



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERÍA

***EMPLEO DE MÉTODOS DE PROSPECCIÓN SÍSMICA PARA LA
SOLUCIÓN DE PROBLEMAS EN INGENIERÍA GEOTÉCNICA***

T E S I S

PARA OBTENER EL TÍTULO DE :

INGENIERO GEOFÍSICO

P R E S E N T A

ALEJANDRO NAVARRO GUERRERO

DIRECTOR DE TESIS: DR. MARTÍN CÁRDENAS SOTO

2009



Agradecimientos

A mis padres que me brindaron todo el apoyo y confianza, que me enseñaron que el esfuerzo siempre vale la pena y que la honestidad debe guiar nuestro trabajo cotidiano.

A los profesores de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional Autónoma de México, que contribuyeron en mi formación académica y a muchos profesionistas que a través del tiempo me han aportado conocimiento de su experiencia.

Pensamientos

La inteligencia consiste no sólo en el conocimiento, sino también en la destreza de aplicar los conocimientos en la práctica.

Aristóteles (384 AC-322 AC) *Filósofo griego.*

La mayoría de las ideas fundamentales de la ciencia son esencialmente sencillas y, por regla general pueden ser expresadas en un lenguaje comprensible para todos.

Albert Einstein (1879-1955) *Científico estadounidense de origen alemán.*

INDICE

INTRODUCCIÓN	1
RESUMEN	2
CAPÍTULO I	3
EVALUACIÓN DE UN BANCO DE MATERIALES MEDIANTE SÍSMICA DE REFRACCIÓN	3
I.1 OBJETIVOS	3
I.2 MÉTODO DE PROSPECCIÓN SÍSMICA	3
I.3 TRABAJOS DE CAMPO	5
I.4 ADQUISICIÓN DE DATOS	6
I.5 TRABAJOS DE GABINETE	8
I.6 ANÁLISIS DE RESULTADOS	11
I.7 CONCLUSIONES	16
CAPÍTULO II	18
ESTUDIO DE TOMOGRAFÍA SÍSMICA PARA LA EVALUACIÓN DE PILAS DE CONCRETO	18
II.1 OBJETIVOS	18
II.2 FUNDAMENTO TEÓRICO	18
II.3 ADQUISICIÓN DE DATOS	20
II.4 TRABAJOS DE GABINETE	22
II.5 ANÁLISIS DE RESULTADOS	23
II.6 CONCLUSIONES	26
CAPÍTULO III	27
DETERMINACIÓN DE LOS NIVLES DE VIBRACIÓN Y SU AFECTACIÓN A ESTRUCTURAS, ASÍ COMO A LAS CONDICIONES DE HIGIENE LABORAL	27
III.1 OBJETIVOS	27
III.2 FUNDAMENTOS DE LAS NORMAS Y CRITERIOS	28
III.3 ADQUISICIÓN DE DATOS	32
III.4 TRABAJOS DE GABINETE	34
III.5 ANÁLISIS DE RESULTADOS	35
III.6 CONCLUSIONES	40
IV CONCLUSIONES GENERALES A LA TESIS	42
ANEXO CAPITULO I	43
ANEXO CAPITULO II	57
ANEXO CAPITULO III	65
BIBLIOGRAFIA	79

INTRODUCCIÓN

Uno de los métodos de exploración que tradicionalmente se ha utilizado, es la prospección sísmica, cuyo origen más remoto data de 1678 con la ley de Hooke, a partir de esa fecha y en especial durante el siglo XIX se desarrolla la mayor parte de la teoría de la elasticidad.

Aprovechando las teorías desarrolladas y las metodologías existentes para la medición de la velocidad de propagación de las ondas, en 1898 John Milne propuso el uso del sismógrafo para definir las condiciones del subsuelo.

En 1905 L.P. Garret propone el uso de la refracción sísmica para ubicar domos salinos, sin embargo, no es sino hasta 1914 cuando Ludger Mintrop construye un sismógrafo con la precisión que hace posible el registro de ondas generadas bajo control.

Con los equipos desarrollados por Mintrop se realizan las primeras exploraciones para la ubicación de domos salinos, actividad que desarrolla ampliamente entre 1920 a 1928, hasta que se observa que la sísmica de reflexión aporta más información para fines petroleros.

Las aportaciones de la sísmica de refracción para medir parámetros elásticos mecánicos en suelos y rocas favoreció su aplicación al campo de la geotecnia, apoyando para el desarrollo de túneles, cimentaciones, puentes y varias obras de infraestructura.

En México durante los últimos 15 años la ingeniería geofísica, no solo ha realizado estudios de prospección tradicional, que busca conocer la estructura y características del subsuelo, si no además para la solución de nuevos problemas, el conocimiento desarrollado a través del tiempo permite abrir nuevas aplicaciones, algunas de ellas con el fin de evaluar las estructuras de concreto (o como si fuesen macizos rocosos) o la interacción del cuerpo humano ante la incidencia de vibraciones (ondas propagadas), cuya evaluación parte de los registros obtenido en sismógrafos.

RESUMEN

En este trabajo se presenta la aplicación práctica de las bases teóricas del método de prospección sísmica, asimiladas en las aulas de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional Autónoma de México, como parte de las opciones de titulación, relativo a titulación por trabajo profesional

El desarrollo del documento presenta tres estudios que abordan los siguientes casos.

El primero corresponde a un estudio de prospección sísmica, que es uno de los métodos más empleados por la ingeniería civil para determinar de manera rápida y confiable las características del subsuelo, determinado a partir de las velocidades de propagación la distribución, geometría y espesores de roca descomprimida y roca sana, así como la arabilidad o excavabilidad que cada una presenta.

El segundo estudio evalúa la integridad estructural de dos pilas de concreto que forman parte de un puente. La solución de este caso se basó en tomografía sísmica, realizada entre pozos cercanos a cada uno de los elementos a evaluar, las numerosas y diferentes trayectorias que se forman entre fuente y receptores permite establecer un sistema de ecuaciones para calcular la distribución de velocidades entre los dos pozos, los resultados obtenidos reflejaron de manera cualitativa la calidad del concreto.

El tercer estudio presenta la aplicación del análisis de velocidad de partícula, en donde a partir de los sismogramas registrados dentro de una planta industrial se determinó la velocidad, aceleración y frecuencia, que son evaluados bajo criterios de seguridad estructural e higiene laboral de acuerdo a normas internacionales.

El presente escrito no pretende profundizar en la teoría de cada uno de los procesos realizados, más bien se desea exponer aplicaciones concretas a problemas de ingeniería y soluciones para éstos, en donde veremos que la aplicación de los métodos geofísicos se expande más allá de la exploración del subsuelo.

CAPÍTULO I

I. EVALUACIÓN DE UN BANCO DE MATERIALES MEDIANTE SÍSMICA DE REFRACCIÓN

Este capítulo muestra los resultados de los estudios de prospección sísmica como parte de un conjunto de disciplinas, enfocado a caracterizar y determinar las velocidades de propagación de los diferentes materiales que se encuentran en el sitio seleccionado como banco de roca.

Los resultados obtenidos se integraron con el marco geológico de referencia, establecido previamente. A partir de éstos se propone el modelo geofísico-geológico y geotécnico que permitió establecer la arabilidad o excavabilidad de los materiales presentes en el sitio.

Los resultados obtenidos mediante esta metodología, determinarán la ubicación de barrenos exploratorios (para su muestreo y análisis), así como evaluar los costos que la explotación de estos materiales pueden alcanzar.

I.1.OBJETIVOS

Para poder caracterizar la geometría, distribución y velocidades de los materiales existentes fue necesario considerar los siguientes objetivos particulares:

- Ubicar tendidos de refracción sísmica (TRS), dentro del área de interés.
- Determinar los tiempos de arribo de las ondas de propagación longitudinales de las ondas “P” (Primarias o de compresión)
- A partir de los tiempos de arribo, establecer las velocidades de propagación V_p
- Establecer la geometría y distribución de los materiales.
- A partir de los resultados y con base en las tablas de arabilidad o excavabilidad CATERPILLAR , clasificarlos como tipo I, II o III (A,B,C)

I.2. MÉTODO DE PROSPECCIÓN SÍSMICA

Los estudios de refracción sísmica se basan en la medición de las velocidades de propagación de las ondas sísmicas generadas bajo control, estas se originan en la superficie o en el interior de un barreno.

A partir de la fuente original se forma un frente de onda que se propaga en todas direcciones, alejándose del punto de impacto en forma casi radial en medios homogéneos e isótropos, sin

embargo cuando se presentan estratos subyacentes de características diferentes, la velocidad de propagación sufre un cambio con respecto a la primera capa.

La metodología de refracción sísmica se basa en la particularidad que presentan los materiales someros, en los cuales se establece y es necesario que se cumpla la siguiente condición física.

$$V_3 > V_2 > V_1$$

Donde:

V_1 .- Velocidad de propagación del primer horizonte

V_2 .- Velocidad de propagación del segundo horizonte

V_3 .- Velocidad de propagación del tercer horizonte

Lo que significa que la velocidad de propagación se incrementa con respecto a la profundidad.

En los sismogramas esto se registra como un retardo progresivo en los tiempos de arribo, conforme el sensor o geófono se encuentra más retirado de la fuente, puesto que la onda debe recorrer mayor distancia, como se muestra en la figura I.2-1

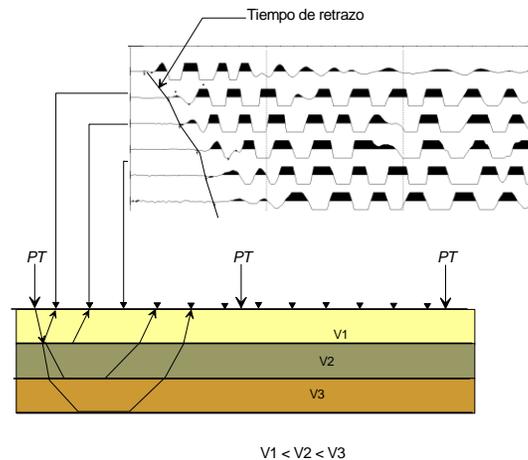


Figura I.2-1 Registros obtenidos mediante un tendido de refracción sísmica

Cuando se genera una perturbación sísmica, se originan diferentes tipos de ondas, como las superficiales (ondas Rayleigh y ondas Love) que se propagan en la superficie que es la frontera entre dos medios con propiedades elásticas distintas, y las ondas de cuerpo que se propagan en todo el volumen (ondas P y ondas S), siendo las ondas P de interés para fines del estudio.

Los estudios de prospección realizados a lo largo de la historia han demostrado que las ondas de mayor velocidad son las longitudinales o de compresión, siendo por ello las primeras en

registrarse, de ahí su denominación como ondas primarias u ondas “ P “, estas se caracterizan porque el movimiento de las partículas de los materiales al paso de la onda sigue la misma dirección en la que esta se propaga.

Basándose en el efecto anterior y en el marco geológico de referencia, establecido previamente es posible establecer un modelo estratigráfico deduciendo las fronteras entre estratos y las velocidades de propagación.

I.3 TRABAJOS DE CAMPO

Como inicio de las actividades, se identificó el predio de 22000 m², en el que se encuentra el banco de roca de interés, dentro del área se realizaron 12 tendidos de refracción sísmicas (TRS) de 100 m de longitud cada uno, la separación de los geófonos se realizó considerando el área disponible para su implementación y la profundidad de investigación requerida, por lo que se determinó una separación entre geofonos de 8 m.

La distribución de los TRS se indica a continuación y se muestra en la figura I.3-2:

- TRS1, TRS2, TRS3 y TRS4 conforman la línea central con orientación N-S, localizada casi en el lindero oriente del predio.
- TRS5 al TRS11 conforman secciones paralelas con orientación general E-W, transversales con respecto a la línea central.
- TRS12 se realizó en la meseta cercana al sitio del banco de roca.

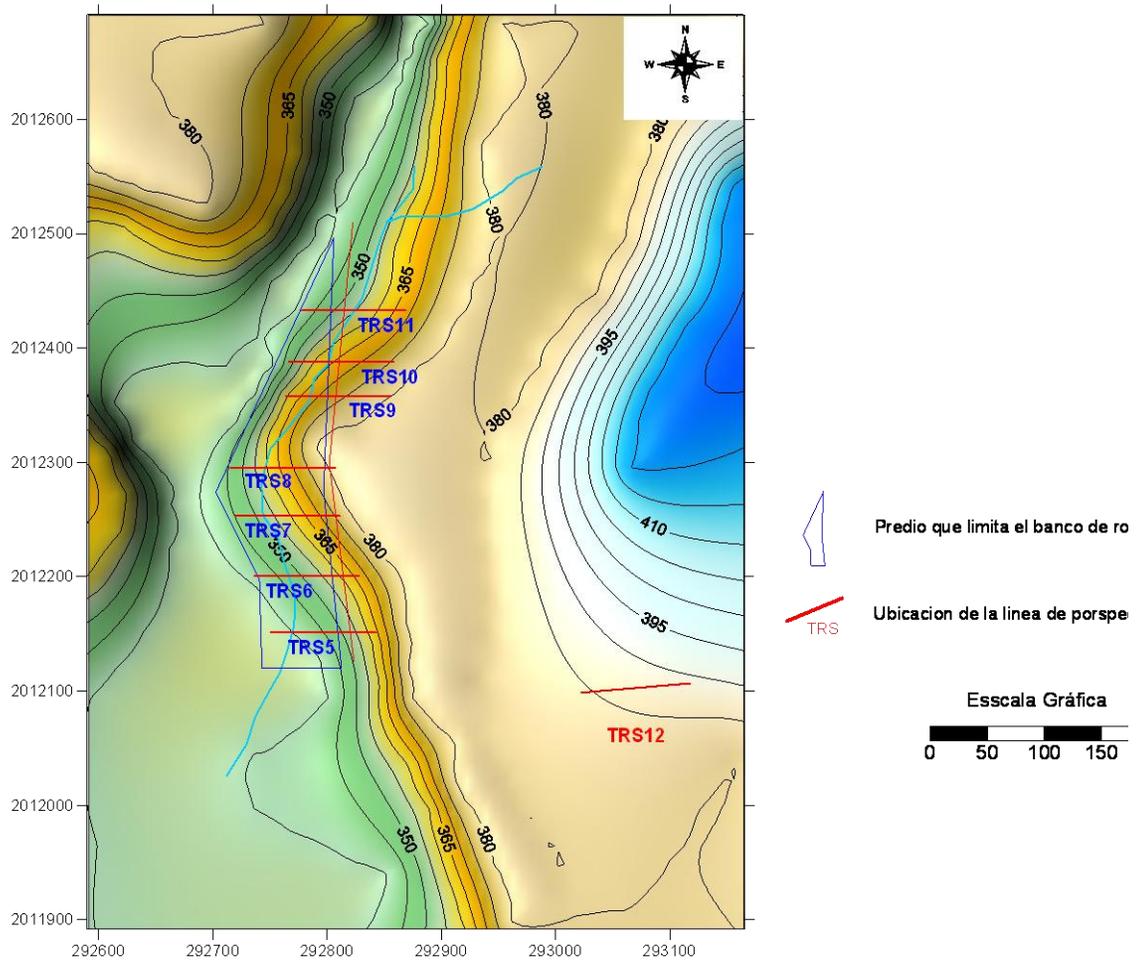


Figura I.3-2 ubicación de TRS dentro del banco de roca

Con la distribución propuesta fue posible cubrir de manera general el área de interés

I.4.ADQUISICIÓN DE DATOS

Para la adquisición de datos se dispusieron tendidos de refracción sísmica, cada TRS constó de 12 geófonos o sismodetectores, los cuales se colocaron en línea recta a intervalos regulares con objeto de recibir los frentes de ondas generados a partir de impactos de martillo en los sitios denominados puntos de tiro (PT), los cuales se encuentran alineados a ellos de la siguiente forma: dos situados en los extremos del TRS a una distancia de 4 m del geófono más cercano y tres intermedios ubicado entre los geófonos 3 y 4, 6 y 7, 9 y 10. como se indica en la figura I.3-3

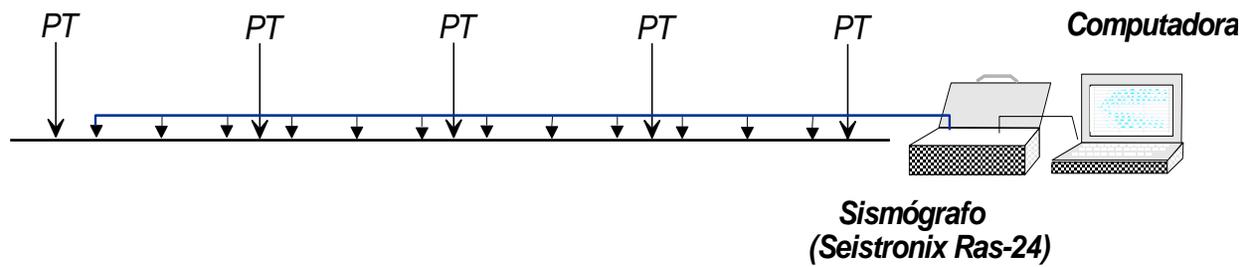


Figura I.3-3 Geometría del tendido de refracción sísmica

Para la obtención de los registros se utilizó un sismógrafo digital marca SEISTRONIX , modelo RAS-24 de 12 canales, acoplado a una computadora pentium I a través de una conexión RS232, con la que se grabaron digitalmente en el disco duro, posteriormente se transfirió para su procesamiento y análisis mediante programas especializados. Un ejemplo de estos registros se muestra en la figura I.3-4.

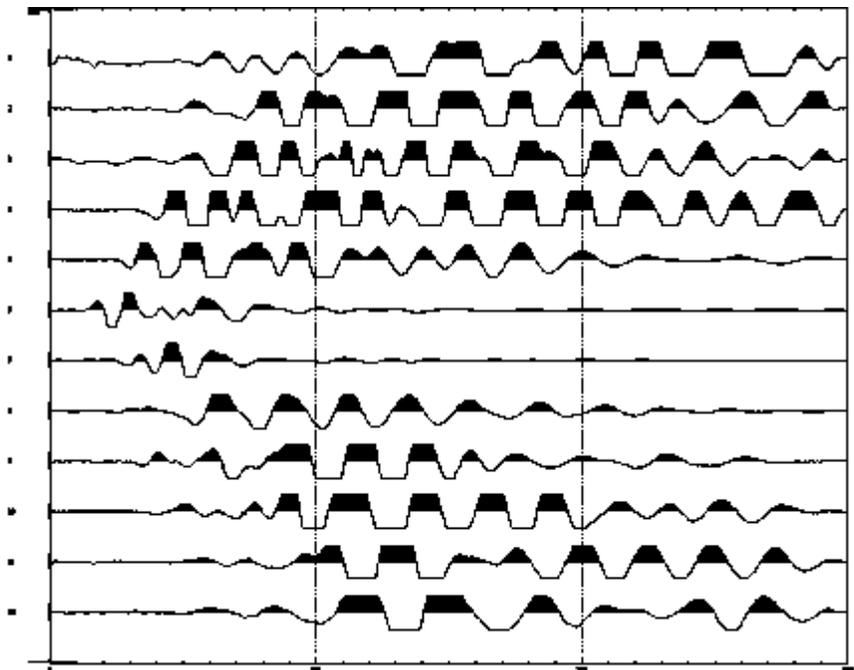


Figura I.3-4 Sismograma tipo, registrado para un tiro central del TRS 2

I.5 TRABAJOS DE GABINETE

Los trabajos de gabinete se desarrollaron en 3 etapas:

La primera consistió en el análisis y lectura de los sismogramas grabados digitalmente con el fin de determinar los tiempos de arribo de las ondas de propagación longitudinal. Para ello se empleó el programa de lectura TomTime (MR) que permite recuperar el registro sísmico en pantalla, seleccionar los tiempos de arribo. Una vez leídos los sismogramas, se elaboraron las curvas tiempo-distancia o dromocrónicas para los diferentes TRS (figura I.3-5)

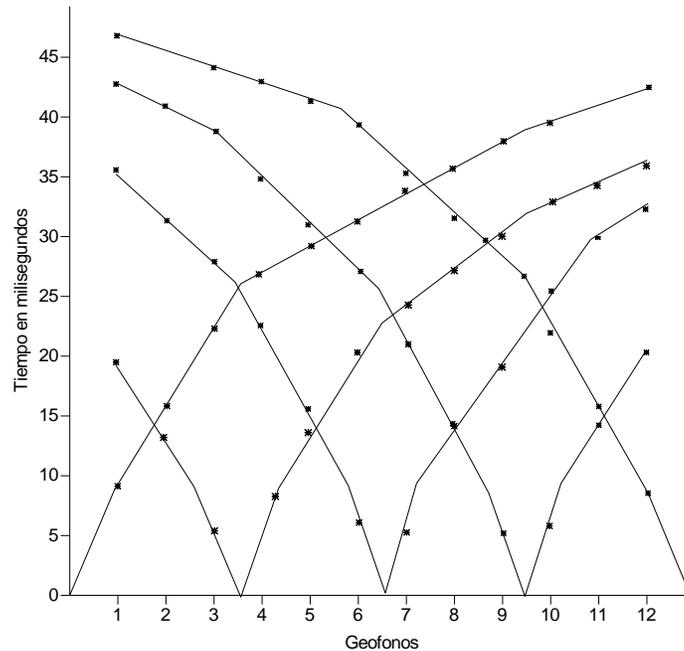


Figura I.3-5. Dromocrónica generada a partir de los tiempos de arribo (esquemática)

A partir de estas gráficas y mediante el empleo del programa SIP(MR), fue posible determinar los espesores y velocidades de propagación de los diferentes estratos presentes en cada uno de los TRS, determinadas mediante el inverso de la pendiente que mejor se ajusta con la tendencia de los puntos involucrados en cada segmento de la dromocrónica.

En la segunda etapa del proceso se integran los resultados obtenidos de cada uno de los TRS con su correspondiente columna estratigráfica, determinada a partir del modelo geológico establecido a partir de la recopilación, caminamientos y observaciones realizadas en campo, lo que permitió asociar las velocidades longitudinales de propagación con los materiales correspondientes.

La tercera etapa consistió en establecer la arabilidad o excavabilidad a partir del rango de las velocidades de propagación. La arabilidad o excavabilidad es la resistencia al desgarre, es un parámetro que guía algunos de los trabajos de ingeniería civil, en especial aquellos que están relacionados con excavaciones y movimientos de tierras, dicho parámetro permite evaluar el tipo de maquinaria o procedimiento de fragmentación que se tendrá que considerar para el desarrollo de los trabajos, en la construcción de infraestructura o explotación de bancos de materiales.

Para determinar el tipo o grado de arabilidad que presenta el material, la empresa Caterpillar ha establecido parámetros de resistencia en función de las velocidades de propagación de onda longitudinal y potencia de los equipos que provee para estas labores; En las tablas I a III, se presenta los parámetros de velocidad para los equipos D10R, D11R, D11RCD, que se emplean en la toma de decisiones en lo referente a excavaciones y movimiento de materiales.

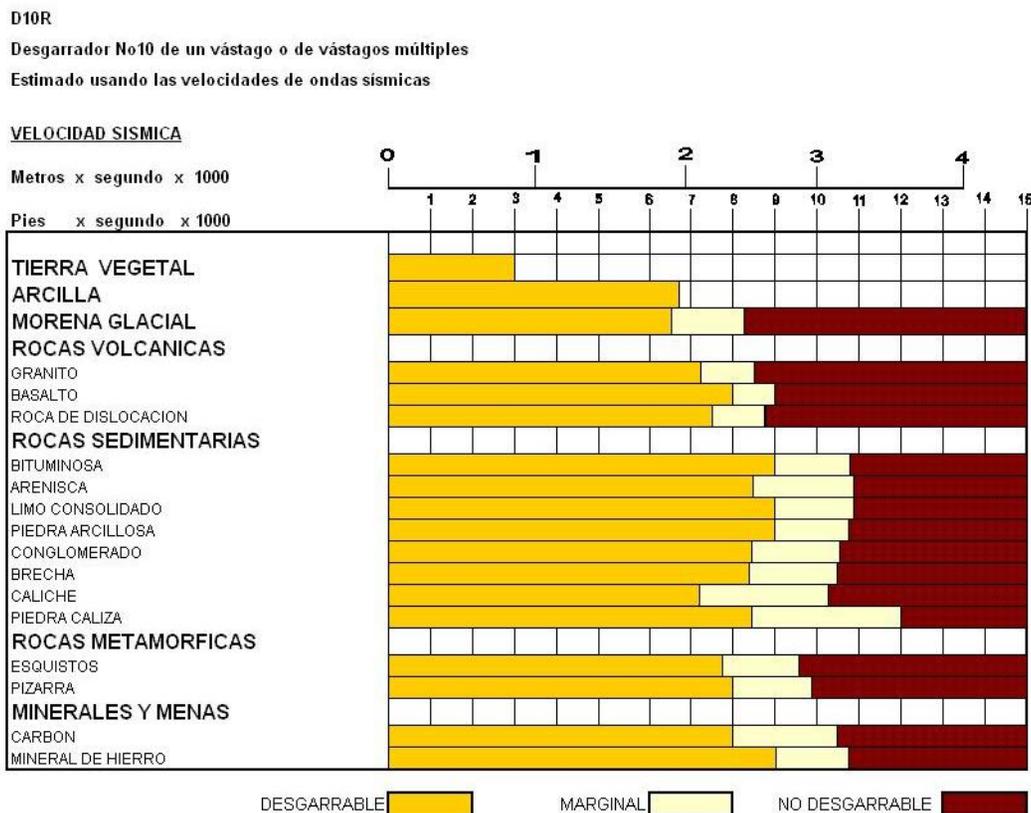


Tabla I .- Arabilidad para un tractor D10R

D11R

Desgarrador No11 de un vástago o de vástagos múltiples
 Estimado usando las velocidades de ondas sísmicas

VELOCIDAD SISMICA

Metros x segundo x 1000

Pies x segundo x 1000

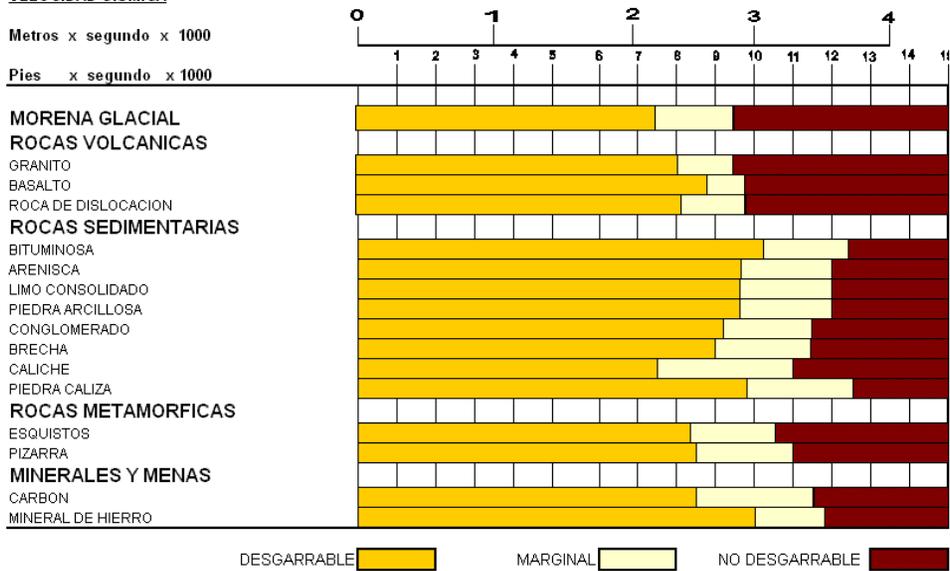


Tabla II .- Arabilidad para un tractor D11R

D11R CD

Desgarrador No11 de un vástago
 Estimado usando las velocidades de ondas sísmicas

VELOCIDAD SISMICA

Metros x segundo x 1000

Pies x segundo x 1000

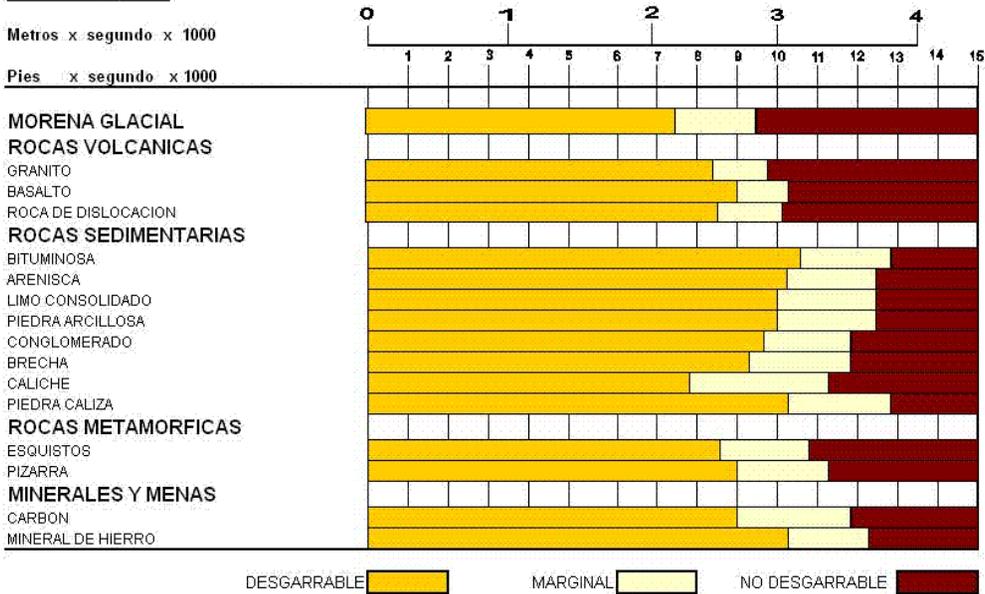


Tabla III .- Arabilidad para un tractor DR11RCD

I.6. ANÁLISIS DE RESULTADOS

Con los datos obtenidos y a partir de los procesos comentados anteriormente, se determinaron los espesores, velocidades de propagación y arabilidad considerando los parámetros propuestos por Caterpillar, para cada uno de los sitios donde se realizaron los TRS.

La litología observada en el banco corresponde a roca volcánica (basalto), que presenta diferentes grados de fracturamiento y meteorización, condiciones que se ven reflejadas en las velocidades de propagación registradas y cuya secuencia es la misma en todas las secciones, debido a ello se describen en conjunto a fin de evitar ser repetitivos.

Sección Línea Central (TRS 1, TRS2, TRS3 y TRS4)

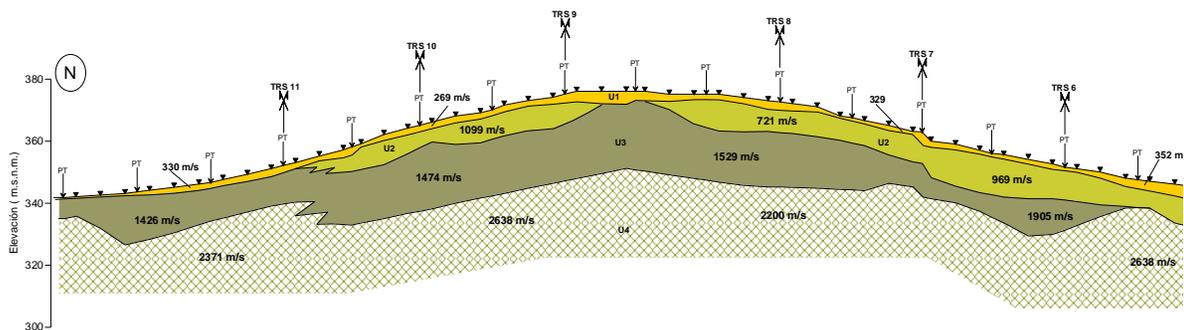


Figura I.6-6. Sección geosísmica línea central

La línea central esta constituida por 4 TRS (figura I.6-6), ubicado en las inmediaciones del lindero oriente del predio que limita el banco de roca, esta presenta todas las unidades geosísmicas que se registraron y que se denominaron U1 a U4, cada una de ellas caracterizada por un rango de velocidades que son reflejo de la condiciones de los materiales.

Superficialmente se encuentra una cobertura areno arcillosa, complementada con suelo vegetal y fragmentos rocosos, todo ello agrupado en la U1, caracterizada por velocidades de propagación del orden de 269 a 352 m/s y espesor variable de 0.5 a 4 m. De acuerdo a los parámetros establecidos por Caterpillar se clasifica como material desgarrable.

Subyaciéndole parcialmente se encuentra la U2, identificada por velocidades del orden de 721 a 1099 m/s, las que se asocian con roca fracturada a muy fracturada, conforma bloques de diversos tamaños, se considera con diferentes grados de meteorización, como se observa en la figura I.6-6 presenta mayor extensión sobre el talud del lado sur del banco, en términos

generales este paquete oscila entre los 3 a 10 m de espesor, en esta sección. Con base en los criterios de excavabilidad propuestos por Caterpillar, esta unidad se clasifica como desgarrable.

Por debajo de las dos anteriores se encuentra la U3, caracterizada por velocidades de propagación del 1426 a 1905 m/s, que se asocian a roca basáltica descomprimida, se considera que conforma bloques de regular tamaño, el espesor que presenta sobre esta sección varía de 2 a 22 m, acuñándose hacia el sur hasta desaparecer en las inmediaciones del cruce con el TRS 6. De acuerdo a los criterios establecidos por Caterpillar, el rango de velocidades registrado lo clasifica como material desgarrable, sin embargo esto aplica para equipos propuestos (D10R, D11R y D11RCD) o equivalentes, en caso de que no se cuente con ellos es muy probable que se requiera del uso de explosivos para su fragmentación.

Finalmente subyaciendo a toda la secuencia se encuentra U4, para la que se determinaron velocidades de propagación del orden de 2200 a 3513 m/s, que se identifica como el basamento de la región constituido por basalto poco fracturado, se considera conforma bloques de gran tamaño de tipo masivo, de acuerdo a los parámetros de excavabilidad se encuentra entre lo marginal y lo no desgarrable, razón por la que la explotación de esta unidad necesariamente requerirá del uso de explosivos para su fragmentación.

Secciones Transversales

Perpendicular a la sección anterior se realizaron 7 secciones transversales (TRS5, TRS6, TRS7, TRS8, TRS9, TRS10, TRS11), orientadas W-E, la secuencia que presentan son similares, razón por la cual se presenta 2 de ellas, las restantes pueden ser consultadas en el anexo correspondiente al capítulo I.

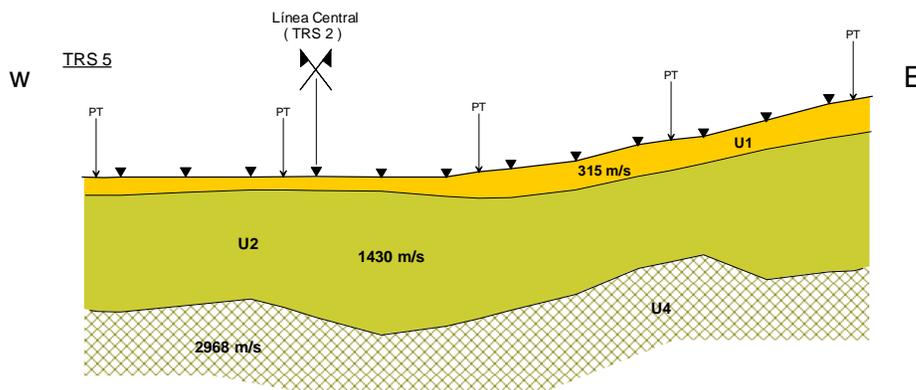


Figura I.6-7. Sección geosísmica transversal TRS 5

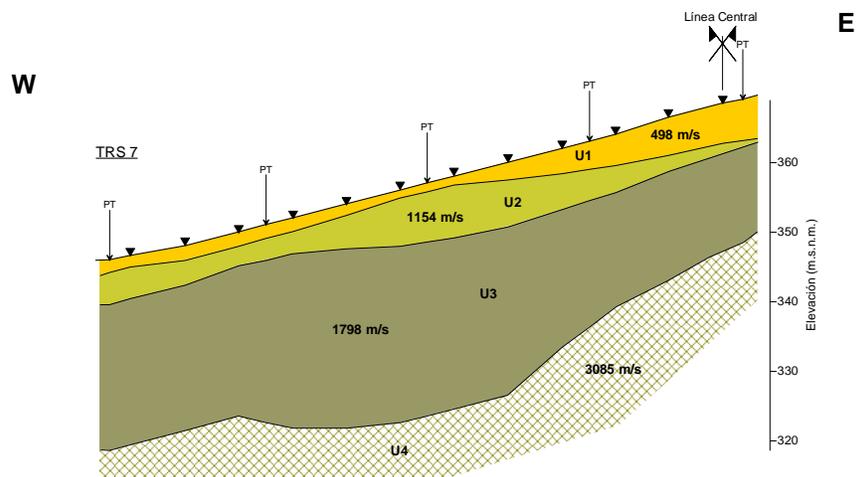


Figura I.6-8. Sección geosísmica transversal TRS 7

En la superficie del área de estudio se encuentra la cobertura areno arcillosa, suelo vegetal y fragmentos rocosos, cuyo espesor varía de 1 a 5 m, identificada anteriormente como U1, ésta presenta velocidades de propagación del orden de 274 a 498 m/s, valores que se asocian a condiciones de baja compacidad, por lo anterior y con base en los criterios de excavabilidad, se clasifica como desgarrable.

El segundo paquete registrado corresponde a la U2, asociado a basalto con diferentes grados de fracturamiento y meteorización, para el que se determinaron velocidades de propagación del orden de 721 a 1430 m/s, que definen un espesor de 2 a 16 m; es importante destacar que en la sección correspondiente al TRS 7, es donde se presenta el menor espesor de esta unidad, mientras que en la sección correspondiente al TRS 8 se observa escasa distribución hacia el poniente de la misma. De acuerdo a sus velocidades de propagación y con base en los criterios de excavabilidad, esta unidad se clasifica como desgarrable.

Continuando con la secuencia se encuentra la U3, que presentó velocidades de propagación del orden de 1060 a 2059 m/s, asociadas a roca basáltica descomprimida (con fracturas que conforman bloques de tamaño diverso), la que presenta un espesor de 5 a 25 m en términos generales, el cual se acuña en dirección sur hasta desaparecer bajo el TRS 6, por lo que es inexistente bajo el TRS 5. Debido al rango de velocidades de propagación se clasifica como desgarrable a marginal, en el caso de que la maquinaria que se pretenda emplear para la explotación del banco no sea de las características consideradas por Caterpillar, será necesario el uso de explosivos para su fragmentación.

Por último se registró la U4, identificada como el basamento rocoso de la zona, el cual presentó velocidades de propagación de 2144 a 3546 m/s, se asocia a roca basáltica poco fracturada, se considera conformada de bloques de gran tamaño, debido a sus características la excavabilidad de este se clasifica como marginal a no desgarrable, lo que implica necesariamente del uso de explosivos para su fragmentación, en el caso de realizar su explotación.

Sección TRS 12

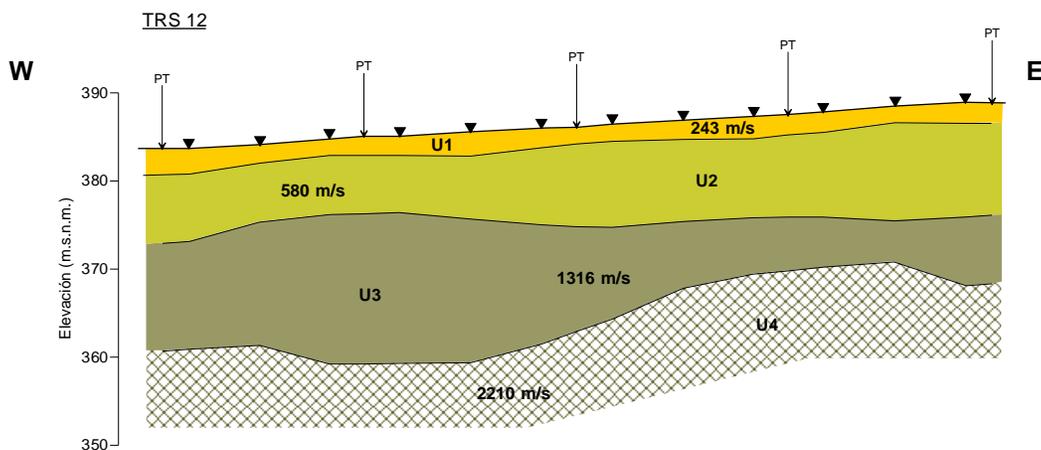


Figura I.6-9. Sección geosísmica transversal TRS 12

Con objeto de evaluar la continuidad de materiales en la zona de la meseta, cercana al banco de roca se realizó el TRS 12, en donde se puede observar que la secuencia de materiales continua presente, de tal forma que superficialmente se encuentra la cobertura areno arcillosa, identificada como U1, caracterizada en este sitio con 243 m/s, velocidad que se asocia a materiales de baja compacidad fácilmente desgarrable.

La segunda unidad identificada corresponde a la U2, asociada a roca fracturada a muy fracturada debido a ello conforma bloques de tamaños diversos, condición que puede favorecer la alteración de la roca (meteorización), la velocidad de propagación determinada fue de 580 m/s, con los que se clasifica como desgarrable.

Subyaciéndole continua la U3, definida por un espesor de 4.5 a 17 m y velocidad de propagación de 1316 m/s, se asocia con roca basáltica descomprimida, debido a sus características se clasifica como desgarrable, sin embargo si la maquinaria no reúne las

características y potencia equivalente a los equipos propuestos por los criterios de arabilidad, es muy probable que requieran el uso de explosivos para su fragmentación.

Finalmente por debajo de los 20 m de profundidad en promedio, se encuentra la U4, asociada a basalto poco fracturado, registrando velocidades del orden de 2210 m/s, valores que lo ubican en la zona marginal de las tablas de excavabilidad, sin embargo en el caso de que se tenga que realizar la explotación de esta unidad será necesario el uso de explosivos para su fragmentación.

I.7. CONCLUSIONES

El banco de roca estudiado durante la presente campaña se encuentra sobre derrames de basalto que cubren ampliamente la zona de estudio, los procesos geológicos han desarrollado en la roca fracturamiento que ha favorecido la alteración de la misma, modificando las características geomecánicas de las unidades o paquetes identificados.

Dentro del banco de roca se identificaron 4 unidades geosísmicas dispuestas en la siguiente secuencia.

U1 Cobertura areno arcillosa, se encuentra complementada por suelo areno arcilloso y fragmentos rocosos, sobre esta se desarrolla la vegetación de la zona y la actividad agrícola de la comunidad cercana, las necesidades de explotación obligan a la remoción de esta unidad, la que se clasifica como desgarrable, de acuerdo a sus velocidades del orden de 243 a 498 m/s.

U2 Roca fractura a muy fracturada (basalto), debido al fracturamiento que presenta conforma bloques de tamaño diverso, su alta permeabilidad favorece la infiltración del agua acelerando con ello el deterioro de la roca, por lo que presentará diferentes grados de meteorización, el rango de velocidades que presentó (721m/s a 1430 m/s), lo clasifican como desgarrable.

U3 Roca descomprimida, presenta fracturamiento, el grado de meteorización varía de bajo a casi nulo, se considera que conforma bloques de regular tamaño, sus velocidades de propagación (1060 a 2059 m/s) permiten clasificarlo como desgarrable, pero si no se cuenta con maquinaria de la potencia y características sugeridas por el criterio de clasificación es muy probable que se requiera del uso de explosivos para su fragmentación.

U4 Roca poco fracturada, constituye el basamento de la zona de estudio, las velocidades de propagación determinadas para esta unidad son 2144 a 3546 m/s, valores que permiten clasificar su excavabilidad entre lo marginal y no desgarrable, por ello en el caso de que se deseé explotar esta unidad será necesario el uso de explosivos para su fragmentación.

Es importante recordar que los criterios de excavabilidad están establecidos para equipos Caterpillar de características y potencia determinadas, por lo que en el caso de no contar con estos equipos o equivalentes la clasificación de excavabilidad puede variar.

En términos generales en caso de emplear equipos de potencia y características inferiores a las establecidas por los criterios de excavabilidad, se puede estimar que la unidad geosísmica U2 corresponde a material marginal a no desgarrable y mientras que para la U3 y U4 será necesario el empleo de explosivos para la fragmentación de la roca.

Con el fin de hacer más claro y rápido la consulta de las características de las unidades identificadas en el banco de roca, se presenta a continuación la tabla IV, que resume las características del banco de materiales.

Tabla IV. Características del banco de roca

Unidad Geosísmica	Litología asociada	Velocidad (m/s)	Espesor (m)	Excavabilidad
U1	Cobertura (areno arcillosa, suelo vegetal y fragmentos de roca)	243 – 498	0.5 – 4	Desgarrable (material tipo I)
U2	Roca muy fracturada a muy fracturada	721 – 1430	3 – 16	Desgarrable (material tipo I)
U3	Roca descomprimida (bloques de regular tamaño)	1060 – 2059	2 - 25	Desgarrable – Marginal (materia tipo II)
U4	Roca poco fracturada (bloques grandes)	2144 – 3546	indeterminado	Marginal a No desgarrable (material tipo III)

Es importante resaltar que los criterios de excavabilidad están basados en las características de los equipos proporcionados por Caterpillar para este tipo de trabajos, por ello en caso de que se ocupen equipos de menor potencia y características diferentes, es posible que se requiera del uso de explosivos para materiales clasificados como marginales.

CAPÍTULO II

II. ESTUDIO DE TOMOGRAFÍA SÍSMICA PARA LA EVALUACIÓN DE PILAS DE CONCRETO

En este capítulo se analizan las pilas de 1.2 m de diámetro, de un puente que presentó en tiempos recientes deterioro evidente, por ello se realizaron estudios encaminados a evaluar la integridad de las pilas de los ejes 3 y 4, que durante una inspección mostraron ser las más afectadas.

Para evaluar la extensión del área afectada y la integridad del resto de las pilas se realizó el presente estudio de tomografía sísmica, el cual es un método geofísico de alta resolución, que permite determinar las ondas de propagación sísmica (ondas P) dentro de las pilas, definiendo zonas con contrastes de velocidades, de tal manera que las zonas de alta velocidad se asocian a condiciones favorables, mientras que las zonas de baja velocidad refleja malas condiciones del concreto (contaminación, baja consolidación, fracturamiento, etc).

Los resultados obtenidos dirigieron el desarrollo de los trabajos de limpieza y reforzamiento a los que fueron sometidos los elementos dañados.

II.1 OBJETIVOS

- Obtener registros sísmicos de las pilas denominadas 3 y 4 .
- A partir de los tiempos de arribo determinar el modelo de inversión que conformará la tomografía de cada uno de los planos realizados.
- Establecer a partir de las velocidades la extensión de la zona alterada.

II.2 FUNDAMENTO TEÓRICO

Conceptos básicos

El estudio de tomografía sísmica se basa en dos conceptos estrechamente relacionados, el primero de ellos corresponde al principio de Huyghens, que permite modelar la propagación de un frente de onda en un medio heterogéneo, tratando cada punto en el frente de onda como una fuente instantánea de energía. La posición del frente de onda permanece un instante y se propaga de manera esférica, originando nuevos puntos fuente que conforman un nuevo frente de onda, cada uno con radio proporcional a la velocidad local.

La trayectoria indica la dirección y sentido de la propagación del movimiento ondulatorio, la cual es perpendicular al frente de onda generado, lo anterior se muestra de manera gráfica en la figura II.2-1

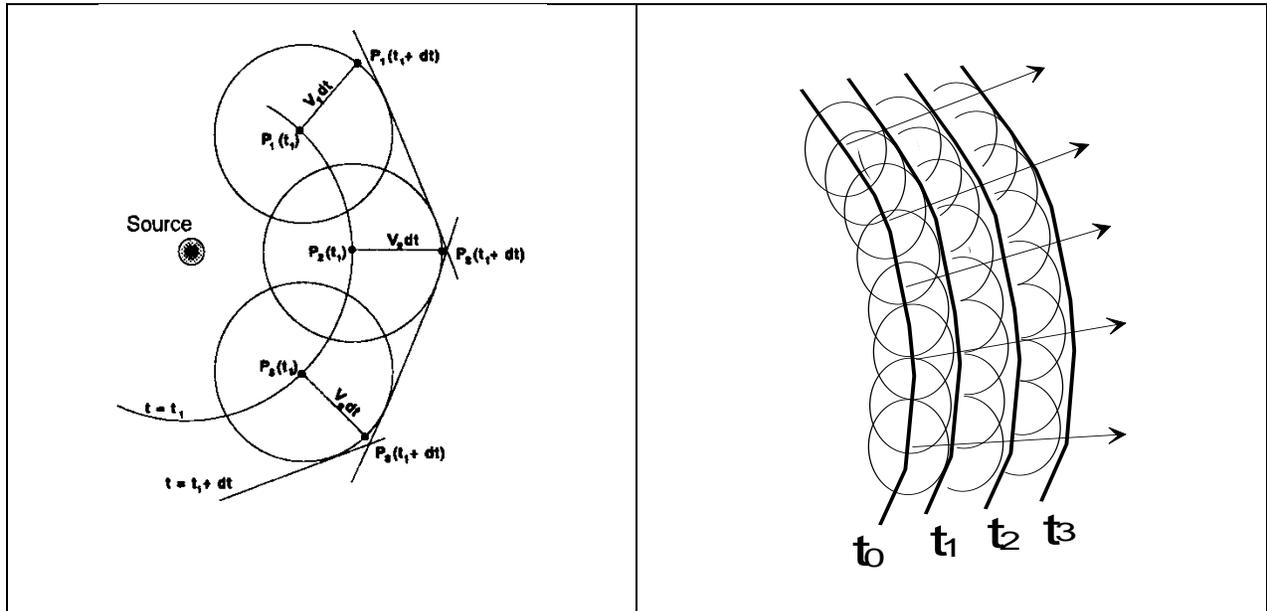


Figura II.2-1 Principio de Huygens

El segundo concepto corresponde al principio de Fermat, el cual establece que el movimiento ondulatorio entre dos puntos sigue la trayectoria de tiempo mínimo, esto significa que el movimiento ondulatorio seguirá el camino de más alta velocidad, lo cual dependerá de la distribución de velocidades en el medio.

A partir de los conceptos anteriores se considera el procesamiento de los registros de tomografía, los cuales parten del análisis de rayos de máxima velocidad en el medio y tiempo mínimo. El arreglo generado en el caso particular que nos ocupa está basado en dos frentes, el primero está conformado por el conjunto de fuentes sísmicas y el segundo por el conjunto de receptores.

Cada fuente generará un frente de onda que será registrado por todos los receptores colocados a una distancia constante, el cambio de posición de las fuentes generará sucesivamente frentes de onda en forma de abanico, que serán analizados como rayos o trayectorias de tiempo mínimo, es decir de máxima velocidad. El conjunto de todos los abanicos de trayectorias originados, permitirán conformar una malla muy detallada, como se observa en la

figura II.2-2, a partir de la cual se podrá establecer una distribución de velocidades para medios no homogéneos y anisótropos.

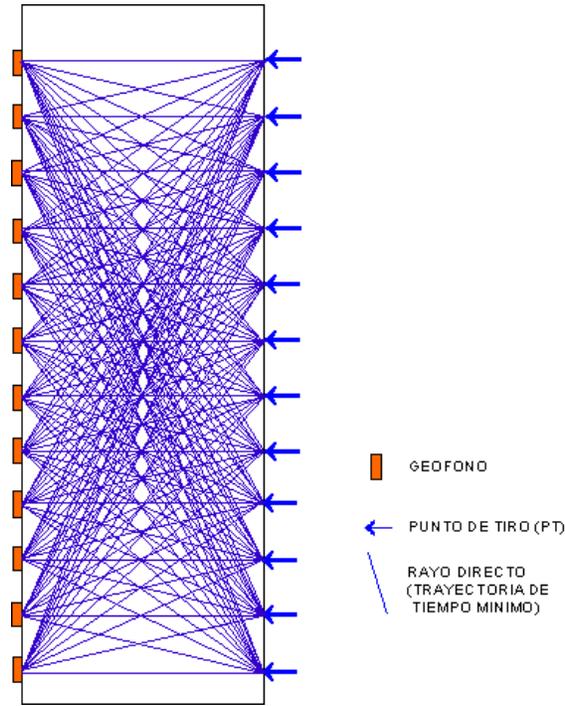


Figura II.2-2 Conjunto de trayectorias que conforman la tomografía sísmica, rayos de tiempo mínimo y máxima velocidad

II.3. ADQUISICIÓN DE DATOS

Para la adquisición de datos se realizó la perforación de 4 pozos ex profeso, alrededor de cada una de las pilas a evaluar, como se muestra en la figura II.3.-3.

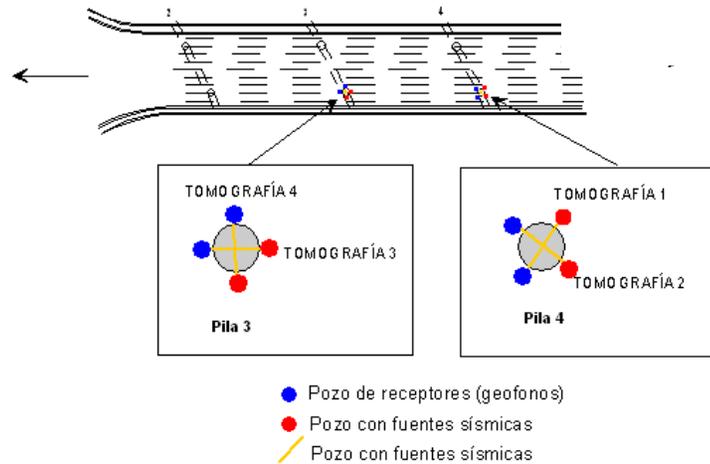


Figura II.3-3 Ubicación de las Pilas No.3 y 4, así como la ubicación de los pozos realizados ex profeso para la adquisición de datos

Los registros sísmicos se obtuvieron empleando un sismógrafo SEISTRONIX modelo Ras-24, conectado a una sonda de geofonos, la cual se coloca en el interior de uno de los pozos, mientras que en el otro se colocó la fuente sísmica activada con un marro de 12 lbs, (figura II.3-4). Los registros así generados se almacenaron en el disco duro de la computadora, para su posterior procesamiento y análisis.

Con los pozos perforados en cada una de las pilas, se construyeron 4 tomografías sísmicas con intervalos de muestreo de 0.2 m, con los que se obtuvo en promedio más de 1200 trayectorias por cada tomografía, densidad de información que permite establecer una confiable distribución de velocidades.

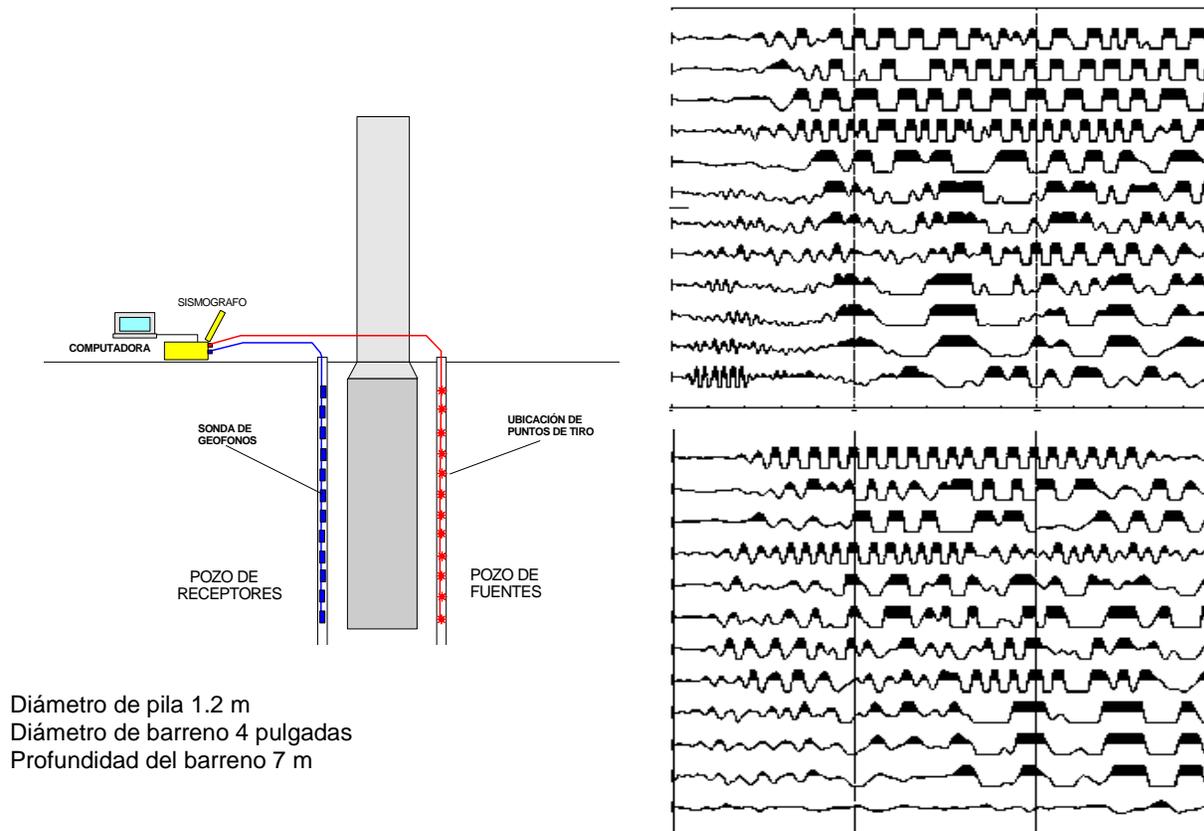


Figura II.3-4 Configuración del arreglo de geófonos y fuentes en el interior de los pozos con algunos de los sismogramas obtenidos

II.4 TRABAJOS DE GABINETE

El procesado de los registros comenzó con la transferencia y lectura de los tiempos de arribo de cada uno de los sísmogramas, esto se realizó mediante el programa TomTime(MR), posteriormente se construyeron las matrices numéricas con las características geométricas de cada una de las tomografías y los tiempos de arribo de cada uno de los sensores (geófonos), lo anterior constituye la base para la determinación del modelo de velocidades, que se obtuvo mediante un programa especializado, el cual en términos generales y simples promedia todas las velocidades de las trayectorias registradas en una celda y asigna el valor determinado a un nodo ubicado en el centro de la misma (figura II.4.5)

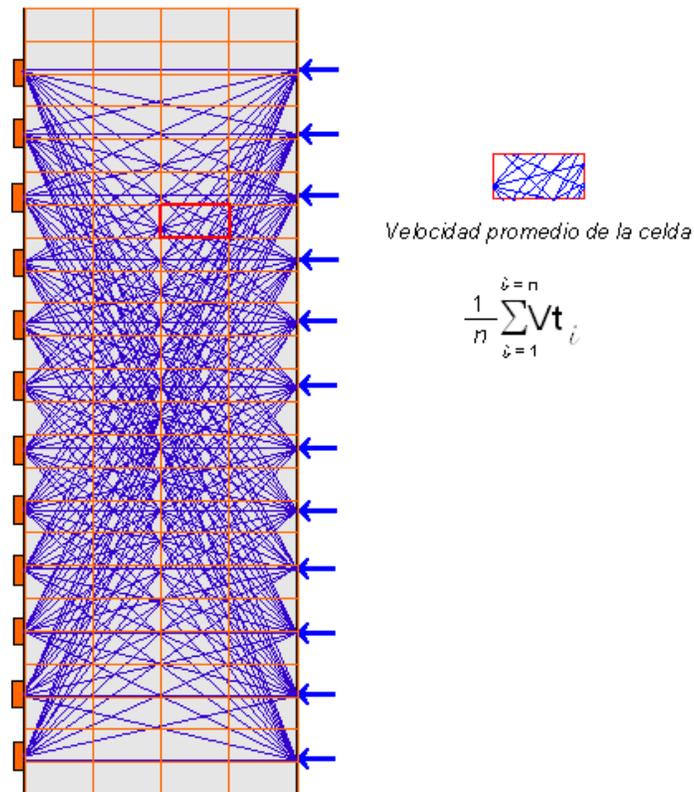


Figura II.4-5. Trayectorias y celdas de cálculo

Los modelos obtenidos fueron graficados, generando imágenes que muestran la distribución de velocidades calculadas en el paso anterior.

II.5 ANÁLISIS DE RESULTADOS

Resultado de los procesos comentados anteriormente, fueron 4 imágenes que describen la distribución de velocidades al interior de las pilas No. 3 y 4, a partir de ellos fue posible establecer una relación entre las velocidades de propagación de onda P y el grado de deterioro existente en cada uno de los elementos estudiados.

Tomografía 1 y 2 (pila No.4)

Estas se realizaron en la pila No.4, las imágenes generadas se presentan en las figuras II.5-6 y II.5-7, respectivamente, en ellas se observan los cortes y su representación mediante curvas de isovelocidad, las cuales son un reflejo de las condiciones del elemento estudiado.

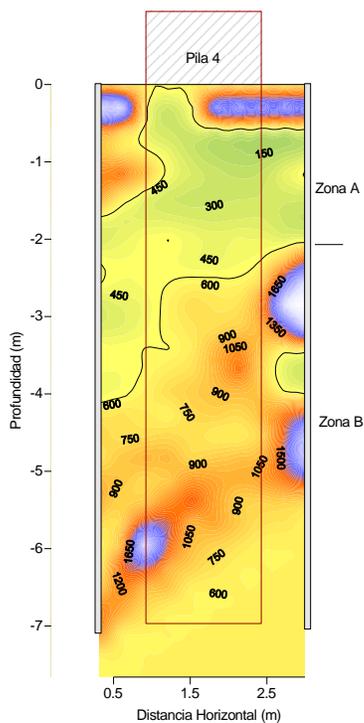


Figura II.5-6. Tomografía 1, imagen de isovelocidad al interior de la pila No 4

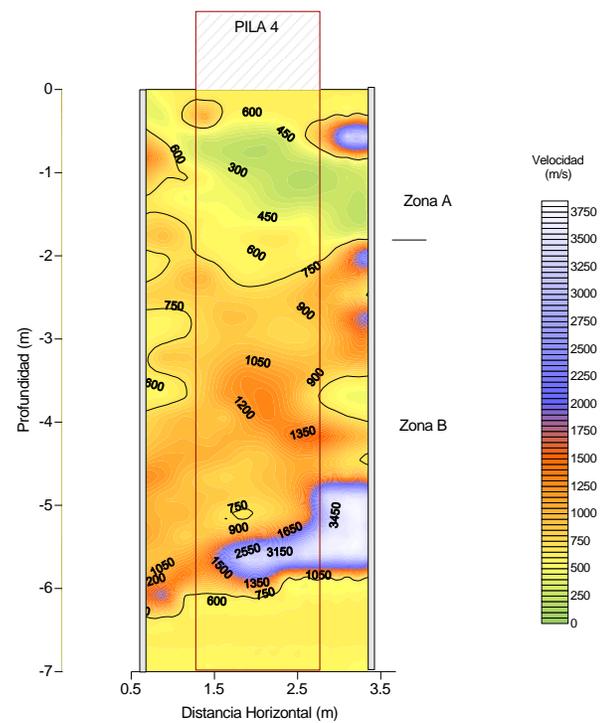


Figura II.5-7 . Tomografía 2, imagen de isovelocidad al interior de la pila No. 4

Los resultados obtenidos permiten identificar dos condiciones, la primera de ellas se caracteriza por bajas velocidades de propagación, menores a los 700 m/s, las que se concentra en la denominada zona A, presente en ambas tomografías e identificada en tonalidades de amarillo a verde, dicha zona se asocia a condiciones de concreto alterado de baja consolidación, que se presenta de manera irregular de 0 a 1 m y se extiende de 1 a 2.5 m de profundidad en

promedio, sin embargo en la parte exterior de la pila puede llegar a poco más de los 3 m de profundidad, como se observa en la tomografía 1.

La zona B, presente en las tomografías 1 y 2, corresponde a velocidades de propagación de 700 m/s a más de 1500 m/s, estos últimos hacia la parte más profunda de la pila, estos valores se asocian a concreto consolidado de buena calidad, en términos generales las velocidades y continuidad que presenta por debajo de los 3 m de profundidad permiten establecer que la pila no presenta alteraciones notables que pongan riesgo la integridad del elemento.

Tomografía 3 y 4 (Pila No 3)

Estos registros se realizaron en la pila 3, las imágenes obtenidas se presentan en las figuras II.5-8 y II.5-9, en ellas al igual que en el caso anterior se configura la distribución de velocidades, las cuales se asocian a características del concreto que a continuación se describe.

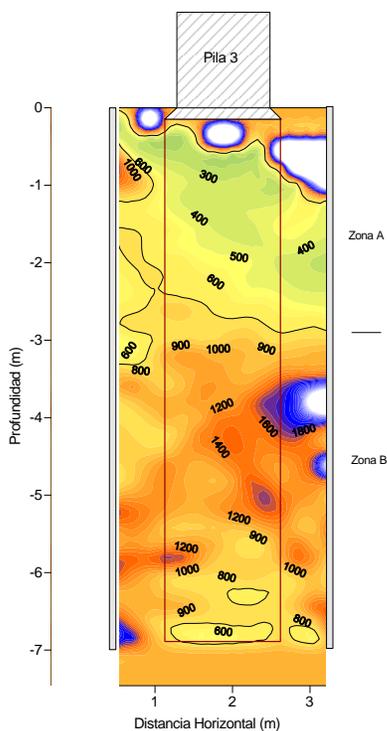


Figura II.5-8. Tomografía 3, imagen de isovelocidad al interior de la pila No 3

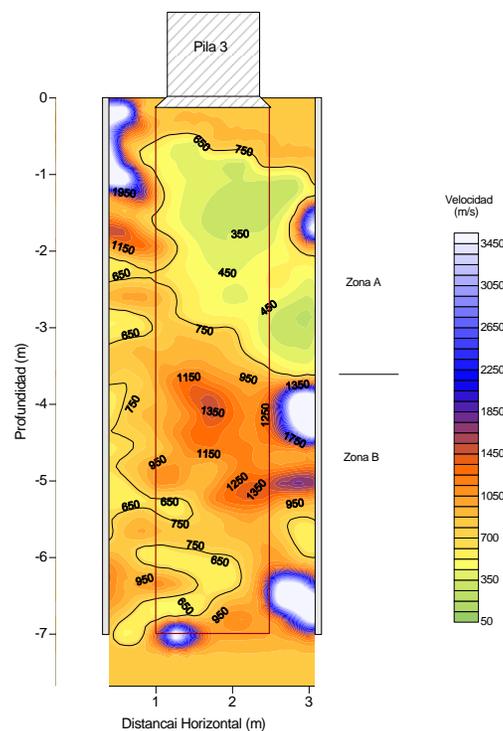


Figura II.5-9. Tomografía 4, imagen de isovelocidad al interior de la pila No 3

Superficialmente de 0 m a poco menos de 1 m de profundidad se observa un rango amplio de velocidades que varía de 700 a 3000 m/s, que se asocia al concreto de buena calidad, por debajo de este se observa un notable descenso en las velocidades que varían de 700 a 200 m/s, que se agrupan en la denominada zona A (figura II.5-8), que se asocia a concreto

deteriorado de calidad irregular, este se extiende de 0.5 m a poco más de los 3 m de profundidad, en la imagen se identifica como el área con tonalidades que varían de amarillo a verde, para obtener una evaluación directa de esta zona se recomienda la extracción de corazones de concreto.

Por debajo de los 3 m de profundidad se encuentra la zona B, presente en ambas tomografías 3 y 4, que agrupa las velocidades altas, mayores a los 700 m/s, en la imagen se identifica con tonalidades de amarillo a rojo y azul, este último para velocidades mayores a los 2000 m/s. Los resultados obtenidos permiten observar que en términos generales la velocidades altas se extienden hasta la parte más profunda de la pila y no se observan gradientes fuertes, por ello se evalúa que no existen discontinuidades importante que afecten la integridad del elemento.

Hacia la parte más profunda, es decir a hasta los 7 m, se observa una zona con velocidades de 600 a 700 m/s, esta se asocia a posible concreto contaminado con arena y gravas no retiradas durante el colado de la misma, se consideran que no representan un riesgo para el elemento.

II.6.CONCLUSIONES

De los resultados obtenidos a partir de los procesos comentados anteriormente se desprenden las siguientes conclusiones.

Las pilas correspondiente a los ejes 3 y 4 del puente, presentan una zona de baja velocidad del orden de 700 a 200 m/s, valores que se asocian a concreto alterado o de baja calidad, esto significa que el concreto presenta uno o mas de los siguientes factores, discontinuidades (fracturas), falta de consolidación, contaminación por arenas, gravas y/o suelos residual, adelgazamiento de las estructura (colado deficiente). Dichas velocidades se agrupan en la denominada Zona A, que en términos generales se extiende desde la superficie del terreno hasta los 3 m de profundidad en promedio.

Para obtener una evaluación y caracterización de la zona A , se recomienda la obtención de núcleos y/o inspección directa mediante la excavación de las pilas entre 1 y 3 m de profundidad.

Por debajo de los 3 m de profundidad, se observa que las pilas presentan un incremento en la velocidad de propagación oscilando de 700 a 2000 m/s, definiendo con ello una zona que se ha denominado B, que se asocia a concreto de mejor calidad, es decir de mayor consolidación, con poca o nula presencia de discontinuidades importantes que afecten la integridad de la pila, liberando a esta de cualquier inspección directa a profundidad.

CAPÍTULO III

III. DETERMINACIÓN DE LOS NIVELES DE VIBRACIÓN Y SU AFECTACIÓN A ESTRUCTURAS, ASÍ COMO A LAS CONDICIONES DE SEGURIDAD E HIGIENE LABORAL.

Las actividades productivas en algunos procesos industriales requiere del uso de maquinarias rotativas, como es el caso que nos ocupa, estos equipos inducen vibración a la estructura que las aloja, que bajo ciertos rangos de velocidad de partícula y frecuencia pueden ser factor de daño al inmueble, además de las incomodidades y riesgos que puede significar para el personal operativo de la planta. Con respecto a esto último, estudios de medicina laboral han descubierto que existe relación en tiempo de exposición a vibraciones y alteraciones en la salud del personal operacionalmente expuesto, por ello existe la necesidad de complementar el análisis de velocidad de partícula con los criterios de seguridad e higiene laboral establecidos internacionalmente.

III.1 OBJETIVOS

- Obtener registros sísmicos del ruido originado por la operación de generadores, en diferentes puntos del edificio sala de fuerza.
- Obtener registros de las vibraciones inducidas al área de oficinas cercanas a la sala de fuerza
- Determinar a partir de los registros sísmicos las aceleraciones, velocidades, y frecuencias dominantes de las vibraciones transferidas a la estructura.
- Con base en las normas DIN4150 y USBM-OSRME, establecer los niveles máximos de velocidad de partícula alcanzados.
- Con base en la NOM-024-STPS-2001, establecer las condiciones de seguridad e higiene en el área de oficinas.

III.2 FUNDAMENTOS DE LAS NORMAS Y CRITERIOS

Norma Alemana (DIN 4150)

La norma DIN 4150 considera las características de las estructuras sujetas a vibración y la frecuencia del fenómeno vibratorio que origina el movimiento, establece los límites de velocidad de partícula en mm/s, e intervalos de frecuencia (Hz).

Son tres los tipos genéricos de estructuras que considera dicha norma.

- Tipo I .- Edificio público industrial
- Tipo II.- Edificios habitacionales, con revocos y enlucidos
- Tipo III.-Edificios histórico-artísticos o que por su construcción son sensibles a las vibraciones y no entran en los grupos I y II

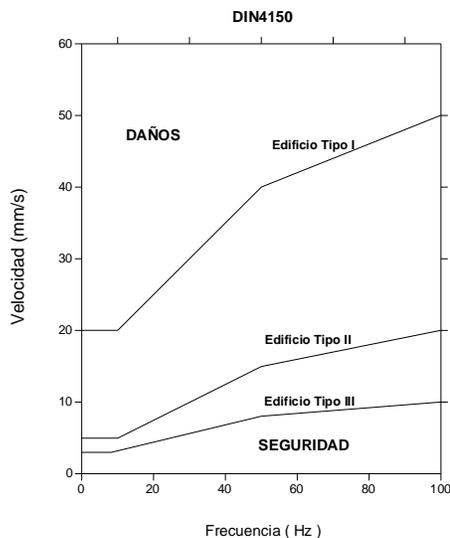
Con respecto a las frecuencias de las vibraciones, la norma establece tres intervalos, el primero comprende de 0 a 10 Hz, el segundo es de 10 a 50 Hz y finalmente el tercero corresponde a frecuencia de 50 a 100 Hz, para las estructuras tipo I, II y III, respectivamente. La norma prevé, que para valores mayores a 100 Hz las estructuras soportan niveles altos de vibración.

Los valores de velocidad de partícula definidos por la norma DIN 4150, varían de 3 mm/s, en el caso de monumentos y construcciones delicadas considerando frecuencias inferiores a 10Hz, hasta 50 mm/s, para estructuras industriales con frecuencias comprendidas entre 50 a 100 Hz.

Los parámetros antes expuestos se presentan en la tabla I.

TIPO DE ESTRUCTURA	FRECUENCIA (Hz)		
	< 10 mm/s	10 – 50 mm/s	50 –100 mm/s
Industrial	20	20 – 40	40 – 50
Habitacional	5	5 – 15	15 – 20
Edificios particularmente sensibles	3	3 – 8	8 – 10

Tabla I. Valores admitidos por la norma DIN4150, para daños en edificios (Baccii, 2000, adaptada de 1985)



Tipo I .- Edificio público industrial
 Tipo II.- Edificios habitacionales, con revocos y enlucidos
 Tipo III.-Edificios histórico-artísticos o que por su construcción son sensibles a las vibraciones y no entran en los grupos I y II

Figura III.2-1.- Parámetros de la norma DIN4150

Es importante destacar que esta norma es aceptada en toda la comunidad europea como norma patrón, varios países europeos desarrollan sus propias normas basándose en la DIN 4150.

Norma Norteamericana – USBM (RI 8507) e OSMRE

Esta norma ha sido desarrollada por United States Bureau of Mines (USBM), establece los niveles de vibración en parámetros de velocidad de partícula (mm/s) y frecuencia (Hz) considerando fuentes explosivas comunes en las zonas de explotación minera.

En ella se establecen dos zonas, la zona de daño definida como “daños cosméticos de tipo superficial”, considera fisuras internas que se desarrollan en todas las residencias, independiente de la vibración generada por la detonación de explosivos.

La zona de seguridad establece niveles de vibración de partícula seguros, definidos como “niveles con improbabilidad de producir fisuras internas o cualquier otro daño”, estos se presentan en la tabla II y son considerados como niveles conservadores.

Tipo de estructura	Vp(mm/s)	
	Bajas frecuencias f < 40Hz	Altas frecuencias f > 40 Hz
Casas modernas con recubrimientos de yeso	19	50
Casas antiguas con paredes de yeso o revestimiento de madera	12.7	50

Tabla II.- Niveles vibración establecidos por la Norma USBM (RI8507) e OSMRE

La United States Bureau of Mines (USBM) y la Office for Surface Mining Reclamation (OSRME) establecieron un criterio conjunto para el control de los daños provocados por vibraciones no propias del terreno. Los criterio mostrados en la figura III.2-2, constituyen una referencia de velocidad máxima de vibración de partícula (Vp) en función de la frecuencia.

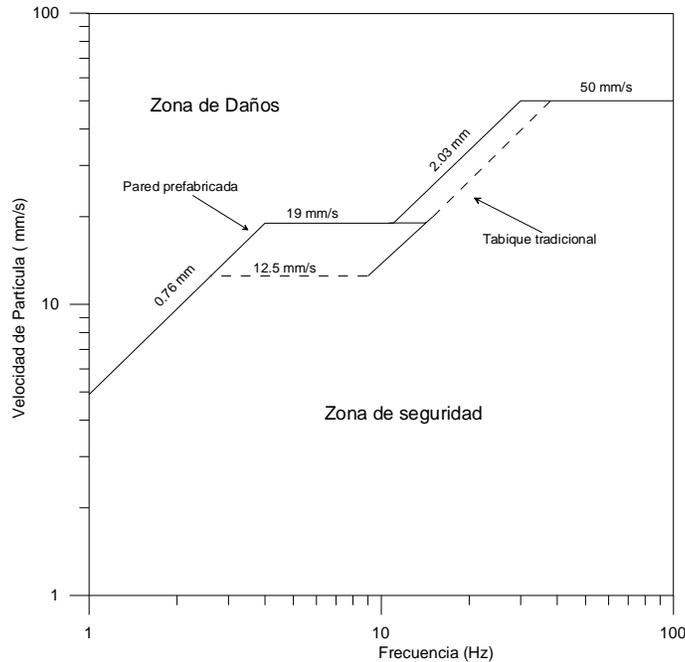


Figura III.2-2 Diagrama representando los límites de Vp y desplazamiento sugeridos por la USBM y OSMRE, medidos en mm/s y mm, respectivamente, en función de la frecuencia (Hz)

Criterios de seguridad e higiene

Para evaluar el impacto que las vibraciones originadas en la sala de fuerza tendrán sobre el área de oficinas, se consideró los criterios establecidos en la NOM-024-STPS-2001, que en el apartado 7 establece los límites máximos permisibles de exposición a vibraciones en cuerpo entero, el cual define como el fenómeno físico que se manifiesta por la transmisión de energía mecánica por vía sólida en el intervalo de frecuencias desde 1 hasta 80 Hz, al cuerpo entero del personal ocupacionalmente expuesto (POE).

La norma establece que cuando se conoce la frecuencia de un mecanismo que genera la vibración y se relaciona con la aceleración en m/s^2 , ya sea en el eje de la aceleración longitudinal a_z , o en los ejes de aceleración transversal a_x y a_y , se obtiene el tiempo de

exposición que puede variar de un minuto a veinticuatro horas, de acuerdo a la dirección de incidencia sobre el cuerpo humano, como se indica en la figura III.2-3.

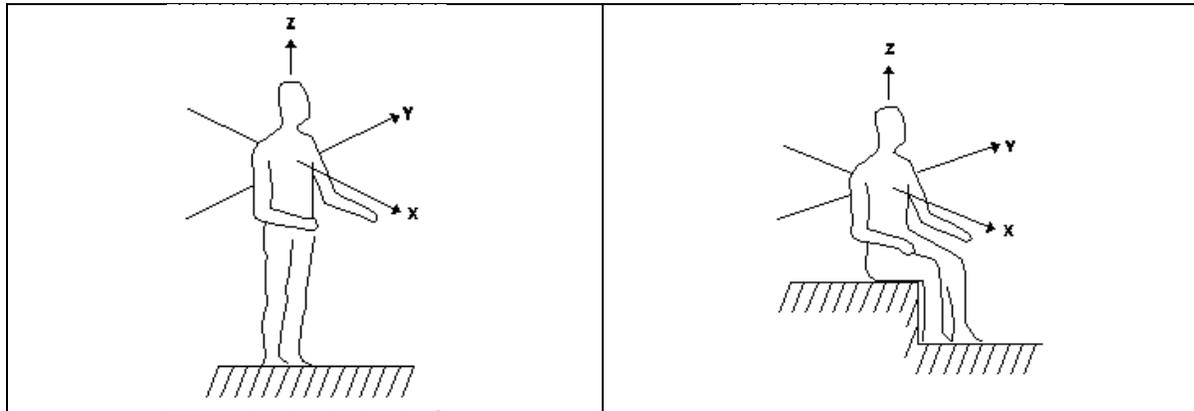
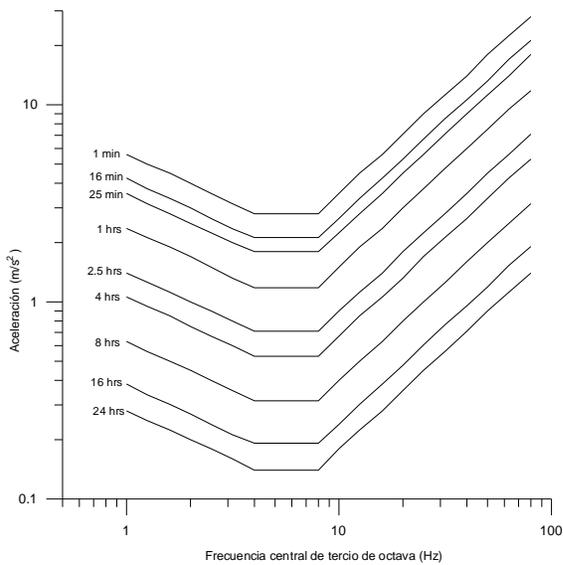


Figura III.2-3.- Direcciones de incidencia de las vibraciones sobre el cuerpo humano de acuerdo a los ejes X,Y, Z establecidos por la NOM-024-STPS-2001

Los límites de exposición a vibraciones en el eje longitudinal a_z y en los ejes transversales a_x y a_y se establecen en las tablas A y B, respectivamente contenidas en el anexo que acompaña el presente escrito. Las gráficas que se generan a partir de los datos contenidos en dichas tablas se presentan en la figura III.2-4, y permiten evaluar los registros obtenidos durante la presente campaña de instrumentación y monitoreo de vibraciones en el complejo industrial

LÍMITES DE ACELERACIÓN LONGITUDINAL (a_z) COMO FUNCIÓN DE LA FRECUENCIA Y DEL TIEMPO DE EXPOSICIÓN



LÍMITES DE ACELERACIÓN TRANSVERSAL (a_x a_y) COMO FUNCIÓN DE LA FRECUENCIA Y DEL TIEMPO DE EXPOSICIÓN

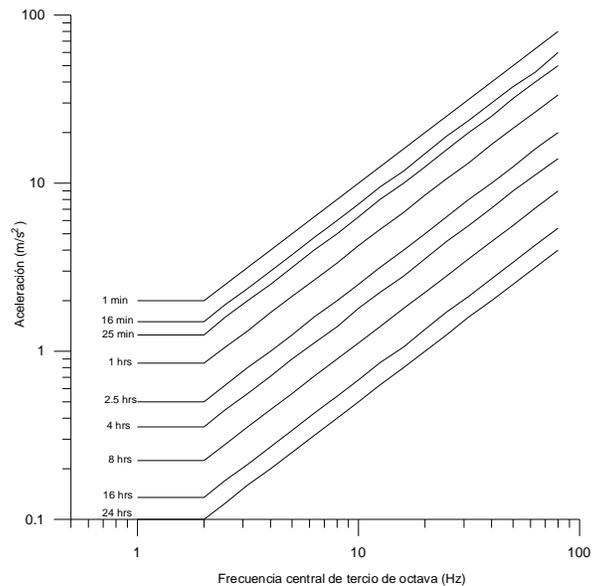


Figura III.2-4. límites máximos permisibles de vibraciones y tiempo de exposición establecidos por NOM-024-STPS-2001

III.3 ADQUISICIÓN DE DATOS

Los registros obtenidos durante la presente campaña fueron analizados bajo los criterios de velocidad de partícula considerando la norma DIN 450 (Alemania, 1986) y USBM-RI 8507 e OSRME (USA, 1985), para el edificio de la sala de fuerza y el nuevo edificio de oficinas, para este último se complementó el análisis con los criterios establecidos por la NOM-024-STPS-2001, relativa a vibraciones y condiciones de seguridad e higiene en los centros de trabajo.

Los trabajos de campo consistieron en recolectar registros sísmicos en dos áreas, la primera corresponde a la sala de fuerza, ubicando el sismógrafo en las juntas constructivas que dividen los 5 módulos que constituyen este edificio, la segunda área instrumentada corresponde al edificio en donde se ubicaran las oficinas, actualmente en construcción.

Para la obtención de registros se empleó un sismógrafo de velocidad de partícula InstanTel modelo Minimate Plus III, acoplado a un sensor de 3 componentes ortogonales entre sí (X,Y,Z), capaz de registrar 1024 muestras /seg/ canal. Los registros obtenidos los almacena en su memoria interna y son transferidos posteriormente a la computadora para su proceso y análisis.

Durante la recolección de registros, los sensores se colocaron en direcciones preferenciales de acuerdo a cada uno de los edificios, en el caso de la sala de fuerza el eje longitudinal se alineó con el lado largo del edificio (dirección SE), el transversal se alineó con el lado corto del edificio (dirección NE), por último la componente vertical es perpendicular a las anteriores, figura III.3-5

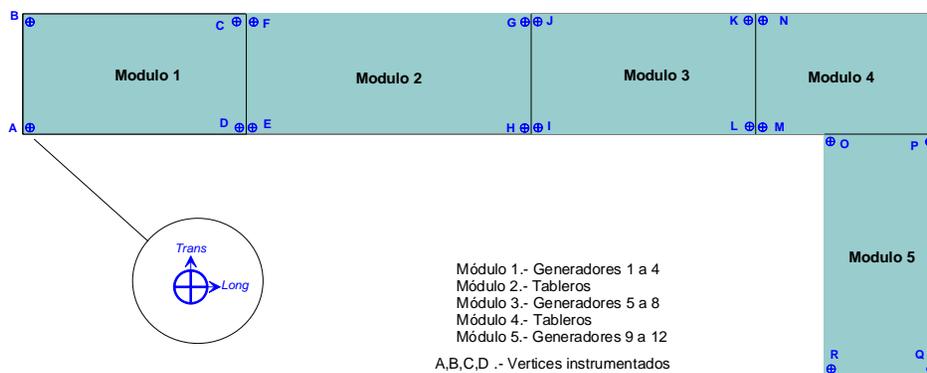


Figura III.3-5 Sitios instrumentados en el edificio de la Sala de Fuerza

En el edificio de oficinas los sitios instrumentados se concentraron en áreas que será ocupada por el personal directivo y administrativo, a fin de evaluar el nivel de ruido (vibración) que se induce a la estructura. Los puntos y orientación de los sensores quedaron de la siguiente manera, el eje longitudinal es paralelo con el lado largo del edificio (dirección NE), el eje transversal esta alineado con el lado corto y perpendicular a ambos se encuentra la componente vertical, lo anterior se muestra en la figura III.3-6

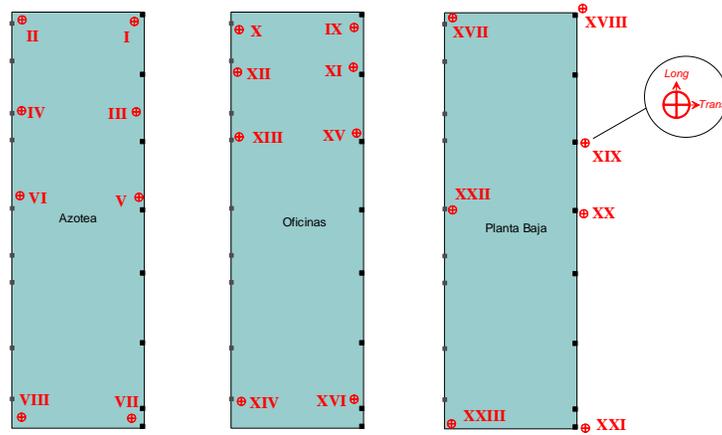
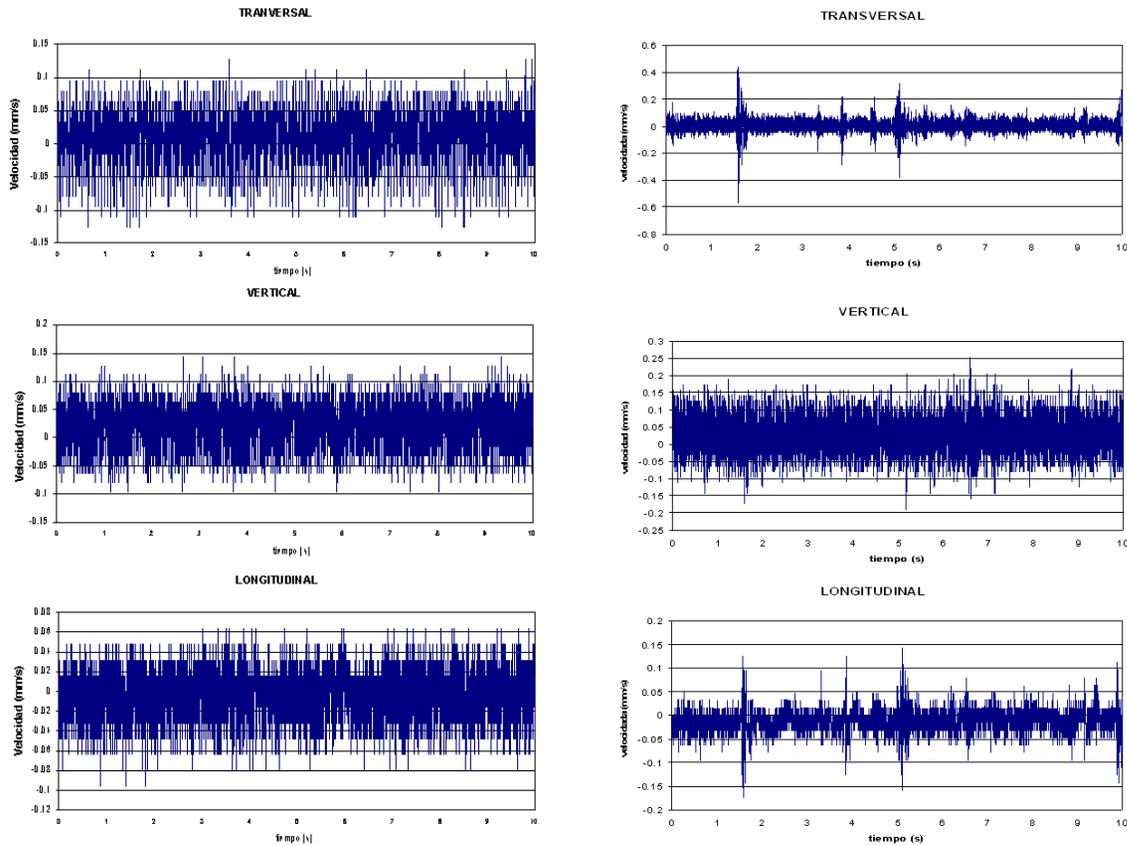


Figura III.3-6. Sitios instrumentados en el edificio de oficinas

Resultado de la instrumentación realizada, se obtuvieron registros sísmicos como los que se muestran en la figura siguiente:



Sala de fuerza

Edificio de oficinas

Figura III.3 –7 Registros sísmicos obtenidos dentro de las instalaciones.

III.4 TRABAJOS DE GABINETE

El procesamiento de la información se inició con la transferencia de los registros del sismógrafo al disco duro de la computadora, posteriormente se realizó el análisis de velocidad de partícula de todos y cada uno de los registros, determinando la aceleración, velocidad, desplazamiento máximos y frecuencia dominante de cada una de componentes (longitudinal, transversal y vertical), lo anterior se realizó mediante el programa de computo Blastware, desarrollado por Instantel, los valores determinados fueron comparados con la norma de control de vibraciones DIN450, USBM RI8507 and OSMRE , anteriormente expuestas.

A los resultados obtenidos en el edificio de oficinas se les realizó un análisis adicional, considerando los criterios de los niveles de vibración y límites de exposición propuestos por la NOM-024-STPS-2001.

III.5 ANÁLISIS DE RESULTADOS

Edificio sala de fuerza

Como se comentó anteriormente se instrumentaron todos los niveles de los 5 cuerpos que conforma el edificio de la sala de fuerza, los resultados obtenidos se muestran en las tablas III a V, contenida en el anexo correspondiente.

Los valores contenidos en las tablas se graficaron considerando cada uno de los criterios antes expuesto, obteniendo los resultados que se presentan en la figura III.5-8

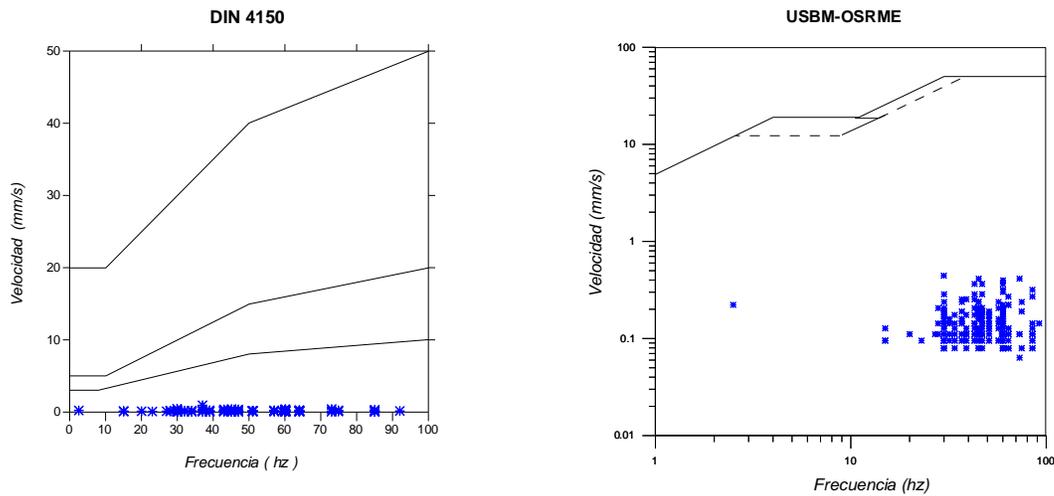


Figura III.5-8.- Velocidad de partícula registrados en sala de fuerza del complejo industrial

Los niveles máximos de velocidad de partícula registrados, durante las vibraciones inducidas, debido a la operación de los generadores de emergencia, no rebasan los rangos de seguridad establecidos por la norma DIN 4150 y USBM-OSRME, por lo que no ocasionara daños al edificio de la sala de fuerza.

Otra manera de observar el comportamiento del edificio es evaluar los máximos desplazamientos registrados en cada uno de los puntos, información que esta contenida en las tablas anexas y que se presentan en la figura III.5-9.

DESPLAZAMIENTO MÁXIMO EN SALA DE FUERZA

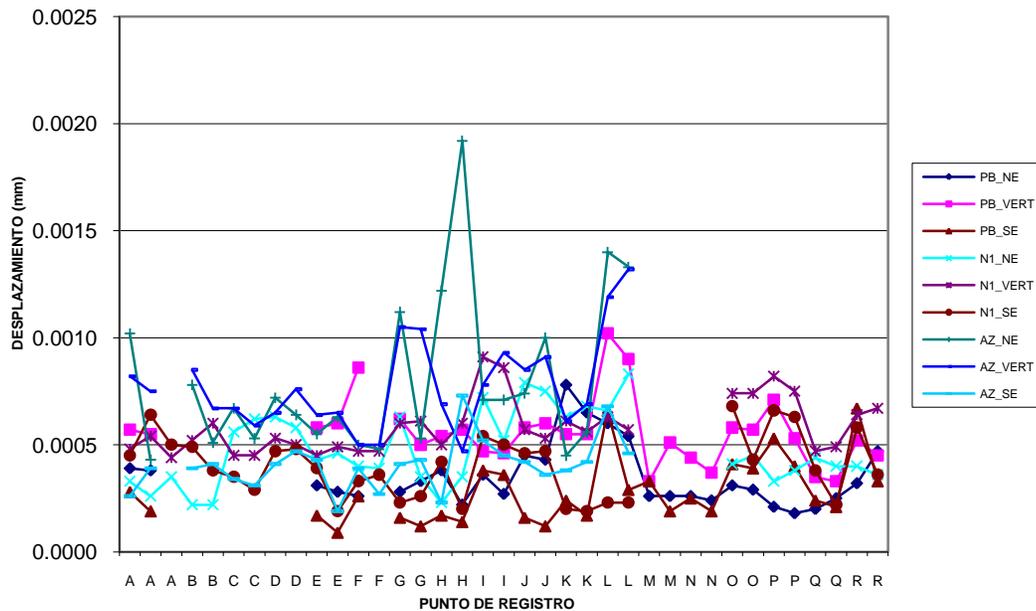


Figura III.5-9 Desplazamientos máximos, sala de fuerza

Los máximos desplazamientos se registraron en la azotea en la componente transversal, dirección NE, es decir del lado corto del edificio, el de mayor magnitud fue de 0.00192 mm, el segundo máximo se registro en la componente vertical siendo de 0.00132 mm registrado en el vértice L.

Por último y en términos generales la mayoría de los desplazamientos se encuentran por debajo de los 0.0010 mm.

Edificio de oficinas

Próximo a la sala de fuerza se encuentra el edificio de oficinas administrativas, el cual percibe las vibraciones generadas por las plantas de energía, los registros obtenidos en los sitios antes mencionados fueron analizados bajos las mismas normas (DIN 4150 y USBM-OSRME) y complementadas con la NOM-024-STPS-2001, debido a que el personal estará sometido a las vibraciones durante sus labores .

De igual manera que en el caso anterior se determinaron los valores máximos de aceleración, velocidad, desplazamiento y frecuencia dominante, valores que se consignan en las tablas VI a

VIII, contenidas en el anexo que acompaña el presente escrito, y que se grafican en la figura III.5-10

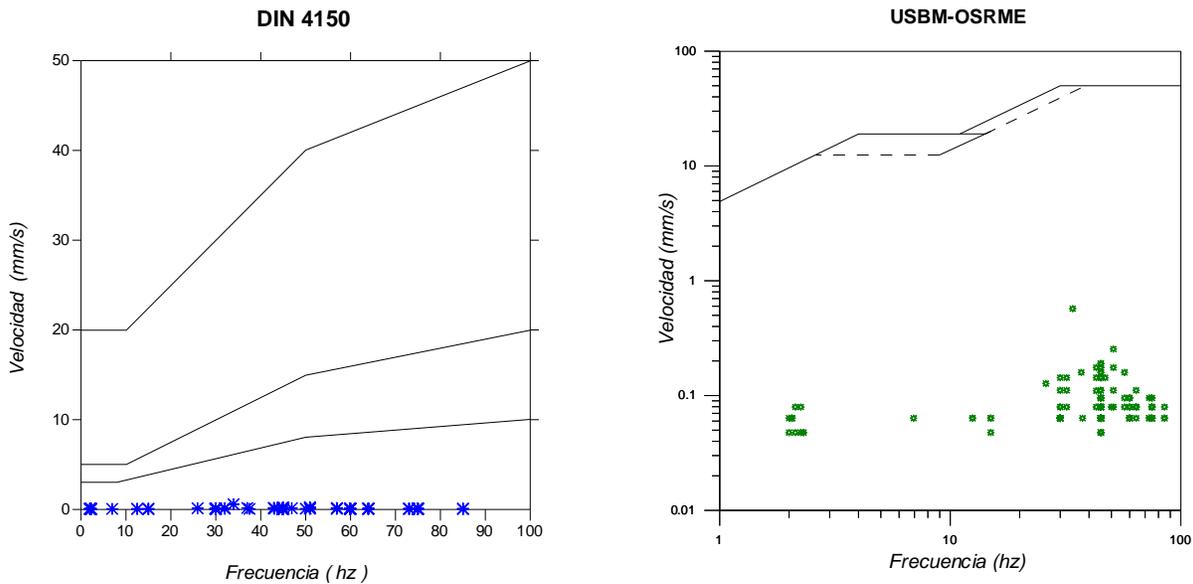


Figura III.5-10 Niveles máximos de velocidad de partícula registrados en el edificio de oficinas.

Como se observa en la figura anterior, los valores se encuentran por debajo de los niveles de daño, por lo que no representan algún riesgo para la estructura, y como era de esperarse estos son menores que los registrados en la sala de fuerza, lo que refleja que existe atenuación de las vibraciones con respecto a la distancia de la fuente.

Los desplazamientos determinados para los sitio instrumentados se presentan en la figura III.5 –11, en ella se observa que el máximo se registró en la componente vertical del sitio VI, con un desplazamiento de 0.00126 mm, el segundo fue en la dirección NE (longitudinal) en el sitio XXII con 0.00074 mm, y el tercero corresponde a la componente SE (transversal) del mismo punto XXII, con 0.00064 mm, mientras que la mayoría de los desplazamientos se encuentra por debajo de los 0.00060 mm.

DESPLAZAMIENTO MÁXIMO EN EL EDIFICIO DE OFICINAS

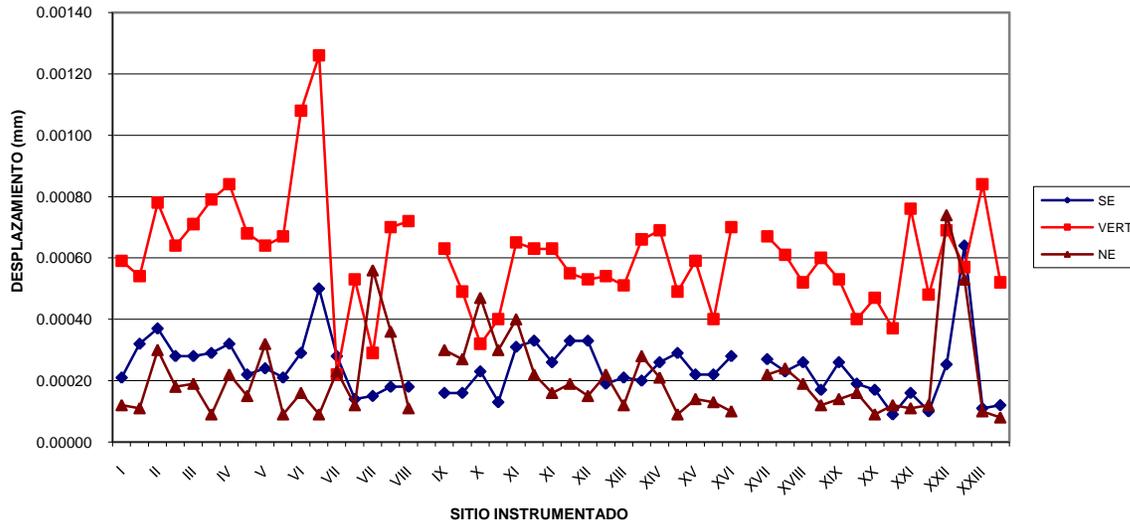


Figura III.5-11 Desplazamiento máximos, edificio de oficinas

Debido a que en este edificio se encontrará personal administrativo, laborando en el horario de operación de los generadores, se ha realizado el análisis considerando límites máximos de exposición para vibración a cuerpo entero, propuestos por la NOM-024-STPS-2001.

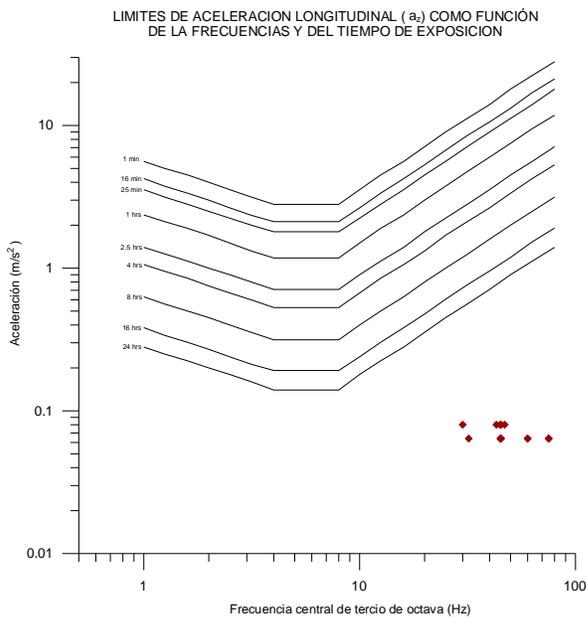


Figura III.5-12A .-Máximos registrados en componente vertical

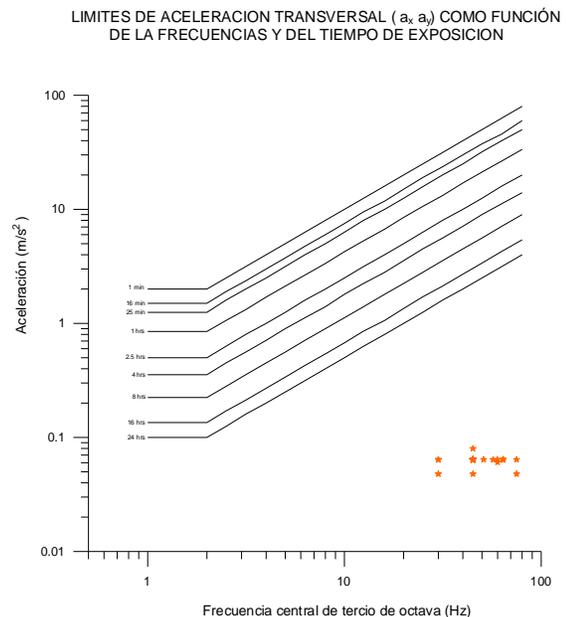


Figura III.5-12B .-Máximos registrados en componentes horizontales (transversal, longitudinal)

Nuevamente se observa en las figuras III.5-12A y III.5-12B que los niveles de vibración registrados y analizados bajo el criterio de la MOM-024-STPS-2001, concerniente a la seguridad e higiene, no rebasan los límites permisibles de exposición, ello implica que la salud y seguridad del personal operativo no se encuentra comprometida.

III.6 CONCLUSIONES

Sala de Fuerza

Los niveles de vibración registrados en la sala de fuerza y analizados bajo los criterios DIN 4150 y USBM(RI 8507) e OSMRE, se encuentra dentro de la zona de seguridad, lo que implica que no causan daño a la estructura.

Los resultados obtenidos permiten conocer que en la sala de fuerza las velocidades máximas se registraron en la componente vertical siendo la mayor de 0.492 mm/s, mientras que las componentes horizontales (Transversal-NE-, Longitudinal-SE) se encuentran entre los 0.0635 a 0.238 mm/s.

Los máximos desplazamientos se registraron en la azotea de la sala de fuerza, siendo el mayor de 0.00192 mm en la dirección NE, en el vértice H, mientras que para el resto de la estructura los desplazamientos oscilaron entre 0.00009 a 0.0015 mm, los detalles del desplazamiento de cada sitio instrumentado se puede consultar en la tabla correspondiente, contenida en los anexos que acompañan el presente escrito.

Edificio de oficinas

Cercano a la sala de fuerza se encuentra el edificio que alojará oficinas administrativas, debido a la cercanía que tiene con la fuente de las vibraciones, se instrumentó, los resultados obtenidos y analizados bajo los criterios DIN 4150 y USBM(RI 8507) e OSMRE , para el aspecto de seguridad estructural y bajo la NOM-024-STPS para los aspectos de seguridad e higiene en los centros de trabajo.

Los resultados permiten establecer que los niveles de vibración se encuentran dentro de la zona de seguridad, muy por debajo de los niveles propuestos por las normas DIN 4150 y USBM, por lo que no causará daños a la estructura.

Los niveles máximos registrados indican que en el sitio de instrumentación XXII, presentó los valores más altos en las tres componentes, siendo estos de 0.571 mm/s en dirección SE, 0.254 mm/s en la componente vertical y 0.175 mm/s en dirección NE. Los valores para el resto de la estructura oscilaron entre 0.0476 a 0.111 mm/s para la componente NE, 0.0635 a 0.0952 en dirección SE y 0.0635 a 0.19 en la componente vertical.

Los desplazamientos máximos se registraron en la componente vertical, registrándose el mayor en la azotea punto VI, con 0.00126 mm, sin embargo en términos generales oscila entre 0.00023 a 0.00084 mm. En la componente SE varia de 0.00009 a 0.00064 mm y finalmente en la componente NE oscila entre 0.00008 a 0.00074 mm

Con respecto a la norma NOM-024-STPS-2001 de seguridad e higiene, que considera el tiempo máximo de exposición bajo régimen continuo, se observa que los niveles de frecuencia y aceleración se encuentra muy por debajo de los niveles máximos permisibles, lo que implica que no existe riesgo, ni restricción para la estancia o exposición a las vibraciones en el área de oficinas.

Es de esperar que los niveles de vibración y la percepción de estos se reduzca cuando las oficinas estén totalmente terminadas, ya que se tendrá mayor aislamiento al ruido.

También se espera que exista disminución de los niveles de vibración, si la superficie de sustentación (piso de las oficinas) se recubre con alfombras.

En los casos de equipos electrónicos o de computo sensibles a las vibraciones, se recomienda sean apoyados sobre superficies supresores de vibración (neopreno, hule o caucho), con lo que se espera disminuya notablemente la transmisión de los bajos niveles de vibración registrados en el área.

Capítulo IV.

CONCLUSIONES GENERALES A LA TESIS

El presente escrito pretende en primera instancia cumplir con el requisito de Tesis, para la obtención del título de Ingeniero Geofísico, cerrando con ello un ciclo más en la vida profesional.

En segundo término se transmiten algunas de las experiencias adquiridas durante el ejercicio profesional como pasante, en donde se expone de manera general el aspecto conceptual que rige el comportamiento de la propagación de las ondas, y como ésto se puede aplicar para soluciones concretas a problemas de ingeniería geotécnica, a partir del procesamiento y análisis de registros sísmicos generados bajo control o inducidos de forma involuntaria.

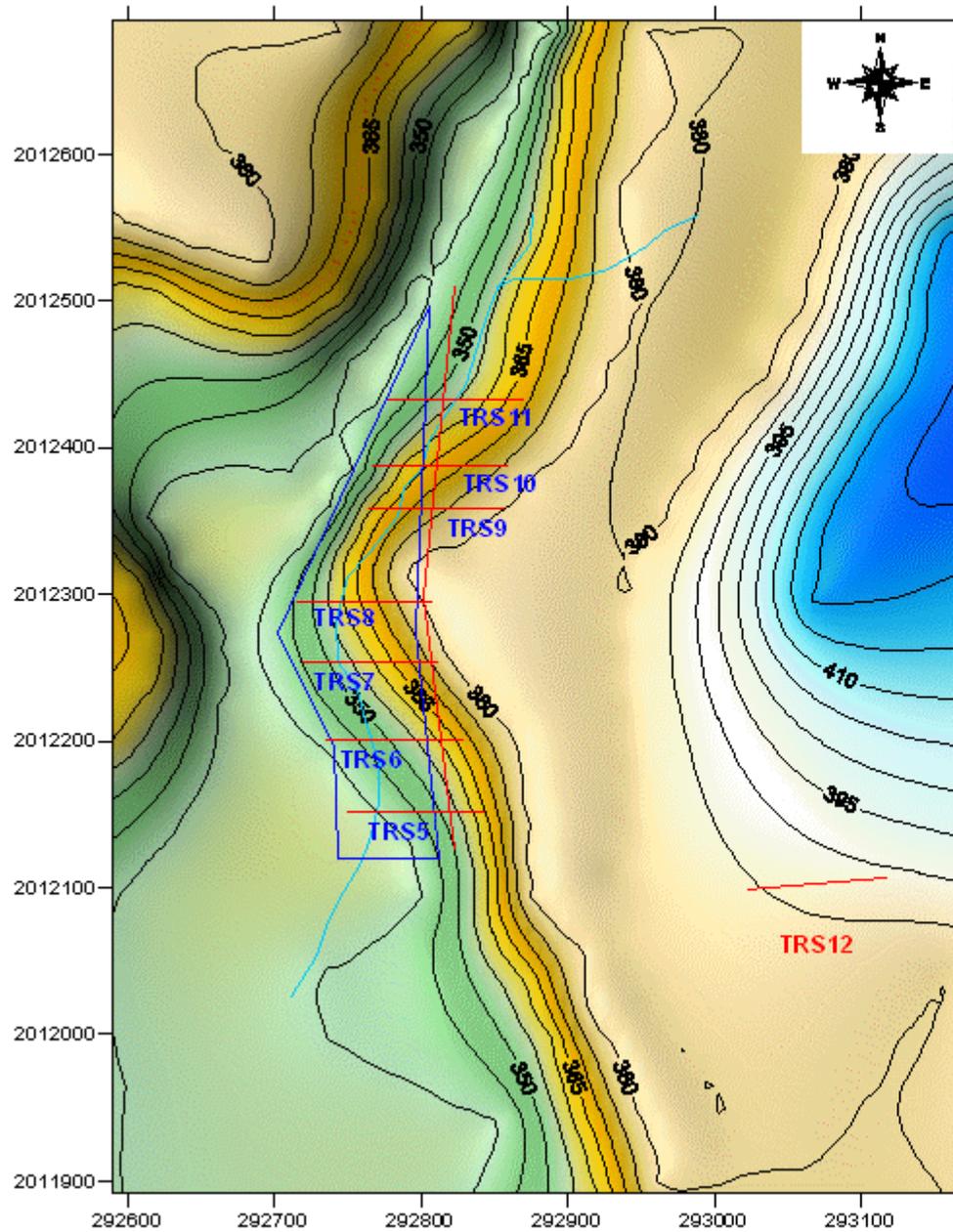
Es importante destacar como los métodos de prospección sísmica encaminados en sus orígenes al estudio y conocimiento del subsuelo, se pueden adaptar para el estudio y evaluación de la infraestructura, ya sea para determinar la continuidad y calidad de concreto de pilas que sirven de soporte a un puente, o bien para establecer los niveles de vibración transferidos a las estructuras y como pueden afectar el desempeño de la misma y a sus ocupantes o usuarios.

Con esta tesis se muestra como recientemente los estudios geofísicos, son en muchos casos una de las principales herramientas de evaluación, denominadas pruebas no destructivas que pueden brindar a la ingeniería geotécnica una evaluación rápida y confiable de estructuras y materiales *in situ*, actividad que en el pasado era irrealizable.

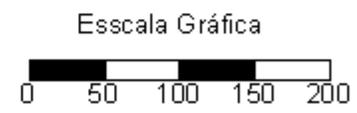
Con los resultados expuestos en el presente escrito, se confirma que los conocimientos geofísicos adquiridos en las aulas de la Facultad de Ingeniería, permiten ofrecer soluciones más allá de la exploración del subsuelo.

ANEXO DE FIGURAS

CAPÍTULO I



-  Predio que limita el banco de roca estudiado
-  Ubicación de la línea de prospección sísmica



D10R

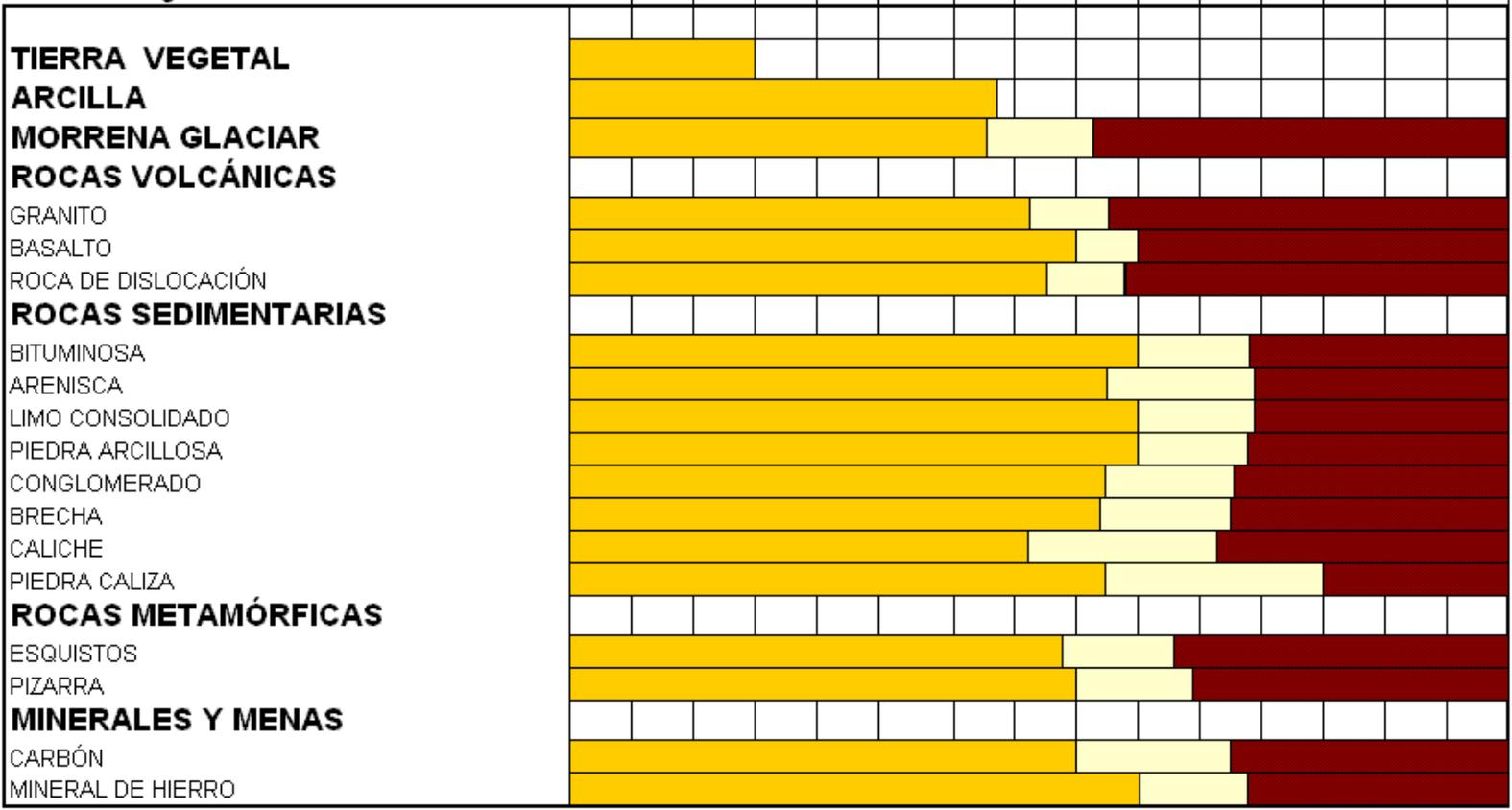
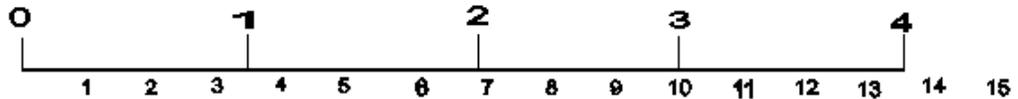
Desgarrador No.10 de un vástago o de vástagos múltiples

Estimado usando las velocidades de ondas sísmicas

VELOCIDAD SÍSMICA

Metros x segundo x 1000

Pies x segundo x 1000



DESGARRABLE MARGINAL NO DESGARRABLE

D11R

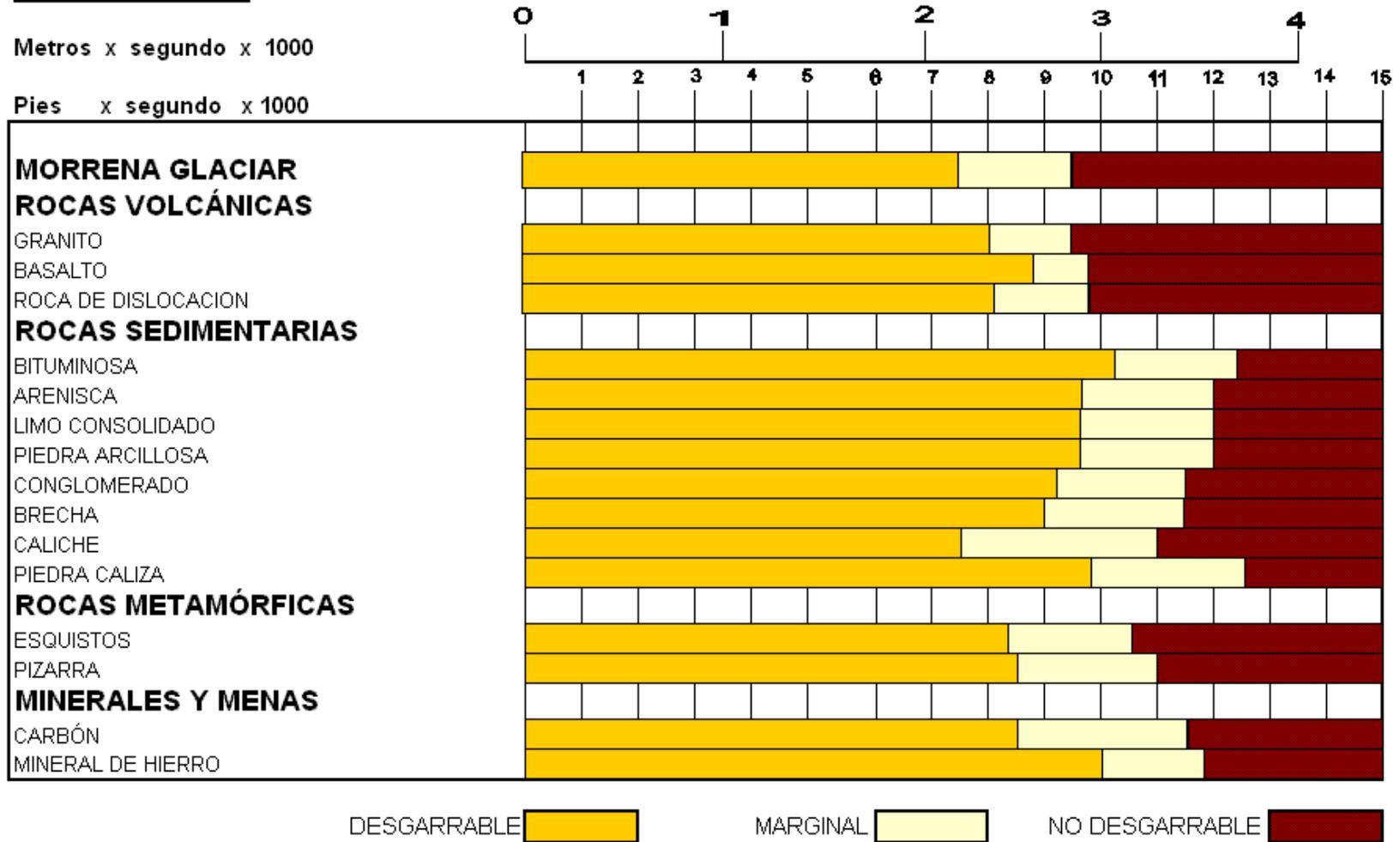
Desgarrador No.11 de un vástago o de vástagos múltiples

Estimado usando las velocidades de ondas sísmicas

VELOCIDAD SÍSMICA

Metros x segundo x 1000

Pies x segundo x 1000



D11R CD

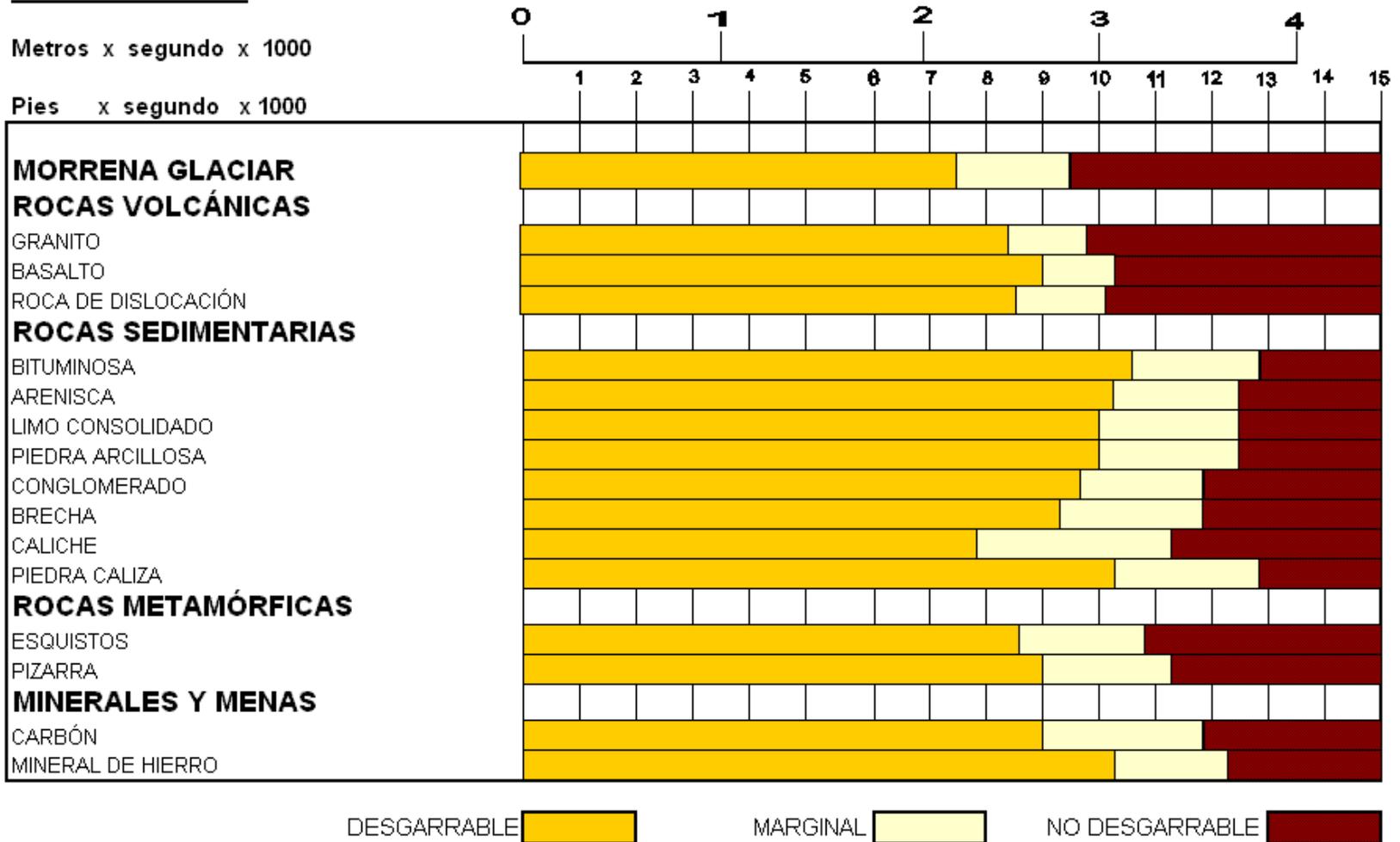
Desgarrador No.11 de un vástago

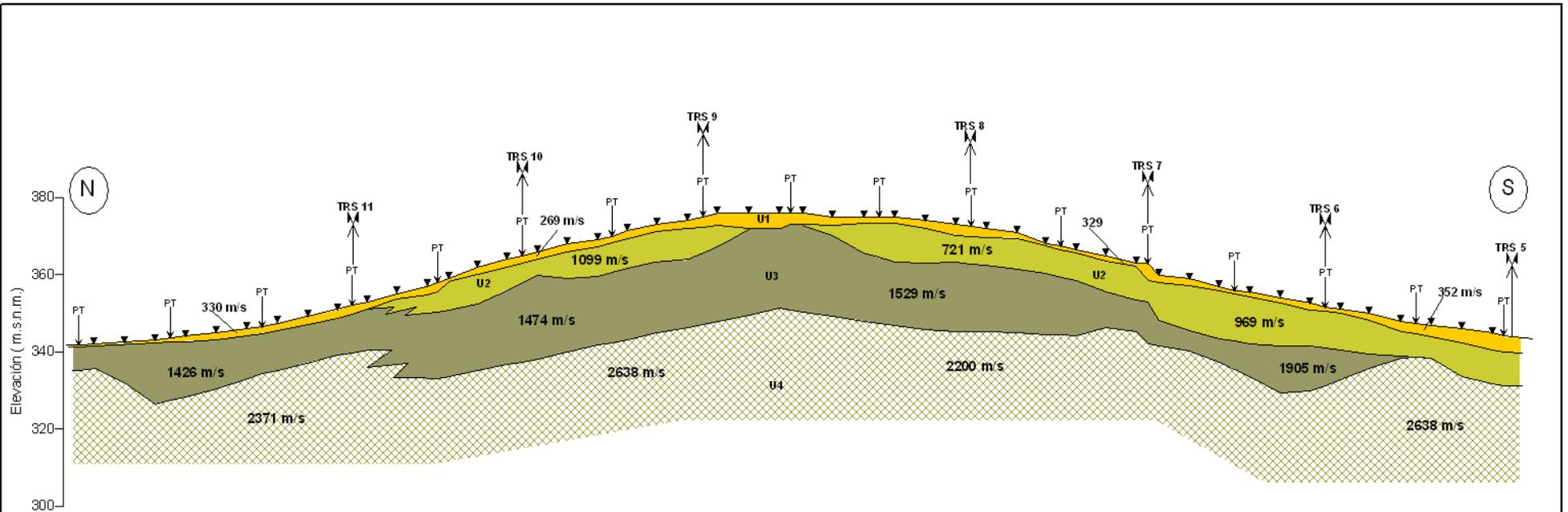
Estimado usando las velocidades de ondas sísmicas

VELOCIDAD SÍSMICA

Metros x segundo x 1000

Pies x segundo x 1000





RESUMEN

UNIDAD GEOFISICA	LITOLOGÍA ASOCIADA	VELOCIDAD DE ONDA P (m/s)	ARABILIDAD
U1	Material de cobertura, constituida por arena arcillosa, suelo vegetal y fragmentos de roca basáltica	269 a 352	Desgarrable (fácil de fragmentar)
U2	Roca fracturada a muy fracturada, se identifican como bloques, conforman parte del talud de la barranca.	721 a 1099	Desgarrable (fácil de fragmentar)
U3	Se asocia con el paquete de roca decomprimida, conforma bloques de tamaños diversos	1426 a 1905	Desgarrable (fácil de fragmentar)
U4	Roca poco fracturada a sana, conforma bloques de gran tamaño	2200 a 3513	Marginal - No desgarrable (uso de explosivos para su fragmentación)

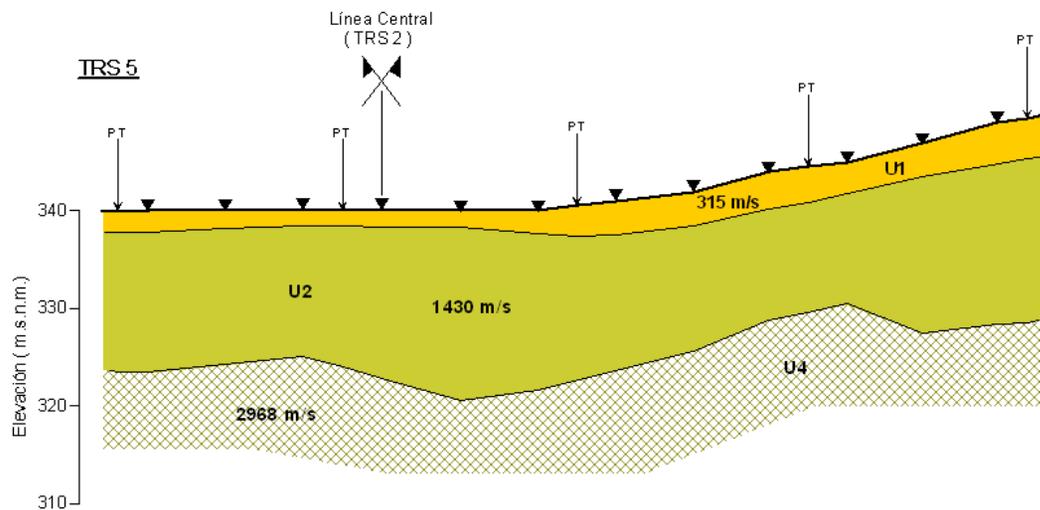
SIMBOLOGÍA

-  Geófono o sismodetector
-  Punto de tiro (sitio en donde se ubica la fuente sísmica)
-  Contacto geosísmico
-  U1
Unidad geosísmica
-  1069 m/s
Velocidad de propagación de onda longitudinal
-  Cruce de secciones

ESCALA 1:1000



BANCO DE ROCA	
SECCIÓN GEOSÍSMICA LÍNEA CENTRAL (TRS 1 A TRS 4)	



SIMBOLOGÍA

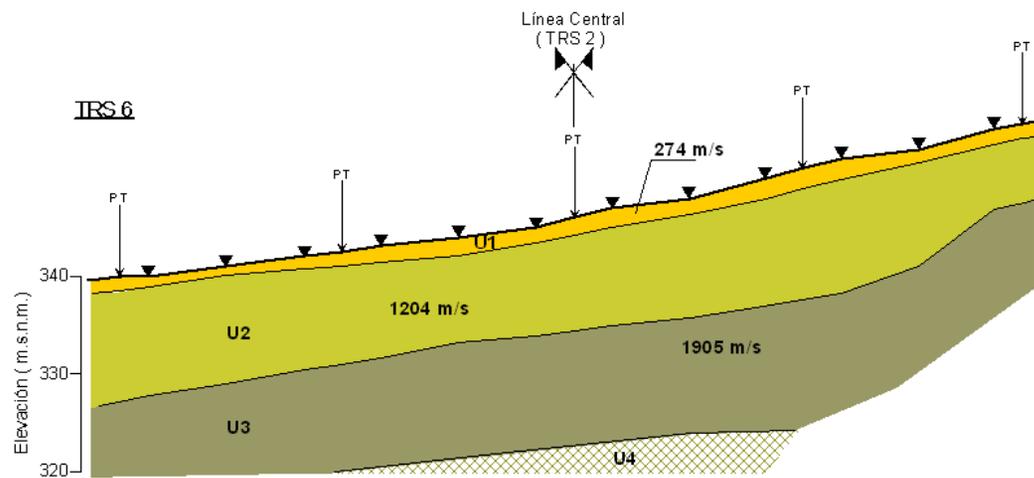
- ▼ Geófono o sismodetector
- PT Punto de tiro (sitio en donde se ubica la fuente sísmica)
- Contacto geosísmico
- U1 Unidad geosísmica
- 1069 m/s Velocidad de propagación de onda longitudinal
- ↔ Cruce de secciones

Esc. 1:500



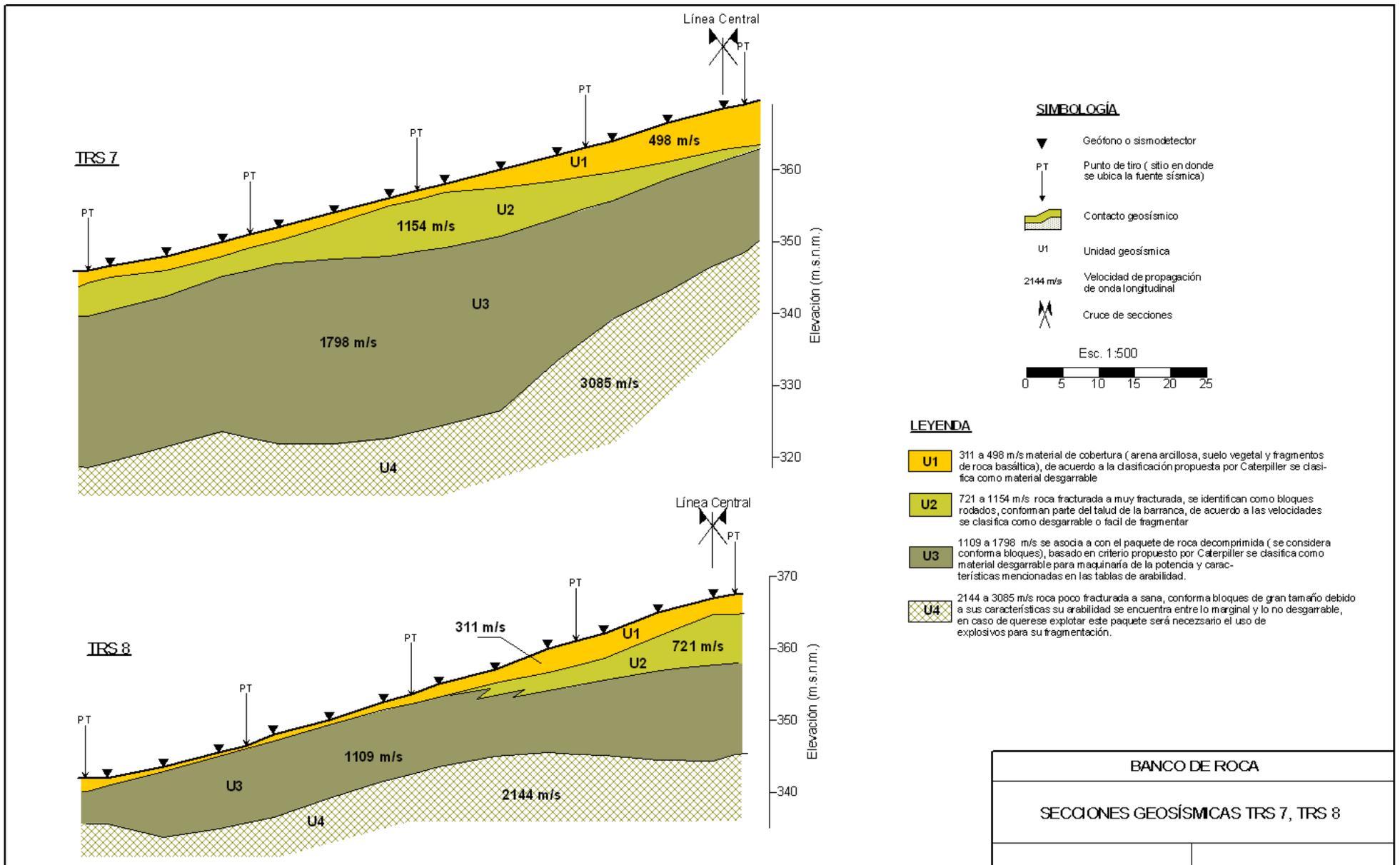
LEYENDA

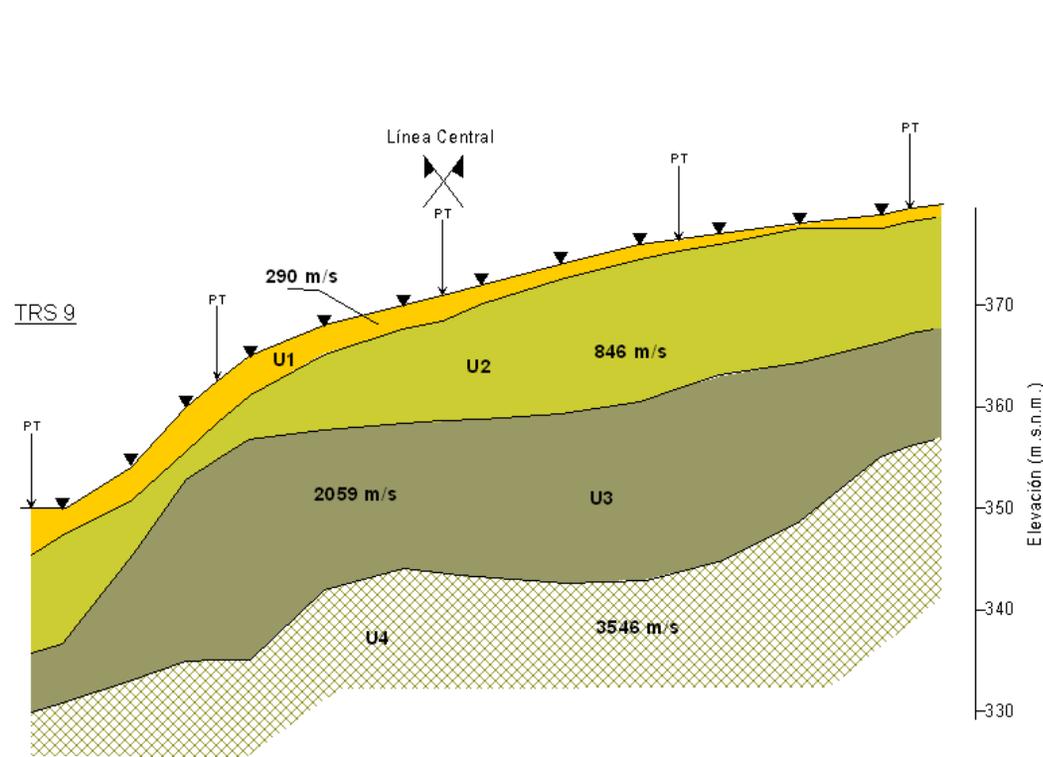
- U1** 274 a 315 m/s material de cobertura (arena arcillosa, suelo vegetal y fragmentos de roca basáltica), de acuerdo a la clasificación propuesta por Caterpillar se clasifica como material desgarrable
- U2** 1204 a 1430 m/s roca fracturada a muy fracturada, se identifican como bloques rodados, conforman parte del talud de la barranca, de acuerdo a las velocidades se clasifica como desgarrable o facil de fragmentar
- U3** 1907 m/s se asocia a con el paquete de roca decomprimida (se considera conforma bloques), basado en criterio propuesto por Caterpillar se clasifica como material desgarrable para maquinaria de la potencia y características mencionadas en las tablas de arabilidad.
- U4** 2968 m/s roca poco fracturada a sana, conforma bloques de gran tamaño debido a sus características su arabilidad se encuentra entre lo marginal y lo no desgarrable, en caso de quere se explotar este paquete será necesario el uso de explosivos para su fragmentación.



BANCO DE ROCA

SECCIONES GEOSÍSMICAS TRS 5, TRS 6





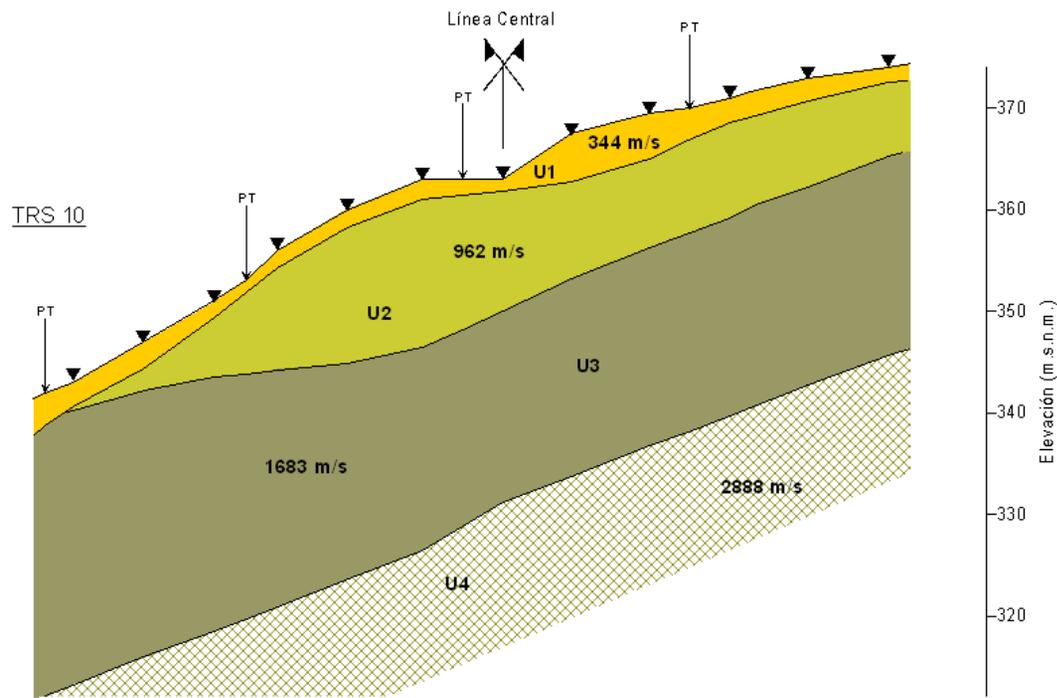
SIMBOLOGÍA

- ▼ Geófono o sismodetector
 - PT Punto de tiro (sitio en donde se ubica la fuente sísmica)
 - Contacto geosísmico
 - U1 Unidad geosísmica
 - 2144 m/s Velocidad de propagación de onda longitudinal
 - ↔ Cruce de secciones
- E sc. 1:500
- 0 5 10 15 20 25

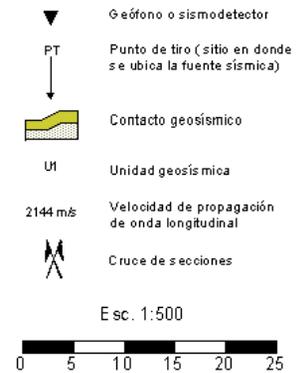
LEYENDA

- U1** 290 m/s material de cobertura (arena arcillosa, suelo vegetal y fragmentos de roca basáltica), de acuerdo a la clasificación propuesta por Caterpillar se clasifica como material desgarrable
- U2** 846 m/s roca fracturada a muy fracturada, se identifican como bloques rodados, conforman parte del talud de la barranca, de acuerdo a las velocidades se clasifica como desgarrable o fácil de fragmentar
- U3** 2059 m/s se asocia a con el paquete de roca decomprimida (se considera conforma bloques), basado en criterio propuesto por Caterpillar se clasifica como material desgarrable para maquinaria de la potencia y características mencionadas en las tablas de arabilidad.
- U4** 3546 m/s roca poco fracturada a sana, conforma bloques de gran tamaño debido a sus características su arabilidad se encuentra entre lo marginal y lo desgarrable, en caso de quere se explotar este paquete será necesario el uso de explosivos para su fragmentación.

BANCO DE ROCA	
SECCIONES GEOSÍSMICAS TRS 9	



SIMBOLOGÍA

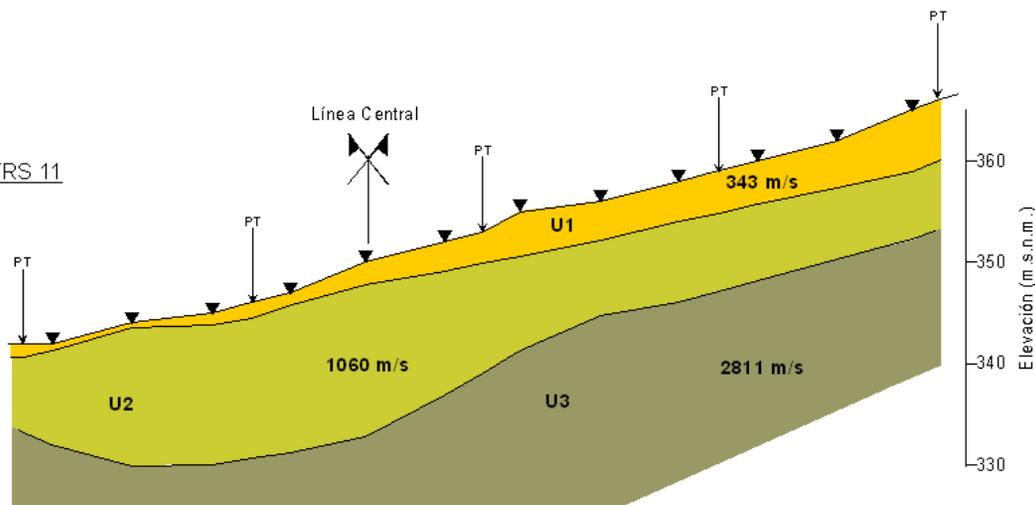


LEYENDA

- U1** 344 m/s material de cobertura (arena arcillosa, suelo vegetal y fragmentos de roca basáltica), de acuerdo a la clasificación propuesta por Caterpillar se clasifica como material desgarrable
- U2** 962 m/s roca fracturada a muy fracturada, se identifican como bloques rodados, conforman parte del talud de la barranca, de acuerdo a las velocidades se clasifica como desgarrable o fácil de fragmentar
- U3** 1683 m/s se asocia a con el paquete de roca decomprimida (se considera conforma bloques), basado en criterio propuesto por Caterpillar se clasifica como material desgarrable para maquinaria de la potencia y características mencionadas en las tablas de arabilidad.
- U4** 2888 m/s roca poco fracturada a sana, conforma bloques de gran tamaño debido a sus características su arabilidad se encuentra entre lo marginal y lo no desgarrable, en caso de quere se explotar este paquete será necesario el uso de explosivos para su fragmentación.

BANCO DE ROCA	
SECCIONES GEOSÍSMICAS TRS 10	

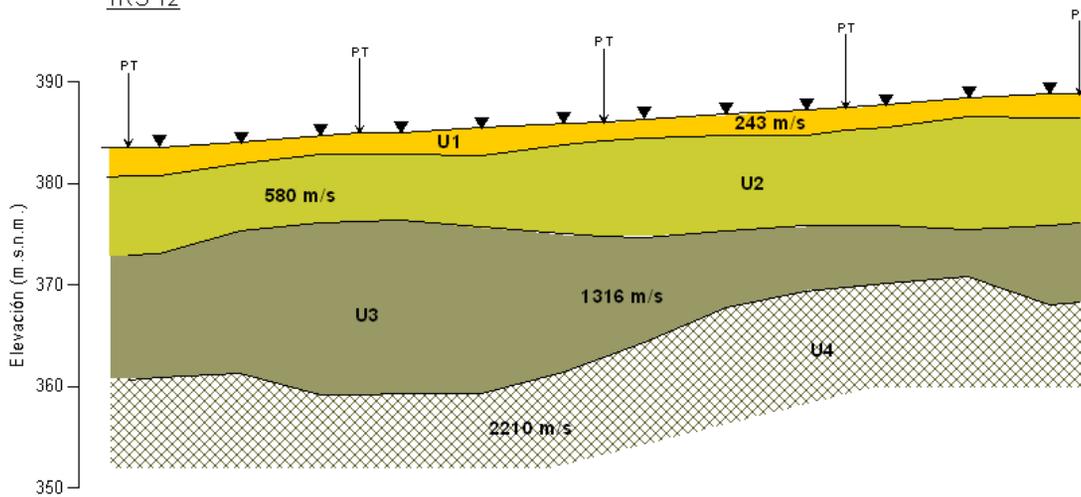
TRS 11



SIMBOLOGÍA

- ▼ Geófono o sismodetector
 - PT Punto de tiro (sitio en donde se ubica la fuente sísmica)
 - ▬ Contacto geosísmico
 - U1 Unidad geosísmica
 - 2144 m/s Velocidad de propagación de onda longitudinal
 - ⋈ Cruce de secciones
- Esc. 1:500

TRS 12



LEYENDA

- U1** 344 m/s material de cobertura (arena arcillosa, suelo vegetal y fragmentos de roca basáltica), de acuerdo a la clasificación propuesta por Caterpillar se clasifica como material desgarrable
- U2** 962 m/s roca fracturada a muy fracturada, se identifican como bloques rodados, conforman parte del talud de la barranca, de acuerdo a las velocidades se clasifica como desgarrable o fácil de fragmentar
- U3** 1683 m/s se asocia a con el paquete de roca decomprimida (se considera conforma bloques), basado en criterio propuesto por Caterpillar se clasifica como material desgarrable para maquinaria de la potencia y características mencionadas en las tablas de arabilidad.
- U4** 2888 m/s roca poco fracturada a sana, conforma bloques de gran tamaño debido a sus características su arabilidad se encuentra entre lo marginal y lo no desgarrable, en caso de quere se explotar este paquete será necesario el uso de explosivos para su fragmentación.

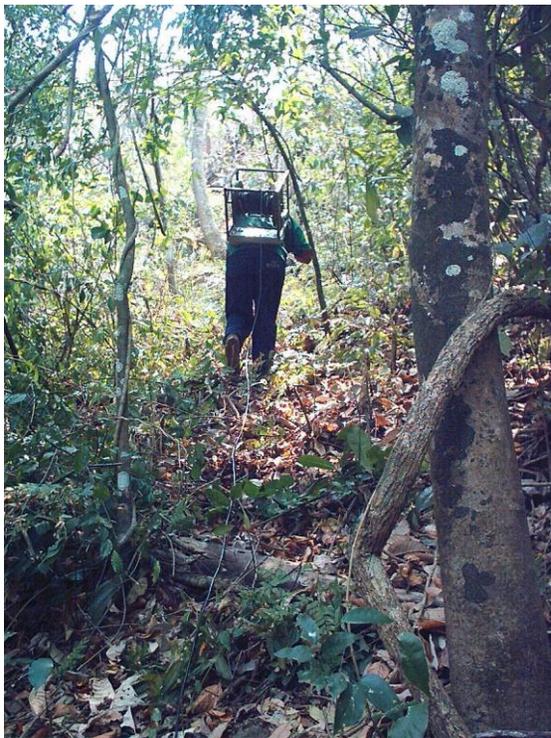
BANCO DE ROCA	
SECCIONES GEOSÍSMICAS TRS 11, TRS 12	

ANEXO FOTOGRAFICO

CAPÍTULO I



Sismógrafo Seistonix Ras-24, empleado durante la toma de registros sísmicos



Despliegue del cable sísmicos sobre una de las brechas realizadas ex profeso



Momento en que se realiza la conexión de los geófonos al cable sísmico por el que se trasmite la señal.



Geófono que registra el paso del frente de onda sísmica, generando un pulso eléctrico que es transmitido a través del cable



Impacto de martillo que genera la onda sísmica que será registrada



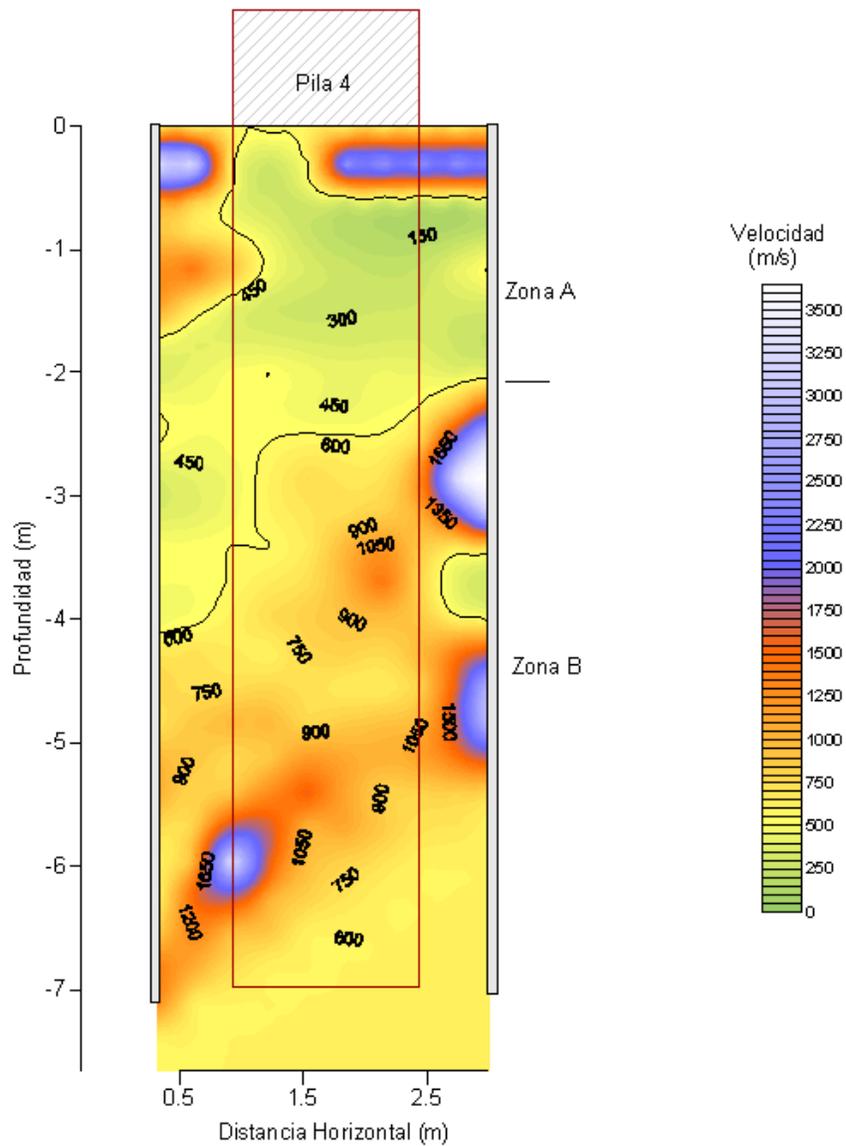
Trabajos de brechéo realizado en el área en donde se ubica el banco de materiales.



Vista de una de las brechas realizadas en el sitio

ANEXO DE FIGURAS

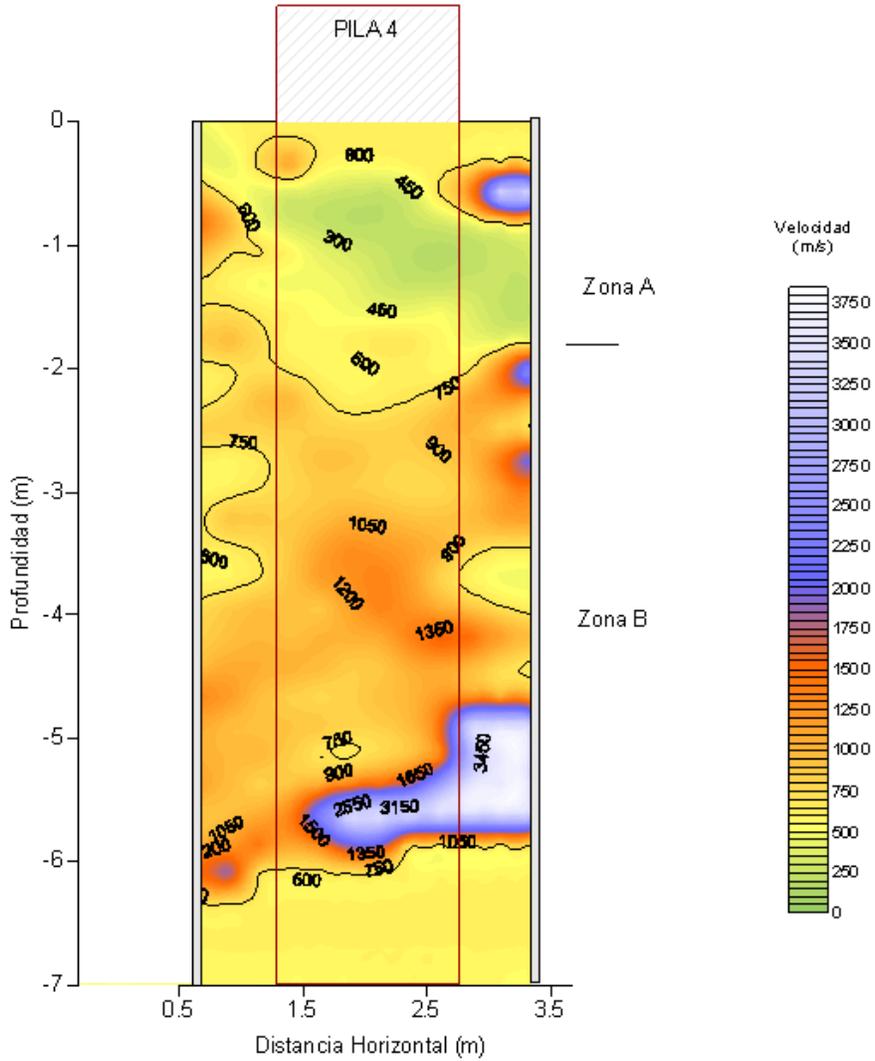
CAPÍTULO II



Zona A.- Se caracteriza por velocidades de propagación bajas, menores a 650 m/s, se asocia a concreto alterado o contaminado, es posible que presente fisuras o algún otro tipo de discontinuidad

Zona B.- Presenta incremento notable en las velocidades de propagación, las cuales varían de 650 hasta 1650 m/s, se considera con concreto libre de discontinuidades y por tanto sano.

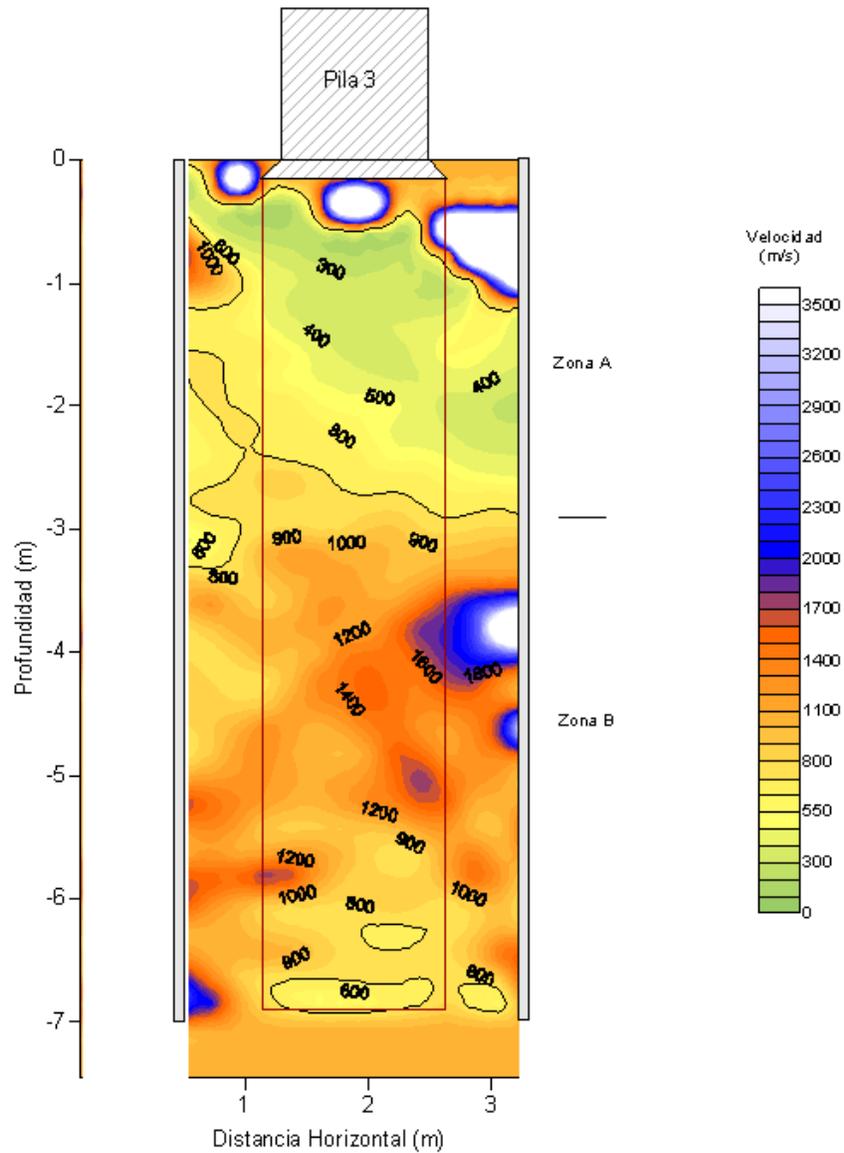
**TOMOGRAFÍA SÍSMICA 1
(ISOVELOCIDADES)**



Zona A.- Se caracteriza por velocidades de propagación bajas, menores a 750 m/s, se asocia a concreto alterado o contaminado, es posible que presente fisuras o algún otro tipo de discontinuidad

Zona B.- Presenta incremento notable en las velocidades de propagación, las cuales varían de 750 hasta 3000 m/s, se considera concreto libre de discontinuidades y por tanto sano.

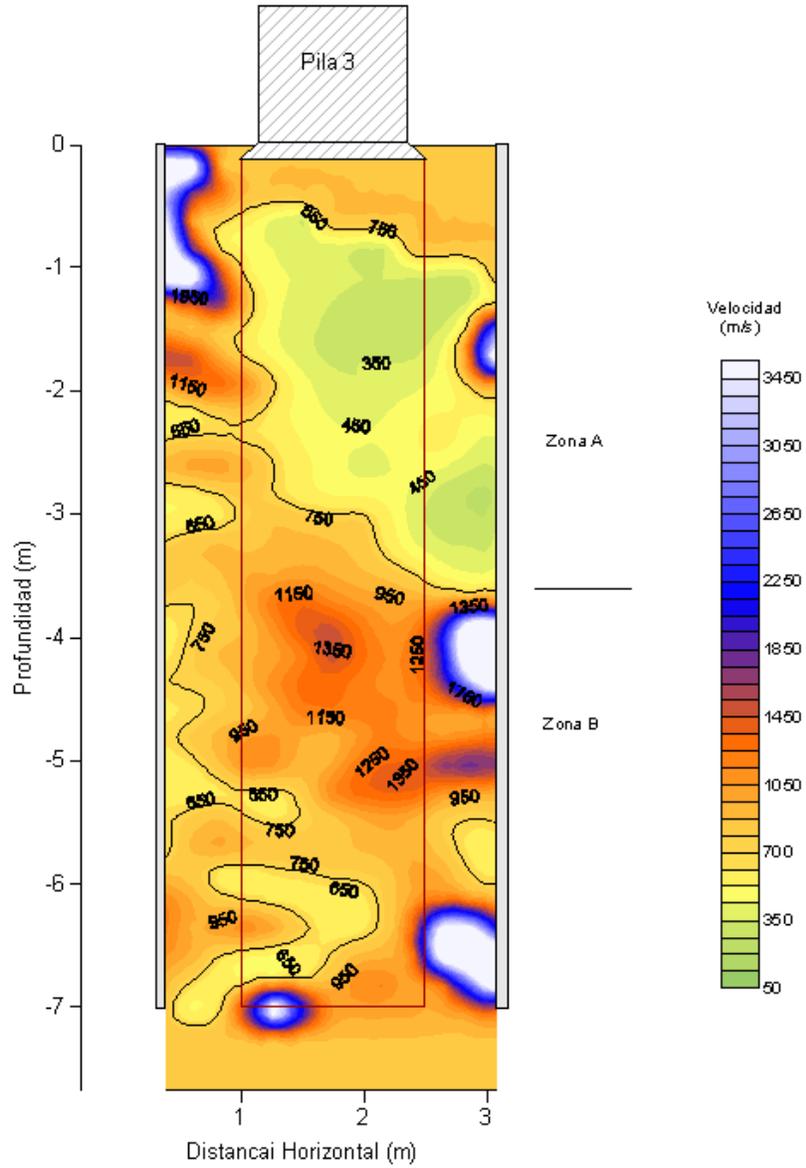
TOMOGRAFÍA SÍSMICA 2 (ISOVELOCIDADES)



Zona A. Caracterizada por alternancia de velocidades altas y bajas, predominando estas últimas, las cuales oscilan entre los 300 a 700 m/s, se asocian a concreto con diferentes grados de alteración.

Zona B. Presenta incremento de velocidades mayores a los 700 m/s, que se asocian a concreto de mayor consolidación principalmente por debajo de los 3 m de profundidad, se considera sano y libre de discontinuidades.

TOMOGRAFÍA SÍSMICA 3 (ISOVELOCIDADES)



Zona A. Caracterizada por alternancia de velocidades altas y bajas, predominando estas últimas, las cuales oscilan entre los 300 a 700 m/s, se asocian a concreto con diferentes grados de alteración.

Zona B. Presenta incremento de velocidades mayores a los 700 m/s, que se asocian a concreto de mayor consolidación principalmente por debajo de los 3 m de profundidad, se considera sano y libre de discontinuidades.

TOMOGRAFÍA SÍSMICA 4 (ISOVELOCIDADES)

ANEXO FOTOGRAFICO

CAPÍTULO II



Sismografo Seistronix Ras-24, acoplado a la computadora pentium, en la que se almacenaron los registros sísmicos para su posterior procesamiento



Sonda de geofonos empleada para el registro de los sismogramas



Sonda de geofonos colocada en el interior del pozo



Mediciones para el control de profundidad y adecuada ubicación de la extensión de martillo que funcione como fuente sísmica

ANEXO TABLAS

CAPÍTULO III

TABLA A (NOM-024-STPS-2001)
LÍMITES DE ACELERACIÓN LONGITUDINAL (az) COMO FUNCIÓN DE LA FRECUENCIA
Y DEL TIEMPO DE EXPOSICION

Frecuencia central de tercio de octava (hz)	TIEMPO DE EXPOSICIÓN								
	24h	16h	8h	4h	2.5h	1h	25 min	16 min	1 min
	LIMITE DE ACELERACION TRANSVERSAL (m/S ²)								
1.0	0.28	0.383	0.630	1.06	1.40	2.36	3.55	4.25	5.60
1.3	0.25	33.80	0.560	0.95	1.26	2.12	3.15	3.75	5.00
1.6	0.22	0.302	0.500	0.85	1.12	1.90	2.80	3.35	4.50
2.0	0.20	0.270	0.450	0.75	1.00	1.70	2.50	3.00	4.00
2.5	0.18	0.239	0.400	0.67	0.90	1.50	2.24	2.65	3.55
3.2	0.16	0.212	0.355	0.60	0.80	1.32	2.00	2.35	3.15
4.0	0.14	0.192	0.315	0.53	0.71	1.18	1.80	2.12	2.80
5.0	0.14	0.192	0.315	0.53	0.71	1.18	1.80	2.12	2.80
6.3	0.14	0.192	0.315	0.53	0.71	1.18	1.80	2.12	2.80
8.0	0.14	0.192	0.315	0.53	0.71	1.18	1.80	2.12	2.80
10.0	0.18	0.239	0.400	0.67	0.90	1.50	2.24	2.65	3.55
12.5	0.22	0.302	0.500	0.85	1.12	1.90	2.80	3.35	4.50
16.0	0.28	0.830	0.630	1.06	1.40	2.36	3.55	4.25	5.60
20.0	0.36	0.477	0.800	1.32	1.80	3.00	4.50	5.30	7.10
25.0	0.45	0.605	1.000	1.70	2.24	3.75	5.60	6.70	9.00
31.5	0.56	0.765	1.250	2.12	2.80	4.75	7.10	8.50	11.20
40.0	0.71	0.955	1.600	2.65	3.55	6.00	9.00	10.60	14.00
50.0	0.90	1.190	2.000	3.35	4.50	7.50	11.20	13.20	18.00
63.0	1.12	1.530	2.500	4.25	5.60	9.50	14.00	17.00	22.40
80.0	1.40	1.910	3.150	5.30	7.10	11.80	18.00	21.20	28.00

TABLA B (NOM-024-STPS-2001)
LÍMITES DE ACELERACIÓN TRANSVERSAL (a_x - a_y) COMO FUNCIÓN DE LA FRECUENCIA
Y DEL TIEMPO DE EXPOSICION

Frecuencia central de tercio de octava (hz)	TIEMPO DE EXPOSICIÓN								
	24h	16h	8h	4h	2.5h	1h	25 min	16 min	1 min
	LÍMITE DE ACELERACION TRANSVERSAL (m/S^2)								
1.0	0.100	0.135	0.224	0.355	0.50	0.85	1.25	1.50	2.00
1.3	0.100	0.135	0.224	0.355	0.50	0.85	1.25	1.50	2.00
1.6	0.100	0.135	0.224	0.355	0.50	0.85	1.25	1.50	2.00
2.0	0.100	0.135	0.224	0.355	0.50	0.85	1.25	1.50	2.00
2.5	0.125	0.171	0.280	0.45	0.63	1.06	1.60	1.90	2.50
3.2	0.160	0.212	0.355	0.56	0.80	1.32	2.00	2.36	3.15
4.0	0.200	0.270	0.450	0.71	1.00	1.70	2.50	3.00	4.00
5.0	0.250	0.338	0.560	0.90	1.25	2.12	3.15	3.75	5.00
6.3	0.315	0.428	0.710	1.12	1.60	2.65	4.00	4.75	6.30
8.0	0.40	0.540	0.900	1.40	2.00	3.35	5.00	6.00	8.00
10.0	0.50	0.675	1.120	1.80	2.50	4.25	6.30	7.50	10.00
12.5	0.63	0.855	1.400	2.24	3.15	5.30	8.00	9.50	12.50
16.0	0.80	1.060	1.800	2.80	4.00	6.70	10.00	11.80	16.00
20.0	1.00	1.350	2.240	3.55	5.00	8.50	12.50	15.00	20.00
25.0	1.25	1.710	2.800	4.50	6.30	10.60	15.80	19.00	25.00
31.5	1.60	2.120	3.550	5.60	8.00	13.20	20.00	23.60	31.50
40.0	2.00	2.700	4.500	7.10	10.00	17.00	25.00	30.00	40.00
50.0	2.50	3.380	5.600	9.00	12.50	21.20	35.00	31.90	50.00
63.0	3.15	4.280	7.100	11.20	16.00	26.50	40.00	45.70	63.00
80.0	4.00	5.400	9.000	14.00	20.00	33.50	50.00	60.00	80.00

TABLA III. VALORES MÁXIMOS DETERMINADOS EN LA PLANTA BAJA DE LA SALA DE FUERZA

Sitio instrumentado	Aceleración máxima (g)			Velocidad máxima (mm/s)			Desplazamiento máximo (mm)			Frecuencia(Hz)		
	Tran(NE)	Vert(z)	Long(SE)	Tran(NE)	Vert(z)	Long(SE)	Tran(NE)	Vert(z)	Long(SE)	Tran(NE)	Vert(z)	Long(SE)
A	0.00994	0.0215	0.00994	0.143	0.27	0.0952	0.00039	0.00057	0.00028	85	85	51
	0.00994	0.0166	0.00994	0.127	0.222	0.111	0.00038	0.00055	0.00019	85	64	85
E	0.00663	0.00663	0.00663	0.0794	0.0952	0.0635	0.00031	0.00058	0.00017	45	120	120
	0.00663	0.00663	0.00663	0.0794	0.0952	0.0635	0.00028	0.0006	0.00009	45	120	120
F	0.00829	0.00829	0.00829	0.0794	0.0952	0.0794	0.00026	0.00086	0.00026	85	23	64
G	0.00829	0.00829	0.00829	0.0794	0.127	0.0952	0.00028	0.00062	0.00016	135	187	135
	0.00829	0.00994	0.00829	0.0952	0.111	0.0794	0.00033	0.0005	0.00012	135	187	135
H	0.00663	0.00829	0.00663	0.0794	0.111	0.0794	0.00038	0.00054	0.00017	29.9	44.9	59.9
	0.00663	0.00829	0.663	0.0794	0.111	0.0794	0.00022	0.00057	0.00014	85	34	64
I	0.00829	0.0169	0.00994	0.111	0.206	0.127	0.00036	0.00047	0.00038	29.9	105	135
	0.00994	0.0149	0.0116	0.0952	0.206	0.11	0.00027	0.00046	0.00036	29.9	135	135
J	0.00829	0.00663	0.00829	0.111	0.0952	0.0952	0.00045	0.00058	0.00016	59.9	29.9	135
	0.00829	0.00829	0.00829	0.0952	0.111	0.0794	0.00043	0.0006	0.00012	59.9	30	135
K	0.00829	0.0116	0.00994	0.127	0.143	0.111	0.00078	0.00055	0.00024	51	32	85
	0.00829	0.00994	0.00994	0.127	0.143	0.0952	0.00065	0.00055	0.00017	57	43	85
L	0.00829	0.0119	0.00829	0.0952	0.286	0.0952	0.0006	0.00102	0.00066	37	30	37
	0.00829	0.0249	0.00829	0.111	0.317	0.0952	0.00054	0.0009	0.00029	47	85	51
M	0.00829	0.00829	0.00994	0.0952	0.111	0.0952	0.00026	0.00033	0.00033	30	45.1	60.1
	0.00829	0.00829	0.00829	0.0952	0.111	0.0794	0.00026	0.00051	0.00019	30.1	45.1	60.1
N	0.00829	0.00994	0.00829	0.0952	0.111	0.0794	0.00026	0.00044	0.00025	60.1	60.1	60.1
	0.00829	0.00829	0.00663	0.0952	0.0952	0.0794	0.00024	0.00037	0.00019	60.1	60	60

O	0.00829	0.00994	0.00994	0.127	0.159	0.159	0.00031	0.00058	0.00041	51	51	57
	0.00829	0.00994	0.0116	0.111	0.143	0.143	0.00029	0.00057	0.00039	64	37	51
P	0.00663	0.00994	0.00829	0.0794	0.143	0.127	0.00021	0.00071	0.00053	60.1	60.1	45.1
	0.00829	0.00829	0.00829	0.0794	0.111	0.127	0.00018	0.00053	0.0004	30	30	30
Q	0.00829	0.0133	0.00829	0.0794	0.143	0.111	0.0002	0.00035	0.00024	60.1	191	45.1
	0.00829	0.0133	0.00829	0.0794	0.127	0.0794	0.00025	0.00033	0.00021	30	191	30
R	0.00829	0.0215	0.00829	0.0952	0.286	0.143	0.00032	0.00052	0.00067	30	191	30
	0.00829	0.0199	0.00829	0.0952	0.286	0.127	0.00047	0.00045	0.00033	30	191	30

TABLA IV. VALORES MÁXIMOS DETERMINADOS EN EL PRIMER NIVEL, SALA DE FUERZA

Sitio instrumentado	Aceleración máxima (g)			Velocidad máxima (mm/s)			Desplazamiento máximo (mm)			Frecuencia(Hz)		
	Tran(NE)	Vert(z)	Long(SE)	Tran(NE)	Vert(z)	Long(SE)	Tran(NE)	Vert(z)	Long(SE)	Tran(NE)	Vert(z)	Long(SE)
A	0.00829	0.0133	0.0133	0.0952	0.143	0.143	0.00033	0.00048	0.00045	15	108	30
	0.00829	0.0133	0.0116	0.0952	0.159	0.159	0.00026	0.00054	0.00064	15	108	45
	0.00829	0.0116	0.0149	0.0952	0.159	0.143	0.00035	0.00044	0.0005	64	47	47
B	0.00994	0.0199	0.0116	0.127	0.238	0.127	0.00022	0.00052	0.00049	108	30	45
	0.0116	0.0182	0.016	0.127	0.206	0.127	0.00022	0.0006	0.00038	15	30	45
C	0.0116	0.0365	0.0182	0.159	0.333	0.175	0.00056	0.00045	0.00035	30	191	191
	0.00829	0.0331	0.0166	0.159	0.317	0.159	0.00062	0.00045	0.00029	30	191	60
D	0.00994	0.0199	0.0166	0.143	0.222	0.175	0.00063	0.00053	0.00047	30	120	45
	0.0116	0.0182	0.0149	0.175	0.206	0.19	0.00058	0.0005	0.00048	30	45	45
E	0.00829	0.0232	0.0149	0.111	0.238	0.127	0.00043	0.00045	0.00039	30	187	191
	0.00829	0.0199	0.0149	0.111	0.254	0.111	0.00046	0.00049	0.00019	59.2	189	191
F	0.00829	0.0249	0.00994	0.127	0.254	0.111	0.0004	0.00047	0.00033	60	191	45
	0.00829	0.0249	0.00994	0.111	0.238	0.111	0.00039	0.00047	0.00036	60	191	45
G	0.0116	0.0431	0.0215	0.143	0.492	0.222	0.00063	0.0006	0.00023	135	135	135
	0.0166	0.0447	0.0232	0.143	0.492	0.238	0.00035	0.00061	0.00026	135	135	135
H	0.00994	0.0331	0.0133	0.111	0.349	0.159	0.00023	0.0005	0.00042	60	135	45
	0.0133	0.0331	0.0133	0.111	0.349	0.143	0.00035	0.0006	0.0002	187	165	187
I	0.0116	0.0232	0.0149	0.143	0.413	0.19	0.00072	0.00091	0.00054	60.1	45.1	135
	0.0166	0.0249	0.0149	0.143	0.413	0.175	0.00052	0.00086	0.0005	57	73	51
J	0.00994	0.0133	0.0149	0.206	0.175	0.19	0.00079	0.00057	0.00046	45	60	135
	0.0116	0.0149	0.0149	0.206	0.19	0.175	0.00075	0.00053	0.00047	45.1	60.1	135
K	0.00994	0.0182	0.0133	0.19	0.238	0.143	0.00063	0.00061	0.0002	30	45.1	120
	0.00994	0.0182	0.0116	0.175	0.222	0.127	0.00068	0.00056	0.00019	30	188	120

L	0.0133	0.0265	0.0166	0.159	0.317	0.143	0.00066	0.00063	0.00023	120	60.1	120
	0.0133	0.0232	0.0149	0.159	0.302	0.143	0.00083	0.00057	0.00023	60.1	60.1	120
O	0.0133	0.0133	0.0149	0.143	0.206	0.206	0.00041	0.00074	0.00068	51	57	28
	0.0133	0.0133	0.0149	0.159	0.19	0.206	0.00045	0.00074	0.00043	60.1	60.1	60.1
P	0.00994	0.00829	0.0133	0.0952	0.127	0.222	0.00033	0.00082	0.00066	45	60	60
	0.00994	0.00829	0.0133	0.111	0.127	0.222	0.00038	0.00075	0.00063	85	47	64
Q	0.00829	0.00829	0.00829	0.111	0.111	0.0952	0.00044	0.00047	0.00038	37	51	34
	0.00829	0.00829	0.00829	0.111	0.127	0.0952	0.0004	0.00049	0.00022	37	64	57
R	0.0116	0.0298	0.0116	0.159	0.397	0.143	0.0004	0.00064	0.00058	60.1	60.1	92
	0.0149	0.0331	0.0166	0.159	0.365	0.143	0.00036	0.00067	0.00036	60	60	30

TABLA V. VALORES MÁXIMOS DETERMINADOS EN LA AZOTEA, SALA DE FUERZA

Sitio instrumentado	Aceleración máxima (g)			Velocidad máxima (mm/s)			Desplazamiento máximo (mm)			Frecuencia(Hz)		
	Tran(NE)	Vert(z)	Long(SE)	Tran(NE)	Vert(z)	Long(SE)	Tran(NE)	Vert(z)	Long(SE)	Tran(NE)	Vert(z)	Long(SE)
A	0.00994	0.0298	0.00994	0.19	0.444	0.111	0.00102	0.00082	0.00026	44.9	29.9	44.9
	0.00829	0.0166	0.00829	0.127	0.27	0.111	0.00043	0.00075	0.00039	39	64	64
B	0.00829	0.00994	0.00829	0.111	0.175	0.111	0.00078	0.00085	0.00039	32	51	39
	0.00829	0.0116	0.00829	0.111	0.19	0.0952	0.00051	0.00067	0.00041	28	37	85
C	0.00829	0.00994	0.00829	0.143	0.206	0.0952	0.00067	0.00067	0.00034	34	47	34
	0.00829	0.00994	0.00663	0.111	0.19	0.0794	0.00053	0.00059	0.00031	39	51	64
D	0.00829	0.0116	0.00663	0.143	0.175	0.0794	0.00072	0.00065	0.00041	28	43	34
	0.00829	0.0116	0.00829	0.159	0.175	0.0952	0.00064	0.00076	0.00047	32	47	39
E	0.00829	0.0133	0.00829	0.111	0.238	0.0952	0.00055	0.00064	0.00043	39	57	47
	0.00829	0.0149	0.00663	0.111	0.238	0.0794	0.00063	0.00065	0.00019	44.9	44.9	74.9
F	0.00829	0.00994	0.00663	0.0952	0.175	0.0794	0.0005	0.0005	0.00039	43	34	39
	0.00663	0.00994	0.00663	0.0952	0.175	0.0635	0.00048	0.0005	0.00027	57	51	73
G	0.00663	0.0133	0.00663	0.127	0.286	0.0952	0.00112	0.00105	0.00041	34	43	47
	0.00663	0.0149	0.00663	0.111	0.286	0.0952	0.00053	0.00104	0.00043	43	47	32
H	0.00829	0.00994	0.00829	0.111	0.143	0.111	0.00122	0.00069	0.00023	47	47	64
	0.0149	0.0149	0.0133	0.222	0.238	0.19	0.00192	0.00047	0.00073	2.5	74.9	74.9
I	0.0166	0.0149	0.00994	0.159	0.254	0.127	0.00071	0.00078	0.00052	37	43	64
	0.00994	0.0149	0.0116	0.159	0.254	0.143	0.00071	0.00093	0.00045	37	39	43
J	0.00829	0.0149	0.00829	0.111	0.238	0.111	0.00074	0.00085	0.00042	20	37	73
	0.00829	0.0133	0.00829	0.111	0.254	0.111	0.001	0.00091	0.00036	27	37	73
K	0.00663	0.00994	0.00663	0.0952	0.19	0.0952	0.00045	0.00061	0.00038	39	47	43
	0.00663	0.00829	0.00663	0.111	0.206	0.0794	0.00056	0.00069	0.00042	43	43	47
L	0.00829	0.0149	0.00829	0.143	0.365	0.143	0.0014	0.00119	0.00068	37	47	47
	0.00829	0.0166	0.00829	0.175	0.365	0.127	0.00133	0.00132	0.00046	39	43	43

TABLA VI. VALORES MÁXIMOS DETERMINADOS EN LA AZOTEA DEL EDIFICIO DE OFICINAS

Sitio instrumentado	Aceleración máxima (g)			Velocidad máxima (mm/s)			Desplazamiento máximo (mm)			Frecuencia(Hz)		
	Tran(SE)	Vert(z)	Long(NE)	Tran(SE)	Vert(z)	Long(NE)	Tran(SE)	Vert(z)	Long(NE)	Tran(SE)	Vert(z)	Long(NE)
I	0.00663	0.00663	0.00663	0.0635	0.0952	0.0635	0.00021	0.00059	0.00012	30	74.9	74.9
	0.00663	0.00829	0.00663	0.0635	0.0794	0.0635	0.00032	0.00054	0.00011	30	75	75
II	0.00663	0.00829	0.00663	0.0794	0.159	0.111	0.00037	0.00078	0.0003	32	37	64
	0.00663	0.00829	0.00663	0.0794	0.143	0.0794	0.00028	0.00064	0.00018	45	45	75
III	0.00663	0.00663	0.00663	0.0794	0.111	0.0635	0.00028	0.00071	0.00019	85	51	73
	0.00663	0.00829	0.00663	0.0635	0.111	0.0635	0.00029	0.00079	0.00009	15	44.9	2.06
IV	0.00663	0.00829	0.00663	0.0635	0.143	0.0635	0.00032	0.00084	0.00022	85	32	73
	0.00663	0.00829	0.00663	0.0635	0.143	0.0635	0.00022	0.00068	0.00015	30	30	45
V	0.00663	0.00663	0.00663	0.0635	0.0794	0.0635	0.00024	0.00064	0.00032	12.5	50	37.5
	0.00663	0.00663	0.00663	0.0635	0.0794	0.0476	0.00021	0.00067	0.00009	12.5	45	2.31
VI	0.00663	0.00663	0.00663	0.0635	0.0952	0.0635	0.00029	0.00108	0.00016	73	73	64
	0.00663	0.0166	0.00663	0.0635	0.19	0.0476	0.0005	0.00126	0.00009	6.94	45	2.13
VII	0.00663	0.00663	0.00663	0.0635	0.0635	0.0794	0.00028	0.00022	0.00023	29.9	74.9	44.9
	0.00663	0.00663	0.00497	0.0635	0.0794	0.0476	0.00014	0.00053	0.00012	30	74.9	44.9
	0.00663	0.00829	0.00663	0.0635	0.0794	0.0635	0.00015	0.00029	0.00056	30	44.9	15
VIII	0.00663	0.00663	0.00663	0.0635	0.11	0.0794	0.00018	0.0007	0.00036	85	43	43
	0.00663	0.00663	0.00663	0.0635	0.0952	0.0635	0.00018	0.00072	0.00011	45	45	45

TABLA VII. VALORES MÁXIMOS DETERMINADOS EN EL PISO DE OFICINAS

Sitio instrumentado	Aceleración máxima (g)			Velocidad máxima (mm/s)			Desplazamiento máximo (mm)			Frecuencia(Hz)		
	Tran(SE)	Vert(z)	Long(NE)	Tran(SE)	Vert(z)	Long(NE)	Tran(SE)	Vert(z)	Long(NE)	Tran(SE)	Vert(z)	Long(NE)
IX	0.00497	0.00663	0.00663	0.0635	0.0952	0.0952	0.00016	0.00063	0.0003	75	45	45
	0.00663	0.00663	0.00663	0.0635	0.0952	0.0794	0.00016	0.00049	0.00027	75	45	45
X	0.00663	0.00663	0.00663	0.0794	0.0794	0.111	0.00023	0.00032	0.00047	45	45	45
	0.00663	0.00663	0.00663	0.0794	0.0952	0.0952	0.00013	0.0004	0.0003	45	45	45
XI	0.00663	0.00829	0.00663	0.0794	0.143	0.0794	0.00031	0.00065	0.0004	64	43	51
	0.00663	0.00829	0.00663	0.0794	0.143	0.0794	0.00033	0.00063	0.00022	64	47	64
	0.00663	0.00663	0.00663	0.0952	0.159	0.0635	0.00026	0.00063	0.00016	45	45	45
XII	0.00663	0.00663	0.00663	0.0952	0.111	0.0794	0.00033	0.00055	0.00019	57	32	64
	0.00663	0.00829	0.00497	0.0952	0.111	0.0794	0.00033	0.00053	0.00015	45	30	30
XIII	0.00663	0.00663	0.00663	0.0635	0.0794	0.0635	0.00019	0.00054	0.00022	45	75.1	45.1
	0.00497	0.00663	0.00663	0.0635	0.0952	0.0476	0.00021	0.00051	0.00012	45	75	45
XIV	0.00663	0.00829	0.00663	0.0635	0.175	0.0635	0.0002	0.00066	0.00028	44.9	44.9	44.9
	0.00663	0.00829	0.00663	0.0635	0.159	0.0635	0.00026	0.00069	0.00021	45	45	45
XV	0.00663	0.00829	0.00663	0.0635	0.143	0.0635	0.00029	0.00049	0.00009	45	45	45
	0.00663	0.00829	0.00829	0.0794	0.143	0.0635	0.00022	0.00059	0.00014	45	45	45
XVI	0.00663	0.00663	0.0063	0.0635	0.0794	0.0635	0.00022	0.0004	0.00013	30	60	60
	0.00663	0.00663	0.00663	0.0635	0.0952	0.0635	0.00028	0.0007	0.0001	30	59.9	59.9

TABLA VIII. VALORES MÁXIMOS DETERMINADOS EN LA PLANTA BAJA DEL EDIFICIO DE OFICINAS

Sitio instrumentado	Aceleración máxima (g)			Velocidad máxima (mm/s)			Desplazamiento máximo (mm)			Frecuencia(Hz)		
	Tran(SE)	Vert(z)	Long(NE)	Tran(SE)	Vert(z)	Long(NE)	Tran(SE)	Vert(z)	Long(NE)	Tran(SE)	Vert(z)	Long(NE)
XVII	0.00663	0.00994	0.00663	0.0794	0.19	0.0794	0.00027	0.00067	0.00022	45	45	45
	0.00663	0.00829	0.00829	0.0635	0.175	0.0794	0.00023	0.00061	0.00024	45	45	45
XVIII	0.00663	0.00497	0.00663	0.0794	0.0794	0.0635	0.00026	0.00052	0.00019	30	45	30
	0.00663	0.00663	0.00663	0.0635	0.0794	0.0635	0.00017	0.0006	0.00012	30	57	30
XIX	0.00663	0.00663	0.00497	0.0635	0.0954	0.0635	0.00026	0.00053	0.00014	45	60	60
	0.00663	0.00663	0.00497	0.0635	0.0952	0.0635	0.00019	0.0004	0.00016	45	59.9	59.9
XX	0.00497	0.00663	0.00663	0.0635	0.0794	0.0476	0.00017	0.00047	0.00009	45.1	45.1	45.1
	0.00663	0.00663	0.00497	0.0635	0.0794	0.0635	0.00009	0.00037	0.00012	60.1	45.1	45.1
XXI	0.00663	0.00663	0.00663	0.0635	0.0794	0.0476	0.00016	0.00076	0.00011	2.06	45	15
	0.00663	0.00663	0.00497	0.0476	0.0794	0.0476	0.0001	0.00048	0.00012	45	60	2.25
XXII	0.0133	0.0116	0.0116	0.571	0.254	0.175	0.000253	0.00069	0.00074	34	51	43
	0.00829	0.0149	0.00829	0.127	0.175	0.159	0.00064	0.00057	0.00053	26	51	57
XXIII	0.00663	0.00663	0.00663	0.0635	0.0794	0.0476	0.00011	0.00084	0.0001	2	2.13	2
	0.00663	0.00663	0.00663	0.0635	0.0794	0.0476	0.00012	0.00052	0.00008	2.06	2.25	2.31

ANEXO FOTOGRAFICO

CAPÍTULO III



Generadores origen de las vibraciones



Ubicación de sismógrafo en la sala de fuerza , sobre el sensor triaxial se encuentra una bolsa con arena para tener mejor acoplamiento con el piso



Colocación del sismógrafo en las juntas constructivas



Instrumentación de diferentes vértices del primer nivel (UPS)

BIBLIOGRAFÍA

Benhumea L.M.,(1993) Criterios de seguridad para prevención de daños por voladuras en edificaciones en la Ciudad de México, CFE, Revista Ingeniería .

Bruce B. Redpath Technical Report E-73-4 Sismic Refraction Exploration for Engineering Site Investigations (1973)

Cavada, José M. Guía de Prospección Sísmica por Refracción ,Universidad Central de Venezuela, Facultad de Ingeniería (2000)

Denise de la C.B, Paulo Milton B.L.,Sergio Médici de E., Wilson S. I., Principias normas e recomendações existentes para controle de vibrações provocadas pele uso de explosivos em área urbanas –Parte I y Parte II. Rev. Esc. Minas Vol 56 no1, no2 , Brazil 2003

Dobrin,M. Introduction to Geophysical Prospecting(1960)

Fernández Martínez, J.L. *et al.* 2003. Una nueva metodología para resolver problemas de tomografía en transmisión. *Boletín Geológico y Minero*, 114 (1): 17-40

Giovanni Santarato, Lezini di Geofísica Applicata, La Tomografía sísmica

Norma Oficial Mexicana NOM-024-STPS-2001, Vibraciones-Condiciones de seguridad e higiene en los centros de trabajo.

R.E.Sheriff, L.P. Geldart, Exploración sísmológica Vol. I (1991), Editorial Limusa

Sánchez L.E. 1995, Control de vibraciones departamento de ingeniería de minas, Escuela Politécnica de la Universidad de Sao Paulo, II Curso Internacional de Aspectos Geológicos de Protección Ambiental, Volumen I, UNESCO, 1995



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE
MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERÍA
DIRECCIÓN
60-I-214

SR. ALEJANDRO NAVARRO GUERRERO
Presente

En atención a su solicitud, me es grato hacer de su conocimiento el tema que propuso el profesor Dr. Martín Cárdenas Soto y que aprobó esta Dirección para que lo desarrolle usted como tesis de su examen profesional de Ingeniero Geofísico:

**EMPLEO DE MÉTODOS DE PROSPECCIÓN SÍSMICA PARA LA SOLUCIÓN DE
PROBLEMAS EN INGENIERÍA GEOTÉCNICA**

- RESUMEN**
- I INTRODUCCIÓN**
- II EVALUACIÓN DE UN BANCO DE MATERIALES MEDIANTE
SÍSMICA DE REFRACCIÓN**
- III ESTUDIO DE TOMOGRAFÍA SÍSMICA PARA LA EVALUACIÓN DE
PILAS DE CONCRETO**
- IV DETERMINACIÓN DE LOS NIVELES DE VIBRACIÓN Y SU
AFECTACIÓN A ESTRUCTURAS**
- V CONCLUSIONES
BIBLIOGRAFÍA**

Ruego a usted cumplir con la disposición de la Dirección General de la Administración Escolar en el sentido de que se imprima en lugar visible de cada ejemplar de la tesis el título de ésta.

Asimismo, le recuerdo que la Ley de Profesiones estipula que se deberá prestar servicio social durante un tiempo mínimo de seis meses como requisito para sustentar examen profesional.

Atentamente
"POR MI RAZA HABLARÁ EL ESPÍRITU"
Cd. Universitaria, D. F., a 5 de marzo de 2007
EL DIRECTOR

MTRO. JOSÉ GONZALO GUERRERO ZEPEDA

JGGZ*JAGC*gtg