

**COMPORTAMIENTO GEOTECNICO-ESTRUCTURAL DE LAS
CONSTRUCCIONES DE UNO Y DOS NIVELES**

**SEGUNDA PARTE
ASPECTOS ESTRUCTURALES**

**ESPERANZA MALDONADO RONDON
I.C.MSC.
Profesora Departamento de Ingeniería Civil
Universidad Industrial de Santander
Bucaramanga-Colombia**

**SEGUNDO ENCUENTRO NACIONAL DE INGENIEROS
DE SUELOS Y ESTRUCTURAS
ESCUELA COLOMBIANA DE INGENIERIA
Santafé de Bogotá, septiembre 1993**

COMPORTAMIENTO GEOTECNICO ESTRUCTURAL DE LAS CONSTRUCCIONES DE UNO Y DOS NIVELES

SEGUNDA PARTE ASPECTOS ESTRUCTURALES

Ing. Esperanza Maldonado Rondon
Profesora Departamento de Ingeniería Civil
Universidad Industrial de Santander

RESUMEN

Los hundimientos y expansiones del suelo generan efectos en la mayoría de los casos adversos en las edificaciones, que pueden conllevar a un colapso del sistema estructural. Por tal razón, un conocimiento racional del comportamiento de las edificaciones de uno o dos niveles construidos en mampostería confinada y bajo la acción de desplazamientos diferenciales del suelo de cimentación de la estructura es importante no sólo por ello, sino porque, un considerable porcentaje de las viviendas construidas y proyectadas en nuestro medio están hechas de este material y bajo este sistema estructural.

El presente trabajo describe los criterios conceptuales del comportamiento de las edificaciones de baja altura bajo la acción de fenómenos de desplazamientos diferenciales del terreno de cimentación, el modelo estructural aplicable y algunos requerimientos para controlar el agrietamiento de los paños de mampostería.

1. INTRODUCCION

Los problemas geotécnicos como la expansión y contracción del suelo de cimentación debidos a cambios en la humedad del subsuelo, cambios climáticos, o acciones externas tales como la extracción de la humedad del suelo debido a las raíces de los árboles, etc, causan desplazamientos diferenciales en el suelo de cimentación de las viviendas. Estos desplazamientos pueden ocurrir solos o en combinación con los producidos por las cargas gravitacionales y/o sísmicas.

Los desplazamientos diferenciales introducen esfuerzos adicionales en los elementos del sistema estructural, los cuales pueden ser incapaces de soportar las fuerzas resultantes, llegando a producir el agrietamiento e incluso comprometer la estabilidad y funcionalidad de todo el sistema, confinamiento-mampostería.

Es el compromiso de los diseñadores tanto geotécnicos, estructurales como arquitectos controlar y evitar el daño de las edificaciones debidas a estos fenómenos. De aquí, el interés de desarrollar esta segunda parte del trabajo, en donde se describe el comportamiento de las edificaciones de baja altura en mampostería confinada bajo la acción de desplazamientos diferenciales.

Además se pretende, dar una explicación racional a los diferentes mecanismos y tipos de falla que pueden presentarse, y plantear los requerimientos bajo los cuales puede ser posible disminuir e incluso evitar el agrietamiento.

2. COMPORTAMIENTO ESTRUCTURAL DE UN MURO DE MAMPOSTERIA CONFINADO ANTE DESPLAZAMIENTOS DIFERENCIALES

La mampostería confinada sin refuerzo interior, así como cualquier edificación de mampostería tiene cierta capacidad de deformarse, sin llegar al límite de la resistencia de los materiales que la conforman, cuando se presentan asentamientos diferenciales del terreno. Pero en el momento en que los esfuerzos provocados por los asentamientos diferenciales sumados con los esfuerzos propios de la estructura, lleguen a superar la capacidad límite de resistencia de los materiales o de la mampostería, se presentara el agrietamiento. Siendo este agrietamiento, por lo común, la consecuencia de la rotura de la mampostería por tracción, pues la resistencia a tracción es muy pequeña.

2.1 MECANISMOS Y PATRONES DE FALLA

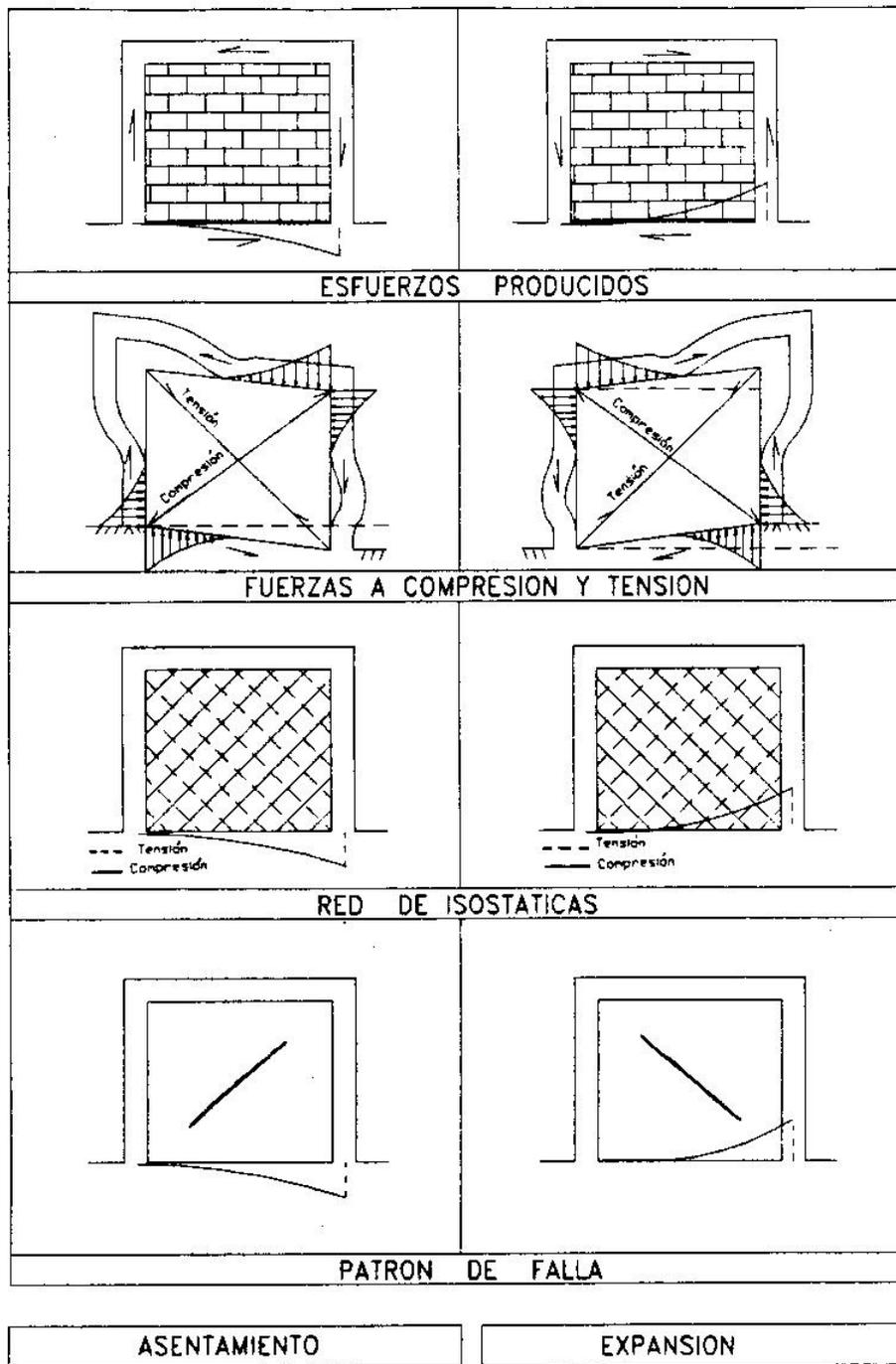
En la figura 1 se esquematiza un muro de mampostería, en el cual uno de sus extremos ha sufrido un asentamiento relativo (o el opuesto, un levantamiento). La columneta que más se asienta trata de arrastrar hacia abajo el muro, transmitiéndole un esfuerzo tangencial en el contacto entre ambos elementos. La columneta que menos se asienta trata de impedir el descenso del muro, oponiéndose a ello y transmitiéndole así mismo un esfuerzo tangencial de igual magnitud que el anterior; pero en este caso, dirigido hacia arriba, por equilibrio. Este conjunto de fuerzas forma un par, de resultante nula, pero momento no nulo. El equilibrio de fuerzas requiere que se forme otro par que dé el mismo momento, pero de sentido contrario. Aparecen, entonces, unos esfuerzos tangenciales en la parte superior y en la parte inferior del muro, que equilibran a los anteriores.

Si el asiento diferencial es pequeño, estas fuerzas a que se ve sometido el muro serán resistidas sin problemas. Pero, si es suficientemente grande como para agotar la resistencia del muro o de los elementos de confinamiento, sobrevendrán agrietamientos. La morfología de las grietas variará dependiendo de cuál sea la zona más débil frente al esfuerzo que ha de soportar. Pueden presentarse fallas diagonales, verticales, horizontales y rotaciones.

. FALLA DIAGONAL

. Mecanismo de Falla.

Supongase que los contactos del muro de mampostería con las columnetas y las vigas, en su perímetro, son capaces de resistir los esfuerzos tangenciales. El muro se distorsiona por el efecto de las fuerzas que aparecen en sus contornos, de la forma ilustrada en la figura 1, donde una diagonal se alarga y la otra se acorta. En la diagonal que se alarga, se produce un esfuerzo de tracción y en la diagonal que se acorta, un esfuerzo de compresión. Esto es consecuencia del estado tensional del muro, cuya red de isostáticos se ilustra de igual forma en la figura 1. En efecto, unos esfuerzos cortantes puros en el perímetro de un elemento rectangular equivalen a unos esfuerzos principales de tracción y compresión oblicuos, inclinados con relación a la horizontal o la vertical. Si la resistencia del muro no es suficiente para soportar la tensión de tracción, se produce la fisura según una línea perpendicular a ese esfuerzo resistido, ver figura 1. Por tal motivo las grietas se originan donde el esfuerzo de tracción es máximo, siguiendo las isostáticas de compresión, las cuales son perpendiculares a las de tensión.



**FIG.1. MURO CONFINADO SOMETIDO A UN
ASENTAMIENTO O A EXPANSION
EN UNA DE SUS ESQUINAS**

. Patrón de Falla.

La anterior es la razón de que los asientos causen, típicamente grietas inclinadas, como la mostrada en la figura 1. Sin embargo, no siempre ocurre así. La resistencia del ladrillo y del mortero son diferentes, con frecuencia la del mortero es menos resistente que el ladrillo. Entonces, una grieta inclinada se presenta según grietas verticales y horizontales en forma de escalera, siguiendo las juntas entre ladrillo que son más débiles. Como los ladrillos, no suelen ser cuadrados, el resultado es una grieta discontinua, con tramos separados y en parte traslapada, que visto en conjunto corresponden a la grieta inclinada.

Los huecos en la mampostería, como las puertas y ventanas, imponen una heterogeneidad muy demarcada. Su presencia en edificaciones en mampostería, sometida a asentamientos diferenciales, provoca fuertes concentraciones de tensiones en las esquinas de los huecos, ver figura 2. Las isostáticas de tensión que no pueden pasar por el vacío, se ven forzadas a contornear los huecos, concentrándose y apretándose en las inmediaciones de las esquinas. Toda concentración de isostáticas supone un incremento de la intensidad del esfuerzo. Siendo las esquinas de los huecos los puntos donde se producen las máximas tracciones, es allí en donde se generan las grietas inclinadas. Esto determina que las grietas inclinada, en presencia de ventanas se originen en sus esquinas y pasen de una esquina a la diagonalmente opuesta, situación típica de asentamientos o levantamientos diferenciales.

. FALLA HORIZONTAL

. Mecanismo de Falla.

A medida que el asentamiento diferencial va creciendo, los esfuerzos tangenciales lo hacen también, hasta que sobreviene el agotamiento de resistencia en dicho contacto y se produce el deslizamiento relativo entre el muro y la viga.

. Patrón de Falla.

El enchape que recubre la viga, el muro y la junta entre ambos es isótropo y homogéneo. Como resultado, ese deslizamiento se traduce a un sistema de fisuras cortas, inclinadas a 45 grados más o menos, y aproximadamente paralelas entre sí, como se ilustra en la figura 3. En el enchape, la rotura se ha producido por agotamiento de la resistencia a tracción.

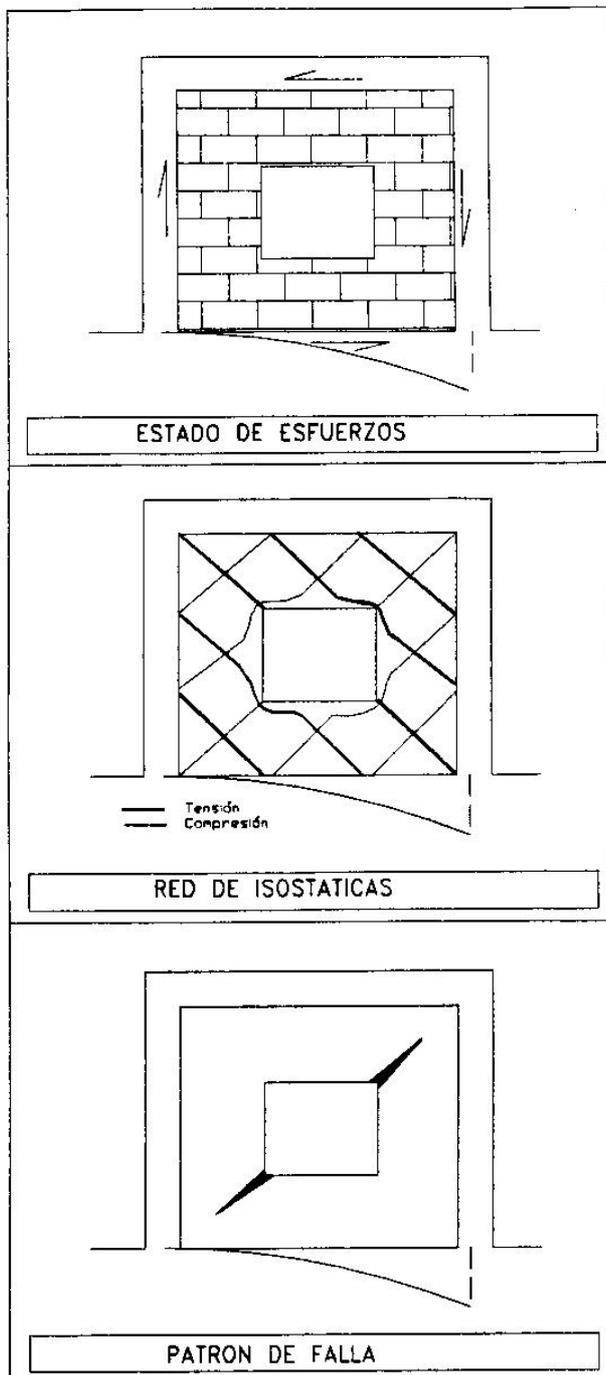


FIG.2. EFECTO DE LAS ABERTURAS EN UN MURO CONFINADO

En algunos casos, ese sistema de pequeñas grietas inclinadas, es reemplazado por una única grieta en el techo, que marca el límite inferior de la viga, aunque suele tener ligeros ramales inclinados, ver figura 3. Sin embargo, es más común que se produzca la familia de grietas inclinadas horizontales del contacto y encubriendo el deslizamiento en la línea de debilidad.

. FALLA VERTICAL

La falla por deslizamiento o agotamiento de la resistencia a esfuerzo tangencial, en el perímetro de los muros no se produce siempre, en la parte superior. Puede suceder, en el contacto vertical entre muro y columneta, como se muestra en la figura 3, o en el encuentro entre dos muros perpendiculares, dando lugar a una grieta vertical en la unión o a un sistema de grietas oblicuas semejantes a las antes descritas. Este patrón de grietas puede ser, pues, la consecuencia visible de asentamientos o levantamientos diferenciales inadmisibles, en vez de la clásica grieta inclinada.

. FALLA POR ROTACION

Las grietas verticales en los extremos de ambos lados de un muro pueden responder a otro mecanismo, así mismo originado por asentamientos diferenciales excesivos.

. Mecanismo de falla.

En ocasiones, los elementos que confinan el muro en su borde inferior y superior, no son capaces de aportar los esfuerzos tangenciales que se requerirían para equilibrar al par de fuerzas que las columnetas ejercen sobre él. En consecuencia, el muro se ve sometido a un momento que tiende a hacerlo girar dentro de su plano. Si la junta es débil y la mampostería más resistente, el contacto entre muro y columneta no puede resistir las tracciones que entre ambos se generan en el plano del muro y se produce el despegue según una grieta vertical, ver figura 3.

. Patrón de Falla.

El despegue vertical que se manifiesta por medio de una falla, se caracteriza por una variación lineal de la apertura, mayor arriba que abajo, o viceversa, según cual sea el apoyo que más ha asentado o el contacto que halla fallado; figura 3. Otro tanto puede suceder, simultáneamente, en los dos extremos del muro,

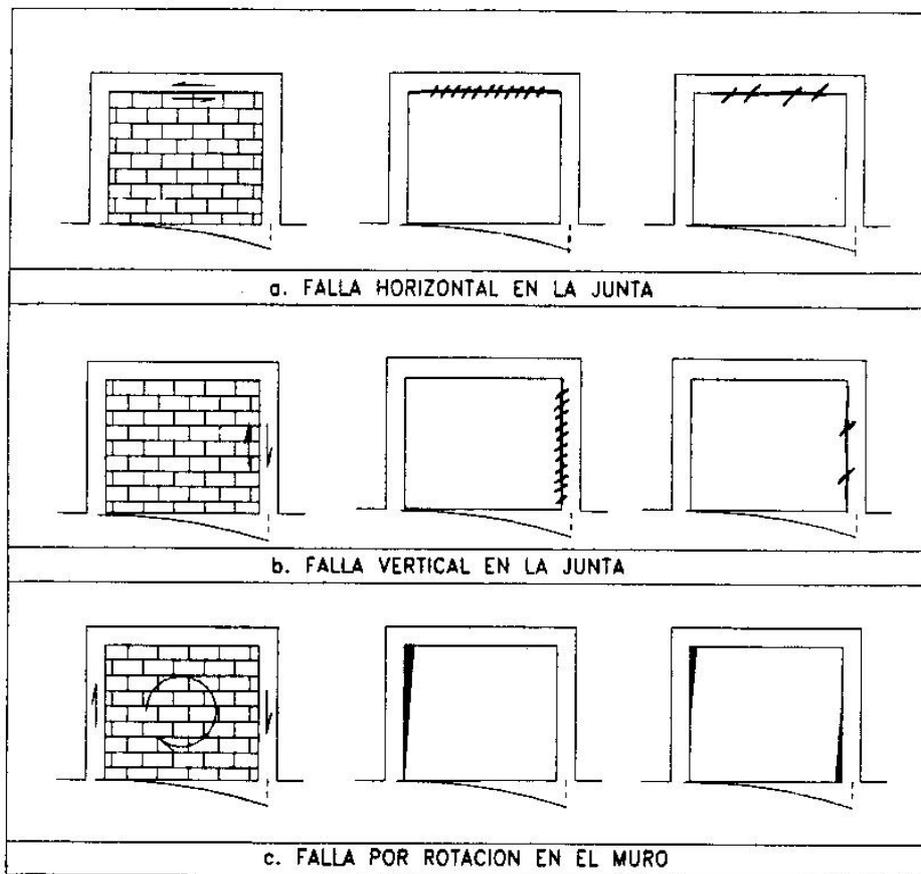


FIG. 3. OTROS TIPOS DE FALLAS DEBIDOS AL ASENTAMIENTO EN LAS ESQUINAS DEL MURO O A LEVANTAMIENTO DEL CENTRO DE LA CONSTRUCCION

produciéndose dos grietas verticales, figura 3, con variaciones opuestas de la abertura, una más abierta arriba que abajo y otra al revés, indicando así el sentido de giro del muro como un cuerpo rígido.

3. IDEALIZACION ESTRUCTURAL

En la idealización del comportamiento estructural de un sistema de muros confinados sometido a un asentamiento diferencial en uno de sus extremos, se puede considerar que inicialmente el sistema trabaja monóticamente como una sola unidad en la cual son importantes la deformación por flexión y cortante, pero es suficiente un pequeño incremento en el asentamiento, para que el muro se separe del pórtico de confinamiento y este se apoye en el muro como se muestra en la figura 1, generándose una distribución de esfuerzos parabólica.

En el pórtico se producen esfuerzos axiales, momentos y cortantes, siendo los momentos de poca importancia debido a que la fuerza en la estructura se desarrolla en la proximidad de los nudos, pero las fuerzas de cortante por el contrario, son de consideración. Estas fuerzas en el muro originan fuerzas de tensión diagonal que pueden producir fallas por tensión en las esquinas de contacto con el pórtico y agrietamiento en los muros.

Para el cálculo estructural la rigidez del sistema se determina una vez que ha ocurrido la separación pórtico-muro, por lo tanto se modela la estructura de mampostería confinada como un sistema aporticado con una diagonal equivalente a compresión, en forma análoga al modelo utilizado por Bazán para análisis sísmico, referencia [4]. En donde las características de la diagonal equivalente corresponden al del muro de mampostería.

4. EDIFICACIONES DE UNO O DOS NIVELES

El comportamiento estructural de las edificaciones de un solo nivel ante el asentamiento en una de sus esquinas, como se ilustra en la figura 4, se explica con lo anteriormente mencionado. Es de resaltar la influencia que tienen estos desplazamientos diferenciales no solamente en los muros bajo los cuales actúa directamente, sino de igual forma pero en menor proporción sobre los inmediatamente aledaños, debido a la transmisión de esfuerzos por parte del confinamiento.

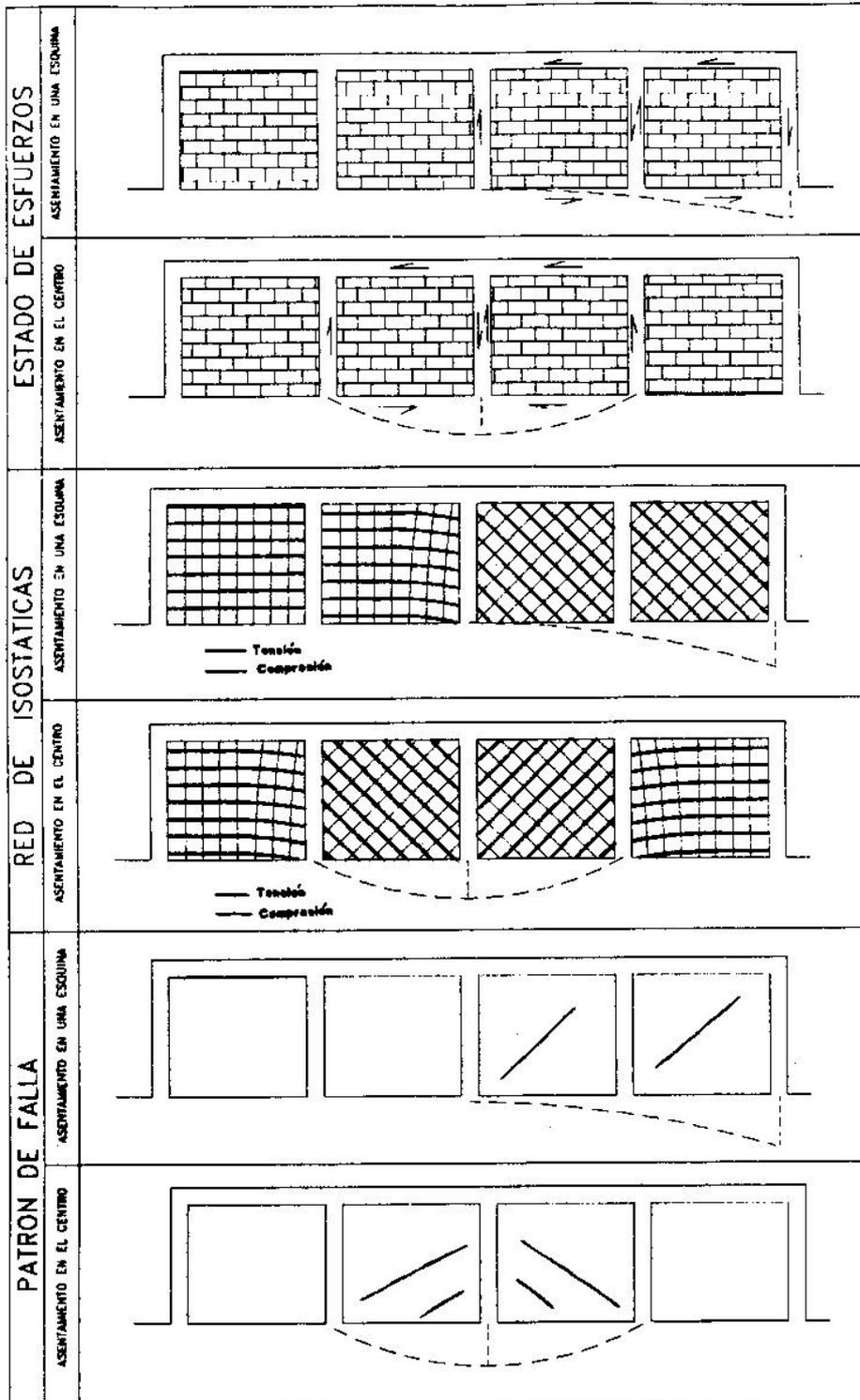


FIG.4. EDIFICACION DE UN NIVEL BAJO EFECTO DE ASENTAMIENTO

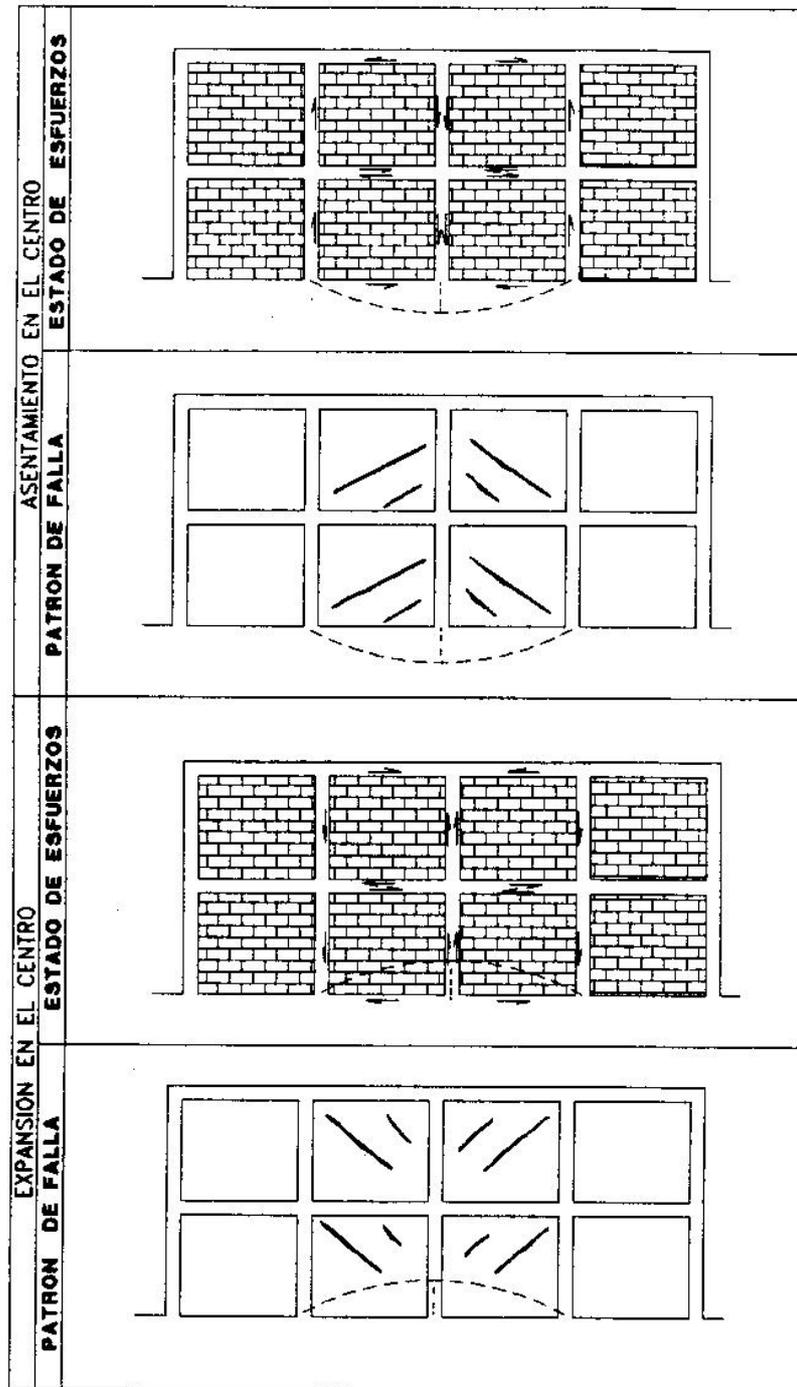


FIG. 5 EDIFICACION DE DOS NIVELES BAJO EFECTOS DE UN ASENTAMIENTO O EXPANSION EN EL CENTRO

Cuando los asentamientos diferenciales son mayores en el centro de la edificación como se ilustra en la figura 4, el alargamiento de la cimentación se ve impedido por el rozamiento producido con el terreno, introduciendo unas tensiones que se oponen a las tensiones de la base de la construcción, produciéndose con el tiempo grietas que se reparten en un mayor número en la parte inferior de la vivienda.

En las edificaciones de dos niveles los efectos por asentamientos a diferencia de las de un solo nivel, pueden ser mayores al verse incrementados por el desplazamiento que produce su peso propio. En las construcciones de un solo nivel los desplazamientos por su mismo peso son muy pequeños, en edificaciones de dos niveles no de igual forma puede desprejarse.

No ocurriendo lo mismo cuando sucede expansión, en este caso por lo ya mencionado, el peso contribuye a contrarrestar el desplazamiento ascendente que le produce el terreno.

Cuando los asentamientos son mayores en el centro o las expansiones son mayores en los extremos, se producen grietas inclinadas de un lado y otro, ver figura 5, las cuales en muchos casos se unen por arriba. Todo lo que queda por encima de la grieta más alta, pasa a trabajar a compresión. Lo que queda por debajo, sin apoyo o con apoyo deficiente, está sometido a tensiones verticales debidas al peso propio no compensadas por la reacción del terreno, dando lugar a grietas sensiblemente horizontales.

Cuando los asentamientos son mayores en los extremos o cuando por expansividad se producen hinchamientos mayores en el centro, ver figura 5, se producen alargamientos de las fibras superiores de la estructura. En este caso, es típico que aparezcan grietas en la parte superior de los muros, ver figura 5. Esto como consecuencia del estiramiento de los muros. Siendo mayor la intensidad de las grietas en el segundo nivel.

5. REQUERIMIENTOS DE DISEÑO Y CONSTRUCCION

Ante posibles problemas de desplazamientos en el terreno de cimentación, la primera pregunta que se formula el ingeniero estructural es de qué forma los desplazamientos afectan la edificación, y por lo tanto, cómo se está comportando la estructura?. La respuesta, el sólo, no la ha de encontrar. Por ello el aporte del ingeniero geotecnista es fundamental, para llegar a una explicación real.

Superada, la etapa de entendimiento del problema, y evaluado el comportamiento de respuesta de la edificación, viene el gran dilema, y es dar la adecuada solución. Como lo deseado es anticiparse al problema, se debe buscar como diseñar las estructuras para que estén en capacidad de responder ante cualquier requerimiento no solamente de capacidad sino de rigidez.

Algunos de los requerimientos de diseño y construcción, necesarios en la mampostería y el confinamiento necesarios para proveer un sistema dúctil y resistente, con su respectiva justificación son:

. Colocación de refuerzo en la mampostería. Esto obedece a que la resistencia de la mampostería simple a tensión es reducida y frágil. Por ello, su aplicación es óptima en condiciones de carga vertical, en la cual los esfuerzos que predominan son los de compresión, cuando debe ser utilizada en casos donde se generan esfuerzos de tensión o donde se demanda comportamiento dúctil, su efectividad estructural esta limitada, y en casos de grandes asentamientos o expansiones del terreno, su función es nula. Para superar estas limitaciones se hace necesario la colocación de refuerzo en la mampostería. Esta cuantía de acero que se ha de colocar debe cuantificarse definiendo todos los posibles tipos de falla.

. Colocar el acero tanto horizontal como vertical con un adecuado mortero o concreto líquido, de manera que integre el comportamiento del acero y de la mampostería como un todo. La resistencia a la tracción se espera exclusivamente del acero, mientras que la mampostería, en conjunto con el concreto líquido tienen la función de resistir las compresiones, y además, proveen el recubrimiento protector para la armadura.

. Determinar el espesor del muro de mampostería, de acuerdo a las solicitaciones de esfuerzos cortantes.

. Preferiblemente utilizar ladrillos macizos y en casos donde se utilicen perforados, su área hueca no debe exceder del 30%, esto busca evitar una falla frágil por compresión.

. Los confinamientos deben ser resistentes a cortantes, esto es, deben contar con una buena sección transversal y suficientes estribos. En caso contrario, las grietas atravesaran simultáneamente el muro y el confinamiento. Cuando los confinamientos tienen buena resistencia al cortante, mayor que la de la mampostería, lo confina y la grieta es contenida.

. Para utilizar totalmente la resistencia a la tracción de la unidad de mampostería, la adhesión mortero-unidad debiera ser por lo menos lo suficiente para desarrollar por completo la resistencia del muro. En la práctica, la resistencia al agrietamiento, y por consecuencia al corte, está prácticamente controlada por la adhesión, cuando las cargas de compresión son reducidas o inexistentes.

. En aquellos sitios de construcción donde se anticipe la ocurrencia de desplazamientos del terreno, es necesario la utilización de tuberías flexibles para las redes de acueducto y alcantarillado, con el fin de que estas pueden deformarse sin llegar a romperse y de esta forma impedir efectos de expansibilidad de los suelos o socavación de la cimentación por arrastre de material.

. Las juntas correctamente localizadas y detalladas tomando en cuenta, restricciones impuestas, características de deformabilidad de la mampostería y algunos efectos por desplazamientos diferenciales con respecto a otros materiales, pueden ayudar a mitigar los efectos de los desplazamientos. Las juntas pueden ser fácilmente ubicadas en el sistema estructural, ya que los desplazamientos pueden ocurrir en lugares predecibles.

6. CONCLUSIONES

. La contribución estructural de la mampostería no puede ser ignorada en un sistema de mampostería confinada para edificaciones de poca altura, ya que su contribución juega un papel muy importante en la resistencia y ductilidad del sistema. De aquí que sea necesario diseñarla para que en conjunto con el confinamiento, soporte cualquier tipo de carga, sea gravitacional ó lateral, y a su vez resista los desplazamientos producido no solo por las anteriores cargas, sino además por movimientos del terreno de cimentación.

. La mampostería es un material compuesto, heterogéneo y anisotrópico, en el que los planos de debilidad coinciden con las juntas de unión, y en el que se integra, en un comportamiento único, materiales con características diferentes. Al unirse con un material como el concreto reforzado, para formar un sistema de muro confinado, y luego al someterse a efectos producidos por el terreno, como son los desplazamientos en el suelo de cimentación, es difícil llegar a un modelo muy completo que involucre cada uno de las características de los elementos que lo compone.

. Un muro de mampostería confinada en viviendas de baja altura puede ser diseñado y construido para que se presente un comportamiento dúctil ante la ocurrencia de desplazamientos del terreno. Este comportamiento dúctil se puede producir con cuantías adecuadas de acero, con adecuadas juntas, con una buena configuración de los muros y ubicación de sus aberturas. De aquí, nuevamente se demuestra, como es tan igualmente importante en una estructura, su resistencia como su capacidad de comportarse plásticamente y su ductilidad.

. El planeamiento y desarrollo de sistemas de viviendas, debe contar con el trabajo en conjunto del especialista en suelos y estructuras y el aporte del arquitecto, si esta unión e integración de conocimientos y experiencias se dá, muchos de los problemas en las viviendas de nuestras ciudades se pueden minimizar y por que no evitar.

REFERENCIAS

- [1] GALLEGOS V., Hector. "Diseño Sismo Resistente de Edificios de Albañilería".
- [2] Código Colombiano de Construcciones Sismo Resistente, decreto 1400, de 1984.
- [3] ORTIZ, Angel Uriel. "Patología de las Cimentaciones". Informe de la Construcción, Instituto Eduardo Torrota.
- [4] BAZAN, E. MELI, R. "Manual de Diseño Sísmico de Edificios". Editorial LIMUSA, segunda reimpresión, 1989.
- [5] BELTRAN M, Lisandro. "Expansión de los suelos arcillosos parcialmente saturados". I encuentro nacional de ingenieros de suelos y estructuras, Santafé de Bogotá, 1991.
- [6] CURTIN, SHAW, BECK and BRAY. "Structural masonry designers' manual". BSP Professional Books, Oxford, 1989.