo, especialmente cerca de la capa de mortero.

#### 1.4.2 FLEXION

La falla por flexión tiene lugar en los muros de mampostería donde la relación altura/longitud es relativamente grande y el contenido del refuerzo vertical no lo es. El agrietamiento por flexión en

la mampostería ocurre principalmente a lo largo de las juntas de mortero, en forma de grietas uniformes. En la falla, la deformación en la fibra extrema en compresión alcanza aproximadamente 0.3 %, como es el caso de los miembros de concreto reforzado y el refuerzo de tensión fluye (figura 1.5.).

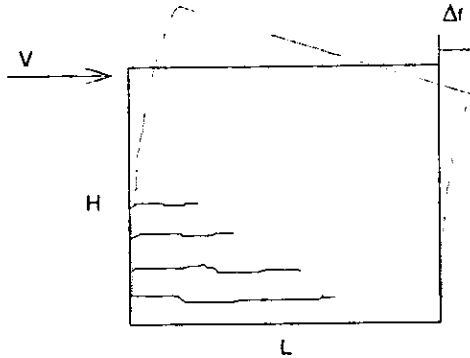


FIGURA 1.5. Agrietamiento y elástica de la deformación en un muro debidas a flexión.

La capacidad última a la flexión de los muros con porcentajes bajos de carga axial y refuerzo, es efectivamente independiente de la distribución del refuerzo vertical, siempre que se coloque simétricamente respecto al centroide del muro; cantidades grandes de acero dentro de áreas de mortero inyectado comparativamente pequeñas en los extremos del muro, crean problemas de adherencia y anclaje, y son difíciles de restringir contra el pandeo en compresión.

La distribución uniforme del refuerzo reduce estos problemas, y tiene la ventaja adicional de proporcionar una acción de sujeción a través de la junta de construcción en la base del muro, y de proporcionar una mayor absorción de energía para niveles bajos de las acciones sísmicas.

Para la capacidad a la flexión última del muro, la formación de grietas verticales en el extremo a compresión, tiene como resultado numerosos bloques verticales inestables, sujetos a

compresión y cortante elevados, y una gran reducción en la capacidad para transferir la fuerza cortante última a la cimentación.

Aun si no ocurre la falla en la punta de la base inmediatamente después de la formación de la grieta vertical, se pierde el soporte lateral del acero vertical cerca del extremo del muro, y el acero a compresión, podrá pandearse, desalojando la mampostería en la esquina inferior de dicho extremo como se muestra en la figura 1.6. Este comportamiento es una característica particular de los muros rellenos de mortero.

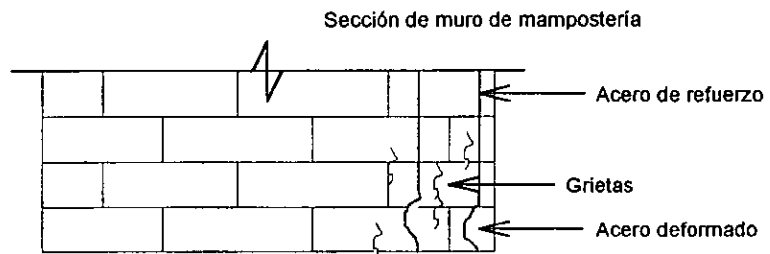


FIGURA 1.6. Pandeo del acero por la pérdida de soporte lateral ocasionado por agrietamiento.

### I.4.3 CORTANTE

Las zonas de contacto entre las piezas constituyen planos de debilidad para la transmisión de esfuerzos de tensión y de cortante. La falla por cortante en un muro es generada por un par de fuerzas originado al presentarse la fuerza sísmica en el extremo superior del muro a una altura  $h$  de su apoyo inferior y por otro par igual que reacciona a éste.

En la figura 1.7., analizando un elemento de muro que esta sujeto a los pares indicados se observa que al obtener la resultante de sus componentes se determinan las fuerzas de compresión y de tensión que actúan sobre el, visualizando que las deformaciones máximas se producen a  $45^\circ$ .

Las fallas por cortante en un muro son repentinas, y tienen como resultado una pérdida casi total de la capacidad para soportar la carga lateral. Después de la apertura de la grieta en tensión diagonal, la capacidad de carga lateral se reduce al 10 % de la inicial.

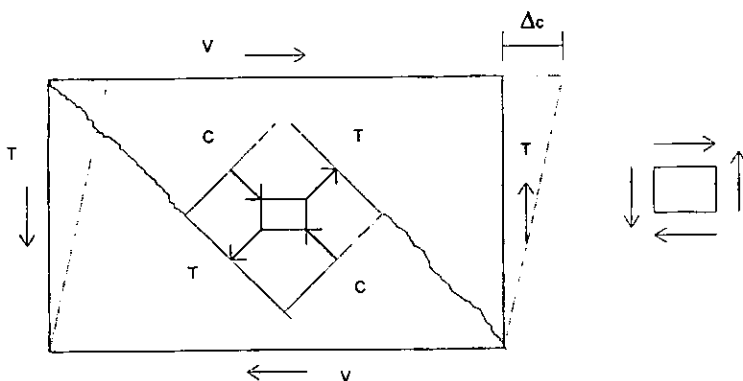


FIGURA 1.7. Elemento de muro sujeto a la acción de fuerzas cortantes.

Las grietas de contracción, la adherencia deficiente entre el mortero y la unidad de mampostería en las cabeceras, y la gran variabilidad de la mano de obra, común en la construcción de la mampostería, hacen que la capacidad al cortante de la mampostería no reforzada sea difícil de predecir y altamente desconfiable. Por tanto, la estructura se debe diseñar para que responda elásticamente a los sismos del diseño.

En la mampostería con refuerzo una vez que se ha iniciado el agrietamiento, la fuerza cortante tiende a desplazar horizontalmente la porción superior del muro, en vez de abrir la grieta perpendicular al plano de ésta. En estas condiciones el acero horizontal resiste la fuerza cortante mediante tensión directa, pero el acero vertical resiste la fuerza mediante acción de espiga, la cual sólo podrá generarse si ocurren desplazamientos horizontales sustanciales a través de la

grieta, como se muestra en la figura 1.8. En condiciones óptimas, la fuerza soportada mediante la acción de espiga será aproximadamente el 30 % de la soportada por el mismo acero colocado horizontalmente.

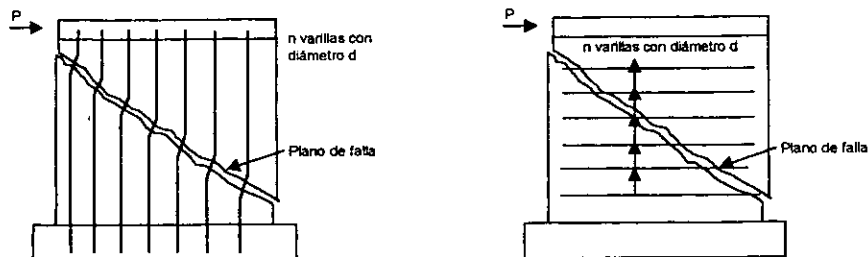


FIGURA 1.8. Eficacia relativa del acero vertical y horizontal para resistir cortante.

#### 1.4. 4 TENSION

La resistencia en tensión de la mampostería está regida generalmente por la falla de la adherencia entre el mortero y las piezas, por tanto, aunque deben evitarse piezas de resistencia muy baja y aquéllas en que la resistencia se deteriora con el tiempo, no se tienen beneficios particulares en emplear piezas de muy alta resistencia. Debe evitarse el empleo de piezas con altos porcentajes de huecos.

#### 1.5 EFECTOS SISMICOS EN ESTRUCTURAS DE MAMPOSTERIA

Es importante hacer notar que en la realidad, las fuerzas sísmicas son muy complejas debido a que el movimiento del suelo es errático y solo por casualidad la dirección principal del movimiento coincidirá con uno de los ejes.

Debido a que las fuerzas sísmicas pueden provenir de cualquier dirección, la aplicación de fuerzas perpendiculares a los ejes principales de muros, en general, reproduce los dos casos más desfavorables. Si el movimiento del suelo y sus fuerzas resultantes se presentan diagonalmente, entonces los muros dentro de esos dos ejes pueden participar en su resistencia y las fuerzas de cada uno se reducirán correspondientemente.

El mecanismo de falla de los muros que en un sismo están sometidos a una carga lateral repetitiva en su extremo superior y una carga vertical uniforme y permanente, se presenta por cortante en forma de grietas diagonales, que inicialmente se forman en el centro del muro y se prolongan hacia los extremos como se muestra en la figura 1.9.; en algunos casos continúan a los tableros de muros adyacentes y cuando las deformaciones son excesivas, debido a la repetición de las cargas alternas, las grietas penetran en la esquina formada por castillo y dala produciendo que la zona se destruya progresivamente. La grieta puede seguir una trayectoria por la unión del mortero y tabique o atravesar éste último; ello depende principalmente de la calidad de dichos materiales.

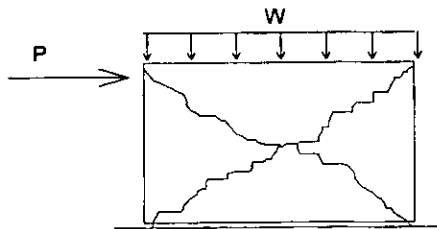


FIGURA 1.9. Grietas en el muro originadas por la falla a cortante.

Otro tipo de falla es la fractura de castillos; ésto se presenta principalmente en el confinamiento de muros fuertemente agrietados, debido a que la capacidad de resistencia del muro disminuye en el momento en que se forman las grietas diagonales y por tanto, los castillos son sometidos a una carga superior a la que pueden resistir. En los muros donde no existe confinamiento se

observan grietas verticales en la intersección con otro muro, por la falta de una liga adecuada entre éstos.

No existe una diferencia importante entre la resistencia al agrietamiento de un muro con refuerzo y la de uno que no lo tiene; sin embargo, la influencia del confinamiento está en el comportamiento postagrietamiento, produciendo que la falla del muro sea relativamente dúctil; además, trata de impedir la falla por tensión diagonal y reducir los efectos de pandeo.

Una mala distribución de muros hace que la estructura tenga una densidad de muros mucho mayor en una dirección, produciendo que bajo los efectos de un sismo, la dirección más débil de la estructura sufra mayores daños.

## II. METODOLOGIA DEL ESTUDIO

### II.1 DESCRIPCION

Se puede definir a la densidad de muros como un parámetro que indica el área de muros que se tiene, por cada metro cuadrado de área construida, aunque en algunos textos se refiere a ella como la longitud de muro por metro cuadrado de área, pero debido a que con estas unidades el espesor de muro no está bien definido se trabajó con las unidades asignadas en la primera definición ( $\text{cm}^2/\text{m}^2$ ). La densidad de muros es un parámetro que puede dar una idea de la cantidad de elementos resistentes con que cuenta la estructura, sin embargo, es necesario tomar en cuenta que no por tener una gran densidad como en las construcciones de épocas antiguas, se tendrá una resistencia suficiente y un buen comportamiento para soportar la acción de las fuerzas inducidas por un sismo.

Es por ello que en este estudio se plantea la idea de que la densidad de muros debe ser aquella que dé como resultado un proyecto eficiente, entendiendo por ello, a una estructura que cuenta con la densidad de muros óptima para las condiciones en que se proyectó, garantizando un buen comportamiento ante el sismo de diseño.

Para conocer la relación entre la densidad de muros y la eficiencia de una estructura, se tomó la hipótesis de que la eficiencia es proporcional a la cantidad de niveles que puede aceptar, por lo que para llevar a cabo el estudio se revisaron algunos proyectos tipo de vivienda bajo efectos de sismo, en los que se evaluó su resistencia mediante el programa estructural denominado ANEMGC, que es de amplia aplicación en el medio y aquellas estructuras que alcanzaron un mayor número de niveles sin presentar alguna falla por cortante, se les consideró como poseedoras de una buena estructuración y a partir de ello, se evaluó la manera en que la densidad de muros influye en su comportamiento.

El número de proyectos diferentes que se analizaron fueron 15 y cada uno de ellos se



ESTUDIO PARAMETRICO DE LA INFLUENCIA DE LA DENSIDAD DE MUROS  
EN EL COMPORTAMIENTO SISMICO DE ESTRUCTURAS DE MAMPOSTERIA.

---

evaluó en 12 condiciones distintas, teniendo en consecuencia un total de 180 análisis, por lo que se consideró que con el tamaño de esta muestra, se puede estar en posibilidades de obtener resultados representativos para cumplir con el objetivo.

Las diferentes condiciones de análisis surgen de considerar la resistencia de la mampostería con diferentes valores, tanto en compresión como en cortante para observar la variación de resultados debida a la diferencia en la rigidez de cada estructura; de igual manera las zonas en que se clasifica el suelo del Valle de México y la modalidad del tipo de refuerzo en la mampostería también se variaron para comparar su comportamiento.

Los valores asignados de resistencia en la mampostería son los siguientes:

COMPRESION (Kg/cm <sup>2</sup> )	CORTANTE (Kg/cm <sup>2</sup> )
100	8.0
80	5.5
60	3.0

La modalidad de refuerzo en la mampostería considera si los muros son o no reforzados, en cuyo caso el valor del coeficiente de ductilidad,  $Q$ , es de 1.5 y 1.0 respectivamente; el coeficiente de ductilidad es un parámetro que surge de considerar que si un sistema elastoplástico, como lo son la mayoría de los materiales y sistemas estructurales, es capaz de desarrollar un determinado factor de ductilidad durante un sismo, puede diseñarse para que tenga una resistencia a carga lateral reduciendo la ordenada espectral de un sistema elástico dividiendola entre ese factor de ductilidad.

El valor de 1 asignado a la mampostería no reforzada obedece a que este material no desarrolla ductilidad alguna, por lo que el diseño es totalmente con un comportamiento elástico sin ninguna reducción. En el caso de la mampostería reforzada la presencia de este refuerzo le da un comportamiento ligeramente más dúctil, por lo que al momento de

comparar los espectros de comportamiento elástico y elastoplástico la ordenada se reduce, teniendo como resultado de la relación de las ordenadas entre ambos comportamientos el valor de 1.5.

El factor de reducción de resistencia,  $F_r$ , vale en cada caso 0.7 y 0.4, siendo más conservador el correspondiente a la mampostería sin refuerzo por su comportamiento categóricamente frágil. Cuando el tipo de mampostería fue reforzada, el cortante resistente se incrementó en un 25% debido a la presencia del refuerzo horizontal, como se establece en las Normas Técnicas Complementarias del Reglamento de Construcciones del Distrito Federal vigentes a la fecha.

Una vez que se tienen los datos referentes a las condiciones en que se evalúa el proyecto, se propuso un número alto de niveles de la estructura para iniciar el análisis con el programa. Al término del proceso se obtuvieron los cortantes que actuarían en cada muro, así como su cortante resistente y al revisarlos se identificaron los muros críticos, los cuales se entienden como aquellos que absorben una mayor fuerza de la que pueden resistir, provocando en consecuencia la falla del muro.

En estos casos el análisis se hizo nuevamente disminuyendo el número de niveles propuesto, hasta cumplir que para los muros críticos el cortante resistente y el cortante último fueran lo más cercanos posibles sin que ocurra alguna falla. Como caso especial se consideró que el cortante último podría ser mayor al resistente en un 3% como máximo, tomando en cuenta que esta diferencia se distribuye en los muros adyacentes, pero cualquier porcentaje mayor involucra necesariamente una disminución en el número de niveles.

En los casos en que con el número de niveles propuesto, en ninguno de los muros se presentó alguna falla, el análisis se hizo nuevamente aumentando los niveles para identificar los muros críticos y posteriormente se ajustó al número ideal para cumplir las condiciones del estudio.

La dirección en que se ubican los muros críticos, también es crítica y de ella depende el número de niveles de la estructura, por lo que en los resultados obtenidos de dicha dirección, se basan los análisis realizados posteriormente, descartando lo obtenido para la otra dirección.

En todos los análisis se hicieron las siguientes consideraciones:

- 1) Los proyectos en los que el sistema de piso fue de vigueta y bovedilla la repartición de cargas se hizo de acuerdo a lo indicado en el proyecto original y en los que se utilizó losa maciza la distribución se determinó siguiendo el procedimiento de áreas tributarias.
- 2) En los casos en los que el proyecto no indicaba las cargas, se recurrió a lo establecido en el Reglamento de Construcciones del Distrito Federal vigente.
- 3) Se mantuvo el mismo espesor en los muros y en toda la altura.
- 4) Se supuso que se cumplen los requerimientos de acero por flexión en todos los proyectos.
- 5) En todos los casos se mantuvo constante la altura del muro y del entrepiso, y se consideró que el uso de todas las estructuras es el habitacional.
- 6) Todos los muros son continuos desde el primero hasta el último nivel de la estructura.
- 7) En el análisis sísmico solo se tomó en cuenta la revisión ante carga lateral, haciendo caso omiso a los resultados de la revisión ante carga vertical y momento de volteo.

Como validación del programa utilizado, en el capítulo 3 se desarrolla paso a paso un proyecto tipo para ejemplificar la metodología aceptada por el reglamento, comparando en cada punto los resultados obtenidos con los del programa ANEMGC en el análisis sísmico.

## **II.2 DATOS PRELIMINARES**

A continuación se presentan los datos requeridos por el programa para iniciar el análisis y en el anexo 1 se encuentra la distribución de muros en planta del proyecto que se utiliza

para el ejemplo.

**II.2.1 MARCO DE REFERENCIA GLOBAL.** Se trazan los ejes coordenados que servirán de referencia para ubicar cualquier punto de la estructura.

**II.2.2 OBTENCION DEL CENTRO GEOMETRICO.** Este punto se obtiene a partir de la forma geométrica que tenga la estructura en planta, con las ecuaciones siguientes:

$$X = (\sum AY) / (\sum A)$$

$$Y = (\sum AX) / (\sum A)$$

donde  $\sum AX$ ,  $\sum AY$ , es la suma del producto del área considerada por la distancia de su centroide al eje de referencia o momento estático según la dirección de que se trate y  $\sum A$  es la suma total del área.

**II.2.3 NUMERACION DE MUROS-** Como su nombre lo indica se enumeran los muros tratando de llevar una secuencia lógica según su ubicación.

**II.2.4 BAJADA DE CARGAS.** Se determina la cantidad de área que es proporcional a cada muro para soportar su carga y depende de como la distribuye el sistema de piso.

**II.2.5 OBTENCION DE LA LONGITUD DE CADA MURO Y DE SU CENTRO DE GRAVEDAD.** Se determinan la longitud y las coordenadas del centro de gravedad de los muros con respecto al sistema de referencia.

**II.2.6 AREA DE ACERO Y DISTANCIA CENTRO DE GRAVEDAD-BORDE.** Aquí se propone el área de acero en el extremo del muro y su distancia al borde del mismo. En este último punto el área de acero propuesta es cualquier valor ya que para los fines de este estudio, solo se toma en cuenta para diferenciar cuando es o no reforzado.

ESTUDIO PARAMETRICO DE LA INFLUENCIA DE LA DENSIDAD DE MUROS  
EN EL COMPORTAMIENTO SISMICO DE ESTRUCTURAS DE MAMPOSTERIA.

---

De acuerdo con lo anterior se llenan las carátulas que se muestran en el anexo 1 pertenecientes al programa y mediante las cuales se introducen los datos para el análisis.

### III. ANALISIS SISMICO

El análisis sísmico se realizó de acuerdo a lo establecido en el método estático de las Normas Técnicas Complementarias, considerando el periodo de vibración de la estructura para reducir el cortante sísmico.

En las condiciones establecidas para el caso particular del ejemplo, se consideró que el edificio se encuentra ubicado en la zona II, según el tipo de suelo, con una resistencia de la mampostería a compresión de 100 Kg/cm<sup>2</sup> y de 8 Kg/cm<sup>2</sup> a cortante, y que esta reforzada interiormente. Los resultados completos del programa se encuentran en el anexo 1.

**III.1 PESO DEL EDIFICIO.** De acuerdo al reglamento y uso del edificio, para el análisis sísmico se utilizó una carga viva de 90 Kg/m<sup>2</sup> para los entresijos y de 70 Kg/m<sup>2</sup> para la azotea; la carga muerta es de 310 Kg/m<sup>2</sup> y el área de planta es de 108 m<sup>2</sup>. Para calcular el peso de los muros, en las carátulas del anexo 1 se indican tanto su altura, espesor y longitud, como el peso volumétrico de la mampostería; la longitud total de los muros es de 59.34 m.

Tomando en cuenta las cargas anteriores y la contribución de los muros, el peso total de la estructura y por nivel se muestra en la figura 3.1.

ANEMGC	EJEMPLO
W5 - 52.21 Ton.	W5 - 51.41 Ton.
W4 - 65.55 Ton.	W4 - 64.13 Ton.
W3 - 65.55 Ton.	W3 - 64.13 Ton.
W2 - 65.55 Ton.	W2 - 64.13 Ton.
W1 - 65.09 Ton.	W1 - 63.70 Ton.
Wtot = 313.94 Ton.	Wtot = 307.50 Ton.

FIGURA 3.1. Peso total y por nivel de la estructura.

**III.2 PERIODO DE LA ESTRUCTURA.** El Reglamento de Construcciones del Distrito Federal establece en las Normas Técnicas Complementarias de diseño por sismo vigentes, que si el periodo de la estructura se encuentra fuera del rango señalado entre  $T_a$  y  $T_b$ , se puede hacer una reducción de las fuerzas sísmicas, por lo que es necesario conocer el periodo de la estructura.

Para zona II los valores de  $T_a$  y  $T_b$  son:

$$T_a = 0.3$$

$$T_b = 1.5$$

El periodo de la estructura se calcula con la expresión que a continuación se presenta:

$$T = 6.3 (\sum W_i x_i^2 / g \sum P_i x_i)^{1/2}$$

donde  $W_i$  es el peso de la masa  $i$ ,  $P_i$  la fuerza horizontal que actúa sobre ella,  $x_i$  es el desplazamiento correspondiente en la dirección de la fuerza, y  $g$  la aceleración de la gravedad. En la tabla 3.1. se presentan los valores utilizados para calcular el periodo de la estructura.

TABLA 3.1. Valores para el cálculo del periodo de la estructura.

Dirección X	Nivel	$W_i$ (ton)	$P_i$ (ton)	$V_i$ (ton)	$K_i$ (ton/m)	$V_i/K_i$ (m)	$X_i$ (m)	$W_i X_i^2$ (ton-m <sup>2</sup> )	$P_i X_i$ (ton-m)
	5	51.41	18.85	18.85	46911	0.000401824	0.004868723	0.001218646	0.091775428
	4	64.13	18.78	37.63	46911	0.000802157	0.004466899	0.001279597	0.083888363
	3	64.13	14.04	51.67	46911	0.001101447	0.003664742	0.000861287	0.051452977
	2	64.13	9.30	60.97	46911	0.001299695	0.002563295	0.000421364	0.023838643
	1	63.70	4.53	65.50	51838	0.001263600	0.001263600	0.000101708	0.005724108
	$\Sigma$	---	---	---	---	---	---	0.003882602	0.256679521

ESTUDIO PARAMETRICO DE LA INFLUENCIA DE LA DENSIDAD DE MUROS  
EN EL COMPORTAMIENTO SISMICO DE ESTRUCTURAS DE MAMPOSTERIA.

Dirección Y	Nivel	Wi	Piy	Viy	Kiy	Viy/Kiy	Xiy	WiXiy <sup>2</sup>	PiYiy
		(ton)	(ton)	(ton)	(ton/m)	(m)	(m)	(ton-m <sup>2</sup> )	(ton-m)
	5	51.41	18.85	18.85	267361	0.000070503	0.000863026	0.000038290	0.01626804
	4	64.13	18.78	37.63	267361	0.000140746	0.000792523	0.000040279	0.01488358
	3	64.13	14.04	51.67	267361	0.000193259	0.000651777	0.000027243	0.00915094
	2	64.13	9.30	60.97	267361	0.000228043	0.000458518	0.000013482	0.00426421
	1	63.70	4.53	65.50	284195	0.000230475	0.000230475	0.000003383	0.00104405
	Σ	---	---	---	---	---	---	0.000122677	0.04561082

El procedimiento para obtener las fuerzas cortantes en cada entrepiso se detalla más adelante en la sección 3.5. con la diferencia que en esta sección el coeficiente sísmico utilizado correspondiente a la zona II solo contempla la reducción debida al coeficiente de ductilidad Q.

$$c = 0.32/1.5 = 0.213$$

Sustituyendo los valores en la ecuación del periodo se obtiene:

$$\text{Ejemplo: } T_x = 0.24738, T_y = 0.10431$$

$$\text{ANEMGC: } T_x = 0.24985, T_y = 0.10536$$

De acuerdo con los resultados, el valor de  $T_x$  está fuera del intervalo señalado por lo que se puede hacer dicha reducción. Aquí es importante hacer notar la diferencia de más del doble en los periodos, lo cual da a entender que una dirección, en este caso la X, es menos rígida y seguramente menos resistente por tener menor cantidad de muro en esa dirección tal como se puede ver en la planta del proyecto en el anexo 1.

**III.3 COEFICIENTE SISMICO.** Los coeficientes sísmicos que se utilizan son los establecidos en el Reglamento de Construcciones del Distrito Federal vigente de acuerdo a la zona de que se trate, siendo posible reducirlos al obtener la ordenada del espectro de aceleraciones  $a$ , con la siguiente expresión:

$$a = (1+3T/T_a)c/4, \text{ si } T \text{ es menor que } T_a$$



donde  $c$  es el coeficiente sísmico para la zona II cuyo valor es 0.32, y los valores de  $T$  y  $T_a$  están dados en el punto 3.2.

$$a_x = (1+3(0.24738)/0.3)0.32/4$$

$$a_x = 0.277$$

$$a_y = (1+3(0.10431)/0.3)0.32/4$$

$$a_y = 0.163$$

$$\text{ANEMGC : } a_x = 0.280, a_y = 0.164$$

La reducción de las fuerzas sísmicas se calcula mediante la determinación del factor reductivo  $Q'$  si se satisfacen las condiciones de regularidad establecidas en la sección 6 de las Normas Técnicas Complementarias, el cual se obtiene como se indica a continuación :

$$Q' = 1 + (T/T_a)(Q-1), \text{ si } T \text{ es menor que } T_a$$

donde  $Q$  es el factor de comportamiento sísmico que para éste tipo de material y refuerzo vale 1.5.

$$Q'_x = 1 + (0.24738/0.3)(1.5-1)$$

$$Q'_x = 1.4123$$

$$Q'_y = 1 + (0.10431/0.3)(1.5-1)$$

$$Q'_y = 1.1738$$

$$\text{ANEMGC : } Q'_x = 1.42, Q'_y = 1.18$$

Con lo que el coeficiente sísmico  $c = a/Q'$  queda como sigue:

$$c_x = 0.277/1.4123$$

$$c_x = 0.19613$$

$$c_y = 0.163/1.1738$$

$$c_y = 0.13886$$

$$ANEMGC : c_x = 0.197, c_y = 0.138$$

Si comparamos estos valores con el coeficiente sísmico original, se ve que hay una gran diferencia para la dirección Y, la más rígida, mientras que en la dirección X la diferencia es menor.

**III.4 CENTRO DE CARGAS.** Este punto es el lugar donde se aplica la resultante de todas las cargas que soporta la estructura, cuyas coordenadas se obtienen a partir de las siguientes expresiones:

$$X = \frac{\sum wx}{\sum W}$$

$$Y = \frac{\sum wy}{\sum W}$$

donde  $w$  es la carga que baja por el muro en la dirección indicada,  $x$  e  $y$  son las coordenadas del centro de gravedad del muro y  $W$  es el peso total de los muros en esa dirección; en la tabla 3.3. , se presentan los datos para el cálculo del centro de cargas en el último nivel de este ejemplo, siendo el mismo procedimiento para los demás niveles tomando en cuenta la carga de los niveles ubicados por encima del que se está calculando.

Según la tabla, las coordenadas del centro de cargas en el quinto nivel son:

$$X = 246240 / 41040 = 6.00 \text{ m}$$

$$Y = 165360.80 / 41040 = 4.02 \text{ m}$$

En la tabla 3.2. se presentan las coordenadas calculadas en todos los niveles.

**ESTUDIO PARAMETRICO DE LA INFLUENCIA DE LA DENSIDAD DE MUROS  
EN EL COMPORTAMIENTO SISMICO DE ESTRUCTURAS DE MAMPOSTERIA.**

TABLA 3.2. Posición del centro de cargas

NIVEL	X	Y
5	6.00	4.02
4	6.00	4.09
3	6.00	4.12
2	6.00	4.12
1	6.00	4.12

TABLA 3.3. Valores para calculo del centro de cargas en el quinto nivel.

MURO	LONG	AREA TRIBUTARIA (m <sup>2</sup> )	ANGULO EJE X	CENTRO DE		PESO TRIB INCLUIDO MURO (kg)	MOMENTO ESTATICO RESP X (W*Y)	MOMENTO ESTATICO RESP Y (W*X)
				GRAVEDAD				
				X	Y			
1	1.50	1.00	0	2.25	0.00	380.00	0.00	855.00
2	1.50	1.00	0	9.75	0.00	380.00	0.00	3705.00
3	0.67	1.00	0	4.33	1.00	380.00	380.00	1645.40
4	0.67	1.00	0	7.67	1.00	380.00	380.00	2914.60
5	2.00	1.00	0	1.00	3.67	380.00	1394.60	380.00
6	2.00	1.00	0	11.00	3.67	380.00	1394.60	4180.00
7	1.00	0.50	0	4.50	5.33	190.00	1012.70	855.00
8	1.00	0.50	0	7.50	5.33	190.00	1012.70	1425.00
9	1.50	1.00	0	2.25	7.33	380.00	2785.40	855.00
10	1.50	1.00	0	4.25	8.00	380.00	3040.00	1615.00
11	1.50	1.00	0	7.75	8.00	380.00	3040.00	2945.00
12	1.50	1.00	0	9.75	7.33	380.00	2785.40	3705.00
13	7.33	11.00	90	0.00	3.67	4180.00	15340.60	0.00
14	1.33	0.50	90	2.00	3.67	190.00	697.30	380.00
15	3.00	12.00	90	3.00	1.50	4560.00	6840.00	13680.00
16	3.67	12.00	90	3.00	6.17	4560.00	28135.20	13680.00
17	2.67	1.00	90	4.33	6.67	380.00	2534.60	1645.40
18	7.00	24.00	90	6.00	4.50	9120.00	41040.00	54720.00
19	2.67	1.00	90	7.67	6.67	380.00	2534.60	2914.60
20	3.67	12.00	90	9.00	6.17	4560.00	28135.20	41040.00
21	3.00	12.00	90	9.00	1.50	4560.00	6840.00	41040.00
22	1.33	0.50	90	10.00	3.67	190.00	697.30	1900.00
23	7.33	11.00	90	12.00	3.67	4180.00	15340.60	50160.00
SUMA	—	—	—	—	—	41040	165360.80	246240.00

**III.5 FUERZAS SISMICAS.** Para calcularlas se supone que las fuerzas cortantes actúan sobre cada uno de los puntos donde se encuentran concentradas las masas. Su valor sera igual al peso de la misma por un coeficiente proporcional a su altura sobre el desplante y se calcula con la expresión:

$$F = (w_i h_i / \sum w_i h_i) c W$$

donde  $w_i$  es el peso de cada nivel,  $h_i$  es la altura a la que se encuentra el nivel,  $c$  es el coeficiente sísmico y  $W$  es el peso total del edificio. Para este caso se utiliza el coeficiente sísmico correspondiente a la dirección crítica y los valores calculados se presentan en la tabla 3.4.

**III.6 POSICION DEL CENTRO DE CORTANTE.** Es el punto donde actúa la fuerza cortante en cada nivel, y sus coordenadas se obtienen como sigue:

$$\bar{X} = \sum (F_{iy} X) / V_{iy}$$

$$\bar{Y} = \sum (F_{ix} Y) / V_{ix}$$

donde  $F_i$  es la fuerza sísmica del nivel  $i$  en la dirección indicada,  $X$  e  $Y$  son las coordenadas del centro de cargas y  $V_i$  es el cortante de entrepiso en la dirección considerada. Los valores obtenidos en el ejemplo y por ANEMGC, se resumen en la tabla 3.4. a) y b) respectivamente, y la distribución de los cortantes de entrepiso se indican en la figura 3.2.

TABLA 3.4. Fuerzas sísmicas y posición del centro de cortante obtenido en el ejemplo y por Anemgc.

a).- EJEMPLO

NIV	ALTURA $h_i$ (m)	PESO $W_i$ (Ton)	$W_i h_i$	$F_{ix}$ (Ton)	$V_{ix}$ (Ton)	$F_{iy}$ (Ton)	$V_{iy}$ (Ton)	CENTRO DE GRAVEDAD		$F_{ix} Y$	$\sum (F_{ix} Y)$	$F_{iy} X$	$\sum (F_{iy} X)$	POSICION DEL CORTANTE	
								X	Y					X	Y
5	13.15	51.41	676.04	17.45	17.45	12.30	12.30	6.00	4.02	70.16	70.16	73.81	73.81	6.00	4.02
4	10.50	64.13	673.37	17.38	34.84	12.25	24.55	6.00	4.09	71.10	141.25	73.51	147.32	6.00	4.09
3	7.85	64.13	503.42	13.00	47.83	9.16	33.71	6.00	4.12	53.54	194.80	54.96	202.28	6.00	4.12
2	5.20	64.13	333.48	8.61	56.44	6.07	39.78	6.00	4.12	35.47	230.26	36.41	238.68	6.00	4.12
1	2.55	63.70	162.44	4.19	60.63	2.96	42.74	6.00	4.12	17.28	247.54	17.73	256.42	6.00	4.12
$\Sigma$	—	307.50	2348.74	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

b).- ANEMGC

Nivel	Fuerza Cortante		Centro de Cortantes	
	Fx (Ton)	Fy (Ton)	X	Y
5	17.78	12.57	6.00	3.79
4	35.59	25.17	6.00	3.83
3	48.91	34.59	6.00	3.84
2	57.74	40.83	6.00	3.85
1	62.03	43.87	6.00	3.85

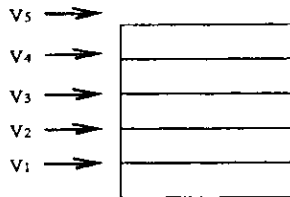


FIG. 3.2. Cortantes de entrespaño

**III.7 RIGIDEZ EN LOS MUROS.** Para calcular este valor en primer lugar se considera que en la rigidez de un muro intervienen deformaciones por cortante y por flexión, con lo que el desplazamiento máximo queda definido por la suma de las dos componentes:

$$\Delta = (VH^3)/3EI + (VH/GA) \quad \text{Ecuación 3.1}$$

donde V es la fuerza lateral aplicada, H es la altura del muro, A es el área de la sección transversal e I es su momento de inercia. E y G son los módulos de elasticidad y de cortante. Según las Normas Técnicas de diseño de estructuras de mampostería G debe tomarse como 0.3E y para obtener E, se considera que:

$$E = 600f^*m \text{ para fuerzas de corta duración}$$

$$E = 350f^*m \text{ para fuerzas de larga duración}$$

El momento de inercia se calcula considerando la sección transversal del muro con la siguiente expresión :

$$I = bh^3/12$$

donde b es el espesor del muro y h es la longitud del mismo.

La rigidez de un muro esta definida por :

$$K = V/\Delta \quad \text{Ecuación 3.2}$$

Si en la ecuación 3.2. , se sustituye el valor de  $\Delta$  dado en la ecuación 3.1. y haciendo las simplificaciones necesarias, se obtiene la expresión para calcular la rigidez, que en otras palabras, es la fuerza necesaria para generar un desplazamiento unitario en un elemento con esas características.

$$K = 1/((H^3/3EI) + (H/GA)) \quad \text{Ecuación 3.3}$$

Para calcular el valor de E, tomamos de los datos preliminares, el valor de la resistencia a compresión de la mampostería ( $100 \text{ Kg/cm}^2$ ), con lo que el módulo de elasticidad y de cortante valen:

$$E = 600(100) = 60\,000 \text{ Kg/cm}^2$$
$$G = 0.3(60\,000) = 18\,000 \text{ Kg/cm}^2$$

A continuación en la tabla 3.5., se dan los valores de la rigidez, obtenidos por el programa ANEMGC, y los calculados con la ecuación 3.3., correspondientes a los muros de los niveles superiores, en los que la altura de muro considerada fue de 2.45 m. Se hace mención de que para la planta baja se tiene una altura menor, y como consecuencia la rigidez de los muros ubicados en este nivel es distinta.

**ESTUDIO PARAMETRICO DE LA INFLUENCIA DE LA DENSIDAD DE MUROS  
EN EL COMPORTAMIENTO SISMICO DE ESTRUCTURAS DE MAMPOSTERIA.**

**TABLA 3.5. Comparativo de rigidez ANEMGC-Ecuación 3.1**

Muro	Longitud (m)	Area (cm <sup>2</sup> )	Momento de Inercia (cm <sup>4</sup> )	Rigidez	
				K-1 calculado	K-2 anemgc
				(Ton/m)	(Ton/m)
1	1,50	1800	3375000	3148	3148
2	1,50	1800	3375000	3148	3148
3	0,67	804	300763	347	347
4	0,67	804	300763	347	347
5	2,00	2400	8000000	12591	12591
6	2,00	2400	8000000	12591	12591
7	1,00	1200	1000000	1075	1075
8	1,00	1200	1000000	1075	1075
9	1,50	1800	3375000	3148	3148
10	1,50	1800	3375000	3148	3148
11	1,50	1800	3375000	3148	3148
12	1,50	1800	3375000	3148	3148
13	7,33	8796	393832837	56984	56984
14	1,33	1596	2352637	2312	2312
15	3,00	3600	27000000	14691	14691
16	3,67	4404	49430863	21082	21082
17	2,67	3204	19034163	11709	11709
18	7,00	8400	343000000	53805	53805
19	2,67	3204	19034163	11709	11709
20	3,67	4404	49430863	21082	21082
21	3,00	3600	27000000	14691	14691
22	1,33	1596	2352637	2312	2312
23	7,33	8796	393832837	56984	56984

**III.8 CENTRO DE RIGIDEZ.** También conocido como centro de torsión, es el punto por donde debe pasar la línea de acción de la fuerza cortante sísmica para que el movimiento relativo de los dos niveles que limitan el entrepiso sea exclusivamente de traslación y se obtiene con las siguientes expresiones:

$$\underline{X} = (\sum Ri y) / \sum Ri$$

$$\underline{Y} = (\sum Ri x) / \sum Ri$$

donde Ri es la rigidez del muro i en la dirección indicada, y X e Y son las coordenadas del centro de gravedad del muro. Los resultados completos de estos dos últimos puntos se muestran en la tabla 3.6.

ESTUDIO PARAMETRICO DE LA INFLUENCIA DE LA DENSIDAD DE MUROS  
EN EL COMPORTAMIENTO SISMICO DE ESTRUCTURAS DE MAMPOSTERIA.

TABLA 3.6. Rigidez en los muros y datos para centro de rigidez.

MUR O	RIGIDEZ X	RIGIDEZ X	RIGIDEZ Y	RIGIDEZ Y	PISO 1		PISO n	
	PISO 1	PISO n	PISO 1	PISO n	Rix Y	Riy X	Rix Y	Riy X
1	3495	3148	-----	-----	0.00	-----	0.00	-----
2	3495	3148	-----	-----	0.00	-----	0.00	-----
3	391	347	-----	-----	391.00	-----	347.00	-----
4	391	347	-----	-----	391.00	-----	347.00	-----
5	13839	12591	-----	-----	50789.13	-----	46208.97	-----
6	13839	12591	-----	-----	50789.13	-----	46208.97	-----
7	1205	1075	-----	-----	6422.65	-----	5729.75	-----
8	1205	1075	-----	-----	6422.65	-----	5729.75	-----
9	3495	3148	-----	-----	25618.35	-----	23074.84	-----
10	3495	3148	-----	-----	27960.00	-----	25184.00	-----
11	3495	3148	-----	-----	27960.00	-----	25184.00	-----
12	3495	3148	-----	-----	25618.35	-----	23074.84	-----
13	-----	-----	59976	56984	-----	0.00	-----	0.00
14	-----	-----	2576	2312	-----	5152.00	-----	4624.00
15	-----	-----	15881	14691	-----	47643.00	-----	44073.00
16	-----	-----	22609	21082	-----	67827.00	-----	63246.00
17	-----	-----	12718	11709	-----	55068.94	-----	50699.97
18	-----	-----	56675	53805	-----	340050.00	-----	322830.00
19	-----	-----	12718	11709	-----	97547.06	-----	89808.03
20	-----	-----	22609	21082	-----	203481.00	-----	189738.00
21	-----	-----	15881	14691	-----	142929.00	-----	132219.00
22	-----	-----	2576	2312	-----	25760.00	-----	23120.00
23	-----	-----	59976	56984	-----	719712.00	-----	683808.00
Σ	51840	46914	284195	267361	222362.26	1705170.00	201089.12	1604166.00

Aplicando estos datos a las fórmulas correspondientes, las coordenadas del centro de rigidez son:

- para el primer nivel

$$X = 1705170/284195 = 6.00$$

$$Y = 222362.26/51836 = 4.29$$

- para los niveles subsecuentes

$$X = 1604166/267361 = 6.00$$

$$Y = 201089.12/46911 = 4.29$$

ANEMGC en todos los niveles : X = 6.00, Y = 4.29



Como se puede ver en los resultados, el centro de rigidez coincide en todos los niveles.

**III.9 CORTANTE ULTIMO.** Se compone de tres elementos que actúan simultáneamente en la estructura.

**III.9.1 CORTANTE DIRECTO.** Es debido a la fuerza cortante que actúa en la dirección en que están alineados los muros y se determinan con la siguiente expresión.

$$V_{dx} = (R_{ix}/\sum R_{ix})V_x$$

$$V_{dy} = (R_{iy}/\sum R_{iy})V_y$$

donde  $R_i$  es la rigidez del muro  $i$  en la dirección indicada y  $V$  es el cortante de entrepiso en la misma dirección.

**III.9.2 CORTANTE POR TORSION.-** Debido al momento de torsión generado por la fuerza cortante en la dirección considerada y la excentricidad entre el centro de cortantes y el centro de rigidez, obteniéndose con la siguiente expresión:

$$V_{xt} = ((R_{ix}Y_{it})/(\sum (R_{ix}Y_i)^2 + \sum (R_{iy}X_i)^2))M_x$$

$$V_{yt} = ((R_{iy}X_{it})/(\sum (R_{iy}X_i)^2 + \sum (R_{ix}Y_i)^2))M_y$$

donde  $R_{ix}$ ,  $R_{iy}$  es la rigidez del muro en la dirección indicada,  $X$  e  $Y$  son la distancia del centro de gravedad del muro a cada eje de rigidez, y  $M_x$ ,  $M_y$  son el momento de torsión generado por la fuerza cortante en cada dirección.

Para obtener el valor del momento torsionante se debe calcular la excentricidad entre las coordenadas de los centros mencionados en cada entrepiso y cuyos valores se dan en la tabla 3.7

TABLA 3.7. Valores de la excentricidad entre el centro de cortantes y el centro de rigidez en cada entrepiso.

NIVEL	ex (m)	ey (m)
5	4.29-4.02 = 0.27	6.00-6.00 = 0.00
4	4.29-4.09 = 0.20	6.00-6.00 = 0.00
3	4.29-4.12 = 0.17	6.00-6.00 = 0.00
2	4.29-4.12 = 0.17	6.00-6.00 = 0.00
1	4.29-4.12 = 0.17	6.00-6.00 = 0.00

Ahora, según las Normas Técnicas Complementarias para diseño por sismo, se debe determinar para cada entrepiso que excentricidad de las siguientes resulta más desfavorable para utilizarla en la obtención del momento de torsión.

$$e1 = 1.5e+0.1b$$

$$e2 = e-0.1b$$

donde e es la excentricidad determinada en la tabla anterior y b es la máxima dimensión en planta medida perpendicularmente a la dirección del movimiento del terreno que se analiza. Esta excentricidad adicional es debida a que el centro de torsión se calcula con poca aproximación si se toma en cuenta lo siguiente:

- El efecto dinámico de vibración ocasiona que el momento torsionante se amplifique, siendo mayor la excentricidad a la calculada estáticamente.
- La rigidez en los muros cambia al iniciarse el agrietamiento.

Por lo anterior al calcular la excentricidad total, el factor 1.5 cubre la amplificación dinámica de la torsión y el factor 0.1b, considera un error del 10 % en la determinación de la excentricidad.

$$\text{para } V_x, b = 8.00$$

$$\text{para } V_y, b = 12.00$$

ESTUDIO PARAMETRICO DE LA INFLUENCIA DE LA DENSIDAD DE MUROS  
EN EL COMPORTAMIENTO SISMICO DE ESTRUCTURAS DE MAMPOSTERIA.

Debido a la posición del centro de cortantes (ver anexo 1), en el sentido Vx resulta más desfavorable e1 para los muros ubicados abajo del eje X de torsión dado que al generarse el momento, estos muros se mueven en el mismo sentido que la fuerza cortante, y esta se incrementa; para los muros que están por encima del eje de cargas utilizamos e2 para reducirla, ya que con el momento los muros se desplazan en sentido opuesto al de la fuerza, por lo que su contribución se tiene que descontar al obtener el cortante total, siendo más desfavorable reducirle lo menos posible.

En el sentido Vy no existe excentricidad ya que las coordenadas tanto del eje de torsión como del eje de cortantes son iguales, por lo que se tomara e1 para los situados a la derecha del eje Y de torsión y e2 para los que están a la izquierda. En la tabla 3.8. se indican los valores de las excentricidades correspondientes a cada dirección y entresiso.

TABLA 3.8. Valores de e1 y e2 en cada entresiso y en ambas direcciones

NIVEL	DIRECCION X		DIRECCION Y	
	e1(m)	e2 (m)	e1(m)	e2 (m)
1	$1.5(0.17)+0.1(8) = 1.055$	$0.17-0.1(8) = -0.63$	$1.5(0)+0.1(12) = 1.20$	$0-0.1(12) = -1.20$
2	$1.5(0.17)+0.1(8) = 1.055$	$0.17-0.1(8) = -0.63$	$1.5(0)+0.1(12) = 1.20$	$0-0.1(12) = -1.20$
3	$1.5(0.17)+0.1(8) = 1.055$	$0.17-0.1(8) = -0.63$	$1.5(0)+0.1(12) = 1.20$	$0-0.1(12) = -1.20$
4	$1.5(0.20)+0.1(8) = 1.100$	$0.20-0.1(8) = -0.60$	$1.5(0)+0.1(12) = 1.20$	$0-0.1(12) = -1.20$
5	$1.5(0.23)+0.1(8) = 1.205$	$0.23-0.1(8) = -0.53$	$1.5(0)+0.1(12) = 1.20$	$0-0.1(12) = -1.20$

Ahora, con estos valores y retomando los cortantes de cada entresiso, el momento torsionante en cada dirección se presenta en la tabla 3.9.

TABLA 3.9. Momento de torsión.

Muro	Nivel	Fx	ex	Mx	Mx ANEM	Muro	Nivel	Fy	ey	My	My ANEM
1-6	1	60.63	1.055	63.96	-90.74	13-17	1	42.74	1.20	51.28	-52.65
	2	56.44	1.055	59.54	-84.33		2	39.78	1.20	47.73	-51.86
	3	47.83	1.055	50.46	-71.78		3	33.71	1.20	40.45	-43.93
	4	34.84	1.10	38.32	-52.83		4	24.55	1.20	29.46	-31.97
	5	17.45	1.205	21.02	-27.48		5	12.30	1.20	14.76	-15.97

**ESTUDIO PARAMETRICO DE LA INFLUENCIA DE LA DENSIDAD DE MUROS  
EN EL COMPORTAMIENTO SISMICO DE ESTRUCTURAS DE MAMPOSTERIA.**

Muro	Nivel	Fx	ex	Mx	Mx ANEM	Muro	Nivel	Fy	ey	My	My ANEM
7-12	1	60.63	-0.63	-38.19	22.22	19-23	1	42.74	-1.20	-51.28	52.65
	2	56.44	-0.63	-35.55	20.77		2	39.78	-1.20	-47.73	51.86
	3	47.83	-0.63	-30.13	17.37		3	33.71	-1.20	-40.45	43.93
	4	34.84	-0.60	-20.90	12.24		4	24.55	-1.20	-29.46	31.97
	5	17.45	-0.53	-9.24	5.38		5	12.30	-1.20	-14.76	15.97

El signo del momento es distinto, lo cual es debido al sentido que se consideró para momento positivo. En la tabla 3.10. se presentan los valores de los demás datos requeridos para obtener el cortante por torsión.

**TABLA 3.10. Datos para el cálculo del cortante por torsión.**

MURO	DISTANCIA AL EJE DE RIGIDEZ (6.00,4.29) MUROS PARALELOS		PISO 1	PISO n	PISO 1	PISO n
	X	Y	Rix Y Riy X	Rix Y Riy X	(Rix Y) <sup>2</sup> (Riy X) <sup>2</sup>	(Rix Y) <sup>2</sup> (Riy X) <sup>2</sup>
1	---	-4.29	-14993.55	-13504.92	64322.33	57936.11
2	---	-4.29	-14993.55	-13504.92	64322.33	57936.11
3	---	-3.29	-1286.39	-1141.63	4232.22	3755.96
4	---	-3.29	-1286.39	-1141.63	4232.22	3755.96
5	---	-0.62	-8580.18	-7806.42	5319.71	4839.98
6	---	-0.62	-8580.18	-7806.42	5319.71	4839.98
7	---	1.04	1253.20	1118.00	1303.33	1162.72
8	---	1.04	1253.20	1118.00	1303.33	1162.72
9	---	3.04	10624.80	9569.92	32299.39	29092.56
10	---	3.71	12966.45	11679.08	48105.53	43329.39
11	---	3.71	12966.45	11679.08	48105.53	43329.39
12	---	3.04	10624.80	9569.92	32299.39	29092.56
13	-6.00	---	-359856.00	-341904.00	2159136.00	2051424.00
14	-4.00	---	-10304.00	-9248.00	41216.00	36992.00
15	-3.00	---	-47643.00	-44073.00	142929.00	132219.00
16	-3.00	---	-67827.00	-63246.00	203481.00	189738.00
17	-1.67	---	-21239.06	-19554.03	35469.23	32655.23
18	0.00	---	0.00	0.00	0.00	0.00
19	1.67	---	21239.06	19554.03	35469.23	32655.23
20	3.00	---	67827.00	63246.00	203481.00	189738.00
21	3.00	---	47643.00	44073.00	142929.00	132219.00
22	4.00	---	10304.00	9248.00	41216.00	36992.00
23	6.00	---	359856.00	341904.00	2159136.00	2051424.00
Σ	---	---	---	---	5475627.49	5166289.89

**III.9.3 CORTANTE POR TORSION ADICIONAL.** Este se genera igual que el cortante por torsión pero considerando el momento en la otra dirección; la contribución del cortante adicional se considera solo del 30 % debido a que la probabilidad de que coincidan los movimientos (horizontal en las dos direcciones y el vertical) en una estructura es casi despreciable y para calcularlo se utiliza el momento que haya resultado mayor en cada sentido, que en el caso de la dirección X vale 63.96 Ton/m, y en la dirección Y es de 51.28 Ton/m.

Por todo lo expuesto en los tres puntos anteriores se tiene que el cortante total será igual a la suma del cortante directo, del cortante por torsión y de la tercera parte del cortante por torsión en la otra dirección, como se indica a continuación.

$$V_{ux} = (V_d + V_{tx} + 0.3V_{ty})F_c$$

$$V_{uy} = (V_d + V_{ty} + 0.3V_{tx})F_c$$

**III.10 CORTANTE RESISTENTE.** Atendiendo a lo indicado en las Normas Técnicas Complementarias de diseño de estructuras de mampostería vigentes, el cortante resistente de cada muro se calcula como sigue :

$$V_r = F_r(0.5 A_m V^* + 0.3P)$$

donde  $F_r$  es el factor de reducción de resistencia correspondiente, que en este caso vale 0.7,  $A_m$  es el área del muro,  $V^*$  es la resistencia a fuerza cortante de la mampostería, y  $P$  es el peso que baja por el muro. Para esta estructura en particular, estamos utilizando mampostería con refuerzo horizontal, y de acuerdo al reglamento, podemos incrementar su valor en un 25 %.

$$V_r = (F_c(0.5 A_m V^* + 0.3P))1.25$$

A continuación en la tabla 3.11. se presentan los valores para la determinación tanto de las

ESTUDIO PARAMETRICO DE LA INFLUENCIA DE LA DENSIDAD DE MUROS  
EN EL COMPORTAMIENTO SISMICO DE ESTRUCTURAS DE MAMPOSTERIA.

fuerzas actuantes como de las resistentes en todos los muros del primer nivel,. Para los niveles siguientes el procedimiento es el mismo, considerando en el caso del cortante último la fuerza cortante y el momento respectivo para el nivel que se quiere obtener, así como el peso de los niveles superiores que baja por cada muro para el cortante resistente, indicando los valores resultantes en el anexo 1.

Al comparar los cortantes totales con los cortantes resistentes se observa que la dirección X es crítica ya que ambos valores son muy cercanos mientras que los muros en la dirección Y tienen mayor holgura. Se aprecia además que los resultados del ejemplo son muy semejantes a los del programa, contenidos en el anexo 1, con lo que se demuestra que el método utilizado por ANEMGC, cumple con los requerimientos exigidos por el Reglamento de Construcciones del Distrito Federal.

TABLA 3.11. Cortante último y cortante resistente.

Muro	NIVEL 1													
	V directo		V torsión		V torsión		V Total		V Resistente		V Total Anem		V Resist. Anem	
	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y
1	4.088	---	0.175	---	0.140	---	4.736	---	6.799	---	4.92	---	7.51	---
2	4.088	---	0.175	---	0.140	---	4.736	---	6.799	---	4.92	---	7.51	---
3	0.457	---	0.015	---	0.012	---	0.524	---	3.313	---	0.54	---	3.64	---
4	0.457	---	0.015	---	0.012	---	0.524	---	3.313	---	0.54	---	3.64	---
5	16.186	---	0.100	---	0.080	---	17.942	---	17.299	---	18.4	---	19.16	---
6	16.186	---	0.100	---	0.080	---	17.942	---	17.299	---	18.4	---	19.16	---
7	1.409	---	0.009	---	0.012	---	1.564	---	4.449	---	1.6	---	4.92	---
8	1.409	---	0.009	---	0.012	---	1.564	---	4.449	---	1.6	---	4.92	---
9	4.088	---	0.074	---	0.100	---	4.611	---	6.799	---	4.68	---	7.51	---
10	4.088	---	0.090	---	0.121	---	4.636	---	6.799	---	4.7	---	7.51	---
11	4.088	---	0.090	---	0.121	---	4.636	---	6.799	---	4.7	---	7.51	---
12	4.088	---	0.074	---	0.100	---	4.611	---	6.799	---	4.68	---	7.51	---
13	---	9.019	---	3.370	---	4.203	---	15.015	---	36.272	---	15.960	---	39.870
14	---	0.387	---	0.096	---	0.120	---	0.572	---	5.835	---	0.600	---	6.460
15	---	2.388	---	0.446	---	0.557	---	3.301	---	18.585	---	3.460	---	20.210
16	---	3.400	---	0.635	---	0.792	---	4.700	---	21.399	---	4.930	---	23.340
17	---	1.912	---	0.199	---	0.248	---	2.404	---	11.713	---	2.500	---	12.960
18	---	8.523	---	0.000	---	0.000	---	9.375	---	41.370	---	9.620	---	45.090
19	---	1.912	---	0.199	---	0.248	---	2.404	---	11.713	---	2.500	---	12.960
20	---	3.400	---	0.636	---	0.792	---	4.700	---	21.399	---	4.930	---	23.340
21	---	2.388	---	0.446	---	0.557	---	3.301	---	18.585	---	3.460	---	20.210
22	---	0.387	---	0.096	---	0.120	---	0.572	---	5.835	---	0.600	---	6.460
23	---	9.019	---	3.370	---	4.203	---	15.015	---	36.272	---	15.960	---	39.870
Σ	60.633	42.736	0.927	9.494	0.931	11.841	68.023	61.361	90.916	228.978	69.680	64.520	100.50	250.77

Al analizar más detalladamente los resultados se observa que la mayor fuerza la absorben los muros 5 y 6 y en los restantes se tiene una holgura de casi el doble entre la fuerza actuante y la resistente. Esto nos permite inferir que la densidad de muro no es determinante por si sola para tener una buena estructuración porque aun aumentando la cantidad de muros para alcanzar cierto grado de densidad, no podemos determinar qué beneficio se tiene en la estructura ya que de la posición donde se coloquen, dependerá su contribución. En la siguiente etapa del estudio se hace un análisis comparativo de los resultados obtenidos en todos los análisis, y en el anexo 2 se presenta la planta tipo de cada uno de los proyectos.

## IV. LA DENSIDAD DE MURO EN EL COMPORTAMIENTO SISMICO

### IV.1 LA DENSIDAD Y EL NUMERO DE NIVELES

De los primeros resultados, podemos decir que la dirección en que falló la estructura fue la que tenía menor densidad de muro, y en casi todos los casos, por la dirección crítica es donde baja menor cantidad de carga en comparación con la otra dirección. La mayoría de los proyectos tienen una densidad que varía de 160 a 460 cm<sup>2</sup> de muro por m<sup>2</sup> de losa, y considerando el espesor de muro, estamos hablando de un rango entre 15 y 38 cm. por m<sup>2</sup> de losa. En la tabla 4.1., se presenta un resumen de los datos obtenidos.

TABLA 4.1. Densidad de muro y carga en la dirección crítica.

PROY.	DIRECCION CRITICA	LONGITUD DE MURO DIRECCION CRITICA	LONGITUD DE MURO DIRECCION NO CRITICA	AREA DE PLANTA	CARGA MUERTA	DENSIDAD DIRECCION CRITICA		DENSIDAD DIRECCION NO CRITICA		CARGA SOBRE LOS MUROS DIR CRITICA
						L/Ap	Am/Ap	L/A.p	Am/Ap	
		(M)		(M2)	Kg/m2	(M/M2)	(M2/M2)	(M/M2)	(M2/M2)	(%)
1	X	65.20	92.10	234.35	250	0.278	0.0334	0.393	0.0472	25.60
2	X	97.70	111.80	349.87	250	0.279	0.0335	0.320	0.0383	26.86
3	X	108.79	175.18	461.00	260	0.236	0.0283	0.380	0.0456	44.65
4	X	24.98	33.64	78.84	300	0.317	0.0380	0.427	0.0512	44.62
5	Y	15.58	16.96	40.30	350	0.387	0.0464	0.421	0.0505	44.52
6	Y	25.42	33.92	80.60	350	0.315	0.0378	0.421	0.0505	42.58
7	Y	27.42	32.10	85.88	350	0.319	0.0383	0.374	0.0449	46.46
8	X	54.62	82.88	197.35	365	0.277	0.0332	0.420	0.0504	43.44
9	Y	27.45	37.50	74.60	300	0.368	0.0442	0.503	0.0603	49.06
10	Y	67.20	60.52	204.44	290	0.329	0.0394	0.296	0.0355	50.91
11	Y	269.60	252.00	1063.64	310	0.253	0.0304	0.237	0.0284	36.51
12	X	66.20	92.80	285.80	300	0.232	0.0278	0.325	0.0390	38.24
13	X	34.35	48.85	117.88	310	0.291	0.0350	0.414	0.0497	42.48
14	X	78.29	79.09	235.18	310	0.333	0.0399	0.336	0.0404	49.38
15	X	16.34	43.00	108.00	310	0.151	0.0181	0.549	0.0659	15.69

Considerando las premisas establecidas para este estudio, se observa en los resultados obtenidos que el número de niveles, y en consecuencia la eficiencia de una estructura, no parece tener relación directa con la densidad de muro, ya que algunos proyectos con



ESTUDIO PARAMETRICO DE LA INFLUENCIA DE LA DENSIDAD DE MUROS  
EN EL COMPORTAMIENTO SISMICO DE ESTRUCTURAS DE MAMPOSTERIA.

densidades menores alcanzaron una mayor elevación. También es muy notorio que el proyecto 15 tiene la menor densidad de muro y es el menos eficiente, ya que en todos los análisis obtuvo la cantidad de niveles más baja de todos los proyectos, por lo que se considera que si influye pero a través de otros parámetros.

El número de niveles en la zona II es prácticamente el mismo al obtenido en la zona III, salvo en algunos casos en que si hubo variación. En ellos la mayor parte tuvo un aumento de un nivel más en la zona III que los obtenidos en la zona II y sólo el proyecto 5, presentó una disminución en los pisos alcanzados, por lo que debido a la similitud de resultados entre estas zonas, sólo se tomará en cuenta una de ellas. En la tabla 4.2. se presentan los niveles alcanzados en cada una de las condiciones de análisis, identificandolas en primer lugar por la resistencia a fuerza cortante de la mamposteria( 8, 5 ó 3), seguida por las letras RE o NR para definir cuando es o no reforzada.

TABLA 4.2. Niveles alcanzados.

PROY	No DE PISOS DEL EDIFICIO																	
	ZONA 1						ZONA 2						ZONA 3					
	8RE	5RE	3RE	8NR	5NR	3NR	8RE	5RE	3RE	8NR	5NR	3NR	8RE	5RE	3RE	8NR	5NR	3NR
1	20	14	8	5	4	2	9	7	4	4	3	1	9	7	4	4	3	1
2	24	16	9	6	4	3	11	7	4	4	3	2	11	7	4	4	3	2
3	12	8	4	3	2	1	6	4	2	2	2	1	6	4	2	2	2	1
4	25	19	11	6	4	3	12	8	5	4	3	2	12	8	5	4	3	2
5	24	16	9	4	3	1	9	6	3	2	1	1	6	4	2	1	1	0
6	15	10	6	5	3	2	8	6	3	3	2	1	8	6	3	3	2	1
7	12	8	5	4	3	2	7	5	3	3	2	1	7	5	3	3	2	1
8	16	11	6	4	3	2	7	5	3	3	2	1	8	6	3	3	2	1
9	25	17	10	6	4	3	9	7	5	4	3	2	9	7	5	4	3	2
10	19	13	7	5	4	2	8	6	4	4	3	1	8	6	4	4	3	1
11	14	11	6	5	4	2	8	5	4	3	2	1	8	6	4	3	2	1
12	25	17	9	5	4	2	9	7	4	3	2	1	9	7	4	3	3	1
13	24	16	10	5	4	2	9	7	4	4	3	1	9	7	4	4	3	1
14	17	11	7	5	4	2	9	6	4	3	2	1	9	6	4	3	2	1
15	11	7	4	3	2	1	5	4	2	2	2	1	5	4	2	2	2	1

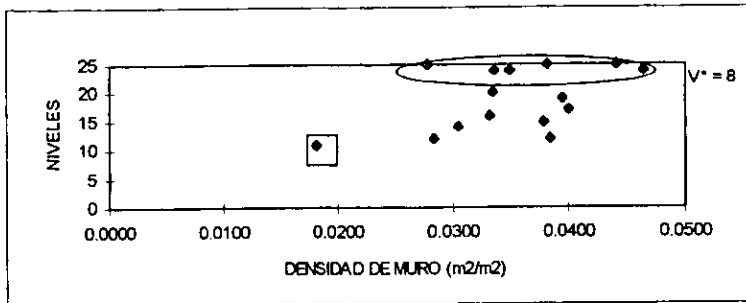
En los resultados se observa que existen seis proyectos que tuvieron una marcada

ESTUDIO PARAMETRICO DE LA INFLUENCIA DE LA DENSIDAD DE MUROS  
EN EL COMPORTAMIENTO SISMICO DE ESTRUCTURAS DE MAMPOSTERIA.

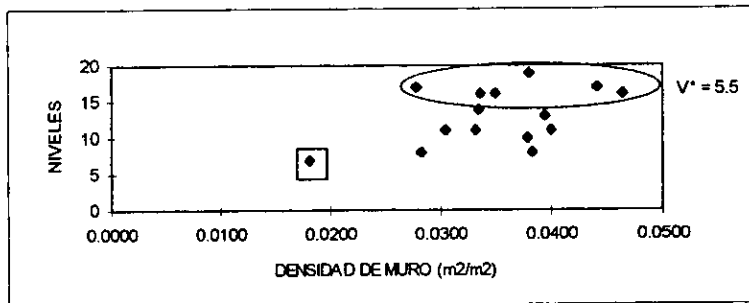
diferencia en cuanto a los niveles alcanzados con respecto a los demás, los cuales se consideraron como los más eficientes y a partir de sus resultados, se tratara de identificar como influye la densidad en su desempeño.

Estos proyectos son el 2, 4, 5, 9, 12, y 13, y para tener una mayor claridad en la forma como se comportaron las estructuras analizadas, se graficaron los niveles alcanzados en cada uno de los proyectos, contra la densidad de muro de la estructura en cada una de las condiciones establecidas, resaltando los proyectos eficientes así como el que menos niveles alcanzó.

Zona I - Reforzados



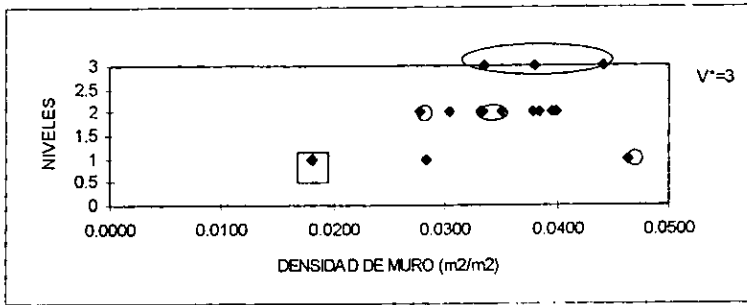
GRAFICA 4.1.1.



GRAFICA 4.1.2.

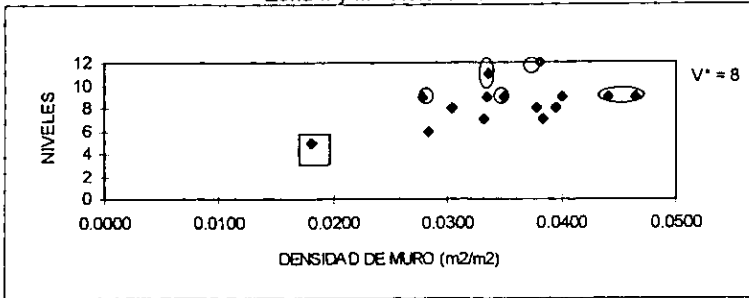
- Proyecto ineficiente estructuralmente
- Proyecto eficiente estructuralmente

ESTUDIO PARAMETRICO DE LA INFLUENCIA DE LA DENSIDAD DE MUROS EN EL COMPORTAMIENTO SISMICO DE ESTRUCTURAS DE MAMPOSTERIA.

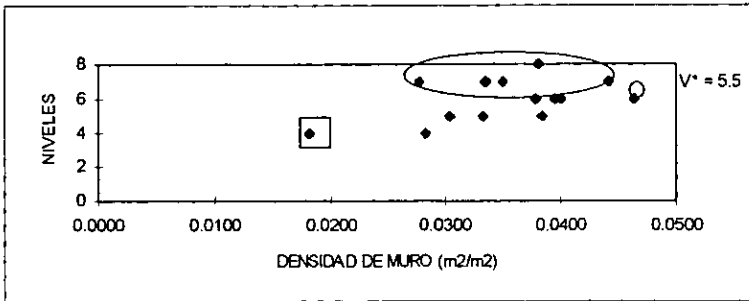


GRAFICA 4.1.6.

Zona II y III - Reforzados



GRAFICA 4.1.7.

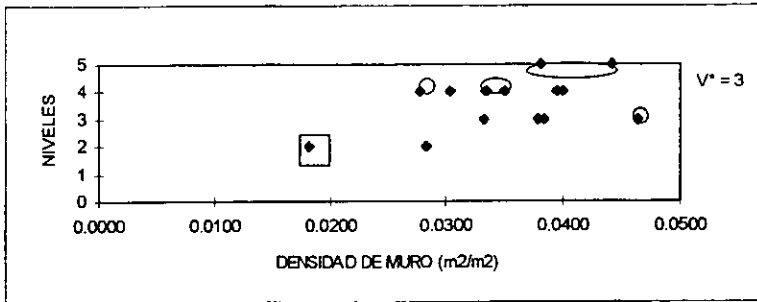


GRAFICA 4.1.8.

Proyecto ineficiente estructuralmente

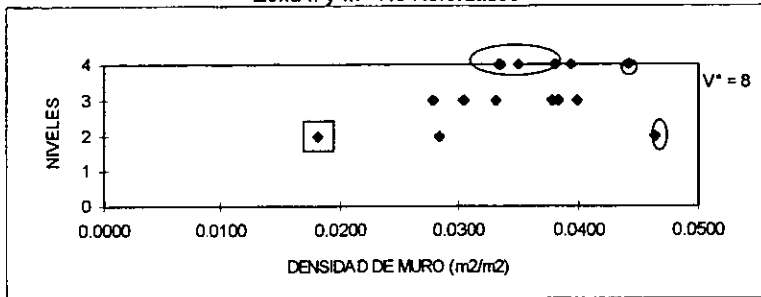
Proyecto eficiente estructuralmente

ESTUDIO PARAMETRICO DE LA INFLUENCIA DE LA DENSIDAD DE MUROS EN EL COMPORTAMIENTO SISMICO DE ESTRUCTURAS DE MAMPOSTERIA.

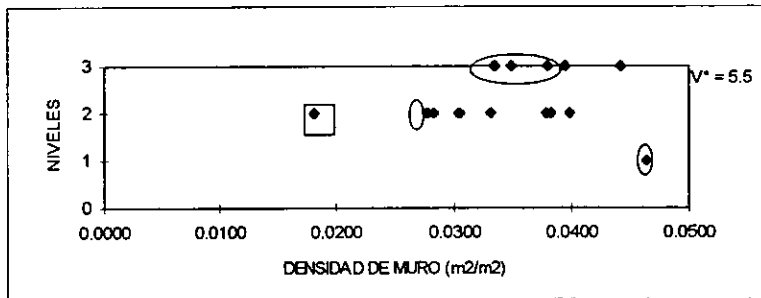


GRAFICA 4.1.9.

Zona II y III - No Reforzados



GRAFICA 4.1.10.

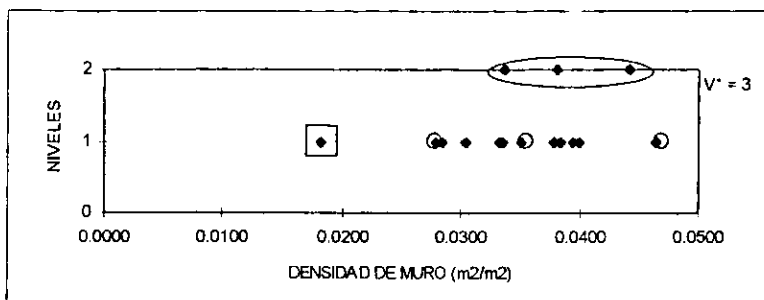


GRAFICA 4.1.11.

Proyecto ineficiente estructuralmente

Proyecto eficiente estructuralmente

ESTUDIO PARAMETRICO DE LA INFLUENCIA DE LA DENSIDAD DE MUROS  
EN EL COMPORTAMIENTO SISMICO DE ESTRUCTURAS DE MAMPOSTERIA.



GRAFICA 4.1.12.

Proyecto ineficiente estructuralmente

Proyecto eficiente estructuralmente

Un caso especial se observa con el proyecto No 5, ya que a pesar de ser uno de los proyectos eficientes, en la gráfica 4.1.6. correspondiente a mampostería no reforzada de la zona I y resistencia a cortante de  $3 \text{ Kg/cm}^2$ , su desempeño cambia notablemente al ubicarse en una zona con un número de niveles muy bajo junto con los proyectos más ineficientes; esta situación se repite para la zona II, solo que en este caso, se cumple para los tres valores de resistencia de la mampostería (gráficas 4.1.10. , 4.1.11. , 4.1.12.). Este ejemplo es un elemento más para decir que no es conveniente utilizar la densidad de muros, puesto que es un parámetro muy general que no se puede comparar de una estructura a otra cuando no se encuentran en la misma zona sísmica y tipo de suelo, además de que al tener diferente número de niveles las condiciones varían.

Algo que resalta notoriamente es que este proyecto 5, tiene la mayor densidad de muro con respecto a los demás, con casi  $500 \text{ cm}^2/\text{m}^2$ , lo cual nos confirma que la densidad de muros no se puede considerar para hacer referencia a su resistencia sísmica, ya que no tiene una relación tan directa, sino que influye por medio de otros factores, junto con la distribución existente de los muros en planta. Con respecto a la totalidad de las gráficas podemos

observar más claramente que no existe una tendencia predecible con los parámetros con que se trazaron por lo que en la siguiente etapa se orientó el análisis hacia otros factores.

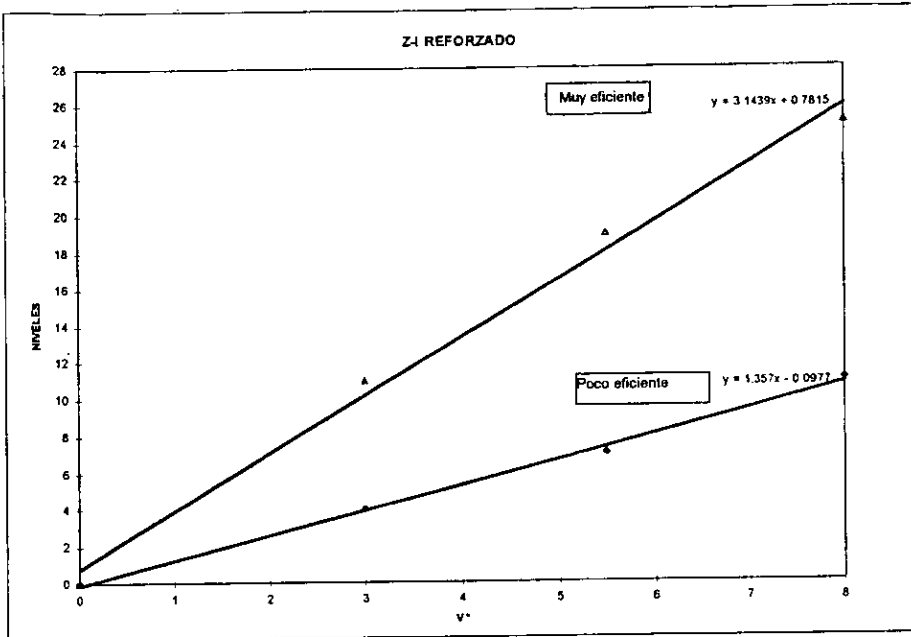
Con los resultados obtenidos se encontró que puede tener cierta utilidad generar gráficas en las que a partir del número de niveles y de la eficiencia de la estructuración, se puede encontrar la resistencia a cortante de la mampostería más idónea para poder construir un determinado número de pisos en la estructura.

Para ello, en cada gráfica, se tomó al proyecto más eficiente y al más ineficiente de todos y se graficaron estos puntos contra la resistencia de la mampostería en que se evaluaron, juntando las resistencias consideradas en una sola gráfica. A continuación se presenta una tabla con estos valores, seguida por las gráficas correspondientes.

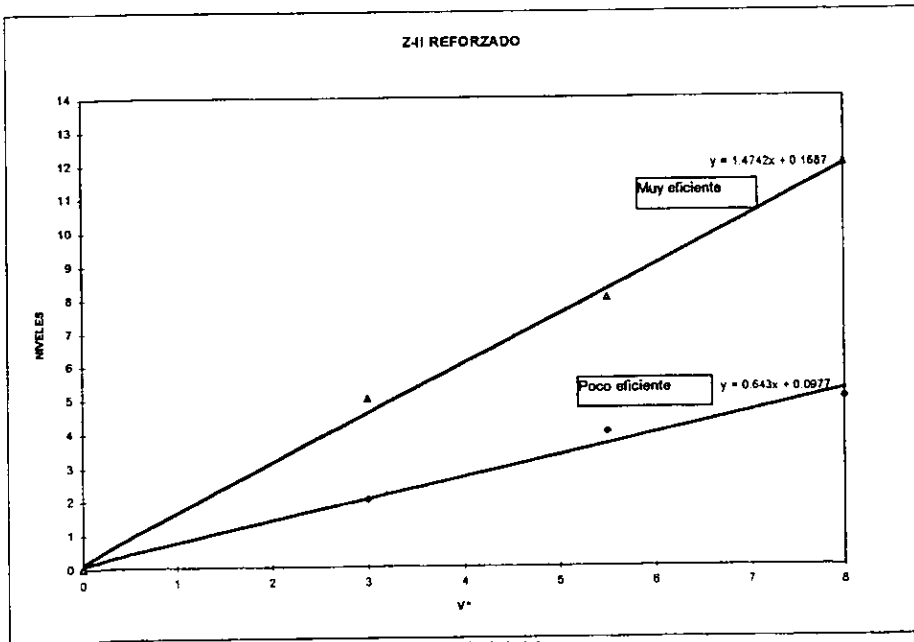
TABLA 4.3. Niveles límite a partir de la eficiencia de la estructuración y resistencia de la mampostería.

V*	Poco eficiente	Muy eficiente
<b>Z-I REFORZADO</b>		
3	4	11
5,5	7	19
8	11	25
<b>Z-II REFORZADO</b>		
3	2	5
5,5	4	8
8	5	12
<b>Z-I NO REFORZADO</b>		
3	1	3
5,5	2	4
8	3	6
<b>Z-II NO REFORZADO</b>		
3	1	2
5,5	1	3
8	2	4

ESTUDIO PARAMETRICO DE LA INFLUENCIA DE LA DENSIDAD DE MUROS EN EL COMPORTAMIENTO SISMICO DE ESTRUCTURAS DE MAMPOSTERIA.

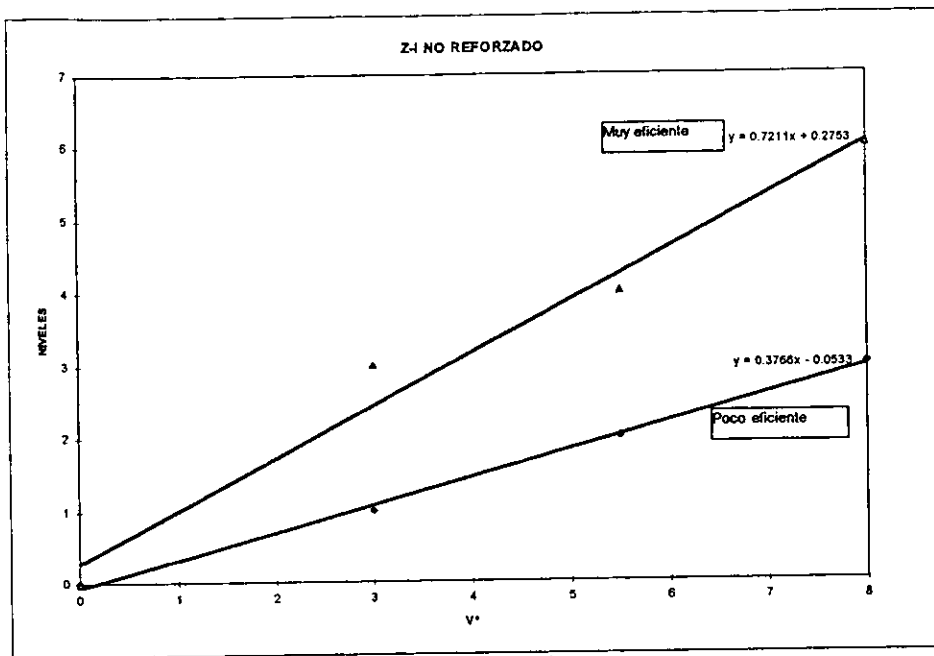


GRAFICA 4.1.13.

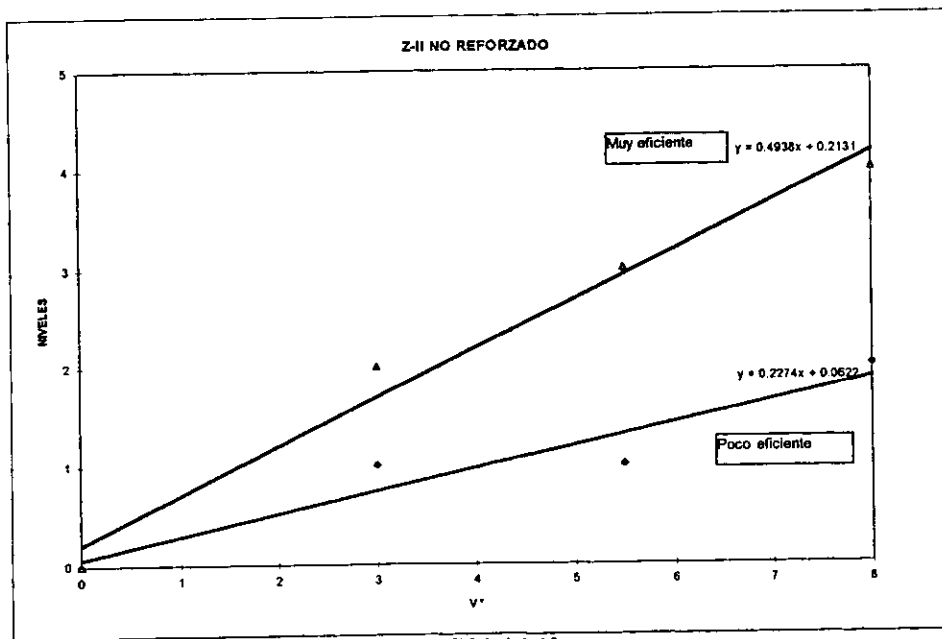


GRAFICA 4.1.14.

ESTUDIO PARAMETRICO DE LA INFLUENCIA DE LA DENSIDAD DE MUROS EN EL COMPORTAMIENTO SISMICO DE ESTRUCTURAS DE MAMPOSTERIA.



GRAFICA 4.1.15.



GRAFICA 4.1.16.



En las gráficas la tendencia de los puntos es muy similar a la de una recta, por lo que se hizo una aproximación a esta forma para facilitar su utilización. La recta mas baja corresponde a los proyectos estructuralmente menos eficientes y la que se ubica más arriba pertenece a los más eficientes.

Estas gráficas también permiten, tener una idea del máximo número de niveles que podrían construirse para un  $v^*$  determinado, si el proyecto es estructurado de manera muy eficiente o poco eficiente.

#### **IV.2 RELACION ENTRE LAS FUERZAS CORTANTE Y RESISTENTE**

Al hacer una revisión de los elementos que intervienen en el comportamiento sísmico, y que se relacionan con la densidad de muro, se observó que el área de muro tiene que ver tanto con la fuerza cortante resistente, como con la fuerza cortante actuante.

El cortante resistente depende directamente del área de muro, y en el cortante actuante, la densidad también interviene directamente al valuar el peso total de la estructura, por lo que ahora los análisis se enfocarán en estos dos parámetros.

En el anexo 3 se muestran los valores del peso total, los factores de reducción de fuerzas sísmicas, periodos, ordenadas del espectro de aceleraciones y los coeficientes sísmicos de todos los proyectos obtenidos en el análisis, y que intervienen en los cálculos realizados en este capítulo. Algo que llama la atención es que el coeficiente sísmico efectivo de la zona II es casi siempre mayor que en la zona III, situación que se explica como consecuencia de que al tener una estructura un periodo de vibración igual en la zona II y en la zona III, y al ubicarse este antes de la parte plana del espectro de aceleraciones, la pendiente de la curva correspondiente a la zona III es menor, y la ordenada calculada también es menor, obteniendo como resultado un coeficiente sísmico efectivo menor que en la zona II.

#### IV.2.1 CORTANTE RESISTENTE PROMEDIO

El cortante calculado en esta sección representa la resistencia total del entrepiso en la dirección crítica, por lo que para su determinación tomamos en cuenta el área de todos los muros ubicados en esa dirección, sin considerar reducción por la esbeltez de los muros cortos. Este resultado es muy similar al cortante resistente que se obtiene a partir de cada muro, lo cual se puede comprobar al comparar la suma de los cortantes resistentes de la tabla 3.11 en el ejemplo del análisis sísmico, con el cortante resistente del proyecto 15 en la tabla 4.4. para las condiciones de mampostería reforzada y  $v^* = 8 \text{ Kg/cm}^2$  en la zona II. Para calcular el área se utilizan los valores de la longitud de muro incluidos en la tabla 4.1., multiplicándolos por el espesor. Los resultados del cortante resistente se muestran en la tabla 4.4., en los que para calcularlos se utilizó la ecuación empleada en el análisis sísmico del capítulo III, incluyendo el valor de  $Fr = 0.4$  para los muros no reforzados.

$$V_r = Fr ( 0.5A_{mv} + 0.3P )$$

Para la determinación de P, en la misma tabla 4.1., se indicó el porcentaje del peso total de la estructura que baja por la dirección crítica.

TABLA 4.4. Cortante resistente. (Ton)

Proy.	ZONA 1 REF			ZONA 1 NO REF			ZONA 2 REF			ZONA 2 NO REF		
	V*=8	V*=5.5	V*=3	V*=8	V*=5.5	V*=3	V*=8	V*=5.5	V*=3	V*=8	V*=5.5	V*=3
1	440.97	391.10	340.03	143.77	139.87	132.10	348.57	331.50	305.96	139.87	136.00	128.19
2	726.07	619.82	526.89	222.65	210.50	204.44	540.14	500.31	460.47	210.50	204.44	198.35
3	806.31	687.58	568.97	246.54	232.99	219.38	628.27	568.97	509.66	232.99	232.99	219.43
4	250.39	215.13	168.16	63.44	58.08	55.40	168.16	150.80	132.91	58.08	55.40	52.73
5	144.67	117.91	94.65	35.63	34.13	31.09	94.65	84.60	74.67	32.58	31.09	31.09
6	200.65	168.80	143.43	62.65	56.88	53.97	156.17	143.43	124.42	56.73	53.97	51.05
7	197.85	169.80	148.70	64.80	61.57	58.39	162.73	148.70	134.68	61.57	58.39	55.16
8	463.17	389.05	314.93	130.41	123.64	116.86	329.75	300.10	270.45	123.64	116.86	111.70
9	275.11	223.47	178.26	67.72	63.77	60.83	171.83	158.95	145.94	63.77	60.83	57.88
10	597.36	496.60	395.97	165.62	157.98	142.65	427.91	379.13	345.58	157.98	150.28	135.01
11	1866.16	1700.55	1399.33	618.71	598.47	555.75	1491.04	1353.42	1309.14	576.73	555.75	534.98
12	686.69	554.89	423.09	163.26	155.74	140.69	423.09	390.06	340.68	148.21	140.69	133.16
13	339.64	271.73	224.67	83.9	80.12	77.63	216.42	199.91	175.27	80.12	76.40	68.91
14	632.01	523.64	451.44	189.84	181.60	165.07	469.46	433.29	397.26	172.77	165.07	156.83
15	114.55	103.76	95.64	34.80	33.58	32.33	98.32	95.64	90.25	33.58	32.33	32.33

## IV.2.2 CORTANTE ULTIMO

El cortante último se obtiene con la siguiente expresión:

$$V_u = cW/Q$$

donde  $c$  es el coeficiente sísmico,  $W$  es el peso total de la estructura y  $Q$  el coeficiente de comportamiento sísmico. Al calcular este valor, se siguieron dos maneras distintas con el fin de observar que diferencia había entre ambos. En la primer forma, se empleó el coeficiente sísmico obtenido al hacer la reducción de fuerzas cortantes debidas al valor del periodo de la estructura, y al factor reductivo  $Q'$ ; éste último obtenido a partir del coeficiente de ductilidad  $Q$  al cumplirse la regularidad de la estructura en planta, ambos mostrados en el capítulo III.

$$V_u = cW$$

$$c = a/Q'$$

Los resultados obtenidos se muestran en la tabla 4.5. , que para fines de este estudio, en lo subsecuente se denominaron reducidos.

TABLA 4.5. Cortante último reducido. (Ton.)

Proy.	ZONA 1 REF			ZONA 1 NO REF			ZONA 2 REF			ZONA 2 NO REF		
	V*=8	V*=5.5	V*=3	V*=8	V*=5.5	V*=3	V*=8	V*=5.5	V*=3	V*=8	V*=5.5	V*=3
1	265.28	186.13	105.07	69.58	52.10	19.13	206.05	150.80	72.88	77.44	53.50	11.37
2	477.65	316.91	176.32	139.26	76.79	53.35	356.28	225.00	107.82	115.18	78.97	46.43
3	317.97	209.92	99.50	77.33	44.10	16.07	264.03	158.08	63.91	67.05	70.65	26.99
4	121.72	74.65	41.76	42.77	25.89	16.12	115.20	78.54	42.59	34.02	23.35	13.62
5	72.32	47.89	26.67	17.12	12.64	3.52	53.33	34.99	16.85	16.00	7.04	7.04
6	89.60	59.20	34.99	32.25	15.17	8.69	80.15	55.68	22.36	22.79	13.53	5.24
7	72.32	47.79	28.07	23.76	16.16	9.37	68.47	44.74	23.20	24.48	14.32	5.49
8	218.67	149.33	80.00	58.31	39.24	22.54	161.76	105.88	55.18	58.68	33.81	16.64
9	132.37	89.60	52.16	34.97	19.36	13.25	82.03	57.55	37.70	29.14	20.01	11.70
10	251.52	171.09	90.77	70.08	52.61	19.18	203.68	122.34	72.83	78.21	53.59	11.37
11	816.75	632.43	295.43	269.92	214.02	73.08	678.24	360.93	282.80	194.26	113.10	45.14
12	409.81	294.19	154.13	100.86	75.50	27.23	285.95	209.35	101.03	71.30	41.44	16.10
13	186.88	121.92	76.91	46.11	34.47	12.45	129.85	95.46	45.75	50.04	34.44	7.19
14	249.49	160.32	100.91	75.37	56.50	20.67	191.32	132.64	79.63	55.33	32.37	12.65
15	75.41	47.47	26.45	24.21	13.22	4.54	61.72	46.90	18.26	19.42	6.99	7.45

ESTUDIO PARAMETRICO DE LA INFLUENCIA DE LA DENSIDAD DE MUROS  
EN EL COMPORTAMIENTO SISMICO DE ESTRUCTURAS DE MAMPOSTERIA.

En la segunda forma el coeficiente sísmico y el coeficiente de ductilidad utilizados son los establecidos en el reglamento de construcciones, para la zona y material de construcción correspondiente, sin ninguna disminución; los cortantes calculados en esta sección se denominaron sin reducción y sus valores se muestran en la tabla 4.6.

TABLA 4.6. Cortante último sin reducción. (Ton.)

Proy.	ZONA 1 REF			ZONA 1 NO REF			ZONA 2 REF			ZONA 2 NO REF		
	V*=8	V*=5.5	V*=3	V*=8	V*=5.5	V*=3	V*=8	V*=5.5	V*=3	V*=8	V*=5.5	V*=3
1	265.28	186.13	105.07	96.80	76.48	36.00	237.23	183.04	101.97	152.96	112.64	31.36
2	477.65	316.91	176.32	174.08	113.76	83.68	392.75	272.21	151.68	227.52	167.36	106.88
3	317.97	209.92	101.97	112.48	72.00	31.36	311.89	203.95	96.00	144.00	144.00	63.04
4	132.48	100.37	57.60	46.24	30.24	22.24	115.20	83.20	50.99	60.48	44.48	28.48
5	72.32	47.89	26.67	17.12	12.64	3.52	53.33	34.99	16.85	16.00	7.04	7.04
6	89.60	59.20	34.99	43.36	25.28	16.16	94.29	69.97	33.71	49.60	32.32	14.08
7	72.32	47.79	29.33	34.88	25.60	16.48	83.20	58.67	34.13	51.20	32.96	14.40
8	218.67	149.33	80.00	78.40	57.60	36.80	187.73	132.27	76.80	115.20	73.60	41.92
9	132.37	89.60	52.16	46.24	30.08	22.08	93.65	72.32	50.77	60.16	44.16	28.16
10	251.52	171.09	90.77	95.84	75.84	35.68	232.53	154.67	101.12	151.68	111.36	31.36
11	816.75	632.43	297.17	369.12	295.20	139.20	798.51	492.16	393.60	431.68	278.40	126.72
12	434.24	294.19	154.13	126.08	99.84	47.36	308.27	238.08	133.12	147.20	94.72	42.24
13	186.88	121.92	76.91	56.32	44.48	20.96	138.03	106.45	59.31	88.96	65.60	18.56
14	249.49	160.32	100.91	106.72	84.48	39.84	231.47	171.95	112.64	121.28	79.68	35.20
15	75.41	47.47	26.45	29.12	18.72	8.16	66.77	52.91	24.96	37.44	16.32	16.32

Al comparar estas dos tablas vemos que para la zona I, en muros reforzados, el valor del cortante actuante es casi el mismo, teniendo o no reducción; mientras que para las otras condiciones, sobre todo para muros no reforzados donde no se hizo reducción, su valor es mayor. En conclusión se tiene que cuando no hubo cambio en el valor fue debido a que el periodo de la estructura estaba en la parte plana del espectro.

### IV.3 RELACION $V_r/V_u$ COMO PARAMETRO DE EFICIENCIA

La relación cortante resistente/cortante actuante se denomina en este estudio como  $\phi$ , y para comprobar si existe alguna relación de este parámetro con los niveles alcanzados, a

ESTUDIO PARAMETRICO DE LA INFLUENCIA DE LA DENSIDAD DE MUROS  
EN EL COMPORTAMIENTO SISMICO DE ESTRUCTURAS DE MAMPOSTERIA.

continuación se presentan las gráficas correspondientes, en las que se resalta como en las gráficas anteriores, los puntos de los proyectos más eficientes y el proyecto más ineficiente, conservando la simbología anterior.

En las tablas 4.7. y 4.8. se encuentran los valores de  $\phi$  calculados con reducción de fuerzas sísmicas y sin ella respectivamente.

TABLA 4.7. Valores de  $\phi$  calculados con  $V_u$  reducido

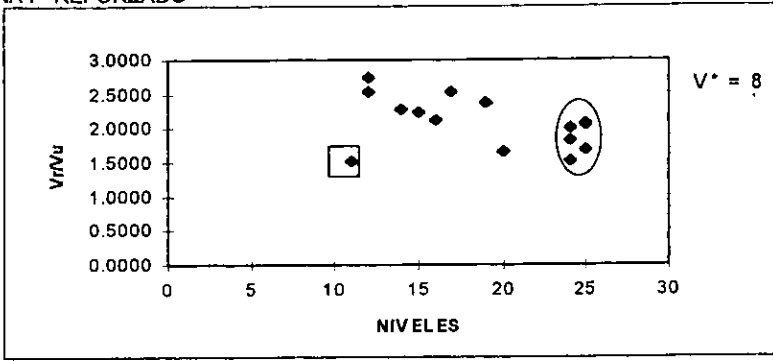
Proy.	ZONA 1 REF			ZONA 1 NO REF			ZONA 2 REF			ZONA 2 NO REF		
	V*=8	V*=5.5	V*=3	V*=8	V*=5.5	V*=3	V*=8	V*=5.5	V*=3	V*=8	V*=5.5	V*=3
1	1.662	2.101	3.236	2.066	2.685	6.907	1.692	2.198	4.198	1.806	2.542	11.277
2	1.520	1.956	2.988	1.599	2.741	3.832	1.516	2.224	4.271	1.828	2.589	4.272
3	2.536	3.275	5.718	3.188	5.283	13.650	2.380	3.599	7.975	3.475	3.298	8.130
4	2.057	2.882	4.027	1.483	2.243	3.436	1.460	1.917	3.121	1.707	2.373	3.872
5	2.000	2.462	3.549	2.081	2.700	8.832	1.775	2.418	4.430	2.037	4.416	4.416
6	2.239	2.851	4.099	1.943	2.750	6.213	1.948	2.576	5.564	2.490	3.988	9.751
7	2.736	3.553	5.298	2.727	3.810	6.229	2.377	3.324	5.805	2.515	4.078	10.046
8	2.118	2.605	3.937	2.237	3.151	5.185	2.038	2.834	4.901	2.107	3.456	6.714
9	2.078	2.494	3.418	1.924	3.293	4.592	2.095	2.762	3.871	2.188	3.040	4.946
10	2.375	2.902	4.362	2.363	3.003	7.438	2.101	3.099	4.745	2.020	2.804	11.876
11	2.285	2.689	4.737	2.292	2.796	7.605	2.198	3.750	4.629	2.969	4.914	11.851
12	1.676	1.886	2.745	1.619	2.063	5.166	1.480	1.863	3.372	2.079	3.395	8.269
13	1.817	2.229	2.921	1.819	2.324	8.836	1.667	2.094	3.831	1.601	2.218	9.581
14	2.533	3.266	4.474	2.519	3.214	7.987	2.454	3.267	4.989	3.122	5.100	12.398
15	1.519	2.186	3.616	1.438	2.540	7.123	1.593	2.039	4.941	1.729	4.628	4.342

TABLA 4.8. Valores de  $\phi$  calculados con  $V_u$  sin reducción.

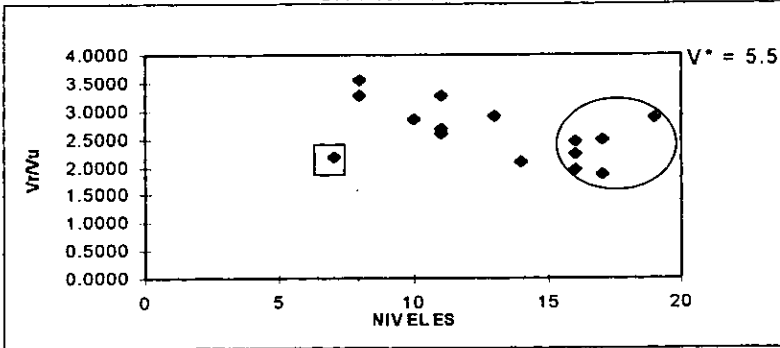
Proy.	ZONA 1 REF			ZONA 1 NO REF			ZONA 2 REF			ZONA 2 NO REF		
	V*=8	V*=5.5	V*=3	V*=8	V*=5.5	V*=3	V*=8	V*=5.5	V*=3	V*=8	V*=5.5	V*=3
1	1.662	2.101	3.236	1.485	1.829	3.669	1.469	1.811	3.000	0.914	1.207	4.088
2	1.520	1.956	2.988	1.279	1.850	2.443	1.375	1.838	3.036	0.925	1.222	1.856
3	2.536	3.275	5.580	2.192	3.236	6.995	2.014	2.790	5.309	1.618	1.618	3.481
4	1.890	2.143	2.920	1.372	1.921	2.491	1.460	1.810	2.607	0.960	1.246	1.851
5	2.000	2.462	3.549	2.081	2.700	8.832	1.775	2.418	4.430	2.037	4.416	4.416
6	2.239	2.851	4.099	1.445	2.250	3.340	1.656	2.050	3.691	1.144	1.670	3.626
7	2.736	3.553	5.069	1.858	2.405	3.543	1.956	2.535	3.946	1.202	1.772	3.830
8	2.118	2.605	3.937	1.663	2.146	3.176	1.756	2.269	3.522	1.073	1.588	2.665
9	2.078	2.494	3.418	1.508	2.120	2.765	1.835	2.198	2.874	1.060	1.397	2.056
10	2.375	2.902	4.362	1.728	2.083	3.998	1.840	2.451	3.418	1.042	1.350	4.305
11	2.285	2.689	4.709	1.676	2.027	3.992	1.867	2.750	3.326	1.336	1.596	4.222
12	1.581	1.886	2.745	1.295	1.560	2.971	1.372	1.638	2.559	1.007	1.485	3.152
13	1.817	2.229	2.921	1.490	1.801	3.465	1.568	1.878	2.955	0.901	1.165	3.713
14	2.533	3.266	4.474	1.779	2.150	4.143	2.028	2.520	3.527	1.425	2.072	4.456
15	1.519	2.186	3.616	1.195	1.794	3.962	1.472	1.808	3.616	0.897	1.981	1.981

GRAFICAS CON REDUCCION DE FUERZAS SISMICAS

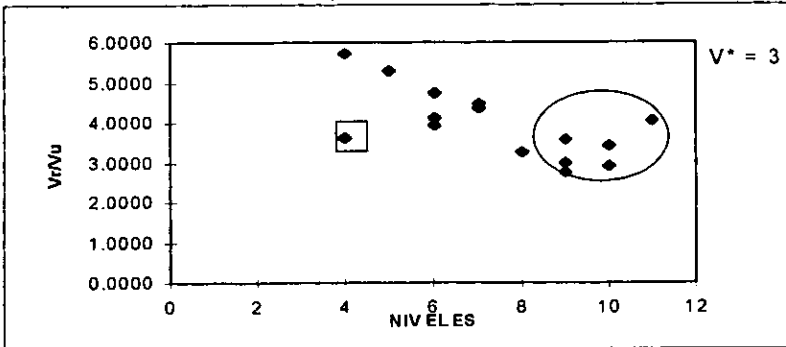
ZONA I - REFORZADO





GRAFICA 4.3.1.



GRAFICA 4.3.2.

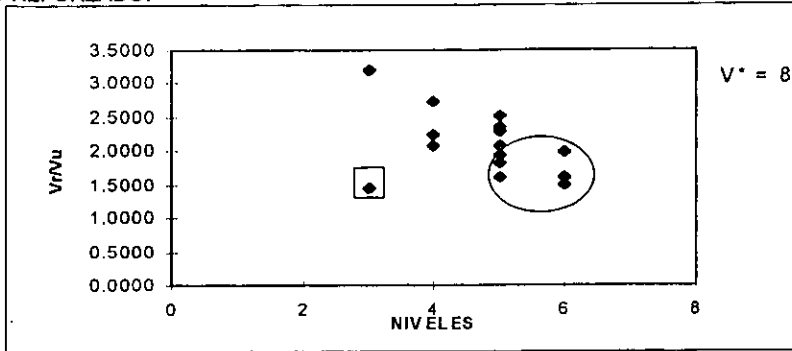


GRAFICA 4.3.3.

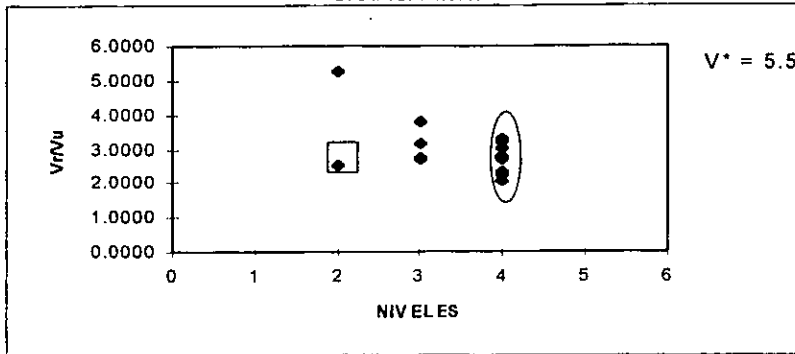
Projecto ineficiente estructuralmente   
Projecto eficiente estructuralmente 

ESTUDIO PARAMETRICO DE LA INFLUENCIA DE LA DENSIDAD DE MUROS  
 EN EL COMPORTAMIENTO SISMICO DE ESTRUCTURAS DE MAMPOSTERIA.

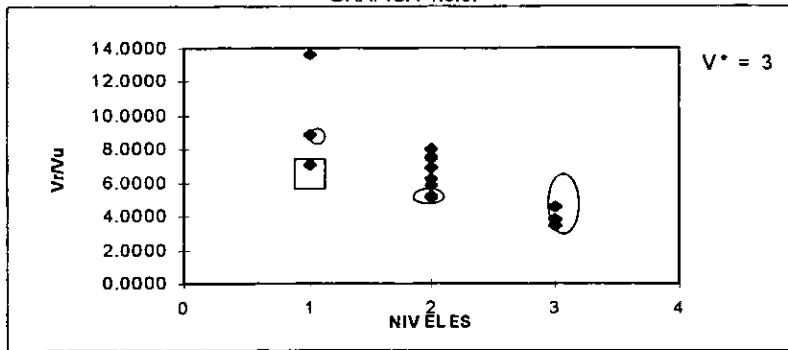
ZONA I - NO REFORZADO.-



GRAFICA 4.3.4.



GRAFICA 4.3.5.



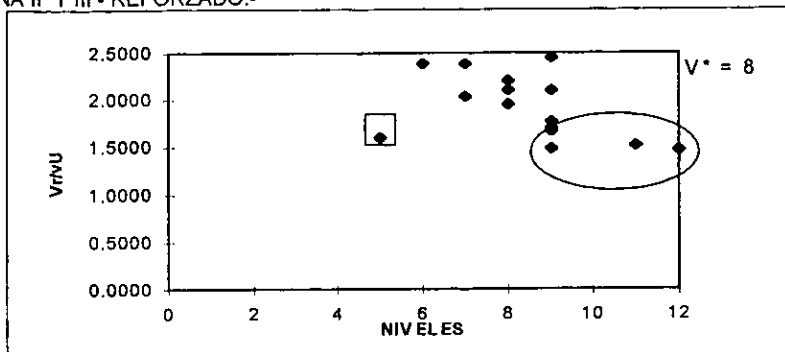
GRAFICA 4.3.6.

Proyecto ineficiente estructuralmente

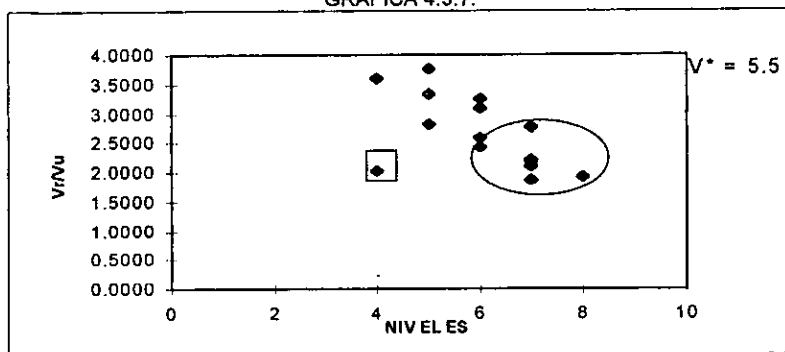
Proyecto eficiente estructuralmente

ESTUDIO PARAMETRICO DE LA INFLUENCIA DE LA DENSIDAD DE MUROS EN EL COMPORTAMIENTO SISMICO DE ESTRUCTURAS DE MAMPOSTERIA.

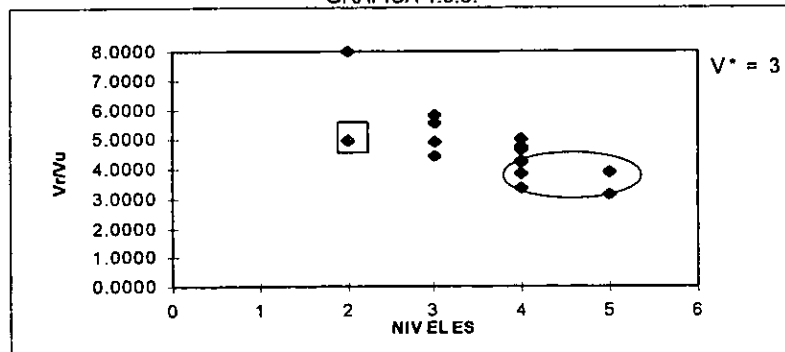
ZONA II Y III - REFORZADO.-



GRAFICA 4.3.7.



GRAFICA 4.3.8.



GRAFICA 4.3.9.

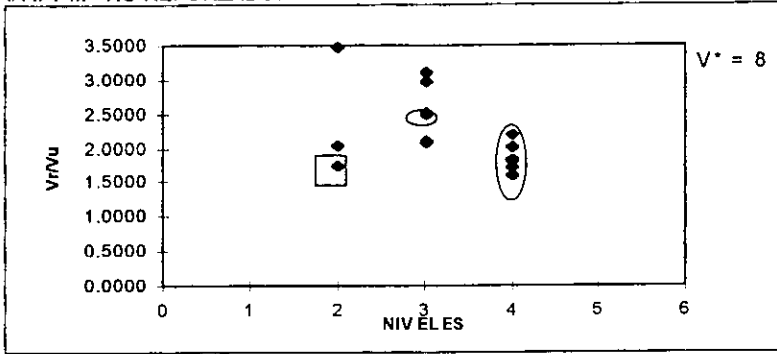
Proyecto ineficiente estructuralmente

Proyecto eficiente estructuralmente

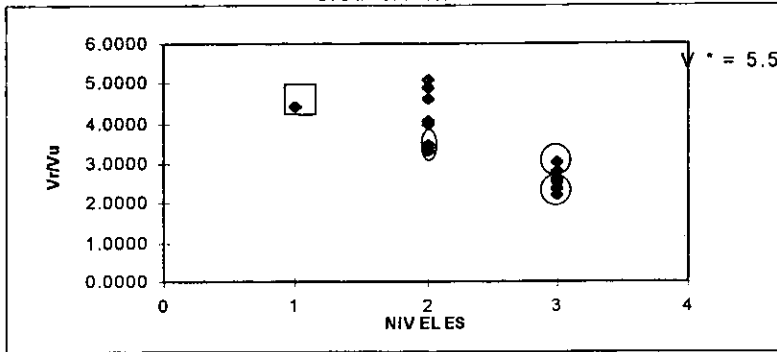


ESTUDIO PARAMETRICO DE LA INFLUENCIA DE LA DENSIDAD DE MUROS  
 EN EL COMPORTAMIENTO SISMICO DE ESTRUCTURAS DE MAMPOSTERIA.

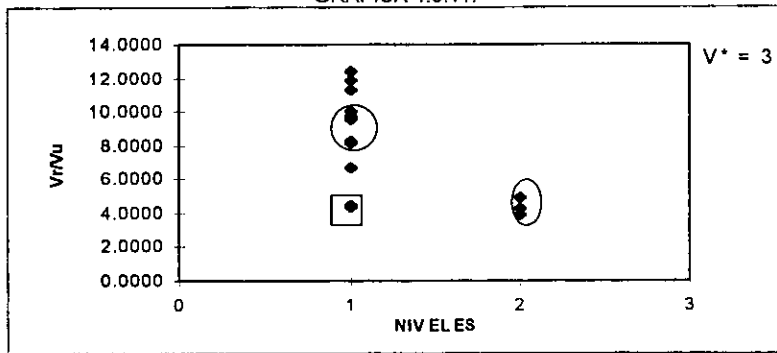
ZONA II Y III - NO REFORZADO.-



GRAFICA 4.3.10.



GRAFICA 4.3.11.



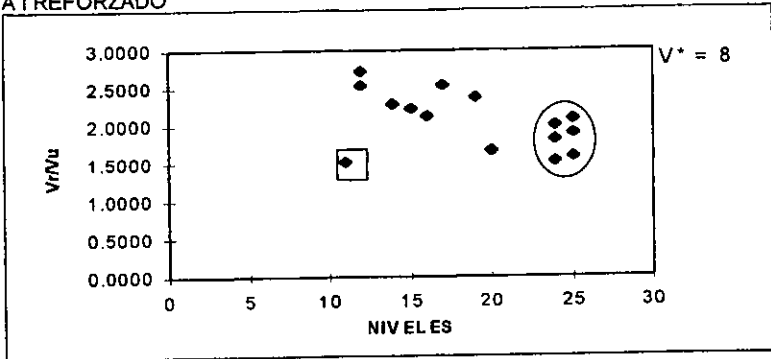
GRAFICA 4.3.12.

Proyecto ineficiente estructuralmente

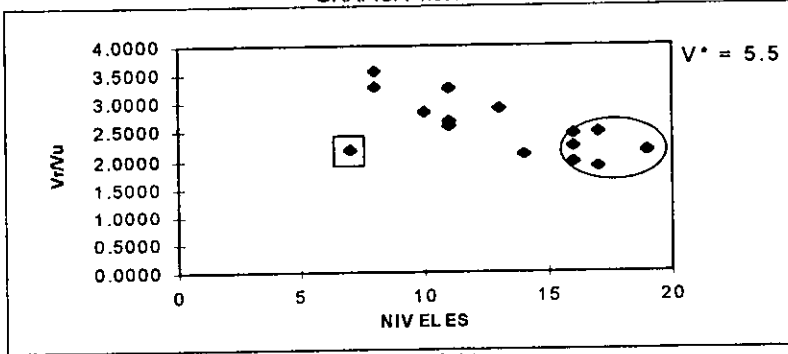
Proyecto eficiente estructuralmente

GRAFICAS SIN REDUCCION DE FUERZAS SISMICAS

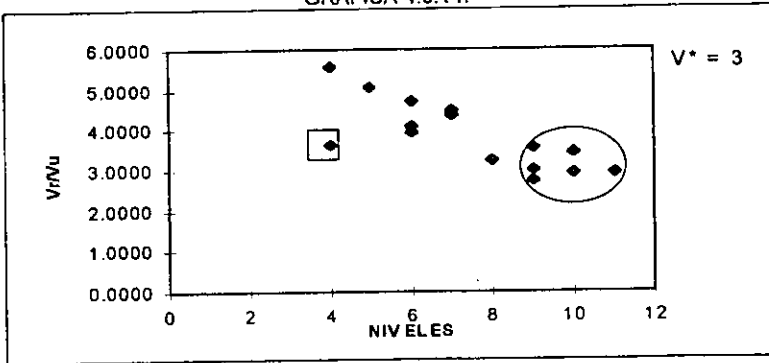
ZONA I REFORZADO



GRAFICA 4.3.13.



GRAFICA 4.3.14.



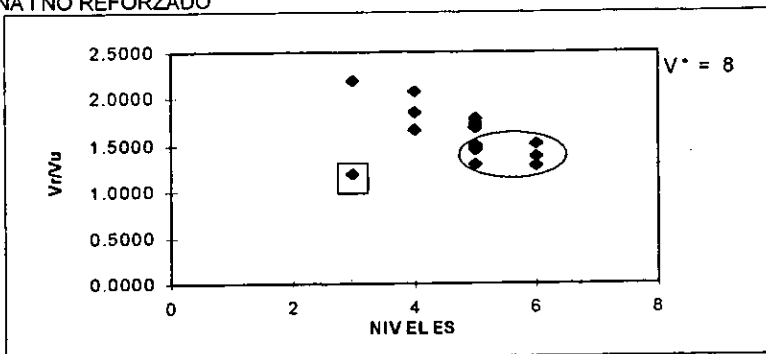
GRAFICA 4.3.15.

Proyecto ineficiente estructuralmente

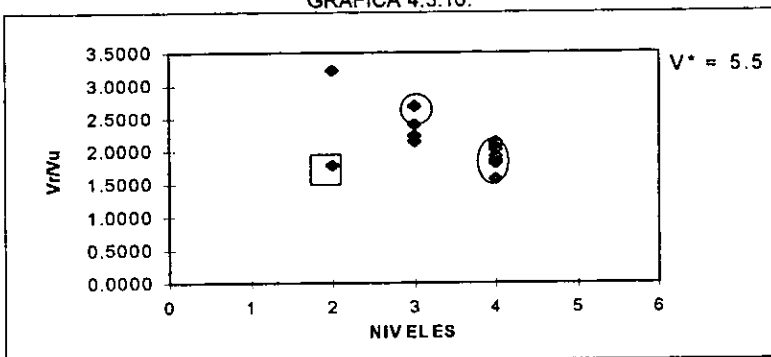
Proyecto eficiente estructuralmente

ESTUDIO PARAMETRICO DE LA INFLUENCIA DE LA DENSIDAD DE MUROS EN EL COMPORTAMIENTO SISMICO DE ESTRUCTURAS DE MAMPOSTERIA.

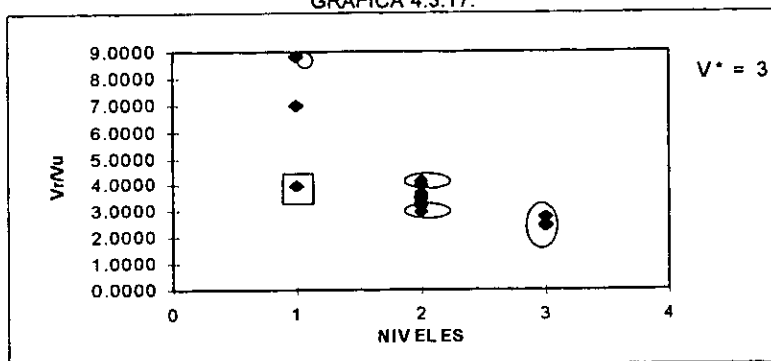
ZONA I NO REFORZADO



GRAFICA 4.3.16.



GRAFICA 4.3.17.



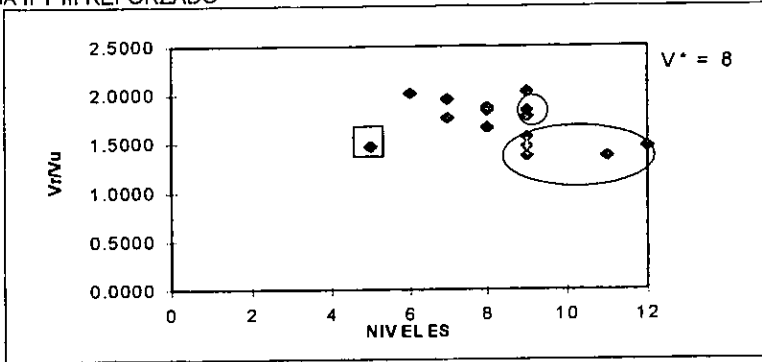
GRAFICA 4.3.18.

Proyecto ineficiente estructuralmente

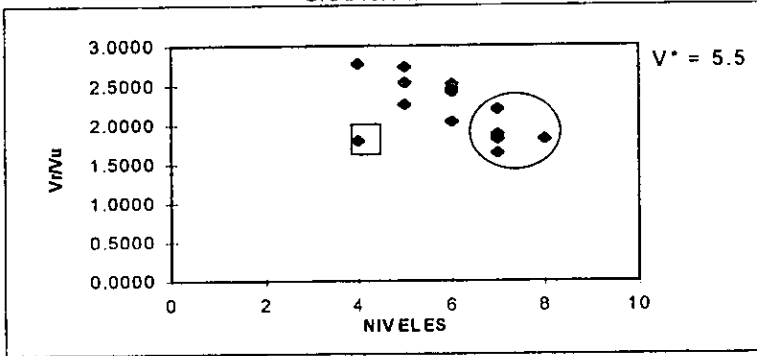
Proyecto eficiente estructuralmente

ESTUDIO PARAMETRICO DE LA INFLUENCIA DE LA DENSIDAD DE MUROS EN EL COMPORTAMIENTO SISMICO DE ESTRUCTURAS DE MAMPOSTERIA.

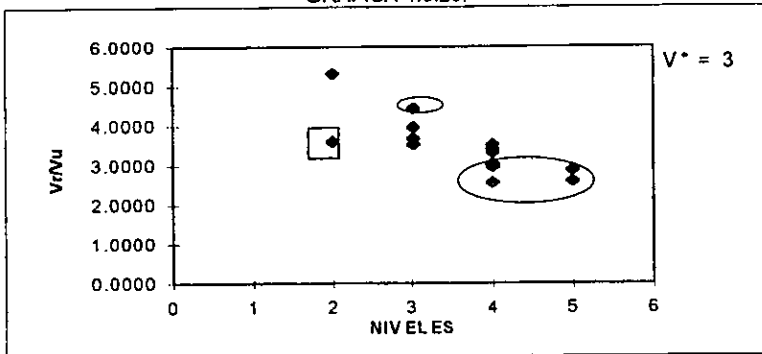
ZONA II Y III REFORZADO



GRAFICA 4.3.19.



GRAFICA 4.3.20.

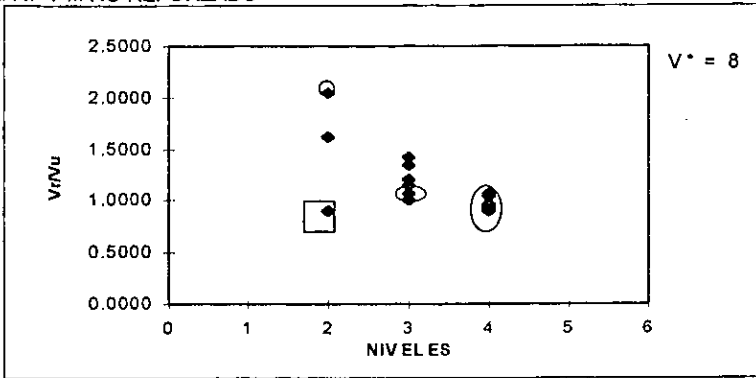


GRAFICA 4.3.21.

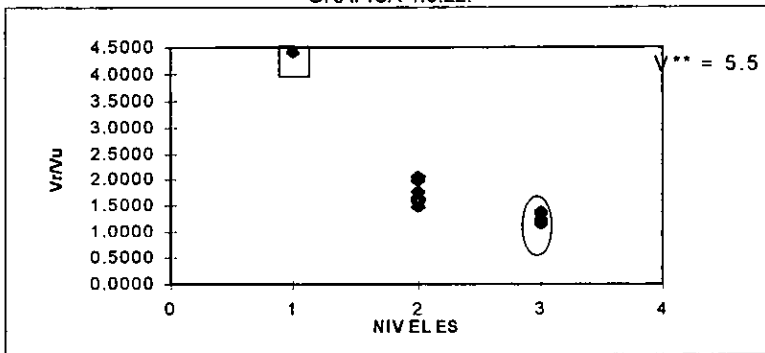
Proyecto ineficiente estructuralmente   
 Proyecto eficiente estructuralmente

ESTUDIO PARAMETRICO DE LA INFLUENCIA DE LA DENSIDAD DE MUROS EN EL COMPORTAMIENTO SISMICO DE ESTRUCTURAS DE MAMPOSTERIA.

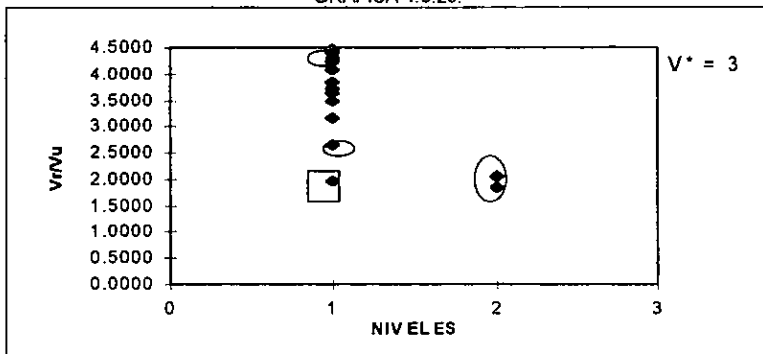
ZONA II Y III NO REFORZADO



GRAFICA 4.3.22.



GRAFICA 4.3.23.



GRAFICA 4.3.24.

Proyecto ineficiente estructuralmente

Proyecto eficiente estructuralmente

En estas gráficas, se aprecia que en la mayoría de los casos existe una tendencia del parámetro  $V_r/V_u$  para las estructuras con más niveles, ya que sus puntos se ubican en la parte más baja de la gráfica, siendo más notorio en las gráficas sin reducción de fuerzas sísmicas, en las que aparecen más agrupados. Para los valores con reducción el valor de  $V_r/V_u$  tiene una mayor amplitud en la escala del eje vertical, teniendo como consecuencia una mayor dispersión de los puntos. Por lo anterior en lo subsecuente no se trabajo con los valores calculados con reducción de fuerzas sísmicas, y solo se tomó en cuenta los valores sin reducción; además, se debe tomar en cuenta que en un proyecto nuevo, no se conoce con certeza si procede o no la reducción de fuerzas sísmicas ni la magnitud de las mismas.

#### IV.4 NORMALIZACION DE RESULTADOS POR EL NUMERO DE NIVELES

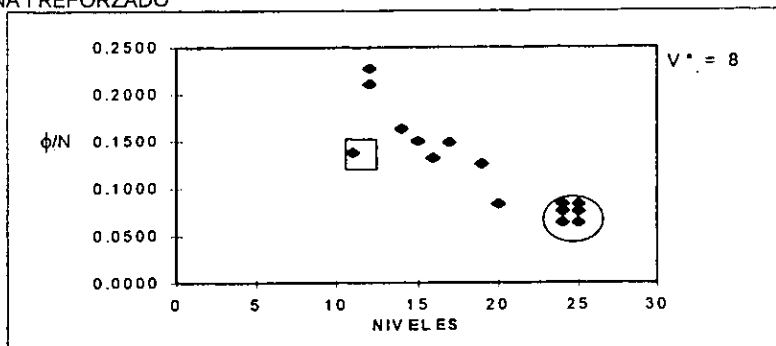
Como una manera de que el valor de la relación  $V_r/V_u$  no se vea influido por motivo de la diferencia de niveles en las estructuras, se opto por dividir este valor entre el número total de niveles del edificio para normalizar los datos y poder compararlo entre ellas, convirtiéndolos en una cantidad representativa para un nivel; a estos nuevos valores de  $\phi/N$ , se les llamó relación de cortantes y en lo subsecuente se hace referencia a ellos con esta definición. Sus valores se muestran en la tabla 4.9. seguidos de sus gráficas respectivas.

TABLA 4.9. Valores de  $\phi/N$

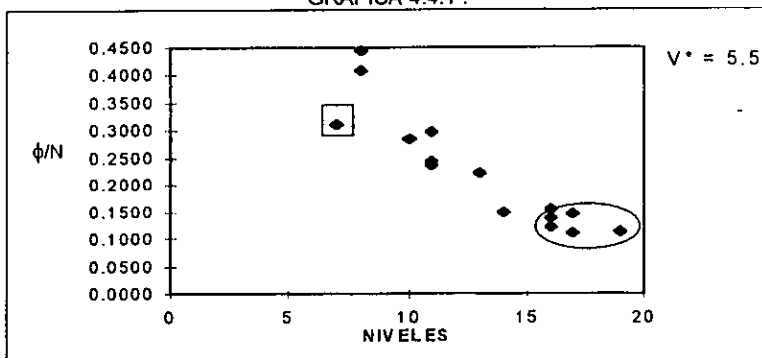
ZONA 1 REF			ZONA 1 NO REF			ZONA 2 REF			ZONA 2 NO REF		
V*=8	V*=5.5	V*=3	V*=8	V*=5.5	V*=3	V*=8	V*=5.5	V*=3	V*=8	V*=5.5	V*=3
0.083	0.150	0.405	0.297	0.457	1.835	0.163	0.259	0.750	0.229	0.402	4.088
0.063	0.122	0.332	0.213	0.463	0.814	0.125	0.263	0.759	0.231	0.407	0.928
0.211	0.409	1.395	0.731	1.618	6.995	0.336	0.697	2.654	0.809	0.809	3.481
0.076	0.113	0.265	0.229	0.480	0.830	0.122	0.226	0.521	0.240	0.415	0.926
0.083	0.154	0.394	0.520	0.900	8.832	0.197	0.403	1.477	1.018	4.416	4.416
0.149	0.285	0.683	0.289	0.750	1.670	0.207	0.342	1.230	0.381	0.835	3.626
0.228	0.444	1.014	0.464	0.802	1.772	0.279	0.507	1.315	0.401	0.886	3.830
0.132	0.237	0.656	0.416	0.715	1.588	0.251	0.454	1.174	0.358	0.794	2.665
0.083	0.147	0.342	0.251	0.530	0.918	0.204	0.314	0.575	0.265	0.459	1.028
0.125	0.223	0.623	0.346	0.521	1.999	0.230	0.409	0.854	0.260	0.450	4.305
0.163	0.244	0.785	0.335	0.507	1.996	0.233	0.550	0.832	0.445	0.998	4.222
0.063	0.111	0.305	0.259	0.390	1.485	0.152	0.234	0.640	0.336	0.743	3.152
0.076	0.139	0.292	0.298	0.450	1.733	0.174	0.268	0.739	0.225	0.388	3.713
0.149	0.297	0.639	0.356	0.537	2.072	0.225	0.420	0.882	0.475	1.036	4.456
0.138	0.312	0.904	0.398	0.897	3.962	0.294	0.452	1.808	0.448	0.991	1.981

GRAFICAS SIN REDUCCION DE FUERZAS SISMICAS

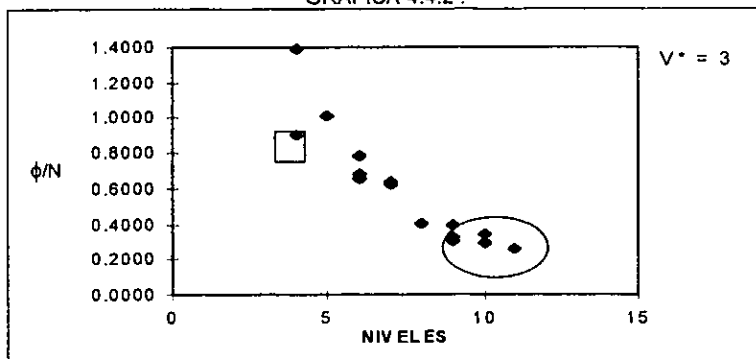
ZONA I REFORZADO



GRAFICA 4.4.1.



GRAFICA 4.4.2.

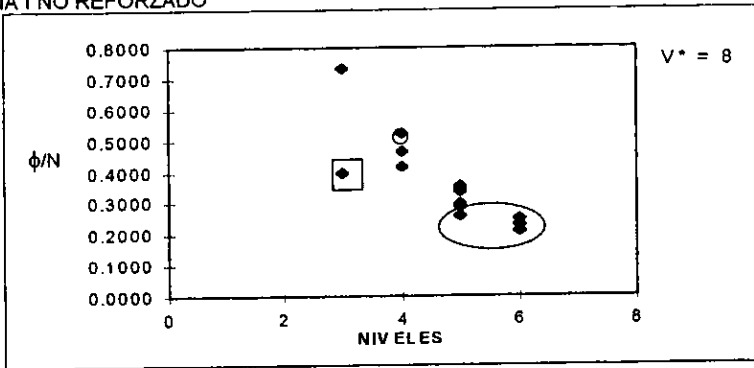


GRAFICA 4.4.3.

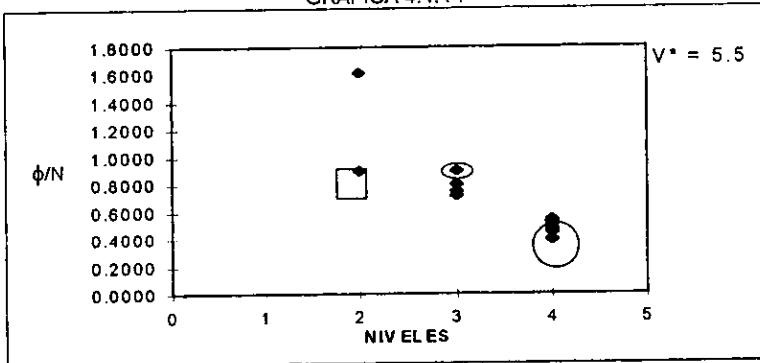
Projecto ineficiente estructuralmente   
 Proyecto eficiente estructuralmente

ESTUDIO PARAMETRICO DE LA INFLUENCIA DE LA DENSIDAD DE MUROS EN EL COMPORTAMIENTO SISMICO DE ESTRUCTURAS DE MAMPOSTERIA.

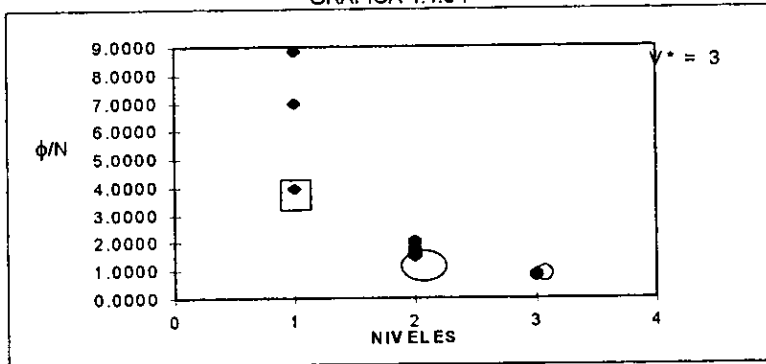
ZONA I NO REFORZADO



GRAFICA 4.4.4.



GRAFICA 4.4.5.



GRAFICA 4.4.6.

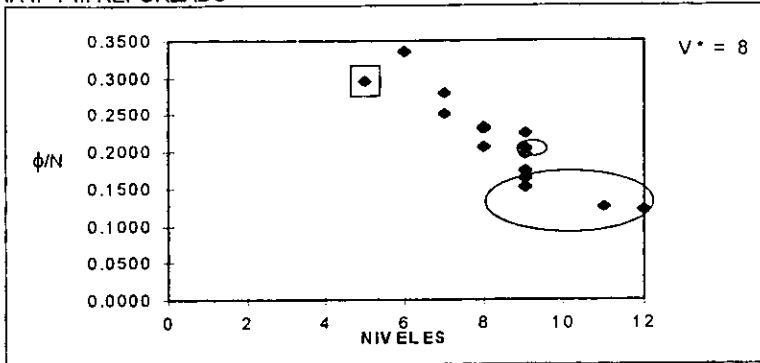
Proyecto ineficiente estructuralmente

Proyecto eficiente estructuralmente

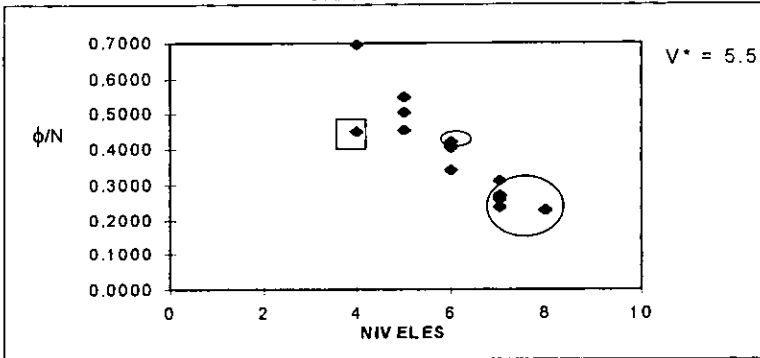


ESTUDIO PARAMETRICO DE LA INFLUENCIA DE LA DENSIDAD DE MUROS EN EL COMPORTAMIENTO SISMICO DE ESTRUCTURAS DE MAMPOSTERIA.

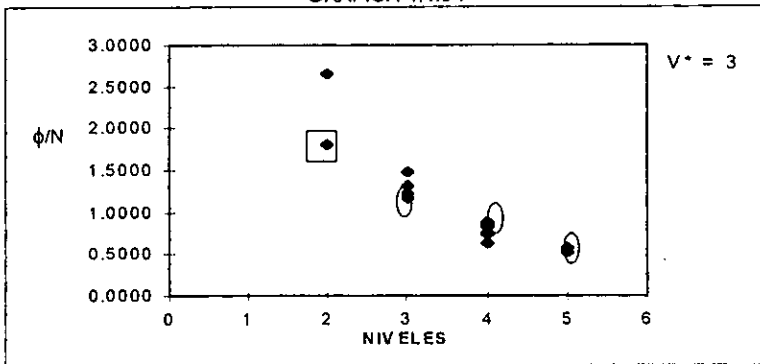
ZONA II Y III REFORZADO



GRAFICA 4.4.7 .



GRAFICA 4.4.8 .



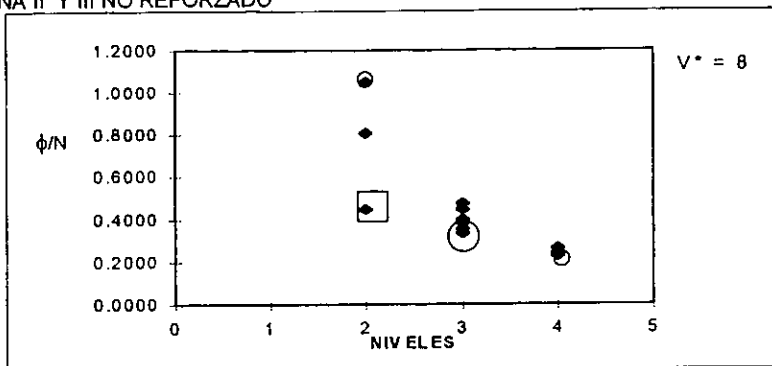
GRAFICA 4.4.9.

Proyecto ineficiente estructuralmente

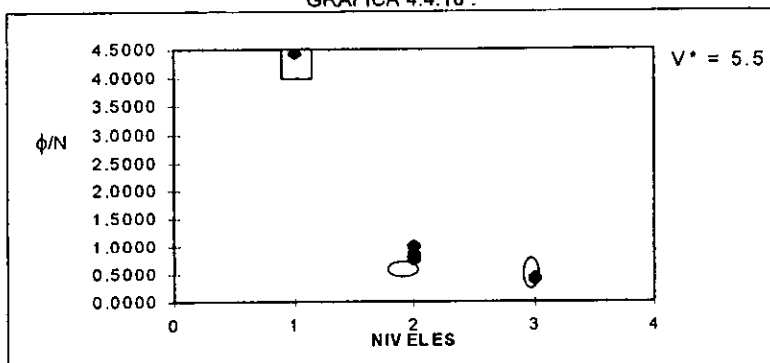
Proyecto eficiente estructuralmente

ESTUDIO PARAMETRICO DE LA INFLUENCIA DE LA DENSIDAD DE MUROS EN EL COMPORTAMIENTO SISMICO DE ESTRUCTURAS DE MAMPOSTERIA.

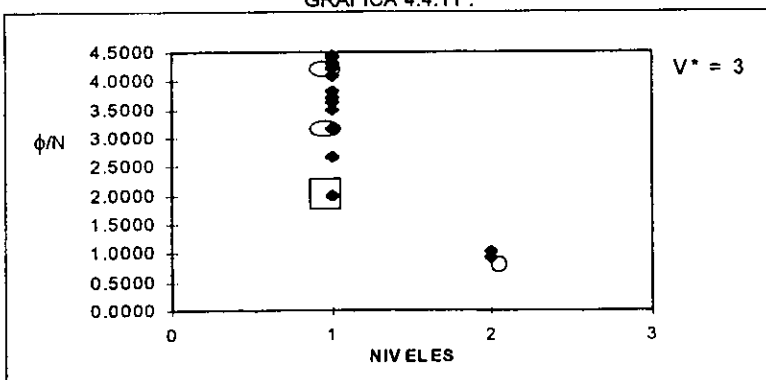
ZONA II Y III NO REFORZADO



GRAFICA 4.4.10.



GRAFICA 4.4.11.



GRAFICA 4.4.12.

Proyecto ineficiente estructuralmente

Proyecto eficiente estructuralmente

En estas nuevas gráficas se puede apreciar que la tendencia de los puntos es más marcada que en las gráficas anteriores, sobre todo para las estructuras con muros reforzados, teniendo en consecuencia una mejor diferenciación entre los proyectos eficientes y los que no lo son.

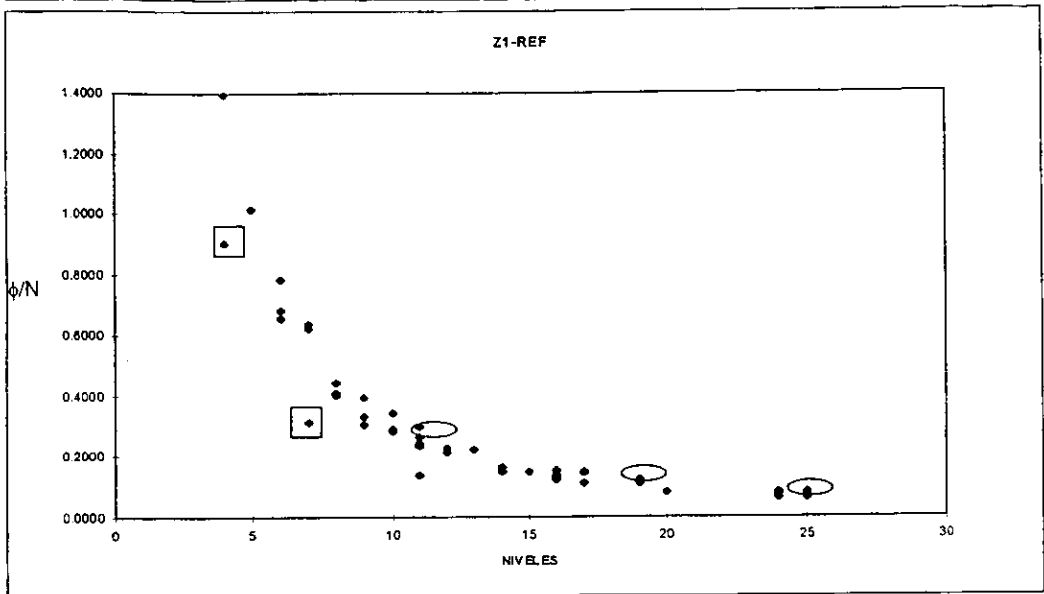
Cuando se dió el caso de que varios proyectos tuvieron el mismo número de niveles, resultó ser más eficiente el correspondiente al mayor valor en la relación de cortantes, dado que un  $\phi/N$  mayor indica que se estuvo más cerca de alcanzar el nivel próximo superior.

#### **IV.5 OBTENCION DE GRAFICAS FINALES**

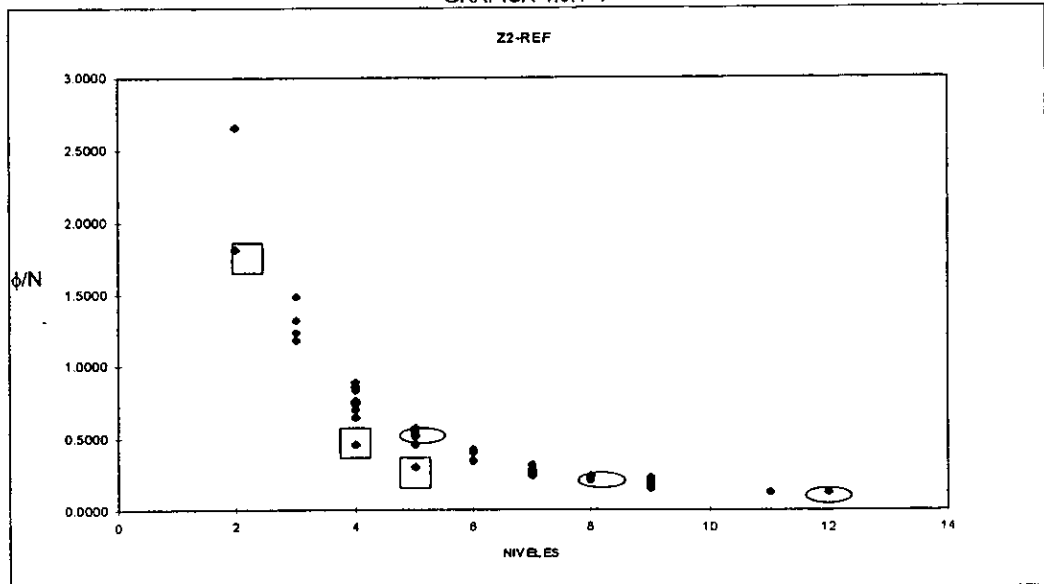
En etapas anteriores las gráficas se obtuvieron en forma separada para los tres valores de la resistencia de la mampostería en cada tipo de suelo y características del refuerzo en los muros, y ahora para agruparlas, se hizo una superposición de las tres gráficas, correspondientes a una misma condición para obtener una mejor perspectiva de comparación entre los puntos de diferentes resistencias y su tendencia.

En primer lugar se presentan las gráficas correspondientes a la modalidad de mampostería reforzada para las zonas I y II respectivamente por tener una forma muy similar en su comportamiento, y en segundo término las de mampostería no reforzada.

ESTUDIO PARAMETRICO DE LA INFLUENCIA DE LA DENSIDAD DE MUROS EN EL COMPORTAMIENTO SISMICO DE ESTRUCTURAS DE MAMPOSTERIA.



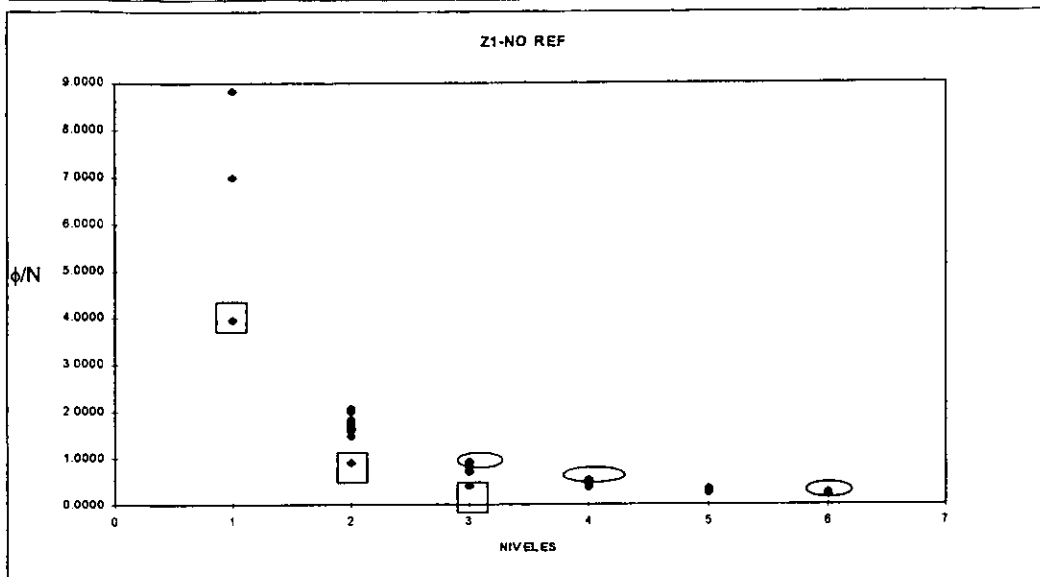
GRAFICA 4.5.1



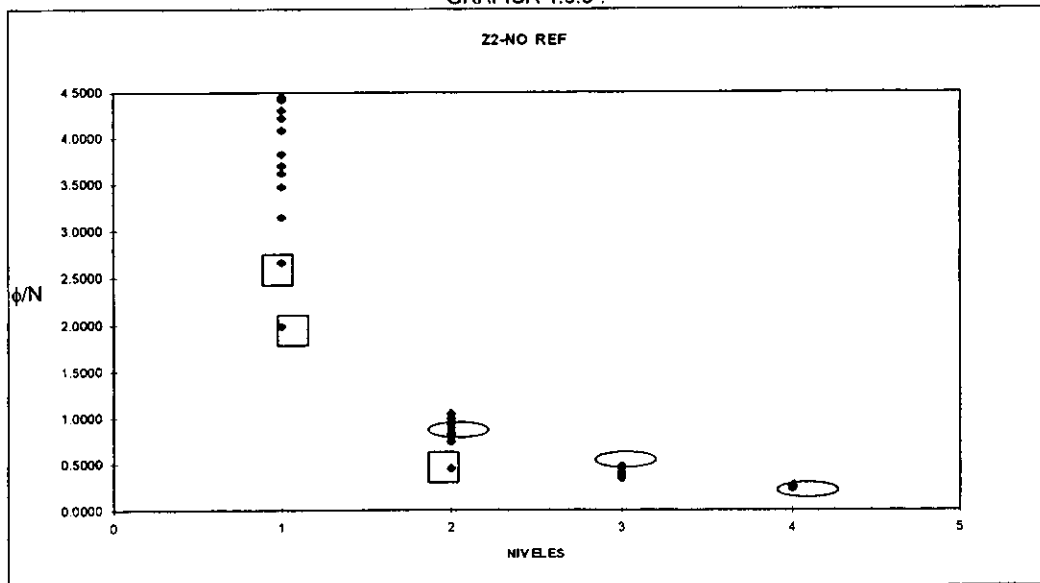
GRAFICA 4.5.2.

Proyecto ineficiente estructuralmente   
 Proyecto eficiente estructuralmente

ESTUDIO PARAMETRICO DE LA INFLUENCIA DE LA DENSIDAD DE MUROS  
EN EL COMPORTAMIENTO SISMICO DE ESTRUCTURAS DE MAMPOSTERIA.



GRAFICA 4.5.3 .



GRAFICA 4.5.4.

Proyecto ineficiente estructuralmente

Proyecto eficiente estructuralmente

ESTUDIO PARAMETRICO DE LA INFLUENCIA DE LA DENSIDAD DE MUROS  
EN EL COMPORTAMIENTO SISMICO DE ESTRUCTURAS DE MAMPOSTERIA.

Como se puede apreciar, la escala vertical se amplió para incluir a los puntos de las diferentes resistencias de la mampostería, con la consecuencia de tener más juntos a todos los puntos, pareciendo ser parte de una misma curva, ya que la tendencia de los puntos se mantiene a lo largo de toda la gráfica. Para la mampostería no reforzada se nota un cambio en mayor proporción ya que para los tres valores de resistencia de la mampostería, el número de niveles es similar, teniéndose como resultado una mezcla mayor entre los puntos, dificultando su identificación. Por lo anterior ahora solo se resalta al proyecto más eficiente y al más ineficiente de cada resistencia de la mampostería para que exista una diferencia más clara entre una estructuración eficiente y la que no lo es.

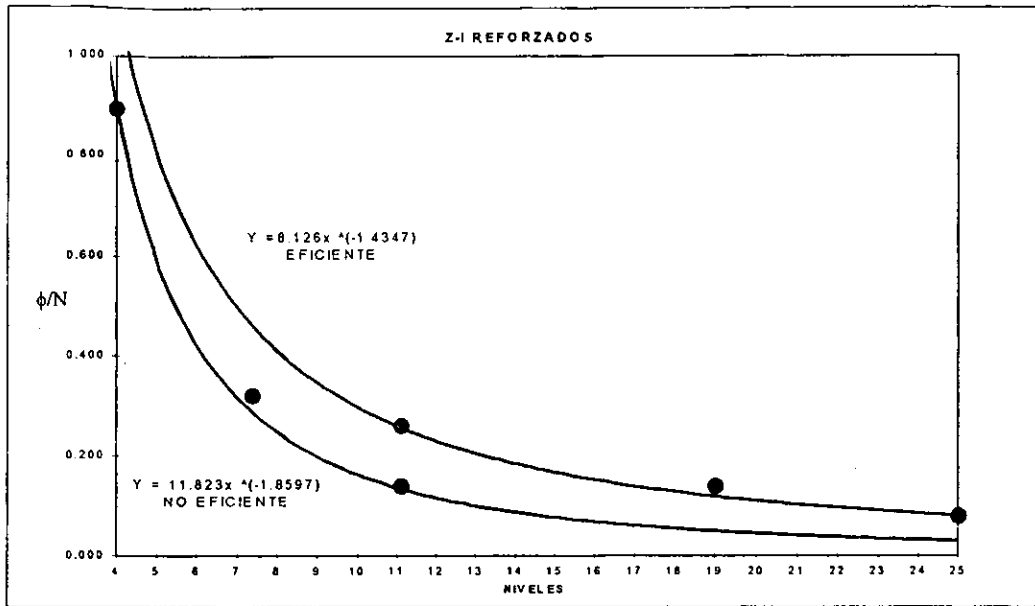
Uniendo los puntos más eficientes en cada gráfica se obtiene una curva a través de los diferentes niveles, la cual implícitamente, representa a un proyecto que cumple con una buena estructuración. Si de igual manera unimos a los puntos de los proyectos que resultaron no ser eficientes se obtiene una curva que involucra a un proyecto que no posee una adecuada estructuración. Con estas curvas se trazaron nuevas gráficas por lo que en la tabla 4.10. se presentan las coordenadas de los puntos utilizados.

TABLA 4.10. Valores para gráficas finales.

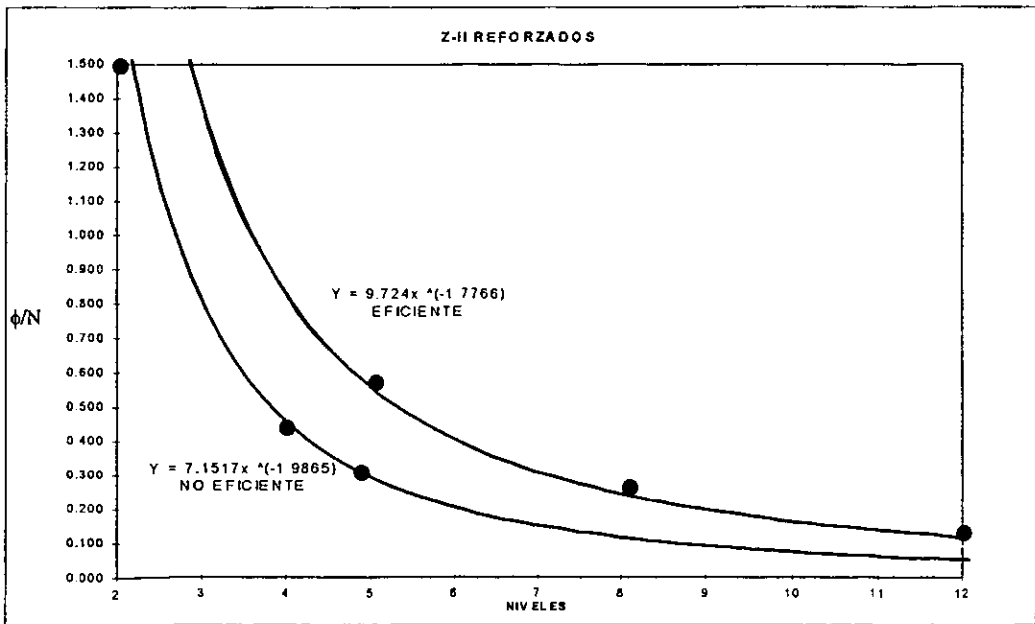
PROYECTO	NIV	$\phi N$	NIV	$\phi N$	NIV	$\phi N$	
	V* 8		V* 5.5		V* 3		
Z-I REFORZADO	EFICIENTE	25	0.083	19	0.113	11	0.265
	INEFICIENTE	11	0.138	7	0.132	4	0.904
Z-I NO REFORZADO	EFICIENTE	6	0.251	4	0.480	3	0.918
	INEFICIENTE	3	0.398	2	0.897	1	3.962
Z-II REFORZADO	EFICIENTE	12	0.122	8	0.226	5	0.575
	INEFICIENTE	5	0.294	4	0.452	2	1.808
Z-II NO REFORZADO	EFICIENTE	4	0.265	3	0.459	2	1.028
	INEFICIENTE	2	0.448	1	0.991	1	1.981

Al graficar estos puntos, se hizo un ajuste de ellos a un modo que se acercara más a su comportamiento, siendo la forma exponencial la que más se apego a la tendencia observada; para mayor facilidad en la localización de cualquier punto dentro de la gráfica, se incluye la ecuación de la curva.

ESTUDIO PARAMETRICO DE LA INFLUENCIA DE LA DENSIDAD DE MUROS EN EL COMPORTAMIENTO SISMICO DE ESTRUCTURAS DE MAMPOSTERIA.

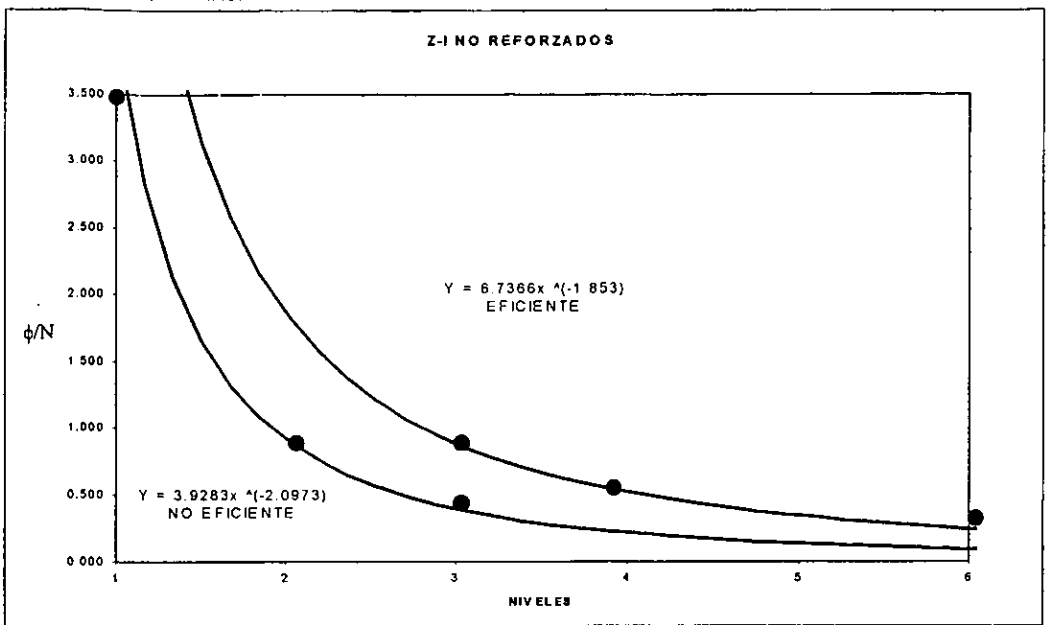


GRAFICA 4.5.5

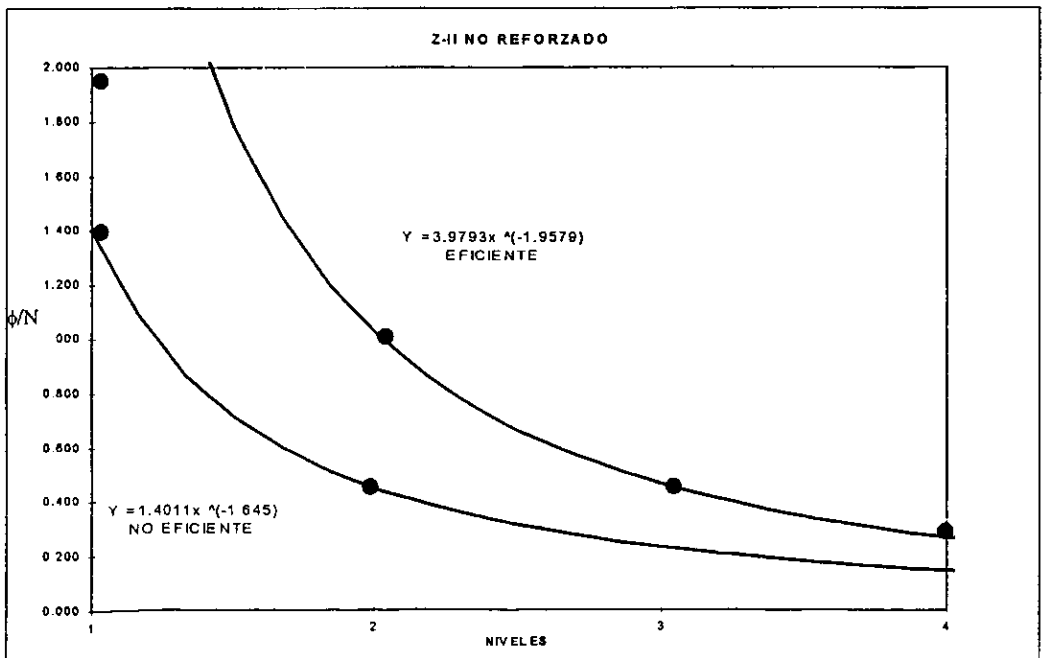


GRAFICA 4.5.6

ESTUDIO PARAMETRICO DE LA INFLUENCIA DE LA DENSIDAD DE MUROS  
EN EL COMPORTAMIENTO SISMICO DE ESTRUCTURAS DE MAMPOSTERIA.



GRAFICA 4.5.7.



GRAFICA 4.5.8.



La zona comprendida entre ambas curvas en cada gráfica contiene a todos los proyectos, por lo que la curva inferior se considera como un límite y se infiere que de acuerdo a la tendencia mostrada, cualquier proyecto cuya relación de cortantes se ubique por debajo de ella, tiene una estructuración muy poco eficiente. La curva superior representa a un proyecto que posee un eficiente diseño estructural y de la misma forma que para la curva inferior, se infiere que cualquier proyecto que se localice por encima de ella deberá ser muy eficiente.

En todas las gráficas la escala en el eje de las equis se ajustó de acuerdo a los niveles mínimo y máximo que se alcanzaron en cada modalidad del refuerzo de la mampostería y tipo de suelo.

## V. APLICACION DE RESULTADOS

### V.1 OBTENCION DEL AREA DE MURO A PARTIR DE LA RELACION DE CORTANTES

El valor de la relación de cortantes obtenida de las gráficas, nos da un parámetro cuya utilidad involucra dos situaciones. En primer lugar tratándose de un proyecto que apenas se va a realizar, basándose en la curva de un proyecto eficiente, se puede conocer de manera preliminar una cantidad de área de muros aproximada para obtener un proyecto eficiente que tendría un buen comportamiento ante sismos. En segundo lugar tratándose de un proyecto ya terminado, obteniendo su relación de cortantes, se puede evaluar la eficiencia de la estructuración y realizar las adecuaciones necesarias si es el caso.

Para determinar el área de muros mencionada en el primer punto, a partir de la ecuación de la relación de cortantes, se buscó aislar al término que la contiene, por lo que iniciaremos esta etapa con la expresión que la determina :

$$\phi = (V_r/V_u) = (F_r(0.5V^*Am+0.3P))/(cW/Q)$$

Suponiendo que se va a iniciar un nuevo proyecto, en la expresión anterior se tiene que los términos que se desconocen además del área de muro, son la cantidad de carga que baja en cada dirección, contenida en  $V_r$ , y el peso total de edificio, contenida en  $V_u$ , por lo que se analizaron por separado. Partiendo del valor de  $V_r$  que tenemos que para mampostería reforzada

$$V_r = (F_r(0.5 (V^*Am+0.3P))) * 1.25$$

A partir de los cortantes resistentes ya calculados en la tabla 4.4. se pueden determinar parámetros globales de los términos que desconocemos, al considerar como válida la expresión:

ESTUDIO PARAMETRICO DE LA INFLUENCIA DE LA DENSIDAD DE MUROS  
EN EL COMPORTAMIENTO SISMICO DE ESTRUCTURAS DE MAMPOSTERIA.

$$V_r = \alpha \cdot A_m V^*$$

$$\alpha = V_r / (A_m V^*)$$

con lo que en el valor  $\alpha$ , se agrupan los demás términos y se transforma en una variable en la que se buscó diferenciar que rango de valores tienen los edificios más eficientes, así como los ineficientes.

Los valores  $\alpha$  de todos los proyectos se presentan en la tabla 5.1 resaltando con letra negrilla los valores considerados para el cálculo de  $\alpha$  de los proyectos con estructuración eficiente y subrayados los que se utilizaron para estructuración ineficiente.

TABLA 5.1. Valores de  $\alpha$ .

Proyecto Eficiente	Num	ZONA 1 REF			ZONA 1 NO REF			ZONA 2 REF			ZONA 2 NO REF		
		V*=8	V*=5.5	V*=3	V*=8	V*=5.5	V*=3	V*=8	V*=5.5	V*=3	V*=8	V*=5.5	V*=3
	1	0.7045	0.9089	1.4487	0.2297	0.3250	0.5628	0.5569	0.7704	1.3035	0.2235	0.3160	0.5462
	2	0.7741	0.9612	1.4980	0.2374	0.3264	0.5813	0.5759	0.7759	1.3092	0.2244	0.3171	0.5639
	3	<b>0.7720</b>	<b>0.9576</b>	<b>1.4528</b>	<b>0.2361</b>	<b>0.3245</b>	<b>0.5601</b>	<b>0.6016</b>	<b>0.7924</b>	<b>1.3013</b>	<b>0.2231</b>	<b>0.3245</b>	<b>0.5603</b>
	4	<b>1.0441</b>	<b>1.3049</b>	<b>1.8700</b>	<b>0.2645</b>	<b>0.3523</b>	<b>0.6161</b>	<b>0.7012</b>	<b>0.9134</b>	<b>1.4780</b>	<b>0.2422</b>	<b>0.3361</b>	<b>0.5863</b>
	5	<b>0.9673</b>	<b>1.1467</b>	<b>1.6876</b>	0.2382	<b>0.3320</b>	<b>0.5543</b>	0.6328	<b>0.8228</b>	<b>1.3313</b>	0.2179	<b>0.3023</b>	<b>0.5543</b>
	6	0.8222	1.0061	1.5673	0.2567	0.3390	0.5897	0.6399	0.8549	1.3596	0.2325	0.3217	0.5579
	7	0.7516	0.9383	<b>1.5064</b>	0.2462	0.3402	<b>0.5915</b>	0.6182	0.8217	<b>1.3643</b>	0.2339	0.3226	0.5587
	8	0.8833	1.0792	1.6016	0.2487	0.3430	0.5943	0.6289	0.8325	1.3754	0.2358	0.3242	0.5681
	9	<b>1.0440</b>	<b>1.2335</b>	<b>1.8039</b>	<b>0.2646</b>	<b>0.3520</b>	<b>0.6155</b>	<b>0.6520</b>	<b>0.8773</b>	<b>1.4768</b>	<b>0.2420</b>	<b>0.3358</b>	<b>0.5858</b>
	10	0.9260	1.1197	1.6368	0.2567	0.3562	0.5896	0.6633	<b>0.8548</b>	1.4285	<b>0.2449</b>	<b>0.3388</b>	0.5581
	11	0.7210	0.9557	1.4418	0.2391	0.3363	0.5726	0.5761	0.7606	1.3489	0.2228	0.3123	0.5512
	12	<b>1.0805</b>	1.2700	<b>1.7753</b>	0.2569	0.3564	<b>0.5903</b>	<b>0.6657</b>	0.8928	<b>1.4295</b>	0.2332	0.3220	0.5587
	13	<b>1.0299</b>	1.1986	<b>1.8168</b>	0.2544	0.3534	<b>0.5873</b>	<b>0.6563</b>	<b>0.8818</b>	<b>1.4174</b>	<b>0.2430</b>	<b>0.3370</b>	0.5572
	14	0.8409	1.0134	1.6017	0.2526	0.3515	0.5857	0.6246	0.8386	1.4095	0.2299	0.3195	0.5565
	15	<b>0.7302</b>	<b>0.9621</b>	<b>1.6259</b>	<b>0.2218</b>	<b>0.3113</b>	<b>0.5497</b>	<b>0.6268</b>	<b>0.8869</b>	<b>1.5342</b>	<b>0.2140</b>	<b>0.2998</b>	<b>0.5497</b>
$\alpha$ Ef.	---	1.033	1.231	1.791	0.265	0.354	0.616	0.668	0.896	1.446	0.243	0.337	0.586
$\alpha$ No Ef.	---	0.751	0.953	1.528	0.229	0.318	0.555	0.614	0.840	1.418	0.219	0.309	0.555

Los valores de  $\alpha$  al final de la tabla anterior son la media de los valores considerados para cada caso. Para calcularlo, si el valor  $\alpha$  de un proyecto eficiente se encontraba en el rango

de los proyectos no eficientes, no se tomó en cuenta, y por el contrario si algún valor de los proyectos no eficientes se encontraba en el rango de los eficientes, si se considero. Esta situación se presentó sobre todo para proyectos con muros no reforzados.

Ahora para  $V_u$  tenemos que el peso total del edificio, se compone por el peso de los muros, y el peso de piso, en el que se incluye el debido a la carga viva considerando el número total de niveles de la estructura, con lo que el valor de  $V_u$  queda como sigue:

$$V_u = cW/Q$$
$$W_{tot} = N(W_{muro} + W_{piso})$$

En el análisis sísmico de cada proyecto al realizar la bajada de cargas se determinaron los valores del peso de los muros y el peso del piso, y mediante una comparación de ellos se encontró que existe una peculiaridad en la relación  $W_{muro}$  con  $W_{piso}$ , que es útil para simplificar algunos términos.

A continuación se presenta la tabla 5.2., donde se calcula el peso de piso, y el peso de los muros en un nivel para determinar dicha relación.

ESTUDIO PARAMETRICO DE LA INFLUENCIA DE LA DENSIDAD DE MUROS  
EN EL COMPORTAMIENTO SISMICO DE ESTRUCTURAS DE MAMPOSTERIA.

TABLA 5.2. Relación Wmuro/Wpiso.

Proy.	W muerta	Area Planta (m <sup>2</sup> )	Long. Muro (m)	W muerta	W viva	Vol. Muro (m <sup>3</sup> )	W muro	Wm/Wp
	(w/m <sup>2</sup> )			Por nivel (ton)	Por nivel (ton)		Por nivel (ton)	Por nivel
1	250	234.35	157.30	58.588	21.092	43.415	52.098	0.695
2	250	349.87	209.50	87.468	31.488	57.822	69.386	0.620
3	260	461.00	283.97	119.860	41.490	78.376	94.051	0.618
4	300	78.84	58.62	23.652	7.096	16.179	19.415	0.666
5	350	40.30	32.54	14.105	3.627	8.981	10.777	0.637
6	350	80.60	59.34	28.210	7.254	16.378	19.653	0.581
7	350	85.88	59.52	30.058	7.729	16.428	19.713	0.547
8	365	197.35	139.70	72.033	17.762	38.557	46.269	0.539
9	300	74.60	64.95	22.380	6.714	17.926	21.511	0.779
10	290	204.44	127.75	59.288	18.400	35.259	42.311	0.575
11	310	1063.64	521.60	329.728	95.728	143.962	172.754	0.427
12	300	285.80	159.00	85.740	25.722	43.884	52.661	0.498
13	310	117.88	83.20	36.543	10.609	22.963	27.556	0.615
14	310	235.18	160.23	72.906	21.166	44.223	53.068	0.594
15	310	108.00	59.34	33.480	9.720	16.378	19.653	0.479

Σ	8.8685
Wm/Wp medi	0.5912

La media de los proyectos eficientes nos da un valor para la relación Wm/Wp de 0.5921, con lo que estos valores se pueden sustituir por la ecuación siguiente:

$$W_{tot} = N(W_{muro} + W_{piso})$$

$$W_{tot} = N(0.5921 W_{piso} + W_{piso})$$

Existirán otros casos en los que el peso volumétrico de la mampostería no sea el que se consideró para este estudio por lo que para generalizar su aplicación a cualquier valor, se debe incluir un factor que considere esta diferencia, quedando entonces como se indica a continuación:

$$W \text{ tot} = N(0.5921 (\gamma/1.2) W_{\text{piso}} + W_{\text{piso}})$$

$$W \text{ tot} = Nw_{\text{piso}} (0.5921 (\gamma/1.2) + 1)$$

$$W \text{ tot} = Nw_{\text{piso}} (1.5921 (\gamma/1.2))$$

donde  $\gamma$  es el peso considerado de la mampostería; para fines de este estudio dicho factor se suprime ya que para el peso volumétrico de la mampostería considerada el valor de este factor es 1, por lo que la ecuación queda de la siguiente manera :

$$W \text{ tot} = 1.5921 Nw_{\text{piso}}$$

sustituyendo en la ecuación del cortante último, tenemos:

$$V_u = (c(1.5921NW_{\text{piso}}))/Q$$

Ahora realizadas las simplificaciones necesarias sustituimos en la original los valores de  $V_r$  y  $V_u$

$$(V_r/V_u) = (\alpha A_m V^*) / ((c(1.5921NW_{\text{piso}}))/Q)$$

dividiendo entre  $N$  ambos términos, obtenemos la expresión:

$$(V_r/V_u)/N = 1/N ((\alpha A_m V^*) / ((c(1.5921NW_{\text{piso}}))/Q))$$

y simplificando términos queda:

$$(V_r/V_u)/N = 1/N^2 ((\alpha A_m V^*) / ((c/Q) 1.5921W_{\text{piso}}))$$

Tomando en cuenta que:

$(V_r/V_u) = \phi$  **ESTA TESIS NO DEBE SALIR DE LA BIBLIOTECA**

y sustituyendo en la ecuación, tenemos

$$\phi/N = 1/N^2 ((\alpha AmV^*) / ((c/Q) 1.5921Wpiso))$$

$$\phi/N = (\alpha AmV^*) / (N^2(c/Q) 1.5921Wpiso)$$

En esta expresión, todos sus elementos son conocidos o se pueden calcular, con lo que podemos aislar al término del área de muro.

$$(\phi/N)(N^2(c/Q) 1.5921Wpiso) = \alpha AmV^*$$

$$\phi N(c/Q) 1.5921Wpiso = \alpha AmV^*$$

$$(\phi N(c/Q) 1.5921Wpiso) / \alpha V^* = Am$$

$$Am = \underline{(1.5921NWpiso \phi(c/Q)) / \alpha V^*}$$

## V.2 EJEMPLOS DE APLICACION

Para probar la validez y utilización de esta expresión que determina el área de muro más idónea para un proyecto, se hicieron algunos ejemplos; primeramente con los proyectos considerados como estructuralmente eficientes se comparó la longitud real con la obtenida mediante la ecuación propuesta.

1.- Como primer caso tenemos el proyecto 4 que fue uno de los que alcanzo un mayor número de niveles y cuyos datos se dan a continuación.

Longitud de muro real en la dirección crítica ... 25.00 m.  
 Area en planta ..... 79.00 m<sup>2</sup>.

Mampostería reforzada

Zona I

Número de niveles = 25

$$V^* = 8 \text{ Kg/cm}^2$$

$$W_m = 300 \text{ Kg/m}^2$$

$$W_v \text{ piso} = 90 \text{ Kg/m}^2$$

$$Q = 1.5$$

$$c = 0.16$$

El valor de la carga de piso  $W_p$  por nivel es :

$$W_p = W_m + W_v$$

$$W_p = 300 + 90$$

$$W_p = 390 \text{ Kg/m}^2$$

$$W_{p\text{total}} = 390(79) = 30810 \text{ Kg.}$$

Una observación que es pertinente hacer es que para facilitar el cálculo del peso total de la edificación, en el caso de la azotea la carga viva considerada es la misma que para un piso cualquiera, con lo que el peso total de la edificación se incrementa en un porcentaje muy reducido

De la tabla 5.1., tomamos el valor obtenido de  $\alpha$  para un proyecto eficiente, que para la zona, tipo y resistencia de la mampostería vale 1.033. El valor  $\phi/N$  se obtiene de la gráfica 4.5.5., para estas mismas condiciones, pero para tener una mayor exactitud se calcula con la ecuación presentada en la misma gráfica .

$$\phi/N = 8.126x^{-1.4347}$$

$$\phi/N = 8.126(25)^{-1.4347}$$

$$\phi/N = 0.08021439$$

En la ecuación final necesitamos solo el valor  $\phi$  por lo que ahora el resultado anterior lo multiplicamos por el número de niveles.

$$\phi = 0.08021439(25)$$



$$\phi = 2.00535976$$

sustituyendo en la ecuación final, el área de muro necesaria es :

$$A_m = ((1.5912NW_{\text{piso}} \phi (c/Q)) / \alpha V^*)$$

$$A_m = ((1.5912(25)(30810)(0.16/1.5)(2.00535976)) / (1.033(8)))$$

$$A_m = 262166.6815 / 8.264$$

$$A_m = 31723.94 \text{ cm}^2$$

considerando un espesor de muro de 12 cm. la longitud de muro es :

$$L = 31723.94 / 12$$

$$L = 2643.66 \text{ cm.}$$

y haciendo la conversión a metros el resultado final es de :

$$L = 2643.66 / 100$$

$$L = \underline{26.43 \text{ m.}}$$

La longitud de muro obtenida es muy similar a la real (25m).

2.- Como segundo ejemplo tenemos el proyecto anterior con los mismos datos, solo que se disminuyó de 25 a 18 el número de niveles para comprobar si disminuye la longitud final con respecto al resultado del ejemplo 1.

Al variar el número de niveles debemos calcular el valor de  $\phi/N$  y posteriormente sustituirlo en la ecuación, manteniendo los demás términos.

$$\phi/N = 8.126(18)^{-1.4347}$$

$$\phi/N = 0.12851012$$

$$\phi = 0.12851012(18)$$

$$\phi = 2.31318229$$

$$A_m = ((1.5912NW_{\text{piso}} \phi (c/Q)) / \alpha V^*)$$

$$A_m = ((1.5912(18)(30810)(0.16/1.5)( 2.31318229)) / (1.033(8)))$$

$$A_m = 217734.65 / 8.264$$

$$A_m = 26347.36 \text{ cm}^2$$

considerando el espesor

$$L = 2195.61 \text{ cm}$$

$$L = 21.95 \text{ m.}$$

Sin variar las condiciones de análisis y disminuyendo los niveles, resulta razonable una disminución de la longitud de muro, como fue la obtenida.

3.- Como tercer ejemplo se tiene el mismo proyecto, con una resistencia de la mampostería de  $5.5 \text{ Kg/cm}^2$ , y con 19 niveles.

Longitud de muro real en la dirección crítica ...25.00 m.

Area en planta.....79.00  $\text{m}^2$ .

Mampostería reforzada

Zona I

No de niveles = 19

$V^* = 5.5 \text{ Kg/cm}^2$

$W_m = 300 \text{ Kg/m}^2$

$W_v \text{ piso} = 90 \text{ Kg/m}^2$

$Q = 1.5$

$c = 0.16$

Para este ejemplo además de  $\phi/N$ , y el número de niveles, cambia el término  $\alpha$ , al modificar la resistencia de la mampostería.

$$\phi/N = 8.126(19)^{-1.4347}$$

$$\phi/N = 0.11891839$$

$$\phi = 0.11891839(19)$$

$$\phi = 2.25944944$$

$$\alpha = 1.230$$

$$A_m = ((1.5912NW_{\text{piso}} \phi (c/Q)) / \alpha V^*)$$

$$A_m = ((1.5912(19)(30810)(0.16/1.5)(2.25944944)) / (1.230)(5.5))$$

$$A_m = 224492.28 / 6.765$$

$$A_m = 33184.37 \text{ cm}^2$$

considerando el espesor

$$L = 2765.36 \text{ cm}$$

$$L = \underline{27.65 \text{ m.}}$$

Al disminuir la resistencia de la mampostería, el número de niveles también se reduce y la longitud de muro obtenida tiende a incrementarse para compensar la disminución en la resistencia.

4.- Como cuarto ejemplo se tiene el proyecto del ejemplo 1, variando ahora la zona según el tipo de suelo y como consecuencia el número de niveles, pero con la misma resistencia de la mampostería.

Longitud de muro real en la dirección crítica ... 25.00 m.

Area en planta.....79.00 m<sup>2</sup>.

Mampostería reforzada

Zona II

Número de niveles = 12

V\* = 8 Kg/cm<sup>2</sup>

Wm = 300 Kg/m<sup>2</sup>

Wv piso = 90 Kg/m<sup>2</sup>

Q = 1.5

c = 0.32

$$\phi / N = 9.724(12)^{-1.7766}$$

$$\phi / N = 0.11764447$$

$$\phi = 0.11764447(12)$$

$$\phi = 1.41173374$$

$$\alpha = 0.668$$

$$Am = ((1.5912NWpiso \phi (c/Q)) / \alpha V^*)$$

$$Am = ((1.5912(12)(30810)(0.32/1.5)( 1.411773374)) / (0.668(8)))$$

$$Am = 177182.7429 / 5.344$$

$$Am = 33155.45 \text{ cm}^2$$

considerando el espesor

$$L = 2762.95 \text{ cm}$$

$$L = 27.62 \text{ m.}$$

Al cambiar el tipo de suelo, se está llevando la estructura a una zona en la que los efectos sísmicos son mayores, por lo que la longitud de muro, aun cuando el número de niveles es

menor se incrementa, lo que implica que un proyecto muy eficiente requeriría de 27.62 metros de muro en la dirección crítica.

5.- Como quinto ejemplo se tomaron los mismos datos del ejemplo 1, manteniendo los 25 niveles, pero se cambio la resistencia de la mampostería a 5.5 Kg/cm<sup>2</sup>.

El valor de  $\phi$  es el mismo, no así para  $\alpha$  que ahora vale 1.230

$$\phi = 2.00535976$$

$$A_m = ((1.5912NW_{\text{piso}} \phi (c/Q)) / \alpha V^*)$$

$$A_m = ((1.5912(25)(30810)(0.16/1.5)(2.00535976)) / (1.230(5.5)))$$

$$A_m = 262166.68 / 6.765$$

$$A_m = 38753.38 \text{ cm}^2$$

considerando el espesor

$$L = 3229.44 \text{ cm}$$

$$L = 32.29 \text{ m}$$

En este ejemplo se conservó el número de niveles pero se disminuyó la resistencia de la mampostería, esperándose un aumento en la longitud de muros, obteniéndose que serían necesarios 7.29 m. adicionales.

6.- Ahora se hizo un ejemplo con mampostería no reforzada para verificar que también se cumple. Se evaluó el proyecto 4 que resultó ser eficiente, con curvas de eficiente.

Longitud de muro real en la dirección crítica ... 25.00 m.

Area en planta.....79.00 m<sup>2</sup>.

Mampostería no reforzada

Zona I

Número de niveles = 6

$V^* = 8 \text{ Kg/cm}^2$

$W_m = 300 \text{ Kg/m}^2$

$W_v \text{ piso} = 90 \text{ Kg/m}^2$

$Q = 1.0$

$c = 0.16$

El valor de la carga de piso  $W_p$  por nivel es :

$$W_p = W_m + W_v$$

$$W_p = 300 + 90$$

$$W_p = 390 \text{ Kg/m}^2$$

$$W_{p\text{total}} = 390(79.00) = 30810 \text{ Kg.}$$

El valor de  $\alpha$  es 0.265 y valor de  $\phi/N$  se calcula con la siguiente ecuación :

$$\phi/N = 6.7366x^{-1.853}$$

$$\phi/N = 6.7366(6)^{-1.853}$$

$$\phi/N = 0.24351543$$

$$\phi = 0.24351543(6)$$

$$\phi = 1.46109261$$

$$A_m = ((1.5912NW_{p\text{piso}} \phi (c/Q)) / \alpha V^*)$$

$$A_m = ((1.5912(6)(30810)(0.16/1.0)(1.46109261)) / (0.265)(8))$$

$$A_m = 68764.68 / 2.12$$

$$A_m = 32436.17 \text{ cm}^2$$

considerando el espesor

$$L = 2703.01 \text{ cm}$$

L = 27.03 m.

La longitud de muro resultante es un poco mayor que la original.

7.- Todos los ejemplos anteriores se hicieron con las gráficas de proyectos estructuralmente eficientes, y ahora se presenta un ejemplo con el proyecto 15 que resultó ser de los más ineficientes, utilizando las curvas proyectos estructuralmente ineficientes para comprobar que la longitud de muro que se obtiene es similar a la real.

Longitud de muro real en la dirección crítica ... 16.34 m.

Area en planta.....108.00 m<sup>2</sup>.

Mampostería reforzada

Zona II

Número de niveles = 5

$V^* = 8 \text{ Kg/cm}^2$

$W_m = 310 \text{ Kg/m}^2$

$W_v \text{ piso} = 90 \text{ Kg/m}^2$

$Q = 1.5$

$c = 0.32$

El valor de la carga de piso  $W_p$  por nivel es :

$W_p = W_m + W_v$

$W_p = 310 + 90$

$W_p = 400 \text{ Kg/m}^2$

$W_{p\text{total}} = 400(108.00) = 43200 \text{ Kg.}$

El valor de  $\alpha$  es el correspondiente a proyectos ineficientes y vale 0.614; el valor de  $\phi/N$  se calcula con la siguiente ecuación :

$$\phi/N = 7.1517x^{-1.9865}$$

$$\phi/N = 7.1517(5)^{-1.9865}$$

$$\phi/N = 0.29235153$$

$$\phi = 0.29235153(5)$$

$$\phi = 1.46175766$$

$$Am = ((1.5912NW\text{piso } \phi (c/Q)) / \alpha V^*)$$

$$Am = ((1.5912(5)(43200)(0.32/1.5)(1.46175766)) / (0.614)(8))$$

$$Am = 107179.72 / 4.912$$

$$Am = 21819.97 \text{ cm}^2$$

considerando el espesor

$$L = 1818.33 \text{ cm}$$

$$\underline{L = 18.18 \text{ m.}}$$

Este proyecto requiere de al menos 18 m en lugar de los 16.30 que tiene.

8.- Como octavo ejemplo se utiliza el mismo proyecto del punto 6 pero con mampostería no reforzada. Los valores que cambian con respecto al ejemplo anterior son  $Q = 1.0$ , el número de pisos es 2 y  $\alpha = 0.219$ , los demás datos son los mismos, pero ahora se calcula  $\phi/N$  con la siguiente ecuación:

$$\phi/N = 1.4011x^{-1.645}$$

$$\phi/N = 1.4011(2)^{-1.645}$$

$$\phi/N = 0.44799667$$

$$\phi = 0.44799667(2)$$

$$\phi = 0.89599334$$



$$A_m = ((1.5912NW_{\text{piso}} \phi (c/Q)) / \alpha V^*)$$

$$A_m = ((1.5912(2)(43200)(0.32/1.0)(0.89599334)) / (0.219)(8))$$

$$A_m = 39417.88 / 1.752$$

$$A_m = 22498.79 \text{ cm}^2$$

considerando el espesor

$$L = 1874.89 \text{ cm}$$

$$L = \underline{18.74 \text{ m.}}$$

En general podemos decir que en todos los ejemplos los resultados obtenidos son aceptables, ya que van de acuerdo con la lógica que se había planteado en cada caso, por lo que se considera que la utilización de las ecuaciones propuestas conduce a parámetros válidos.

9.- Ahora como parte final, utilizando los datos del proyecto 1, se presenta un ejemplo en el que se plantea la utilidad de lo obtenido en este estudio partiendo de la siguiente situación:

Se requiere conocer hasta que número de niveles se puede construir una determinada estructura y que área de muro se necesita si se cuenta con una mampostería cuya resistencia a cortante es de  $5.5 \text{ Kg/cm}^2$  y se va a reforzar interiormente; la ubicación de la construcción es en la zona II.

A partir de estos datos, en la gráfica 4.1.14. para esta zona y tipo de refuerzo, se observa que se tienen dos opciones. En la primera si el proyecto se estructura de una manera eficiente se pueden alcanzar hasta 8 niveles, y en la segunda opción si la estructuración es poco eficiente solo se alcanzan cuatro niveles.

Para este caso particular se elige la primera opción, con una estructuración eficiente ya que

se considera que el número de niveles que se necesita es de siete.

Como datos adicionales se tiene que el área del edificio en planta, así como la carga viva y la carga muerta que va a soportar la estructura en un nivel tipo son:

$$\text{Area} = 234.35 \text{ m}^2$$

$$W_m = 250 \text{ Kg/m}^2$$

$$W_v = 90 \text{ Kg/m}^2$$

$$W_p = W_m + W_v$$

$$W_p = 250 + 90$$

$$W_p = 340 \text{ Kg/m}^2$$

$$W_{p\text{total}} = 340(234.35) = 79679 \text{ Kg}$$

Como los muros son de mampostería reforzada el coeficiente de ductilidad  $Q$  vale 1.5, y de acuerdo al tipo de suelo el coeficiente sísmico es 0.32; el factor de reducción  $F_r$  y el factor de carga  $F_c$  ya están contemplados en los resultados.

En las gráficas finales, más específicamente en la gráfica 4.5.6. correspondiente a las condiciones de este ejemplo, y con la ecuación de la curva perteneciente a un proyecto muy eficiente, determinamos el valor de  $\phi/N$ .

$$\phi/N = 9.724x^{-1.7766}$$

-sustituyendo  $X$  por el número de niveles (7), se tiene

$$\phi/N = 9.724(7)^{-1.7766}$$

$$\phi/N = 0.30650938$$

pero se requiere conocer el valor de  $\phi$ , con lo que

$$\phi = 0.30650938(7)$$

$$\phi = 2.14556567$$

El valor de  $\alpha$  se encuentra en la tabla 5.1. que para la zona y resistencia de la mampostería vale 0.896 y sustituyendo en la ecuación propuesta obtenemos el área de muro necesaria.

$$A_m = ((1.5912NW_{\text{piso}} \phi (c/Q)) / \alpha V^*$$

$$A_m = ((1.5912(7)(79679)(0.32/1.5)(2.14556567)) / (0.896)(5.5))$$

$$A_m = 406225.5319 / 4.928$$

$$A_m = 82432.12 \text{ cm}^2$$

considerando que el espesor de los muros es de 12 cm

$$L = 82432.12 / 12$$

$$L = 6869.34 \text{ cm}$$

y haciendo la conversión a metros se tiene

$$\underline{L = 68.69 \text{ m}}$$

Por lo que el proyecto debe tener una longitud de muro cercana a este valor. Haciendo una comparación de la longitud de muros obtenida con la original que es de 65.20 m en la dirección crítica, se observa que son muy similares.

Si este mismo proyecto se construyera en 4 niveles con estructuración eficiente la longitud de muros requerida es la siguiente:

$$\phi/N = 9.724x^{-1.7766}$$

$$\phi/N = 9.724(4)^{-1.7766}$$

$$\phi/N = 0.828371539$$

$$\phi = 0.828371539(4)$$

$$\phi = 3.31348616$$

$$\alpha = 0.896$$

$$Am = ((1.5912NW_{\text{piso}} \phi (c/Q)) / \alpha V^*$$

$$Am = ((1.5912(4)(79679)(0.32/1.5)(3.31348616)) / (0.896)(5.5))$$

$$Am = 358486.2614 / 4.928$$

$$Am = 72744.77 \text{ cm}^2$$

considerando que el espesor de los muros es de 12 cm

$$L = 72744.77 / 12$$

$$L = 6062.06 \text{ cm}$$

y haciendo la conversión a metros se tiene

$$L = \underline{60.62 \text{ m}}$$

Si ahora se supone que este proyecto es no eficiente y determinamos la longitud de muros para los 4 niveles del caso anterior, se esta encontrando un límite bajo el la cual, cualquier longitud de muros sería un diseño inadecuado.

Para obtener esta longitud de muro se utilizan los mismos datos, a excepción del valor  $\phi/N$ , y de  $\alpha$ , los cuales ahora serán los correspondientes a un proyecto ineficiente.

$$\phi/N = 7.1517x^{-1.9865}$$

$$\phi/N = 7.1517(4)^{-1.9865}$$

$$\phi/N = 0.45542526$$

$$\phi = 0.45542526(4)$$

$$\phi = 1.821701043$$

El valor de  $\alpha$  es 0.840

$$A_m = ((1.5912NW_{\text{piso}} \phi (c/Q)) / \alpha V^4$$

$$A_m = ((1.5912(4)(79679)(0.32/1.5)(1.821701043)) / (0.840)(5.5))$$

$$A_m = 197089.94 / 4.62$$

$$A_m = 42660.16 \text{ cm}^2$$

considerando que el espesor de los muros es de 12 cm

$$L = 42983.67 / 12$$

$$L = 3555.01 \text{ cm}$$

y haciendo la conversión a metros se tiene

$$\underline{L = 35.55 \text{ m}}$$

Analizando lo obtenido en este último ejemplo se tiene que si no se estructura eficientemente la edificación, solo se alcanzaran 4 niveles y necesitará de al menos 36 m de muro de 12 cm de espesor; pero si se estructura adecuadamente requerirá de 60 m para los mismos 4 niveles o de aproximadamente 69 m si se quieren 7 niveles.

## VI. CONCLUSIONES

Conforme ha transcurrido el tiempo, los métodos y materiales estructurales han evolucionado al igual que el desarrollo del conocimiento de las fuerzas sísmicas que afectan a las estructuras, y debido a este cambio, ahora se pueden ver edificios en los que la densidad de los elementos resistentes en comparación con el área de planta se ha reducido notablemente. En el caso específico de los edificios construidos con un sistema estructural a base de muros de mampostería, la situación es muy similar, ya que los espesores y la cantidad de muro no son como los de épocas anteriores.

En la actualidad es muy común asociar la densidad de muros al comportamiento de una estructura de mampostería ante la acción de sismos intensos, pero según los resultados obtenidos de este estudio, la densidad es un parámetro muy general, ya que no garantiza un comportamiento estructural satisfactorio ante la acción de un sismo. Al comparar densidades de estructuras que se encuentran en condiciones totalmente distintas, como pueden ser la zona sísmica, el tipo de terreno o la resistencia de la mampostería, ocasiona que se incurra en interpretaciones erróneas, siendo comparable, pero sin mucha certeza, solo en condiciones similares, ya que también la posición de los elementos resistentes es otro factor que influye en el resultado final.

Para tener una estructura eficiente, la densidad de muros no es determinante como tal, ya que se requiere llegar a un punto donde el diseño y la estructuración sean de tal forma, que teniendo contemplados todos los elementos involucrados ante un sismo, se pueda determinar un parámetro de eficiencia, que optimice la cantidad de muro necesaria para asegurar un buen desempeño ante este tipo de eventos.

Se determinó dicho parámetro al relacionar la fuerza cortante última y la fuerza resistente en la estructura (ambas directamente relacionadas con la densidad de muros), obteniendo el

parámetro  $\phi$ , o relación de cortantes, cuyo valor depende de cuatro factores que son :

- a) zona sísmica
- b) tipo de terreno
- c) resistencia de la mampostería
- d) configuración estructural

Como resultado del estudio se generaron cuatro gráficas finales en las que se determina el valor del parámetro  $\phi/N$ , a partir del número de niveles de la estructura, correspondiendo cada una a un tipo de suelo y a una modalidad del refuerzo en la mampostería. Cada gráfica esta formada por dos curvas, que representan el grado de eficiencia de la estructura y cuyas ecuaciones se presentan en la siguiente tabla.:

CONDICIONES DE ANALISIS	NO EFICIENTE	EFICIENTE
ZONA I REFORZADO	$\phi = 11.823 x^{(-1.8597)}$	$\phi = 8.126 x^{(-1.4347)}$
ZONA II REFORZADO	$\phi = 7.1517 x^{(-1.9865)}$	$\phi = 9.724 x^{(-1.7766)}$
ZONA I NO REFORZADO	$\phi = 3.9283 x^{(-2.0973)}$	$\phi = 6.7366 x^{(-1.853)}$
ZONA I NO REFORZADO	$\phi = 1.4011 x^{(-1.645)}$	$\phi = 3.9793 x^{(-1.9579)}$

Mediante algunas simplificaciones se determinó una ecuación en la que utilizando el valor de la relación de cortantes ( $\phi/N$ ), se puede conocer el área de muro idonea para tener un proyecto estructuralmente eficiente, así como conocer un límite de área de muro, en el que cualquier cantidad inferior resulta no recomendable para este tipo de estructuras.

En este estudio se propone que al desarrollar el proyecto arquitectónico se haga una revisión rápida para comprobar si la cantidad de muros es suficiente para resistir las fuerzas sísmicas y si no es así, realizar las adecuaciones necesarias.

Conjuntamente con la optimización del área de muro, debemos tomar muy en cuenta que la disposición de los elementos resistentes ejerce gran influencia en el desempeño de la estructura, ya que aun teniendo una densidad de muro óptima, si no se toman en cuenta los requerimientos mínimos de configuración, se tendrán dificultades al ser sometida la estructura a la acción de un sismo, por lo que debido a su importancia, en el anexo 4 se presentan algunas recomendaciones sobre estructuración.

En los ejemplos realizados para probar la validez de la ecuación y del parámetro  $\phi/N$  la longitud de muro resultante en cada ejemplo fue muy cercana a la real, y en todos los casos se mantuvo una lógica en la tendencia de los resultados debida a las condiciones en que se obtuvieron.

La metodología que se propone para determinar si el proyecto arquitectónico propuesto es capaz de resistir las fuerzas sísmicas de diseño, se indica a continuación :

- a) De las gráficas 4.1.13. - 4.1.16., se determina la resistencia que necesita tener la mampostería para alcanzar un cierto número de niveles considerando la curva de estructuración no eficiente.
- b) Aplicando las ecuaciones correspondientes de las gráficas 4.5.5. - 4.5.8., para estructuración no eficiente se determina el área requerida para soportar las acciones del sismo de diseño.
- c) Si el área de muros que tiene el proyecto arquitectónico es menor al calculado en el inciso b, será necesario modificar dicho proyecto para que cuando menos tenga este valor.
- d) Si el proyecto tiene un área mayor a la calculada, entonces el proyecto es factible.

El anterior procedimiento es conservador ya que desde un principio se esta previendo que el proyecto arquitectónico no es eficiente estructuralmente, que es lo más común cuando durante su ejecución no se toma en cuenta el punto de vista del ingeniero estructurista.

Este procedimiento se aplica en el ejemplo 9, donde se determina el área de muro más idonea para una estructura en particular. Todos los resultados obtenidos se generan a partir de considerar solo la dirección crítica, por lo que el área resultante en este análisis representa al área de muro en esa dirección. Según lo observado en el estudio, la dirección crítica es aquella



que tiene la menor densidad de muros en planta, por lo que se considera que para la otra dirección, cualquier área igual o mayor a la obtenida, asegura que también se tenga un buen comportamiento en esa otra dirección.

Lo determinado en este estudio solo es aplicable a la zona sísmica B de la República Mexicana, ya que el estudio paramétrico considera los espectros de diseño para dicha zona, por lo que no se puede utilizar directamente lo encontrado en este trabajo para otras zonas sísmicas del país, pero se puede llegar a resultados similares si se aplica la misma metodología.

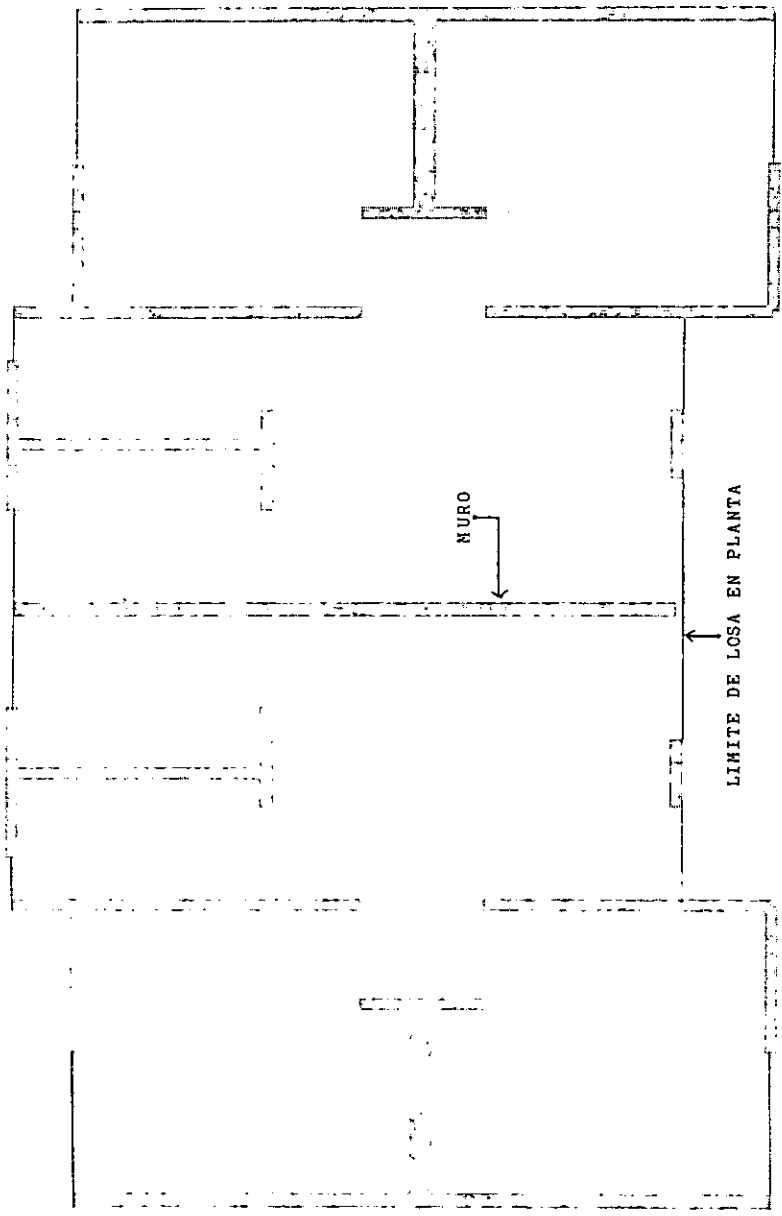
# ANEXOS

## ANEXO 1

DATOS Y RESULTADOS DEL ANALISIS SISMICO  
DEL PROYECTO 15 REALIZADOS POR EL PROGRAMA  
ANEMGC

ESTUDIO PARAMETRICO DE LA INFLUENCIA DE LA DENSIDAD DE MUROS  
EN EL COMPORTAMIENTO SISMICO DE ESTRUCTURAS DE MAMPOSTERIA.

PROYECTO 15 2 DEPARTAMENTOS POR NIVEL



**ESTUDIO PARAMETRICO DE LA INFLUENCIA DE LA DENSIDAD DE MUROS  
EN EL COMPORTAMIENTO SISMICO DE ESTRUCTURAS DE MAMPOSTERIA.**

**CARATULAS PARA INTRODUCCION DE DATOS EN EL PROGRAMA ANEMGC.**

**I.- Datos Generales.-**

Nombre del proyecto	Proyecto 15
Numero de niveles	5
Grupos de Constantes	2
Número de Muros	23
Grupo de la Estructura	B
Zona de ubicación	2
Factor de comportamiento Sísmico	1.5
Uso del Edificio	Habitacional
fy	4200

\*\* En el grupo de constantes se indica el número de materiales diferentes empleado en los muros existentes en el proyecto.

**II.- Entrepisos.-**

Nivel de Entrepiso	Altura de Muro	Altura de entripiso	Carga Muerta Kg/m <sup>2</sup>	Centro Geométrico		Dimensión Máxima	
	m	m		X	Y	X	Y
01	2.35	2.55	310	6.00	3.65	12.70	8.00
02	2.45	2.65	310	6.00	3.65	12.70	8.00
03	2.45	2.65	310	6.00	3.65	12.70	8.00
04	2.45	2.65	310	6.00	3.65	12.70	8.00
05	2.45	2.65	310	6.00	3.65	12.70	8.00

**III.- Grupos de Constantes.-**

No de grupo	Peso Volumétrico	Espesor (cm)	Tipo de muro	f'm (Kg/cm <sup>2</sup> )	v' (Kg/cm <sup>2</sup> )	Tipo de Mampostería
01	1200	12.00	K	100.00	8.00	B
02	1200	24.00	K	100.00	8.00	B

\*\* El tipo de muro nos indica si es reforzado o no reforzado

\*\* El tipo de mampostería indica

**IV.- Muros.-**

No de Muro	No de Gpo de Const..	Entrep Inicial	Entrep Final	Secc.	Muro Interior o Exterior	Long (m)	Area Tributaria (m <sup>2</sup> )	Angulo con Eje X	Coord. Centro de Gravedad X Y	As Ext. de Muro (cm <sup>2</sup> )	Dist. C.G. Borde de Muro (cm)
01	1	1	5	O	E	1.50	1.00	0	2.25 0.00	0.00	0.0
02	1	1	5	O	E	1.50	1.00	0	9.75 0.00	0.00	0.0
03	1	1	5	O	E	0.67	1.00	0	4.33 1.00	0.00	0.0
04	1	1	5	O	E	0.67	1.00	0	7.67 1.00	0.00	0.0
05	2	1	5	O	I	2.00	1.00	0	1.00 3.67	0.00	0.0
06	2	1	5	O	I	2.00	1.00	0	11.00 3.67	0.00	0.0
07	1	1	5	O	I	1.00	0.50	0	4.50 5.33	0.00	0.0
08	1	1	5	O	I	1.00	0.50	0	7.50 5.33	0.00	0.0
09	1	1	5	O	E	1.50	1.00	0	2.25 7.33	0.00	0.0
10	1	1	5	O	E	1.50	1.00	0	4.25 8.00	0.00	0.0
11	1	1	5	O	E	1.50	1.00	0	7.75 8.00	0.00	0.0
12	1	1	5	O	E	1.50	1.00	0	9.75 7.33	0.00	0.0
13	1	1	5	O	E	7.33	11.00	90	0.00 3.67	0.00	0.0
14	1	1	5	O	I	1.33	0.50	90	2.00 3.67	0.00	0.0
15	1	1	5	O	I	3.00	12.00	90	3.00 1.50	0.00	0.0
16	1	1	5	O	I	3.67	12.00	90	3.00 6.17	0.00	0.0
17	1	1	5	O	I	2.67	1.00	90	4.33 6.67	0.00	0.0
18	1	1	5	O	I	7.00	24.00	90	6.00 4.50	0.00	0.0
19	1	1	5	O	I	2.67	1.00	90	7.67 6.67	0.00	0.0
20	1	1	5	O	I	3.67	12.00	90	9.00 6.17	0.00	0.0
21	1	1	5	O	I	3.00	12.00	90	9.00 1.50	0.00	0.0
22	1	1	5	O	I	1.33	0.50	90	10.00 3.67	0.00	0.0
23	1	1	5	O	E	7.33	11.00	90	12.00 3.67	0.00	0.0

\*\* La sección indica la figura que forma con los muros con que se intersecta

ESTUDIO PARAMETRICO DE LA INFLUENCIA DE LA DENSIDAD DE MUROS  
EN EL COMPORTAMIENTO SISMICO DE ESTRUCTURAS DE MAMPOSTERIA.

RESULTADOS DEL ANALISIS SISMICO PARA EL EJEMPLO REALIZADOS POR ANEM.

ANALISIS SISMICO

Entrepiso	Wt (Ton)	H (m)	DIRECCION X				DIRECCION Y			
			K (Ton/m)	V (Ton)	Posición Cortante	Centro de torsión	K (Ton/m)	V (Ton)	Posición Cortante	Centro de torsión
5	52.21	13.15	46911	17.78	6.00	6.00	267361	12.57	3.79	4.29
4	65.55	10.5	46911	35.59	6.00	6.00	267361	25.17	3.83	4.29
3	65.55	7.85	46911	48.91	6.00	6.00	267361	34.59	3.84	4.29
2	65.55	5.2	46911	57.74	6.00	6.00	267361	40.83	3.85	4.29
1	65.09	2.55	51836	62.03	6.00	6.00	284195	43.87	3.85	4.29

Wtotal = 313.94 Ton

Tx = 0.24986

Ty = 0.10536

Q'x = 1.42

Q'y = 1.18

ax = 0.280

ay = 0.164

VALORES VARIOS

Entrepiso	X c.g.	Yc.g.	J	Mx1	Mx2	My1	My2	Dc.g.A
1	6.00	3.87	5475572	-90.74	22.00	-52.65	52.65	6.41
2	6.00	3.87	5166263	-84.33	20.77	-51.86	51.86	5.11
3	6.00	3.87	5166263	-71.78	17.37	-43.93	43.93	3.82
4	6.00	3.87	5166263	-52.83	12.24	-31.97	31.97	2.65
5	6.00	3.79	5166263	-27.48	5.38	-15.97	15.97	0.00

ESTUDIO PARAMETRICO DE LA INFLUENCIA DE LA DENSIDAD DE MUROS  
EN EL COMPORTAMIENTO SISMICO DE ESTRUCTURAS DE MAMPOSTERIA.

REVISION DE LOS MUROS POR CARGA LATERAL PARA EL EJEMPLO REALIZADA POR ANEMGC.

Muro	Entrepiso	Fr.	P (Ton)	K (Ton/m)	Vd (Ton)	Vl (Ton)	Vl'(Ton)	Vu (Ton)	Vr (Ton)
1	1	0.7	4.60	3495	4.18	0.25	0.14	4.92	7.51
	2	0.7	3.70	3148	3.87	0.22	0.14	4.55	7.27
	3	0.7	2.77	3148	3.28	0.19	0.11	3.85	7.03
	4	0.7	1.84	3148	2.39	0.14	0.08	2.81	6.78
	5	0.7	0.91	3148	1.19	0.07	0.04	1.40	6.54
2	1	0.7	4.60	3495	4.18	0.25	0.14	4.92	7.51
	2	0.7	3.70	3148	3.87	0.22	0.14	4.55	7.27
	3	0.7	2.77	3148	3.28	0.19	0.11	3.85	7.03
	4	0.7	1.84	3148	2.39	0.14	0.08	2.81	6.78
	5	0.7	0.91	3148	1.19	0.07	0.04	1.40	6.54
3	1	0.7	3.15	391	0.47	0.02	0.01	0.54	3.64
	2	0.7	2.53	347	0.43	0.02	0.01	0.49	3.48
	3	0.7	1.89	347	0.36	0.02	0.01	0.42	3.31
	4	0.7	1.25	347	0.26	0.01	0.01	0.30	3.14
	5	0.7	0.62	347	0.13	0.01	0.00	0.15	2.98
4	1	0.7	3.15	391	0.47	0.02	0.01	0.54	3.64
	2	0.7	2.53	347	0.43	0.02	0.01	0.49	3.48
	3	0.7	1.89	347	0.36	0.02	0.01	0.42	3.31
	4	0.7	1.25	347	0.26	0.01	0.01	0.30	3.14
	5	0.7	0.62	347	0.13	0.01	0.00	0.15	2.98
5	1	0.7	8.98	13839	16.56	0.14	0.08	18.40	19.16
	2	0.7	7.22	12591	15.50	0.13	0.08	17.21	18.70
	3	0.7	5.41	12591	13.13	0.11	0.07	14.58	18.22
	4	0.7	3.60	12591	9.55	0.08	0.05	10.61	17.75
	5	0.7	1.79	12591	4.77	0.04	0.02	5.30	17.27
6	1	0.7	8.98	13839	16.56	0.14	0.08	18.40	19.16
	2	0.7	7.22	12591	15.50	0.13	0.08	17.21	18.70
	3	0.7	5.41	12591	13.13	0.11	0.07	14.58	18.22
	4	0.7	3.60	12591	9.55	0.08	0.05	10.61	17.75
	5	0.7	1.79	12591	4.77	0.04	0.02	5.30	17.27
7	1	0.7	2.74	1205	1.44	0.01	0.01	1.60	4.92
	2	0.7	2.20	1075	1.32	0.00	0.01	1.46	4.78
	3	0.7	1.65	1075	1.12	0.00	0.01	1.24	4.63
	4	0.7	1.10	1075	0.82	0.00	0.01	0.90	4.49
	5	0.7	0.54	1075	0.41	0.00	0.00	0.45	4.34
8	1	0.7	2.74	1205	1.44	0.01	0.01	1.60	4.92
	2	0.7	2.20	1075	1.32	0.00	0.01	1.46	4.78
	3	0.7	1.65	1075	1.12	0.00	0.01	1.24	4.63
	4	0.7	1.10	1075	0.82	0.00	0.01	0.90	4.49
	5	0.7	0.54	1075	0.41	0.00	0.00	0.45	4.34
9	1	0.7	4.60	3495	4.18	0.04	0.10	4.68	7.51
	2	0.7	3.70	3148	3.87	0.04	0.10	4.34	7.27
	3	0.7	2.77	3148	3.28	0.03	0.08	3.67	7.03
	4	0.7	1.84	3148	2.39	0.02	0.06	2.67	6.78
	5	0.7	0.91	3148	1.19	0.01	0.03	1.33	6.54

ESTUDIO PARAMETRICO DE LA INFLUENCIA DE LA DENSIDAD DE MUROS  
EN EL COMPORTAMIENTO SISMICO DE ESTRUCTURAS DE MAMPOSTERIA.

Muro	Entrepiso	Fr.	P (Ton)	K (Ton/m)	Vd (Ton)	Vt (Ton)	Vt' (Ton)	Vu (Ton)	Vr (Ton)
10	1	0.7	4.60	3495	4.18	0.05	0.12	4.70	7.51
	2	0.7	3.70	3148	3.87	0.05	0.12	4.35	7.27
	3	0.7	2.77	3148	3.28	0.04	0.10	3.69	7.03
	4	0.7	1.84	3148	2.39	0.03	0.07	2.68	6.78
	5	0.7	0.91	3148	1.19	0.01	0.04	1.34	6.54
11	1	0.7	4.60	3495	4.18	0.05	0.12	4.70	7.51
	2	0.7	3.70	3148	3.87	0.05	0.12	4.35	7.27
	3	0.7	2.77	3148	3.28	0.04	0.10	3.69	7.03
	4	0.7	1.84	3148	2.39	0.03	0.07	2.68	6.78
	5	0.7	0.91	3148	1.19	0.01	0.04	1.34	6.54
12	1	0.7	4.60	3495	4.18	0.04	0.10	4.68	7.51
	2	0.7	3.70	3148	3.87	0.04	0.10	4.34	7.27
	3	0.7	2.77	3148	3.28	0.03	0.08	3.67	7.03
	4	0.7	1.84	3148	2.39	0.02	0.06	2.67	6.78
	5	0.7	0.91	3148	1.19	0.01	0.03	1.33	6.54
13	1	0.7	34.60	59976	9.26	3.46	5.96	15.96	69.87
	2	0.7	27.72	56984	8.70	3.43	5.58	15.19	38.06
	3	0.7	20.74	56984	7.37	2.91	4.75	12.88	36.23
	4	0.7	13.75	56984	5.37	2.12	3.50	9.38	34.40
	5	0.7	6.77	56984	2.68	1.06	1.82	4.71	32.56
14	1	0.7	3.32	2576	0.40	0.10	0.17	0.60	6.46
	2	0.7	2.67	2312	0.35	0.09	0.15	0.54	6.29
	3	0.7	2.00	2312	0.30	0.08	0.13	0.46	6.11
	4	0.7	1.33	2312	0.22	0.06	0.09	0.33	5.93
	5	0.7	0.66	2312	0.11	0.03	0.05	0.17	5.76
15	1	0.7	29.01	15881	2.45	0.46	0.79	3.46	20.21
	2	0.7	23.19	14691	2.24	0.44	0.72	3.19	18.69
	3	0.7	17.34	14691	1.90	0.37	0.61	2.71	17.15
	4	0.7	11.48	14691	1.38	0.27	0.45	1.97	15.61
	5	0.7	5.62	14691	0.69	0.14	0.23	0.99	14.07
16	1	0.7	30.18	22609	3.49	0.65	1.12	4.93	23.34
	2	0.7	24.14	21082	3.22	0.63	1.03	4.58	21.75
	3	0.7	18.04	21082	2.73	0.54	0.88	3.88	20.15
	4	0.7	11.95	21082	1.98	0.39	0.65	2.83	18.55
	5	0.7	5.85	21082	0.99	0.20	0.34	1.42	16.95
17	1	0.7	6.65	12718	1.96	0.20	0.35	2.50	12.96
	2	0.7	5.35	11709	1.79	0.20	0.32	2.29	12.62
	3	0.7	4.01	11709	1.52	0.17	0.27	1.94	12.27
	4	0.7	2.66	11709	1.10	0.12	0.20	1.41	11.91
	5	0.7	1.32	11709	0.55	0.06	0.10	0.71	11.56
18	1	0.7	59.77	56675	8.75	0.00	0.00	9.62	45.09
	2	0.7	47.80	53805	8.22	0.00	0.00	9.04	41.95
	3	0.7	35.73	53805	6.96	0.00	0.00	7.66	38.78
	4	0.7	23.66	53805	5.07	0.00	0.00	5.57	35.61
	5	0.7	11.59	53805	2.53	0.00	0.00	2.78	32.44

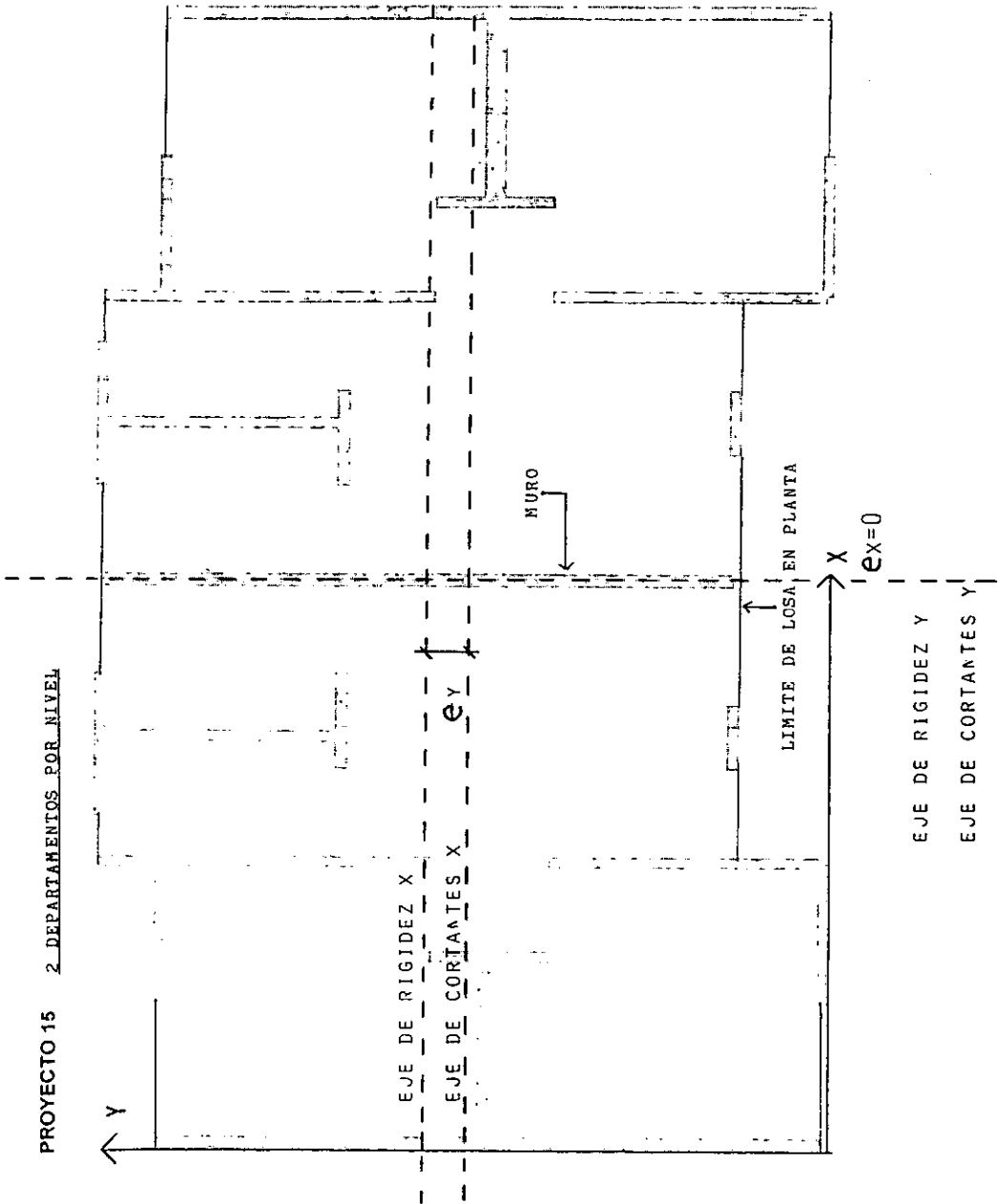


ESTUDIO PARAMETRICO DE LA INFLUENCIA DE LA DENSIDAD DE MUROS  
EN EL COMPORTAMIENTO SISMICO DE ESTRUCTURAS DE MAMPOSTERIA.

Muro	Entrepiso	Fr.	P (Ton)	K (Ton/m)	Vd (Ton)	Vt (Ton)	Vt' (Ton)	Vu (Ton)	Vr (Ton)
19	1	0.7	6.65	12718	1.96	0.20	0.35	2.50	12.96
	2	0.7	5.35	11709	1.79	0.20	0.32	2.29	12.62
	3	0.7	4.01	11709	1.52	0.17	0.27	1.94	12.27
	4	0.7	2.66	11709	1.10	0.12	0.20	1.41	11.91
	5	0.7	1.32	11709	0.55	0.06	0.20	0.71	11.56
20	1	0.7	30.18	22609	3.49	0.65	1.12	4.93	23.34
	2	0.7	24.14	21082	3.22	0.63	1.03	4.58	21.75
	3	0.7	18.04	21082	2.73	0.54	0.88	3.88	20.15
	4	0.7	11.95	21082	1.98	0.39	0.65	2.83	18.55
	5	0.7	5.85	21082	0.99	0.20	0.34	1.42	16.95
21	1	0.7	29.01	15881	2.45	0.46	0.79	3.46	20.21
	2	0.7	23.19	14691	2.24	0.44	0.72	3.19	18.69
	3	0.7	17.34	14691	1.90	0.37	0.61	2.71	17.15
	4	0.7	11.48	14691	1.38	0.27	0.45	1.97	15.61
	5	0.7	5.62	14691	0.69	0.14	0.23	0.99	14.07
22	1	0.7	3.32	2576	0.40	0.10	0.17	0.60	6.46
	2	0.7	2.67	2312	0.35	0.09	0.15	0.54	6.29
	3	0.7	2.00	2312	0.30	0.09	0.13	0.46	6.11
	4	0.7	1.33	2312	0.22	0.06	0.09	0.33	5.93
	5	0.7	0.66	2312	0.11	0.03	0.05	0.17	5.76
23	1	0.7	34.60	59976	9.26	3.46	5.96	15.96	39.87
	2	0.7	27.72	56984	8.70	3.43	5.58	15.19	38.06
	3	0.7	20.74	56984	7.37	2.91	4.75	12.88	36.23
	4	0.7	13.75	56984	5.37	2.12	3.50	9.38	34.40
	5	0.7	6.77	56984	2.68	1.06	1.82	4.71	32.56

ESTUDIO PARAMETRICO DE LA INFLUENCIA DE LA DENSIDAD DE MUROS  
EN EL COMPORTAMIENTO SISMICO DE ESTRUCTURAS DE MAMPOSTERIA.

POSICION DEL CENTRO DE CORTANTES Y DE TORSION



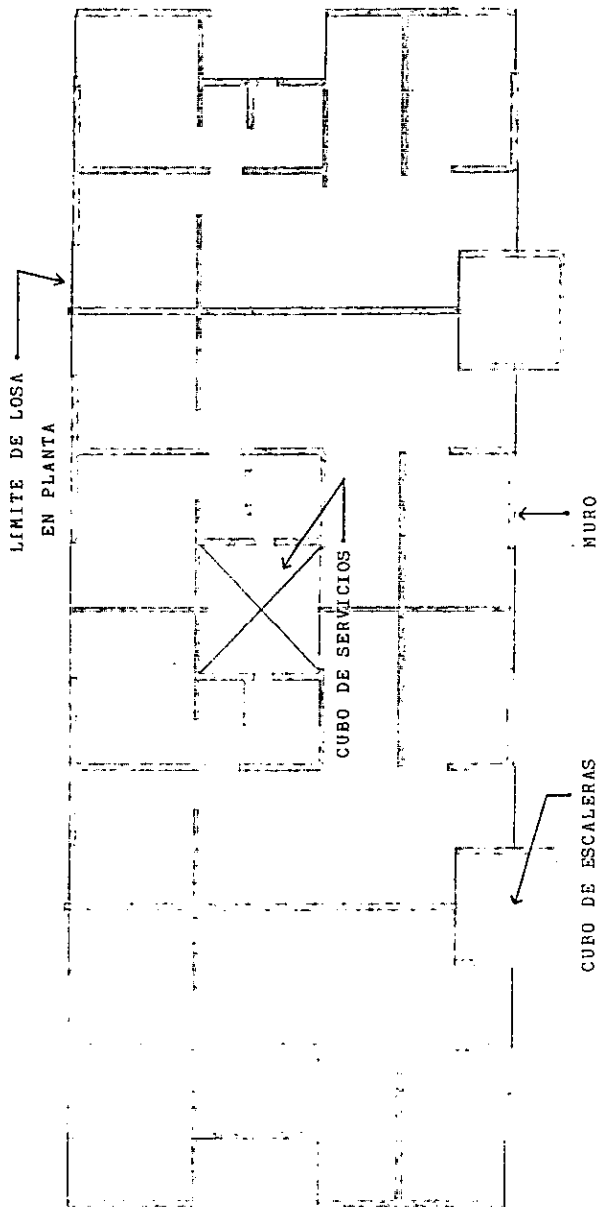
## ANEXO 2

DISTRIBUCION DE MUROS EN PLANTA DE TODOS  
LOS PROYECTOS.

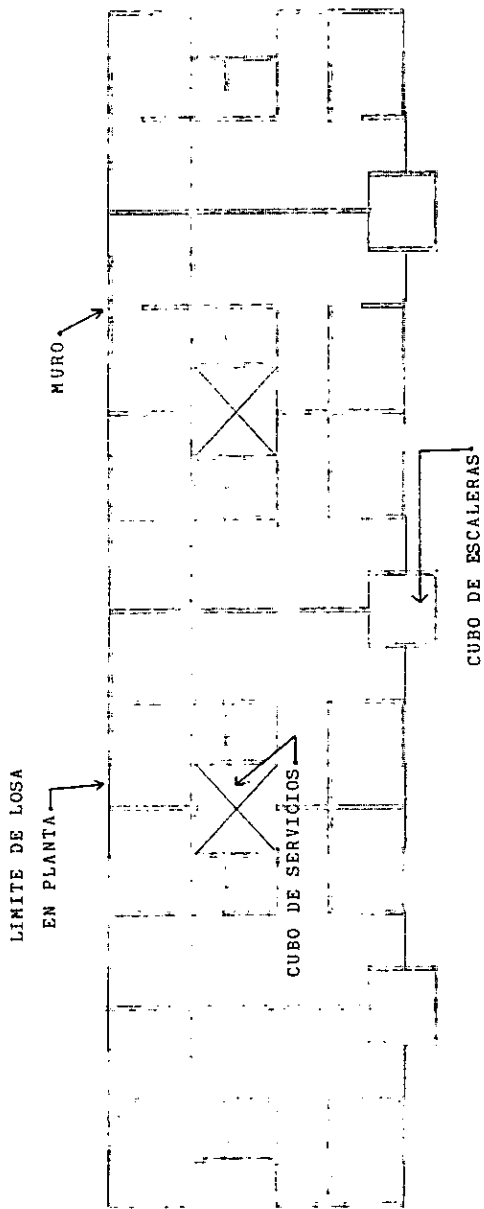
ESTUDIO PARAMETRICO DE LA INFLUENCIA DE LA DENSIDAD DE MUROS  
EN EL COMPORTAMIENTO SISMICO DE ESTRUCTURAS DE MAMPOSTERIA.

4. DEPARTAMENTOS POR NIVEL

PROYECTO 1



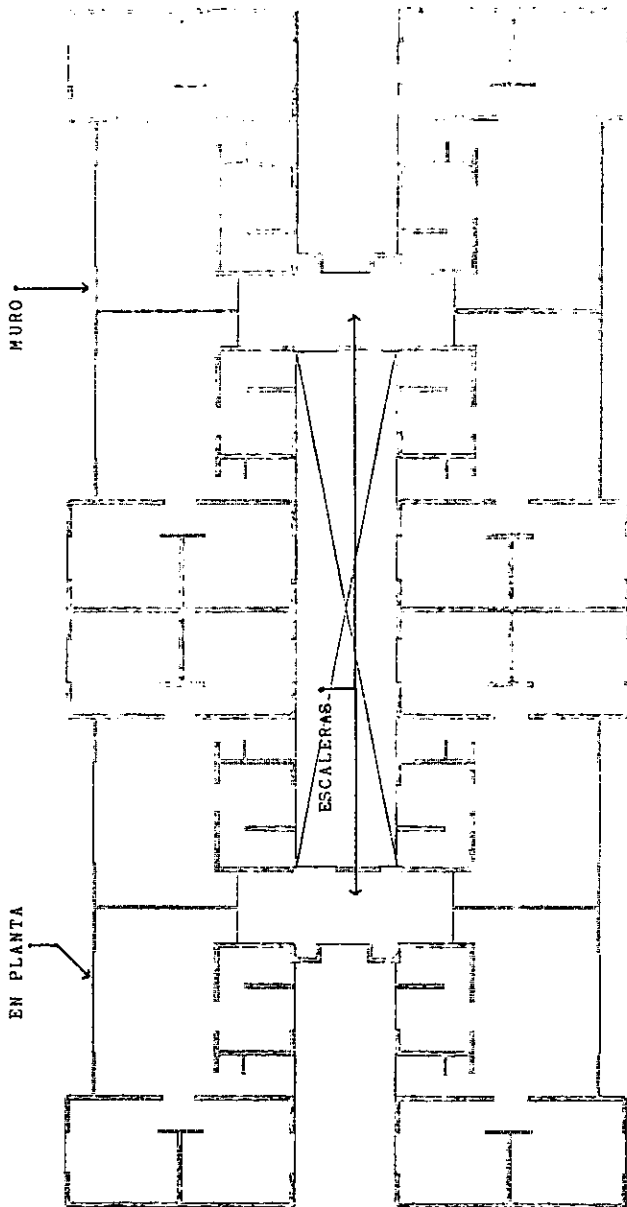
PROYECTO 2  
6. DEPARTAMENTOS POR NIVEL



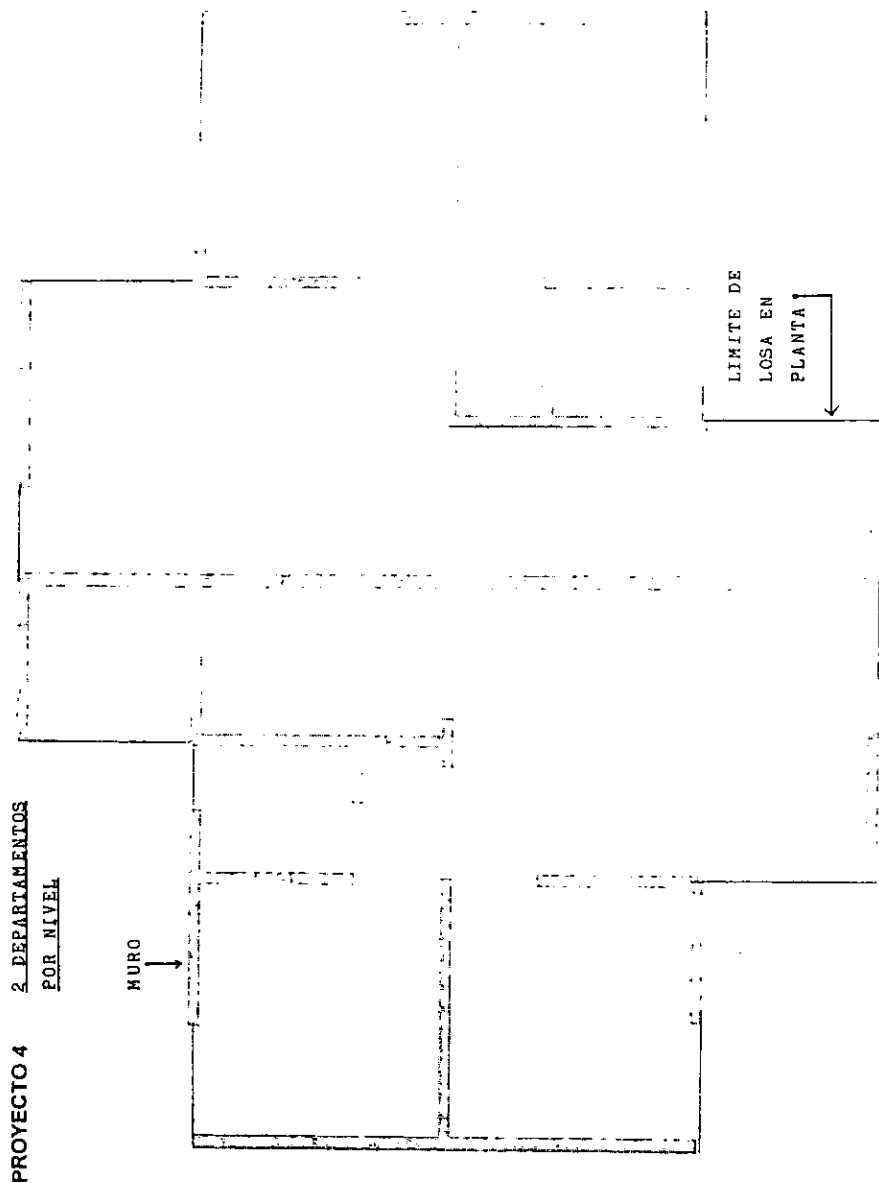
ESTUDIO PARAMETRICO DE LA INFLUENCIA DE LA DENSIDAD DE MUROS  
EN EL COMPORTAMIENTO SISMICO DE ESTRUCTURAS DE MAMPOSTERIA.

PROYECTO 3  
8 DEPARTAMENTOS POR NIVEL

LIMITE DE LOSA  
EN PLANTA

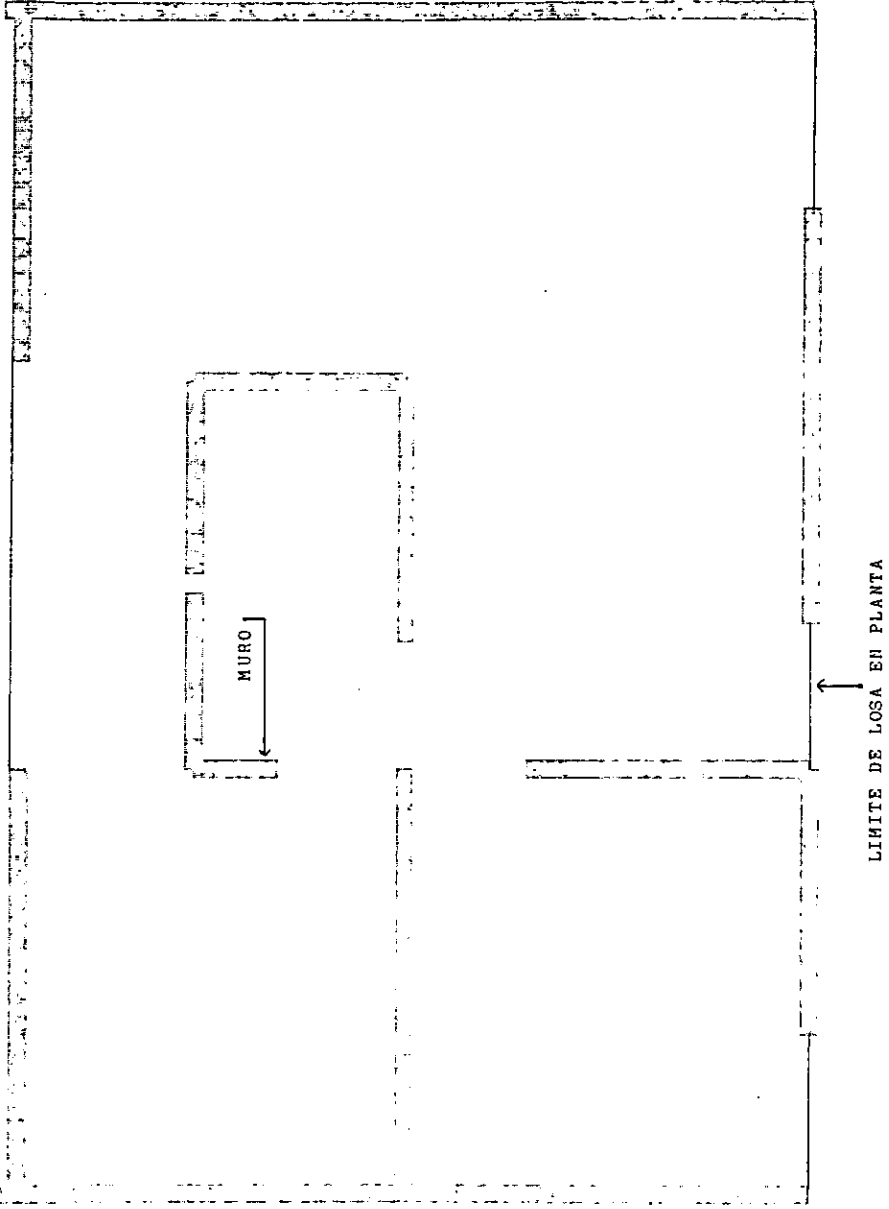


ESTUDIO PARAMETRICO DE LA INFLUENCIA DE LA DENSIDAD DE MUROS  
EN EL COMPORTAMIENTO SISMICO DE ESTRUCTURAS DE MAMPOSTERIA.



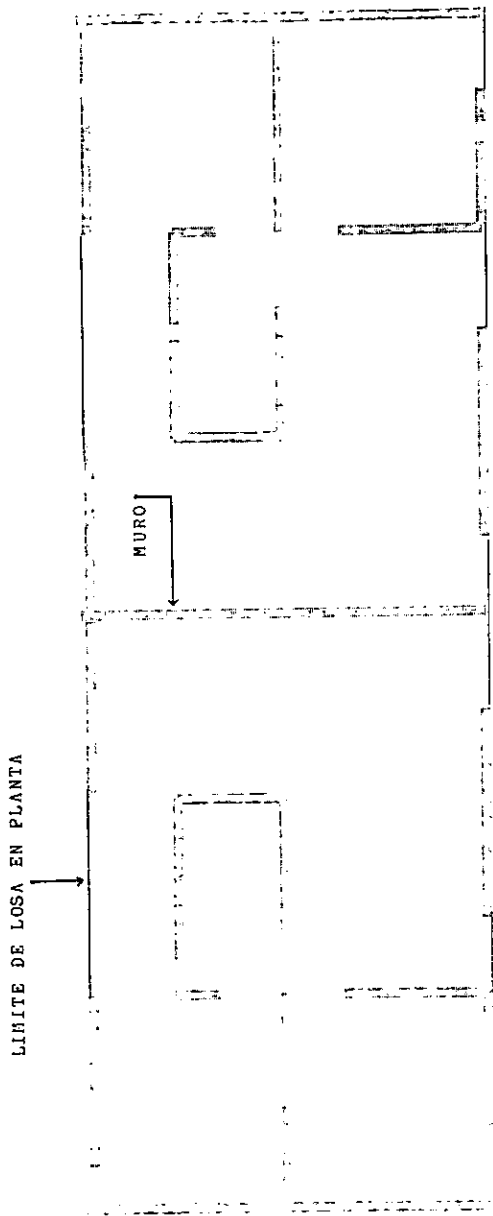
ESTUDIO PARAMETRICO DE LA INFLUENCIA DE LA DENSIDAD DE MUROS  
EN EL COMPORTAMIENTO SISMICO DE ESTRUCTURAS DE MAMPOSTERIA.

PROYECTO 5 1 DEPARTAMENTO POR NIVEL

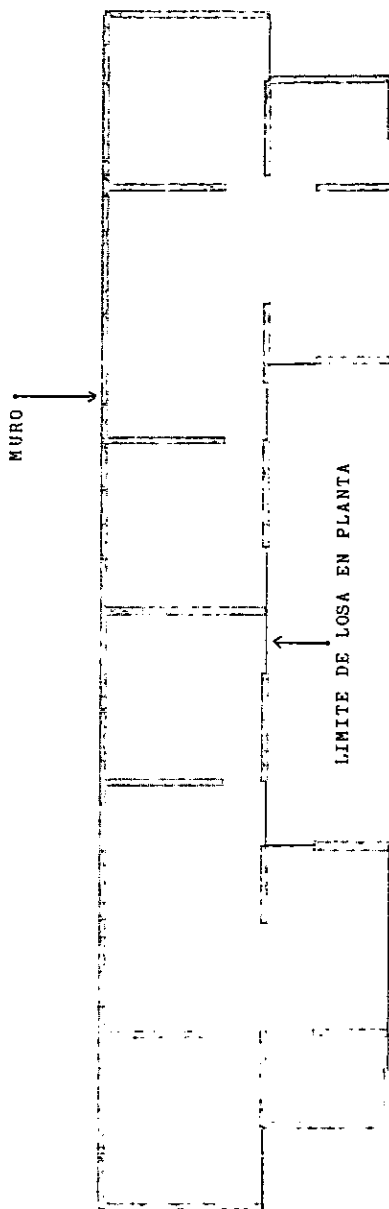




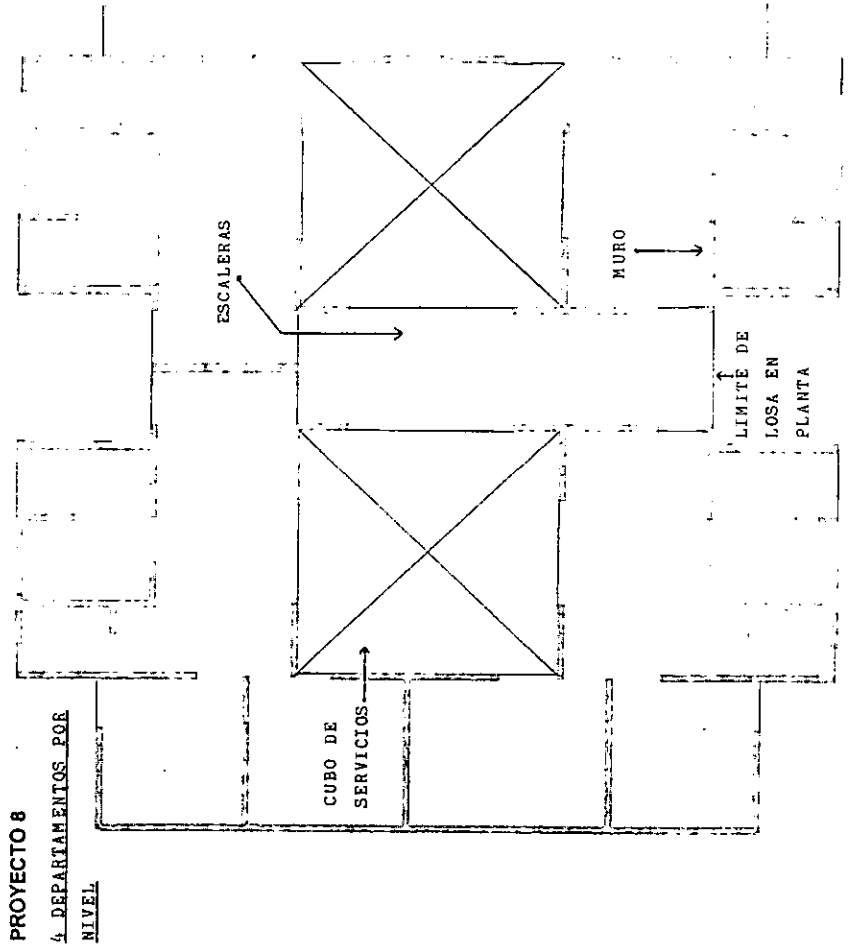
PROYECTO 6 2 DEPARTAMENTOS POR NIVEL



PROYECTO 7 2 DEPARTAMENTOS POR NIVEL

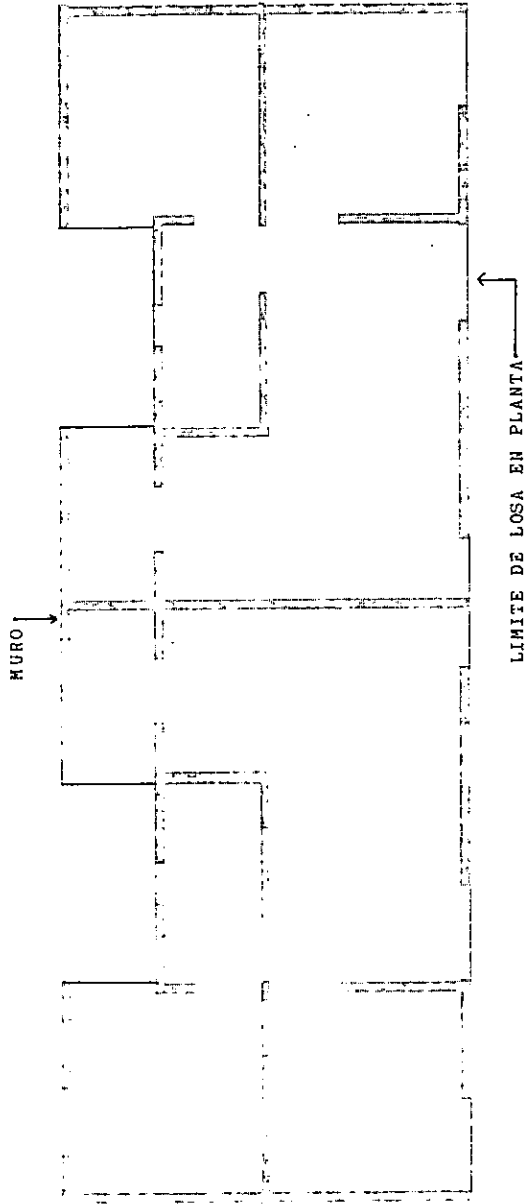


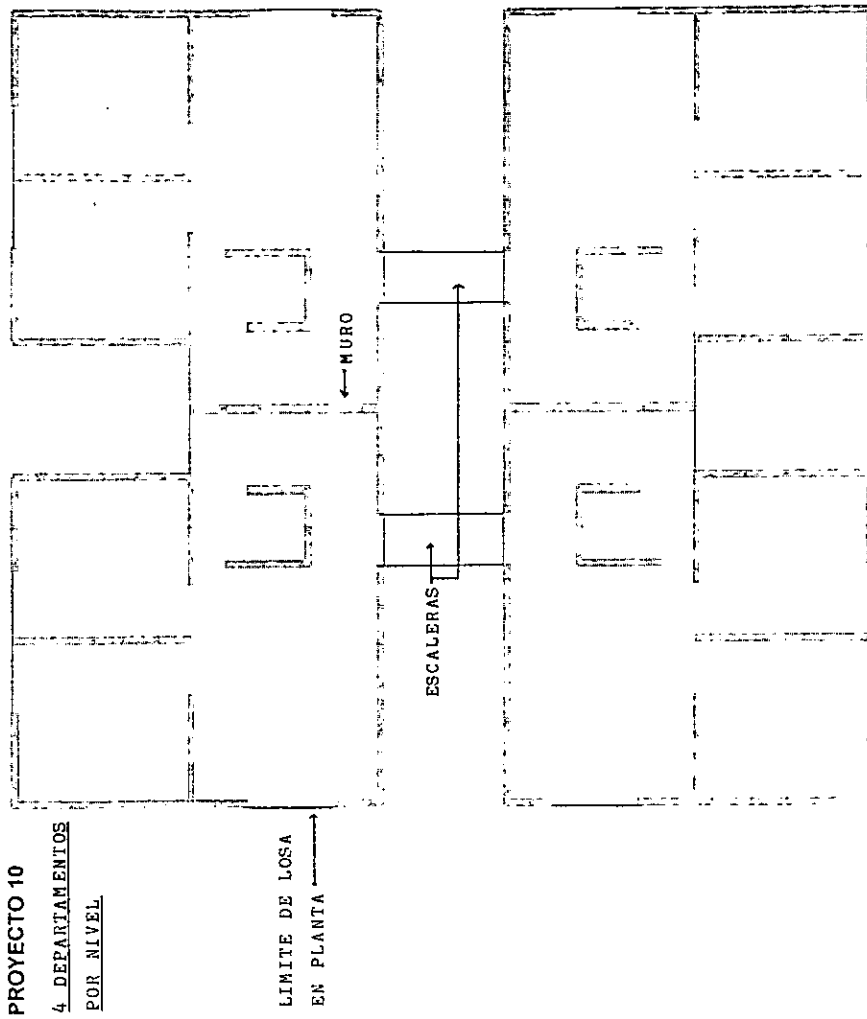
ESTUDIO PARAMETRICO DE LA INFLUENCIA DE LA DENSIDAD DE MUROS  
EN EL COMPORTAMIENTO SISMICO DE ESTRUCTURAS DE MAMPOSTERIA.



ESTUDIO PARAMETRICO DE LA INFLUENCIA DE LA DENSIDAD DE MUROS  
EN EL COMPORTAMIENTO SISMICO DE ESTRUCTURAS DE MAMPOSTERIA.

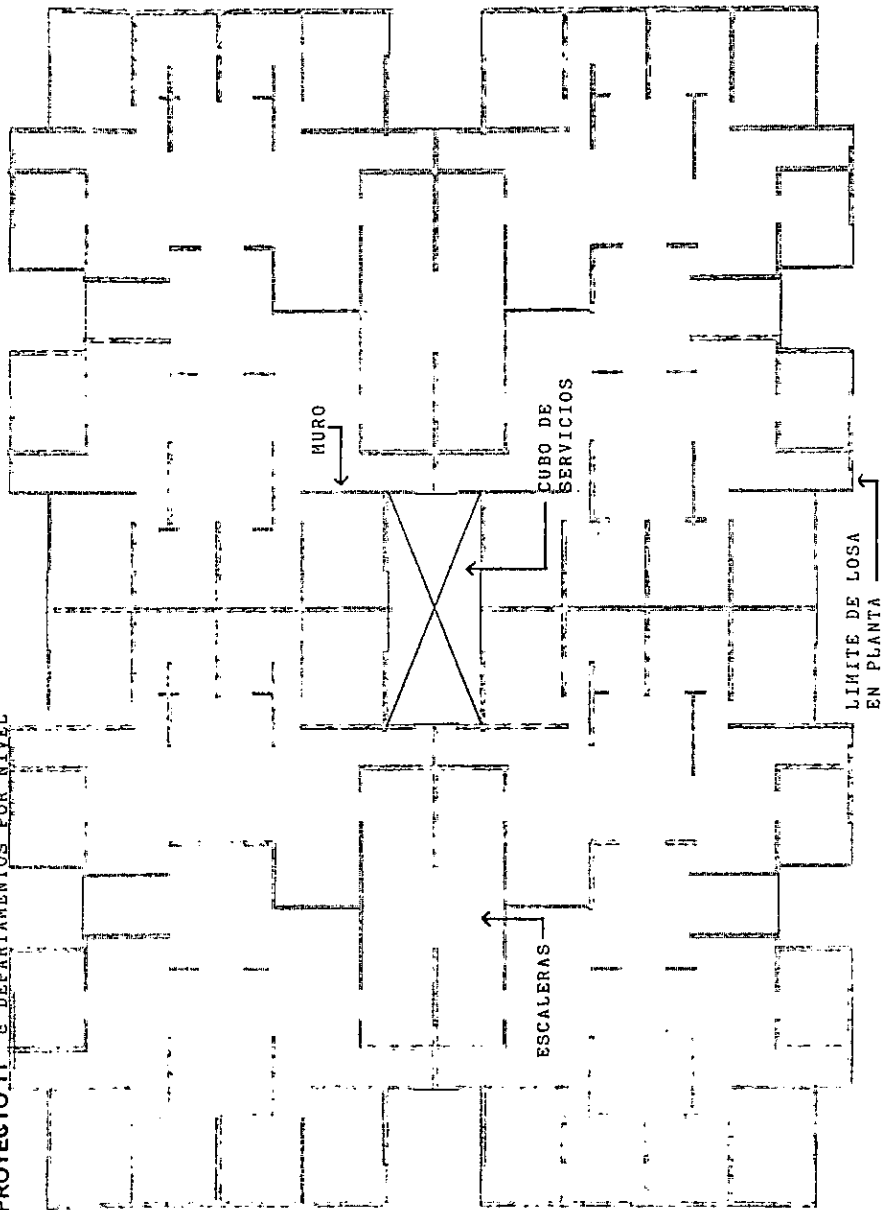
PROYECTO 9 2. DEPARTAMENTOS POR NIVEL





ESTUDIO PARAMETRICO DE LA INFLUENCIA DE LA DENSIDAD DE MUROS  
EN EL COMPORTAMIENTO SISMICO DE ESTRUCTURAS DE MAMPOSTERIA.

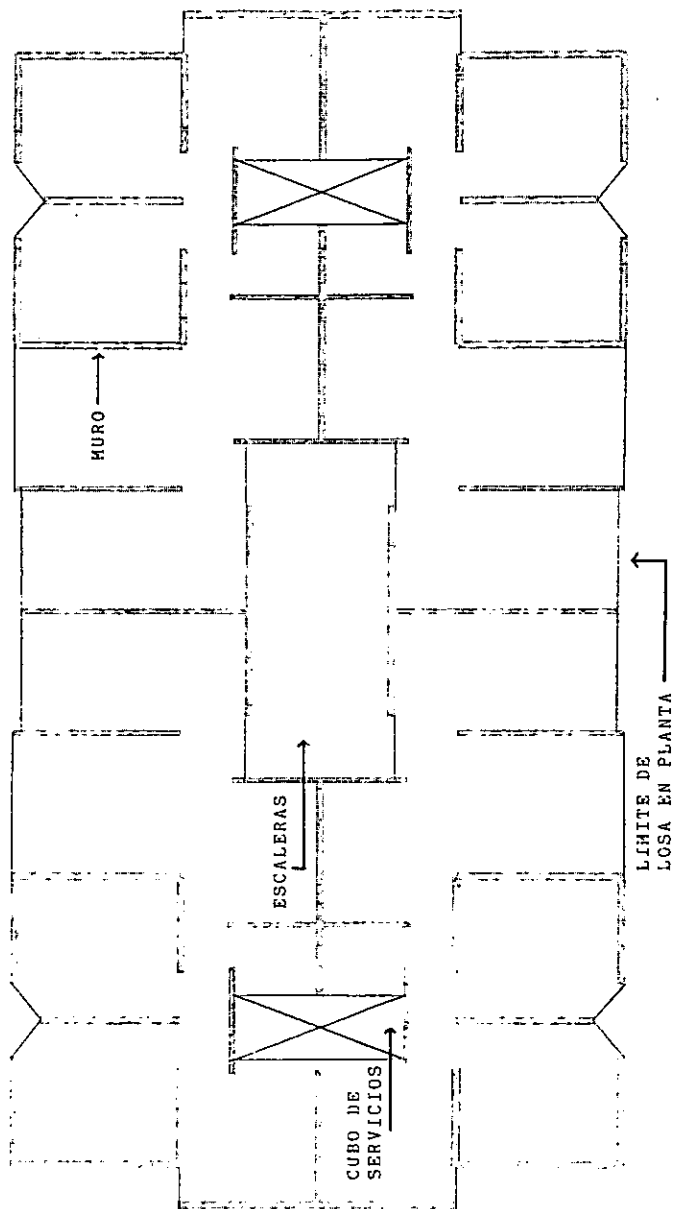
PROYECTO 11 e. DEPARTAMENTOS POR NIVEL



ESTUDIO PARAMETRICO DE LA INFLUENCIA DE LA DENSIDAD DE MUROS  
EN EL COMPORTAMIENTO SISMICO DE ESTRUCTURAS DE MAMPOSTERIA.

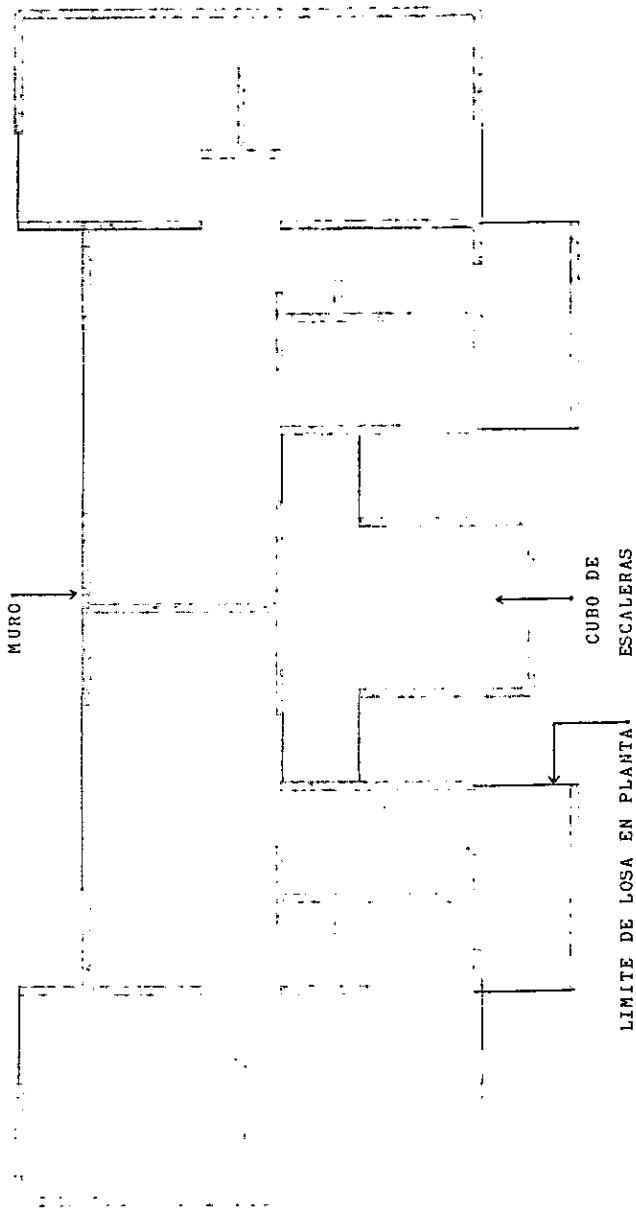
PROYECTO 12

4 DEPARTAMENTOS POR NIVEL

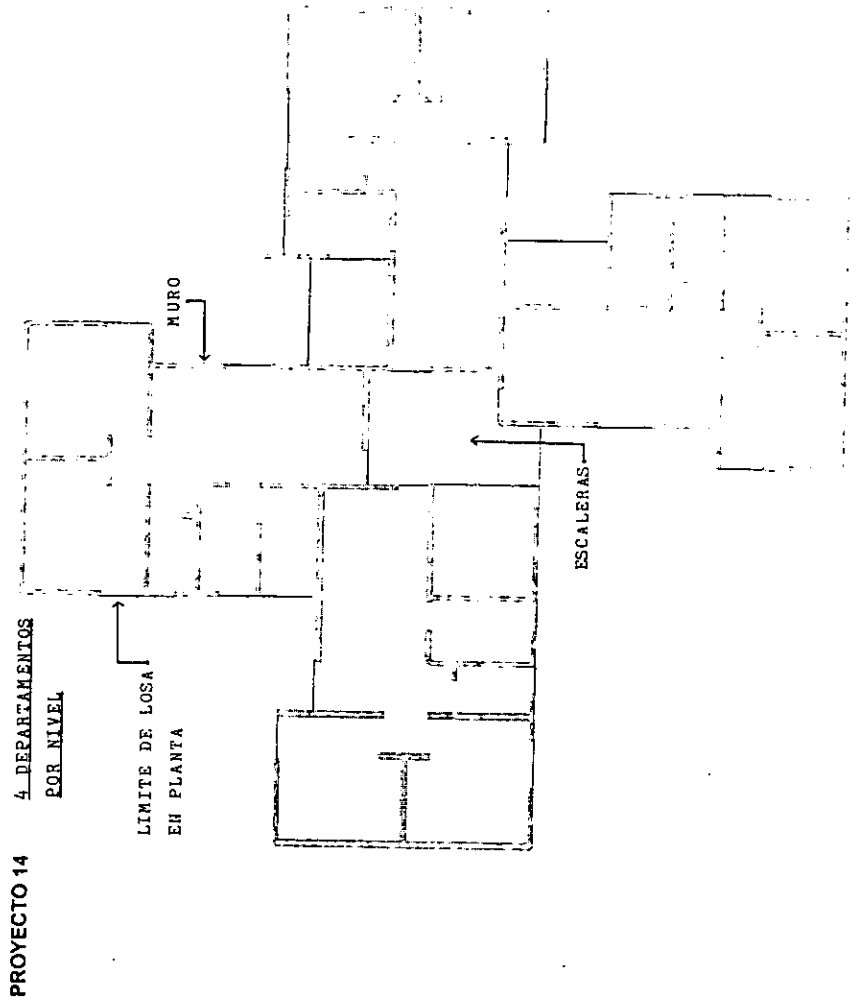


ESTUDIO PARAMETRICO DE LA INFLUENCIA DE LA DENSIDAD DE MUROS  
EN EL COMPORTAMIENTO SISMICO DE ESTRUCTURAS DE MAMPOSTERIA.

PROYECTO 13 2. DEPARTAMENTOS POR NIVEL







## ANEXO 3

DATOS SISMICOS DE TODOS LOS PROYECTOS EN  
CADA UNA DE LAS CONDICIONES DE ANALISIS.

ESTUDIO PARAMETRICO DE LA INFLUENCIA DE LA DENSIDAD DE MUROS  
EN EL COMPORTAMIENTO SISMICO DE ESTRUCTURAS DE MAMPOSTERIA.

ZONA 1											
W				T				Q			
BRE	SRE	3RE	3NR	BRE	SRE	3RE	3NR	BRE	SRE	3RE	3NR
7487	1745	695	478	225	0.4697	0.3875	0.2481	0.1252	0.1151	0.0742	1.500
4478	2971	1653	0968	711	523	0.6543	0.4159	0.2754	0.1482	0.1139	0.0235
2981	1968	956	703	450	186	0.3942	0.2931	0.1977	0.1163	0.0967	0.0706
1242	941	540	289	189	39	0.7090	0.6048	0.4059	0.1784	0.1401	0.1265
678	449	250	107	78	22	0.5026	0.3771	0.2491	0.0969	0.0786	0.0394
840	555	328	271	158	101	0.3731	0.2815	0.2008	0.1318	0.0940	0.0774
878	448	275	218	180	103	0.3122	0.2378	0.1801	0.1154	0.1018	0.0854
2050	1400	750	490	230	0.4668	0.3931	0.2395	0.1312	0.1156	0.0965	500
1241	840	469	299	168	138	0.5340	0.4083	0.2813	0.1346	0.1044	0.0935
2358	1604	851	599	474	223	0.4576	0.3530	0.2257	0.1162	0.0759	1.500
7657	5929	2766	2307	1845	670	0.3851	0.3221	0.1964	0.1287	0.1161	0.0725
4071	2758	1445	786	624	298	0.6771	0.5181	0.3236	0.1460	0.1342	0.0867
1752	1143	532	278	131	0.6763	0.5179	0.3730	0.1519	0.1397	0.0910	1.500
2339	1503	846	667	528	249	0.3900	0.2858	0.2147	0.1222	0.1120	0.0719
707	445	248	162	117	51	0.5362	0.3859	0.2611	0.1549	0.1208	0.0820

ZONA 2											
W				T				Q			
BRE	SRE	3RE	3NR	BRE	SRE	3RE	3NR	BRE	SRE	3RE	3NR
1112	658	478	352	98	0.2148	0.1897	0.1328	0.1029	0.0899	0.0445	380
1641	1278	711	523	334	0.2359	0.1663	0.1318	0.1019	0.0898	0.0732	1.390
1462	959	450	450	197	0.2029	0.1626	0.1117	0.0695	0.0967	0.0706	1.340
540	390	239	169	139	89	0.3175	0.2619	0.1967	0.1253	0.1096	0.0906
250	164	79	50	22	0.1930	0.1471	0.0910	0.0469	0.0333	0.0384	1.500
442	328	158	103	44	0.2035	0.1739	0.1086	0.0635	0.0670	0.0463	340
390	275	160	103	45	0.1879	0.1580	0.1176	0.0911	0.0740	0.0523	310
880	620	390	390	230	131	0.2130	0.1771	0.1335	0.1039	0.0836	0.0590
439	338	238	188	138	88	0.2202	0.1696	0.1365	0.1057	0.0922	0.0454
1090	725	474	474	348	98	0.2204	0.1696	0.1365	0.1057	0.0922	0.0454
3743	2307	1845	1248	870	396	0.2008	0.1431	0.1340	0.0798	0.0628	0.0428
1445	1116	624	460	298	137	0.2503	0.2314	0.1550	0.0938	0.0751	0.0523
647	499	278	278	205	58	0.2673	0.2305	0.1614	0.1250	0.1095	0.0554
1085	608	528	378	249	110	0.1663	0.1612	0.1233	0.0826	0.0623	0.0453
313	248	117	117	51	51	0.2468	0.2261	0.1395	0.1061	0.0710	0.0620

ESTUDIO PARAMETRICO DE LA INFLUENCIA DE LA DENSIDAD DE MUROS EN EL COMPORTAMIENTO SISMICO DE ESTRUCTURAS DE MAMPOSTERIA.

ZONA 3																														
W				T				O				C																		
8RE	3RE	1RE	SNR	8RE	3RE	1RE	SNR	8RE	3RE	1RE	SNR	8RE	3RE	1RE	SNR															
1112	658	478	478	352	98	0.2148	0.1697	0.1329	0.1029	0.0899	0.0445	1.180	1.160	1.110	1.000	1.000	1.000	0.207	0.195	0.186	0.151	0.145	0.122	0.175	0.168	0.160	0.151	0.145	0.122	
1041	1278	900	711	523	334	0.2359	0.1883	0.1602	0.1019	0.0888	0.0732	1.200	1.180	1.130	1.000	1.000	1.000	0.218	0.194	0.180	0.151	0.144	0.137	0.162	0.167	0.159	0.151	0.144	0.137	
1462	956	450	703	450	196	0.2028	0.1628	0.1117	0.1163	0.0967	0.0708	1.170	1.140	0.990	1.000	1.000	1.000	0.201	0.181	0.156	0.148	0.135	0.125	0.172	0.159	0.142	0.136	0.125	0.135	
540	390	239	169	139	99	0.3175	0.2619	0.1967	0.1253	0.1099	0.0908	1.260	1.220	1.160	1.000	1.000	1.000	0.259	0.231	0.196	0.155	0.145	0.208	0.189	0.171	0.163	0.155	0.145	0.145	
164	107	50	22	22	0	0.0316	0.1017	0.0645	0.0298	0.0333	0.0364	1.500	1.500	1.000	1.000	1.000	1.000	0.400	0.400	0.400	0.400	0.400	0.287	0.287	0.287	0.287	0.287	0.287	0.287	
442	328	158	155	101	44	0.2035	0.1739	0.1096	0.0835	0.0870	0.0463	1.170	1.140	0.990	1.000	1.000	1.000	0.202	0.187	0.154	0.142	0.134	0.123	0.173	0.164	0.144	0.142	0.134	0.123	
390	275	180	160	103	45	0.1879	0.1560	0.1176	0.0911	0.0740	0.0523	1.160	1.130	1.000	1.000	1.000	1.000	0.194	0.178	0.159	0.146	0.137	0.128	0.167	0.158	0.146	0.146	0.137	0.128	
1010	750	380	236	168	138	0.2130	0.1771	0.1335	0.1039	0.0835	0.0596	1.200	1.170	1.220	1.000	1.000	1.000	0.220	0.204	0.167	0.152	0.142	0.130	0.153	0.174	0.158	0.174	0.158	0.142	0.130
439	339	236	168	138	88	0.2202	0.1736	0.1473	0.0933	0.0810	0.0663	1.180	1.140	1.120	1.000	1.000	1.000	0.210	0.187	0.174	0.147	0.141	0.133	0.178	0.178	0.162	0.154	0.141	0.133	
1090	725	474	474	348	96	0.2204	0.1699	0.1365	0.1057	0.0922	0.0454	1.190	1.140	1.110	1.000	1.000	1.000	0.200	0.185	0.167	0.140	0.131	0.121	0.171	0.162	0.150	0.140	0.131	0.121	
3743	2904	1845	1349	870	396	0.2005	0.1691	0.1340	0.0788	0.0529	0.0429	1.170	1.140	1.100	1.000	1.000	1.000	0.225	0.211	0.176	0.160	0.152	0.128	0.189	0.181	0.169	0.160	0.152	0.128	
1445	1116	624	624	460	137	0.2506	0.2214	0.1550	0.1200	0.1049	0.0523	1.210	1.180	1.130	1.000	1.000	1.000	0.231	0.215	0.181	0.172	0.162	0.129	0.199	0.181	0.169	0.160	0.152	0.129	
647	499	278	278	205	56	0.2613	0.2305	0.1614	0.1250	0.1095	0.0654	1.220	1.190	1.110	1.000	1.000	1.000	0.194	0.161	0.165	0.151	0.139	0.122	0.167	0.160	0.149	0.141	0.131	0.122	
1085	806	528	379	249	110	0.1985	0.1612	0.1283	0.0920	0.0823	0.0432	1.160	1.130	1.110	1.000	1.000	1.000	0.225	0.213	0.170	0.154	0.146	0.114	0.166	0.179	0.152	0.154	0.146	0.114	
313	248	117	117	117	51	0.2488	0.2061	0.1385	0.1081	0.0710	0.0650	1.210	1.190	1.120	1.000	1.000	1.000	0.225	0.213	0.170	0.154	0.146	0.114	0.166	0.179	0.152	0.154	0.146	0.114	

## ANEXO 4

RECOMENDACIONES SOBRE ESTRUCTURACION  
EN EDIFICIOS DE MAMPOSTERIA .

## RECOMENDACIONES SOBRE ESTRUCTURACION EN EDIFICIOS DE MAMPOSTERIA

El término configuración se refiere tanto a la forma de conjunto del edificio, como al tamaño, naturaleza, y localización de los elementos resistentes y no estructurales dentro de él. En la mayoría de los casos, la optimación explícita de la estructuración no es posible debido a la diversidad de soluciones, lo cual involucra una mayor dificultad de cuantificar las repercusiones que un cambio en la disposición de los elementos estructurales tiene en la eficiencia del funcionamiento de esta, sin embargo si en la solución determinada se toman en cuenta los elementos más indispensables sobre ello, seguramente se tendrán buenos resultados.

Se definen tres componentes de la configuración que se eligieron porque tienen importancia en el diseño sísmico y también son el resultado de las primeras tomas de decisiones en el diseño esquemático de los edificios. Primero, la naturaleza del diseño del perímetro se define en términos de abertura y uniformidad. El segundo, la naturaleza de la división del espacio interior se define en términos de intensidad y adaptabilidad. Tercero, se define el núcleo como elemento importante.

Se puede afirmar que las construcciones con muros de mampostería presentan un comportamiento altamente satisfactorio ante cargas laterales si actúan como estructuras tipo cajón, o sea, si estas cargas sólo producen fuerzas en el plano de los muros y no inducen flexiones normales a dicho plano. Es particularmente importante en estas estructuras buscar la simetría y uniformidad, tanto en planta como en elevación, así como, tener continuidad horizontal alrededor del perímetro del edificio al menos en los niveles de la base, los pisos y el techo.

Al igual que en otros tipos de estructuras, se puede lograr un diseño económico en las estructuras de mampostería si se supone que la disipación de energía ocurrirá como resultado de un comportamiento dúctil. Esto es posible lograrlo si el acero se combina en forma efectiva con la mampostería y los detalles se diseñan con cuidado.

Se recomienda por lo general que el área total de orificios no debe exceder de la tercera parte del área total de los muros; los orificios pequeños como aquellos usados en instalaciones, ductos y tuberías, deben alejarse de las esquinas de miembros que soportan cargas.

A continuación se presentan cinco características de la configuración que afectan la manera en que el edificio responde a los sismos:

- 1) A medida que aumenta el tamaño absoluto de una estructura, decrece el número de alternativas para su solución estructural.
- 2) Cuando hay cierta libertad en la utilización del terreno, y cuando el factor sísmico es especialmente importante, la altura del edificio puede tener una influencia muy fuerte.
- 3) Cuando la planta se vuelve extremadamente grande, incluso si es una forma sencilla y simétrica, el edificio puede tener dificultad para responder como una unidad a las vibraciones sísmicas.
- 4) En el diseño sísmico las proporciones de un edificio pueden ser más importantes que su tamaño absoluto.
- 5) La asimetría tiende a producir excentricidad entre el centro de masa y el centro de rigidez, y por lo tanto, provocara torsión además de que tiende a concentrar esfuerzos.

## BIBLIOGRAFIA

- 1.- Meli Piralla, Roberto  
Diseño Estructural  
Limusa, 1985.
- 2.- Meli Piralla, Roberto  
Evaluación de daños de efectos sísmicos  
Cenapred, 1985.
- 3.- Farías Arce, Rafael  
Muros de carga, sismo  
UNAM, 1975.
- 4.- Rosenblueth, Emilio  
Diseño de estructuras resistentes a sismos  
IMCYC, 1992
- 5.- Wakabayashi - Martínez  
Diseño de estructuras sismoresistentes  
Mc Graw Hill, 1988.
- 6.- Arnold - Reitherman  
Configuración y diseño sísmico de edificios  
Limusa, 1995.
- 7.- Dowrick, D.J.  
Diseño de estructuras resistentes en sismos  
Limusa, 1984.
- 8.- Bazán, Enrique  
Manual de diseño sísmico de edificios  
Limusa, 1985.
- 9.- Rosenblueth, Emilio  
Diseño sísmico de edificios  
Facultad de Ingeniería de la UNAM, 1969.
- 10.- Creixell M, José  
Construcciones antisísmicas  
Cia. Editorial Continental, 1968.



- 11.- Berrón Ruiz, Renato  
Tesis.- Evaluación del comportamiento de edificios de muros de mampostería en los sismos de Septiembre de 1985  
Facultad de Ingeniería de la UNAM, 1987.
  
- 12.- Reglamento de Construcciones del Departamento del Distrito Federal  
1993.
  
- 13.- Normas Técnicas Complementarias para diseño por sismo  
1995.
  
- 14.- Normas Técnicas Complementarias para diseño y construcción de estructuras de mampostería  
1995.