

155 pag

Universidad Latina Particular de Loja  
 BIBLIOTECA GENERAL



Revisado el 14 de Dic - 2004

Valor \$ 1

Nº Clasificación 2004 - S245 - IC. 502

690x 569. DL

690  
Mampostería confinada  
DIMCAD

693.1  
-----  
693

**UNIVERSIDAD TECNICA PARTICULAR DE LOJA**



**ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL- UNIDAD DE INGENIERÍA  
CIVIL, GEOLOGÍA Y MINAS(UCG)**



**Tesis de Grado Previo a la Obtención del Título de Ingeniero Civil**

**AUTOR:**

**Fernando Saraguro Gutiérrez.**

**DIRECTOR:**

**Ing. Vinicio Suárez Chacón**

**LOJA – ECUADOR**

**2004**

## CONTENIDO

CONTENIDO.....	1
CERTIFICACIÓN .....	4
AUTORIA .....	5
CESIÓN DE DERECHOS .....	6
AGRADECIMIENTO.....	7
DEDICATORIA.....	8
PREFACIO .....	9
<b>1. LA MAMPOSTERIA.....</b>	<b>11</b>
1.1 Introducción.....	11
1.2 Definiciones.....	14
LECTURAS RECOMENDADAS .....	16
<b>2. MATERIALES DE LA MAMPOSTERÍA.....</b>	<b>17</b>
2.1 Introducción.....	17
2.2 Unidades de mampostería .....	18
2.2.1 Propiedades de las unidades .....	22
2.3 Mortero.....	26
2.3.1 Componentes del mortero.....	29
2.3.2 Propiedades del mortero .....	30
LECTURAS RECOMENDADAS .....	30
<b>3. COMPORTAMIENTO MECÁNICO .....</b>	<b>31</b>
3.1 Comportamiento mecánico de la mampostería en compresión.....	31
3.1.1 Relación esfuerzo - deformación.....	35
3.1.2 Módulo de elasticidad de la mampostería $E_m$ .....	37
3.2 Comportamiento de la mampostería a cortante .....	39
3.2.1 Modos de fallo .....	40
3.2.2 Resistencia a cortante de la mampostería.....	42
3.2.3 Factores que afectan la resistencia de adherencia.....	45
3.2.4 Propiedades deformacionales.....	45
3.3 Comportamiento de la mampostería a tracción.....	46
3.3.1 Modos de fallo.....	47

LECTURAS RECOMENDADAS .....	48
<b>4. TIPOS DE CONSTRUCCIÓN .....</b>	<b>49</b>
4.1. Tipos .....	49
4.1.1.Mampostería Reforzada.....	49
4.1.2.Mampostería Confinada.....	49
4.1.3.Mampostería de Relleno .....	50
LECTURAS RECOMENDADAS .....	53
<b>5. COMPORTAMIENTO SÍSMICO DE MUROS DE MAMPOSTERÍA CONFINADA</b> <b>.....</b>	<b>54</b>
5.1. Introducción.....	54
5.2. Comportamiento.....	54
LECTURAS RECOMENDADAS .....	58
<b>6. ANÁLISIS - CONCEPTOS BÁSICOS .....</b>	<b>59</b>
6.1. Estructuración .....	59
6.2. Cargas actuantes: .....	64
6.3. Modelamiento y análisis .....	64
6.4. Cálculo del centro de masas .....	65
6.5. Análisis debido a cargas verticales(gravitatorias).....	66
6.6. Análisis debido a cargas horizontales (sísmicas).....	66
LECTURAS RECOMENDADAS .....	74
<b>7. DISEÑO POR RESISTENCIA.....</b>	<b>75</b>
7.1. Introducción.....	75
7.2. Resistencia requerida.....	75
7.3. Resistencia de diseño .....	75
7.4. Hipótesis de diseño .....	76
7.5. Requisitos generales para elementos de confinamiento.....	77
7.6. Confinamiento de muros – propuesta para CEC.....	80
7.7. Nomenclatura.....	81
7.8. Dimensiones efectivas.....	83
7.9 Diseño para carga axial de compresión. ....	84
7.10. Diseño a flexo-compresión del muro en la dirección paralela a su plano.....	85
7.11. Diseño a cortante del muro en la dirección paralela a su plano. ....	88

7.12. Verificación por aplastamiento del alma del muro.....	88
7.13. Verificación a cortante en los elementos de confinamiento del muro.....	89
7.14. Diseño del acero longitudinal de la viga de confinamiento.....	90
7.15 Desempeño sísmico.....	90
LECTURAS RECOMENDADAS.....	94
<b>8. ASPECTOS CONSTRUCTIVOS Y CONTROL DE CALIDAD.....</b>	<b>95</b>
8.1 Introducción.....	95
8.2. Confinamientos.....	95
8.3. Cimientos.....	99
8.4. Acero de refuerzo.....	100
8.5 Morteros.....	100
8.5. Tuberías embebidas.....	101
8.6. Hormigones.....	101
8.7. Otros.....	101
8.8. Control de calidad.....	102
LECTURAS RECOMENDADAS.....	104
<b>9. DISEÑO DEL PROGRAMA.....</b>	<b>105</b>
9.1 Generalidades.....	105
9.2 Casos de uso.....	105
9.3 Algoritmo.....	115
9.4 Flujograma.....	121
<b>10. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....</b>	<b>132</b>
10.1. Conclusiones.....	132
10.2. Recomendaciones.....	132
<b>ANEXO.....</b>	<b>134</b>
<b>Referencias bibliográficas.....</b>	<b>154</b>

## CERTIFICACIÓN

Ingeniero

Vinicio Suárez Chacón

Certifica:

Que el presente trabajo de investigación previo a la obtención del título de ingeniero civil titulado "*DIMCAD software de análisis y diseño de mampostería confinada por resistencia*", presentado por el señor egresado Fernando Saraguro Gutiérrez, ha sido revisado minuciosamente, por lo que autorizo su presentación.

Loja, julio del 2004



Ing. Vinicio Suárez Chacón  
DIRECTOR DE TESIS

## **AUTORIA**

La información y criterios emitidos en el presente trabajo son de exclusiva responsabilidad de su autor.

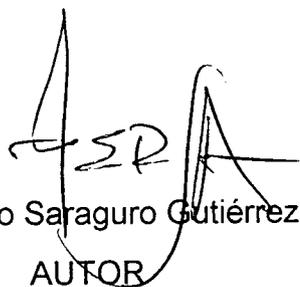


Fernando Saraguro Gutiérrez  
AUTOR



## CESION DE DERECHOS

Fernando Saraguro Gutiérrez, declara conocer y aceptar la disposición del artículo 67 del estatuto orgánico de la Universidad Técnica Particular de Loja, que en su parte pertinente textualmente dice: " Forman parte del patrimonio de la Universidad la propiedad intelectual de investigaciones, trabajos científicos o técnicos y tesis de grado que se realicen a través, o con el apoyo financiero, académico o institucional operativo de la Universidad"



Fernando Saraguro Gutiérrez  
AUTOR



## **AGRADECIMIENTO**

La culminación de esta tesis de grado es algo muy importante para mi y por ello quiero dar gracias a DIOS PADRE TODO PODEROSO, por todo lo que he vivido hasta hoy, por todas las oportunidades que me ha dado y por la familia que tengo. Quiero agradecer a mis queridos padres, Fernando y Bethy por su cariño, confianza y apoyo brindados durante mi vida.

Un agradecimiento especial a mi director de tesis el ingeniero Vinicio Suárez Chacón por su amistad, motivación, ideas, sugerencias e información técnica brindada durante el desarrollo del proyecto. Agradezco a Ing. Tania Sisalima y a Carlos León por la ayuda que me brindaron en la programación de *DIMCAD*. A todos mis profesores y amigos ¡muchas gracias! por la buena voluntad que tuvieron hacia mi persona cuando necesite de algún consejo, información o asesoría suyas.

## DEDICATORIA

*A las personas más importantes de mi vida, Fernando, Bethy, Cristina, Beatriz y Pablo, mi familia.*



## **PREFACIO**

En el Ecuador la mampostería confinada no ha sido muy difundida y por ello el número de viviendas construidas es mínimo o nulo en la mayoría de provincias del país. Desde la llegada del hormigón armado al país, el uso de la mampostería, ya sea a base de adobe o ladrillo de arcilla ha ido disminuyendo con el pasar de los años; pues se ha confiado toda la responsabilidad estructural a columnas y vigas de hormigón armado, pensado que la mampostería solo es útil como material de relleno en los marcos de hormigón armado o para dividir ambientes. Sin embargo la mampostería puede comportarse satisfactoriamente ante cargas gravitatorias y sísmicas, si controlamos la calidad de los materiales y la correcta estructuración de los muros portantes.

Otra de las causas por las que la mampostería confinada no ha sido muy difundida en nuestro país, es debido a la falta de un código de construcción para este sistema constructivo, pues en 1977 el INEN publicó el CEC(Código Ecuatoriano de la Construcción) únicamente para hormigón armado y desde esa fecha hasta el 2000, no se realizó ninguna publicación sobre mampostería confinada u otro sistema constructivo como la madera o las estructuras metálicas. En mayo del 2001 el CEC presenta la parte de mampostería estructural, en la que se incluye a la mampostería confinada, pero a nivel de propuesta, es decir no se encuentra oficialmente publicada. Lo que se pretende en el presente trabajo investigativo es analizar la propuesta del código de mampostería confinada y aportar con sugerencias al comité encargado de elaborar la norma, así como también realizar una aplicación informática(*DIMCAD*) en base a la propuesta de código. Con *DIMCAD* pretendemos brindar a ingenieros civiles y arquitectos una herramienta de fácil uso, dentro de un entorno gráfico como *autoCAD* la posibilidad de analizar y diseñar viviendas de mampostería confinada de hasta dos pisos de una manera rápida y confiable, y además con la posibilidad de exportar los resultados a Excel. De esta manera incentivaremos la construcción de este tipo de edificaciones o al menos dejaremos en la mente de los constructores esta idea. Se decidió desarrollar el programa dentro de *autoCAD* para que la mayoría de

los datos sean ingresados de manera gráfica, es decir sin tener que digitar el valor de la longitud de un muro o el valor de un área tributaria, o las máximas dimensiones en planta de la edificación, sino que a través de selecciones en pantalla el usuario elija que muros considerar como estructurales o que área tributaria le corresponde a un muro determinado, de esta manera el programa calcula internamente los valores relacionados a dichas selecciones.

Esta investigación consta de diez capítulos, en el primer capítulo se habla sobre la mampostería desde los tiempos antiguos hasta la actualidad, lo que se pretende hacer en el presente trabajo de investigación y las definiciones que usaremos a lo largo del presente trabajo.

En el segundo capítulo trata de los materiales que constituyen la mampostería, como son las unidades de mampostería y el mortero. Se describen sus propiedades y características principales.

En el tercer capítulo se discute el comportamiento mecánico de la mampostería a compresión, tensión y corte y los modos de falla bajo estos esfuerzos.

En el cuarto capítulo se habla de los tipos de construcción de la mampostería, en el quinto del comportamiento sísmico de los muros de mampostería confinada y en el sexto se describe la manera de realizar el análisis sísmico de edificaciones de mampostería confinada.

El séptimo capítulo trata del diseño por resistencia, sus hipótesis y las fórmulas utilizadas por *DIMCAD*. En este capítulo se dan ya sugerencias al CEC para que sean incluidas en el código de mampostería confinada.

Los aspectos constructivos y el control de calidad de la obra se discuten en el octavo capítulo, el diseño del programa en el nueve y en el diez las conclusiones y recomendaciones referentes al trabajo investigativo realizado. Al final de cada capítulo se citan las referencias que sirvieron para redactarlo.

# 1

## LA MAMPOSTERIA

*“Muchas veces, la innovación en la tecnología de la construcción puede conseguirse, simplemente, revisando con interés y espíritu científico a la luz de los nuevos conocimientos en la materia, materiales o sistemas de construcción a los que la tradición y la experiencia han avalado ampliamente durante siglos” [REF. 14]*

### 1.1 Introducción

La mampostería es uno de los materiales con un mayor abanico de aplicaciones en la construcción de obras civiles. Su uso se remonta a las primeras civilizaciones que poblaron la tierra. Las ruinas de Jericó (Medio Oriente, 7350 a.c), las pirámides de Egipto (2500 a.c), la gran muralla China (200 a.c a 220 d.c), las pirámides de Yucatán en México (500 d.c), las murallas de piedra de Machu Pichu en Perú (1200 a 1400 d.c), la fortaleza de Inca Pirca en Ecuador y el Taj Majal en India (1600 d.c), son solo algunos ejemplos de construcciones que dan testimonio del uso y durabilidad de este material.

Han sido muchos los materiales utilizados a lo largo de la historia como elementos componentes de la mampostería. Con el transcurso de los años los procesos de fabricación han ido evolucionando, sin embargo, la forma de colocación de este material continúa siendo a mano, y es ésta una de las variables que más incide en el comportamiento final de la mampostería. Esta variable resulta difícil de controlar y, por consiguiente, puede decirse que es uno de los principales limitantes dentro de la calidad de la obra de fábrica.

Los muros de mampostería no sólo se utilizan para estructuras, también para hacer subdivisiones de espacios, protección contra fuego, aislamiento térmico y acústico y, apariencia estética. Por lo tanto, puede decirse que la mampostería es apreciada por su color, forma, textura, disponibilidad, durabilidad, por su capacidad de aislamiento



térmico y por su bajo costo, en comparación con otros materiales.

Todas las construcciones en mampostería en el pasado, fueron realizadas a partir de reglas empíricas y, diseñadas sólo para soportar acciones gravitatorias, usando la carga muerta para estabilizar las estructuras frente a cargas laterales producidas por vientos y sismos. Por este motivo las edificaciones antiguas eran de proporciones masivas - muros de gran espesor y en gran cantidad en las dos direcciones. Esto explica, el por qué varias estructuras antiguas de esta tipología, se han comportado adecuadamente frente a sismos de diferente intensidad, con daños muy leves.

En la literatura, pocos resultados experimentales están disponibles para estructuras de mampostería no reforzada, especialmente bajo cargas sísmicas (cíclicas). Esto se debe principalmente a que estas estructuras son normalmente consideradas como poco adecuadas en zonas con una amenaza sísmica elevada y, por otra parte, su desempeño sísmico es bastante variable, esto es, en algunos casos ha resultado catastrófico y en otros se han comportado de manera excelente. La razón de esta variabilidad, se explica a partir de la relación carga-deformación: inicialmente la mampostería es rígida, mostrando poco efecto de carga, sin embargo, una vez que alcanza la deformación pico, suele fallar de manera frágil. Considerando que no existe ningún tipo de refuerzo, la redistribución de los esfuerzos máximos no es posible y, el fallo local rápidamente se convierte en un fallo global de la estructura. Así, el sistema pierde resistencia y puede colapsar. Sin embargo, cuando la respuesta de la estructura ante un movimiento sísmico, cae dentro del primer intervalo, esto es, dentro del rango elástico, su desempeño es bastante bueno.

No es hasta mediados del siglo 20, que aparecen las primeras normativas y reglamentaciones de diseño.

La aplicación de los principios de ingeniería estructural, ha significado un avance importante en el conocimiento de las propiedades y del comportamiento de la mampostería no reforzada. Consecuentemente, ésta ha sido readoptada como un material ingenieril, reforzándola ya sea con acero de refuerzo internamente, mampostería armada o confinándola en sus cuatro lados, mampostería confinada.

En muchos países del mundo se sigue investigando acerca de la mampostería, ya sea no reforzada, armada o confinada, en el caso de la mampostería de adobe se esta desarrollando y probando sistemas para reforzarla, como es el caso de utilizar caña guadua y madera en su reforzamiento. En el 12 Congreso Mundial de Ingeniería

Estructural (año 2000) se presentaron 34 ponencias y en el Segundo Congreso Iberoamericano de Ingeniería Sísmica (2001) fueron 3 sobre mampostería, ello refleja el interés de los investigadores en conocer mucho más sobre el comportamiento de este tipo de edificaciones.

La presente tesis trata sobre edificaciones de mampostería confinada, la misma que se escogió porque es la más adecuada para nuestro medio y porque es muy aconsejada para la zona sísmica en la que se encuentra nuestro país. Los mexicanos, chilenos, colombianos y peruanos la han utilizado desde hace mucho tiempo atrás. En los Estados Unidos y Europa se utiliza la mampostería reforzada (con varillas de refuerzo en su interior) y la no reforzada, en sus códigos – por ejemplo el ACI 530 - no se habla de la mampostería confinada, más bien, la mampostería confinada fue un invento de los mexicanos, que podría decir son los pioneros en este tema. En Europa en donde se registran aceleraciones del orden 0,08g comparadas con las que hay en América - 0,25g – 0,40g o más - se sigue utilizando mampostería no reforzada, y una prueba de ello, es una ponencia que se presenta en el 2do Congreso Iberoamericano de Ingeniería Sísmica, en la que consideran adecuado el uso de la mampostería no reforzada. En los Estados Unidos se utilizan los sistemas antes mencionados y además mampostería prefabricada, que consisten en paneles de mampostería prefabricados y preforzados que luego se montan en obra, agilizando el proceso, en ese país existe una amplia variedad de materiales y tecnología que hacen factible su uso.

En cuanto a la filosofía de diseño de las estructuras de mampostería, casi todos los códigos han adoptado la teoría de diseño por resistencia. El código ACI hasta hace poco mantenía la filosofía de diseño por esfuerzos de trabajo, pero en la actual publicación del "Manual Concrete Practice, MCP2003" en lo referente a mampostería ACI 530-03, se presenta ya el diseño por resistencia, que en versiones anteriores como la del año 99, ACI 530-99 - MCP2000, no se encontraba. Sin embargo no ha relegado a segundo plano la teoría de diseño por esfuerzos de trabajo o admisibles como lo han hecho otros códigos, ubicándola a anexos. Los códigos que recomiendan el diseño por esfuerzos admisibles, como el peruano norma E-70, se basan en el ACI 530, parte de mampostería no reforzada y le complementan la parte de diseño de confinamientos desarrollada por ellos.

En nuestro país se emplea la mampostería en la construcción viviendas, como

material de relleno o divisorio, antes que como material portante, confiándole la responsabilidad estructural a vigas, columnas y de hormigón armado, sin considerar que la mampostería también aporta al buen desempeño de la edificación durante un sismo. Por tal motivo la presente tesis tiene como objetivo principal desarrollar un programa computacional que analice y diseñe edificaciones de mampostería confinada de hasta dos pisos dentro de una interfaz grafica como autoCAD, para que sea utilizada por ingenieros civiles y arquitectos. Esta sería una manera de incentivar la construcción de estructuras de mampostería confinada, que por su bajo costo serían una solución al problema habitacional de nuestro país.

La filosofía de diseño utilizada por el programa será diseño por resistencia, utilizando las recomendaciones de la norma NSR-98 de Colombia y las del Código Ecuatoriano de la Construcción CEC-2000 parte de mampostería confinada(actualmente a nivel de propuesta), y de los artículos publicados en los congresos internacionales mencionados anteriormente.

Este proyecto de tesis tiene también como objetivo, enviar al comité del Código Ecuatoriano de la Construcción CEC encargado de elaborar la parte normativa de mampostería estructural, sugerencias y comentarios que contribuyan a la elaboración de esta norma.



## **1.2 Definiciones**

**Mampostería:** conjunto de piezas asentadas con mortero

**Mampostería reforzada:** en cuanto a las definiciones de mampostería hay dos interpretaciones distintas, que dependen del lugar y del código de construcción. Para los norteamericanos la mampostería reforzada es aquella que contiene en su interior varillas de refuerzo que le brindan resistencia y ductilidad al muro. En cambio para los latinoamericanos, la mampostería reforzada es aquella que contiene elementos de reforzamiento, como varillas de refuerzo interiores(mampostería armada) o columnas y vigas de confinamiento alrededor del muro(mampostería confinada).

**Mampostería armada:** mampostería en la que se colocan varillas o mallas, generalmente de acero, embebidas en mortero u hormigón, de modo que todos los

materiales trabajen en conjunto.

**Mampostería confinada:** mampostería construida rígidamente rodeada en sus cuatro lados por elementos de confinamiento (columnas y vigas de hormigón armado), vaciados posteriormente a la ejecución del muro y que actúan monolíticamente con éste.

**Mampostería no reforzada:** muro sin confinamiento o armadura tendientes a incrementar su ductilidad.

**Columnas de confinamiento:** Se consideran columnas de confinamiento los elementos de concreto reforzado que se colocan en los dos bordes del muro que confinan y en puntos intermedios dentro del muro. Las columnas de confinamiento deben ser continuas desde la cimentación hasta la parte superior del muro y se deben vaciar directamente contra el muro con posterioridad al alzado de los muros estructurales de cada piso.

**Vigas de confinamiento:** Se consideran vigas de confinamiento los elementos de concreto reforzado que se colocan en la parte inferior y superior de muros confinados.

**Muro portante:** muro diseñado y construido en forma tal que pueda transmitir cargas horizontales y/o verticales de un nivel al nivel inferior y/o a la cimentación.

**Muro no portante:** muro diseñado y construido en forma tal que sólo lleva cargas provenientes de su peso propio. Son parapetos, tabiques y cercos.

**Parapetos:** son muros ubicados normalmente al borde y en la parte alta de una edificación y no están arriostrados por el techo en la parte superior

**Tabiques:** son muros interiores, separadores de espacios, pueden o no estar vinculados a fijados a la estructura.

**Cercos:** son muros que limitan perimetralmente una edificación o un lote de terreno.

**Mortero:** adhesivo empleado para pegar unidades de mampostería.

**Mortero Fluido (Grout):** mortero de cemento y cal, de consistencia líquida, empleado para llenar cavidades de las unidades de mampostería.

**Unidad de Mampostería:** ladrillo de arcilla, bloque o ladrillo sílico calcáreo y bloque de hormigón. Las unidades de mampostería, pueden ser sólidas, huecas o tubulares.

**Unidad de mampostería sólida (maciza):** unidad de mampostería cuya sección transversal en cualquier plano paralelo a la superficie de asiento tiene un área equivalente al 75% o más del área bruta en el mismo plano.

**Unidad de mampostería hueca (o perforada):** unidad de mampostería cuya sección transversal en cualquier plano paralelo a la superficie de asiento tiene un área equivalente a menos del 75% del área bruta en el mismo plano.

**Unidad de mampostería tubular:** unidad de mampostería con huecos paralelos a la superficie de asiento.

### **LECTURAS RECOMENDADAS**

1. Building Code Requeriments For Masonry Structures ACI 530-99. American Concrete Institute, Detroit 1999. Páginas C5-C9
2. Commentary On Building Code Requeriments For Masonry Structures ACI 530-99. American Concrete Institute, Detroit 1999. Páginas CC5-CC9
3. Reglamento Nacional de Estructuras. Norma Peruana E-70. Instituto de la Construcción y Gerencia , Lima 2002. Páginas 156,157

## **MATERIALES DE LA MAMPOSTERÍA**

### **2.1 Introducción**

Por mampostería se entiende el conjunto de dos fases de materiales constituidas por bloques, ya sean en forma natural o de fábrica (como los ladrillos) y, una sucesión de juntas, eventualmente de mortero, dispuestas en forma irregular o regular. En este último caso, las juntas siguen la disposición del contorno de los ladrillos, teniendo dos grupos: horizontales y verticales. Las dimensiones de las unidades, varían de un país a otro, con lo cual, existe en el medio una gran variedad de tamaños, materiales y formas.

La primera unidad artificial de mampostería consistió en una masa amorfa de barro secada al sol, conocida con el nombre de adobe (Ruinas de Jericó-Medio Oriente 7350 años a.C). Posteriormente se crearon las unidades artificiales de tierra y de arcilla cocida en Sumeria (Valle del Eufrates y Tigris, 4000 años a.C) y en la ciudad de Ur (3000 años a.C) respectivamente, dando paso a la masificación de las construcciones de mampostería en las primeras civilizaciones. A partir de ese momento, se levantaron enormes construcciones de ladrillos asentados con betún o alquitrán, como por ejemplo la Torre de Babel (8 pisos) [San Bartolomé, 1998].

El primer reglamento de construcción fue creado por el rey Hammurabi en Babilonia (1700 a.C), donde se especificaba que si por causas atribuibles al constructor, fallecía el propietario de una vivienda, se debía dar muerte al constructor [San Bartolomé, 1998].

La materia prima existente en cada zona, generó una amplia gama de tipos de construcciones, desde las pirámides de Giza en Egipto, construidas con morteros de yeso y arena, hasta el templo a la diosa Atenea en Grecia (Partenón), donde se utilizaron piedras asentadas con mortero de cal y revestidas con mármol. Por su parte, el mortero de cemento puzolánico fue inventado por Vitruvio (arquitecto Romano, 25 a.C), por medio de una mezcla entre arena volcánica del Vesubio, cal y agua. A partir

de este instante, se construyeron cientos de estructuras, variando sus forma (arco, bóveda, etc.) y tamaño.

Después de la caída del imperio Romano, el mortero puzolánico, dejó de ser utilizado, hasta que en el año 1756, el ingeniero británico Smeaton, lo utilizó para reconstruir un faro en Inglaterra.

En el siglo 18, paralelamente a la Revolución Industrial, empezó la industrialización en la fabricación de ladrillos, inventándose máquinas como trituradoras, mezcladoras y prensas para moldear mecánicamente el ladrillo. Sólo hasta principios del siglo 20, comenzó a estudiarse de manera racional y analítica la mampostería, a partir de unos ensayos realizados en Estados Unidos (1913) y en la India (1920) [San Bartolomé, 1998].

## **2.2 Unidades de mampostería**

La mampostería consiste generalmente de una masa sólida producida por unidades separadas por un ligamento, que en la mayoría de los casos actuales corresponde a un mortero. A continuación se describen los principales materiales que pueden ser utilizados para su construcción.

- Piedra: en muchas de las culturas antiguas, la piedra fue el material más utilizado para la construcción, debido a su alta resistencia y abundancia en el medio. Sin embargo, debido a su peso excesivo, el transporte de este material en la antigüedad era muy difícil, lo cual obligó a las distintas sociedades a usar los recursos locales. Esto dio como resultado, una variedad de formas y detalles, que reflejaban las limitaciones y potenciales de los materiales disponibles.

Los elementos de piedra para su uso en construcción, en función de sus medidas, procedencia y estado de elaboración pueden ser clasificados en:

- Sillares: bloques de piedra cuyo peso y dimensiones exige la manipulación mediante dispositivos especiales de suspensión y asiento, tallados por una o más caras que pueden estar provistos o no de modulaciones [Arco y Porcu, 2003].
- Sillarejo: diminutivo de sillar, pieza pequeña labrada toscamente y sin modulación u ornamentación, pero de deforma prismática aproximadamente.

- Mampuesto: su mismo nombre lo indica "puesto a mano". Corresponden a piedras cuyo peso es inferior a 25 kg, por lo tanto, es posible su manipulación sin necesidad de recurrir a aparatos de suspensión, y cuya forma es irregular, a veces tal y como sale de cantera, sin desbaste ni talla [Arco y Porcu, 2003].
  - Ripio: conjunto de piedras de pequeño tamaño, muchas veces procedentes del desbaste de los mampuestos, que son utilizados para asentar, acuñar y estabilizar los mampuestos en las fábricas de piedra, operación que recibe el nombre de enripiado [Arco y Porcu, 2003].
  - Chapa: sillar de escaso espesor, destinado a encarar o revestir otras fábricas no pétreas, dándoles aspecto de sillería, artificio sumamente utilizado hoy día ante la dificultad y precio de la sillería auténtica, y como elemento protector de los materiales que conforman el muro ante los agentes atmosféricos [Arco y Porcu, 2003].
- Adobe: es una forma bastante antigua de construcción y puede ser la base de algunas de las unidades que se fabrican actualmente. Estas unidades son piezas formadas con tierra arcillosa, mezclada con paja, arena, estiércol u otro material, con forma paralelepípedica, elaborados a mano con la ayuda de un molde sencillo de madera, compactados de forma manual y secados al sol, y de tal manera que sus dimensiones permitan su manejo con un solo brazo. De una forma intuitiva, se puede pensar en los adobes como en ladrillos, cuyos elementos constitutivos principales son arcilla o barro, arena y agua, y que son secados al sol [Arco y Porcu, 2003].

Existen algunas recomendaciones para este tipo de construcciones (UBC 1998), no obstante, en la mayoría de los casos, este tipo de obras se ejecutan sin ningún tipo de normativa.

- Ladrillo: es un mampuesto (puesto a mano) de forma ortoédrica, fabricado con una gran variedad de materiales, tales como: el barro seco, la arcilla, la pizarra, la arcilla cocida, o la mezcla de estos. El proceso de fabricación, consiste en someter a la unidad a temperaturas entre 750°C y 1300°C, de tal forma que el

agua se evapore y las partículas de arcilla se endurezcan, causando así la fusión de los componentes debido a las elevadas temperaturas. Posteriormente, tiene lugar una vitrificación parcial y la temperatura se mantiene por un tiempo preestablecido. El proceso completo puede tardar más o menos entre 40 y 150 horas, según el tamaño y volumen de los ladrillos y el tipo de horno. El enfriamiento debe ser controlado, ya que puede alterar la calidad de la unidad

En la antigüedad se realizaba una masa de arcilla que se amontonaba para dejarla pudrir y después amasarla y darle su forma definitiva con la ayuda de moldes o con la mano encima de una mesa. El cocido se efectuaba en horno de hormiguero después de que las piezas hubieran secado al sol puestas de canto. Estas unidades son conocidas con el nombre de ladrillos de tejar. En el siglo 19 comienza a utilizarse maquinaria en la fabricación de ladrillos, con utilización de prensas y galleteras, origen de las actuales instalaciones de fabricación [Arcos y Porcu, 2003].

El color, la forma y las propiedades estructurales de los ladrillos, varían considerablemente entre los diferentes tipos. Los ladrillos de arcilla cocida, pueden resultar sumamente atractivos, por la variedad de apariencias que pueden ser obtenidas a partir de las combinaciones de forma de las unidades y la disposición del mortero. Las dimensiones de los ladrillos varían desde  $12.0 \times 9.0 \times 4.5 \text{ cm}$  a  $30.0 \times 18.0 \times 12.0 \text{ cm}$  y su peso específico se encuentra entre 13 y 22  $k.N/m^3$ .

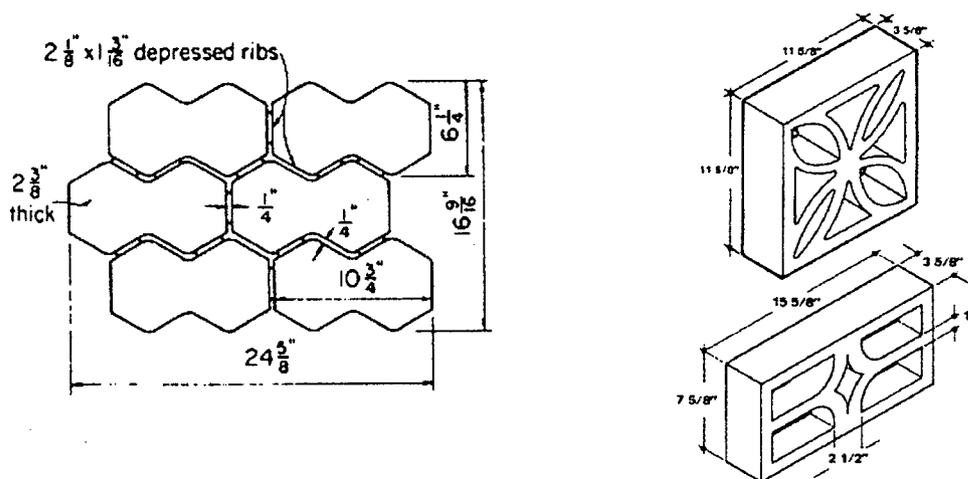
Los ladrillos de arcilla pueden clasificarse en dos tipos: 1) perforados, en los cuales el área neta es menor que el 75% del área bruta de la sección y, 2) sólidos o no perforados, en donde el área de las perforaciones es menor o igual al 25% del área de la sección bruta.

También existen ladrillos para pavimentos, en condiciones de tráfico liviano. Estos se construyen de acuerdo a la norma ASTM C902

- Unidades de hormigón: las unidades de hormigón prefabricado han sido usadas para construcciones de mampostería durante muchos años. Sólo en años recientes, han comenzado a ser aceptadas en general, para construcciones expuestas a la vista y para ser utilizadas con fines estructurales. Estas unidades

están conformadas básicamente por cemento Portland, agua y agregados minerales. Normalmente son moldeadas en muchos tamaños y formas, bajo presión y/o vibración. Otros materiales pueden ser agregados para conferir determinadas características, tales como color, textura o reducción del peso [Amrhein, 1992]. Las dimensiones de las unidades varían generalmente con múltiplos de 20 cm. Los factores más importantes que afectan la resistencia de las unidades de mampostería de hormigón son: 1) la relación agua-cemento, 2) el peso de la unidad, 3) el tipo de agregado y 4) el proceso de fraguado. Al igual que en el caso de los ladrillos, estas unidades están divididas en perforadas y no perforadas, siendo las primeras las más utilizadas para fines estructurales, debido a su menor peso.

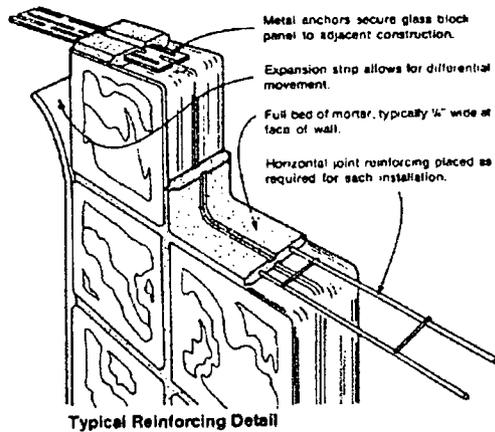
Existen otros tipos de elementos de hormigón considerados como mampostería, como son los adoquines (concrete paving units) y los bloques ornamentales (screen wall blocks), los cuales pueden ser usados para pavimentos o como elementos divisorios o arquitectónicos respectivamente.



**Figura 2.1** Adoquines y bloques ornamentales. [REF. 19]

Otras unidades: la construcción de mampostería ha sido producida y muy probablemente continuará siendo producida por muchos otros materiales de diversas formas, entre ellos están: 1) Las unidades de vidrio en bloque, que fueron producidas hace muchos años para uso en particiones y en muros exteriores y, que llegaron a convertirse en el principal componente arquitectónico de los estilos modernos entre 1930 y 1940. Aunque las unidades de vidrio son típicamente bastante fuertes, su uso es generalmente limitado a aplicaciones no estructurales. Sin embargo, la alta

durabilidad del material, lo hace bastante práctico para su exposición al exterior [Ambrose, 1991]. Estas unidades pueden tener una resistencia a la compresión entre 400 y 600 psi (28 y 42 Kg/cm<sup>2</sup> aprox.) y una resistencia al impacto entre 40 y 60 lbs (18 y 27 Kg aprox.). [REF. 19]. 2) Las unidades de silicato de calcio, construidas de arena silíceo y materiales calcicos. 3) Actualmente se está experimentando con pvc.



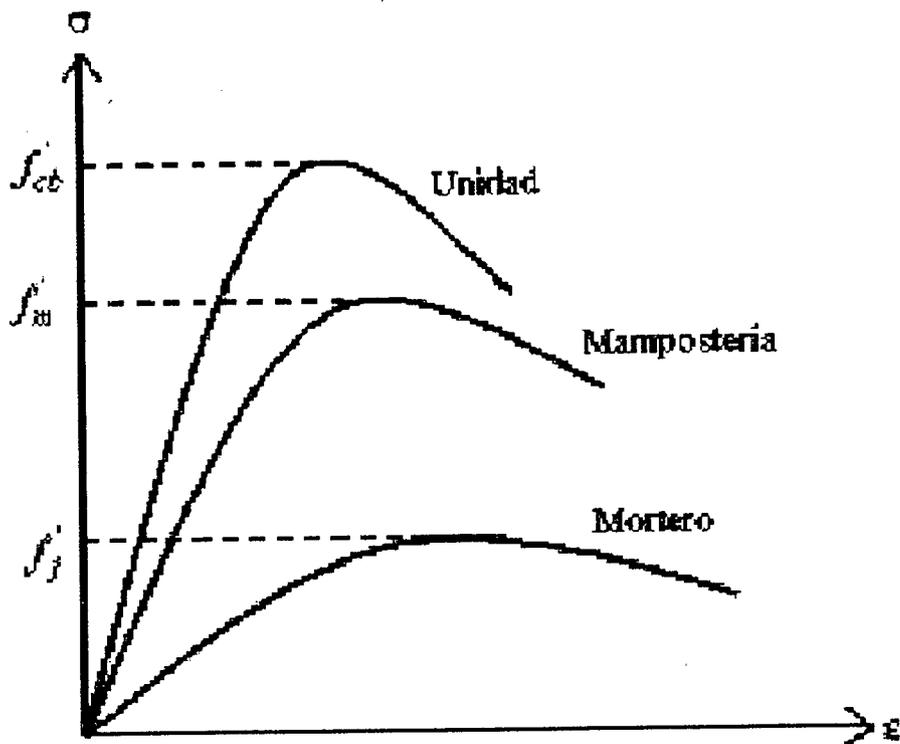
**Figura 2.** Unidades de mampostería de vidrio [REF. 19]

### 2.2.1 Propiedades de las unidades

**Resistencia a la compresión** La resistencia a la compresión,  $f'_{cb}$ , muestra un intervalo de variación bastante amplio, dependiendo del material y del tipo de unidad. La Tabla 2.1 muestra los intervalos de variación de la resistencia a la compresión de diversos materiales. Todos estos valores han sido obtenidos mediante ensayos en unidades aisladas, no obstante, estos valores pueden sufrir una disminución drástica cuando se ensayan formando parte de un panel de mampostería. Este efecto se ilustra en la Figura 2.3

**Tabla 2.1.** Resistencia a la compresión de diferentes unidades de mampostería.

Material	Intervalo $f'_{cb}$ (kg/cm <sup>2</sup> )
Piedra	400 < $f'_{cb}$ < 1000
Hormigón macizo	150 < $f'_{cb}$ < 250
Arcilla	50 < $f'_{cb}$ < 200
Hormigón aligerado	40 < $f'_{cb}$ < 140
Adobe	10 < $f'_{cb}$ < 15



**Figura 2.3** Relaciones esfuerzo-deformación para el mortero, las unidades aisladas y los paneles de mampostería [Paulay y Priestley, 1992]

No hay un conocimiento muy amplio acerca de la relación esfuerzo-deformación de las unidades de mampostería bajo compresión. Los resultados de experimentos en ladrillos de arcilla, indican que esta relación es casi lineal hasta el fallo, punto al que sigue un rápido decrecimiento de la resistencia.

El efecto de las perforaciones sobre la resistencia a la compresión, ha sido estudiado por varios investigadores [Hendry, 1990]. A partir de ensayos experimentales sobre unidades de mampostería perforadas, se ha podido comprobar que esta clase de unidades, usualmente exhiben un comportamiento muy frágil y el fallo ocurre inesperadamente. Por lo tanto, el uso de las unidades de mampostería perforadas no es recomendable para estructuras sometidas a acciones sísmicas. La norma colombiana NSR-98 y el CEC-2000, dan los siguientes valores mínimos de resistencia a la compresión para las unidades de mampostería.

**Tabla 2.2** Tabla de resistencia mínima de las unidades para muros de mampostería confinada

Tipo de Unidad	$f'_{cb}$	
	Mpa	Kg/cm <sup>2</sup>
Ladrillo macizo	15	150
Bloque de perforación horizontal de arcilla	3	30
Bloque de perforación vertical de concreto o de arcilla (sobre área neta)	5	50

Fuente: CEC, subcapítulo mampostería confinada

**Resistencia a la tracción** Generalmente, el valor de la resistencia a la tracción uniaxial de las unidades de mampostería,  $f_{tb}$  se obtiene en función de la resistencia a la compresión  $f'_{cb}$ . No obstante, estas expresiones son bastante sensibles a la técnica de ensayo empleada. La siguiente ecuación presenta una relación  $f'_{cb} - f_{tb}$  frecuentemente utilizada:

$$f_{tb} = c\sqrt{f'_{cb}} \quad (2.1)$$

$c$  es una constante que tiene en cuenta el tipo de ensayo, esto es:

$$c = 0.28 \text{ para ensayo de tensión uniforme}$$

$$c = 0.34 \text{ para ensayo de tensión indirecta}$$

$$c = 0.69 \text{ para ensayo de flexión}$$



El ensayo de tensión indirecta, parece ser el que proporciona las mediciones más realistas de la resistencia a la tensión de las unidades de mampostería sometidas a fuerzas en su propio plano.

La relación esfuerzo - deformación de las unidades de mampostería en tensión es casi elástica lineal hasta cerca al esfuerzo máximo. Cuando se sobrepasa este valor, se produce un fallo frágil.

**Módulo de elasticidad y relación de Poisson** La relación esfuerzo deformación de las unidades de mampostería depende significativamente del material constitutivo. Debido a la ausencia de información experimental, se puede suponer que los ladrillos de arcilla cocida se comportan casi como un material elástico lineal, mientras que las

unidades de hormigón exhiben un comportamiento no lineal similar al observado en las placas de hormigón.

El módulo de elasticidad de las unidades de mampostería,  $E_b$ , presenta un amplio rango de variación y, básicamente depende del tipo de material y de la resistencia a la compresión,  $f'_{cb}$ . No hay un método estándar para evaluar el módulo de elasticidad. Usualmente, éste se toma como el módulo secante de elasticidad, desde el nivel cero de esfuerzo hasta un tercio de la resistencia del material.

Para ladrillos de arcilla, el módulo de elasticidad  $E_b$ , es usualmente más pequeño que el correspondiente a las unidades de hormigón. Este parámetro puede obtenerse aproximadamente como:

$$E_b = 300 \cdot f'_{cb} \quad (2.2)$$

A partir de los ensayos realizados por Sahlin [1971] se observa una buena correspondencia con los valores obtenidos a partir de la ecuación (2.2), para valores de  $f'_{cb}$  entre 20 y 50 MPa.

Kirtschig [1985] dirigió una investigación experimental en Alemania, utilizando ladrillos de arcilla perforados y propuso la siguiente expresión empírica, para calcular el módulo secante de elasticidad definido en un tercio de la resistencia a la compresión, esto es:

$$E_b = 980 \cdot f'_{cb}{}^{0.77} \quad (2.3)$$

No se cuenta con información suficiente que definir la relación de Poisson de las unidades de mampostería,  $\nu_b$ , debido a que este parámetro ha sido poco investigado. Atkinson et al. [1985] y McNary y Abrams [1985] hallaron valores de  $\nu_b$  entre 0.13 y 0.22 para tres tipos diferentes de unidades, no obstante, los materiales no fueron especificados con claridad.

**Contenido de humedad y absorción** El contenido de humedad y la absorción, son las propiedades más importantes de las unidades y tienen un efecto considerable sobre las características de la mampostería.

El contenido de humedad se define como la masa de agua por unidad de volumen, la cual puede ser expresada, en términos absolutos o en términos relativos a la densidad de la unidad cuando está seca. El intervalo típico de este parámetro es 50 - 60  $kg/m^3$  y 2 - 3 % respectivamente.

La capacidad de la unidad para absorber agua se mide por dos parámetros: la absorción total y la tasa inicial de absorción ("Initial Rate Absorption" *IRA*). El primer parámetro representa la cantidad de agua requerida para saturar la unidad de mampostería (ésta es una medida de la porosidad), mientras que la *IRA*, o succión, es la masa de agua absorbida por unidad de área y por unidad de tiempo, medida en  $\text{Kg/m}^2\text{min}$ . Usualmente los valores del *IRA* varían entre 0.5 y 1.5  $\text{Kg/m}^2\text{min}$ .

## **2.3 Mortero**

El mortero está usualmente compuesto de agua, cemento y arena, no obstante en algunos casos, se adicionan otros materiales, para aumentar su capacidad de adherencia y de secado y/o hacerlo más manejable durante la construcción.

Los códigos de construcción establecen varios requerimientos para el mortero, incluyendo la clasificación y los detalles para su uso en la construcción. La calidad del mortero es muy importante para la integridad de la mampostería, ya que éste es el responsable de garantizar la adherencia y la cohesión entre las unidades [Ambrose, 1991].

Así como la integridad de las unidades de mampostería, depende del fabricante, en el caso del mortero, tanto el proceso de fabricación como de colocación (tareas realizadas por el albañil) son finalmente los que definen su calidad.

Con excepción de morteros extremadamente débiles, las propiedades mecánicas del mortero que más influyen en el comportamiento estructural de un elemento de mampostería, son su deformabilidad y su adherencia con las piezas. De la primera propiedad, dependen, en gran medida, las deformaciones totales del elemento de mampostería y, en parte, su resistencia a carga vertical. La adherencia entre el mortero y las piezas, define en muchos tipos de mampostería, sobre todo en aquellos en los que las piezas son muy resistentes, la resistencia a cortante del elemento. Adicionalmente, es importante que el mortero tenga una manejabilidad adecuada, para que pueda ser colocado en capas uniformes sobre las que asienten bien las piezas, evitándose concentraciones de esfuerzos y excentricidades accidentales.

La resistencia a la compresión del mortero,  $f_j$  no tiene, dentro de un intervalo bastante amplio, una influencia preponderante en el comportamiento estructural de la mampostería; sin embargo, el control de calidad del mortero, se basa en la determinación de esta propiedad, a través de ensayos de cubos de 5 cm de lado. La

razón para esta elección, está en la facilidad de la prueba y en el hecho de que muchas otras propiedades, como por ejemplo la adherencia, su módulo de elasticidad y su resistencia a la tracción, pueden relacionarse en forma indirecta con la resistencia a la compresión. De las clasificaciones especificadas por las diferentes normativas, la más empleada y referenciada es la ASTM C270 (Ver Tabla 2.3). En los últimos tiempos, un producto llamado cemento de mampostería fue desarrollado para hacer morteros con excelentes condiciones de resistencia. El cemento de mampostería es una mezcla de cemento Pórtland y materiales finamente molidos como la cal hidratada en cantidades aproximadamente iguales. Otros agentes pueden ser agregados para influenciar las propiedades como plasticidad, retentividad de agua y durabilidad.

**Tabla 2.3.** Clasificación de los tipos de mortero de acuerdo a su resistencia.

Designación	Resistencia	Permitido por el UBC en construcción de mampostería	Resistencia a la de compresión *		
			(psi)	(MPa)	(kg/cm <sup>2</sup> )
M	Alta	SI	2500	17.2	175.78
S	Alta media	SI	1800	12.4	126.56
N	Media	NO	750	5.17	52.73
O	Baja media	NO	350	2.41	24.61
* Resistencia promedio a los 28 días.					

Fuente: [REF.12]

**Tabla 2.4** Proporciones de mortero por volumen

Tipo	Partes de cemento Pórtland por volumen	Partes de Cemento de mampostería por volumen	Partes de cal por volumen	Partes de agregado por volumen
M	1	1(Tipo II)	0	5.0-6.0
	1	0	¼	2.8-3.8
S	½	1(Tipo II)	0	3.4-4.5
	1	0	¼ -1/2	2.8-4.5
N	0	1(Tipo II)	0	2.3-3.0
	1	0	½-1 ¼	3.4-6.8
O	0	1(Tipo II)	0	2.3-3.0
	1	0	¼ - 1 ½	2.8-7.5

Fuente: [REF.12]

El código ecuatoriano de la construcción, CEC, en la parte relacionada a construcciones de mampostería – que por el momento esta a nivel de propuesta - propone la siguiente clasificación:

**Tabla 2.5** Tipos de mortero, dosificación y resistencia según CEC-2000

Tipo de mortero	Resistencia Mínima a compresión a los 28 días		Composición en volumen		
	Mpa	Kg/cm <sup>2</sup>	Cemento	Cal	Arena
M20	20	200	1	-	2.5
M15	15	150	1	-	3
			1	0.5	4
M10	5	50	1	-	6
			1	1	7
M2.5	2.5	25	1	-	7
			1	2	9

Fuente: CEC, subcapítulo mampostería estructural

### 2.3.1 Componentes del mortero

Los principales componentes del mortero son:

- **Cemento:** su función es proporcionar resistencia a la mezcla. Usualmente se utiliza cemento Pórtland tipo I y excepcionalmente el tipo II (resistente a sulfatos). Su densidad es aproximadamente de  $1500 \text{ kg/m}^3$ .
- **Arena:** es la encargada de proporcionar estabilidad volumétrica a la mezcla y atenuar la contracción por secado, por lo tanto, se recomienda no usar arena fina y lavar la arena gruesa cuando tenga polvo. Por otra parte, es preferible que los granos de arena sean redondeados y de una granulometría completa, es decir, con variedad en el tamaño de las partículas que permita rellenar fácilmente los vacíos. La arena de mar no debe usarse, debido a que las sales que ella contiene producirían la eflorescencia de la unidad.
- **Agua:** el agua que se utiliza para la mezcla, debe ser potable, libre de partículas orgánicas y de sustancias contaminantes (aceite, ácidos, etc.). Su función es darle trabajabilidad a la mezcla e hidratar al cemento. El uso de agua de mar produce eflorescencia en los ladrillos por las sales que contiene.
- **Cal hidratada normalizada:** de emplearse cal en el mortero, ésta debe ser hidratada y normalizada; la razón por la cual la cal debe ser normalizada se debe a que pueden existir partículas muy finas, que en vez de funcionar como aglomerante lo hacen como residuos inertes. La densidad de la cal es del orden de  $640 \text{ kg/m}^3$ . Cuando se emplea cal en el mortero, ésta (a diferencia del cemento) endurece muy lentamente al reaccionar con el anhídrido carbónico del ambiente, en un proceso llamado carbonatación, el cual es beneficioso para el mortero por dos razones: 1) las fisuras se sellan a lo largo del tiempo al formarse cristales de carbonato de calcio, que proveen una resistencia adicional a la del cemento y, 2) al endurecer lentamente favorecen la retentividad de la mezcla. El concepto de retentividad se define a continuación.

### 2.3.2 Propiedades del mortero

Entre las principales propiedades del mortero se tiene:

1. *La adherencia unidad-mortero*: ésta se logra cuando los solubles del cemento son absorbidos por la unidad, cristalizándose como agujas en sus poros. La adherencia se ve favorecida cuando el mortero penetra en las perforaciones y rugosidades de la unidad, formando una especie de llave de corte entre las hiladas.
2. *Consistencia*: se define como la capacidad que tiene la mezcla de poder fluir o ser manejable utilizando los instrumentos adecuados para ello.
3. *Retentividad*: consiste en la capacidad de la mezcla de mantener su consistencia o de continuar siendo manejable después de un lapso de tiempo. Si el mortero no es retentivo, es decir pierde el agua fácilmente, no fraguará todo el cemento, la hidratación será parcial y se endurecerá y deformará la superficie plana del mortero.

## **LECTURAS RECOMENDADAS**

1. Building Code Requirements for Masonry Structures ACI 530-99. American Concrete Institute, Detroit 1999. Páginas C-9 – C-15
2. Commentary On Building Code Requirements For Masonry Structures ACI 530-99. American Concrete Institute, Detroit 1999. Páginas CC-9, CC-10
3. Código Ecuatoriano de la Construcción, subcapítulo de la construcción con mampostería estructural. 2000. Página 58
4. Reglamento Nacional de Estructuras. Norma Peruana E-70 . Instituto de la Construcción y Gerencia , Lima 2002. Páginas 157,158

# 3

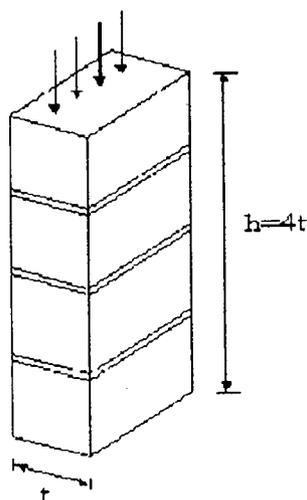
## COMPORTAMIENTO MECÁNICO

### 3.1 Comportamiento mecánico de la mampostería en compresión

La mampostería de fábrica de ladrillo es un material que presenta un comportamiento óptimo cuando está sujeta a esfuerzos de compresión. Su comportamiento y los modos de falla ante cargas axiales, dependen de la interacción de piezas y mortero; ésta puede interpretarse en la siguiente forma: las piezas y el mortero tienen características esfuerzo-deformación diferentes (ver Figura 2.1); por lo tanto, al ser sometidos a un mismo esfuerzo, se produce una interacción entre ambos, que consiste en que el material menos deformable, las piezas en general, restringe las deformaciones transversales del material más deformable (el mortero), introduciendo en él esfuerzos de compresión de dirección transversal. Por el contrario, en el material más deformable, se introducen esfuerzos transversales de tracción, que disminuyen su resistencia respecto a la que se obtiene en el ensayo de compresión simple del material aislado.

El ensayo que se utiliza para determinar la resistencia a la compresión de la mampostería,  $f_m$  se hace sobre muretes, es decir, sobre una pila de piezas superpuestas unidas por mortero, con una relación altura/espesor ( $h/t$ ) aproximadamente igual a 4 (ver Figura 3.1). Se utilizan estas condiciones en particular, debido a la relativa facilidad de construcción y ensayo del murete, con el cual, se reproducen razonablemente los modos de fallo observados en los muros a escala natural.





**Figura 3.1.** Ensayo de un murete para determinar la resistencia a la compresión de la mampostería. [REF.25]

El tipo de fallo más común en este tipo de ensayo, es la formación de grietas verticales en las piezas, producidas por las deformaciones transversales. Generalmente, el daño se concentra en las unidades del centro, ya que es allí, donde el efecto del confinamiento inducido por las celdas de carga, es menos significativo. No obstante, otros tipos de fallo pueden presentarse, como consecuencia de las posibles combinaciones que se generan al variar la calidad y las propiedades de las unidades y el mortero, como es el caso del fallo por aplastamiento en unidades de baja resistencia. Por lo tanto, la resistencia a la compresión de la mampostería  $f'_m$  depende tanto de las propiedades mecánicas de los materiales constitutivos como de la forma como éstos se combinan para formar la mampostería. A continuación se describen algunos de estos factores:

- Tipo y geometría de las unidades de mampostería: la resistencia a la compresión varía con el porcentaje del área perforada o aligerada de las unidades. Si esta área es menor del 20 % del total de la sección transversal y para diferentes formas de perforaciones (poligonales o circulares), la resistencia de la unidad es la misma que la del panel. Para el caso de perforaciones rectangulares, la resistencia del panel puede disminuir debido a la concentración de esfuerzos que se presentan en las esquinas internas. Si se sobrepasa el límite mencionado, la relación entre la resistencia del panel a la resistencia de la unidad, disminuye

hasta valores del 38 al 43 %. Por otra parte, se ha podido comprobar que la resistencia de las unidades aumenta cuando disminuye su altura.

- Características del mortero de unión: diversos ensayos de laboratorio realizados sobre mampostería de piedra y ladrillo, han permitido concluir que la resistencia de aplastamiento del mortero, no influye notablemente en el valor de la resistencia a compresión del panel, pero sí en sus propiedades de deformabilidad y adherencia, ya que ejerce un efecto de restricción de la deformación lateral de las unidades, induciendo un estado triaxial de esfuerzos de compresión, mejorando así su resistencia. Así mismo, dada la importancia que tiene la deformabilidad del elemento de unión, también resulta importante la relación entre el espesor de la junta de mortero y la altura de la unidad de mampostería; si dicha relación es alta, la tendencia al fallo será hacia el deslizamiento en la junta, mientras que, si presenta valores bajos, la resistencia a compresión del panel y la resistencia de la unidad son aproximadamente iguales.
- La humedad y absorción de la unidad de mampostería: es muy importante que las unidades estén saturadas para que no absorban el agua del mortero, produciendo una alteración de las características del mismo e impidiendo incluso que se produzcan las reacciones químicas de algunas partículas de cemento por falta de agua.

La Tabla 3.1 resume algunos de los principales factores de las unidades, el mortero y de la propia mampostería, que afectan su resistencia a la compresión

Características Unidades	Características Mortero	Paneles de Mampostería
Resistencia Absorción Humedad Relación altura-espesor Geometría	Resistencia Espesor Relación agua-cemento Características de deformación Retentividad de agua	Colocación Hechura Dirección de carga Adherencia

**Tabla 3.1** Factores que afectan la resistencia a compresión

En la actualidad existe un número considerable de expresiones que relacionan la

resistencia a la compresión de la mampostería  $f'm$  con las propiedades fundamentales de los materiales componentes. Básicamente existen dos métodos diferentes de evaluar la resistencia:

1. Ecuaciones empíricas derivadas de análisis estadístico de datos experimentales, que sólo son válidas, estrictamente hablando, para las mismas condiciones y materiales considerados durante los ensayos y, no deben ser utilizadas en sentido general. Una de las expresiones más completas es la propuesta por Hendry (1990), esto es:

$$f'm = C_m \psi^* (C_F * f'_{cb})^{0.75} (f'_j)^{0.25} \quad (3.1)$$

$C_m$  es un factor que depende de la continuidad de la mampostería ( por ejemplo ( $C_m = 0.45$  para mampostería continua a todo lo alto del panel y  $C_m = 0.35$  para los casos en los cuales existe alguna junta longitudinal),  $\psi$  es un factor que permite resistencias bajas de mampostería, siendo igual a la unidad en la mayoría de los casos,  $C_F$  es un factor de forma,  $f'_{cb}$  y  $f'_j$  son la resistencia a la compresión de las unidades y del mortero, respectivamente.

Otras expresiones muy similares a ésta, han sido propuestas por Kirtschig (1985), Chuxian (1985), Mehlmann y Oppermann (1988), entre otros.

2. Modelos analíticos para el comportamiento de la mampostería como un material compuesto: varias propuestas teóricas han sido desarrolladas para evaluar la resistencia de la mampostería a compresión, a partir de las observaciones experimentales y de una serie de hipótesis sobre el tipo de fallo y la interacción de los componentes de la mampostería [Hilsdorf, 1969; Francis et al., 1971; Khoo y Hendry, 1982; Atkinson et al., 1985; McNary y Abrams, 1985]. La mayoría de estos modelos, expresan la resistencia a la compresión de la mampostería en función de: a) la resistencia a la compresión del mortero  $f'_j$  y las unidades  $f'_{cb}$ , b) la resistencia a tracción de las unidades  $f_{tb}$ , c) el ancho de la junta del mortero  $j$ , d) la altura de las unidades de mampostería  $b$  y e) los módulos de elasticidad del mortero  $E_j$ , y las unidades  $E_b$ .

CEC propone las siguientes ecuaciones:

$$f'_m = K \cdot f'_{cb}{}^{0.65} \cdot f'_j{}^{0.25} \text{ N/mm}^2 \quad (3.2)$$

con  $f'_{cb}$  no mayor que  $20 \text{ N/mm}^2$ , ni que  $2f_j$ ,

Donde:

K es la constante en  $(\text{N/mm}^2)^{0.10}$  que puede tomar los siguientes valores:

0.60 Para piezas de hormigón.

0.55 Para piezas de arcilla

El valor de  $f'_m$  se puede determinar también empleando la siguiente ecuación:

$$R_m = \left( \frac{2b}{75 + 3b} \right) f'_{cb} + \left( \frac{50k_p}{75 + 3b} \right) f'_j \leq 0.8 f'_{cb}$$

$$f'_m = 0.75 R_m \quad (3-3)$$

donde:

$f'_m$  = Resistencia nominal a la compresión de la mampostería (Mpa).

$f'_{cb}$  = Resistencia especificada a la compresión de la unidad de Mampostería medida sobre Área neta. (Mpa).

$f'_j$  = Resistencia especificada a la compresión del mortero de pega (Mpa).

$b$  = Altura de la unidad de Mampostería (mm).

$k_p$  = factor de corrección por absorción de la unidad, adimensional

$k_p = 1.4$  para unidades de concreto

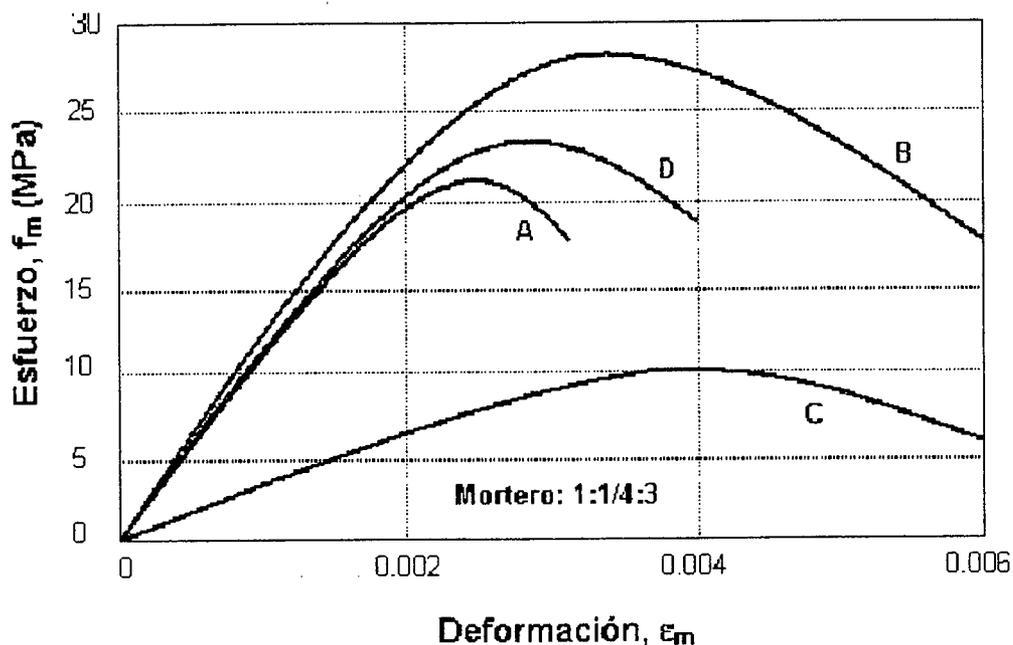
$k_p = 0.8$  para unidades de arcilla

### 3.1.1 Relación esfuerzo - deformación

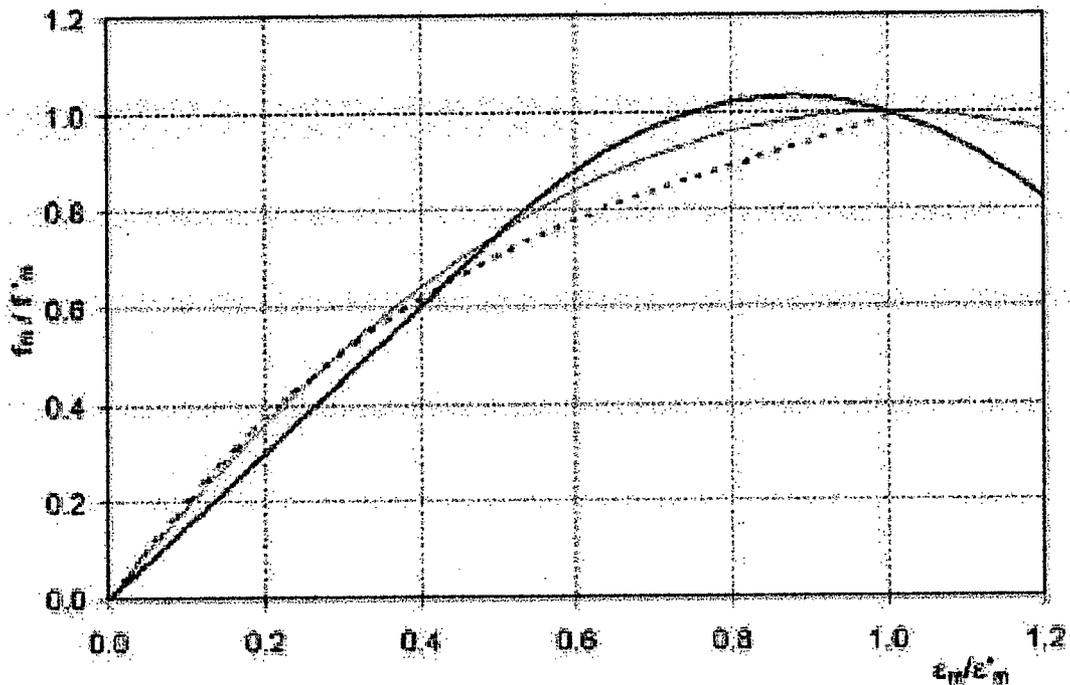
La relación esfuerzo-deformación para la mampostería (ver también Figura 2.1) ha sido estudiada ampliamente en los últimos años. Se ha observado que esta relación depende de las características de los materiales constitutivos, esto es; las deforma-

ciones y los esfuerzos varían considerablemente de un tipo de unidad a otra. La Figura 3.1 muestra cuatro curvas para diferentes tipos de ladrillos (A: ladrillos perforados, B, C y D: ladrillos sólidos) y una misma proporción de mezcla utilizada para fabricar el mortero (proporción cemento: cal: arena = 1:1/4: 3). Claramente se observa que, no existe una relación directa entre las deformaciones y esfuerzos obtenidos, lo cual permite afirmar que hay una considerable variación en las deformaciones.

Varios tipos de ensayos han sido realizados para definir la forma de la curva esfuerzo-deformación [Hendry, 1990] utilizando diferentes proporciones de la mezcla para el mortero y, en algunos casos, incluso variando el tipo de unidad. Lo anterior ha permitido observar, que la mayoría de curvas obtenidas, conservan una misma tendencia, siempre y cuando se normalicen los esfuerzos y las deformaciones por los valores correspondientes al esfuerzo máximo a compresión  $f'_m$  y su deformación correspondiente  $\epsilon'_m$ , como se aprecia en las tres curvas normalizadas de la Figura 3.2.



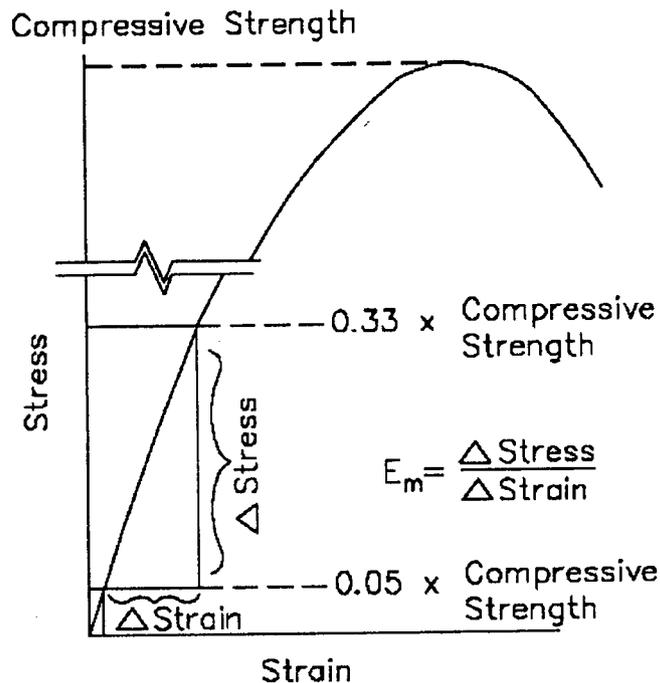
**Figura 3.1.** Relaciones esfuerzo-deformación para la mampostería en compresión [Hendry, 1990]. Ver explicación en el texto.



**Figura 3.2.** Relaciones analíticas esfuerzo-deformación propuestas por diferentes autores [Crisafulli, 1997]

### 3.1.2 Módulo de elasticidad de la mampostería $E_m$

Se han utilizado varias definiciones para evaluar el módulo de elasticidad de la mampostería,  $E_m$ . En algunos casos, se define como el módulo secante en el nivel de esfuerzos del 30 % o el 75 % de la resistencia máxima a la compresión  $f'_m$ . Amrhein (1992) y ACI 530-99 utilizan el método secante, en el cual, la pendiente de la línea se toma desde el punto correspondiente a un esfuerzo igual a  $0.05 f'_m$  hasta un punto sobre la curva en  $0.33 f'_m$ , ver figura 3.3. En muchos otros casos, no se han descrito los métodos considerados para definir el módulo de elasticidad. Sin embargo, para niveles de esfuerzos bajos y medios, las diferencias obtenidas usando varias definiciones, pueden ser consideradas como pequeñas para efectos prácticos, para un mismo tipo de unidad.



**Figura 3.3.** Módulo de elasticidad para mampostería según ACI 530-99

Considerando que la mampostería es un material compuesto de unidades y mortero, cada uno con propiedades de deformación diferentes, resulta razonable desarrollar un modelo analítico para calcular el módulo de elasticidad basado en las propiedades de deformación de estos dos elementos. De esta forma, varios investigadores [Sahiin, 1971; Ameny et al., 1983; Binda et al., 1988; Drysdale et al., 1994] han desarrollado la misma expresión, suponiendo un comportamiento elástico lineal para ambos materiales e igualando la deformación de compresión de la mampostería a la suma de la deformación de los ladrillos y de las juntas de mortero, esto es:

$$E_m = E_b \frac{\frac{b}{j} + 1}{\frac{b}{j} + \frac{E_b}{E_j}} \quad (3.4)$$

$E_b$  es el módulo de elasticidad de la unidad,  $b$  es la altura de la unidad,  $j$  es el espesor de la junta del mortero y  $E_j$  es el módulo de elasticidad del mortero. Esta expresión indica que el módulo de elasticidad de la mampostería, siempre será más pequeño que el módulo de la unidad cuando el mortero es más deformable ( $E_b < E_j$ ), como usualmente ocurre. Adicionalmente, esta ecuación predice que  $E_m$  aumenta cuando el

mortero es más rígido y cuando el espesor de la junta de mortero es más pequeño. Otras propuestas empíricas, de gran aplicación práctica, han sido desarrolladas por diferentes autores, a partir de una gran cantidad de ensayos de laboratorio. La mayoría de estas propuestas varían entre:  $400 f'm < E_m < 1000 f'm$ , La Tabla 3.2 resume algunas de las propuestas más utilizadas.

**Tabla 3.2.** Expresiones empíricas para el módulo de elasticidad de la mampostería según algunos investigadores y códigos de construcción.

Autores	Valor de Em
Paulay y Priestley, 1992	$750 f'm$
San Bartolomé, 1990	$500 f'm$
Sinha y Pedreschi, 1983	$1180 f'm^{0.83}$
Hendry, 1990	$2116 \sqrt{f'm}$
CEC -2000	$750 f'm$ unidades de concreto $500 f'm$ unidades de arcilla
ACI 530-99	$700 f'm$ unidades de arcilla $900 f'm$ unidades de concreto

### 3.2 Comportamiento de la mampostería a cortante

Para el diseño de estructuras de mampostería, sometidas a cargas laterales inducidas por viento o por movimientos sísmicos, es necesario evaluar adecuadamente la resistencia a cortante. Generalmente, los esfuerzos de cortante son combinados con los esfuerzos de compresión producidos por cargas gravitatorias u otras acciones. Consecuentemente, el caso puro de cortante no tiene aplicación práctica y, por lo tanto, la resistencia a cortante de la mampostería se investiga considerando el efecto de los esfuerzos de compresión en la dirección normal a las juntas horizontales. En otros casos, el estado de esfuerzos en la mampostería es más complejo (esfuerzos

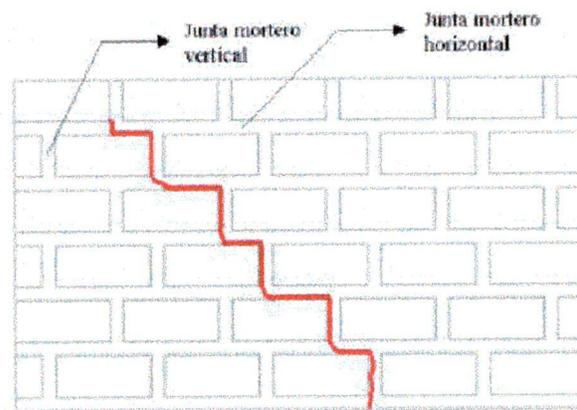
biaxiales) y es necesario utilizar un criterio de fallo general para evaluar la resistencia de la mampostería.

### **3.2.1 Modos de fallo**

El comportamiento de la mampostería se caracteriza por dos efectos importantes:

1) La respuesta frágil de las unidades de mampostería en tracción y 2) la debilidad introducida por las juntas de mortero. Por lo tanto, los modos de fallo resultan a partir de la combinación de grietas de tensión diagonal cruzando las unidades y las grietas a lo largo de las interfaces mortero-unidad. Los resultados experimentales de varios paneles de mampostería ensayados bajo la combinación de esfuerzos, muestran que pueden ocurrir diferentes tipos de fallo de acuerdo con la magnitud relativa de los esfuerzos normales,  $f_n$  (en la dirección perpendicular a las juntas horizontales) y de los esfuerzos de cortante. Por lo tanto, se consideran tres tipos de fallo:

- Fallo Fricción-Cortante: este tipo de fallo ocurre para esfuerzos normales de compresión bajos y se produce por la unión débil de las interfaces mortero-unidad, dando lugar a esfuerzos cortantes deslizantes en las juntas horizontales. La Figura 3.4 muestra la distribución escalonada de las grietas asociadas a este tipo de fallo, las cuales se forman a partir de los extremos de las juntas verticales, que constituyen planos de debilidad en la mampostería, debido a que su resistencia a la adherencia disminuye por causa de la contracción y de los vacíos existentes.

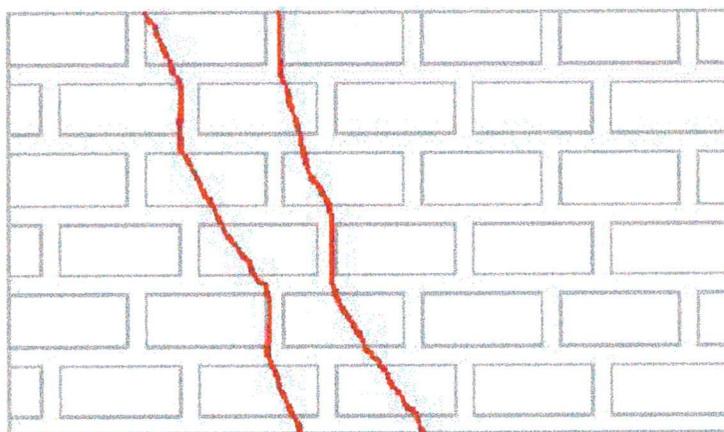


**Figura 3.4.** Agrietamiento escalonado diagonalmente producido por un fallo de fricción-cortante.[REF.19]

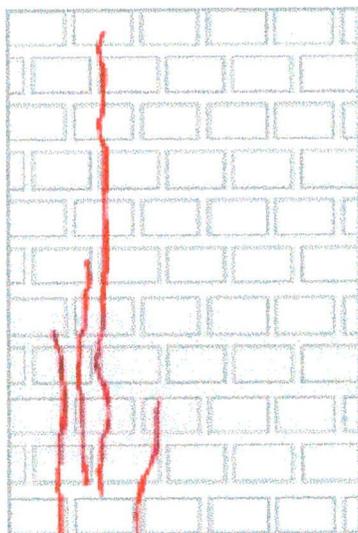
- Fallo por tensión diagonal: se produce directamente sobre las unidades de mampostería para valores de esfuerzos normales de compresión moderados. La resistencia a cortante de las juntas de mortero, se incrementa debido al efecto de los esfuerzos normales de compresión. Por lo tanto, las grietas se producen en las unidades, como resultado de los esfuerzos de tracción inducidos por el estado de esfuerzos de compresión y cortante. La Figura 3.4 muestra la distribución de las grietas que siguen la dirección de las juntas verticales y, pasan a través de las unidades con una inclinación que depende de la orientación de los esfuerzos principales en la unidad.
- Fallo a compresión: este tipo de fallo se presenta para valores muy altos de esfuerzo normal  $f_n$  en comparación con los esfuerzos cortantes  $\tau$ . Mann y Müller (1982) proponen, a partir del análisis de resultados experimentales, la siguiente expresión como condición límite para que se produzca este tipo de fallo:

$$f_n < 8\tau \quad (3.5)$$

En este caso, el fallo es similar al que se produce bajo compresión directa, aunque el efecto del esfuerzo cortante causa una reducción en la resistencia a la compresión de la mampostería. Las grietas se forman por las deformaciones verticales y se incrementan por el efecto de las deformaciones del mortero en las juntas. Estas grietas se propagan verticalmente y atraviesan las unidades de mampostería, llegando en algunos casos a comprometer la estabilidad del elemento y a producir el fallo del mismo (ver Figura 3.5).



**Figura 3.4.** Agrietamiento de las unidades de mampostería producido por un fallo de tensión diagonal.[REF. 19]



**Figura 3.5.** Fallo por agrietamiento vertical excesivo producido por esfuerzos de compresión.[REF.19]

### **3.2.2 Resistencia a cortante de la mampostería**

Varios investigadores han demostrado experimentalmente que la resistencia a cortante de las juntas de mortero, se incrementa con la presencia de esfuerzos de compresión aplicados a la mampostería. Este efecto se explica, considerando que la resistencia a cortante resulta de la combinación de dos mecanismos diferentes: 1) la resistencia a la adherencia y 2) la resistencia a la fricción entre las juntas de mortero y las unidades. Por lo tanto, la resistencia a cortante de la mampostería  $\tau_m$  puede expresarse como:

$$T_m = T_o + \mu * fn \quad (3.6)$$

$T_o$  es la resistencia a cortante inicial,  $\mu$  es el coeficiente de fricción interna y  $fn$  es el valor absoluto de los esfuerzos de compresión normal en la dirección perpendicular a las juntas horizontales. Estos parámetros pueden ser evaluados a partir de un ensayo de cortante directo. Por otra parte, usualmente los códigos de diseño adoptan valores conservativos para  $T_o$  y  $\mu$ , debido a la gran variación existente en las propiedades de los materiales y, en los numerosos factores que afectan la resistencia a cortante.

Un amplio rango de valores de resistencias de adherencia  $T_o$  han sido calculados por diferentes investigadores [Paulay y Priestley, 1992; Shrive, 1991; Hendry, 1990; Atkinson et al., 1989; Stöckl y Hofmann, 1988]. A partir de estos resultados, es posible

definir un intervalo de variación típico de  $T_o$  esto es:  $0.1 < T_o < 1.5 \text{ MPa}$ . Para efectos prácticos, Paulay y Priestley (1992) proponen calcular el valor medio de  $T_o$  como:

$$T_o = 0.03 * f_m \quad (3.7)$$

En cuanto al valor del coeficiente de fricción  $\mu$ , no se conoce bien cuáles son los factores que afectan este coeficiente, lo cual ha conducido al informe de resultados contradictorios [Crisafulli, 1997]. A partir de los resultados experimentales obtenidos por diferentes investigadores [Paulay and Priestley, 1992; Hendry, 1990; Stöckl y Hofmann, 1988; Sahlin, 1971], se define el intervalo de variación de  $\mu$ , como:

$0.1 < \mu < 1.2$ . Para propósitos de diseño, Paulay y Priestley (1992) recomiendan tomar  $\mu = 0.3$ .

La ecuación (3.6) ha sido adoptada por la mayoría de los códigos de diseño como una expresión general, independiente del mecanismo de fallo. Este criterio puede conducir a una evaluación insegura de la resistencia del panel de mampostería [Crisafulli, 1997]. Por lo tanto, lo ideal es obtener una expresión que considere el mecanismo de fallo. Mann y Müller (1982) propusieron una curva envolvente que relaciona  $T_m$  con  $fn$  (ver Figura 3.6), definida por la siguiente ecuación:

$$\tau_m = \tau_o^* + \mu^* fn \quad \text{Fallo fricción -cortante}$$

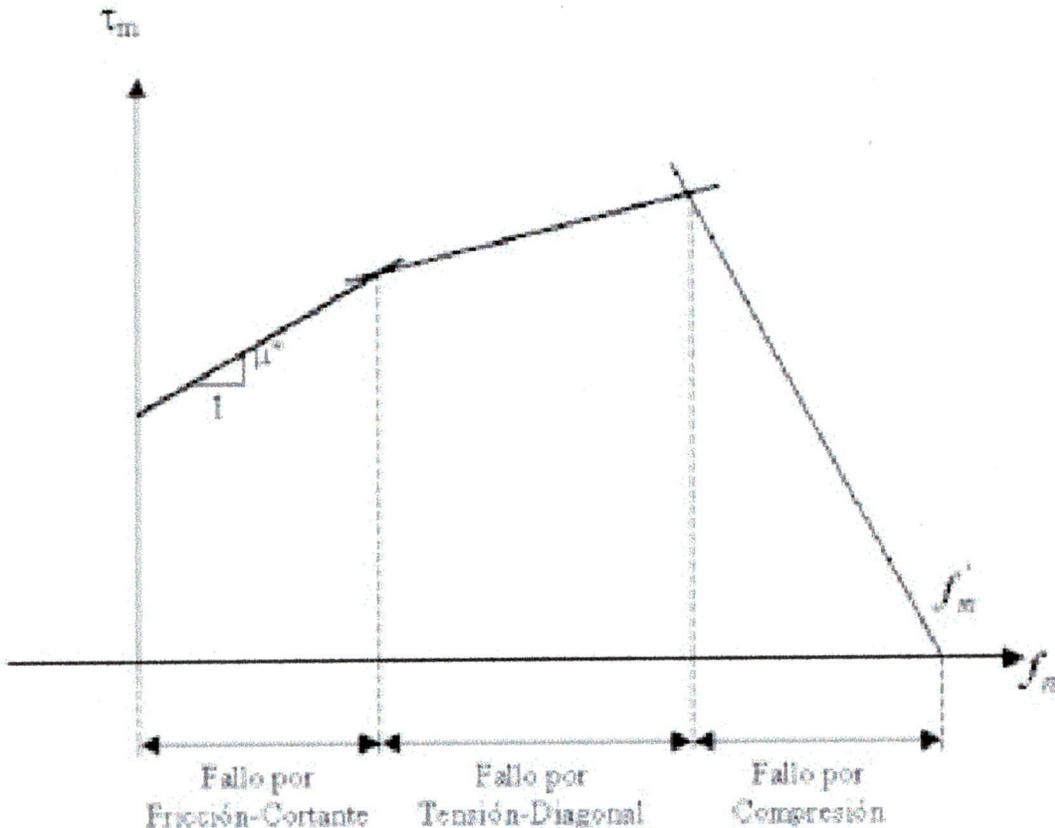
$$\tau_m = \frac{f'_{tb}}{2.3} \sqrt{1 + \frac{fn}{f'_{tb}}} \quad \text{Fallo tensión diagonal} \quad (3.8)$$

$$\tau_m = (f'_m - fn) \frac{d}{2b} \quad \text{Fallo compresión}$$

$fn$  esfuerzo normal de compresión,  $f'_{tb}$  es la resistencia a tracción de las unidades,  $f'_m$  es la resistencia a la compresión de la mampostería,  $b$  y  $d$  son la altura y el ancho de la unidad,  $T_o^*$  y  $\mu^*$  son respectivamente la cohesión y el coeficiente de fricción, esto es:

$$\tau_o^* = \frac{\tau_o}{1 + \mu \frac{2b}{d}} \quad (3.9)$$

$$u^* = \frac{\mu}{1 + \mu \frac{2b}{d}} \quad (3.10)$$



**Figura 3.6.** Curva envolvente de acuerdo a la teoría de fallo propuesta por Mann y Muller (1982). Ver explicación en el texto.

### 3.2.3 Factores que afectan la resistencia de adherencia

Existen numerosos parámetros que pueden afectar la resistencia de adherencia entre las unidades y el mortero, no obstante, su influencia e interrelación no está aún completamente definida. Los factores más importantes, relacionados con las carac-

terísticas de los materiales son:

- Unidades: porosidad, tasa inicial de absorción de agua, la rugosidad de la superficie, el contenido de humedad y la reactividad química.
- Mortero: características de la arena, la relación cal-cemento, la retentividad de agua, el contenido de agua y la presencia de aditivos.

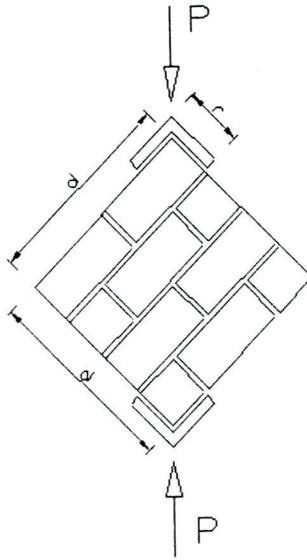
No hay información cuantitativa suficiente que permita evaluar el efecto de cada uno de los factores mencionados, no obstante, es posible identificar cuales de ellos son beneficiosos para la resistencia de la adherencia. Así por ejemplo, incrementos en el contenido de humedad de las unidades, sin llegar al estado de saturación y, la presencia de cal en la mezcla utilizada para el mortero, aumentan la resistencia de la adherencia entre el mortero y las unidades [Sinha, 1983; Hendry, 1990].

### **3.2.4 Propiedades deformacionales**

El módulo de cortante de la mampostería,  $G_m$ , puede calcularse a partir de las mediciones de la deflexión realizadas sobre paneles de mampostería. Se ha observado que este módulo de cortante depende de: 1) el tipo de unidad, 2) la clase de mortero y 3) el contenido de humedad de las unidades cuando se colocan [Stóckl y Hofmann, 1988]. Para cálculos aproximados, se puede suponer que la mampostería se comporta como un material isotrópico (en términos de propiedades deformacionales), así:

$$G_m = \frac{E_m}{2(1 + \nu_m)} \quad (3.11)$$

$E_m$  y  $\nu_m$  son el módulo de elasticidad y la relación de Poisson de la mampostería, respectivamente. Esta expresión indica que la relación  $G_m/E_m$  varía entre 0.40 y 0.45 para los valores usuales de la relación de Poisson ( $0.10 < \nu_m < 0.25$ ). Los trabajos experimentales realizados por Dhanasekar et al. (1982) y Hendry (1990) confirman que la ecuación (3.11) concuerda razonablemente con los valores medidos. La determinación directa del módulo de corte se puede hacer a través del ensayo de muretes sujetos a compresión diagonal, como indica la figura 3.7



**Figura 3.7** Ensayo de compresión diagonal.[REF.9]

### 3.3 Comportamiento de la mampostería a tracción

La resistencia a la tracción de la mampostería está principalmente controlada por la resistencia a la adherencia desarrollada en las interfaces mortero-unidad. Los ensayos realizados por Decanini y Ochat (1986) muestran que la resistencia de los paneles de mampostería no se ve afectada por la resistencia a la compresión ni del mortero ni de las unidades, mientras que la absorción de agua de las unidades de mampostería tiene una fuerte influencia.

Sinha (1983) investigó la relación entre la resistencia de cortante inicial  $\tau_o$  y la resistencia a tracción  $f'_{tb}$  propuso la siguiente expresión empírica:

$$\tau_o = 0.80 * f'_{to}^{0.56} \quad (3.12)$$

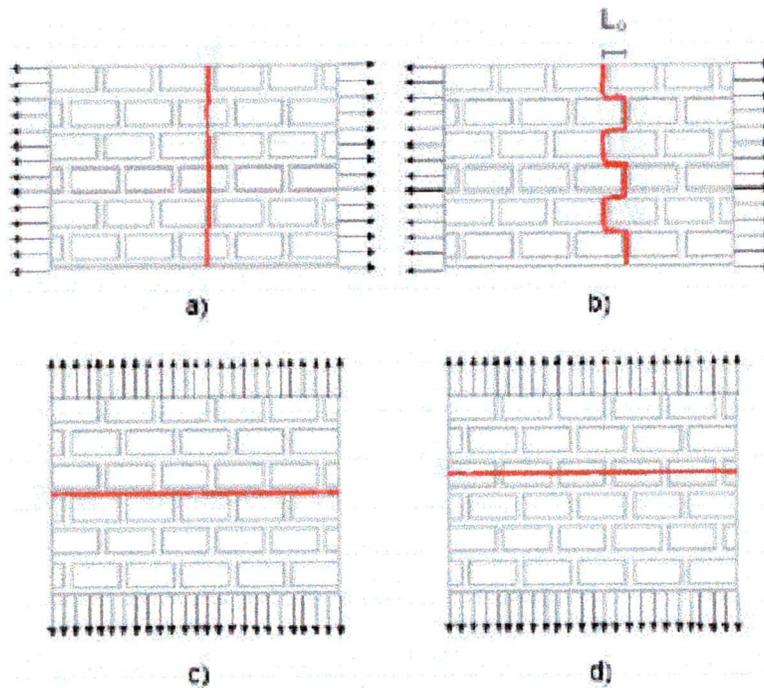
válida para  $f'_{to} \leq 0.6$  MPa. Los autores observaron una buena correspondencia de la ecuación (3.12) con los resultados experimentales y con otras expresiones sugeridas por varios autores.

#### 3.3.1 Modos de fallo

Diferentes tipos de fallo pueden ocurrir de acuerdo con: 1) la dirección de la carga de tracción y 2) la magnitud relativa de la resistencia de adherencia y la resistencia a la tracción de las unidades de mampostería [Schubert, 1988]. Cuando los esfuerzos de tracción son paralelos a las juntas horizontales de mortero, se pueden presentar dos

tipos de agrietamiento: a) grietas completamente verticales que atraviesan las unidades (ver Figura 3.8 a), donde la resistencia está controlada por la resistencia a tracción de las unidades de mampostería y, b) grietas que no afectan las unidades y sólo se presentan a lo largo de las juntas de mortero (ver Figura 3.8 b), donde los factores más determinantes son la resistencia a cortante y la longitud de traslapo (parte de un ladrillo cubierta por otro,  $L_0$ )

Por otra parte, cuando los esfuerzos de tracción actúan perpendicularmente a las juntas de mortero horizontal, los modos de fallo usualmente ocurren por separación de las interfaces mortero-unidad (ver Figura 3.8 c). Sin embargo, también puede presentarse el fallo por tensión de las unidades, como se muestra en la Figura 3.8 d.



**Figura 3.8.** Modos de fallo de la mampostería sujeto a tensión directa. Ver explicación en el texto.[REF.19]

## LECTURAS RECOMENDADAS

1. Building Code Requeriments For Masonry Structures Acl 530-99. American Concrete Institute, Detroit 1999. Páginas C-9 – C-15
2. Commentary On Building Code Requeriments For Masonry Structures ACI 530-99. American Concrete Institute, Detroit 1999. Páginas CC-9 – CC-15
3. Código Ecuatoriano de la Construcción, Subcapítulo de la construcción con mampostería estructural. 2000. Páginas 58
4. Englekirk, R., Hart G. "Earthquake Design of Concrete Masonry Buildings" Volume 2. Prentice-Hall, Inc Englewood Clifs, New Jersey 1984. Capitulo 2
5. Norma ASTM C270 .2002
6. Reglamento Nacional de Estructuras. Norma Peruana E-70 . Instituto de la Construcción y Gerencia , Lima 2002. Páginas 157,158
7. Vaca, F. "Curso mampostería estructural". Escuela Politécnica Nacional 1993. Páginas 2-15

# 4

## TIPOS DE CONSTRUCCIÓN

### 4.1. Tipos

Se conocen tres tipos de construcción de mampostería: reforzada, no reforzada y confinada, sin embargo se podría hablar también de la mampostería de relleno, que es aquella en la que primero se funden los elementos de hormigón armado y luego se levanta la pared, como es el caso de los edificios de hormigón armado, en los que a la mampostería se la considera -en la mayoría de los casos- como elemento de relleno entre pórticos o para dividir ambientes.

#### 4.1.1.Mampostería Reforzada

Es aquella que tiene refuerzo interior de varillas de acero dispuestas vertical y horizontalmente, con la finalidad de darle resistencia y ductilidad al muro.

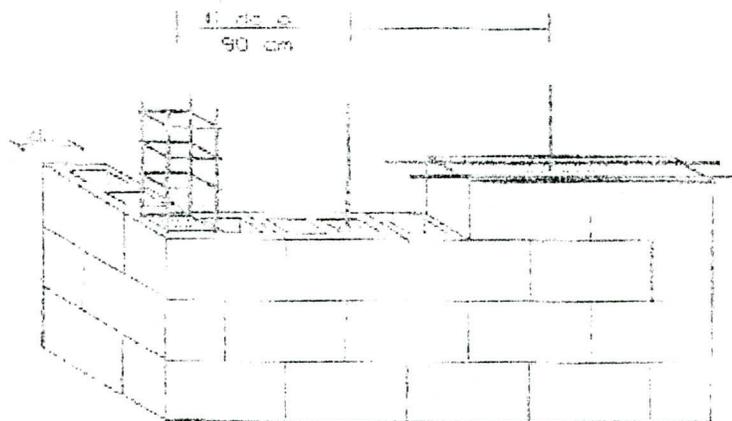
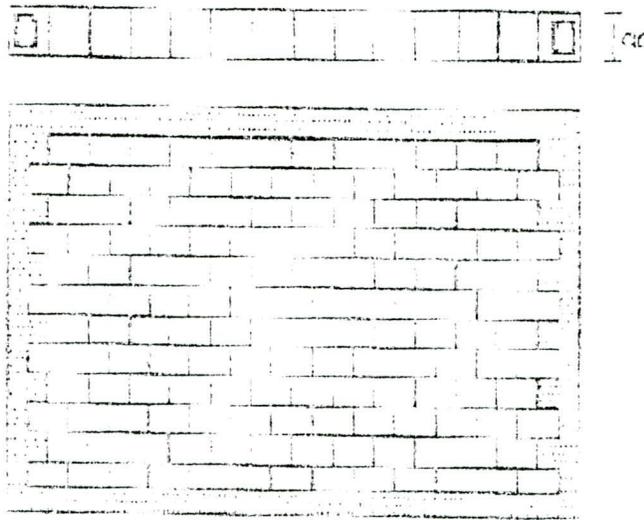


Figura 4.1 Mampostería reforzada.[REF.28]

#### 4.1.2.Mampostería Confinada

Es aquella que se levanta primero la pared y luego se funden las columnas y vigas de confinamiento.



**Figura 4.2** Mampostería confinada.[REF.28]

*El modelamiento y análisis de estos dos tipos de construcción es como el que se describe en el capítulo 6*

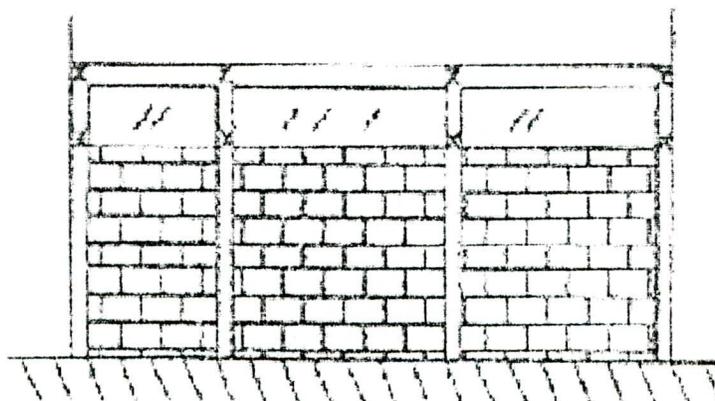
### **4.1.3.Mampostería de Relleno**

La mampostería de relleno se la definió anteriormente y se la a incluido en esta tesis por su influencia en un edificio de hormigón armado durante un sismo.

La mampostería de relleno causa algunos efectos indeseables en las estructuras de hormigón armado, los cuales son:

#### **Efecto de columna corta**

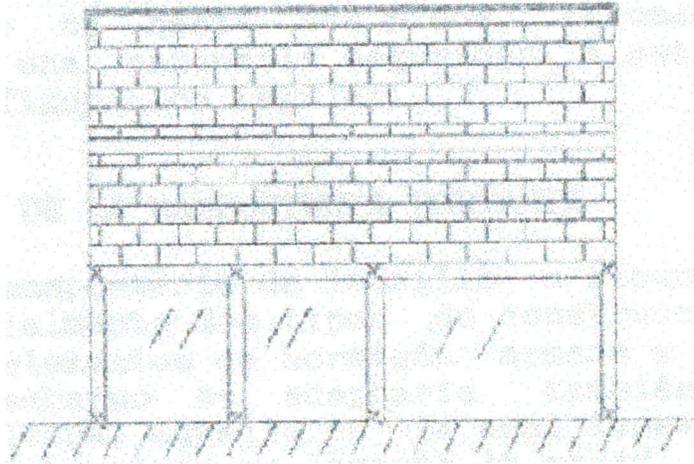
Los antepechos de mampostería o paredes incompletas generan este problema. La solución sería aislar los paneles de mampostería a través de juntas elásticas .



**Figura 4.3** Falla en columnas, efecto columna corta.[REF.28]

### **Efecto piso débil**

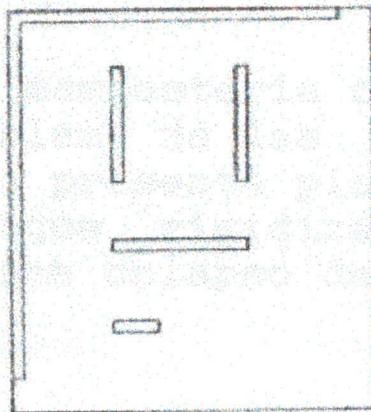
Este problema sucede cuando en una edificación de varios pisos, la planta baja carece de suficiente número de paredes, mientras que en los pisos superiores abundan las paredes, en este caso se ha generado el problema del piso bajo flexible y pisos superiores rígidos, que ante la presencia de un sismo concentra esfuerzos en este pisos bando. [REF.26]. Para evitar este problema las paredes deben ser continuas en todos los pisos.



**Figura 4.4** Falla en columnas, efecto piso bajo blando.[REF.28]

### **Torsión**

Este problema se presenta cuando se concentran demasiados paredes en un solo lugar de un piso. La solución es ubicar las paredes lo mas simétrico y uniforme posible.



**Figura 4.4** Concentración de rigidez en un lugar del piso, debido a la mala distribución de paredes.[REF.28]

### **Colapso fuera del plano(efecto explosivo)**

En muchos sismos ha sucedido este problema, debido a la falta de refuerzo transversal que arriestre a la pared. Mucha gente a muerto en sismos debido a la caída de paredes o antepechos de edificios. Para solucionar este problema algunos diseñadores sugieren colocar varillas  $\varnothing=8\text{mm}$  dispuestas horizontalmente cada tres hiladas en toda la altura de la pared.

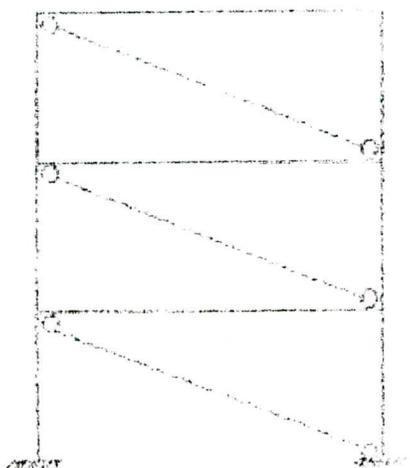
El diseño sísmico de edificios de hormigón armado con mampostería de relleno es tratado de diferentes maneras a lo largo del mundo. Algunas de las practicas más comunes de diseño son:

La mampostería de relleno es separada adecuadamente del pórtico de hormigón armado, de manera que no interfiera con el pórtico bajo deformaciones laterales. Toda la fuerza sísmica es asumida por el pórtico.

La mampostería de relleno es construida integral al pórtico de hormigón armado, pero es considerada como un elemento no estructural. Toda la fuerza sísmica es asumida por el pórtico. Es la práctica de diseño más común.

La mampostería de relleno es construida integral al pórtico y considerada como elemento estructural. La rigidez de la mampostería es considerada en el cálculo de la estructura. Las fuerzas de este análisis son usadas en el diseño de los elementos de hormigón armado y nudos.

En el caso de considerarla a la mampostería de relleno como elemento estructural se la debe modelar como un puntal, como se indica en la figura 4.5. Para mayor información sobre como modelar y analizar la mampostería de relleno en edificios de hormigón armado ver [REF.14]



**Figura 4.5** Modelación de la mampostería de relleno. Algunos programas como SAP o ETABS realizan esta modelación para marcos planos o tridimensionales.[REF.28]

**LECTURAS RECOMENDADAS**

1. Diseño y Construcción de Estructuras de Mampostería. Normas Técnicas Complementarias del Reglamento de Construcciones para el Distrito Federal 403. Julio 1977. Página 66.
2. Galan, W. Silva, U. "Influencia de la mampostería en el cálculo estructural". UTPL 1995. G146 IC.272
3. Murty C V R, KJain Sudhir. "Beneficial influence of masonry infill walls on seismic performance of RC frame buildings, paper 1790". 12 WCCEE 2000.
4. Meli R, Bazán E. "Manual de diseño sísmico de edificios". Editorial Limusa. 1985. Páginas 230-236.
5. Vaca, F. "CURSO MAMPOSTERIA ESTRUCTURAL". Escuela Politécnica Nacional 1993. Páginas 6-10, 20

# 5

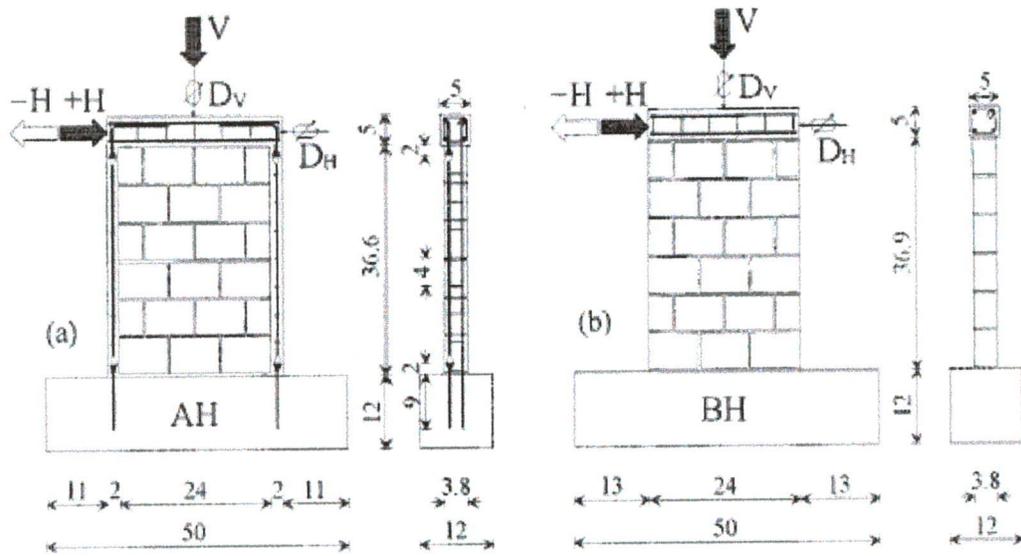
## COMPORTAMIENTO SÍSMICO DE MUROS DE MAMPOSTERÍA CONFINADA

### 5.1. Introducción

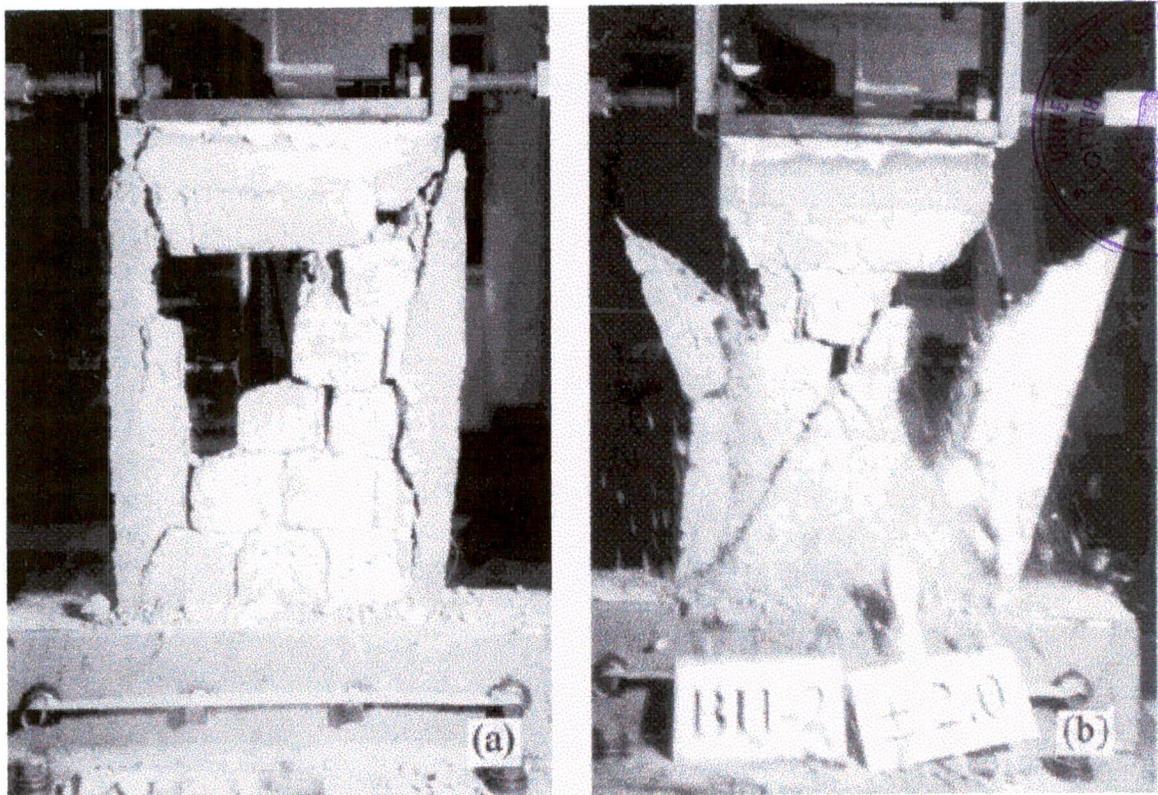
El presente capítulo trata del comportamiento sísmico de muros de mampostería confinada sujetos a carga vertical(axial) y carga lateral simultáneamente. Se hace una comparación entre la mampostería no reforzada y la mampostería confinada, en lo referente a su comportamiento sísmico y la importancia de los confinamientos en la ductilidad del muro.

### 5.2. Comportamiento

Las figuras 5.1(a) y 5.1(b) muestran dos especímenes de mampostería, confinada y no reforzada, lo que se pretende es comparar lo que sucede con estos dos tipos de probetas sujetas a las mismas cargas y ver la importancia de los confinamientos. Si comparamos el daño del espécimen de la figura 5.2(a) con el de la figura 5.2(b) podemos observar que tiene un menor daño, debido al arriostre que le proporcionan los confinamientos, lo que hace que el muro tenga una falla dúctil y no quebradiza o frágil como el de mampostería no reforzada.



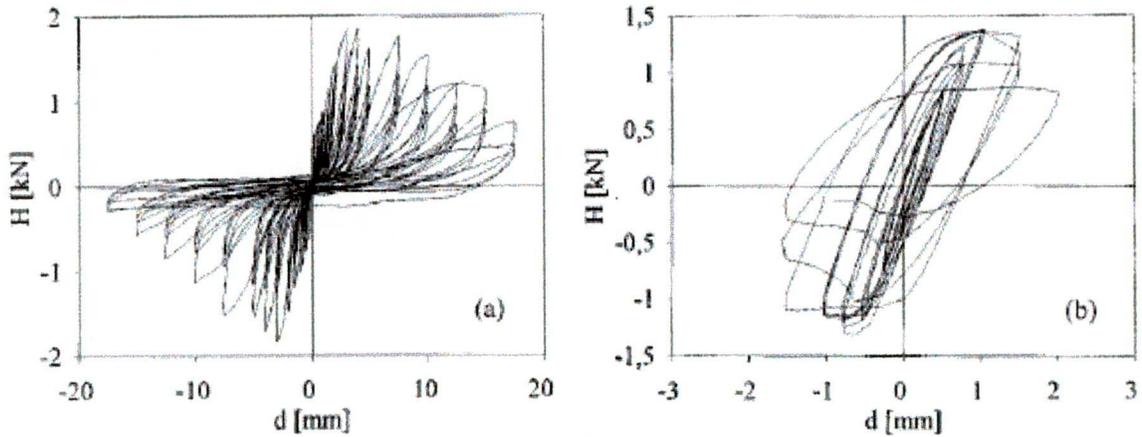
**Figura 5.1** Dimensiones e instrumentación de las paredes; a) mampostería confinada, b) mampostería no reforzada. [REF.26]



**Figura 5.2** Muros después de la prueba de resistencia; a) mampostería confinada, b) mampostería no reforzada. [REF.26]

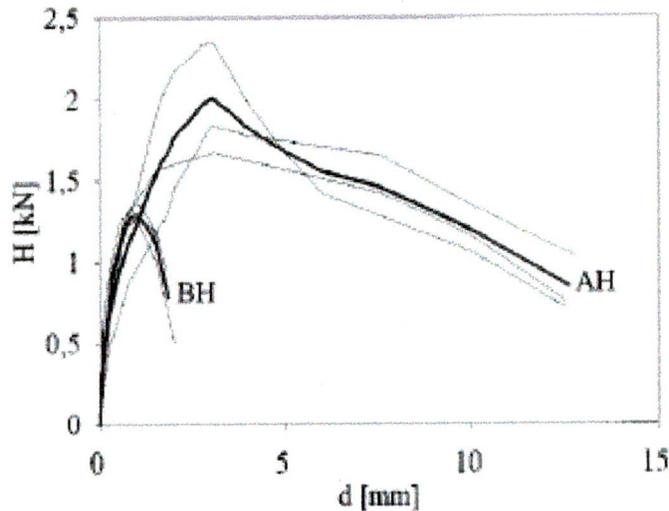
Las típicas curvas de histéresis que muestran la relación entre la carga lateral y los

desplazamientos, se muestran en la figura 5.3(a) y 5.3(b) para el caso de mampostería confinada y no reforzada respectivamente.



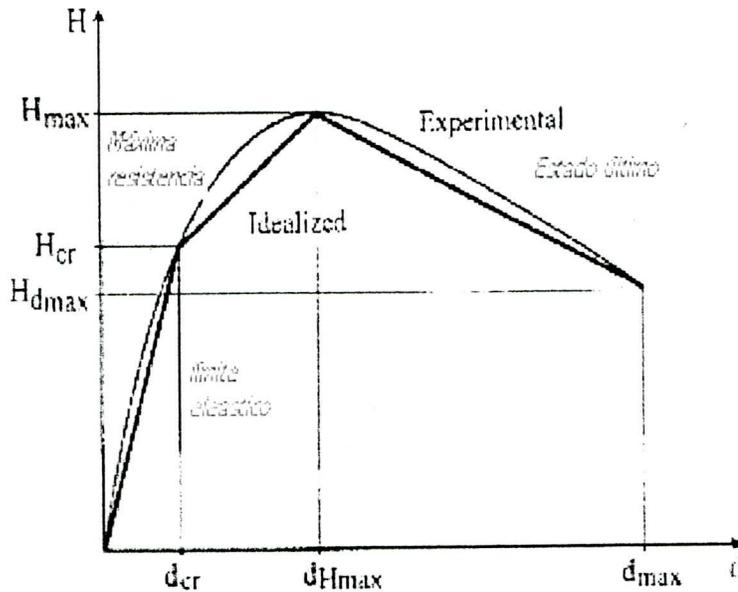
**Figura 5.3** Típicas curvas de histéresis carga lateral-desplazamiento; (a) mampostería confinada, (b) mampostería no reforzada(simple). [REF.26]

De las curvas anteriores se puede obtener una envolvente de histéresis para los dos tipos de muros de mampostería como se muestra en la figura 5.4



**Figura 5.4** Envolvente de histéresis, para muros confinados y no reforzados.[REF.26]

A partir de las curvas AH(para muros confinados) de la figura 5.4, podemos idealizar una curva envolvente de histéresis, para a partir de ella describir el comportamiento de los muros de mampostería confinada sujetos a carga axial y carga lateral simultáneamente. La figura 5.5 muestra esta idealización.



**Figura 5.5** Envoltorio de histéresis idealizada [REF.26]

La figura 5.5 nos ayuda a describir el comportamiento de un muro de mampostería confinada ante carga axial y lateral simultáneamente de acuerdo al nivel de daño que sufre, y que a continuación se describen:

1. Formación de primeras grietas diagonales, en la parte media de la pared pasando a través de las juntas de mortero horizontales y verticales. Límite elástico.
2. Aumento del número de grietas, orientadas diagonalmente en ambas direcciones diagonales. Generalmente, las grietas están atravesando las juntas de mortero horizontal y vertical. Normalmente, este tipo de modelo de grieta se observa a la resistencia lateral máxima lograda del tablero. Resistencia máxima
3. Daño pesado. Aumento del ancho y número de las grietas orientadas diagonalmente, también atravesando las unidades de la albañilería. Aplastando las unidades de mampostería individuales y corte del hormigón de las columnas de confinamiento en la sección superior de la pared. Estado último
4. Aumento del ancho de las grietas, atravesando las unidades de mampostería, con aplastamiento de unidades a lo largo de ambas diagonales de la pared.

Aplastamiento del hormigón en la sección superior de las columnas de confinamiento. La ruptura de las barras de refuerzo, o pandeo y colapso de las columnas de confinamiento. Colapso final del muro. Estado último

## **LECTURAS RECOMENDADAS**

1. Tomazevic M, Klemec I. "Seismic behaviour of confined masonry walls". Earthquake Engineering and Structural Dynamics, vol 26, 1059-1071(1997). John Wiley & Sons, Ltd.
2. Tomazevic M, Klemec I. "Verification of seismic resistance of confined masonry buildigns". Earthquake Engineering and Structural Dynamics, vol 26, 1073-1088(1997). John Wiley & Sons, Ltd.

# 6

## ANÁLISIS - CONCEPTOS BÁSICOS

### 6.1. Estructuración

La estructura de las edificaciones de mampostería confinada está compuesta básicamente de dos elementos estructurales: los muros de mampostería y las losas de concreto armado. Los muros generalmente están distribuidos en las dos direcciones ortogonales principales de la edificación y están unidos por losas de cubierta, las cuales se consideran infinitamente rígidas en su plano.

La primera fase del diseño de una edificación de mampostería confinada corresponde a la de estructuración, este tipo de construcción es totalmente dependiente de la solución arquitectónica, ya que los elementos resistentes son justamente los muros que dividen los ambientes. En este tipo de edificaciones debemos procurar lo siguiente:

- Que las distribuciones en planta sean simétricas con respecto a los ejes principales

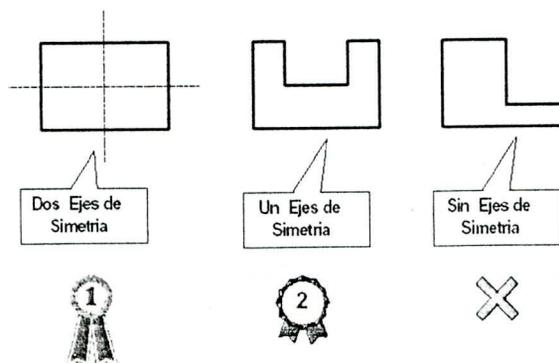
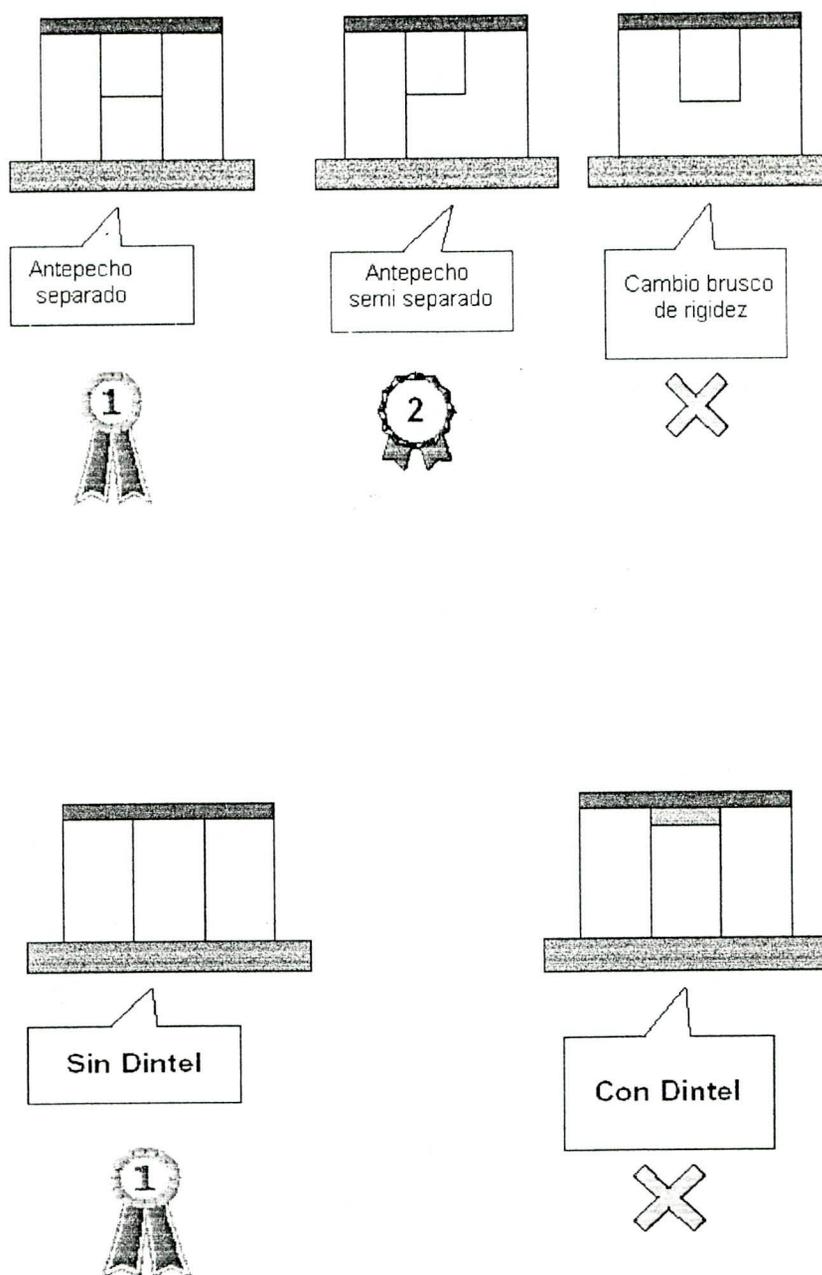


Figura 6.1 Consideraciones geométricas sobre simetría en planta.[REF. 15]

- Que las distribuciones en elevación no presenten cambios bruscos de rigidez. Sería ideal aislar antepechos y dinteles.



**Figura 6.2** Consideraciones geométricas sobre simetría en elevación.[REF.15]

- Que los centros de masa y rigidez se encuentren lo más cerca posible, para evitar problemas de torsión por excentricidad en planta

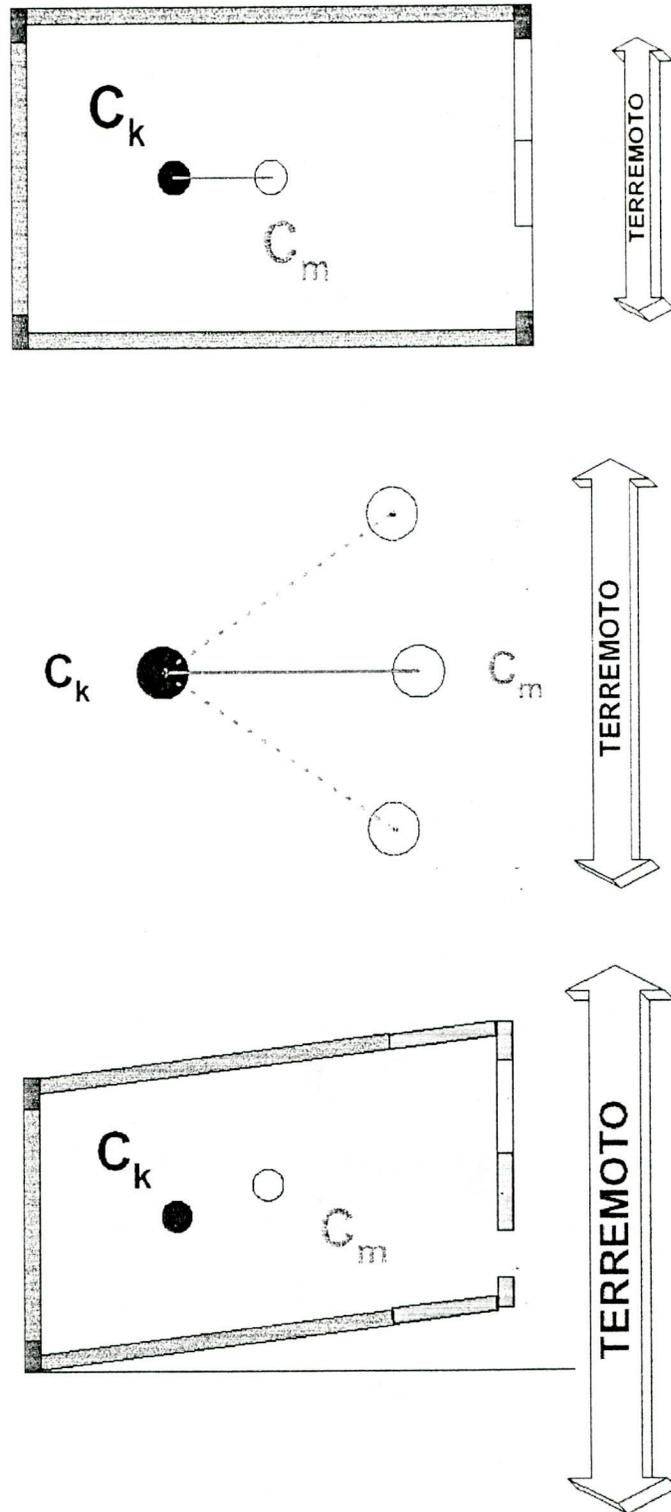
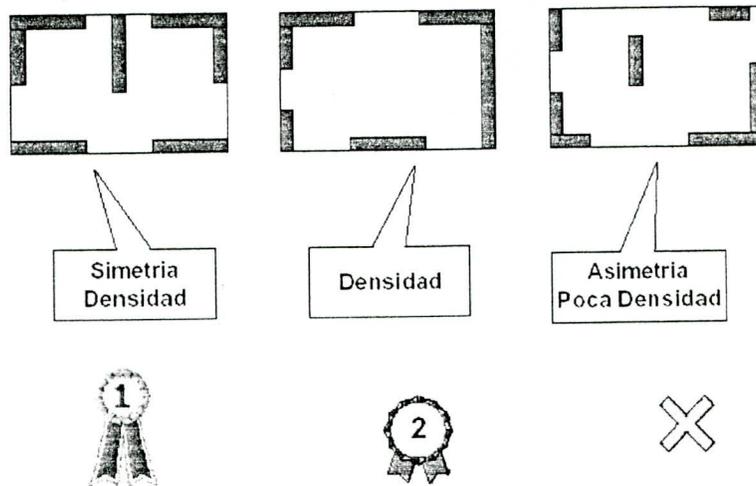


Figura 6.3 Torsión en planta.[REF.15]

- Que exista una adecuada densidad de muros en ambas direcciones y ubicados de una manera racional y simétrica.



**Figura 6.4** Densidad de muros en planta.[REF. 15]

- Que no existan en las losas grandes aberturas que invalidan la hipótesis de diafragma rígido.

Cuando por condiciones arquitectónicas se tenga un desbalance de rigidez, se debe colocar muros de concreto armado para equilibrar la estructura.

DIMCAD utiliza las ecuaciones (NSR-98 E.2-1 y NSR-98 D.10-1) para indicar al usuario si su vivienda tiene una adecuada estructuración, en base a la longitud y densidad de muros.

Longitud mínima de muros

$$L_{\min} = \frac{M_o * A_p}{t} \quad (\text{NSR-98 E.2-1})$$

Donde:

$L_{\min}$  = longitud mínima de muros en cada dirección (m)

$M_o$  = coeficiente que se lee en tabla E.2-2

$t$  = espesor efectivo muros, mm

$A_p$  = se considera en  $m^2$  como sigue:

El área de la cubierta en construcciones de un piso

El área de la cubierta para muros segundo nivel en construcciones de dos pisos.

El área de cubierta más el área de entrepiso para muros de primer nivel en construcciones de dos pisos

**Tabla E.2-2**  
**Coefficiente  $M_n$  para longitud mínima de muros estructurales confinados \***

Zona de Amenaza Sísmica	Valores $\lambda_n$	Valores $M_n$
ALTA	0.40	33.0
	0.35	30.0
	0.30	25.0
	0.25	21.0
INTERMEDIA	0.20	17.0
	0.15	13.0
BAJA	0.10	8.0
	0.05	4.0

(\*) Los valores de  $\lambda_n$  dependen de la zona sísmica en donde se construye el proyecto. Para ello consultar el mapa A.2-2 y el Apéndice A-3

Fuente: Norma Colombiana NSR-98.Tomo 2

La fórmula dada anteriormente no esta en el CEC-2000, da valores un poco altos comparados con otras existentes, la razón de sus valores altos es que esta fórmula es para casas de uno y dos pisos de mampostería confinada cuando no se realizan cálculos, esta fórmula se encuentra el capítulo E de Casa de Uno y Dos pisos el mismo que no exige análisis y diseño sísmico, por lo que da fórmulas y tablas conservadoras para garantizar el correcto funcionamiento de las viviendas ante amenazas sísmicas. La ecuación anterior se puede comparar con la siguiente ecuación, propuesta por algunos investigadores y se puede escoger la menor de las dos.

$$L_{min} = 0.042 * A * N \quad (P-1) \quad [REF.3]$$

Donde:

L = longitud mínima de muros en cada dirección (m)

A = área en planta en m<sup>2</sup>

N = número de niveles

Si DIMCAD, le muestra que su longitud de muros en las dos direcciones es menor a la mínima (NSR-98 E.2-1) no se preocupe por que puede compararla con la segunda ecuación (P-1). Si su longitud de muros es menor que esta, entonces debe aumentarla o continuar con la ejecución del programa.

Densidad de muros

$$Am \geq \frac{NA_a A_p}{20} \quad (\text{CEC 2000. 9-1}) \quad (\text{NSR-98 D.10-1})$$

Donde:

Am = área total de muros en cada dirección, m<sup>2</sup>

Aa = coeficiente de aceleración pico efectiva.

Ap = área de piso en el nivel considerado, m<sup>2</sup>

N = número de niveles por encima del nivel considerado

## **6.2. Cargas actuantes:**

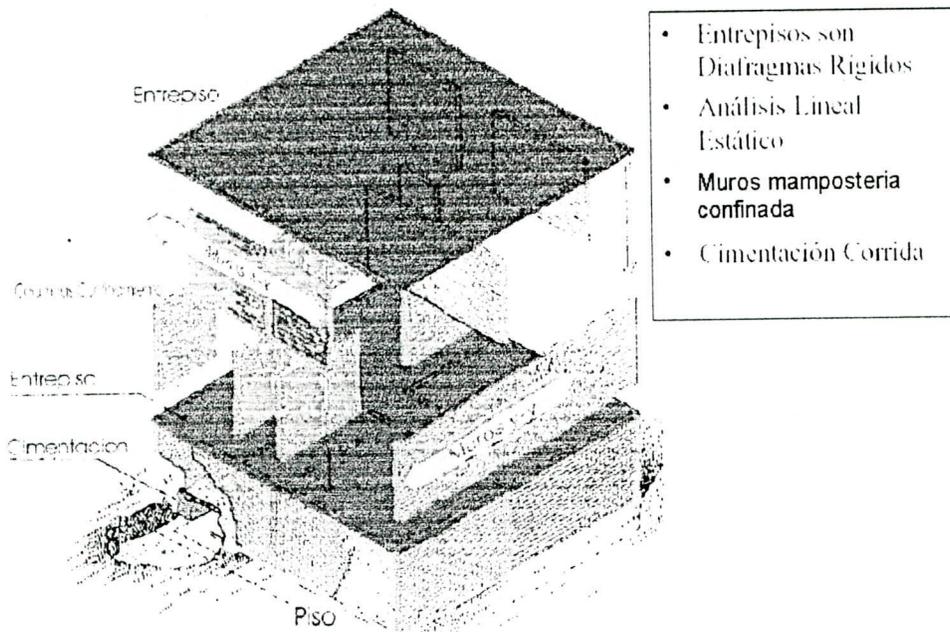
Las cargas que deben considerarse son:

Operativas: muerta, viva (Según CEC-79)

Extremas en la vida útil: vientos extremos, sismos severos (CEC-2000), explosiones

Las cargas de viento no suelen controlar el diseño de estructuras rígidas y pesadas como las de mampostería, por lo que no se la toma en cuenta en el análisis.

### 6.3. Modelamiento y análisis



**Figura 6.5** Modelamiento de la edificación.[REF.15]

Se supone que las losas trabajan como diafragmas rígidos, que los muros están confinados y toman la carga sísmica en proporción a su rigidez, además que los muros están empotrados en su base y pueden trasladarse en su extremo superior y que la cimentación es corrida y se apoya continuamente en el suelo.

Este modelo se basa en que los detalles de diseño de las conexiones de los elementos de confinamiento y de la cimentación permiten que las premisas se cumplan a cabalidad.

### 6.4. Cálculo del centro de masas

Una vez terminada la estructuración y definición de cargas actuantes en la edificación, podemos calcular el centro de masa de la edificación en cada nivel, el cual se aproxima al centro de gravedad de la losa, siempre y cuando la masa este distribuida uniformemente en la planta. DIMCAD considera la masa uniformemente distribuida sobre la losa, por lo que calcula el centro de masas como el centro de gravedad de la

planta tipo, considerando en el cálculo los pozos de luz, si los hay como áreas negativas.

### **6.5. Análisis debido a cargas verticales(gravitatorias)**

El análisis por cargas verticales se hace para los muros del primer nivel, por ser estos los que soportan la mayor fuerza de compresión axial. Para calcular fuerza axial de cada muro es necesario tener en cuenta el área tributaria que recibe cada muro.

El procedimiento que se sigue para calcular la fuerza axial actuante es el siguiente:

1. Se calcula la carga muerta debida al peso de las losas de entrepiso, peso de acabados, peso de alféizares o tabiques que soporta cada muro, según su área tributaria, y peso propio de los muros.
2. Se calcula la carga viva o sobrecarga en cada nivel que soporta cada muro de acuerdo al área tributaria que le corresponde.
3. Se calcula la fuerza axial máxima actuante en cada muro de acuerdo a las siguientes combinaciones de carga, según ACI 318M-02:

$$U = 1.4 D$$

$$U = 1.2 D + 1.6 L + 0.5 L_r$$

$$U = 1.2 D + 1.6 L_r + 0.5 L$$

$$U = 1.2 D + 0.5 L + 0.5 L_r$$

$$U = 1.2 D + 0.5 L$$

Donde  $D$  = carga muerta(losa, muros divisorios, peso propio, etc)

$L$  = carga viva

$L_r$  = carga cubierta

### **6.6. Análisis debido a cargas horizontales (sísmicas)**

El análisis sísmico es de tipo estático, el cual representa las sollicitaciones sísmicas mediante un conjunto de fuerzas horizontales actuando en cada nivel de la edificación.

Así mismo, el análisis se hace independientemente en cada dirección y para el total de

la fuerza sísmica. Según el análisis estático, la fuerza sísmica total se calcula de la siguiente forma:

### 1. Cálculo del peso total de la edificación

El peso total de la edificación  $W$ , se calculará considerando la mitad del peso del piso inferior más la mitad del peso del piso superior, para el nivel en estudio.

### 2. Cálculo del cortante basal de diseño

El cortante basal de diseño  $V$ , esta dado por la siguiente expresión:

$$V = \frac{Z * I * C}{R * \Phi_P * \Phi_E} * W \left\{ \begin{array}{l} C = \frac{1,125 * S^s}{T} \\ T = Ct * (h_n)^{3/4} \end{array} \right. \quad \text{Según CEC-2000}$$

donde:

$Z$  = factor de zona sísmica

$I$  = factor de importancia de la edificación, DIMCAD lo asume como

$C$  = No debe exceder del valor de  $C_m$ (ver tabla 3 CEC-2000) no debe ser mayor a 0,5

$S$  = ver tabla 3 , CEC-2000

$R$  = Factor de reducción de resistencia estructural

$\Phi_P, \Phi_E$  = Factores de configuración estructural en planta y en elevación

$W$  = Peso total de la edificación

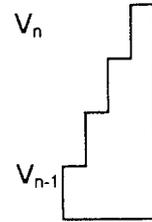
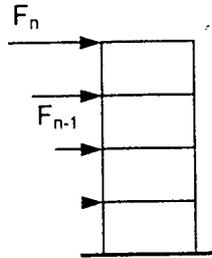
$h_n$  = altura total de la edificación (m)

$Ct$  = coeficiente para estimar el período predominante de un edificio, DIMCAD lo asume como 0,06



### 3. Distribución vertical de fuerzas laterales

$$F_i = \frac{(V - Ft) * W_i * h_i}{\sum_{i=1}^n W_i * h_i}$$



$$Ft = \begin{cases} 0 & \text{si } T \leq 0,7 \text{ s} \\ 0,25 * V & \text{si } T > 0,7 \text{ s} \end{cases}$$

donde:

$Ft$  = Fuerzas concentradas en el ultimo piso

$h_i$  = altura del nivel  $i$  desde la base

$W_i$  = peso del piso  $i$ .

$F_i$  = fuerza horizontal correspondiente al nivel  $i$ .

$V_i$  = cortante correspondiente al nivel  $i$ .

### 4. Distribución de fuerza sísmica en planta

#### 4.1. Determinación de la rigidez de un muro de corte

La rigidez de un muro se expresa como la relación que existe entre la fuerza aplicada y la deformación debida a esta fuerza. Esta deformación está compuesta por la deformación por flexión y la deformación por corte.

Las deformaciones por cortante se pueden calcular como  $\Delta_v = \frac{VH}{AG}$  y las de flexión

como  $\Delta_f = \frac{VH^3}{\alpha EI}$  siendo  $\alpha$  un factor que depende de las condiciones de

empotramiento del muro. La suposición más simple es la de considerar que en cada nivel el muro es un voladizo y por tanto  $\alpha = 3$ . La rigidez se obtiene como

$K = \frac{V}{\Delta_f + \Delta_v}$ . Lo anterior es una forma sumamente burda de calcular las rigideces, ya

que no toma en cuenta la liga que el sistema de piso proporciona a los distintos muros.

Sin embargo, intentar tomar en cuenta este factor lleva a procedimientos de análisis cuya complejidad no parece justificarse en vista de las grandes incertidumbres que existen en las variables a considerar. [REF.10]

El modelo de la edificación supone que los muros se encuentran empotrados en la cimentación, que están conectados por los diafragmas horizontales, y que actúan como voladizos.

Una estructura de este tipo esta compuesta de muros de mampostería y en algunas ocasiones de muros de hormigón, este tipo de muros se coloca cuando existe demasiada rigidez en un lado de la estructura. Entonces la rigidez de un muro utilizada por el programa es:

$$K = \frac{1}{h \left( \frac{h^2}{3EI} + \frac{1}{AG} \right)} \quad [\text{REF.10}]$$

Donde:

E = módulo de elasticidad para muros de mampostería y hormigón respectivamente.

G = módulo de corte

A = área gruesa del muro

I = Inercia del muro

h = altura del muro

Para el cálculo de la inercia del muro, I, DIMCAD, considera secciones tipo I, sin considerar patines como sugiere el código mexicano o el ACI, es un criterio conservador, pero que algunos diseñadores consideran que se puede adoptar.

#### *4.2. Cálculo del cortante por traslación*

La fuerza cortante de cada nivel se distribuye proporcionalmente a la rigidez  $K_i$  de cada muro, entonces el cortante por traslación en cada muro se determina aplicando la siguiente expresión:

$$V_i = \frac{K_i}{\sum_{i=1}^n K_i} * V_{\text{nivel}}$$

donde:

$V_i$  = fuerza cortante en el muro  $i$  obtenida por traslación

$K_i$  = rigidez del muro  $i$

$V_{nivel}$  = fuerza cortante en cada nivel

#### 4.3. Corrección por torsión

La torsión se presenta cuando el centro de masa (CM), no coincide con el centro de rigidez lateral (CR), en este caso, la losa de entrepiso o techo rota como un sólido rígido (si es que es un diafragma rígido) alrededor del centro de rigidez lateral (CR), generando desplazamientos y, por tanto, fuerzas cortantes en los ejes del edificio (X, Y); es decir, el momento torsor produce un incremento en los cortantes de los muros portantes, estos incrementos deben ser considerados para efectos de diseño, además debe considerarse el efecto de las excentricidades accidentales. La excentricidad accidental según CEC-2000 es igual a 0,05 veces la mayor dimensión en planta de la estructura, en la dirección perpendicular a la aplicación de las fuerzas, generándose un momento torsor adicional  $M_{ti} = F_i \times e_{accidental}$

Procedimiento:

- *Cálculo del centro de rigidez (CR)*

El centro de rigidez lateral (CR), o centro de giro, se define como aquel punto del entrepiso sujeto sólo a traslación, alrededor del cual rotan y se trasladan el resto de puntos.

Para calcular el centro de rigidez (CR) se considera un desplazamiento unitario al entrepiso en cada dirección (independientemente), generándose una fuerza cortante en cada muro igual a la magnitud de su rigidez lateral ( $k_i$ ). Luego, igualando el momento de la fuerza cortante resultante respecto al origen del sistema de referencia (O) a la suma de los momentos causados por sus componentes, se determina la posición de CR ( $X_{cr}$ ,  $Y_{cr}$ ).

$$X_{cr} = \frac{\sum K_{iy}}{\sum K_i} \quad Y_{cr} = \frac{\sum K_{ix}}{\sum K_i}$$

donde:

$K_{ix}$  = rigidez lateral del muro i en la dirección X

$K_{iy}$  = rigidez lateral del muro i en la dirección Y

$x_i$  = coordenada "x" del muro i, desde el centro de gravedad del muro al origen del sistema de referencia O

$y_i$  = coordenada "y" del muro i, desde el centro de gravedad del muro al origen del sistema de referencia O

$X_{cr}$  = coordenada X del centro de rigidez de la edificación

$Y_{cr}$  = coordenada Y del centro de rigidez de la edificación

El centro de rigidez lateral trata de ubicarse hacia la zona más rígida del edificio.

- *Cálculo de excentricidades*

$$e_x = X_{cm} - X_{cr}$$

$$e_{accidental\ X} = 0,05 \times \text{Mayor dimensión en dirección X}$$

$$e_y = Y_{cm} - Y_{cr}$$

$$e_{accidental\ Y} = 0,05 \times \text{Mayor dimensión en dirección Y}$$

- *Cálculo de momentos torsores*

$$Mt_{1X} = V_x * (e_y + e_{accy})$$

$$Mt_{2X} = V_x * (e_y - e_{accy})$$

$$Mt_{1Y} = V_y * (e_x + e_{accx})$$

$$Mt_{2Y} = V_y * (e_x - e_{accx})$$

- *Cortantes por torsión*

$$\Delta V_{y_{1i}} = \frac{Mt_{1Y} * Kyi * (Xi - Xcr)}{\sum Kxi * (Yi - Ycr)^2 + \sum Kyi * (Xi - Xcr)^2}$$

$$\Delta V_{y_{2i}} = \frac{Mt_{2Y} * Kyi * (Xi - Xcr)}{\sum Kxi * (Yi - Ycr)^2 + \sum Kyi * (Xi - Xcr)^2}$$

$$\Delta V_{x_{1i}} = \frac{Mt_{1X} * Kxi * (Yi - Ycr)}{\sum Kxi * (Yi - Ycr)^2 + \sum Kyi * (Xi - Xcr)^2}$$

$$\Delta V_{x_{2i}} = \frac{Mt_{2X} * Kxi * (Yi - Ycr)}{\sum Kxi * (Yi - Ycr)^2 + \sum Kyi * (Xi - Xcr)^2}$$

En cualquier dirección, el cortante por torsión deberá ser menor al 75% del cortante por traslación, de lo contrario, la edificación esta mal estructurada. El cortante por torsión deberá sumarse (recarga) al cortante por traslación, en ningún momento deberá restarse (descarga).

- *Cortante total*

El cortante total (de diseño) será igual a la suma del cortante por traslación mas es el cortante por torsión:

$$V_{di} = 1,4(V_i + \Delta V)$$

- *Momento flector*

Con los valores de cortante de cada muro y distribución de cargas horizontales se determina el momento máximo de flexión. Por ejemplo para un muro i en el primer piso, el momento máximo es:

$$M_i = \frac{F_n h_n + \dots + F_2 h_2 + F_1 h_1}{F_n + \dots + F_2 + F_1} * V_{di}$$

- *Derivas*

Finalmente debemos realizar la verificación de derivas a través de las siguientes expresiones:

$$\text{Desplazamiento}X = \frac{V}{\text{Rigidez} - \text{en} - X}$$

$$\text{Desplazamiento}Y = \frac{V}{\text{Rigidez} - \text{en} - Y}$$

$$\text{Deriva}X = \frac{R * \text{Desplazamiento}X}{h}$$

$$\text{Deriva}Y = \frac{R * \text{Desplazamiento}Y}{h}$$

Donde:

R = factor de ductilidad, según CEC-2000 R = 5

Si los valores calculados con las fórmulas anteriores son mayores a los establecidos por los códigos de construcción, se debe volver a realizar un nuevo análisis de la estructura. La tabla 6.1 muestra valores de deriva máxima exigidos por algunos códigos.

**Tabla 6.1** Valores de deriva máxima propuestos por algunos códigos de construcción

Norma	Deriva máxima
E-70	0,005
ACI 530 – 99	0,007
DDF 1995	0,0025
CEC-2000	0,010

## **LECTURAS RECOMENDADAS**

1. Burgos, M . "Diseño de estructuras de albañilería utilizando el programa DEA". XV Jornadas Nacionales y Primeras Binacionales de Ingeniería Estructural. Loja 2002. Páginas 11-17.
2. Diseño y Construcción de Estructuras de Mampostería. Normas Técnicas Complementarias del Reglamento de Construcciones para el Distrito Federal 403. Julio 1977. Páginas 61-68, 83-98.
3. .Páginas 162-166.
4. Reglamento Nacional de Estructuras. Norma Peruana E-70. Instituto de la Construcción y Gerencia , Lima 2002

# 7

## DISEÑO POR RESISTENCIA

### 7.1. Introducción

La filosofía de diseño de los muros será por resistencia. Para que un muro confinado se considere como muro estructural debe ser continuo desde la cimentación hasta su nivel superior y no puede tener ningún tipo de aberturas. Los muros que no cumplan con este requisito se los considera como muros no estructurales. Muchos de los temas que se tratan en este capítulo han sido copiados textualmente del Código Ecuatoriano de la Construcción, Subcapítulo de Mampostería Estructural o de las normas colombianas NSR-98. Para una mejor comprensión del diseño por resistencia revisar la [REF.13]

### 7.2. Resistencia requerida

La resistencia requerida de los elementos de mampostería estructural se obtiene como el valor máximo expresado en términos de carga muerta o momentos y fuerzas internas asociadas que resultan de aplicar a la estructura las diferentes cargas muertas, vivas, de viento, sísmicas, desplazamientos, retracción de fraguado y flujo plástico, variaciones de temperatura, empujes de tierra o líquidos. Estas cargas son combinadas y mayoradas.

### 7.3. Resistencia de diseño

La resistencia de diseño que tiene un elemento, en términos de Momento flector, carga axial, cortante y torsión, debe ser igual a su resistencia nominal calculada de acuerdo con los requisitos y suposiciones de los códigos de construcción vigentes(en este caso de acuerdo al CEC), multiplicada por un coeficiente de reducción de resistencia  $\phi$ .

Por lo tanto se debe cumplir la siguiente condición:

$$\text{Resistencia de Diseño} = \phi \times \text{Resistencia Nominal} \geq \text{Resistencia Requerida} = U$$

VALORES DE  $\phi$ , para diseño de mampostería confinada

Carga axial de compresión, con o sin flexión .....	$\phi = 0.70$
Carga axial de tracción.....	$\phi = 0.90$
Flexión sin carga axial.....	$\phi = 0.90$
Cortante.....	$\phi = 0.60$

#### **7.4. Hipótesis de diseño**

El diseño por resistencia se basa en las siguientes suposiciones:

**Resistencia a tracción de la mampostería** - la mampostería no resiste esfuerzos de tracción.

**Compatibilidad de deformaciones** – el refuerzo esta totalmente rodeado y adherido a los materiales de la mampostería de manera tal, que trabajan como un material homogéneo.

**Secciones planas se mantienen planas** – las deformaciones unitarias en el refuerzo y en la mampostería se suponen proporcionales a la distancia al eje neutro de la sección.

**Relación esfuerzo deformación para el acero de refuerzo** – los esfuerzos en el acero, para valores menores que el esfuerzo de fluencia,  $f_y$ , deben considerarse linealmente proporcionales a la deformación unitaria multiplicada por  $E_s$ . Para valores superiores de deformación unitaria correspondiente al esfuerzo de fluencia,  $\epsilon_y = f_y/E_s$ , el esfuerzo en el acero se debe considerar independiente de la deformación e igual a  $f_y$ .

**Deformación unitaria máxima en la mampostería** – la máxima deformación unitaria en la fibra extrema en compresión de la mampostería,  $\epsilon_{mu}$ , debe tomarse como 0,003.

Relación esfuerzo deformación para la mampostería – en el diseño por el método de resistencia puede considerarse una distribución rectangular de esfuerzos de compresión en la mampostería definida de la siguiente forma.

- Se puede suponer un esfuerzo uniforme de compresión en la mampostería con una intensidad de  $0,85 f_m$  sobre una zona equivalente limitada por los bordes de la sección efectiva y una línea recta paralela al eje neutro de la sección.
- La dimensión de la zona equivalente a compresión,  $a$ , medida en la dirección perpendicular al eje neutro a partir de la fibra de máxima compresión, debe ser el 85% de la dimensión comprimida,  $c$ , de la sección en esa dirección ( $a = 0,85c$ )
- Se considera al muro como un elemento homogéneo que incluye la porción de mampostería y los elementos de confinamiento.

## **7.5. Requisitos generales para elementos de confinamiento**

### **Columnas de confinamiento**

#### *Dimensiones mínimas:*

- El espesor mínimo de los elementos de confinamiento debe ser el mismo del muro confinado.
- El área mínima de la sección transversal de los elementos de confinamiento debe ser  $200 \text{ cm}^2$ .

#### *Ubicación:*

##### *Según CEC y NSR-98*

- En los extremos de todos los muros estructurales.
- En las intersecciones con otros muros estructurales.
- En los lugares intermedios a distancias no mayores de 35 veces de espesor efectivo del muro, 1.5 veces la distancia vertical entre elementos horizontales de confinamiento ó 4 m.

##### *E-70:*

- Máximo a dos veces la altura libre de piso,  $2 \cdot h$

*Refuerzo longitudinal:*

- Refuerzo longitudinal: mínimo 3 barras de 10 mm

$$A_{scol} \geq 0,0075 \cdot A_c$$

*Refuerzo transversal:*

- Debe utilizarse refuerzo transversal consistente en estribos cerrados mínimo de diámetro 6 mm, espaciados a una separación no mayor de 1.5 veces la menor dimensión del elemento, o 200 mm.
- En las zonas de amenaza sísmica alta e intermedia se debe utilizar estribos cerrados de confinamiento mínimo de 6 mm, espaciados a 100 mm y cuyas ramas no pueden estar separadas a distancias mayores de 150 mm. La distancia en cada extremo del elemento, medida a partir del elemento transversal de confinamiento, en la cual se deben colocar los estribos de confinamiento debe ser la mayor entre 450 mm, 3 veces la mayor dimensión de la sección del elemento o la sexta parte de la luz en cuestión.

*Anclaje del refuerzo:*

- El refuerzo vertical de las columnas de confinamiento debe anclarse al sistema de cimentación. Pueden utilizarse barras de empalme ancladas en la cimentación mediante ganchos a 90°. Estas barras deben sobresalir la longitud de empalme por traslapo desde la cara superior del cimiento. Los empalmes de refuerzo vertical de las columnas de confinamiento deben cumplir los correspondientes requisitos establecidos en el ACI. En el extremo superior de la columna de confinamiento los refuerzos longitudinales deben anclarse en un elemento de confinamiento transversal a su dirección con un gancho de 90°

**Vigas de confinamiento**

*Dimensiones mínimas:*

- El espesor mínimo de las vigas de confinamiento debe ser el mismo del muro confinado.
- El área mínima de la sección transversal de los elementos de confinamiento es

200 cm<sup>2</sup>. En caso de utilizarse una losa de entrepiso maciza de espesor superior o igual a 100 mm. Se puede prescindir de las vigas de amarre en la zona ocupada por este tipo de losa, colocando el refuerzo requerido para la viga dentro de la losa.

*Ubicación:*

- Deben colocarse vigas horizontales de confinamiento en el arranque y en el remate del muro, en los entrepisos y a distancias libres verticales no mayores de 25 veces el espesor del muro. Las vigas deben disponerse formando anillos cerrados en un plano horizontal entrelazando los muros estructurales en las dos direcciones principales para conformar diafragmas con ayuda del entrepiso ó la cubierta.

*Refuerzo Longitudinal:*

- El refuerzo longitudinal no debe ser inferior a 3 barras de 10 mm.
- El área de refuerzo longitudinal no puede ser menor a 0.0075 veces el área de la sección bruta del elemento.
- Para anchos inferiores a 110 mm, y en los casos en que el entrepiso sea una losa maciza, el refuerzo mínimo debe ser dos barras de 12 mm.

*Refuerzo transversal:*

- El refuerzo transversal mínimo debe consistir en estribos cerrados de 6 mm, espaciados a distancias a 10 cm en los primeros 50 cm de cada extremo y a 20 cm en el resto de la luz

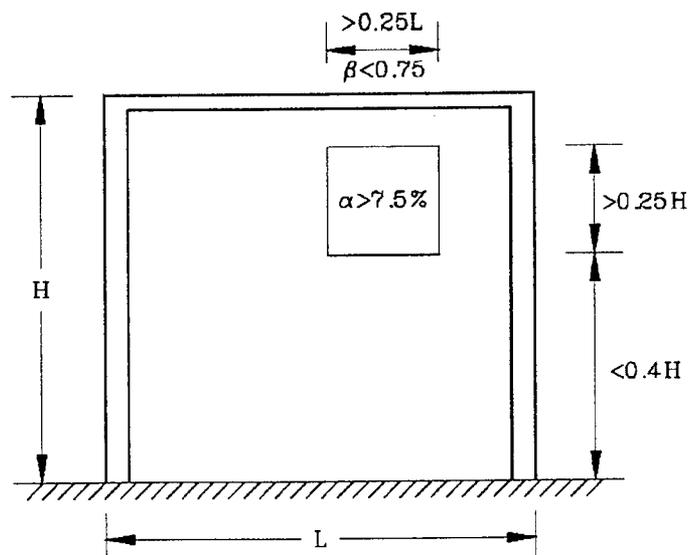
*Anclaje del refuerzo:*

- El refuerzo de las vigas de confinamiento debe anclarse en los extremos terminales con ganchos de 90° dentro de un elemento de confinamiento transversal a su dirección.

## 7.6. Confinamiento de muros – propuesta para CEC

El presente tema se escribió con la finalidad de incluir las recomendaciones en cuanto a confinamiento de muros en el Código Ecuatoriano de la Construcción, subcapítulo de mampostería confinada, que al no encontrarse en el CEC serían de gran ayuda para los diseñadores. Las recomendaciones que se dan, son las propuestas por J. Álvarez, S. Alcocer y J. Contreras en el 2º congreso iberoamericano de ingeniería sísmica del 2001 y por las Normas Técnicas Complementarias del Reglamento de Construcciones para el Distrito Federal - 403 de México, las cuales son:

1. Deberán existir confinamientos en los bordes verticales de aberturas, cuando se cumpla cualquiera de las siguientes condiciones:
  - El área de la(s) abertura(s) es mayor que el 7,5% del área total del muro,
  - La dimensión horizontal de la abertura es mayor que el 25% de la longitud del muro,
  - La dimensión vertical de la abertura es mayor que el 25% que la altura libre del muro, y
  - La distancia entre la base del muro y el borde horizontal inferior de la abertura es menor que el 40% de la altura libre del muro

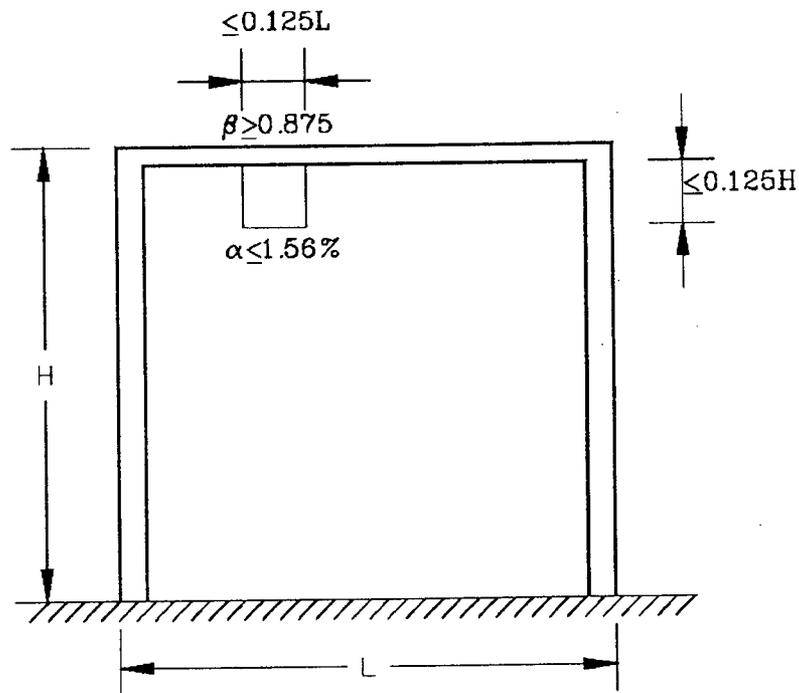


**Figura 7.1** Requisitos para la colocación de columnas en los bordes de la abertura.[REF. 1]

2. Podrá despreciarse el efecto de las aberturas cuando se cumpla simultáneamente

las siguientes condiciones:

- Existe solamente una abertura en el muro considerado
- La abertura se localiza justo debajo de la columna de confinamiento o losa, y
- Las dimensiones de la abertura son menores que el 12,5 % de las respectivas dimensiones del muro



**Figura 7.2** Requisitos para poder despreciar el efecto de la abertura.[REF.1]

## 7.7. Nomenclatura

A continuación se indica las fórmulas utilizadas por el programa, y que son las propuestas por el CEC-2000, capítulo de Mampostería Confinada y por la norma NSR-98. Todas las fórmulas se encuentran en el sistema SI y mks con excepción de la ecuación (CEC-2000. 9 -19), que es distinta para cada sistema.

$A_a$  = coeficiente de aceleración pico efectiva

$A_{ci}$  = área de la sección de la columna de confinamiento  $i$ , en  $\text{mm}^2$

$A_{ct}$  = área total de las columnas de confinamiento del muro, en  $\text{mm}^2$

$A_e$  = área efectiva de la sección de mampostería, en  $\text{mm}^2$

$A_m$  = área mínima de los muros del piso, que actúan en la misma dirección en planta.

Dentro del área de los muros se incluyen las columnas de confinamiento, en  $\text{mm}^2$

$A_{md}$  = área efectiva de mampostería para verificación por aplastamiento, en  $\text{mm}^2$

$A_{mv}$  = área efectiva para determinar esfuerzos cortantes, en  $\text{mm}^2$

$A_p$  = área del piso en el nivel considerado, en  $\text{mm}^2$

$A_{st}$  = área total del acero de refuerzo longitudinal del elemento de confinamiento, en  $\text{mm}^2$

$b$  = ancho efectivo de la sección de muro para efectos en el plano del muro, en mm

$f'_c$  = resistencia a la compresión del concreto de los elementos de confinamiento Mpa

$f'_m$  = resistencia a la compresión de la mampostería, en Mpa

$f_y$  = resistencia a la fluencia del acero de refuerzo, Mpa

$h'$  = longitud de la diagonal del paño de muro entre elementos de confinamiento, o altura efectiva del elemento para evaluar efectos de pandeo, en mm

$h_p$  = altura del piso localizado por encima del elemento bajo estudio, medida centro a centro entre vigas de confinamiento, en mm

$I_{ct}$  = momento de inercia de las columnas de confinamiento del muro, con respecto a su centroide, en  $\text{mm}^4$

$l_w$  = longitud horizontal total del muro, medida centro a centro entre columnas de confinamiento de borde, en mm.

$l_c$  = distancia horizontal entre columnas de confinamiento, medida centro a centro, para el paño de muro, en mm

$M_n$  = momento resistente nominal del muro.

$M_u$  = momento mayorado solicitado de diseño del muro.

$N$  = número de niveles por encima del nivel considerado

$P_{nc}$  = fuerza axial resistente nominal en compresión sobre la columna de confinamiento, siempre positiva, en N

$P_{nd}$  = fuerza axial resistente nominal a la compresión de la mampostería sola, en N.

$P_{nt}$  = fuerza axial resistente nominal en tracción sobre la columna de confinamiento, siempre negativa, en N.

$P_u$  = fuerza axial de diseño solicitada en compresión sobre el muro, en N.

$P_{uc}$  = fuerza axial de diseño solicitada en compresión sobre la columna de confinamiento, siempre positiva, en N.

$P_{ud}$  = fuerza axial que actúa sobre la biela diagonal del muro, en N.

$P_{ut}$  = Fuerza axial de diseño solicitada en tracción sobre la columna de confinamiento, siempre negativa, en N.

$R_e$  = coeficiente utilizado para tener en cuenta los efectos de esbeltez en elementos a compresión.

$t$  = espesor efectivo del elemento para evaluar efectos de pandeo, en mm.

$V_n$  = fuerza cortante resistente nominal del muro, en N.

$V_u$  = fuerza cortante mayorada solicitada de diseño del muro, en N.

$V_{nc}$  = fuerza cortante resistente nominal para una sección de concreto reforzado, en N

$V_{uc}$  = fuerza cortante mayorada solicitada de diseño que actúa, sobre las columnas de confinamiento cerca a la intersección con la viga de confinamiento, en N.

$X_i$  = distancia de la columna de confinamiento  $i$  al borde del muro, en mm

$\phi$  = coeficiente de reducción de resistencia.

## **7.8. Dimensiones efectivas**

### **Área efectiva ( $A_e$ )**

El área efectiva a utilizar para el cálculo de los esfuerzos axiales debe ser la suma del área mínima de contacto entre el mortero de pega y la unidad de mampostería y el área neta inyectada. Cuando la junta de mortero sea ranurada el área efectiva debe reducirse proporcionalmente. En la mampostería confinada incluye el área de los elementos de confinamiento.

### **Altura efectiva para evaluar el efecto de pandeo ( $h'$ )**

- En elementos soportados lateralmente arriba y abajo en la dirección considerada, como la distancia libre entre apoyos.
- En elementos no soportados en un extremo en la dirección considerada, como el doble de la dimensión medida desde el apoyo.
- Cuando se justifique apropiadamente, se puede utilizar como altura efectiva una dimensión menor a la distancia libre entre apoyos.

Para muros estructurales, se debe cumplir la siguiente relación:

$$\frac{h'}{t} \leq 25 \quad \text{CEC-2000. 5-3}$$

### **Ancho efectivo $b$ para flexión paralela al plano del muro.**

Cuando la dirección de las fuerzas horizontales es paralela al plano del muro, e inducen flexión o flexo-compresión con respecto a un eje perpendicular al plano del muro, el ancho efectivo  $b$  que se debe tomar para efectos de diseñar la sección es igual al ancho sólido promedio del muro. El ancho efectivo  $b$ , corresponde al área efectiva dividida por la longitud horizontal del muro ( $b=A_e/l_w$ ).

### **Area efectiva $A_{mv}$ para cortante en la dirección paralela al plano del muro.**

Cuando la dirección de las fuerzas horizontales es paralela al plano del muro, e induce esfuerzos cortantes en esa dirección, solo el alma de la sección resiste esfuerzos cortantes y  $A_{mv}$  es el área neta del alma de la sección. Generalmente  $A_{mv} = bl_w$ , siendo  $b$  el ancho efectivo del alma. No obstante, cuando hay concentraciones de celdas inyectadas con mortero de relleno en los extremos del muro, el ancho efectivo para este propósito debe calcularse en la zona central del alma.

### **Reducción de resistencia axial por esbeltez**

El efecto de la esbeltez del muro en la resistencia nominal para carga axial se obtiene por medio del parámetro  $R_e$  :

$$R_e = 1 - \left[ h' / 40t \right]^3 \quad (\text{CEC-2000. 5-5})$$

## **7.9 Diseño para carga axial de compresión.**

El muro, globalmente, debe verificarse para las cargas axiales de compresión. El área de refuerzo a emplear allí, corresponde a la del acero longitudinal de las columnas de confinamiento. Cuando los procedimientos de diseño requieren que se verifiquen las resistencias axiales de los elementos de confinamiento, pueden emplearse las siguientes resistencias nominales a compresión axial,  $P_{nc}$ , y tracción axial, respectivamente,  $P_{nt}$ .

$$P_{nc} = 0.80 \left[ 0.85 f'_c (A_{ci} - A_{st}) + f_y A_{st} \right] \quad (\text{CEC-2000. 9-2 NSR-98 D.9-2})$$

$$P_{nt} = -f_y A_{st} \quad (\text{CEC-2000. 9-3 NSR-98 D.9-3})$$

La resistencia nominal a la compresión de la mampostería solo,  $P_{nd}$ , sin contribución de los elementos de confinamiento, está definida por:

$$P_{nd} = 0.80 (0.85 f'_m A_{md}) R_e \quad (\text{CEC-2000. 9-4 NSR-98 D.9-3})$$

Donde  $A_{md}$ , es el área de la sección de mampostería, y  $R_e$ , se obtiene por medio de:

$$R_e = 1 - [h'/40t]^3 \quad (\text{CEC-2000.9-5 NSR-98 D.9-5})$$

## **7.10. Diseño a flexo-compresión del muro en la dirección paralela a su plano.**

Los requisitos de esta sección se emplean para el diseño a flexo-compresión por el método del estado límite de resistencia, de muros de mampostería confinada para el efecto de las cargas horizontales paralelas al plano del muro, además de las fuerzas verticales que actúan sobre él. El diseño puede realizarse por uno de los dos procedimientos dados a continuación:

### ***Resistencia a flexo-compresión despreciando la contribución de la mampostería.***

En este procedimiento se desprecia la contribución de la mampostería a la resistencia a flexo-compresión del muro.

Deben calcularse las fuerzas axiales solicitadas máximas, de compresión  $P_{uc}$  y de tracción  $P_{ut}$ , sobre cada una de las columnas de confinamiento, por medio de las ecuaciones CEC-2000.9-6 y CEC-2000.9-7 respectivamente.

$$P_{uc} = \frac{A_{ci}}{A_{ct}} P_u + \Delta P_{ui} \quad (\text{CEC-2000.9-6 NSR-98 D.9-6})$$

$$P_{ui} = \frac{A_{ci}}{A_{ct}} P_u - \Delta P_{ui} \leq 0 \quad (\text{CEC-2000.9-7 NSR-98 D.9-7})$$

Donde  $P_u$  y  $\Delta P_{ui}$  son siempre positivas, y  $\Delta P_{ui}$  se obtiene por medio de la siguiente ecuación:

$$\Delta P_{ui} = \left| \frac{M_u A_{ci} (x_i - \bar{x})}{I_{ct}} \right| \quad (\text{CEC-2000.9-8 NSR-98 D.9-8})$$

En las ecuaciones anteriores,

$$A_{ct} = \sum_i A_{ci} \quad (\text{CEC-2000.9-9 NSR-98 D.9-9})$$

$$\bar{x} = \frac{\sum_i A_{ci} x_i}{A_{ct}} \quad (\text{CEC-2000.9-10 NSR-98 D.9-10})$$

$$I_{ct} = \sum_i A_{ci} (x_i - \bar{x})^2 \quad (\text{CEC-2000.9-11 NSR-98 D.9-11})$$

En cada una de las columnas de confinamiento del muro deben cumplirse las condiciones siguientes:

$$P_{uc} \leq \phi P_{nc} \quad (\text{CEC-2000.9-12 NSR-98 D.9-12})$$

$$P_{ui} \geq \phi P_{ni} \quad (\text{CEC-2000.9-13 NSR-98 D.9-13})$$

Cuando se trata de un muro confinado que únicamente tiene dos columnas de



confinamiento iguales en sus bordes, las ecuaciones CEC-2000.9-6 a CEC-2000.9-8 se simplifican a:

$$P_{uc} = \frac{P_u}{2} + \Delta P_u \quad (\text{CEC-2000.9-14 NSR-98 D.9-14})$$

$$P_{ut} = \frac{P_u}{2} - \Delta P_u \leq 0 \quad (\text{CEC-2000.9-15 NSR-98 D.9-15})$$

Donde  $P_u$  y  $\Delta P_u$  son siempre positivas, y  $\Delta P_u$  se obtiene por medio de la siguiente ecuación:

$$\Delta P_u = \frac{M}{l_w} \quad (\text{CEC-2000.9-16 NSR-98 D.9-16})$$

***Resistencia a flexo-compresión teniendo en cuenta la contribución de la mampostería.***

El momento de diseño solicitado  $M_u$  que acompaña la carga axial  $P_u$  debe cumplir la condición dada por la ecuación (CEC-2000.9-17), para el nivel de carga  $P_u$ .

$$M_u \leq \Phi M_n \quad (\text{CEC-2000.9-17 NSR-98 D.9-17})$$

$M_n$  se obtiene teniendo en cuenta la interacción entre momento y carga axial. Se debe calcular un diagrama de interacción del muro, empleando el coeficiente de reducción de resistencia,  $\phi$ , apropiado de los datos anteriormente.

DIMCAD deprecia la contribución de la mampostería en el diseño a flexo-compresión de los muros.

### **7.11. Diseño a cortante del muro en la dirección paralela a su plano.**

En la mampostería de muros confinados toda la fuerza cortante sobre el muro debe ser tomada por la mampostería, y se supone que no hay contribución a la resistencia a cortante por parte de los elementos de confinamiento. La resistencia de diseño solicitada,  $V_u$ , debe cumplir la siguiente condición:

$$V_u \leq \phi V_n \quad (\text{CEC-2000.9-18 NSR-98 D.9-18})$$

y la resistencia normal a cortante por tracción diagonal, se obtiene de:

Sistema SI

$$V_n = \left( \frac{1}{12} \sqrt{f'_m} + \frac{P_u}{3A_e} \right) A_{mv} \leq \frac{1}{6} \sqrt{f'_m} A_{mv} \quad (\text{CEC-2000.9-19 NSR-98 D.9-19})$$

Sistema mks

$$V_n = \left( 0,265 \sqrt{f'_m} + \frac{P_u}{3A_e} \right) A_{mv} \leq 0,53 \sqrt{f'_m} A_{mv}$$

Donde  $P_u$  en este caso, es la carga axial mayorada que actúa simultáneamente con la máxima fuerza cortante mayorada solicitada,  $V_u$  para la cual se realiza el diseño.

### **7.12. Verificación por aplastamiento del alma del muro.**

Debe verificarse que el paño de muro enmarcado por las vigas y columnas de confinamiento, no falle por aplastamiento. Para el efecto se considera una biela de compresión en la diagonal del muro, la cual tiene un ancho efectivo igual a un quinto de la longitud de la diagonal. Debe cumplirse la condición:

$$P_{ud} \leq \phi P_{nd} \quad (\text{CEC-2000.9-20 NSR-98 D.9-20})$$

La fuerza axial que actúa en la diagonal,  $P_{ud}$ , se obtiene por medio de:

$$P_{ud} = \frac{h'}{l_w} V_u \quad (\text{CEC-2000.9-21 NSR-98 D.9-21})$$

Donde  $h'$  es la longitud de la diagonal del paño de muro entre elementos de confinamiento,  $l_w$  es la longitud total del muro sobre el cual actúa el cortante horizontal de diseño solicitado  $V_u$ . La resistencia nominal al aplastamiento se obtiene por medio de la ecuación (9-4). Allí hay que emplear una longitud para evaluación de pandeo  $h'$  igual a la dimensión de la diagonal del muro en el paño en estudio, y un espesor efectivo para pandeo  $t$ , igual al espesor del muro. El área de la biela de compresión  $A_{md}$  es igual al ancho efectivo de la biela,  $h'/5$ , multiplicada por el espesor efectivo del muro,  $b$ , para efectos en la dirección paralela al plano del muro, tal como se definió anteriormente

### **7.13. Verificación a cortante en los elementos de confinamiento del muro.**

Los elementos de confinamiento reciben la fuerza de la biela de compresión en la esquina de intersección entre vigas y columnas de confinamiento, por lo tanto hay necesidad de verificar que están en capacidad de resistir como fuerza cortante aplicada, transversal al eje longitudinal del elemento de confinamiento, al menos una fuerza cortante igual a la mitad de la componente correspondiente de la fuerza de compresión que actúa sobre la biela.

La fuerza cortante actuante,  $V_{uc}$ , sobre la columna de confinamiento es:

$$V_{uc} = \frac{l_c}{2l_w} V_u \quad (\text{CEC-2000.9-22 NSR-98 D.9-22})$$

y la fuerza cortante actuante,  $V_{uc}$ , sobre la viga de confinamiento es:

$$V_{uc} = \frac{h_p}{2l_w} V_u \quad (\text{CEC-2000.9-23 NSR-98 D.9-23})$$

En ambos casos debe cumplirse que:

$$V_{uc} \leq \phi V_{nc} \quad (\text{CEC-2000.9-24 NSR-98 D.9-24})$$

donde  $V_{nc}$  para elemento de confinamiento debe calcularse de acuerdo con los requisitos del ACI.

#### **7.14. Diseño del acero longitudinal de la viga de confinamiento.**

La componente horizontal de la biela de compresión que actúa en la diagonal del muro debe ser resistida como fuerza de tracción en la viga de confinamiento que llega a la misma esquina del paño del muro donde actúa la biela de compresión. Esta fuerza de tracción es igual a la fuerza cortante que lleva el paño de muro. Por lo tanto:

$$P_{ut} = -\frac{l_c}{l_w} V_u \quad (\text{CEC-2000.9-25 NSR-98 D.9-25})$$

La fuerza axial de tracción sobre la viga de confinamiento debe ser resistida en su totalidad por el acero de refuerzo longitudinal de la viga:

$$-P_{ut} \leq -\phi P_{nt} \quad (\text{CEC-2000.9-26 NSR-98 D.9-26})$$

donde  $P_{nt}$  se obtiene por medio de la ecuación (CEC-2000.9-3 NSR-98 D.9-3)

#### **7.15 Desempeño sísmico**

La información que se presenta en este ítem es otra sugerencia al Comité de Mampostería Estructural del CEC, para que sea incluida en el código de construcción de mampostería confinada. Las ecuaciones y tablas que se muestran son

desarrolladas de acuerdo a datos mexicanos, pero podrían ser adoptadas por nuestro código. A través de la densidad de muros que se define a continuación, el número de pisos de la estructura y las tablas siguientes podemos conocer aproximadamente el desempeño de una edificación durante un sismo conociendo su nivel de daño.

Se define la densidad de muros,  $d$ , según Meli [Meli, 1991] como la relación entre el área total de los muros de corte en una dirección,  $A_m$ , y el área del piso  $A_p$ :

$$d = \frac{\sum F_i * A_{mi}}{A_p}$$

Donde:

$F_i$  es un factor que reduce la contribución de paredes delgadas

$$\left\{ \begin{array}{ll} = 1 & \text{si } h_i/L_i < 1.33 \\ = (1.33 L_i/h_i)^2 & \text{si } h_i/L_i > 1.33 \end{array} \right.$$

$h_i$  = altura del muro

$L_i$  = longitud del muro.

La tabla siguiente clasifica y describe el daño que puede sufrir una estructura al ocurrir un sismo.

**Tabla 7.1 Categorías de Daño**

Category	Damage extension	Action to take
0 No damage	No damage	No action is needed
1 Light non-structural damage	Fine cracks on plaster, falling of plaster on limited zones	It is not necessary to evacuate the building. Only architectural repairs are needed.
2 Moderate structural damage	Small cracks on masonry walls, falling of plaster block in extended zones. Damage in nonstructural members, such as chimneys, tanks, pediment, cornice. The structure resistance	It is not necessary to evacuate the building. Only architectural repairs are needed order to ensure conservation.

	capacity has not been reduced notably. Generalized failures in non-structural elements.	
3 Severe structural damage	Large and deep cracks in masonry walls, widely spread cracking in reinforced concrete walls, columns and buttress. Inclination or falling of chimneys, tanks, stair platforms. The structure resistance capacity is partially reduced.	The building must be evacuated and raised. It can be reoccupied after retrofitting. Before architectural treatment is undertaken structural restoration is needed.
4 Heavy structural damage	Wall pieces fall down, interior and exterior walls break and lean out of plumb. Failure in elements that join buildings portions. Approximately 40% of essential structural elements fail. The building is in a dangerous condition.	The building must be evacuated and raised. It must be demolished or major retrofitting work is needed before being reoccupied.
5 Collapse	Collapse of part or complete building.	Clear the site and rebuild.

Fuente: [REF.2]

**Tabla 7.2. Relación entre el nivel de daño y la densidad de muros por piso**

Level of Damage	Damage Category Nd	Wall density d/n (%)
Light	0-1	$\geq 1.15$
Moderate	2	0.85 – 1.15
Severe	3	0.5 – 0.85
Heavy	4-5	$\leq 0.5$

Fuente: [REF.2]

Astroza, M.(2000), propone otra ecuación para determinar el daño de una edificación de mampostería confinada en base al daño ocurrido en edificios de este tipo en el sismo de 1985 de Chile y de investigaciones recientes, la misma que se indica a continuación:

$$\delta = \frac{dm}{n * w}$$

donde

$\delta$  = densidad de pared por peso de piso

$dm$  = área de la sección transversal de todos los muros del primer piso en la dirección X o Y

$n$  = número de pisos

$w$  = peso promedio por piso

En otras palabras es la relación del área de muros del primer piso en la dirección X o Y para el peso del edificio.

La propuesta es que para garantizar que la estructura sufra únicamente un daño moderado ante un sismo  $\delta \geq 0,012 \text{ m}^2/\text{ton}$ , y si únicamente se intenta evitar el daño fuerte(Heavy)  $\delta \geq 0,008 \text{ m}^2/\text{ton}$ .

*DIMCAD* utiliza la fórmula planteada por R. Meli y la tabla 7.2 para encontrar el nivel de daño de una edificación.

Las fórmulas citadas en el capítulo 6, ítem 6.1, únicamente expresan si hay una buena o mala configuración estructural, pero no llegan a predecir cual sería el comportamiento que tendrían las estructuras de mampostería en caso de ocurrencia de un sismo y pienso que nuestro código debería incluir un tema sobre desempeño sísmico, CEC podría utilizar las ecuaciones y tablas citadas anteriormente o desarrollar unas propias para nuestro país, pues serían de mucha ayuda para el diseñador.

## **LECTURAS RECOMENDADAS**

1. Álvarez, J., Alcocer, S. , Contreras J. "Comportamiento analítico no lineal de muros de mampostería con aberturas sujetos a fuerzas laterales". 2 Congreso Iberoamericano de Ingeniería Sísmica, octubre 2001.
2. Astroza M, Moroni M, Salinas C. "Seismic Behavior Qualification Methodology for Confined Masonry Buildings", paper 1123. 12 WCEE 2000 .
3. Código Ecuatoriano de la Construcción, Subcapítulo de Mampostería Estructural
4. Diseño y Construcción de Estructuras de Mampostería. Normas Técnicas Complementarias del Reglamento de Construcciones para el Distrito Federal 403. Julio 1977. Páginas 24,25.
5. Norma Colombiana NSR-98

## ASPECTOS CONSTRUCTIVOS Y CONTROL DE CALIDAD

### 8.1 Introducción

El presente capítulo tratará de los aspectos constructivos y de control de calidad que se debe tener en cuenta a la hora de construir una edificación de mampostería confinada, y que se discutirán a continuación.

### 8.2. Confinamientos

En las columnas se colará de manera que se obtenga un llenado completo de los huecos. Se debe realizar un trabado entre la mampostería y las columnas de confinamiento (ver figura 8.1) y en caso de no poder llenarlas con hormigón colocar 2 varillas de diámetro 8 mm cada 4 hiladas y sobresaliendo 30 cm a cada lado.

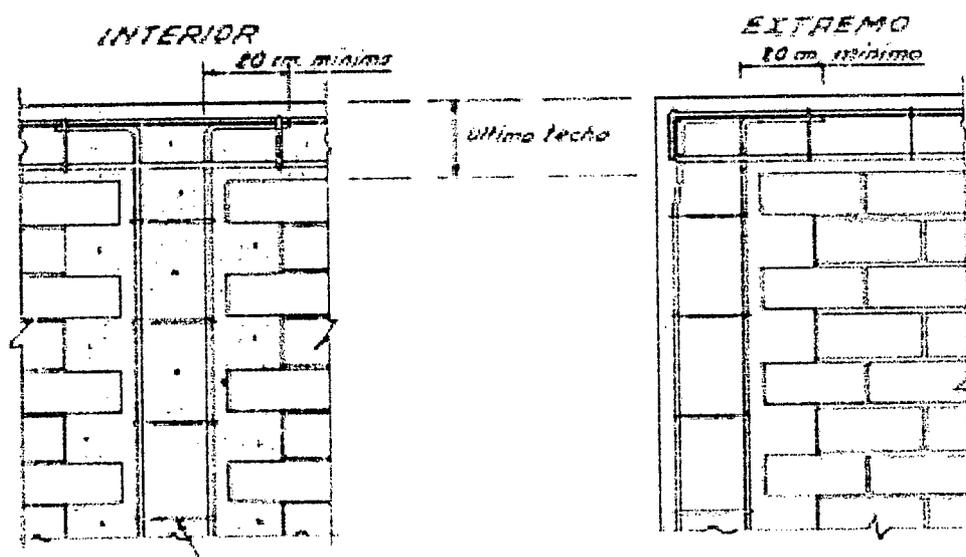


Figura 8.1 Detalle de columnas de confinamiento.[REF.15]



**Figura 8.2.** Detalle de columna de confinamiento en obra.

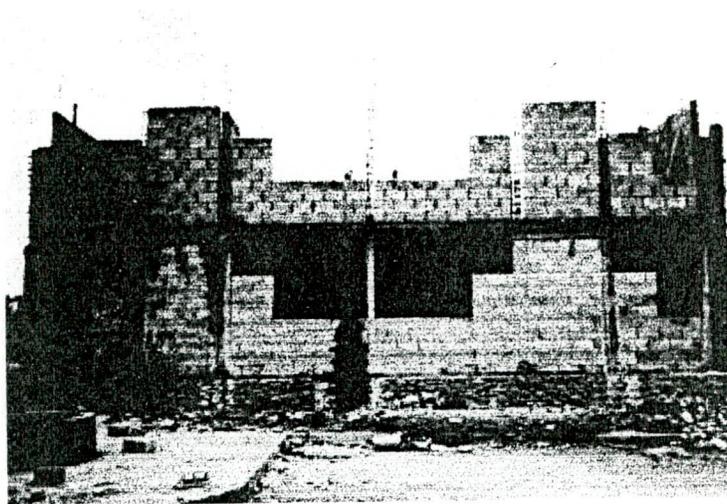


**Figura 8.3.** Detalle de columna de confinamiento en obra.

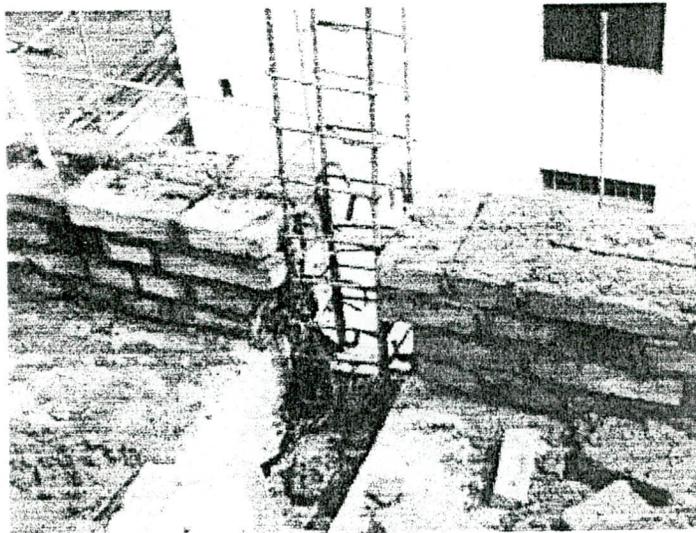


Para que la columna de confinamiento proporcione rigidez al muro, es necesario formar un amarre entre el muro y la columna. Por eso al ir levantando el muro, el

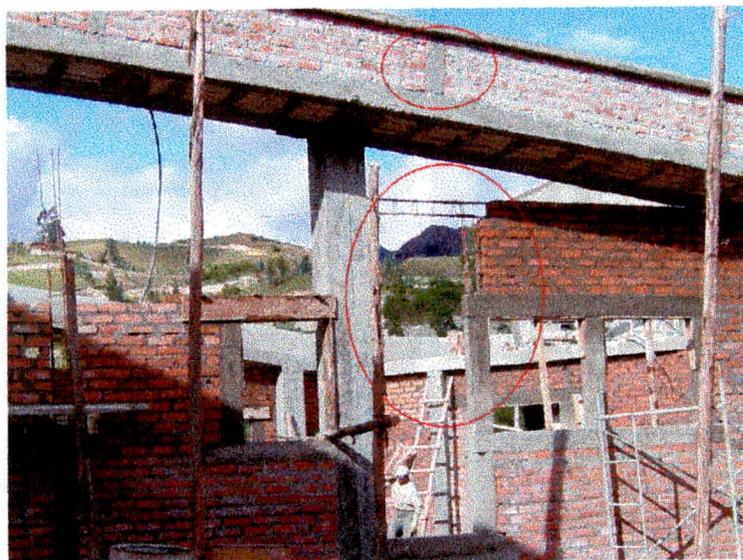
ladrillo se remata en forma dentada, cada dos hiladas



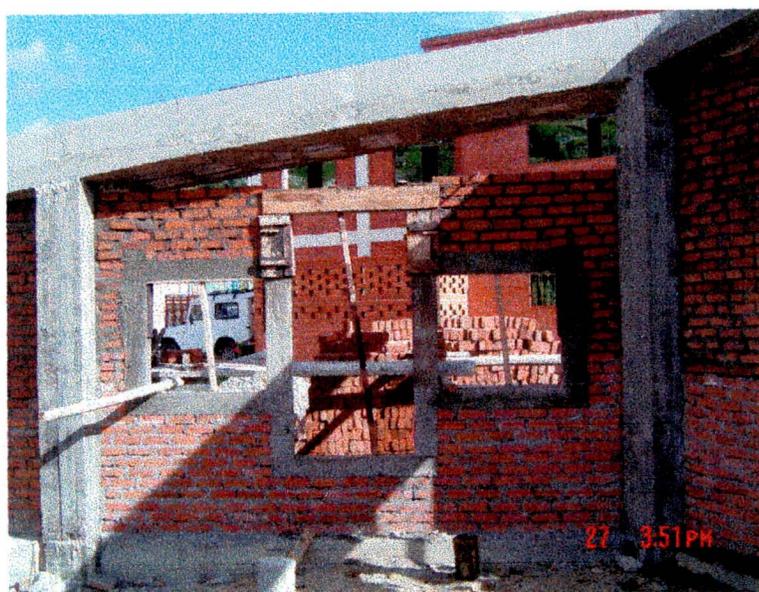
**Figura 8.4.** Vivienda de dos pisos construida con bloques perforados de hormigón en México en 1993. [REF.30]



**Figura 8.5.** Edificio construido con ladrillos sólidos de arcilla en China en 1999. [REF.30]



**Figura 8.6.** Detalle de confinamientos en paredes, Capilla “Hogares Marcelino Champagnat”. Loja diciembre 2003.



**Figura 8.7.** Detalle de confinamientos en paredes, Capilla “Hogares Marcelino Champagnat”. Loja diciembre 2003.

### 8.3. Cimientos

Los cimientos de una edificación de mampostería confinada son corridos y pueden ser de hormigón armado o ciclópeo, siendo el segundo más económico y con un buen comportamiento estructural.

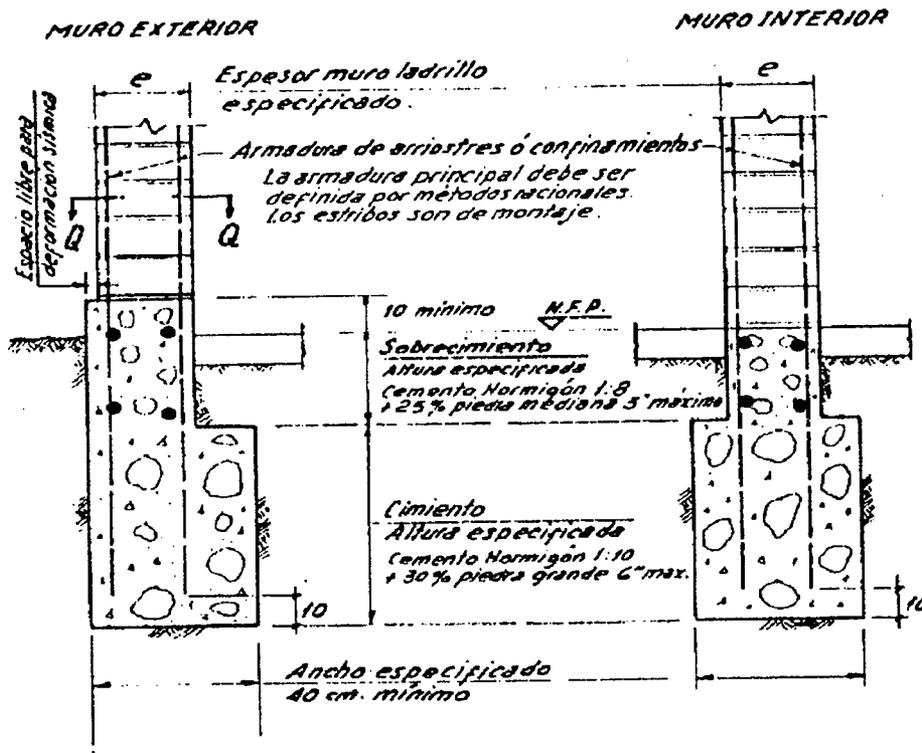


Figura 8.8. Detalle de cimiento de hormigón ciclópeo, para muro exterior e interior.[REF.15]

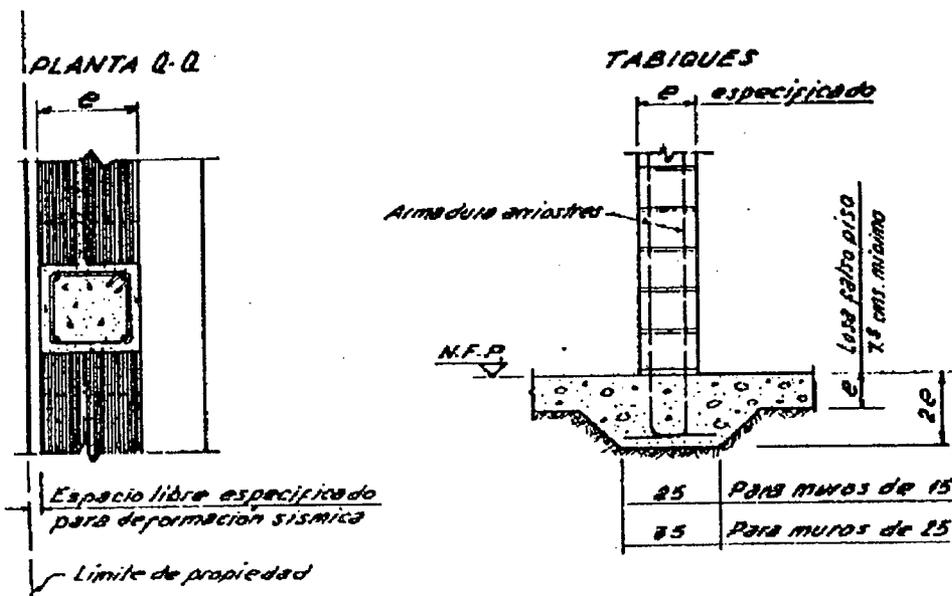
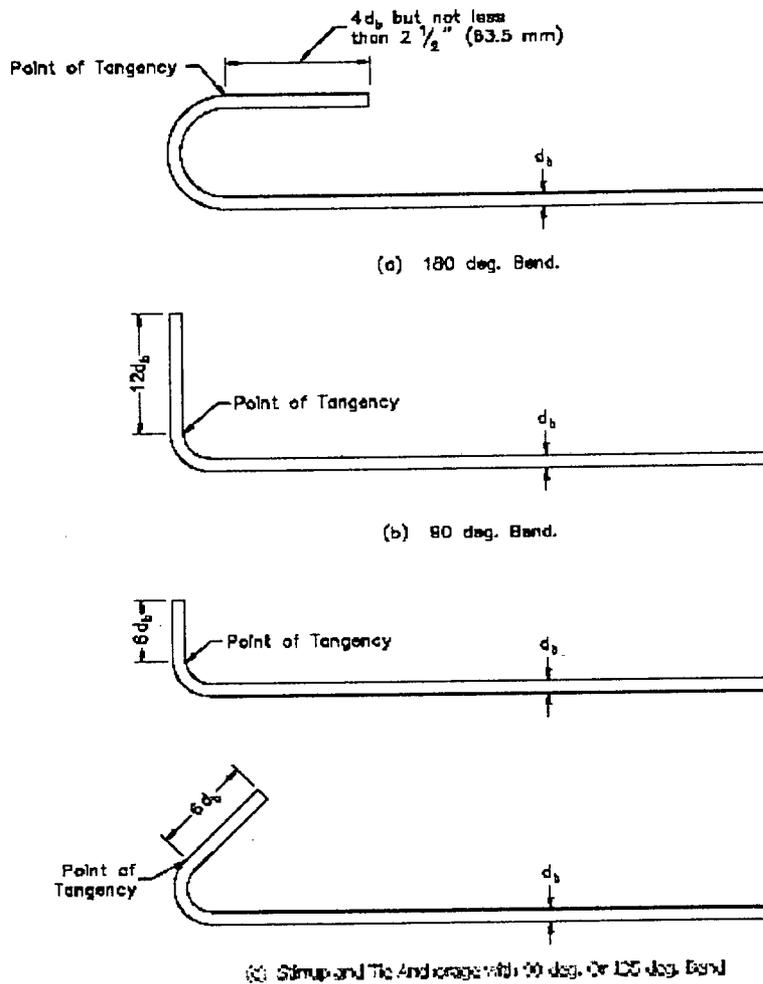


Figura 8.9. Detalles de cimiento de hormigón ciclópeo.[REF.15]

## 8.4. Acero de refuerzo

Las longitudes de desarrollo y traslapes se deberán seguir de acuerdo al código ACI.



**Figura 8.10.** Detalle de ganchos estándar según ACI 530-99 y ACI 315-99

Los ganchos estándar deberán tener las siguientes características:

- Una doblez de  $180^\circ$  más una extensión recta de al menos 4 veces el diámetro de la varilla pero no menor de 64mm en el extremo libre de la varilla.
- Una doblez de  $90^\circ$  más una extensión recta de al menos 12 veces el diámetro de la varilla en el extremo libre de la varilla.
- Una doblez de  $135^\circ$  mas una extensión recta de al menos 6 veces el diámetro de la varilla en el extremo libre de la varilla.

## 8.5 Morteros

La consistencia del mortero se ajustará tratando de que alcance la mínima fluidez

compatible con una fácil colocación. Los materiales se mezclarán en un recipiente no absorbente, prefiriéndose, siempre que sea posible, un mezclado mecánico. El tiempo de mezclado, una vez que el agua se agrega, no debe ser menor de 3 minutos. Si el mortero empieza a endurecerse, podrá remezclarse hasta que vuelva a tomar la consistencia deseada agregándole agua si es necesario, los morteros deberán usarse dentro de un lapso de 2,5 horas a partir del mezclado inicial, pero no podrán permanecer más de una hora sin ser remezclados. [REF.10]

### **8.5. Tuberías embebidas**

Las instalaciones eléctricas, sanitarias y de cualquier otra naturaleza sólo se alojarán en los muros cuando los tubos correspondientes tengan como diámetro máximo 1/5 del espesor del muro. La colocación de los tubos en los muros se hará en cavidades dejadas en el proceso de construcción de la mampostería que luego se rellenarán con concreto. Los recorridos de las instalaciones serán siempre verticales y por ningún motivo se picará o se recortará el muro para alojarlas. En el caso de bajantes de aguas lluvias o servidas, se deberá dividir al muro y bajar por una columna de confinamiento aumentada sus dimensiones de cálculo.

### **8.6. Hormigones**

Deberán tener una resistencia a la compresión mínima de 17.5 Mpa o 175 Kg/cm<sup>2</sup> (CEC-2000) y tendrán la cantidad de agua necesaria que asegure una consistencia líquida sin segregación de los materiales. El tamaño máximo de los agregados será de 1 cm.[REF.10]

### **8.7. Otros**

- Las unidades de mampostería se asentarán con las superficies limpias y sin agua libre, pero con el siguiente tratamiento previo:
  - Para sílico – calcáreas: limpieza del polvillo superficial
  - Para concreto: ninguno
  - Para arcilla de fabricación industrial: inmersión en agua inmediatamente antes del asentado

- Para arcilla de fabricación artesanal: inmersión en agua, de por lo menos una hora, inmediatamente antes del asentado
- No se debe asentar más de 1,20 m de altura de muro en una jornada de trabajo
- Las armaduras de los elementos de refuerzo del piso superior deberán ser continuación de las armaduras del piso inferior, estando debidamente empalmadas entre si.
- Los muros portantes encima del primer piso estarán directamente encima de los muros portantes inferiores.
- En el caso de losas macizas de concreto armado, la sección de concreto y la armadura de los elementos de refuerzo horizontales podrán considerarse como parte integral del techo, sin necesidad de sumarse o añadirse a las secciones o armaduras necesarias por otros motivos.
- En el caso de losas alivianadas será necesario colocar vigas collar como elementos de refuerzo horizontal, las que pueden ser parte integral del techo.

## **8.8. Control de calidad**

En el control de calidad se debe prestar atención en los siguientes puntos:

### **Estructuración:**

- Simetría en planta
- Simetría en elevación
- Densidad de muros
- Tipo de suelo y cimentación

### **Trazo y alineamiento:**

- Ejes
- Niveles

### **Unidades de mampostería:**

- Procedencia y fabricación
- Materia prima
- Superficie y incrustaciones
- Cocimiento (unidades de arcilla), edad (unidades de concreto)
- Variabilidad de dimensiones

- Integridad física

**Mortero:**

- Cemento: adecuado y conservación
- Arena: limpia y graduada
- Proporciones y dosificación
- Mezclado: manual o mecánico
- Trabajabilidad y cantidad de agua

**Acero de refuerzo:**

- Diámetros y longitudes
- Traslapes y anclajes
- Ubicación

**Mano de obra:**

- Cordel y alineamiento
- Plomada y verticalidad
- Humedecimiento del ladrillo
- Juntas: espesor y uniformidad
- Presión de asentado del ladrillo

## **LECTURAS RECOMENDADAS**

1. Código Ecuatoriano de la Construcción, Subcapítulo de Mampostería Estructural
2. Building Code Requirements For Masonry Structures ACI 530-99. American Concrete Institute, Detroit 1999
3. Commentary On Building Code Requirements For Masonry Structures ACI 530-99. American Concrete Institute, Detroit 1999
4. Details and Detailing of Concrete Reinforcement ACI 315 – 99. American Concrete Institute, Detroit 1999
5. Diseño y Construcción de Estructuras de Mampostería. Normas Técnicas Complementarias del Reglamento de Construcciones para el Distrito Federal 403. Julio 1977. Páginas 31-34.
6. Norma Colombiana NSR-98
7. Reglamento Nacional de Estructuras. Norma Peruana E-70. Instituto de la Construcción y Gerencia , Lima 2002. Páginas 157-161

# 9

## DISEÑO DEL PROGRAMA

### 9.1 Generalidades

*DIMCAD*, desde su inicio fue pensado para trabajar dentro de autoCAD, con la finalidad que el diseño arquitectónico y estructural se lo realice dentro de un mismo programa(autoCAD). La entrada de datos en la mayoría de los casos se la realiza por pantalla y a través de selección de objetos, sin tener que digitar datos por teclado.

AutoCAD posee un editor de VisualBasic, lo que permite crear rutinas o programas con suficientes recursos para desarrollar cualquier aplicación práctica. AutoCAD además de Visual Basic proporciona otras interfaces de programación como AutoLISP, ADS, ARX y Visual Lisp. Se eligió Visual Basic por la gran cantidad de información que existe y además de su facilidad de interpretación. AutoLisp, ADS y ARX son lenguajes un tanto antiguos y no visuales por lo que es mucho mejor Visual Basic.

El objetivo principal del programa es analizar y diseñar una edificación de mampostería confinada de hasta dos pisos. Los usuarios serán ingenieros civiles, arquitectos y estudiantes de estas dos profesiones.

### 9.2 Casos de uso

#### Grupo 1. Definir

**DIMCAD software de análisis y diseño de mampostería confinada por resistencia**

Grupo	1. Definir	
Caso de Uso	<b>1.1 Definir tipo de edificación</b>	
Usuario	Ingeniero Civil Arquitecto Estudiantes de ingeniería civil o arquitectura	
Precondiciones	El usuario debe estar dentro de la opción definir	
Flujo Básico de Eventos	<ol style="list-style-type: none"> <li>Este caso de uso comienza cuando el usuario define el tipo de edificación</li> <li>El usuario solicita al sistema iniciar el proceso definir tipo de edificación</li> <li>El sistema presenta una forma de opciones para elegir el tipo de edificación: tipo 1, tipo2</li> <li>El usuario elige un solo tipo de edificación</li> <li>El sistema muestra una tabla de datos para ingresar altura de entrepiso, mayor distancia en x y mayor distancia en y, pesos y cargas, capacidad portante del suelo</li> <li>El usuario ingresa los valores en los parámetros</li> <li>El sistema registra estos parámetros</li> <li>El usuario verifica la Información ingresada y se termina el caso de uso</li> </ol>	
Flujo Alternativo de Eventos	<b>PASO</b>	<b>ACCION</b>
	6 4-8	Si el usuario no ingresa datos vuelve al paso Si el usuario solicita cancelar <i>Definir el tipo de Edificación</i> el caso de uso termina
Resultado	Se ha definido un tipo de edificación	

Grupo	1. Definir	
Caso de Uso	<b>1.2 Definir tipo de materiales</b>	
Usuario	Ingeniero Civil Arquitecto Estudiantes de ingeniería civil o arquitectura	
Precondiciones	El usuario debe estar dentro de la opción definir	
Flujo Básico de Eventos	<ol style="list-style-type: none"> <li>Este caso de uso comienza cuando el usuario define las características de los materiales a usar</li> <li>El usuario solicita al sistema iniciar el proceso definir tipo de materiales</li> <li>El sistema muestra una tabla de datos para ingresar modulo de elasticidad, peso especifico, resistencia a la compresión y fluencia de los materiales.</li> </ol>	

**DIMCAD software de análisis y diseño de mampostería confinada por resistencia**

	4. El usuario ingresa los valores en los parámetros dados
	5. El sistema registra estos parámetros
	6. El usuario verifica la Información ingresada y se termina el caso de uso
Flujo Alternativo de Eventos	<b>PASO</b> <span style="float:right"><b>ACCION</b></span>
	<b>2-6</b> Si el usuario solicita cancelar <i>Definir el tipo de materiales</i> el caso de uso termina
Resultado	Se ha definido las características de los materiales a usar

Grupo	1. Definir
Caso de Uso	<b>1.3 Definir factores sísmicos</b>
Usuario	Ingeniero Civil Arquitecto Estudiantes de ingeniería civil o arquitectura
Precondiciones	El usuario debe estar dentro de la opción definir
Flujo Básico de Eventos	<ol style="list-style-type: none"> <li>Este caso de uso comienza cuando el usuario define las factores sísmicos</li> <li>El usuario solicita al sistema iniciar el proceso definir factores sísmicos</li> <li>El sistema muestra una tabla de datos para ingresar factor de zona sísmica(Z), coef. De tipo de uso(l), factor de reducción de resistencia, <math>\Phi_{PA}</math>, <math>\Phi_{PB}</math>, <math>\Phi_{EA}</math>, <math>\Phi_{EB}</math>, <math>\Phi_{EC}</math>, tipo de suelo(Tsuelo), Ct</li> <li>El usuario ingresa los valores en los parámetros dados</li> <li>El sistema registra estos parámetros</li> <li>El usuario verifica la Información ingresada y se termina el caso de uso</li> </ol>
Flujo Alternativo de Eventos	<b>PASO</b> <span style="float:right"><b>ACCION</b></span>
	<b>2-6</b> <b>3</b> Si el usuario solicita cancelar <i>definir factores sísmicos</i> el caso de uso termina  Si el usuario ingresa valores mayores a 1 para $\Phi_{PA}$ , $\Phi_{PB}$ , $\Phi_{EA}$ , $\Phi_{EB}$ , $\Phi_{EC}$ , el sistema mostrara un mensaje de advertencia
Resultado	Se ha definido los factores sísmicos para la edificación planteada

Grupo	1. Definir
Caso de Uso	<b>1.4 Definir Materiales</b>
Usuario	Ingeniero Civil Arquitecto Estudiantes de ingeniería civil o arquitectura
Precondiciones	El usuario debe estar dentro de la opción definir
Flujo Básico de	1. Este caso de uso comienza cuando el usuario escoge la opción definir

**DIMCAD software de análisis y diseño de mampostería confinada por resistencia**

Eventos	2. El usuario solicita al sistema iniciar el proceso definir materiales 3. El sistema muestra una tabla de datos para ingresar: módulo de elasticidad del material, peso específico y resistencia a la compresión 4. El usuario ingresa los valores solicitados 5. El sistema registra estos valores 6. El usuario verifica la Información ingresada y se termina el caso de uso	
Flujo Alternativo de Eventos	<b>PASO</b>	<b>ACCION</b>
	<b>2-6</b>	Si el usuario solicita cancelar <i>definir materiales</i> el caso de uso termina
Resultado	Se ha definido un material	

Grupo	1. Definir	
Caso de Uso	<b>1.5 Definir Secciones</b>	
Usuario	Ingeniero Civil Arquitecto Estudiantes de ingeniería civil o arquitectura	
Precondiciones	El usuario debe estar dentro de la opción definir	
Flujo Básico de Eventos	Este caso de uso comienza cuando el usuario escoge la opción definir El usuario solicita al sistema iniciar el proceso definir sección El sistema muestra una tabla de datos para ingresar: el nombre de la sección, el espesor y la opción de escoger el tipo de material. El usuario ingresa los valores solicitados El sistema registra estos valores El usuario verifica la Información ingresada y se termina el caso de uso	
Flujo Alternativo de Eventos	<b>PASO</b>	<b>ACCION</b>
	<b>2-6</b>	Si el usuario solicita cancelar <i>definir sección</i> el caso de uso termina
Resultado	Se ha definido un material	

## Grupo 2. Dibujar muros

Grupo	2. Dibujar Muros	
Caso de Uso	<b>2.1 Dibujar muros</b>	
Usuario	Ingeniero Civil Arquitecto Estudiantes de ingeniería civil o arquitectura	

## **DIMCAD software de análisis y diseño de mampostería confinada por resistencia**

Precondiciones	El usuario debe estar dentro del programa	
Flujo Básico de Eventos	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Este caso de uso comienza cuando el decide dibujar los ejes de los muros de la vivienda</li> <li>2. El usuario solicita al sistema iniciar el proceso de dibujo</li> <li>3. El sistema solicita al usuario ingresar por pantalla los puntos inicial y final del eje del muro.</li> <li>4. El sistema realiza los procesos de: obtención de coordenadas de los puntos inicial y final del eje del muro, y luego con esos puntos dibuja una línea(eje del muro)</li> <li>5. El usuario observa en pantalla el dibujo del eje del muro y se termina el caso de uso</li> </ol>	
Flujo Alternativo de Eventos	<b>PASO</b>	<b>ACCION</b>
	2-5	Si el usuario solicita cancelar el caso de uso termina
Resultado	Se ha dibujado el eje de un muro de la vivienda	

### **Grupo 3. Asignar**

Grupo	3.Asignar	
Caso de Uso	<b>3.1 Asignar áreas tributarias a los muros</b>	
Usuario	Ingeniero Civil Arquitecto Estudiantes de ingeniería civil o arquitectura	
Precondiciones	El usuario debe estar dentro del programa, haber dibujado los ejes de los muros y haber definido las propiedades de los muros.	
Flujo Básico de Eventos	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Este caso de uso comienza cuando el usuario decide asignar áreas tributarias a los muros de la vivienda</li> <li>2. El usuario solicita al sistema iniciar el proceso de asignación de áreas tributarias.</li> <li>3. El sistema solicita al usuario seleccionar un muro cualquiera</li> <li>4. El sistema solicita al usuario ingresar por pantalla los puntos que encierran el área tributaria correspondiente a cada muro.</li> <li>5. El sistema realiza los procesos de: obtención de coordenadas de los puntos que rodean del eje del muro, y luego calcula el área encerrada entre los puntos dados</li> </ol>	
Flujo Alternativo de Eventos	<b>PASO</b>	<b>ACCION</b>
	2-5	Si el usuario solicita cancelar el caso de uso termina

**DIMCAD software de análisis y diseño de mampostería confinada por resistencia**

Resultado	Se ha calculado el área tributaria correspondiente al muro seleccionado
-----------	---

Grupo	3.Asignar	
Caso de Uso	<b>3.2 Asignar área losa</b>	
Usuario	Ingeniero Civil Arquitecto Estudiantes de ingeniería civil o arquitectura	
Precondiciones	El usuario debe estar dentro del programa, haber dibujado los ejes de los muros y definido las propiedades de los muros, y haber dibujado una o varias polilíneas que representen la losa y los pozos de luz en caso que los hubieren	
Flujo Básico de Eventos	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Este caso de uso comienza cuando usuario decide asignar losa y los pozos de luz de la vivienda</li> <li>2. El usuario solicita al sistema iniciar el proceso de asignación de áreas de losa.</li> <li>3. El sistema solicita al usuario seleccionar una polilínea que deberá ser la losa</li> <li>4. El sistema solicita al usuario seleccionar los pozos de luz</li> <li>5. El sistema realiza los procesos de: cálculo del área de losa y centro de masas .</li> <li>6. El usuario observa en pantalla el centro de masas de la losa</li> </ol>	
Flujo Alternativo de Eventos	<b>PASO</b>	<b>ACCION</b>
	<b>2-5</b>	Si el usuario solicita cancelar el caso de uso termina
Resultado	Se ha calculado el área de la losa y el centro de masas de la misma	

Grupo	3.Asignar	
Caso de Uso	<b>3.3 Asignar Confinamientos</b>	
Usuario	Ingeniero Civil Arquitecto Estudiantes de ingeniería civil o arquitectura	
Precondiciones	El usuario debe estar dentro del programa, haber dibujado los ejes de los muros y definido las propiedades de los muros, y haber dibujado una o varias polilíneas que representen la losa y los pozos de luz en caso que los hubieren.	
Flujo Básico de Eventos	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Este caso de uso comienza cuando usuario decide asignar confinamientos a los muros.</li> <li>2. El usuario solicita al sistema iniciar el proceso de asignación de confinamientos.</li> </ol>	

**DIMCAD software de análisis y diseño de mampostería confinada por resistencia**

	<ol style="list-style-type: none"> <li>3. El sistema solicita al usuario seleccionar un muro.</li> <li>4. El sistema solicita al usuario seleccionar los puntos donde deben ir los confinamientos</li> <li>5. El sistema dibuja los confinamientos</li> <li>6. El sistema realiza los procesos de: obtención de coordenadas de los confinamientos y cálculo del momento de inercia del muro .</li> <li>7. El usuario observa en pantalla los confinamientos dibujados.</li> </ol>	
Flujo Alternativo de Eventos	<b>PASO</b>	<b>ACCION</b>
	2-6	Si el usuario solicita cancelar el caso de uso termina
Resultado	Se dibujado los confinamientos del muro seleccionado y calculado el momento de inercia del mismo	

**Grupo 4. Propiedades**

Grupo	4.Propiedades	
Caso de Uso	4.1 Adherir	
Usuario	Ingeniero Civil Arquitecto Estudiantes de ingeniería civil o arquitectura	
Precondiciones	El usuario debe estar dentro del programa, haber dibujado los ejes de los muros y definido las propiedades de los muros, y haber dibujado una o varias polilíneas que representen la losa y los pozos de luz en caso que los hubieren.	
Flujo Básico de Eventos	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Este caso de uso comienza cuando usuario decide adherir un muro a la base de datos del programa.</li> <li>2. El usuario solicita al sistema iniciar el proceso de adherir propiedades.</li> <li>3. El sistema solicita al usuario seleccionar un muro.</li> <li>4. El sistema solicita al usuario ingresar los datos de número de muro y espesor</li> <li>5. El sistema asigna los datos ingresados en el paso anterior a la base de datos del programa, luego obtiene las coordenadas iniciales, finales y el ángulo de orientación del muro seleccionado, y almacena en la base de datos.</li> <li>6. El usuario observa en pantalla como cambia de color el muro seleccionado.</li> </ol>	
Flujo Alternativo de Eventos	<b>PASO</b>	<b>ACCION</b>
	2-5	Si el usuario solicita cancelar el caso de uso termina
Resultado	Se ha ingresado a la base de datos un nuevo muro y sus propiedades	
Grupo	4.Propiedades	



**DIMCAD software de análisis y diseño de mampostería confinada por resistencia**

Caso de Uso	<b>4.2 Reemplazar</b>	
Usuario	Ingeniero Civil Arquitecto Estudiantes de ingeniería civil o arquitectura	
Precondiciones	El usuario debe estar dentro del programa, haber dibujado los ejes de los muros y definido las propiedades de los muros, y haber dibujado una o varias polilíneas que representen la losa y los pozos de luz en caso que los hubieren.	
Flujo Básico de Eventos	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Este caso de uso comienza cuando usuario decide reemplazar las propiedades de un muro ingresado en la base de datos del programa.</li> <li>2. El usuario solicita al sistema iniciar el proceso de reemplazar propiedades.</li> <li>3. El sistema solicita al usuario seleccionar un muro.</li> <li>4. El sistema solicita al usuario ingresar un nuevo valor para el espesor del muro</li> <li>5. El sistema reemplaza los datos ingresados en el paso anterior y almacena en la base de datos.</li> </ol>	
Flujo Alternativo de Eventos	<b>PASO</b>	<b>ACCION</b>
	<b>2-5</b>	Si el usuario solicita cancelar el caso de uso termina
Resultado	Se ha reemplazado en la base de datos el espesor del muro seleccionado	

Grupo	4.Propiedades	
Caso de Uso	<b>4.3 Borrar</b>	
Usuario	Ingeniero Civil Arquitecto Estudiantes de ingeniería civil o arquitectura	
Precondiciones	El usuario debe estar dentro del programa, haber dibujado los ejes de los muros y definido las propiedades de los muros, y haber dibujado una o varias polilíneas que representen la losa y los pozos de luz en caso que los hubieren.	
Flujo Básico de Eventos	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Este caso de uso comienza cuando el usuario decide borrar un muro y sus propiedades de la pantalla y de la base de datos del programa.</li> <li>2. El usuario solicita al sistema iniciar el proceso borrar propiedades.</li> <li>3. El sistema solicita al usuario seleccionar un muro.</li> <li>4. El sistema borra el muro de la pantalla y sus propiedades de la base de datos</li> <li>5. El usuario observa al muro borrado de la pantalla</li> </ol>	
Flujo Alternativo	<b>PASO</b>	<b>ACCION</b>

**DIMCAD software de análisis y diseño de mampostería confinada por resistencia**

de Eventos	2-4	Si el usuario solicita cancelar el caso de uso termina
Resultado	Se ha borrado en pantalla y en la base de datos el muro seleccionado	

### Grupo 5. Análisis

Grupo	5. Analizar	
Caso de Uso	<b>5.1 Analizar la edificación planteada</b>	
Usuario	Ingeniero Civil Arquitecto Estudiantes de ingeniería civil o arquitectura	
Precondiciones	El usuario debe estar dentro de la opción analizar	
Flujo Básico de Eventos	<ol style="list-style-type: none"> <li>Este caso de uso comienza cuando el decide ejecutar el análisis sísmico de la vivienda</li> <li>El usuario solicita al sistema iniciar el proceso de análisis</li> <li>El sistema realiza los procesos de: obtención de propiedades geométricas de todos las paredes, análisis de fuerzas verticales, análisis de fuerzas horizontales y chequeo a flexocompresión y finalmente almacena todos los cálculos realizados y muestra en pantalla si es optimo o no el diseño</li> <li>El usuario verifica la Información mostrada en pantalla y se termina el caso de uso</li> </ol>	
Flujo Alternativo de Eventos	<b>PASO</b>	<b>ACCION</b>
	2-4	Si el usuario solicita cancelar el caso de uso termina
Resultado	Se ha analizado la edificación	

### Grupo 6. Diseño

Grupo	6. Diseño	
Caso de Uso	<b>6.1 Diseñar la edificación planteada</b>	
Usuario	Ingeniero Civil Arquitecto Estudiantes de ingeniería civil o arquitectura	
Precondiciones	El usuario debe estar dentro de la opción diseñar y haber realizado previamente el análisis de la edificación	
Flujo Básico de Eventos	<ol style="list-style-type: none"> <li>Este caso de uso comienza cuando el usuario decide ejecutar el diseño de la vivienda</li> <li>El usuario solicita al sistema iniciar el proceso de diseño</li> </ol>	

**DIMCAD software de análisis y diseño de mampostería confinada por resistencia**

	3. El sistema realiza los procesos de: obtención de resultados del análisis, diseño por compresión axial, cortante, flexocompresión, aplastamiento y finalmente diseño de elementos confinantes	
Flujo Alternativo de Eventos	<b>PASO</b>	<b>ACCION</b>
	<b>2-3</b>	Si el usuario solicita cancelar el caso de uso termina
Resultado	Se ha diseñado la edificación	

**Grupo 7. Ver**

Grupo	7. Ver	
Caso de Uso	<b>7.1 Ver resultado de análisis</b>	
Usuario	Ingeniero Civil Arquitecto Estudiantes de ingeniería civil o arquitectura	
Precondiciones	El usuario debe realizar el análisis de la edificación previamente	
Flujo Básico de Eventos	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Este caso de uso comienza cuando el usuario desea ver visualmente el resultado del análisis de la edificación ejecutado anteriormente</li> <li>2. El usuario solicita al sistema iniciar el proceso de ver resultados del análisis</li> <li>3. El sistema muestra en pantalla una tabla con los resultados del análisis</li> <li>4. El usuario verifica la Información mostrada en pantalla y se termina el caso de uso</li> </ol>	
Flujo Alternativo de Eventos	<b>PASO</b>	<b>ACCION</b>
	<b>2-4</b>	Si el usuario solicita cancelar el caso de uso termina
Resultado	Se ha visualizado los resultados del análisis	

Grupo	7. Ver	
Caso de Uso	<b>7.2 Ver resultados del Diseño</b>	
Usuario	Ingeniero Civil Arquitecto Estudiantes de ingeniería civil o arquitectura	
Precondiciones	El usuario debe estar dentro de la opción analizar	
Flujo Básico de	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Este caso de uso comienza cuando el usuario desea ver visualmente el</li> </ol>	

## **DIMCAD software de análisis y diseño de mampostería confinada por resistencia**

Eventos	resultado del diseño de la edificación ejecutado anteriormente 2. El usuario solicita al sistema iniciar el proceso de ver resultados del análisis 3. El sistema muestra en pantalla una tabla con los resultados del diseño 4. El usuario verifica la Información mostrada en pantalla y se termina el caso de uso	
Flujo Alternativo de Eventos	<b>PASO</b>	<b>ACCION</b>
	<b>2-4</b>	Si el usuario solicita cancelar el caso de uso termina
Resultado	Se ha visualizado los resultados del diseño	

### **Grupo 8. Ayuda**

Grupo	4. Ayuda	
Caso de Uso	<b>4.1 Ayuda</b>	
Usuario	Ingeniero Civil Arquitecto Estudiantes de ingeniería civil o arquitectura	
Precondiciones	El usuario debe estar dentro de la opción ayuda	
Flujo Básico de Eventos	1. El usuario escoge la opción ayuda 2. Se presenta una pantalla con el contenido de ayuda del programa 3. El usuario selecciona el ítem de ayuda de interés	
Flujo Alternativo de Eventos	<b>PASO</b>	<b>ACCION</b>
	<b>2-3</b>	Si el usuario solicita cancelar el caso de uso termina
Resultado	Se ha consultado la ayuda	

## **9.3 Algoritmo**

### **INICIO**

#### **1. Ingresar datos que definen la edificación**

Ingresar y leer:

- Número de pisos del edificio(N)
- Altura de entrepiso de la vivienda (h)
- Espesor de losa (tlosa)

- Espesor de muros de mampostería (t)
- Peso específico de la mampostería (Ymas)
- Peso específico del hormigón armado (Yconc)
- Capacidad portante del suelo
- Carga muerta (DEAD)
- Carga viva o sobrecarga (LIVE)
- Peralte cadena de cimentación(Pte)

## **2. Ingresar datos sísmicos**

Ingresar y leer:

- Factor de zona sísmica (Z)
- Factor de reducción de resistencia sísmica (R)
- Coeficiente total de irregularidad en planta  $\Phi_{PA}$ ,
- Coeficiente total de irregularidad en elevación  $\Phi_{PE}$
- Seleccionar y leer:
- Tipo de suelo (Tsuelo)

## **3. Ingresar datos sobre los materiales a usar**

Ingresar y leer:

- Nombre del material(Matname)
- Módulo de elasticidad del material(Mname)
- Resistencia a la compresión (f'm)
- Resistencia a la fluencia(fy)

## **4. Ingresar datos sobre espesor de muros a usar**

Ingresar y leer:

- Nombre de la sección(Secname)
- Espesor de la unidad de mampostería(t)

Seleccionar y leer:

- Tipo de material de la unidad de mampostería(Matname)

## **5. Ingresar propiedades de los muros de mampostería**

- Seleccionar objeto(tipo line)

Ingresar y leer:

- Etiqueta(lbel)
- Seleccionar y leer:
- Sección(espesor)(Secname)

Calcular:

- Coordenadas inicial y final
- Longitud del muro(lw)
- Ángulo de orientación del muro

Almacenar en base de datos

## **6. Centro de masas y máximas dimensiones en planta**

Seleccionar:

- Losa de la edificación(elemento tipo polyline)
- Pozos de luz existentes en la losa(en caso de existir) (elemento tipo polyline)

Calcular:

- Área del entrepiso(área losa – sumatoria de área de pozos de luz)
- Centro de masas del entrepiso.
- Máximas dimensiones en X y Y del entrepiso

## **7. Áreas tributarias**

- Seleccionar un muro(elemento tipo line)
- Ingresar y leer a través de clics de ratón en pantalla los puntos que rodean el área tributaria del muro seleccionado

Calcular:

- El área encerrada entre los punto ingresados.
- La carga muerta y viva para el muro seleccionado.

## **8. Confinamientos**

- Seleccionar un muro(elemento tipo line)
- Ingresar y leer a través de clics de ratón en pantalla los puntos donde se ubicarán los confinamientos.

- Dibujo de confinamientos

Calcular:

- Momento de inercia del muro

## 9. Análisis

- Cálculo del peso total de la edificación
- Cálculo del cortante basal

$$V = \frac{Z * I * C}{R * \Phi_P * \Phi_E}$$

- Distribución de fuerzas de piso

$$F_i = \frac{(V - Ft) * W_i * h_i}{\sum_{i=1}^n W_i * h_i}$$

- Cálculo de la rigidez de un muro

$$K = \frac{1}{h \left( \frac{h^2}{3EI} + \frac{1}{AG} \right)}$$

- Distribución del cortante de piso a cada muro, de acuerdo a su rigidez

$$V_i = \frac{K_i}{\sum_{i=1}^n K_i} * V_{nivel}$$

- Cálculo del centro de rigidez de piso

$$X_{cr} = \frac{\sum K_{iy} * X_i}{\sum K_{iy}}$$

$$Y_{cr} = \frac{\sum K_{ix} * Y_i}{\sum K_{ix}}$$

- Cálculo de excentricidades

$$e_x = X_{cm} - X_{cr}$$

$$e_{accx} = 0.05 * dx$$

$$e_y = Y_{cm} - Y_{cr}$$

$$e_{accy} = 0.05 * dy$$

- Cálculo de momentos torsores

$$Mt_{1X} = V_x * (e_y + e_{accy})$$

$$Mt_{2X} = V_x * (e_y - e_{accy})$$

$$Mt_{1Y} = V_y * (e_x + e_{accx})$$

$$Mt_{2Y} = V_y * (e_x - e_{accx})$$

- Cálculo cortante por torsión para muros en la dirección X

$$\Delta V_{x_{1i}} = \frac{Mt_{1X} * K_{xi} * (Y_i - Y_{cr})}{\sum K_{xi} * (Y_i - Y_{cr})^2 + \sum K_{yi} * (X_i - X_{cr})^2}$$

$$\Delta V_{x_{2i}} = \frac{Mt_{2X} * K_{xi} * (Y_i - Y_{cr})}{\sum K_{xi} * (Y_i - Y_{cr})^2 + \sum K_{yi} * (X_i - X_{cr})^2}$$

- Cálculo cortante por torsión para muros en la dirección Y

$$\Delta V_{y_{1i}} = \frac{Mt_{1Y} * K_{yi} * (X_i - X_{cr})}{\sum K_{xi} * (Y_i - Y_{cr})^2 + \sum K_{yi} * (X_i - X_{cr})^2}$$

$$\Delta V_{y_{2i}} = \frac{Mt_{2Y} * K_{yi} * (X_i - X_{cr})}{\sum K_{xi} * (Y_i - Y_{cr})^2 + \sum K_{yi} * (X_i - X_{cr})^2}$$

- Cálculo del cortante de diseño para cada muro en dirección X

$$V_{di} = 1,4(V_i + \Delta V_{x_{1i}})$$

- Cálculo del cortante de diseño para cada muro en dirección Y

$$V_{di} = 1,4(V_i + \Delta V_{y_{1i}})$$

- Cálculo de momento último para cada muro dirección X y Y

$$M_i = \frac{F_2 * h_2 + F_1 * h_1}{F_2 + F_1} * V_{di}$$

- Cálculo de derivas

$$\text{DesplazamientoX} = \frac{V}{\text{Rigidez-en-X}}$$

$$\text{DesplazamientoY} = \frac{V}{\text{Rigidez-en-Y}}$$

$$\text{DerivaX} = \frac{R * \text{DesplazamientoX}}{h}, R = 5(\text{CEC} - 2000)$$

$$\text{DerivaY} = \frac{R * \text{DesplazamientoY}}{h}$$

## 10. Diseño

- Leer datos del análisis
- Calcular el máximo valor de combinación de carga para diseño por compresión axial  $P_u$
- Calcular carga axial nominal

$$P_{nd} = 0.80(0.85 f'_m A_{md}) \left[ 1 - \left( \frac{h}{40 * t} \right)^3 \right]$$

SI  $\Phi P_n \geq P_u$  ENTONCES

mostrar mensaje "OK"

SI NO

mostrar mensaje "OJO"

FIN SI

- Calcular cortante nominal del muro

$$V_{n\text{máx}} = 0,53 \sqrt{f'_m} * t * l_w$$

$$V_{n\text{min}} = \left( 0,265 \sqrt{f'_m} + \frac{P_u}{3 * t * l_w} \right) * (t * l_w)$$

SI  $V_n \leq V_{n\text{max}}$  ENTONCES

$$V_n = V_{\text{min}}$$

SI NO

$$V_n = V_{\text{máx}}$$

FIN SI

SI  $\Phi V_n \geq V_u$  ENTONCES

mostrar mensaje "OK"

SI NO

mostrar mensaje "OJO"

FIN SI

- Diseño para flexocompresión

- Diseño por aplastamiento

$$h' = \sqrt{lc^2 + h^2}$$

$$Amd = \frac{h'}{5} * t$$

$$Pnd = 0,80(0,85 * f'm * Amd) \left[ 1 - \left( \frac{h'}{40 * t} \right)^3 \right]$$

$$Pud = \frac{h'}{lw} Vu$$

SI  $\Phi Pnd \geq Pud$  ENTONCES

mostrar mensaje "OK"

SI NO

mostrar mensaje "OJO"

FIN SI

- Diseño de confinamientos por corte según ACI 318M-02

12. Ver resultados análisis

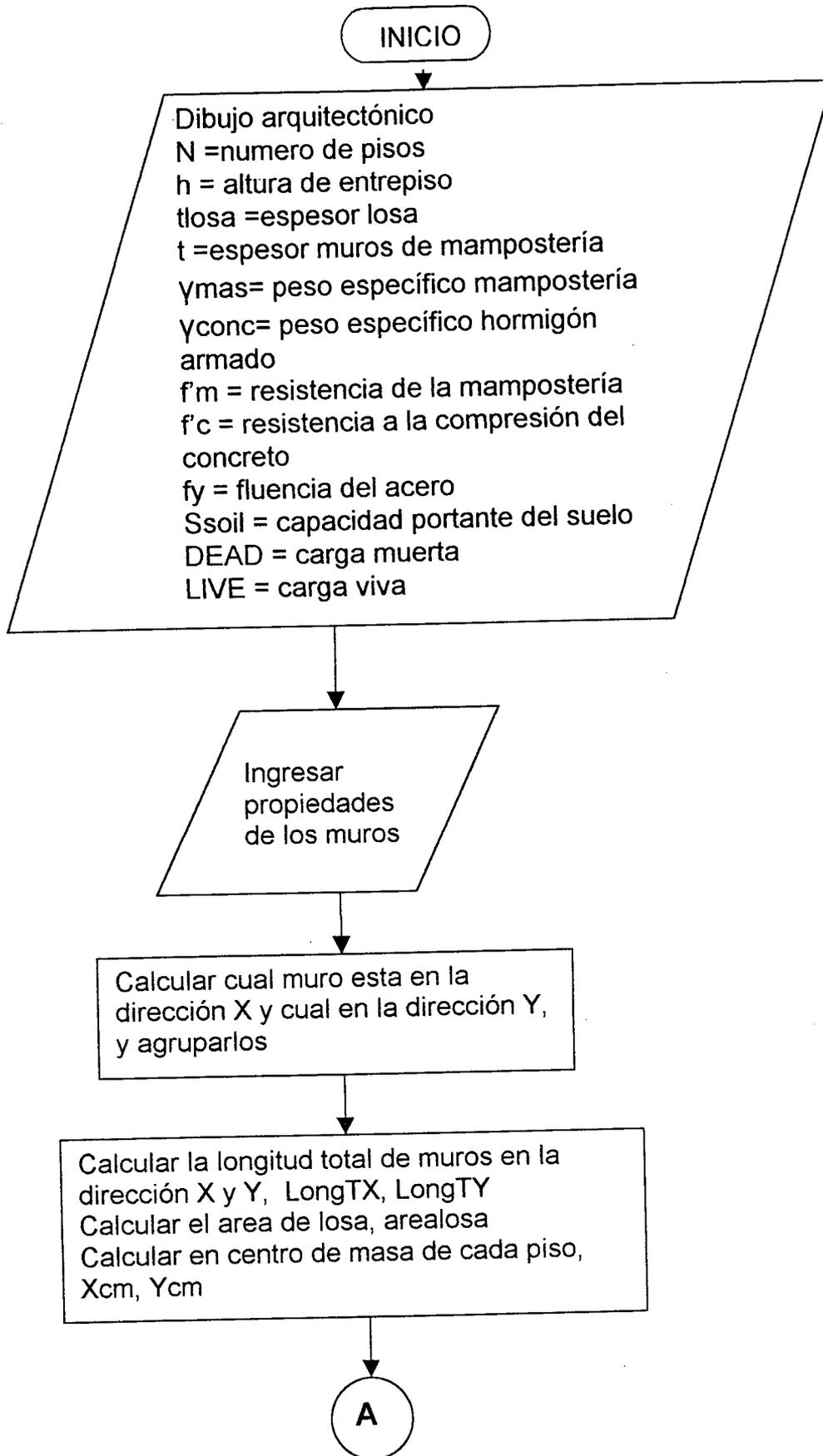
13. Ver resultados diseño

FIN



## 9.4 Flujograma

Para un mejor entendimiento y seguimiento del programa las variables del flujograma son las mismas del código CEC



**ANÁLISIS**

**A**

Calcular el peso de cada nivel  
 $PESO_i = LongTX \cdot h \cdot t \cdot \gamma_{mas} +$   
 $LongTX \cdot h \cdot t \cdot \gamma_{mas} + t_{losa} \cdot arealosa \cdot \gamma_{conc}$

Cargar muros, carga muerta y carga viva,  
de acuerdo a las áreas de aportación

$$w = \sum_{i=1}^n PESO$$

Peso total edificación

$$h_n = h_1 + h_2$$
$$T = C_t \cdot (h_n)^{0.75}$$

$$C = \frac{1,25 \cdot S^s}{T}$$

$C \geq 0,5$

NO

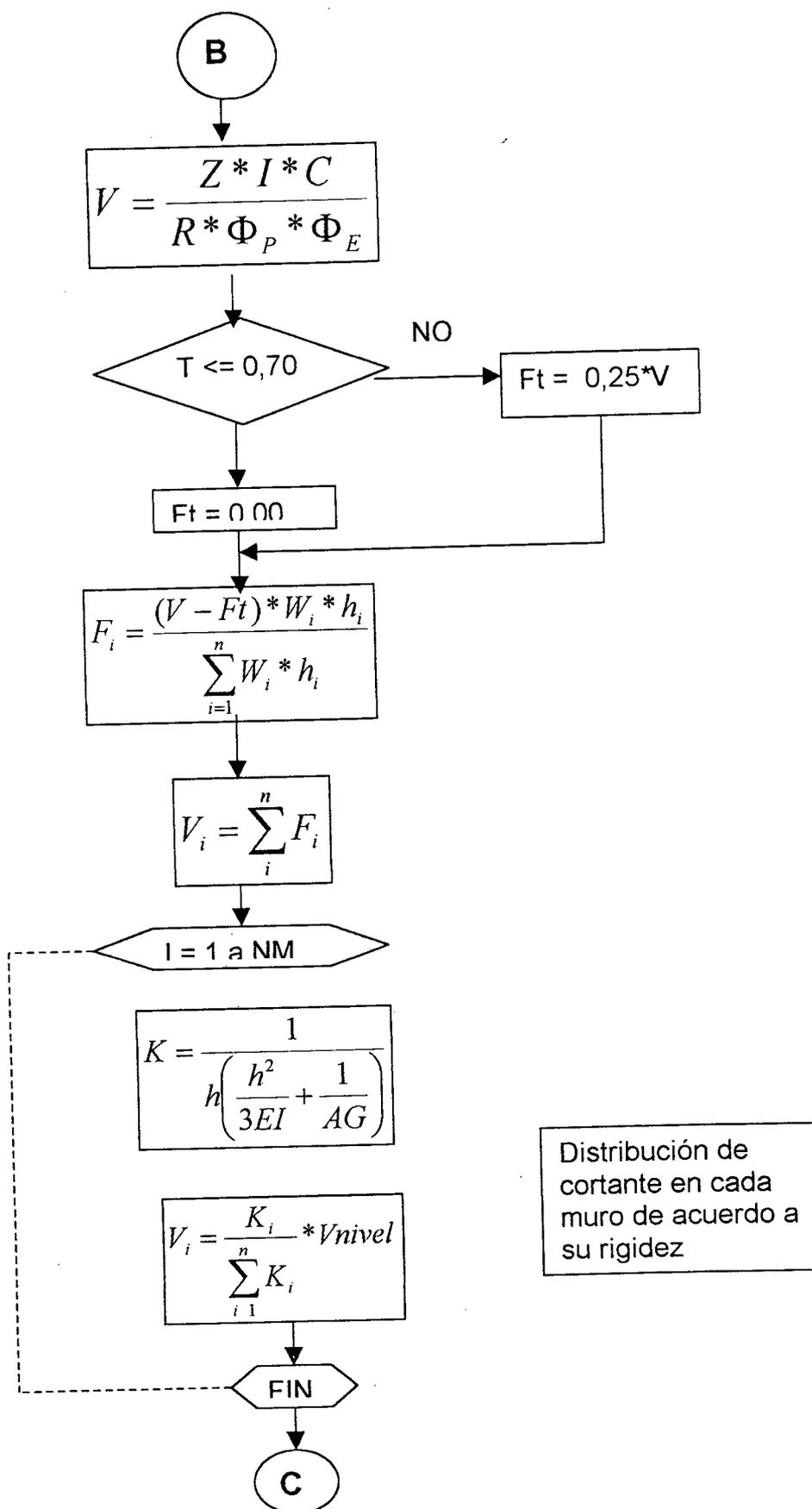
$C = 0,5$

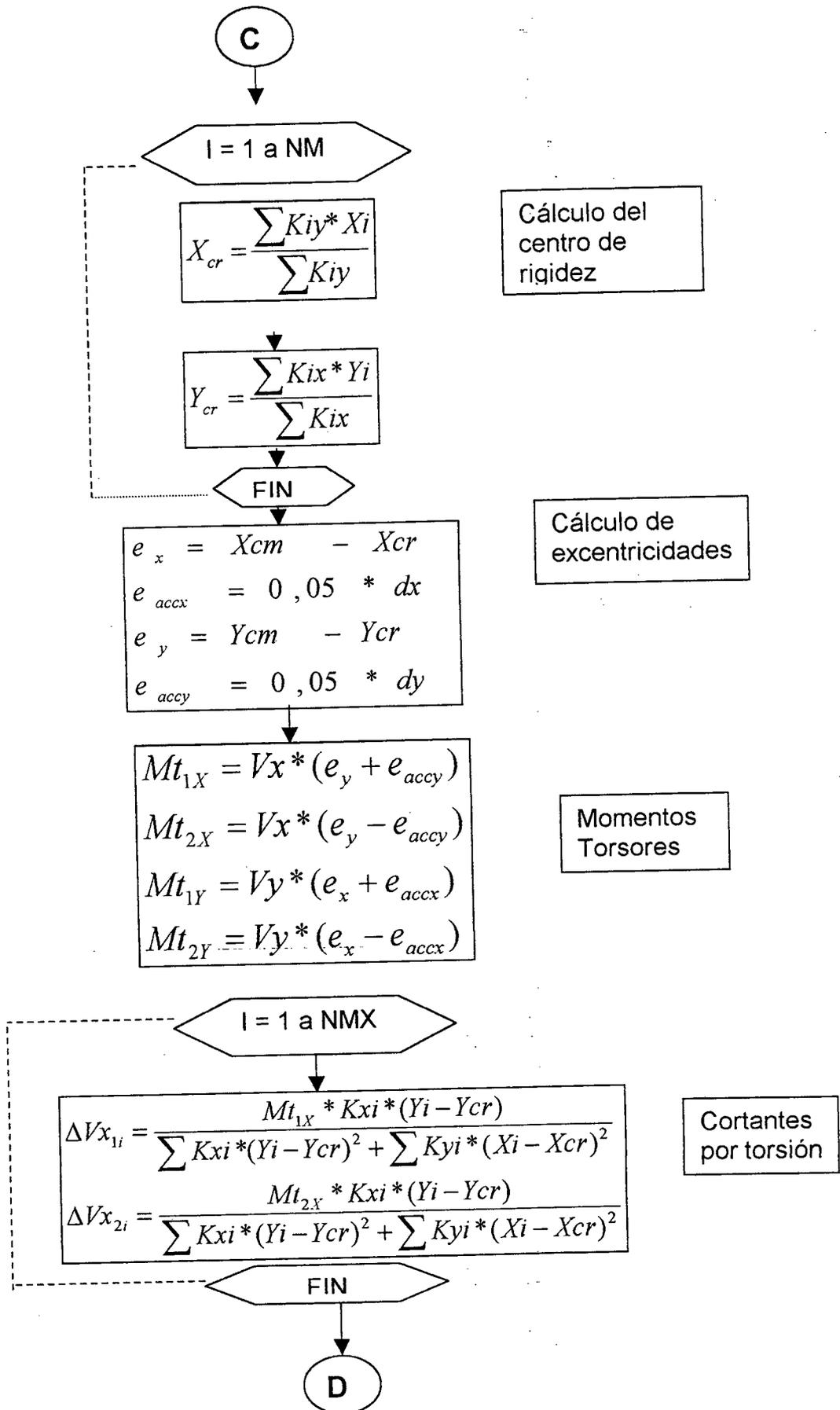
$C \leq C_m$

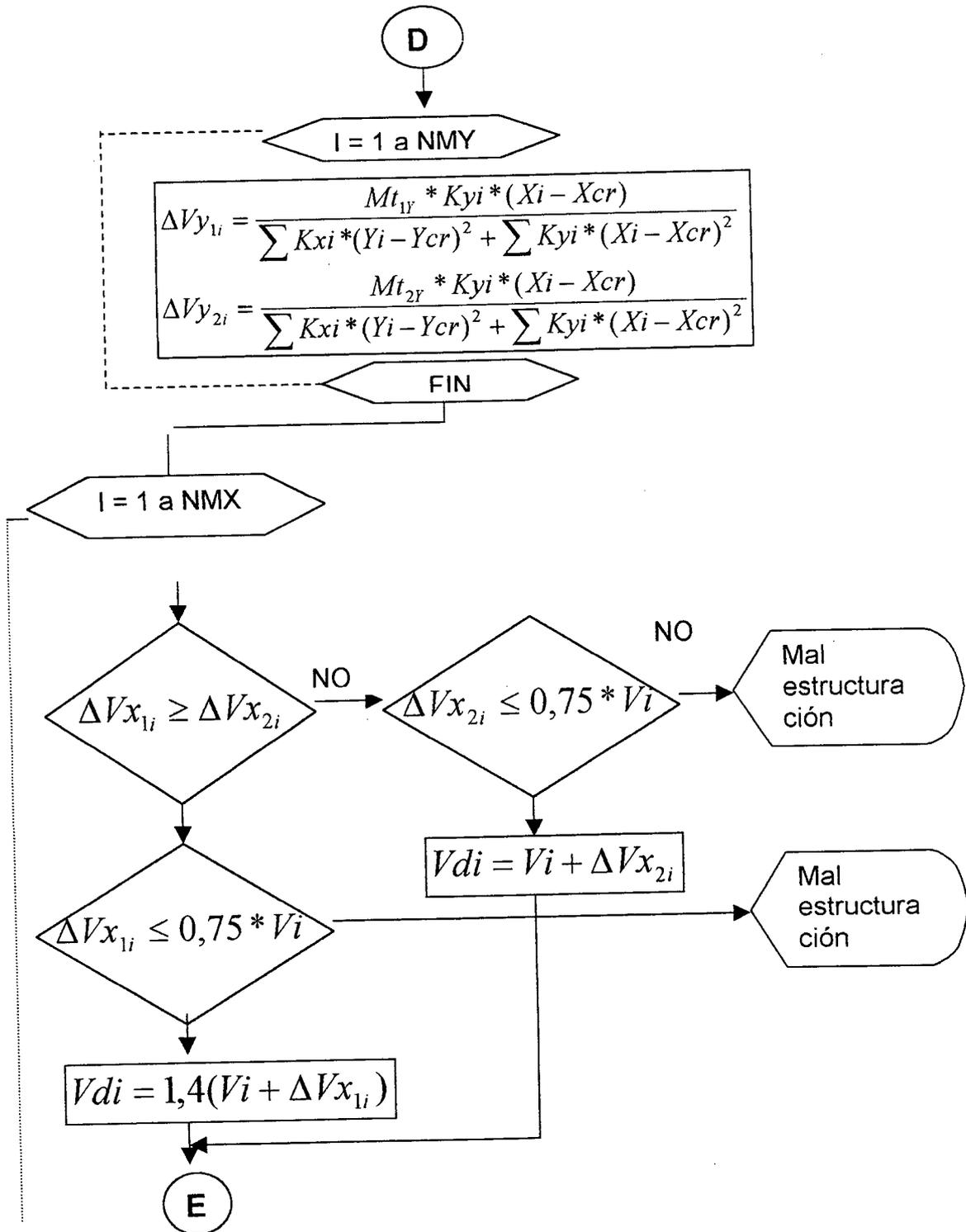
NO

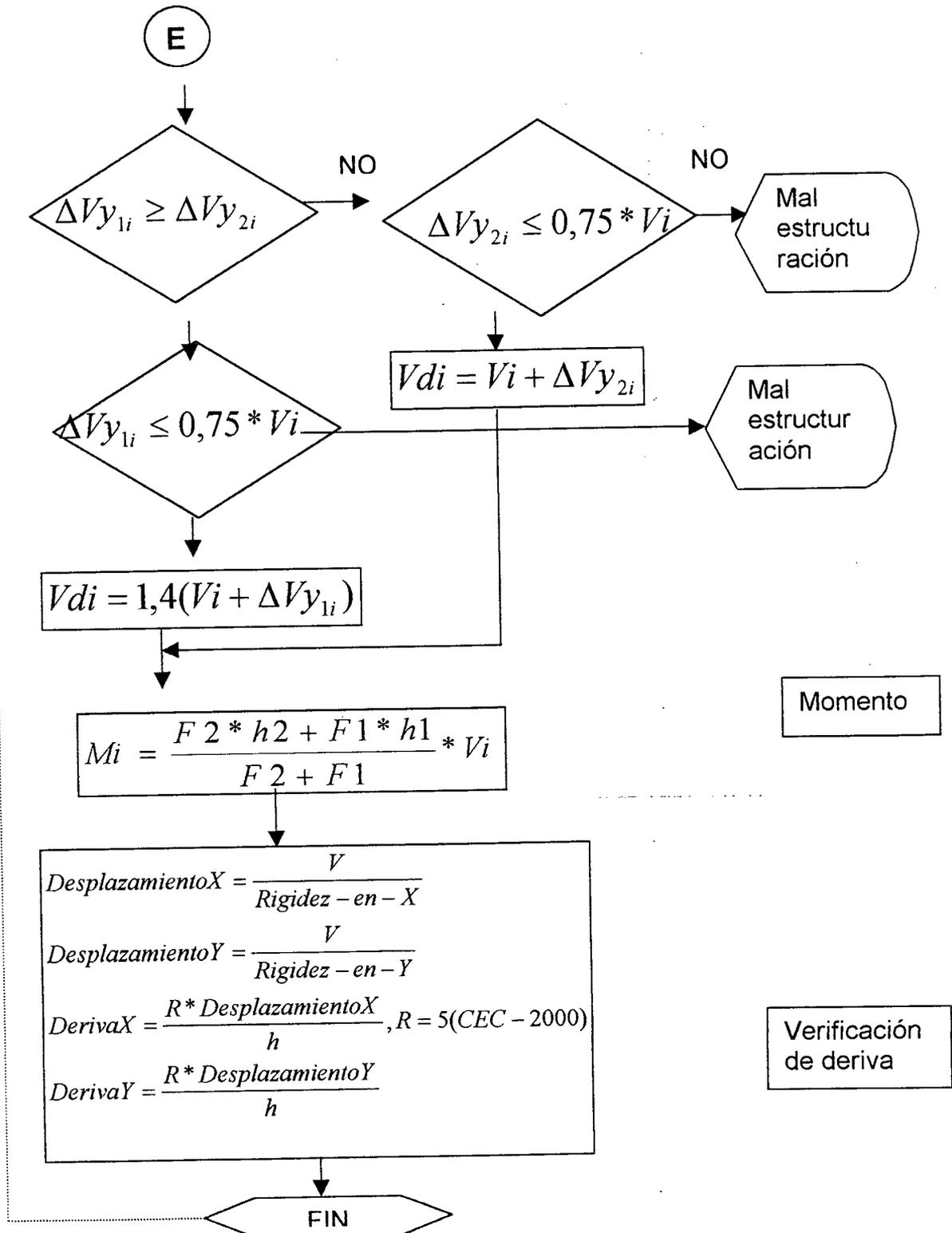
$C = C_m$

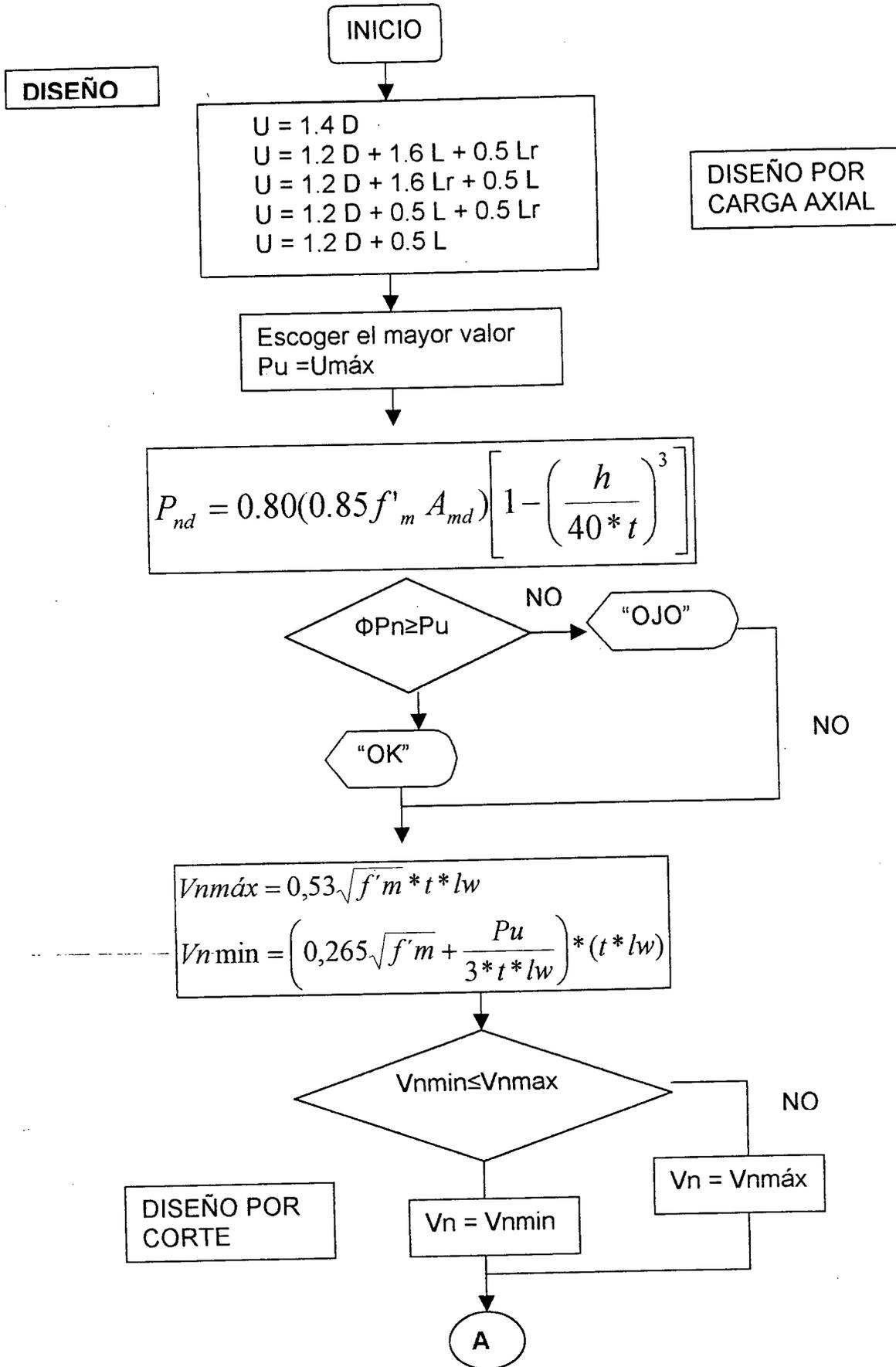
**B**

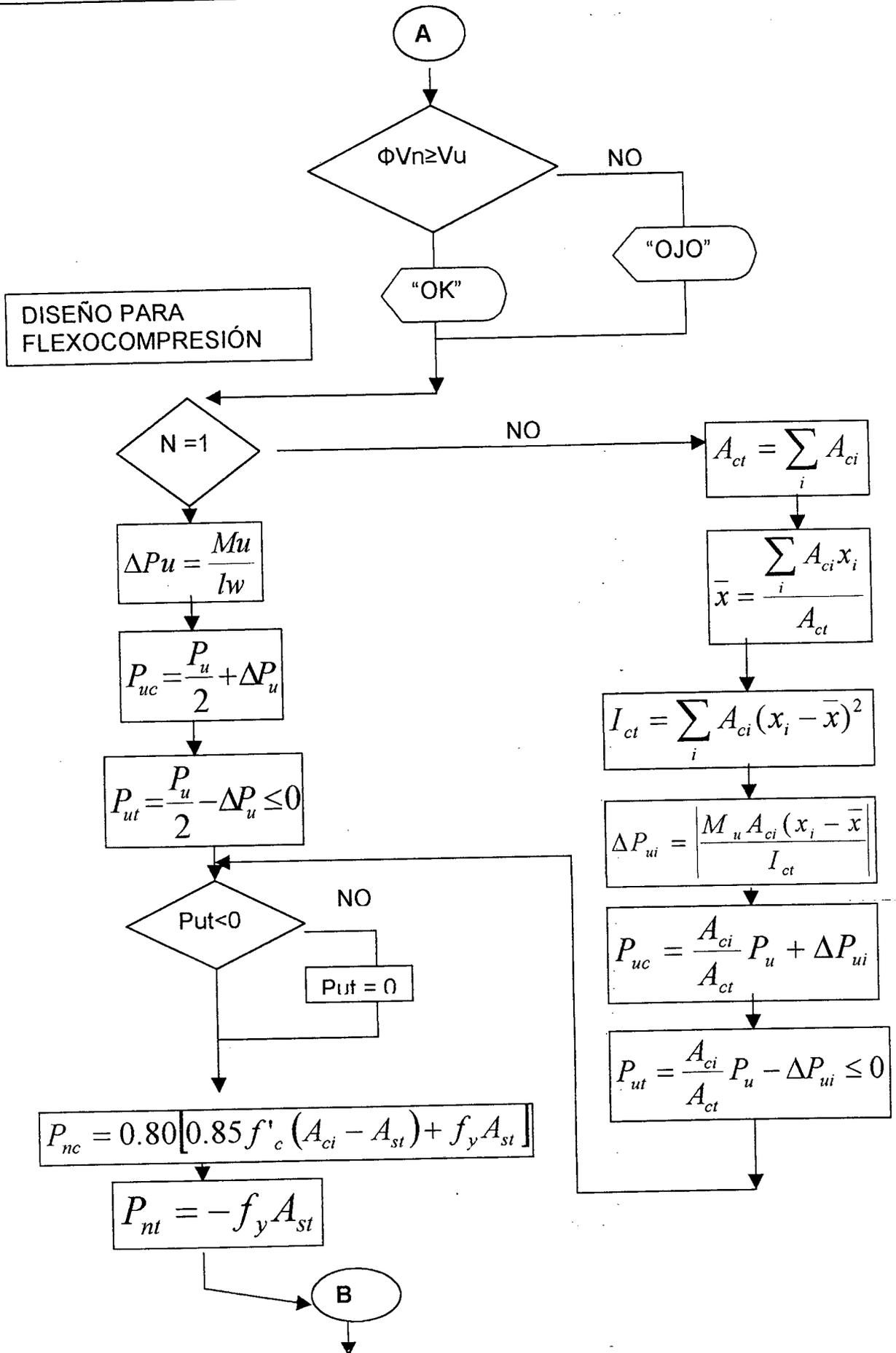


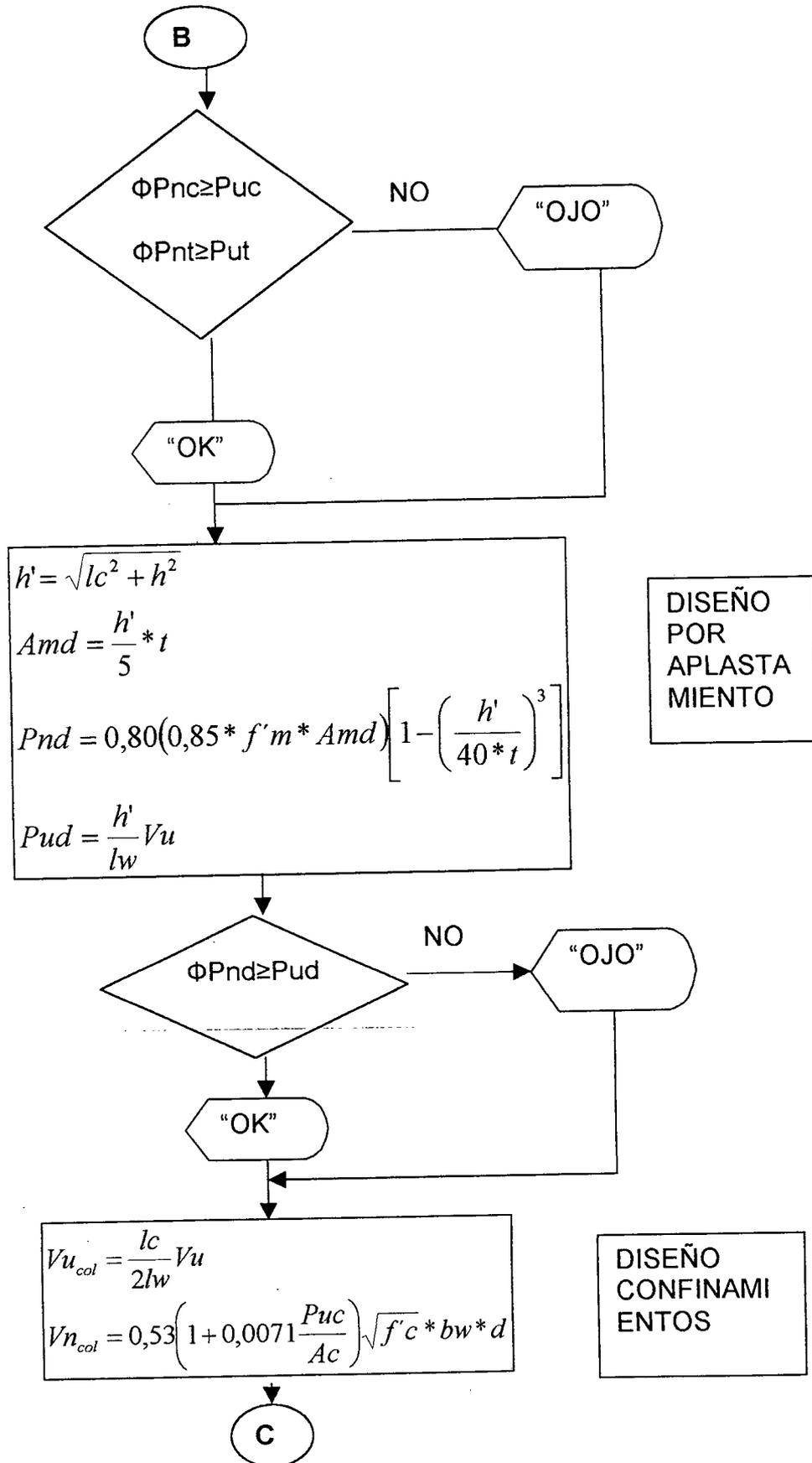


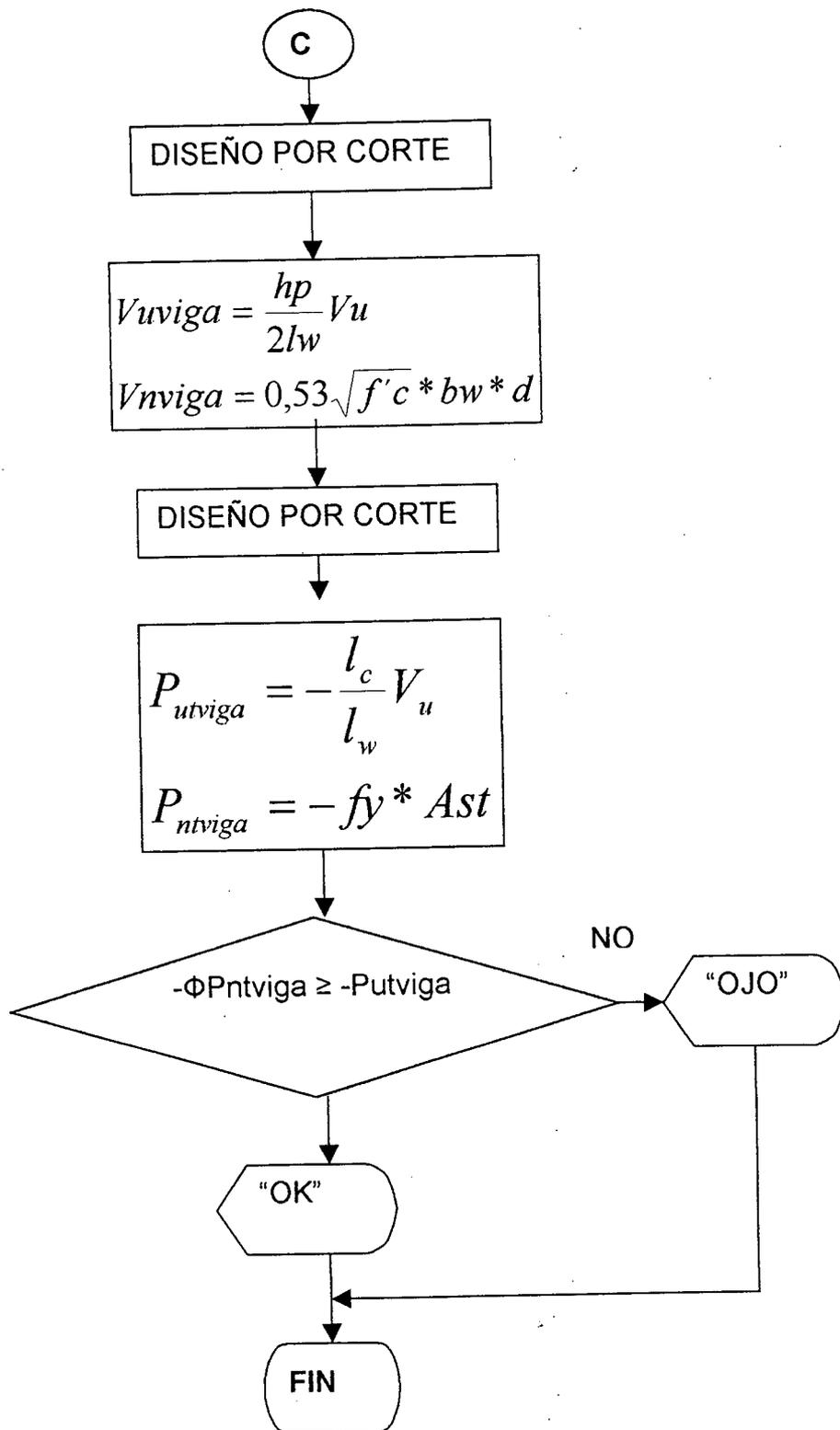












# 10

## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 10.1. Conclusiones

Luego de haber desarrollado la presente tesis se ha llegado a las siguientes conclusiones:

- A través de un programa gráfico como AutoCAD se puede desarrollar programas potentes y amigables que brinden resultados rápidos y confiables.
- La comparación de resultados obtenidos por un procedimiento manual y por la aplicación del software son semejantes.
- DIMCAD puede ser utilizado para evaluar edificaciones de mampostería de adobe y tapial como es el caso de algunos edificios públicos de nuestra ciudad y país. (Únicamente la parte de análisis)
- La mampostería es un sistema constructivo económico que puede ser implementado para solucionar el problema habitacional de nuestro país.
- Ecuador necesita actualizar y publicar nuevos códigos de construcción. No podemos seguir teniendo al CEC-79 como código vigente y único sistema de construcción (hormigón armado)
- En las universidades de nuestro país no se enseña la mampostería estructural como sistema constructivo.
- Existe poco conocimiento y consideraciones de diseño en cuanto a la mampostería de relleno en pórticos de hormigón armado.

### 10.2. Recomendaciones

La presente tesis trata de aportar con sugerencias al Código Ecuatoriano de la Construcción, en lo referente a normas para construcciones de mampostería confinada, que actualmente están a nivel de propuesta y que a continuación se citan.

- Incluir un tema sobre desempeño sísmico, para saber cual sería el comportamiento de una estructura ante un sismo, se podrían adoptar las ecuaciones y tablas del capítulo 7, que son producto de investigaciones mexicanas y chilenas en base a experiencias y eventos sucedidos en esos países (terremoto 1985, Chile) o desarrollar nuestras propias ecuaciones y tablas.
- Incluir las recomendaciones del capítulo 7, ítem 7.6 sobre el confinamiento de muros, cuando estos tienen aberturas, la norma mexicana 403, tiene en su documento algunas de estas recomendaciones, y pienso que el incluir estas recomendaciones aportarían significativamente a nuestro código definitivo.
- Hablar ampliamente de la mampostería de relleno en los pórticos de hormigón armado, la norma 403, trata este tema únicamente en lo relacionado a ligar o desligar las paredes del pórtico, y da algunas recomendaciones al respecto. Creo que no solo se debe incluir este punto sino también el tema del efecto columna corta, los problemas de: torsión, piso débil y efecto explosivo, para que sean incluidos no solo en el código de mampostería sino también en el código de diseño de hormigón armado.
- Se recomienda a las escuelas de ingeniería del país incluir en sus programas de estudio, el estudio de la mampostería como elemento estructural, no estructural y como sistema constructivo alternativo.
- Promocionar y difundir el programa *DIMCAD*, para incentivar el estudio y construcción de viviendas de mampostería confinada.
- Continuar con el desarrollo de nuevas versiones de *DIMCAD*, incluyendo columnas y muros de hormigón, es decir tratar de desarrollar un sistema mixto, que aproveche las bondades de ambos sistemas.
- Finalmente implementar un módulo de diseño de adobe y tapial para la evaluación estructural de edificios públicos antiguos.

# ANEXO

EJEMPLO DE DISEÑO

A continuación se presenta un ejemplo de diseño de una edificación de dos plantas, ubicada en la ciudad de Loja (zona 2 según CEC-2000) y se levantará sobre suelo arcilloso. La geometría en planta a sido tomada de la [REF.26], las medidas son impuestas por autor.

Los datos  $f'm$  y  $E_m$  han sido tomados de la [REF.14], los mismos que fueron obtenidos en el laboratorio materiales de la UCG, en 1994.

**Datos:**

Número de pisos = 2

Altura de piso = 2.40 m

Peso Losa (espesor 20cm) + cielo raso + acabado de piso = 485 Kg/cm<sup>2</sup>

Carga viva = 200 Kg/cm<sup>2</sup>

Carga cubierta = 100 Kg/cm<sup>2</sup>

Capacidad portante del suelo = 1.5 Kg/cm<sup>2</sup>

Peralte Cadena = 0.30 m

Z = 0.25g

Tipo suelo = S3

Resistencia a la compresión de la mampostería  $f'm$  = 31,49 Kg/cm<sup>2</sup>

Módulo de Elasticidad de la mampostería = 25 532 Kg/cm<sup>2</sup>

Resistencia a la compresión del hormigón = 180 Kg/cm<sup>2</sup>

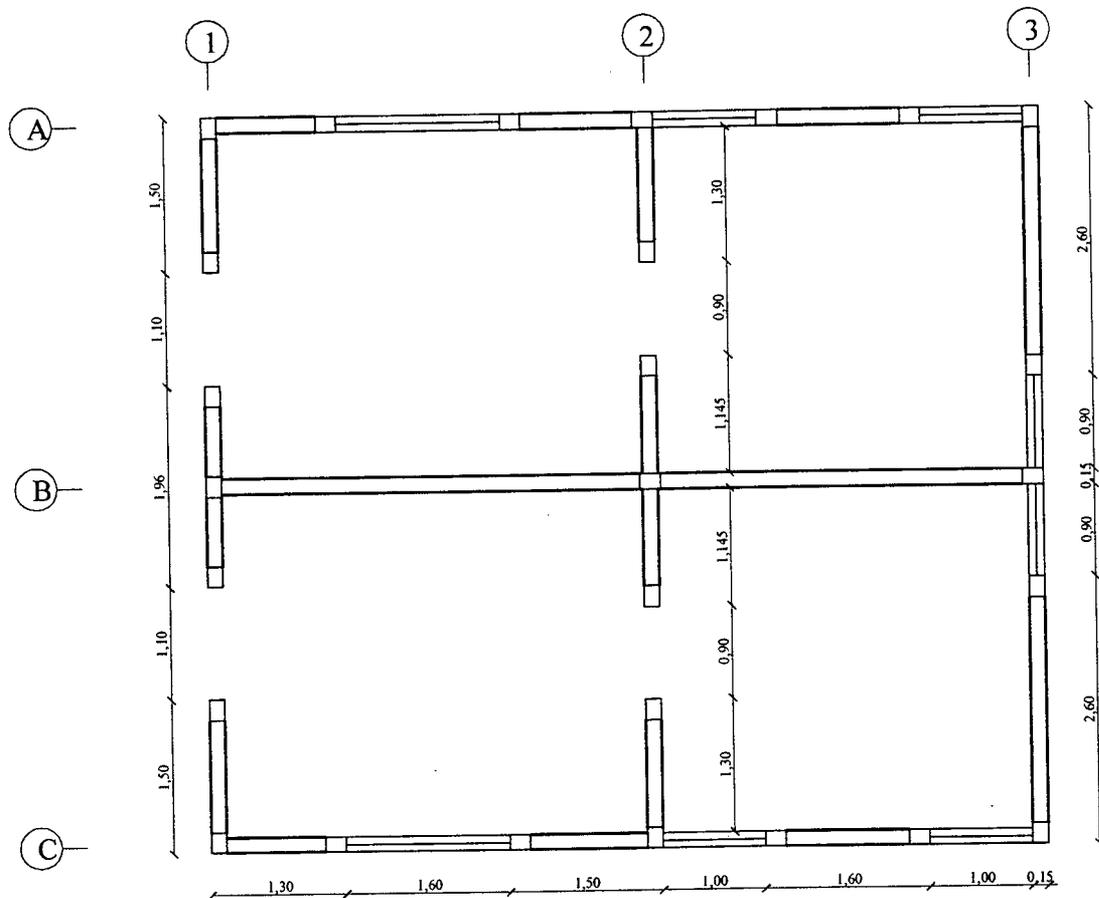
Fluencia acero = 4200 Kg/cm<sup>2</sup>

Losa armada en dos direcciones

Espesor de muros de mampostería = 0.125 m

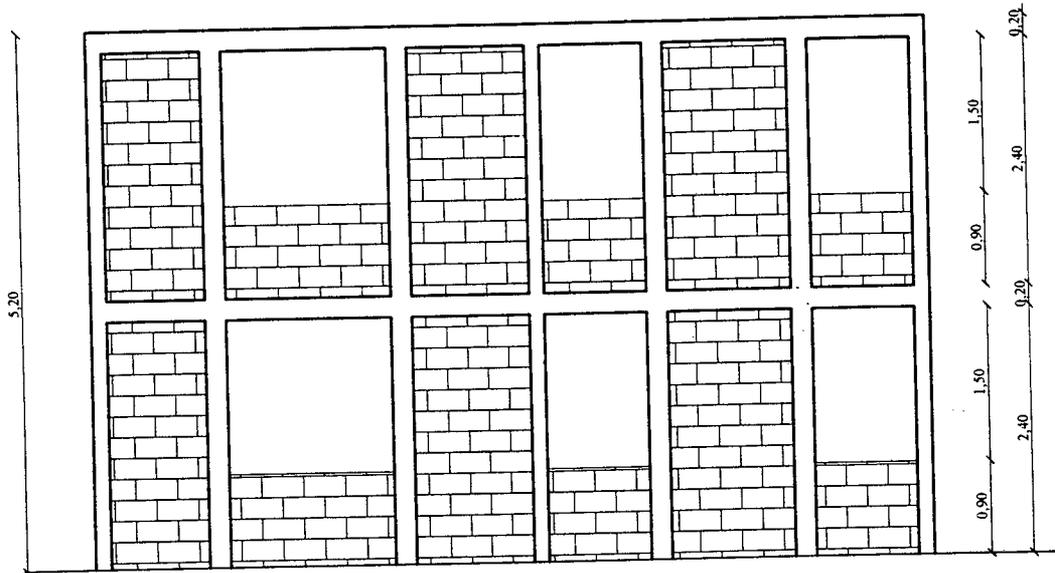
Columnas y vigas de confinamiento 0.125 x 0.20 m con 4 varillas longitudinales  $\phi$  = 10 mm

Estribos  $\phi$  = 6 mm

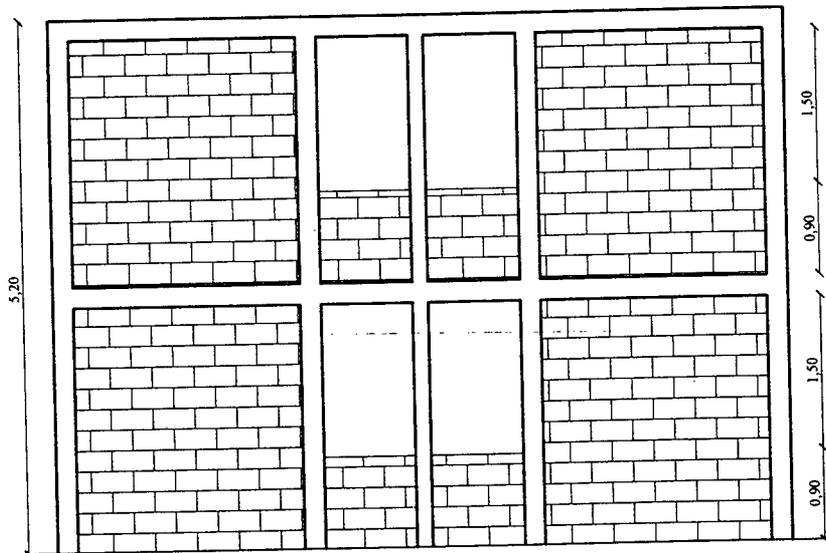


**PLANTA TIPO**

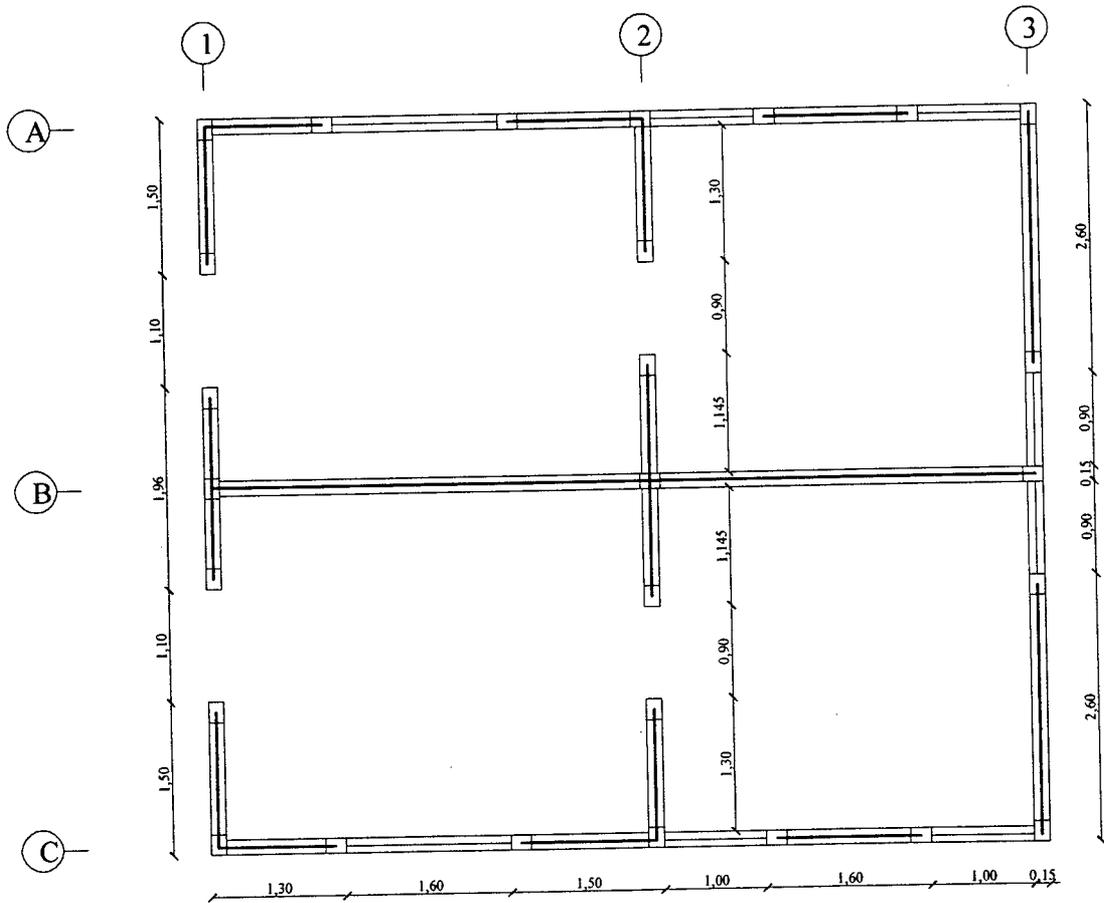
ESCALA: 1\_75



VISTA LATERAL EJES A, C  
ESCALA: 1\_75

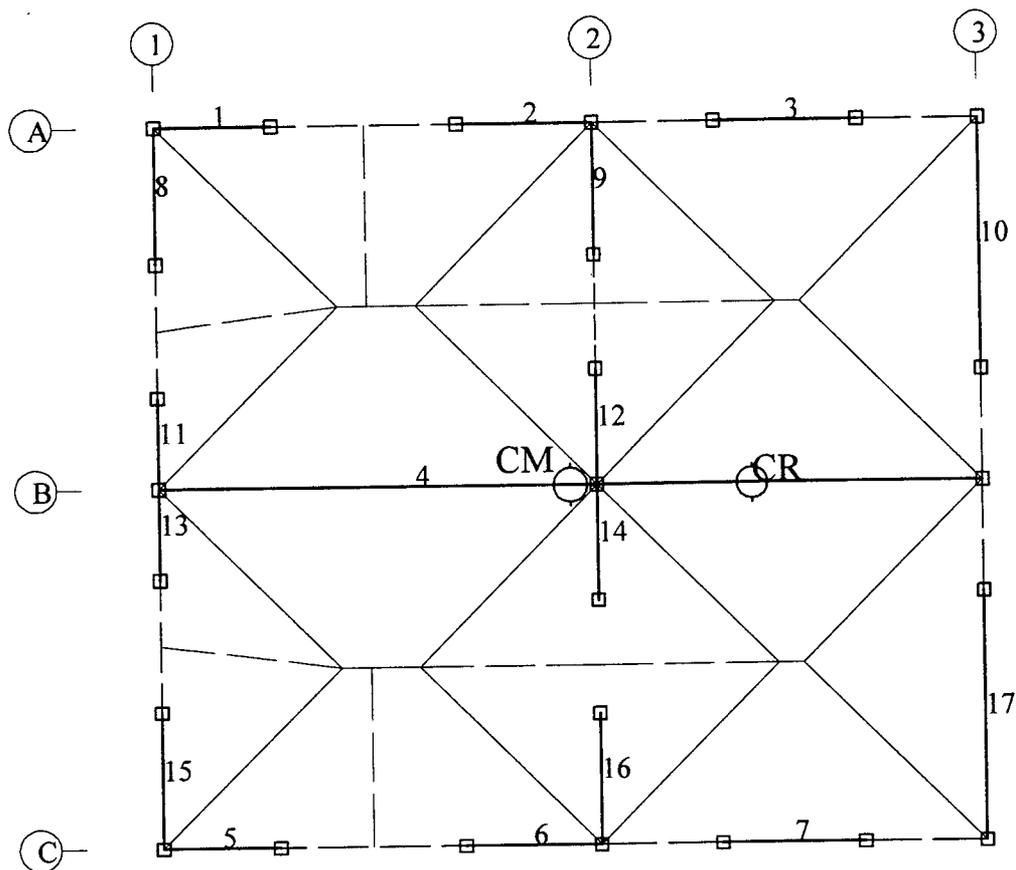


VISTA LATERAL EJE 3  
ESCALA: 1\_75



**EJES DE MUROS**

ESCALA: 1/75



### DISTRIBUCIÓN DE ÁREAS TRIBUTARIAS

ESCALA: 1/75

- VIGAS DE CONFINAMIENTO
- COLUMNAS DE CONFINAMIENTO
- CM ○ CENTRO DE MASAS
- CR ○ CENTRO DE RIGIDEZ

**ANÁLISIS Y DISEÑO DE MAMPOSTERÍA  
CONFINADA  
DATOS GENERALES**

CARGAS MUERTAS	
Muros	1800 Kg/m <sup>3</sup>
Losa+enlucido+piso acabado	485 Kg/m <sup>2</sup>
Concreto	2400 Kg/m <sup>3</sup>
Tabiquería	0 Kg/m <sup>2</sup>

CARGAS VIVAS	
Sobrecarga Típica	200 Kg/m <sup>2</sup>
Azotea	100 Kg/m <sup>2</sup>

OTROS DATOS	
Número de Pisos	2
Altura de Entrepiso	2.40 m
Capacidad Portante del Terreno	1.50 Kg/cm <sup>2</sup>
Ancho Muro	0.125 m
Peralte Losa Aligerada	0.20 m
Peralte Sobrecimiento	0.30 m

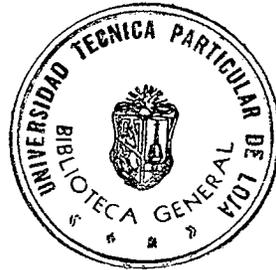
MATERIALES	
Unidad de mampostería	arcilla
Tipo	31.49 Kg/cm <sup>2</sup>
f'm	25532 Kg/cm <sup>2</sup>
Em	4200 Kg/cm <sup>2</sup>
fy acero	180 Kg/cm <sup>2</sup>
Hormigón armado	202587.76 Kg/cm <sup>2</sup>
f'c	
E	

GEOMETRIA	
PISO 1	
AREA	56 m <sup>2</sup>
CENTRO MASA	
X	4.07 m
Y	3.58 m
Mayor dimensión en planta en X	8.00 m
Mayor dimensión en planta en Y	7.00 m

FACTORES DE CARGA	
MUERTA	1.2
VIVA	1.6
CORTANTE	1.4
MOMENTO	1.4
FACTORES DE REDUCCION DE RESISTENCIA	
Carga axial de compresión, con o sin flexión	0.70
Carga axial de tracción	0.90
Flexión sin carga axial	0.90
Cortante	0.60
Cortante-RC	0.75

## ANÁLISIS POR CARGAS VERTICALES

# MURO	LONGITUD	# PAÑOS	AREA TRIBUTARIA(m <sup>2</sup> )	PESO PROPIO, D (Kg)	CARGA MUERTA, D (Kg)	CARGA VIVA, L (Kg)	CARGA VIVA CUBIERTA, Lr (Kg)	1.4D	1.2D+1.6L +0.5Lr	1.2D+1.6L r+0.5L	1.2D+0.5L +0.5Lr	1.2D+0.5L	Pu (Kg)
1	1,130	1	2,03	1 220,40	1 964,86	405,12	202,56	4 459,36	4 571,79	4 348,97	4 126,15	4 024,87	4 571,79
2	1,325	1	2,37	1 431,00	2 295,87	473,38	236,69	5 217,62	5 347,99	5 087,63	4 827,27	4 708,93	5 347,99
3	1,390	1	3,48	1 501,20	3 378,03	696,50	348,25	6 830,92	7 143,60	6 760,52	6 377,45	6 203,32	7 143,60
4	8,000	2	15,75	8 640,00	15 277,50	3 150,00	1 575,00	33 484,50	34 528,50	32 796,00	31 063,50	30 276,00	34 528,50
5	1,130	1	2,03	1 220,40	1 964,86	405,13	202,56	4 459,36	4 571,79	4 348,97	4 126,15	4 024,87	4 571,79
6	1,325	1	2,37	1 431,00	2 295,87	473,37	236,69	5 217,62	5 347,99	5 087,63	4 827,27	4 708,93	5 347,99
7	1,390	1	3,48	1 501,20	3 378,03	696,50	348,25	6 830,92	7 143,60	6 760,52	6 377,45	6 203,32	7 143,60
8	1,325	1	1,73	1 431,00	1 674,16	345,19	172,59	4 347,22	4 364,79	4 174,93	3 985,08	3 898,78	4 364,79
9	1,280	1	3,06	1 382,40	2 970,63	612,50	306,25	6 094,24	6 356,76	6 019,88	5 683,01	5 529,88	6 356,76
10	2,425	1	3,06	2 619,00	2 970,63	612,50	306,25	7 825,48	7 840,68	7 503,80	7 166,93	7 013,80	7 840,68
11	0,880	1	1,34	950,40	1 296,47	267,31	133,66	3 145,61	3 190,77	3 043,74	2 896,72	2 829,89	3 190,77
12	1,120	1	3,06	1 209,60	2 970,62	612,50	306,25	5 852,31	6 149,39	5 812,52	5 475,64	5 322,52	6 149,39
13	0,880	1	1,34	950,40	1 296,47	267,31	133,66	3 145,61	3 190,77	3 043,74	2 896,72	2 829,89	3 190,77
14	1,120	1	3,06	1 209,60	2 970,62	612,50	306,25	5 852,31	6 149,39	5 812,52	5 475,64	5 322,52	6 149,39
15	1,325	1	1,73	1 431,00	1 674,16	345,19	172,59	4 347,22	4 364,79	4 174,93	3 985,08	3 898,78	4 364,79
16	1,280	1	3,06	1 382,40	2 970,63	612,50	306,25	6 094,24	6 356,76	6 019,88	5 683,01	5 529,88	6 356,76
17	2,425	1	3,06	2 619,00	2 970,62	612,50	306,25	7 825,47	7 840,67	7 503,80	7 166,92	7 013,80	7 840,67



## CORTANTE BASAL

**W<sub>TOTAL</sub>:** 78417,50 kg

DATOS	
S:	1,5
Cm:	2,8
Z:	0,25
I:	1
R:	5
Coeficientes de configuración en planta	
ΦA:	1
ΦB:	1
Φp:	1
Coeficientes de configuración en elevación	
ΦEA:	1
ΦEB:	1
ΦEC:	1
ΦE:	1

RESULTADOS	
T:	0,39 s
C:	5,84
Cadoptado:	2,8
Cortante Basal:	10978,45 Kg

PISO	Wi	hi	Wi*hi	Fx = Fy	Vpiso
2	35 192,50	4,80	168 924,00	6 801,50	6 801,50
1	43 225,00	2,40	103 740,00	4 176,95	10 978,45
	78 417,50		272 664,00	10 978,45	

Ecuaciones empleadas:

$$V = \frac{Z * I * C}{R * \Phi_P * \Phi_E} W_{TOTAL}$$

$$F_i = \frac{(V - Ft) * W_i * h_i}{\sum_{i=1}^n W_i * h_i}$$

## CORTANTE POR TRASLACIÓN

# MURO	LONGITUD	DIRECCIÓN	INERCIA(cm^4)	RIGIDEZ X (ki_X)	RIGIDEZ Y (ki_Y)	CORTE X	CORTE Y
1	1,130	X	1 503 017,71	7 314,48		184,69	
2	1,325	X	2 423 128,26	11 277,69		284,77	
3	1,390	X	2 797 519,79	12 814,07		323,56	
4	8,000	X	533 333 333,33	371 969,70		9 392,41	
5	1,130	X	1 503 017,71	7 314,48		184,69	
6	1,325	X	2 423 128,26	11 277,69		284,77	
7	1,390	X	2 797 519,79	12 814,07		323,56	
8	1,325	Y	2 423 128,26		11 277,69		749,77
9	1,280	Y	2 184 533,33		10 277,03		683,25
10	2,425	Y	14 854 703,78		50 245,71		3 340,48
11	0,880	Y	709 866,67		3 628,35		241,22
12	1,120	Y	1 463 466,67		7 137,31		474,51
13	0,880	Y	709 866,67		3 628,35		241,22
14	1,120	Y	1 463 466,67		7 137,31		474,51
15	1,325	Y	2 423 128,26		11 277,69		749,77
16	1,280	Y	2 184 533,33		10 277,03		683,25
17	2,425	Y	14 854 703,78		50 245,71		3 340,48

Σ =            434 782,18    165 132,17    10 978,45    10 978,45

Ecuaciones:

Rigidez muro:

$$K = \frac{1}{h \left( \frac{h^2}{3EI} + \frac{1}{AG} \right)}$$

Cortante en cada muro:

$$V_i = \frac{K_i}{\sum_{i=1}^n K_i} * V_{nivel}$$

### CÁLCULO DEL CENTRO DE RIGIDEZ

# MURO	DIRECCIÓN	RIGIDEZ X (Ki X)	RIGIDEZ Y (ki Y)	Xi(m)	Yi(m)	Ki_X*Yi	Ki_Y*Xi
1	X	7 314,48			7,08	5 174 993,86	
2	X	11 277,69			7,08	7 978 967,98	
3	X	12 814,07			7,08	9 065 955,60	
4	X	371 969,70			3,57	132 979 166,67	
5	X	7 314,48			0,08	54 858,59	
6	X	11 277,69			0,08	84 582,70	
7	X	12 814,07			0,08	96 105,54	
8	Y		11 277,69	0,07			84 582,70
9	Y		10 277,03	4,33			4 455 093,13
10	Y		50 245,71	8,07			40 573 408,25
11	Y		3 628,35	0,07			27 212,60
12	Y		7 137,31	4,33			3 094 022,69
13	Y		3 628,35	0,07			27 212,60
14	Y		7 137,31	4,33			3 094 022,69
15	Y		11 277,69	0,07			84 582,70
16	Y		10 277,03	4,33			4 455 093,13
17	Y		50 245,71	8,07			40 573 408,25

Ecuaciones:

Centro de rigidez:

$$X_{cr} = \frac{\sum K_{iy} * Xi}{\sum K_{iy}}$$

$$Y_{cr} = \frac{\sum K_{ix} * Yi}{\sum K_{ix}}$$

CENTRO DE MASA (m)

Xcm: 4,07  
Ycm: 3,58

Excentricidad:

$$e_x = X_{cm} - X_{cr}$$

$$e_{accx} = 0,05 * dx$$

$$e_y = Y_{cm} - Y_{cr}$$

$$e_{accy} = 0,05 * dy$$

EXCENTRICIDAD

ex(m) : -1,772  
ey(m) : 0,005

22,15%  
0,07%

Momentos torsores:

$$M_{1X} = V_x * (e_y + e_{accy})$$

$$M_{2X} = V_x * (e_y - e_{accy})$$

$$M_{1Y} = V_y * (e_x + e_{accx})$$

$$M_{2Y} = V_y * (e_x - e_{accx})$$

Mt1x(Kg-cm): 389 734,98  
Mt2x(Kg-cm): -378 756,52

Mt1y(Kg-cm): -1 506 138,62  
Mt2y(Kg-cm): -2 384 414,62

Σ = 434 782,18 165 132,17

155 434 630,93 96 468 638,75

CENTRO DE RIGIDEZ Xcr: 5,84 m  
Ycr: 3,57 m

### CORTANTE POR TORSIÓN

# MURO	DIRECCIÓN	RIGIDEZ X (K <sub>i_X</sub> )	RIGIDEZ Y (K <sub>i_Y</sub> )	Xi-Xcr	Yi-Ycr	K <sub>i_X</sub> *(Yi-Ycr) <sup>2</sup>	K <sub>i_Y</sub> *(Xi-Xcr) <sup>2</sup>	TORSION				Traslación X (Kg)	Traslación Y (Kg)	Cortante Total(Kg)	Cortante Diseño(Kg)	Momento
								Cort 1X	Cort 2X	Cort 1Y	Cort 2Y					
1	X	7 314,48			350,00	896 023 672,35		42,62	-41,42			184,69		227,31	318,24	123 694,81
2	X	11 277,69			350,00	1 381 517 423,35		65,71	-63,86			284,77		350,48	490,67	190 716,54
3	X	12 814,07			350,00	1 569 723 760,43		74,66	-72,56			323,56		398,22	557,51	216 698,16
4	X	371 969,70			0,00	0,00		0,00	0,00			9 392,41		9 392,41	13 149,37	5 110 996,55
5	X	7 314,48			-350,00	896 023 672,35		-42,62	41,42			184,69		226,11	316,56	123 041,54
6	X	11 277,69			-350,00	1 381 517 423,35		-65,71	63,86			284,77		348,63	488,08	189 709,30
7	X	12 814,07			-350,00	1 569 723 760,43		-74,66	72,56			323,56		396,12	554,57	215 553,71
8	Y		11 277,69	-576,69			3 750 643 741,74			418,41	662,40		749,77	1 412,17	1 977,04	768 451,01
9	Y		10 277,03	-150,69			233 366 875,44			99,63	157,73		683,25	840,97	1 177,36	457 626,82
10	Y		50 245,71	223,31			2 505 610 197,15			-721,85	-1 142,78		3 340,48	3 340,48	4 676,67	1 817 762,08
11	Y		3 628,35	-576,69			1 206 686 000,50			134,61	213,11		241,22	454,33	636,07	247 231,98
12	Y		7 137,31	-150,69			162 071 226,64			69,19	109,54		474,51	584,05	817,67	317 817,77
13	Y		3 628,35	-576,69			1 206 686 000,50			134,61	213,11		241,22	454,33	636,07	247 231,98
14	Y		7 137,31	-150,69			162 071 226,64			69,19	109,54		474,51	584,05	817,67	317 817,77
15	Y		11 277,69	-576,69			3 750 643 741,74			418,41	662,40		749,77	1 412,17	1 977,04	768 451,01
16	Y		10 277,03	-150,69			233 366 875,44			99,63	157,73		683,25	840,97	1 177,36	457 626,82
17	Y		50 245,71	223,31			2 505 610 197,15			-721,85	-1 142,78		3 340,48	3 340,48	4 676,67	1 817 762,08

Cortante por torsión:

$$\Delta K_x = \frac{M_{1x} * K_x * (Y_i - Y_{cr})}{\sum K_x * (Y_i - Y_{cr})^2 + \sum K_y * (X_i - X_{cr})^2}$$

$$\Delta K_y = \frac{M_{2x} * K_x * (Y_i - Y_{cr})}{\sum K_x * (Y_i - Y_{cr})^2 + \sum K_y * (X_i - X_{cr})^2}$$

$$\Delta K_y = \frac{M_{1y} * K_y * (X_i - X_{cr})}{\sum K_x * (Y_i - Y_{cr})^2 + \sum K_y * (X_i - X_{cr})^2}$$

$$\Delta K_x = \frac{M_{2y} * K_y * (X_i - X_{cr})}{\sum K_x * (Y_i - Y_{cr})^2 + \sum K_y * (X_i - X_{cr})^2}$$

Momento:

$$M = \frac{F2 * h2 + F1 * h1}{F2 + F1} * V_i$$

Σ = 434 782,18 165 132,17

7 694 529 712,25 15 716 756 082,94

## DISEÑO COMPRESIÓN AXIAL Y CORTE

# MURO	DIRECCIÓN	LONGITUD	Pu (Kg)	Pn (Kg)	$\Phi Pn \geq Pu$	CORTANTE ULTIMO Vu (Kg)	Vn min (Kg)	Vn max (kg)	Vn (kg)	$\Phi Vn \geq Vu$
1	X	1,130	4 571,79	26 901,16	OK	318,24	3 624,42	4 200,98	3 624,42	OK
2	X	1,325	5 347,99	31 543,40	OK	490,67	4 245,63	4 925,93	4 245,63	OK
3	X	1,390	7 143,60	33 090,81	OK	557,51	4 964,99	5 167,58	4 964,99	OK
4	X	8,000	34 528,50	190 450,71	OK	13 149,37	26 380,23	29 741,45	26 380,23	OK
5	X	1,130	4 571,79	26 901,16	OK	316,56	3 624,42	4 200,98	3 624,42	OK
6	X	1,325	5 347,99	31 543,40	OK	488,08	4 245,63	4 925,93	4 245,63	OK
7	X	1,390	7 143,60	33 090,81	OK	554,57	4 964,99	5 167,58	4 964,99	OK
8	Y	1,325	4 364,79	31 543,40	OK	1 977,04	3 917,89	4 925,93	3 917,89	OK
9	Y	1,280	6 356,76	30 472,11	OK	1 177,36	4 498,23	4 758,63	4 498,23	OK
10	Y	2,425	7 840,68	57 730,37	OK	4 676,67	7 121,25	9 015,38	7 121,25	OK
11	Y	0,880	3 190,77	20 949,58	OK	636,07	2 699,37	3 271,56	2 699,37	OK
12	Y	1,120	6 149,39	26 663,10	OK	817,67	4 131,70	4 163,80	4 131,70	OK
13	Y	0,880	3 190,77	20 949,58	OK	636,07	2 699,37	3 271,56	2 699,37	OK
14	Y	1,120	6 149,39	26 663,10	OK	817,67	4 131,70	4 163,80	4 131,70	OK
15	Y	1,325	4 364,79	31 543,40	OK	1 977,04	3 917,89	4 925,93	3 917,89	OK
16	Y	1,280	6 356,76	30 472,11	OK	1 177,36	4 498,23	4 758,63	4 498,23	OK
17	Y	2,425	7 840,67	57 730,37	OK	4 676,67	7 121,25	9 015,38	7 121,25	OK

Carga de compresión axial nominal:

$$P_{nd} = 0,80(0,85f'_m A_{nd}) \left[ 1 - \left( \frac{h}{40t} \right)^3 \right]$$

Cortante nominal:

$$V_{n\max} = 0,53\sqrt{f'_m} * t * lw$$

$$V_{n\min} = \left( 0,265\sqrt{f'_m} + \frac{P_u}{3 * t * lw} \right) * (t * lw)$$

DISEÑO FLEXOCOMPRESIÓN

# MUR O	DIRECCIÓN	LONGITUD	# PAÑOS	Pu (Kg)	Mu (kg)	Puc1	Puc2	Puc3	Put1≤0	Put2≤0	Put3≤0	Pnc1	Pnc2	Pnc3	Pnt1	Pnt2	Pnt3	ΦPnc≥Puc	Put≥ΦPnt
1	X	1,130	1	4.571,79	123.694,81	3.380,54			0,00			40.772,54			-13.196,40			OK	OK
2	X	1,325	1	5.347,99	190.716,54	4.113,36			0,00			40.772,54			-13.196,40			OK	OK
3	X	1,390	1	7.143,60	216.698,16	5.130,78			0,00			40.772,54			-13.196,40			OK	OK
4	X	8,000	2	34.528,50	5.110.996,55	18.027,49	11.785,96	17.751,03	4.991,51	11.233,04	5.267,97	40.772,54			-13.196,40			OK	OK
5	X	1,130	1	4.571,79	123.041,54	3.374,76			0,00			40.772,54			-13.196,40			OK	OK
6	X	1,325	1	5.347,99	189.709,30	4.105,76			0,00			40.772,54			-13.196,40			OK	OK
7	X	1,390	1	7.143,60	215.553,71	5.122,54			0,00			40.772,54			-13.196,40			OK	OK
8	Y	1,325	1	4.364,79	768.451,01	7.982,02			-3.617,24			40.772,54			-13.196,40			OK	OK
9	Y	1,280	1	6.356,76	457.626,82	6.753,59			-396,83			40.772,54			-13.196,40			OK	OK
10	Y	2,425	1	7.840,68	1.817.762,08	11.416,26			-3.575,59			40.772,54			-13.196,40			OK	OK
11	Y	0,880	1	3.190,77	247.231,98	4.404,84			-1.214,07			40.772,54			-13.196,40			OK	OK
12	Y	1,120	1	6.149,39	317.817,77	5.912,36			0,00			40.772,54			-13.196,40			OK	OK
13	Y	0,880	1	3.190,77	247.231,98	4.404,84			-1.214,07			40.772,54			-13.196,40			OK	OK
14	Y	1,120	1	6.149,39	317.817,77	5.912,36			0,00			40.772,54			-13.196,40			OK	OK
15	Y	1,325	1	4.364,79	768.451,01	7.982,02			-3.617,24			40.772,54			-13.196,40			OK	OK
16	Y	1,280	1	6.356,76	457.626,82	6.753,59			-396,83			40.772,54			-13.196,40			OK	OK
17	Y	2,425	1	7.840,67	1.817.762,08	11.416,26			-3.575,59			40.772,54			-13.196,40			OK	OK

Ecuaciones:

$$P_{uc} = \frac{P_u}{2} + \Delta P_u \quad P_u = \frac{P_u}{2} - \Delta P_u \leq 0 \quad P_{nc} = 0.80 [0.85 f'_c (A_{ci} - A_{st}) + f_y A_{st}] \quad P_{nt} = -f_y A_{st}$$

DIMCAD software de análisis y diseño de mampostería confinada por resistencia

## DISEÑO FLEXOCOMPRESIÓN - INFORMACIÓN SOBRE CONFINAMIENTOS

DISTANCIA DE LAS  
COLUMNAS AL BORDE  
DEL MURO

# MURO	DIRECCIÓN	LONGITUD	# PAÑOS	1	2	3	ANCHO COL b (cm)	AREA CONCRETO COL Aci	Ast col (cm <sup>2</sup> )	Act (cm <sup>2</sup> )	xm (cm)	lct	DELTA Pu1	DELTA Pu2	DELTA Pu3
1	X	1,130	1	0,000	1,130		20,00	250,00	3,142	500,00	56,500		1094,64		
2	X	1,325	1	0,000	1,325		20,00	250,00	3,142	500,00	66,250		1439,37		
3	X	1,390	1	0,000	1,390		20,00	250,00	3,142	500,00	69,500		1558,98		
4	X	8,000	2	0,000	4,260	8,000	20,00	250,00	3,142	750,00	408,667	80.112.666,68	6517,99	276,46	6241,53
5	X	1,130	1	0,000	1,130		20,00	250,00	3,142	500,00	56,500		1088,86		
6	X	1,325	1	0,000	1,325		20,00	250,00	3,142	500,00	66,250		1431,77		
7	X	1,390	1	0,000	1,390		20,00	250,00	3,142	500,00	69,500		1550,75		
8	Y	1,325	1	0,000	1,325		20,00	250,00	3,142	500,00	66,250		5799,63		
9	Y	1,280	1	0,000	1,280		20,00	250,00	3,142	500,00	64,000		3575,21		
10	Y	2,425	1	0,000	2,425		20,00	250,00	3,142	500,00	121,250		7495,93		
11	Y	0,880	1	0,000	0,880		20,00	250,00	3,142	500,00	44,000		2809,45		
12	Y	1,120	1	0,000	1,120		20,00	250,00	3,142	500,00	56,000		2837,66		
13	Y	0,880	1	0,000	0,880		20,00	250,00	3,142	500,00	44,000		2809,45		
14	Y	1,120	1	0,000	1,120		20,00	250,00	3,142	500,00	56,000		2837,66		
15	Y	1,325	1	0,000	1,325		20,00	250,00	3,142	500,00	66,250		5799,63		
16	Y	1,280	1	0,000	1,280		20,00	250,00	3,142	500,00	64,000		3575,21		
17	Y	2,425	1	0,000	2,425		20,00	250,00	3,142	500,00	121,250		7495,93		

Ecuaciones:

$$A_{ct} = \sum_i A_{ci} \quad \bar{x} = \frac{\sum_i A_{ci} x_i}{A_{ct}} \quad \Delta P_{ui} = \left| \frac{M_u A_{ci} (x_i - \bar{x})}{I_{ct}} \right|$$

## DISEÑO POR APLASTAMIENTO

DISTANCIA DE LAS  
COLUMNAS AL BORDE  
DEL MURO

# MURO	DIRECCIÓN	LONGITUD D	# PAÑOS	1	2	3	h'	h'	Amd1	Amd2	Pnd1	Pnd2	Pud1	Pud2	ΦPnd1 ≥ Pud1	ΦPnd2 ≥ Pud2
1	X	1,130	1	0,000	1,130		265,27		663,179		12 080,106		747,07		OK	OK
2	X	1,325	1	0,000	1,325		274,15		685,366		12 256,846		1015,21		OK	OK
3	X	1,390	1	0,000	1,390		277,35		693,366		12 313,213		1112,40		OK	OK
4	X	8,000	2	0,000	4,260	8,000	488,95	444,38	1 222,385	1 110,957	1 696,745	7 088,227	8036,79	7304,19		
5	X	1,130	1	0,000	1,130		265,27		663,179		12 080,106		743,13		OK	OK
6	X	1,325	1	0,000	1,325		274,15		685,366		12 256,846		1009,84		OK	OK
7	X	1,390	1	0,000	1,390		277,35		693,366		12 313,213		1106,53		OK	OK
8	Y	1,325	1	0,000	1,325		274,15		685,366		12 256,846		4090,55		OK	OK
9	Y	1,280	1	0,000	1,280		272,00		680,000		12 216,816		2501,90		OK	OK
10	Y	2,425	1	0,000	2,425		341,18		852,959		12 461,427		6579,80		OK	OK
11	Y	0,880	1	0,000	0,880		255,62		639,062		11 855,740		1847,67		OK	OK
12	Y	1,120	1	0,000	1,120		264,85		662,118		12 070,925		1933,55		OK	OK
13	Y	0,880	1	0,000	0,880		255,62		639,062		11 855,740		1847,67		OK	OK
14	Y	1,120	1	0,000	1,120		264,85		662,118		12 070,925		1933,55		OK	OK
15	Y	1,325	1	0,000	1,325		274,15		685,366		12 256,846		4090,55		OK	OK
16	Y	1,280	1	0,000	1,280		272,00		680,000		12 216,816		2501,90		OK	OK
17	Y	2,425	1	0,000	2,425		341,18		852,959		12 461,427		6579,80		OK	OK

Ecuaciones:  $h' = \sqrt{lc^2 + h^2}$

$$Amd = \frac{h'}{5} * t$$

$$Pnd = 0,80(0,85 * f' * m * Amd) \left[ 1 - \left( \frac{h'}{40 * t} \right)^3 \right]$$

$$Pud = \frac{h'}{hw} Vu$$

### DISEÑO CONFINAMIENTOS

# MURO	DIRECCIÓN	LONGITUD	# PAÑOS	DISTANCIA DE LAS COLUMNAS AL BORDE DEL MURO			Vu col1	Vu col2	Vn col1	Vn col2	Vu beam	Vn beam	Φ Vn col1 ≥ Vu col1	Φ Vn col2 ≥ Vu col2	Φ Vn beam ≥ Vu beam	Estribos 6mm@	Estribos 6mm@	Estribos 6mm@	VIGA			
				1	2	3													Put1	Put2	Pnt	-Φ Pnt ≥ Put
1	X	1,130	1	0,000	1,130		159,12		1 748,29		337,95	1 555,465	OK	OK	OK	33,90		33,90	-318,24		-13196,40	OK
2	X	1,325	1	0,000	1,325		245,33		1 773,48		444,38	1 555,465	OK	OK	OK	33,90		33,90	-490,67		-13196,40	OK
3	X	1,390	1	0,000	1,390		278,76		1 780,87		481,31	1 555,465	OK	OK	OK	33,90		33,90	-557,51		-13196,40	OK
4	X	8,000	2	0,000	4,260	8,000	3 501,02	3 073,66	2 693,13	961,69	1 972,41	1 555,465				8,75	8,75	8,75	-7002,04	-6147,33	-13196,40	OK
5	X	1,130	1	0,000	1,130		158,28		1 699,72		336,17	1 555,465	OK	OK	OK	33,90		33,90	-316,56		-13196,40	OK
6	X	1,325	1	0,000	1,325		244,04		1 724,21		442,03	1 555,465	OK	OK	OK	33,90		33,90	-488,08		-13196,40	OK
7	X	1,390	1	0,000	1,390		277,28		1 780,87		478,76	1 555,465	OK	OK	OK	33,90		33,90	-554,57		-13196,40	OK
8	Y	1,325	1	0,000	1,325		988,52		1 693,19		1 790,53	1 555,465	OK	OK		33,90		8,75	-1977,04		-13196,40	OK
9	Y	1,280	1	0,000	1,280		588,68		1 756,04		1 103,78	1 555,465	OK	OK	OK	33,90		33,90	-1177,36		-13196,40	OK
10	Y	2,425	1	0,000	2,425		2 338,33		1 802,87		2 314,23	1 555,465		OK		8,75		8,75	-4676,67		-13196,40	OK
11	Y	0,880	1	0,000	0,880		318,03		1 656,15		867,37	1 555,465	OK	OK	OK	33,90		33,90	-636,07		-13196,40	OK
12	Y	1,120	1	0,000	1,120		408,83		1 749,50		876,07	1 555,465	OK	OK	OK	33,90		33,90	-817,67		-13196,40	OK
13	Y	0,880	1	0,000	0,880		318,03		1 656,15		867,37	1 555,465	OK	OK	OK	33,90		33,90	-636,07		-13196,40	OK
14	Y	1,120	1	0,000	1,120		408,83		1 749,50		876,07	1 555,465	OK	OK	OK	33,90		33,90	-817,67		-13196,40	OK
15	Y	1,325	1	0,000	1,325		988,52		1 693,19		1 790,53	1 555,465	OK	OK		33,90		8,75	-1977,04		-13196,40	OK
16	Y	1,280	1	0,000	1,280		588,68		1 756,04		1 103,78	1 555,465	OK	OK	OK	33,90		33,90	-1177,36		-13196,40	OK
17	Y	2,425	1	0,000	2,425		2 338,33		1 802,87		2 314,23	1 555,465		OK		8,75		8,75	-4676,67		-13196,40	OK

Ecuaciones:

Columna:

$$V_{u,col} = \frac{l_c}{2h_v} V_u$$

$$V_{n,col} = 0,53 \left( 1 + 0,0071 \frac{P_{uc}}{A_c} \right) \sqrt{f'_c} * b_w * d$$

Viga:

$$V_{u,viga} = \frac{hp}{2lw} V_u$$

$$V_{n,viga} = 0,53 \sqrt{f'_c} * b_w * d$$

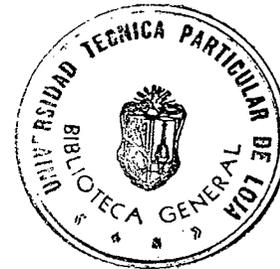
$$P_{u,viga} = -\frac{l_w}{l_w} V_u$$

$$P_{n,viga} = -f_y * A_{st}$$

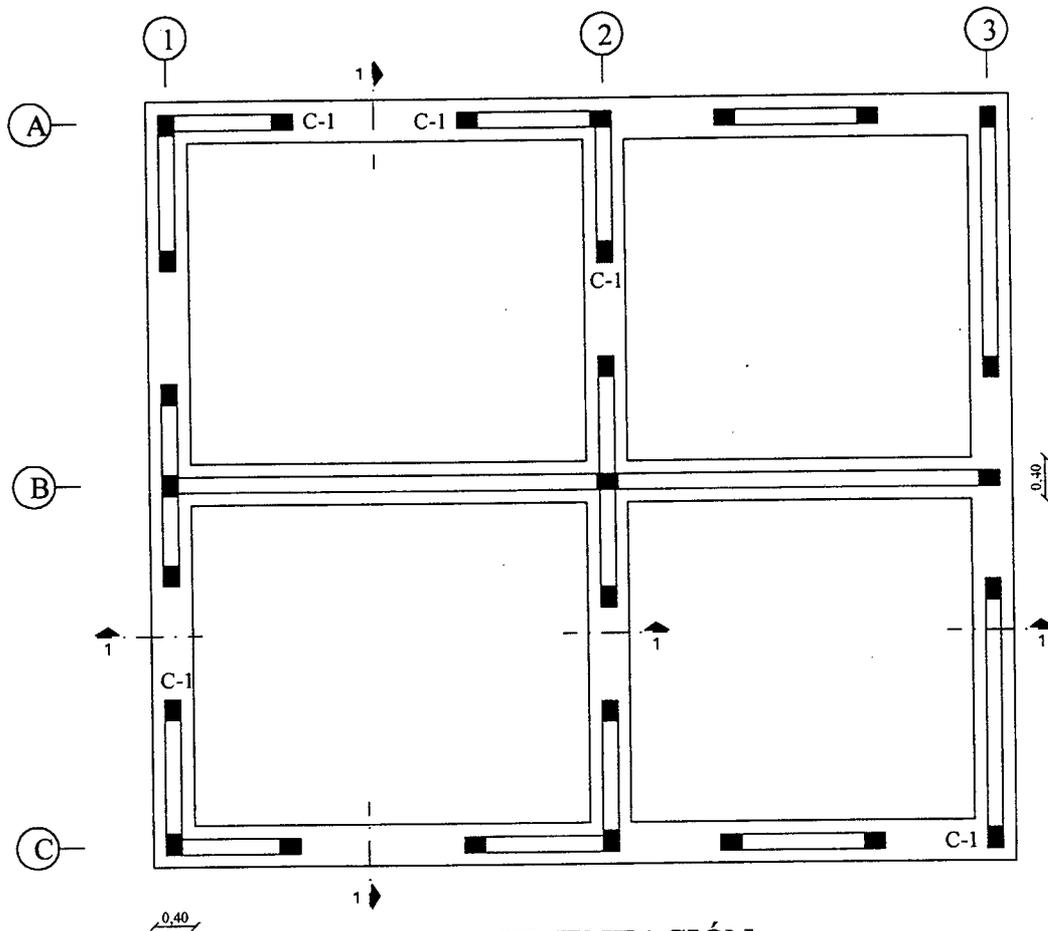
## DISEÑO CIMENTOS

ALTURA SOBRECIMIENTO : 0,3 m  
 PESO SOBRECIMIENTO / m : 90 kg/m  
 FACTOR CARGA MUERTA: 1,2  
 FACTOR CARGA VIVA: 1,6

# MURO	DIRECCIÓN	LONGITUD	PESO PROPIO, D (Kg/m)	CARGA MUERTA, D (Kg/m)	CARGA VIVA, L (Kg/m)	CARGA VIVA CUBIERTA, Lr (Kg/m)	1.4D	1.2D+1.6L+0.5Lr	1.2D+1.6Lr+0.5L	1.2D+0.5L+0.5Lr	1.2D+0.5L	Pu (Kg/m)	ANCHO CIMENTO (m)	ANCHO ADOPTADO (m)	PERALTE ADOPTADO (m)
1	X	1,130	1 080,00	1 738,81	358,52	179,26	4 072,34	4 153,83	3 956,65	3 759,46	3 669,83	4 153,83	0,28	0,40	0,40
2	X	1,325	1 080,00	1 732,73	357,26	178,63	4 063,82	4 144,22	3 947,72	3 751,23	3 661,91	4 144,22	0,28	0,40	0,40
3	X	1,390	1 080,00	2 430,23	501,08	250,54	5 040,33	5 247,28	4 971,68	4 696,09	4 570,82	5 247,28	0,35	0,40	0,40
4	X	8,000	1 080,00	1 909,69	393,75	196,87	4 311,56	4 424,06	4 207,50	3 990,94	3 892,50	4 424,06	0,29	0,40	0,40
5	X	1,130	1 080,00	1 738,81	358,52	179,26	4 072,34	4 153,83	3 956,65	3 759,46	3 669,83	4 153,83	0,28	0,40	0,40
6	X	1,325	1 080,00	1 732,73	357,26	178,63	4 063,82	4 144,22	3 947,72	3 751,23	3 661,91	4 144,22	0,28	0,40	0,40
7	X	1,390	1 080,00	2 430,23	501,08	250,54	5 040,33	5 247,28	4 971,68	4 696,09	4 570,82	5 247,28	0,35	0,40	0,40
8	Y	1,325	1 080,00	1 263,52	260,52	130,26	3 406,92	3 402,18	3 258,89	3 115,61	3 050,48	3 406,92	0,23	0,40	0,40
9	Y	1,280	1 080,00	2 320,80	478,52	239,26	4 887,12	5 074,21	4 811,03	4 547,85	4 428,22	5 074,21	0,34	0,40	0,40
10	Y	2,425	1 080,00	1 225,00	252,58	126,29	3 353,00	3 341,27	3 202,35	3 063,43	3 000,29	3 353,00	0,22	0,40	0,40
11	Y	0,880	1 080,00	1 473,26	303,76	151,88	3 700,56	3 733,87	3 566,80	3 399,73	3 323,79	3 733,87	0,25	0,40	0,40
12	Y	1,120	1 080,00	2 652,34	546,87	273,44	5 351,28	5 598,53	5 297,75	4 996,97	4 860,25	5 598,53	0,37	0,40	0,40
13	Y	0,880	1 080,00	1 473,26	303,76	151,88	3 700,56	3 733,87	3 566,80	3 399,73	3 323,79	3 733,87	0,25	0,40	0,40
14	Y	1,120	1 080,00	2 652,34	546,87	273,44	5 351,28	5 598,53	5 297,75	4 996,97	4 860,25	5 598,53	0,37	0,40	0,40
15	Y	1,325	1 080,00	1 263,52	260,52	130,26	3 406,92	3 402,18	3 258,89	3 115,61	3 050,48	3 406,92	0,23	0,40	0,40
16	Y	1,280	1 080,00	2 320,80	478,52	239,26	4 887,12	5 074,21	4 811,03	4 547,85	4 428,22	5 074,21	0,34	0,40	0,40
17	Y	2,425	1 080,00	1 225,00	252,58	126,29	3 353,00	3 341,27	3 202,35	3 063,43	3 000,29	3 353,00	0,22	0,40	0,40

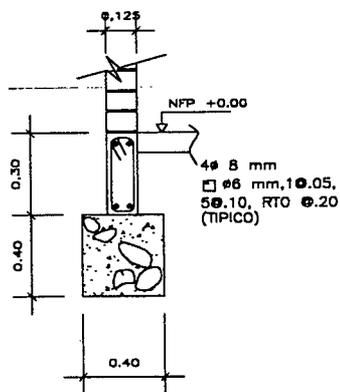


DIMCAD software de análisis y diseño de mampostería confinada por resistencia

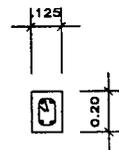


**CIMENTACIÓN**

ESCALA: 1/75



**SECCION 1**  
ESCALA = S/E



4 #10 mm  
#6 mm, 1 #0.05  
5 #0.10, RESTO #0.20

**COLUMNAS C1**  
ESCALA = S/E

El ejemplo presentado fue calculado en *DIMCAD*, y los resultados fueron prácticamente iguales, lo que prueba la validez del programa. El lector puede encontrar en el CD de instalación del programa los archivos TOMAKLEM2.dwg, TOMAKLEM2.xls y TOMAKLEM22.xls, los mismos que contienen los cálculos realizados por el programa, para una comprobación de resultados.

En cuanto al ejercicio resuelto, se ha dejado pasar por alto algunas consideraciones de análisis y diseño. La excentricidad calculada(22.15%) excede a lo prescrito en la mayoría de códigos de construcción, es decir es mayor al 20% de la máxima dimensión en planta, en este caso, en la dirección X; una solución sería aumentar el espesor de los muros 11 y 13 o cambiarlos a muros de hormigón armado, para mover el centro de rigidez un poco a la izquierda, o dejar las cosas como están ya que no hay mucha diferencia entre la excentricidad calculada y la recomendada.

En cuanto a diseño, los muros 10 y 17 fallan por corte, la solución, aumentar el espesor de los muros o mejorar la calidad de las unidades de mampostería(mayor valor de  $f_m$  y  $E_m$ ). El muro 4 falla por aplastamiento de las unidades que lo conforman, para solucionar este problema debemos colocar dos columnas de confinamiento, una a cada lado del eje 2, y solucionado el problema.

El lector puede realizar estas sugerencias ejecutando el programa y efectuando los cambios necesarios hasta que el diseño sea satisfactorio (mensaje "OK").

## Referencias bibliográficas

1. Álvarez J., Alcocer M., Contreras J. "Comportamiento analítico no lineal de muros de mampostería con aberturas sujetos a fuerzas laterales". 2 Congreso Iberoamericano de Ingeniería Sísmica, octubre 2001
2. Astroza M., Moroni M., Salinas C. "Seismic behavior qualification methodology for confined masonry buildings", paper 1123. 12 WCEE 2000
3. Burgos, M. "Diseño de estructuras de albañilería utilizando el programa DEA". XV Jornadas Nacionales y Primeras Binacionales de Ingeniería Estructural. Loja 2002.
4. Building Code Requirements for Masonry Structures (ACI 530-99/ASCE 5-99/TMS 402-99)
5. Commentary on Building Code Requirements for Masonry Structures (ACI 530-99/ASCE 5-99/TMS 402-99)
6. Building Code Requirements for Structural Concrete (ACI 318M-02) and Commentary (ACI 318RM-02). American Concrete Institute, Detroit 2002
7. Código Ecuatoriano de la Construcción CEC -2000
8. Código Ecuatoriano de la Construcción 1979
9. Código Ecuatoriano de la Construcción, Subcapítulo de Mampostería, mayo 2001
10. Diseño y Construcción de Estructuras de Mampostería. Normas Técnicas Complementarias del Reglamento de Construcciones para el Distrito Federal 403. Julio 1977.
11. Details and Detailing of Concrete Reinforcement ACI 315 – 99. American Concrete Institute, Detroit 1999
12. Essential Requirements for reinforced concrete buildings (for buildings of limit size and height based on ACI 318-02). American Concrete Institute, Instituto Colombiano de Normas Técnicas and Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica. 2002
13. Englekirk, R., Hart G. "Earthquake Design of Concrete Masonry Buildings" Volume 2 Prentice-Hall, Inc Englewood Cliffs, New Jersey 1984

14. Galan, W. Silva, U. "Influencia de la mampostería en el cálculo estructural". UTPL 1995. G146 IC.272
15. Galvez, A. "Diseño de mampostería confinada". 2002
16. García ,R., Garcia, R. "Las estructuras con muros portantes de fabrica como alternativa". 2 Congreso Iberoamericano de Ingeniería Sísmica, octubre 2001
17. Heyman, M. S. "La esencia de visual basic 4"
18. Liu Da-Hai , Wang Mao-Zheng. "Masonry structures confined with concrete beams and columns", paper 2720. 12 WCEE 2000.
19. Masonry Institute of Washington 2003
20. Murty C V R, KJain Sudhir. "Beneficial influence of masonry infill walls on seismic performance of RC frame buildings", paper 1790. 12 WCCEE 2000.
21. Meli, R., Bazán, E. "Manual de diseño sísmico de edificios". Editorial Limusa. ( 1985.
22. Normas Colombianas NSR-98 Tomo 1 y 2
23. Norma ASTM C270 .2002
24. kumazawa, F. , Ohkubo, M. "Nonlinear characteristics of confined masonry wall with lateral reinforcement in mortar joints", paper 0743. 12 WCEE 2000
25. Reglamento Nacional de Estructuras, Norma E-70
26. Tomazevic M, Klemec I. "Seismic behaviour of confined masonry walls". Earthquake Engineering and Structural Dynamics, vol 26, 1059-1071(1997). John Wiley & Sons, Ltd.
27. Tomazevic M, Klemec I. "Verification of seismic resistance of confined masonry buildigns". Earthquake Engineering and Structural Dynamics, vol 26, 1073-1088(1997). John Wiley & Sons, Ltd.
28. Vaca, F. "Curso mampostería estructural". Escuela Politécnica Nacional 1993.
29. Winters, J.. "Autocad visual basic. guide for the non-programer". 2000
30. Yoshimura, K., Kikuchi K., Kuroki M., Liu L., Ma L. "Effect of wall reinforcements, applied lateral forces and vertical axial loads on seismic behavior of confined concrete masonry walls", paper 0984. 12 WCEE 2000