



**UNIVERSIDAD AUTONOMA
DE AGUASCALIENTES**

CENTRO DE CIENCIAS DEL DISEÑO Y DE LA CONSTRUCCION

DEPARTAMENTO DE CONSTRUCCION
Y ESTRUCTURAS

MAESTRIA EN INGENIERIA
SALIDA EN SEGURIDAD ESTRUCTURAL

TESINA

**PATOLOGÍAS ESTRUCTURALES EN CASAS AFECTADAS POR
FALLA GEOLÓGICA EN EL ESTADO DE AGUASCALIENTES**

REALIZADA POR:

Jorge Alberto González de la Parra

DIRECTOR DE TESIS:

Dr. Jesús Pacheco Martínez

M. EN A. MARIO ANDRADE CERVANTES
DECANO DEL CENTRO DE CIENCIAS DEL
DISEÑO Y DE LA CONSTRUCCIÓN.
P R E S E N T E .

Por este conducto le informo que el Ing. Jorge Alberto González de la Parra, ha concluido su tesina que lleva por título: **“PATOLOGIAS ESTRUCTURALES EN CASAS AFECTADAS POR FALLA GEOLOGICA EN EL ESTADO DE AGUASCALIENTES”**, de acuerdo con los objetivos y contenidos planteados para su autorización.

Como es de su conocimiento en la elaboración de este trabajo fungí como asesor, por lo que he autorizado al sustentante para que realice la impresión final del documento y lleve a cabo los trámites pertinentes para obtener el grado de Maestría en Ingeniería con salida terminal en Seguridad Estructural por la Universidad Autónoma de Aguascalientes.

Agradezco la atención que se sirva tener a la presente y aprovecho la ocasión para enviarle un cordial saludo.

ATENTAMENTE
Aguascalientes, Ags., a 26 de Marzo de 2009.

DR. JESUS PACHECO MARTINEZ
DIRECTOR DE TESIS

c.c.p.- Ing. Jorge Alberto González de la Parra.
c.c.p.- Archivo

D.P.
27/03/09

Resumen

El valle de Aguascalientes padece el fenómeno de subsidencia debido a la sobreexplotación de su acuífero, este fenómeno genera hundimientos y agrietamientos en la superficie del terreno.

El sistema constructivo generalmente utilizado en el estado de Aguascalientes es el de muros de carga a base de mampostería confinada, los muros se construyen de tabique rojo recocido o de block de concreto y como elemento de confinamiento se usan cadenas y castillos de concreto armado.

Las fallas provocadas por subsidencia afectan a las construcciones que se asientan sobre su traza, al producir asentamientos diferenciales en sus cimentaciones las cuales a su vez provocan daños en la superestructura de los inmuebles.

Las edificaciones de mampostería confinada se caracterizan por tener una alta resistencia a los esfuerzos de compresión pero una baja resistencia a los esfuerzos de tensión.

Cuando la traza de una falla afecta a una construcción provocándole asentamientos diferenciales, se producen desplazamientos verticales en la cimentación transmitiendo esfuerzos de cortante a los muros que a su vez generan esfuerzos de tensión que al rebasar la resistencia de la mampostería aparecen fisuras en los muros.

El presente trabajo se enfoca en la caracterización de los daños causados en las estructuras por este fenómeno. En una primera etapa se analiza una casa habitación construida a base de mampostería confinada que presenta afectación por falla. Se hace un modelado de la estructura a través del programa SAP 2000, reproduciendo las afectaciones ocasionadas por el paso de la falla a través de la cimentación y de sus elementos estructurales, como cadenas y muros.

Por medio de este modelo se obtienen los elementos mecánicos para las secciones de la construcción afectadas y se comparan con los daños observados físicamente.

En la segunda etapa del presente estudio se realizaron análisis del efecto de la falla sobre la misma casa habitación suponiendo una orientación y localización de la trayectoria de la falla diferente dentro del predio respecto a los ejes ortogonales de la construcción con la finalidad de definir si existe alguna orientación que le resulte más desfavorable a la construcción provocándole mayores daños.

SUMMARY

The Aguascalientes Valley suffer the subsidence phenomenon, due to aquiferous overexploitation. This phenomenon generates sagging and cracking in the ground surface.

The constructive system currently used in the State of Aguascalientes consists on charging confined masonry walls. These walls are made with clay red bricks or concrete blocks, and the confinement elements consisting on small section beams and columns are made of reinforced concrete.

The failures provoked by the subsidence, affect buildings that are placed over its trajectory, since differential settlements are produced below the building's foundation, and as a consequence, damages in building superstructure appears.

The confined masonry structures are characterized by having a high strength to compression stresses, but a low resistance to the tension strain.

When a building is affected by the failure trajectory and differential settlements appear, vertical displacements of the foundation are produced and this generates shear stresses in the walls that are traduced as tension strains, which produce cracking in wall when the masonry resistance is exceeded.

This work is focused in the characterization of the damages caused in the buildings by this phenomenon. In a first stage an affected house, constructed with confined masonry walls is analyzed. This was done modeling the structure using the structural software SAP 2000, recreating the affectation caused by the geological failure through the foundation and its structural elements, as small section beams and walls.

Using this model, the mechanical elements are obtained for the affected construction sections and are compared with the observed damages in the field.

In the second stage of this study, analysis of the effect of the failure over the same house were carried out, supposing a different orientation and location of the failure's trajectory inside the property's lot with respect to the construction orthogonal axes, with the intention to define if there is some orientation that can result more adverse for the construction, producing more damages.





ÍNDICE

Capítulo 1.- Introducción. 3

 1.1.- Justificación del trabajo. 6

 1.2.- Objetivos. 6

 1.3.- Actividades desarrolladas. 7

Capítulo 2.- Antecedentes o Estado del Arte

 2.1.- Subsistencia y fallamientos. 11

 2.2.- Evolución del problema de subsistencia y fallas asociadas
 en el Valle de Aguascalientes. 19

 2.3.- Sistemas constructivos de mampostería. 25

 2.4.- Interacción suelo-estructura. 39

Capítulo 3.- Localización del área de estudio. 47

Capítulo 4.- Reporte de la visita de inspección. 53

Capítulo 5.- Análisis estructural del inmueble. 63

Capítulo 6.- Análisis de los resultados de la modelación. 77

Capítulo 7.- Caracterización de los daños ocasionados por la subsistencia
 de acuerdo a la localización y orientación de la falla dentro del
 inmueble. 85

Capítulo 8.- Conclusiones. 105

Referencias. 107





Capítulo 1

Introducción

CAPÍTULO 1.-

Introducción

A principios de los años ochenta, las poblaciones asentadas en el Valle de Aguascalientes registraron un crecimiento acelerado, sobre todo la ciudad de Aguascalientes, en consecuencia también hubo un aumento en la demanda de suministro de agua, tanto para uso agrícola como industrial y habitacional, lo cual condujo a un incremento en la explotación de pozos de agua subterránea con la finalidad de saciar las nuevas necesidades de la población. La sobreexplotación del acuífero pronto se dio cuando la cantidad de agua extraída superó a la cantidad de agua de recarga del acuífero por infiltración, lo cual en un sistema de acuífero formado por rellenos granulares con potencial de ser consolidados hace factible la generación de asentamientos o hundimientos al acomodarse gradualmente los rellenos granulares para ocupar los espacios dejados por el agua, posibilitando a su vez la generación de agrietamientos superficiales en el suelo.

Existen dos tipos de discontinuidades provocadas por la subsidencia y que afectan solo a la masa de relleno granular:

Tipo uno, grietas generadas a partir del movimiento relativo entre dos bloques que se desplazan verticalmente cuya dirección es paralela al plano de fallamiento, provocando en la superficie un desnivel de altura y longitud variables. En el presente trabajo se les denominará simplemente *fallas*. (Figura 1.1a).

Tipo dos, grietas generadas a partir del movimiento relativo entre dos bloques con un desplazamiento horizontal con dirección normal al plano de fracturamiento, por lo que en la superficie no presentan desnivel. En el presente trabajo, a este tipo dos se les denominará simplemente *fracturas*. (Figura 1.1b).

Las fallas geológicas se definen como una discontinuidad de la corteza terrestre en la cual existe un desplazamiento horizontal, vertical o ambos, a cada lado de las masas de roca a lo largo del plano de fractura. Esta fracturación se debe a esfuerzos inducidos por el movimiento de las placas tectónicas. Son estructuras geológicas regionales y su generación y crecimiento es acompañado por actividad sísmica. Las grietas y fisuras son fracturas de menor orden.

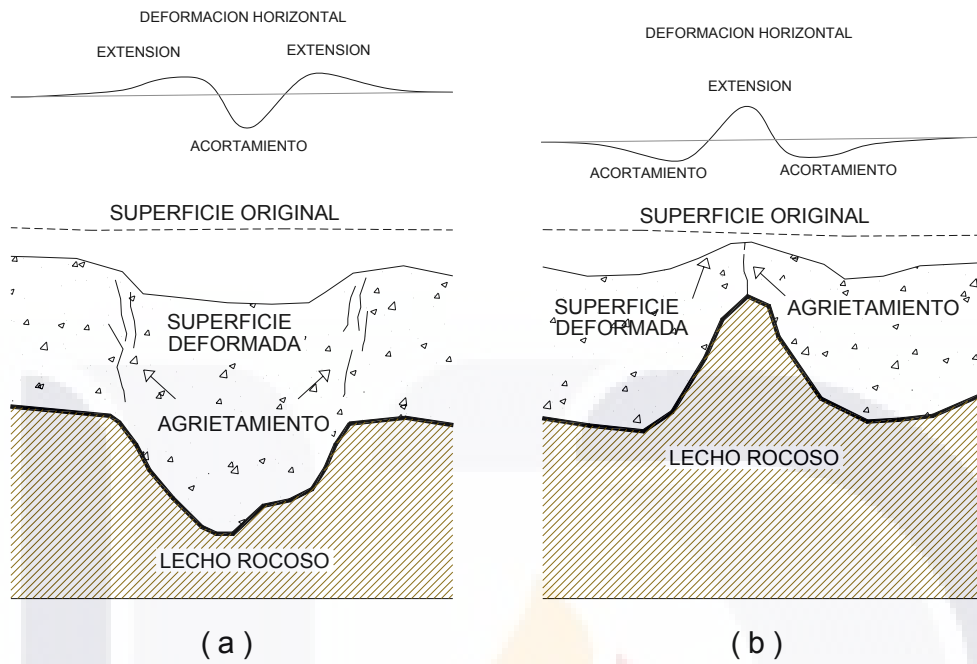


Figura 1.1 Tipos de discontinuidades. (a) Tipo uno *fallas*. (b) Tipo dos *fracturas*. Adaptado de Pacheco, 2007.

Las fallas geológicas se distinguen de acuerdo al desplazamiento de un bloque de roca con respecto a otro, y pueden ser:

- Fallas Normales ó Directas
- Fallas de Corrimiento ó Inversa
- Fallas Tangenciales

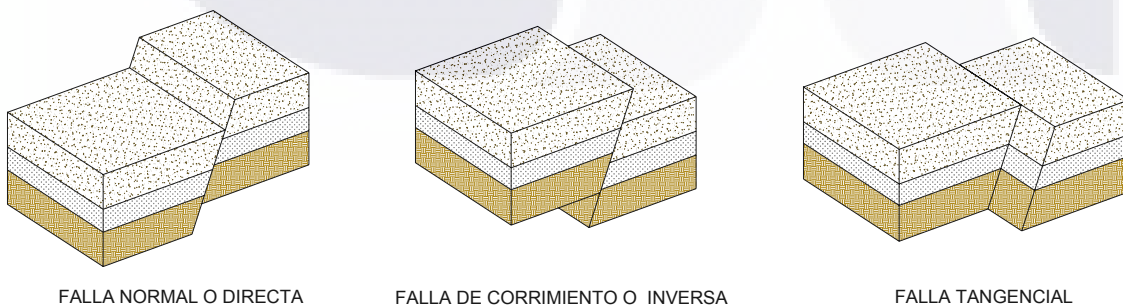


Figura 1.2 Tipos de fallas geológicas. Adaptado de Lahee, 1975.

TESIS TESIS TESIS TESIS TESIS

Las fallas normales se asocian a regímenes de extensión en donde se generan esfuerzos de tensión, mientras que las fallas inversas se generan en regímenes de compresión en donde se presenta un acortamiento de la corteza terrestre. En las fallas tangenciales el desplazamiento de los bloques es lateral (Krymine, 1972; Lahee, 1975). En el presente trabajo a este tipo de discontinuidades geológicas se les denominará *fallas geológicas*. (Figura 1.2).

El escarpe en la superficie del terreno generado por las fallas afecta a todas las construcciones que se asientan sobre su traza. Inicialmente en el Valle de Aguascalientes se identificó y ubicó a las fallas por medio de los daños causados a las edificaciones. Los propietarios de algunas viviendas comenzaron a notar ciertas fisuras o grietas en los muros de sus casas habitación, las cuales se diagnosticaron como deficiencias en el proceso de construcción, o bien, se atribuyeron a mala calidad de los materiales y mano de obra utilizados en su construcción. Como primera medida correctiva se resanaron las fisuras de los muros, pisos y losas, sin embargo al cabo de algunos meses estas aparecieron nuevamente. Se especuló entonces que no eran provocadas por defectos de la construcción, ya que muchas de las reparaciones efectuadas llegaron inclusive a la demolición de los elementos afectados para ser sustituidos con la construcción de nuevos, cuidando la calidad de los materiales y mano de obra, no obstante estas medidas los daños reaparecieron.

Al notar que no se trataba de casos aislados, sino que los daños se manifestaban en una serie de casas vecinas, se procedió a realizar estudios de mecánica de suelos en los predios que presentaban problemas, se postuló entonces que había una falla en el suelo, la cual provocaba asentamientos diferenciales en las cimentaciones de las construcciones ubicadas sobre la traza de las fallas.

Ante la identificación de las fallas en el subsuelo, se implementaron algunas propuestas de solución. Una fue el tratar de rellenar el área de falla con tepetate o inclusive con concreto, pero esta solución no funcionó ya que se observó que estas fallas no permanecían estáticas, sino que presentaban movimiento, creciendo en su longitud y en el desnivel entre los dos bloques generados,

además de que no era posible predecir cuándo, ni donde aparecerían o hacia donde crecerían.

1.1.- Justificación del trabajo.

En Aguascalientes la gran mayoría de las edificaciones están construidas empleando el sistema estructural de muros de carga a base de mampostería confinada. Este tipo de sistema estructural es el que está siendo afectado por las fallas asociadas a la subsidencia, por lo que la caracterización de la forma en que están siendo afectados (patología) de acuerdo a la orientación de los ejes principales de la construcción con la falla, resulta de gran interés.

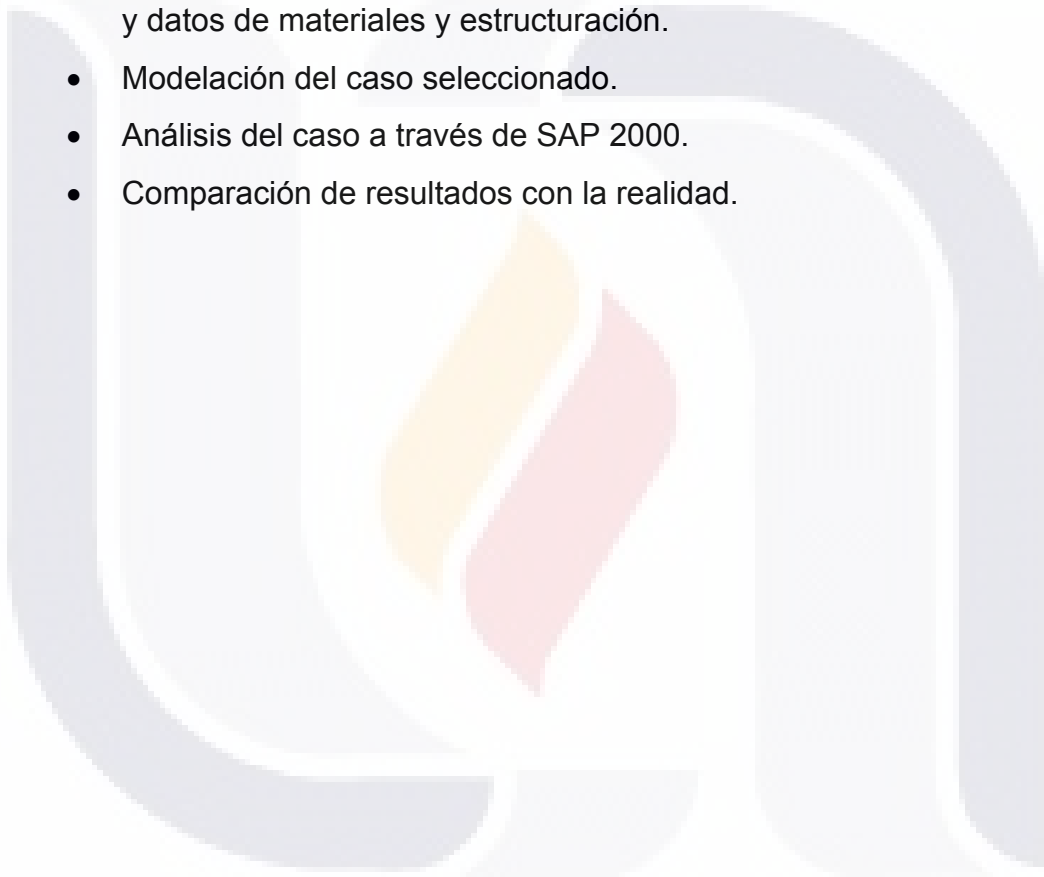
En el Estado de Aguascalientes existe un número indeterminado de casas afectadas por las fallas ocasionadas por la subsidencia, se tiene registro de 1,342 inmuebles afectados solo en la ciudad de Aguascalientes. (SIDDIS, 2007). Hasta el momento no existe un estudio que tipifique las patologías generadas en los principales elementos estructurales de las viviendas afectadas por el fenómeno de la subsidencia de acuerdo con la localización de la falla en relación a los ejes ortogonales de la construcción, lo que sería de gran utilidad al momento de plantear la solución a aplicar para la corrección de este problema, así mismo también puede ser de utilidad para la prevención de dichas patologías al conocer de antemano como se comportan de acuerdo con la ubicación y orientación de la falla dentro de la construcción de la vivienda.

1.2.- Objetivos.

El objetivo general del presente trabajo es la reproducción, a través de un modelado numérico, de las patologías ocasionadas por los fracturamientos asociados a la subsidencia en las estructuras de mampostería confinada, poniendo énfasis en el efecto de la localización y la orientación de la traza de la falla respecto a los ejes ortogonales de la construcción. Los resultados servirán para entender como afecta un fracturamiento en una construcción en determinada posición dentro del predio con construcciones.

1.3.- Actividades desarrolladas

- Recopilación, organización y estudio de la información relacionada con el tema. Estado del arte.
- Selección de opciones de casas habitación estudiadas.
- Obtención de autorización de los propietarios para realizar las visitas de inspección.
- Realización de las visitas de inspección, levantamiento de plano, daños y datos de materiales y estructuración.
- Modelación del caso seleccionado.
- Análisis del caso a través de SAP 2000.
- Comparación de resultados con la realidad.







Capítulo 2

Antecedentes o Estado del Arte



CAPÍTULO 2.-

2.1.- Subsistencia y fallamientos

En estudios realizados sobre el particular, varios investigadores coinciden en que cuando la explotación del acuífero rebasa su recarga natural, se produce el abatimiento del nivel freático, lo que genera un incremento de los esfuerzos efectivos en los estratos del relleno granular, provocando un reacomodo de esa masa de suelo que, combinado con un basamento rocoso irregular, propicia la aparición de una gran cantidad de grietas en los valles, así como dentro y en los alrededores de las zonas urbanas (Lee y Shen, 1969; Jachens y Holzer, 1982; Sheng y Helm, 1995; Burbey, 2002).

En la Circular 1182 del U.S. Department of the Interior y U.S. Geological Survey (1999), los estudios realizados sobre subsidencia en los Estados Unidos, atribuyen este fenómeno a varias causas entre las que se mencionan: la compactación del sistema acuífero, el drenaje de suelos orgánicos, las minas subterráneas, la hidrocompactación, la compactación natural, cavernas subterráneas y deshielos. Sin embargo estiman que más del 80% de las subsidencias identificadas en los Estados Unidos se deben a la explotación del agua subterránea. (National Research Council, 1991)

La relación entre los cambios en el nivel de aguas freáticas y la deformación en el sistema acuífero esta basada en el principio del esfuerzo efectivo propuesto primeramente por Kart Terzaghi en 1956 que dice “cuando el soporte provisto por la presión del fluido es reducido, como en el caso de la disminución del nivel de aguas freáticas, el soporte provisto por la presión de poro es transferido al esqueleto del suelo el cual se comprime en cierto grado, inversamente cuando la presión de poro es incrementada por efecto de la recarga del acuífero, el soporte provisto por el esqueleto del suelo, se transfiere al fluido y el esqueleto se expande, recuperándose. Estos cambios de presión ocasionados por la carga y descarga del acuífero producen pequeñas deformaciones elásticas del sistema acuífero y pequeños desplazamientos de la superficie”. Cuando el nivel de esfuerzo sobre el esqueleto del suelo sobrepasa el esfuerzo de preconsolidación del mismo, entonces resulta irreversible la compactación.

De los casos reportados por Pavelko et al, 1999 y Carpenter, 1999, dos de ellos (Las Vegas, Nevada y South-Central Arizona) son similares a lo que ocurre en el Valle de Aguascalientes: se presenta subsidencia por exceso de extracción de agua del acuífero, provocando además la formación de fallas en la superficie del suelo que se ubican a lo largo de las fallas geológicas preexistentes en el estrato no deformable. Los autores mencionan que esto ocurre cuando la subsidencia es mayor en un lado de la falla que en el otro, este diferencial de subsidencia crea esfuerzos tensionantes que resultan en fisuras.

Pacheco, (2007), estudió la subsidencia en el Valle de Querétaro, que presenta un problema similar al del Valle de Aguascalientes, definiendo la subsidencia como: *“El fenómeno que tiene lugar debido a la extracción de sólidos (minerales) o fluidos (e. gas, petróleo, vapor, agua) del subsuelo, que se manifiesta en hundimientos paulatinos o súbitos de la superficie y en la generación de agrietamientos en la masa del relleno granular”*.

En 1969, Lee y Shen y posteriormente en 1982, Jachens y Holzer, describieron la generación de grietas superficiales con un modelo de lecho rocoso en forma de horst en donde el espesor de suelo que le sobreyace se deforma produciendo una flexión, si en la superficie se adopta una forma cóncava, entonces la masa del suelo reporta un acortamiento, (Figura 2.1a), si adopta una forma convexa, la masa de suelo experimenta una extensión. Es en esta última situación en que se generarán las grietas tipo fractura (Figura 2.1b). Según estos autores cuando se tienen irregularidades en el lecho rocoso que quiebran abruptamente en forma de talud, se generan hundimientos diferenciales y la consecuente falla del relleno sedimentario.

Las diferentes formas en que se generan las fallas de acuerdo con el tipo de suelo, su estructura geológica y la topografía del basamento indeformable, fueron explicadas por Sheng y Helm (1995) proponiendo algunos escenarios geológicos en los cuales existe la posibilidad de generarse agrietamientos debidos a un abatimiento del nivel de aguas freáticas. El primer escenario considera que en las fronteras de cada estrato de suelo que compone el acuífero, se genera un deslizamiento por efecto de esfuerzos de cortante producidos por el flujo del agua

hacia el pozo que extrae el agua del acuífero, en el punto en que el deslizamiento entre los estratos termina, se generan esfuerzos de tensión sobre el plano vertical que pueden provocar agrietamientos si son mayores que la resistencia de los diferentes estratos de suelo. (Figura 2.2).

El segundo escenario considera que existe de antemano una falla en el cuerpo del acuífero, sin explicar su origen, entonces por efecto del bombeo del agua, los bloques a los lados de la falla se mueven, ocasionando agrietamientos secundarios en la superficie. (Figura 2.3).

Y el tercer escenario presenta la generación de fallamiento superficial del suelo debido a los esfuerzos cortantes y la deformación de extensión provocada por los cambios abruptos en el espesor del relleno granular que compone el acuífero o también debido a que el material que integra el acuífero es muy heterogéneo. (Figura 2.4).

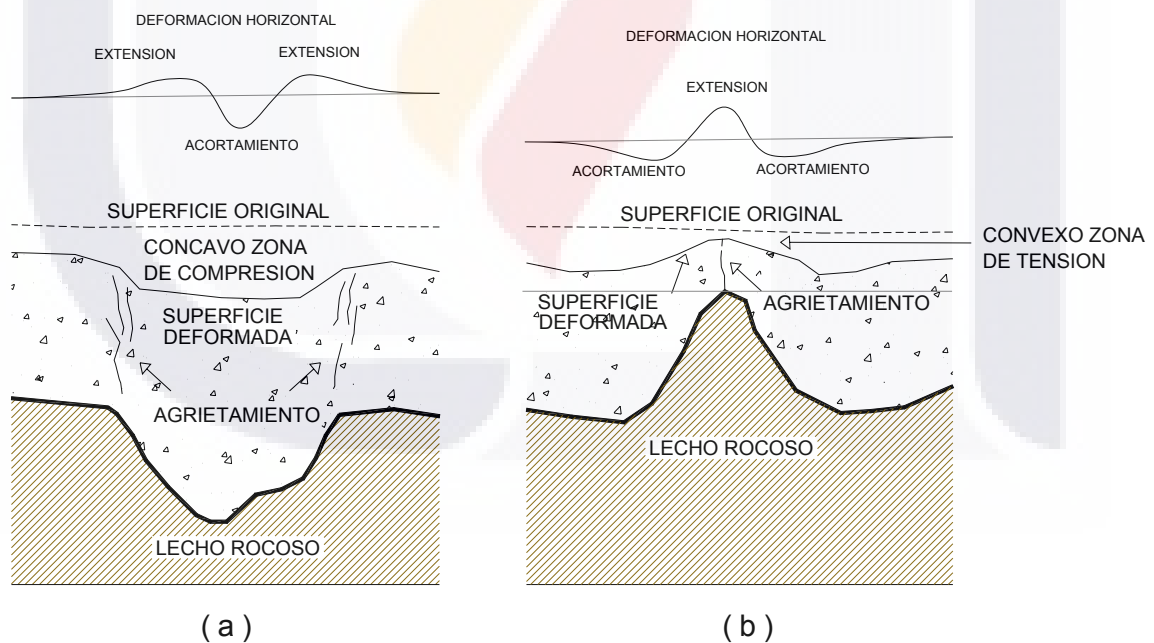


Figura 2.1 Generación de grietas superficiales según Lee y Shen, 1969 y Jachens y Holzer, 1982. Adaptado de Pacheco, 2007.

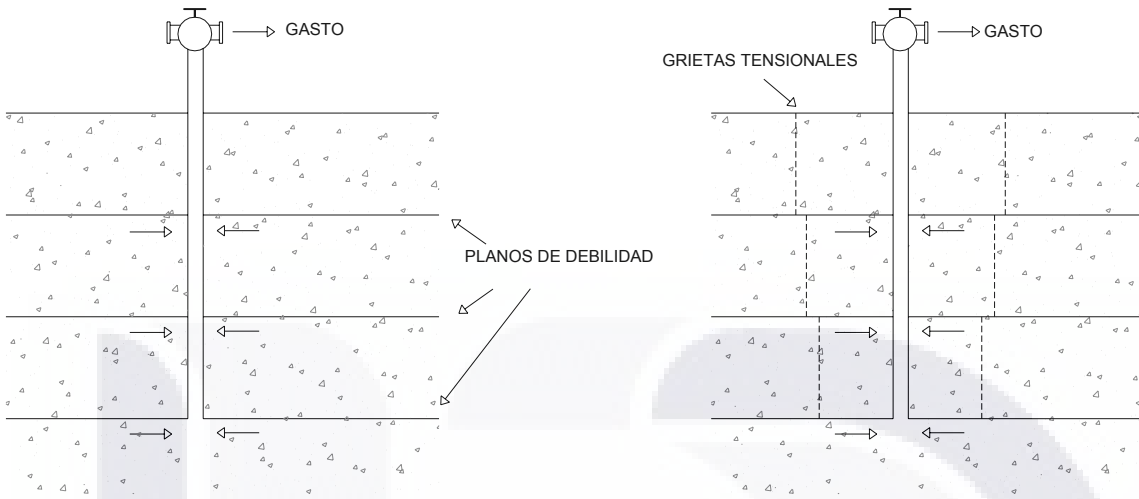


Figura 2.2 Primer escenario. Según Sheng y Helm (1995), las grietas se generan de la transmisión de esfuerzos de cortante en las interfaces de los estratos hacia la superficie. Adaptado de Pacheco, 2007.

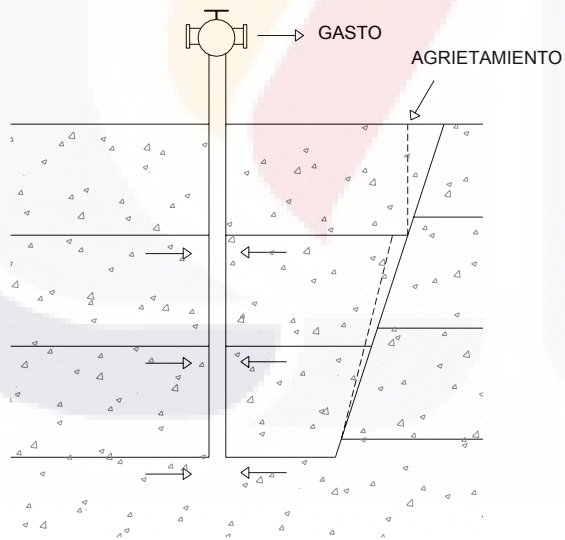


Figura 2.3 Segundo escenario. Según Sheng y Helm (1995), los agrietamientos son controlados por una falla que existe de antemano. Adaptado de Pacheco, 2007.

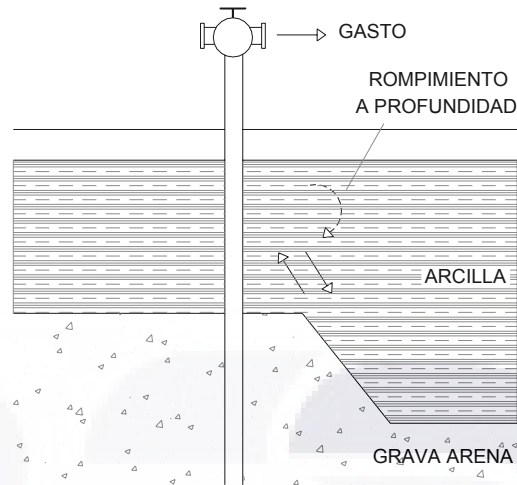


Figura 2.4 Tercer escenario. Según Sheng y Helm (1995), los agrietamientos se producen por cambios bruscos en el espesor del acuífero o porque el material que lo integra es heterogéneo. Adaptado de Pacheco, 2007.

Carpenter (1999) explicó el hecho de que los agrietamientos se generen casi instantáneamente después de ocurrir una lluvia torrencial, (tal como sucedió en Aguascalientes en el año 2003 en el fraccionamiento Casa Blanca al sur de la ciudad donde apareció una falla después de una tormenta nocturna), debido a que se genera una zona de debilidad en los bordes de los agrietamientos y cuando se presenta la lluvia torrencial el agua se infiltra erosionando y ensanchando, haciendo que su tamaño aumente en cuestión de minutos. (Figura 2.5)

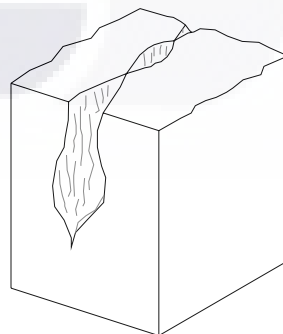


Figura 2.5 Las infiltraciones del agua superficial reducen la cohesión del suelo, erosionando y ensanchando el agrietamiento. Adaptado de Carpenter, 1999.

Una de las aportaciones más importantes realizadas por Pacheco (2007) es la formulación de ecuaciones para explicar el proceso de subsidencia en un acuífero libre, hasta entonces se había considerado un acoplamiento entre la presión del agua intersticial y la parte sólida del relleno granular para explicar el proceso de subsidencia, pero esto corresponde a la subsidencia que se desarrolla en un acuífero confinado o semiconfinado, al igual que la consolidación de un estrato de material granular fino, implica un acoplamiento del agua con el material granular generándose una transferencia de la presión del agua intersticial al esqueleto del material granular y por lo tanto un incremento en el esfuerzo efectivo por la despresurización del sistema.

En un acuífero libre constituido principalmente por material granular con permeabilidad de media a alta, el agua se encuentra en condición hidrostática, por lo que al abatirse el nivel piezométrico se produce una zona de material parcialmente saturado. Durante el proceso de subsidencia en este escenario, el incremento del esfuerzo efectivo se produce por la pérdida de la sustentación hidráulica del material granular drenado y no por la despresurización del sistema. (Pacheco 2007).

Entonces cuando un acuífero libre es explotado, del estrato original saturado se forman dos estratos dentro del mismo, un estrato por arriba del nivel piezométrico final, parcialmente saturado y otro estrato por debajo del nivel piezométrico final que se encuentra saturado, el hundimiento total estará dado por la suma de las deformaciones verticales de ambos estratos, las formulas para calcular cada una de estas deformaciones, fueron deducidas por Pacheco (2007) y son las siguientes:

La deformación vertical que se presentará en el estrato parcialmente saturado por efecto de la pérdida de sustentación hidráulica causada por un abatimiento del nivel piezométrico está dada por la ecuación 2.1.

$$\Delta H' = \frac{[(1+w)\gamma_s - \gamma_s']}{2E} H'^2 \quad (2.1)$$

La deformación vertical que se presentará en el estrato saturado que se encuentra bajo el nivel piezométrico final, tal deformación es provocada por la pérdida de sustentación hidráulica que se genera en la zona drenada por encima del nivel piezométrico cuando dicho nivel desciende, está dada por la ecuación 2.2.

$$\Delta H = \left[\frac{[(1+w)\gamma_s - \gamma_s']H'}{E} \right] H \tag{2.2}$$

Estas ecuaciones están en función del abatimiento (H'), el contenido de humedad remanente en la zona drenada (w), el modulo de elasticidad del material granular (E) y del peso volumétrico de los sólidos (γ_s).

Basado en las expresiones 2.1 y 2.2, tomando en cuenta que una cuenca sedimentaria de origen tectónico que forma estructuras de graben, en donde la frontera física es el piso rocoso cuya morfología modifica el campo de deformaciones de la masa de sedimentos drenada, Pacheco (2007), propone que los hundimientos diferenciales se generan cuando en las zonas menos profundas del acuífero, el espesor de los sedimentos desarrolla menor deformación vertical, mientras que en las partes más profundas el espesor de sedimentos desarrolla mayor deformación vertical, provocando un movimiento en las partículas del relleno de la parte con menor deformación vertical hacia la parte con una deformación vertical mayor, el movimiento de partículas genera deformaciones de extensión y en consecuencia agrietamientos en la masa del material granular.

Resumiendo, de acuerdo a las ecuaciones planteadas para calcular la deformación vertical en un acuífero libre formado por materiales granulares, el espesor de relleno granular y la forma del lecho rocoso, son los componentes que

potencialmente generarán agrietamientos, precipitados por el abatimiento del nivel piezométrico. Para un escenario de lecho rocoso y relleno granular con propiedades mecánicas dadas, debe existir un nivel piezométrico para el cual la masa de sedimentos comienza a fracturarse, esta es la elevación crítica del nivel piezométrico, solo si el acuífero se abate por debajo de este nivel se generarán agrietamientos. Pacheco (2007). (Figura 2.6).

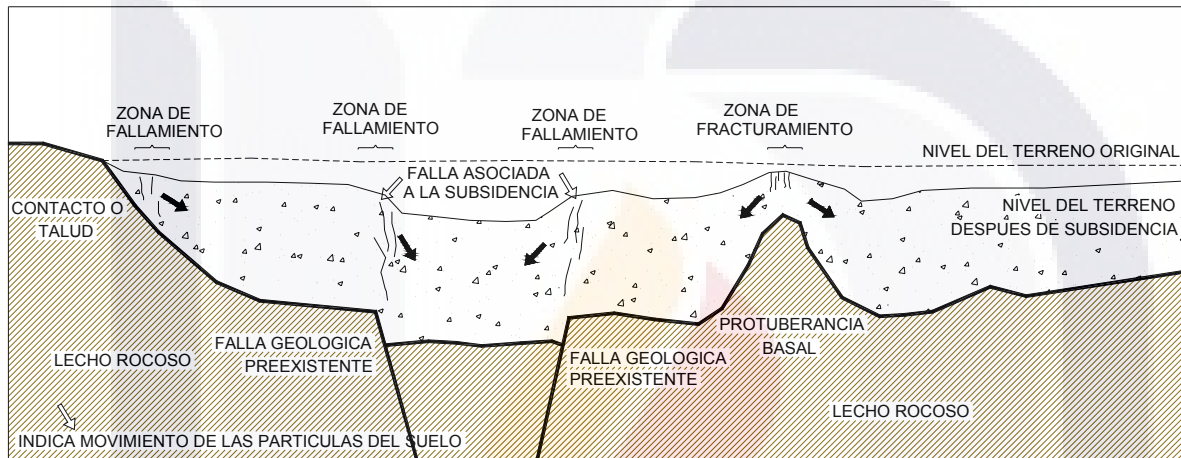


Figura 2.6 Proceso de generación de agrietamientos en un acuífero libre. Modificada de Pacheco 2007.

De acuerdo con Zermeño et al, (2004), la subsidencia del Valle de Aguascalientes es un fenómeno que provoca una reducción del volumen de vacíos del subsuelo del valle, lo cual puede representarse como una pérdida volumétrica de masa, lo cual en combinación con un basamento irregular subyacente al relleno granular deformable, produce la aparición de esfuerzos de tensión críticos en la masa de suelo con la consiguiente generación de grietas superficiales. (Figura 2.6).

2.2.- Evolución del problema de subsidencia y fallas asociadas en el Valle de Aguascalientes.

A partir de los años ochentas, continuaron apareciendo cada vez más fallas, afectando a un número cada vez mayor de construcciones, debido a esto, el Municipio de Aguascalientes en 1995 publicó el primer censo de inmuebles afectados y la ubicación de la posible traza de las fallas sobre un plano de la Ciudad de Aguascalientes dividido en 18 cartas. En estos planos la trayectoria de las grietas dentro de las manzanas se determinó por la unión en línea recta entre los puntos de registro. En cada punto de registro (487 en las 18 cartas), se indicaba el tipo de desplazamiento: vertical, horizontal o ambos, y su longitud en centímetros; además, se indicaba cuales eran los elementos en donde se manifestaba la falla, tales como guarniciones, banquetas, pavimento y construcciones. Se presentó también el uso del suelo del predio afectado, (habitacional, comercio, servicios, equipamiento, industria, lote baldío o área verde), así como las redes de infraestructura afectadas, correspondientes a los servicios de agua, drenaje y electricidad, inclusive el número oficial de la construcción afectada (Municipio de Aguascalientes, 1995).

Posteriormente en 1998, ahora en formato digital, se dio a conocer la actualización del censo de inmuebles afectados y la traza probable de las fallas (Municipio de Aguascalientes, 1998). En esta versión se registraron 421 inmuebles afectados por la falla.

Poco a poco se fue identificando la traza de cada falla y contabilizando las construcciones afectadas por cada una de ellas. También se actualizó el registro de inmuebles afectados y el mapa de traza de fallas. El SIDIFAG 2001 consigna 61 grietas con sus ramificaciones y 2 fallas en el municipio de Aguascalientes. El SIDIFAG 2002, ubica ya 93 grietas y 2 fallas con una longitud aproximada de 86,130 metros. El SIDIFAG 2004, localiza para entonces 104 fallas con una longitud total de 102,346.33 metros solo dentro de la mancha urbana de la ciudad de Aguascalientes que comprende esta cartografía. Para el año 2006 se incluyeron en la actualización de la cartografía, fichas técnicas de los inmuebles afectados que fueron visitados para efecto de un registro de daños, en el SIDIFAG

2006, se presentan 841 fichas técnicas de inmuebles. (Municipio de Aguascalientes, 2001, 2002, 2004, 2006).

La más reciente actualización de la cartografía de fallas es el SIDDIS 2007, en el cual el objetivo específico fue establecer las bases para determinar la cronología en el desarrollo de las distintas fallas y grietas; así como determinar el número de fraccionamientos, vialidades, casas habitación y en general el uso de los distintos predios que se encuentran afectados directa o indirectamente por la presencia de discontinuidades en el subsuelo, además de informar a todas aquellas persona interesadas en vender o adquirir una propiedad si ésta cuenta con antecedentes de estar afectada y cuál ha sido su evolución. (Municipio de Aguascalientes, 2007).

Para el SIDDIS 2007 se llevaron a cabo aproximadamente 1500 visitas a inmuebles cercanos al eje de la traza de algunas discontinuidades en el subsuelo en estudio. Registrando primeramente los datos generales del inmueble, tales como número marcado exteriormente en la vivienda, el uso del suelo, un levantamiento esquemático de la distribución del inmueble y un registro fotográfico. Otro dato importante para corroborar la información presentada en ediciones anteriores del SIDIFAG, fue registrar el nombre de la grieta o falla (ahora, en el SIDDIS, denominadas discontinuidades en el subsuelo), ubicando el eje de cortante del suelo (distancia referenciada al paramento de la esquina más cercana) y establecer el ancho visible de afectación directa e indirecta del inmueble. Posteriormente se comparó con la información presentada en ediciones anteriores y se trazó la discontinuidad en el subsuelo en la nueva cartografía indicando el predio en estudio. Finalmente en esta edición se presentan 1,342 fichas técnicas de inmuebles registrados con alguna afectación. Se consideró como afectación directa, todos aquellos inmuebles que cruzaban directamente con el eje de la discontinuidad en el subsuelo. La afectación indirecta fue aquella provocada por el recargue de los inmuebles contiguos. (Municipio de Aguascalientes, 2007). En la figura 2.7 se muestra la cartografía del SIDDIS 2007.

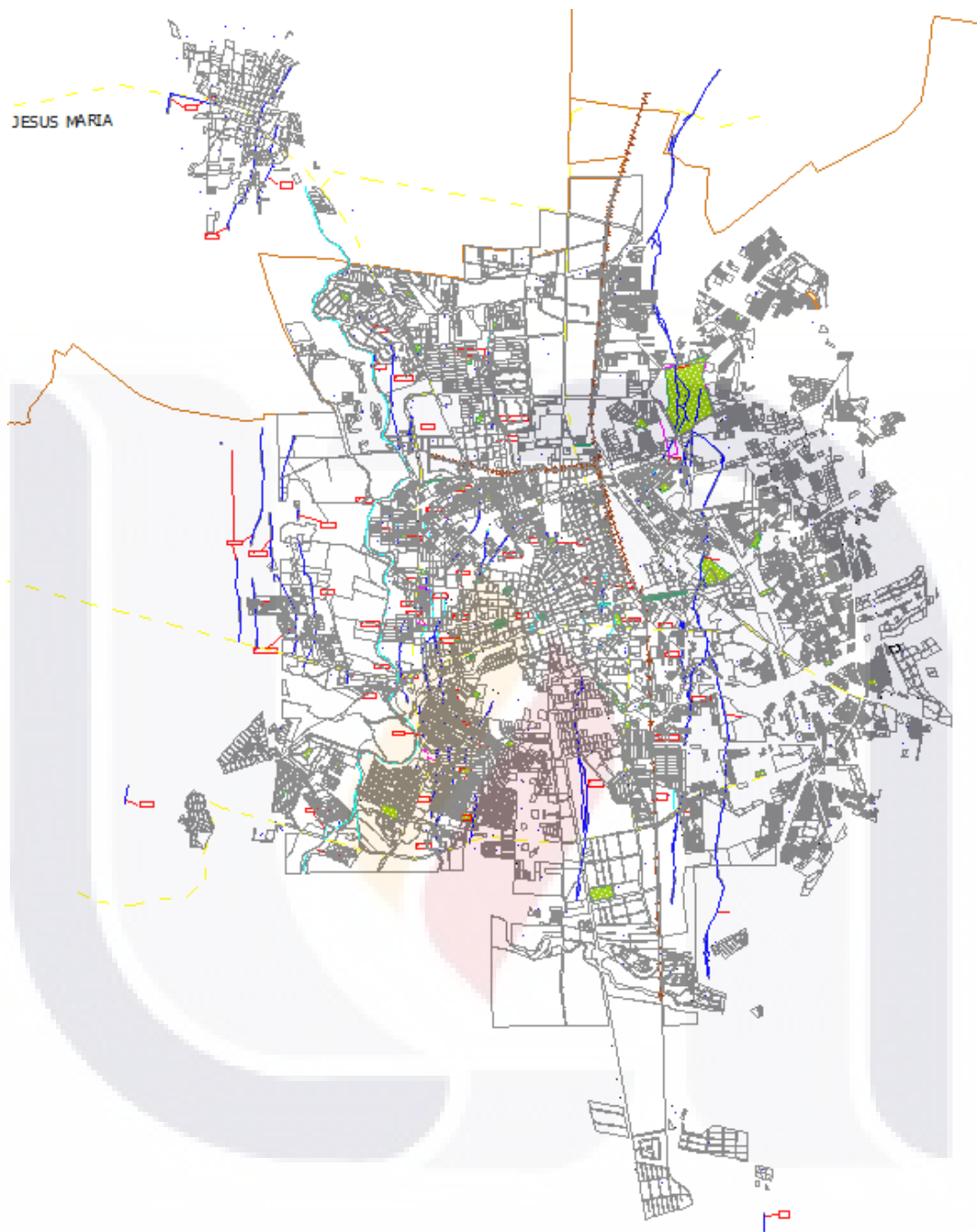


Figura 2.7 Cartografía de las ciudades de Aguascalientes y Jesús María con la traza de las fallas, tomada de SIDDIS 2007



Figura 2.8 Ejemplo de una zona de la Ciudad de Aguascalientes como la muestra el sistema SIDDIS 2007 con ortofoto y fallas. Tomada de SIDDIS 2007.

Esta cartografía discutida hasta aquí contempla únicamente la zona urbana de las ciudades de Aguascalientes y Jesús María, sin embargo el problema de fallas ocasionadas por la subsidencia se extiende a todo el Valle de Aguascalientes, que comprende la franja central del estado. La figura 2.9 nos presenta la franja central del estado con la división municipal que abarca el Valle de Aguascalientes y que comprende la zona de estudio del sistema CIFAG.

Se ha identificado que el Valle de Aguascalientes en el cual se asienta la ciudad, está flanqueado por dos grandes fallas geológicas principales, una al Oriente y otra al Poniente, mientras que entre las dos existe un gran número de fallas menores, pero igual de destructivas. Actualmente, se cuentan noventa y nueve en el Estado, la mayoría presenta una orientación Norte-Sur con una longitud total aproximada de 228,617 metros y afectan a todos los municipios de la franja central del Estado (Ávila et al, 2002).

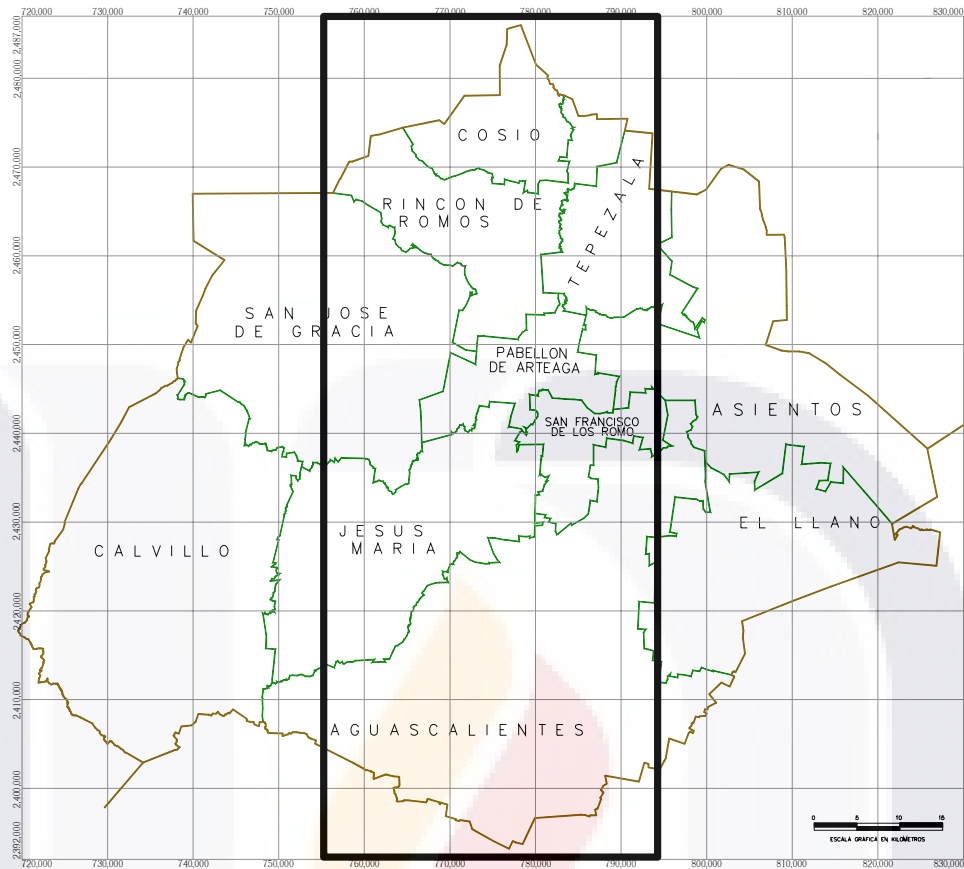


Figura 2.9 Plano del Estado de Aguascalientes con sus municipios y la franja central donde se localiza el Valle de Aguascalientes y la parte de los municipios que comprende. Adaptado de Ávila et al, 2002.

En la figura 2.10 se muestra un primer avance de lo será el plano del Valle de Aguascalientes con las fallas que hasta el año de 2002 se tenían registradas, esta cartografía se encuentra aún en proceso de elaboración por parte del Gobierno del Estado, ya que se está verificando la información, realizando visitas a campo, actualizando la cartografía y posicionando la traza de las fallas con GPS, al sistema resultado de este estudio se le denominará CIFAG (Comité Interinstitucional de Fallas y Grietas).

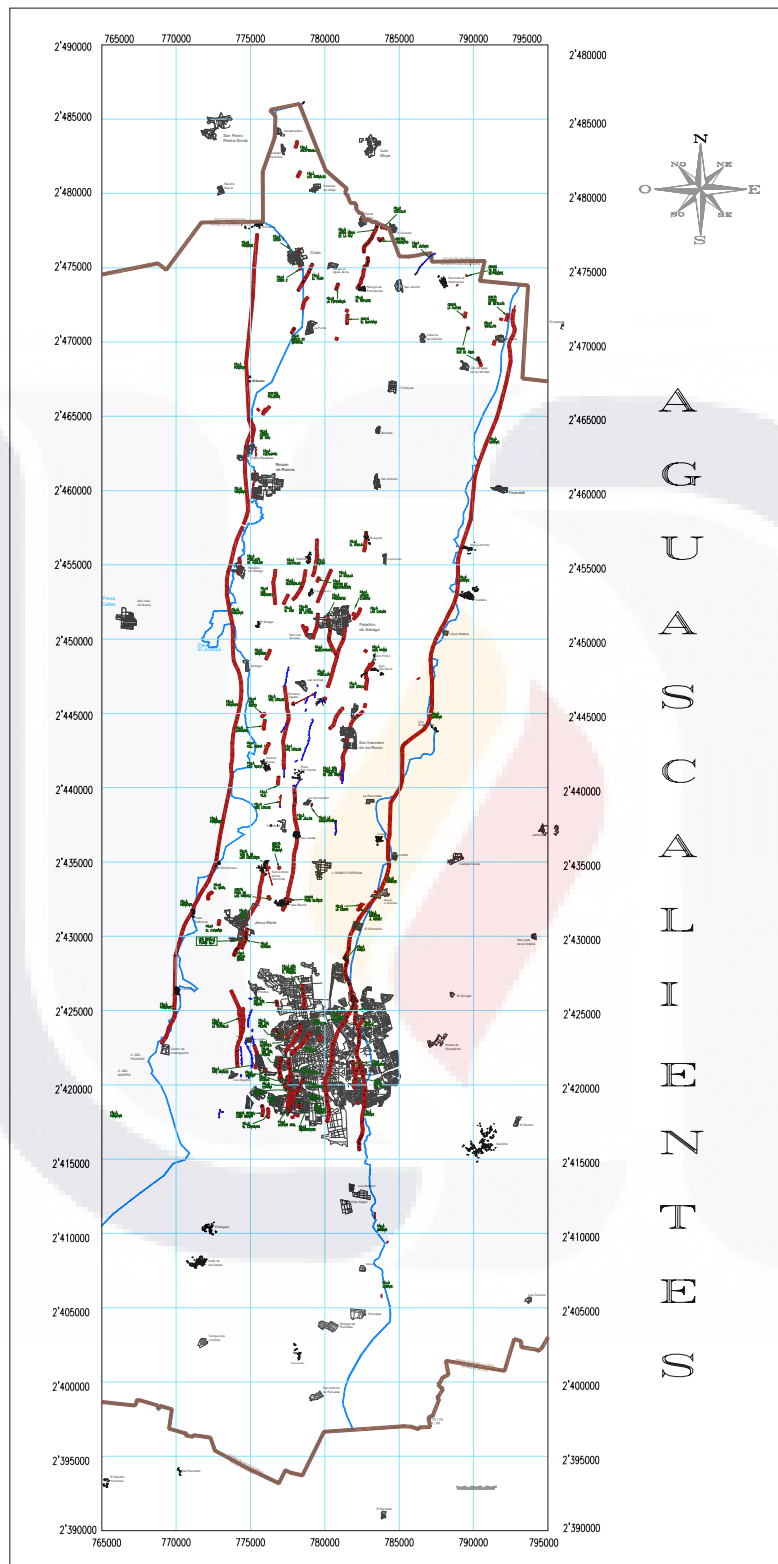


Figura 2.10 Plano del Valle de Aguascalientes con localidades y traza de fallas. Adaptado de Ávila et al, 2002.

2.3.- Sistemas constructivos de mampostería.

Los muros de mampostería pueden desempeñar varias funciones, tales como soportar la carga vertical debida al peso de niveles superiores o de la cubierta, además del peso propio del muro, recibir empujes normales a su plano o resistir empujes contenidos en su propio plano, debidos a las fuerzas transmitidas por otros elementos estructurales o al fallo del terreno en que se asientan.

Existen varios tipos de muros de mampostería, los tres principales son los siguientes:

- Mampostería de bloque de perforación vertical, a través de sus celdas verticales se coloca el acero de refuerzo a flexión y luego se rellenan con mortero. El refuerzo horizontal se coloca entre las juntas en el mortero y en unidades o bloques especiales que conforman una especie de viga intermedia para resistir esfuerzos cortantes. Usualmente, en celdas no ocupadas por el refuerzo vertical, se colocan los tubos verticales de instalaciones eléctricas, hidráulicas y sanitarias. (Genescà et al., 1997)
- Mampostería de Cavidad Reforzada es la construcción realizada con dos paredes de unidades de mampostería, colocadas en paralelo, con o sin refuerzo, separadas por un espacio continuo de concreto reforzado. El funcionamiento del sistema es compuesto, es decir que tanto la pared interior de concreto reforzado como las laterales de mampostería, aportan resistencia a las fuerzas soportadas por la estructura. (Genescà et al., 1997)
- Mampostería de muros confinados En este tipo el refuerzo principal está dado por elementos de concreto reforzado (vigas y columnas) construidas en los bordes del muro. Estos elementos de concreto reforzado atienden todas las fuerzas de tracción (flexiones) y la parte de los esfuerzos cortantes que no resiste el muro de mampostería. (Genescà et al., 1997).

En las viviendas típicas de Aguascalientes la principal función de los muros confinados en una estructura de mampostería es la de soportar las cargas verticales que se derivan fundamentalmente del funcionamiento de la construcción, es decir, corresponden al peso propio de la estructura y acabados, así como de las cargas generadas por el uso de la edificación, estos muros se denominan muros de carga y son los encargados de transmitir estas cargas a la cimentación. Su característica más importante es la resistencia a la compresión, ya que así como transmiten las cargas verticales. Sin embargo, en ocasiones también deben de resistir fuerzas laterales, esfuerzos cortantes, inducidos durante un sismo o por asentamientos diferenciales en la cimentación.

Para conocer el comportamiento de los muros sujetos a estas cargas se deben realizar ensayos de laboratorio, de estas pruebas se obtienen las expresiones para predecir los valores de las resistencias de los elementos sujetos a la acción de las diferentes cargas.

Algunas características de la mampostería son:

- 1) La principal debilidad de la mampostería es la tracción.
- 2) A menor deformación lateral mayor rigidez.
- 3) Cargas laterales inducen esfuerzos de tracción sobre las diagonales de los muros y por consecuencia su agrietamiento, pérdida de rigidez y resistencia en el sistema estructural.
- 4) La resistencia de la mampostería disminuye cuando la dirección de la carga aplicada es en la misma orientación de las hiladas del mortero.
- 5) Se puede considerar una mampostería de calidad de acuerdo a la resistencia a la compresión y de acuerdo a la resistencia al cortante.

De acuerdo con Hernández et al (2002) una estructura de mampostería estará sometida durante su vida útil principalmente a los siguientes efectos:

- a) Carga vertical debida al peso de las losas, cargas vivas y a su peso propio.
- b) Fuerzas cortantes y momentos de volteo (flexión) originados por las fuerzas de inercia durante un sismo.
- c) Empujes normales al plano de los muros que pueden ser causados por empuje de viento, tierra o agua, así como por fuerzas de inercia cuando el sismo actúa normal al plano del muro.

Estas acciones pueden provocar la falla de la mampostería por lo que es conveniente conocer el comportamiento y los tipos de falla que se pueden presentar en ella.

La falla por carga axial es muy poco probable que ocurra debido a que el área de los muros es grande; podría ocurrir si las piezas son de muy mala calidad, o porque se ha perdido capacidad de carga por efecto de intemperismo. Se identifica esta falla porque el material literalmente se aplasta cuando es de baja calidad, o si es de buena calidad, aparecen numerosas grietas verticales. (Hernández et al, 2002).

La falla por flexión se produce cuando se alcanza el esfuerzo resistente en tensión de la mampostería, el cual es muy bajo, de 1 a 2 kg/cm² (Hernández et al, 2002) y puede ocurrir la falla en el plano del muro o perpendicular a éste. La flexión en el plano del muro es grave cuando no hay acero de refuerzo, al haber refuerzo este toma los esfuerzos de tensión que la mampostería no es capaz de soportar. Cuando existen problemas de flexión en el plano del muro, estos se identifican mediante grietas horizontales que se forman en los extremos del muro, siendo mayores las grietas en la parte inferior y disminuyendo en longitud en la altura del muro. Es raro que en una estructura se tengan problemas por flexión porque la carga vertical sobre los muros contrarresta los efectos de los momentos

(volteo), o porque lo evita el acero de refuerzo colocado en los extremos del muro. (Hernández et al, 2002).

La falla debida a un esfuerzo cortante se produce cuando existe una carga vertical sobre el muro que contrarresta el efecto de la flexión, o en muros de gran longitud o se tiene suficiente refuerzo vertical para evitar que se produzca primero la falla por flexión. Se identifican dos formas de falla en cortante: en una de ellas la grieta es diagonal que corre solamente a través de las juntas de mortero (en escalera), a esta se le conoce como falla por cortante; mientras que si la grieta es casi recta rompiendo las piezas, se dice que la falla es por tensión diagonal. (Hernández et al, 2002).

El origen de las fisuras o grietas que presenten los elementos de mampostería pueden ser originadas por las siguientes causas:

- Deficiencia de ejecución y/o materiales.
- Acciones mecánicas externas (cargas y asentamientos diferenciales del terreno).
- Acciones higrotérmicas (movimientos por cambios de temperatura).
- Deficiencias del proyecto.

La descripción de las formas de falla que ocurren en los muros de mampostería confinados se presenta a continuación:

- a) Separación: A niveles bajos de carga ocurre separación entre el muro y el marco en las esquinas alejadas de la diagonal en compresión, esto sucede en todos los casos.
- b) Aplastamiento de esquina: En el caso en que el marco sea muy flexible, los esfuerzos de compresión en la esquina cargada se concentran en una superficie pequeña y ocurre aplastamiento de la mampostería en

esa zona. A medida que el marco sea más rígido, y pueda por lo tanto distribuir mejor los esfuerzos, la zona de aplastamiento se extiende hacia el centro del muro.

- c) Agrietamiento inclinado: Si el marco es suficientemente rígido para evitar el aplastamiento del muro, entonces ocurre agrietamiento a lo largo de la diagonal en compresión, a causa de los esfuerzos principales de tensión en dirección perpendicular.
- d) Falla de la columna en tensión: La combinación de esfuerzos de tensión y de cortante en una de las columnas, puede producir su falla, principalmente si es de concreto y no tiene el suficiente refuerzo transversal y/o longitudinal.

Existen cuatro niveles de agrietamientos diferenciales: primero la distorsión que indica el inicio del agrietamiento, con tamaños de abertura de grietas mínimas fácilmente reparables, el siguiente nivel de distorsión indica el límite máximo de grieta reparable sin refuerzo especial, el siguiente nivel de deformación es el límite para grieta reparable con refuerzo y el último límite es para las grietas reparables con reestructuración, distorsiones superiores implican demolición. (Zermeño et al, 2004).

Genescà et al., 1997 hizo un catalogo de las patologías más comunes en los edificios de mampostería, describiendo cada una de ellas y explicando su causa más probable, este trabajo es muy ilustrativo ya que se acompaña de dibujos que ejemplifican tanto el tipo de falla como el mecanismo más probable de su origen. Se hace un resumen a continuación:

Caso 1.- Cuando se presentan fisuras sensiblemente inclinadas a 45° en la misma dirección, partiendo de las puertas o ventanas tanto en la parte superior como en la inferior, la causa más probable será el asentamiento de la cimentación en un extremo del edificio, como se indica en la figura 2.11

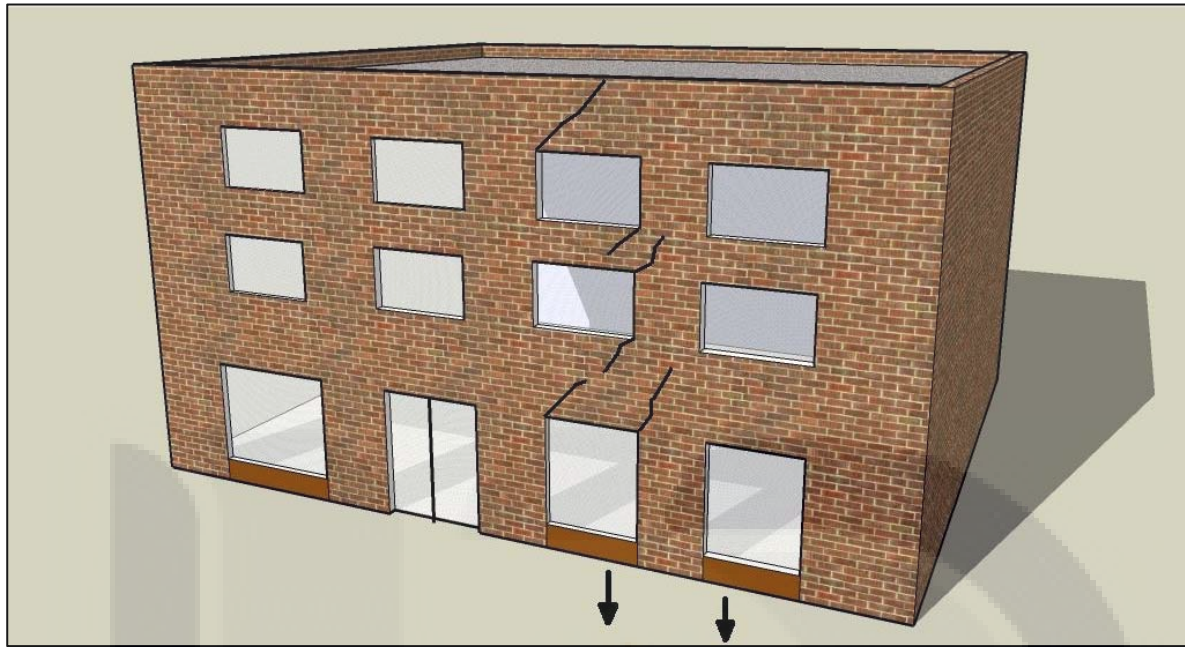


Figura 2.11 Fisuras que se presentan en un edificio de mampostería por efecto de asentamientos diferenciales en un extremo del edificio. Adaptado de Genescà et al., 1997.

Caso 2.- Cuando las fisuras se presentan en forma de escuadra sensiblemente inclinadas a 45° partiendo de las puertas o ventanas, la causa probable es un asentamiento diferencial de la cimentación en la zona central del edificio. (Figura 2.12)

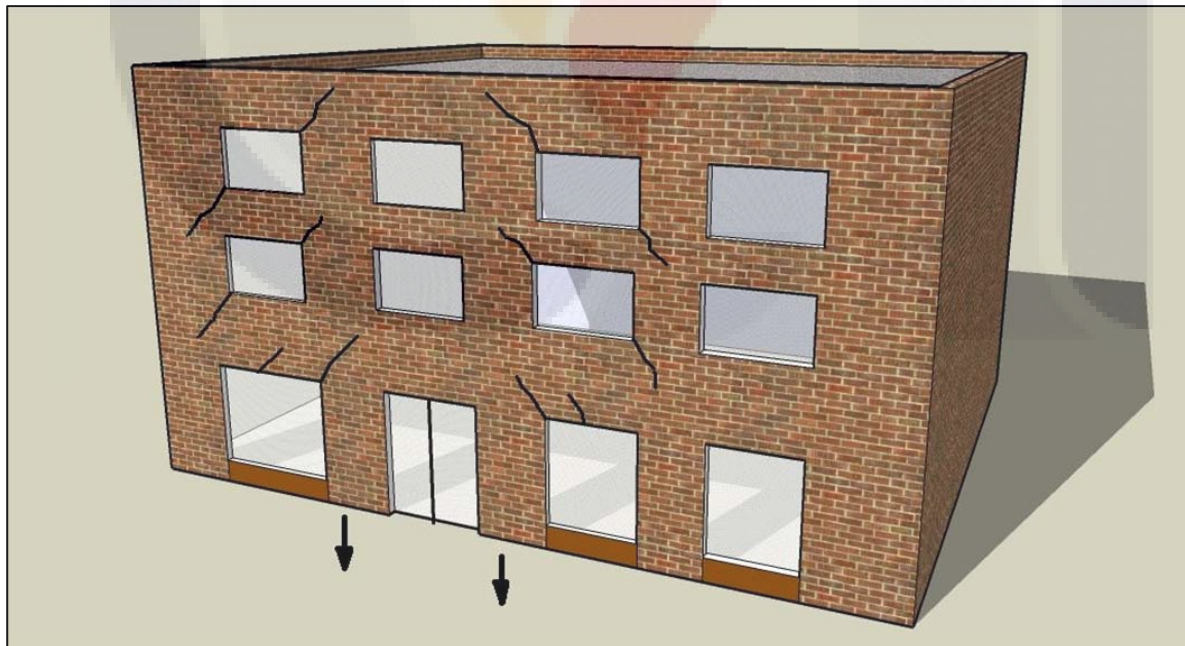


Figura 2.12 Fisuras provocadas por asentamiento diferencial al centro del edificio de mampostería. Adaptado de Genescà et al., 1997.

Caso 3.- Las grietas se presentan diagonales en la parte baja del edificio desde las aberturas hacia el terreno, la causa probable se debe a la existencia de árboles talados próximos al edificio y si en el terreno en que se asienta el edificio existe arcilla, esta absorbe el agua filtrada a través de las raíces producto de la tala de los arboles y experimenta una expansión empujando la cimentación del edificio hacia arriba, ocasionando las fisuras que se aprecian en la figura 2.13.

Caso 4.- Cuando aparecen grietas diagonales que van de la esquina del edificio a la ventana más próxima, la causa probable pudiera ser la proximidad de un árbol sumada a la existencia de arcilla en el terreno, ya que los árboles absorben humedad del suelo, provocando una retracción en la capa de suelo que contiene arcillas, induciendo asentamientos diferenciales en las cimentaciones de los edificios cercanos, la figura 2.14 muestra un ejemplo de cómo se apreciarían las fisuras en la mampostería descritas en este caso.



Figura 2.13 Fisuras provocadas por efecto de la proximidad de árboles talados cercanos al edificio de mampostería. Adaptado de Genescà et al., 1997.

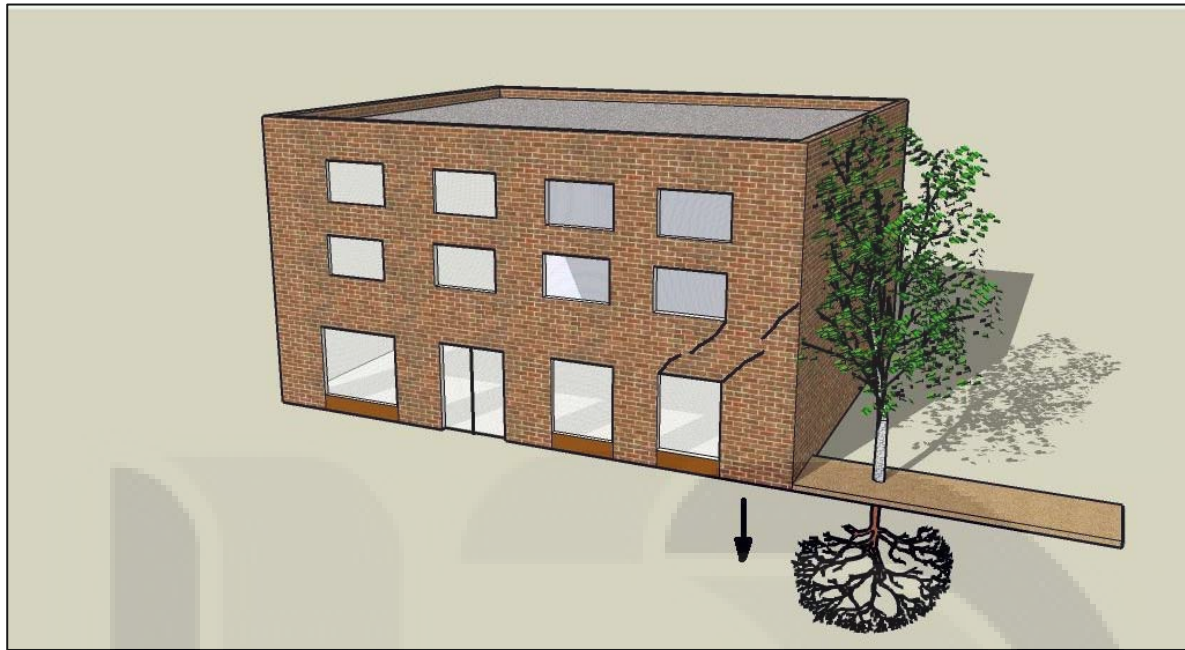


Figura 2.14 La proximidad de un árbol y la presencia de arcillas en el subsuelo puede provocar este tipo de fisuras en un edificio de mampostería. Adaptado de Genescà et al., 1997.

Caso 5.- Este es el caso de grietas sensiblemente verticales que aparecen próximas a la arista de la pared, como lo muestra la figura 2.15, la causa más probable es un desplome en la pared menos cargada por efecto de giro de la cimentación y/o por empuje de las losas de piso.



Figura 2.15 Fisura cercana a la arista del edificio de mampostería provocada por giro en la cimentación y/o empuje de las losas de piso. Adaptado de Genescà et al., 1997.

Caso 6.- En el caso de un edificio con cambio de alzada, cuando las grietas se encuentran sensiblemente inclinadas a 45° partiendo del paño de la pared próximo a la zona de cambio de alzada del edificio, la causa probable son asentamientos diferenciales en la cimentación y/o de la pared alta por el cambio de esfuerzos a soportar. La figura 2.16 ejemplifica las grietas descritas en este caso.

Caso 7.- La aparición de grietas verticales y sensiblemente paralelas en las zonas de mayor sollicitaciones en la pared, como lo muestra la figura 2.17, es probable que sean causadas por el cambio de sollicitación en el mismo plano de la pared de mampostería.

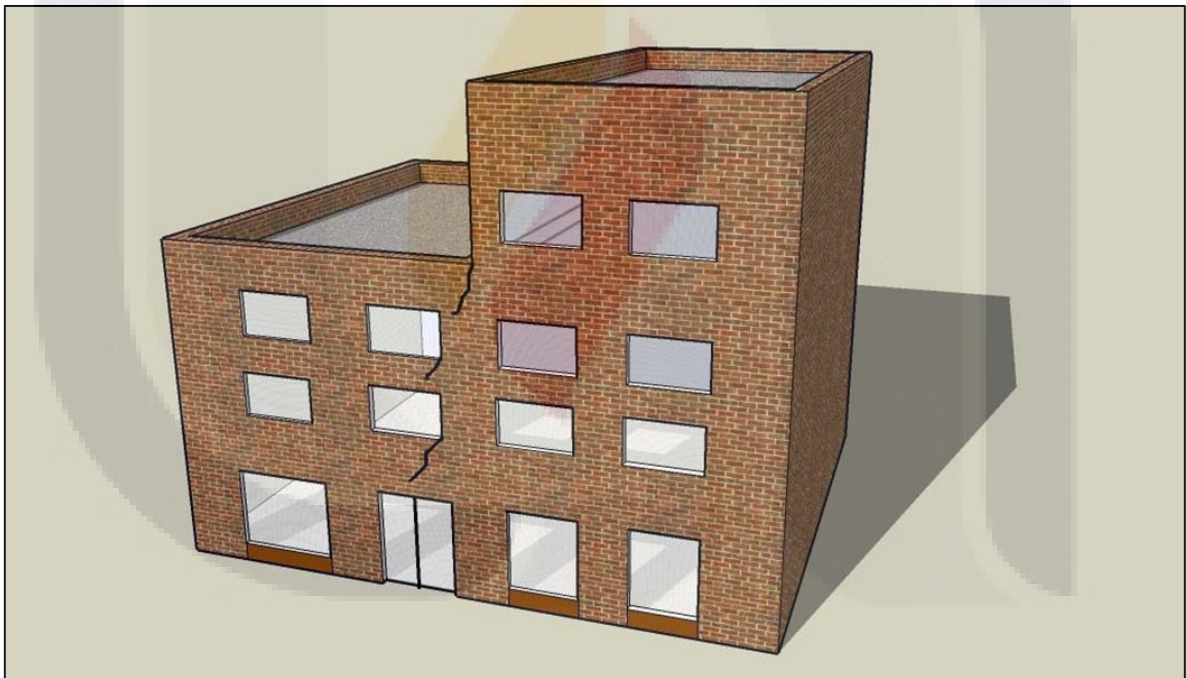


Figura 2.16 Grietas provocadas por asentamientos diferenciales por efecto del cambio de esfuerzos a soportar en la cimentación debido a la diferencia de nivel en las secciones del edificio de mampostería. Adaptado de Genescà et al., 1997.

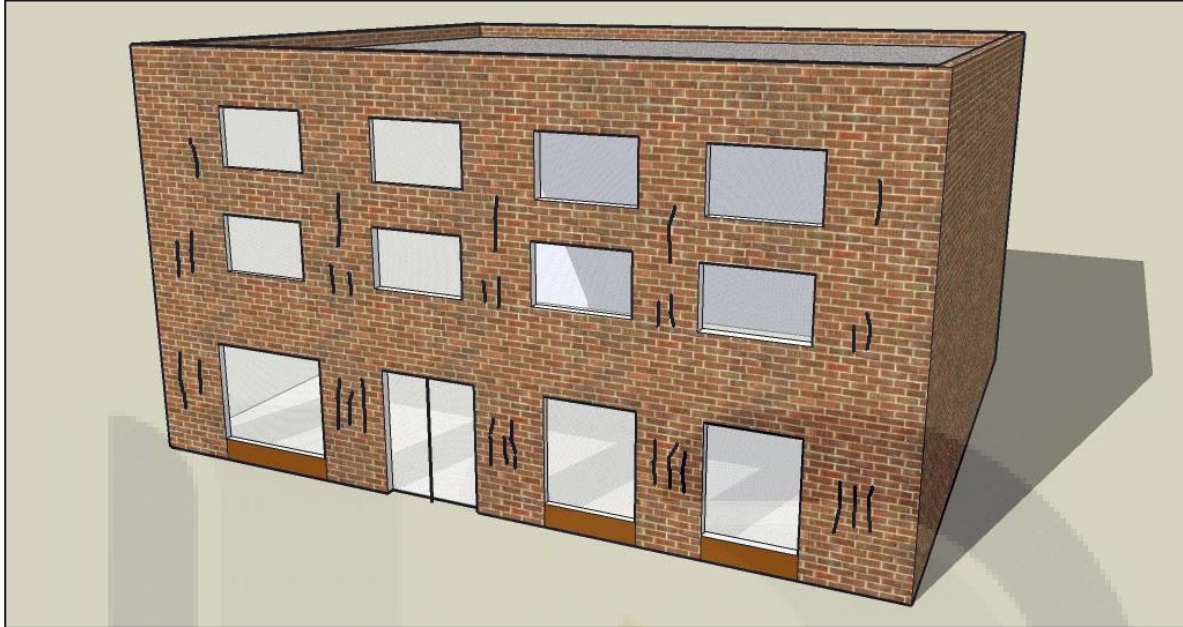


Figura 2.17 Fisuras que aparecen por efecto de diferencia en las solicitaciones soportadas en un mismo plano del edificio de mampostería. Adaptado de Genescà et al., 1997.

Caso 8.- Grietas inclinadas debajo de las ventanas de los pisos más bajos del edificio, lo más probable es que se deban a que la compresibilidad del terreno en las zonas de mayor solicitaciones provoca un esfuerzo cortante respecto de las zonas menos cargadas. En la figura 2.18 se pueden apreciar las grietas generadas en este caso.

Caso 9.- Cuando en el empotramiento del piso superior anclado a la pared se produce un giro entonces se generan grietas horizontales entre los pisos, tal como las muestra la figura 2.19.

Caso 10.- Las grietas horizontales que ponen de manifiesto el canto del piso, probablemente son causadas por un giro en el empotramiento del piso en la pared debido a una deformación excesiva del piso o por una marca del aislamiento térmico de la losa de piso. Un ejemplo de cómo se observan estas grietas lo proporciona la figura 2.20.



Figura 2.18 La compresibilidad del terreno en las zonas de mayor solicitaciones provoca esfuerzo cortante respecto a las zonas menos cargadas, generando grietas inclinadas en los pisos mas bajos. Adaptado de Genescà et al., 1997.



Figura 2.19 Fisuras generadas entre los pisos por efecto de un giro en el empotramiento del muro y la losa del piso superior. Adaptado de Genescà et al., 1997.

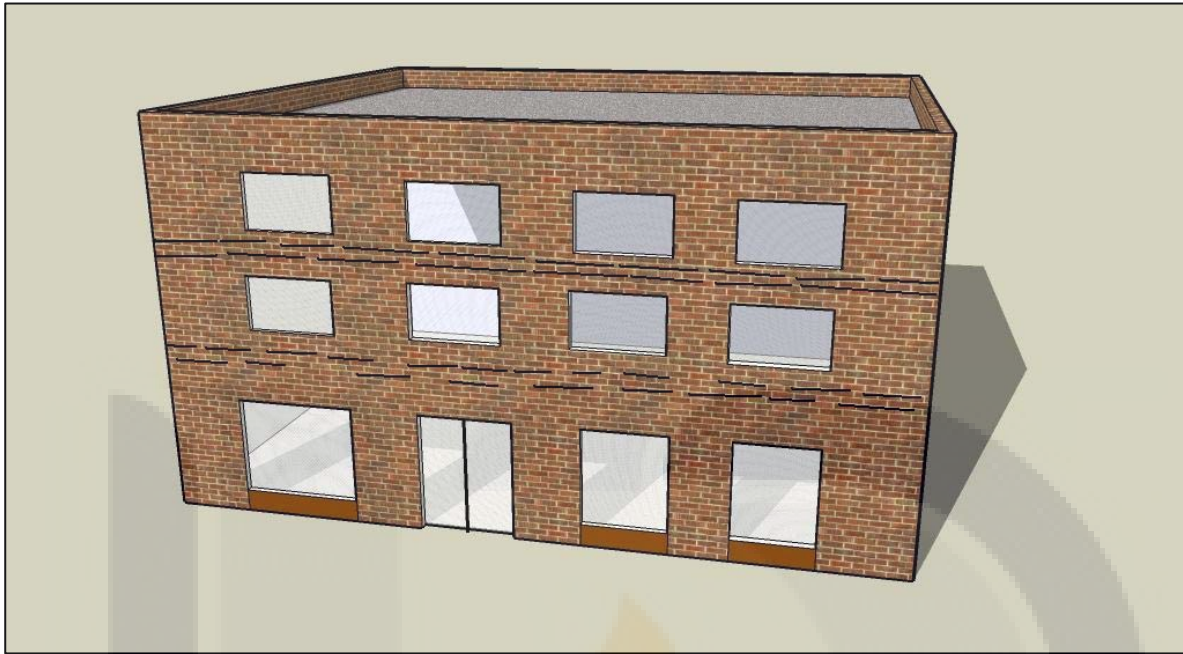


Figura 2.20 Grietas horizontales en los bordes de la losa de piso, debidas a un giro en el empotramiento del piso y la pared por una excesiva deformación de la losa de piso. Adaptado de Genescà et al., 1997.

Caso 11.- En la eventualidad de que un edificio conste de una sección en voladizo y presente grietas diagonales que van del piso al paño de la pared que se encuentra sobre el voladizo, el origen probable de las grietas es la flexión del voladizo que provoca la ruptura de la pared por esfuerzo cortante. La figura 2.21 presenta una vista de las grietas que este caso describe.

Caso 12.- Fisuras ligeramente inclinadas que aparecen en el extremo superior de la pared de mampostería, que pasan a ser horizontales y sensiblemente paralelas a la cubierta, como se ejemplifica en la figura 2.22, estas fisuras son causadas probablemente por la existencia de algún impedimento al libre movimiento de la cubierta debido a las variaciones térmicas.



Figura 2.21 Grietas provocadas por el esfuerzo cortante que provoca la flexión del voladizo en la pared de mampostería. Adaptado de Genescà et al., 1997.



Figura 2.22 Fisuras en el extremo superior de la pared del edificio de mampostería, provocadas por algún impedimento al libre movimiento de la cubierta ocasionado por variaciones térmicas. Adaptado de Genescà et al., 1997.

En la zona de estudio el sistema constructivo utilizado generalmente en las edificaciones es el de muros de carga a base de mampostería confinada, consistente en cimentación a base de zapatas corridas de mampostería de piedra braza junteada con una mezcla de cemento y arena. Sobre la cimentación se coloca una cadena de “desplante” de concreto armado y sobre ésta última los muros de carga de tabique rojo recocido o de bloques de concreto, confinados por cadenas y castillos de concreto armado, después se construye la losa que en general se trata de una losa plana de concreto armado, o bien un sistema de vigueta pretensada de concreto armado con bovedilla de concreto o poliestireno, también se usa con frecuencia la bóveda catalana, consistente en viguetas de acero y bóveda de cuña.

El mecanismo de afectación a las edificaciones es el siguiente, al generarse una falla por efecto de la subsidencia, ésta provoca una discontinuidad en el terreno en el cual se asientan estas construcciones, se produce un asentamiento diferencial en las cimentaciones de los edificios, las cuales en su mayoría no se encuentran diseñadas para resistir este fenómeno que induce un esfuerzo cortante en la estructura de la edificación al quedar prácticamente en el aire una parte de la cimentación, la cual al ceder y asentarse en el bloque de suelo hundido se deforma y en algunos casos se rompe, transmitiendo estos esfuerzos a los muros y demás elementos de la estructura provocado la aparición de fisuras o grietas en su superficie, de igual forma acontece a los pisos y losas de la construcción.

Una de las características principales que determina en gran medida la intensidad de los daños causados en las viviendas por las fallas asociadas a subsidencia, es la localización de la falla dentro del predio y su orientación respecto a los ejes ortogonales de la construcción.

Debido a que se trata de un fenómeno progresivo y dinámico, puesto que las fallas continúan activas y en movimiento en diferente grado, los daños a las construcciones van agravándose junto con la actividad de las fallas.

La solución que generalmente se ha aplicado en las edificaciones afectadas por fallas geológicas es el aislamiento de la zona de falla, esto es, de ser posible

se aísla el paso de la falla por el predio de manera que no quede asentada ninguna construcción sobre el trazo de la falla, convirtiendo esta zona en jardines o patios con pisos reacomodables como lo es el adocreto, o muy flexibles como el asfalto. Sin embargo esta solución no es siempre aplicable ya que se condiciona a tener el espacio suficiente para realizarla sin demeritar mayormente el diseño de los espacios de las construcciones, lo cual no siempre es posible, puesto que también se depende de la localización y orientación de la traza de falla dentro del predio.

Otra solución cuando es posible aplicarla es la que consiste en separar las estructuras de manera que se permita el movimiento de la falla sin que este afecte a las construcciones, es decir estructurando independientemente las edificaciones a cada lado de la falla.

2.4.- Interacción suelo - estructura.

Revisando la literatura no fue posible encontrar trabajos realizados sobre el tema de las patologías causadas a una edificación de mampostería confinada por la afectación de una falla generada por el fenómeno de subsidencia por extracción de agua subterránea, únicamente se localizaron algunos trabajos sobre daños causados a edificios de mampostería por efecto de la construcción de túneles subterráneos.

Los métodos de cálculo de asentamientos están usualmente basados en un proceso de dos etapas. Primero, el asentamiento del suelo de un sitio equivalente en el que no hay edificaciones. Estos desplazamientos son luego impuestos en un modelo estructural del edificio para obtener un asentamiento del daño esperado, a este tipo de análisis se les llama “no acoplado”. Este proceso ignora los efectos de la importante interacción que el peso y rigidez del edificio tiene en los asentamientos. (Augarde, 1997).

Los asentamientos en sitios sin construcciones son generalmente aproximados empíricamente por una curva Gaussiana en una dirección perpendicular al eje del túnel, y por una curva de acumulación de probabilidad en la dirección del túnel. Estas curvas están especificadas por dos parámetros. Uno

define el ancho a través del asentamiento y depende del tipo de suelo y de la profundidad del túnel. El segundo es el valor de la “pérdida de terreno” que ocurre durante la construcción del túnel y esto influye en la magnitud de los asentamientos (Augarde, 1997).

Para evaluar el nivel de tal daño a un edificio de mampostería, se asume comúnmente que el daño debido a fracturas está relacionado a la magnitud de los esfuerzos de tensión desarrollados con la estructura. Burland y Wroth, 1974, describen un procedimiento en el cual, fachadas individuales de un edificio son modeladas como vigas elásticas aperaltadas. Asentamientos inducidos por un túnel son impuestos en las fachadas de los edificios y se usan expresiones aproximadas para estimar el esfuerzo máximo de tensión inducido.

Estos procedimientos de diseño no modelan aspectos de detalle del mecanismo que causa daños por asentamientos en edificios de mampostería. Augarde, 1997 y Liu, 1997, proponen procedimientos basados en el método tridimensional de elemento finito en el cual el edificio, el terreno y el procesamiento de “tuneado” están combinados en un solo modelo numérico que ilustra que los efectos de interacción del suelo – estructura tienen una influencia importante en la predicción del daño estructural. Estos análisis llamados “acoplados” fueron llevados a cabo utilizando el programa de elemento finito OXFEM, el cual ha sido desarrollado en la Universidad de Oxford para el análisis de problemas de ingeniería geotécnica.

La interacción entre un edificio y un proceso de “tuneado” cercano es esencialmente un fenómeno tridimensional y un estudio realista del problema solo puede ser llevado a cabo utilizando un análisis tridimensional. Los cálculos de elemento finito de este tipo son altamente complejos y requieren mallas con un gran número de elementos para capturar la geometría del túnel y de cualquier estructura cercana. El análisis requiere de preparaciones cuidadosas, acceso a la generación de mallas adecuadas y software de elemento finito así como acceso a instalaciones de cómputo poderosas. Aunque estos procedimientos son indudablemente complejos, conducen a resultados que son significativamente más

realistas que aquellos obtenidos utilizando métodos convencionales. (Burd et al, 1998).

Se debe seleccionar cuidadosamente el modelo del suelo para obtener predicciones realistas del movimiento del suelo desarrollado durante el proceso del túnel. El importante rasgo del comportamiento de la arcilla que debe ser modelado en este caso es la variación de rigidez que ocurre a niveles de esfuerzo que están por debajo de aquellos que deben conducir a la falla del material. Augarde, 1997 usó un modelo de plasticidad multi-superficie, el cual está diseñado para modelar la respuesta no drenada de las arcillas.

Para el modelado del comportamiento de la mampostería debe considerarse que la mampostería tiene una resistencia alta a la compresión y relativamente baja resistencia en tensión. En consecuencia, se espera que el modo dominante de daño inducido por asentamiento en estructuras de mampostería esté asociado con falla en tensión, por lo que un modelo apropiado para mampostería, debe ignorar la posibilidad de falla en compresión, pero debe modelar la falla del material en tensión. Un modelo relativamente simple de mampostería es aquel en el cual el material tiene una resistencia baja a la tensión y una resistencia a la compresión infinita. Si los esfuerzos en el material causan que el esfuerzo principal menor sea de tensión, entonces las grietas de tensión se formarán a un ángulo Φ , el cual representa la inclinación de la dirección del esfuerzo principal mayor (tomando esfuerzos de compresión positivos). En este caso, la rigidez del material en la dirección perpendicular a la grieta es reducida a un valor pequeño y el esfuerzo de tensión actuando a través de la grieta permanece fijo a un valor residual pequeño (c). (Figura 2.23). El esfuerzo de tensión normal a la grieta es llamado "esfuerzo de grieta"; esto representa en una forma promediada la intensidad de la grieta. (Liu, 1997).

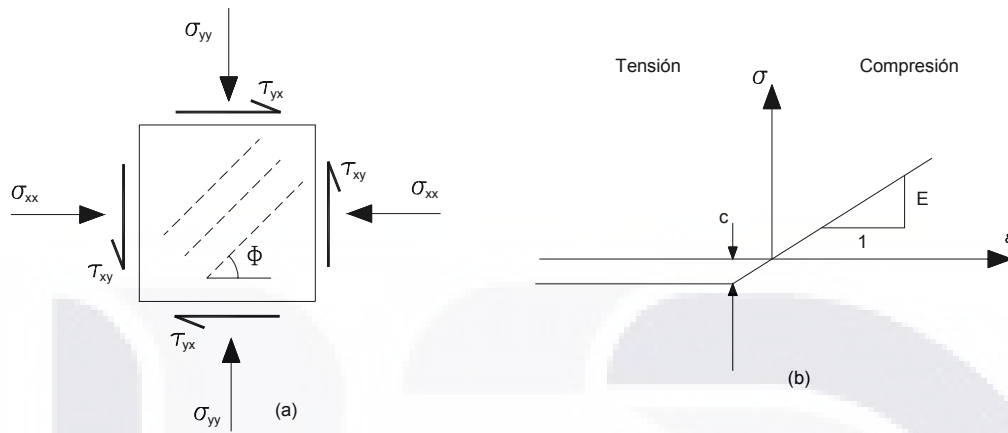


Figura 2.23. Modelo de mampostería elástica sin tensión: (a) falla elástica material sin tensión; y (b) comportamiento uniaxial. Adaptada de Burd et al, 1998.

En los trabajos realizados por Augarde, 1997 y Liu, 1997, se hace básicamente una comparación entre los análisis no acoplados y los análisis acoplados para predecir los daños que se pueden presentar en un edificio de mampostería debido a los asentamientos diferenciales ocasionados por la construcción de túneles subterráneos debajo de ellos. Estos investigadores concluyen que para edificios sujetos a deformaciones por hundimiento se ve que una aproximación no acoplada es altamente conservadora.

Para conocer el comportamiento de una construcción sobre una falla asociada a subsidencia, puede tomarse como referencia el empleo de métodos de elementos finitos en 3D los cuales se han utilizado para estimar la magnitud de daños de agrietamiento causados a las estructuras de mampostería por túneles superficiales cercanos. Los cálculos son complejos y requieren instalaciones de cómputo dedicadas. Esta aproximación, sin embargo, tiene la importante ventaja de ser capaz de proveer evaluaciones que están basadas en un procedimiento racional para modelar los efectos de interacción entre el edificio y el suelo. Estos análisis muestran que el edificio interactúa con el suelo en un modo altamente complejo. El peso del edificio tiende a incrementar en general la magnitud de los

asentamientos que se desarrollan debajo de él; la rigidez del edificio puede actuar para reducir asentamientos diferenciales. El desempeño del edificio depende críticamente de su posición y orientación relativa al túnel. Detalles de la cimentación pudieran modificar la respuesta del edificio. (Burd et al, 1998).

Para modelar el efecto de la construcción del túnel bajo un edificio de mampostería, el túnel se modela como la remoción incremental de elementos de una zona predefinida. Este proceso involucra la remoción de términos en la matriz de rigidez global que se asocian con los elementos excavados. Se necesita un conteo cuidadoso de la carga gravitacional aplicada a los elementos para asegurar el equilibrio de las fuerzas nodales en la superficie del túnel. Un ejemplo de una malla de elemento finito con un túnel parcialmente completado se muestra en la figura 2.24. (Burd et al, 1998).

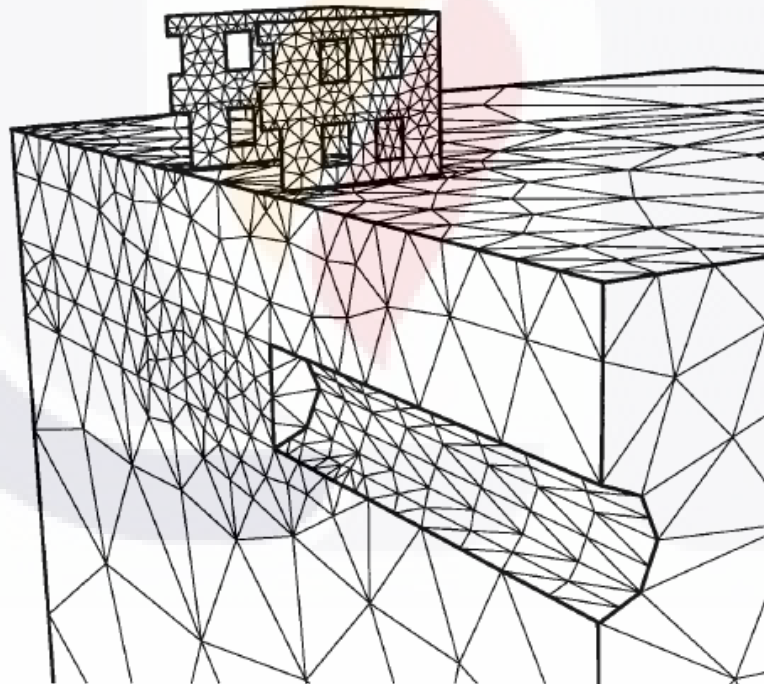


Figura 2.24. Malla con la instalación parcial del túnel para análisis con elementos finitos. Tomada de Burd et al, 1998.





Capítulo 3

Localización del área de estudio



CAPITULO 3

Localización del área de estudio.

El área de estudio es el Valle de Aguascalientes. El valle se ubica en la franja central del Estado de Aguascalientes que a su vez se localiza en la región central del país, como lo muestra la figura 3.1.

El Valle de Aguascalientes está comprendido dentro de los municipios de Cosío, Rincón de Romos, Tepezalá, Asientos, Pabellón de Arteaga, San Francisco de los Romo, Jesús María y Aguascalientes. La zona del valle por sus condiciones hidrogeológicas ha desarrollado el fenómeno de subsidencia relacionado a la sobreexplotación del agua subterránea de un acuífero granular compuesto por depósitos aluviales y lacustres, caracterizado por la generación de hundimientos y fracturamientos superficiales. Prácticamente todo el valle padece este fenómeno.

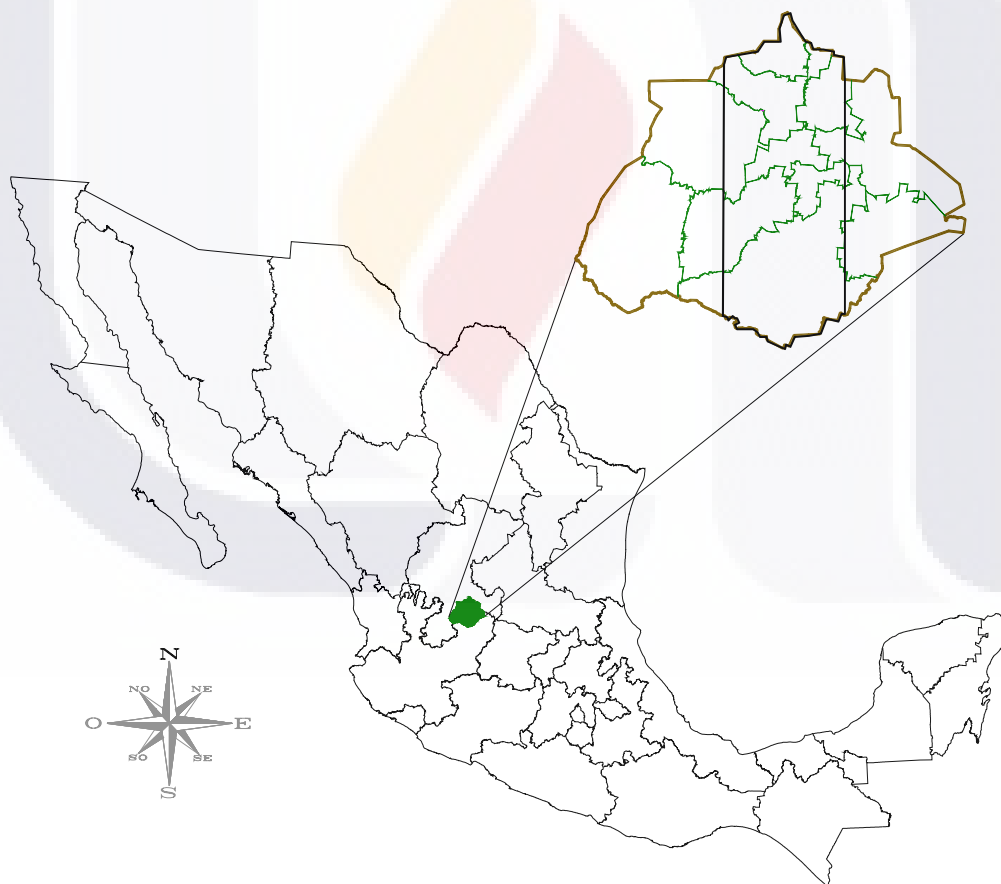


Figura 3.1 Plano de localización del Estado de Aguascalientes dentro del contexto nacional, con los límites municipales. Adaptado de SEDESOL, 2000.

El Valle de Aguascalientes se encuentra delimitado al oriente y al poniente por dos grandes fallas, que corren casi a todo lo largo del valle, entre estas grandes fallas se localizan varias fallas menores que tienen generalmente una dirección Norte-Sur, casi paralelas a las dos fallas principales, como puede observarse en la figura 3.2.

La figura 3.2 además de presentar la traza de las fallas que han sido ubicadas mediante GPS, muestra la división geopolítica del Estado, las principales poblaciones como son las cabeceras municipales y la delimitación del Valle de Aguascalientes.

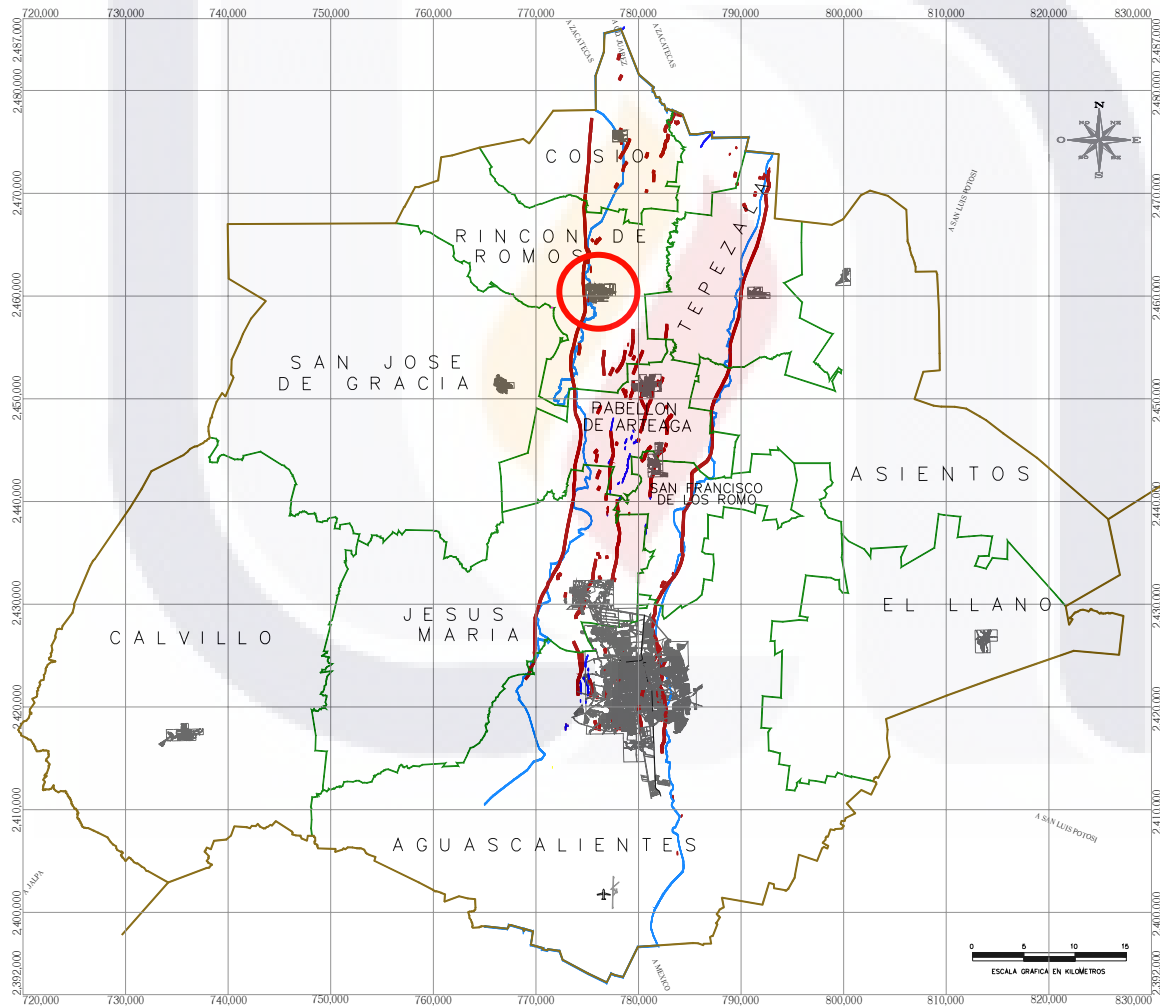


Figura 3.2 Plano del Estado de Aguascalientes con límites municipales, poblaciones principales, delimitación del Valle de Aguascalientes y traza de fallas posicionadas con GPS. Adaptado de SEDESOL, 2000 y Ávila et al, 2002.

La ciudad de Rincón de Romos capital del municipio del mismo nombre, es donde se localiza la vivienda que ha sido seleccionada para su estudio, esta ciudad se ubica al norte del Estado de Aguascalientes dentro del valle del mismo nombre, cercana a la Falla Poniente, la cual delimita al valle y se ve afectada por fallas secundarias como se muestra en la figura 3.3, la cual presenta un plano de la ciudad de Rincón de Romos con la traza de las fallas que la cruzan.

Al norte de la Ciudad de Aguascalientes, aproximadamente a 40 kilómetros se localiza la ciudad de Rincón de Romos, el círculo rojo de la figura 3.2 indica la ubicación de esta ciudad, esta zona es ampliada en la figura 3.3 para ilustrar la traza urbana de la ciudad y la localización de las fallas que la afectan.

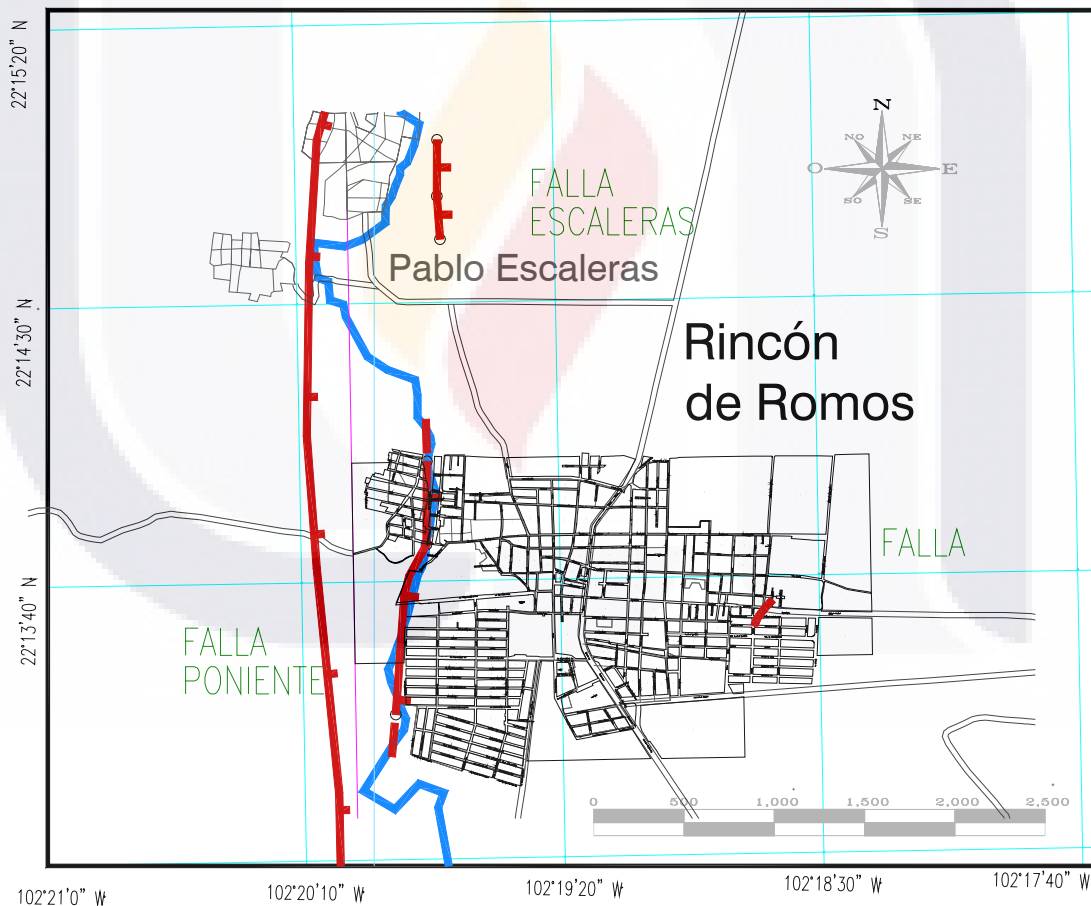


Figura 3.3 Plano de la ciudad de Rincón de Romos con la traza de las fallas que la afectan. Adaptada de Ávila et al, 2002.

La vivienda en estudio se encuentra en la zona oriente de la ciudad y se ve afectada por la falla aún sin nombre y que no ha sido posicionada mediante GPS, únicamente a través de los daños que se aprecian en la casa y en las construcciones vecinas.

Para seleccionar la casa que serviría de caso de estudio para el presente trabajo, se consideró que esta fuera representativa del tipo de construcción utilizado en la entidad y que existieran las facilidades para trabajar en ella. Por lo que se buscó una que cumpliera con las siguientes características:

- a) Que estuviera construida a base de muros de mampostería confinada, como la mayoría de las casas en Aguascalientes.
- b) Que presentara afectación por falla.
- c) Que los daños causados por este motivo fueran lo más evidente posibles.
- d) Que fuera posible determinar la trayectoria de la falla geológica dentro del predio.
- e) Que se contara con la posibilidad de tener acceso irrestricto a la vivienda.

Una vez seleccionada la casa a inspeccionar, se llevó a cabo la visita, realizándose el levantamiento de la misma y de las afectaciones causadas por la falla asociada a subsidencia.



Capítulo 4

Reporte de la visita de inspección



CAPITULO 4

Reporte de la visita de inspección

La casa habitación inspeccionada se ubica en la Ciudad de Rincón de Romos, municipio del mismo nombre en el Estado de Aguascalientes, en la calle Privada Insurgentes # 106, Colonia Guadalupe.



Figura 4.1 Plano de localización de la casa en estudio con la traza de la falla que la afecta. Adaptado de la Dirección General de Catastro, 2006.

La falla que afecta a la casa habitación seleccionada se ha identificado por medio de los daños a las construcciones afectadas a su paso. Mediante una inspección de la zona se puede inferir su traza, la cual se indica en la figura número 4.1.

La construcción estudiada se trata de una casa habitación que fue edificada de manera tradicional, sin ningún proyecto profesional, la distribución de los espacios es simple, cochera para un auto, sala-comedor, cocina, cuatro

recamaras, un baño completo, patio posterior y pasillo que comunica con el terreno vecino también del mismo propietario. (Figura 4.2).

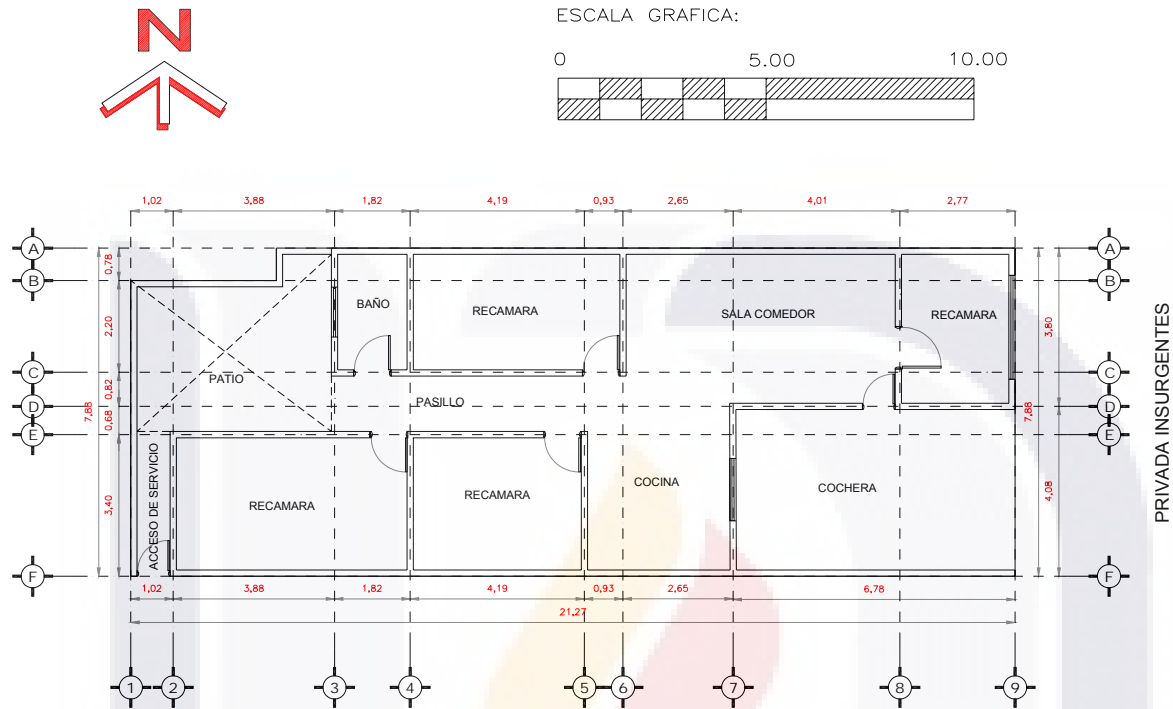


Figura 4.2 Plano arquitectónico de la casa habitación en estudio.

La estructuración de la vivienda es a base de muros de carga de tabique rojo recocido común confinados con cadenas y castillos de concreto armado de 15x15 cm., con cuatro varillas del # 3, estribos del # 2 a cada 20 cm., asentados sobre zapata corrida de mampostería de piedra braza de 40x60 cm, la losa de techo es a base de viguetas de acero y bóveda de cuña de ladrillo de barro recocido de doble casco, la impermeabilización consiste en relleno para dar pendientes y chalpaqueado de mortero de cemento-arena, el piso de la vivienda es de cemento pulido sobre firme de concreto, los muros y plafones se encuentran aplanados con mortero cemento-arena, al frente sobre el espacio de la cochera y la recamara del frente se localiza una trabe de concreto de 40x15 cm., armada con 8 varillas de 3/8", para dar acceso a la cochera y la ventana de la recamara, así como para recibir las viguetas metálicas de la losa de la cochera.

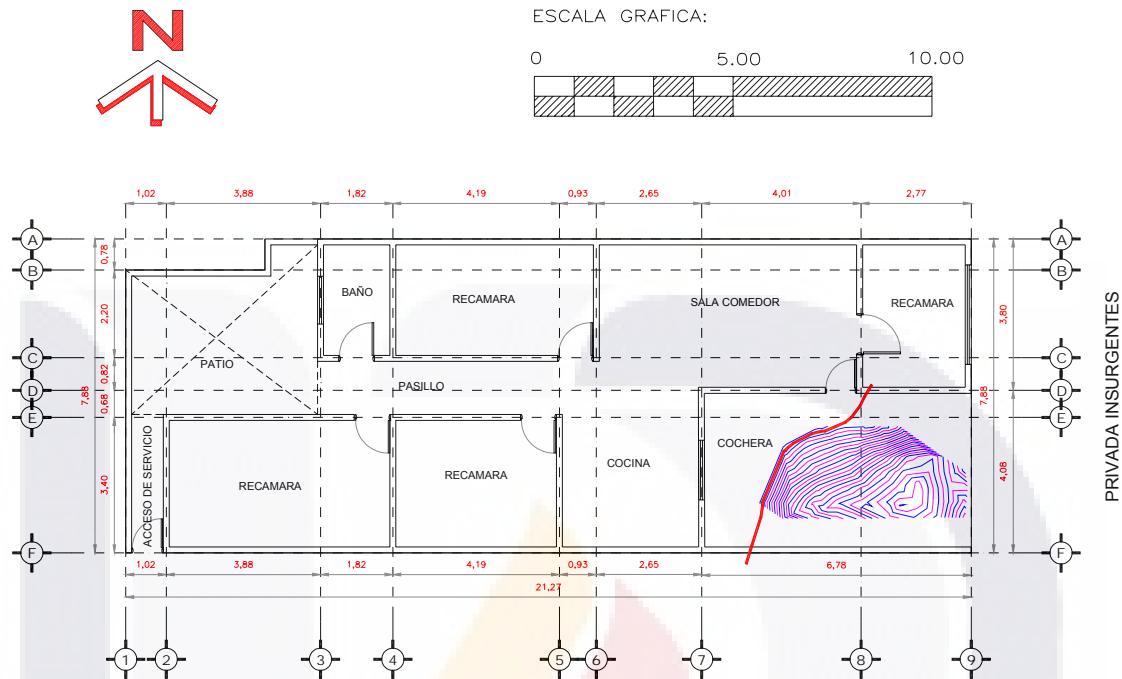


Figura 4.3 Plano arquitectónico de la casa habitación en estudio con la falla que la afecta y las curvas de nivel del área de piso dañada en la cochera.

El plano de la distribución de la vivienda es el que muestra la figura número 4.2, sin embargo actualmente a raíz de la afectación por el fenómeno de subsidencia la casa ha sido deshabitada, sus moradores se cambiaron a la casa de enfrente que no se encuentra afectada, utilizando esta casa como bodega de muebles y cochera. En la figura 4.3 se muestra el mismo plano de la figura 4.2 con la localización y la orientación de la falla dentro del inmueble.

La edad aproximada de la construcción, según su propietario, es de alrededor de cinco años, se aprecia una buena calidad de mano de obra en su construcción.

Para realizar el levantamiento de la vivienda se utilizó un equipo de GPS dos bandas glonas+plus marca Leica 1200 y estación total 2001 plus marca Leica de 1 segundo de precisión, con el cual se tomaron puntos a ambos lados de las fisuras

aparecidas en los muros y en el desnivel de los pisos que se generaron por efecto de la subsidencia.

El fracturamiento afecta a la casa atravesándola de manera diagonal por el frente del predio causando daños en los muros que delimitan el área de la cochera.

La figura 4.4 representa la construcción en tercera dimensión, se señalan las fisuras de los muros afectados.

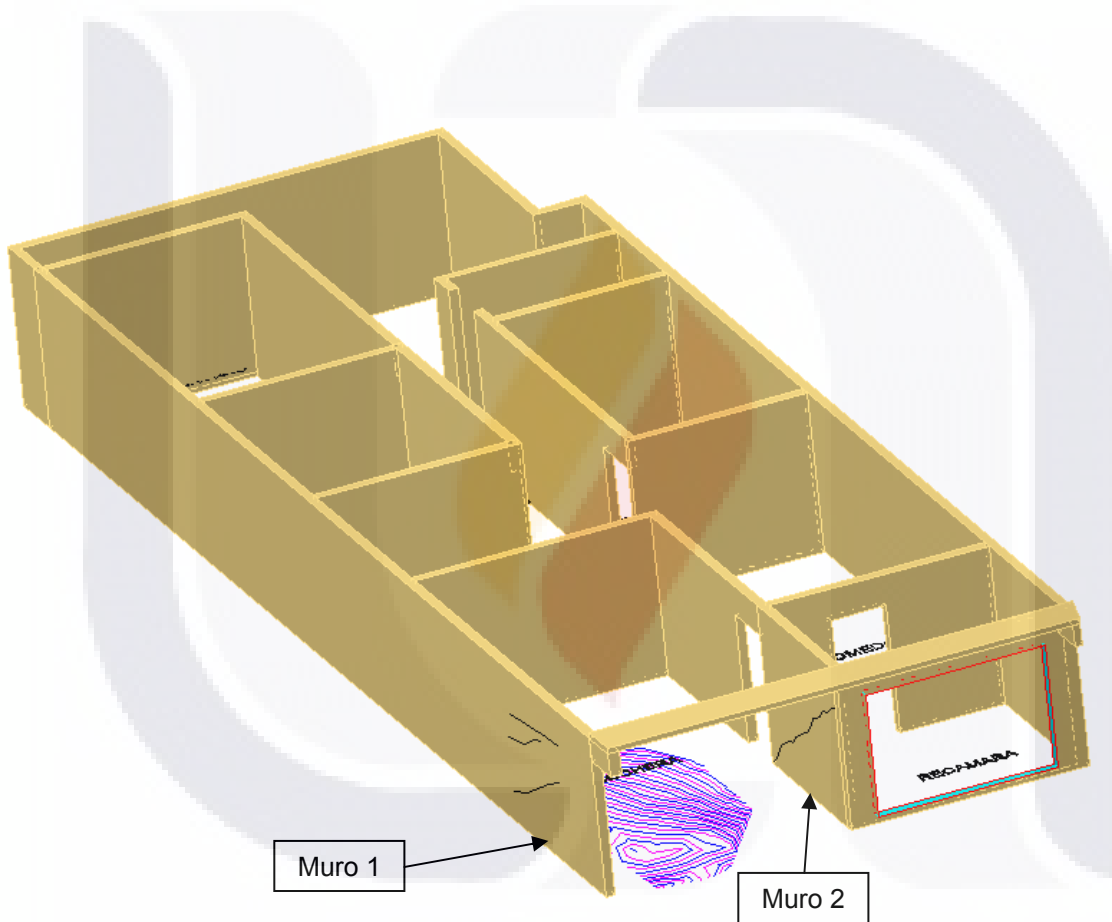


Figura 4.4 Representación de la vivienda en tercera dimensión con los daños causados por la falla en los muros y el piso de la cochera.

Para apreciar mejor las fisuras generadas en los muros por efecto del asentamiento diferencial en la cimentación causado por el fenómeno de subsidencia, las figuras 4.5 y 4.6 muestran un acercamiento a los muros afectados con los daños levantados y la fotografía correspondiente.



Figura 4.5. Acercamiento a Muro 1 con el levantamiento de las fisuras provocadas por la falla y la fotografía muestra la parte interior del muro.



Figura 4.6. Acercamiento a Muro 2 con el levantamiento de las fisuras provocadas por la falla y su fotografía correspondiente.

En la figura 4.7 se muestra un plano arquitectónico de la casa en el cual se numeran los muros para su futura identificación en relación con los análisis estructurales que se presentan posteriormente.

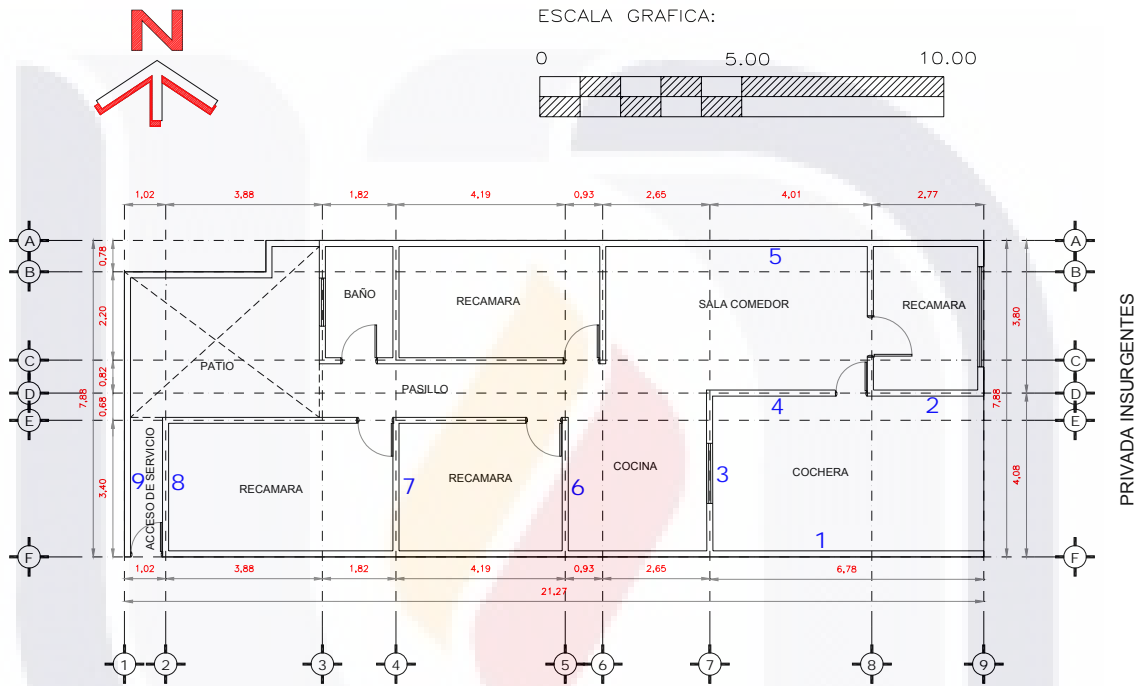


Figura 4.7. Numeración de muros para análisis estructural por afectación de falla.





Capítulo 5

Análisis estructural del inmueble



CAPITULO 5

Análisis estructural del inmueble

Primeramente se procedió a analizar la casa sin las afectaciones por falla, para esto se realizó el dibujo de la vivienda en autocad en tercera dimensión, después se importó al programa SAP 2000, se definieron en seguida las propiedades de los materiales que componen la casa. Para el área de los muros de mampostería, las propiedades utilizadas para el análisis fueron las recomendadas por las NTCDF-2007, debido a que no se realizaron pruebas de laboratorio para definir dichas propiedades, estas son:

Peso volumétrico de la mampostería = $1,500 \text{ Kg/m}^3$

Modulo de elasticidad $E = 350 f_m^*$ considerando $f_m^* = 15 \text{ Kg/cm}^2$ pues se trata de tabique de barro recocido.

Dentro del análisis también se consideraron las cadenas y castillos a base de concreto reforzado de $15 \times 15 \text{ cm}$. Con cuatro varillas del número 3, estribos del número 2 a cada 20 cm .

Se le impuso una sollicitación por efecto del peso muerto y carga viva sobre la losa de azotea que incluyó los pesos para cada concepto mostrado en la tabla número 5.1.

Peso propio	250.00 kg/m^2
Relleno, etc.	150.00 kg/m^2
Carga viva	100.00 kg/m^2
Suma	500.00 kg/m^2
W_u	700.00 kg/m^2

Tabla 5.1 Sollicitaciones para la losa de azotea de la casa en estudio.

Por el método de áreas tributarias se calcularon las cargas repartidas que cada muro debe soportar, se dividió la superficie de los muros en recuadros de aproximadamente $50 \times 50 \text{ cm}$ y para simular la zapata corrida de mampostería se le asignó a cada uno de los puntos inferiores resultado de la división del área de muros restricciones de empotramiento.

Una vez que se tuvo listo el modelo, se procedió a analizarlo por medio del programa SAP 2000, se debe recordar que este primer modelo está diseñado sin ninguna de las afectaciones por falla. La configuración deformada se presenta a continuación en la figura 5.1.

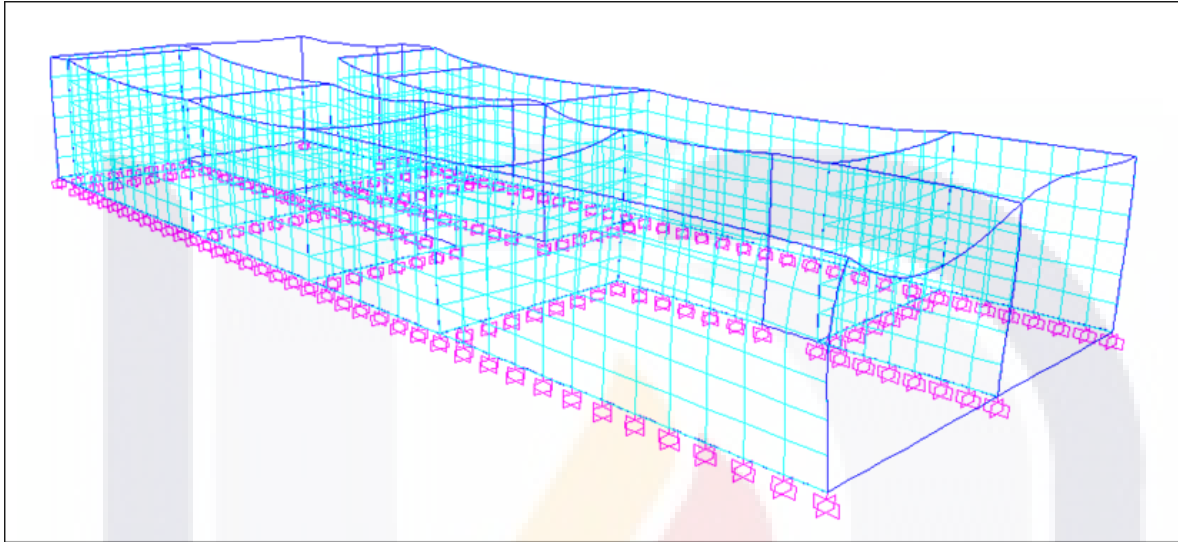


Figura 5.1 Configuración deformada de la estructura de la casa sin considerar los efectos de la falla.

Se obtuvieron los elementos mecánicos de las cadenas de cimentación de los muros que serán afectados por la falla, que son los muros que delimitan el área de cochera. (Muros 1 y 2, figura 4.7)

Como se trata del análisis realizado a la estructura sin las afectaciones ocasionadas por la falla debida a la subsidencia, los elementos mecánicos obtenidos servirán de base para comparar con los elementos mecánicos que se obtendrán cuando se realice el análisis de la estructura con las deformaciones producidas por la falla y de esta manera observar las variaciones en las solicitaciones a que son sometidos los elementos de la construcción con motivo de la grieta.

Los resultados del análisis mostrado obedecen al caso de la combinación de las cargas por peso propio con las cargas repartidas que actúan sobre los muros de mampostería confinada generadas por el peso propio de la azotea y el uso de la edificación.

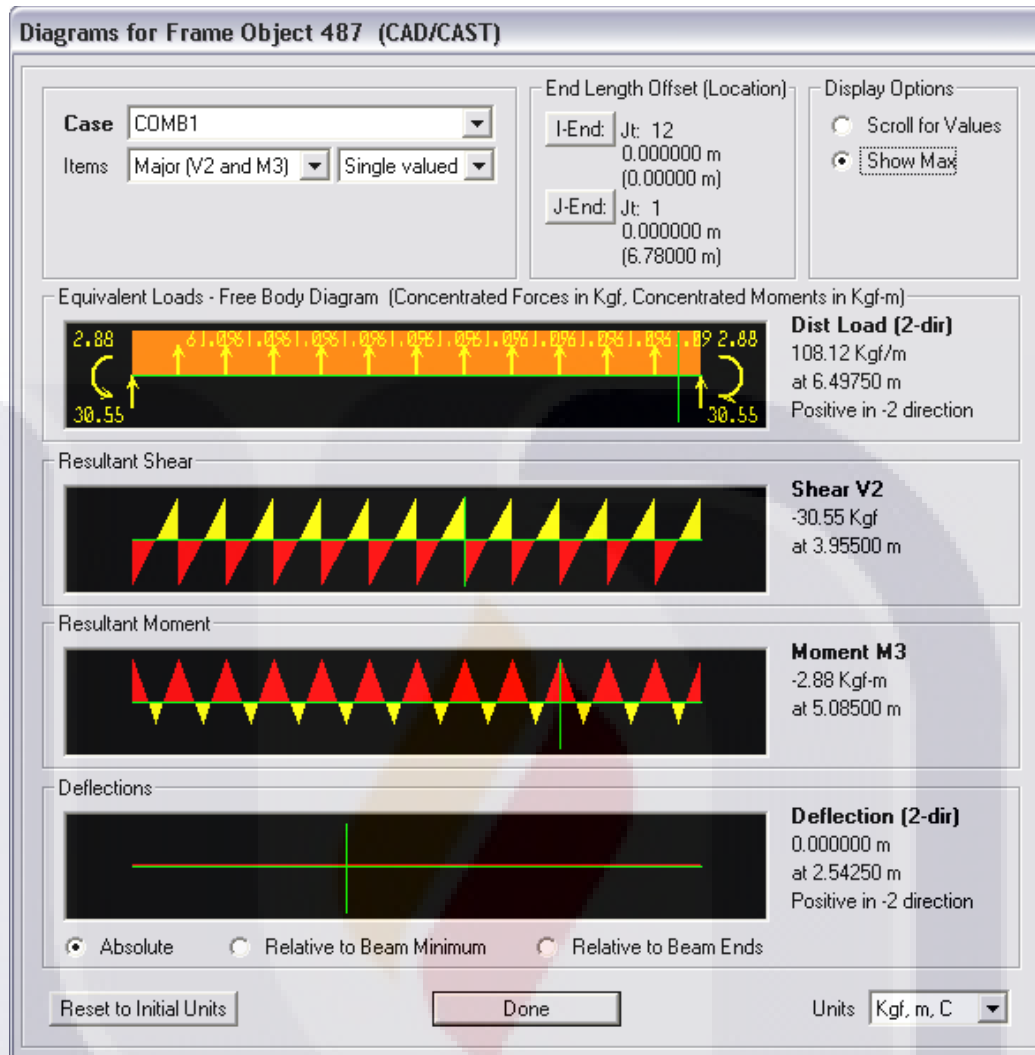


Figura 5.2. Elementos mecánicos correspondientes a la cadena de desplante del Muro 1 para el modelo sin considerar efectos de falla.

La figura número 5.2 nos muestra los resultados del análisis para la cadena de desplante del muro de la cochera situado a la izquierda (Muro 1) y que corresponde al muro más grande de la vivienda, es posible observar que no existe deformación en el elemento, puesto que este primer análisis se realiza suponiendo que no existe la afectación por la falla.

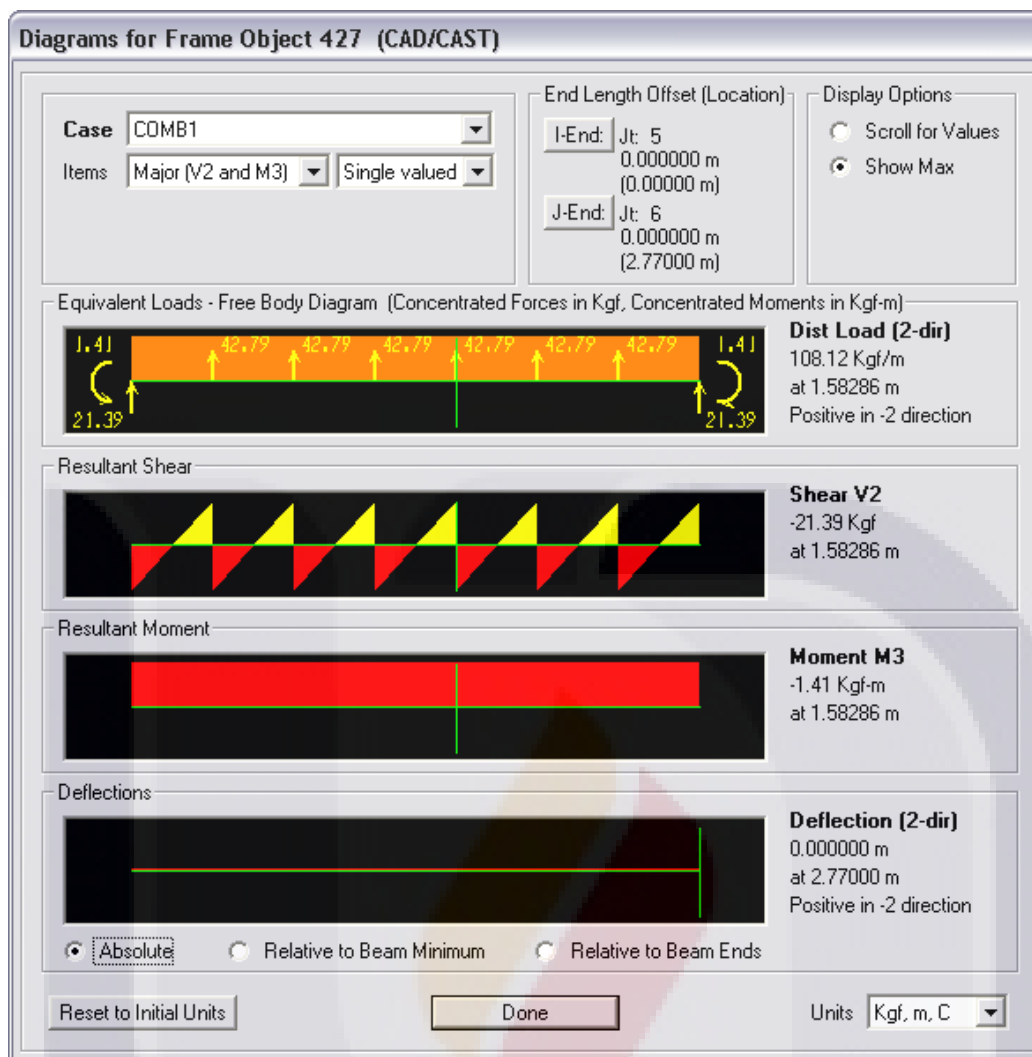


Figura 5.3. Elementos mecánicos correspondientes a la cadena de desplante del Muro 2 para el modelo sin considerar efectos de falla.

Los diagramas que corresponden a la cadena de desplante del muro de la derecha de la cochera (Muro 2), son los mostrados en la figura número 5.3, también sin considerar los daños causados por la subsidencia.

También se reportan los resultados obtenidos para los paneles que representan a los muros de mampostería de la vivienda. Se muestran en las figuras 5.4, 5.5, 5.6 y 5.7 los modelos esquemáticos que indican con colores las zonas de intensidad y concentración de los esfuerzos actuantes en el plano vertical, esfuerzos de Von Mises, esfuerzo máximo y esfuerzo cortante máximo, respectivamente, para el caso de combinación de cargas ya mencionado, también sin considerar los efectos producidos por la falla.

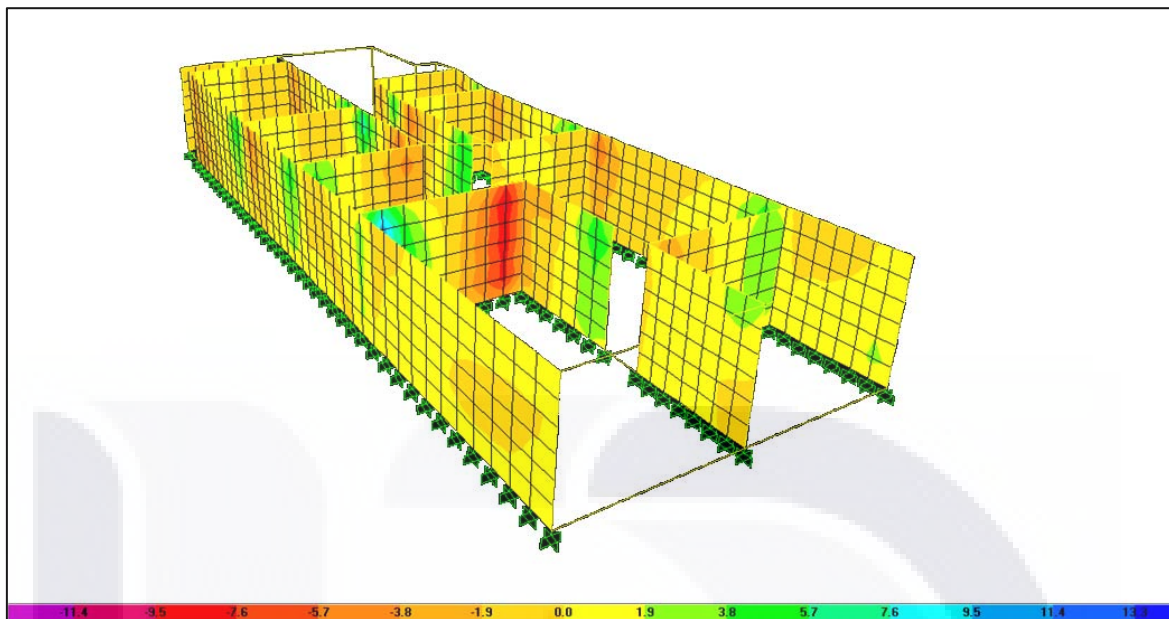


Figura 5.4. Diagrama de esfuerzos en el plano vertical que actúan en los paneles de los muros para el análisis del modelo sin considerar los efectos de la falla, los valores indicados en la escala de colores inferior deberán ser multiplicados por 10^3 y se expresan en Kgf.

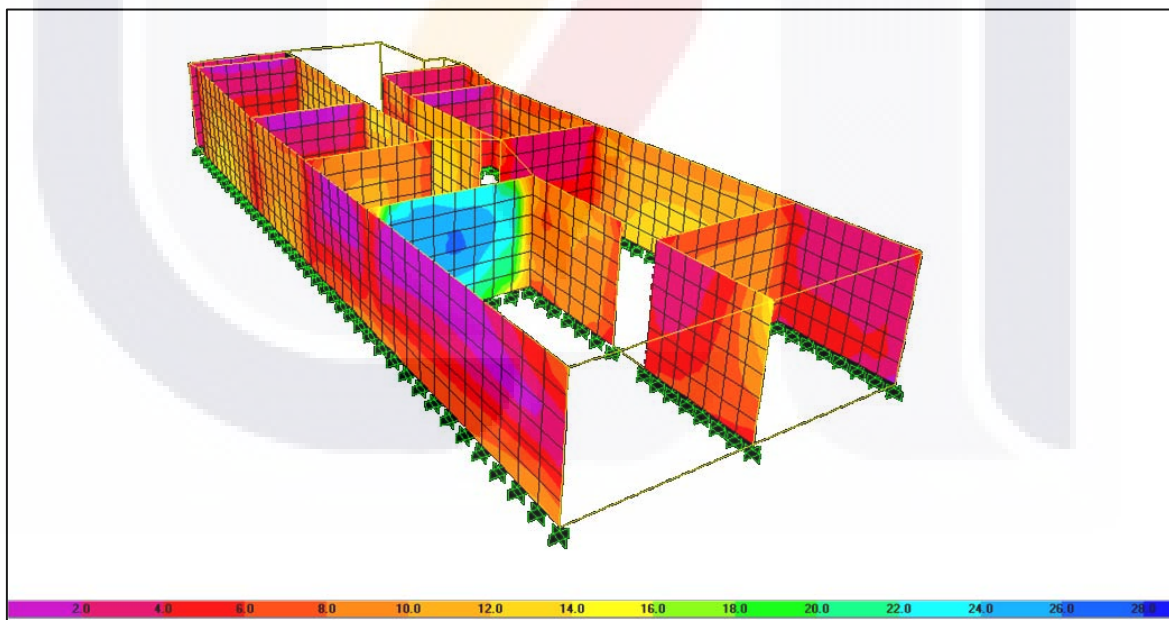


Figura 5.5. Diagrama de esfuerzos Von Mises que actúan en los paneles de los muros para el análisis del modelo sin considerar los efectos de la falla, los valores indicados en la escala de colores inferior deberán ser multiplicados por 10^3 y se expresan en Kgf.

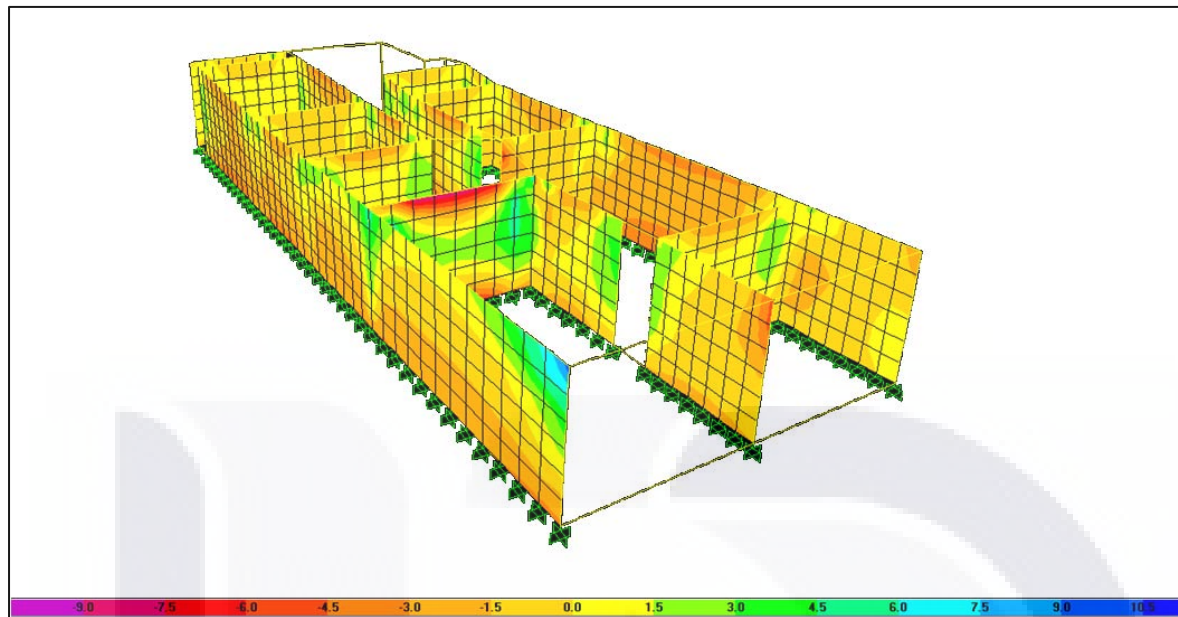


Figura 5.6. Diagrama de esfuerzo máximo que actúa en los paneles de los muros para el análisis del modelo sin considerar los efectos de la falla, los valores indicados en la escala de colores inferior deberán ser multiplicados por 10^3 y se expresan en Kgf.

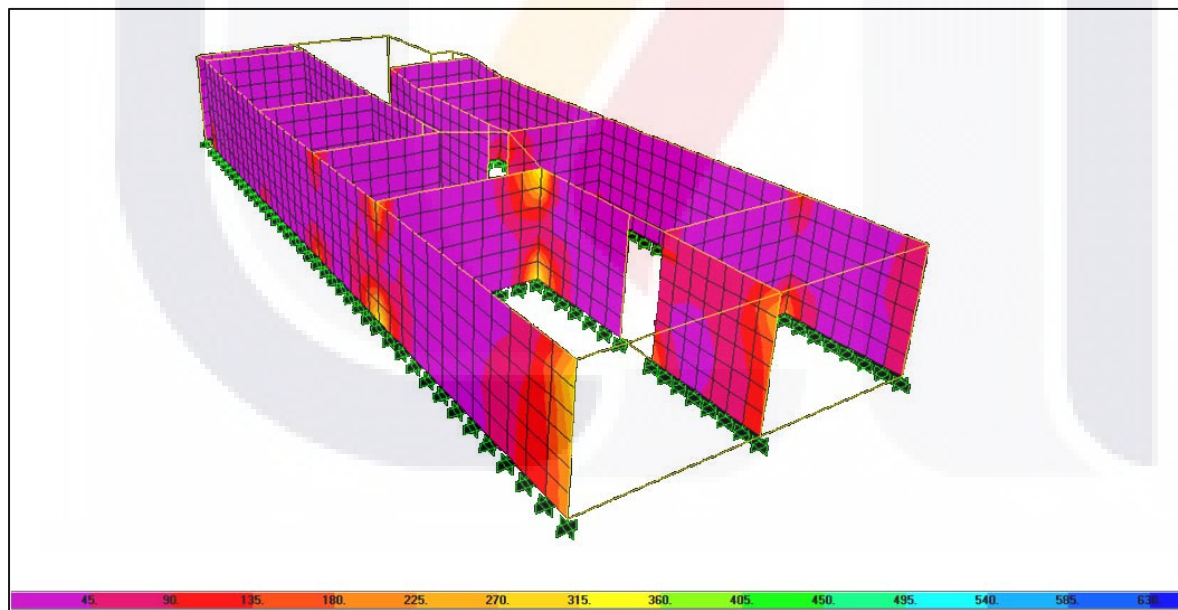


Figura 5.7. Diagrama de esfuerzo cortante máximo que actúa en los paneles de los muros para el análisis del modelo sin considerar los efectos de la falla, los valores indicados en la escala de colores inferior se expresan en Kgf.

Contando con el análisis de la casa sin los efectos de la falla, el cual servirá de punto de partida para los análisis posteriores, se procedió a realizar el modelo para intentar reproducir los agrietamientos de los muros causados por la subsidencia que afecta al inmueble.

Para analizar el efecto de la falla sobre la construcción, en la asignación de cargas al modelo contenido en el SAP 2000, se le sumó a las solicitaciones por peso propio y cargas vivas, un desplazamiento vertical de los apoyos desde el punto en el cual la falla afecta la cimentación de los muros, de acuerdo con el levantamiento realizado esta deformación es del orden de 2.8 cm.

En la figura numero 5.8 se muestra la configuración deformada con los desplazamientos verticales aplicados.

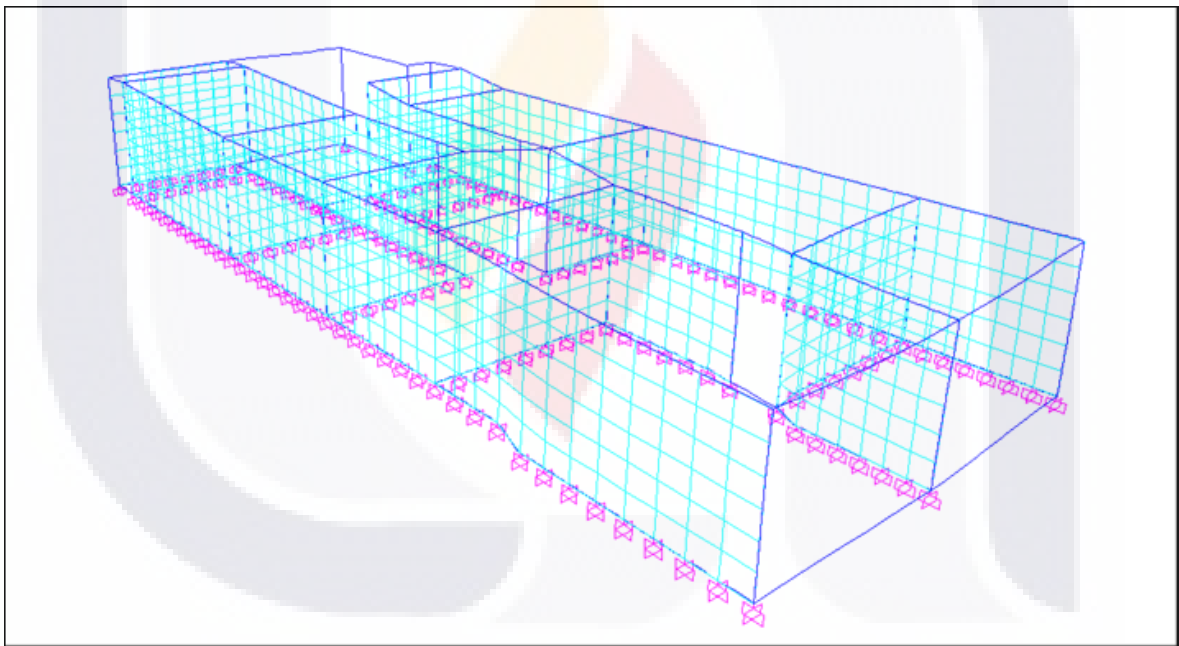


Figura 5.8. Configuración deformada del modelo con las afectaciones producto de la falla.

En la figura 5.8 puede observarse claramente el desnivel de la cimentación provocado por la afectación de la falla en los muros de la cochera (Muros 1 y 2).

En cuanto a los elementos mecánicos para la cadena de desplante del muro de colindancia de la cochera (Muro 1), se obtienen los siguientes diagramas, mostrados en la figura 5.9.

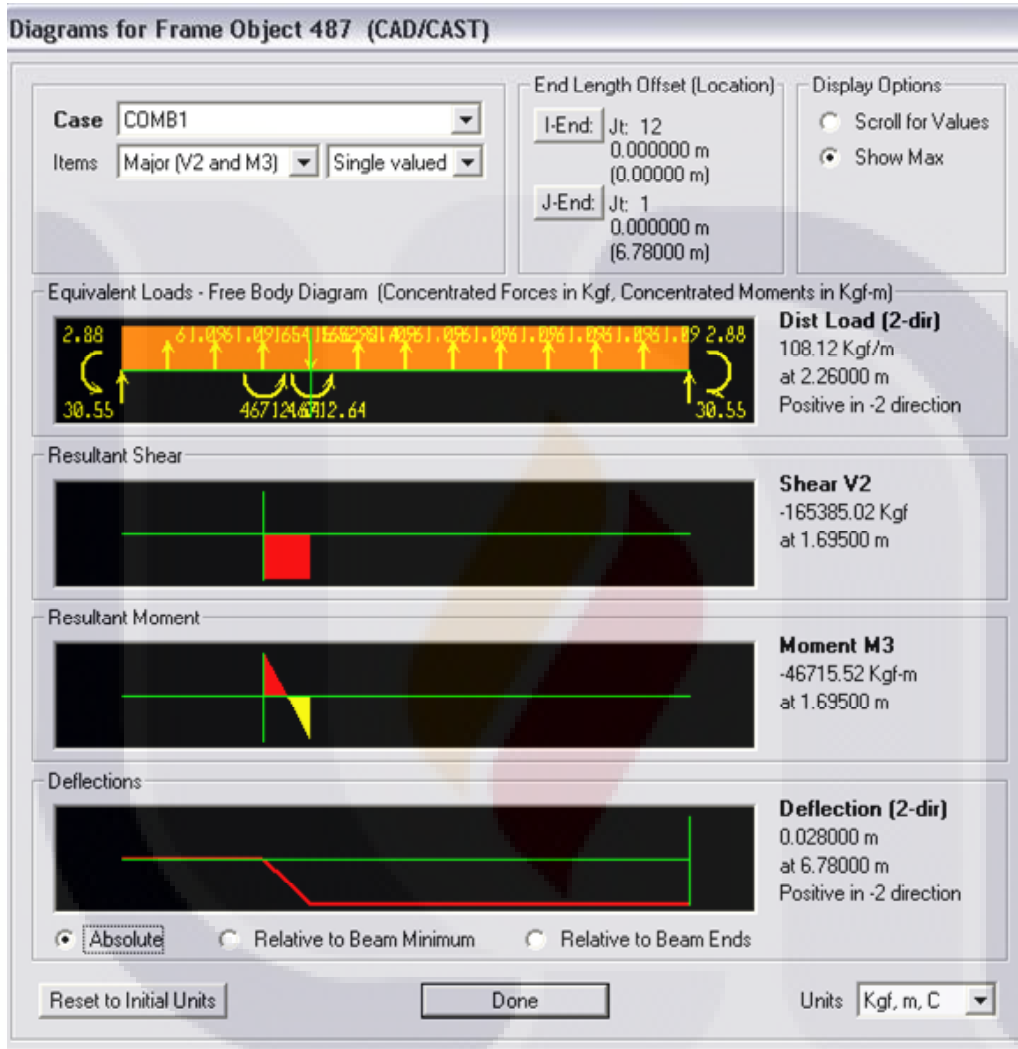


Figura 5.9. Elementos mecánicos de la cadena de desplante en el Muro 1 en los cuales se consideran los efectos generados por la falla.

En los diagramas se explica que con motivo del desplazamiento vertical de la cimentación se produce un incremento en el cortante que afecta al elemento analizado en el punto en que pasa la falla, también se produce un momento flexionante considerable, lo cual genera las fisuras en el panel del muro, puesto

que la mampostería de tabique tiene menor resistencia al cortante y la flexión que ocasiona tensión diagonal en las piezas de la mampostería.

De igual manera se comporta el muro intermedio (Muro 2) ante las deformaciones impuestas por el paso de la falla, como se puede apreciar en la figura 5.10 que se presenta a continuación.

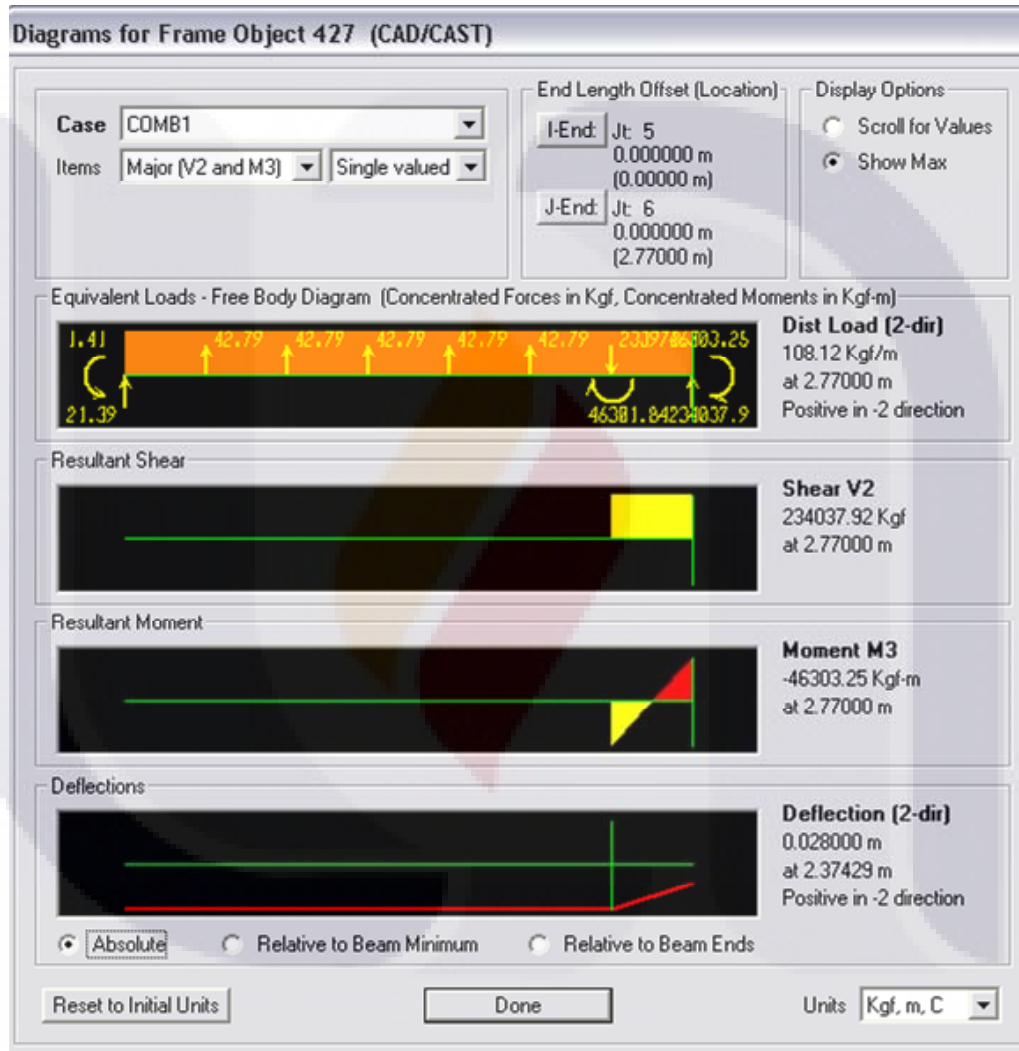


Figura 5.10. Elementos mecánicos de la cadena de desplante en el Muro 2 en los cuales se consideran los efectos generados por la falla.

Se observa que el cortante en el elemento es más grande, mientras que el momento M3 es muy parecido al que se genera en el otro muro, la fuerza cortante

mayor ocasiona un daño más severo en el muro, aquí la fisura correspondiente debe ser más ancha y notoria.

Para completar el análisis, también se obtuvieron los esquemas de distribución de esfuerzos en el plano vertical que actúan sobre la superficie de los muros debido a los desplazamientos originados por la falla.

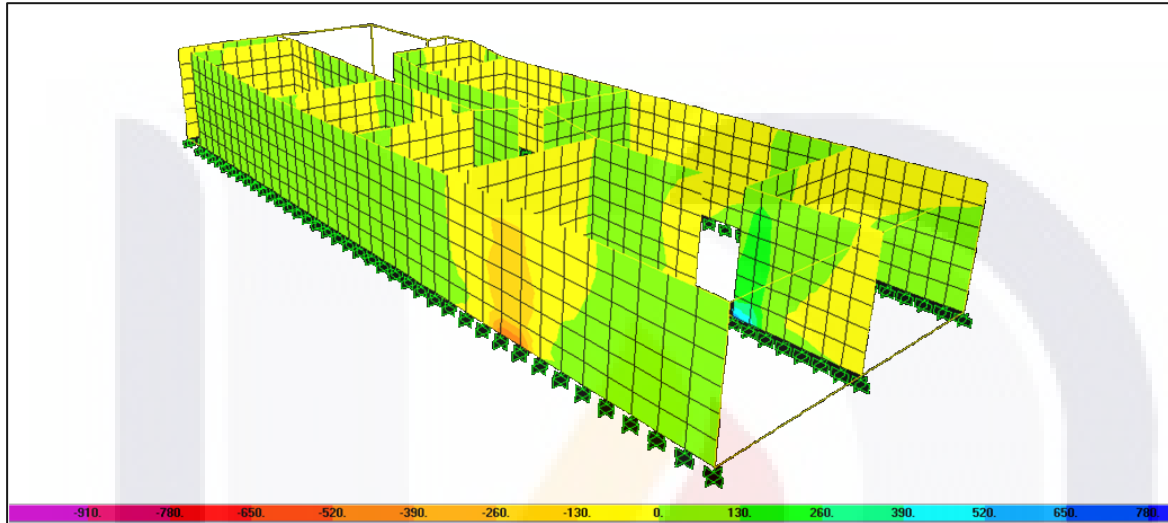


Figura 5.11. Diagrama de esfuerzos en el plano vertical que actúan en los paneles de los muros para el análisis del modelo considerando los efectos de la falla, los valores indicados en la escala de colores inferior deberán ser multiplicados por 10^3 y se expresan en Kg/cm².

En la figura 5.11 puede observarse el incremento que se produce en el esfuerzo en el plano vertical en el punto en que se produce el cambio de nivel generado por efectos de la falla, tanto en el Muro 1 como más pronunciadamente en el Muro 2.

Para ilustrar más ampliamente la distribución de esfuerzos, la figuras 5.12, 5.13 y 5.14 muestran los diagramas correspondientes a los esfuerzos de Von Mises, que se refieren a la teoría de fallo, el esfuerzo máximo y el esfuerzo cortante máximo, respectivamente, con estos diagramas se simplifica la comprensión del mecanismo de deformación de los muros, causado por el asentamiento diferencial de la cimentación generado por la falla.

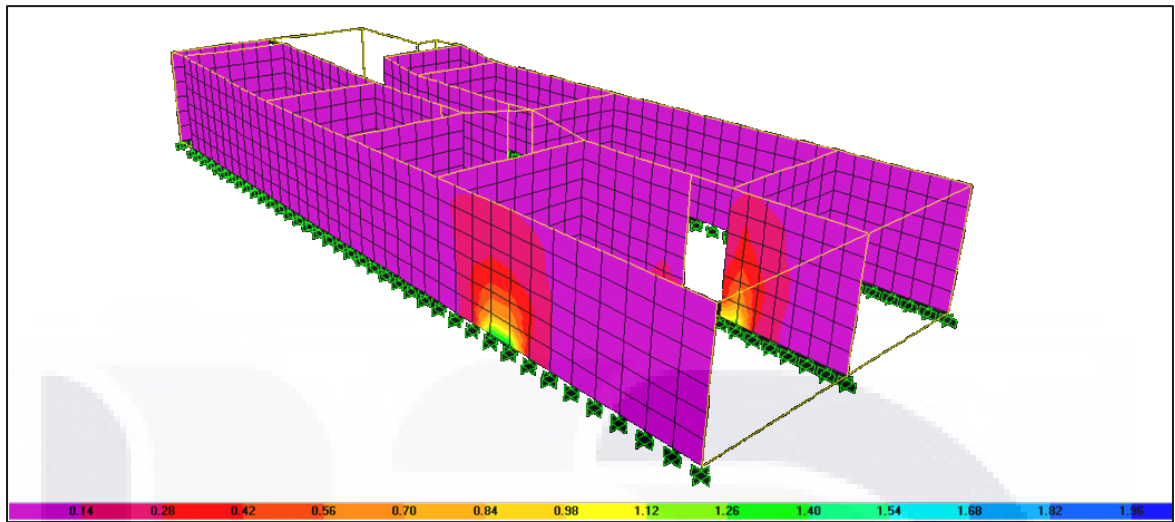


Figura 5.12. Diagrama de esfuerzos de Von Mises que actúan en los paneles de los muros para el análisis del modelo considerando los efectos de la falla, los valores indicados en la escala de colores inferior deberán ser multiplicados por 10^6 y se expresan en Kgf.

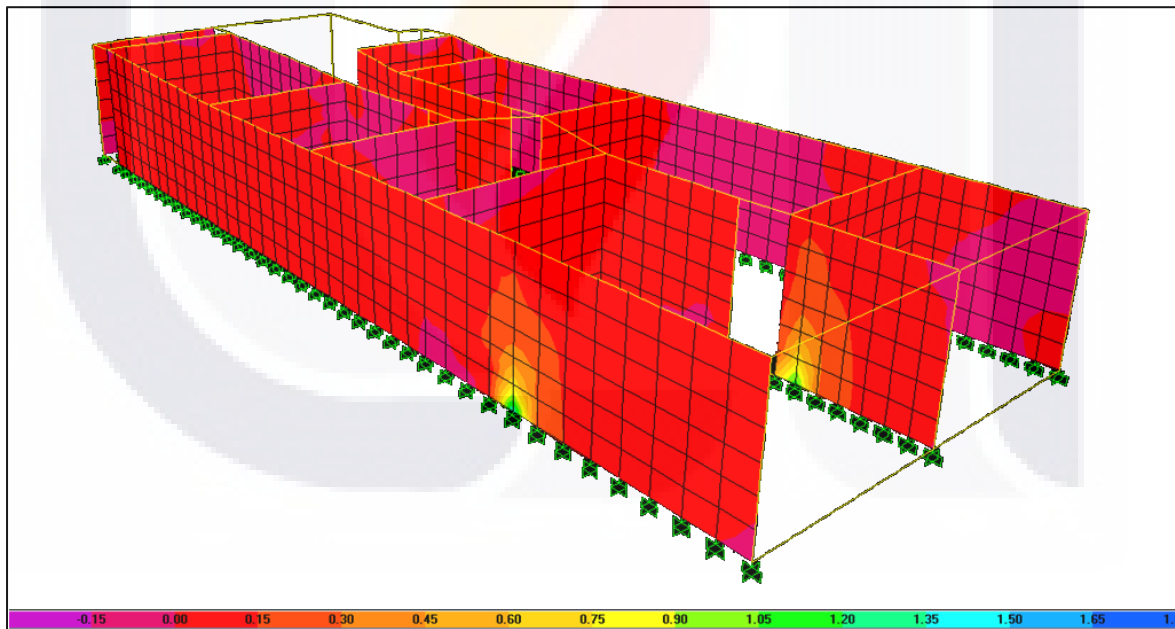


Figura 5.13. Diagrama de esfuerzo máximo que actúa en los paneles de los muros para el análisis del modelo considerando los efectos de la falla, los valores indicados en la escala de colores inferior deberán ser multiplicados por 10^6 y se expresan en Kgf.

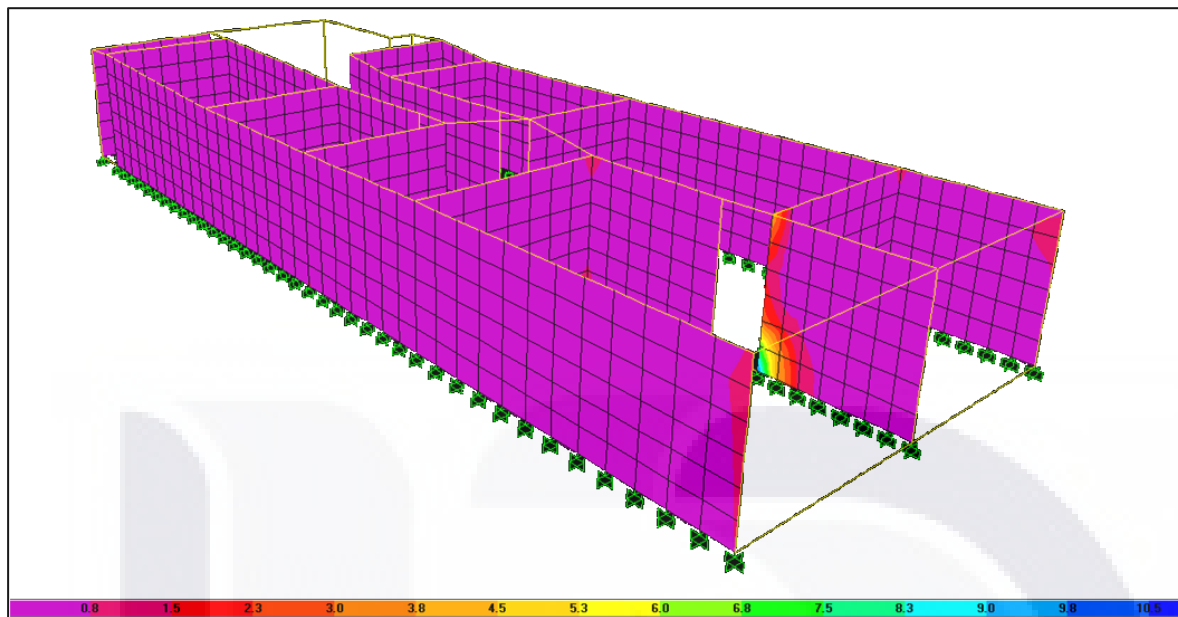


Figura 5.14. Diagrama de esfuerzo cortante máximo que actúa en los paneles de los muros para el análisis del modelo considerando los efectos de la falla, los valores indicados en la escala de colores inferior deberán ser multiplicados por 10^3 y se expresan en Kgf.



Capítulo 6

Análisis de los resultados de la modelación



CAPITULO 6

Análisis de los resultados de la modelación.

Para hacer la comparación de los resultados obtenidos por medio del análisis del modelo, resuelto mediante el SAP 2000, se comparan los esquemas de los esfuerzos verticales calculados para los paneles de los muros afectados por la falla con las fotografías de los mismos muros tomadas durante la visita de inspección.

La figura 6.1 muestra la fotografía del muro de la colindancia sur de la cochera tomada desde el terreno vecino, es decir se trata de la parte exterior del muro (Muro 1), en la cual se observan las fisuras que provoca el asentamiento diferencial de la cimentación por efecto del paso de la falla, estas fisuras han sido resanadas tratando de repararlas, esto hace que las fisuras sean mas notorias sobre la superficie del muro de tabique sin aplanados que conforma la cara exterior, se selecciono esta foto porque resaltan las fisuras con el resane y ayudan a la comparación que se pretende.

La figura 6.1 también incluye los diagramas de esfuerzo cortante y de esfuerzo de Von Mises, correspondientes a la misma sección del muro representada en la fotografía para efecto de una mejor comparación, puede apreciarse que las fisuras presentadas por los muros coinciden en su origen con la zona en que se concentra el esfuerzo cortante indicado en los diagramas, sin embargo después de este punto de origen las fisuras presentadas por el muro se desplazan en diagonal de una forma mas tendida de lo que se expone en los diagramas como zonas de mayor esfuerzo cortante, lo cual es posible que se deba a un remanente de resistencia proporcionado por la cadena de desplante que es de concreto armado y por lo tanto mas resistente a la tensión que la mampostería de tabique que como sabemos tiene gran resistencia a los esfuerzos de compresión pero una baja resistencia a los esfuerzos de tensión generados en este caso por el cortante efecto del asentamiento diferencial producido por el paso de la falla provocada por la subsidencia. Las figuras 6.2 y 6.3 presentan los diagramas del esfuerzo máximo y el esfuerzo cortante máximo para el Muro 1.

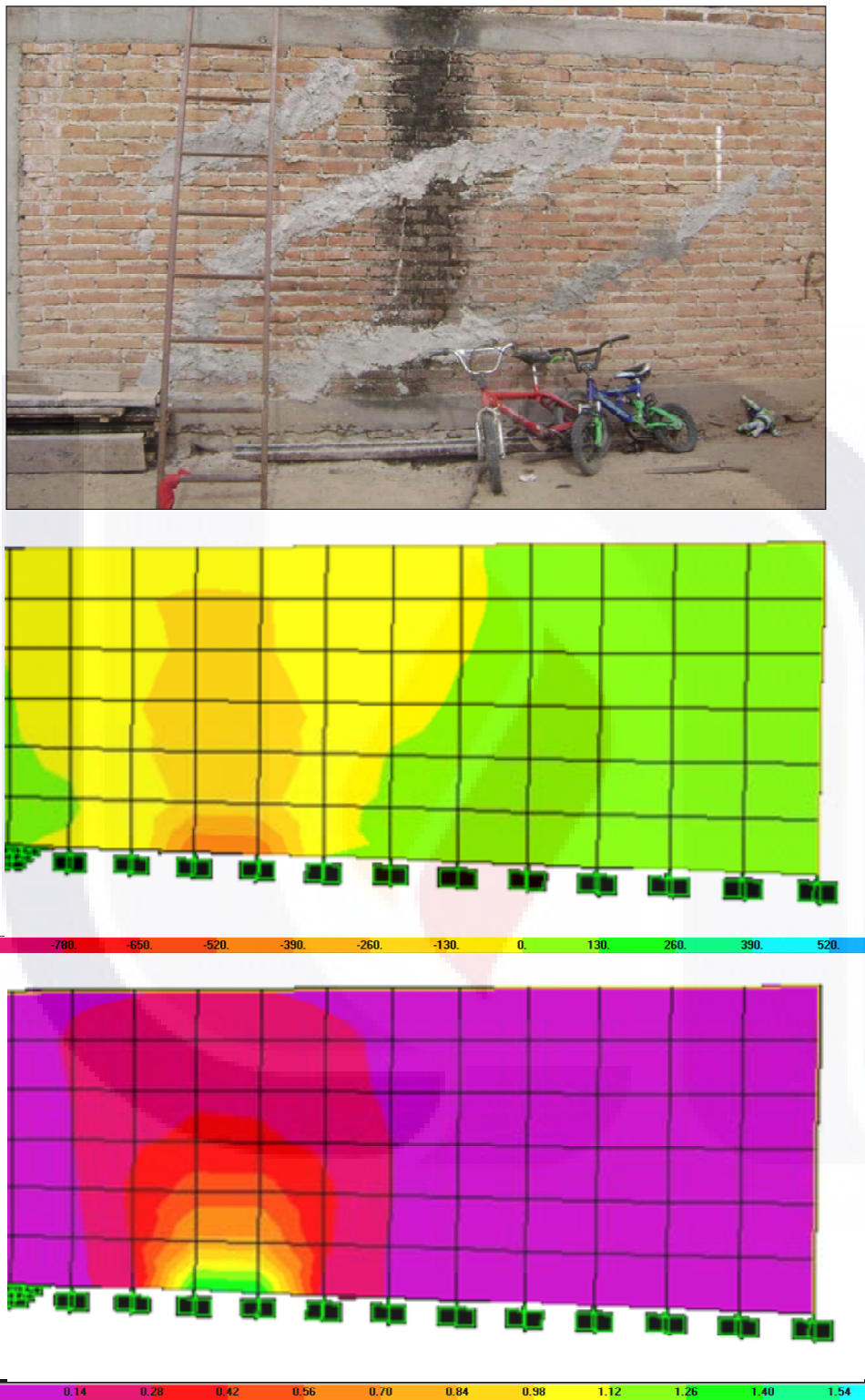


Figura 6.1. Fotografía de daños en Muro 1, diagrama de esfuerzos en el plano vertical en Muro 1, valores en $\text{Kgf} \times 10^3$ y diagrama de esfuerzos Von Mises en Muro 1, valores en $\text{Kgf} \times 10^6$.

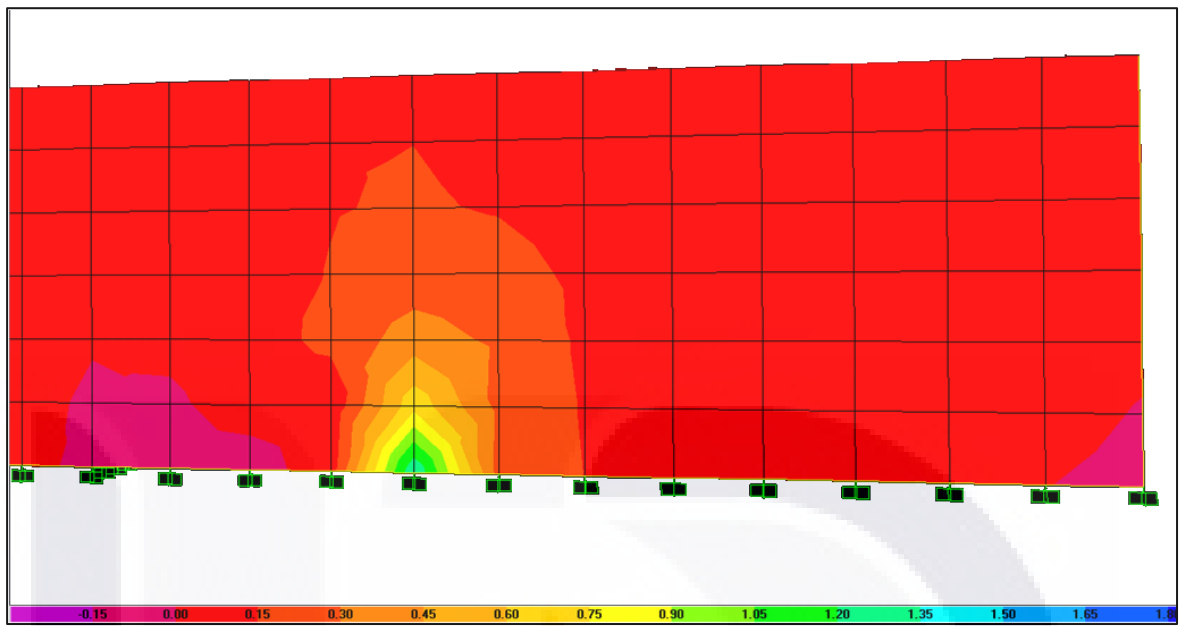


Figura 6.2. Diagrama de esfuerzo máximo en Muro 1, valores en Kgf X 10⁶.

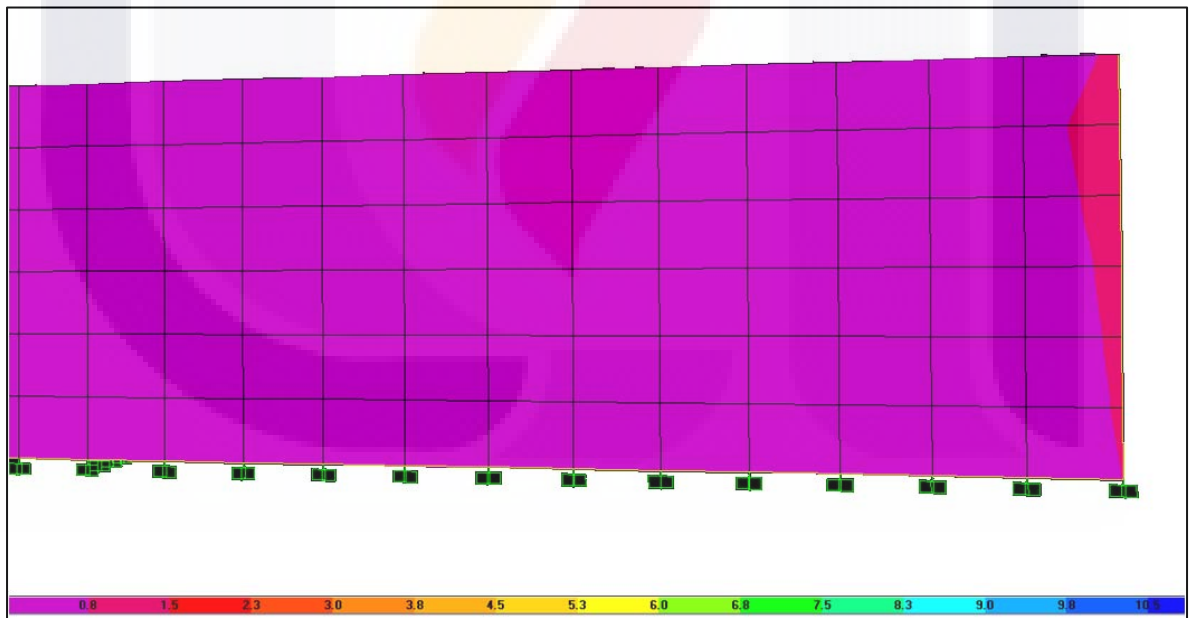


Figura 6.3. Diagrama de esfuerzo cortante máximo en Muro 1, valores en Kgf X 10³.

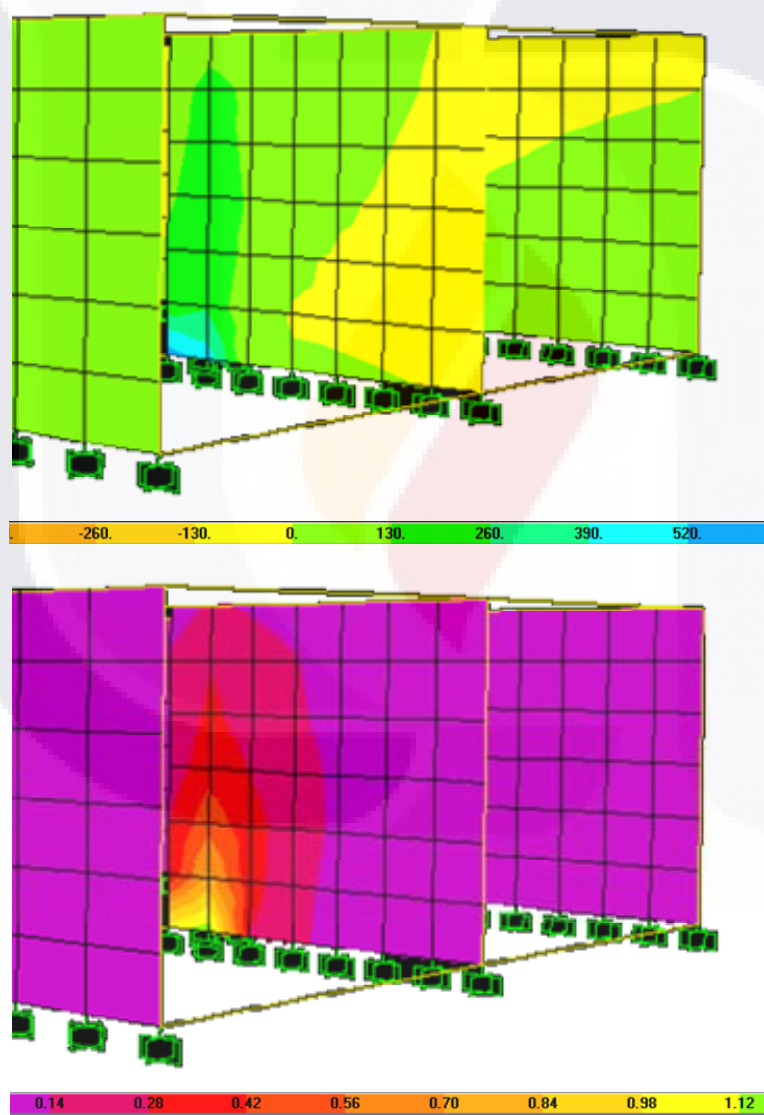


Figura 6.4. Fotografía de daños en Muro 2, diagrama de esfuerzos en el plano vertical en Muro 2, valores en $\text{Kgf} \times 10^3$ y diagrama de esfuerzos Von Mises en Muro 2, valores en $\text{Kgf} \times 10^6$.

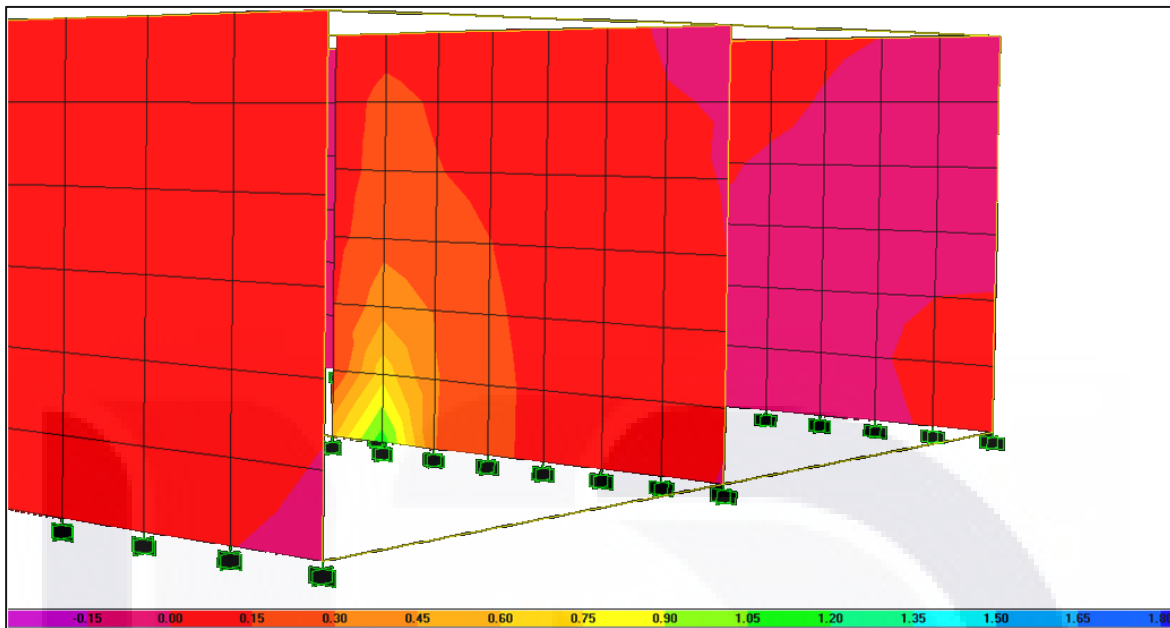


Figura 6.5. Diagrama de esfuerzo máximo en Muro 2, valores en $\text{Kgf} \times 10^6$.

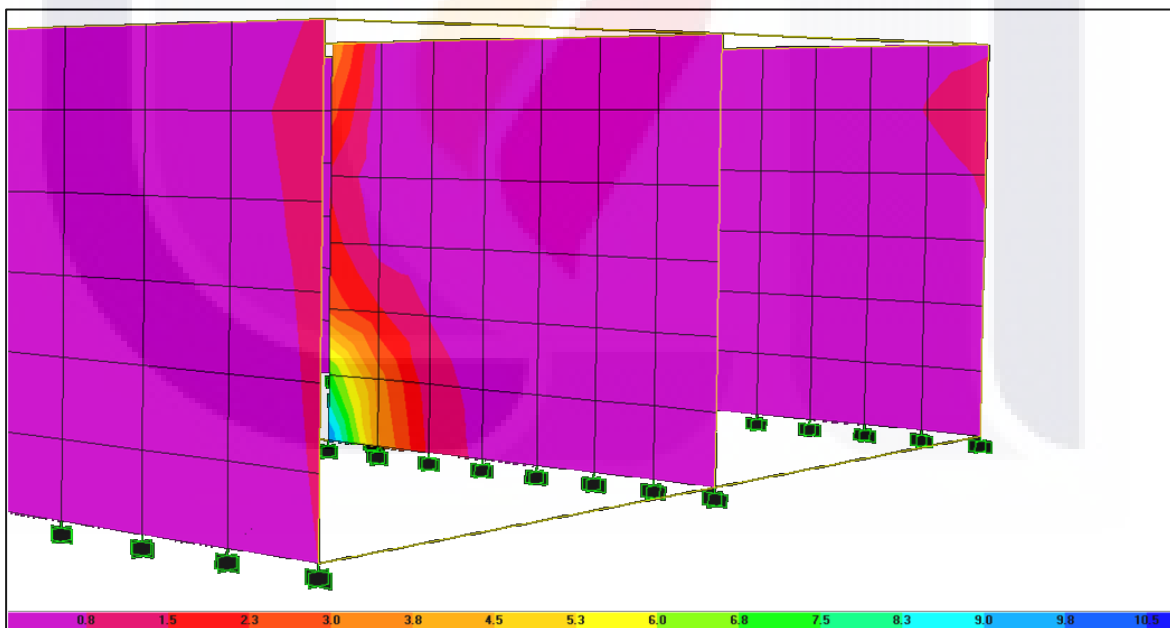
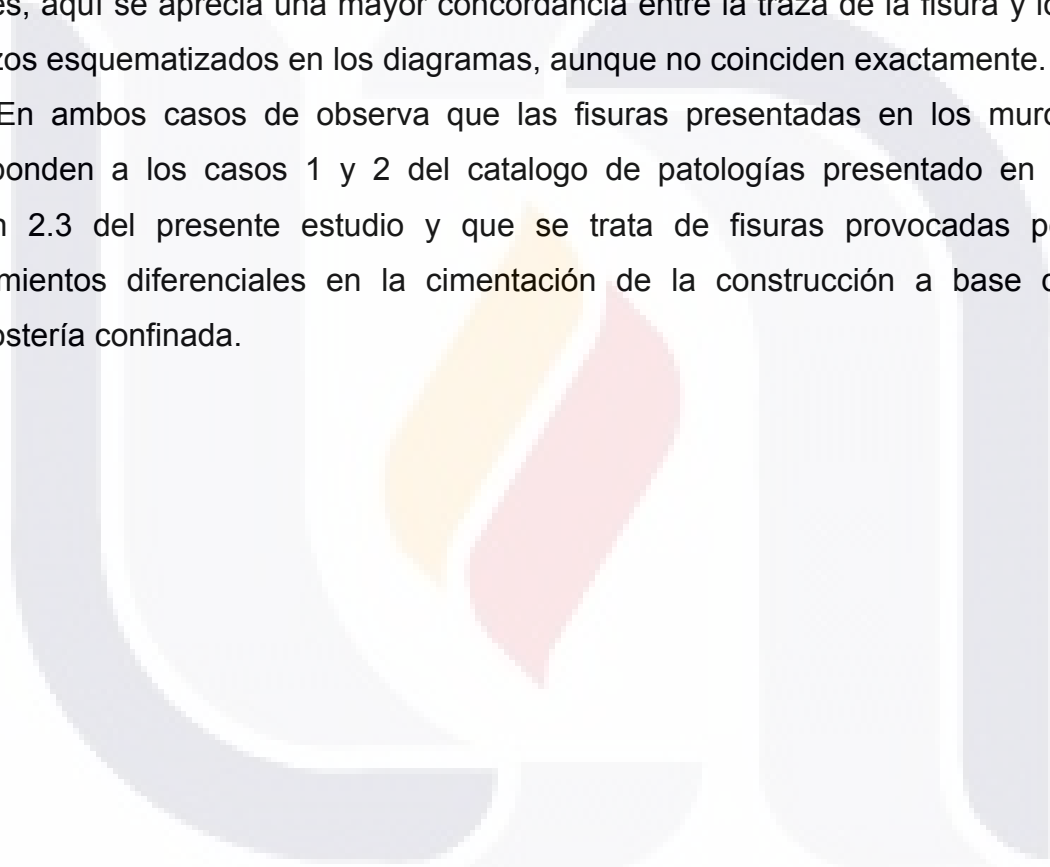


Figura 6.6. Diagrama de esfuerzo cortante máximo en Muro 2, valores en $\text{Kgf} \times 10^3$.

De igual manera la figura 6.4 presenta la fotografía y los diagramas de esfuerzos en el plano vertical y de Von Mises para el muro que delimita a la cochera al norte (Muro 2), la figura 6.5 muestra el diagrama de esfuerzo máximo correspondiente al Muro 2 y la figura 6.6 presenta el diagrama del esfuerzo cortante máximo también para el Muro 2.

En este caso el muro tiene una longitud menor que el otro muro afectado y la fisura es mas ancha y profunda, los diagramas reportan también esfuerzos mayores, aquí se aprecia una mayor concordancia entre la traza de la fisura y los esfuerzos esquematizados en los diagramas, aunque no coinciden exactamente.

En ambos casos se observa que las fisuras presentadas en los muros corresponden a los casos 1 y 2 del catalogo de patologías presentado en la sección 2.3 del presente estudio y que se trata de fisuras provocadas por asentamientos diferenciales en la cimentación de la construcción a base de mampostería confinada.





Capítulo 7

**Caracterización de los daños ocasionados
por la subsidencia de acuerdo a la
localización y orientación de la falla
dentro del predio**



CAPITULO 7

Caracterización de los daños ocasionados por la subsidencia de acuerdo a la localización y orientación de la falla dentro del inmueble.

Para comparar los efectos de la falla debido a su orientación respecto de los ejes ortogonales de la construcción, se propone utilizar la misma casa pero ahora variando la orientación y localización de la falla respecto a los ejes ortogonales de la construcción. La falla real que afecta a la vivienda en estudio tiene una orientación noreste-suroeste, trazando una diagonal con respecto a los ejes de la construcción, en la zona frontal del lote, entonces, primeramente se propone que la traza de la falla ahora se localice en sentido longitudinal respecto del lote, con una orientación de oriente a poniente, cruzando a lo largo a toda la casa, como se muestra en la figura 7.1.

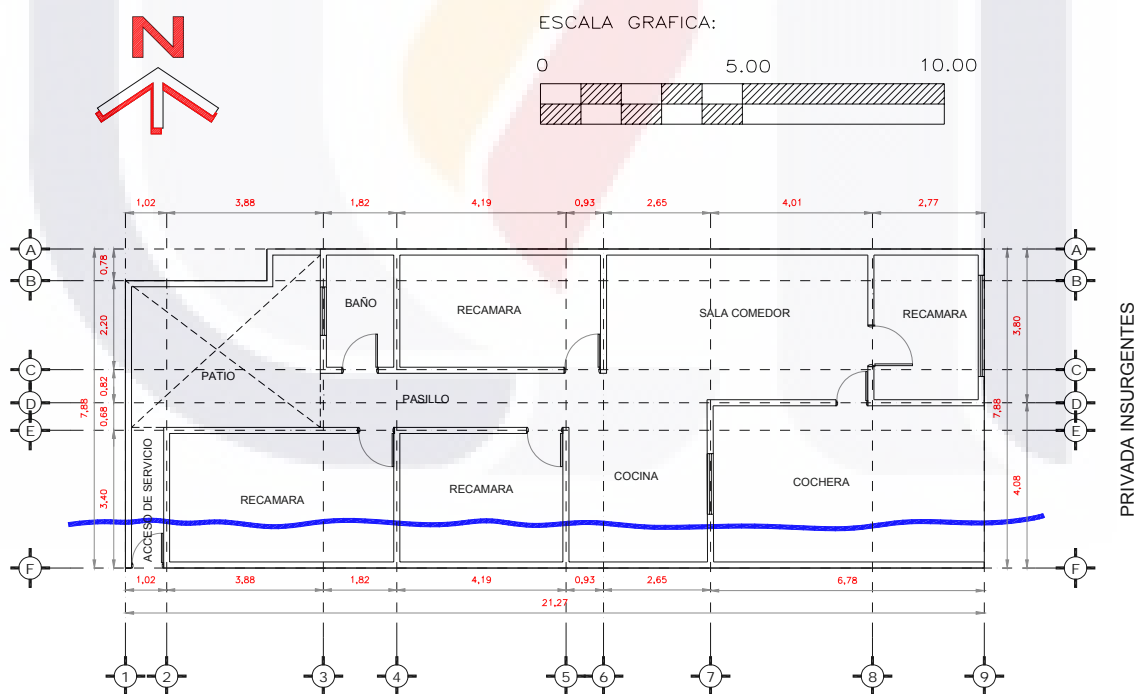


Figura 7.1 Plano arquitectónico de la casa habitación con la traza de la falla en sentido longitudinal.

Utilizando el modelo que ya se tenía de la casa habitación sin la afectación por la falla, se procede ahora a introducirle los desplazamientos que genera la nueva ubicación de la falla.

Al modelar en el SAP 2000, la nueva orientación de la falla se cuidó de asignar los mismos desplazamientos en los apoyos de los muros que los utilizados en la modelación de la vivienda con la falla original, para que la intensidad de la afectación resultara lo más similar posible.

Del análisis que arroja el programa se presenta en la figura 7.2 la configuración deformada para la localización de la falla longitudinal.

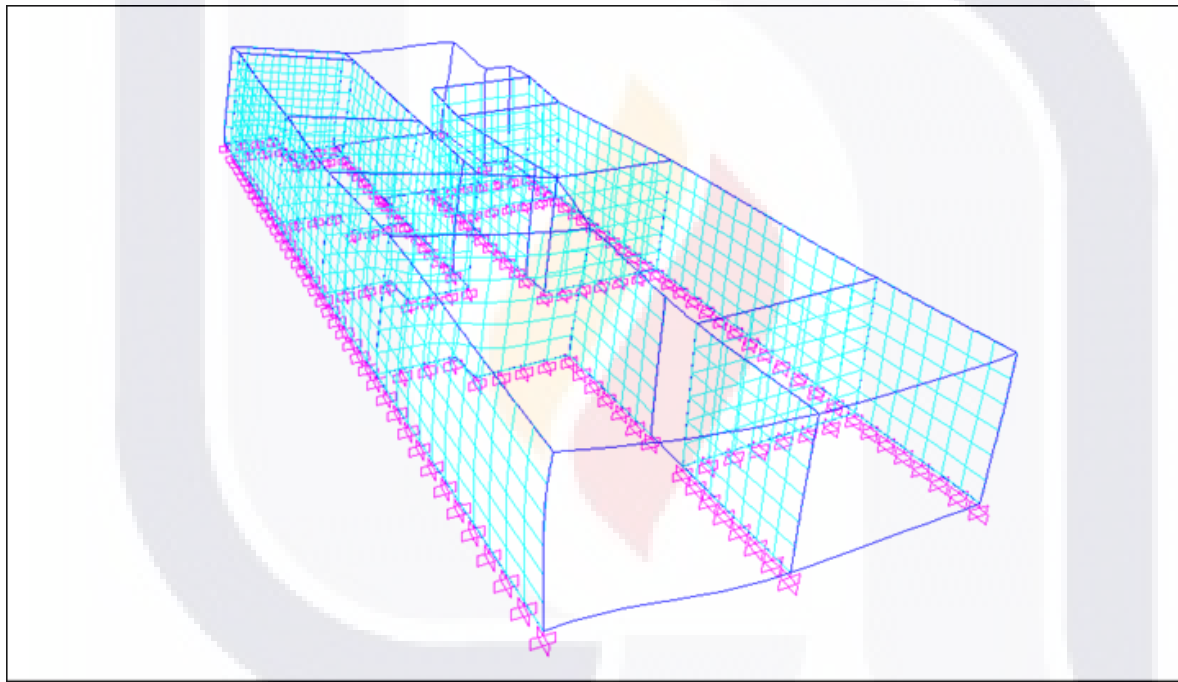


Figura 7.2 Configuración deformada de la estructura de la casa habitación por efecto de los desplazamientos ocasionados por los asentamientos diferenciales de la cimentación debidos a la falla en su orientación longitudinal.

En la imagen de la figura número 7.2 se observa que en esta orientación la falla afecta a un mayor número de muros, por lo tanto la casa en general se ve más dañada comparada con las otras orientaciones de la falla analizadas.

Para establecer los mismos parámetros de comparación, se obtuvieron los diagramas de los elementos mecánicos por separado de las cadenas de desplante de los muros que atraviesa la falla en esta orientación longitudinal.

Puede observarse que estos diagramas, figuras 7.3 a 7.7, son muy similares debido a que los muros y sus propiedades también lo son, además se utilizó el mismo valor del desplazamiento, es por eso que los valores obtenidos son muy similares, varían en relación con la longitud de cada muro.

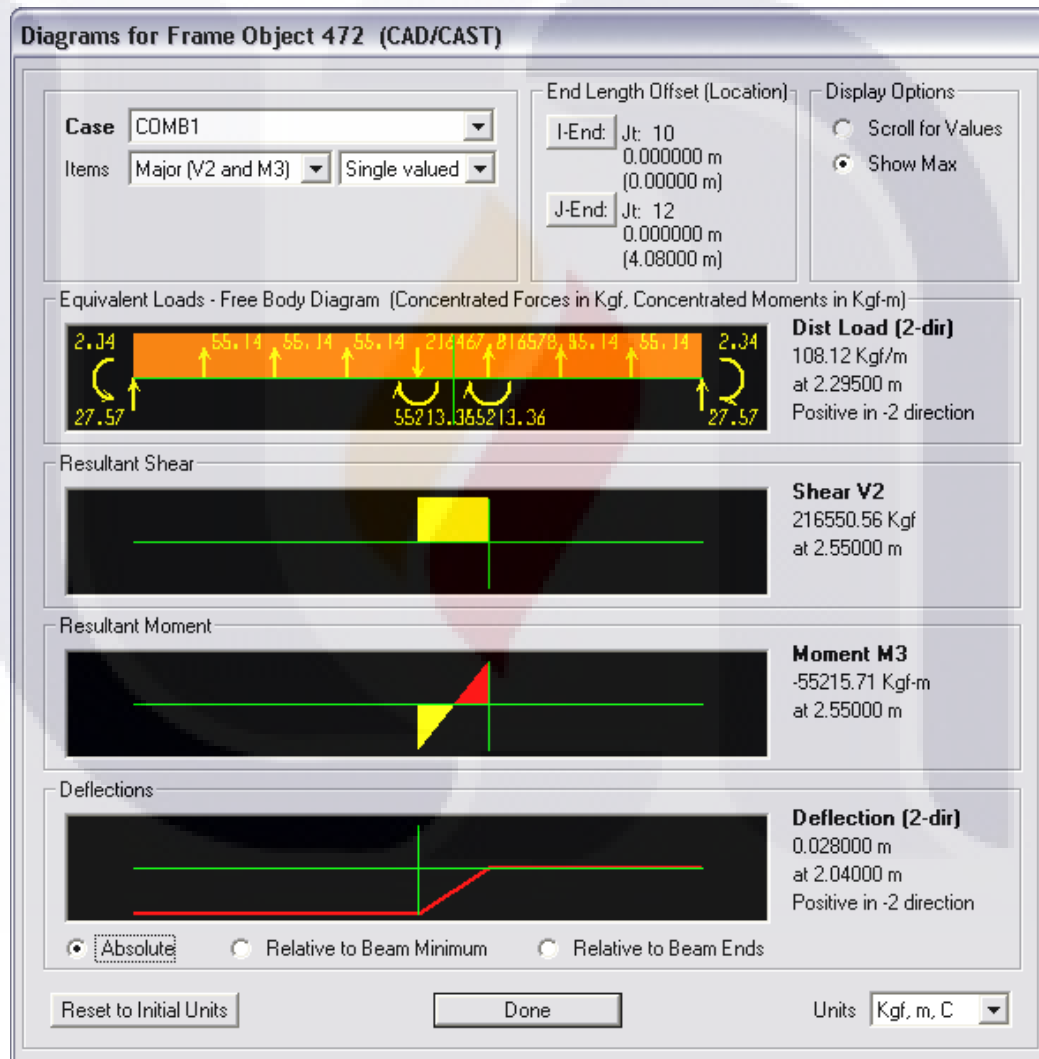


Figura 7.3. Elementos mecánicos de la cadena de desplante en el Muro 3 en los cuales se consideran los efectos generados por la falla longitudinal.

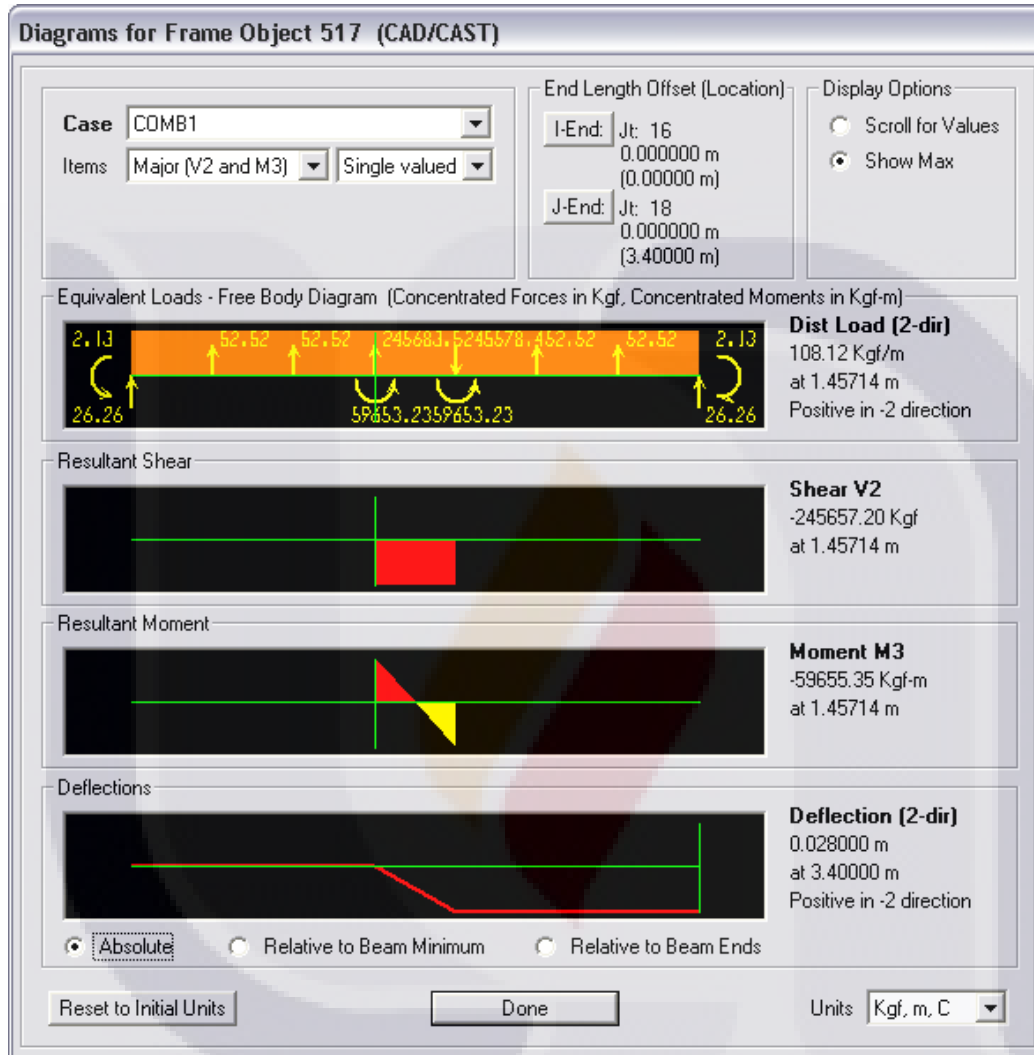


Figura 7.4. Elementos mecánicos de la cadena de desplante en el Muro 6 en los cuales se consideran los efectos generados por la falla longitudinal.

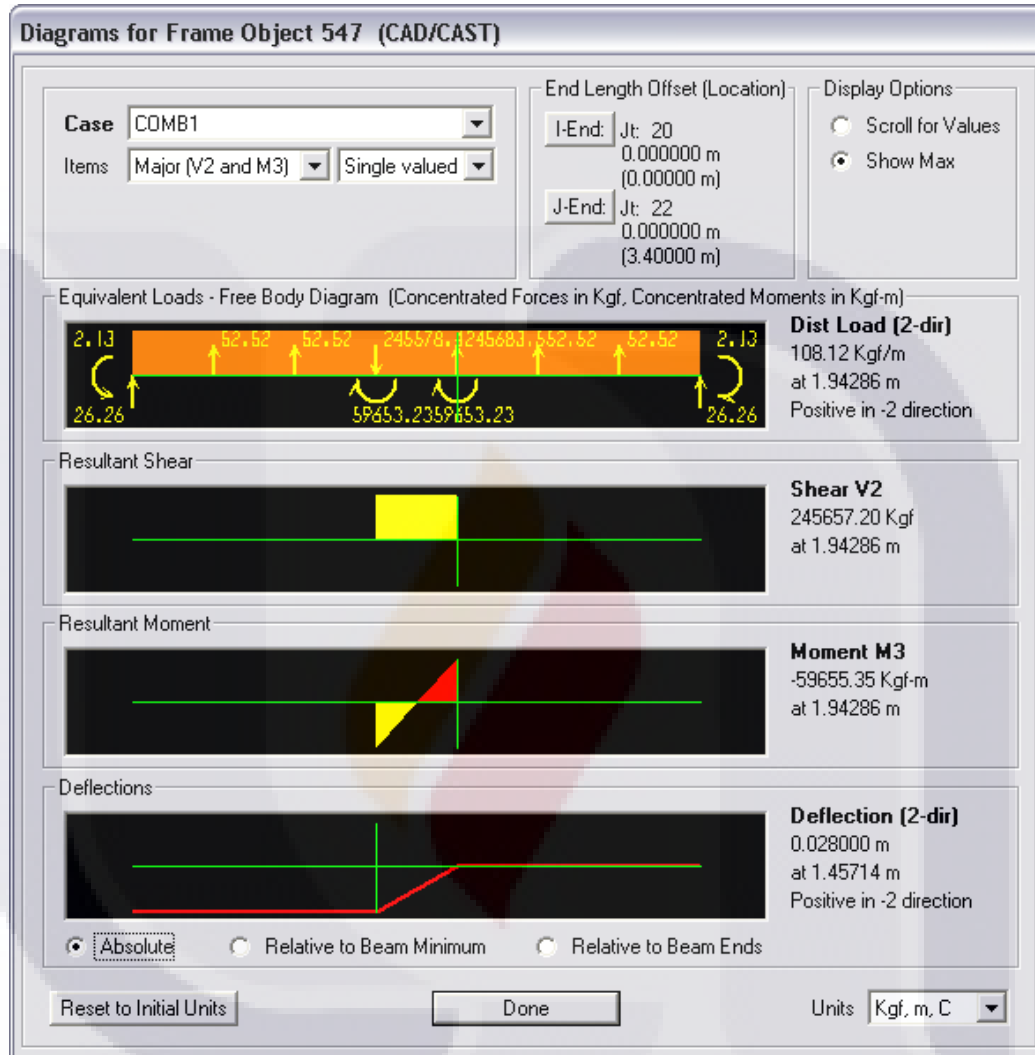


Figura 7.5. Elementos mecánicos de la cadena de desplante en el Muro 7 en los cuales se consideran los efectos generados por la falla longitudinal.

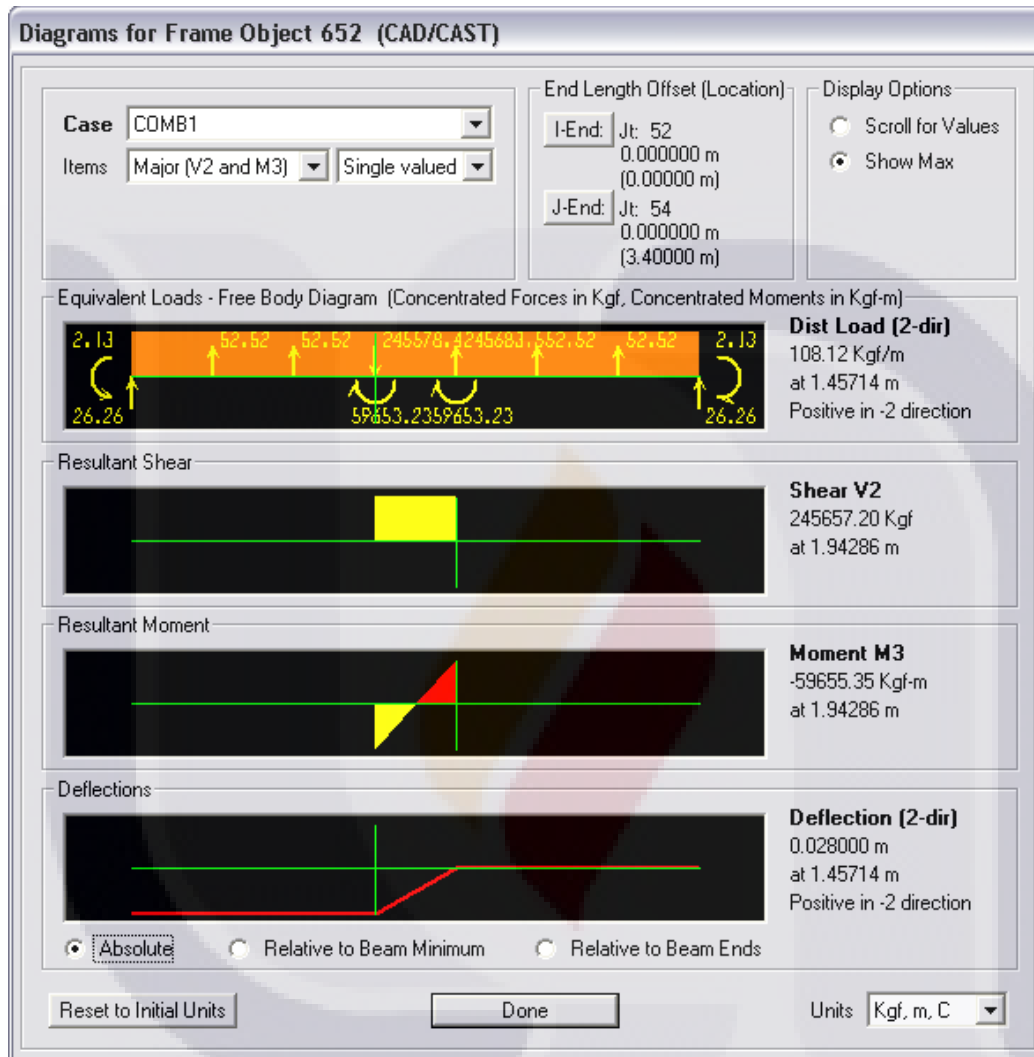


Figura 7.6. Elementos mecánicos de la cadena de desplante en el Muro 8 en los cuales se consideran los efectos generados por la falla longitudinal.

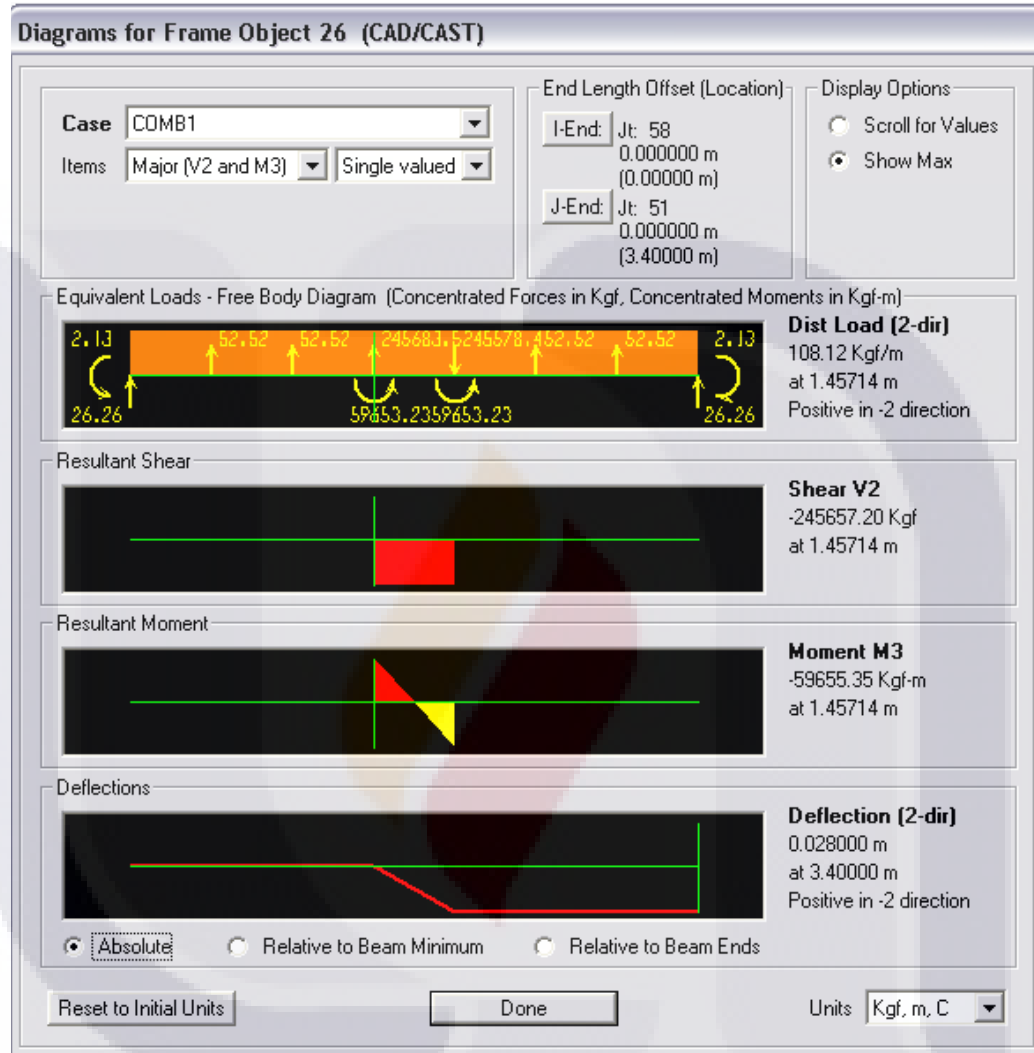


Figura 7.7. Elementos mecánicos de la cadena de desplante en el Muro 9 en los cuales se consideran los efectos generados por la falla longitudinal.

De igual manera se obtienen los diagramas del esfuerzo en el plano vertical, del esfuerzo Von Mises, del esfuerzo máximo y del esfuerzo cortante máximo para este caso en el cual la falla esta orientada de manera longitudinal al predio. Las figuras 7.8, 7.9, 7.10 y 7.11 reportan estos diagramas.

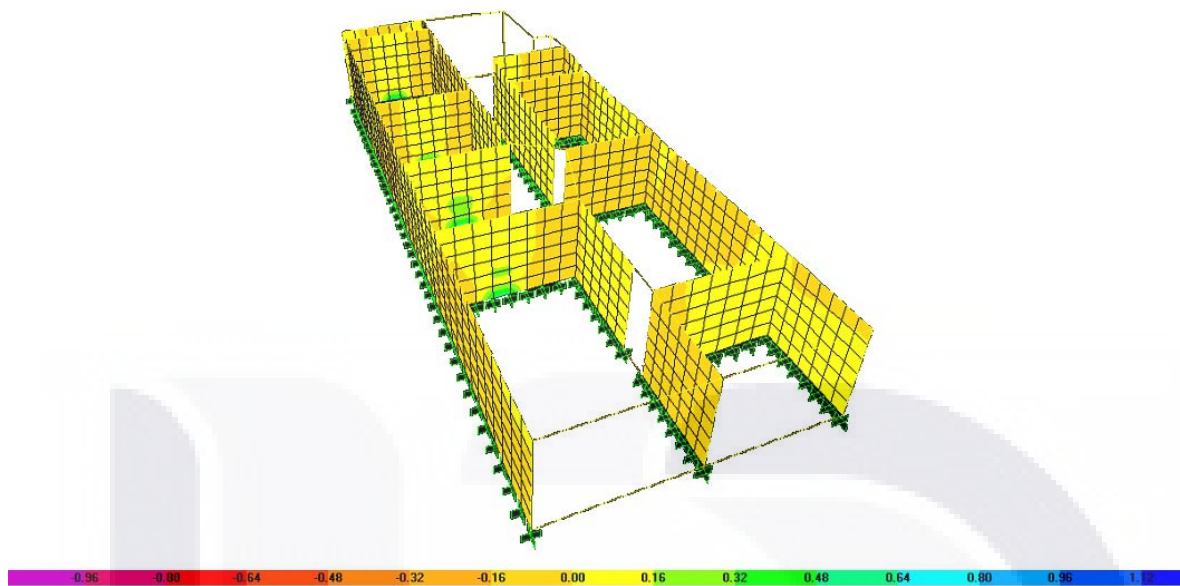


Figura 7.8. Diagrama de esfuerzo en el plano vertical que actúa en los paneles de los muros para el análisis del modelo considerando los efectos de la falla longitudinal, los valores indicados en la escala de colores inferior deberán ser multiplicados por 10^6 y se expresan en Kgf.

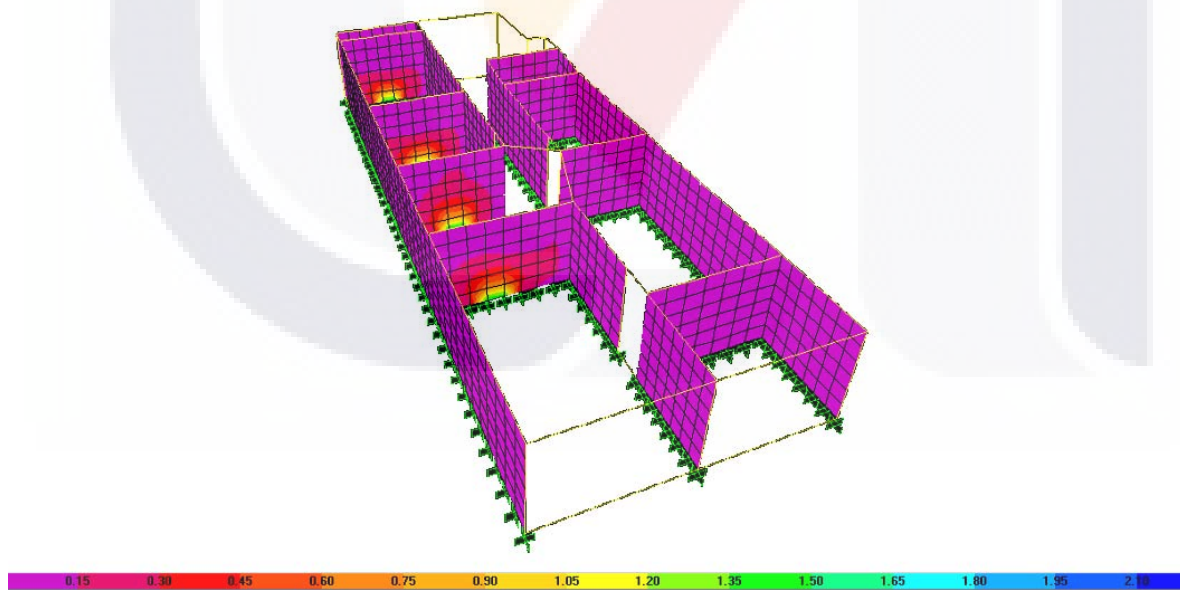


Figura 7.9. Diagrama de esfuerzo Von Mises que actúa en los paneles de los muros para el análisis del modelo considerando los efectos de la falla longitudinal, los valores indicados en la escala de colores inferior deberán ser multiplicados por 10^6 y se expresan en Kgf.

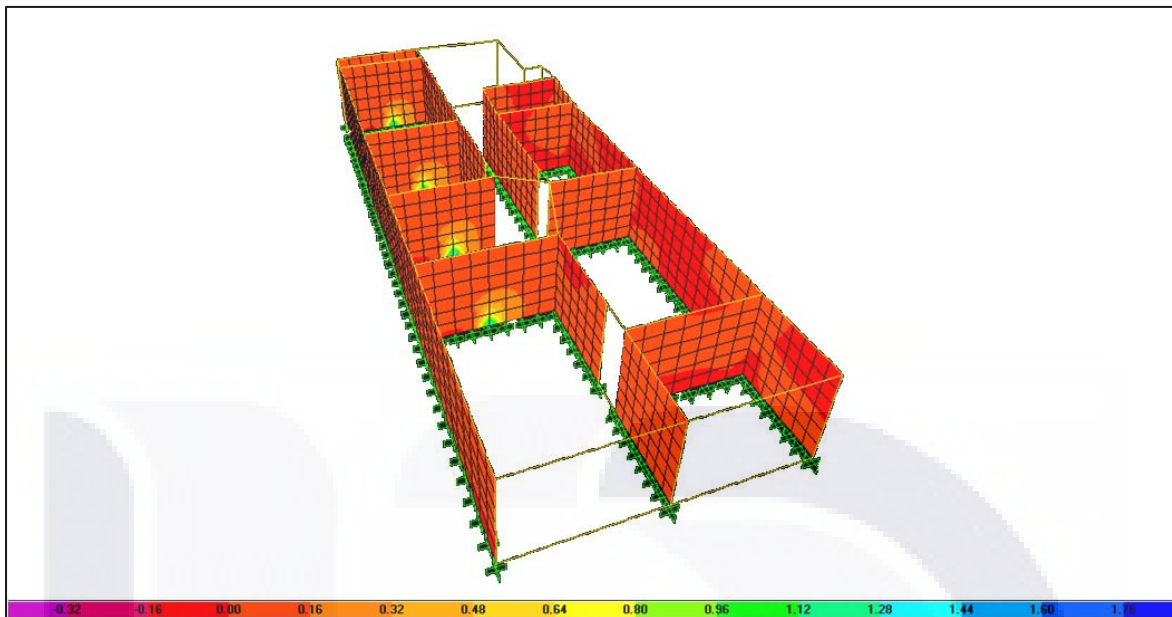


Figura 7.10. Diagrama de esfuerzo máximo que actúa en los paneles de los muros para el análisis del modelo considerando los efectos de la falla longitudinal, los valores indicados en la escala de colores inferior deberán ser multiplicados por 10^6 y se expresan en Kgf.

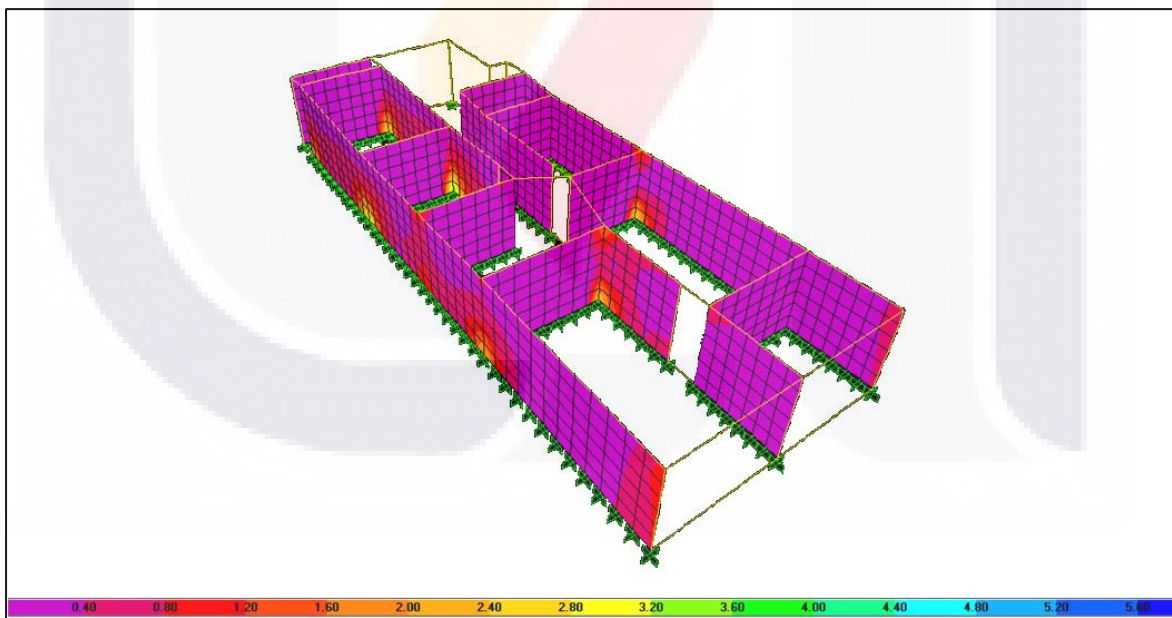


Figura 7.11. Diagrama de esfuerzo cortante máximo que actúa en los paneles de los muros para el análisis del modelo considerando los efectos de la falla longitudinal, los valores indicados en la escala de colores inferior deberán ser multiplicados por 10^3 y se expresan en Kgf.

Para completar el presente estudio se hace ahora el análisis considerando una orientación de la falla en el sentido transversal de los ejes ortogonales de la construcción, la figura 7.12 representa el plano arquitectónico de la vivienda con la traza de la falla en la orientación norte-sur, cruzando la casa en todo lo ancho.

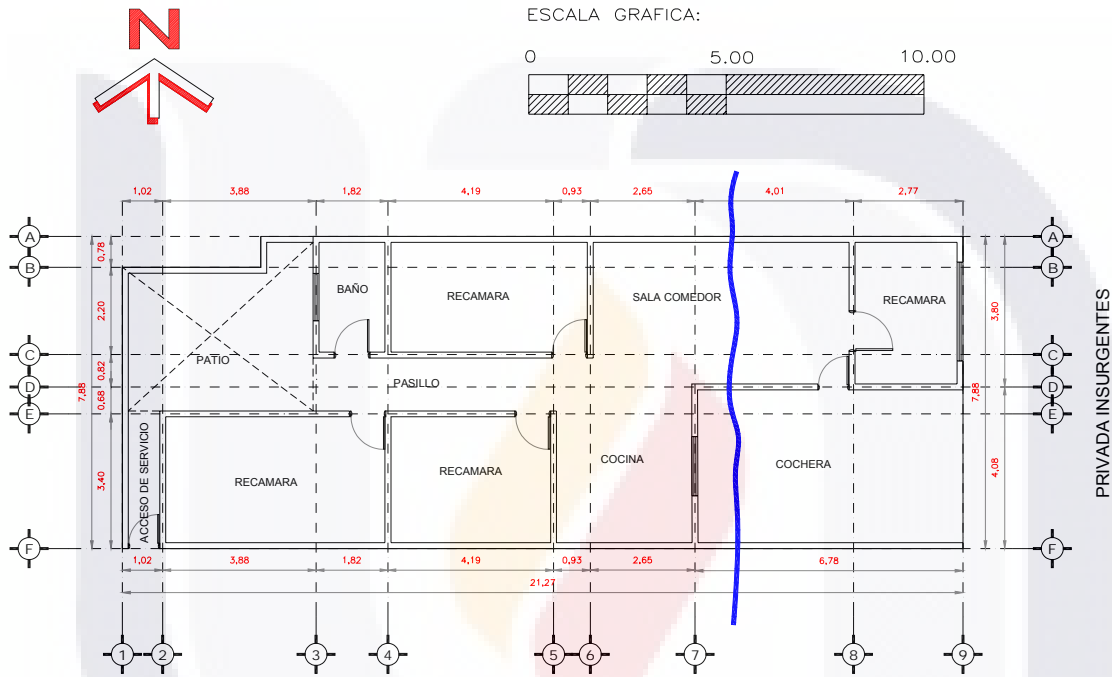


Figura 7.12 Plano arquitectónico de la casa habitación con la traza de la falla en sentido transversal.

Procediendo de igual manera que en el caso anterior, tomando el modelo que ya se tiene en el programa de la casa habitación sin falla, se suman a las solicitaciones contenidas (carga muerta y carga viva), los desplazamientos en la cimentación, con los cuales se modela el efecto de la falla, con valores iguales a los de la falla real para que los resultados sean comparables con los ya obtenidos.

La configuración deformada de la estructura que muestra los desplazamientos que simulan el efecto de la falla considerando ahora su nueva orientación transversal, es presentada en la figura 7.13

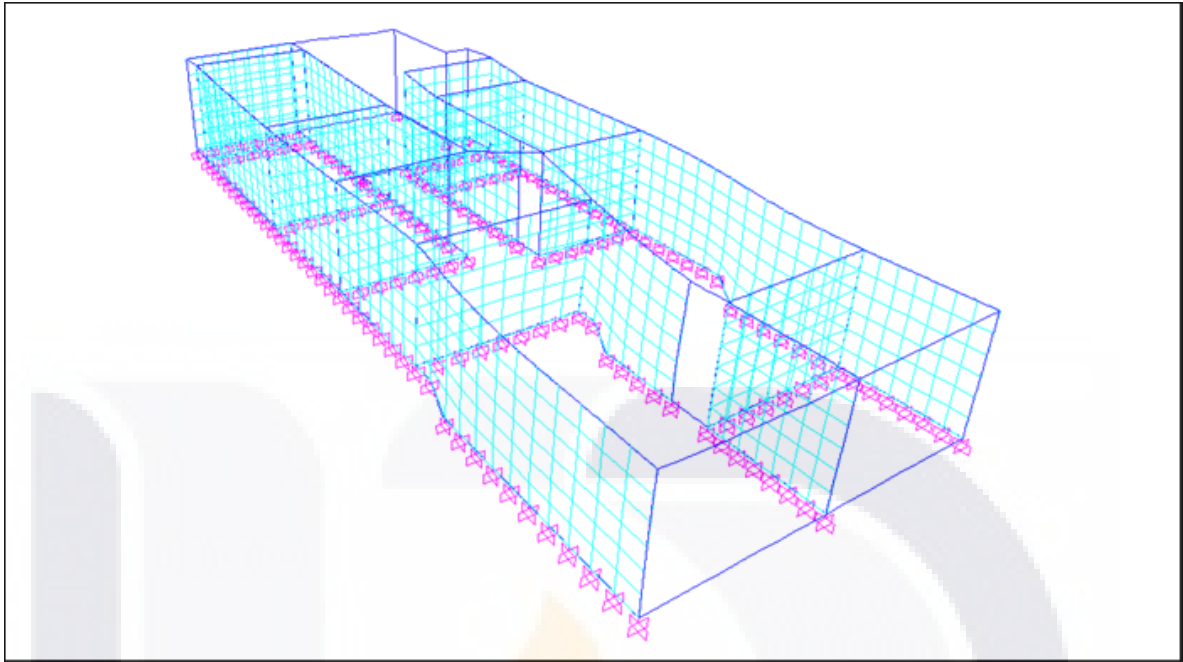


Figura 7.13 Configuración deformada de la estructura de la casa habitación por efecto de los desplazamientos ocasionados por los asentamientos diferenciales de la cimentación debidos a la falla en su orientación transversal.

Para este caso en que la falla se ubica transversalmente en relación al predio, los muros afectados son tres, como se constata en la figura 7.13, una vez terminado el análisis realizado por medio del programa SAP 2000, se obtienen los elementos mecánicos para cada una de las cadenas de desplante correspondientes a dichos muros.

Las figuras 7.14, 7.15 y 7.16 muestran los elementos mecánicos que resultan del análisis estructural, para cada una de las tres cadenas de desplante de los muros afectados.

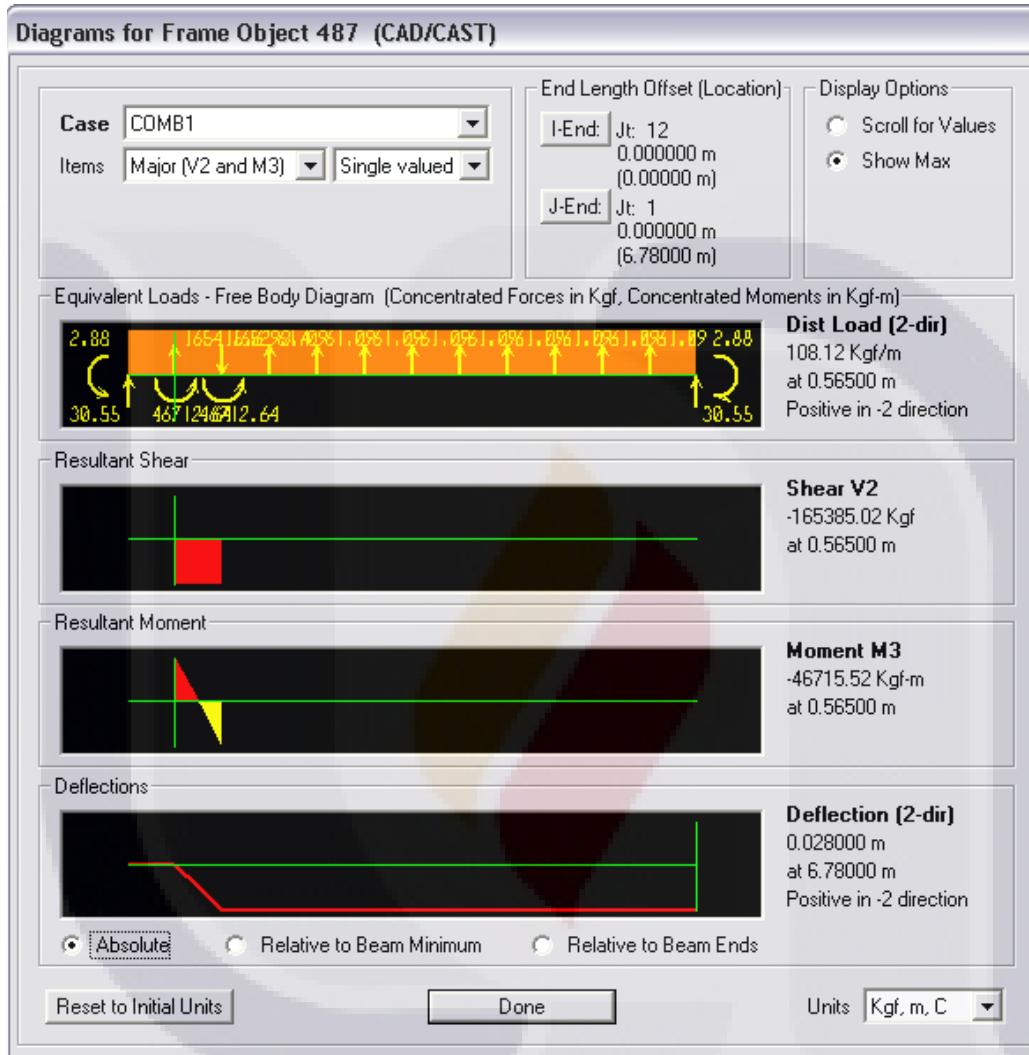


Figura 7.14. Elementos mecánicos de la cadena de desplante en el Muro 1 en los cuales se consideran los efectos generados por la falla transversal.

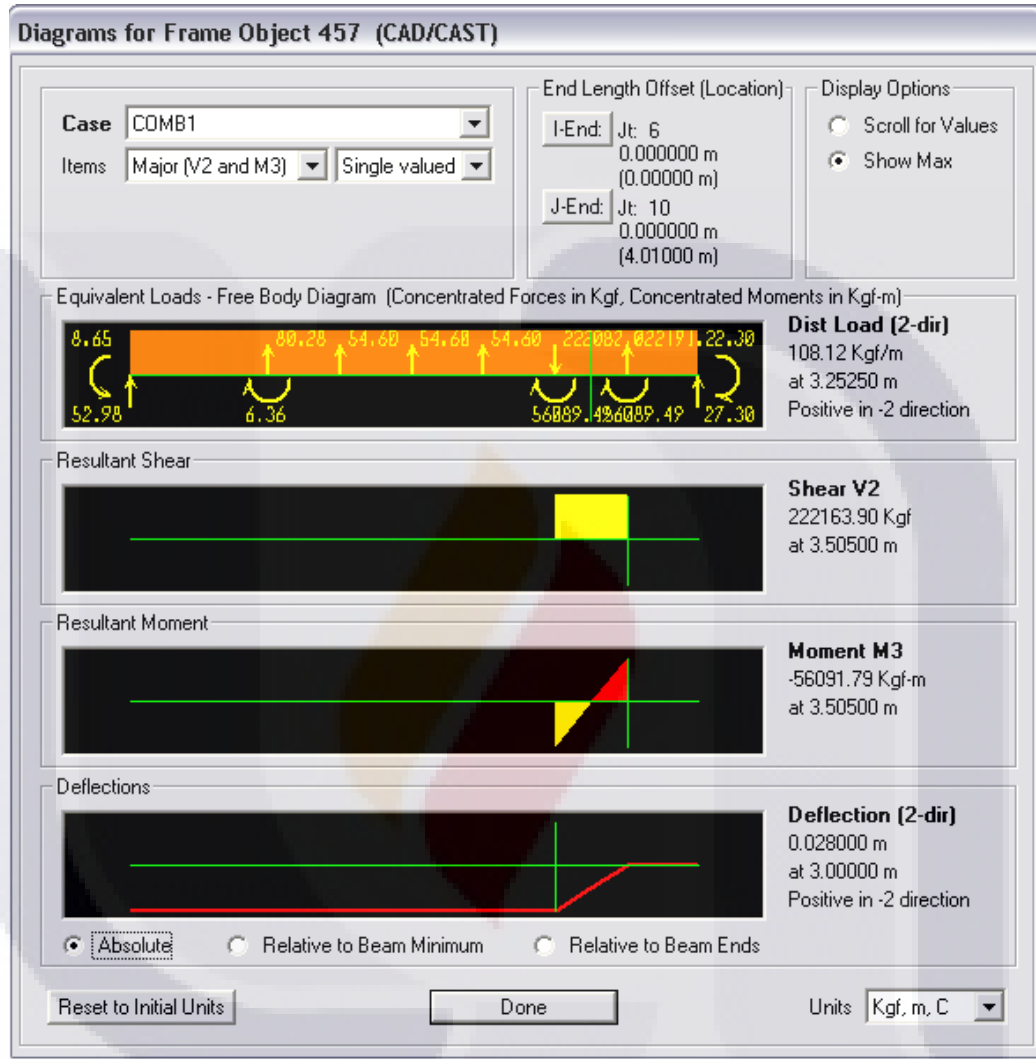


Figura 7.15. Elementos mecánicos de la cadena de desplante en el Muro 4 en los cuales se consideran los efectos generados por la falla transversal.

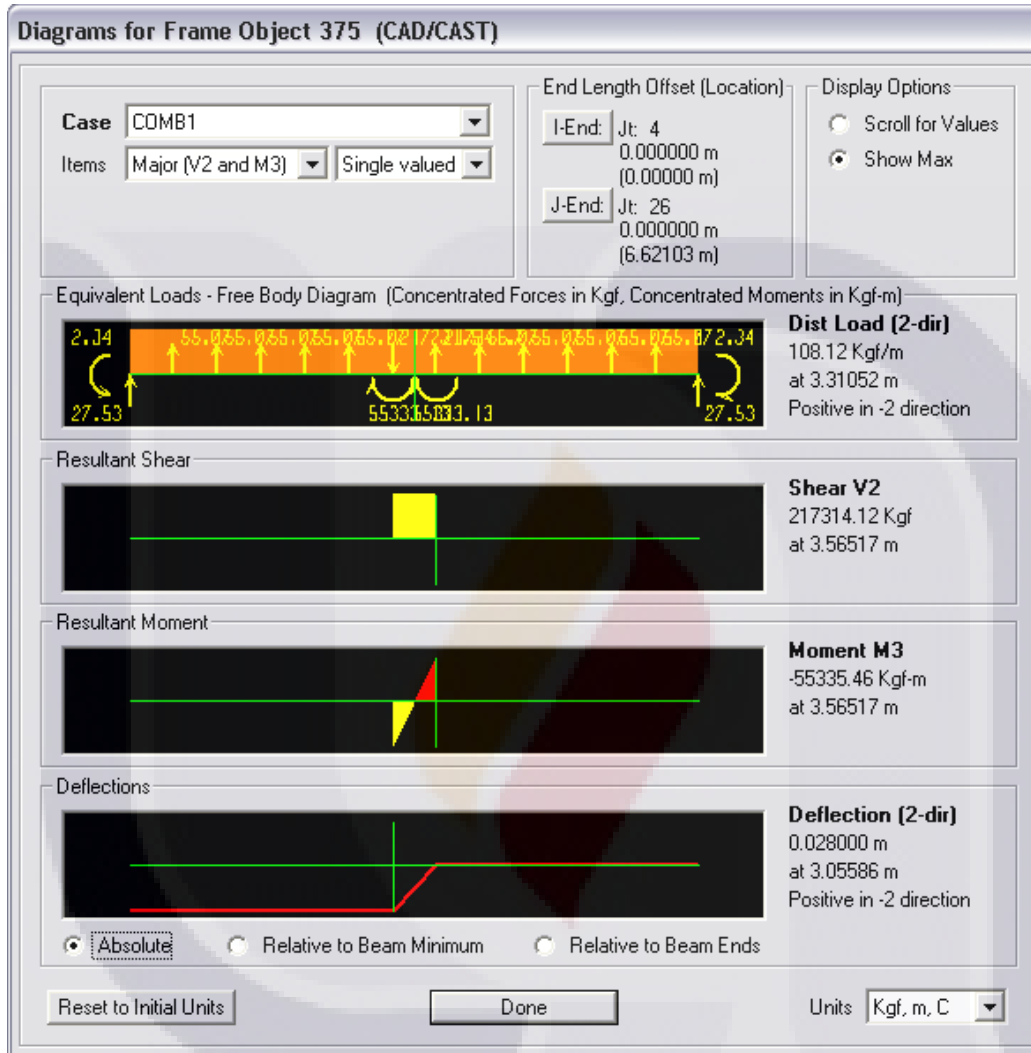


Figura 7.16. Elementos mecánicos de la cadena de desplante en el Muro 5 en los cuales se consideran los efectos generados por la falla transversal.

En este caso también se obtienen los diagramas del esfuerzo en el plano vertical, del esfuerzo Von Mises, del esfuerzo máximo y del esfuerzo cortante máximo para cuando la falla se encuentra orientada de manera transversal respecto al predio. Las figuras 7.17, 7.18, 7.19 y 7.20 muestran las imágenes de estos diagramas.

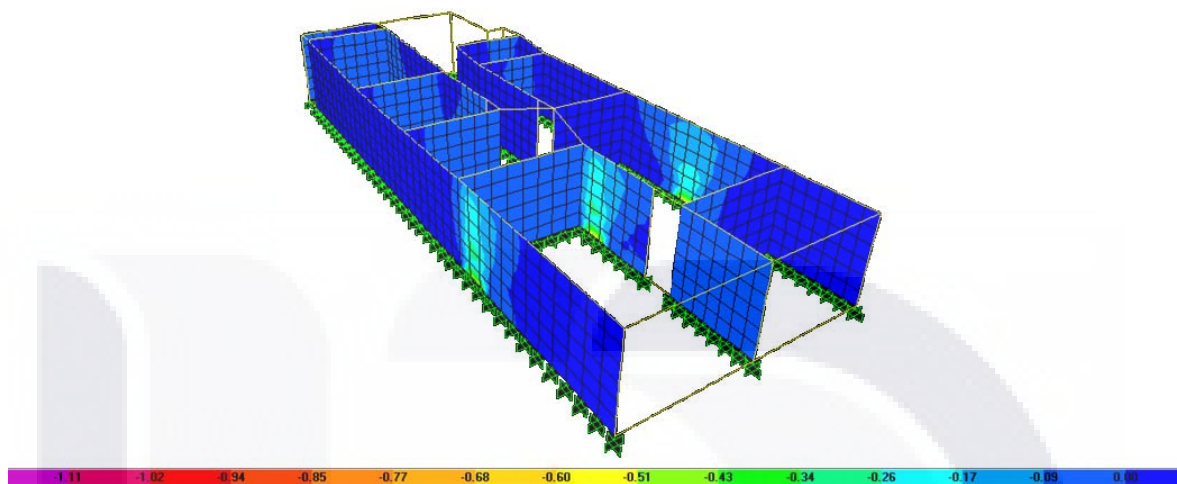


Figura 7.17. Diagrama de esfuerzo en el plano vertical que actúa en los paneles de los muros para el análisis del modelo considerando los efectos de la falla transversal, los valores indicados en la escala de colores inferior deberán ser multiplicados por 10^6 y se expresan en Kgf.

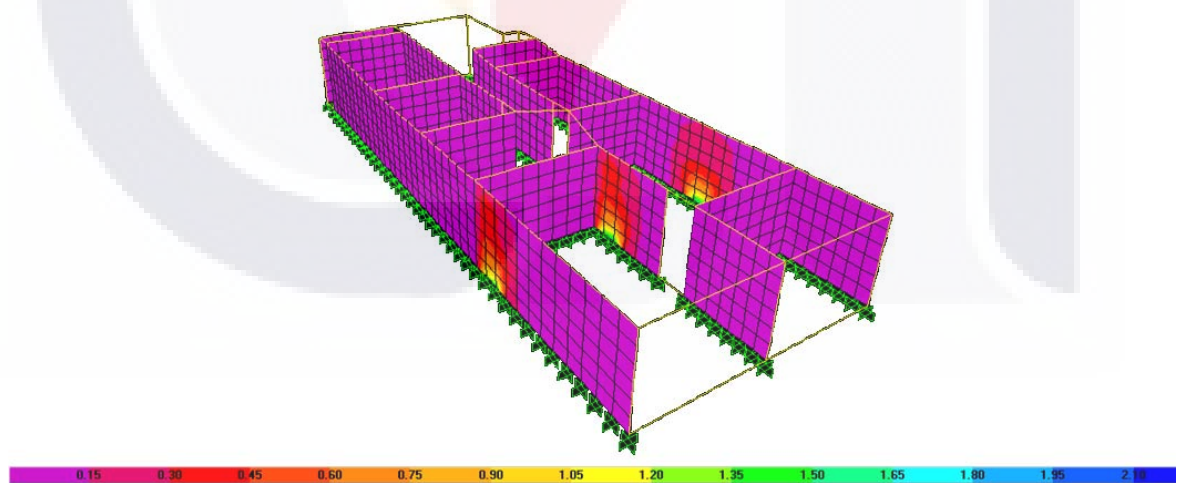


Figura 7.18. Diagrama de esfuerzo Von Mises que actúa en los paneles de los muros para el análisis del modelo considerando los efectos de la falla transversal, los valores indicados en la escala de colores inferior deberán ser multiplicados por 10^6 y se expresan en Kgf.

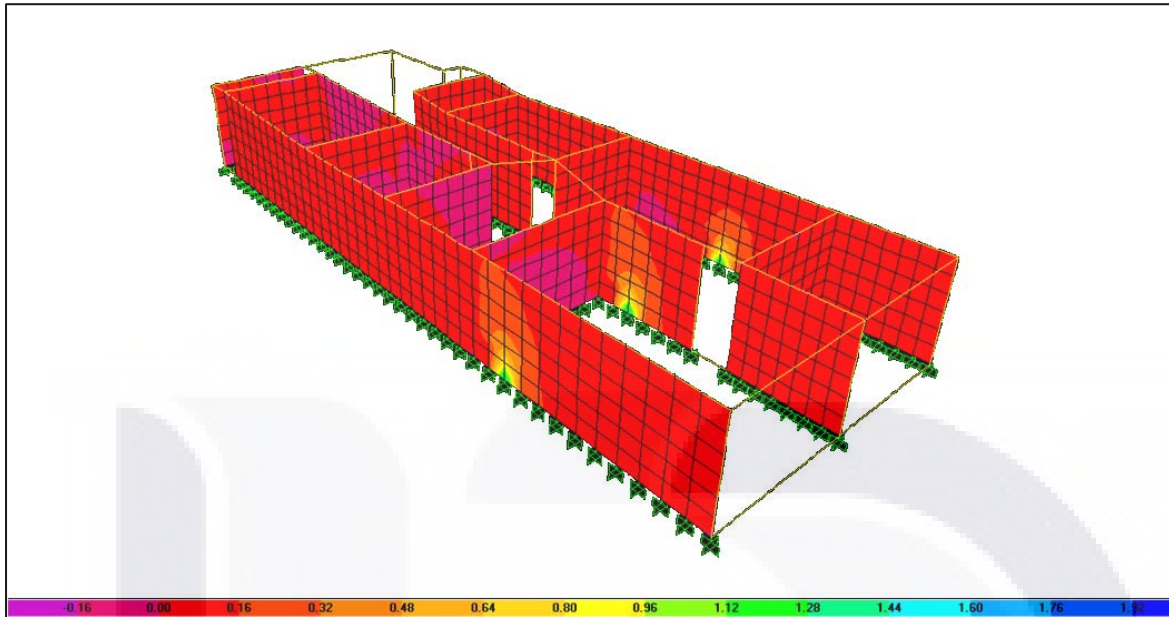


Figura 7.19. Diagrama de esfuerzo máximo que actúa en los paneles de los muros para el análisis del modelo considerando los efectos de la falla transversal, los valores indicados en la escala de colores inferior deberán ser multiplicados por 10^6 y se expresan en Kgf.

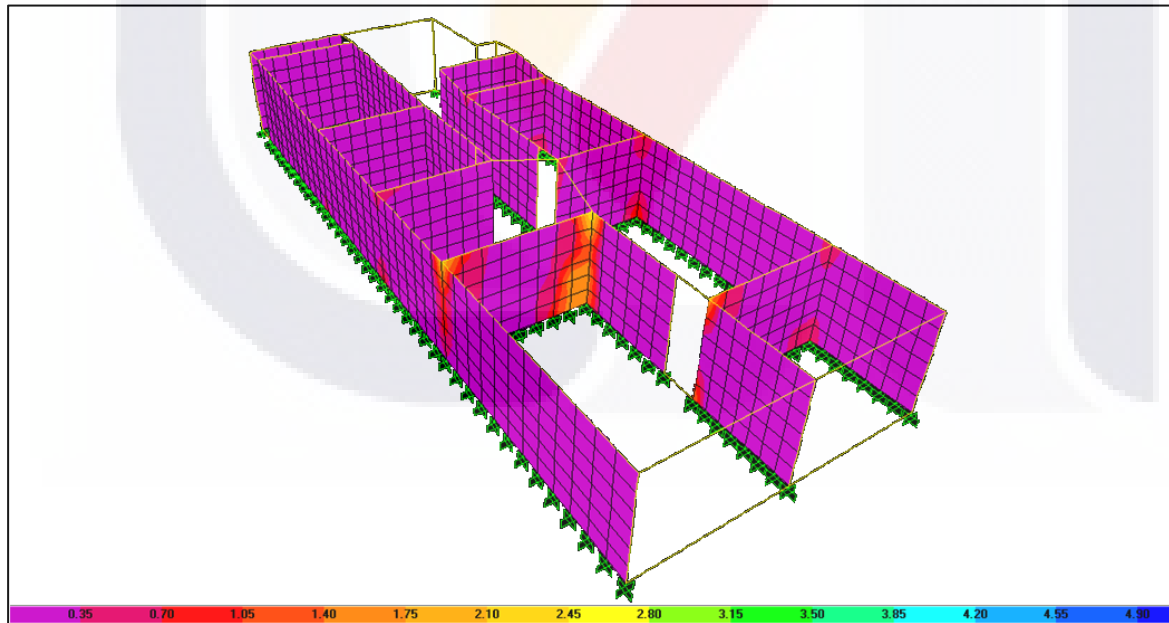


Figura 7.20. Diagrama de esfuerzo cortante máximo que actúa en los paneles de los muros para el análisis del modelo considerando los efectos de la falla transversal, los valores indicados en la escala de colores inferior deberán ser multiplicados por 10^3 y se expresan en Kgf.

Con los datos obtenidos de los análisis realizados de acuerdo a las diferentes orientaciones y localizaciones de la falla con respecto a los ejes ortogonales de la construcción, se elaboran las tablas comparativas para el cortante V2 (Tabla 7.1) y para el momento M3 (Tabla 7.2) con la finalidad de resumir todos los resultados y facilitar la comparación.

CORTANTE V2 en cadena de desplante				
Elemento	Casa sin falla	Falla Real	Falla Longitudinal	Falla Transversal
Muro 1	30.55 kgf	165,385.02 kgf		165,385.20 kgf
Muro 2	21.39 kgf	234,037.92 kgf		
Muro 3			216,550.56 kgf	
Muro 4				222,163.90 kgf
Muro 5				217,314.12 kgf
Muro 6			245,657.20 kgf	
Muro 7			245,657.20 kgf	
Muro 8			245,657.20 kgf	
Muro 9			245,657.20 kgf	

Tabla 7.1. Valores obtenidos del cortante V2 para las cadenas de desplante de los muros afectados con las diferentes orientaciones y localizaciones de la falla respecto al predio.

MOMENTO M3 en cadena de desplante				
Elemento	Casa sin falla	Falla Real	Falla Longitudinal	Falla Transversal
Muro 1	2.88 kgf-m	46,715.52 kgf-m		46,715.52 kgf-m
Muro 2	1.41 kgf-m	46,303.25 kgf-m		
Muro 3			55,215.71 kgf-m	
Muro 4				56,091.79 kgf-m
Muro 5				55,335.46 kgf-m
Muro 6			59,655.35 kgf-m	
Muro 7			59,655.35 kgf-m	
Muro 8			59,655.35 kgf-m	
Muro 9			59,655.35 kgf-m	

Tabla 7.2. Valores obtenidos del momento M3 para las cadenas de desplante de los muros afectados con las diferentes orientaciones y localizaciones de la falla respecto al predio.





Capítulo 8

Conclusiones



CAPITULO 8

Conclusiones

El objetivo del presente trabajo es tipificar los daños ocasionados a una construcción con motivo de la afectación de una falla ocasionada por el fenómeno de la subsidencia por sobreexplotación del acuífero, para lograrlo se procedió en dos etapas, la primera consistió en el análisis estructural de una vivienda afectada por falla, reproduciendo los daños que ésta le provoca y obteniendo sus elementos mecánicos, para entender cómo opera el mecanismo de falla en los muros de mampostería confinada.

En una segunda etapa y con la finalidad de observar si la localización y orientación de la falla dentro del predio influenciaba en la magnitud de los daños causados, se analizaron diferentes localizaciones y orientaciones de la falla con respecto a los ejes ortogonales de la construcción.

La interacción suelo-estructura en este caso a través del fenómeno de la subsidencia que produce asentamientos diferenciales en la cimentación es bastante complejo, entran en juego diversos factores que deben considerarse, el presente trabajo constituye únicamente un primer acercamiento muy simple a la comprensión del mecanismo de afectación de una construcción por el paso de una falla.

La trayectoria de la falla dentro del predio en estudio se supone de manera empírica en base a los daños causados en las construcciones, se requieren estudios más detallados para definirla con mayor certeza, como la realización de excavaciones, estudios gravimétricos, etc., que estuvieron fuera del alcance del presente trabajo.

Los diagramas de esfuerzos en el plano vertical, de esfuerzos de Von Mises y de esfuerzo máximo obtenidos indican el lugar donde se genera la fisura en el muro que coincide con la realidad expresada por las fotografías del inmueble, sin embargo la traza que sigue la fisura en la superficie del muro no es muy clara, lo cual se cree se debe a la diferencia en la resistencia a los esfuerzos de tensión existente entre la cadena de desplante y el muro de tabique.

Al generarse los asentamientos diferenciales en la cimentación, la cadena de desplante se deforma inicialmente sin llegar a fracturarse pero deformándose lo suficiente como para sí provocar una fisura en la superficie del muro de tabique.

En los diagramas del esfuerzo cortante máximo se observa que el incremento en el cortante se da preferentemente alrededor de las uniones entre los muros afectados y sus colindantes, en la zona de los castillos.

Considerando estas limitaciones, es posible concluir de acuerdo a los resultados obtenidos que si existe una diferencia en la afectación que genera una falla en una construcción con motivo de su ubicación y orientación con respecto a los ejes ortogonales del proyecto, en el caso estudiado resulta que la orientación en sentido longitudinal es la más desfavorable, ya que produce los elementos mecánicos mayores, el cortante y el momento, esto tiene lógica puesto que es en esta orientación en se produce afectación a un mayor número de elementos estructurales y a un área más extensa de la casa.

Sin embargo, considero que es difícil extrapolar estos resultados a otras viviendas, ya que cada distribución es diferente, como también su estructuración, por lo que estos resultados pueden variar al considerar otros diseños, como se menciona anteriormente este es un primer acercamiento al problema, se recomienda para estudios posteriores el tratar de definir con mayor certeza la traza de la falla, el desnivel causado por ella y de ser posible descubrir físicamente los elementos dañados para observar con más precisión los detalles de la afectación.

Una línea de investigación futura pudiera consistir el estudio del mismo caso pero ahora realizando un análisis “acoplado”, considerando la construcción y el terreno, modelándolos juntos en las mallas de elemento finito, a la manera de los análisis para afectación por túneles, como se describe en el capítulo de estado del arte del presente trabajo.

Referencias

Augarde C.E., 1997, Numerical Modelling of Tunnelling Processes for Assessment of Damages to Buildings: DPhil thesis, Oxford University, 262 p.

Arroyo, G.M., Zermeño, M.E., Castañeda, J.A., et al, 2004, El Agrietamiento en Aguascalientes, Causas y efectos: Universidad Autónoma de Aguascalientes, 227 p.

Ávila, P., Bravo, J., Muñiz, I., 2002, Estudio Geológico-Estructural de Valle de Aguascalientes, Levantamiento y Análisis de las Fallas Geológicas: Gobierno del Estado de Aguascalientes-MYMEX, S.A. de C.V., planos.

Burbey, T.J., 2002, The influence of faults in basin-fill deposits on land subsidence, Las Vegas, Nevada, U.S.A.: Hydrogeology Journal, 10, p. 525-538.

Burd, H.J., Houlsby, G.T., Augarde, C.E., Liu, G., 2000, Modelling the effects on masonry buildings of tunnelling-induced settlement: ICE Proceedings - Geotechnical Engineering, 143(1), January, p. 17-29. (Telford Prize winner 2001).

Burland, J.B., Wroth, C.P., 1974, Settlement of building and associated damage: Proceedings of a Conference on Settlement of Structures, Cambridge, p. 611-654.

Carpenter, M.C., 1999, Land Subsidence in the United States, Circular 1182: U.S. Department of the Interior, U.S. Geological Survey, Galloway D., Jones D.R., Ingebritsen, S.E. eds. Part I, Mining Ground Water, South-Central Arizona. p. 65-81.

Circular 1182, 1999, Land Subsidence in the United States: U.S. Department of the Interior y U.S. Geological Survey. 177 p.

Dirección General de Catastro, 2006, Cartografía de la Ciudad de Rincón de Romos a Nivel Predio y Nombre de Calles: Gobierno del Estado de Aguascalientes, Secretaría de Finanzas, planos.

Genescà, J., Rosell, J., Bellmunt, R., 1997. Recomanacions per al Reconeixement, la Diagnosi i la Teràpia d'Estructures de Fàbrica de Maó: Institut de Tecnologia de la Construcció de Catalunya. P. 40-52.

Hernández, O., 2002, Edificaciones de Mampostería para Vivienda: Fundación ICA, A.C., Capítulo 5, Modalidades de Refuerzo de la Mampostería en México, p. 133-157.

Jachens, C.R., Holzer, L.T., 1982, Differential compaction mechanism of earth fissures near Casa Grande, Arizona: Geological Society of American Bulletin, v. 93, p. 998-1012.

Krynine, D.P., Judd, W.R., 1972, Principios de Geología y Geotecnia para Ingenieros: Ediciones Omega. p. 99-108.

Lahee, F.H., 1975, Geología Practica: Ediciones Omega, p. 244-302.

Lee, K.L., Shen, C.K., 1969, Horizontal movements related to subsidence: Journal of the soil mechanics and foundation Division, Proceedings of the American Society of the Civil Engineerings, v. 95, no. 1, p. 139-166.

Liu, G., 1997, Numerical Modelling of Settlement Damage to Masonry Building Due by Tunnelling, DPhil thesis: Oxford University, 224 p.

Municipio de Aguascalientes, 1995, Cartas Urbanas sobre Grietas y Fallas Geológicas en la Ciudad de Aguascalientes: Secretaría de Desarrollo Urbano del Municipio de Aguascalientes, Presidencia Municipal Aguascalientes, 18 cartas.

Municipio de Aguascalientes, 1998, Orbit-X, Grietas y Fallas Geológicas en el Municipio de Aguascalientes: Presidencia Municipal de Aguascalientes, 1 disco 3.5".

Municipio de Aguascalientes, 2001, SIDIFAG, Sistema Digital de Fallas Geológicas de la Ciudad de Aguascalientes: Municipio de Aguascalientes, Secretaría de Obras Públicas, 1 compact disk.

Municipio de Aguascalientes, 2002, SIDIFAG, Sistema Digital de Fallas Geológicas de la Ciudad de Aguascalientes: Municipio de Aguascalientes, Secretaría de Obras Públicas, 1 compact disk.

Municipio de Aguascalientes, 2004, SIDIFAG, Sistema Digital de Fallas Geológicas de la Ciudad de Aguascalientes: Municipio de Aguascalientes, Secretaría de Obras Públicas, 1 compact disk.

Municipio de Aguascalientes, 2006, SIDIFAG, Sistema Digital de Fallas Geológicas de la Ciudad de Aguascalientes: Municipio de Aguascalientes, Secretaría de Obras Públicas, 1 compact disk.

Municipio de Aguascalientes, 2007, SIDDIS, Sistema Digital de Discontinuidades en el Subsuelo de la Ciudad de Aguascalientes: Municipio de Aguascalientes, Secretaría de Obras Públicas, 1 compact disk.

National Research Council, 1991, Mitigating losses from land subsidence in the United States: Washington, D.C., National Academy Press, 58 p.

TESIS TESIS TESIS TESIS TESIS

Pacheco, J., 2007, Modelo de Subsistencia del Valle de Querétaro y Predicción de Agrietamientos Superficiales: Tesis Doctoral, Centro de Geociencias UNAM, Campus Juriquilla, Qro., 253 p.

Pavelko, M., Wood, D., Laczniak, R., 1999, Land Subsidence in the United States, Circular 1182: U.S. Department of the Interior, U.S. Geological Survey, Galloway D., Jones D.R., Ingebritsen, S.E. eds. Part I, Mining Ground Water, Las Vegas, Nevada. p. 49-64.

Secretaría de Desarrollo Social, SEDESOL, 2000, Atlas del Estado de Aguascalientes: Gobierno del Estado de Aguascalientes, plano

Sheng, Z., Helm, D.C., 1995, Conceptual models for earth fissuring en Las Vegas, Nevada, U.S.A.: Land subsidence, Proceeding of the Fifth International Symposium on Land subsidence, The Hague, October 1995, IAHS Pub. No. 234, p. 381-387.

Terzaghi, K., 1956, Theoretical soil mechanics: John Wiley and Sons Inc. New York.

Zermeño, M., Mendoza, E., Hernández, L., 2004, Identificación y Monitoreo de Grietas Geológicas en la Ciudad de Aguascalientes: Proyecto de Investigación financiado por INAGUA, Gobierno del Estado de Aguascalientes, Universidad Autónoma de Aguascalientes, Centro de Ciencias del Diseño y de la Construcción. Reporte de investigación.