

**COMISION INTERINSTITUCIONAL PARA ANALIZAR EL FENOMENO  
DE AGRIETAMIENTO DE PAREDES EN ALGUNAS CASAS  
ADYACENTES AL PROYECTO MINERO MARLIN I, SAN MARCOS.  
JULIO 2010.**

---

**QUINTA PARTE**  
**CONSOLIDACIÓN DE INFORMACION**

En esta parte del documento se encuentra lo más importante del trabajo realizado, partiendo del procedimiento y método de investigación, las conclusiones técnicas de la Comisión Gubernamental, un análisis alrededor de la fragilización de los suelos, así como las realidades constructivas de la región.

**I. PROCEDIMIENTO Y MÉTODO DE INVESTIGACIÓN:**

**A. Conformación de la comisión:**

La comisión contó con la participación y asesoría de Ingenieros Civiles, Ingeniero Estructuralista, Geólogos, Hidrogeólogos, Sismólogos, Experto en explosivos, Ingeniero Mecánico.

**B. Proceso de inducción:**

Dentro del proceso de inducción que constó de reuniones varias, los profesionales norteamericanos Ingeniero Jack Caldwell, especialista en estructuras y Doctor Neven Matasovic, especialista en vibraciones, impartieron conferencias que pretendieron trasladar las experiencias de ambos en estos campos.

**C. Organización:**

Se conformaron tres grupos así:

1. Aspectos Geológicos, cuya función fue la descripción geológica del área y local, así como la búsqueda de elementos de juicio para justificar la facilidad o dificultad de transmisión de energía por ondulación.
2. Aspectos Estructurales, cuya función principal fue la de observar el fenómeno y sus circunstancias, para deducir las probables causas del agrietamiento.

**COMISION INTERINSTITUCIONAL PARA ANALIZAR EL FENOMENO  
DE AGRIETAMIENTO DE PAREDES EN ALGUNAS CASAS  
ADYACENTES AL PROYECTO MINERO MARLIN I, SAN MARCOS.  
JULIO 2010.**

---

3. Aspectos ambientales, que se dividió en Aspectos Sísmicos, Aspectos Climáticos y Aspectos Vibracionales originados por Voladuras con Explosivos.
- D. Trabajo de gabinete:
- Este se dividió en dos fases, antes y después de la visita de campo:
1. Primera fase:
    - a. Recopilación de información: cada equipo de trabajo recopiló y solicitó la documentación que permitiera analizar y programar las actividades a ejecutar.
    - b. Programación de actividades: se programaron actividades por grupos de trabajo, que luego se fusionaron principalmente para coordinar las visitas de campo.
  2. Segunda fase:
    - a. Análisis de la información obtenida en el campo.
    - b. Elaboración de informes por grupos.
    - c. Elaboración de informe final.
- E. Trabajo de campo:
1. Visita al señor Ovidio Joel Domingo Bámaca, Alcalde Municipal de San Miguel Ixtahuacán, quien recibió a la Comisión Interinstitucional, con los COCODES y líderes de la organización “El Frente”.
  2. Los representantes de los COCODES se excusaron de tocar el tema de “Casa Rajadas” porque ya habían arreglado este tema con la empresa minera.
  3. Personas de “El Frente” guiaron a personal de la Comisión Gubernamental que trató los Aspectos Estructurales, hacia 51 casas únicamente, distribuidas en las Aldeas Agel, San José Ixcaniché y El Salitre. Para este trabajo se elaboraron fichas técnicas que sirvieran de guías de trabajo.
  4. Síndicos Municipales acompañaron al grupo que trató los aspectos Geológicos. El Grupo que trató las Vibraciones por Voladuras con Explosivo, trabajaron dentro de los límites de la Mina Marlin I.

**COMISION INTERINSTITUCIONAL PARA ANALIZAR EL FENOMENO  
DE AGRIETAMIENTO DE PAREDES EN ALGUNAS CASAS  
ADYACENTES AL PROYECTO MINERO MARLIN I, SAN MARCOS.  
JULIO 2010.**

---

F. Resumen de resultados del trabajo de campo:

1. El grupo que analizó el problema desde el punto de vista estructural clasificó las 51 casas evaluadas según criterios de peligrosidad, así:
  - a. Consideradas con daños severos..... 5 Casos
  - b. Consideradas con daños menos severos..... 7 Casos
  - c. Consideradas con daños menores..... 39 Casos

Se observó que las casas que presentan daños de consideración, tienen en común que poseen una o varias características siguientes:

- a. Mala elección del sitio de construcción.
- b. Deficiente preparación del sitio de construcción.
- c. Procesos constructivos deficientes.
- d. Mala elección de los materiales de construcción.

Las condiciones naturales que contribuyeron al deterioro de las casas son:

- a. Inestabilidad de terreno como el caso presentado en la comunidad Agel.
- b. Condiciones hidrogeológicas como en los casos presentados en San José Ixcaniché, el Salitre y Nueva Esperanza.
- c. Sismicidad natural, que afecta a toda la región.

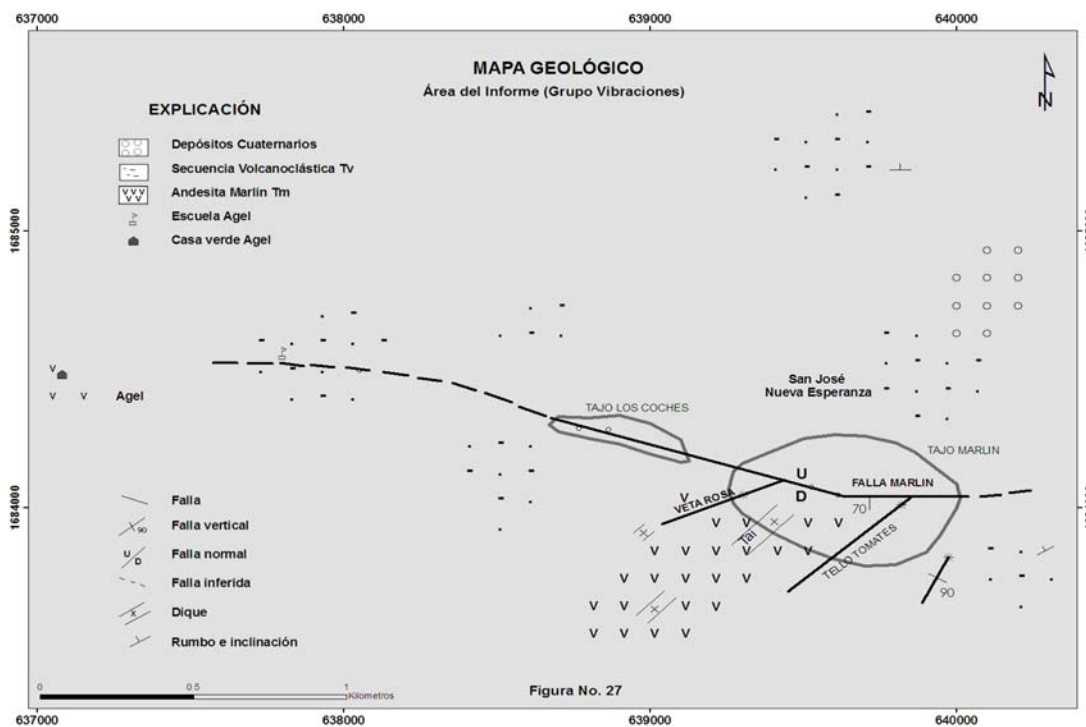
El suelo sobre el cual se encuentran ubicadas las viviendas de las aldeas Agel, Salitre y San José Ixcaniché, posee características de laderas inestables con altas pendientes, en donde se identifican rasgos y cicatrices de antiguos deslizamientos, lo que viene a definir que el área es susceptible a movimientos de suelos.

2. El grupo responsable de los Aspectos Geológicos
  - a. El área San Marcos está situada en la confluencia de tres placas tectónicas dinámicas, por lo que los sismos tienen gran probabilidad de ocurrencia y la falla Cuilco/Chixoy es la más influyente.

**COMISION INTERINSTITUCIONAL PARA ANALIZAR EL FENOMENO  
DE AGRIETAMIENTO DE PAREDES EN ALGUNAS CASAS  
ADYACENTES AL PROYECTO MINERO MARLIN I, SAN MARCOS.  
JULIO 2010.**

---

- b. Posee una geomorfología de ondulada a escarpada que permite observar antiguos derrumbes, así como otros más recientes en la orilla de la carretera. Las laderas inestables son un común denominador en el área.
- c. La red de drenaje es dendrítico y los ríos y quebradas se asientan sobre las fallas
- d. El fenómeno de la argilización, que es el proceso de transformación de roca hacia arcilla, está presente en la región; esto influye en la elección de material de construcción de viviendas.



- 3. El grupo de Aspectos Ambientales
  - a. La zona no es seca pero el suelo posee poca capacidad de absorción de agua.
  - b. Los sismos significativos se presentan en un promedio de 28 por año.
  - c. Las vibraciones provocadas por voladuras con explosivos están dentro de las normas establecidas internacionalmente.

**COMISION INTERINSTITUCIONAL PARA ANALIZAR EL FENOMENO  
DE AGRIETAMIENTO DE PAREDES EN ALGUNAS CASAS  
ADYACENTES AL PROYECTO MINERO MARLIN I, SAN MARCOS.  
JULIO 2010.**

---

- d. Ante el señalamiento que el traslado de maquinaria y equipo del Proyecto Minero Marlin I, así como el paso de maquinaria pesada minera entre las aldeas, es la causa de los agrietamientos en paredes, se preguntó a los directivos de la empresa minera y se comprobó con personas de la Aldea San José Ixcaniché, que dicho traslado se hizo a través de un camino que no pasa por las poblaciones supuestamente afectadas y la maquinaria y equipo están confinados dentro del proyecto minero. Si salió maquinaria vial del proyecto minero, fue para colaborar con la Municipalidad de San Miguel Ixtahuacán o la población, para dar mantenimiento a los caminos, cuando aun no estaban asfaltados.
- e. Se comprobó que tanto el informe técnico “Estudio de Vibraciones” del Ingeniero Juan Pablo Ligorria, como el de los profesionales que trabajaron para COPAE, están adecuadamente elaborados y con registros comprobables, faltando únicamente ponerse de acuerdo sobre las herramientas a utilizar y los objetivos a alcanzar.
- f. Se aplicaron las normas USBMRI 8507<sup>1</sup> y UNE 22-381-93 (Criterios de limitación de vibraciones por voladuras con explosivos) a los procedimientos de voladuras con explosivos ejecutados en el Proyecto Minero Marlin I, siendo aprobados estos procedimientos por ambas normas. Puede entonces asegurarse que las vibraciones generadas por las voladuras con explosivos no son la causa de la fisuración y posterior agrietamiento de las paredes de las casas adyacentes al Proyecto Minero Marlin I.

**II. FACTORES QUE FAVORECEN EL FENOMENO DE AGRIETAMIENTOS EN PAREDES:**

Para concluir con el análisis sobre el fenómeno de agrietamiento de paredes de algunas casas en las adyacencias del proyecto minero se tomaron los elementos más importantes del análisis de cada grupo.

---

<sup>1</sup> Reporte del Estudio de Impacto de Vibración de la Mina Marlin, del Doctor Neven Matasovic, mayo de 2010.

**COMISION INTERINSTITUCIONAL PARA ANALIZAR EL FENOMENO  
DE AGRIETAMIENTO DE PAREDES EN ALGUNAS CASAS  
ADYACENTES AL PROYECTO MINERO MARLIN I, SAN MARCOS.  
JULIO 2010.**

---

**A. FACTORES PREEXISTENTES**

Son aquellos que forman parte intrínseca de la región, tal como la geología y la topografía del lugar, así como la sismica y la climatología. Son entonces:

1. Fuertes pendientes generalizadas que muestran rasgos y cicatrices de antiguos deslizamientos.
2. Zona de alta sismicidad.
3. Suelos poco permeables a la humedad, que favorecen la erosión y desfavorecen el crecimiento de vegetación.

**B. FACTORES COADYUVANTES:**

1. Asentamientos humanos sobre factores preexistentes adversos, con deficiencias en las técnicas de construcción.
2. La fragilización de los suelos debido a la incidencia de eventos energéticos repetitivos en el tiempo, como la sismicidad.

**C. FACTORES DETONANTES:**

Son los factores que puedan desarrollar gran energía, tanto preexistentes como los desarrollados por la actividad humana, estos son:

1. Energía desarrollada por los sismos.
2. Energía trasladada por vibraciones generadas por la actividad humana.
3. Energía potencial transformada en energía cinética, por deslizamientos o asentamientos de suelos.

- D. Conocidos estos factores, es posible describir la situación como la existencia de asentamientos humanos sobre terrenos que poseen factores preexistentes negativos, que deben dominarse para coexistir con ellos. Sin embargo no se eligen adecuadamente los sitios para construir una vivienda y no se utilizan las técnicas adecuadas para construir con adobe; sumando a esto el fenómeno de fragilización de los suelos, se posee un escenario dispuesto para probables desastres.

**COMISION INTERINSTITUCIONAL PARA ANALIZAR EL FENOMENO  
DE AGRIETAMIENTO DE PAREDES EN ALGUNAS CASAS  
ADYACENTES AL PROYECTO MINERO MARLIN I, SAN MARCOS.  
JULIO 2010.**

---

**III. REALIDADES CONSTRUCTIVAS DE LA REGIÓN:**

**A. ELECCIÓN DEL LUGAR DE EDIFICACIÓN:**

La región no abunda en espacios para construcción de viviendas, aun más si se desea estar en las áreas más sociales y comerciales, provocando que se elija la adyacencia a la carretera y los taludes con mucha pendiente. En contraposición, cuando la elección es lejos de las áreas sociales y comerciales, se acostumbra construir en las crestas de la montaña, sobre taludes fragilizados.

**B. TÉCNICAS DE CONSTRUCCIÓN:**

1. Preparación del terreno:

El terreno se nivela (corte o relleno) y se construye, no se considera protección de taludes ni drenajes.

2. Tipo de construcción:

Los cimientos de las paredes no son adecuadas para sostener paredes de barro, que no se comporta como un cuerpo estructural solido, como el caso de una casa de block cuyas, soleras (de humedad, intermedia y corona) y columnas si lo generan; estas responden ante un asentamiento como un cuerpo solido. Las casas de barro son sensibles a cualquier asentamiento del suelo, reflejándose en fisuras y grietas. Se construyen las casas de adobe sin considerar las horas de sol.



Durante la Tormenta Agatha, en este año, el agua socavó los cimientos de una casa de block y cemento, arrastrándola algunos metros, comportándose como un cubo indeformable. Esto no ocurre con una casa de adobe de barro, que se rompe.

Fuente: Elperiodico06JUNIO2010

**COMISION INTERINSTITUCIONAL PARA ANALIZAR EL FENOMENO  
DE AGRIETAMIENTO DE PAREDES EN ALGUNAS CASAS  
ADYACENTES AL PROYECTO MINERO MARLIN I, SAN MARCOS.  
JULIO 2010.**

---

3. Materiales de construcción  
Adobe de barro, sin corona de amarre o corona de madera, techo de lámina, dinteles de madera, puertas de madera, así como piso sin protección. Algunos dinteles suelen fabricarse de concreto, generando más fisuramientos por incompatibilidad de deformaciones.
4. Protección:  
Toda obra requiere de protección y este concepto no está arraigado en la población. (Sitio, casa, taludes, etc.)

**C. MANTENIMIENTO:**

A menor fortaleza de una construcción, requiere más mantenimiento y protección. Se observa que las casas dañadas no han recibido mantenimiento en general. De la misma forma, el terreno donde se asienta la construcción requiere ser mantenido constantemente.

**IV. VULNERABILIDAD DE LOS SUELOS E INFLUENCIA DE LOS FACTORES:**

Ya que dentro de los factores coadyuvantes no es posible abordar el asentamiento humano por ser una realidad inconmutable, se entrará a analizar la vulnerabilidad de los suelos como consecuencia del fenómeno de fragilización.

**A. VULNERABILIDAD DE LOS SUELOS:**

1. Definición:

La vulnerabilidad de los suelos es una condición de fragilización a la que se llega después de someter los suelos a eventos ondulatorios/energéticos repetitivos en el tiempo, además de la acción humana relativa al mal tratamiento de taludes. La intensidad, la frecuencia y la duración del evento, pero principalmente su repetitividad y la distancia, son las características que dan idea de cuánto daño puede causar en un lugar determinado.

**COMISION INTERINSTITUCIONAL PARA ANALIZAR EL FENOMENO  
DE AGRIETAMIENTO DE PAREDES EN ALGUNAS CASAS  
ADYACENTES AL PROYECTO MINERO MARLIN I, SAN MARCOS.  
JULIO 2010.**

---

2. Niveles de fragilización:

Todos los suelos están constantemente sometidos a los fenómenos de fragilización y consolidación, ya que el planeta está en constante dinámica, por tanto existen para el caso de la fragilización, consolidación y desplazamientos, distintos niveles, entre otros:

- a. Suelos consolidados
- b. Suelos hidrófugos o hidrófilos
- c. Suelos fisurados
- d. Suelos agrietados
- e. Suelos desconsolidados

3. Coadyuvantes de la fragilización:

La fragilización de los suelos disminuye su tensión de ruptura o amarre, facilitando los asentamientos, deslizamientos, lahares, etc. Para este caso, los eventos cíclicos que participan facilitando la fragilización son:

- a. Sismos significativos (igual o mayores a intensidad 4 de IMM).
- b. Tráfico vehicular.
- c. Vibraciones por voladuras con explosivos.

**B. CARACTERIZACION DE LOS EVENTOS CICLICOS:**

1. Sismos:

a. Intensidad de la onda:

La intensidad de una onda da idea de la energía que se generó y se transporta, si la intensidad no es significativa, la onda puede llegar a ser imperceptible. La magnitud de la energía remanente de una onda generada por un sismo suele ser significativa, de un orden promedio de  $160\text{mm/s}^2$ .

b. Frecuencia de la onda:

La frecuencia de la onda puede originar el fenómeno de resonancia con otros cuerpos de similar frecuencia natural

**COMISION INTERINSTITUCIONAL PARA ANALIZAR EL FENOMENO  
DE AGRIETAMIENTO DE PAREDES EN ALGUNAS CASAS  
ADYACENTES AL PROYECTO MINERO MARLIN I, SAN MARCOS.  
JULIO 2010.**

---

principalmente si posee larga duración. La frecuencia de los sismos es bastante baja, del orden de 1-2Hz, afectando suelos y construcciones pesadas que poseen similar frecuencia natural.

c. Repetitividad:

Este concepto se refiere a la cantidad de veces que se presenta el evento energético en un tiempo determinado, un año por ejemplo. Para el caso de los sismos significativos, estos suelen ser pocos en el año, pero su ocurrencia transcurre a lo largo de varios segundos y hasta minutos. Entonces es posible asegurar que un sismo es la suma de cientos o miles de eventos que se presentan en el transcurso de varios segundos.

2. Tráfico vehicular:

a. Intensidad:

La energía remanente de una onda generada por el tráfico vehicular puede ser significativa a 5 metros de distancia pero no a 50 metros, la componente vertical de esta onda suele predominar sobre las componentes radial y transversal, favoreciendo los asentamientos de suelo.

b. Frecuencia:

El tráfico vehicular posee una frecuencia entre 15 y 35 hertz, por lo que es mas fácil ser causante de asentamientos del suelo, que de agrietamientos en paredes.

c. Repetitividad:

La repetitividad de ondas originadas por tráfico vehicular es posible cuantificarla o en su defecto estimarla, según tamaño y peso de los vehículos.

3. Voladuras:

a. Intensidad:

La energía remanente de una onda provocada por una voladura con explosivos puede ser significativa hasta los 200 metros del

**COMISION INTERINSTITUCIONAL PARA ANALIZAR EL FENOMENO  
DE AGRIETAMIENTO DE PAREDES EN ALGUNAS CASAS  
ADYACENTES AL PROYECTO MINERO MARLIN I, SAN MARCOS.  
JULIO 2010.**

---

foco, según el diseño de la voladura, que están normadas internacionalmente.

b. Frecuencia:

En una onda generada por voladuras, la frecuencia está en el orden de 1 hasta 12 hertz, sin embargo al limitarse la intensidad de la onda, la frecuencia no es capaz de actuar a distancia.

c. Repetitividad:

En el caso del número de eventos originados por voladuras, son los más precisos de cuantificar ya que se lleva registros de ellos.

**C. INFLUENCIA DE LOS FACTORES EN LA VULNERABILIZACION DE LOS SUELOS:**

- En el cuadro se consideran los tres fenómenos, considerando la aceleración de partícula de cada uno, así como la cantidad de eventos en un año, esto permite deducir el grado de influencia que posee cada fenómeno en la fragilización, para un caso determinado. En este caso, el terreno es el que corresponde a la casa de la antigua Auxiliatura Municipal que se encuentra en Nueva Esperanza a 550m de los focos de explosión y a 15 m de la carretera.

FENÓMENO	ACELERACIÓN DE PARTICULA	FRECUENCIA Hertz	EVENTOS EN UN AÑO	REFERENCIA SOBRE ACCELERACIÓN DE PARTICULA	OBSERVAC.
<b>SISMOS SIGNIFICATIVOS</b>	160mm/s <sup>2</sup> <b>0.16G</b>	1-2	28/año	Pág. 10 y 11, Cap2, 4ª.parte	Medición en cualquier punto
<b>TRÁFICO DE VEHÍCULOS</b>	27mm/s <sup>2</sup> <b>0.028G</b>	15-20	6 diarios 2,200/año	Pág. 48 COPAE	Medición a 15m de la carretera
<b>EXPLOSIONES.</b>	9.8mm/s <sup>2</sup> <b>0.01G</b>	6-10	4 diarios, sin fines semana 1,200/año	Promedio de aceleraciones de voladuras en Marlin	Medición a 548m del foco

- Los sismos significativos son los menos frecuentes, sin embargo no hay duda que su gran amplitud y su baja frecuencia (1-2Hz), son las características que le hacen funcionar mas como factor detonante que como fragilizante, sin dejar de hacerlo. Posee la repetitividad

**COMISION INTERINSTITUCIONAL PARA ANALIZAR EL FENOMENO  
DE AGRIETAMIENTO DE PAREDES EN ALGUNAS CASAS  
ADYACENTES AL PROYECTO MINERO MARLIN I, SAN MARCOS.  
JULIO 2010.**

---

más baja de los tres fenómenos analizados, sin embargo es el de mayor duración, convirtiéndose en el más influyente por su gran amplitud y baja frecuencia.

3. El tráfico vehicular genera una baja amplitud, sin embargo la onda dominante tiende a la verticalidad y posee una frecuencia relativamente alta (15-30Hz). La repetitividad de estos eventos le convierte en una posible causa de la fragilización de los terrenos inmediatamente adyacentes a los caminos.
4. El caso de las vibraciones por voladuras con explosivos, las mediciones variarán según dirección y distancia del foco de las explosiones en que se efectúe la medición, para el presente caso se ha tomado la casa más cercana al tajo abierto que es la antigua Auxiliatura Municipal. En este caso la amplitud es más pequeña que la de los otros factores, con una frecuencia promedio de 7Hz, convirtiéndola en la más débil de las fuerzas que afectan el lugar, sin embargo la repetitividad a lo largo de un año, obliga a considerarla como causa terciaria de fragilización del suelo, en este punto.

**V. CONCLUSIONES SOBRE LA VULNERABILIDAD DE LOS SUELOS:**

- A. Los factores que favorecen el agrietamiento de paredes pueden clasificarse en preexistentes, coadyuvantes y detonantes, de entre ellos realza la Fragilización de los Suelos que favorece que factores detonantes, asienten o deslicen los suelos, provocando grietas en las paredes de adobe.
- B. El factor detonante por antonomasia es el fenómeno sísmico por su gran potencia e influencia regional. La influencia de los otros factores detonantes, depende de la distancia del terreno al foco que origina las ondas energéticas.
- C. Las vibraciones generadas por voladuras con explosivos están normadas internacionalmente y es posible lograr los mismos objetivos de producción de material, produciendo vibraciones de bajas intensidad y frecuencia, con costos similares, por lo que no existen razones para pensar en malas prácticas profesionales o mala fe por parte del usuario de los explosivos.