



UNIVERSIDAD CENTRAL "MARTA ABREU" DE LAS VILLAS
VERITATE SOLA NOVIS INPONETUR VIRILISTOGA. 1948

Facultad de Construcciones

Universidad Central "Marta Abreu" de las Villas

Departamento de Ingeniería Civil

Trabajo de Diploma

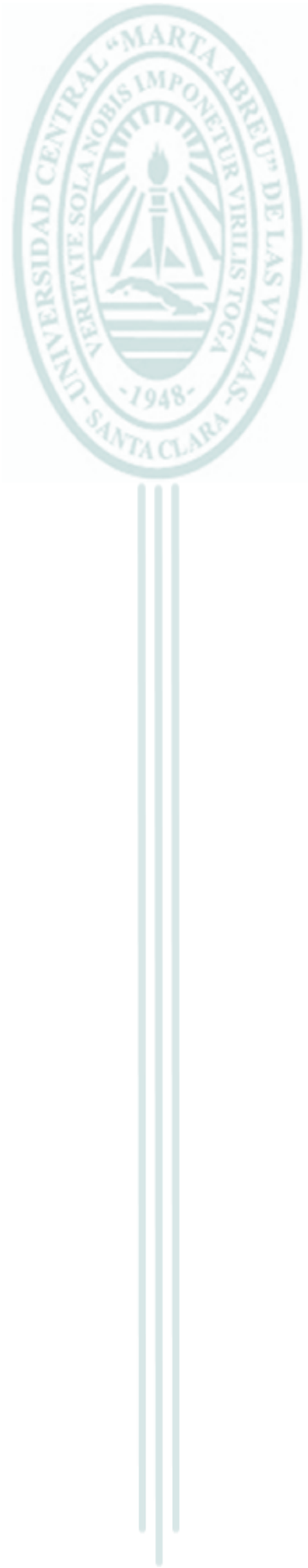
*Titulo: Modelación de Estructuras con Muros
de
Albañilería sobre Suelos Expansivos*

Diplomante: Wilder da Mata de Alva Costa

Tutores: Dr. Ing. Rolando Lima Rodríguez

Dr. Ing. Domingos E. Delgado Martínez

*Curso
2008-2009*



Pensamiento

*“Quiero que rechaces siempre lo fácil y lo cómodo,
todo lo que enaltece y honra, implica sacrificio.”*
Ernesto Che. Guevara



Agradecimientos

Agradecimientos

Antes de todo, doy las gracias a mis seres más queridos mi Madre María de Conceição da Mata y a mi Padre Carlos das Neves Alva da Costa, y mis hermanos Wilton da Mata de Alva Costa y Jerry Miller da Mata de Alva Costa porque son los que más acreditan en mí y me dan fuerzas para seguir adelante.

A mis tutores los Dr. Ing. Rolando Lima Rodríguez y Dr. Ing. Domingos E. Delgado Martínez por dedicaren sus tiempos y esfuerzos para que se haga posible la presentación de este trabajo.

Al estudiante de Maestría Ing. Erich Casanova por su apoyo en la realización de este trabajo.

A todos los profesores que me han ayudado directamente y indirectamente a realizar este trabajo y los demás claustro profesores que al largo de los 5 años de carrera han contribuido en mi formación profesional.

Al gobierno de Cuba y São Tomé y Príncipe por la oportunidad de prepararme como un profesional en la carrera de Ingeniería Civil.

A mis amigos y colegas, aquí en Cuba y São Tomé y Príncipe que siempre me han apoyado y animado en especial (Amilza da Glória Amaral).

Muchas Gracias.



Índice

Índice

Resumen	1
Introducción	8
Capítulo – I Revisión Bibliográfica	
1.1 Consideraciones sobre el fenómeno de expansividad	
1.2 Suelos Expansivos	9
1.3 Manifestación de la expansividad	
1.4 Mecanismos de expansión	10
1.5 Factores que influyen en la expansión	11
1.5.1 Problemas causados con los cambios estacionales	12
1.5.2 Fugas de agua en las instalaciones	13
1.6 Profundidad de la capa activa	14
1.7 Ensayos y métodos de identificación y clasificación de los suelos expansivos	
1.7.1 Ensayos para la cuantificación de las características de expansión	15
1.8 Cálculo de las deformaciones de la capa activa	16
1.9 La mampostería	17
1.9.1 Clasificación de los muros de mampostería	
1.9.1.1 Muros no resistentes	
1.9.1.2 Muros resistentes	
1.9.2 Comportamiento de la mampostería	18
1.9.3 Mampostería como elemento estructural	19
1.9.4 Patología en la mampostería	20
1.10 Estado actual de la modelación numérica aplicada al cálculo y diseño ingenieril	21
1.10.1 Técnicas para la realización de la modelación	22
1.11 Modelación numérica aplicada a las cimentaciones	23
1.11.1 Modelación de la estructura bajo el efecto de expansividad	
1.11.2 Modelación de la iteración suelo-estructura	24
1.12 Uso del software Staad. Pro. 2006 en la modelación	25
1.12.1 Modelo estructural	
1.12.2 Apoyos	
1.12.3 Cargas	
1.12.4 Materiales	27
1.13 El suelo de cimentación	28
1.13.1 Obtención del módulo de Balasto	29
Conclusiones parciales del capítulo	30
Capítulo – II Modelación y Análisis	31
2.1 Determinación de las características mecánicas de los materiales	
2.1.1 Albañilería	
2.1.2 Resistencia de cálculo del muro	
2.1.3 Resistencia de las unidades (mampuesto)	
2.1.4 Resistencia del mortero de unión	
2.1.5 Resistencia del muro (compuesto)	
2.1.6 Módulos de deformación los materiales	32
2.1.7 Determinación del módulo de Poisson	33
2.2 Solicitaciones de cálculo de muros de mampostería	
2.2.1 Combinaciones de carga posibles para edificios de mampostería	34
2.3 El Suelo	
2.3.1 Obtención del coeficiente de balasto	35
2.4 Definición de los casos de estudio	
2.4.1 Consideraciones generales	36
2.5 Consideraciones para el proceso de modelación	
2.5.1 Modelo del problema real	
2.5.2 Modelo geométrico de la estructura	
2.5.3 Modelo geométrico de la cimentación	37
2.5.4 Modelo geométrico de las columnas y las vigas de cerramiento	38
2.5.5 Modelo geométrico del muro	39
2.6 Comportamiento de los materiales	40

2.6.1 Modelo del comportamiento del material	
2.6.2 Modelo del material para la viga de zapata	
2.6.3 Modelo del material para el suelo	
2.6.4 Modelo del material para las columnas y las vigas de cerramiento	41
2.6.5 Modelo del material para la albañilería	
2.6.6 Modelo de Cargas	
2.6.6.1 Acciones permanentes (CP)	
2.7 Análisis de los modelos	42
2.7.1 Análisis de la conducta	43
2.7.2 Criterios para las conductas	51
Conclusiones parciales del capítulo	52
Capítulo – III Soluciones Constructivas	53
3.1 Propuestas Constructivas (Sobre suelo)	55
3.2 Propuestas Constructivas (Sobre estructura)	57
3.3 Modelación y Análisis de los resultados de la solución # 1	58
3.4 Modelación y Análisis de los resultados de la solución # 2	60
3.5 Modelación y Análisis de los resultados de la solución # 3	61
Conclusiones parciales del capítulo	62
Conclusiones	64
Recomendaciones	65
Bibliografía	68
Anexos	72



Resumen

Resumen

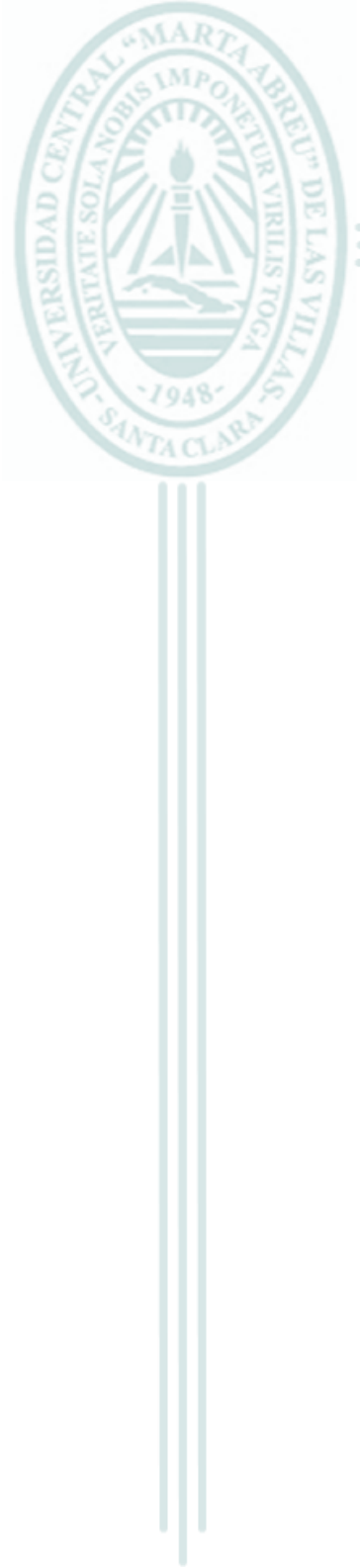
Una problemática existente hoy en varios países, es la presencia de suelos arcillosos expansivos, cuya principal característica es la de producir movimientos como consecuencia de hinchamientos y retracciones del suelo sobre el cual se apoya la cimentación, debido a cambios de humedad, lo que provoca en la mayoría de los casos daños estructurales de gran importancia. En Cuba se reconoce la existencia de importantes extensiones conformadas por suelos expansivos en diferentes regiones del territorio nacional, a lo que se añade la incidencia de largos periodos de intensas sequias, donde se presenta el fenómeno de contracción de estos suelos expansivos, una vez que se desencadenan las notables precipitaciones este fenómeno se invierte y dichos suelos tienden en su gran mayoría a expandirse.

En el presente trabajo se realiza la modelación de la conducta de estos suelos para evaluar la magnitud de los daños provocados por los mismos en las estructuras cimentadas sobre ellos a partir de un proceso de reingeniería, Se utiliza como herramienta principal el software Staad Pro 2006.

Se estudian dos estructuras de albañilería de un solo nivel, situadas ambas en el Reparto Santa Catalina en la provincia de Villa Clara (Santa Clara), donde según los informes de la ENIA hay presencia de suelos expansivos. Las estructuras están conformadas con diferentes sistemas constructivos.

Los resultados obtenidos se corresponden con los daños que las mismas han presentado. A partir de los modelos logrados se propusieron diferentes soluciones estructurales que son logrables constructivamente y los resultados obtenidos ratifican la efectividad de las mismas para resolver este tipo de problemas.

Finalmente se proponen algunas soluciones desde el punto de vista de proyecto y recomendaciones generales para las diferentes etapas de la construcción de edificaciones ligeras en este tipo de suelo que pueden ser de gran utilidad para minimizar los daños que hoy presentan las mismas en algunas regiones del país.



Introducción

Introducción

Una problemática relevante a tener en cuenta hoy en varios países, es la presencia de suelos arcillosos expansivos, cuya principal característica es la de producir movimientos como consecuencia de hinchamientos y retracciones del suelo sobre el cual se apoya la cimentación, debido a cambios de humedad que provocan en la mayoría de los casos daños estructurales de gran importancia.

Los suelos expansivos han sido y siguen siendo motivo de constante preocupación entre los investigadores de diversas partes del mundo. El uso de este material, ya sea compactado o en su estado natural, ocasiona amplios perjuicios en obras, debido a los grandes cambios de volumen que se experimentan cuando se producen variaciones de la presión efectiva. Estos cambios de volumen, ocurren producto de los cambios de humedad o de variaciones de la presión total que actúa sobre el suelo, y dan lugar a una redistribución del campo de tensiones del sistema suelo-estructura, lo cual produce a su vez daños notables en las obras, si tal efecto no se ha tenido en cuenta previamente.

A principios del pasado siglo, se atribuían los daños por expansión a problemas constructivos y de asentamiento. Los problemas causados por los suelos expansivos solo fueron reconocidos por especialistas de los Estados Unidos en los años 30 del siglo pasado. Se ha comprobado que este tipo de suelos produce daños notables en las obras, causando pérdidas de billones de dólares en daños a edificios, caminos, redes de tuberías, y otras estructuras en todo el mundo, el no tenerse en cuenta previamente sus propiedades y su uso indiscriminado, ha ocasionado grandes perjuicios.

Para la manifestación del fenómeno de la expansión se necesita, además de la presencia de un suelo potencialmente expansivo la presencia de cambios de humedad, dando lugar a la variación de su volumen, produciéndose movimientos, asentamientos diferenciales en los suelos (en tiempos de secas) y expansión de los suelos (en tiempo de lluvias), lo cual provoca la redistribución del campo de tensiones del sistema suelo-estructura, que alcanzan valores superiores a los previstos en los cálculos y por lo tanto pueden provocar patologías no admisibles. La existencia de arcillas expansivas ha sido reconocida por autores de renombre como Jiménez Salas (1975), cita a Cuba entre aquellos países donde hay problemas de este tipo.

En Cuba el problema de los suelos expansivos ha sido tratado por diversos autores. En estos trabajos generalmente se realizaron análisis teórico-descriptivo del problema basado en experiencias en el extranjero. Delgado (1999) realizaron estudios experimentales de los suelos

expansivos de la región central de Cuba, y este último llegó a proponer una metodología para su estudio geotécnico.

Los suelos cohesivos en Cuba ocupan aproximadamente el 80% del territorio nacional y muchos de ellos son susceptibles a los procesos de hinchamiento-retracción, según estudios de susceptibilidad a la expansión cerca del 22% del suelo cubano es potencialmente expansivo, de ellos el 3% del territorio nacional es baja expansividad, el 9% es media y el 10 % es alta expansividad. (Delgado, 2003). Ejemplos de problemas relacionados con estos suelos son: en la región central existen lugares donde se han producido daños moderados o ligeros en las estructuras que se han cimentado sobre ellos: las cabañas del hotel “Elguea” (Corralillo), el poblado El Purio y Sagua la Chica (Encrucijada), el sistema de riego “Armonía” y la ciudad de Sagua la Grande (Sagua la Grande), en los poblados de Manacas, Cifuentes, en zonas de la carretera Santo Domingo-Corralillo, la comunidad “Ciro Redondo” (Sancti Spíritus), el poblado de Natividad (Sancti Spíritus), en las cercanías de los lagos de Mayajigua (Sancti Spíritus), el Canal Magistral “Zaza-Ciego”, entre otros (Delgado Martínez, 1999). En la región occidental se han localizado estas arcillas cerca de la Bahía de La Habana en el reparto “Fontanar” y en la presa “Turbera” en Artemisa; en la región oriental son conocidas las arcillas expansivas al norte de Holguín, especialmente las de Levisa y Nicaro (Monzón, 1976; Romero Parra, 1987). Recientemente se han citado estos problemas en las provincias de Santiago de Cuba y Guantánamo (Salvador, Pina y Domínguez, 2000) y en la provincia Granma (Alfonso y Rivero, 2000). Recientemente se ha reportado el caso del poblado de Cartagenas Cienfuegos (Cesar, 2009).



Viviendas en el Reparto Santa Catalina (Santa Clara) Provincia de Villa Clara.



Escuela Crescencio Valdés en Sagua la Chica Provincia Villa Clara.



Viviendas en Cartagenas Provincia de Cienfuegos.

A partir del 2003, el Centro de Investigaciones y Desarrollo de las Estructuras y los Materiales (CIDEM) y el Departamento de Ingeniería Civil de La Universidad Central “Marta Abreu” de las Villas (UCLV), de conjunto con empresas de investigación de la región central, logra los primeros resultados en esta temática los que fueron compilados en una metodología integral para el estudio geotécnico de los suelos cohesivos con problemas especiales de inestabilidad volumétrica y su solución ingenieril (Delgado y Quevedo, 2003). Los resultados principales de la investigación fueron: Los estudios experimentales realizados, basados en la introducción de diferentes técnicas edométricas con inundación, nunca antes aplicados en el país, constituían un paso de avance con respecto a los ensayos normados en aquel momento, donde se elaboró una propuesta de métodos y ensayos de laboratorio que permiten una evaluación cualitativa y cuantitativa más precisa del comportamiento real de los suelos cohesivos con problemas especiales de inestabilidad volumétrica, se caracterizan geotécnicamente estos suelos cohesivos, se elaboraron mapas de susceptibilidad y riesgo a la expansión los que fueron presentados en un SIG, se determinaron los métodos idóneos para establecer el espesor de la capa activa y del procedimiento de cálculo de las deformaciones en los suelos estudiados, propuesta de soluciones ingenieriles para los problemas especiales estudiados; finalmente, estos resultados fueron presentados como una propuesta de una metodología integral para el estudio geotécnico de los suelos cohesivos con problemas especiales de inestabilidad volumétrica y su solución ingenieril.

En el 2007 dando continuidad a los estudios de expansividad se realizaron dos trabajos de diplomas, (Hidalgo, 2007) sobre el estudio del comportamiento de los suelos expansivos a partir de la mecánica de los suelos no saturados, donde se analiza conceptos como: los modelos constitutivos a emplear para la modelación de los suelos expansivos, ensayos de laboratorio que permiten evaluar cuantitativamente y de forma más precisa el comportamiento real de los suelos expansivos, obtención de parámetros geotécnicos de los modelos constitutivos necesarios para la aplicación de la modelación matemática para el análisis de su comportamiento, como resultado final de este

trabajo se garantiza una base teórica importante por su extensa y profunda revisión bibliográfica sobre el tema y define los modelos constitutivos a utilizar y el que mejor se aplica para el caso de Cuba teniendo en cuenta las características y los ensayos que se deben aplicar para lograr mejores resultados del comportamiento de estos suelos.

De forma paralela, (Parsade, 2007) trabajó en la modelación de viviendas ligeras bajo el efecto del cambio de volumen de los suelos expansivos, donde logra reproducir conductas similares de los daños provocados por la expansividad de los suelos a partir de una reingeniería empleando programas computacionales como el Staad. Pro. 2006. En el trabajo se analizan viviendas unifamiliares de hasta dos niveles, situadas en el Reparto de Santa Catalina, con los sistemas de viga zapata corrida y muros de carga de bloque y en segundo lugar el sistema mixto de muros de cargas con sistema de esqueleto y de sillería, En esta tesis se logra reproducir el comportamiento de los suelos expansivos, pero se necesita perfeccionar el análisis en lo referente a un grupo de factores tales como los materiales, propiedades del suelo y en la modelación. Basados en el análisis de los problemas antes mencionados y la revisión bibliográfica realizada posibilitan formular el problema científico, así como los demás elementos del diseño de la investigación, los cuales sirven de guía y orientación para definir las estrategias utilizadas en la modelación y la solución del problema objeto de estudio.

Problema científico

En Cuba se han estudiado suelos con diversas y complejas problemáticas, principalmente los suelos expansivos, obteniéndose resultados satisfactorios, no obstante, existe actualmente la necesidad de emplear soluciones alternativas basadas en las nuevas herramientas del diseño estructural, capaces de modelar los cambios volumétricos que experimentan estos suelos expansivos y lograr soluciones racionales de cimentación y/o estructurales.

Hipótesis

A partir de un proceso de reingeniería es posible modelar, empleando el programa profesional Staad, el comportamiento de estructuras de albañilería sobre suelos expansivos, de forma tal que se logren reproducir los posibles efectos que los mismos ocasionan producto de los cambios de volumen y a partir de aquí lograr proponer soluciones adecuadas.

Objetivo general

Modelar diferentes estructuras conformadas por muros de albañilería empleando el programa Staad, aplicando un proceso de reingeniería en la interacción suelo – estructura, con la finalidad de proponer soluciones a los problemas que se originan en las mismas producidos por los cambios de volumen.

Objetivos específicos

- Estudiar las características generales de suelos
- Establecer un procedimiento a seguir para la modelación de la interacción suelo-estructura, teniendo en cuenta factores como:
 - Características de los materiales (mampostería)
 - Características del suelos (coeficiente de balastro)
- Modelar las estructura que se encuentran bajo este fenómeno y a partir de un proceso de reingeniería poder obtener conductas similares a los problemas reales.
- Definir posibles soluciones a adoptar a partir de este modelo y evaluar las más efectivas.
- Realizar las recomendaciones desde el punto de vista de proyecto y constructivo sean de fácil aplicación para minimizar tales efectos.

Metodología de la investigación

En la realización del trabajo de investigación resulta necesario ejecutar varias actividades para dar cumplimiento a los objetivos y tareas planteadas. Se define cinco etapas estrechamente relacionadas entre sí.

Etapas I - Diseño de la investigación

Surgimiento de la idea de la investigación. Definición del tema y del problema de estudio. Recopilación bibliográfica preliminar y criterio de expertos. Formación de la base teórica general. Planteamiento de la hipótesis. Definición de los objetivos. Métodos y metodología de la investigación. Justificación, novedad científica e importancia.

Se cumple el objetivo específico 1y se redacta la introducción

Etapla II - Revisión bibliográfica de la literatura relacionada con la investigación y vinculada con el tema.

- ✓ Consideraciones sobre los suelos expansivos.
- ✓ Criterios de los materiales que componen los muros de mampostería
- ✓ Procedimientos para realizar la modelación
- ✓ Conclusiones parciales

Se cumple el objetivo específico 1, 2 y se redacta la revisión bibliográfica (Capítulo - I)

Etapla III - Modelación y análisis

- ✓ Determinación de los casos de estudio
- ✓ Determinar la característica de los materiales
- ✓ Modelación en el Staad. Pro. 2006
- ✓ Análisis de los resultados obtenidos
- ✓ Conclusiones parciales

Se cumple el objetivo específico 3 y se redacta el capítulo – II

Etapla IV - Soluciones constructivas

- ✓ Definir las principales propuestas de soluciones
- ✓ Análisis de los resultados
- ✓ Conclusiones parciales del capítulo

Se cumple los objetivos específico 3, 4,5y 6, se redacta el capítulo – III

Etapla V - Elaboración y defensa del informe final

Redacción de la versión final del informe, presentación y defensa del trabajo de diploma.

Novedad científica

Se logra modelar el comportamiento estructuras conformadas de muros de albañilería ligera sobre suelos expansivos, que posibilitan obtener conductas estructurales similares al problema real observado y facilitar, de esta forma, la toma de decisiones ingenieriles.

Aporte metodológico

Como aporte de esta investigación se logra establecer un conjunto de parámetros y características que se establece en una metodología y análisis del comportamiento de estas estructuras sobre suelos expansivos, por medio de la herramienta de diseño estructural Staad Pro. 2006.

Campo de aplicación

El campo de aplicación del trabajo está fuertemente relacionado con la planificación, investigación, diseño y construcción en suelos con problemas especiales de inestabilidad volumétrica. El trabajo pone a disposición de los proyectistas una serie de herramientas teóricas, analíticas y prácticas, que facilitan la aplicación del software Staad. Pro. 2006 para la modelación y solución de viviendas unifamiliares de hasta dos niveles, cimentadas sobre este tipo de suelos.

Estructura de la tesis

La misma se estructurara de la siguiente forma:

- Resumen
- Introducción
- Capítulo I. Estado actual del conocimiento sobre los suelos expansivos y sus soluciones ingenieriles
- Capítulo II. Modelación y análisis
- Capítulo III. Soluciones constructivas
- Conclusiones
- Recomendaciones
- Bibliografía
- Anexos



Capítulo - I

Capítulo – I Revisión bibliográfica

En este capítulo se realiza un análisis del estado actual del conocimiento sobre el comportamiento de los suelos con problemas especiales, principalmente de inestabilidad volumétrica.

1.1 Consideraciones sobre el fenómeno de expansividad

En Cuba y otras partes del mundo, ciertos tipos de suelos hacen que la construcción de cimentaciones, obras hidráulicas y viales sea extremadamente difícil. Dentro de este grupo de suelos se tratarán los suelos expansivos.

1.2 Suelos Expansivos

El término suelo expansivo se suele reservar para aquellos suelos no saturados donde las variaciones de las tensiones efectivas provocan una considerable expansión o retracción. La expansividad está asociada, por lo general, a suelos arcillosos plásticos con densidades secas altas y presiones exteriores bajas. Los cambios volumétricos pueden llegar a producir efectos perjudiciales en las obras construidas sobre ellos si no se toman precauciones especiales, principalmente debido a las fuerzas de levantamientos causados por la expansión de los mismos.

Existen referencias de la existencia de suelos expansivos en numerosos países entre ellos: Angola, Argelia, Argentina, Australia, Brasil, Canadá, Colombia, Ecuador, España, Estados Unidos, Etiopía, Ghana, India, Israel, Iraq, Irán, Kenia, Marruecos, México, Mozambique, Myanmar, Perú, Rusia, Sudáfrica, Turquía, Ucrania y Venezuela (Jiménez Salas, 1975). En Cuba han sido reportados en numerosos lugares (Delgado, 1999; Delgado y Quevedo, 2001).

1.3 Manifestación de la expansividad

Para que se ponga de manifiesto el hinchamiento de un suelo es necesario que el mismo sea, de naturaleza expansiva, y además es preciso que ocurra una variación apreciable de la presión efectiva. En dependencia de la importancia que se dé a estos aspectos existen dos tendencias para estudiar el fenómeno:

- 1.) Naturaleza expansiva de los suelos, que depende fundamentalmente del contenido de minerales arcillosos. El potencial de expansión que tiene una masa de suelo depende de la cantidad y tipo de minerales de arcilla en el suelo, el arreglo y el área específica de la superficie de las partículas de arcilla y la constitución química que rodea a esas partículas de arcilla. La mayoría de los minerales de las arcillas tienen un arreglo de sus átomos tal, que forman un entrelazamiento de sus cristales muy característico. Ya que de alguna manera tiene propiedades ingenieriles similares,

Estos grupos, para propósitos de ingeniería, son los siguientes:

1. Coalinita
2. Mica (incluye hilitas y versiculitas)
3. Esméctica (incluye las montmorionitas)

Los aspectos mineralógicos son tratados solo con fines de identificación cuando se puede disponer de estos datos. No obstante, se debe señalar que en el ámbito internacional algunos aspectos mineralógicos han sido retomados en modelos constitutivos para explicar el comportamiento de estos suelos.

2.) La otra tendencia estudia las variaciones de la presión efectiva del suelo ocasionadas por cambios de humedad, cambios de la presión total o variación de humedad y presión total; aunque también los cambios en la salinidad de la fase líquida pueden provocar variaciones de la presión efectiva, esto a través de ensayos de tipo edométrico y triaxial. En este trabajo se enfoca más en los cambios de volumen como consecuencia de las variaciones de la humedad y los estados tensionales del suelo, ya sean externos o internos, considerándose como los externos los resultantes de la presión total aplicada y como los internos, la succión o presión equivalente del agua, normalmente negativa en el caso de los suelos no saturados. (Delgado, 2003; ASEFA, 2004).

1.4 Mecanismos de expansión

Los diversos mecanismos de expansión aparecen en la literatura consultada en tres grupos:

- 1) Atracción de las partículas de arcilla
- 2) Repulsión osmótica e hidratación de cationes
- 3) Otros mecanismos de menor influencia en la expansión son las fuerzas de Van der Waals y la relajación elástica

En realidad, los mecanismos de expansión no actúan individualmente. Por ejemplo, la hidratación de iones no puede ser significativa sin la atracción de las partículas de arcilla, y la repulsión osmótica no puede influir en el cambio de volumen sin la atracción de agua y cationes por parte de la partícula. La succión total del suelo, que es la combinación de las componentes matricial y osmótica, refleja la influencia de los tres principales mecanismos de expansión. La succión matricial representa los mecanismos de atracción de las partículas de arcilla y de hidratación de cationes, y la succión osmótica representa el mecanismo de repulsión osmótica, (Delgado, 2003).

1.5 Factores que influyen en la expansión

Una gran cantidad de publicaciones han conseguido enumerar, definir y analizar los factores que afectan o determinan las características del comportamiento de los suelos expansivos, los mismos son analizados y resumidos por (Delgado, 2003). Los principales factores que afectan a la expansión se pueden dividir en tres grupos siendo:

El primer grupo es el concerniente a las propiedades intrínsecas de las partículas y las condiciones de la masa del suelo, tales como el tipo de mineral arcilloso, el contenido de arcilla, la densidad seca y el contenido de humedad. La expansión también depende de los iones de cambio (adsorbidos). El tipo y el contenido de mineral de arcilla son los factores intrínsecos que determinan si el suelo es o no potencialmente expansivo, así como el tamaño y superficie específica de los minerales de arcilla, mientras que los factores intrínsecos restantes, junto con el fluido de los poros y las condiciones del medio ambiente, determinan la extensión o magnitud del cambio de volumen.

El segundo grupo es el relativo a las propiedades del fluido de los poros, como la composición electroquímica del agua y la interacción agua-arcilla. Cuando el fluido de los poros contiene concentraciones altas de cationes, o sea de sales solubles, la magnitud del cambio de volumen del suelo expansivo tiende a reducirse; por el contrario, si la concentración iónica es baja puede ocurrir la lixiviación de los cationes que equilibran cargas y de los agentes de cementación, haciendo que el suelo sea más susceptible a cambiar de volumen.

El tercer grupo representa las condiciones del medio ambiente, ya sea en el campo o en el laboratorio. En este último grupo se agrupan factores como la historia geológica del depósito del suelo o el historial de presiones aplicadas, la temperatura y la disponibilidad de agua.

1.5.1 Problemas causados con los cambios estacionales debido a los ciclos de humectación-desección así como a la ascensión del nivel freático

Los cambios estacionales dan lugar a la variación de volumen, las cimentaciones superficiales sobre los terrenos anteriormente descritos, presentan en la mayoría de los casos problemas de asentamientos diferenciales mayores de los previstos para el cálculo de la estructura, dando lugar a patologías en la albañilería, estas patologías se pueden resumir en grietas o fisuras que traen como consecuencia la ruina de la edificación.

Los daños y grietas más comunes son los siguientes:

1. Grietas diagonales (ocasionalmente en arco) se manifiestan en tabiquerías y fachadas, debido al asiento mayor del previsto para esa estructura de una o varias de las zapatas. La fachada puede volverse inestable y desprenderse.
2. Rotura de cimentación, losas, zapatas corridas por pérdida de superficie de apoyo bajo la cimentación y punzonamiento por las cargas de la estructura.
3. Grietas verticales originadas en giros producidos por asiento de un pórtico con respecto a otro en el cerramiento que los une.

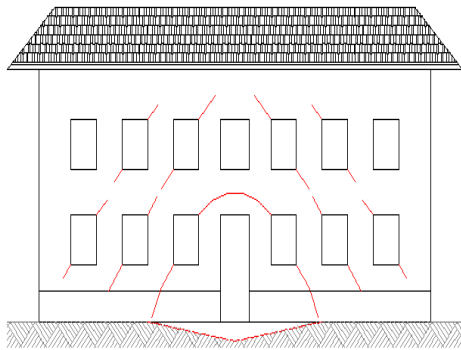


Figura – 1.1. Grietas diagonales

Dentro de estas patologías o daños causados por la forma en que se manifiesta el fenómeno de expansividad se destaca dos formas, el efecto de levantamiento en el centro y el efecto de levantamiento en los bordes como se puede observar en las figuras 1.2 (Mark J. Masia, etal 2004).

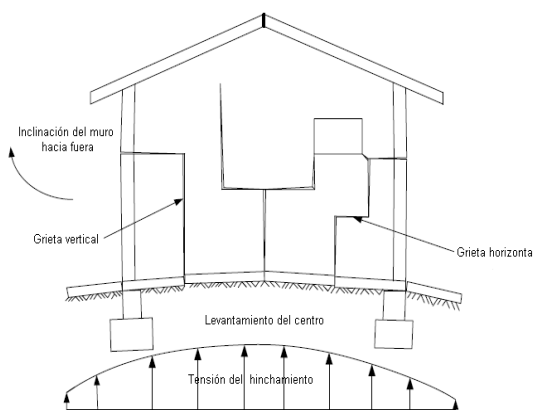


Figura - 1.2a Efecto de levantamiento en el centro

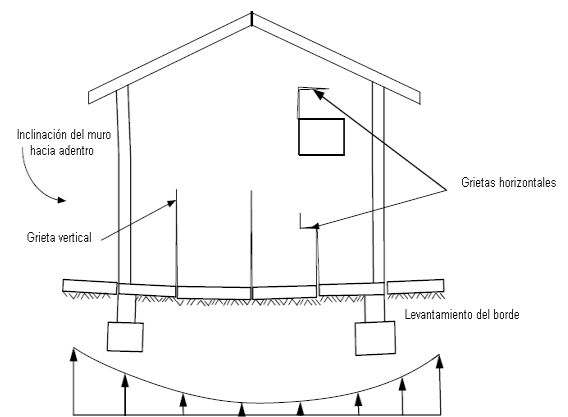


Figura – 1.2b Efecto de levantamiento en los bordes

1.5.2 Fugas de agua en las instalaciones

Las fugas en la instalación hidráulica y sanitaria son otras de las causas más comunes de los movimientos de la cimentación. Estos problemas a menudo son creados durante la construcción inicial de una casa o edificio; sin embargo, las fugas pueden no ocurrir durante muchos años u ocurrir posteriormente debido al envejecimiento de las instalaciones. La experiencia ha sido que las fugas en las instalaciones, no importa si son líneas de abastecimiento o de desalojo, siempre causan movimientos en la cimentación o en los pisos. Si existen movimientos mayores en la cimentación, se recomiendan pruebas en las instalaciones hidráulicas y sanitarias para verificar si existen fugas. Por ello es conviene alejar la cimentación de todas las causas citadas como medida de precaución a este fenómeno.

1.6 Profundidad de la capa activa

La profundidad de la capa activa, o profundidad de desecación, es el espesor de la capa de suelo en la cual existe una deficiencia de humedad debido a que la succión se ve afectada por variaciones de las condiciones atmosféricas y ambientales. La humedad de equilibrio sería la humedad que tendría

el suelo si todas las condiciones fuesen constantes, (Moreno, 1991; Normas Colombianas de Diseño y Construcción Sismo (NSR), 1997, Delgado, 2003).

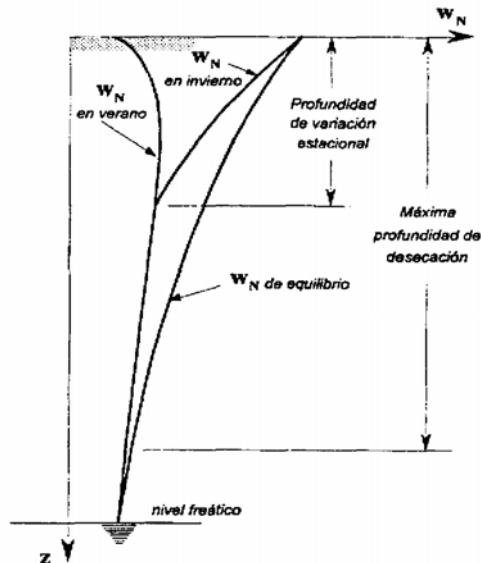


Figura 1.3 profundidad de la zona activa y variación de estaciones de humedad.

La variación de la succión como consecuencia de los cambios de humedad es máxima en la superficie y se va amortiguando hasta la profundidad activa, por debajo de la cual el suelo permanece estable. Los cambios de humedad en la capa activa producen hinchamientos o retracciones del suelo, este último fenómeno genera agrietamiento cuando la desecación es fuerte. Las variaciones de la succión pueden tener diversas causas: las variaciones climáticas estacionales, la acción aislante de las construcciones, la adición de agua al terreno, el calentamiento del terreno, la presencia de vegetación, la modificación del nivel freático o de las condiciones hidrológicas generales del terreno, la construcción de rellenos o terraplenes con humedad distinta a la de equilibrio. En Cuba la zona activa varía por lo general de 1,0 a 1,5 m, aunque con posterioridad se han descrito potencias hasta de 4 m en algunas localidades (Delgado, 1999). El agrietamiento superficial alcanza los 0,70 a 0,80 m de profundidad, aunque en algunos cortes se han detectado micro grietas a profundidades mayores. Para una determinación teóricamente correcta del espesor de la capa activa hay que medir ciertos parámetros del suelo con técnicas muy complejas e insuficientemente puestas a punto y aplicar métodos matemáticos complejos. Los resultados deben ser corregidos teniendo en cuenta ciertas condiciones del suelo, por ejemplo, la fisuración y su influencia en la transmisión de humedad, que en la práctica no se saben cuantificar. También son difíciles los problemas de filtración y evaporación por la superficie, así como la actuación de la termoósmosis y de la presión osmótica por diferencia de concentración de sales. Cuando no es posible establecer el perfil dinámico de succión de suelo, la potencia de capa activa se puede estimar por diferentes técnicas o relaciones que consideran la humedad natural, la plasticidad o la presencia del nivel freático. Actualmente en Cuba se estima el espesor de la capa activa de forma

totalmente empírica, por lo que se debe establecer un método más confiable basado en las relaciones entre estas propiedades físicas, dada la imposibilidad actual de determinar con exactitud el perfil de succión del suelo. Para la determinación del espesor de la capa activa (Delgado, 2003) recomienda:

- ⇒ Donde el perfil de succión vs profundidad muestre valores relativamente constantes con la profundidad, la profundidad de la zona activa se coloca en la parte superior del intervalo constante.
- ⇒ Cuando no se dispone de medios adecuados para determinar el perfil de equilibrio se puede recurrir a: a) Relación entre la humedad natural y el límite plástico. b) Relación entre el índice de fluidez (o el de consistencia) y la profundidad.
- ⇒ Considerar que las construcciones protegen la capa activa de las condiciones atmosféricas, además de que ejercen otros efectos secundarios que pueden ser de mayor importancia. Entre ellos cabe destacar: las modificaciones de las condiciones de drenaje superficial, las fugas en las redes de abastecimiento o saneamiento, la irrigación de zonas ajardinadas, las evaporaciones localizadas por calentamientos provocados por hornos y calderas o la presencia de árboles.
- ⇒ Los desmontes de cierta importancia descargan al terreno superficial restante, de manera que la expansividad potencial de la arcilla queda liberada de la presión que la mantenía estable o inactiva.

1.7 Ensayos y métodos de identificación y clasificación de los suelos expansivos

Se han hecho numerosos estudios para identificar y predecir el potencial de expansión de los suelos. La identificación y clasificación tiene como propósito principal la caracterización cualitativa del cambio potencial de volumen de aquellos suelos de los que se sospecha que puedan presentar problemas. La necesidad de un método empírico para evaluar las propiedades de un suelo, basado en índices sencillos y de rápida obtención, es una meta ampliamente evidenciada en la literatura técnica especializada (Delgado Martínez y San Román, 2002). Así se han desarrollado, con más o menos éxito, diversos métodos simplificados. Existen formas más sencillas y prácticas desde un punto de vista ingenieril para clasificar la expansividad y grado de peligrosidad de los suelos. Según Delgado, 2003 el grado de expansividad se puede determinar en función de las propiedades geotécnicas de los suelos.

Tabla 1.1 Criterios de Expansividad.

Expansividad	Límite de retracción	Índice de plasticidad	Límite líquido	Contenido en fines	Hinchamiento en agua (mm)	Presión de hinchamiento (Kg/cm ²)
Baja	>15	<15	<30	<30	0-1	<0,3
Media	11-15	15-30	30-45	30-40	1-2	0,3-1,2
Alta	<11	>30	>45	>40	2-3	>1,2

1.7.1 Ensayos para la cuantificación de las características de expansión

Existe una diversidad de tipos de ensayos destinados a cuantificar el porcentaje de hinchamiento y la presión de hinchamiento. A efecto de estudios y análisis se pueden dividir en dos grandes grupos:

- Ensayos de expansión con succión controlada.
- Ensayos de expansión con inundación.

1.8 Cálculo de las deformaciones de la capa activa

Las metodologías usadas para cuantificar los cambios de volumen pueden dividirse en dos categorías: los métodos o modelos semiempíricos y los métodos o modelos matemáticos. Estos métodos están basados en ensayos con inundación o en ensayos de succión controlada. Los métodos basados en ensayos de succión controlada no se analizan en este trabajo porque en el país no se cuenta con posibilidades para realizarlos. Para los métodos basados en ensayos con inundación los métodos de cálculo del levantamiento o colapso de la capa activa emplean las siguientes invariantes en sus procedimientos: espesor de capa activa (H_a), determinado por alguna de las vías comentadas, la propiedad deformacional del suelo, los estados tensionales iniciales y finales, y la discretización de la capa activa. En la mayoría de estos métodos se calcula el levantamiento del substrato expansivo de cimentación dividiendo la zona activa en capas para la realización de los ensayos y se aplica una ecuación análoga a:

$$h = \sum_1^i \varepsilon_i \cdot H_{a_i} = \sum \frac{\Delta e}{1 + e_0} \cdot H_a \quad (1.1)$$

Donde:

Δe = variación del índice de poros en cada subcapa.

e_0 = índice de poros en cada subcapa.

ε_i = deformación de cada subcapa de suelo.

H_a = espesor de capa activa.

Entre estos métodos se destacan el de Miguel Angel Alfaro Soto, 2007, que emplea los resultados del doble edómetro. Un método semiempírico desarrollado para calcular el de Jiménez Salas, 1957, que emplea los resultados del ensayo de hinchamiento libre y el de presión de expansión. Los autores establecieron una expresión que relaciona el hinchamiento con la presión aplicada. Carothers, 1965 sugiere que se realice un ensayo edométrico simple modificado. En base a este ensayo determina el índice de expansión primario (C_s) y una vez conocidos los cambios de tensiones efectivas (σ'_i , σ'_f), los movimientos verticales se evalúan utilizando la siguiente expresión:

$$h = H_a \cdot \frac{C_s}{1 - e_0} \cdot \log \frac{\sigma'_i}{\sigma'_f} \quad (1.2)$$

Jiménez Salas et al. (1981) comenta que los levantamientos calculados a partir de ensayos edométricos con inundación en ocasiones dan resultados inferiores a los observados, recomendando que estos resultados se afecten por un coeficiente entre 1,2 y 1,4. Para el caso de Cuba (Delgado, 2003) propone los métodos de discretización teniendo en cuenta o no los coeficientes de ajuste, para el cálculo del levantamiento del substrato de cimentación (h) se debe realizar dividiendo la zona activa en capas para el muestreo y aplicar la expresión:

$$h = \sum \frac{\Delta e}{1 + e_0} \cdot H_a \quad (1.3)$$

Para los valores de Δe se deben obtener de la curva de interpolación del ensayo edométrico con muestras dobles inundadas para la sobrecarga de tierras más la carga de la cimentación o, en su defecto, de forma análoga por el ensayo a volumen constante. Una variante alternativa puede ser aplicar el método de Sullivan y McClelland, (1969) a partir del ensayo edométrico a volumen constante. Para la discretización se debe aplicar el método de la sumatoria de capas. En cálculos preliminares a partir de los resultados del hinchamiento libre se deben aplicar coeficientes de corrección entre 0,8 y 0,6.

1.9 La mampostería

La albañilería es un material estructural compuesto, que en su forma tradicional, está integrado por unidades asentadas con morteros. En varios países se conoce como “mampostería”. Los muros son elementos estructurales compuesto de ladrillos, bloques, adobe, sillería, etc. Considerado como mampuestos, unidos de acuerdo a determinadas leyes de traba y con mortero, destinados a soportar y transmitir cargas importantes. El muro puede ser destinado a diferentes fines: a la contención de tierra, de líquidos o materiales almacenados en reservorios o silos, elemento estructural portante correspondiente a un edificio diafragmado, tabique divisorio; pared de cierre.

En consecuencia, la albañilería es un material de unidades débilmente unidas, este hecho, confirmado por ensayos y por la experiencia, permite afirmar que se trata de un material heterogéneo y anisótropo, que tiene por naturaleza una resistencia a la compresión relativamente elevada, que depende generalmente de lo que tenga la unidad propiamente dicha, mientras que la resistencia a la tracción es muy baja y está controlada por lo que tenga el material de unión.

Una vivienda de mampostería, así como cualquier obra en general construida con sistemas tradicionales o no tradicionales, si está bien diseñada y construida no debería tener problemas durante su vida útil. Sin embargo, a veces por un diseño incorrecto, por no construir de acuerdo a las reglas del arte, por efectos climáticos extremos o cambios de las propiedades de los suelos,

pueden aparecer algunas patologías. Por otro lado, es en las paredes donde se manifiestan muchos de los problemas en una vivienda, lo cual no significa que el problema tenga origen en ellas mismas. Por ejemplo, si hay un movimiento de suelos o ceden las bases, los muros sufren esa deformación y podrían aparecer fisuras. Si dilata en exceso una losa, se fisura el muro sobre la cual esta apoya. Lo mismo puede ocurrir si trabaja la madera de los techos por no estar debidamente estacionada.

1.9.1 Clasificación de los muros de mampostería

- Muros no resistentes

- Muros resistentes

1.9.1.1 Muros no resistentes

Son aquellos que, carecen de capacidad para resistir cargas contenidas en su plano. Estos muros, en ningún caso, podrán ser utilizados para la transmisión de cargas verticales y/u horizontales. Sin embargo, deberán poseer adecuada resistencia ante las acciones sísmicas perpendiculares a su plano, que derivan de su peso propio.

1.9.1.2 Muros resistentes

Son aquellos que, poseen capacidad para resistir cargas contenidas en su plano. Estos elementos estructurales son esenciales para la transmisión de cargas horizontales y/o verticales en las construcciones de mampostería.

La resistencia de la mampostería puede ser determinada por uno de los métodos siguientes:

1. Pruebas de paredes a escala natural.
2. Utilizando algún método empírico que relacione la resistencia de las unidades con la resistencia del muro.
3. Pruebas de prismas (Probetas).

(Ricaldoni, 2000; NC 53-115 Cálculo de Estructuras de Mampostería, 2003).

1.9.2 Comportamiento de la mampostería

Si la mampostería presenta una pérdida de rigidez y resistencia rápida, la falla se presenta por cortante o por tensión diagonal; es una falla de tipo frágil. Se puede considerar que antes del agrietamiento el muro se comporta de manera elástica lineal.

1.9.3 Mampostería como elemento estructural

La mampostería como un sistema estructural se puede clasificar en tres grupos:

- Mampostería simples
- Mampostería confinada
- Reforzada interiormente

Las estructuras de mampostería en su vida útil pueden estar sometidas a las siguientes solicitaciones:

1. Carga axial o vertical, debida al peso de la losa, las cargas vivas y al peso propio de la mampostería.
2. Fuerzas cortantes y momentos flexionantes, debidas a las fuerzas de inercia.
3. Empujes normales al plano del muro, causados por viento, agua o tierra, así como las fuerzas de inercia por sismos que actúan en dirección normal al plano del muro.

A causa de estas solicitaciones los muros de mampostería pueden llegar a fallar de las siguientes formas:

Falla ante carga axial

Esta falla depende de la interacción de piezas y mortero: las piezas restringen las deformaciones transversales del mortero induciendo en éste, esfuerzos de compresión en el plano transversal. En las piezas se introducen esfuerzos de tensión que disminuyen su resistencia. Es inusual que se presente este tipo de falla, y puede ser causada por piezas de mala calidad o porque éstas han perdido capacidad de carga por intemperismo.

Falla por flexión

Se produce cuando se alcanza el esfuerzo resistente en tensión (del orden de 1 a 2 kg/cm²). Es grave cuando no existe en la mampostería acero de refuerzo, ya que éste toma los esfuerzos de tensión. Se identifica mediante grietas horizontales en los extremos de los muros, que se van haciendo más grandes en la parte inferior.

Falla por cortante

Hay dos tipos: Falla por cortante, cuando la grieta es diagonal y corre sólo a través de las juntas de mortero; y la Falla por tensión diagonal, cuando la grieta es casi recta, rompiendo las piezas. La mayoría de estas fallas se deben a que no se cuida el diseño en la estructura.

1.9.4 Patología en la mampostería

Dentro de las muchas patologías que se pueden ver en un muro, se describirán los tipos más usuales para el caso del presente trabajo.

- a) Fisuras debido a acciones mecánicas externas - Si la fisura viaja tanto horizontal como vertical o diagonal, entonces es debido a que se han producido movimientos que superan a la resistencia del muro. Estas fisuras pueden recorrer tanto una junta vertical u horizontal entre los mampuestos como así también pueden atravesar la unidad en forma diagonal o vertical. Las patologías debido a acciones mecánicas externas se pueden evitar con

precauciones a tomar desde el proyecto mismo, antes de comenzar la obra. Es importante analizar previamente las resoluciones constructivas a adoptar para cada caso.

- b) Asentamientos diferenciales de los cimientos - hay distintos tipos de suelos y cada cual tiene su modo de comportamiento ante las nuevas cargas que supone la construcción a realizar. El tipo de cimiento a adoptar como solución dependerá del tipo de suelo existente en el terreno, de la profundidad a la cual se encuentra un estrato firme, etc. Aun así siempre se produce un asentamiento del suelo luego de construida la obra. Si los asentamientos son parejos no generan grandes problemas. Es cuando se producen asentamientos diferenciales que aparecen fisuras en la mampostería.

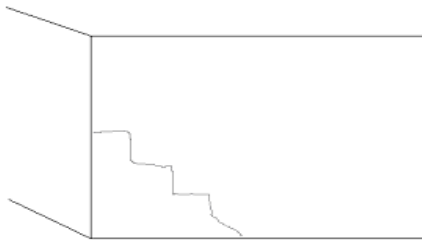


Figura 1.4 Forma típica de una fisura producida por un asentamiento de esquina.

Los ejemplos más críticos son las arcillas expansivas y los suelos de rellenos compactados en forma inadecuada. Las arcillas expansivas sufren variaciones de volumen ante cambios de su contenido de humedad. Cuando aumentan su humedad tienden a empujar hacia arriba y ejercen presiones que llegan hasta los 400 KPa. Como las cargas que los muros portantes en viviendas de hasta dos plantas transmiten al suelo están normalmente en el orden de los 200 KPa, el empuje del suelo puede llegar a superarlas, produciendo grietas en los muros si los cimientos no fueron capaces de resistirlas sin deformarse. Así mismo, cuando disminuye su contenido de humedad, se producen hundimientos que también le producen grietas a los muros. Las variaciones de humedad obedecen a: agua de lluvia que cae por los desagües del techo, canalizaciones rotas, etc. En casos de presencia de arcillas expansivas es práctica habitual realizar vereda perimetral de 1 m de ancho en todo el perímetro de la casa. Los suelos de rellenos poseen baja resistencia y sufren deformaciones superiores a lo habitual. Si no han sido debidamente compactados, las deformaciones no son parejas y se producen grietas en la mampostería. Cuando se está en presencia de éstos tipos de suelos, además de tomar los recaudos necesarios en la elección del tipo de cimiento, lo recomendable es incorporar mayor armadura horizontal de refuerzo en la mampostería. Tanto en los muros portantes, como en las divisiones que también pueden sufrir esas deformaciones (especialmente con las arcillas expansivas).

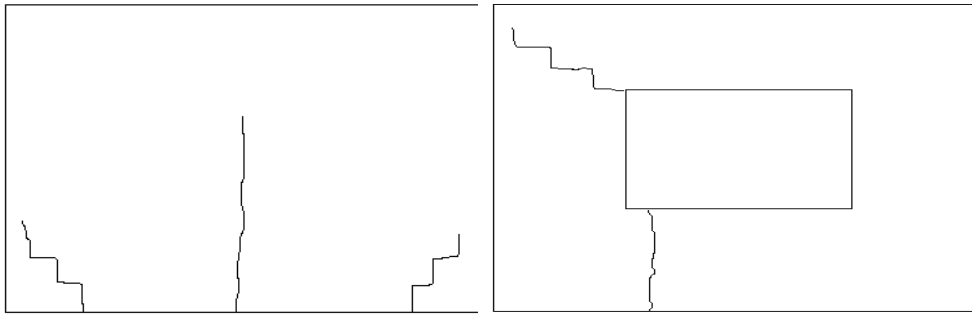


Figura 1.5 Formas características de fisuras en mampostería por asentamiento diferencial de fundación.

Las características de los materiales que componen los muros de mampostería de los casos de estudio serán analizadas detenidamente en el capítulo II para mejor comodidad del trabajo.

1.10 Estado actual de la modelación numérica aplicada al cálculo y diseño ingenieril

La modelación es un método que puede ser utilizado en casi todos los problemas ingenieriles, esta es capaz de dar una solución aproximada a casos que por su complejidad matemática requiera de la aplicación del cálculo computacional. En el campo de la ingeniería, el hombre ha tenido que enfrentarse a un grupo de fenómenos donde por limitaciones del conocimiento o por la carencia de una infraestructura técnica adecuada, no ha podido encontrar la respuesta en el “problema real”. Esto ha propiciado que tenga que recurrir a su capacidad creativa y lograr una abstracción de este problema, obteniendo “modelos” sobre los cuales se trabajan buscando una respuesta analítica, que por muy precisa que ella sea, los resultados obtenidos serán indicativos del “problema real” en la medida que el “modelo” represente fielmente sus propiedades esenciales (Broche, 2005).

Del análisis de los esquemas de estados de cargas que pueden estar presentes, el comportamiento elemental del material y las condiciones de contorno impuestas, se implementa el método para dar solución a todo el problema real. Existen varias alternativas para dar este paso, cada una constituye un método, los que se pueden agrupar en empíricos, analíticos y numéricos. En el caso de los métodos analíticos, el cálculo consiste en la evaluación de las fórmulas matemáticas desarrolladas mediante un proceso de análisis. Los métodos numéricos son técnicas basadas en procedimientos numéricos de aproximación de funciones y define su campo de uso donde las soluciones analíticas son inabordables por la complejidad matemática que requieren, lo que se facilita en la actualidad con la ayuda del cálculo electrónico (López et al, 1998, Ibáñez, 2001; Agustín Orduña y A. Gustavo Ayala, 2001; Zamonsky, 2004; Broche, 2005). Estos han tenido una amplia difusión en el campo de la ingeniería con la aparición de computadoras cada vez más potentes y programas computacionales más modernos que implementan dichos métodos, esto permite al ingeniero analizar problemas cuya solución analítica es inabordable por su complejidad y el empírico es algo dudoso. En la actualidad, con la aplicación del Método de los Elementos Finitos y el Método de Diferencias Finitas se

obtienen respuestas apropiadas a problemas que por presentar un elevado grado de dificultad, estos tengan que empezar a jugar su papel.

En estos tiempos es normal la integración del cálculo por elementos finitos (Finite Element Analysis - FEA) y el dibujo asistido por computadora (Computer Aided Design - CAD), siempre con el objetivo de reducir los tiempos de proyectos o de puesta de producto en el mercado. Todo esto vinculado con el desarrollo de la industria de la computación y la programación ha favorecido la aparición en el mercado de sistemas profesionales basados en estos métodos numéricos con grandes potencialidades para el análisis de los problemas tensión – deformación asociados con los sólidos, entre los cuales se destacan: ANSYS 10.0, SDRC/IDEAS, ABAQUS, COSMOS, SAP2000, STAAD, etc. (Broche, 2005).

Varias son las bondades que brindan estos sistemas, las cuales inciden en que en la actualidad se abran nuevos horizontes al campo de la modelación estructural, su uso no solo se enmarca en la solución de problemas complejos donde los métodos analíticos son insuficientes. Existen tendencias actuales donde se aplican procedimientos numéricos para estudiar los elementos estructurales, permitiendo caracterizar su comportamiento ante la acción de la carga y arribar a conclusiones que formarán parte de los documentos normativos. Para poder obtener resultados y resolver el problema en cuestión aplicando técnicas computacionales es imprescindible plantear los casos de estudio de una forma completamente algebraica. El conjunto infinito de números que representan la función o funciones incógnitas en el continuo, es reemplazado por un número finito de parámetros incógnita mediante un proceso de discretización aproximada.

Frecuentemente en la práctica ingenieril nos encontramos con problemas a los cuales se les imposibilitan establecerles una solución de forma analítica por lo que los métodos numéricos y específicamente los elementos finitos se transforman en la única arma capaz de dar una solución práctica de cálculo. Al recurrir a procedimientos automatizados de cálculo se libera al proyectista de esas tareas rutinarias y se le permite dedicar su atención a los problemas fundamentales de la concepción de la estructura y de la solución de sus aspectos básicos, así como a la revisión de los resultados (Meli Piralla, 1986).

1.10.1 Técnicas para la realización de la modelación

Modelar una estructura es idealizar una estructura real por medio de un modelo teórico factible de ser analizado mediante procedimientos de cálculo disponibles. La modelación incluye la definición de diversas propiedades de los elementos que componen al modelo. Esto implica la recolección de datos y la suposición de otras propiedades, como son las propiedades elásticas de los materiales

incluyendo el suelo de cimentación y las propiedades geométricas de las distintas secciones. (Meli Piralla, 1986)

En la historia de la ingeniería la mayor parte de los problemas se han resuelto empleando métodos de modelación, la aplicación de estos han permitido que los trabajos se realicen más dinámicos y aplicativos. La implementación de la modelación en nuestra rama de la ingeniería ha permitido establecer nuevas perspectivas sobre el comportamiento y la forma de trabajo de las estructuras, además de las acciones que generan las cargas y la conducta de los materiales. Con el de cursar de los años y el desarrollo de las técnicas computacionales, los métodos de modelación se han perfeccionado, lográndose cada vez resultados más cercanos al comportamiento real de los materiales y las estructuras pero nunca del problema real, ya que los resultados que se obtendrían serían de los modelos creados. Todo esto también se encuentra relacionado con la aplicación de las estadísticas y las probabilidades a los modelos y a los resultados. En la siguiente figura se muestra la guía general para realizar una modelación, se puede observar como para obtener la solución del modelo del problema real hay que establecer métodos de diseño y seguridad, además de obtener el o los métodos de solución que resuelven el problema mediante la implementación de los modelos de las cargas, del material y de la estructura.

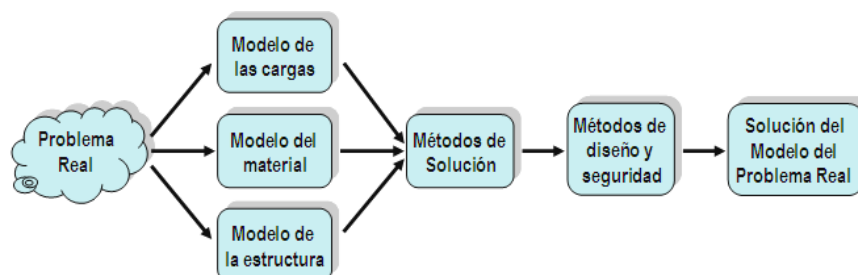


Figura 1.6 Diagrama a seguir para la realización de una modelación

1.11 Modelación numérica aplicada a las cimentaciones

En este trabajo, el uso de los métodos numéricos se enmarcará en lo relacionado con la caracterización de los estados tenso-deformacionales en cuerpos sólidos. En este campo el procedimiento numérico más generalizado es el Método de los Elementos Finitos (MEF), por las bondades que brinda, dentro de las que se señalan: incorpora a su solución herramientas de cálculos mejor elaboradas, es muy versátil a la hora de modelar geometrías complejas, su uso se ha extendido para obtener soluciones a problemas con comportamiento no lineal del material, por su capacidad de adecuación a diferentes efectos locales. Existen tendencias actuales donde se aplican procedimientos numéricos para estudiar los elementos estructurales, permitiendo caracterizar su comportamiento ante la acción de la carga y arribar a conclusiones que formarán parte de los documentos normativos; este es el principal uso que tendrá la modelación en este trabajo. En Cuba se reportan investigaciones, en las que se aplican los conceptos de modelación para dar solución a

problemas relacionados con el mundo de la geotecnia y cimentaciones; en los últimos tiempos se han desarrollado muchos trabajos alrededor de esta temática, donde todos tienen en común el uso de la modelación matemática para resolver problemas asociados a fenómenos geotécnicos, por lo que en ellos se pueden encontrar las tendencias más actuales de modelos constitutivos aplicados al suelo. En los casos en que aparecen elementos de hormigón, se usan modelos constitutivos basados en la teoría de elasticidad lineal. Basado en estos fundamentos en la presente investigación para cumplir con los objetivos planteados, se tomará como base las recomendaciones realizadas en estas investigaciones para el caso del material suelo. Para el hormigón se buscará un modelo constitutivo que trate de simular el comportamiento real de estos materiales, elaborándose las recomendaciones pertinentes para el caso de su implementación computacional.

1.11.1 Modelación de la estructura bajo el efecto de expansividad

Existen muchas formas para realizar la modelación de los elementos de una vivienda, como las paredes, columnas, cimentaciones y las vigas etc. Una variante son los modelos de gran escala donde se construye el elemento con las propiedades reales y se aplica las cargas en forma natural. Estos métodos son muy caros y presentan el inconveniente de que requieren equipos especiales para efectuarlos (defómetro, strength gauge, etc.). Sobre todo considerando estos modelos requieren la aplicación de cargas muy elevadas que normalmente están fuera del alcance de los equipos disponibles. El otro variante es por el empleo de los programas computacionales donde se puede reproducir modelos con propiedades parecidas para lograr la realización de un análisis.

1.11.2 Modelación de la iteración suelo-estructura

Las tendencias actuales de la modelación, es modelar la estructura y el terreno como un todo orgánico y único, es decir, el análisis conjunto de la superestructura, la subestructura y el terreno. Esta forma de modelación se justifica gracias a que las obras estructurales al apoyarse sobre el terreno, forman con este una unidad donde ambos elementos interactúan entre sí. Esto implica que el análisis, diseño y comportamiento de las obras estructurales depende no solo del uso para el que fueran preconcebidas y de las solicitaciones que como resultado de ellos actúan sobre las mismas, sino que lo hace también en buena medida, dependiendo de la respuesta conjunta del sistema estructura-terreno y de la forma en que este último material se deforma durante la transmisión de las cargas al medio.

Las tendencias de desarrollo en el campo de la modelación están dirigidas a una modelación sistemática del fenómeno. Otros intentos han sido emplear programas como ABAQUS con modelos de tensiones efectivas implementados para solución de problemas de iteración en arcillas expansivas con grados de saturación altos. Un procedimiento similar emplea el programa GEO-

Slope para el cálculo de la expansión de los suelos como resultado de los cambios de la presión de poros de agua, a partir de parámetros obtenidos de ensayos edométricos y triaxiales con resultados muy discretos.

En el ámbito internacional, existen programas de elementos finitos que tienen implementados los modelos de estados críticos comentados para la modelación de los cambios volumétricos de suelos no saturados. La modelación sistemática en los suelos con cambios de volumétricos ha sido privativa de grupos muy especializados en el mundo y aun no ha podido generalizar, principalmente debido a las limitaciones que presentan los modelos de estados críticos para su implementación. Esta temática continua siendo objeto de estudio y perfeccionamiento por parte de sus autores. Los códigos y programas diseñados que implementan estos modelos han permitido su validación y perfeccionamiento para obras de categoría especial.

En Cuba no existe experiencia en la modelación del comportamiento de los suelos no saturados, especialmente suelos con problemas especiales, como puede ser el caso de la expansión. Pero actualmente se está buscando formas de modelar el comportamiento de los suelos expansivos, a partir de otros softwares, por lo cual Parsade, 2007 en su trabajo de diploma logró modelar y/o reproducir los daños provocados por los suelos expansivos, utilizando el programa Staad. Pro. 2006, que es uno del software usados para modelación, dentro muchas razones, por su fácil manejo e interpretación de los modelos (cargas, materiales, estructuras, uniones y el terreno)

1.12 Uso del software Staad. Pro. 2006 en la modelación

Actualmente existen múltiples softwares para la modelación, análisis y diseño automatizado, en que casi todos tienen un nivel similar para realizar la modelación y el análisis automatizado. En todas las principales invariantes a tener en cuenta son:

1. Geometría
2. Condiciones de apoyo
3. Cargas
4. Materiales

1.12.1 Modelo estructural

El modelo estructural está integrado por:

- Modelo geométrico: esquema que representa las principales características geométricas de la estructura. Su determinación implica identificar parte de la construcción que desarrolla funciones estructurales y eliminar la parte que no influye significativamente en la respuesta de la estructura. Requiere representar la estructura por medio de componentes estructurales básicos, cuyo

comportamiento estructural puede conocerse (barras, placas, resortes, arcos, cascarones, etc.) y definir las propiedades geométricas equivalentes de estos componentes básicos.

- Modelo de las condiciones de continuidad en las fronteras: debe establecerse como cada elemento está conectado a sus adyacentes (si a través de un nudo rígido o permitiendo algún tipo de deformación relativa por ejemplo) y cuáles son las condiciones de apoyo de la estructura (empotramiento, simple apoyo, etc.).
- Modelo del comportamiento de los materiales: debe suponerse una relación acción-respuesta (esfuerzo-deformación) del material que compone la estructura. Generalmente se hace la hipótesis de comportamiento elástico lineal, aunque esta tiene limitaciones en muchos casos.
- Modelo de las acciones impuestas: las acciones que afectan la estructura para una condición dada de funcionamiento, se representan por conjuntos de cargas o deformaciones impuestas.

Las condiciones de apoyo de la estructura sobre el terreno no dependen del tipo de cimentación que se proporcione, ni de las propiedades del subsuelo. Se acostumbra a modelar el apoyo con una de las condiciones extremas; empotramiento o articulación, aunque generalmente las condiciones serán intermedias, y deberían estar representadas por medio de resortes que reprodujeran la rigidez de la cimentación. Las incertidumbres en las propiedades del suelo y su variación con el tiempo hacen poco predecible las características de estos resortes y justifican considerar las condiciones extremas más representativas. (Meli Piralla 1986).

1.12.2 Apoyos

El Staad. Pro. 2006 permite la especificación de apoyos que son paralelos así como inclinados con respecto a los ejes globales. Los apoyos se clasifican como articulados, empotrados o empotrados con diferentes grados de libertad. Un apoyo articulado (PINNED), tiene restricciones en contra de todo movimiento de translación y ninguna en contra del movimiento de rotación. En otras palabras, un apoyo articulado tendrá reacciones para todas las fuerzas, pero no contendrá momentos. Por otra parte, un apoyo empotrado (FIXED) tiene restricciones en contra de todas las direcciones de movimiento. Las restricciones de un apoyo fijo, pueden ser modificadas en cualquier dirección deseada.

1.12.3 Cargas

Las cargas en una estructura pueden ser especificadas como cargas sobre nodos, cargas sobre miembros, cargas debidas a temperatura y cargas sobre empotramientos. El Staad. Pro. 2006 puede también determinar el peso propio de la estructura y usarlo dentro del análisis como cargas uniformemente distribuidas.

1.12.4 Materiales

Los materiales que se implementan por defecto en el software son el hormigón, acero y aluminio permitiendo realizar diseños con estos últimos. Lógicamente dentro de sus posibilidades está la de modelar cualquier material con variar sus constantes; algunas de ellas están referidas al módulo de elasticidad, densidad específica, módulo de Poisson, coeficiente de dilatación térmica.

Los modelos del comportamiento de los materiales empleados para la simulación del comportamiento real de la estructura han ido evolucionando desde los más simples y alejados de lo real hasta los más complejos y que abordan en sí el comportamiento reológico del mismo (Mora, 2003; Suárez, 2007). Entre estos modelos encontramos los siguientes: Modelo elástico lineal; Modelo plástico; Modelo elasto-plástico; Modelos no lineales; Modelos reológicos; Modelos reológicos no lineales.

1.13 El suelo de cimentación

Se puede modelar los cimientos de vigas corridas utilizando el modelo de una cimentación continua, donde se realiza un análisis del comportamiento de la estructura al frente de los desplazamientos que ocurre en suelo. Los efectos que induce el suelo y por lo tanto el comportamiento de la cimentación, están supeditados a una gran cantidad de variables, muchas de ellas inciertas por lo tanto hay que realizar simplificaciones para estos modelos. En el programa se puede modelar el comportamiento del suelo empleando muelles como apoyos de los elementos. Existen varias variantes en el Staad para el uso de los mismos. En este trabajo utilizaremos los fixed but como apoyos elásticos y se introduce el valor del módulo de deformación del suelo que resulta más cómoda porque el usuario puede pedir al programa para los valores del factor k . En bibliografía consultada existen diferentes formas para determinar el factor k .

Actualmente en el campo de las cimentaciones, uno de los métodos más empleados para calcular los esfuerzos es la modelización como viga flexible, en el cual se supone el terreno como un conjunto infinito de muelles situados bajo una viga deformable, la cimentación. La constante de deformación de cada muelle es K_s (módulo de balasto), valor obtenido del cociente entre la presión de contacto (q) y el desplazamiento, en nuestro caso (δ), (Fitera, 2006).

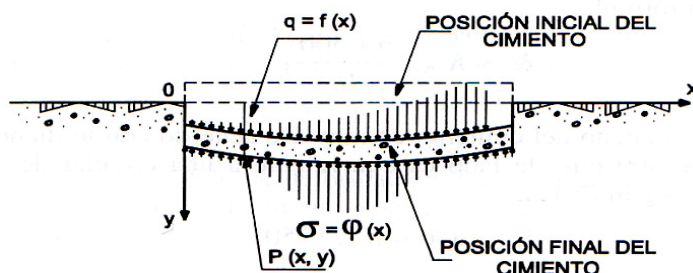


Figura 1.7 Teoría del modelo de Winkler.

El creador de este modelo de interacción estructura-terreno fue Winkler, y tiene múltiples aplicaciones, no sólo en el campo de las cimentaciones, sino en cualquiera problema que pudiese adaptarse a este modelo. La aplicación de la teoría del módulo de balasto ha ganado aceptación en los últimos tiempos, ya que permite una fácil asimilación del modelo de la interacción estructura-terreno utilizando los métodos matriciales de cálculo. Bastará con incluir muelles en los nudos con la rigidez correspondiente al balasto, en elementos lineales mediante su discretización en varias barras cuyos nudos incluyen bielas, en elementos superficiales mediante un emparrillado de barras con las bielas en los nudos. Esto ha supuesto que el método de Winkler sea el que usa la mayoría del software de cálculo de estructuras.

Cuestiones a considerar:

Se parte de la hipótesis ideal de suelos homogéneos.

No se tiene en cuenta la interacción entre cimientos próximos.

Depende de la superficie de la cimentación: relación entre tensiones y asientos.

El coeficiente de balasto es inversamente proporcional al asiento.

Se determina en laboratorio, mediante ensayo de placa de carga de diferentes diámetros D (generalmente 30x30cm).

1.13.1 Obtención del módulo de Balasto

En la bibliografía consultada (Rodrigo Ortiz, et al Mazo, 2000; Lavad y Fernando, 2002; Tellado, 2006;) analizó el módulo de balasto vertical para una zapata o una losa se puede definir por dos métodos:

Método 1:

A partir de ensayo de placa de carga realizado sobre el terreno, con unas dimensiones habituales de placa cuadrada de 30x30cm, o bien circular de diámetros 30, 60 y 76,2cm. En el estudio geotécnico este módulo viene generalmente representado por una K , mientras que el correspondiente subíndice identifica a la placa con que se realizó el ensayo (K_{30} , K_{60} , etc.). El tamaño de la placa influye en la profundidad afectada, por tanto a menor tamaño de placa menor bulbo de presiones y con ello menor profundidad de los estratos estudiados. En el caso de losas la profundidad de influencia de la placa es mucho menor que la de la losa real, cuyo bulbo de presiones está en función de su ancho total, con lo que se puede inducir a errores graves debidos a bajadas de rigidez de estratos inferiores pero activos. En el caso de terrenos rocosos las pruebas realizadas con una placa grande estarán más afectadas por la fisuración que las hechas con placa pequeña. A partir del ensayo de placa de carga, mediante formulación planteada por Terzaghi que contempla las dimensiones del cimiento se puede obtener el módulo de balasto. En general, este método es para zapatas porque en el caso de losas es

más complejo y se debe estudiar la rigidez del conjunto de estructura-cimentación, aunque como se verá es posible adaptarlo para obtener un primer orden de magnitud.

Dada una losa rectangular y un coeficiente de balasto obtenido mediante ensayo de placa de carga de 30x30cm definimos:

- Ancho equivalente de la zapata (m): parámetro que depende de la rigidez de la estructura y de la cimentación. En el caso de losas, un valor aproximado para b puede ser la luz media entre pilares, si es una luz pequeña, o el ancho total de la losa en caso

de luces medias o grandes, a pesar de que esto conduce a módulos de balasto excesivamente bajos.

Se recomienda consultar bibliografía específica en caso de necesitar un valor de precisión.

- l : lado mayor o longitud de la losa (m)
- $K_s, 30$: módulo obtenido en placa de 30x30cm (KN/m³)
- K_s , cuadrada: módulo de la zapata cuadrada (KN/m³)
- K_s , rectangular: módulo de la zapata rectangular (KN/m³)

Método 2:

Mediante la determinación de los parámetros característicos del terreno (módulo de deformación, tensión admisible, etc.) que se relacionan con el módulo de balasto por fórmulas de diversos autores. Fórmula de Vesic: en función del módulo de deformación o elasticidad (E_s) y del coeficiente de Poisson (ν_s) el terreno, que en su forma reducida tiene la siguiente expresión:

$$K_s = E_s / [B (1-\nu_s^2)] \quad (1.4)$$

Donde: B es el ancho de la cimentación.

Fórmula de Klepikov:

$$K_s = E_s / [\omega A (1/2) (1-\nu_s^2)] \quad (1.5)$$

Con (A) el área de la base de la cimentación y (ω) un coeficiente de forma de la cimentación que para zapatas o losas se puede obtener de la tabla en función del largo (L) y del ancho (b) de la cimentación (ver anexo tabla 1.1):

Fórmula de Bowles⁴: basada en la tensión admisible de la cimentación:

K_s (kN/m³) = 40*(Factor de Seguridad)* σ_a (kPa) Donde el factor de seguridad es el empleado para minorar la tensión admisible (FS=3) (Requena, 2007.)

Coeficientes de balasto, Valores orientativos para placa de carga de 30x30cm² (K_{30}).

(Ver anexo tabla 1.2).

Conclusiones parciales del capítulo

Después de una revisión de la bibliografía acerca de la temática se puede realizar las siguientes conclusiones:

- *El comportamiento expansivo de un suelo arcilloso que se produce durante y después de terminada la construcción de una obra, es el que debe esperarse de cualquier depósito de suelos arcillosos parcialmente saturados. El cubrimiento del suelo desequilibra las condiciones de humedad de los mismos, disminuyendo las fuerzas naturales causadas por la evaporación y la transpiración, creando gradientes de humedad de succión o de tensión en el agua (de un valor inicial alto en los sitios descubiertos y un valor bajo en los sitios cubiertos). Este gradiente induce un flujo de agua hacia la edificación, causando la mayor acumulación y cambio de volumen en la zona central, donde la interferencia con las condiciones originales es más grande.*
- *De acuerdo con la experiencia obtenida por diferentes investigadores, las condiciones impuestas por el clima, en los que se presentan divisiones muy bien definidas entre los períodos secos y lluviosos, son las que propician los mayores hinchamientos y expansiones de los suelos arcillosos, cuando se los cubre con obras de ingeniería civil.*
- *La evaluación de la expansividad de un suelo trae consigo la realización de una serie de tareas que se deben realizar, las cuales pueden unirse o separarse. Estas tareas fueron presentadas, para el caso de Cuba como una metodología integral en investigaciones precedentes.*
- *En las literaturas consultadas se pudo concluir que estos suelos se deforman de manera ondulatoria como se demuestra en la figura y los mismos se tomarán en cuenta para el proceso de reingeniería que se pretende aplicar mediante el uso de programa Staad. Pro 2006.*

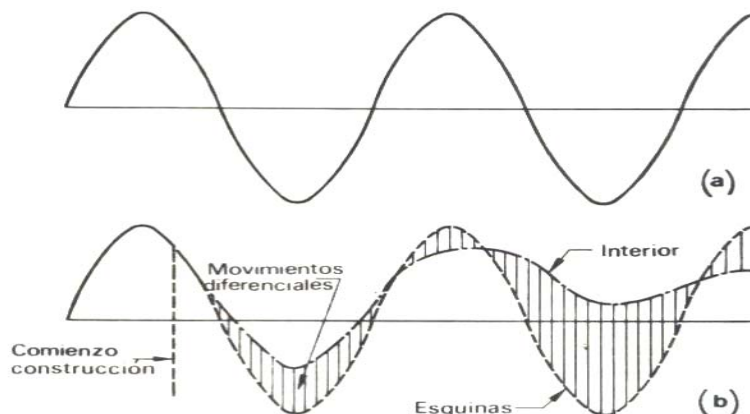


Figura 1.8 a) movimientos estacionales del terreno descubierto. b) movimientos estacionales debajo de un edificio, a partir de su construcción (J. Salas, 1980).

- *Mediante programas de computación es posible generar modelos para estudiar las conductas provocadas por los suelos expansivos, pero en Cuba en estos momentos no están creadas las condiciones en los laboratorios para obtener estos parámetros que conforman estos modelos.*
- *El programa Staad nos brinda la posibilidad por sus características de realizar un proceso de reingeniería que consiste en modelar la iteración suelo-estructura, a partir de mover los elementos de apoyo hasta obtener una conducta similar a los daños causados en las viviendas de estudio logrando resultados cercanos a los reales y proponer soluciones prácticas a los problemas que produce este fenómeno.*



Capítulo - II

Capítulo – II Modelación y Análisis

En este capítulo se muestra cómo se realiza la modelación y el análisis de dos estructuras que son designadas en el presente trabajo como casos de estudio I y II ambos los casos poseen sistemas constructivos diferentes. La modelación y el análisis estructural, son dos pasos fundamentales que deben ser llevados a cabo para poder realizar el diseño estructural de los elementos de la estructura que soportarán las acciones a las cuales estarán sometidas las mismas. La realización de una modelación real de este tipo de estructuras ligeras con muros de albañilería, sobre suelos expansivos, lleva implícito un trabajo de laboratorio como se describió en el capítulo-I, del cual se obtienen las principales características de estos suelos. En Cuba en estos momentos no están creadas las condiciones en los laboratorios para obtener estos parámetros, pero los daños producto de los cambios volumétricos se incrementan por años, es por eso que este trabajo tiene como objetivo principal la reproducción de las conductas (daños) provocados por la expansividad, a partir de un proceso de reingeniería, que consiste en modelar la estructura y a partir de un proceso iterativo ir moviendo los elementos de apoyo simulando los procesos de retracción y expansión del suelo hasta obtener una conducta similar a la de las viviendas de estudio para lograr de esta forma proponer soluciones prácticas a los problemas provocados por este fenómeno.

De la revisión bibliográfica se determinaron un grupo de factores y parámetros desde el punto de vista constructivo y metodológico, a tener en cuenta a la hora de modelar los diferentes elementos de la estructura. Las obras construidas con muros de albañilería poseen características singulares y son bastante sensibles a los daños impuestos por la iteración con el suelo, provocados en gran medida por esfuerzos para los cuales la estructura no posee capacidad para sopórtalos, siendo por eso importante entender el comportamiento mecánico y el mecanismo típico de rotura para que tales daños, sean evitados o reparados.

2.1 Determinación de las características mecánicas de los materiales

2.1.1 Albañilería

La albañilería es un material estructural compuesto, que en su forma tradicional, está integrado por unidades unidas de acuerdo a determinadas leyes de traba y con mortero, destinadas a soportar y transmitir cargas importantes. También conocida como mampostería, está compuesta de elementos como: ladrillos, bloques, adobe, etc.

2.1.2 Resistencia de cálculo del muro

En todos los casos la resistencia de un muro depende de tres factores principales:

- a) La resistencia del mampuesto (bloque, ladrillo, sillería, o adobe).
- b) La resistencia del mortero

c) La estabilidad del muro

Para llegar a calcular la resistencia de los muros de las estructura analizadas se utilizaron los criterios que aparecen tratados por Negrín, 2004 y la NC 53-115 Cálculo de Estructuras de Mampostería, 2003, Normativa de ladrillo y bloques, 2004; Reglamento CIRSOC (calidad de la mampostería); Colunga et al, 2007).

2.1.3 Resistencia de las unidades (mampuesto)

a) Bloques de hormigón

Para los bloques de hormigón se tienen en cuenta sus características en función de su ancho (b) y de su peso del obtenemos los siguientes resultados:

Peso para $b = 15\text{cm}$ 169Kg/cm^2

Tipo Resistencia (Kg/cm^2)

B 50

b) ladrillos macizos

Para los bloques de ladrillo se tienen en cuenta sus características en función de su tipo y de su peso del obtenemos los siguientes resultados:

Peso por unidad: 3, 5 Kg, Peso específico: $1\,900\text{ Kg/m}^3$

Tipo Resistencia (Kg/cm^2)

B 100

2.1.4 Resistencia del mortero de unión

Para las mezclas de motero se obtiene los siguientes valores de la tabla de la NC 52-79 “Morteros de Albañilería” donde se tienen en cuenta sus características el tipo de mortero y el uso en función de su tipo murro, resultados:

Tabla 2.1 Resistencia de los morteros

Tipo de Mortero	Uso	Resist. R'_{mk} (Kg/cm^2) (kN/m^2)
II	Muros de bloque o ladrillo con poca carga	35 (3500)
III	Muros de bloque o ladrillo muy cargados	52 (5200)

2.1.5 Resistencia del muro (compuesto)

En el caso del presente trabajo se utilizará la segunda variante según las expresiones de la (NC 53-115 Cálculo de Estructuras de Mampostería, 2003). Teniendo ya definidas las resistencias del mortero R'_{mk} y del elemento principal, la resistencia característica del compuesto puede ser determinada según la expresión:

$$R'_k = \left[\frac{100 + R'_c}{100 + \infty R'_c} \right] \left[1 - \frac{a}{b + \frac{R'_{mk}}{2 R'_c}} \right] \beta R'_c = (\text{Kg/cm}^2) \quad (2.1)$$

Donde:

R'_k = Resistencia característica del compuesto (muro). (Kg/cm^2)

R'_c = Resistencia característica del compuesto principal (las unidades). (Kg/cm^2)

R'_{mk} = Resistencia característica del mortero (Kg/cm^2)

a , b , α y β coeficientes empíricos que toman valores según la tabla de la NC 53- 115 Cálculo de Estructuras de Mampostería, 2003.

2.1.6 Módulos de deformación los materiales

Los módulos de los materiales utilizados fueron valorados por medio de expresiones aproximadas de la norma (NC 53- 115 Cálculo de Estructuras de Mampostería, 2003). Cuando no existe valores reales de ensayos puede obtenerse el valor del módulo de deformación inicial de la fábrica en función de la resistencia a compresión mediante la fórmula experimental: $E_0 = \alpha \times \sigma_r$ (2.2)

Donde:

α = es el coeficiente de deformabilidad de la obra de fábrica, cuyo valor puede tomarse de la tabla en función de la clase de la obra de fábrica y del tipo de mortero.

El módulo de deformación $E = \text{tg } \delta$ correspondiente a otros valores de la tensión de trabajo, podrá determinarse a partir del valor de E_0 considerando que dicho módulo E se anula para un valor convencional de la tensión de trabajo que puede tomarse igual a 1,1 veces la tensión de rotura σ_r admitiendo una ley lineal de variación de dicho módulo. Para cálculos de estabilidad de obras de fábrica bajo sollicitaciones repetidas y alteradas o vibraciones, puede tomarse como valor del módulo de deformación E el inicial (E_0): $E = E_0 = \alpha \times \sigma_r$ (2.3)

σ_r = resistencia a compresión de la obra de fábrica

2.1.7 Determinación del módulo de Poisson

$$\mu = 0.1 + 0.23 \times \frac{\sigma_0}{R^*_{muro}} \quad (2.4)$$

Donde:

$$\sigma_0 = \frac{N'^*}{A \times d}$$

N'^* - carga actuante

A - ancho de franja de cálculo

d - ancho del muro

R^*_{muro} - resistencia característica del muro. (Kg/cm^2)

❖ *Como resultado se obtiene los siguientes valores para los diferentes materiales analizados en esta etapa y propuestos para este trabajo:*

a) Muros de bloque de hormigón

Las características físico-mecánicas que presentan los muros de bloques según cálculos NC 53- 115 Cálculo de Estructuras de Mampostería, 2003”

- Densidad media (γ) = 12 500 kg/m³ = 12.5 kN/m³
- Módulo de elasticidad (E) = 1930 MPa = 1930 000 kN/m²
- Coeficiente de Poisson = 0.17

b) Muros de ladrillo

Las características físico-mecánicas que presentan los muros de bloques según cálculos hechos NC 52-79 “Morteros de albañilería” son:

- Densidad media (γ) = 19 000 kg/m³ = 19.0 kN/m³
- Módulo de elasticidad (E) = 2000 MPa = 2000 000 kN/m²
- Coeficiente de Poisson = 0.118

c) Muros de sillería

Las características físico-mecánicas que presenta la caliza organógena que compone los muros de sillar según otros trabajos consultados como, “Modelación Estructural del Palacio de los Capitanes Generales” y según (Jiménez Salas, 1986) son:

- Densidad media (γ) = 17 500 kg/m³ = 17.5 kN/m³
- Módulo de elasticidad (E) = 624 MPa = 624 000 kN/m²
- Coeficiente de Poisson = 0.12

2.2 Solicitaciones de cálculo de muros de mampostería

Las solicitaciones se analizarán para las cargas de servicio teniendo en cuenta el enfoque de seguridad dado en la norma cubana de cálculo de mampostería de 1984, que basa su seguridad en la norma ASCE 7.

2.2.1 Combinaciones de carga posibles para edificios de mampostería

Predomina una combinación para resistencia y otra para estabilidad: una de máxima carga que baja por el muro para el fallo por resistencia y otra de máximo momento para el fallo por vuelco. La combinación a analizar en nuestro caso es: CP+CU

2.3 El Suelo

La iteración suelo estructura en este trabajo se tomará según modelo de Winckler. En este modelo el suelo sólo se deforma localmente debajo de la superficie de contacto con la cimentación, lo cual

no corresponde con el comportamiento del suelo realmente debajo de un cimiento, ya que la superficie deformada se extiende siempre más allá de la cimentación.

2.3.1 Obtención del coeficiente de balasto

Los valores de k se obtienen de ensayos de placa normalmente realizados por especialistas de la ENIA en el caso de Cuba. Cuando no es posible la realización de estos ensayos por razones de tiempo o financieras, se utilizan correlaciones encontradas por distintos investigadores resumidos en tablas, (ver anexo tabla 1.2). En el caso de estudio se trabajará con un módulo de balasto inicial $k_{\text{inicial}} = 5000 \text{ kN/m}^2/\text{m}$.

2.4 Definición de los casos de estudio

2.4.1 Consideraciones generales

✓ Ubicación

Caso – I y II: Situada en la ciudad de Santa Clara, Reparto Santa Catalina.

✓ Características geotécnicas del suelo y clasificación

Caso – I y II: La estratigrafía del área estudiada se presenta variada, aunque en algunas zonas se presenta uniforme en lo que respecta a la situación de los estratos. La misma está conformada por:

a) Capa vegetas y suelo de transición

I - Arcilla limosa fisurada con abundantes módulos calizos color carmelita y de consistencia media a baja

II - Arcilla limosa algo esquistosa de color carmelita y de consistencia media a alta, presentándose a veces con consistencia baja

Ila - Suelo calizo de textura arcillo-limosa, color crema con abundantes esquistos y de consistencia alta

III - Roca caliza de dureza alta

IV - Esquistos arcillo-limosos, color carmelita con vetas grises, carbonatado de consistencia alta.

Obteniéndose los siguientes espesores promedios:

	Estrato – I $\Phi - 5^\circ$ C – 12KPa CH E – 900kN/m ² W – 34.4% LL – 55.3% LP – 23.0% IP – 32.3%
1.30m	
	Estrato – II $\Phi - 9^\circ$ C – 30KPa CH E – 7000kN/m ² W – 339.9% LL – 71.32% LP – 22.6% IP – 48.66%
	----- NF 1.50m
1.90m	
	Estrato – III $\Phi - 16^\circ$ C – 41KPa CH E – 16000kN/m ² W – 28.5% LL – 72.46% LP – 24.78% IP – 47.68%
3.95m	

✓ Características estructurales

Caso – I: **Caso – I:** una vivienda de un nivel, esta cimentada sobre una zapata de hormigón, con muros de carga y divisorios, de bloque de hormigón, un cerramiento de hormigón armado y la cubierta losa plana de hormigón.

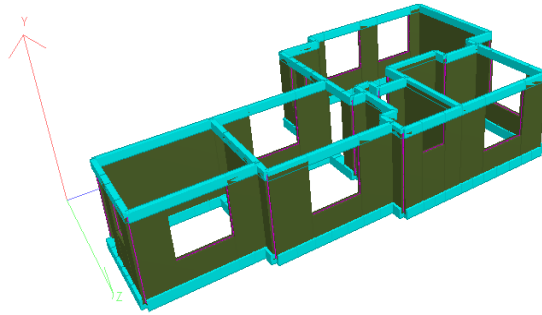


Figura 2.2a modelo espacial

Caso – II: Una vivienda de un nivel, esta cimentada sobre una zapata corrida de hormigón y cimientos aislado en el centro de la casa, los muros de carga y divisorios son de canto, con columnas de hormigón y de acero de perfil hueco, con una viga de cerramiento de hormigón armado y la cubierta está compuesta de viguetas tabletas y una carpeta de hormigón y gravilla de espesor de 5cm.

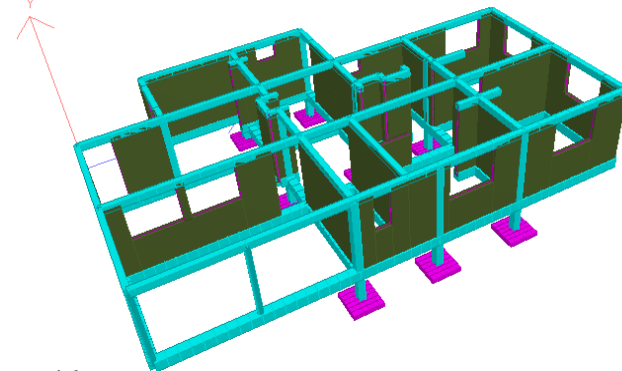


Figura 2.2b modelo espacial

2.5 Consideraciones para el proceso de modelación

2.5.1 Modelo del problema real

El problema consiste en reproducir los daños causados por los suelos expansivos a las estructuras, teniendo en cuenta los elementos verticales y horizontales que la componen. En la bibliografía consultada se apreció que los suelos expansivos tienden a provocar levantamientos por la expansión y asentamientos por la contracción, (J. Salas 1980), en este trabajo la forma de reproducir dichas acciones será:

- Aplicando fuerzas de empuje vertical del suelo contra el cimiento para simular el efecto de expansión.

- Colocar o quitar los apoyos elásticos para simular el efecto de la retracción.

Se utilizaron una gran cantidad de variantes, como forma de buscar el estado más crítico, que reproduzca una conducta similar a los daños que hoy existen en las estructuras de estudio, este proceso de modelación se realizará con el software Staad. Pro. 2006.

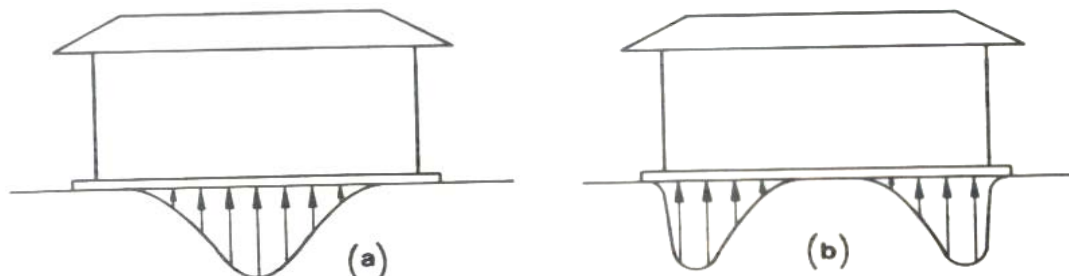


Figura 2.3 Distribución irregular de presiones bajo el cemento, debido al fenómeno de expansión a) exterior seco. El interior conserva o aumenta la humedad. Levantamiento en el centro. b) proceso inverso, más húmedo que el área protegida por el edificio. (J. Salas, 1980).

2.5.2 Modelo geométrico de la estructura

El modelo geométrico requiere representar la estructura por medio de un arreglo de componentes estructurales básicos, cuyo comportamiento estructural puede conocerse (barras, placas, resortes, arcos, cascarones, etc.) y definir las propiedades geométricas “equivalentes” de estos componentes básicos. (Meli Piralla, 1986). Ambos casos están conformados por estructuras frágiles debido a la característica natural de la albañilería y se encuentran cimentadas con zapatas poco profundas. Existen dos formas para modelar el comportamiento de una pared:

- Modelar las unidades que conforman los muros y el motero por separado, este método resulta complejo, pues emplea muchos elementos en el modelo y el gasto computacional es muy elevado.
- El muro es modelado como un material homogéneo compuesto del motero y la unidad.

La segunda variante es la más efectiva y es la que se empleará el análisis.

Tabla 2.2- Modelación de los elementos que conforman los casos de estudio

Elementos en la estructura real	Modelación de la geometría
Muros	Elemento Surface
Vigas de zapata	Elemento Lineal
Vigas de cerramiento	Elementos Lineal
Columnas	Elementos Lineal
Terreno	Modelo de Winkler (Fixed But)

2.5.3 Modelo geométrico de la cimentación

La cimentación constituye el elemento intermedio que permite transmitir las cargas que soportan una estructura al suelo subyacente, de modo que no rebase la capacidad portante del suelo, y que las deformaciones producidas en éste sean admisibles para la estructura. Por tanto, para realizar una correcta cimentación habrá que tener en cuenta las características geotécnicas del suelo y además dimensionar el propio cimiento como un elemento de hormigón, de modo que sea suficientemente

resistente. El modelo geométrico de las vigas de zapata se realizó empleando elementos lineales a los que se le asignan sus características, de forma de poder simplificar y facilitar el análisis de las áreas de tensiones máximas y mínimas en el programa.

Caso – I: las vigas poseen una sección transversal cuadrada de $0.30\text{m} \times 0.30\text{m}$ de hormigón.

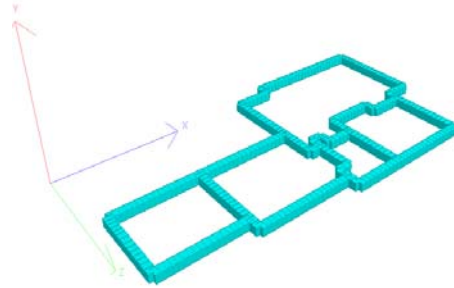


Figura – 2.4a (Modelo viga zapata)

Caso – II: las vigas poseen una sección transversal rectangular de $0.30\text{m} \times 0.25\text{m}$ de hormigón y los aislados son de $0.90\text{m} \times 0.90\text{m} \times 0.15\text{m}$ de espesor con un pedestal de $0.20\text{m} \times 0.20\text{m}$ de hormigón armado situados a un metro de profundidad.

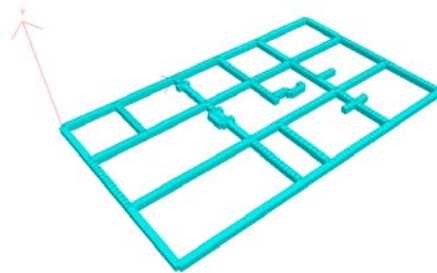


Figura – 2.4b (Modelo viga zapata los cimientos aislados)

2.5.4 Modelo geométrico de las columnas y las vigas de cerramiento

Las columnas son elementos verticales lineales que se encargan de la transmisión de las cargas que provienen de la superestructura hasta la sub-estructura en las viviendas que poseen un sistema constructivo esqueleto, mientras las vigas de cerramiento son elementos horizontales lineales que aseguran el cierre de la parte superior de la estructura.

Para el caso – I: las vigas poseen una sección transversal rectangular de $0.15\text{m} \times 0.25\text{m}$, una altura de 2.4m .

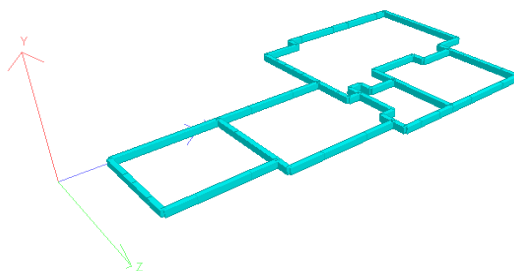


Figura – 2.5a (Modelo viga cerramiento)

Para el caso – II: las vigas poseen una sección transversal rectangular de $0.15\text{m} \times 0.25\text{m}$, las columnas que se encuentran en el proyecto tienen una sección transversal de $0.20\text{m} \times 0.20\text{m}$ de hormigón armado, y las del portal y patio de servicio son de acero de un perfil hueco de 16cm de diámetro, todas una altura de 2.2 m.

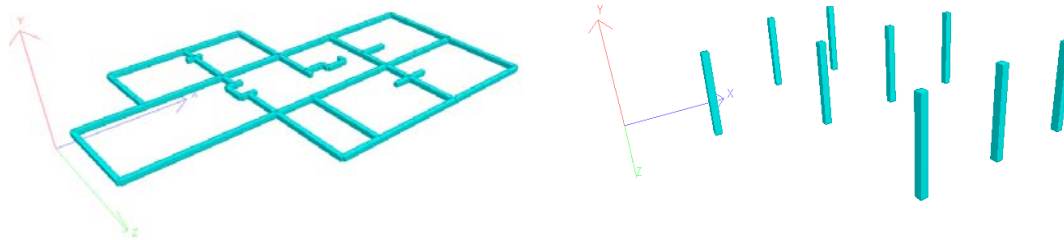


Figura – 2.5b (Modelo viga cerramiento y columnas)

2.5.5 Modelo geométrico del muro

Es el elemento estructural de forma plana encargado de transmitir las solicitaciones hasta la cimentación. El modelo geométrico de los muros se representa en el programa como elementos de placa y empleando elementos finitos, se aplica la teoría de homogenización de los elementos del muro, y se realiza una discretización lo más exacta posible de los miembros para determinar el comportamiento del modelo con respecto al problema real. En ambos casos existe un sistema constructivo de muros de carga y de cierre perimetral, pero con distinta tipología y material de albañilería.

- a) Para el caso – I: se caracteriza por tener los muros de bloque de hormigón de $15\text{cm} \times 20\text{cm} \times 20\text{cm}$ de espesor.

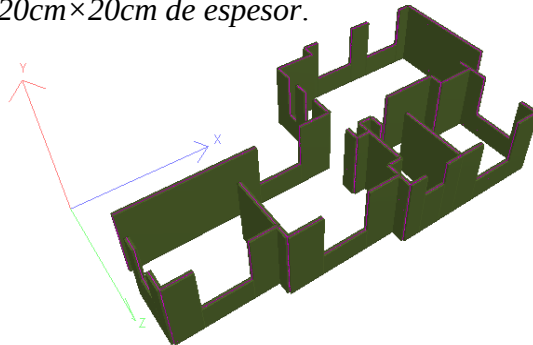


Figura – 2.6a (Modelo de los muros)

- b) Para el caso – II: se caracteriza por tener los muros de Sillería (canto) de 15cm de espesor.

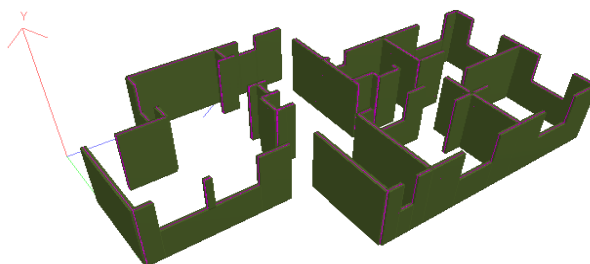


Figura – 2.6b (Modelo de los muros)

2.6 Comportamiento de los materiales

2.6.1 Modelo del comportamiento del material

En este modelo se supone una relación acción-respuesta, (esfuerzo vs deformación) del material que compone la estructura. Utilizando la hipótesis del comportamiento elástico lineal, aunque esta tiene limitaciones en muchos casos. El análisis también se realiza con procedimientos que implican la hipótesis de que el comportamiento de la estructura es lineal y se adoptan en el modelo propiedades elásticas representativas del comportamiento de la estructura. Esta hipótesis es aceptable y conveniente, sin embargo es necesario entender claramente en qué grado difiere el comportamiento real del elástico lineal, cuál es la magnitud de los errores que se pueden cometer utilizando esas hipótesis.

2.6.2 Modelo del material para la viga de zapata

El modelo del material para las vigas de zapata quedó definido como un material de comportamiento elasto-plástico como lo es el hormigón. Teniendo en cuenta que la resistencia del mismo será de (17.5MPa-20MPa), los parámetros que rigen este modelo son el módulo de deformación del material que es de 21718456 kN/m², el coeficiente de Poisson de 0.17 y la densidad del material de 24 kN/m³. (NC-283 Densidad de Materiales Naturales, artificiales de Construcción como Carga de Diseño, 2003).

2.6.3 Modelo del material para el suelo

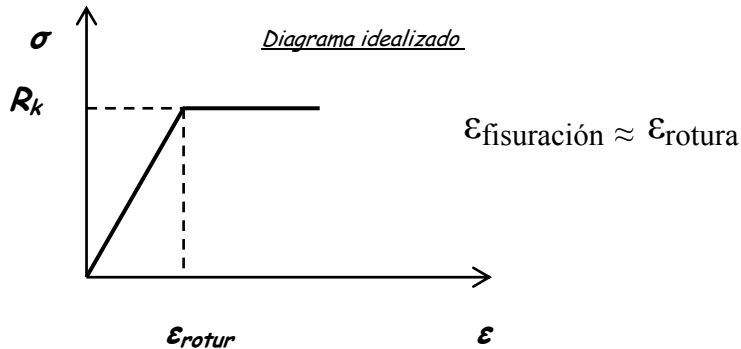
El suelo se modeló como un material de comportamiento elástico lineal. Para este modelo los parámetros que lo rigen son el módulo de deformación de 5000 kN/m²/m y un coeficiente de poisson de 0.47, para modelar los mismos en el programa se utilizó los fixed but que son considerados como apoyos elásticos cuyo la transmisión de cargas se realizó por aéreas tributarias aplicadas a las muelles, considerando fundaciones elásticas en los nudos de la viga zapata que coincide con la discretización de los muros para estar del lado de la seguridad, cumplir con el criterio de elementos finitos cuyo las fuerzas se transmiten por los nodos y por el concepto de la rigidez $k = k_{inicial} \times area_{muelle}$ de este valor de k se hace una primera valoración de su efecto en la estructura y lo identificamos o partimos como el estado inicial del suelo.

2.6.4 Modelo del material para las columnas y las vigas de cerramiento

El modelo del material para las columnas y vigas de cerramiento es el mismo modelo elasto-plástico debido a que tiene el mismo material que es hormigón armado para el caso de estudio – I y II la resistencia del hormigón es de (20MPa-25MPa), por lo tanto, los parámetros del modelo son módulo de deformación 21718456 kN/m², el coeficiente de Poisson sigue siendo de 0.17 al igual que la densidad del material es de 24 kN/m³.

2.6.5 Modelo del material para la albañilería

El comportamiento de un muro es elasto-plástico, no obstante se modeló aplicando la primera etapa asumiendo que en la albañilería las tensiones de rotura están muy cerca de la tensión máxima en un régimen elástico.



Grafica 2.1 comportamiento de la mampostería

2.6.6 Modelo de Cargas

Las fuerzas aplicadas en el caso de las paredes de la estructura son con respecto a las acciones de las cargas permanentes. En los casos de estudio solamente vamos analizar el efecto de la carga permanente debido a que los efectos que buscamos reproducir la acción de esta carga es criterio más recomendable y debido a que en este caso toda la carga de uso es de corta duración o mantenimiento.

2.6.6.1 Acciones permanentes (CP)

- Para el caso – I: La carga permanente se genera debido al peso de la cubierta se modeló como carga distribuida sobre el cerramiento y el peso propio del resto de la estructura es generado por el programa.

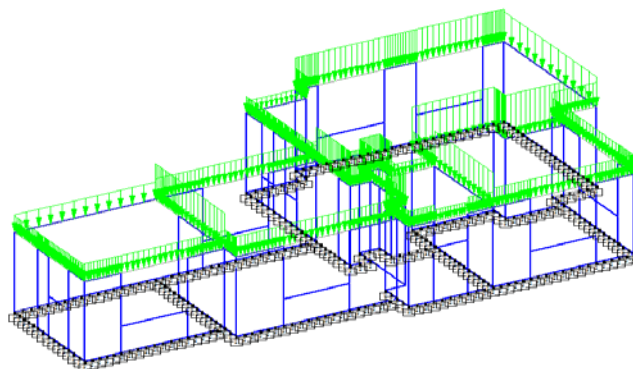


Figura – 2.7a (Modelo de las cargas)

- Para el caso – II la acción permanente debido al peso de la losa de cubierta se modeló como puntual en los puntos donde apoyan las viguetas sobre el cerramiento, además el peso propio del resto de la estructura lo da el programa.

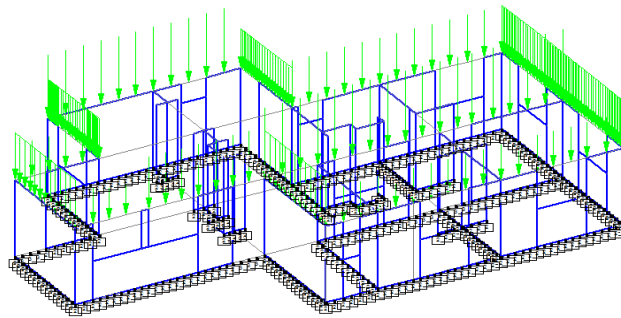


Figura – 2.7b (Modelo de las cargas)

Para los modelos geométricos generales de los objetos de estudio la discretización se hará de 30, 40 y 50cm por cuestiones de tiempo, ya que la implementación de un modelo más discretizado introduciría más elementos y nodos, tornando de esta manera un poco lento el proceso de conformación de la geometría y de la obtención de los resultados.

2.7 Análisis de los modelos

El programa implementado en esta investigación permite tomar imágenes de sus pantallas con los resultados gráficos, además de poder exportar al Microsoft Excel las tablas de los resultados numéricos donde se pueden aplicar todas las facilidades matemáticas que este software ofrece.

2.7.1 Análisis de la conducta

Los suelos arcillosos al secarse se contraen esto se simuló quitando los apoyos en distintos lugares, se analizaron diferentes variantes acorde a como se estimó que podía estar deformando el suelo. Estos suelos al inundarse se expanden y su porcentaje de hinchamiento y presión generan movimientos variables en dependencia del tipo de suelo. Para el suelo de estudio este valor oscila entre 150 KPa/200KPa para esta situación también se analizaron distintas variantes.

La albañilería como un material es muy frágil y susceptible a los fallos por las fuerzas de tracción, porque posee una resistencia muy baja a la misma. Las zonas clásicas de alta concentraciones de esfuerzos en estos casos son normalmente en los bordes de marcos de puertas y ventanas donde existen grietas con un ángulo de inclinación de aproximadamente 45° . Estos esfuerzos de tracción y compresión son los utilizados para describir en nuestro caso los daños existentes en las estructuras reales.

2.7.2 Criterios para las conductas

Las tensiones principales son utilizadas para describir la patología existente en los muros. Las fuerzas internas que actúan pueden provocar fallos a cortante, aplastamiento y fallos por las fuerzas tracción.

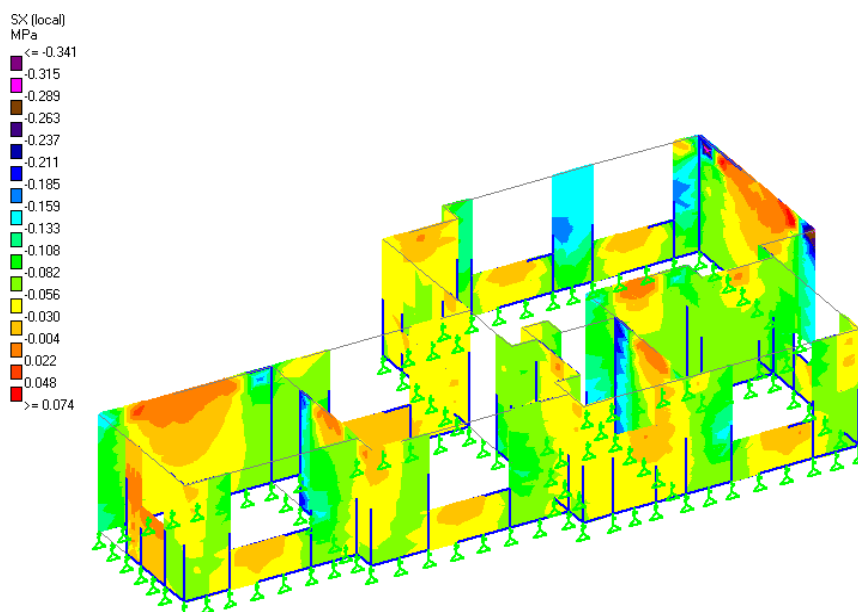
El origen de estos fallos pueden ser: por la resistencia del mortero de la junta, por la resistencia de la unidad (mampuesto) y por los dos al mismo tiempo. Estos valores fueran recompilados y analizados según la literatura consultadas (ver anexo tabla 2.3). Se puede apreciar que en su gran

mayoría provienen de los resultados de ensayos a probetas o en muros reales y que los valores son muy disímiles. En todos los documentos está claro que los valores resistentes son bajos pues la mampostería soporta muy poco los esfuerzos a tracción y a cortante.

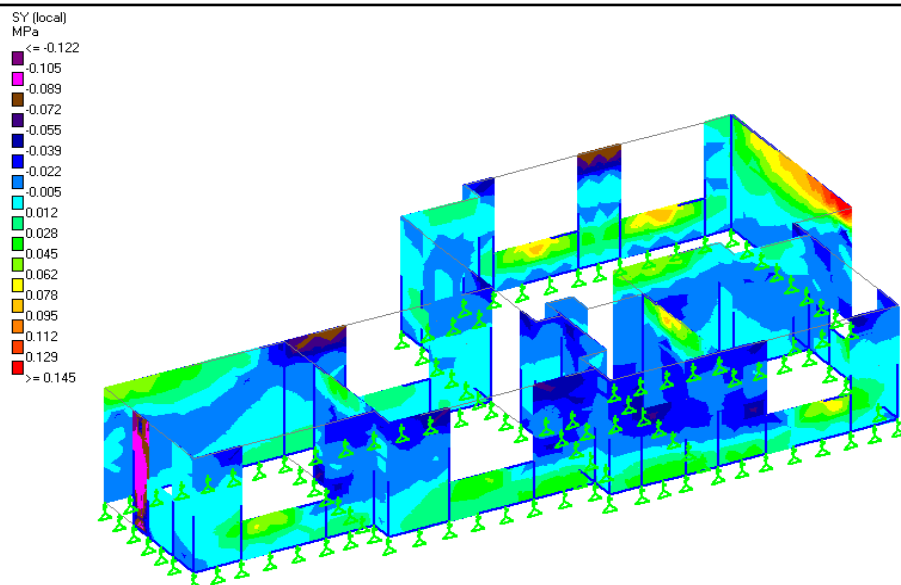
También queda claro que los resultados mostrados son dados para muros construidos adecuadamente y que cuando se utilizan morteros con bajas cualidades (dosificación inadecuada), existe falta de adherencia entre el mampuesto y el mortero, o se ha realizado un mal humedecimiento de las piezas de mampuesto lo que le posibilita absorber toda el agua del mortero a la hora de la colocación; se produce una separación limpia entre el mortero y el mampuesto cuando son sometidos a los efectos de los suelos expansivos, (Patologías en Mampostería de Cerámica Roja).

En los casos de estudio se pudo evaluar con los dueños de las viviendas y en las visitas efectuadas que se produjeron todos o algunos de estos problemas, por tal motivo se llegó a la conclusión que podían considerarse casi nulos los valores resistentes a tracción y cortante de los muros.

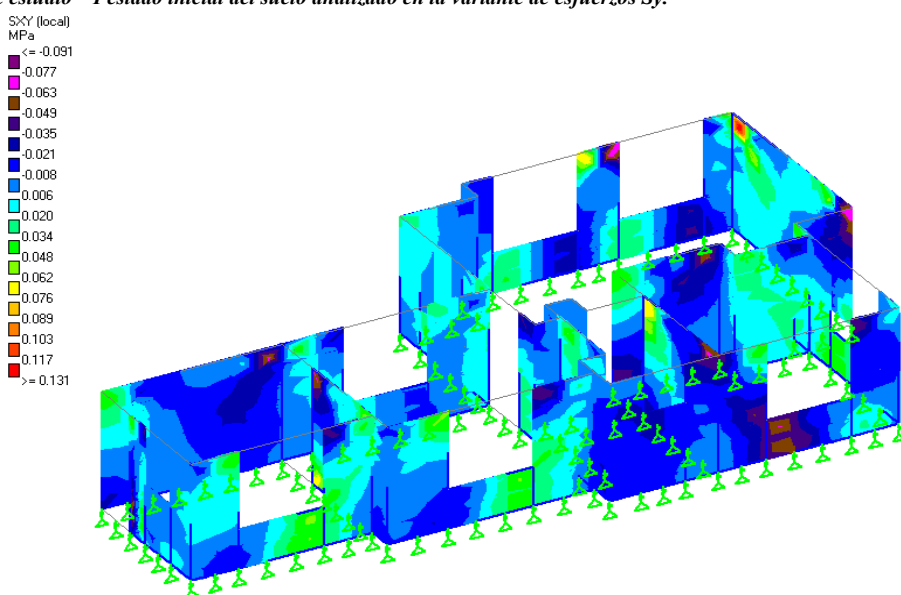
Estado inicial del suelo. Con el valor de k ajustado, se arriba a las siguientes conclusiones: los esfuerzos directos promedio y máximos que se obtienen de los modelos no superan el estado límite por esfuerzos de agrietamiento de la mampostería en el caso de tracción, significando nula las posibilidades de agrietamiento de los mampuestos. Sin embargo se puede identificar zonas de esfuerzos críticos sea de compresión o por corte que no superan en igual medida los límites de los mampuestos o de los muros de mampostería que pudiesen generar la rotura a compresión o el fallo por cortante, a continuación se muestran las figuras donde se observa cada uno de los efectos referidos.



Figuras 2.8a caso de estudio – I estado inicial del suelo analizado en la variante de esfuerzos S_x .



Figuras 2.8b caso de estudio – I estado inicial del suelo analizado en la variante de esfuerzos Sy.



Figuras 2.8c caso de estudio – I estado inicial del suelo analizado en la variante de esfuerzos Sxy.

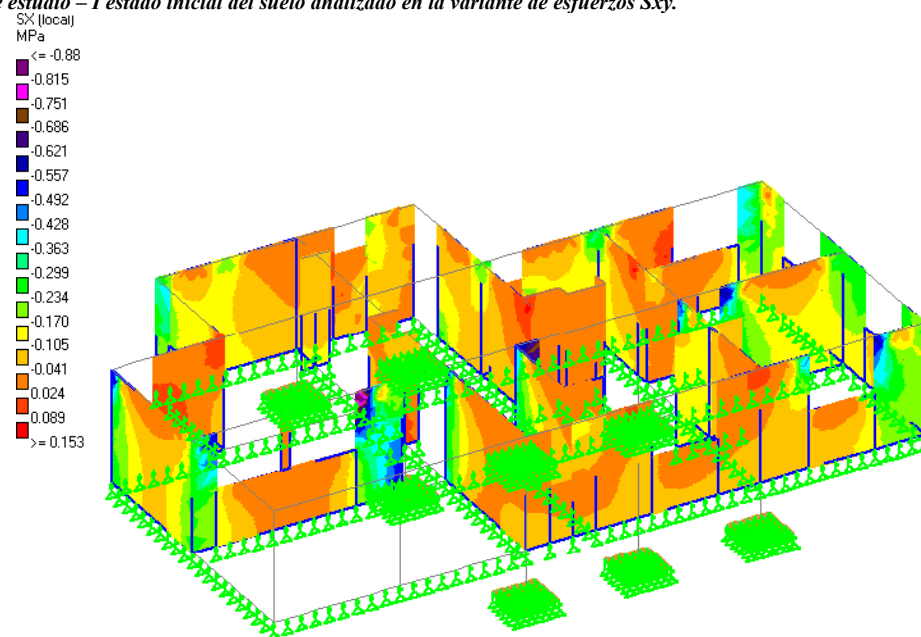


Figura 2.8d caso de estudio – II estado inicial del suelo analizado en la variante de esfuerzos: Sx.

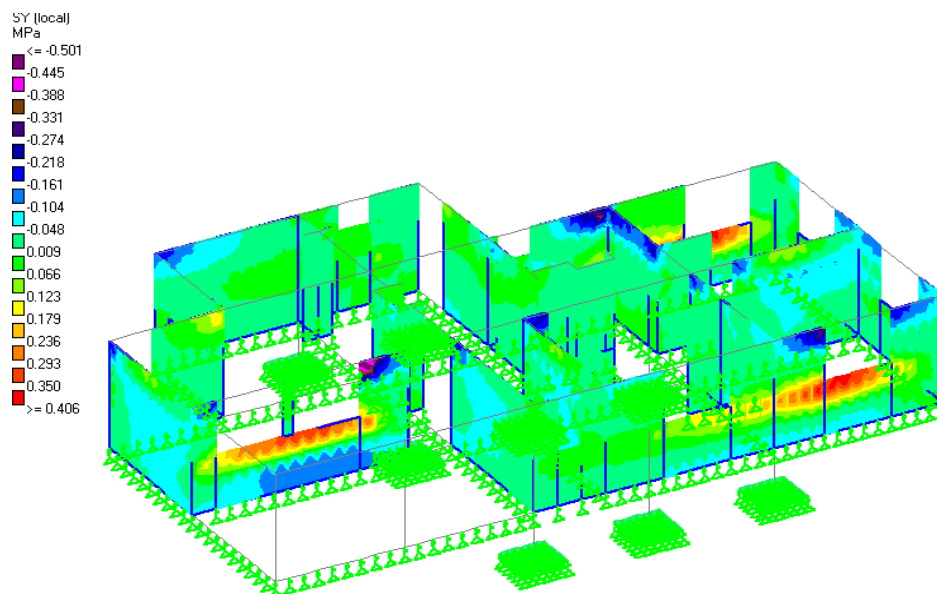


Figura 2.8e caso de estudio – II estado inicial del suelo analizado en la variante de esfuerzos: Sy.

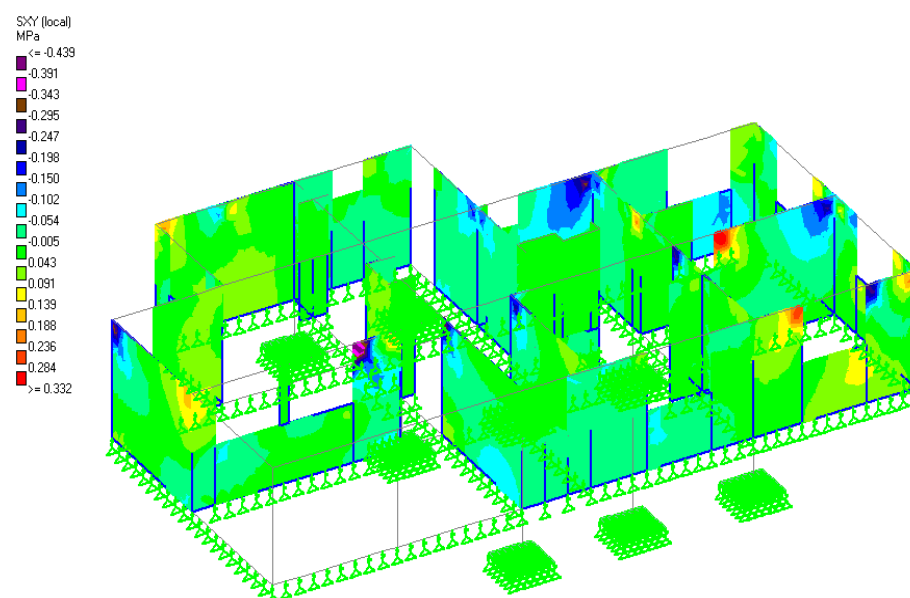


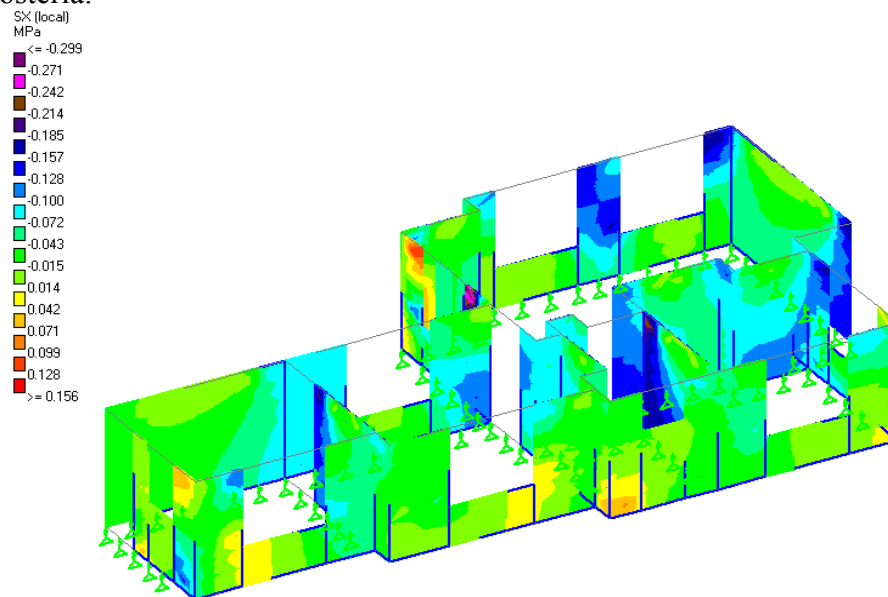
Figura 2.8f caso de estudio – II estado inicial del suelo analizado en la variante de esfuerzos: Sxy

La segunda etapa – Se obtiene los esfuerzos máximos para las diferentes variantes de deformada del suelo estudiado, suponiendo que el suelo se está retrayendo.

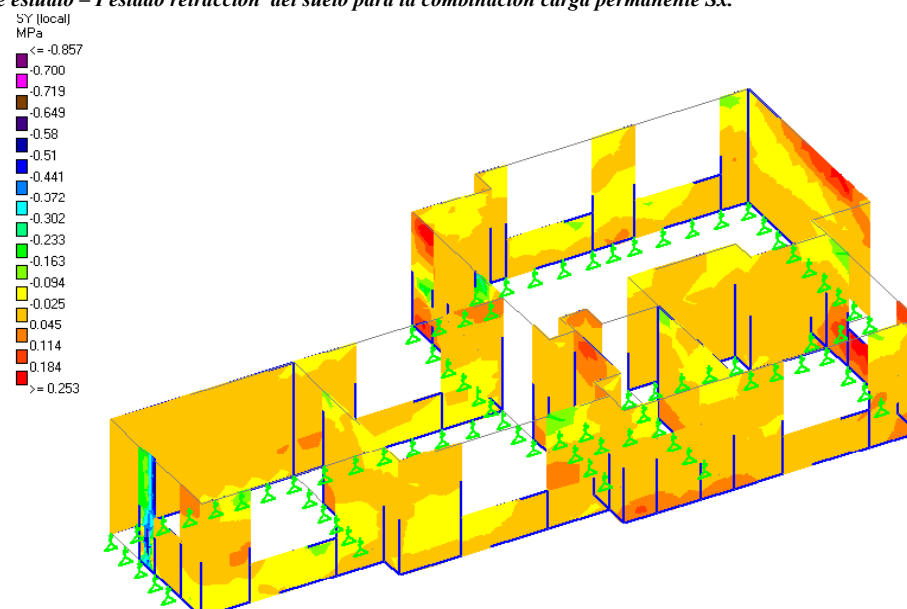
Tabla 2.3 Diferentes variantes de deformadas del suelo utilizadas.

Caso – I	Caso – II
Retracción en toda la zona afectada	Retracción en toda la zona afectada
Retracción bajo muros con vanos	Retracción bajo muros con vanos
Retracción bajo muros sin vanos	Retracción bajo muros sin vanos

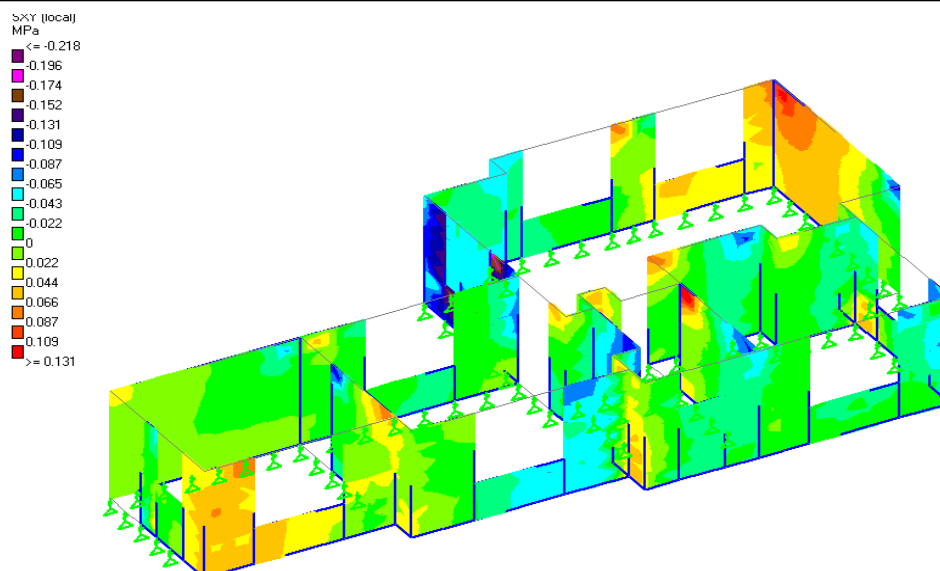
- De los resultados se observa que las zonas críticas de esfuerzos máximos en el plano, que no superan o están muy cercas de los valores límites para los esfuerzos de agrietamiento para mampostería.



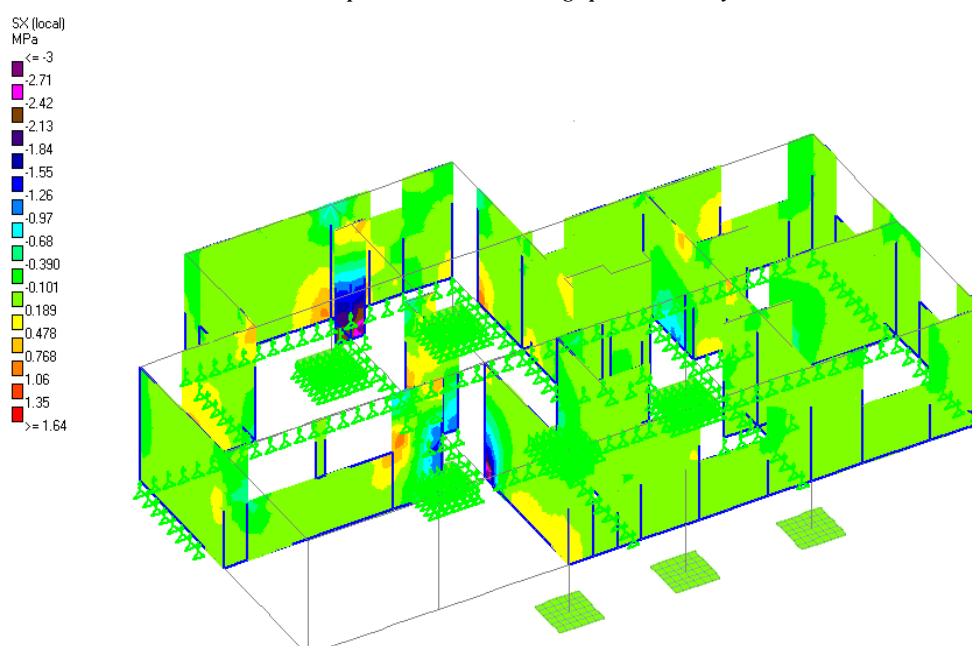
Figuras 2.9a caso de estudio – I estado retracción del suelo para la combinación carga permanente Sx.



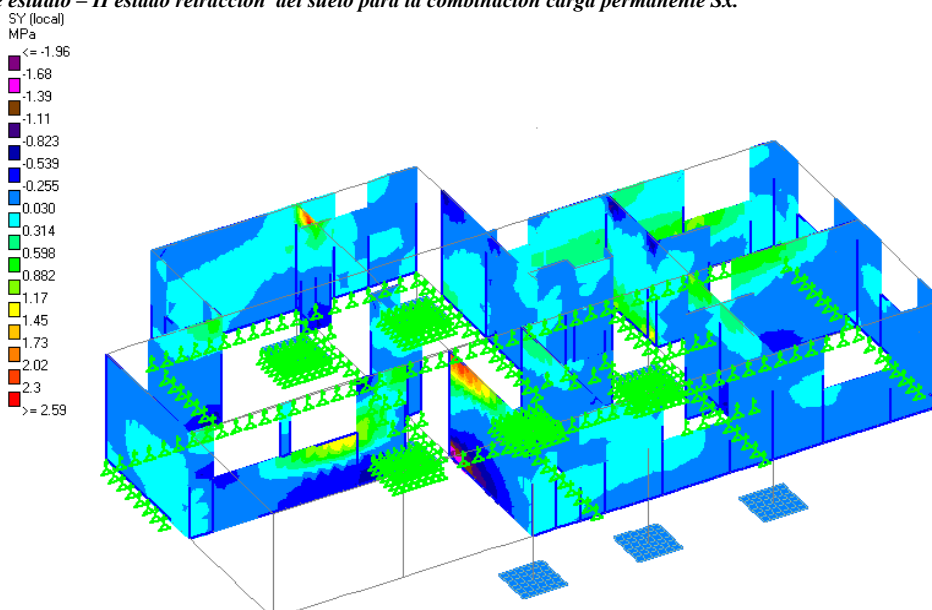
Figuras 2.9b caso de estudio – I estado retracción del suelo para la combinación carga permanente Sy.



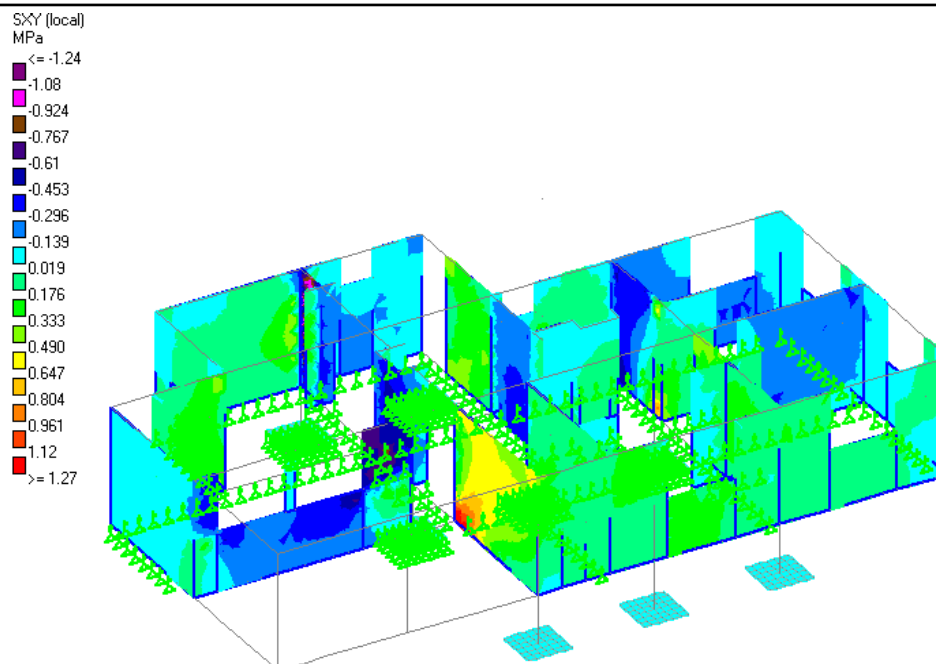
Figuras 2.9c caso de estudio – I estado retracción del suelo para la combinación carga permanente Sxy.



Figuras 2.9d caso de estudio – II estado retracción del suelo para la combinación carga permanente SX.



Figuras 2.9e caso de estudio – II estado retracción del suelo para la combinación carga permanente SY.



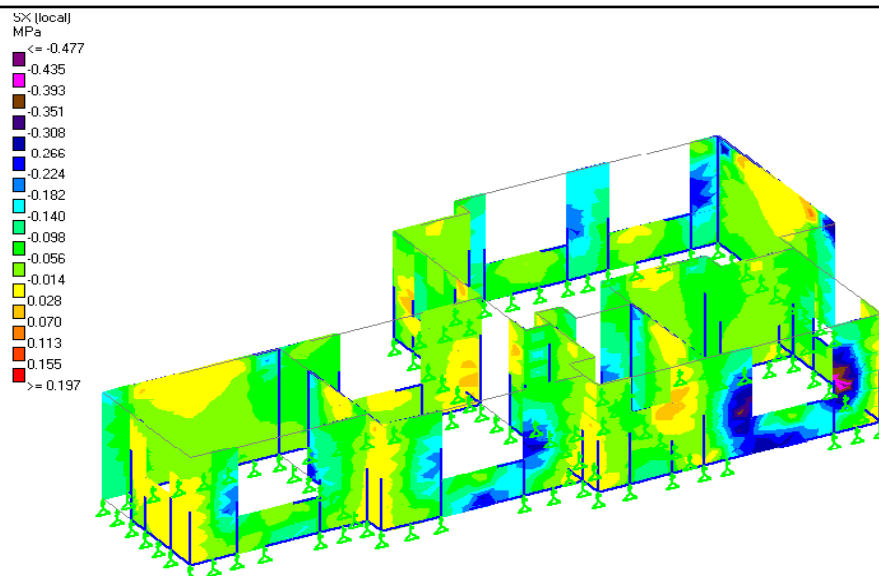
Figuras 2.9e caso de estudio – II estado retracción del suelo para la combinación carga permanente Sxy.

La tercera etapa – se obtiene los esfuerzos máximos en los modelos para las distintas variantes de deformada del suelo, suponiendo el estado de expansión del suelo, teniendo en cuenta para tal una presión de hinchamiento del mismo de 150KPa/200KPa que se aplica como una carga que está tratando de levantar la estructura en las zonas donde es más factible que ocurra este fenómeno cuando el suelo se inunda. Se tuvo en cuenta que en el centro de las estructuras algunos muelles estarán trabajando a tracción, los mismos se quitan, en algunos casos se les reducen los valores de k o sea de forma tal que no estén trabajando.

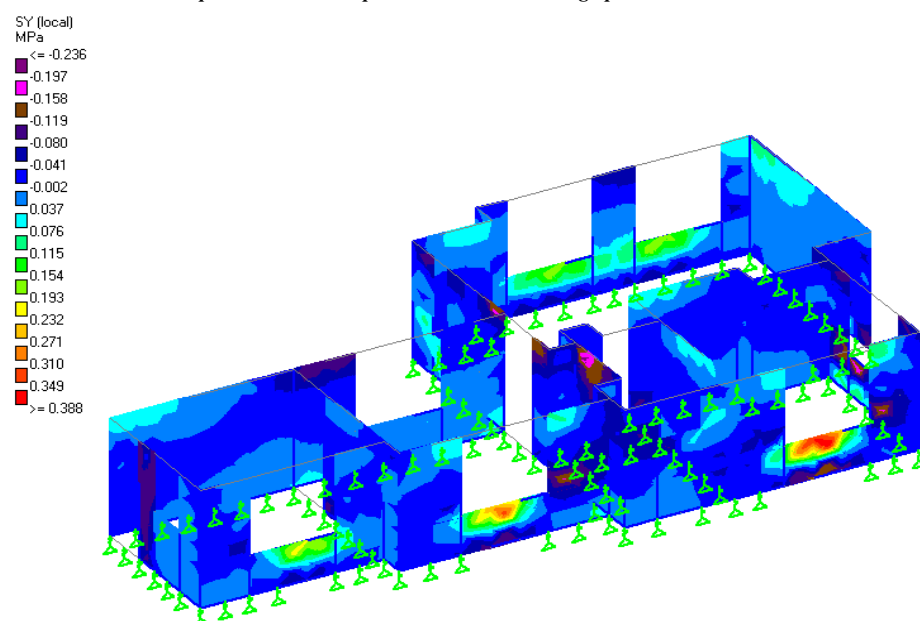
Tabla 2.4 Diferentes variantes de deformadas del suelo utilizadas.

Caso – I	Caso – II
Expansión en toda la zona afectada	Expansión en toda la zona afectada
Expansión bajo muros con vanos	Expansión bajo muros con vanos
Expansión bajo muros sin vanos	Expansión bajo muros sin vanos

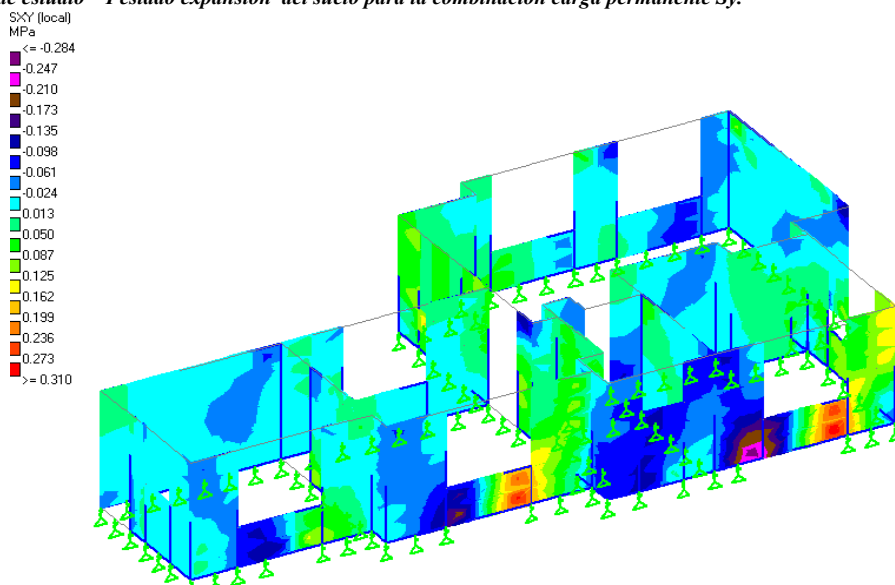
1. De los resultados se aprecian zonas críticas de esfuerzos máximos en el plano, que en algunos casos superan los valores límites que suporta la mamposterías.
2. Cuando el suelo está expandido es el fenómeno más crítico para las estructuras por provocar más daños más visibles y acercándose a las patologías vistas en casos de estudio.



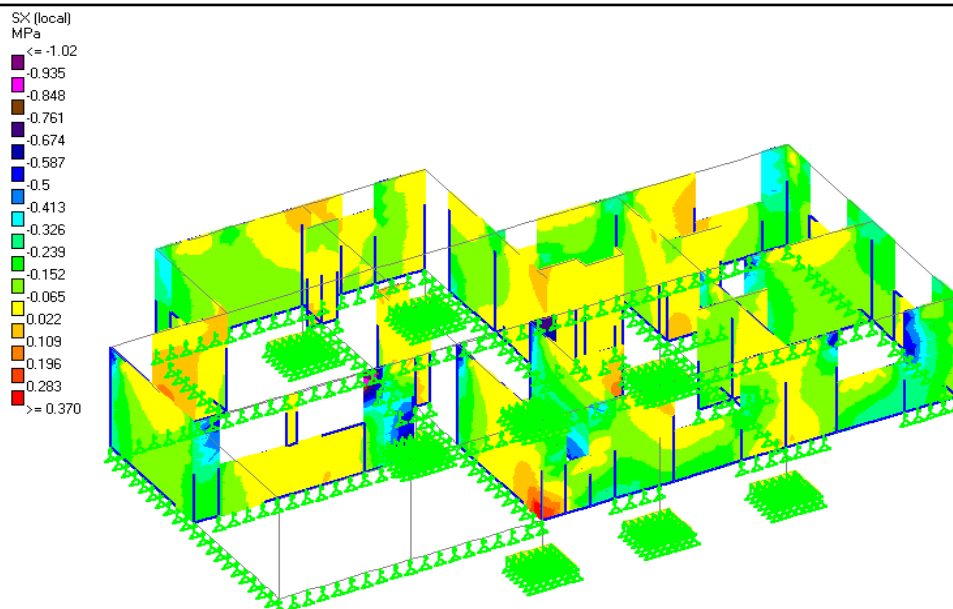
Figuras 2.10a caso de estudio – I estado expansión del suelo para la combinación carga permanente S_x .



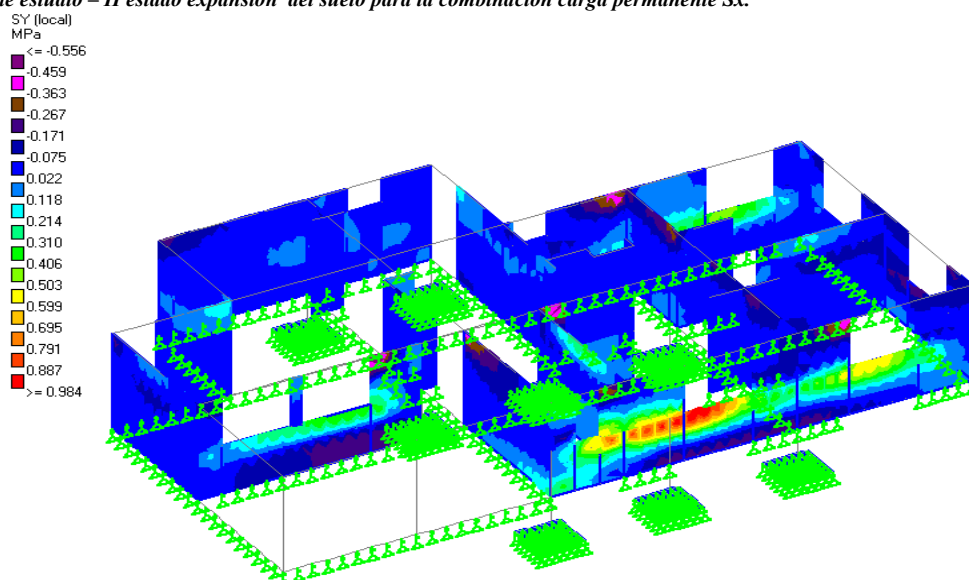
Figuras 2.10b caso de estudio – I estado expansión del suelo para la combinación carga permanente S_y .



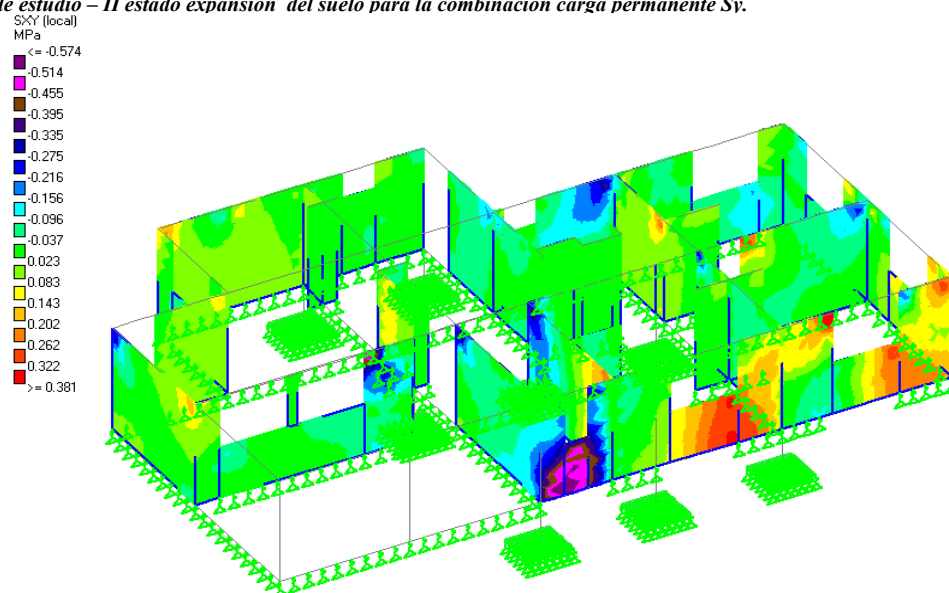
Figuras 2.10c caso de estudio – I estado expansión del suelo para la combinación carga permanente S_{xy} .



Figuras 2.10d caso de estudio – II estado expansión del suelo para la combinación carga permanente Sx.



Figuras 2.10e caso de estudio – II estado expansión del suelo para la combinación carga permanente Sy.



Figuras 2.10f caso de estudio – II estado expansión del suelo para la combinación carga permanente Sxy.

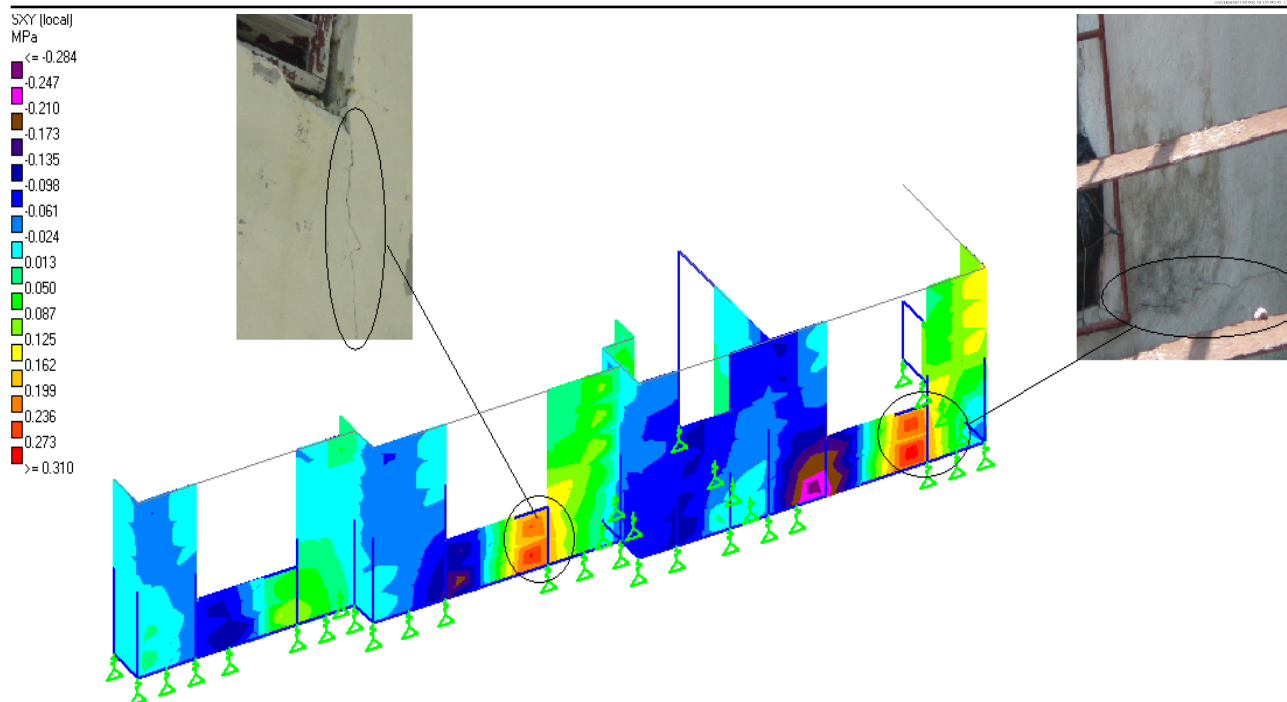


Figura 2.13xy (análisis grafico de máximos esfuerzos para el muro más crítico para el caso de estudio – I).

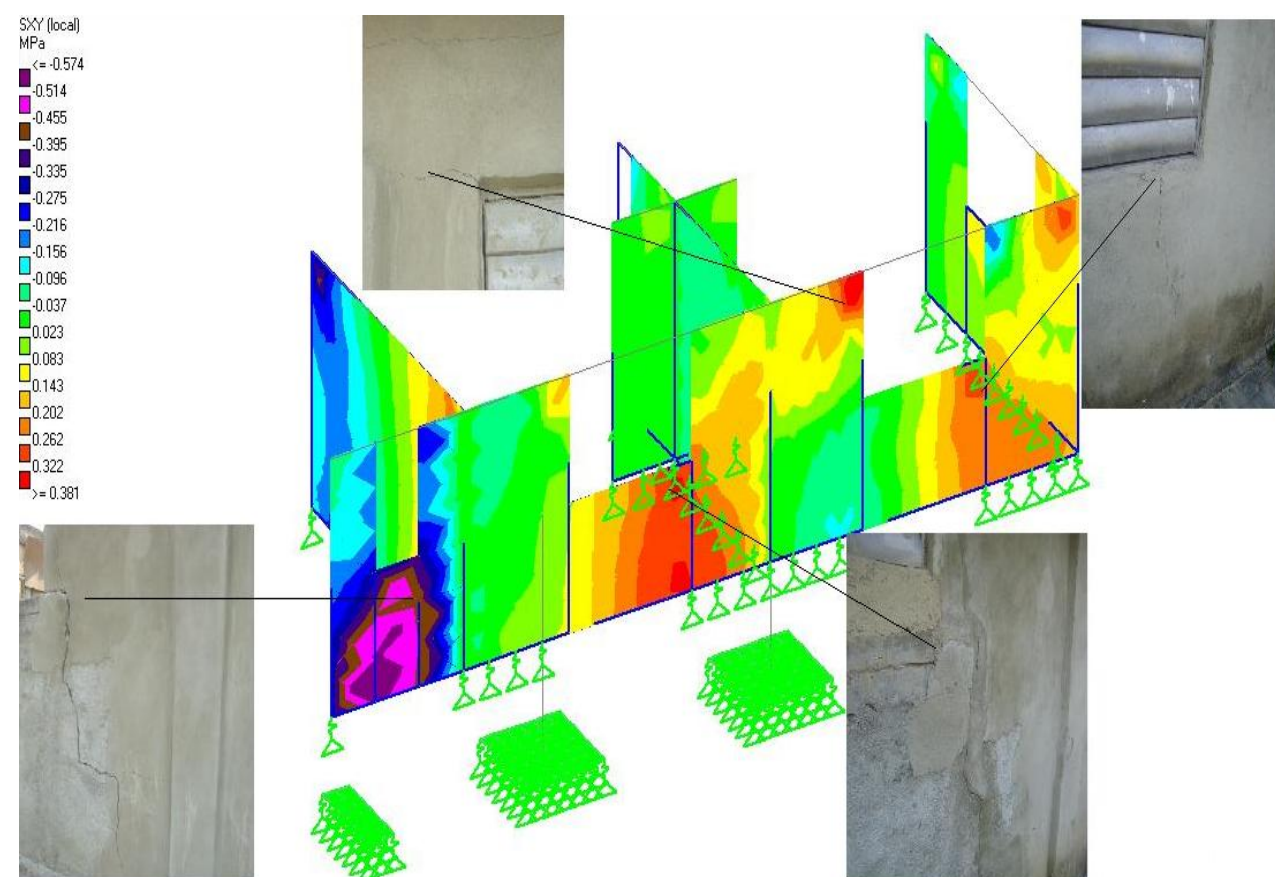
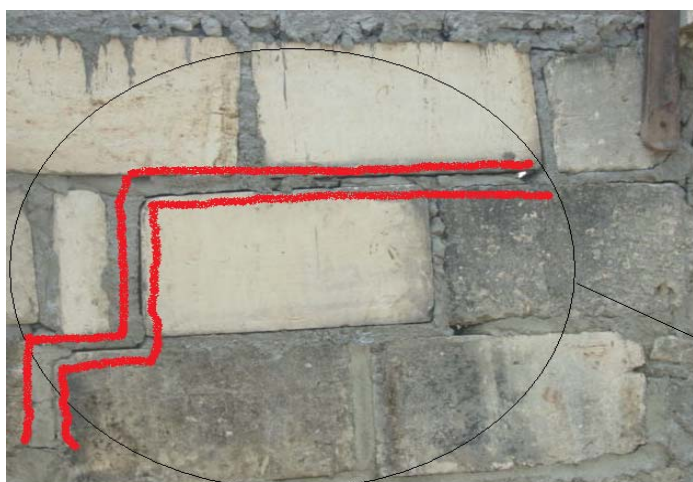


Figura 2.13xy (análisis grafico de máximos esfuerzos para el muro más crítico para el caso de estudio – II).

Es importante resaltar que el análisis de los resultados de los estados tenso deformacionales de cada uno de los casos de estudio incluidos en este trabajo, se realiza desde el punto de vista cualitativo a partir de asumir los valores de las propiedades de los materiales por analogías y reportes de investigaciones de la literatura consultada, así como las simplificaciones realizadas para obtener los modelos de la geometría, de las acciones y las condiciones de frontera. No obstante, los resultados y análisis que se pueden realizar tienen un valor práctico ya que permiten encontrar y caracterizar las zonas de máximos valores de desplazamientos, esfuerzos de compresión y esfuerzos de tracción que en esencia no difieren mucho de los levantamientos o estudios hechos a las estructuras reales.

Conclusiones parciales del capítulo

- *A partir de un proceso de reingeniería es posible idealizar modelos de las estructuras reales estudiadas, nos fue posible reproducir las conductas provocadas por los movimientos o cambios volumétricos de los suelos expansivos.*
- *De las distintas deformadas en que se puede representar el suelo resulto más crítico el proceso de expansión, principalmente para los muros de sillería que demostraran ser más susceptibles a los daños provocados por los suelos expansivos por su baja resistencia.*
- *De los materiales analizados se pudo concluir que los muros de sillería (canto) no son idóneos para estructuras cimentadas sobre suelos expansivos, pues por lo general no se realiza un proceso constructivo adecuado con los mismos y debido a la mala ejecución pueden desarrollarse fallas a tracción por las juntas causadas por: un mortero con bajas cualidades (dosificación inadecuada), falta de adherencia entre el mampuesto y el mortero, mal humedecimiento de las piezas de mampuesto lo que le permita absorber toda el agua del mortero a la hora de la colocación, dando lugar a una separación limpia entre el mortero y el mampuesto cuando son sometidos a los efectos de los suelos expansivos.*



separación limpia entre el mortero y el mampuesto

Figura 2.14 fallo del muro por la junta.



Capítulo - III

Capítulo – III Soluciones constructivas

En este capítulo se analizarán posibles soluciones constructivas, que son de gran importancia teniendo en cuenta la problemática de los suelos expansivos. La identificación a tiempo y evitar los lechos de arcilla expansiva muy compacta, especialmente en áreas de corte, puede ser una medida preventiva muy adecuada. Sin embargo, no siempre se está en condiciones de elegir el lugar donde se va a construir. Tomando en cuenta lo anterior, pueden usarse soluciones para reducir o para evitar los efectos de la expansión, estas soluciones constructivas estudiadas están divididas en dos grupos:

1. Actuación sobre el terreno.
2. Actuación sobre la estructura.

3.1 Actuación sobre el terreno

- a) Alejar de la zona de construcción los árboles, y eliminar los jardines para evitar diferencias de humedades.
- b) En el momento de la excavación, realizar las mismas de forma rápida y protegida de la desecación.
- c) Tener pendientes que eviten el escurrimiento hacia la construcción, ayudando a prevenir que el agua se filtre en el suelo.
- d) Aislamiento de la estructura: Teniendo en cuenta que el terreno debajo de la cimentación, va a tender a hinchar o a retraer, con esta solución se trata de separar la estructura de estos movimientos diferenciales tal y como se demuestran en la figura.

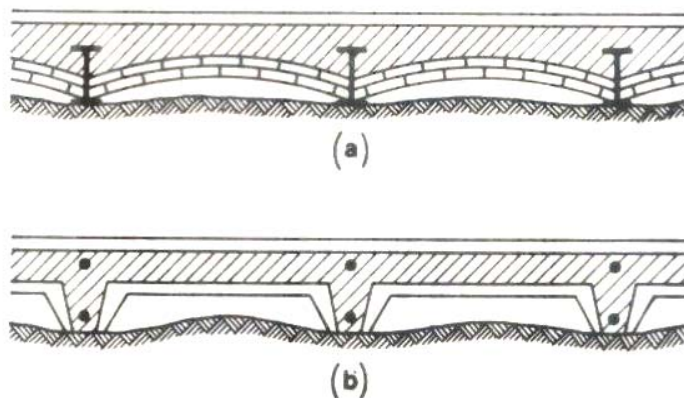


Figura 3.1 Solución de soleras construidos sobre el terreno, J. salas 1980.

- e) Colocar colchón de arena y grava de ≈ 0.2 m de espesor en toda el área de la obra.

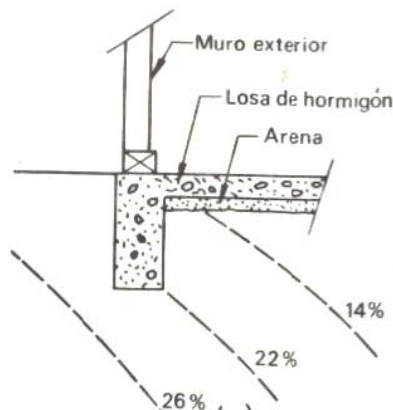


Figura 3.2 Colocación de colchones de arena y gravas en el suelo de cimentación. J. Salas, 1980.

- f) Lograr que la bajada de agua pluvial y las canaletas de los techos no depositen el agua cerca de la cimentación, para ello es necesario dirigir el agua del techo a través de tuberías que descarguen a la calle o a otros lugares apropiados de forma tal a mantener el agua lejos de la cimentación es el paso más importante que puede ayudar a minimizar el problema de la expansión de suelos.

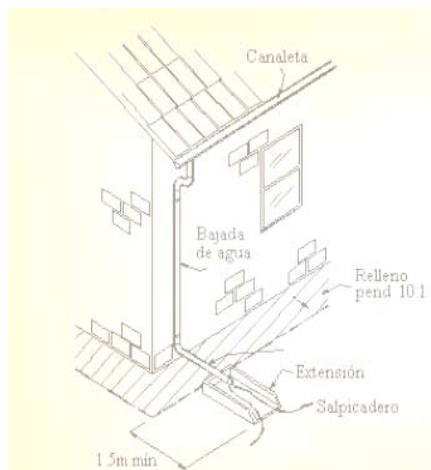


Figura 3.3 Esquema típico de un bajante pluvial del techo de la vivienda. J. Salas, 1980.

- g) Construcción de una acera perimetral de hormigón.

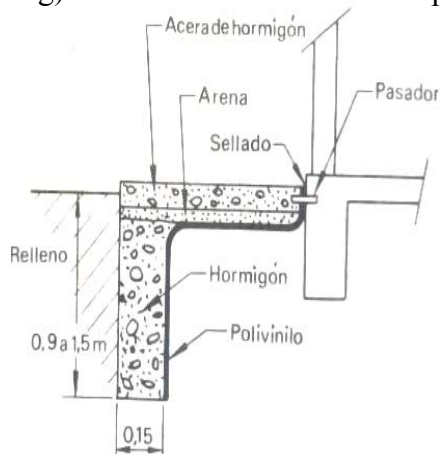


Figura 3.4 Protección contra los gradientes de humedad, J. Salas, 1980; A. Marques, 2000; Tecnología y Construcción, 2006.

- h) Estabilización: Es un proceso mediante el cual se trata de estabilizar el suelo aplicando soluciones que los tornen más estables tales como: cal, cemento y productos químicos tales como el tratamiento con EcSS 3000®, que diluido provoca una reacción electroquímica que rompe la atracción por el agua. Esto reduce sustancialmente los cambios volumétricos.



Figura 3.5 Estabilización del suelo antes de la construcción, Estabilizadora RE S.A, 2006

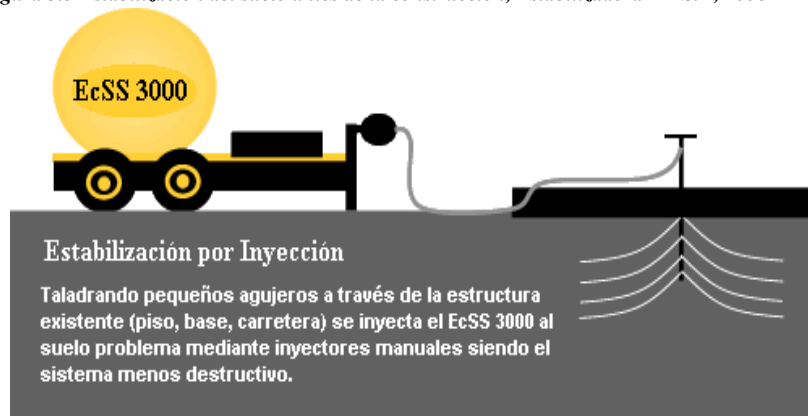


Figura 3.5 Estabilización del suelo por inyección en una estructura ya existente, Estabilizadora RE S.A, 2006; Tauta et al, 2006.

- i) Sustitución: Es tratar de retirar el suelo expansivo hasta una determinada profundidad (zona activa) y rellenerlo con un suelo más estable.

Estas dos últimas soluciones por su complejidad requieren de medios y equipos que hacen encarecer el costo de la obra.

3.2 Actuación sobre la estructura

a) Colocación de pilotes

La colocación de pilotes que sobrepasen la zona activa es una de las soluciones más usadas por haber demostrado excelentes resultados. La solución mostrada en la figura 3.6 implica la necesidad de colocación de una losa en el nivel 0.0 lo que encarece la obra considerablemente, y aun mas cuando se trata de viviendas construidas por esfuerzo propio.

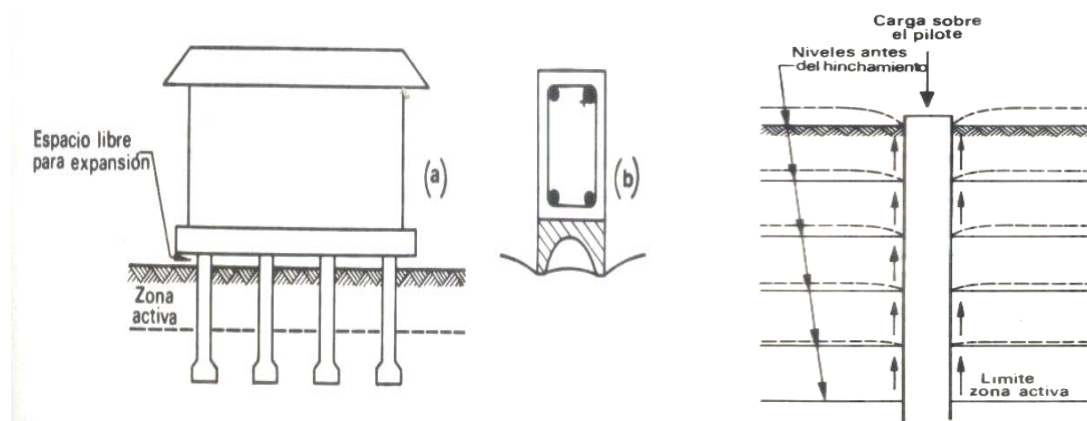


Figura 3.6 Cimentaciones de pilotes, J. Salas 1980, a) solución, b) detalle constructivo.

En Cuba las soluciones de este tipo serían más factibles, empleando camiones barrenadoras del tipo de los que utilizan la ENIA o la empresa eléctrica, que en su gran mayoría alcanzan profundidades de hasta tres metros, que es una profundidad que en muchas veces es superior a la potencia activa (algo que es requisito obligatorio) y sobre ellos colocar las vigas zapatas con un adecuado arriostre a los mismos.

b) Mampostería reforzada

Son elementos que aportan mayor rigidez evitando el tipo de falla frágil.

A nivel internacional la mampostería reforzada se usa para el caso de muros que trabajan con grandes cargas laterales (sismo) presentando muy buenos resultados. Esta solución puede ser factible para resolver el problema de los cambios de volumen en los suelos expansivos.

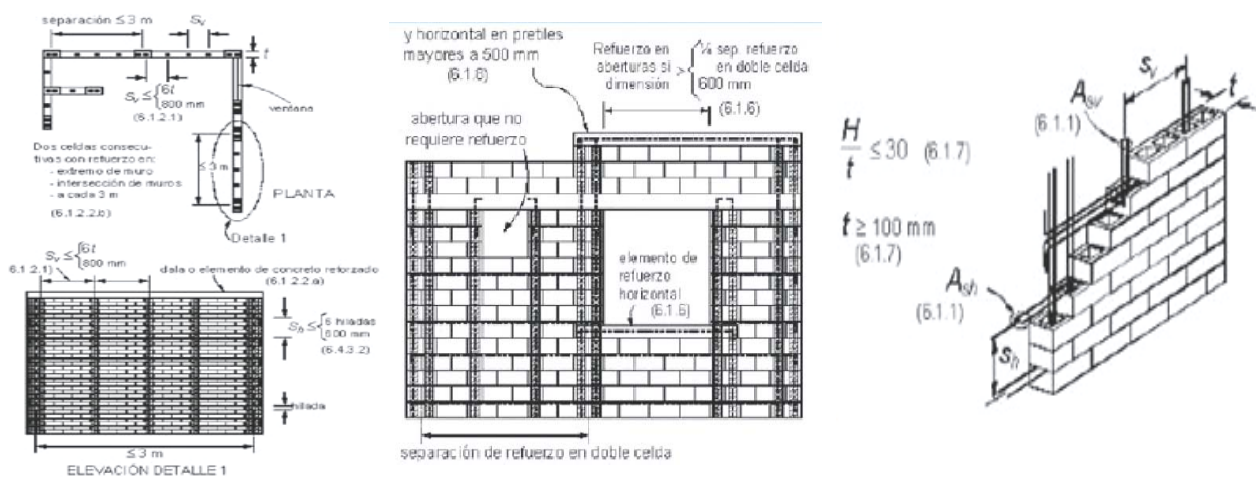


Figura 3.7 Muros de albañilería reforzados interiormente, Normas Colombianas de Diseño y Construcción Sismo, 1998; Orduña, 2001; Vallejo, 2007.

Basados en este criterio, en el presente trabajo se formulan tres propuestas de soluciones de fácil aplicación constructiva para estructuras de albañilería y a partir de la modelación de las mismas se valoró cual resulta ser la más efectiva.

1) Cierre perimetral a nivel de la parte inferior del marco de la ventana

Esta solución consiste en poner elementos horizontales de $0.10\text{m} \times 0.15\text{m} / 0.15\text{m} \times 0.15\text{m}$, conformando un cierre en la parte inferior de las ventanas

2) Columnas en los bordes de los marcos de ventanas y puertas

Esta solución consiste en poner columnas en los bordes de los marcos de las ventanas y puertas de sesión aproximada de $0.10\text{m} \times 0.15\text{m} / 0.15\text{m} \times 0.15\text{m}$, otra variante es, en el caso de los muros de bloques, hacer coincidir en los mismos bordes de los marcos los huecos de los bloques, reforzarlos y macizarlos.

3) Columnas en las esquinas de los muros.

Esta solución consiste en poner columnas en las esquinas de los muros, aplicando el mismo proceso que la solución anterior.

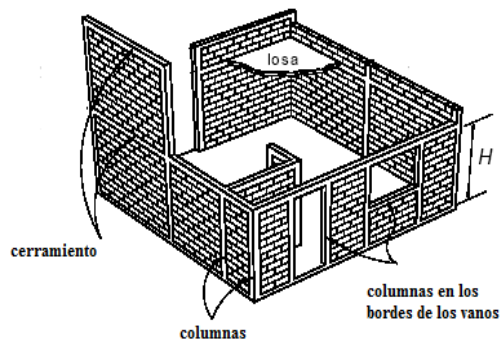


Figura 3.8 Solución de columnas en las esquinas y bordes de ventanas y puertas.

3.3 Modelación y Análisis de los resultados de la solución-# 1

Del análisis hecho para los modelos de estudio, se observó que las vigas cerramiento no resultan efectivas en ambos casos debido a que las zonas críticas de esfuerzos siguen siendo las mismas antes y después de aplicada (modelada) la solución.

- a) Caso de estudio – I: se representa el muro más afectado por el fenómeno de la expansividad según los resultados obtenidos de la modelación y la comparación con los problemas reales en este mismo muro.

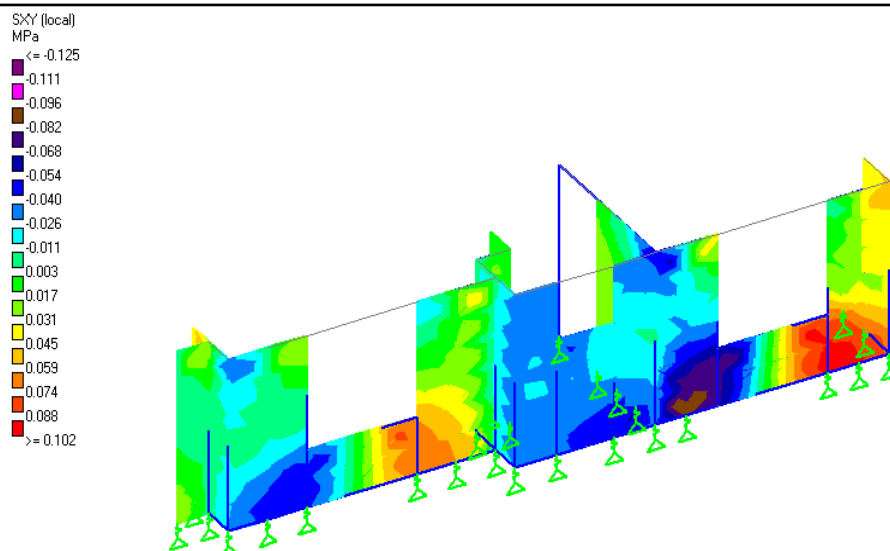


Figura 3.9a modelo inicial de suelo para la variante crítica.

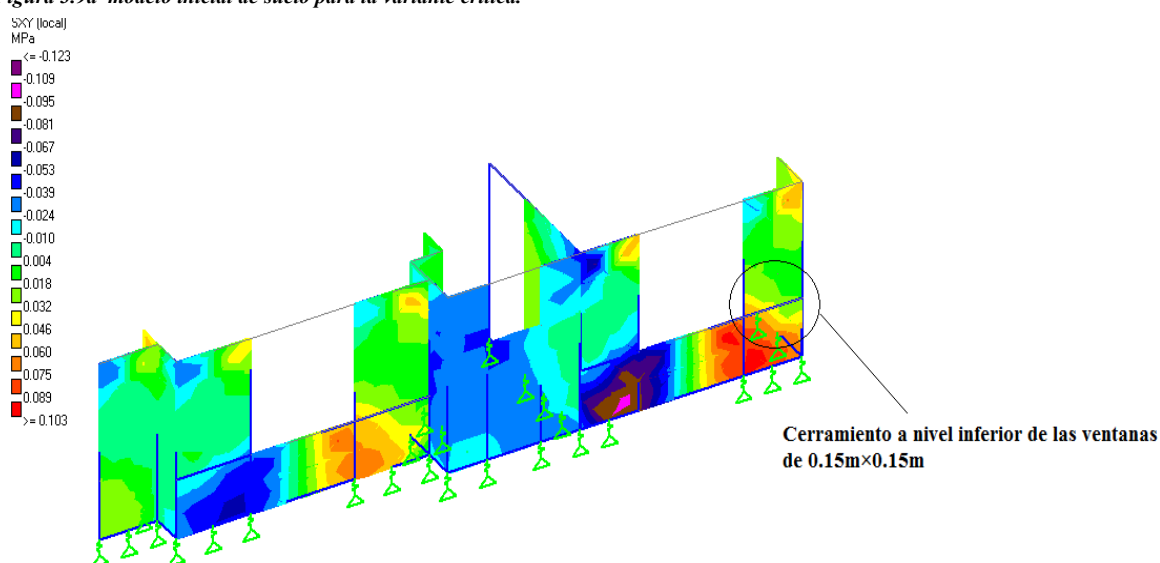


Figura 3.9b modelo inicial de suelo levantando la estructura, aplicando la propuesta de solución #1

b) Caso de estudio – II: se representa el muro más afectado pelo fenómeno de la expansividad.

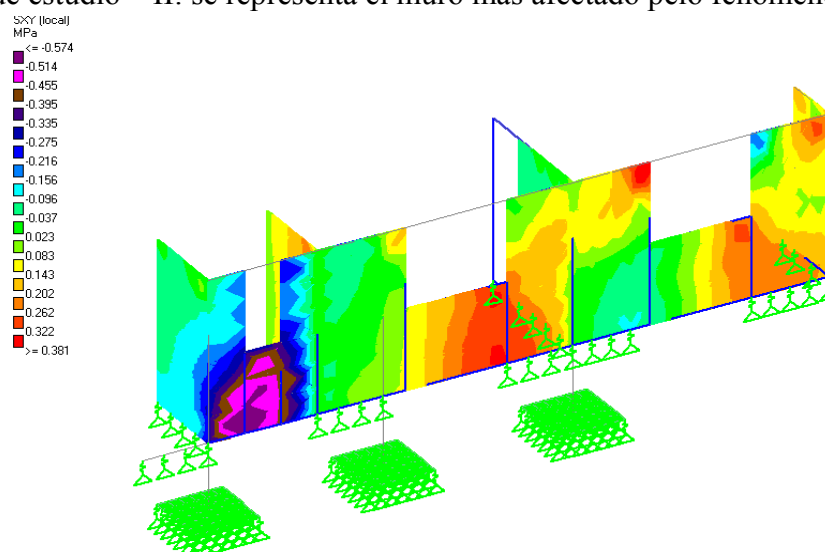


Figura 3.10a modelo inicial de suelo para la variante crítica.

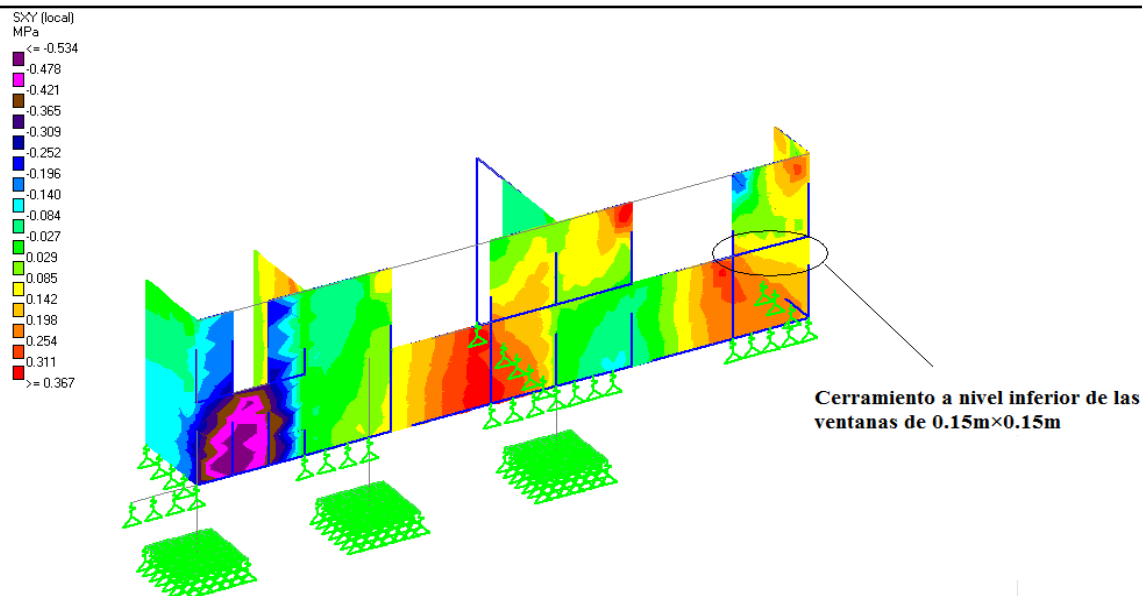


Figura 3.10b modelo inicial de suelo levantando la estructura, aplicando la propuesta de solución #1

3.4 Modelación y Análisis de los resultados de la solución # 2

Se concluyó que esta variante es la más efectiva para contrarrestar los daños causados por el fenómeno de expansividad. Se verifica una disminución de los esfuerzos tangenciales en las zonas más críticas de la estructura hasta un 50% de los mismos.

a) Caso – I:

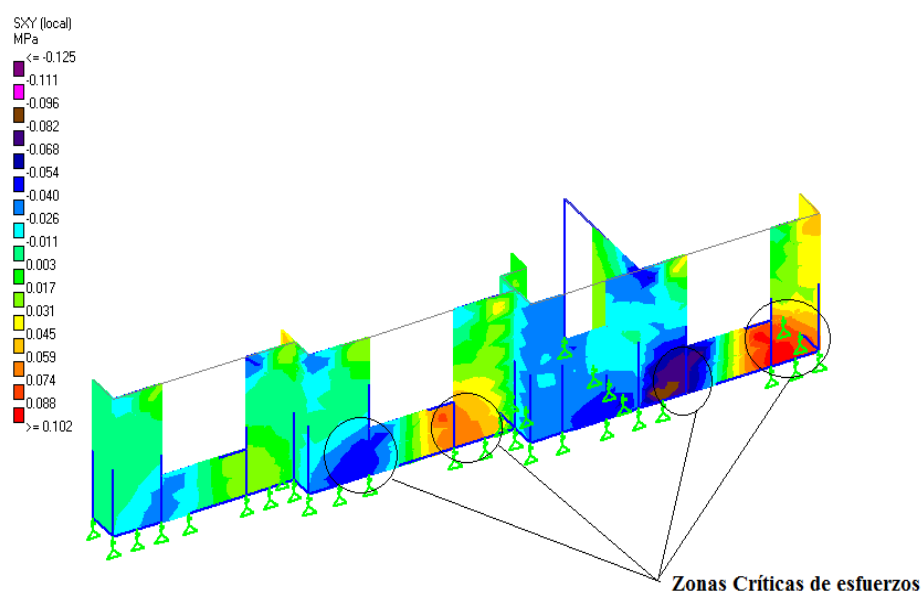


Figura 3.11a modelo inicial para la variante crítica.

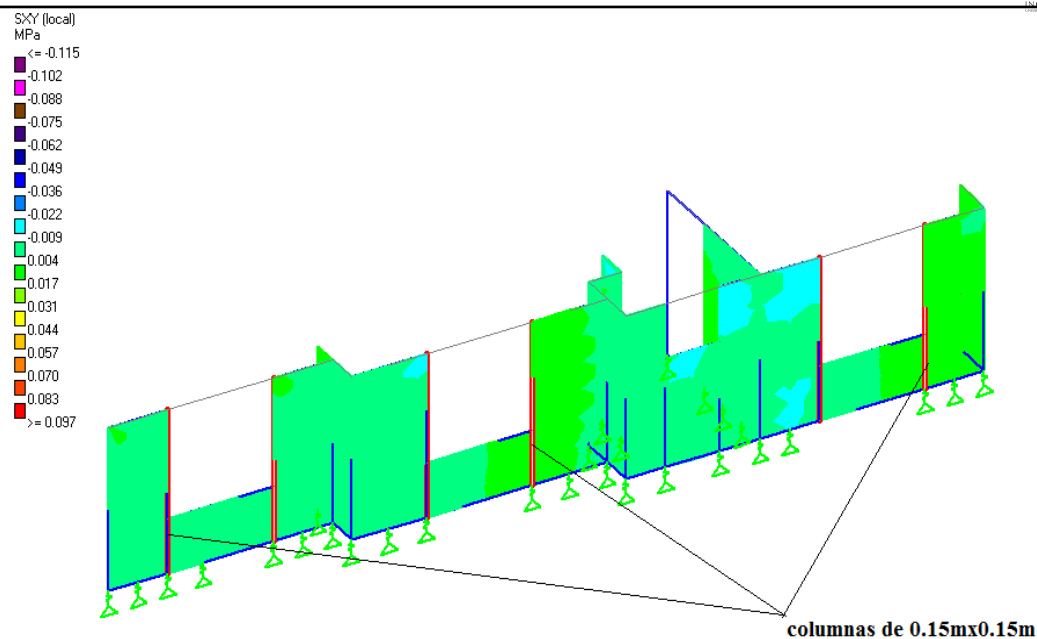


Figura 3.11b modelo inicial de suelo levantando la estructura, aplicando la propuesta de solución # 2

b) Caso – II

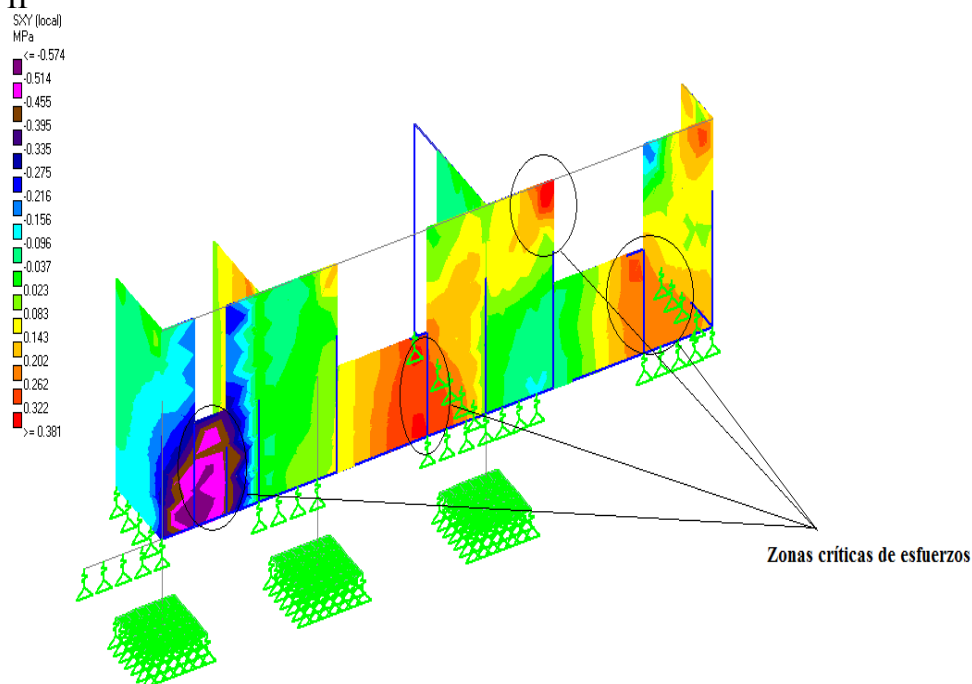


Figura 3.12a modelo inicial para la variante crítica.

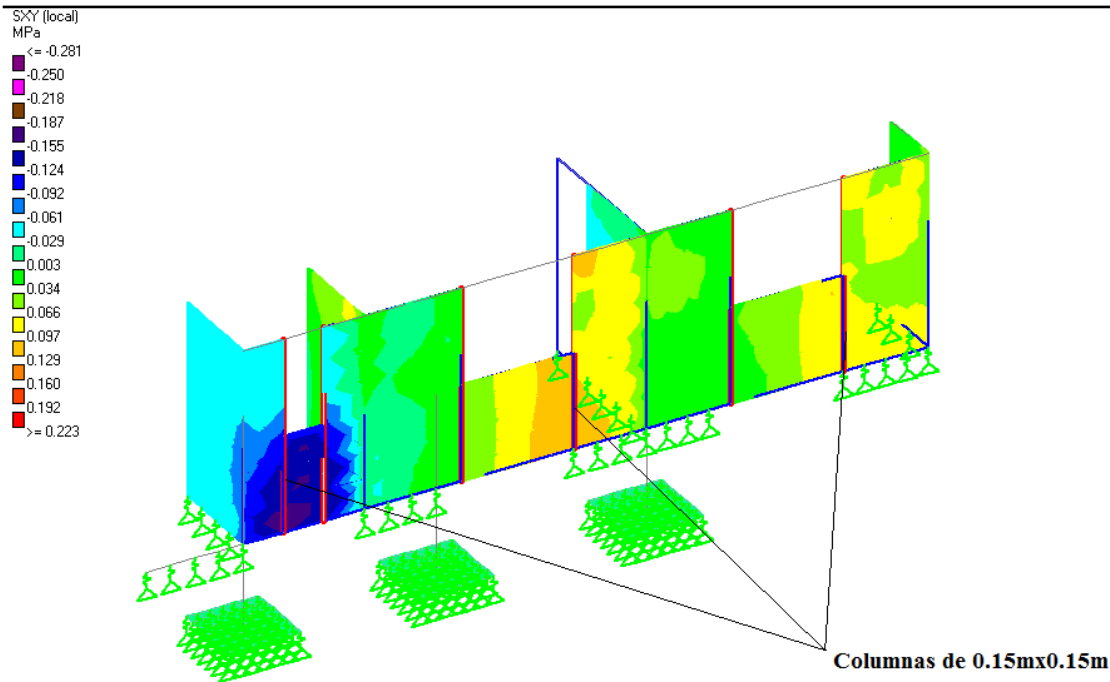


Figura 3.12b modelo inicial de suelo levantando la estructura, propuesta de solución # 2

3.5 Modelación y Análisis de los resultados de la solución # 3

La solución constructiva de poner columnas en las esquinas donde los muros se interceptan resulta ser menos efectiva que la solución anterior, aunque reduce en algunos lugares los esfuerzos, quedando lugares con valores muy cerca al estado de agrietamiento.

a) Caso – I

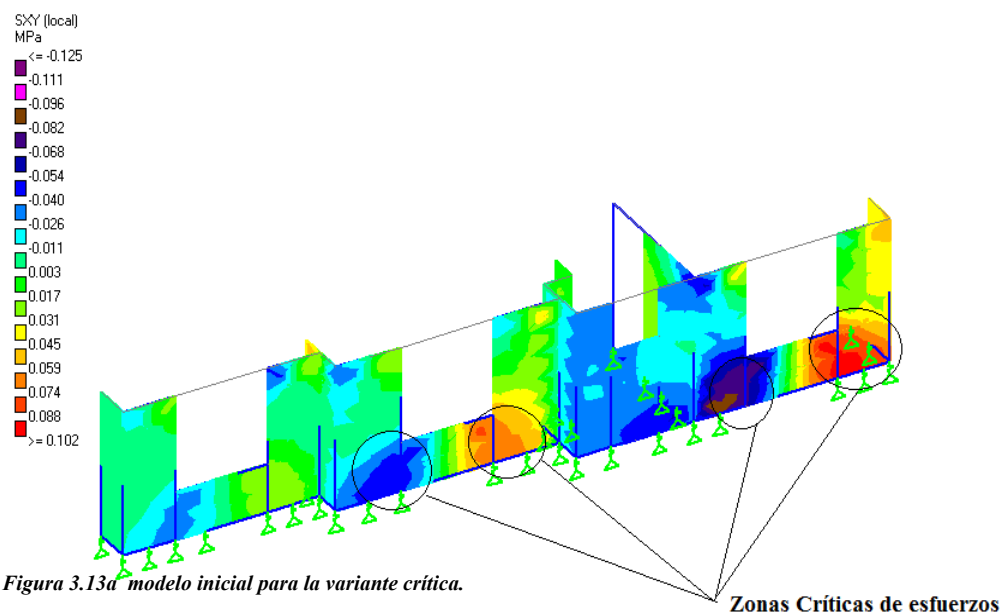


Figura 3.13a modelo inicial para la variante crítica.

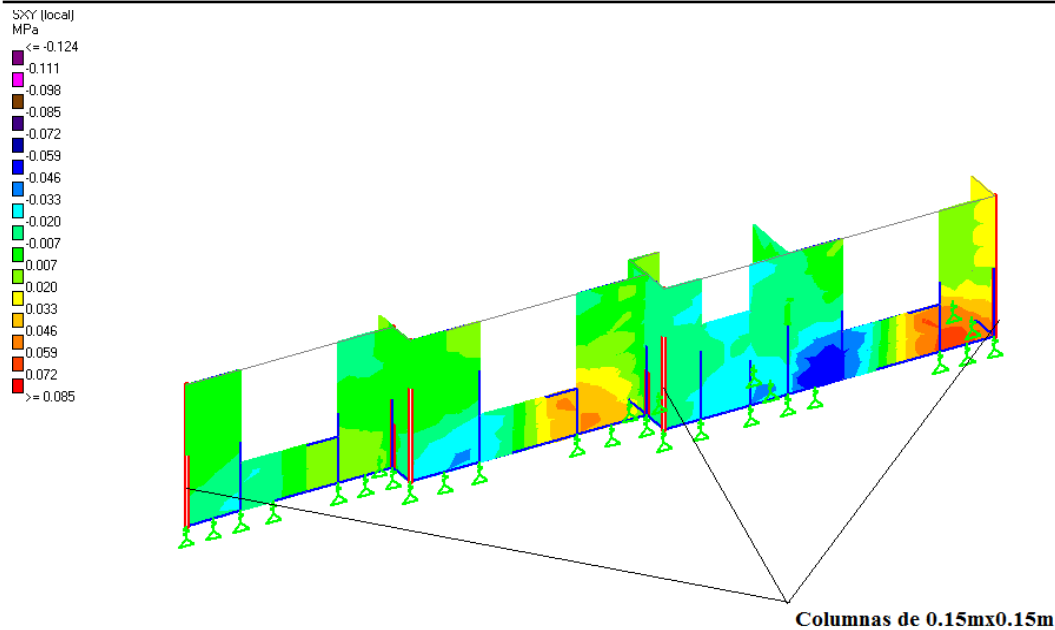


Figura 3.13b modelo inicial de suelo levantando la estructura, propuesta de solución - 3

Conclusiones parciales del capítulo

De las propuestas de solución para la reducción del efecto de expansividad en las estructuras que reposan sobre los mismos se puede concluir que:

- *Muchas de las soluciones recomendadas y las propuestas pueden encarecer las obras, mas se hace necesario su uso en la construcción cuando estamos en presencia de un suelo expansivo. En este tipo de suelos es muy importante tratar de evitar los daños antes que ocurran, porque las reparaciones son muy complejas y no logran resolver los mismos, solo los enmascaran.*
- *El uso de columnas en los bordes de los vanos, resulta de las tres soluciones propuestas, la más eficaz, aunque en los diagramas siguen apareciendo zonas de concentración de esfuerzos, estos están por debajo de los valores que puede soportar la mampostería.*



Conclusiones

Conclusiones

Las viviendas de mampostería, así como cualquier obra en general construida con sistemas tradicionales o no tradicionales, si están bien diseñadas y construidas no deberían tener problemas durante su vida útil. Sin embargo, a veces por un diseño incorrecto, por no construir de acuerdo a las reglas del arte, por efectos climáticos extremos o cambios de las propiedades de los suelos, pueden aparecer algunas patologías.

Basados en estos criterios en este trabajo han sido estudiados un conjunto de factores que llevan a la identificación y la descripción de patologías que aparecen en las estructuras con muros de albañilería fruto de las diferentes problemáticas relacionadas con los suelos expansivos,

A continuación, se exponen las conclusiones, que resumen el aporte de este trabajo al tema objeto de estudio:

- *A partir de un estudio detallado de los modelos, basados en el método de los elementos finitos de las estructuras, se permitió identificar y verificar los esfuerzos máximos y las zonas más críticas por tracción y compresión que nos lleva a identificar conductas similares de los daños provocados en la estructura.*
- *De los muros de mamposterías (mampuestos) estudiados y analizados de acuerdo a los resultados, la estructura conformada por bloques de hormigón huecos de 15cm de espesor exhibe menos afectaciones por el fenómeno de la expansividad, por poseer una mayor resistencia a los esfuerzos de compresión y tracción en relación a las estructura compuesta de muros de sillería.*
- *Actualmente en el mundo existen soluciones para la reducción del efecto de la expansividad, muchas de ellas incrementan en gran medida los costos de las obras por su complejidad y necesidad de medios especializados para implementarlas, pero se hace necesario su uso cuando estamos en presencia de suelos arcillosos potencialmente expansivos, pues los daños provocados por este fenómeno son difíciles de resolver y a la larga resultan ser mucho más costosos.*
- *La mampostería reforzada es una opción factible para resolver desde el diseño el problema de los daños provocados por los suelos expansivos. En los análisis realizados la colocación de columnas en los bordes de los vanos de las ventanas y puertas fue la que brindó mejores resultados. Esta solución propuesta minimiza el efecto de la expansión-retracción del suelo de la cimentación, pero siempre hay que tener en cuenta y cumplir*

con todo el conjunto de recomendaciones que se proponen para evitar los daños que estos suelos provocan.



Recomendaciones

Recomendaciones

- *Antes de someter una edificación fisurada o agrietada a costosas reparaciones y recalces, se recomienda realizar una investigación geotécnica que estudie la información disponible, analice e interprete los síntomas, investigue sus condiciones geotécnicas actuales y decida las medidas correctiva.*
- *Todos los organismos que se relacionan con el tema de la vivienda deben estar impuestos de la implicación que tiene la construcción de viviendas en zonas de suelos susceptible a cambios de volumen, por ellos se hace necesario que se valore la realización de seminarios a lo largo del país con el objetivo de divulgar las causas de este fenómeno, los daños que provoca y la forma de enfrentarlos.*
- *Es necesario seguir estudiando con profundidad los problemas asociados a este tipo de suelos para poder llegar a obtener una explicación más cerca de lo real de este fenómeno con el fin de seguir buscando soluciones que resulten más eficientes al país.*
- *Divulgar entre las entidades relacionadas con la vivienda las soluciones que se han propuesto en este trabajo, las cuales pueden contribuir en gran medida a disminuir el efecto de este fenómeno.*
- *Estudiar o revisar otros modelos donde se pueda valorar el espaciamiento en los elementos columnas que se incorporan para rigidizar la estructura, en función de las dimensiones de los diferentes espacios.*
- *Probar la solución de la mampostería reforzada interiormente (poner cavillas de acero y macizar el elemento), en lugar de las columnas.*
- *Valorar la incorporación en la NC 53- 115 Cálculo de Estructuras de Mampostería, 2003 los valores de la resistencia a tracción o cortante de los muros.*



Bibliografía

Bibliografía

Anisleidys Borrás Hidalgo, (2007). Estudio del comportamiento de los suelos expansivos a partir de los conceptos de la mecánica de suelo no saturados. Trabajo de Diploma.

Arturo Tena Colunga et al Vallejo, (2007). Resistencia y deformación de muros de mampostería combinada y confinada sujeto a cargas laterales. Revista de Ingeniería Sísmica No. 76 29-60.

Broche Lorenzo, J. L, (2003). Proyecto de investigación “Palacio de los Capitanes Generales”. Estudio de las patologías. Centro de Investigación y Desarrollo de las Estructuras y los Materiales. CIDEM. Facultad de Construcciones. UCLV.

Broche Lorenzo, J. L, (2005). Conceptualización del comportamiento estructural de las cimentaciones superficiales aisladas aplicando técnicas de modelación numérica. Santa Clara, Marta Abreu. Tesis Presentada para optar por el grado científico de Doctor en Ciencias Técnicas.

Compendio de Normativas de Ladrillo y Bloques, (2004). Servicio de normativas técnicas, supervisión y control. Dirección general de Arquitectura y viviendas Madrid-España.

Collado Suárez. D, (2007). Modelación de estructuras hidráulicas de hormigón armado. Santa Clara, Marta Abreu. Trabajo de Diploma.

Díaz, K.; Ríos, J, (2005). Alternativas de rehabilitación de adobe y tapia pisada. Bogotá. Los Andes.

Domingos E. Delgado Martínez, (1999). Evaluación de la expansividad de suelos arcillosos. Tesis en opción al título académico de Máster en Geología, Mención Geotecnia.

Domingos E. Delgado Martínez, (2003). Estudio del comportamiento de los suelos cohesivos con problemas especiales de inestabilidad volumétrica y sus soluciones ingenieriles. Tesis presentada para optar por el grado científico de Doctor en Ciencias Técnicas.

Delgado, M. D. y Quevedo S. G. Ingeniería, (2008). Aplicación y validación de una metodología Integral para la evaluación de la expansividad de suelos arcillosos, Artículo de investigación.

Freire Tellado, (2006). "Precisiones para el empleo del módulo de balasto". "Interacción del suelo, cimiento y estructura: el caso de las zapatas I y II". En Informes de la Construcción - N°: 463/471/472.

Fernández, (2007). Modelación Estructural de Edificios históricos. Caso de estudio Convento de Santa Clara de Asís-CENCREM.

Ibáñez Mora, L. O, (2001). Análisis del comportamiento geotécnico de las cimentaciones sobre pilotes sometidas a carga axial mediante la modelación numérica. Santa Clara, Marta Abreu. Resumen de la tesis presentada en opción al grado científico de Doctor en Ciencias Técnicas.

Jiménez Salas, J. A. y Colectivo de Autores, (1986). Geotecnia y Cimientos III. Madrid. Editorial Rueda. Primera Parte.

Julio Ricaldoni, (2000), Estudio del Comportamiento Dinámico de un Modelo de Mampostería Encadenada Mediante Ensayos en Mesa Vibratoria. Instituto de Investigación Antisísmicas de la Universidad de San Juan Argentina.

Junia Soares Chagas, (2005). Investigación Experimental y Numérica sobre rehabilitación de estructural de albañilería utilizando refuerzos. Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado em

Modelagem Matemática e Computacional do Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Modelagem Matemática e Computacional, Minas Gerais Brasil.

J. López et al, (1998). Calculo del Comportamiento de la mampostería Mediante Elementos Finitos. Monografía Centro Internacional de Métodos Numéricos en Ingeniería CIMNE nº 46 Primera edición. Barcelona-España.

Meli Piralla, R, (1986). Diseño Estructural. La Habana. Editorial Edición Revolucionaria.

Monteagudo Rodríguez. I, (2001). Caracterización y Evaluación Técnica Constructivas de Mamposterías y Tapias de Tierra de los siglos XVII, XVIII y XIX. Estudio en La Habana intramuros. La Habana. José Antonio Echeverría. Tesis presentada en opción al grado científico de Doctor en Ciencias Técnicas.

Mark J. Masialetal, (2002). Probabilistic Crack Prediction for Masonry Structures on Expansive Soils. JOURNAL OF STRUCTURAL ENGINEERING.

Miguel Angel Alfaro Soto, (2007). Deformaciones Volumétricas con y sin Colapso de Algunos Suelos. Laboratorio de Estudios de Bacias (LEBAC). Universidad Estadual Paulista (UNESP). Rio Claro – SP, Brasil.

NC: 283, (2003). Densidad de Materiales. Cargas de Diseño. Ciudad de La Habana. Oficina Nacional de Normalización.

NC: 53, (2003). Obras de Fabrica Método de Cálculo Ciudad de La Habana. Oficina Nacional de Normalización.

Parsade. (2007). Modelación de Viviendas Ligeras Bajo el Efecto del Cambio de Volumen de los Suelos Expansivos. Trabajo de Diploma.

Rodrigo Ortiz, et al Mazo, (2000). “Curso Aplicado de Cimentaciones”. Madrid. Calavera Ruiz José. “Cálculo de estructuras de cimentación”. Instituto Técnico de Materiales y Construcciones.

Recarey Morfa, y Broche Lorenzo. J. L, (2002). Proyecto de investigación, Instituto Superior de Arte. Centro de Investigación y Desarrollo de las Estructuras y los Materiales. CIDEM. Facultad de Construcciones. UCLV.

S. Briccoli Bati and L. Rovero, (2001). Experimental Validation of a Proposed Numerical Model for the FRP Consolidation of Masonry Arches. University of Florence. Dipartimento Costruzioni. Firenze Italy.

Sitios web consultados:

[www.fc.warcraft\Biblioteca\Ingeniería Civil\2do. Año\II Semestre\Resistencia de Materiales\C16A29.doc](http://www.fc.warcraft/Biblioteca/Ingeniería Civil/2do. Año/II Semestre/Resistencia de Materiales/C16A29.doc). Resistencia de Materiales. Conferencia # 16. Actividad # 29. 2^{do} Año de Ingeniería Civil. II Semestre, (2008).

<http://www.asefa.es>. Revista ASEFA Patologías por arcillas expansivas. Naturaleza y Comportamiento, (2004).

<http://www.eird.org>. Norma: NSR Suelos con Características Especiales, (1997).

- http://www.ingenieria.uady.mx/revista/volumen13/aplicacion_validacion.pdf, Aplicación y validación de una metodología integral para la evaluación de la expansividad de suelos arcillosos, (2008).
- <http://cedb.asce.org/cgi/WWWdisplay.cgi?0409170>. Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering ASCE, (2004). Modeling Expansive Soil Movements Beneath Structures. Mark J. Masia1 and Peter W. Kleeman. American society of civil engineers.
- <http://www.accefyn.org.co/PubliAcad/Periodicas/Volumen31/120/355-362.pdf>. Deformaciones volumétricas con y sin colapso de algunos suelos no saturados, (2007). Miguel Angel Alfaro Soto.
- <http://www.ceramicaroja.com.ar/pdf/patologias.pdf>. Patologías en Mampostería de Cerámica Roja. La Cámara Industrial de Cerámica Roja (CICER).
- http://www2.etcg.upc.edu/asg/engeol/pdf_files/5.4deform_txt.pdf. Deformabilidad del Macizo Rocosó.
- <http://www.benchmarkfoam.com/benchmark/poly/properties.asp>. Norma ASTM Industria de la Construcción – Bloques, Tabiques o Ladrillos, Tabicones y Adoquines – Resistencia a la Compresión - Métodos de Prueba. “Norma Mexicana NMX C 036 - ONNCCE – (2004).
- <http://www.mypfundaciones.comindex.phps>. FE Fundaciones Especiales S_A.
- <http://www.demecanica.com>. Muzas Lavad, Fernando, (2002). Consideraciones sobre la elección de los coeficientes de balasto>>. Revista de Obras Públicas Noviembre 2002. Nº 3427 de Mecánica. “Módulo de Balasto”.
- <http://www.geocities.com/gestodedios/Geotecnia/geotecnia.htm#>. Módulo de Balasto Morrión. N, (1993). Universidad Politécnica de Cataluña, Barcelona- España.



Anexos

Anexos

Tabla 1.1 Distintos valores de coeficiente de rigidez de la cimentación.

L/b	1.0	1.5	2.0	3.0	4.0	5.0	6.0	7.0	8.0	9.0	10.0
ω	0,88	0,87	0,86	0,83	0,80	0,77	0,74	0,73	0,73	0,69	0,67

**Tabla 1.2 Coeficiente de balasto valores orientativos para placa de carga de 30x30cm² (K30).
Clases de suelo (K/cm³).**

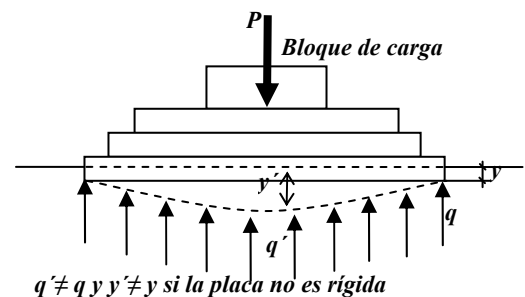
Suelo	k_s , K/cm ³
Suelo ligero de turba y cenagoso	0,5 - 1,0
Suelo pesado de turba y cenagoso	1,0 - 1,5
Arena fina de ribera o playa	1,0 - 1,5
Arena floja seca	1,0 - 1,3
Arena floja húmeda	0,8 - 1,0
Arena media seca	3,0 - 9,0
Arena media húmeda	2,0 - 6,0
Arena compacta seca	9,0 - 20,0
Arena compacta húmeda	7,0 - 13,0
Capa de humus, arena y grava	1,0 - 2,0
Arcilla mojada	2,0 - 3,0
Arcilla húmeda	4,0 - 5,0
Arcilla seca	6,0 - 9,0
Arcilla seca dura	> 10,0
Margas arcillosas	20,0 - 40,0

UNIDADES: 1 K/cm³ $\approx$ 103 T/m³ $\approx$ 104 kN/m³

Tabla 1.2. Intervalo de valores del módulo de reacción del lecho.

(Use estos valores como una guía y para comparaciones cuando utilice las ecuaciones aproximadas)

Suelo	k_s , kN/m ³
Arena suelta	4800-16000
Arena media densa	9600-8000
Arena Densa	64000-128000
Arena arcillosa media densa	32000-80000
Arena limosa medio densa	24000-48000
Suelo Arcilloso:	
$q_a \leq 200$ kPa	12000-24000
200 kPa $\leq q_a \leq 800$ kPa	24000-48000
$q_a > 800$ kPa	>48000



Esquema del ensayo de placa para medir el coeficiente de balasto.

Tabla 1.2 Valores aproximados del módulo de balastro K VALORES APROXIMADOS DEL MÓDULO DE BALASTO K_{300} (Placa cuadrada $\ell = 300$ mm)

División primaria	Grupo de suelos y descripción típica	Símbolo	N/mm^3
Gravas y suelos con gravas	Gravas con buena granulometría o mezclas de arena y grava. Pocos finos.	GW	0,28 – 0,40
	Mezclas de arcilla-arena-grava, con buena granulometría. Excelente trabazón.	GC	0,24 – 0,40
	Gravas con pobre granulometría y mezclas de arenas y gravas. Pocos finos.	GP	0,18 – 0,28
	Gravas con finos, gravas limosas, gravas arcillosas. Mezclas arcilla, arena y grava con mala granulometría.	GF	0,15 – 0,28
Arenas y suelos arenosos	Arenas con buena granulometría y arenas con gravas. Pocos finos.	SW	0,15 – 0,35
	Mezclas de arenas y arcillas con buena granulometría. Excelente trabazón.	SC	0,15 – 0,35
	Arenas con mala granulometría. Pocos finos.	SP	0,13 – 0,20
	Arenas con finos, arenas limosas, arenas arcillosas. Mezclas arena-arcilla con mala granulometría.	SF	0,11 – 0,20
Suelos de grano fino con baja o media plasticidad	Limos inorgánicos y arenas finas. Polvo rocoso, arenas finas limosas o arcillosas con ligera plasticidad.	ML	0,9 – 0,20
	Arcillas inorgánicas de plasticidad baja o media, arcillas arenosas, arcillas limosas, arcillas pobres.	CL	0,9 – 0,13
	Limos orgánicos y limo-arcillas de baja plasticidad.	OL	0,07 – 0,11
Suelos con grano fino con plasticidad alta	Suelos arenosos finos, con mica o tierra de diatomeas, limos elásticos.	MH	0,04 – 0,11
	Arcillas inorgánicas de plasticidad alta, arcillas gruesas.	CH	0,04 – 0,09
	Arcillas inorgánicas de plasticidad media o alta	OH	0,04 – 0,09

VALORES APROXIMADOS DEL MÓDULO DE BALASTO K_{750} (Placa circular $d = 750$ mm)

División primaria	Grupo de suelos y descripción típica	Símbolo	N/mm^3
Gravas y suelos con gravas	Gravas con buena granulometría o mezclas de arena y grava. Pocos finos.	GW	0,14 – 0,20
	Mezclas de arcilla-arena-grava, con buena granulometría. Excelente trabazón.	GC	0,11 – 0,20
	Gravas con pobre granulometría y mezclas de arenas y gravas. Pocos finos.	GP	0,08 – 0,14
	Gravas con finos, gravas limosas, gravas arcillosas. Mezclas arcilla, arena y grava con mala granulometría.	GF	0,07 – 0,14
Arenas y suelos arenosos	Arenas con buena granulometría y arenas con gravas. Pocos finos.	SW	0,07 – 0,16
	Mezclas de arenas y arcillas con buena granulometría. Excelente trabazón.	SC	0,07 – 0,16
	Arenas con mala granulometría. Pocos finos.	SP	0,06 – 0,09
	Arenas con finos, arenas limosas, arenas arcillosas. Mezclas arena-arcilla con mala granulometría.	SF	0,05 – 0,09
Suelos de grano fino con baja o media plasticidad	Limos inorgánicos y arenas finas. Polvo rocoso, arenas finas limosas o arcillosas con ligera plasticidad.	ML	0,04 – 0,09
	Arcillas inorgánicas de plasticidad baja o media, arcillas arenosas, arcillas limosas, arcillas pobres.	CL	0,04 – 0,06
	Limos orgánicos y limo-arcillas de baja plasticidad.	OL	0,03 – 0,05
Suelos con grano fino con plasticidad alta	Suelos arenosos finos, con mica o tierra de diatomeas, limos elásticos.	MH	0,02 – 0,05
	Arcillas inorgánicas de plasticidad alta, arcillas gruesas.	CH	0,02 – 0,04
	Arcillas inorgánicas de plasticidad media o alta.	OH	0,02 – 0,04

2.3 Tablas de valores de resistencia de la mampostería.

Capítulo - 5 Calidad de los Componentes de la mampostería

f'_m - Resistencia a compresión

f_r -Resistencia a la rotura

Valores de f'_m en función de los tipos usuales de mampuestos y morteros.

Tipo de mampuesto	Valores de f'_m en MPa		
	Tipo de mortero		
	Resistencia elevada (E)	Resistencia intermedia (I)	Resistencia normal (N)
Ladrillos cerámicos macizos	2,50	2,25	1,75
Bloques huecos portantes cerámicos	6,50	5,85	4,55
Bloques huecos portantes de hormigón	6,50	5,85	4,55

Valores de f_r [MPa], en función de los tipos usuales de mampuestos y morteros.

Dirección de la tensión a tracción por flexión y tipo de mampostería	Tipo de mortero		
	"E" (MPa)	"I" (MPa)	"N" (MPa)
* Normal a las juntas			
• ladrillos macizos	0,7	0,7	0,5
• bloques huecos			
(a) no hormigonados	0,4	0,4	0,3
(b) completamente hormigonados	1,1	1,1	1,0
* Paralelo a las juntas			
• ladrillos macizos	1,3	1,3	1,0
• bloques huecos			
(a) no hormigonados	0,8	0,8	0,6
(b) completamente hormigonados	1,3	1,3	1,0

Capítulo - 6 Calidad de la Mampostería

σ'_{mo} -Resistencia compresión

τ'_{mo} -Resistencia cortante

Tipo de mampuesto	Valores de σ'_{mo} en MN/m ²		
	Tipo de mortero		
	Resistencia elevada (E)	Resistencia intermedia (I)	Resistencia normal (N)
Ladrillos cerámicos macizos Clase A	4	3,5	3
Ladrillos cerámicos macizos Clase B	2,5	2	1,5
Bloques huecos portantes cerámicos Clase A	3	2,5	2
Bloques huecos portantes cerámicos Clase B	2	1,5	1,2
Bloques huecos portantes de hormigón Tipos I ó II	3	2,5	1,5
Bloques huecos portantes de hormigón Tipo III	2	1,5	1,2

Tipo de mampuesto	Valores de τ'_{mo} en MN/m ²		
	Tipo de mortero		
	Resistencia elevada (E)	Resistencia intermedia (I)	Resistencia normal (N)
Ladrillos cerámicos macizos Clase A	0,40	0,35	0,30
Ladrillos cerámicos macizos Clase B	0,35	0,30	0,25
Bloques huecos portantes cerámicos Clase A	0,35	0,30	0,25
Bloques huecos portantes cerámicos Clase B	0,30	0,25	0,20
Bloques huecos portantes de hormigón Tipos I ó II	0,35	0,30	0,25
Bloques huecos portantes de hormigón Tipo III	0,30	0,25	0,20

The Shear Strength of Dry-Stacked Masonry Walls

Ensayos de determinación de resistencia al corte							
Murete	Carga de rotura P (Kg)	Mortero	Dimensiones del murete (cm)			Tensión rasante nominal de rotura τ (Mpa)	Observaciones
			a	b	e		
1	85,0	A	51,5	54,0	11,4	0,999	Falla local
2	90,0	A	51,5	54,2	11,3	1,065	
3	100,3	A	51,5	54,4	11,3	1,185	Falla local
4	137,4	B	51,5	52,5	11,3	1,653	
5	128,6	B	51,5	53,6	11,4	1,518	
6	125,8	B	51,5	54,5	11,5	1,459	
7	139,2	E	51,3	54,5	11,5	1,618	
8	136,4	E	51,0	54,0	11,3	1,626	
9	182,6	E	51,5	53,8	11,3	2,171	

Capítulo-10 Mampostería de muros confinados

Tipificación de los morteros según su resistencia

Tipo de mortero	Calidad de resistencia	Resistencia mínima a compresión a 28 días (MN/m ²)
E	elevada	15
I	intermedia	10
N	normal	5

Tabla Resistencia de pilas a la compresión simple

Arreglo	Resistencia media f_m (kg/cm ²)	c_m	f_m^* kg/cm ²
1	31.4	0.15	22.7
2	26.3	0.17	18.5
1 y 2	28.7	0.18	19.7

Tabla 3. Módulo de elasticidad

Arreglo	E_m promedio kg/cm ²	c_v
1	12,578.2	0.22
2	11,944.3	0.23
1 y 2	12,244.6	0.22

Clase de Criterios de Resistencia de la mampostería

v_m -Resistencia a Cortante

Valores máximos para v_m en muros diafragma (MPa)

Unidades de mampostería	Valores de v_m
• Unidades macizas de concreto o arcilla	0.35
• Unidades de perforación vertical de concreto o arcilla	0.25
• Unidades de perforación horizontal de arcilla	0.15