

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN CRISTÓBAL DE
HUAMANGA

FACULTAD DE INGENIERÍA DE MINAS, GEOLOGÍA Y CIVIL
ESCUELA DE FORMACIÓN PROFESIONAL DE INGENIERÍA
CIVIL



**MICROZONIFICACIÓN GEOTÉCNICA SÍSMICA
DEL DISTRITO DE INDEPENDENCIA - LIMA**
TESIS

Para optar el Título Profesional de:

INGENIERO CIVIL

RICK MILTON DELGADILLO AYALA

Ayacucho - Perú

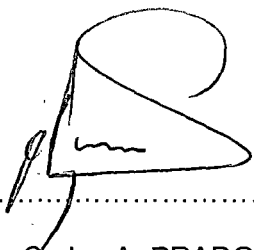
Diciembre 2014

Tesis
Civ 419
Del

**"MICROSONIFICACIÓN GEOTÉCNICA SÍSMICA DEL DISTRITO DE
INDEPENDENCIA – LIMA"**

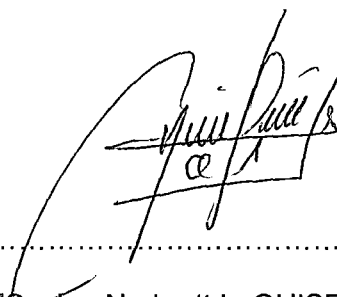
RECOMENDADO: 17 de Noviembre de 2014

APROBADO: 04 de Diciembre de 2014



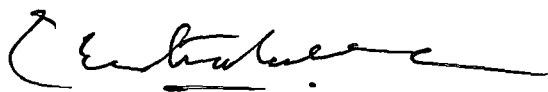
MSc. Ing. Carlos A. PRADO PRADO

(Presidente)



MSc. Ing Norbert L. QUISPE AUCCAPUCLLA

(Miembro)



MSc. Ing. José E. Estrada Cárdenas

(Miembro)



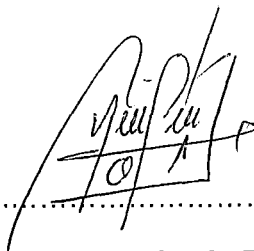
Ing. Floro N. YANGALI GUERRA

(Secretario Docente)

Según el acuerdo constatado en el Acta, levantada el 04 de Diciembre del 2014, en la Sustentación de Tesis Profesional, presentado por el Bachiller en Ciencias de la Ingeniería Civil señor Rick Milton Delgadillo Ayala, con el trabajo titulado **“MICROZONIFICACIÓN GEOTÉCNICA SÍSMICA DEL DISTRITO DE INDEPENDENCIA – LIMA”**, fue calificado con la nota de DIECISÉIS (16), por lo que se da la respectiva APROBACIÓN.



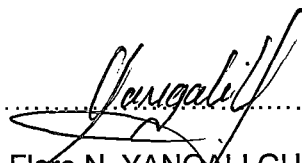
MSC. Ing. Carlos A. PRADO PRADO
(Presidente)



MSC. Ing Norbert L. QUISPE AUCCAPUCLLA
(Miembro)



MSC. Ing. José E. ESTRADA CÁRDENAS
(Miembro)



Ing. Floro N. YANGALI GUERRA
(Secretario Docente)

Presentación

Esta tesis es presentada como parte de los requisitos para optar el título académico de Ingeniero Civil, de la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga, y no ha sido presentada previamente para la obtención de otro grado o título en esta universidad u otras. La misma contiene los resultados obtenidos de las investigaciones realizadas en los años 2013 y 2014.

Rick Milton Delgadillo Ayala

enginrick@gmail.com

ESCUELA DE FORMACIÓN PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

FACULTAD DE INGENIERÍA DE MINAS, GEOLOGÍA Y CIVIL

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN CRISTÓBAL DE HUAMANGA

Ayacucho, Diciembre del 2014.

A mis padres Nilton Delgadillo y Teresa Ayala, mis hermanas Angela y Karol por su indesmayable esfuerzo, sabios consejos y apoyo incondicional en cada etapa de mi vida.

Agradecimientos

Al prestigioso Centro Peruano Japonés de Investigaciones Sísmicas y Mitigación de Desastres (CISMID) de la Universidad Nacional de Ingeniería (UNI), siempre a la vanguardia de la Ingeniería Sísmica.

A la PhD. Ing. Diana Calderón y Msc. Ing. Ernesto Estrada por su tiempo, consejos, dedicación y asesoramiento en la presente investigación.

Al PhD. Ing. Jorge E. Alva Hurtado, Msc. Ing. Fernando Lázares y a la Ing. Silvia Alarcón por sus sabios conocimientos brindados en la elaboración de la presente tesis.

A la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga, alma máter, por acogirme en sus aulas durante mi vida universitaria.

A los ingenieros, catedráticos de la Escuela de Formación Profesional de Ingeniería Civil de la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga, por sus apreciadas enseñanzas y sugerencias durante mi vida universitaria.

A mis grandes amigos Rocio Xio, Joseph Flores, Armando Sifuentes por su gran apoyo y constante interés por la investigación.

Resumen

Los desastres naturales (terremotos, inundaciones, tsunamis, deslizamientos de tierra y otros) son un peligro latente, mas aún teniendo en cuenta que los efectos de estos pueden incrementarse debido a una mala planificación urbana, falta de medidas de seguridad, planes de emergencia, sistemas de alerta y considerando la rápida expansión urbana y de ocupación del suelo; es importante destacar que a pesar de que la sismicidad local y regional en el pasado haya sido moderada, un sismo de baja magnitud puede ser el causante de estos fenómenos naturales; debido a esto se resalta la contribución en la seguridad necesaria del poblador, mediante delimitaciones de zonas más apropiadas donde construir sus viviendas (Estudios de Microzonificación Geotécnica Sísmica).

PALABRAS CLAVE: Microzonificación sísmica, terremotos, peligros naturales.

Abstract

Natural disasters (earthquakes, floods, tsunamis, landslides and others) is a latent danger, but even taking into account the effects of these may increase due to poor urban planning, lack of safety measures, emergency plans, warning systems and considering the rapid urban land use and expansion; is important to note that although local and regional seismicity in the past has been moderate, low magnitude of an earthquake can be the cause of these natural phenomena; because of this contribution in the necessary security settler highlights by boundaries more appropriate places to build their homes (Geotechnical Seismic microzonation studies).

KEYWORDS: Seismic microzoning, earthquakes, natural hazards.

Índice general

Portada	
Presentación	I
Dedicatoria	II
Agradecimientos	III
Resumen	IV
Índice General	V
Índice de Tablas	XI
Índice de Figuras	XIII
Lista de Siglas y Símbolos	XVIII
1. Introducción	1
1.1. Antecedentes	1
1.2. Motivación de la Investigación	1
	V

1.3. Planteamiento del Problema	2
1.4. Justificación	3
1.5. Importancia	4
1.6. Objetivos	4
1.6.1. Objetivo General	4
1.6.2. Objetivos específicos	5
1.7. Organización del Estudio	5
1.8. Metodología aplicada	7
1.8.1. Equipo de medición de microtemores	7
1.8.2. Equipo de medición de Ensayos MASW	10
2. Área de Estudio y Características Geológicas	13
2.1. Antecedentes	13
2.2. Área de Estudio	14
2.3. Geología Regional	16
2.3.1. Aspectos Geomorfológicos	16
2.3.2. Aspectos Geológicos y Litológicos	17
2.3.3. Aspectos de Geología Estructural	20
2.3.4. Morfogénesis y Aspectos Geodinámicos	20
2.4. Evaluación Geológica Local y Alrededores	22
2.4.1. Tramo Geológico TG1	22
2.4.2. Tramo Geológico TG2	23

2.4.3. Tramo Geológico TG3	24
2.4.4. Tramo Geológico TG4	24
2.4.5. Tramo Geológico TG5	25
2.4.6. Tramo Geológico TG6	26
2.5. Zonificación Geológica y Peligro Geológico Potencial	27
2.5.1. Zona Geológica ZG1	27
2.5.2. Zona Geológica ZG2	27
2.5.3. Zona Geológica ZG3	27
3. Evaluación del Peligro Sísmico	29
3.1. Sismicidad del Área de Estudio	29
3.1.1. Historia Sísmica de la Región en Estudio	30
3.1.2. Sismicidad Instrumental en el Área de Estudio	42
3.2. Análisis de Peligro Sísmico Probabilístico	43
3.2.1. Fundamentos del Análisis del Estudio de Peligro Sísmico	43
3.2.2. Evaluación y Caracterización de las Fuentes Sismogénicas	47
3.2.3. Estimación de Parámetros de Sismicidad Local	52
3.2.4. Leyes de Atenuación de las Ondas Sísmicas	59
3.3. Determinación del Peligro Sísmico	67
4. Características Geotécnicas del Suelo	73
4.1. Exploraciones de Campo	73
4.1.1. Excavación de calicatas	74

4.1.2.	Descripción de perfiles de suelo y roca en taludes	75
4.2.	Ensayos de Laboratorio	76
4.2.1.	Ensayos de mecánica de suelos	76
4.2.2.	Ensayos de análisis químico	77
4.2.3.	Parámetros Geotécnicos	78
4.3.	Tipos de Suelo en el Área de Estudio	78
4.3.1.	Formaciones Rocosas	79
4.3.2.	Depósitos de Gravas	79
4.3.3.	Depósitos de arenas de compactidad media a densa	80
4.3.4.	Depósitos de limos y arcillas de consistencia media	80
4.3.5.	Rellenos Antrópicos	80
4.4.	Agresión del Suelo al Concreto de Cimentación	81
5.	Características Dinámicas del Suelo	84
5.1.	Parámetros Dinámicos del Terreno	84
5.2.	Determinación del Periodo de Vibración del Suelo	87
5.2.1.	Método de Análisis	89
5.2.2.	Descripción del Equipo de Medición	92
5.2.3.	Procedimiento del Ensayo en Campo	93
5.2.4.	Procesamiento de las señales	93
5.2.5.	Resultados de la Medición	96
5.3.	Determinación de los Perfiles Sísmicos	96

5.3.1. Teoría de Ondas	96
5.3.2. Ensayos de Ondas Superficiales en Arreglos Multicanales (MASW) .	99
5.3.3. Descripción del Equipo de Medición	100
5.3.4. Procedimiento del Ensayo en Campo	101
5.3.5. Procesamiento del Ensayo MASW	103
5.3.6. Resultados de la Medición	108
6. Microzonificación Geotécnica Sísmica del Distrito de Independencia	110
6.1. Microzonificación Geotécnica	110
6.2. Zonas de Isoperiodos	113
6.3. Microzonificación Geotécnica Sísmica del Distrito de Independencia	114
6.4. Aceleraciones Máximas Esperadas del Suelo	117
6.5. Velocidades Máximas Esperadas del Suelo	117
6.6. Análisis de Amplificación Sísmica	118
6.6.1. Efecto de sitio	119
6.6.2. Espectros de respuesta	119
6.6.3. Análisis Unidimensional	121
6.6.4. Perfiles sísmicos de suelos	123
6.6.5. Sismos de entrada	125
6.6.6. Espectros de Respuesta en Superficie	129
6.6.7. Análisis y discusión de resultados	134

7. Conclusiones y Recomendaciones	137
7.1. Conclusiones	137
7.2. Recomendaciones	140
Bibliografía	142
ANEXOS	147
Anexo I: Estudios de Mecánica de Suelos	148
Anexo II: Resultados de Ensayos de Laboratorio	181
Anexo III: Registro de Microtrepidaciones	228
Anexo IV: Registro de Ondas y Curvas de Dispersión de Ensayos MASW	251
Anexo V: Perfiles de Velocidades de Ondas de Corte de Ensayos MASW	258
Anexo VI: Panel Fotográfico	265
Anexo VII: Planos	305

Índice de cuadros

3.1. Coordenadas geográficas de las Fuentes de Subducción.	51
3.2. Coordenadas geográficas de las Fuentes Continentales.	52
3.3. Parámetros de sismicidad local utilizados.	59
3.4. Coeficientes de atenuación de aceleraciones espectrales en roca propuestos por Youngs.	63
3.5. Coeficientes de atenuación de aceleraciones espectrales en suelo propuestos por Youngs.	64
3.6. Ubicación de los acelerógrafos que componen la Red Acelerográfica del CISMID.	65
3.7. Coeficientes de la relación de atenuación de aceleración espectral para sis- mos de interfase del modelo CISMID según Chávez (2006).	66
3.8. Coeficientes de la relación de atenuación de aceleración espectral para sis- mos de intraplaca del modelo CISMID según Chávez (2006).	67
3.9. Coordenadas geográficas de los puntos analizados en el distrito de Inde- pendencia	70
3.10. Aceleraciones espectrales en roca para $T = 0.0$ s para diferentes periodos de retorno.	70

3.11. Aceleraciones espectrales en suelo para $T = 0.0$ s para diferentes periodos
de retorno. 71

4.1. Capacidades de carga admisibles. 78

4.2. Tipos de problemas que ocasionarían la concentración de sulfatos. 82

4.3. Agresión al acero de refuerzo de la cimentación. 83

4.4. Problemas de lixiviación que ocasionarían la concentración de sales solubles. 83

6.1. Valores de aceleración máxima obtenidas (CISMID, 2013). 117

Índice de figuras

1.1. Equipo de adquisición de datos GEODAS 15 HS y sensor de 1 Hz de frecuencia tipo CR4.5-1S (CISMID, 2013).	8
1.2. Equipo de prospección geofísica McSeis-SW 24ch y cables conectores de geófonos de 200 m (CISMID, 2013).	11
2.1. Rocas del tipo adamelita en la parte alta de las quebradas.	19
2.2. Rocas pertenecientes a la formación pamplona y rocas gabro-dioritas.	19
2.3. Encuentro de las quebradas q1 y q2.	23
2.4. Rocas del tipo adamelita y gabro-dioritas en la quebrada q3.	23
2.5. Rocas del tipo gabro-diorita en la quebrada q4.	24
2.6. Rocas gabro-dioritas pertenecientes a la formación marcavilca en la quebrada q5.	25
2.7. Rocas pertenecientes a la formación marcavilca en la quebrada q6, donde se encuentran emplazados algunas viviendas.	26
2.8. Rocas de la formación marcavilva (Ki-ma) que llega hasta el limite del distrito de independencia.	26
2.9. Cerros de pendiente abrupta, con caídas de bloques de rocas (a). Viviendas construidas en material de relleno que se encuentran en forma inestable (b). 28	

2.10. Viviendas asentadas en antiguos materiales de deslizamiento y/o huaycos	
(a). Peligro de posibles caídas de bloques de roca (b).	28
3.1. Sismo del 28 de Octubre de 1746 a las 22:30 horas: Destrucción de casi la totalidad de casas y edificios en Lima y Callao.	39
3.2. Sismo del 31 de Mayo de 1970 a las 15:23 horas: Fue uno de los sismos más catastróficos ocurridos en el Perú.	40
3.3. Sismo del 15 de Agosto de 2007 a las 18:50 horas: Con origen en la zona de convergencia de las placas, el cual fue denominado como “El sismo de Pisco”.	41
3.4. Método Probabilístico para el Análisis de Peligro Sísmico.	47
3.5. Mapa de distribución de epicentros y fuentes de subducción (CISMID, 2014).	49
3.6. Mapa de distribución de epicentros y fuentes continentales (CISMID, 2014).	50
3.7. Relación Gutenberg-Richter ideal.	56
3.8. Relación Gutenberg-Richter como se presenta normalmente.	57
3.9. Clasificación de suelos según el International Building Code (IBC, 2006).	72
4.1. Calicata C-17, ubicada en la calle Huarocondor.	75
4.2. Talud T-9, ubicado en la zona más alejada al Noreste del distrito de Independencia.	76
5.1. Equipo de adquisición de datos GEODAS 15 HS y sensor de 1 Hz de frecuencia tipo CR4.5-1S (CISMID, 2013).	92
5.2. Equipo e instrumentos utilizados durante la realización del ensayo de Microtremores.	93

5.3. Tiempo historia del registro de microtrepidaciones.	94
5.4. Ruido presente en el segmento de onda.	94
5.5. Cocientes Espectrales.	95
5.6. Procedimiento para obtener la relación espectral H/V (Rosales, 2001).	95
5.7. Ondas internas o de cuerpo: Ondas P y Ondas S (Kramer, 1996).	98
5.8. Ondas superficiales: Ondas Love y Ondas Rayleigh (Kramer, 1996).	99
5.9. Equipo de prospección geofísica McSeis-SW 24ch y cables conectores de geófonos de 200 m (CISMID, 2013).	101
5.10. Realizando el Ensayo MASW en el distrito de Independencia.	102
5.11. Ejecución del MASW. A: Onda Sónica; B: Onda Directa; C: Onda Superfi- cial; D: Reflexión; E: Refracción; F: Retorno de onda superficial dispersada; G: Ruido Ambiental.	102
5.12. Representación gráfica para la ubicación de los shots.	103
5.13. Registro de Ondas Sísmicas (CISMID, 2013).	104
5.14. Representación gráfica de la dispersión de las ondas superficiales respecto a su propagación en los estratos a diferentes profundidades.	105
5.15. Representación del proceso para la obtención de la curva de dispersión. . .	106
5.16. Algoritmo del proceso de inversión para la obtención del perfil de veloci- dades de ondas de corte (V_s).	107
5.17. Proceso de inversión para la obtención del perfil de velocidades de ondas de corte (V_s).	108
6.1. Gráfico indicativo del método de determinación del espectro de respuesta (Crisafulli, 2002).	120

6.2. Modelo lineal equivalente para el análisis unidimensional (Sifuentes, 2012).	122
6.3. Datos utilizados para el modelo dinámico del suelo en el MASW01 (CISMID, 2013).	124
6.4. Datos utilizados para el modelo dinámico del suelo en el MASW02 (CISMID, 2013).	124
6.5. Datos utilizados para el modelo dinámico del suelo en el MASW04 (CISMID, 2013).	125
6.6. Tiempo historia en la base (Componente NS). Terremoto de Lima de 1974. 03 de Octubre de 1974 a las 9:21 de la mañana, en Lima y toda la costa hacia el sur, hasta la ciudad de Pisco (Silgado, 1978).	126
6.7. Tiempo historia en la base (Componente EW). Terremoto de Lima de 1974. 03 de Octubre de 1974 a las 9:21 de la mañana, en Lima y toda la costa hacia el sur, hasta la ciudad de Pisco (Silgado, 1978).	126
6.8. Tiempo historia en la base (Componente NS). Terremoto de Lima de 1966. 17 de Octubre de 1966 a las 16:41 horas. Fue uno de los más destructores ocurridos en Lima, su epicentro se ubicó en el mar, frente a Las Salinas de Huacho (provincia de Huaura) (Silgado, 1978).	127
6.9. Tiempo historia en la base (Componente EW). Terremoto de Lima de 1966. 17 de Octubre de 1966 a las 16:41 horas. Fue uno de los más destructores ocurridos en Lima, su epicentro se ubicó en el mar, frente a Las Salinas de Huacho (provincia de Huaura) (Silgado, 1978).	127
6.10. Tiempo historia escalado en la superficie al valor de la aceleración determinado con la ley de atenuación CISMID.	128
6.11. Tiempo historia escalado en la superficie al valor de la aceleración determinado con la ley de atenuación CISMID.	128

6.12. Espectros de respuesta escalados y espectro de peligro uniforme	129
6.13. Factor de amplificación sísmica del suelo para el MASW01	130
6.14. Factor de amplificación sísmica del suelo para el MASW02	130
6.15. Factor de amplificación sísmica del suelo para el MASW04	131
6.16. Factor de amplificación sísmica de la respuesta estructural para el MASW01	131
6.17. Factor de amplificación sísmica de la respuesta estructural para el MASW02	132
6.18. Factor de amplificación sísmica de la respuesta estructural para el MASW04	132
6.19. Espectros de respuesta en superficie para el MASW01	133
6.20. Espectros de respuesta en superficie para el MASW02	133
6.21. Espectros de respuesta en superficie para el MASW04	134

Lista de Siglas y Símbolos

Hz	Hertz de frecuencia.
kHz	Kilohertz de frecuencia.
AC	Corriente directa.
AD	Corriente alterna.
V	Voltaje.
dB	Decibel.
$k\Omega$	Kiloohmios.
μF	Microfaradio.
GB	Gigabyte.
$^{\circ}C$	Grados centígrados.
Kg	Kilogramos.
mm	Milímetros.
$MASW$	Ensayos de Ondas Superficiales en Arreglos Mul-
bit	ticanales. Dígito binario.
GPS	Global Positioning System.
$INGEMMET$	Instituto Geológico Minero y Metalúrgico.
IGP	Instituto Geofísico del Perú.
MMI	Escala de Mercalli Modificada.

<i>CRYRZA</i>	Comisión de Reconstrucción y Rehabilitación de la zona afectada por el sismo del 31 de mayo de 1970.
<i>NEIC</i>	Nacional Earthquake Center.
<i>GSHAP</i>	Global Seismic Hazard Assessment Program.
<i>ISC</i>	International Seismological Center.
<i>IBC</i>	International Building Code.
<i>SISRA</i>	Sismicidad de la Región Andina.
<i>M_w</i>	Magnitud de momento.
<i>km</i>	Kilómetros.
<i>PGA</i>	Aceleraciones máximas.
<i>NTP</i>	Norma Técnica Peruana.
<i>SUCS</i>	Sistema Unificado de Clasificación de Suelos.
<i>ASTM</i>	American Section of the International Association for Testing Materials.
<i>ACI</i>	American Concrete Institute.
<i>PH</i>	Potencial de hidrógeno.
<i>ppm</i>	Partes por millón.
<i>SPT</i>	Ensayo de penetración estándar.
<i>T</i>	Periodo fundamental de vibración del suelo.
<i>V_s</i>	Velocidad de ondas de corte.
<i>G</i>	Módulo de corte.
<i>G_{máx}</i>	Módulo de corte máximo.
<i>D</i>	Coefficiente de amortiguamiento.
<i>ν</i>	Coefficiente de Poisson.

Capítulo 1

Introducción

1.1. Antecedentes

El distrito de Independencia cuenta con estudios de Zonificación Sísmica, Vulnerabilidad y Riesgo Sísmico, realizados en el año 2004 por la Asociación Peruana de Empresas de Seguros (APESEG). Así en la presente investigación se realizaron diversos ensayos, para densificar la mayor cantidad de puntos de exploración, abarcar la totalidad del área en estudio y obtener planos mas a detalle (utilizando Sistemas de Información Geográfica, GIS), actualizados con las normas vigentes.

1.2. Motivación de la Investigación

En la actualidad nuestro planeta esta siendo sometido constantemente por las fuerzas de la naturaleza y uno de estos fenómenos que está causando grandes daños en varias ciudades del Perú y del mundo son los sismos y terremotos, debido a que estos se pueden presentar de manera fortuita e inesperada, se tuvo en cuenta la prevención y mitigación

de los desastres que podrían generarse, es así que la motivación para realizar la presente investigación fue la de zonificar áreas con mejores condiciones para la construcción y así evitar tantas pérdidas de vidas humanas y materiales; para tal estudio se determinaron las características geotécnicas y dinámicas del distrito de Independencia mediante la ejecución de ensayos a nivel del suelo, para luego poder identificar que zonas son mas peligrosas ante la presencia de un evento sísmico.

1.3. Planteamiento del Problema

Los sismos son movimientos vibratorios que se originan en el interior de la tierra y se propagan por ella en todas las direcciones en forma de ondas. La causa que origina un evento sísmico es la liberación súbita de energía dentro del interior de la tierra por un reacomodo de ésta, este reacomodo se lleva a cabo mediante el movimiento relativo entre placas tectónicas, caracterizados por la rapidez con que se generan y los efectos sobre el terreno han sido calificados por la población como uno de los fenómenos naturales más terribles, por lo cual requieren de una prevención y mitigación, debido a que son impredecibles y pueden ocurrir en cualquier momento.

Los estudios multidisciplinarios que investigan los efectos de los sismos y que últimamente se están llevando a cabo en los distritos de Lima y ciudades del Perú son los de microzonificación geotécnica sísmica, los cuales permiten elaborar una serie de mapas en las que se identifican y caracterizan las unidades litológicas generalmente suelos, cuyas respuestas dinámicas frente a los sismos son semejantes.

Con la elaboración de estos mapas podemos realizar un mejor planeamiento y aseguramiento de las ciudades ya sea en zonas urbanizadas como en aquellas en proceso de expansión.

Considerando la ocurrencia de un evento sísmico en el distrito de Independencia, las

condiciones locales de sitio definirán la respuesta dinámica de este, es por ello que será indispensable realizar los estudios de microzonificación geotécnica sísmica.

1.4. Justificación

En los últimos años en nuestro país y en varias ciudades del mundo han ocurrido grandes sismos y terremotos los cuales constituyen una gran amenaza latente debido a que se presentan de manera fortuita. Según el Instituto Geofísico del Perú (IGP) a lo largo del 2013 se han registrado mas de 94 movimientos telúricos alcanzando magnitudes entre 4 y 6 grados Richter, los cuales no han producido mayores daños; sin embargo, se espera que sismos de mayores magnitudes ocurran en un futuro cercano, por lo que se debe considerar estar preparados ante la ocurrencia de cualquier evento sísmico.

En el Perú los sismos se presentan debido a que estamos ubicados en una zona de intensa actividad sísmica conocida como el cinturón de fuego del pacífico, por lo que se deben tomar medidas de prevención contra daños que puedan generar los sismos. Para esto es necesario realizar estudios que permitan conocer el comportamiento más probable del fenómeno sísmico en sitios de interés y así poder planificar y mitigar los grandes efectos que trae consigo.

Una de las consecuencias de un evento sísmico es que causa grandes daños en las edificaciones, esto se debe a que las viviendas, colegios, hospitales, universidades, etc, se construyen en zonas de alto riesgo sísmico. Si se respetasen las normas de construcción e identificasen las zonas de mayor peligro ante un evento sísmico, se podrían evitar numerosas pérdidas de vidas humanas y materiales.

La presente investigación se enfoca en el estudio de la microzonificación geotécnica sísmica del distrito de Independencia, considerando el peligro sísmico, la geología, la geotécnia y la dinámica de los suelos mediante exploraciones directas tal es el caso de calicatas y

taludes, así mismo realizando ensayos geofísicos de microtrepidaciones y ensayos MASW (Ensayos de Ondas Superficiales en Arreglos Multicanales).

1.5. Importancia

En estos últimos años, los gobiernos locales y regionales han mostrado un gran interés por implementar en su plan de desarrollo urbano políticas de prevención y mitigación de desastres. Los estudios de microzonificación geotécnica sísmica se realizan como parte de esta política; estos estudios consisten en dividir un territorio urbano en diversas zonas, clasificadas según su respuesta frente a un evento sísmico.

Los eventos sísmicos ocurridos últimamente nos han demostrado que la respuesta frente a estos fenómenos naturales debe planificarse antes de la ocurrencia del evento, así la evaluación del riesgo sísmico presente en un lugar específico es de vital importancia para planificar tal respuesta.

Lo que se busca con estos estudios no es alarmar a la población, sino que al contrario, advertir y prever que lugares del distrito de Independencia son mas sensibles frente a la ocurrencia de un evento sísmico, es decir, identificar las zonas con mayor o menor peligro, y así diseñar estructuras resistentes a sismos.

1.6. Objetivos

1.6.1. Objetivo General

- Realizar la microzonificación geotécnica sísmica del distrito de Independencia, para lo cual se analizan las propiedades mecánicas y dinámicas de los suelos del área en estudio. Con estos resultados se desarrollan mapas temáticos los cuales muestran características propias del suelo de cada zona.

1.6.2. Objetivos específicos

- Elaborar el estudio de Peligro Sísmico del distrito de Independencia.
- Obtener la estratigrafía del suelo mediante exploraciones de calicatas y taludes en los distintos puntos de exploración para así definir el comportamiento mecánico del suelo e identificar áreas en la microzonificación geotécnica.
- Realizar mediciones de microtrepidaciones y ensayos MASW (Ensayos de Ondas Superficiales en Arreglos Multicanales) para determinar las características dinámicas del suelo.
- Obtner factores de amplificación sísmica y espectros de diseño para las diferentes zonas determinadas en la microzonificación geotécnica sísmica.

1.7. Organización del Estudio

La Microzonificación Geotécnica Sísmica es un estudio multidisciplinario, el cual involucra varias áreas de la investigación, es así que la presente Tesis se ha organizado de tal manera que se mantiene un orden lógico y secuencial, teniendo en cuenta estudios geológicos, de peligro sísmico, evaluaciones geotécnicas y dinámicas.

Capítulo 1: Introducción. En este capítulo se justifica el tema de Tesis de la presente investigación, se definen los objetivos y el planteamiento del problema.

Capítulo 2: Área de Estudio y Características Geológicas. Se realizaron investigaciones en las diversas zonas del distrito de Independencia (zona urbana, industrial, laderas de los cerros, etc), así como las características de geología local, geología regional, geodinámica externa y peligros potenciales.

Capítulo 3: Evaluación del Peligro Sísmico. Teniendo en cuenta los eventos sísmicos pasados, se usaron metodologías para evaluar la probabilidad que ocurra un movimiento sísmico de una intensidad igual o mayor que un cierto valor.

Capítulo 4: Características Geotécnicas del Suelo. Se describen los tipos de suelo presentes en el distrito de Independencia, mediante la ejecución de calicatas y descripción de taludes, teniendo en cuenta los respectivos ensayos de laboratorio.

Capítulo 5: Características Dinámicas del Suelo. Mediante el estudio de las ondas sísmicas, se realizaron ensayos geofísicos (Microtremores y MASW), para la obtención de periodos de vibración del suelo y perfiles de velocidad de ondas de corte respectivamente, con dichos resultados se pudo caracterizar el comportamiento dinámico del suelo en el distrito de Independencia.

Capítulo 6: Microzonificación Geotécnica Sísmica del Distrito de Independencia. Mediante el estudio detallado de cada una de las áreas de investigación (geología, peligro sísmico, geotécnica y dinámica de suelos) se pudo elaborar como resultado final la microzonificación geotécnica sísmica. Adicionalmente se elaboró los planos de Aceleraciones y Velocidades Máximas Esperadas del Suelo, los cuales nos sirven para evaluar el peligro y la vulnerabilidad sísmica de las edificaciones. En este capítulo se realiza el Análisis de Amplificación Sísmica y Espectros de Respuesta para los depósitos de suelo del distrito de Independencia.

Capítulo 7: Conclusiones y Recomendaciones. En este capítulo se muestra que se obtuvieron buenos resultados, los cuales nos ayudarán a una adecuada planificación y mitigación de desastres en caso ocurra algún evento sísmico.

1.8. Metodología aplicada

La metodología desarrollada para este trabajo de investigación está compuesta básicamente por tres etapas, una primera es la recopilación de la información disponible como la geología, sismicidad, topografía, entre otros aspectos relacionados de vital importancia, los cuales se obtendrán de estudios, proyectos e investigaciones realizadas con anterioridad en el distrito de Independencia.

La segunda etapa comprende la realización de trabajos de campo como calicatas y descripción de taludes, los cuales determinarán las características mecánicas del suelo; por otro lado, comprende la ejecución de mediciones de microtrepidaciones y ensayos MASW (Ensayos de Ondas Superficiales en Arreglos Multicanales) los cuales definirán las características dinámicas del suelo.

La tercera y última etapa comprende el trabajo en gabinete mediante el procesamiento e interpretación de los resultados, para así poder definir las características de los diferentes tipos de suelo y determinar las áreas en las que el suelo del distrito de Independencia presente características semejantes.

Los diversos ensayos se realizaron con el apoyo del Centro Peruano Japonés de Investigaciones Sísmicas y Mitigación de Desastres (CISMID) de la Universidad Nacional de Ingeniería (UNI).

1.8.1. Equipo de medición de microtremores

Para la ejecución de los arreglos de Microtremores, se empleó un equipo de medición de Microtremores GEODAS 15-HS (Ver Figura 1.1), desarrollado por la Compañía Anet Co., Ltd. A continuación Se detalla las características del equipo y programas usados.

- 01 sistema de Adquisición de Datos GEODAS 15-HS.
- 01 computadora portátil NEC, modelo Versa Pro VS-8.

- 03 sensores de $1Hz$ de frecuencia tipo CR4.5-1S.
- 01 GPS GARMIN modelo GPS16x-LVS.
- 01 cable de conexión para batería.
- software de adquisición de datos: Microtremor observation (Mtobs, incluido en el GEODAS 15HS).
- software de procesamiento de datos: m2n.exe, mtpltn2.exe, calHVm4.exe.

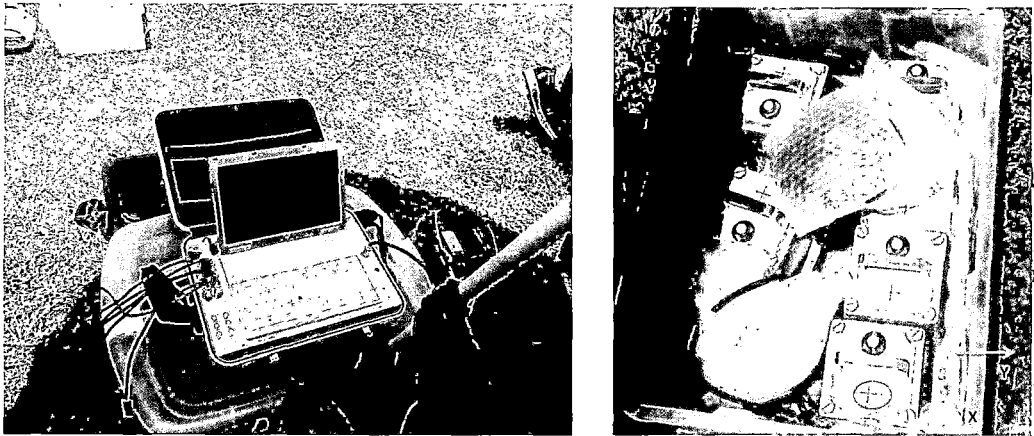


Figura 1.1: Equipo de adquisición de datos GEODAS 15 HS y sensor de $1Hz$ de frecuencia tipo CR4.5-1S (CISMID, 2013).

Características y errores de medición del equipo GEODAS15-HS

- Número de canales: 18 canales.
- Pre-amplificador: Impedancia de entrada $1.0k\Omega$. Grado de amplificación 0, 20, 40, $60dB$ (seleccionados del programa de medición). Filtro $0Hz$, $25Hz$, $100Hz$, $300Hz$.
- Unidad de conversión AD: Ratio de conversión $50kHz$.
- Frecuencia de muestreo: 50, 100, 200, 500, $1kHz$, $2kHz$.

- Computadora: NEC PC-VY18VSA78 (Windows XP). CPU AtomZ540 1.861GHz. Memoria principal 1GB. Disco duro 64 GB SSD.
- Bateria: DC12V (se puede usar baterías portables, batería de auto 12V entre otros).
- Condiciones ambientales de operación: Temperatura 10-45°C. Humedad 20-80 %.
- Tamaño: ancho 360mm x alto 90mm x profundidad 90mm.
- Peso: aproximadamente 4kg.

Ventajas del equipo de medición

- Una ventaja es que para registrar las ondas superficiales, el equipo de medición presenta diferentes tipos de frecuencia de muestreo, para realizar la medición de acuerdo al tipo de suelo que se analiza.
- Una ventaja es su fácil traslado de un lugar a otro, debido al ligero peso que presenta.
- Nos permite realizar el procesamiento preliminar ni bien se obtiene el registro de campo, es decir nos ayuda a tener una idea preliminar del periodo de vibración fundamental.

Desventajas del equipo de medición

- Una desventaja es que cerca a torres de alta tensión no se puede realizar los ensayos de microtemores debido a la interferencia que existe con las ondas electromagnéticas.
- Una desventaja es que para conectar los sensores al adquisidor de datos, se tiene que limpiar la conexión de los cables, debido a su gran sensibilidad.

- Debido a la sensibilidad de los sensores, se tiene que tener en consideración al momento de medir, los ruidos de los agentes externos tales como carros, paso de peatones, maquinarias, motores, etc. Estos retrasan muchas veces el tiempo de medición.

1.8.2. Equipo de medición de Ensayos MASW

Para la ejecución de los ensayos MASW (Ensayos de Ondas Superficiales en Arreglos Multicanales) se empleó un equipo de prospección geofísica McSeis-SW 24ch, desarrollado por la empresa OYO CORPORATION (Ver Figura 1.2), el cual tiene las siguientes características:

- 24 canales de entrada, cada uno tiene un convertidor A/D individual con resolución de 24 bit y alta velocidad de muestreo.
- 24 sensores o geófonos de $4.5Hz$ de frecuencia, los cuales permiten registrar las vibraciones ambientales del terreno producidas por fuentes naturales o artificiales y el arribo de las ondas P y ondas S generadas por las fuentes de energía.
- computadora portátil, Lap Top Pentium IV.
- dos cables conectores de geófonos de 200 m.
- radios de comunicación y accesorios varios.



Figura 1.2: Equipo de prospección geofísica McSeis-SW 24ch y cables conectores de geófonos de 200 m (CISMID, 2013).

Características y errores de medición del equipo McSEIS-SW

- Número de canales: 24 canales.
- Impedancia de entrada $20k\Omega$, $0.02\mu F$.
- Ganancia: 24dB o 36dB.
- Banda de frecuencia: $1.75Hz$ a $8KHz$.
- Frecuencias de muestreo: 0.0625, 0.125, 0.25, 0.5, 1.0 y 2.0 mseg.
- Longitud de datos: 1024, 2048, 4096, 8192 y 16384 muestras.
- Retraso en el disparo: 0 a 9.999mseg.
- Formato de datos: SEG2.
- Temperatura de operación: -30 a $70^{\circ}C$.
- Peso: aproximadamente 3.8kg.

Ventajas del equipo de medición

- Los datos que aportan reflejan las propiedades promedio de un volumen del subsuelo y en otros casos son puntuales.
- Nos permite realizar el procesamiento preliminar ni bien se obtiene el registro de campo.
- No requieren de maquinaria compleja o pesada, debido a que la operación de los instrumentos es relativamente sencilla.
- Los ensayos realizados con este equipo pueden efectuarse aún en terrenos con gran pendiente.
- El Ensayo MASW reconoce estratos generalmente paralelos, es decir en taludes conviene realizar el ensayo de manera transversal para obtener el perfil de velocidades.

Desventajas del equipo de medición

- Una desventaja es que cerca a equipos de alta tensión no se puede realizar los ensayos de MASW debido a la interferencia que existe con las ondas electromagnéticas.
- El equipo presenta cables largos y pesados, a veces dificulta el traslado cuando los ensayos se realizan en pendientes pronunciadas o empinadas.
- Cuando se tiene un espaciamiento menor entre sensores el Ensayo MASW define mejor los estratos superficiales mas no los profundos, eh aqui una desventaja de este ensayo.

Capítulo 2

Área de Estudio y Características Geológicas

2.1. Antecedentes

Recientemente se realizó la actividad **“Desarrollo de Microzonificación ante Sismo y Tsunami”** financiado por el Ministerio de Economía y Finanzas. Por convenio específico de cooperación interinstitucional entre el Ministerio de Economía y Finanzas y la Universidad Nacional de Ingeniería, se encargó al Centro Peruano Japonés de Investigaciones Sísmicas y Mitigación de Desastres (CISMID) la ejecución de los estudios de Microzonificación Sísmica y de Peligro Geológico. Específicamente en el programa **“0068 Reducción de Vulnerabilidad y Atención de Emergencias por Desastres”**, recibiendo el presupuesto necesario para ejecutar la actividad **“Desarrollo de Microzonificación ante Sismo y Tsunami”**, dentro del producto **“Gobiernos Locales con Evaluación de Riesgos ante Sismos y Tsunamis”**.

Este estudio es el principio de un proceso optimizado hacia la reducción de riesgo sísmico, cuyos resultados permitirán promover una actitud pública y ciudadana para prever,

manejar peligros y oportunidades para el desarrollo de la ciudad de Lima y del Perú, con el fin de disminuir los efectos sobre la vida y los bienes que futuros terremotos podrían generar.

2.2. Área de Estudio

El distrito de Independencia fue fundado el 16 de marzo de 1964 mediante ley número 14965, se ubica en el departamento de Lima, localizado en el área norte de Lima Metropolitana (Ver Plano P-01) y a su vez limita con los siguientes distritos:

- Por el Norte con el distrito de Comas.
- Por el Sur con los distritos de San Martín de Porres y El Rímac.
- Por el Este con el distrito de San Juan de Lurigancho.
- Por el Oeste con el distrito de Los Olivos.

En la actualidad cuenta con una extensión territorial de 1456Ha que equivale al 0.52 % de la superficie de Lima Metropolitana y una población cercana a los 210,000 habitantes. Su extensión queda definida, aproximadamente, por las siguientes coordenadas geográficas:

11° 59' 24" Latitud sur

77° 03' 34" Longitud Oeste

Durante la década del 60 se produjo un gran crecimiento en la población, y así las oleadas migratorias fueron construyendo un cerco alrededor de Lima Metropolitana; hoy el distrito de Independencia tiene articulado 6 ejes zonales comprendidos por Túpac Amaru, Tahuantinsuyo, la capital Independencia, El Ermitaño, La Unificada y la Zona Industrial - Comercial.

Túpac Amaru. Es el eje zonal en el que se encuentran localizados: la asociación de vivienda José Abelardo Quiñónez, asociación de vivienda Víctor Raúl Haya de la Torre, María Auxiliadora, y las cooperativas de vivienda Santa Ligia y Tahuantinsuyo Ltda. N° 196, así como asentamientos humanos ubicados en su periferia.

Tahuantinsuyo. Está ubicado en la llamada Pampa de la Repartición. Está constituido por la urbanización popular Tahuantinsuyo y dividida a su vez en cuatro zonas. A su alrededor se ubican 32 asentamientos humanos.

Independencia. Está ubicada sobre la llamada Pampa de Cueva. Se ha constituido en la capital del distrito y se divide en tres sectores: 1er., 2do., y 3er Sector. Además, cuenta con los asentamientos humanos Los Conquistadores y José Carlos Mariátegui.

El Ermitaño. Está ubicado en la pampa El Ermitaño. En esta parte del distrito se encuentran localizadas: Las asociaciones de viviendas “Las Violetas zonas D y E”, “1ro. de Mayo” y “José Gálvez” (Los Choferes); a ellas se suman el 1er sector (Las Violetas Zona E), 2do., 3er y 4to sector de El Ermitaño, y diez asentamientos humanos que los rodean.

La Unificada. Es el área que alberga seis asentamientos humanos, que se extienden hasta el límite de la zona militar ubicado en el distrito del Rimac.

Zona Industrial - Comercial. En su mayoría está integrada por empresas industriales, actualmente con grandes centros comerciales (Mega Plaza, Plaza Norte, etc.) y de consumo masivo, viene dinamizando la economía local. Está integrada por las urbanizaciones El Naranjal, Mesa Redonda, Industrial Panamericana, Industrial Naranjal y los asentamientos humanos 9 de Octubre y José Carlos Mariátegui.

El distrito de Independencia tiene una población que vive en los sectores medio, medio bajo y bajo, con un porcentaje del 32,7 %, 32,3 % y 34,9 %, respectivamente. La población

que vive en el sector medio bajo y bajo representa el 67,2 %, la población juvenil (de 10 a 29 años) representa el 44,4 % de los habitantes del distrito. Esto significa que el distrito es mayoritariamente joven.

Los habitantes con analfabetismo llegan a un total de 11.277 personas, que representan el 6 % de la población de Independencia. La zona de El Ermitaño presenta el nivel de analfabetismo más alto del distrito: alcanza hasta un 22 %.

En la actualidad el distrito de Independencia es el centro económico de Lima Norte, ya que cuenta con grandes industrias y ha alcanzado un importante nivel de crecimiento económico gracias a la llegada de grandes inversiones, capitales peruanos y extranjeros que atraen mensualmente a millones de visitantes de todas partes de la capital, convirtiéndose en la principal zona comercial limeña.

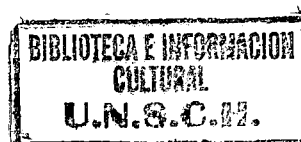
2.3. Geología Regional

2.3.1. Aspectos Geomorfológicos

Los rasgos geomorfológicos presentes en el distrito de Independencia, han sido modelados por eventos plutónicos y/o tectónicos, así como por procesos de geodinámica externa.

Las unidades geomorfológicas existentes son clasificadas como quebradas y estribaciones de la Cordillera Occidental, las cuales se detallan a continuación:

- a) **Valles y Quebradas.** Esta unidad geomorfológica comprende el valle del río Chillón y las quebradas afluentes que permanecen secas la mayor parte del año, discurriendo agua solo en épocas de fuertes precipitaciones en el sector andino y especialmente asociados al Fenómeno del Niño.



- b) **Estribaciones de la Cordillera Occidental.** Esta unidad geomorfológica corresponde a las laderas y restos marginales de la cordillera andina, de topografía abrupta y formado por plutones los cuales han sido emplazados con rumbo NO-SE, los mismos fueron disectados por las quebradas.

2.3.2. Aspectos Geológicos y Litológicos

La secuencia estratigráfica de la región abarca las formaciones o superunidades que se ubican unas fuera y otras dentro del marco del área de estudio. La geología regional comprende rocas y suelos con edades que van desde el Cretáceo Superior, Terciario y Cuaternario, hasta la más reciente (Ver Plano P-02), en el siguiente orden:

Formación Cerro Blanco (Ki-cb). En esta secuencia sedimentaria-volcánica predomina las rocas sedimentarias en la base y las volcánicas al tope. Litológicamente está compuesto por areniscas feldespáticas de origen piroclásticos de color gris claro, capas de chert e intercalaciones de andesitas afaníticas.

Las rocas volcánicas estan formadas por derrames andesíticos de textura afanítica, que se presentan en horizontes gruesos bien estratificados de color gris. La edad correspondiente es el cretáceo inferior.

Formación Herradura (Ki-he). Esta formación descansa concordante sobre la formación del salto del fraile e infrayace igualmente concordante a la Formación Marcalvilca, esta se encuentra en contacto transicional, directamente sobre la formación Cerro Blanco. Litológicamente presenta areniscas cuarzosas, en parte verdosa amarillentas, laminadas con estratificación delgada y gruesa, seguido de lutitas gris a negras e intemperizando a marrón rojizo.

Formación Marcavilca (Ki-ma). Esta formación descansa en contacto normal sobre la formación herradura y subyace a la formación pamplona. Litológicamente presenta rocas cuarcitas gris blanquecina y en menor proporción las lutitas.

Formación Pamplona (Ki-pa). A esta formación se le observa en la margen derecha del río Chillón y es una serie arcillosa-calcárea compuestas por lutitas con características muy arcillosas.

Formación Atocongo (Ki-at). La formación Atocongo aflora en las partes de independencia siguiendo una franja paralela a la Formación Pamplona. Litológicamente está conformado por calizas oscuras y limolitas, areniscas silicificadas, con capas de Chert. Las cuales se encuentran intruidas por rocas intrusivas del tipo gabro-diorita y adamelitas, así han dado lugar a niveles recristalizados con menas de calcita como relleno, disseminación de piritita y alteración de manchas de azufre.

Gabro-dioritas pertenecientes a la Superunidad Patap (Ks-gbdi-pt). Esta unidad está compuesta por cuerpos de gabros y dioritas, las más antiguas del batolito y emplazados al lado occidental del mismo con edad perteneciente al Cretáceo Superior de color oscuro, y debido a los magnesianos que contiene la textura de la roca varía de grano medio a grueso, de alto peso específico, conteniendo hornblenda y biotitas. Generalmente se encuentran disturbadas con signos de inestabilidad.

Adamelitas pertenecientes a la Superunidad Santa Rosa (Ks-ad-sr). Esta unidad está compuesta por cuerpos adamelíticos. Se encuentran en los alrededores del distrito de Independencia y generalmente se encuentran disturbadas, con signos de inestabilidad.

Depósito Aluvial Pleistocénico (Qp-al). Constituido por acumulaciones aluviales desérticas del Cuaternario antiguo. La litología de estos depósitos aluviales pleistocénicos está conformada por bloques de roca de naturaleza intrusiva y volcánica,

gravas con formas que van de redondeadas a subredondeadas, arenas de diversa granulometría y una matriz limosa o limo arcillosa.

Depósito Aluvial Reciente (Qh-al). Está conformada por acumulaciones aluviales desérticas del Cuaternario antiguo. La litología de estos depósitos aluviales pleistocénicos está conformada por bloques de roca de naturaleza intrusiva y volcánica, gravas con formas que van de subangulosas a angulosas, arenas de diversa granulometría y una matriz limosa o limo arcillosa.

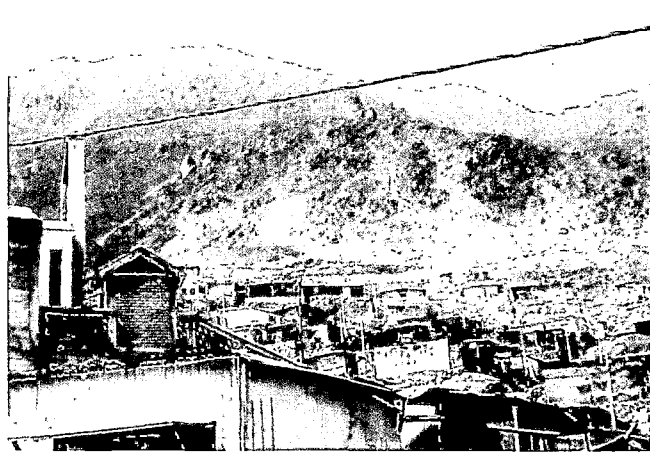


Figura 2.1: Rocas del tipo adamelita en la parte alta de las quebradas.



Figura 2.2: Rocas pertenecientes a la formación pamplona y rocas gabro-dioritas.

2.3.3. Aspectos de Geología Estructural

En el distrito de Independencia y alrededores, producto de la fase compresiva del Terciario Inferior, se ha desarrollado un sistema de fallamiento con dirección NO-SE paralelo a la Cadena Andina, que ha favorecido el rápido desarrollo de la erosión lineal, así como un sistema de fracturas que obedecen a procesos tectónicos de compresión post - batolito. Los grandes esfuerzos tangenciales han causado el fracturamiento intenso de los cuerpos rocosos ígneos, con fracturas ligeramente meteorizadas a limpias, que presentan aberturas que van desde milímetros a centímetros, lo que ocasiona que en superficie éstas se encuentren disturbadas y estén propensos a la inestabilidad.

2.3.4. Morfogénesis y Aspectos Geodinámicos

La configuración del relieve en la región está subordinada a procesos morfogenéticos que han ocurrido en el pasado geológico, los cuales se describe a continuación:

Morfogénesis Terciaria. Está asociada al inicio de la Orogénesis Andina, que ocurrió de fines del Mesozoico al Terciario Inferior, y la última fase de orogénesis (desde el Pleistoceno, hasta el Cuaternario Reciente) que se manifiesta con la topografía de los Andes, teniendo en cuenta sus altitudes actuales; luego una prolongada fase erosiva en el Terciario Medio redujo los Andes al estado de llanuras no muy elevadas sobre el nivel del mar. El rápido levantamiento plio-pleistoceno determinó un brusco incremento en las pendientes generales en el relieve con el consiguiente desarrollo de procesos erosivos e incisión fluvial.

Morfogénesis Cuaternaria. El relieve ha sido modelado por la ocurrencia de las Glaciaciones Andinas; que originó gases fríos y húmedos por lo que el clima de la sierra recibió precipitaciones más abundantes que en la actualidad; lo que ocasionó que los huaycos de la región andina lleguen inclusive hasta el nivel del mar.

La morfogénesis cuaternaria se caracteriza por un climatismo geomorfológico mucho más activo que el actual, especialmente durante la fase de glaciación andina, la última de las cuales duró aproximadamente 70,000 años, habiendo concluido hace 10,000 años.

Procesos Geodinámicos. Los principales procesos geodinámicos en el distrito de Independencia y alrededores han sido originados por las glaciaciones cuaternarias y las precipitaciones fluviales que han afectado en mayor grado el relieve, hasta configurar las geoformas actuales. La actividad de geodinámica externa está representada por deslizamientos de lodo, desprendimientos de roca que implica la ocurrencia de derrumbes y caída de bloques de roca, ya sea por la acción de la gravedad o por la ocurrencia de sismos. Otra forma de movimiento asociado a lluvias extraordinarias, es la reactivación de flujos antiguos, que han ocurrido principalmente en el Cuaternario Pleistocénico, mostrándose evidencias de éstos en las laderas, al pie de los taludes y en los cauces de las quebradas. A continuación describiremos algunos posibles eventos de geodinámica externa:

a) Deslizamientos, Derrumbes y Flujos de Material. Los principales fenómenos de geodinámica externa que podrían ocurrir, son los deslizamientos, derrumbes, caídas de bloques de roca, flujos de material detrítico, huaycos y otros. Estos fenómenos se podrían activar asociados a eventos de fuertes precipitaciones en épocas de lluvias al actuar sobre taludes de corte en materiales rocosos muy fracturados y alterados, y en suelos residuales, todos estos con pendientes mayores a las recomendadas en los códigos de construcción y con alturas de corte considerables.

b) Deslizamientos. Se trata del movimiento de material del talud a través de superficies de fallas con desplazamientos rotacionales, traslacionales o una combinación de ambos. Este fenómeno puede ocurrir en distinta magnitud, dependiendo del tipo y volumen de material involucrado.

- c) **Derrumbes y Caída de bloques.** Los derrumbes consisten en desprendimientos de masas de material de un talud sin presentar una superficie de falla definida, lo que será frecuente en taludes de material principalmente intrusivo y en zonas de depósitos coluviales; es decir, en donde no hay planos de estratificación definido.
- d) **Deslizamiento de Flujo de Material Detrítico y Lodo.** Este tipo de deslizamiento ocurre en zonas de quebradas y laderas con abundante material detrítico y/o de escombros, que se encuentran poco consolidados, los cuales al pasar a una condición saturada crean un flujo rápido de material.

2.4. Evaluación Geológica Local y Alrededores

Esta actividad consistió en una apreciación y evaluación geológica del plano Urbanístico del distrito de Independencia en contraste con el plano geológico del INGEMMET, especialmente en las áreas comprometidas con las construcciones de viviendas. Se evaluó los Tramos TG1, TG2, TG3, TG4, TG5, y TG6 con la finalidad de identificar las distintas formaciones rocosas, así como la posibilidad que ocurran fenómenos de geodinámica externa (Ver Plano P-03). A continuación se describen los tramos considerados:

2.4.1. Tramo Geológico TG1

En este tramo se puede apreciar que las habilitaciones urbanas están comprometidas con las formaciones rocosas y están representadas por las quebradas q1 y q2 denominadas Payet y Tahuantinsuyo respectivamente, conformados por depósito aluvial reciente (Qh-al), que está constituida por acumulaciones aluviales desérticas del cuaternario antiguo. La litología de estos depósitos aluviales pleistocénicos está conformada por bloques de roca de naturaleza intrusiva y sedimentaria, gravas con formas que van de subangulosas a angulosas, arenas de diversa granulometría y una matriz limosa o limo arcillosa.



Figura 2.3: Encuentro de las quebradas q1 y q2.

2.4.2. Tramo Geológico TG2

En este tramo se puede apreciar que las habilitaciones urbanas están comprometidas con las formaciones rocosas y está representada por la Quebrada q3 conformados por depósito aluvial reciente (Qh-al), que está constituida por acumulaciones aluviales desérticas del Cuaternario antiguo. La litología de estos depósitos aluviales pleistocénicos está conformada por bloques de roca de naturaleza intrusiva y sedimentaria, gravas con formas que van de subangulosas a angulosas, arenas de diversa granulometría y una matriz limosa o limo arcillosa.



Figura 2.4: Rocas del tipo adamelita y gabro-dioritas en la quebrada q3.

2.4.3. Tramo Geológico TG3

En este tramo se puede apreciar que las habilitaciones urbanas están comprometidas con las formaciones rocosas y está representada por la Quebrada q4 conformados por depósito aluvial reciente (Qh-al), que está constituida por acumulaciones aluviales desérticas del cuaternario antiguo. La litología de estos depósitos aluviales pleistocénicos, está conformada por bloques de roca de naturaleza intrusiva y sedimentaria, gravas con formas que van de subangulosas a angulosas, arenas de diversa granulometría y una matriz limosa o limo arcillosa.



Figura 2.5: Rocas del tipo gabro-diorita en la quebrada q4.

2.4.4. Tramo Geológico TG4

En este tramo se puede apreciar que las habilitaciones urbanas están comprometidas con las formaciones rocosas y está representada por la Quebrada q5 conformados por depósito aluvial reciente (Qh-al), que está constituida por acumulaciones aluviales desérticas del Cuaternario antiguo. La litología de estos depósitos aluviales pleistocénicos, está conformada por bloques de roca de naturaleza intrusiva y sedimentaria, gravas con formas que van de subangulosas a angulosas, arenas de diversa granulometría y una matriz limosa o limo arcillosa.



Figura 2.6: Rocas gabro-dioritas pertenecientes a la formación marcavilca en la quebrada q5.

2.4.5. Tramo Geológico TG5

En este tramo se puede apreciar que las habilitaciones urbanas están comprometidas con las formaciones rocosas y está representada por la Quebrada q6 conformados por depósito aluvial reciente (Qh-al), que está constituida por acumulaciones aluviales desérticas del Cuaternario antiguo. La litología de estos depósitos aluviales pleistocénicos, está conformada por bloques de roca de naturaleza intrusiva y sedimentaria y gravas con formas que van de subangulosas a angulosas, arenas de diversa granulometría y una matriz limosa o limo arcillosa.

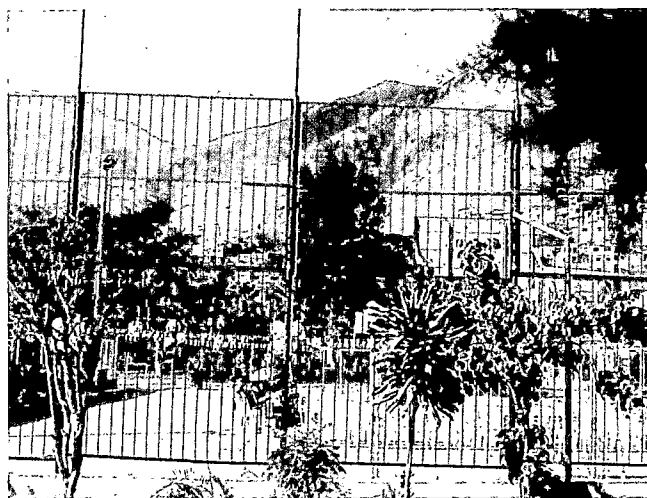


Figura 2.7: Rocas pertenecientes a la formación marcavilca en la quebrada q6, donde se encuentran emplazados algunas viviendas.

2.4.6. Tramo Geológico TG6

Este tramo está conformado por las laderas que se pueden apreciar desde la Av. Túpac Amaru y que están comprometidos con la formación marcavilca (Ki-m); este tramo esta propenso, si se dan las condiciones, a sufrir fenómenos de geodinámica externa del tipo deslizamiento de detritos, lodo y caída de bloques de roca. El Peligro Geológico Potencial de estas laderas es Moderado.



Figura 2.8: Rocas de la formación marcavilva (Ki-ma) que llega hasta el limite del distrito de independencia.

2.5. Zonificación Geológica y Peligro Geológico Potencial

Esta actividad consistió en delimitar zonas geológicas ZG1, ZG2 y ZG3, condicionadas por los fenómenos de geodinámica externa que pudieran ocurrir en el tiempo geológico, que nos da como resultado los peligros geológicos potenciales.

A continuación se detalla la zonificación geológica asociado al peligro geológico potencial (Ver Plano P-04).

2.5.1. Zona Geológica ZG1

Están asociadas a las quebradas q5 y q6 y su margen derecha e izquierda respectiva, con fenómenos de geodinámica externa del tipo deslizamiento de detritos y lodo y caída de bloques de roca, con Peligro Geológico Potencial Moderado.

2.5.2. Zona Geológica ZG2

Están asociadas a las quebradas q1, q2, q3, q4 y su margen derecha e izquierda respectiva, con fenómenos de geodinámica externa del tipo deslizamiento de detritos y lodo, derrumbe y caída de bloques de roca, con Peligro Geológico Potencial de Moderado a Alto.

2.5.3. Zona Geológica ZG3

Comprometida con las quebradas q1, q2, q3, q4 en sus partes altas respectivas, con fenómenos de geodinámica externa del tipo deslizamiento de detritos y lodo, derrumbe y caída de bloques de roca, reactivación de material de deslizamiento y huayco antiguo; con Peligro Geológico Potencial Alto.

Los peligros geológicos potenciales se muestran en las siguientes figuras.



Figura 2.9: Cerros de pendiente abrupta, con caídas de bloques de rocas (a). Viviendas construidas en material de relleno que se encuentran en forma inestable (b).

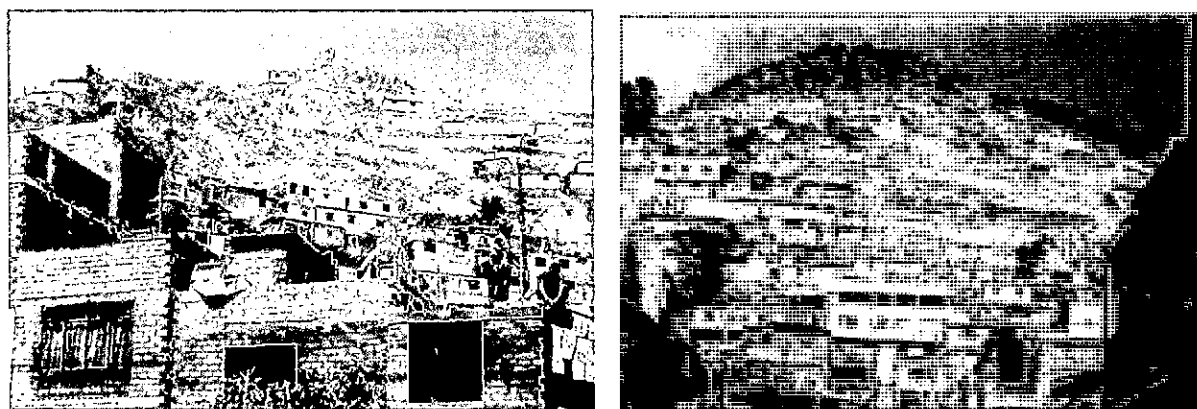


Figura 2.10: Viviendas asentadas en antiguos materiales de deslizamiento y/o huaycos (a). Peligro de posibles caídas de bloques de roca (b).

Capítulo 3

Evaluación del Peligro Sísmico

3.1. Sismicidad del Área de Estudio

La costa central del Perú pertenece al borde occidental de América del Sur, el cual se caracteriza por ser una de las regiones sísmicamente mas activas en el mundo. Como es conocido, el Perú forma parte de esta región y su actividad sísmica más importante está asociada al proceso de subducción de la Placa de Nasca (oceánica) bajo la Placa Sudamericana (continental), generando frecuentemente terremotos de magnitud elevada.

Los efectos de subducción se basan en el proceso de orogénesis de los Andes, ya que es la formación o rejuvenecimiento de montañas y cordilleras causada por la deformación compresiva de regiones más o menos extensas de la litosfera continental. Dentro de los procesos orogénicos que se desarrollan en el continente, se encuentran los siguientes:

- La Fosa Oceánica Perú-Chile.
- La Cadena de los Andes.
- La Dorsal de Nazca.

- La porción hundida de la costa norte de la Península de Paracas, asociada con un zócalo continental más ancho.
- Las unidades de deformación y sus intrusiones magmáticas asociadas.
- Sistemas regionales de fallas normales e inversas y de sobreescurrecimientos.

Las características de la sismicidad en el Perú han sido ampliamente analizadas y discutidas por diversos autores [29]; siendo las principales, las relacionadas con la distribución espacial de los focos sísmicos en superficie y en profundidad.

3.1.1. Historia Sísmica de la Región en Estudio

La historia sísmica del Perú se remonta a épocas de la colonia y la conquista, encontrándose en folletos, relatos, manuscritos, informes, etc. A lo largo de la historia se han recopilado diversos catálogos sísmicos, así como las características más importantes de los sismos (valor de intensidad local y regional).

La recopilación realizada por Silgado [27] es la más completa para sismos importantes en el Perú ocurridos entre 1513 y 1974, y la investigación más reciente fue realizado por Dorbath [10]; estos consideran una revisión detallada de toda la información existente sobre los sismos históricos a fin de correlacionar las áreas de máxima intensidad con sus respectivas longitudes de ruptura para así estimar la magnitud de un gran número de sismos. Así los autores sugieren que los sismos en el Perú tengan un periodo de recurrencia del orden de 100 años e indican que el sismo más antiguo para el cual se tiene información confiable, data del año 1513¹.

¹A través del Instituto Geofísico del Perú (IGP). [30, Cap 3 Pag. 19-21], [30]

A continuación se muestra la relación de sismos históricos del área en estudio²:

- Sismo del 15 de Noviembre de 1555: Ocurrió el temblor más fuerte desde la fundación de Lima, que causó muchos desperfectos en las edificaciones. Intensidad: VII (MMI) en Lima.
- Sismo del 9 de Julio de 1586 a las 19:00 horas: Terremoto que destruyó Lima, con 14 a 22 víctimas. Tsunami en Callao y otros lugares. Fue sentido desde Trujillo hasta Caravelí, también fue sentido en Huánuco y Cuzco; y posiblemente en lugares intermedios. Por 60 días se dejaron sentir las replicas. Intensidades: Lima IX (MMI), Ica VI (MMI) y Trujillo III (MMI).
- Sismo del 19 de Octubre de 1609 a las 20:00 horas: Violento temblor en Lima que derribó muchas edificaciones. Intensidad: VII (MMI) en Lima.
- Sismo del 14 de Febrero de 1619 a las 11:30 horas: Terremoto que destruyó a la ciudad de Trujillo; fue sentido a 200 km al norte y a más de 600 km al sur. La destrucción se extendió a las poblaciones de Zaña y Santa. Murieron 350 personas. Licuación y agrietamiento de suelos. En la ciudad de Lima se sintió como fuerte temblor que causó la salida de la gente de sus casas. Intensidades: Trujillo IX (MMI), Chicama y Santa VIII (MMI), Barranca y Zaña VII (MMI), y Lima V (MMI).
- Sismo del 27 de Noviembre de 1630 a las 11:30 horas: Averió casas e iglesias. Varios muertos y personas con contusiones en Lima. Intensidad: VII (MMI) en Lima.
- Sismo del 13 de Noviembre de 1655 a las 14:38 horas: Fuerte sismo que derrumbó muchas casas y edificios en Lima. Graves daños en el Presidio de la Isla San Lorenzo. Un muerto. Intensidades: San Lorenzo y Callao IX (MMI) y Lima VIII (MMI).

²Se recopiló información de sismos históricos a través de los estudios realizados por el Centro Peruano Japonés de Investigaciones Sísmicas y Mitigación de Desastres (CISMID).

- Sismo del 17 de Junio de 1678 a las 19:45 horas: Fuerte temblor en Lima. Estragos en Callao y Lima. Intensidad: Lima y Callao VII (MMI).
- Sismo del 20 de Octubre de 1687: Dos sismos en Lima a las 04:15 y 05:30 horas. La ciudad de Lima quedó muy dañada. Los estragos fueron grandes en el Callao y alrededores. Entre Ica y Cañete se formaron grietas en el subsuelo. Más de 100 muertos. Tsunami en el Callao. Intensidades: Cañete IX (MMI), Ica VIII (MMI), Lima y Callao VII (MMI).
- Sismo del 14 de Julio de 1699 a las 04:00 horas: Fuerte temblor en Lima, intensidad en Lima VII (MMI).
- Sismo del 10 de Febrero de 1716 a las 20:00 horas: Terremoto en la ciudad de Pisco, Ica. Se derrumbaron todas las casas causando pánico general. La tierra se agrietó en algunos lugares expeliendo chorros de polvo y agua con ruido pavoroso. Intensidades en Pisco IX y en Lima V (MMI).
- Sismo del 06 de Enero de 1725 a las 23:25 horas: Terremoto que ocasionó diversos daños en la ciudad de Trujillo. En los nevados de la Cordillera Blanca originó la rotura de una laguna glaciaria, la cual desbordándose, arrasó un pueblo cercano a Yungay, muriendo 1500 personas. El sismo fue sentido en Lima. Este sismo fue similar al de 1970. Intensidades: Barranca y Huaura VIII (MMI), Trujillo y Lima VI (MMI).
- Sismo del 28 de Octubre de 1746 a las 22:30 horas: Destrucción de casi la totalidad de casas y edificios en Lima y Callao. Murieron más de 1100 personas en Lima. Destrucción de 44,000 km^2 . Sentido en Guayaquil, en la confluencia del río Marañón con el Huallaga, en Huancavelica (muy fuerte). En Lucanas (Ayacucho) hubo agrietamientos del terreno y deslizamientos. Se sintió en Cuzco y Tacna. Un tsunami de grandes proporciones inundó el Callao hasta 6 km, matando casi toda la población

y destruyendo Guañape y Punta Caballas. Intensidad de X (MMI) en Chancay y Huaral, IX-X (MMI) en Lima, Barranca y Pativilca, VIII (MMI) en Huaylas y la Cordillera Negra, VII (MMI) en Lucanas, Huancavelica y Pisco.

- Sismo del 30 de Marzo de 1828 a las 07:35 horas: Terremoto en Lima que causó 30 muertos. Daños en el Callao, Chorrillos y Chancay. Se sintió fuerte en Trujillo y Huancayo. Intensidades: Lima VII (MMI), Callao, Chancay y Chorrillos VI (MMI) y Trujillo IV (MMI).
- Sismo del 21 de Noviembre de 1901 a las 14:19 horas: Fuerte temblor en Ica. Fue sentido desde Huacho hasta Chala. Intensidad: Ica VI, Lima IV y Tarma III.
- Sismo del 2 de Enero de 1902 a las 09:08 horas: Fuerte y prolongado movimiento de Tierra en Casma y Chimbote, donde causó alarma. Se sintió desde Paita hasta Lima. Intensidades: Casma y Chimbote V (MMI), Chiclayo IV (MMI).
- Sismo del 4 de Marzo de 1904 a las 05:17 horas: Fuerte movimiento sísmico en la ciudad de Lima. Intensidad aproximada: VII - VIII (MMI). En Pacasmayo y Chosica VI (MMI). Fue sentido en Casma, Trujillo, Huánuco, Pisco y Ayacucho III (MMI).
- Sismo del 23 de Febrero de 1907 a las 15:17 horas: Fuerte movimiento sísmico percibido en un área aproximada de $106,000 \text{ km}^2$. Intenso en Matucana, Mala, Cañete, Chinchá, Pisco, Ica, Huancavelica y Puquio (Grado V). Menos intenso en Lima, Ancón y Huacho.
- Sismo del 11 de Marzo de 1926 a las 06:20 horas: Fuerte sismo en la ciudad de Lima, se produjeron derrumbes en la ruta del ferrocarril central. Intensidad en Lima V-VI (MMI).
- Sismo del 19 de Enero de 1932 a las 21:33 horas. Violento sismo que causó muchos daños en Huacho, Lima. Se estima una intensidad de VI-VII (MMI) en Lima.

- Sismo del 05 de Agosto de 1933 a las 21:55 horas: Sismo en Lima, ligeros daños en casas antiguas. Rotura de vidrios en Ica. Sentido entre Huacho y Pisco en la costa, en Cerro de Pasco y otros pueblos de la Cordillera Central y en Puerto Bermúdez. Intensidades: Lima VI (MMI), Huacho e Ica V (MMI), Cerro de Pasco III (MMI) y Puerto Bermúdez II (MMI).
- Sismo del 24 de Mayo de 1940 a las 11:35 horas: Terremoto de grado VIII (MMI) en Lima, fue sentido desde Guayaquil en el norte hasta Arica en el sur, hubo tsunami, causó 179 muertos y 3500 heridos. Intensidad de VI (MMI) en el Callejón de Huaylas, V (MMI) en Trujillo, IV (MMI) en Paíta y Piura.
- Sismo del 15 de Junio de 1945 a las 04:10 horas: Temblor muy fuerte en Lima, causó cuarteaduras en el barrio obrero del Rimac. Sentido desde Supe hasta Pisco en la costa, en Canta, Matucana, Morococha, Casapalca y Huaitará en el interior. Intensidad en Lima V (MMI).
- Sismo del 21 de Agosto de 1945 a las 11:30 horas: Sismo en la Sierra Central y vertientes orientales de los Andes. Intensidades: en Cerro de Pasco y San Ramón V (MMI), en Lata y Huánuco IV (MMI). En las ciudades de la costa, entre Lima y Mala se sintió ligeramente estimándose un área aproximada de percepción a unos $210,000 \text{ km}^2$.
- Sismo del 10 de Diciembre de 1950 a las 21:50 horas: Fuerte temblor que ocasionó en la ciudad de Ica la muerte de 4 personas y averías de consideración en algunas edificaciones de adobe. Sobre el terreno provocó la abertura de grietas en algunos terrenos de sembríos, de los cuales surgió agua hasta una hora después del sismo. El sismo se sintió en una extensión de $490,000 \text{ km}^2$, que comprendió las ciudades de Chimbote, Huaraz y Cajamarca al Norte, Cerro de Pasco, Satipo, Gran Pajonal

al Noreste, Cusco al Este y Moquegua al Sur. Intensidades: Ica VII, Pisco V, Nazca V, Lima IV.

- Sismo del 31 de Enero de 1951 a las 11:39 horas: Fuerte temblor en Lima. El movimiento fue sentido en el litoral desde el paralelo 10° hasta el 14°. Intensidad de VI-VII (MMI) en Lima.
- Sismo del 15 de Enero de 1960 a las 04:30 horas: Fuerte temblor en Lima y el sur. Provocó el derrumbe de casas en Nazca, Ica y Huancavelica. Intensidades: Palpa y Nazca VII, en Ica, Huancavelica y Huaitará VI, en Lima IV.
- Sismo del 17 de Octubre de 1966 a las 16:41 horas. Fue uno de los más destructores ocurridos en Lima después del sismo de 1940. Cien personas muertas. Fue destructor a lo largo de la franja litoral entre Lima y Supe. La intensidad máxima se estimó en VIII (MMI). La aceleración producida en Lima fue de 0.4 g. Intensidades: VIII (MMI) en Huacho, Huaura, Chancay, Puente Piedra y Supe, VII (MMI) en Lima y Cajatambo, VI (MMI) en Chimbote, Virú y V (MMI) en Trujillo.
- Sismo del 31 de Mayo de 1970 a las 15:23 horas en Ancash: Fue uno de los sismos más catastróficos ocurridos en el Perú, murieron 50,000 personas, desaparecieron 20,000 y quedaron heridos 150,000, según informe CRYRZA. Con la evaluación de daños que esta entidad realizó se puede tener una idea de la catástrofe.
 - 60,000 viviendas necesitan reconstrucción.
 - 38 poblaciones fueron afectadas, 15 quedaron con viviendas destruidas en más del 80 %, el resto sufrió daños de consideración.
 - En 18 ciudades con un total de 309,000 habitantes los alcantarillados quedaron destruidos.
 - 6,730 aulas fueron destruidas.

- La capacidad de energía eléctrica de Ancash y La Libertad quedó reducida a un 10 %, por la serie de daños causados en la Central Hidroeléctrica de Huallanca.
- Quedaron dañadas las facilidades para irrigar 110,000 hectáreas.
- El 77 % de los caminos de La Libertad y Ancash se interrumpieron, así como el 40 % de los existentes en Chancay y Cajatambo.
- Dentro de las características del sismo, se puede mencionar que en la zona de la costa cercana al epicentro, se produjeron los fenómenos de licuación, deslizamiento de los taludes de la cordillera y el gran aluvión que arrasó con la ciudad de Yungay al desprenderse la cornisa norte del nevado Huascarán, arrastrando piedras, nieve y lodo.
- En el Callejón de Huaylas los deslizamientos y escarpas fueron muchos, a la altura de Recuay se represó el río Santa, en la zona de la costa se agrietó el suelo con eyección de agua, arena y lodo, hasta una altura de un metro.
- El sismo fue sentido desde Tumbes hasta Ica y desde la costa hasta Iquitos, produciéndose intensidades de IX (MMI) en Casma y Chimbote, VIII (MMI) en el Callejón de Huaylas y VII (MMI) en Trujillo, Moche y Paramonga.
- Sismo del 3 de Octubre de 1974 a las 19:01 horas: Sismo en Lima, Mala, Cañete, Chíncha y Pisco. Fuerte temblor que duró cerca de dos minutos y afectó casas antiguas de adobe y quincha en el área litoral entre 12° y 14° S. En Lima sufrieron daños los edificios públicos, iglesias, monumentos históricos, con diferente intensidad entre V y VII (MMI), en locales próximos a cerros y de suelo poco consolidado (La Molina), se observaron intensidades de VII-IX (MMI) como consecuencia de la amplificación de las vibraciones causadas por el terreno. Se produjeron 78 muertos y 2,550 heridos en Lima; entre Mala y Pisco: 13 muertos y numerosos heridos.

- Sismo del 18 de Abril de 1993, a las 04:16 horas. Se produjo un fuerte sismo que sacudió la ciudad de Lima y alrededores, en un radio de aproximadamente 140 km. El sismo originó daños considerables en las viviendas construidas con materiales inestables, en los alrededores de la ciudad y las zonas altas de Lima; ocasionando la muerte de 8 personas y 55 heridos. Este terremoto fue uno de los de mayor magnitud, después del terremoto del 03 de Octubre de 1974. El epicentro se localizó a 55 km al Nor Este de la ciudad de Lima. (localidades de Arahua y Lachaqui - Canta). No se registro ninguna réplica. Magnitud 5.8 mb.
- El 15 de Agosto del 2007 ocurrió un sismo con origen en la zona de convergencia de las placas, el cual fue denominado como “El sismo de Pisco” debido a que su epicentro fue ubicado a 60 km al Oeste de la ciudad de Pisco. Este sismo tuvo una magnitud de momento sísmico $M_w=7.9$ de acuerdo al Instituto Geofísico del Perú y de 8.0 según el Nacional Earthquake Center (NEIC). El sismo produjo daños importantes en un gran número de viviendas de la ciudad de Pisco (aproximadamente el 80 %) y menor en las localidades aledañas, llegándose a evaluar una intensidad del orden de VII en la escala de Mercalli Modificada (MMI) en las localidades de Pisco, Chíncha y Cañete, V y VI en la ciudad de Lima. VI en las localidades de Yauyos (Lima), Huaytará (Huancavelica), IV en las ciudades de Huaraz y localidades de Canta, Puquio, Chala. Este sismo produjo un tsunami que se originó frente a las localidades ubicadas al sur de la península de Paracas, y una licuación generalizada en un área de más de 3.0 km de longitud por 1.0 km de ancho en las zonas de Canchamaná y Tambo de Mora en Chíncha.

En el Plano P-05 se muestra la localización de los epicentros pertenecientes a los sismos históricos ocurridos en el área de influencia. En este plano se presenta la ubicación de aquellos eventos ocurridos entre los años 1901 y 2009, con magnitudes M_w mayores o

iguales que 3.0. Aquí se ubican los sismos con diferentes profundidades focales, tales como sismos superficiales (0 - 70 km) y sismos intermedios (71 - 300 km).

En el Plano P-06 se presenta un perfil transversal perpendicular a la costa, donde se observa que la sismicidad con foco superficial se localiza principalmente en la zona oceánica en dirección paralela a la línea de la costa, donde se producen sismos de magnitud moderada con relativa frecuencia.

Los sismos con foco a profundidad intermedia (70 km - 300 km) se distribuyen de manera irregular por debajo del continente, formando un plano con un ángulo de buzamiento promedio de 30° en la región sur, donde se aprecia la subducción de la placa de Nazca, ya que hacia el continente la profundidad focal de los sismos aumenta.

La actividad sísmica con foco profundo (300 km - 700 km) se localiza en la región centro y sur de la Llanura Amazónica; siendo esta sismicidad mayor en la región central (borde Perú-Brasil) y menos numerosa y más dispersa en la región sur (borde Perú-Bolivia).

En las Figuras 3.1, 3.2 y 3.3 se presentan los Mapas de Isosistas disponibles, los cuales corresponden a algunos de los sismos mas catastróficos ocurridos en el área en estudio: 28 de Octubre de 1746, 31 de Mayo de 1970 y 15 de Agosto del 2007.

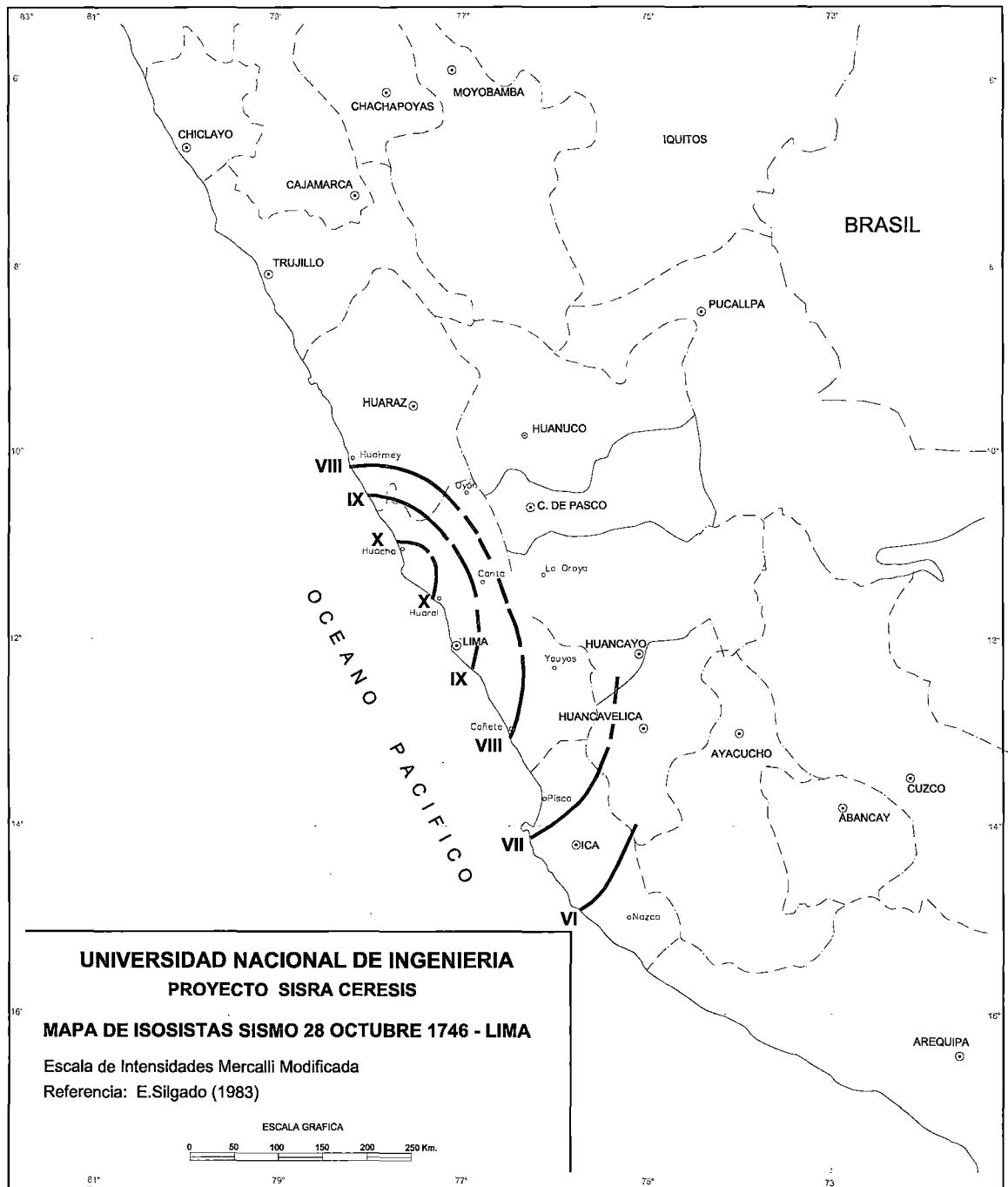


Figura 3.1: Sismo del 28 de Octubre de 1746 a las 22:30 horas: Destrucción de casi la totalidad de casas y edificios en Lima y Callao.

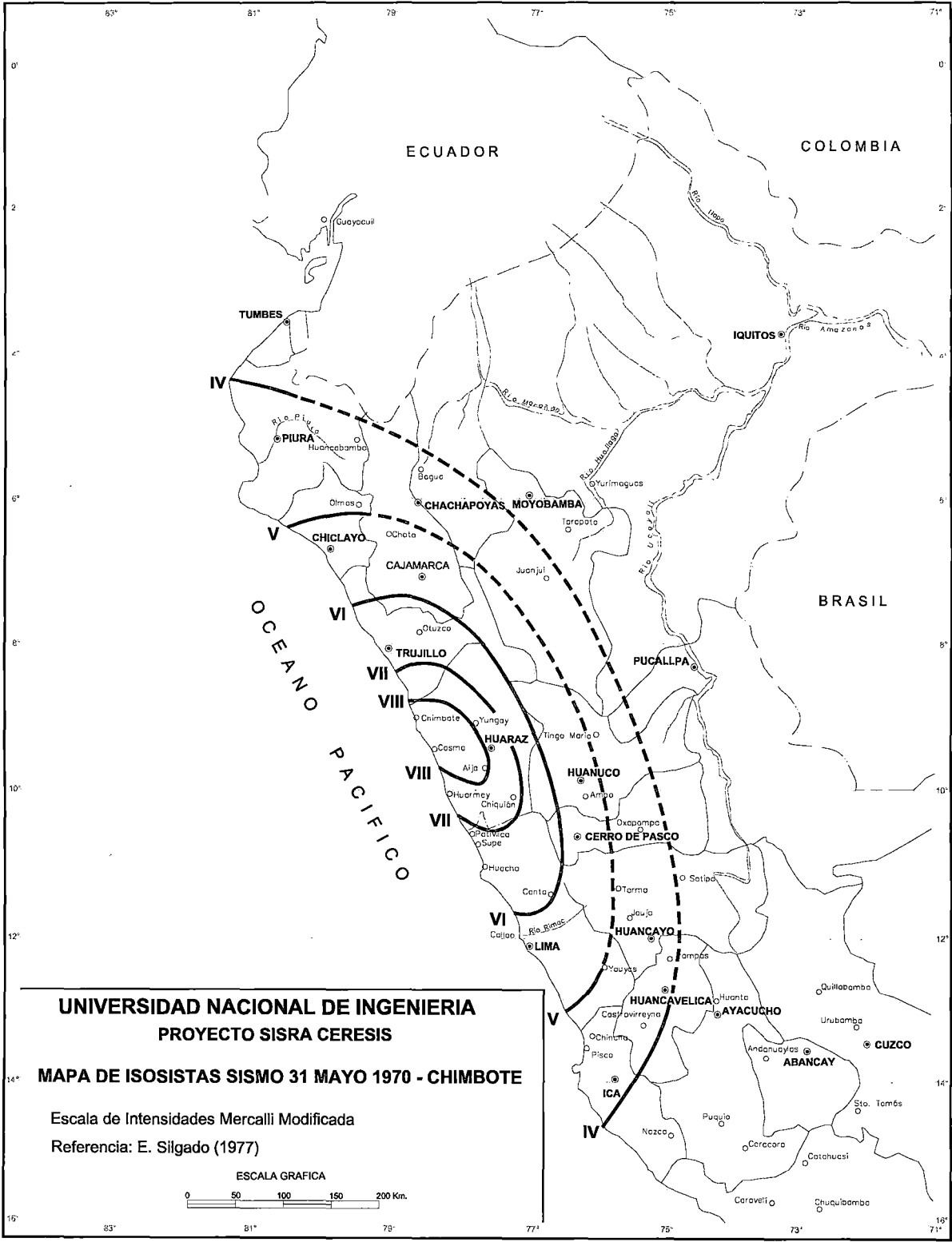


Figura 3.2: Sismo del 31 de Mayo de 1970 a las 15:23 horas: Fue uno de los sismos más catastróficos ocurridos en el Perú.

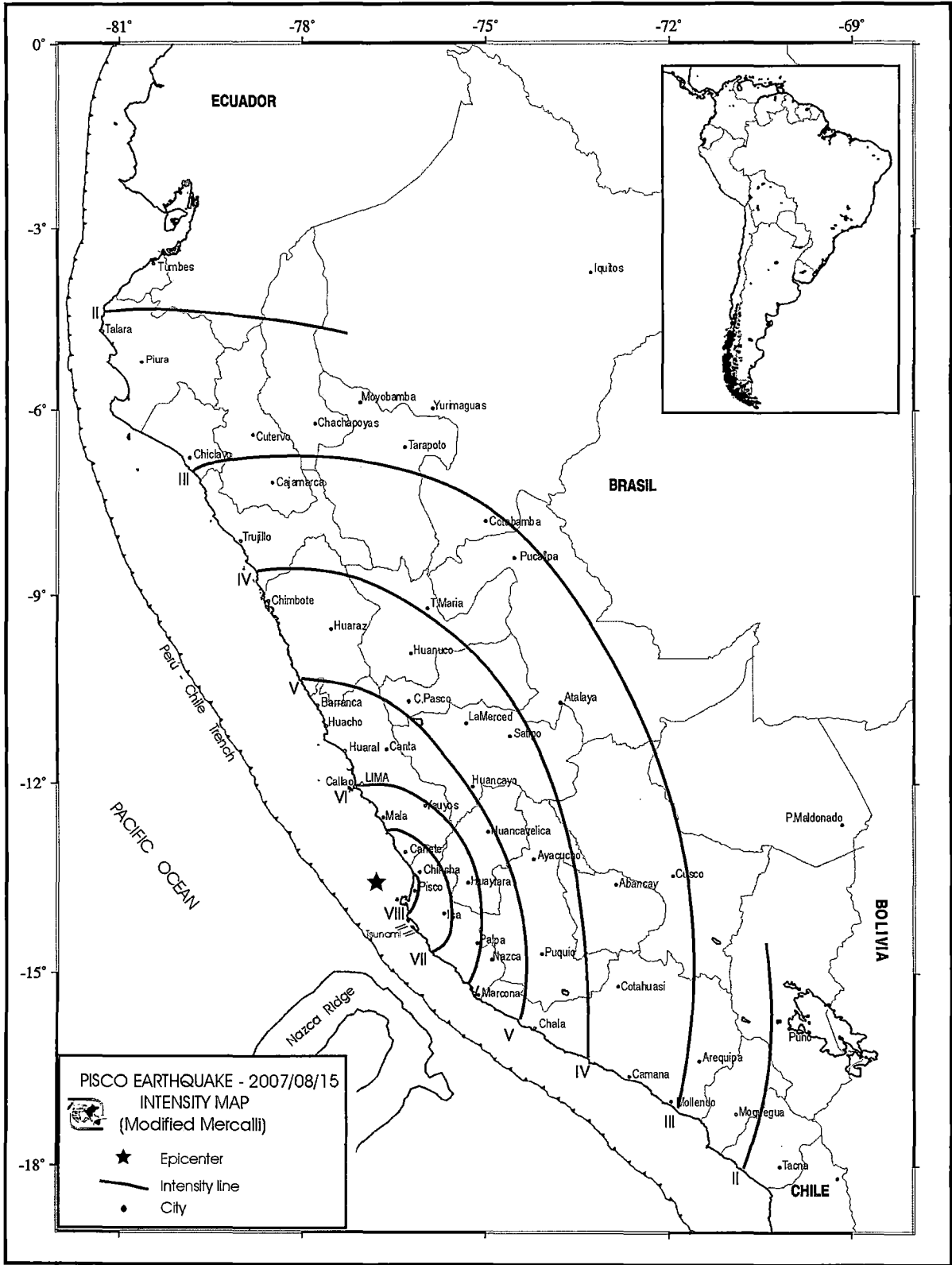


Figura 3.3: Sismo del 15 de Agosto de 2007 a las 18:50 horas: Con origen en la zona de convergencia de las placas, el cual fue denominado como “El sismo de Pisco”.

Se concluye que, de acuerdo a la historia sísmica del área de estudio, en los últimos 400 años han ocurrido sismos con intensidades de hasta IX en la Escala de Mercalli Modificada (MMI).

3.1.2. Sismicidad Instrumental en el Área de Estudio

La calidad de la información sísmica instrumental en el Perú mejora ostensiblemente a partir del año 1963 con la instalación de la red sismográfica mundial. En consecuencia, la información consignada en los catálogos sísmicos se agrupa en los siguientes tres períodos de obtención de datos sismológicos:

- Antes de 1900: datos históricos descriptivos de sismos destructores.
- 1900 - 1963: datos instrumentales aproximados.
- 1963 - Actualidad: datos instrumentales precisos.

La información sismológica utilizada en la presente investigación ha sido obtenida del Catálogo Sísmico revisado y actualizado por el Instituto Geofísico del Perú (IGP), el cual es una versión revisada del Catálogo Sísmico del Proyecto SISRA - 1982 (Sismicidad de la Región Andina) para el periodo 1471 - 1982, y elaborado por el IGP para el periodo 1982 - 2001. Esta información ha sido complementada hasta setiembre del 2009 utilizando la información del Catálogo Sísmico del National Earthquake Information Center (NEIC) y del Instituto Geofísico del Perú (IGP) para lo cual se ha uniformizado las magnitudes utilizadas. Para la elaboración de este catálogo se consideraron los registros cuya magnitud m_b es mayor ó igual a 4.0, ya que a partir de este valor los sismos adquieren importancia ingenieril.

3.2. Análisis de Peligro Sísmico Probabilístico

Los primeros métodos de análisis del peligro sísmico fueron deterministas, es decir, se basaron en el registro histórico de los terremotos de mayor intensidad, sin embargo luego fueron cuestionados y reemplazados por los métodos probabilistas, basados en los periodos de recurrencia³. En la actualidad representan la mejor opción para realizar el Análisis de Peligro Sísmico en una región determinada.

El análisis de peligro sísmico probabilístico consiste en la evaluación de la probabilidad que en un lugar determinado ocurra un movimiento sísmico de una intensidad igual o mayor que un cierto valor fijado. En general, se hace extensivo el término intensidad a cualquier otra característica de un sismo, tal como su magnitud, la aceleración máxima, el valor espectral de la velocidad, el valor espectral del desplazamiento del suelo, el valor medio de la intensidad Mercalli Modificada u otro parámetro de interés para el diseño ingenieril.

Cornell [7] propuso una metodología para realizar el análisis de peligro sísmico probabilísticamente. Esta metodología fue sistematizada por Mc Guire [20] en su programa de cómputo RISK, el cual es ampliamente usado en la actualidad, convirtiéndose en una herramienta básica para este análisis, dado que únicamente determina los niveles de demanda sísmica para la aceleración máxima en la base del terreno.

3.2.1. Fundamentos del Análisis del Estudio de Peligro Sísmico

La predicción de eventos futuros puede ser realizada por medio de modelos estadísticos, en base a datos pasados. Dentro de la metodología para el cálculo del peligro sísmico se considera que los eventos sísmicos presentan una distribución de Poisson, es decir se caracteriza por suponer que existe independencia entre los tiempos de ocurrencia, ya que

³González de Vallejo [14]. Realiza una descripción de los métodos de peligro sísmico.

cada uno de los sismos se considera como un evento independiente y aislado de los eventos pasados.

El modelo de Poisson⁴, por otro lado, no siempre está de acuerdo con los datos experimentales para magnitudes sísmicas pequeñas, porque ignora la tendencia de los sismos a agruparse en tiempo y espacio. Sin embargo, este ha dado buenos resultados en diversas situaciones. A su vez asume que los eventos sísmicos son espacial y temporalmente independientes y que la probabilidad de que dos eventos sísmicos ocurran en el mismo sitio y en el mismo instante es cero. Estas suposiciones, por lo general, no se ajustan a la ocurrencia de eventos de baja magnitud, sin embargo representan adecuadamente la ocurrencia de los movimientos grandes, que son los de mayor interés para fines ingenieriles.

El tiempo entre los eventos en un modelo de Poisson se presenta de manera exponencial. Para caracterizar la distribución espacial de la recurrencia de un terremoto en el análisis de peligro sísmico probabilístico, la ley de Poisson es usualmente expresada como:

$$P_n(t) = \frac{e^{-\lambda t} (\lambda t)^n}{n!} \quad (3.1)$$

Donde:

$P_n(t)$ = probabilidad de que hayan eventos en un periodo de tiempo t .

n = número de eventos.

λ = razón de ocurrencia por unidad de tiempo.

El método probabilístico desarrollado por Cornell (1968) es el que ha tenido una mayor aceptación entre los distintos métodos propuestos.

La ocurrencia de un evento sísmico es de carácter aleatorio y la Teoría de las Probabilidades es aplicable en el análisis de la posibilidad de su ocurrencia. Aplicando esta teoría

⁴Lawrence Kramer [18]. Presenta el modelo de Poisson para la determinación del peligro sísmico probabilístico.

se puede demostrar que si la ocurrencia de un evento A depende de la ocurrencia de otros eventos: $E_1, E_2, \dots, E_n$, mutuamente excluyentes y colectivamente exhaustivos; entonces, de acuerdo al teorema de la probabilidad total, la probabilidad de ocurrencia de A está dada por la siguiente expresión:

$$P(A) = \sum_i^n P(A/E_i) \cdot P(E_i) \quad (3.2)$$

Donde:

$P(A/E_i)$ = probabilidad condicional que A ocurra, dado que E_i ocurra.

La intensidad generalizada (I) de un sismo en el lugar fijado puede considerarse dependiente del tamaño del sismo (la magnitud o intensidad epicentral) y de la distancia al lugar de interés. Si el tamaño del sismo (S) y su localización (R) son considerados como variables aleatorias continuas y definidas por sus funciones de densidad de probabilidad, $f_S(s)$ y $f_R(r)$ respectivamente, entonces el peligro sísmico definido por la probabilidad que la intensidad I sea igual o mayor que una intensidad dada, será $P(I \geq i)$.

$$P(I \geq i) = \int \int P[I/(s, r)] f_S(s) f_R(r) ds dr \quad (3.3)$$

Esta es la expresión que resume la teoría desarrollada por Cornell en 1968, para analizar el peligro sísmico. La evaluación de esta integral es efectuada por el programa de cómputo CRISIS 2007 desarrollado por Ordaz [22] en el cálculo del peligro sísmico.

El análisis de peligro sísmico probabilístico puede ser descrito como un procedimiento de cuatro pasos [18].

Paso 1. Identificación y caracterización de las fuentes sismogénicas.

En el sitio de interés se identifica las fuentes capaces de producir movimientos significativos del suelo. La caracterización de la fuente incluye la definición de cada geometría (la zona de origen) y la intensidad del terremoto. La distribución de la probabilidad del potencial de ruptura localizado dentro de la fuente debería también ser caracterizado. En muchos casos las distribuciones de probabilidad uniforme son asignados a cada zona de origen. Luego estas distribuciones son combinadas con la geometría de la fuente para obtener la correspondiente distribución de probabilidad de la distancia fuente-sitio.

Paso 2. Caracterización de la sismicidad o distribución temporal de los sismos.

La sismicidad o la distribución temporal de la recurrencia del terremoto deberían ser caracterizados. Una relación de recurrencia, que especifica el radio promedio en que un terremoto de alguna intensidad debería ser excedido, se utiliza para caracterizar la sismicidad de cada zona de origen. La relación de recurrencia puede adaptar la intensidad máxima del terremoto, pero esta consideración no limita a la intensidad.

Paso 3. Determinación del movimiento sísmico.

El movimiento del suelo producido en el sitio de interés, es causado por los terremotos de alguna posible intensidad, los cuales ocurren en algún punto de cada zona de origen, por lo tanto estos deberían ser determinados con el uso de relaciones predictivas. La incertidumbre propia en la relación predictiva es considerada también en el análisis de peligro sísmico probabilístico.

Paso 4. Probabilidad de excedencia del nivel de movimiento sísmico determinado en un periodo de tiempo dado.

Las incertidumbres en la localización de un terremoto, su intensidad, y la predicción del parámetro del movimiento del suelo, son combinados para obtener la probabilidad que el

parámetro del movimiento del suelo, podría ser excedido durante un periodo particular de tiempo.

El apropiado *performance* del análisis de peligro sísmico probabilístico, requiere una cuidadosa atención a los problemas de caracterización de la fuente y la predicción de los parámetros del movimiento del suelo, así como a los mecanismos de la probabilidad computacional.

La Figura 3.4 muestra los pasos a seguir en el Análisis de Peligro Sísmico Probabilístico.

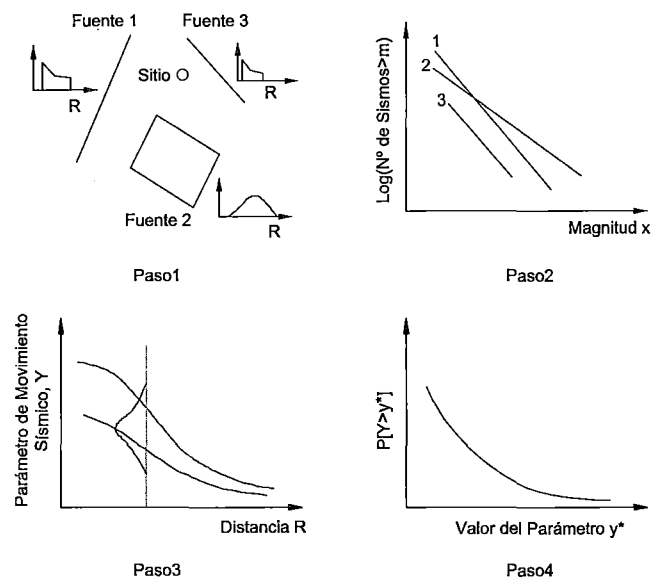


Figura 3.4: Método Probabilístico para el Análisis de Peligro Sísmico.

3.2.2. Evaluación y Caracterización de las Fuentes Sismogénicas

Una fuente sismogénica es una representación lineal, de área o volumen espacio-temporal de la corteza terrestre que presenta características geológicas y sísmicas similares. Así, las fuentes sismogénicas cumplen un papel fundamental en la evaluación del peligro sísmico de una región determinada, de modo que los resultados finales evidentemente dependen de una adecuada delimitación (Gamarra [13]).

En el Perú la distribución de los sismos en función a la profundidad de sus focos, ha permitido configurar la geometría del proceso de subducción de la placa oceánica bajo la continental. Una característica importante de esta geometría es que cambia su forma al pasar de una subducción de tipo horizontal (región norte y centro) a una de tipo normal (región sur) a la altura de la latitud 14°S. Este cambio en el modo de la subducción es debido a que la placa oceánica soporta una contorsión.

Las fuentes sismogénicas fueron definidas analizando la configuración tectónica y el mapa de distribución de epicentros de la zona de estudio. Debido a esto las fuentes sismogénicas consideradas fueron las de subducción y continentales. Las fuentes de subducción (Figura 3.5) modelan la interacción entre las placas Sudamericana y de Nazca, mientras las fuentes continentales (Figura 3.6) están asociadas a deformaciones corticales y relacionadas con la actividad sísmica superficial andina.

En la presente investigación se han utilizado nueve fuentes sismogénicas de subducción, en las cuales se han diferenciado los mecanismos de interfase (F3, F4 y F5) los cuales están ubicados a lo largo de la costa y representan la sismicidad superficial en la zona de Benioff (0-70 km), los de intraplaca superficial (F8, F9 y F10) considerados entre 70 km a 125 km, finalmente las intermedias (F12, F13 y F14) hasta los 300km. Así mismo se han utilizado seis fuentes sísmicas continentales (F15, F16, F17, F18, F19 y F20). Las coordenadas geográficas se indican en los Cuadros N° 3.1 y 3.2.

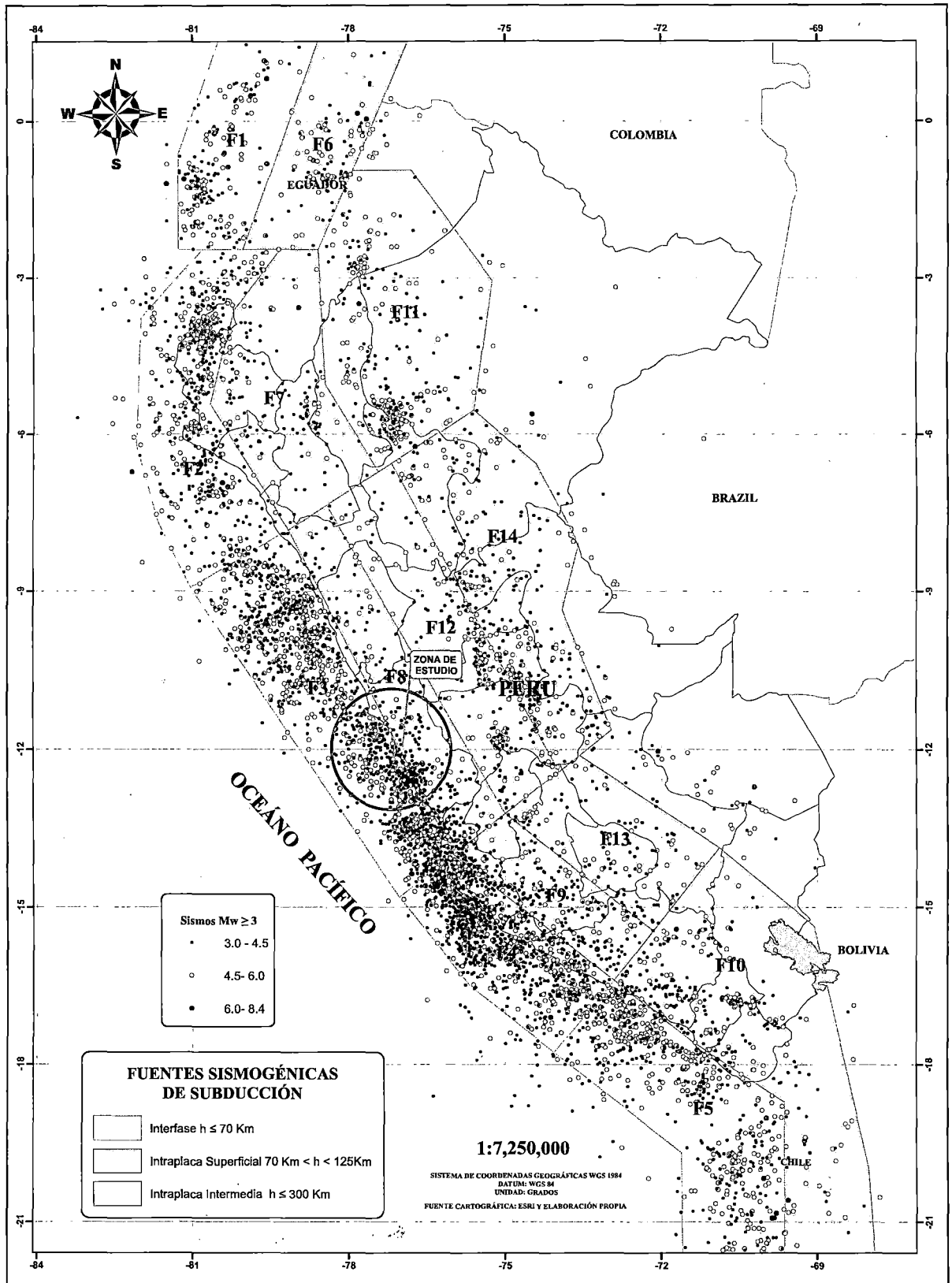


Figura 3.5: Mapa de distribución de epicentros y fuentes de subducción (CISMID, 2014).

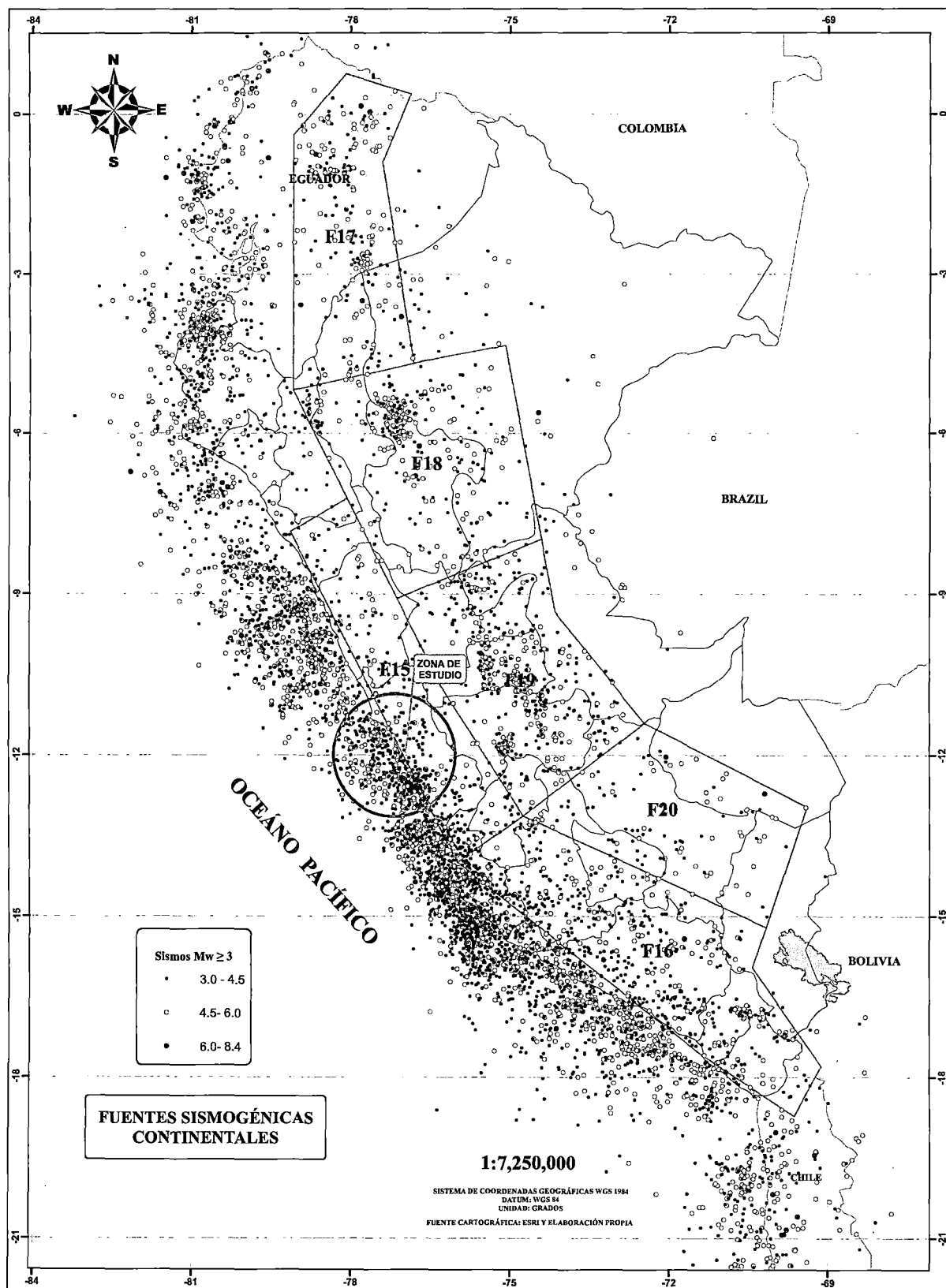


Figura 3.6: Mapa de distribución de epicentros y fuentes continentales (CISMID, 2014).

Cuadro 3.1: Coordenadas geográficas de las Fuentes de Subducción.

FUENTE	MECANISMO FOCAL	COORDENADAS GEOGRÁFICAS		
		Longitud (°W)	Latitud (°S)	Profundidad (km)
Fuente F3	Interfase	-81.050	-8.931	30
		-77.028	-14.811	60
		-75.998	-13.999	30
		-79.156	-7.834	75
Fuente F4	Interfase	-77.028	-14.811	30
		-75.684	-16.501	30
		-74.063	-17.768	30
		-72.914	-16.397	75
		-75.998	-13.999	75
Fuente F5	Interfase	-74.063	-17.768	30
		-72.914	-16.397	60
		-71.427	-17.553	60
		-69.641	-18.721	70
		-69.627	-22.000	70
		-71.586	-22.000	30
		-71.617	-19.680	30
Fuente F8	Intraplaca superficial	-79.156	-7.834	80
		-75.998	-13.999	90
		-74.996	-13.218	115
		-78.427	-7.363	100
Fuente F9	Intraplaca superficial	-75.998	-13.999	80
		-72.914	-16.397	95
		-72.160	-15.453	130
		-74.996	-13.218	110
Fuente F10	Intraplaca superficial	-72.914	-16.397	95
		-70.892	-13.863	245
		-69.055	-15.365	275
		-68.013	-19.959	200
		-67.868	-22.000	165
		-69.627	-22.000	100
		-69.641	-18.721	100
		-71.427	-17.553	110
Fuente F12	Intraplaca intermedia	-78.427	-7.366	100
		-74.996	-13.218	115
		-73.973	-12.421	135
		-77.177	-6.557	140
Fuente F13	Intraplaca intermedia	-74.996	-13.218	110
		-72.160	-15.453	130
		-70.892	-13.863	130
		-73.577	-12.112	110
Fuente F14	Intraplaca intermedia	-77.177	-6.557	145
		-75.600	-5.539	145
		-74.400	-6.567	155
		-73.589	-8.086	195
		-73.914	-9.347	170
		-72.963	-11.633	145
		-73.973	-12.421	140

Cuadro 3.2: Coordenadas geográficas de las Fuentes Continentales.

FUENTE	MECANISMO FOCAL	COORDENADAS GEOGRÁFICAS		
		Longitud (°W)	Latitud (°S)	Profundidad (km)
Fuente F15	Cortical	-79.156	-7.834	25
		-78.084	-7.213	40
		-76.340	-10.670	40
		-74.760	-13.130	40
		-75.998	-13.999	25
Fuente F16	Cortical	-75.998	-13.999	25
		-74.760	-13.130	50
		-70.176	-15.201	50
		-70.434	-15.947	50
		-69.134	-17.789	50
		-69.641	-18.721	25
Fuente F17	Cortical	-71.427	-17.553	25
		-78.100	0.748	25
		-76.872	0.373	40
		-77.410	-0.867	60
		-76.826	-4.705	60
		-79.100	-5.200	25
Fuente F18	Cortical	-79.085	-0.370	25
		-79.100	-5.200	35
		-75.100	-4.330	35
		-74.422	-7.976	50
Fuente F19	Cortical	-77.143	-9.079	50
		-77.143	-9.079	35
		-74.422	-7.976	35
		-74.170	-9.330	35
		-72.480	-11.400	40
		-74.760	-13.130	40
Fuente F20	Cortical	-76.340	-10.670	35
		-74.760	-13.130	40
		-72.480	-11.400	40
		-69.400	-12.966	40
		-70.176	-15.201	40

3.2.3. Estimación de Parámetros de Sismicidad Local

Para determinar los parámetros de sismicidad local se ha utilizado el catálogo sísmico para el Perú, que fue compilado utilizando los catálogos del Instituto Geofísico del Perú (IGP) y del National Earthquake Information Center (NEIC) para el periodo de 1963-2009 y considerando las magnitudes $M_w \geq 3.0$. El catálogo sísmico fue analizado gráfica y

estadísticamente considerando el tiempo, la profundidad y la magnitud de los eventos sísmicos registrados en el área de estudio.

1. Homogenización de magnitudes.

Debido a la gran importancia de tener un parámetro uniforme y homogéneo para comparar el tamaño de los sismos en la evaluación del peligro sísmico, el catálogo compilado fue examinado minuciosamente, homogenizando las magnitudes a Magnitud de Momento (M_w) y eliminando los eventos registrados con magnitud cero o sin magnitud.

Para convertir magnitudes de diferentes escalas a M_w , se utilizaron las siguientes relaciones:

- Para eventos reportados con magnitudes m_b (ondas de cuerpo), M_s es calculado usando las expresiones dadas por el GSHAP (Global Seismic Hazard Assessment Program).

$$M_S = 1.644m_b - 3.753m_b < 5.9 \quad (3.4)$$

$$M_S = 2.763m_b - 10.301m_b \geq 5.9 \quad (3.5)$$

- Para eventos reportados y obtenidos con magnitudes M_s (ondas superficiales), M_w es calculado usando las expresiones dadas por el ISC (International Seismological Center).

$$M_w = 0.67 (\pm 0.005) M_S + 2.07 (\pm 0.03) \quad 3.0 \leq M_S \leq 6.1 \quad (3.6)$$

$$M_w = 0.99 (\pm 0.02) M_S + 0.08 (\pm 0.13) \quad 6.2 \leq M_S \leq 8.2 \quad (3.7)$$

2. Depuración del catálogo sísmico.

Definidas las fuentes sismogénicas, se dividió el catálogo sísmico en función a estas, determinándose así los eventos delimitados en cada fuente. Dado que los requerimientos de una distribución de Poisson se consideran como representativas de la distribución del tiempo de ocurrencia de sismos, se procedió a eliminar los eventos catalogados como réplicas. Para ello se empleó el algoritmo desarrollado en el proyecto PILOTO⁵ “Seismic hazard assessment in the Northern Andes”, el cual fue ejecutado por el “Global Seismic Hazard Assessment Program” (GSHAP) y patrocinado por la Unión Europea para realizar una evaluación del Peligro Sísmico de la región Andina. Este algoritmo está basado en la relación de Maeda (1996), la cual establece el criterio espacial y temporal para eliminar las réplicas del catálogo sísmico original.

$$L \leq 10^{(0.5M_m - 1.8)} \quad \text{En cuanto a la distancia} \quad (3.8)$$

$$t \leq 10^{(0.17 + 0.85(M_m - 4.0))/1.3} - 0.3 \quad \text{En cuanto al tiempo} \quad (3.9)$$

$$M_a < M_m - 1.0 \quad \text{En cuanto a la magnitud} \quad (3.10)$$

Donde:

L = distancia epicentral respecto al evento principal.

t = tiempo en días respecto a la ocurrencia del evento principal.

M_m = magnitud de un evento principal.

M_a = magnitud de una réplica.

⁵Cristina Dimaté et al. [9]. Evaluación del Peligro Sísmico en los Andes del Norte.

3. Parámetros Sismológicos

El proceso auto-similar de la distribución de los sismos queda definido en la relación de Gutenberg-Richter [15]. Esta relación representa un escalamiento de eventos con respecto a sus magnitudes, es decir se usa este método para determinar la sismicidad de cada zona. La ecuación Gutenberg-Richter esta representada por:

$$\log N = a - bM \quad (3.11)$$

Donde:

N = Número de eventos acumulados en una región para una ventana de tiempo específica con magnitudes iguales o mayores a M .

a, b = Parámetros que dependen de la sismicidad de la zona.

La expresión anterior se puede escribir como:

$$N = 10^a e^{-\beta M}$$

Donde:

$$\beta = b \ln 10$$

Determinación de las constantes a y b .⁶

La constante a es una medida del nivel de sismicidad o productividad sísmica de la región, matemáticamente expresa el logaritmo del número de sismos con magnitudes mayores que $M = 0$, es decir, el total esperado de eventos en la región si se extrapola la relación hasta las magnitudes más pequeñas.

La constante b indica la proporción de sismos de mayor y menor intensidad, el valor de b varía entre 0.5 y 1.5; así un valor pequeño de b indica un alto número de sismos

⁶Ernesto López. [19]. Obtención de la constante a y b .

de mayor intensidad respecto a los de menor. Comúnmente se observa que los valores grandes de b están relacionados con fuentes sismogénicas de intraplacas, mientras que las interplacas generalmente muestran valores de b menores que uno. Matemáticamente el valor de b representa la pendiente de la distribución de los sismos en escala logarítmica de la distribución Gutenberg-Richter (se puede considerar como el exponente de escalamiento en la ley de potencias), la cual se ha demostrado que tiene una relación directa con el esfuerzo promedio para una región en particular, o puede también verse como una forma de cuantificar el tamaño promedio de las rupturas. El valor de b generalmente es cercano a 1 y los valores de $b > 1$ se relacionan con una concentración de esfuerzos menores y viceversa.

En la Figura 3.7, se observa gráficamente la relación Gutenberg-Richter con un valor $b = 1$. Teóricamente la distribución de los sismos debería verse de esta forma; es decir una relación logarítmica lineal.

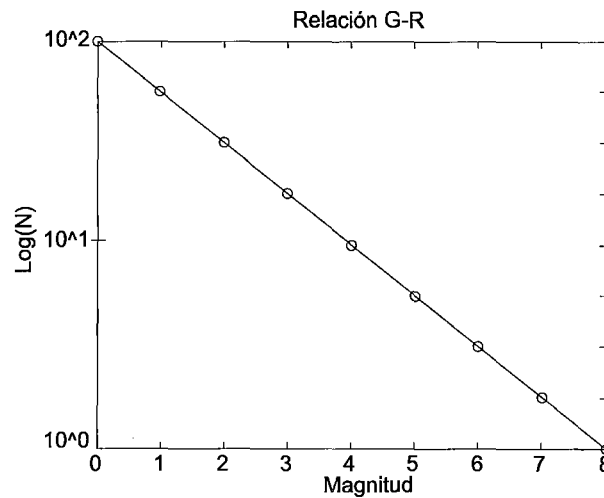


Figura 3.7: Relación Gutenberg-Richter ideal.

Pero debido a la falta de datos de sismos pequeños (por ausencia de redes) y por la poca ocurrencia de sismos grandes, la distribución de los sismos pequeños tiende a converger en un punto determinado y los grandes a desestabilizar la parte lineal. Esto es presentado en la Figura 3.8.

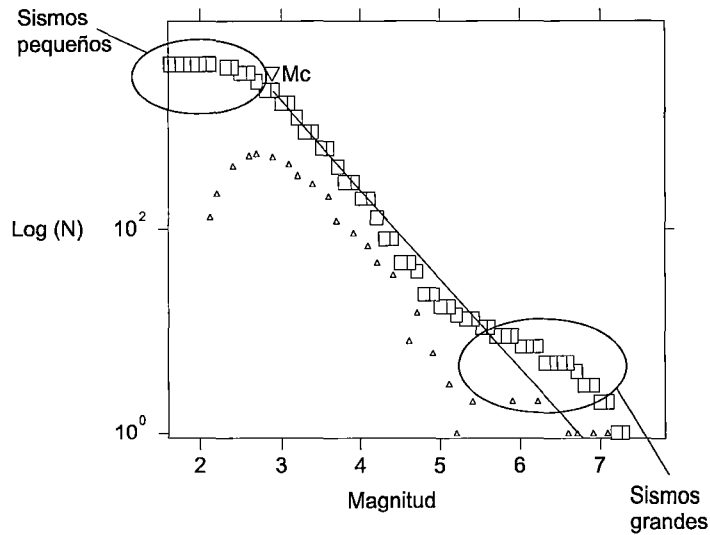


Figura 3.8: Relación Gutenberg-Richter como se presenta normalmente.

En la cual se observa un nuevo parámetro; éste es conocido como la magnitud mínima de completitud M_c debido a que es la magnitud a partir de la cual el catálogo se puede considerar completo (incluye todos los eventos ocurridos para esa magnitud y mayores) y a partir de ahí se corta éste para encontrar la parte lineal que satisfaga a la relación Gutenberg-Richter. Los sismos que se encuentran encerrados con círculos rojos en la parte inferior derecha y superior izquierda representan los sismos de magnitudes mayores y menores respectivamente, en los cuales se observa que estos eventos desestabilizan la parte lineal. Lo anterior se debe a que sismos de magnitudes grandes ocurren de forma menos frecuente que los de magnitudes pequeñas y éstos no alcanzan a ser detectados. Sin embargo, teóricamente considerando una ventana de tiempo grande y contando con una gran red de estaciones sismológicas capaces de detectar eventos pequeños, estos eventos deberían ajustarse de forma lineal.

Determinación de la tasa media anual (μ) y la magnitud de homogeneidad ($M_{\min}$).

La tasa μ es la tasa media anual de ocurrencia de eventos mayores o iguales que la magnitud mínima de homogeneidad. Para determinar la tasa μ se utiliza una variación del diagrama de Gutenberg y Richter, que consiste en dibujar un número acumulativo de eventos mayores a una determinada magnitud versus el tiempo. De estos gráficos se puede determinar la magnitud mínima de homogeneidad ($M_{\min}$) y la tasa μ . La magnitud mínima de homogeneidad corresponderá al gráfico cuyo diagrama acumulativo versus tiempo muestre un comportamiento lineal y monotónicamente creciente, mostrando que a partir de esa magnitud el catálogo es homogéneo y completo. La tasa μ es la pendiente de la curva acumulativa de eventos mayores o iguales a ($M_{\min}$) versus el tiempo.

Determinación de la magnitud máxima ($M_{\max}$).

$M_{\max}$ es la magnitud máxima probable que puede ser liberada como energía sísmica. Para determinar esta magnitud se utiliza el criterio de que el más grande evento que ha ocurrido en la fuente, es el máximo sismo que se espera en el futuro.

En el Cuadro N° 3.3 se presentan los parámetros de sismicidad local de las fuentes sísmogénicas determinados mediante la estadística de mínimos cuadrados.

Cuadro 3.3: Parámetros de sismicidad local utilizados.

FUENTE	Mw			
	Mmin	Mmax	BETA	TASA
F3	4.8	8.4	1.273	6.980
F4	4.8	8.4	1.616	5.340
F5	4.8	8.1	2.012	6.590
F8	4.5	7.1	1.837	3.060
F9	4.8	8.3	1.732	2.550
F10	4.9	8.3	2.022	1.121
F12	4.6	7.1	1.911	1.680
F13	4.6	7.5	2.079	2.150
F14	4.8	8.3	1.810	4.650
F15	4.4	6.3	2.385	0.782
F16	4.8	6.9	2.977	1.890
F17	4.6	7.5	1.842	1.970
F18	4.6	7.4	1.881	2.220
F19	4.8	7.2	2.450	2.589
F20	4.3	6.9	2.010	1.409

3.2.4. Leyes de Atenuación de las Ondas Sísmicas

Una vez determinada la tasa de actividad de cada una de las fuentes sísmicas, es necesario evaluar los efectos que, en términos de intensidad sísmica, produce cada una de ellas en un sitio de interés. Para ello se requiere saber que intensidad se presentará en el lugar de interés, si en la i -ésima fuente ocurriera un temblor con magnitud dada.

Las leyes de atenuación relacionan el parámetro característico del movimiento en un punto con el representativo de la energía liberada en el foco, junto con la distancia epicentral co-

mo término indicativo de la influencia de la trayectoria. El movimiento del suelo registrado en un punto es el resultado de la combinación de tres factores:

- Proceso de ruptura en la fuente.
- Propagación de las ondas a través del medio.
- Efecto del suelo en el emplazamiento, el cual depende fundamentalmente, de las características geométricas del frente de ondas y de las propiedades físicas del terreno a través del cual se propaga.

Por otra parte, la energía es disipada en su recorrido, produciéndose una atenuación de la amplitud con la distancia, debido básicamente a tres factores:

- Expansión geométrica del frente de ondas, que depende fundamentalmente de la profundidad del foco y de la distancia epicentral, el cual determina las características del frente de ondas.
- Absorción inelástica del medio que separa la fuente del lugar de registro.
- Dispersión y difusión de las ondas por pequeñas heterogeneidades del terreno.

En ocasiones varía drásticamente, en función de la naturaleza, propiedades mecánicas y topografía del sitio; este fenómeno es conocido como efecto de sitio, el cual es difícil de incorporar en las leyes de atenuación regionales dada su complejidad, pero es necesario tenerlo presente en la determinación del riesgo sísmico de una región.

Conviene señalar que el efecto de la trayectoria no influye solamente en la amplitud y composición espectral del movimiento, sino también en la duración del mismo. La multitud de caminos que recorren las ondas a través de una litosfera heterogénea puede contribuir a un aumento de la duración del movimiento registrado en un punto, respecto al generado

en la fuente. Este hecho puede tener una importante repercusión en los efectos del terreno, ya que la duración es un factor determinante en el daño causado a las estructuras.

Las leyes de atenuación son fórmulas empíricas que se adaptan a una región en estudio y se obtienen mediante análisis de regresión a partir de datos macrosísmicos o instrumentales existentes en la zona de estudio.

Para la presente investigación se utilizó los modelos de atenuación para ordenadas espectrales propuesta por Youngs (1997) [33] y el CISMID (2006) [5], que diferencian los mecanismos focales para sismos de subducción de interfase e intraplaca en la estimación de la máxima aceleración del suelo.

Ley de Atenuación propuesta por Youngs et al (1997).

Youngs et al. (1997) han desarrollado unas relaciones de atenuación para dos tipos de sismos que ocurren en la zona de subducción (sismos de interfase y sismos de intraplaca), los cuales han sido obtenidos por medio de un análisis de regresión utilizando una base de datos de 174 sismos que han ocurrido en diversas partes del mundo, tales como Alaska, Chile, Cascadia, Japón, México, Perú y las islas Salomón, para distancias entre 10 y 500 km y teniendo en cuenta las características del sitio. Estas se dividieron en tres grupos:

- Roca, considera eventos con velocidad de ondas de corte cercanos a los 750 m/s.
- Suelo profundo, aquellos con distancias a la roca mayores a 20 m y con velocidades de corte entre 180 y 360 m/s.
- Suelo duro poco profundo, aquellos donde la profundidad del suelo es menor a 20 m.

Se utilizó la magnitud de momento sísmico M_w para la medida del evento, así como se consideró un amortiguamiento del 5 %. La localización epicentral, profundidad, magnitud

y mecanismo focal fueron obtenidos de publicaciones especiales del Harvard Centroid Moment Tensor Solutions.

En esta investigación se ha utilizado las relaciones de atenuación para ordenadas espectrales propuesta por Youngs para roca y suelo.

1. **La relación de atenuación para ordenadas espectrales propuesta por Youngs en roca es:**

$$\ln(Sa) = 0.2418 + 1.414M + C_1 + C_2(10 - M)^3 + C_3 \ln(r_{rup} + 1.7818e^{0.554M}) + 0.00607H + 0.3846Zt \quad (3.12)$$

$$\ln(Sa) = C_4 + C_5M \quad \text{Desviación estándar} \quad (3.13)$$

Donde:

Sa = aceleración espectral expresada en g .

M = magnitud de momento sísmico M_w .

r_{rup} = distancia más cercana al área de ruptura en km .

H = profundidad focal en km .

$Zt = 0$ para sismos de interfase y 1 para sismos de intraplaca.

En el Cuadro N° 3.4 se presenta los coeficientes de la ley de atenuación de aceleración espectral en roca propuesta por Youngs.

Cuadro 3.4: Coeficientes de atenuación de aceleraciones espectrales en roca propuestos por Youngs.

Periodo (s)	C1	C2	C3	C4	C5
0.000	0.000	0.0000	-2.552	1.45	-0.1
0.075	1.275	0.0000	-2.707	1.45	-0.1
0.100	1.188	-0.0011	-2.655	1.45	-0.1
0.200	0.722	-0.0027	-2.528	1.45	-0.1
0.300	0.246	-0.0036	-2.454	1.45	-0.1
0.400	-0.115	-0.0043	-2.401	1.45	-0.1
0.500	-0.400	-0.0048	-2.360	1.45	-0.1
0.750	-1.149	-0.0057	-2.286	1.45	-0.1
1.000	-1.736	-0.0064	-2.234	1.45	-0.1
1.500	-2.634	-0.0073	-2.160	1.50	-0.1
2.000	-3.328	-0.0080	-2.107	1.55	-0.1
3.000	-4.511	-0.0089	-2.033	1.65	-0.1

2. La relación de atenuación para ordenadas espectrales propuesta por Youngs en suelo es:

$$Ln(Sa) = -0.6687 + 1.438M + C_1 + C_2(10 - M)^3 + C_3Ln(R + 1.097e^{0.617M}) + 0.00648H + 0.3643Zt \quad (3.14)$$

$$Ln(Sa) = C_4 + C_5M \quad \text{Desviación estándar} \quad (3.15)$$

Donde:

Sa = aceleración espectral expresada en g .

M = magnitud de momento sísmico M_w .

R = distancia hipocentral o distancia más cercana al área de ruptura en km .

H = profundidad focal en km .

$Z_t = 0$ para sismos de interfase y 1 para sismos de intraplaca.

Para valores de magnitud mayores a 8 tomar el valor de 8 para el cálculo de la desviación estándar. En el Cuadro N° 3.5 se presenta los coeficientes de la ley de atenuación de aceleración espectral en suelo propuesta por Youngs.

Cuadro 3.5: Coeficientes de atenuación de aceleraciones espectrales en suelo propuestos por Youngs.

Periodo (s)	C1	C2	C3	C4	C5
0.000	0.000	0.0000	-2.329	1.45	-0.1
0.075	2.400	-0.0019	-2.697	1.45	-0.1
0.100	2.516	-0.0019	-2.697	1.45	-0.1
0.200	1.549	-0.0019	-2.464	1.45	-0.1
0.300	0.793	-0.0020	-2.327	1.45	-0.1
0.400	0.144	-0.0020	-2.230	1.45	-0.1
0.500	-0.438	-0.0035	-2.140	1.45	-0.1
0.750	-1.704	-0.0048	-1.952	1.45	-0.1
1.000	-2.870	-0.0066	-1.785	1.45	-0.1
1.500	-5.101	-0.0114	-1.470	1.50	-0.1
2.000	-6.433	-0.0164	-1.290	1.55	-0.1
3.000	-6.672	-0.0221	-1.347	1.65	-0.1
4.000	-7.618	-0.0235	-1.272	1.65	-0.1

Ley de Atenuación propuesta por el CISMID (2006).

Para la presente investigación se consideró la ley de atenuación para ordenadas espectrales determinada por Chávez [5].

Las leyes de atenuación para aceleraciones espectrales en el Perú, fueron calculadas utilizando técnicas de regresión lineal bayesiana, obteniéndose de esta manera valores esperados posteriores de coeficientes de acuerdo al funcional propuesto Joyner y Boore [17], considerando en esta regresión datos de ambas componentes horizontales y de la media geométrica de registros de movimientos fuertes del suelo obtenidos de la Red Acelerográfica del CISMID, dada que es la única de libre y fácil acceso. Esta metodología se repitió para

diferentes magnitudes, distancias y periodos de vibración estructural considerando como modelo un sistema de un grado de libertad.

Las relaciones de atenuación para aceleraciones espectrales obtenidas en esta investigación, fueron comparadas con las leyes de atenuación propuestas por Youngs. Determinándose que los resultados obtenidos con la ley de atenuación del CISMID, son estadísticamente aceptables, con valores de desviación estándar promedio de 0.70 para sismos de interfase y de 0.65 para sismos de intraplaca.

Los registros de movimientos de alta intensidad, mediante los cuales se han estimado los coeficientes de atenuación en función a cada periodo de vibración de un sistema de un grado de libertad, han sido obtenidas de estaciones acelerográficas ubicadas en suelos con características similares (Suelo gravoso), estas se presentan en el Cuadro N° 3.6.

Cuadro 3.6: Ubicación de los acelerógrafos que componen la Red Acelerográfica del CISMID.

Estación	Ubicación	Latitud (°S)	Longitud (°W)	Condiciones locales del suelo
Jorge Alva Hurtado (CSM)	Universidad Nacional de Ingeniería (CISMID-UNI)	12.01327	77.05021	Grava gruesa densa a muy densa, poco profunda
UNSA (AQP1)	Campus de la Universidad Nacional San Agustín	16.40431	71.52429	Depósito Aluvial
VIZCARRA (MOQ1)	Centro Recreativo CTAR	17.18676	70.92876	Depósito Aluvial (Grava Gruesa)
CHEN CHEN (MOQ2)	Planta de tratamiento de aguas residuales, Chen Chen - Moquegua	17.1955	70.92139	Material gravoso con matriz arcillosa y limosa alternadamente
BASADRE (TAC1)	Campus Universidad Nacional de Tacna	18.00594	70.24939	Depósito potente de grava aluvial
GIESECKE (TAC2)	Campus de la Universidad Privada de Tacna	18.00594	70.22609	Depósito potente de grava aluvial

El funcional adoptado para el cálculo de la ley de atenuación espectral tiene la siguiente forma:

$$\ln Sa(T) = \alpha_1 + \alpha_2(Mw - 6) + \alpha_3(Mw - 6)^2 + \alpha_4 \ln R + \alpha_5 R \quad (3.16)$$

Donde:

$Sa(T)$ = aceleración espectral en cm/s^2 , para el periodo T .

T = periodo del sistema de un grado de libertad en s .

$\alpha_i(T)$ = coeficientes a ser calculados mediante la técnica de regresión lineal bayesiana.

Mw = magnitud de momento sísmico.

R = distancia hipocentral o distancia más cercana al área de ruptura en km .

En el Cuadro N° 3.7 se presenta los coeficientes de la ley de atenuación del CISMID para sismos de interfase propuesta por Chávez (2006).

Cuadro 3.7: Coeficientes de la relación de atenuación de aceleración espectral para sismos de interfase del modelo CISMID según Chávez (2006).

Periodo (s)	C1	C2	C3	C4	C5	σ
0.00	6.7814439	0.5578578	0.1044139	-0.5	-0.0117413	0.6652357
0.08	7.9924557	0.4463652	0.0507857	-0.5	-0.0164741	0.6998067
0.10	8.0084221	0.4805642	0.0359938	-0.5	-0.0157912	0.6998916
0.20	7.3705910	0.7008022	0.0318582	-0.5	-0.0100475	0.5778237
0.30	6.6510366	0.8136146	0.0812834	-0.5	-0.0051242	0.6282985
0.40	6.3332640	0.9515028	0.1081448	-0.5	-0.0060507	0.6181343
0.50	5.7184116	1.0381424	0.1022892	-0.5	-0.0033348	0.6623630
0.75	5.0955449	1.1692772	0.1235535	-0.5	-0.0031450	0.7162810
1.00	4.6797892	1.2132771	0.1052320	-0.5	-0.0036158	0.7654899
1.50	3.7226034	1.2477770	0.1322469	-0.5	-0.0017297	0.7564866
2.00	3.0191309	1.3198195	0.1414417	-0.5	-0.0001764	0.7566446
2.50	2.6097888	1.3464053	0.1790180	-0.5	-0.0009494	0.7412218
3.00	2.2922635	1.3162696	0.1852787	-0.5	-0.0015075	0.7376557
3.50	2.0767864	1.3048524	0.1948841	-0.5	-0.0021448	0.7459683
4.00	1.8752587	1.3016002	0.2056557	-0.5	-0.0023472	0.7560530

En el Cuadro N° 3.8 se presenta los coeficientes de la ley de atenuación del CISMID para sismos de intraplaca propuesta por Chávez (2006).

Cuadro 3.8: Coeficientes de la relación de atenuación de aceleración espectral para sismos de intraplaca del modelo CISMID según Chávez (2006).

Periodo (s)	C1	C2	C3	C4	C5	σ
0.00	6.1921002	1.1214874	0.1594004	-0.5	-0.0043844	0.6933273
0.08	7.1040537	1.1689245	0.0527213	-0.5	-0.0059014	0.6885282
0.10	7.0324502	1.2325458	0.0168901	-0.5	-0.0058402	0.6826997
0.20	6.9811181	1.2477798	0.0242939	-0.5	-0.0046835	0.6253275
0.30	6.7913004	1.1942854	0.0670082	-0.5	-0.0044904	0.6812146
0.40	6.5643803	1.4063429	0.0895646	-0.5	-0.0050487	0.6613443
0.50	6.0785283	1.4381454	0.0975832	-0.5	-0.0047614	0.6784771
0.75	5.4072501	1.5478531	0.1695561	-0.5	-0.0048802	0.7066909
1.00	4.7445851	1.4900455	0.1480031	-0.5	-0.0042746	0.6932188
1.50	4.1025437	1.5544918	0.1085313	-0.5	-0.0038625	0.6246540
2.00	3.8238004	1.7195826	0.1258326	-0.5	-0.0046946	0.6037691
2.50	3.4517735	1.7529711	0.1411512	-0.5	-0.0050478	0.6070460
3.00	3.1254443	1.7959596	0.1650987	-0.5	-0.0050698	0.6114162
3.50	2.6807833	1.7574442	0.2051032	-0.5	-0.0044484	0.6211927
4.00	2.4383069	1.7720738	0.2611782	-0.5	-0.0046478	0.6177970

3.3. Determinación del Peligro Sísmico

Una vez conocida la sismicidad de las fuentes y los patrones de atenuación de las ondas generadas en cada una de ellas, el peligro sísmico puede calcularse considerando la suma de los efectos de la totalidad de las fuentes sísmicas analizadas, la distancia entre cada fuente y el sitio donde se proyectaran las edificaciones futuras.

La Evaluación del Peligro Sísmico Probabilístico fue realizada utilizando la teoría propuesta por Cornell y empleando el programa de cómputo CRISIS 2007, desarrollado por Ordaz, que emplea métodos numéricos conocidos.

El peligro sísmico expresado en términos de las tasas de excedencia de intensidades (Sa), se calcula mediante la siguiente expresión (Esteve [12]):

$$v(Sa/R_0, p) = \sum_{n=1}^{n=N} \int_{M_o}^{M_u} -\frac{\partial \lambda}{\partial M} \Pr(A > sa/M, R_0) dM \quad (3.17)$$

Donde:

N = totalidad de las fuentes sísmicas.

$(A > sa/M, R_0)$ = probabilidad que la intensidad exceda cierto valor.

M = magnitud del sismo.

R = distancia hipocentral o distancia más cercana al área de ruptura en km .

∂M = funciones de las tasas de actividad de las fuentes sísmicas.

M_o y M_u = límites de integración que se consideran para cada fuente sísmica, es decir la contribución de todas las magnitudes.

Se observa que la ecuación sería exacta si las fuentes sísmicas fueran puntos, pero en realidad son volúmenes, por lo que los epicentros no sólo pueden ocurrir en los centros de las fuentes, sino, con igual probabilidad en cualquier punto dentro del volumen correspondiente. Al realizar los cálculos se debe tomar en cuenta esta consideración, subdividiendo las fuentes sísmicas en diversas formas geométricas, en cuyo centro de gravedad se concentra la sismicidad de la fuente. Considerando la magnitud y la distancia, la intensidad tiene una distribución *lognormal*, y la probabilidad $\Pr(A > sa/M, R_0)$ se calcula de la siguiente manera:

$$\Pr(A > sa/M, R_o) = 1 - \varphi \left[\frac{1}{\sigma_{Lnsa}} \ln \frac{sa}{med(A/M, R_i)sa} \right] \quad (3.18)$$

Donde:

φ = distribución normal estándar.

$med(A/M, R_i)$ = mediana de la intensidad, determinado por la ley de atenuación correspondiente.

σ_{Lnsa} = desviación estándar del logaritmo natural de sa .

La ecuación descrita considera tanto la ley de atenuación como las incertidumbres en ella, sin embargo para la zona sismogénica, los parámetros p que definen la curva de tasas de excedencia de la magnitud, no son deterministas. Por lo tanto, para calcular la tasa de excedencia no condicionada $v(sa)$, se procede a calcular el valor esperado con respecto a las variables inciertas, por lo que la expresión de cálculo de la tasa de excedencia de la aceleración es:

$$v(a) = \int v(sa/p) P_p(P) dp \quad (3.19)$$

Donde:

$P_p(P)$ = densidad conjunta de probabilidades de los parámetros que definen a ∂M .

La ecuación anterior proporciona la contribución de una fuente, y para un caso general cuando se consideran varias fuentes solo basta sumar las contribuciones de cada una de ellas, y así obtener la tasa de excedencia total.

El peligro sísmico se expresa en términos de la tasa de excedencia de valores dados de intensidad sísmica. Como se ha indicado, la intensidad sísmica determinada de esta manera se denomina *espectros de peligro uniforme*.

Para la evaluación del peligro sísmico mediante leyes de atenuación para aceleraciones espectrales, se ha considerado las coordenadas geográficas del distrito de Independencia, las cuales se presentan en el Cuadro N° 3.9.

Cuadro 3.9: Coordenadas geográficas de los puntos analizados en el distrito de Independencia

ZONA DE ESTUDIO	COORDENADAS	
	Longitud (°W)	Latitud (°S)
Distrito de Independencia	-77.04	-11.99

Los Cuadros N° 3.10 y 3.11 muestran los resultados obtenidos con el programa CRISIS 2007 correspondiente a las máximas aceleraciones horizontales esperadas en el punto de análisis, considerando los modelos de atenuación de Youngs para roca y suelo, y CISMID para suelo. Estos valores se han estimado para los diferentes modelos de atenuación y para los períodos de retorno de 475, 950 y 2500 años, considerando 50 años de periodo de exposición sísmica.

Cuadro 3.10: Aceleraciones espectrales en roca para $T = 0.0$ s para diferentes periodos de retorno.

Modelo de Atenuación	Longitud (°W)	Latitud (°S)	Aceleración horizontal máxima (gals) de diferentes modelos de atenuación para un periodo de retorno de:							
			30	50	100	200	475	950	1000	2500
Youngs et al. 1997 (P.50) Distrito de Independencia	-77.04	-11.99	131.59	158.15	202.98	256.04	326.30	396.19	401.91	503.00

Modelo de Atenuación	Longitud (°W)	Latitud (°S)	Aceleración horizontal máxima (g) de diferentes modelos de atenuación para un periodo de retorno de:							
			30	50	100	200	475	950	1000	2500
Youngs et al. 1997 (P.50) Distrito de Independencia	-77.04	-11.99	0.13	0.16	0.21	0.26	0.33	0.40	0.41	0.51

Dependiendo del tipo de estructura, la norma E.030 del diseño sismorresistente de edificaciones, define el coeficiente sísmico de diseño a aquel obtenido con un 10 % de probabilidad de excedencia y un periodo de exposición sísmica de 50 años, el cual corresponde a un evento sísmico de 475 años de periodo de retorno.

Lo anterior significa que en el área de estudio, de acuerdo al modelo de atenuación de Youngs, la aceleración horizontal máxima promedio del sismo de diseño considerando un suelo del Tipo B (roca), con velocidades de ondas de corte V_s entre 760 m/s a 1500 m/s, de acuerdo al International Building Code (IBC) del año 2006, es de 0.33 g para la zona en estudio, considerando la media (P.50) del modelo de atenuación.

Cuadro 3.11: Aceleraciones espectrales en suelo para $T = 0.0$ s para diferentes periodos de retorno.

Modelo de Atenuación	Longitud (°W)	Latitud (°S)	Aceleración horizontal máxima (gals) de diferentes modelos de atenuación para un periodo de retorno de:							
			30	50	100	200	475	950	1000	2500
Youngs et al. 1997 (P.50) Distrito de Independencia	-77.04	-11.99	209.49	256.76	324.35	409.74	523.43	628.17	636.68	810.19
CISMID 2006 (P.50) Distrito de Independencia	-77.04	-11.99	151.58	191.67	253.21	330.44	439.08	546.77	554.18	706.65

Modelo de Atenuación	Longitud (°W)	Latitud (°S)	Aceleración horizontal máxima (g) de diferentes modelos de atenuación para un periodo de retorno de:							
			30	50	100	200	475	950	1000	2500
Youngs et al. 1997 (P.50) Distrito de Independencia	-77.04	-11.99	0.21	0.26	0.33	0.42	0.53	0.64	0.65	0.83
CISMID 2006 (P.50) Distrito de Independencia	-77.04	-11.99	0.15	0.20	0.26	0.34	0.45	0.56	0.56	0.72

La aceleración horizontal máxima del sismo de diseño considerando un suelo firme del Tipo D, con velocidades de ondas de corte V_s que varían entre 180 m/s a 360 m/s, y considerando un suelo denso del Tipo C, con velocidades de ondas de corte V_s que varían entre 360 m/s a 760 m/s de acuerdo al International Building Code (IBC) del año 2006, presenta aceleraciones máximas (PGA) que varían entre 0.45 g a 0.53 g, considerando la media (P.50) de los diferentes modelos de atenuación utilizados.

A continuación se muestra la tabla que contiene la clasificación de suelos según el International Building Code (IBC, 2006).

CLASE DEL SITIO	NOMBRE PERFIL DE SUELO	PROPIEDADES PROMEDIO EN LOS PRIMEROS 30 METROS		
		VELOCIDAD ONDAS DE CORTE DEL SUELO, Vs (m/s)	RESISTENCIA A LA PENETRACIÓN ESTÁNDAR, N	RESISTENCIA CORTANTE NO DRENADA DEL SUELO, Su (kPa)
A	Roca Dura	$V_s > 1500$	N/A	N/A
B	Roca	$760 < V_s \leq 1500$	N/A	N/A
C	Suelo muy denso o roca blanda	$365 < V_s \leq 750$	$N > 50$	$S_u \geq 96$
D	Perfil de suelo rígido	$180 \leq V_s \leq 365$	$15 \leq N \leq 50$	$48 \leq S_u \leq 96$
E	Perfil de suelo blando	$V_s < 180$	$N \leq 15$	$S_u < 48$
E	-	Cualquier perfil con más de 3 metros de suelo con las siguientes características:		
		1. Índice de Plasticidad $IP > 20$, y		
		2. Contenido de humedad $w \geq 40\%$, y		
		3. Resistencia cortante no drenada $S_u < 24$ kPa		
F	-	Cualquier perfil conteniendo suelos con una o más de las siguientes características:		
		1. Suelos vulnerables a falla potencial o colapso bajo cargas sísmicas tal como suelos licuables, arcillas sensibles, suelos colapsables débilmente cementados.		
		2. Turbas y/o arcillas altamente orgánicas ($H > 3$ m. de turba y/o arcilla altamente orgánica, donde H = espesor del suelo)		
		3. Arcillas de muy alta plasticidad ($H > 7.5$ m con un índice de plasticidad $IP > 75$)		
		4. Arcillas blandas a medianamente rígidas muy potentes ($H > 36.5$ m)		

Figura 3.9: Clasificación de suelos según el International Building Code (IBC, 2006).

Capítulo 4

Características Geotécnicas del Suelo

4.1. Exploraciones de Campo

Los trabajos de exploración geotécnica consistieron en la realización de sondeos para efectuar ensayos de campo y extraer muestras de suelo de los sitios estudiados en el distrito de Independencia. En base a los resultados obtenidos de estos trabajos y de pruebas de laboratorio efectuadas en las muestras extraídas, se definieron los perfiles estratigráficos de los puntos de exploración, así como sus propiedades índice y mecánicas.

El programa de exploración de campo consistió en la excavación de calicatas y en la descripción de taludes. En su conjunto, para la presente investigación se han ejecutado treinta y uno (31) puntos de exploración geotécnica: veintidós (22) calicatas y nueve (09) descripciones de taludes existentes.

Los puntos de exploración geotécnica ejecutados fueron distribuidos convenientemente dentro del área de estudio, teniendo en consideración la evaluación de las características geotécnicas de las unidades geológicas identificadas; a su vez se delimitó las áreas de terreno con condiciones desfavorables para la habilitación urbana como depósitos de desmontes y zonas de relleno.

Finalmente se consideró el criterio de ocupación y uso del suelo, proponiéndose una mayor densidad de puntos de exploración en aquellos sectores sin información disponible y se llegó a comprobar la estratigrafía presente en las exploraciones de campo realizadas anteriormente en el distrito (información recopilada [6]).

4.1.1. Excavación de calicatas

Las calicatas permiten la inspección directa del suelo que se desea estudiar y, por lo tanto, es el método de exploración que normalmente entrega la información más confiable y completa, así la finalidad de estas excavaciones es la de evaluar las condiciones geotécnicas del suelo de cimentación; estas son excavaciones de profundidad pequeña a media y por su costo relativamente bajo son realizados en la mayoría de estudios de mecánica de suelos.

Para la presente investigación las calicatas se ejecutaron con personal obrero y herramientas manuales (pico, lampa, barreta, malla de seguridad, casco, etc.)

En las veintidós (22) calicatas realizadas (Ver Plano P-07), se procedió a la caracterización de las muestras de los diferentes tipos de suelo, siguiendo la norma de la American Society for Testing and Materials (NTP 339.162); así mismo, se realizó la clasificación visual del material encontrado en campo (Ver el Panel fotográfico del Anexo VI), de acuerdo a los procedimientos indicados en la norma NTP 339.150.

En cada calicata ejecutada se tuvo que realizar una descripción visual o registro de la estratigrafía presente (Ver Anexo I), para luego extraer las muestras y así poder realizar los ensayos de laboratorio correspondientes (Ver Anexo II).

La Figura 4.1 muestra la ejecución de la calicata C-17.



Figura 4.1: Calicata C-17, ubicada en la calle Huarcondor.

4.1.2. Descripción de perfiles de suelo y roca en taludes

El perfil de un suelo es la sección o corte vertical que se describe y analiza visualmente, de las cuales se obtiene muestras inalteradas para luego haciendo uso de equipos de laboratorio, poder clasificarlos de acuerdo a sus propiedades mecánicas.

Durante los trabajos de campo se estimó conveniente realizar la descripción de los perfiles de suelos y rocas en taludes existentes (Ver el Panel fotográfico del Anexo VI), ubicados dentro del área de estudio. Cabe mencionar que, así como en las calicatas, en los taludes fue posible realizar una identificación y descripción de suelos y rocas. Se han descrito nueve (09) taludes en total (Ver Plano P-07).

En cada perfil de suelo y roca se tuvo que realizar una descripción visual o registro de la estratigrafía presente (Ver Anexo I), para luego extraer las muestras y así poder realizar los ensayos de laboratorio correspondientes (Ver Anexo II).

La Figura 4.2 muestra la descripción del talud T-9.

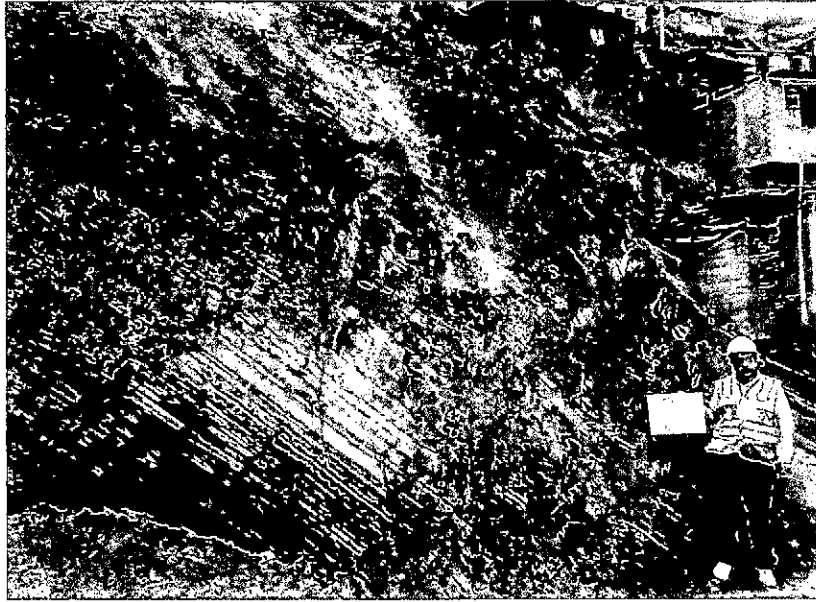


Figura 4.2: Talud T-9, ubicado en la zona más alejada al Noreste del distrito de Independencia.

4.2. Ensayos de Laboratorio

4.2.1. Ensayos de mecánica de suelos

Con las muestras obtenidas en las calicatas se realizaron ensayos estándares y especiales de mecánica de suelos, en el Laboratorio Geotécnico del CISMID de la Facultad de Ingeniería Civil (FIC) de la Universidad Nacional de Ingeniería (UNI). Los ensayos estándares fueron llevados a cabo en muestras alteradas, extraídas en la exploración de campo, según el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS). Los ensayos estándar de mecánica de suelos realizados fueron los siguientes:

- | | |
|-----------------------------|-------------|
| ▪ Análisis granulométrico | NTP 339.128 |
| ▪ Límite líquido y plástico | NTP 339.129 |

- Contenido de humedad NTP 339.127

Del mismo modo, los ensayos especiales realizados fueron los siguientes:

- Corte directo NTP 339.171
- Máxima y mínima densidad Norma DIN
- Triaxial no consolidado no drenado NTP 339.164
- Peso volumétrico NTP 339.139

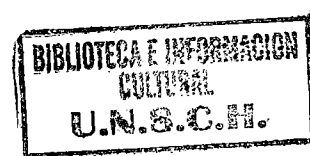
Los resultados de los ensayos de mecánica de suelos se presentan en el Anexo II.

4.2.2. Ensayos de análisis químico

Los ensayos químicos son destinados a determinar la agresividad del terreno identificando las sales solubles, cloruros, etc, las cuales afectan a las estructuras proyectadas en la cimentación, especialmente a aquellas de concreto armado (zapatas, cimiento corrido, etc).

Estos ensayos se realizaron en el laboratorio químico de la Facultad de Ingeniería Civil (FIC) de la Universidad Nacional de Ingeniería (UNI), para lo cual se obtuvieron cuatro muestras de suelo de diversas zonas del área de estudio, se consideraron los siguientes ensayos de análisis químico (Ver Anexo II):

- Contenido de sulfatos NTP 339.178
- Contenido de cloruros NTP 339.177
- Sales solubles totales ASTM D 1888
- PH ASTM D 4792



4.2.3. Parámetros Geotécnicos

En base a la interpretación de los trabajos de campo realizados, la información recopilada y a los ensayos de laboratorio, prácticamente en todo el distrito de Independencia predominan los suelos granulares: arenas y gravas, que presentan bordes subangulosos y una compacidad que varía entre suelta a densa. Asimismo, en las zonas que corresponden a las laderas y a los cerros predominan las formaciones rocosas, que están alteradas en la superficie y que mejoran su resistencia con la profundidad. Finalmente, de forma focalizada, en el límite con el distrito de Los Olivos (zona oeste), se presentan suelos finos, que clasifican como arcillas limosas (CL).

Los suelos finos alcanzan capacidades admisibles entre 0.70 y 1.00 kg/cm^2 , los suelos arenosos entre 1.00 y 1.50 kg/cm^2 , las gravas entre 2.00 y 3.00 kg/cm^2 y la capacidad admisible de la roca ligeramente alterada a sana supera los 5.00 kg/cm^2 .

En el Cuadro N° 4.1 se resume las cargas admisibles de los diferentes tipos de suelo presentes en el distrito de Independencia.

Cuadro 4.1: Capacidades de carga admisibles.

Tipos de suelo	Capacidad de carga
Suelos finos	entre 0.70 y 1.00 kg/cm^2
Suelos arenosos	entre 1.00 y 1.50 kg/cm^2
Suelos Gravosos	entre 2.00 y 3.00 kg/cm^2
Roca ligeramente alterada a sana	supera los 5.00 kg/cm^2

4.3. Tipos de Suelo en el Área de Estudio

Con la información geotécnica obtenida de la exploración de campo y los resultados de ensayos de mecánica de suelos, se ha procedido a delimitar el área en estudio, según los tipos de suelos y rocas con características geotécnicas similares. Las características de cada

uno de estos tipos de materiales y los criterios seguidos para su subdivisión se describen a continuación:

4.3.1. Formaciones Rocosas

En base al estudio geológico, las formaciones rocosas, identificadas en el área de estudio, son materiales conformados, principalmente, por gabrodioritas, adamelitas y areniscas cuarzosas. Estos tipos de materiales presentan características geotécnicas favorables para la cimentación superficial de edificaciones.

Estas formaciones rocosas se encuentran en los sectores topográficamente elevados del distrito de Independencia y están representados por los registros de las calicatas ejecutadas C-2, C-14, C-15 y los taludes descritos T-1, T-2, T-3, T-5, T-6, T-8 y T-9 que se presentan en el Anexo I.

4.3.2. Depósitos de Gravas

Son materiales que pertenecen a depósitos aluviales. Se caracterizan por ser densos y de bordes subredondeados en la parte baja del distrito; angulosos, en la parte elevada y de humedad baja. Se encuentran emplazados, principalmente, en la superficie de las formaciones rocosas y en gran parte del área del distrito; a partir de 1.5 m de profundidad, se hallan por debajo de los materiales superficiales como arenas, limos y arcillas. Estos tipos de materiales presentan características geotécnicas favorables para la cimentación superficial de edificaciones convencionales.

Están representados por los registros de las calicatas ejecutadas C-1, C-3, C-4, C-5, C-7, C-9, C-13 y C-18, que se presentan en el Anexo I; allí se puede observar los diferentes materiales que componen la estratigrafía de estos suelos.

4.3.3. Depósitos de arenas de compacidad media a densa

Son materiales que pertenecen a depósitos aluviales, de compacidad media a densa y con espesores variables. Subyaciendo a este material se registra la presencia de materiales gravosos con intercalaciones de arenas, limos y arcillas. Estos tipos de materiales presentan características geotécnicas favorables para la cimentación superficial de edificaciones convencionales.

Se encuentran en gran parte del distrito de Independencia y están representados por los registros de las calicatas ejecutadas C-1, C-2, C-4, C-5, C-7, C-8, C-10, C-11, C-16, C-17, C-19, C-21 y C-22 que se presentan en el Anexo I.

4.3.4. Depósitos de limos y arcillas de consistencia media

Son materiales finos, de consistencia media y de poco espesor. Se encuentran en la superficie y en algunos casos, intercalados con gravas y arenas. Estos tipos de materiales presentan características geotécnicas menos favorables, que el caso anterior, para cimentaciones superficiales de edificaciones convencionales.

Se encuentran en sectores específicos y de menor altura topográfica del distrito de Independencia. Está representado por los registros de las calicatas ejecutadas C-3, C-9, C-12 y C-13 que se presenta en el Anexo I.

4.3.5. Rellenos Antrópicos

Son materiales heterogéneos sin selección y constituidos por gravas, arenas, arcillas, concreto, ladrillos, maderas, desechos, etc. Estos materiales presentan una mala respuesta frente a un evento sísmico, por lo que, se recomienda su remoción total; para la presente investigación estas acumulaciones han sido identificadas en sectores específicos del distrito de Independencia.

Para tener una idea mas clara de los tipos de materiales presentes en el área de estudio, los Planos P-08 y P-09 muestran los tipos de suelos a 1.0 y 2.5 m de profundidad, respectivamente.

4.4. Agresión del Suelo al Concreto de Cimentación

La agresión que ocasiona el suelo bajo el cual se cimienta la estructura, está en función de la presencia de elementos químicos que actúan sobre el concreto y el acero de refuerzo, causando efectos nocivos y hasta destructivos sobre las estructuras (sulfatos, cloruros y sales solubles totales). Sin embargo, la acción química del suelo sobre el concreto sólo ocurre a través del agua subterránea que reacciona con el concreto; de ese modo el deterioro del concreto ocurre bajo el nivel freático, zona de ascensión capilar o presencia de aguas infiltrada por otra razón (rotura de tubería, lluvias extraordinarias, inundaciones, etc.). Los principales elementos químicos a evaluar son los sulfatos y los cloruros, por su acción química sobre el concreto y el acero de cimentación respectivamente. A su vez, se evalúa las sales solubles totales que podrían causar pérdida de resistencia mecánica por problemas de lixiviación.

Las concentraciones de estos elementos en proporciones nocivas, aparecen en la Tabla del Anexo II. La fuente de esta información corresponde a las recomendaciones del American Concrete Institute (ACI) (Comité 319-83) para el caso de los sulfatos y a la experiencia en los otros casos. Los resultados de los ensayos de análisis químicos se presentan en el Anexo II.

De los resultados obtenidos en el laboratorio se puede observar que la muestra C-2/M-1 tiene una concentración de sulfatos de 3,961 p.p.m., que podría ocasionar un ataque severo al concreto de la cimentación; la muestra C-3/M-1 tiene una concentración de sulfatos de 1,396 p.p.m., que ocasionaría un ataque moderado al concreto de la cimentación;

la muestra C-4/M-1 tiene una concentración de sulfatos de 25,434 p.p.m., que podría ocasionar un ataque muy severo al concreto de la cimentación, y la muestra C-7/M-2 tiene una concentración de sulfatos de 1,642 p.p.m., que ocasionaría un ataque moderado al concreto de la cimentación.

En relación a la concentración promedio de cloruros, las muestras C-2/M-1, C-3/M-1, C-4/M-1 y C-7/M-2 tienen concentraciones de cloruros de 294, 231, 628 y 136 p.p.m., respectivamente, las cuales indican una acción no agresiva al acero de refuerzo de la cimentación.

Asimismo, las concentraciones de sales solubles en las muestras C-2/M-1 y C-3/M-1 son de 4,297 y 1,678 p.p.m., respectivamente, que en ambos casos indican que no se presentará el problema de lixiviación en la estructura de cimentación; en la muestra C-4/M-1 la concentración de sales solubles totales es de 26,103 p.p.m., que indica que se presentará el problema de lixiviación en las estructuras de cimentación.; en la muestra C-7/M-2 la concentración de sales solubles totales es de 1,825 p.p.m., que indica que no se presentará el problema de lixiviación en la estructura de cimentación.

A continuación se resume las concentraciones de sulfatos, cloruros y sales solubles en los diversos problemas de agresión del suelo al concreto de cimentación.

Cuadro 4.2: Tipos de problemas que ocasionarían la concentración de sulfatos.

Análisis de:	Sulfatos (ppm) (NTP 339.178)	Ataque al concreto de cimentación
Muestra M-2, Calicata C-7	1642	Moderado
Muestra M-1, Calicata C-3	1396	Moderado
Muestra M-1, Calicata C-2	3961	Severo
Muestra M-1, Calicata C-4	25434	Muy severo

Cuadro 4.3: Agresión al acero de refuerzo de la cimentación.

Análisis de:	Cloruros (ppm) (NTP 339.177)	Acción agresiva al acero
Muestra M-2, Calicata C-7	136	No
Muestra M-1, Calicata C-3	231	No
Muestra M-1, Calicata C-2	294	No
Muestra M-1, Calicata C-4	628	No

Cuadro 4.4: Problemas de lixiviación que ocasionarían la concentración de sales solubles.

Análisis de:	Sales solubles (ppm) (ASTM D 1888)	Problemas de lixiviación en las estructuras de cimentación
Muestra M-2, Calicata C-7	1825	No
Muestra M-1, Calicata C-3	1678	No
Muestra M-1, Calicata C-2	4297	No
Muestra M-1, Calicata C-4	26103	Si

En consecuencia, el concreto de la cimentación en el distrito de Independencia, debe ser diseñado con cemento portland puzolámico tipo IP o tipo II, para ataque moderado, cemento tipo V, para ataque severo, y cemento tipo V más puzolana, para ataque muy severo.

Capítulo 5

Características Dinámicas del Suelo

5.1. Parámetros Dinámicos del Terreno

Como parte del estudio de microzonificación geotécnica sísmica del distrito de Independencia de la ciudad de Lima, es importante realizar el análisis dinámico del subsuelo, el cual nos permite conocer la respuesta o comportamiento de este frente a las ondas sísmicas. Para dicho fin se realizó un estudio de evaluación de efectos de sitio utilizando vibración ambiental y la caracterización de los perfiles de velocidad de ondas de corte.

En el Perú, varios trabajos han sido realizados analizando los efectos de sitio, en localidades como Arequipa (Aguilar, 1991), La Punta y Callao (Huamán, 1991), Chorrillos y Barranco (Ayquipa, 1993) Moyobamba, Rioja y Soritor (Lara, 1993), La Molina (Martínez, 1997), Moquegua (Salas, 2003), y Lima (Cismid 2005, 2010, 2011, 2012, 2013 y 2014) entre otras.

Es conocido que el suelo es un material conformado por partículas y múltiples fases que tiene un complicado (no lineal) comportamiento esfuerzo-deformación, es decir, las deformaciones no son recuperadas. La naturaleza y distribución del daño sísmico depende de la capacidad de respuesta dinámica del suelo frente a cargas cíclicas. La respuesta

del suelo ante la dinámica sísmica está condicionada por múltiples factores entre los que podemos mencionar:

- La magnitud del sismo.
- Los mecanismos de ruptura originales del movimiento.
- La clasificación, orientación y dimensión de la falla creadora del hipocentro.
- Las características geológicas del medio.
- Las condiciones de agua subterránea.
- Las propiedades geotécnicas del suelo-roca.
- La trayectoria de las ondas.

Una amplia variedad de técnicas de campo y laboratorio están disponibles para la medición de las propiedades dinámicas del suelo, cada una con ventajas y limitaciones con respecto a diferentes problemas. Algunas de estas técnicas están orientadas a la medición de propiedades bajo deformaciones pequeñas, mientras que otras a deformaciones mayores.

Las propiedades geotécnicas que influyen, prioritariamente, la susceptibilidad del suelo para la amplificación del movimiento dependen de las propiedades dinámicas, siendo el módulo de corte y el amortiguamiento, los principales parámetros para modelar la respuesta sísmica. Estos parámetros se relacionan con otras propiedades físicas del material, una de ellas es la velocidad de ondas de corte, la que actualmente se puede calcular directamente en el sitio por medio del análisis espectral de ondas superficiales. De este parámetro se pueden derivar la velocidad de ondas de corte (V_s) y el periodo de vibración del suelo T .¹

¹Ronaldo Luna y Houda Jadi. [16]. Utilidad del uso de parámetros.

Velocidad de Ondas de Corte (V_s). Es el parámetro medido mas usado en geofísica, para la caracterización de suelos; es usado para calcular los parámetros en el rango elástico del comportamiento del suelo. Lo importante de este parámetro es que la partícula de movimiento se desplaza perpendicular a la dirección de propagación de la onda, para ser capaz de medir las propiedades cortantes del estrato de suelo y no los líquidos, debido a que no pueden formar esfuerzos cortantes.

Módulo de Corte (G). Es el parámetro calculado en base a la V_s usando la relación elástica simple $G_{m\acute{a}x} = \rho V_s^2$. La densidad es siempre estimada o medida a travez de muestras de suelo de la superficie cercana o usando correlaciones. Las correlaciones avanzadas para estimar el valor del módulo de corte dinámico son disponibles según la prueba de penetración estándar, los límites de Atterberg (índice de plasticidad e índice de liquidez) y la distribución del tamaño de partículas. La utilidad mas importante de este parámetro es que puede ser usado de diversas formas con respecto a la deformación del suelo, representando el módulo real del comportamiento del suelo. Este parámetro se utiliza para definir las matrices de rigidez para el análisis de elementos finitos de estructuras de tierra y cimentación en suelos.

Módulo de Corte Máximo ($G_{m\acute{a}x}$). Es usado para normalizar el módulo de corte (G) versus la relación de deformación de corte. Estas relaciones normalizadas permiten al ingeniero el uso de curvas de degradación bien establecidos y escalarlos a la medida del valor in-situ del $G_{m\acute{a}x}$, por ejemplo, la relación clásica del módulo cortante para suelos cohesivos y no cohesivos. En ausencia de pruebas exhaustivas sobre la dinámica de suelos en todos los rangos de deformación por esfuerzo cortante se utilizan estas curvas y $G_{m\acute{a}x}$ es usado como un parámetro de escalamiento.

Coefficiente de amortiguamiento (D). Es usado para varios procedimientos de análisis dinámico, para definir un movimiento mas realista de atenuación. Esta relación se basa en las propiedades de amortiguamiento de los materiales. Los resultados de análisis dinámico son influenciados por el coeficiente de amortiguamiento para un sistema de uno y varios grados de libertad. La utilidad de este parámetro se basa en la capacidad del sistema para absorber energía dinámica y cómo esto afectará a la duración y modos de vibración.

Coefficiente de Poisson (ν).¹ Es un parámetro fundamental muy difícil de medir y se estima por lo general en cálculos de ingeniería. El coeficiente del esfuerzo horizontal y vertical se usa para relacionar el módulo de deformación en un medio sólido. Un rango sugerido de valores del coeficiente de Poisson para suelos es de 0.2 a 0.5, los valores menos comunes pueden ser menores que 0.1 para depósitos sedimentarios eólicos. Este coeficiente puede ser calculado mediante la relación $\nu = E/(2G - 1)$ el cual es basado en pruebas de laboratorio con bajas deformaciones, y también los parámetros dinámicos E y G son obtenidos de la vibración longitudinal y torsional, respectivamente.

5.2. Determinación del Periodo de Vibración del Suelo

Los suelos tienen diferentes comportamientos dinámicos frente a las ondas sísmicas, los cuales afectan de forma directa a las estructuras cimentadas sobre ellos. Esta respuesta dinámica de los suelos esta íntimamente ligada con la frecuencia natural de vibración de éste. La cual presenta las aceleraciones de respuesta más altas y por consiguiente las deformaciones más críticas. Esta misma definición de frecuencia natural de vibración para

¹Ronaldo Luna y Houda Jadi. [16]. Descripción de parámetros.

suelos puede ser aplicada para el caso de las estructuras, dado que la frecuencia natural de vibración en ambos casos tiene características semejantes.

Para llegar a conocer las frecuencias naturales de vibración de los suelos se usan las microtrepidaciones, que son vibraciones de muy baja amplitud, las cuales son causadas por el tráfico, las máquinas industriales, el viento, las ondas oceánicas, la actividad volcánica, y en general toda la actividad natural del hombre que produzca energía y que esta sea absorbida a su vez por el subsuelo. Para este caso en particular el cálculo de las frecuencias incluyó el análisis de microtrepidaciones, a partir de los cuales podemos llegar a calcular el período dominante de los suelos del distrito de Independencia.

Los microtemores son conocidos como microsismos, ruido sísmico de fondo, campo natural, vibración o ruido ambiental, oscilaciones omnipresentes o microtemblores, etc. Estas vibraciones están conformadas básicamente por ondas superficiales Rayleigh y Love que están afectadas por la estructura geológica del sitio donde se midan.

De acuerdo a la frecuencia, los microtemores son originados por:

- A bajas frecuencias (por debajo de 0.3 Hz a 0.5 Hz) son causados por las ondas oceánicas que ocurren a grandes distancias.
- A frecuencias intermedias (0.3 - 0.5 Hz y 1 Hz) los microtemores son generados por las olas del mar cercanas a las costas.
- Para altas frecuencias (mayores a 1 Hz), las fuentes están ligadas a la actividad humana.

El propósito de la medición de microtemores es:

- Obtención del periodo fundamental de vibración del suelo.
- Evaluación de efectos de sitio.

- Detección de los tipos de suelos en el interior del distrito de Independencia (la variación del periodo es consistente con el perfil geológico).
- Obtención de perfiles de velocidad de ondas sísmicas.

5.2.1. Método de Análisis

Método de Nakamura

A raíz del sismo del 18 de mayo de 1940 en California (USA) se empezaron a desarrollar estudios dinámicos del suelo que incluyeron la observación de las microtrepidaciones.

Es así como a partir de 1950 aparecen investigaciones y metodologías sobre la utilización de las microtrepidaciones para el estudio de las propiedades dinámicas del suelo. La primera metodología de análisis fue propuesta por Kanai et al (1954), posteriormente Aki (1957) y Kagami et al (1982) entre otros, han realizado investigaciones alrededor de la naturaleza de las microtrepidaciones y han desarrollado y mejorado metodologías para su uso.

Nakamura [21] propuso una metodología novedosa para la cual llevo acabo diversos ensayos de campo para su evaluación. La metodología de Nakamura se ha difundido ampliamente en todo el mundo y ha sido aplicada como parte de muchos estudios de microzonificación sísmica.

La metodología de Nakamura (1989) está basada en la suposición que el cociente espectral entre las componente horizontal y vertical de las microtrepidaciones es una aproximación de la función de transferencia de los suelos. Para llegar a esto Nakamura desarrollo la técnica basado en tres hipótesis:

- El ruido ambiental es generado por la reflexión y refracción de ondas al interior de capas de suelo superficiales y por ondas de superficie.

- Las fuentes superficiales locales de ruido no afectan el ruido ambiental en la base de la estructura no consolidada.
- Las capas de suelo blando no amplifican la componente vertical del ruido ambiental.

Según Nakamura (1989, 2000) el método del cociente espectral permitirá obtener la función de transferencia aproximada del suelo, es decir, los periodos predominantes del suelo y las amplificaciones asociadas. Una de las ventajas de éste método es la facilidad en la realización y el procesamiento de las mediciones.

El método propone estimar la respuesta empírica de las capas superficiales de suelo, se asume que el ruido de los microtemores está compuesto por varios tipos de onda, y este pretende eliminar el efecto de las ondas Rayleigh. Se considera que las componentes horizontal y vertical del registro son de similar respuesta en la base rocosa.

Se define la función de transferencia S_t para estratos superficiales:

$$S_t = \frac{S_{HS}}{S_{HB}} \quad (5.1)$$

Donde:

S_{HS} = espectro de amplitud de Fourier para la componente horizontal.

S_{HB} = espectro de amplitud de Fourier para la componente vertical.

Se asume que la componente vertical no es amplificada por el efecto del suelo, por lo tanto, se puede utilizar el cociente espectral de esta componente para evaluar la perturbación que provocan las ondas Rayleigh. Se define el cociente espectral de las componentes verticales:

$$S_V = \frac{S_{VS}}{S_{VB}} \quad (5.2)$$

Donde:

S_{VS} = espectro vertical en la superficie.

S_{VB} = espectro vertical en el basamento rocoso.

Si no existe la contribución de ondas Rayleigh tendríamos $S_{VS} = 1$. Asumiendo que el efecto en la superficie de las ondas Rayleigh es igual en las componentes vertical y horizontal, este último cociente sirve para eliminar la amplificación aparente, que provocan estas en el cociente S_T . Así la función de amplificación del suelo seria:

$$S_{TT} = \frac{S_T}{S_V} = \frac{S_{HS}/S_{HB}}{S_{VS}/S_{VB}} = \frac{R_S}{R_B} \quad (5.3)$$

Donde:

$$R_S = S_{HS}/S_{VS}, \quad R_B = S_{HB}/S_{VB}$$

Normalmente, para ruido ambiental, $R_B \approx 1$, por lo tanto $S_{TT} = R_S$. Lo cual significa que la función de transferencia de las capas superficiales puede ser estimada a partir, únicamente, del movimiento en superficie.

Para el cálculo del cociente espectral H/V, algunos autores (Steidl, 1993; Tokimatsu, 1997; Bard, 1998; Flores-Estrella, 2001) han analizado el uso de las componentes horizontales por separado, o bien una combinación de estas. Para una adecuada interpretación se ha considerado la expresión que realiza una combinación de las componentes horizontales:

$$H/V = \frac{\sqrt{(S_{NS})^2 + (S_{EW})^2}}{S_V} \quad (5.4)$$

Según Nakamura (1989), el método del cociente espectral permitirá obtener la función de transferencia completa del suelo (periodo y amplificación). Sin embargo, algunas investigaciones teóricas y trabajos experimentales han demostrado que no es así, sino que el método únicamente permite la determinación del periodo predominante.

5.2.2. Descripción del Equipo de Medición

Para la realización de los arreglos de Microtremores, se empleó un equipo de medición de Microtremores GEODAS 15-HS (Ver Figura 5.1), desarrollado por la Compañía Anet Co., Ltd. A continuación se detalla las características del equipo y programas usados.

- 01 sistema de adquisición de datos GEODAS 15-HS.
- 01 computadora portátil NEC, modelo Versa Pro VS-8.
- 03 sensores de 1 Hz de frecuencia tipo CR4.5-1S.
- 01 GPS GARMIN modelo GPS16x-LVS.
- 01 cable de conexión para batería.
- software de adquisición de datos: Microtremor Observation (Mtobs, incluido en el GEODAS 15HS)
- software de procesamiento de datos: m2n.exe, mtpltn2.exe, calHVm4.exe.

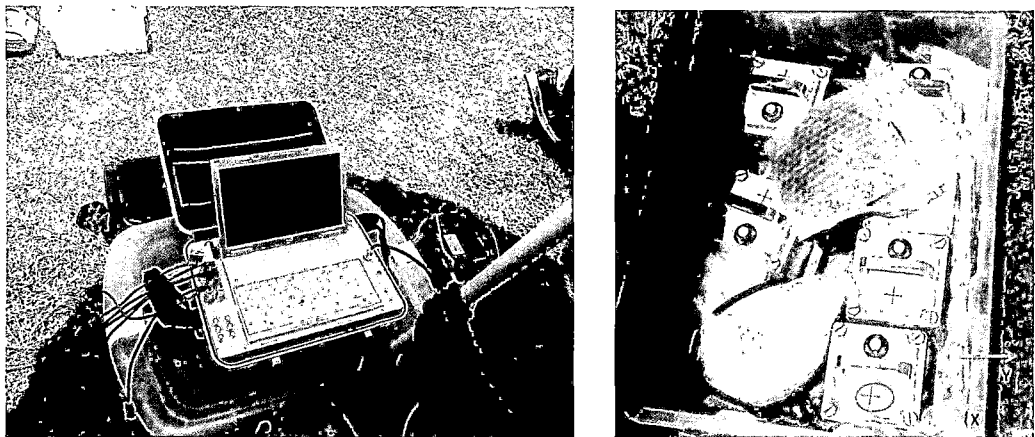


Figura 5.1: Equipo de adquisición de datos GEODAS 15 HS y sensor de 1 Hz de frecuencia tipo CR4.5-1S (CISMID, 2013).

5.2.3. Procedimiento del Ensayo en Campo

Las mediciones de microtremores son realizadas sobre la superficie del terreno o a diferentes profundidades dentro de una perforación, utilizando sensores suficientemente sensibles. Estas mediciones registran las velocidades de los microtremores, las que luego son almacenadas en forma digital, para su posterior procesamiento en gabinete. Para realizar la medición se instala el sensor triaxial en la superficie del terreno, orientando sus componentes horizontales en las direcciones E-W y N-S (Ver Figura 5.2). Luego de conectar e instalar todo el equipo se procede a registrar los microtremores por un lapso de tiempo lo suficientemente largo para garantizar que se registren tramos de ondas sin interferencias directas por el paso de vehículos o personas en las zonas próximas al sensor.



Figura 5.2: Equipo e instrumentos utilizados durante la realización del ensayo de Microtremores.

5.2.4. Procesamiento de las señales

Las señales en formato .mtd fueron analizadas con los programas m2n.exe, mtpltn2.exe, calHVm4.exe; todo el procesamiento y análisis de las señales fue realizado a través del command prompt (cmd.exe) y KaleidaGraph 4.0.

Paso 1: Descripción de las señales. En cada punto de medición se midió alrededor de 600seg (equivalente a 10 minutos), con una frecuencia de muestreo de 250Hz y cada ventana de segmento fue de 16seg. La información medida fue separada por segmentos donde se omitió aquellos que fueron influenciados por fuentes de ruido. La forma de adquisición de la señal de las ondas superficiales se registra por puntos con un espaciamiento de Δt , tal como se muestra en la Figura 5.3.

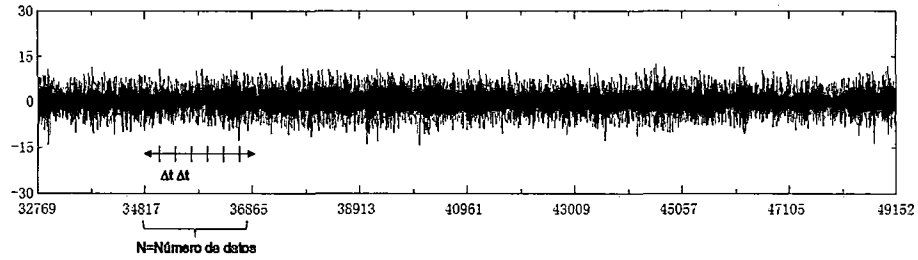


Figura 5.3: Tiempo historia del registro de microtrepidaciones.

Paso 2: Selección de señales útiles. Durante la adquisición de datos es posible que se registren ruidos ambientales producto de agentes externos como carros, viento, personas, etc, los cuales se tendrán que filtrar. Para obviar esto se hizo una selección de la parte útil de los registros, excluyendo los picos de amplitudes anómalos. De esta manera de un registro (10 minutos de duración en promedio) se seleccionaron varias señales, tal como se muestra en la Figura 5.4.

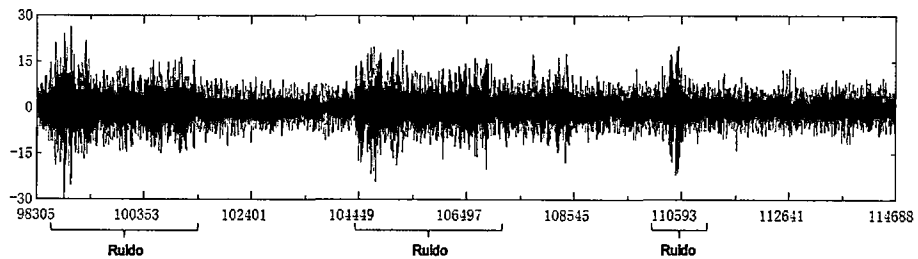


Figura 5.4: Ruido presente en el segmento de onda.

Paso 3: Cálculo de la relación H/V. El promedio de los espectros horizontales se dividió entre el espectro vertical para obtener la relación espectral H/V, tal como se muestra en la Figura 5.5.

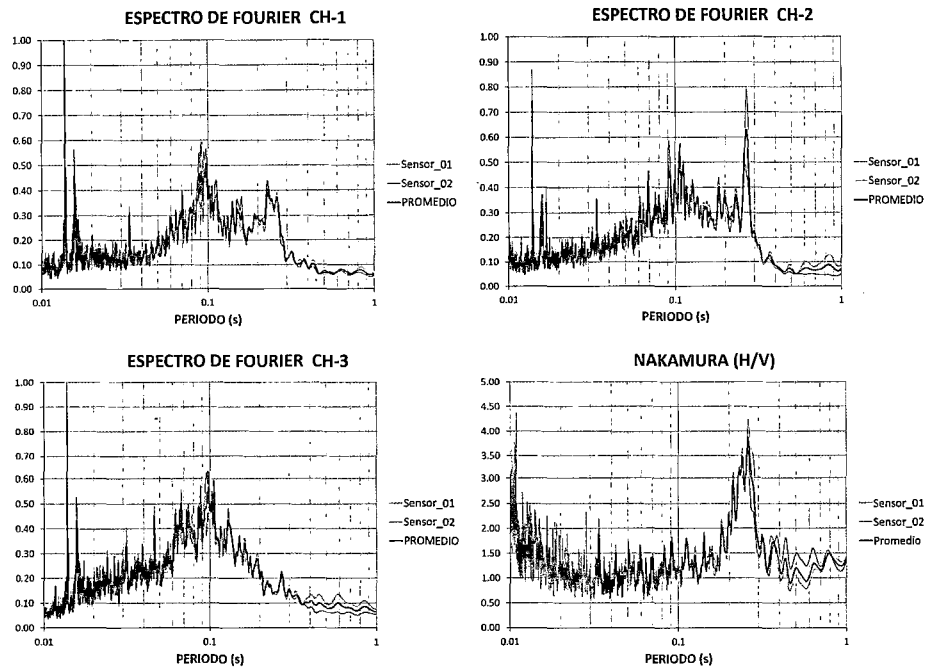


Figura 5.5: Cocientes Espectrales.

El procedimiento para obtener la relación espectral H/V se ilustra en la Figura 5.6.

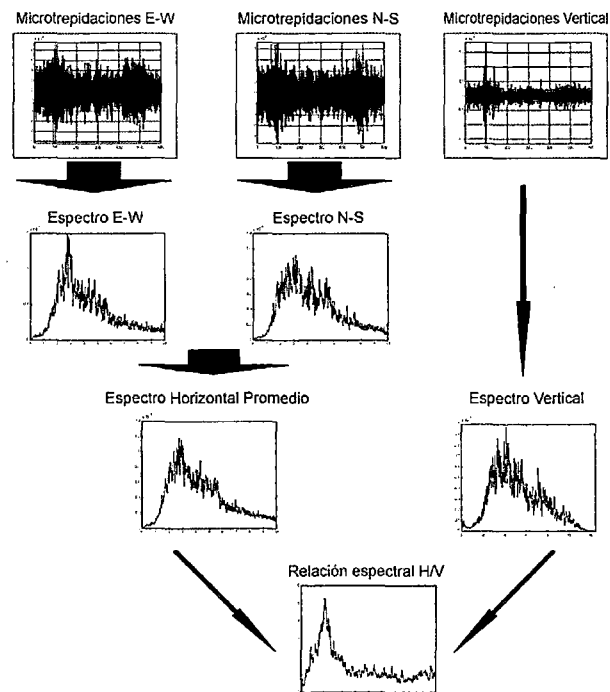


Figura 5.6: Procedimiento para obtener la relación espectral H/V (Rosales, 2001).

5.2.5. Resultados de la Medición

En la presente investigación se ha realizado la medición de microtemores en veintidós (22) puntos distribuidos en toda el área del distrito de Independencia (Como se puede observar en las fotografías del Anexo VI), formando una malla de 1 a 1.5 km de separación entre puntos. La distribución de los puntos de medición se pueden observar en el Plano P-10.

Mediante el análisis de los espectros H/V se han determinado los periodos naturales de vibración, los cuales varían de 0.08s a 0.38s (Ver los registros de ondas y los espectros H/V en el Anexo III).

Los resultados obtenidos muestran una buena correspondencia con mediciones realizadas anteriormente [6]. Así, la zona oeste es la que presenta mayores periodos de vibración y en general, los valores de los periodos de vibración encontrados en el distrito de Independencia reflejan la existencia de un suelo rígido en la mayor parte del área de estudio y en las zonas que corresponden a las laderas y cerros predomina la roca fracturada a roca sana.

5.3. Determinación de los Perfiles Sísmicos

5.3.1. Teoría de Ondas

Las ondas sísmicas son vibraciones que viajan a través de la Tierra, originadas súbitamente por el fracturamiento del material rocoso en el interior de esta, debido a diversas fuentes.

Hay dos tipos de ondas sísmicas: las ondas internas (o de cuerpo) las cuales viajan por el interior de la Tierra y las ondas superficiales que viajan por la superficie.

1. Ondas internas o de cuerpo

Las ondas internas viajan a través del interior de la Tierra y siguen caminos curvos debido a la variada densidad y composición del interior de la Tierra, este efecto es similar al de refracción de ondas de luz. Las ondas internas transmiten los temblores preliminares de un terremoto pero poseen poco poder destructivo; las ondas internas se clasifican en dos grupos: ondas primarias (P) y secundarias (S).

■ Ondas P

Son conocidas también como ondas primarias, compresionales o longitudinales, lo cual significa que el suelo es alternadamente comprimido y dilatado en la dirección de la propagación de la onda. Estas ondas generalmente viajan a una velocidad 1.73 veces de las ondas S y pueden viajar a través de cualquier tipo de material. Las velocidades típicas son 330 m/s en el aire, 1450 m/s en el agua y cerca de 5000 m/s en el granito.

■ Ondas S

Son conocidas también como ondas secundarias, de cizalla, transversales o de corte, lo cual significa que el suelo es desplazado perpendicularmente a la dirección de propagación, alternadamente hacia un lado y hacia el otro. Las ondas S pueden viajar únicamente a través de sólidos debido a que los líquidos no pueden soportar esfuerzos de corte; su velocidad es aproximadamente el 58 % de una onda P para cualquier material sólido, usualmente la onda S tiene una mayor amplitud y se siente más fuerte que la onda P.

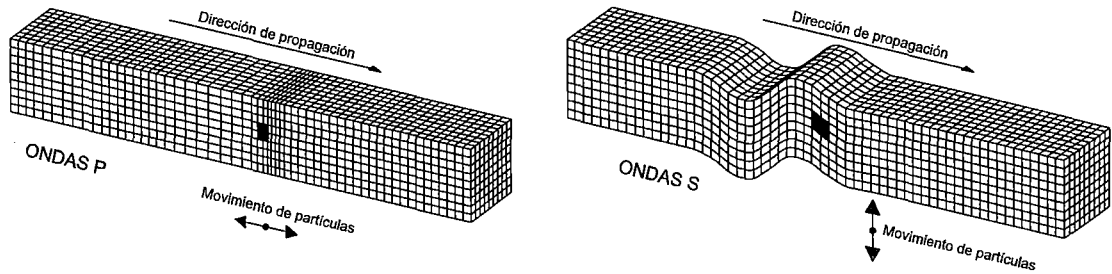


Figura 5.7: Ondas internas o de cuerpo: Ondas P y Ondas S (Kramer, 1996).

2. Ondas superficiales

Las ondas superficiales viajan sobre la superficie de la Tierra y se desplazan a menor velocidad que las ondas de cuerpo. Cuando las ondas internas llegan a la superficie, se generan las ondas L (love), que se propagan por la superficie de discontinuidad de la interfase de la superficie terrestre (tierra-aire y tierra-agua). Estas son las causantes de los daños producidos por los sismos en las construcciones; existen dos tipos de ondas superficiales: ondas Rayleigh y ondas Love.

■ Ondas Rayleigh

Cuando un sólido posee una superficie libre, como la superficie de la tierra, pueden generarse ondas que viajan a lo largo de la superficie. Estas ondas tienen su máxima amplitud en la superficie libre, la cual decrece exponencialmente con la profundidad y son conocidas como ondas Rayleigh. La trayectoria que describen las partículas del medio al propagarse la onda, es elíptica, retrógrada y ocurre en el plano de propagación de la onda; una analogía de estas ondas lo constituyen aquellas que se producen en la superficie del agua.

■ Ondas Love

Estas se generan sólo cuando un medio elástico se encuentra estratificado, situación que se cumple en nuestro planeta pues se encuentra formado por capas de diferentes características físicas y químicas. Las ondas Love se propagan con

un movimiento de las partículas, perpendicular a la dirección de propagación, como las ondas S, sólo que polarizadas en el plano de la superficie de la Tierra, es decir sólo poseen la componente horizontal a superficie. Las ondas Love pueden considerarse como ondas S “atrapadas” en la superficie, al igual que las ondas Rayleigh, la amplitud de las mismas decrece rápidamente con la profundidad; en general su existencia se puede explicar por la presencia del vacío o un medio de menor rigidez, es decir tiende a compensar la energía generando este tipo especial de vibraciones.

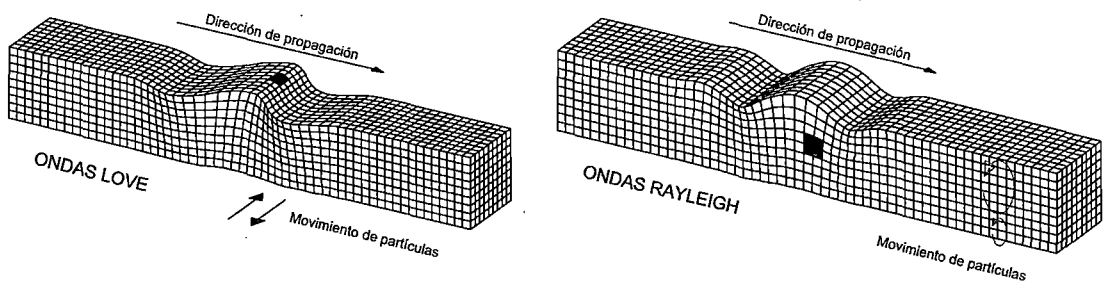


Figura 5.8: Ondas superficiales: Ondas Love y Ondas Rayleigh (Kramer, 1996).

5.3.2. Ensayos de Ondas Superficiales en Arreglos Multicanales (MASW)

El método de Análisis Multicanal de Ondas Superficiales (MASW) ha sido utilizado eficazmente para determinar la velocidad de la onda de corte (V_s) cerca de la superficie.

Este método se basa en la propiedad de dispersión de las ondas superficiales para calcular la velocidad de fase de estas a distintas frecuencias. A través de un proceso de inversión no lineal, se busca un perfil teórico que se ajuste a la curva de dispersión experimental. Una de las ventajas de este método frente a otras técnicas geofísicas tradicionales, es que este permite detectar estratos de suelos más blandos, bajo otros más rígidos.

En este método, la interpretación de los registros consiste en obtener de ellos una curva de dispersión (un trazado de la velocidad de fase de las ondas superficiales versus la frecuencia), filtrándose solamente las ondas superficiales, ya que son estas las que predominan en el grupo de ondas, conservando alrededor del 70 % de la energía del tren de ondas. Además, la velocidad de fase de estas ondas tiene un valor que varía entre el 90 % al 95 % del valor de la velocidad de propagación de las ondas S (V_s). Luego mediante un procedimiento de cálculo inverso iterativo (método de inversión) y a partir de la curva de dispersión calculada se obtiene el perfil sísmico del terreno en función de V_s para cada punto de estudio.

Esta técnica se ha venido utilizando con bastante frecuencia en la exploración geotécnica para la cimentación de puentes, presas de tierra, presas de relaves y pads de lixiviación, obteniéndose buenas correlaciones con los perfiles estratigráficos del suelo en los casos donde se han realizado perforaciones diamantinas, así como con los resultados de los ensayos SPT, por lo que tiene una buena confiabilidad y constituye una alternativa muy económica para la evaluación de los parámetros dinámicos del suelo de fundación.

5.3.3. Descripción del Equipo de Medición

Para realizar los ensayos MASW se contó con un equipo de prospección geofísica McSeis-SW 24ch, desarrollado por la empresa OYO CORPORATION (Ver Figura 5.9), el cual tiene las siguientes características:

- 24 canales de entrada, cada uno tiene un convertidor A/D individual con resolución de 24 bit y alta velocidad de muestreo.
- 24 sensores o geófonos de 4.5 Hz de frecuencia, los cuales permiten registrar las vibraciones ambientales del terreno producidas por fuentes naturales o artificiales y el arribo de las ondas P y ondas S generadas por las fuentes de energía.

- computadora portátil, Lap Top Pentium IV.
- dos cables conectores de geófonos de 200 m.
- radios de comunicación y accesorios varios.

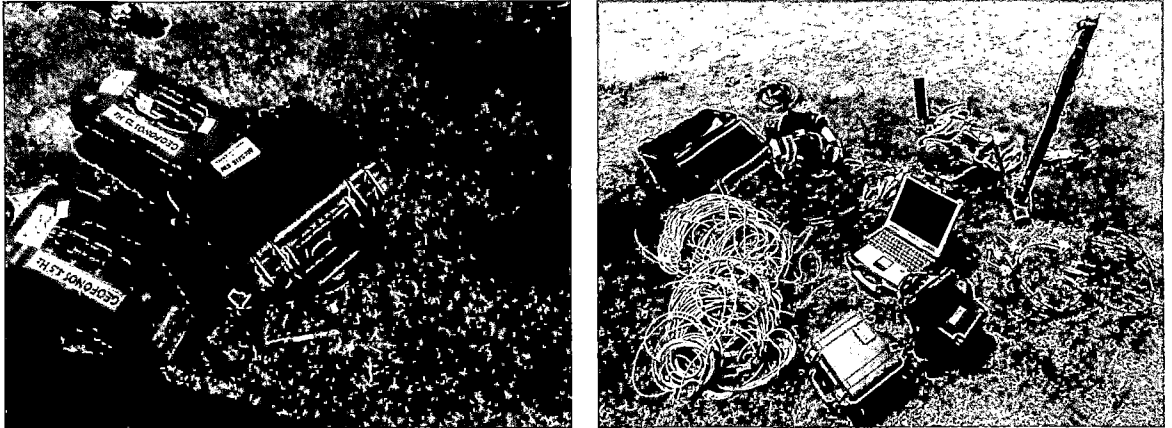


Figura 5.9: Equipo de prospección geofísica McSeis-SW 24ch y cables conectores de geófonos de 200 m (CISMID, 2013).

Los registros de las ondas sísmicas obtenidas en cada una de las líneas de exploración pueden ser procesados en el campo en forma preliminar y en forma definitiva en el gabinete, utilizando para ello programas de cómputo (SeisImager) que permiten obtener las velocidades de propagación de las ondas P y S así como el perfil sísmico del terreno.

5.3.4. Procedimiento del Ensayo en Campo

Con el equipo de adquisición de data geofísica, ya instalado en campo, se empieza a ejecutar la grabación del registro sísmico, para el cual se necesita de una fuente activa (el golpe de un martillo). La línea sísmica está compuesta por 24 geófonos alineados con una distancia constante entre cada geófono y que dependerá de la profundidad de análisis que se espera obtener en el perfil de suelo (Ver Figura 5.10).



Figura 5.10: Realizando el Ensayo MASW en el distrito de Independencia.

El sismógrafo recibe el registro sísmico captado por los geófonos y envía la señal a la computadora portátil para ser registrada en el programa de adquisición de datos geofísicos (SeisImager).

La Figura 5.11 muestra la realización del ensayo y los diversos tipos de fuentes de vibraciones que se propagan a través del suelo.

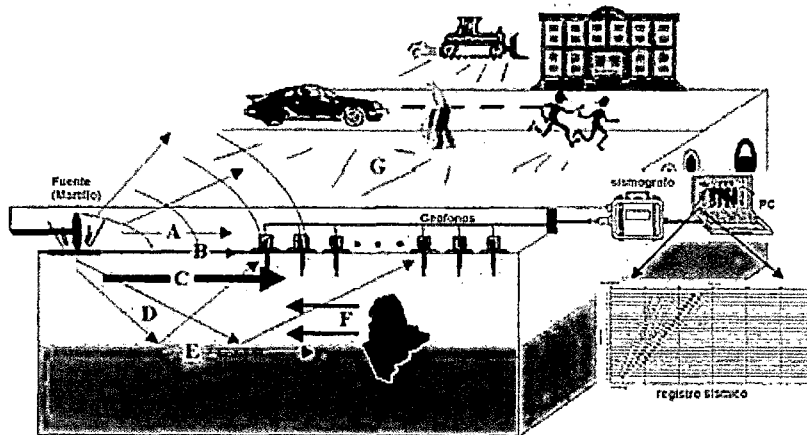


Figura 5.11: Ejecución del MASW. A: Onda Sónica; B: Onda Directa; C: Onda Superficial; D: Reflexión; E: Refracción; F: Retorno de onda superficial dispersada; G: Ruido Ambiental.

5.3.5. Procesamiento del Ensayo MASW

Este método presenta tres etapas principales durante la adquisición de la data y procesamiento para obtener el perfil de suelo, las cuales se describen de la siguiente manera:

Paso 1: Adquisición del registro sísmico

Para obtener un registro eficaz de ondas superficiales respecto a su energía de dispersión, es recomendable ubicar los shots (puntos donde se generan los golpes para producir energía) con las siguientes relaciones:

Shot 1° : $0.1L < n < 0.2L$ de manera análoga para el shot 3°

Shot 2° : $0.3L < n < 0.4L$ de manera análoga para el shot 4°

Donde:

n = distancia entre el shot y el geófono extremo más cercano.

L = longitud de la línea sísmica MASW (medida del 1° geófono hasta el geófono 24°).

Así como se muestra en la Figura 5.12.

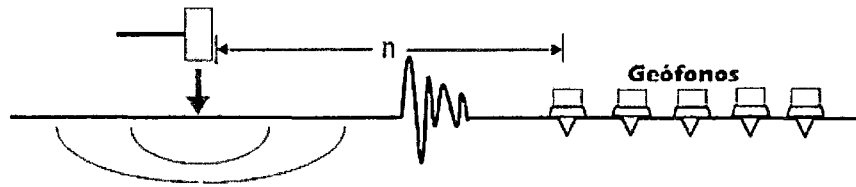


Figura 5.12: Representación gráfica para la ubicación de los shots.

En cada punto de shot, se podrá superponer más de un registro sísmico (esto se realiza en el programa de adquisición de data geofísica, SeisImager), que permitirá una mejor resolución en la señal de las ondas superficiales, reduciendo así la influencia del ruido sísmico, tal como se muestra en la Figura 5.13.

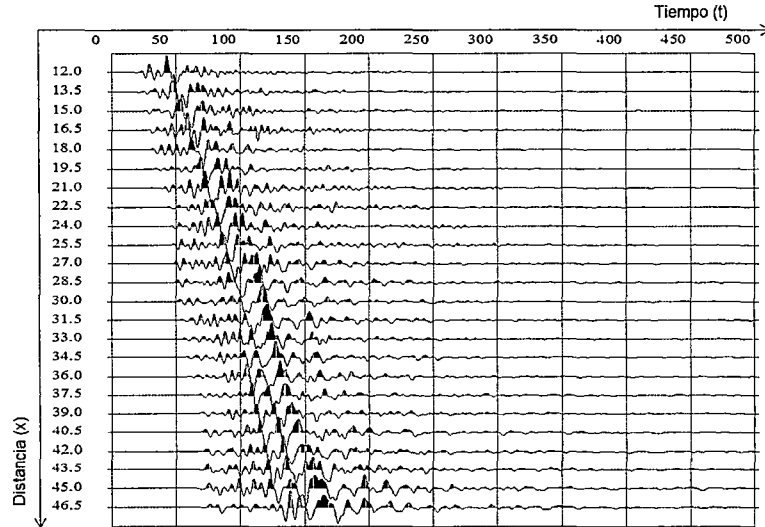


Figura 5.13: Registro de Ondas Sísmicas (CISMID, 2013).

Paso 2: Procesamiento y obtención de la curva de dispersión

La dispersión es un fenómeno físico en el cual las ondas de diferente frecuencia (diferente longitud de onda λ) se propagan a diferentes velocidades, por medio de la siguiente relación:

$$C = \lambda f \quad (5.5)$$

Donde:

C = velocidad de la onda.

λ = longitud de onda.

f = frecuencia.

EL fenómeno de dispersión permitirá que las ondas de alta frecuencia se propaguen en estratos más superficiales y las de bajas frecuencias se propaguen en mayores profundidades (Figura 5.14).

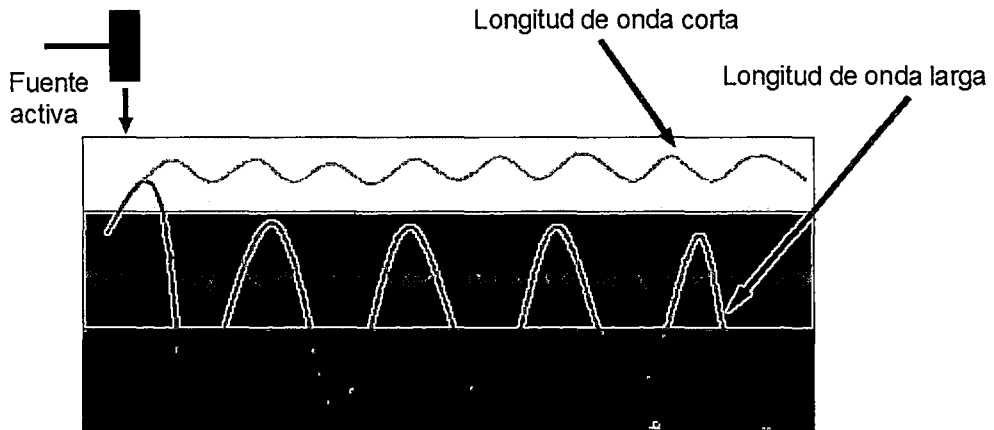


Figura 5.14: Representación gráfica de la dispersión de las ondas superficiales respecto a su propagación en los estratos a diferentes profundidades.

Para obtener la curva de dispersión se debe pasar el registro sísmico tiempo-historia al rango de frecuencias usando la transformada rápida de Fourier (FFT), para luego posteriormente desarrollar la correlación cruzada y diferencia de fase para los diferentes registros sísmicos de cada geófono; obteniendo la curva de dispersión ilustrada en la Figura 5.15.

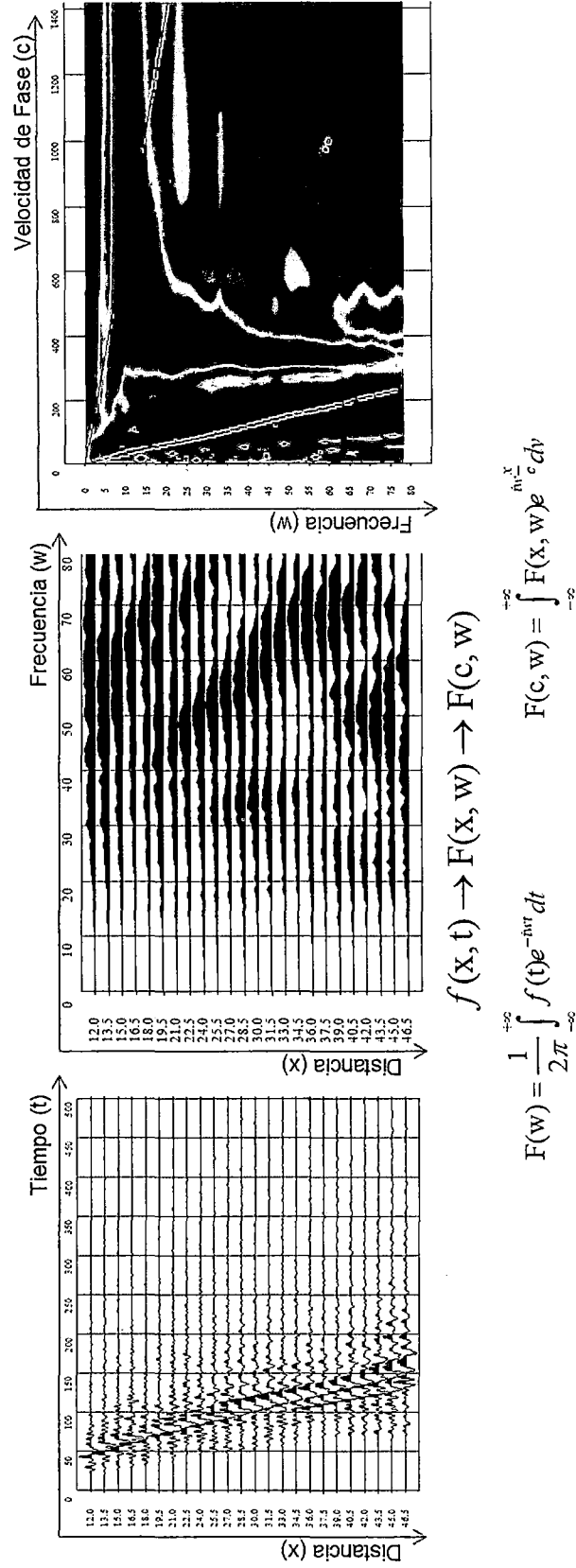


Figura 5.15: Representación del proceso para la obtención de la curva de dispersión.

Se considera que la velocidad de fase de ondas superficiales es de 0.90 a 0.95 veces que la velocidad de la onda de corte.

$$V_R = (0.90 \sim 0.95)V_S \quad (5.6)$$

Donde:

V_R = velocidad de ondas Rayleigh.

V_S = velocidad de ondas de corte.

Paso 3: Procesamiento y obtención del perfil de velocidades de onda de corte

Para obtener el perfil de velocidades de ondas de corte, se desarrolla el proceso de inversión ilustrado en la Figura 5.16, siendo un esquema cíclico de iteraciones durante la comparación de curvas de velocidad de fase teórica y calculada, obteniendo el perfil más estable de acuerdo a la convergencia del resultado de comparación.

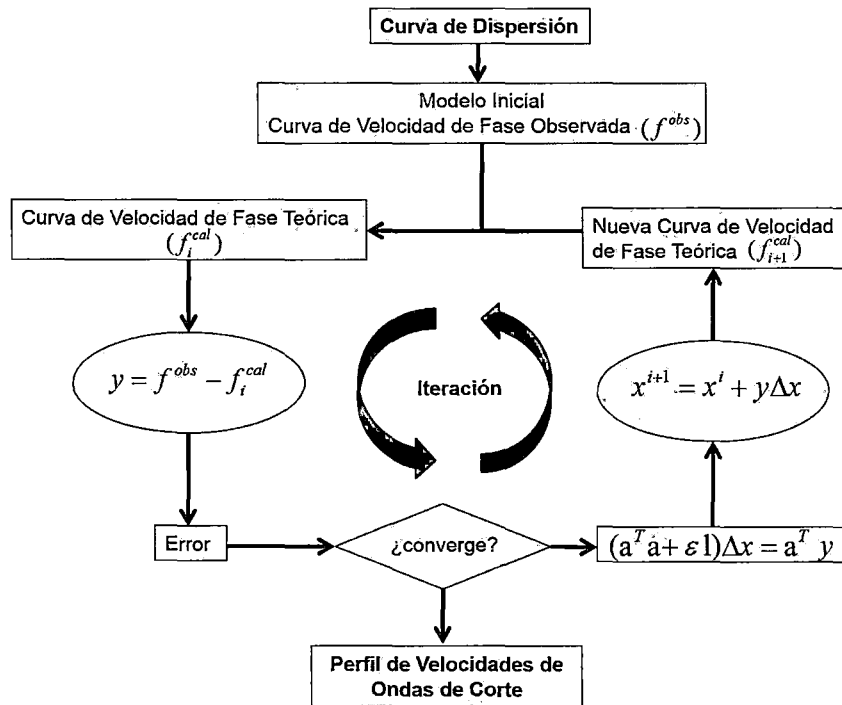


Figura 5.16: Algoritmo del proceso de inversión para la obtención del perfil de velocidades de ondas de corte (V_s).

La curva de dispersión obtenida y el perfil de ondas de corte correspondiente se muestran en la Figura 5.17.

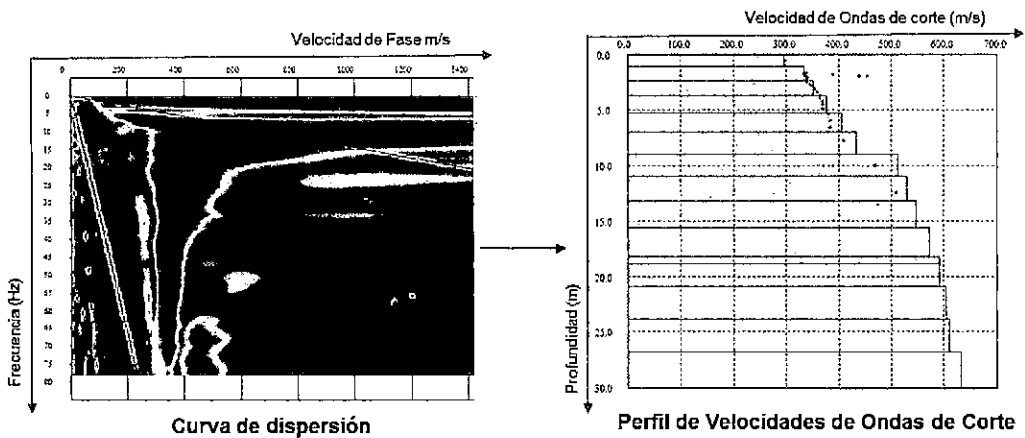


Figura 5.17: Proceso de inversión para la obtención del perfil de velocidades de ondas de corte (V_s).

5.3.6. Resultados de la Medición

En la presente investigación se han realizado cinco (05) ensayos MASW (Ver el Panel fotográfico del Anexo VI), ubicados en todo el área de estudio (Ver Plano P-11). Los registros de ondas y curvas de dispersión se muestran en el Anexo IV, mientras que los perfiles de velocidades de ondas de corte se encuentran en el Anexo V.

El perfil hallado con el arreglo MASW01, ubicado en la zona sur-este del distrito de Independencia, muestra la existencia de un material aluvial medianamente denso hasta los 3.0 m de profundidad, subyaciendo a este estrato se encuentra un material aluvial compacto, y a partir de los 22.0 m se tiene una velocidad mayor a los 750 m/s la cual se asocia a un material de roca alterada llegando hasta la profundidad máxima explorada de 25.0 m.

El perfil MASW02, ubicado en la zona oeste del distrito presenta un material aluvial medianamente compacto en sus primeros 4.0 m, seguido por un material aluvial compacto

que aumenta su velocidad en un ritmo rápido llegando a los 600 m/s en la profundidad máxima explorada de 30.0 m.

El perfil MASW03 muestra un material de relleno en los primeros 4.0 m de exploración, el cual se encuentra sobre un material aluvial compacto que llega a una velocidad de 600 m/s hasta la profundidad máxima explorada de 30.0 m.

Los perfiles MASW04 y MASW05 ubicados en la zona oeste del distrito presentan un material aluvial medianamente denso cuyo espesor varía entre 5.0 m y 13.0 m, seguido de un material aluvial compacto, para el caso del MASW04 llegando a una velocidad de 420 m/s y para el MASW05 a una velocidad de 600 m/s; estos dos ensayos alcanzaron la profundidad de 30.0 m.

Capítulo 6

Microzonificación Geotécnica

Sísmica del Distrito de

Independencia

6.1. Microzonificación Geotécnica

La evaluación geotécnica del distrito de Independencia ha permitido delimitar los diferentes tipos de materiales con características geotécnicas similares, estos representan los tipos de suelos a 1.0 m y 2.5 m de profundidad, cuyos resultados se presentan en los Planos P-08 y P-09 respectivamente. A partir de esta delimitación, se ha procedido a agrupar los diferentes tipos de materiales según sus características geotécnicas. El propósito de esta agrupación ha sido definir una Microzonificación Geotécnica el cual permita identificar zonas favorables y desfavorables para viviendas existentes y proyectadas del tipo convencional.

Esta microzonificación incluyó para cada zona, la estimación de la capacidad de carga admisible que tendría la cimentación de una edificación convencional (cimiento corrido de

0.60 m de ancho y la profundidad mínima de cimentación de 0.80 m, en el caso de suelos, y 0.40 m, en el caso de rocas). El criterio de diseño de una cimentación considera que para garantizar el comportamiento satisfactorio de las estructuras, se deben cumplir las dos condiciones siguientes:

- La cimentación debe ser segura contra la falla de corte del suelo que la soporta.
- Los asentamientos producidos por la carga transmitida por la cimentación, deben ser iguales o menores que los permisibles para cada tipo de edificación.

Para tal fin, en la presente investigación se ha utilizado la teoría de capacidad de carga de Terzaghi, utilizando los factores de capacidad de carga propuestos por Vesic (1973).

El Plano P-12 presenta la microzonificación geotécnica realizada para el distrito de Independencia. Es necesario indicar que en la presente investigación no se ha encontrado material del suelo que corresponda a una caracterización de Zona III (Suelos flexibles según la Norma Técnica E.030 de Diseño Sismorresistente), por ello este tipo de zona no existe en este plano. En consecuencia, se ha dividido el área de estudio en cuatro zonas, los cuales se describen a continuación:

Zona I

Esta zona incluye a las formaciones rocosas que se encuentran en los cerros y a los depósitos de gravas, que se registran en gran parte del distrito de Independencia. Los tipos de materiales descritos en esta zona presentan las mejores características geotécnicas para la cimentación de edificaciones. La capacidad de carga admisible en esta zona, para una cimentación corrida de 0.60 m de ancho, varía entre 2.0 y 4.0 kg/cm^2 , teniendo en consideración la profundidad mínima de cimentación sobre la grava de 0.8 m; y mayor a 5.0 kg/cm^2 , sobre la roca ligeramente alterada o sana a una profundidad mínima de 0.4 m. Se considera que la cimentación debe estar asentada sobre terreno natural y bajo ninguna circunstancia sobre materiales de rellenos.

Zona II

Esta zona se encuentra en el sector noroeste del distrito de Independencia, e incluye predominantemente a los depósitos de arenas de compacidad media a densa, de espesores mayores a 3.0 m, y escasamente a los depósitos de limos y arcillas de consistencia media, de poco espesor. Los tipos de suelo descritos en esta zona presentan características geotécnicas favorables para la cimentación de edificaciones. La capacidad de carga admisible en esta zona, para una cimentación corrida de 0.60 m de ancho y a una profundidad mínima de 0.80 m, varía entre 1.0 y 3.0 kg/cm^2 , si se va a cimentar sobre la arena; y entre 0.7 y 1.0 kg/cm^2 , si es sobre los limos o las arcillas. Se considera que la cimentación debe estar asentada sobre terreno natural y bajo ninguna circunstancia sobre materiales de rellenos.

Zona IV

Se muestran las zonas topográficas que presentan fuerte pendiente, propensa a sufrir fenómenos de geodinámica externa del tipo caída de bloques de roca tal como se indica en el Capítulo 2 (Características Geológicas).

Zona V

Esta zona incluye a los rellenos antrópicos, identificados en sectores específicos del área urbana del distrito de Independencia. Dadas las características desfavorables de los materiales de rellenos, se considera que estos sectores, actualmente no son aptos para la construcción de edificaciones. Los rellenos podrían ser reemplazados por material competente, esto podrá ser posible siempre y cuando se ejecuten estudios específicos de mecánica de suelos, que respalden técnicamente esta decisión.

6.2. Zonas de Isoperiodos

La presente investigación consistió en la determinación de las características dinámicas de vibración del suelo en el ámbito del distrito de Independencia. Estas características están definidas por parámetros dinámicos tales como el periodo natural de vibración y la velocidad de ondas de corte. Los periodos naturales de vibración han sido hallados mediante la medición de puntos de microtemores distribuidos en toda el área del distrito. Por otro lado, se han ejecutado perfiles sísmicos obtenidos mediante el ensayo geofísico MASW. La evaluación dinámica del área en estudio ha permitido delimitar las diferentes zonas de periodos de vibración del suelo, cuyo resultado se presenta en el Plano P-13. A continuación se describe las cuatro zonas consideradas:

La Zona I

Se muestra en color verde oscuro y abarca todas las laderas de los cerros del distrito de Independencia, que de acuerdo a los resultados de la exploración geotécnica se encontró materiales de roca con grava superficial. Los períodos de vibración de esta zona son menores a 0.1 s, lo cual se asocia a un depósito de suelo de poco espesor que subyace a un material rígido, como es la roca.

La Zona II

Se muestra en color verde medio y abarca el borde de las zonas aledañas a las laderas de los cerros. En esta zona, los periodos de vibración varían entre 0.1 y 0.2 s, y las características dinámicas de vibración de esta zona corresponden a un suelo rígido.

La Zona III

Se muestra en color verde bajo y se concentra a lo largo de la parte central del distrito de Independencia. En esta zona, los periodos de vibración varían entre 0.2 y 0.3 s; las características dinámicas de vibración de esta zona corresponden a un suelo medianamente rígido.

La Zona IV

Se muestra en color amarillo y se concentra en un sector reducido de la zona oeste (zonas industriales y comerciales). En esta zona, los periodos de vibración varían entre 0.3 y 0.4 s. Las características dinámicas de vibración de esta zona corresponden a un suelo medianamente flexible.

6.3. Microzonificación Geotécnica Sísmica del Distrito de Independencia

Para determinar el comportamiento de un suelo ante la ocurrencia de un sismo, se tienen que tomar en cuenta las características mecánicas y dinámicas que presentan los diferentes materiales del terreno. Estas características han sido determinadas para el distrito de Independencia y representadas en los planos de Microzonificación Geotécnica (Plano P-12) y de Zonas de Isoperiodos (Plano P-13). Los resultados de estos estudios son superpuestos en la superficie del área de estudio, permitiendo identificar cuatro zonas en el plano de Microzonificación Sísmica (Plano P-14), es necesario indicar que en el distrito de Independencia no se ha encontrado material de suelo correspondiente a una caracterización de Zona III (suelos flexibles según la Norma Técnica E.030 de Diseño Sismorresistente), por ello este tipo de zona no existe en este plano. A continuación se describen estas zonas:

Zona I

Esta zona abarca la falda de los cerros donde se aprecia la roca en superficie y disminuye conforme se avanza hacia al oeste donde aparece la grava superficial. El tipo de suelo descrito en esta zona, presenta las mejores características geotécnicas para la cimentación de edificaciones.

La capacidad de carga admisible en esta zona para una cimentación corrida de 0.60 m de ancho, cimentada en una profundidad mínima de 0.80 m, varía entre 2.0 kg/cm^2 y 4

kg/cm^2 . Se considera que la cimentación debe estar asentada sobre terreno natural y bajo ninguna circunstancia sobre materiales de rellenos.

Los resultados de las mediciones de microtemores muestran que los periodos de vibración fundamental en esta zona se encuentran entre 0.10 s y 0.20 s. En consecuencia, este suelo tiene un comportamiento dinámico correspondiente a un suelo rígido, equivalente a un suelo de tipo *S1* (Roca o suelos muy rígidos) de la Norma E.030 de diseño sismorresistente.

Zona II

Esta zona incluye depósitos de arenas de compacidad media a densa de mayor espesor a 1.50 m, sobre grava densa, y se ubica al oeste del distrito de Independencia, limitando con el distrito de los Olivos. El tipo de suelo descrito en esta zona presenta características geotécnicas favorables para la cimentación de edificaciones.

La capacidad de carga admisible en esta zona, para una cimentación corrida de 0.60 m de ancho y a una profundidad mínima de 0.80 m, varía entre 1.0 y 3.0 kg/cm^2 , si se cimenta sobre la arena; y entre 0.7 y 1.0 kg/cm^2 , si es sobre los limos o las arcillas. Se considera que la cimentación debe estar asentada sobre terreno natural y bajo ninguna circunstancia sobre materiales de rellenos.

Los resultados de las mediciones de microtemores muestran que los periodos de vibración fundamental en esta zona se encuentran entre 0.20 s y 0.40 s. En consecuencia, este suelo tiene un comportamiento dinámico correspondiente a un suelo medianamente rígido a medianamente flexible, equivalente a un suelo de tipo *S2* (Suelos Intermedios) de la Norma E-030 de diseño sismorresistente.

Zona IV

Esta zona se describe como potencial de peligro de deslizamiento de detritos y lodos, derrumbes y caída de bloques de roca, reactivación de materiales de deslizamiento y/o huaycos antiguos. Esta zona se ubica en la parte superior de las faldas de los cerros.

Los resultados de las mediciones de microtemores muestran que los periodos de vibración fundamental en esta zona son menores a 0.1 s, pero sin embargo presentan altos peligros naturales y geológicos.

Zona V

Esta zona incluye los escombros y rellenos antrópicos, identificados en zonas puntuales del distrito de Independencia; dadas las características desfavorables de estos materiales, se considera que estas zonas, actualmente no son aptas para la construcción de edificaciones.

Los escombros y rellenos podrían ser reemplazados por material competente, para ser usados como áreas de habitación urbana, esto sería posible siempre y cuando se ejecuten estudios específicos de mecánica de suelos que respalden técnicamente esta decisión.

De acuerdo a la Norma E.050 de Suelos y Cimentaciones, no está permitido cimentar sobre un relleno heterogéneo, por lo cual en lugares como este no es posible estimar la capacidad de carga para cimentaciones. Así mismo estos materiales presentan una mala respuesta frente a un evento sísmico, por lo cual se ha demostrado en la experiencia que edificaciones cimentadas sobre este tipo de suelo sufren grandes asentamientos y daño severo, por lo que se recomienda su remoción total en caso que estas áreas sean utilizadas con fines de urbanos.

Se debe mencionar que los resultados obtenidos en la Microzonificación Sísmica no deben ser utilizados para fines de diseño y/o construcción de algún tipo de edificación en algún punto específico de la zona de estudio. Estos resultados no reemplazan a los estudios que deben ejecutarse siguiendo los procedimientos exigidos en la Norma Técnica E.030 de Diseño Sismorresistente y la Norma Técnica de Edificación E.050 de Suelos y Cimentaciones, que son de cumplimiento obligatorio y se encuentran vigente a la fecha.

6.4. Aceleraciones Máximas Esperadas del Suelo

Una vez determinado el mapa de Microzonificación Sísmica en el distrito de Independencia, es necesario caracterizar las zonas identificadas de manera cuantitativa, estimando el valor de aceleración horizontal máxima esperada para el suelo (Ver Plano P-15); para ello se usó como dato de entrada el resultado de la aceleración esperada para el terreno firme del estudio de peligro sísmico, el cual corresponde a un suelo “Tipo C” según el International Building Code (IBC), es decir el valor de aceleración horizontal máxima de diseño PGA de 0.45 g. Los valores de aceleración máxima proyectados para las diferentes zonas mostradas en el mapa de Microzonificación Sísmica (Ver Plano P-14), se obtuvieron multiplicando los parámetros del suelo propuestos en la Norma E.030 Diseño Sismorresistente, por la aceleración máxima PGA de 0.45 g, de la siguiente manera:

Cuadro 6.1: Valores de aceleración máxima obtenidas (CISMID, 2013).

Zona	Factor	Aceleración Máxima (cm/s^2)
I	1.0	439.080
II	1.2	526.896
IV	1.4	614.712

Los valores obtenidos para cada zona son mostrados en el Plano P-15.

6.5. Velocidades Máximas Esperadas del Suelo

Es necesario determinar los valores de velocidad máxima del suelo, que pueden presentarse en el distrito de Independencia, con la finalidad de poder estimar el riesgo al que se encuentra expuesto el sistema de tuberías de la red de saneamiento.

Para la elaboración del mapa de velocidades máximas se utilizó la relación matemática presentada en el artículo técnico realizado por Ordaz [1]. La relación es la siguiente:

$$\ln V_{max} = -1.8349 + 1.1146 \ln A_{max} + 0.4043 \ln T_s \quad (6.1)$$

Donde:

V_{max} = velocidad máxima esperada del suelo.

A_{max} = aceleración máxima esperada del suelo.

T_s = periodo de oscilación del suelo para sismos de tipo subducción.

Entonces para determinar el mapa de velocidades máximas esperadas del suelo (Ver Plano P-16) para el distrito de Independencia, se utilizó como datos de entrada la aceleración máxima del suelo y su periodo de oscilación estimados anteriormente.

6.6. Análisis de Amplificación Sísmica

En el transcurso que se produce un evento sísmico, se libera la energía que se transforma en ondas sísmicas las cuales se propagan hasta el estrato rocoso que está situado a diferentes profundidades dependiendo de la zona en estudio. Mientras la vibración se propaga hacia la superficie, puede ser amplificada, dependiendo de la intensidad de la vibración, la naturaleza de la roca y especialmente por el tipo de suelo y la profundidad de cada estrato. Se sabe que un estrato blando, dependiendo de su profundidad, puede generar una amplificación de la onda sísmica en 1.5 a 6 veces más de la que se da en la roca. Se comprueba que la amplificación es mas pronunciada cuando suceden periodos largos y ocurre lo contrario para periodos cortos, esto es conocido como ***efecto de sitio***.

En la presente investigación se realizó un análisis unidimensional de amplificación sísmica con la finalidad de determinar las demandas sísmicas y el factor de amplificación generado por la acción de una fuente de excitación en un estrato base, bajo el depósito de material presente en el distrito de Independencia.

6.6.1. Efecto de sitio

El efecto de sitio es la transformación que sufren las ondas sísmicas desde la roca base, hasta la superficie, y este es diferente e independiente del efecto de interacción suelo-estructura, ya que se presenta esté o no una edificación.

Las condiciones geológicas y de suelos subyacentes a la superficie del terreno influyen en la respuesta de un lugar dado a un sismo, es por esta razón que los desplazamientos permanentes del terreno originan la deformación de las estructuras que se apoyan en ellos.

La aceleración del terreno tiene relación directa con la intensidad sísmica. El PGA (aceleración máxima del suelo) es variable de un lugar a otro y por medio de ella podríamos identificar la mayor o menor fuerza del movimiento sísmico al observar geográficamente su distribución. La mayoría de las veces, las aceleraciones más grandes suceden cerca del epicentro donde se suelen concentrar los daños, pero diversos factores tales como el tipo de suelo que existe bajo una ciudad o la forma en que la energía sísmica es liberada por una falla, pueden alterar este comportamiento.

6.6.2. Espectros de respuesta

Un espectro es un gráfico de la respuesta máxima (expresada en términos de desplazamiento, velocidad, aceleración, o cualquier otro parámetro de interés) que produce una acción dinámica determinada, en una estructura de un grado de libertad. En los espectros, se representa el periodo propio o frecuencia de la estructura versus la respuesta máxima calculada para uno o varios factores de amortiguamiento.

La Figura 6.1 muestra el método para la determinación del espectro de respuesta.

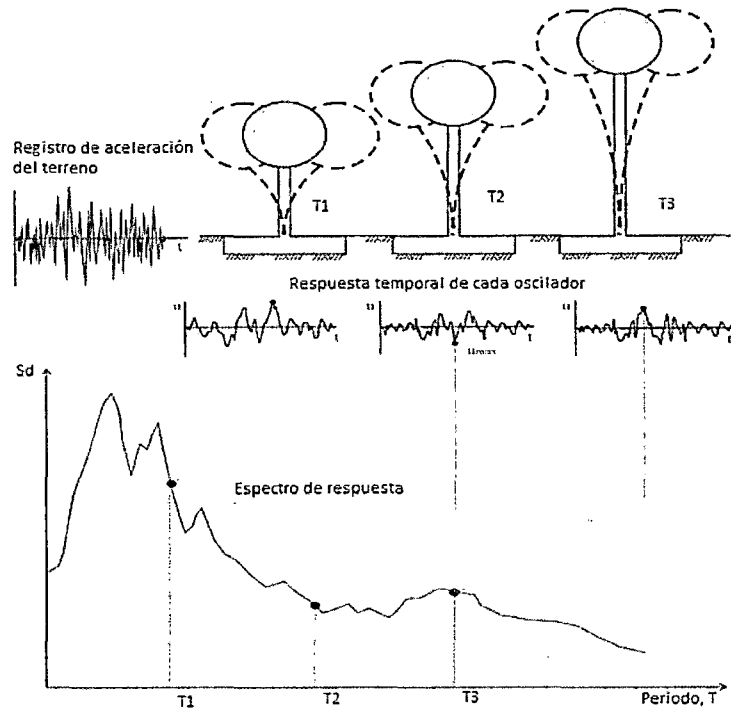


Figura 6.1: Gráfico indicativo del método de determinación del espectro de respuesta (Crisafulli, 2002).

Los espectros en el diseño de estructuras cumplen un papel muy importante en un parámetro clave: **valores de respuesta máxima**, que son los requeridos por el diseñador para el cálculo de las estructuras.

Las variables que pueden influir de manera importante sobre los registros de aceleración y por ende, sobre los espectros de respuesta son diversos, entre los mas importantes se tiene los valores máximos del movimiento del terreno (aceleración, velocidad y desplazamiento), el contenido de frecuencias del terremoto, la duración del evento sísmico, el mecanismo de generación, la magnitud, el tipo de suelo, etc.

Como ya se mencionó una de las variables que mas influyen en el diseño sismorresistente es el tipo de suelo, es decir el efecto de sitio. Los estudios realizados con registros de aceleración, tomados de distintos eventos sísmicos y en diferentes lugares, muestran que

en estratos de suelos blandos puede originarse una amplificación del movimiento con respecto al movimiento medido en la roca o en suelos firmes.

6.6.3. **Análisis Unidimensional**

El análisis unidimensional de respuesta del suelo está basado en la suposición de que el suelo está formado por un sistema de depósitos de estratos aproximadamente horizontales, y que la respuesta del suelo es causado predominantemente por ondas SH propagándose verticalmente desde la roca o suelo firme [18].

Debido a que las velocidades de propagación de ondas en los materiales superficiales son generalmente menores que en los estratos más profundos, las ondas son usualmente reflejadas entre los estratos horizontales a direcciones cada vez más verticales. Bajo estas condiciones los modelos unidimensionales producen respuestas del suelo bastante cercanas con las observadas en mediciones reales.

Este análisis consiste en llevar un registro tiempo historia de aceleraciones el cual es obtenido en afloramiento de roca o suelo firme hacia la base del depósito. En seguida este registro es trasladado a través del depósito de suelo hacia la superficie, para obtener los parámetros del movimiento del suelo, estos valores están en función a los parámetros dinámicos del depósito y las características del registro de entrada.

En la presente investigación se ha definido tres perfiles sísmicos, obtenidos mediante el Análisis Multicanal de Ondas Superficiales (MASW), los cuales son representativos de las zonas I y II de la Microzonificación Geotécnica Sísmica. Los parámetros dinámicos de los perfiles se determinaron del procesamiento de los ensayos geofísicos MASW y Microtremores, realizados en el distrito de Independencia.

La Figura 6.2 muestra el modelo lineal equivalente para el análisis unidimensional.

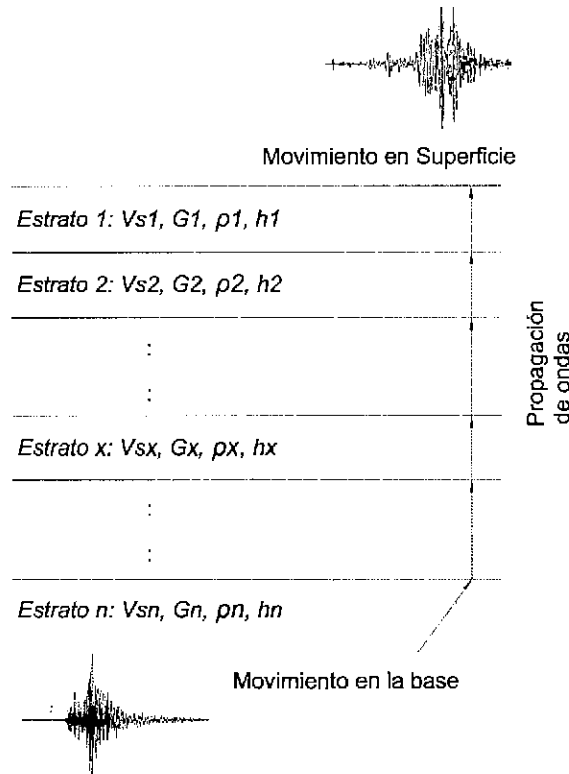


Figura 6.2: Modelo lineal equivalente para el análisis unidimensional (Sifuentes, 2012).

Una vez definidas las señales sísmicas y determinadas las condiciones geotécnicas locales en los distintos modelos del subsuelo, puede estimarse, mediante la propagación de las señales en el estrato rocoso hasta la superficie del terreno las respuestas en superficie de los diferentes escenarios previstos. De acuerdo con esto, cada uno de los modelos planteados se calcula con cada una de las señales de sismos históricos (1974 y 1966). El análisis dinámico del suelo ha sido realizado utilizando el programa *Edushake*, desarrollado por Shnabel (1971), el cual está basado en un modelo lineal equivalente. Es decir se basa en la propagación vertical de ondas de corte en un medio semiinfinito y utiliza un procedimiento iterativo lineal equivalente para las propiedades dinámicas del suelo de tal forma que sean compatibles con el nivel de deformación por cortante impuesto por el sismo.

Se tiene en cuenta las siguientes consideraciones:

- Los estratos considerados para cada modelo son infinitos horizontalmente.

- El registro de aceleración obtenido corresponde a la propagación vertical de la onda sísmica proveniente del basamento rocoso.
- Los diferentes estratos son considerados homogéneos, isotrópicos y visco elásticos caracterizado por su peso unitario, espesor, módulo de corte, velocidad de ondas de corte y factor de amortiguamiento.

6.6.4. Perfiles sísmicos de suelos

Para realizar el análisis de amplificación sísmica se requieren conocer las características dinámicas del suelo, los cuales se desarrollaron en el **Capítulo 5** de la presente investigación.

Las señales son ingresadas en una capa del depósito de suelo, cuyas características geotécnicas y dinámicas con respecto al sitio de registro deben ser similares, teniendo en cuenta esta consideración se utilizaron los perfiles sísmicos de los ensayos MASW realizados en el distrito de Independencia (MASW01, MASW02 y MASW04). La ubicación de estos ensayos se muestra en el Plano P-11 y se pueden observar en el panel fotográfico del Anexo VI.

Para el análisis de amplificación sísmica se consideró la ubicación del sismo de ingreso en las diferentes capas de los perfiles característicos. En el caso del MASW01 se evaluó a partir de la profundidad de 20.0 m, debido a que a esa profundidad se encontró la roca alterada. En el MASW02 y MASW04 el estrato mas rígido se encuentra a los 30.0 m, es allí donde se consideró el sismo de ingreso.

Las características geotécnicas y dinámicas de los 03 perfiles se describen a continuación:

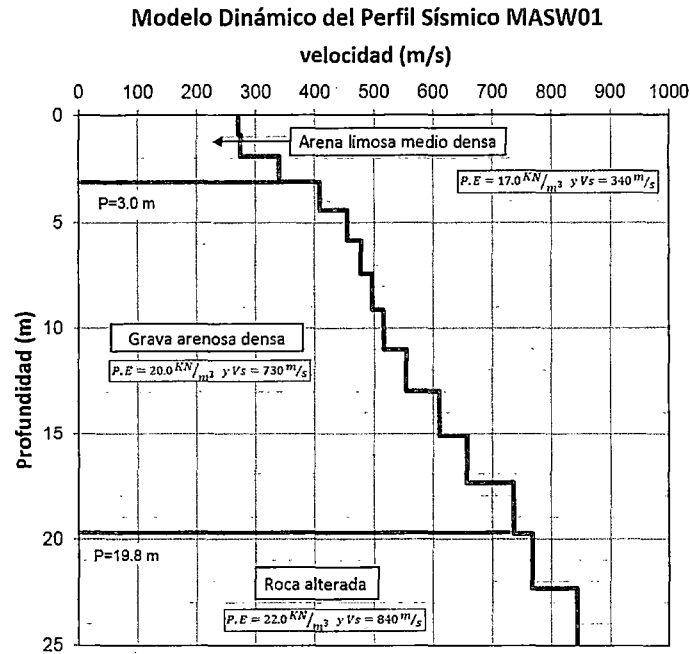


Figura 6.3: Datos utilizados para el modelo dinámico del suelo en el MASW01 (CISMID, 2013).

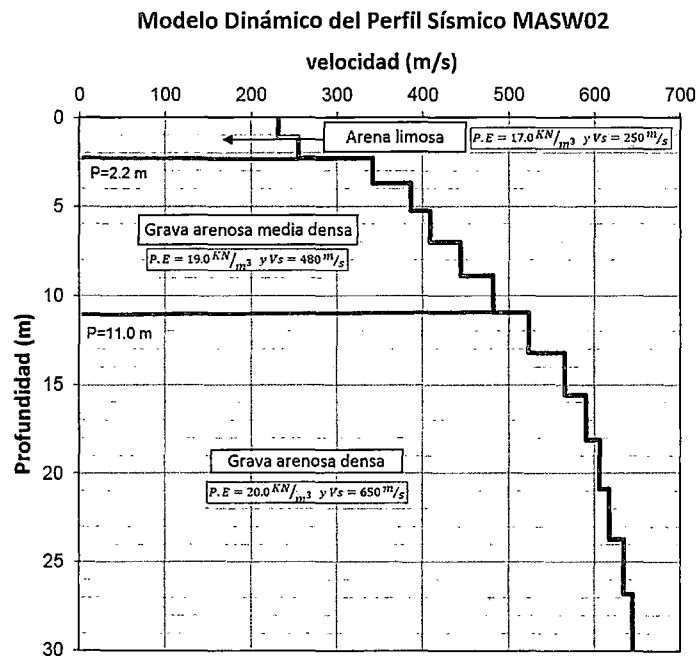


Figura 6.4: Datos utilizados para el modelo dinámico del suelo en el MASW02 (CISMID, 2013).

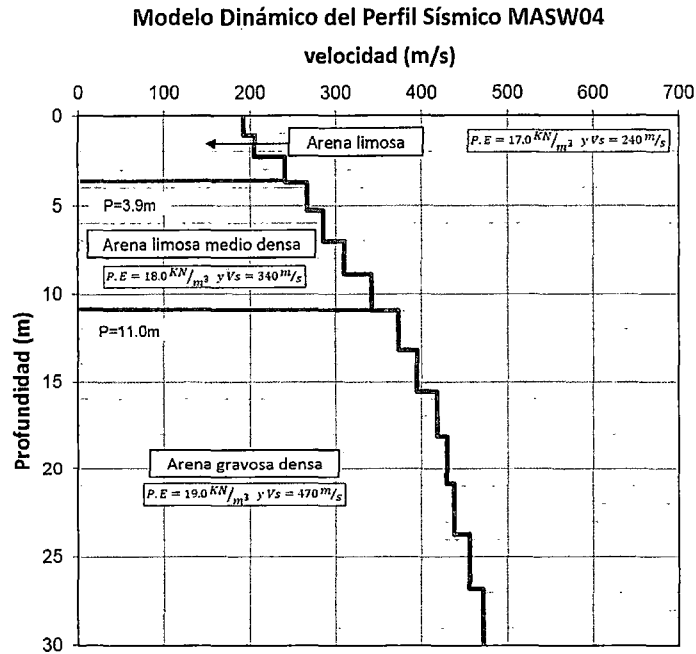


Figura 6.5: Datos utilizados para el modelo dinámico del suelo en el MASW04 (CISMID, 2013).

6.6.5. Sismos de entrada

Como fuente de excitación sísmica del suelo, se utilizaron los acelerogramas de los sismos del 03 de octubre de 1974 y 17 de octubre de 1966. Estas señales fueron registradas en la estación del Parque de la Reserva (Lima), presentando asimismo niveles de aceleraciones máximas de 192.5 y 269.3 gals (cm/s^2) respectivamente, lo cual, para el territorio peruano, representa aceleraciones propias de un sismo de diseño. Igualmente, la estación de registro se encuentra ubicada en suelos conformados por material aluvial, por lo que el contenido de frecuencias de los eventos sísmicos considerados representará de una mejor manera la respuesta de la zona de estudio al presentar características de subsuelo similares.

Como se ha indicado anteriormente, el sismo de entrada fue colocado en el estrato de material compacto (V_s mayores a 450 m/s) ubicado a una profundidad promedio de 25.0 m y escalado a un valor de aceleración de 0.33g (obtenido del Peligro Sísmico), valor de la

aceleración de diseño similar al definido por la Norma E-030 para esta zona sísmica. Con este escalamiento, ha sido posible utilizar las señales sísmicas para representar de forma más específica las características del área de estudio de acuerdo a lo especificado en la Norma de Diseño Sismorresistente.

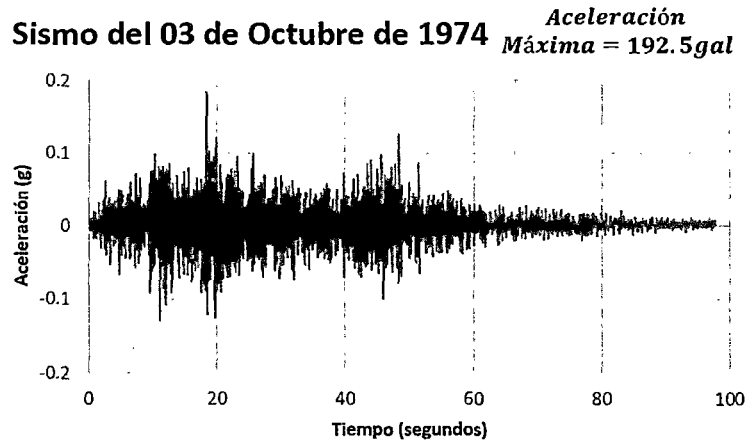


Figura 6.6: Tiempo historia en la base (Componente NS). Terremoto de Lima de 1974. 03 de Octubre de 1974 a las 9:21 de la mañana, en Lima y toda la costa hacia el sur, hasta la ciudad de Pisco (Silgado, 1978).

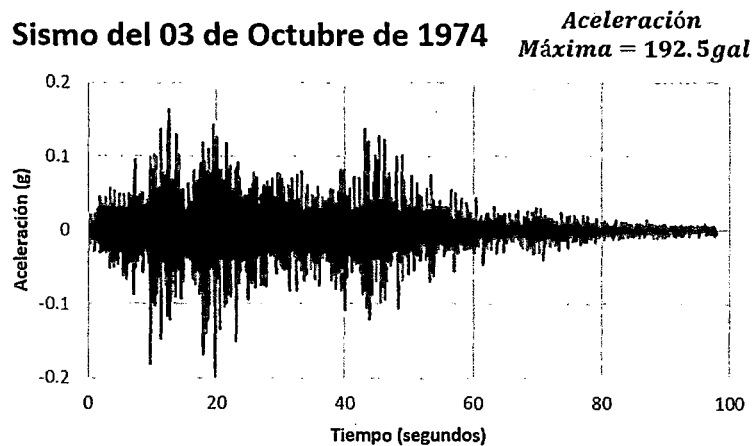


Figura 6.7: Tiempo historia en la base (Componente EW). Terremoto de Lima de 1974. 03 de Octubre de 1974 a las 9:21 de la mañana, en Lima y toda la costa hacia el sur, hasta la ciudad de Pisco (Silgado, 1978).

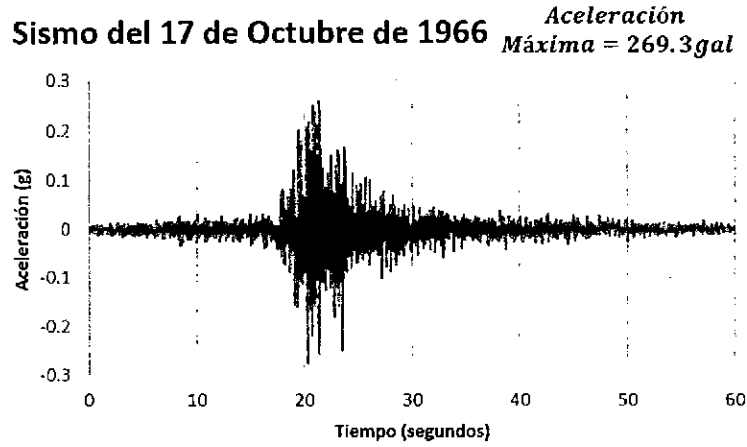


Figura 6.8: Tiempo historia en la base (Componente NS). Terremoto de Lima de 1966. 17 de Octubre de 1966 a las 16:41 horas. Fue uno de los más destructores ocurridos en Lima, su epicentro se ubicó en el mar, frente a Las Salinas de Huacho (provincia de Huaura) (Silgado, 1978).

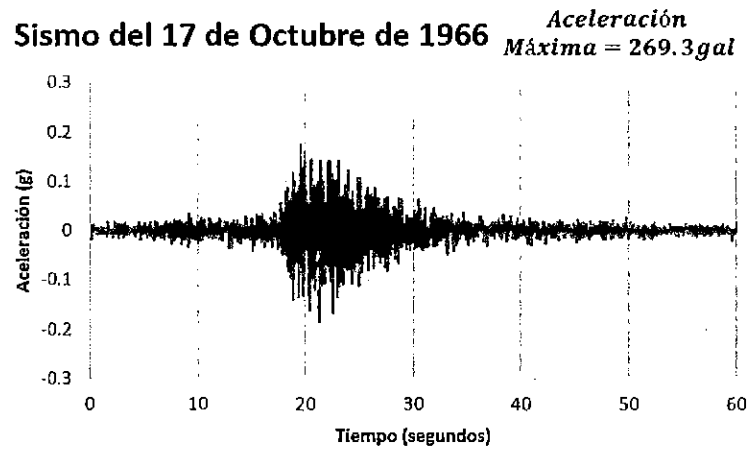


Figura 6.9: Tiempo historia en la base (Componente EW). Terremoto de Lima de 1966. 17 de Octubre de 1966 a las 16:41 horas. Fue uno de los más destructores ocurridos en Lima, su epicentro se ubicó en el mar, frente a Las Salinas de Huacho (provincia de Huaura) (Silgado, 1978).

Los registros sísmicos fueron escalados al valor de aceleración encontrado con la ley de atenuación denominada CISMID, el cual se obtuvo del Análisis de Peligro Sísmico desarrollado en el **Capítulo 3** de la presente investigación.

Las Figuras 6.10 y 6.11 muestran los sismos escalados en superficie.



Figura 6.10: Tiempo historia escalado en la superficie al valor de la aceleración determinado con la ley de atenuación CISMID.

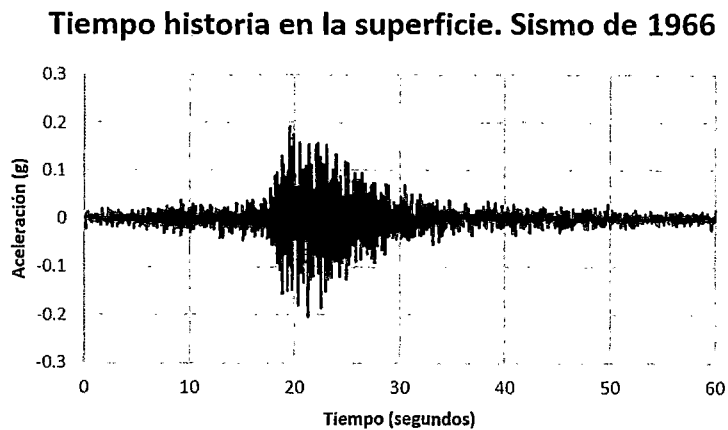


Figura 6.11: Tiempo historia escalado en la superficie al valor de la aceleración determinado con la ley de atenuación CISMID.

La Figura 6.12 muestra los espectros de respuesta de las señales de los registros sísmicos utilizados con el espectro de peligro uniforme.

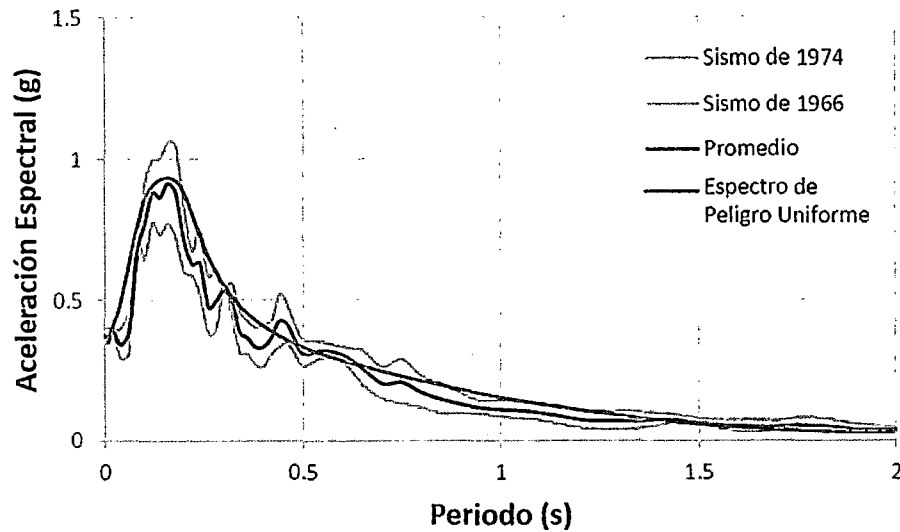


Figura 6.12: Espectros de respuesta escalados y espectro de peligro uniforme

6.6.6. Espectros de Respuesta en Superficie

Una vez definidos los perfiles sísmicos a ser evaluados, se obtuvo los registros tiempo historia de aceleraciones de los terremotos de 1974 y 1966 captados a nivel de superficie en la estación Parque de la Reserva (Lima). Estos sismos de entrada son normalizados de acuerdo a la aceleración sísmica de diseño.

Luego se obtienen los acelerogramas modelados en la superficie, sus respectivos espectros de respuesta y razones de amplificación (definidas como las relaciones espectrales entre el espectro de respuesta en superficie y el espectro de respuesta del sismo normalizado en el estrato firme o denso); resultados que son necesarios para conocer el comportamiento dinámico del suelo.

Las Figuras 6.13, 6.14 y 6.15 muestran los factores de amplificación sísmica del suelo evaluado a través de la función de transferencia hallada con el programa *trans4*, desa-

rrollado por el profesor Toru Sekiguchi de la Universidad de Chiba (Japón) en las que utilizó rutinas desarrolladas por Y. Ohsaki, que utiliza el método de Haskell para calcular funciones de transferencia teóricas bajo un comportamiento lineal del suelo [26].

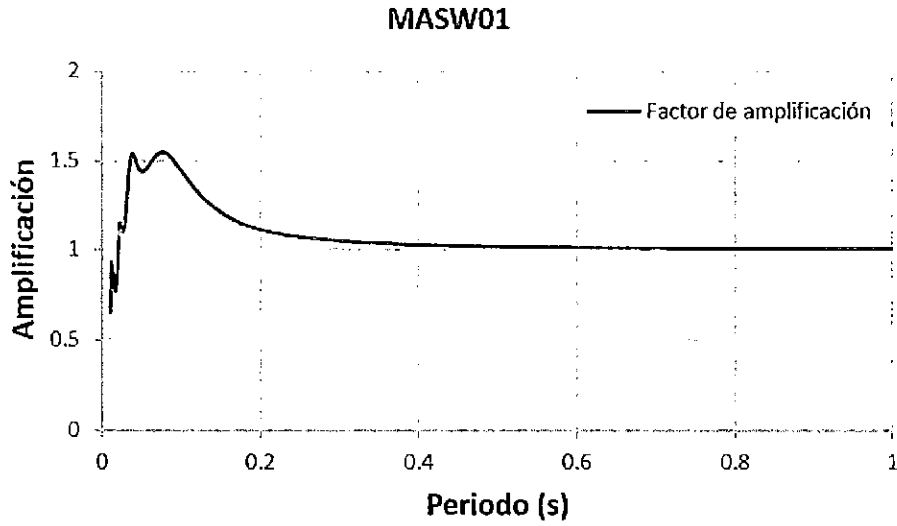


Figura 6.13: Factor de amplificación sísmica del suelo para el MASW01

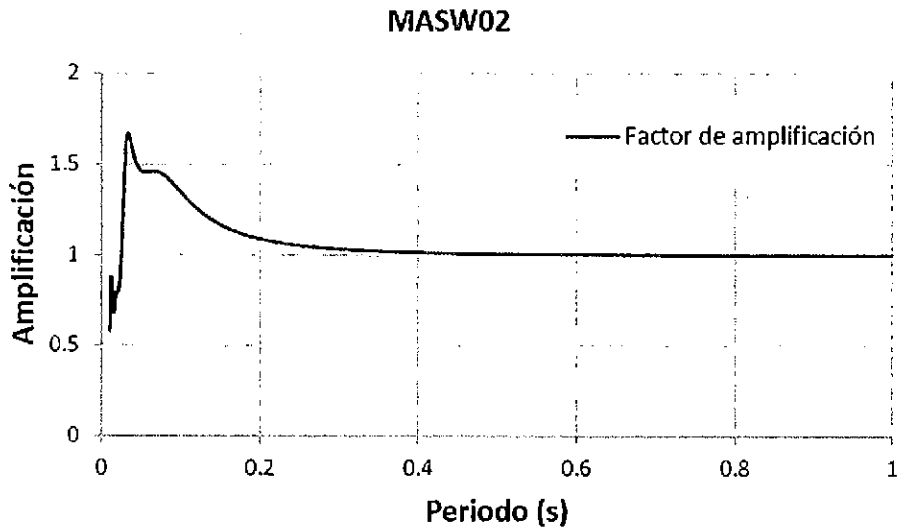


Figura 6.14: Factor de amplificación sísmica del suelo para el MASW02

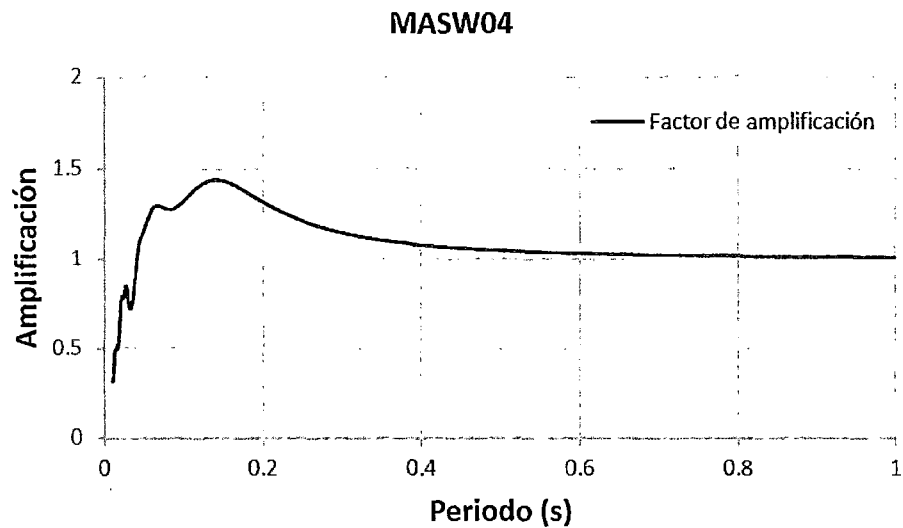


Figura 6.15: Factor de amplificación sísmica del suelo para el MASW04

Las Figuras 6.16, 6.17 y 6.18 muestran los factores de amplificación sísmica de la respuesta estructural, es decir el factor de amplificación sísmica descrito en la Norma de Diseño Sismorresistente E.030.

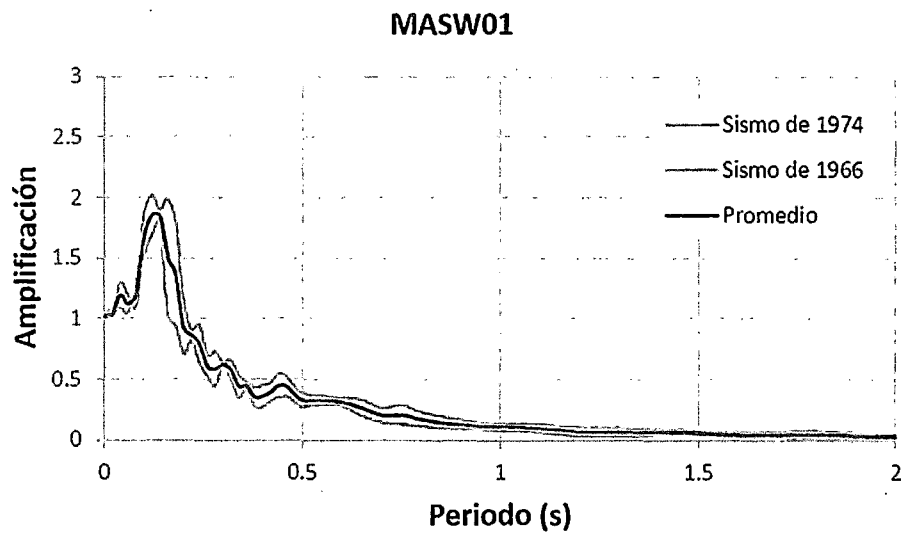


Figura 6.16: Factor de amplificación sísmica de la respuesta estructural para el MASW01

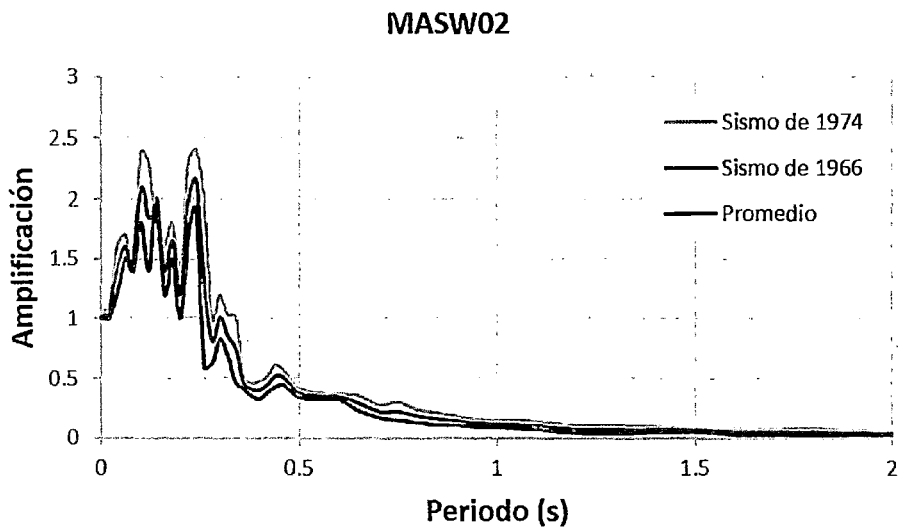


Figura 6.17: Factor de amplificación sísmica de la respuesta estructural para el MASW02

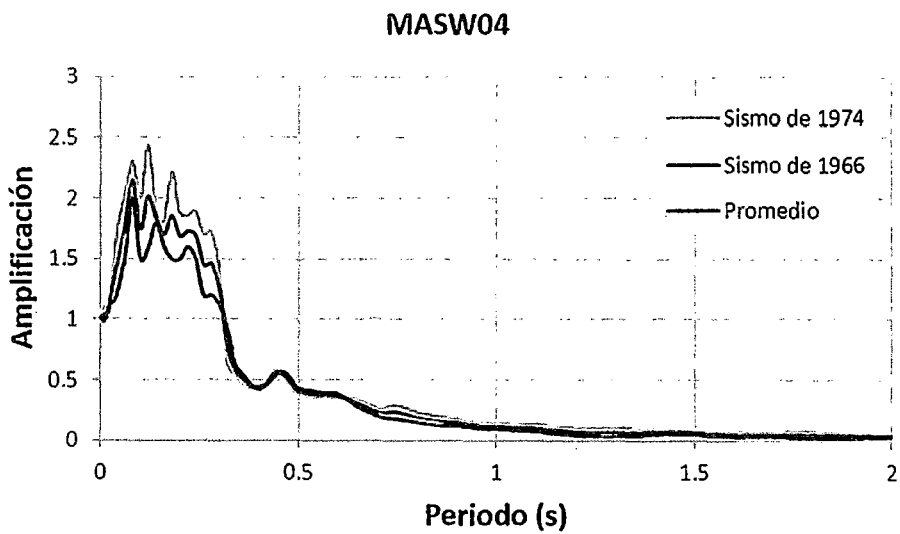


Figura 6.18: Factor de amplificación sísmica de la respuesta estructural para el MASW04

Las Figuras 6.19, 6.20 y 6.21 muestran los espectros de respuesta en superficie hallados en el análisis de amplificación unidimensional.

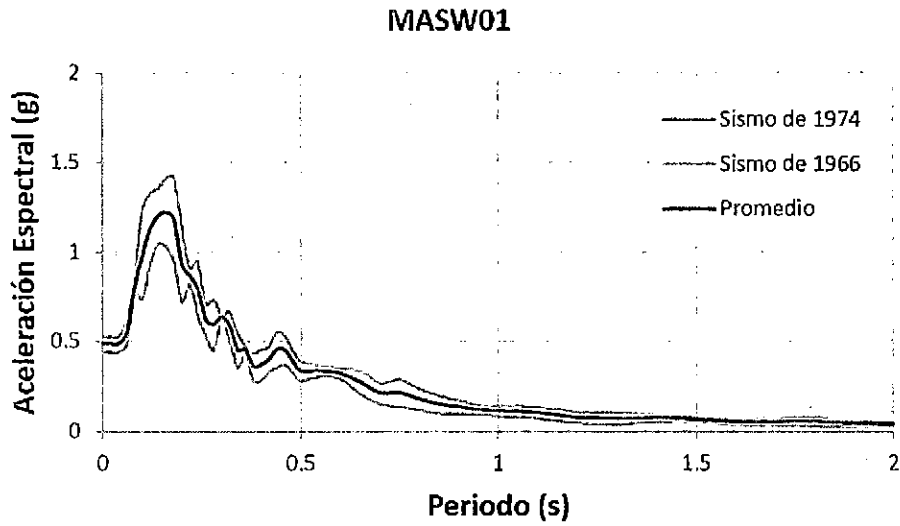


Figura 6.19: Espectros de respuesta en superficie para el MASW01

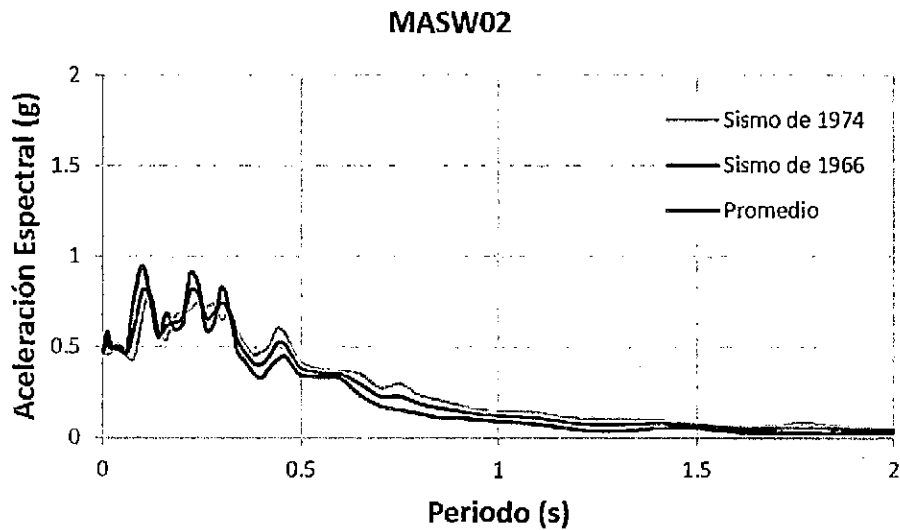


Figura 6.20: Espectros de respuesta en superficie para el MASW02

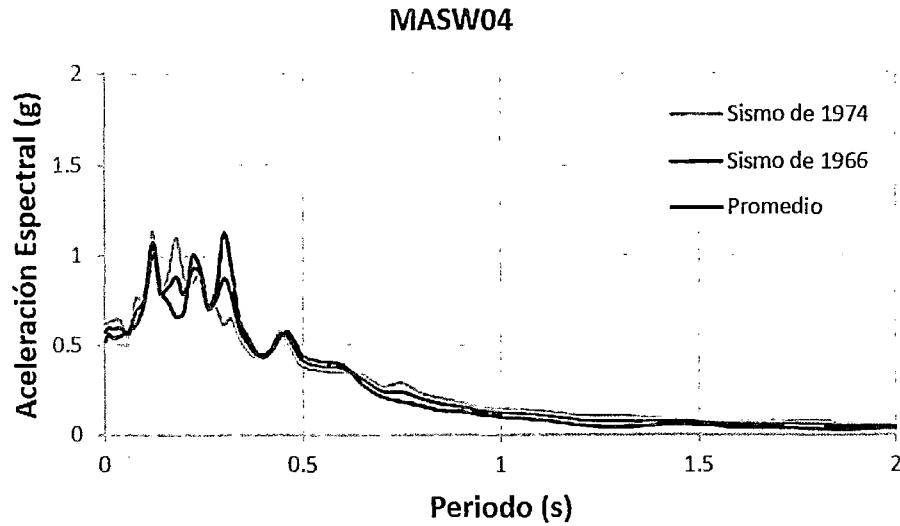


Figura 6.21: Espectros de respuesta en superficie para el MASW04

6.6.7. Análisis y discusión de resultados

En base a los análisis de amplificación sísmica realizados con el modelo unidimensional, se concluye lo siguiente:

El perfil sísmico MASW01 se encuentra ubicado al este del distrito de Independencia, exactamente cerca a las formaciones rocosas (Ver Plano P-11) y pertenece a la Zona I de la Microzonificación Sísmica, a través de los resultados del análisis de amplificación sísmica se puede observar en la Figura 6.13 que el factor de amplificación sísmica del suelo se encuentra entre valores de 1.40 a 1.53 para periodos de 0.05 a 0.10 s. En la Figura 6.16 se observa que el factor de amplificación de la respuesta estructural presenta valores de 1.5 a 2.0 en un intervalo de periodos de 0.10 a 0.17 s. En el espectro de respuesta obtenido en superficie, mostrado en la Figura 6.19, se observa aceleraciones espectrales promedio de $1.1g$ en un intervalo de periodos de 0.08 a 0.21 s. Se observa un PGA (aceleración máxima del suelo) de $0.48g$.

El análisis de amplificación sísmica mediante este perfil (MASW01), comprueba las características geotécnicas de la Zona I (Roca con grava superficial entre 0.0 a 1.0 m.) obtenidas mediante la ejecución de calicatas y taludes, los periodos fundamentales de vibración varían entre 0.1 s y 0.2 s.

El perfil sísmico MASW02 se encuentra ubicado al suroeste del distrito de Independencia, exactamente al límite con el distrito de Los Olivos (Ver Plano P-11) y pertenece a la Zona I de la Microzonificación Sísmica, a través de los resultados del análisis de amplificación sísmica se puede observar en la Figura 6.14 que el factor de amplificación sísmica del suelo presenta un valor promedio de 1.52 para periodos de 0.05 a 0.11 s. En la Figura 6.17 se observa que el factor de amplificación de la respuesta estructural presenta valores de 1.2 a 2.3 en un intervalo de periodos de 0.10 a 0.30 s. En el espectro de respuesta obtenido en superficie, mostrado en la Figura 6.20, se observa aceleraciones espectrales promedio de 0.7g en un intervalo de periodos de 0.10 a 0.36 s. Se observa un PGA (aceleración máxima del suelo) de 0.50g.

El análisis de amplificación sísmica mediante este perfil (MASW02), comprueba las características geotécnicas de la Zona I (Roca con grava superficial entre 0.0 a 1.0 m.) obtenidas mediante la ejecución de calicatas y taludes, los periodos fundamentales de vibración varían entre 0.1 s y 0.2 s.

El perfil sísmico MASW04 se encuentra ubicado al noroeste del distrito de Independencia, (Ver Plano P-11) y pertenece a la Zona II de la Microzonificación Sísmica, a través de los resultados del análisis de amplificación sísmica se puede observar en la Figura 6.15 que el factor de amplificación sísmica del suelo se encuentra entre valores de 1.2 a 1.5 para periodos de 0.12 a 0.21 s. En la Figura 6.18 se observa que el factor de amplificación de la respuesta estructural presenta valores de 1.5 a 2.4 en un intervalo de periodos de 0.10 a 0.30 s. En el espectro de respuesta obtenido en superficie, mostrado en la Figura 6.21,

se observa aceleraciones espectrales promedio de $1.0g$ en un intervalo de periodos de 0.10 a 0.35 s. Se observa un PGA (aceleración máxima del suelo) de $0.58g$.

El análisis de amplificación sísmica mediante este perfil (MASW04), comprueba las características geotécnicas de la Zona II (Arena de compacidad media a densa, de espesor mayor a 1.5 m. sobre grava densa) obtenidas mediante la ejecución de calicatas y taludes, los periodos fundamentales de vibración varían entre 0.2 s y 0.4 s.

En los resultados obtenidos se puede apreciar el efecto de amplificación que ocurre en todo el rango de aceleraciones a lo largo del tiempo, incrementando el nivel de máxima aceleración de suelo (PGA) desde un valor de $0.33g$ en la base, a un máximo de $0.48g$ en la superficie. Considerando un valor promedio, el PGA tendría un valor de $0.48g$, lo cual corresponde un factor de amplificación del PGA en un valor de 1.3. Cabe recordar, que de acuerdo a la Norma de Diseño Sismorresistente E.030, el valor de aceleración sísmica para un sismo de diseño en esta zona sísmica corresponde a $0.40g$, sin embargo, esta aceleración no considera el efecto de sitio de la zona de estudio, efecto que si está reflejado en el valor del PGA obtenido mediante el análisis de amplificación. En ese sentido, se recomienda considerar como aceleración sísmica de diseño en superficie el valor de $0.48g$.

Se comprobó que la zona II de la Microzonificación Sísmica (arenas y limos), representada por el MASW04 genera una amplificación mayor de la onda sísmica con respecto a los materiales rígidos como las gravas y rocas presentes en la zona I y representadas por los MASW01 y MASW02. También se comprueba que la amplificación es mas pronunciada cuando suceden periodos largos y ocurre lo contrario para periodos cortos, esto debido al efecto de sitio presente en el área de estudio.

Capítulo 7

Conclusiones y Recomendaciones

7.1. Conclusiones

Con la investigación desarrollada en la presente tesis se ha llegado a las siguientes conclusiones:

1. Los principales fenómenos de geodinámica externa que podrían ocurrir en el distrito de Independencia son los deslizamientos, derrumbes, caídas de bloques de roca, flujos de material detrítico, huaycos y otros. Estos fenómenos se podrían activar asociados a eventos de fuertes precipitaciones en épocas de lluvias, al actuar sobre taludes de corte en materiales rocosos muy fracturados y alterados, y en suelos residuales, todos estos con pendientes mayores a las recomendadas en los códigos de construcción y con alturas de corte considerables.
2. La posible ocurrencia de fenómenos de geodinámica externa en las zonas estudiadas están condicionadas a la geometría del talud, precipitaciones pluviales, la pendiente del terreno, materiales disturbados, los sismos y las condiciones geológicas que presentan.

3. Los peligros geológicos potenciales y fenómenos de geodinámica externa presentes en las zonas geológicas evaluadas, nos dan a conocer los diferentes grados de peligrosidad para el distrito de Independencia.
4. En el análisis de peligro sísmico se consideró el catálogo sismológico solo de aquellos registros que presentan magnitudes m_b mayores e iguales a 4.0, debido a que a partir de este valor los sismos adquieren importancia ingenieril, ya que los elementos estructurales son diseñados para resistir fuerzas sísmicas.
5. En base a los resultados del análisis de peligro sísmico se propone un valor de aceleración horizontal máxima de diseño PGA de $0.33g$ para roca, $0.45g$ para suelo tipo C y $0.53g$ para suelo tipo D, estimado para 475 años de periodo de retorno.
6. En el caso de considerar la influencia de la componente vertical del movimiento sísmico, de acuerdo a la norma E.030 de diseño sismorresistente, ésta deberá ser estimada como los $2/3$ del valor de la aceleración horizontal máxima de diseño (PGA).
7. Mediante los estudios geotécnicos se ha delimitado el distrito de Independencia en cuatro zonas, la zona I incluye las formaciones rocosas presentes en los cerros y los depósitos de gravas que se registran en gran parte del distrito; la zona II ubicado en el sector noroeste incluye los depósitos de arena; la zona IV considera las condiciones topográficas que presentan fuerte pendiente, y la zona V caracteriza los rellenos antrópicos identificados en sectores específicos del área urbana.
8. Se estimó la capacidad de carga admisible que tendría la cimentación de una edificación convencional (cimiento corrido de 0.60 m de ancho y profundidades de cimentación mínimos de 0.80 m, en el caso de suelos, y 0.40 m, en el caso de rocas).
9. De los resultados de los ensayos de análisis químicos, se concluyó que el concreto de la cimentación en el distrito de Independencia, debe ser diseñado con cemento

portland puzolánico tipo IP o tipo II, para ataque moderado, cemento tipo V, para ataque severo, y cemento tipo V más puzolana, para ataque muy severo.

10. Se ha comprobado como las técnicas de vibración ambiental constituyen ensayos de fácil implementación, que requieren de un cuidadoso procesamiento de las señales.
11. Los perfiles sísmicos estimados permitieron establecer dos estratigrafías características en el distrito de Independencia, la principal diferencia es que en los perfiles de la zona este, los suelos compactos o densos se encuentran a menores profundidades que en la zona oeste.
12. El distrito de Independencia se encuentra dividido en cuatro zonas de acuerdo a sus características dinámicas de vibración; las zonas I, II y III tienen características de vibración favorables debido a los periodos cortos de vibración encontrados, mientras que la zona IV tiene características de vibración menos favorables; estos resultados están de acuerdo con las características geológicas y geotécnicas encontradas.
13. Como resultado final se obtuvo la Microzonificación Sísmica, el cual divide al distrito de Independencia en cuatro zonas (I, II, IV y V), es necesario indicar que no se ha encontrado material de suelo correspondiente a una caracterización de Zona III (suelos flexibles según la Norma Técnica E.030 de Diseño Sismorresistente), por ello este tipo de zona no existe en la presente investigación.
14. Teniendo en cuenta que existe la posibilidad de amplificación de las ondas sísmicas, se concluye que como medida de seguridad, para depósitos de arenas y limos presentes en la zona oeste del distrito de Independencia, se requiere diseñar la estructura para fuerzas mucho mayores, en comparación con la zona I.
15. Los resultados del análisis unidimensional evidencian aceleraciones máximas en el suelo de hasta $0.48g$ para la zona de mayor amplificación.

16. Se comprobó que el efecto de amplificación sísmica para la zona I es menor comparado con la zona II de la Microzonificación Sísmica, esto debido a las condiciones geotécnicas y periodos cortos que presenta.
17. De acuerdo a lo especificado en la Norma de Diseño Sismorresistente E-030 ha sido posible utilizar las señales sísmicas para representar de forma más específica las características geotécnicas y dinámicas del distrito de Independencia y se comprobó que la aceleración de diseño es similar al definido por la Norma.

7.2. Recomendaciones

A continuación se propone algunas recomendaciones para mejorar las futuras investigaciones.

1. Se debe mencionar que los resultados obtenidos en la Microzonificación Sísmica no deben ser utilizados para fines de diseño y/o construcción de algún tipo de edificación en algún punto específico de la zona de estudio. Estos resultados no reemplazan a los estudios que deben ejecutarse siguiendo los procedimientos exigidos en la Norma Técnica E.030 de Diseño Sismorresistente y la Norma Técnica de Edificación E.050 de Suelos y Cimentaciones, que son de cumplimiento obligatorio y se encuentran vigente a la fecha.
2. Para evitar consecuencias catastróficas debido a un sismo de gran magnitud que pueda presentar intensidades desde VII hasta IX en la Escala de Mercalli Modificada (MMI), es importante la prevención y mitigación de los efectos que estos podrían traer consigo, para esto se tiene que considerar que las zonas II, IV y la de rellenos, son las mas vulnerables y de mayor riesgo para la construcción de edificaciones.

3. Es importante realizar estudios previos de microzonificación sísmica para aquellas zonas destinadas a la expansión urbana, debido a que es mejor conocer previamente las condiciones geotécnicas y dinámicas antes de proyectar construcciones.
4. Cuando se quiere construir edificaciones esenciales, se debe tener en cuenta estudios geotécnicos y geofísicos mas a detalle, debido a que la microzonificación sísmica en estos casos es algo referencial.
5. Es importante corroborar los ensayos geofísicos (Microtremores, MASW, Refracción Sísmica, Arreglos de Microtremores, etc) mediante estudios de métodos directos de exploración geotécnica (calicatas, taludes, trincheras, SPT, DPL, etc).
6. Si bien es cierto los métodos indirectos de exploración geofísica alcanzan profundidades mayores, se tiene que tener exploraciones geotécnicas cercanas y estudios de peligro sísmico, para así complementarlas y obtener mejores resultados.
7. Para los ensayos de dinámica de suelos es necesario que se realicen en condiciones favorables (evitar ruido de carros, personas, motores, tanques enterrados, aguas subterráneas, canales, etc) esto para tener señales de mejor calidad.
8. Antes de realizar las mediciones es necesario tener en cuenta las condiciones geológicas del lugar en estudio.
9. Es importante instalar acelerógrafos para así representar mejor los efectos de sitio que se puedan presentar en el distrito de Independencia.
10. Es importante realizar la mayor cantidad de puntos de exploración, para así tener una idea mas clara de los cambios de material en las diferentes zonas de investigación.
11. Los rellenos podrían ser reemplazados por un material competente tal como la grava que presente mejores características geotécnicas, esto podrá ser posible siempre y

cuando se ejecuten estudios específicos de mecánica de suelos, que respalden técnicamente esta decisión.

Bibliografía

- [1] A. Jaimes Miguel, Reinoso Eduardo, Ordaz Mario y Arredondo Cesar. 2009. *Correlación entre la aceleración y velocidad máxima del suelo: Aplicación en el análisis de Peligro Sísmico*. Revista de Ingeniería Sísmica No 81, pp. 19-35. Sociedad Mexicana de Ingeniería Sísmica (SMIS).
- [2] Badillo Juárez y Rodríguez Rico. 2005. *Mecánica de Suelos Fundamentos de la Mecánica de Suelos*. Tomo 1. Limusa Noriega Editores. 149-163.
- [3] Braja M. Das. 1996. *Principios de Ingeniería de Cimentaciones*. California State University, Sacramento. Quinta edición. Thomson. 108-113.
- [4] Calderon Diana, Sekiguchi Toru, Aguilar Zenón, Lazares Fernando y Nakai Shoichi. 2011. *Dynamic Characteristics of the Surface Soils in Lima, Peru*. 8th International Conference on Urban Earthquake Engineering. Tokyo Institute of Technology. Tokyo, Japan.
- [5] Chávez J. 2006. *Leyes de Atenuación para Aceleraciones Espectrales en el Perú*. Tesis de Grado, Facultad de Ingeniería Civil, Universidad Nacional de Ingeniería, Lima.
- [6] CISMID. 2004. *Estudio de Vulnerabilidad y Riesgo Sísmico en Lima y Callao, Informe Técnico preparado para la Asociación Peruana de Empresas de Seguros (APESEG)*. Lima.
- [7] Cornell A. 1968. *Engineering Seismic Risk Analysis*. Bulletin of the Seismological Society of America, Vol 58, N°5, pp. 1538-1606.

-
- [8] Cuadra Pilar. 2007. *Aplicación de Técnicas de Vibraciones Ambientales: Análisis de Microtremores y Vibraciones Naturales, para la Caracterización de Sitio*. Universidad Simón Bolívar.
- [9] Dimaté Cristina, Lawrence Drake, Yepez Hugo, Ocola Leo, Rendon Herbert, Grünthal Gottfried y Domenico Giardini. 1999. *Seismic Hazard Assessment in the Northern Andes (PILOTO Project)*. Annali di Geofísica, Vol. 42, No. 6.
- [10] Dorbath L., Cisternas A. y Dorbath C. 1990. *Assessment of the Size of large and Great Historical Earthquakes in Perú*. Bulletin of the Seismological Society of America, 80. pp. 551-576.
- [11] E. Hunt. Roy. 2005. *Geotechnical Engineering Investigation Handbook*. Taylor and Francis Group, Second Edition, pp. 44 - 52.
- [12] Esteva L. 1988. *Criterios para la Construcción de Espectros de Diseño*. Publicación N° 19 del Instituto de Ingeniería, Universidad Nacional Autónoma de México.
- [13] Gamarra y Aguilar. 2009. *Nuevas Fuentes Sismogénicas para la Evaluación del Peligro Sísmico y Generación de Espectros de Peligro Uniforme en el Perú*. XVII Congreso Nacional de Estudiantes de Ingeniería Civil, Lima, Perú.
- [14] González de Vallejo Luis. 2004. *Ingeniería Geológica*. Prentice Hall Pearson, pp. 688-693, pp. 375-389.
- [15] Gutenberg B. y Richter C. 1945. *Magnitude Determination for deep-focus Earthquakes*. Bulletin of the Seismological Society of America, Vol. 35, pp. 117-130.
- [16] Houda Ronaldo. 2000. *Determination of Dynamic Soil Properties Using Geophysical Methods*. International Conference on the Application of Geophysical and NDT Methodologies to Transportation Facilities and Infrastructure.

-
- [17] Joyner W. y Boore D. 1988. *Measurement, characterization and prediction of strong ground motion*. Earthquake Engineering and Soil Dynamics II-Recent Advances in Ground Motion Evaluation, Geotechnical Special Publication 20, pp. 43-102, ASCE, New York.
- [18] Kramer S. L. 1996. *Geotechnical Earthquake Engineering*. University of Washington. Prentice Hall, Internacional Series in Civil Engineering and Engineering Mechanics, pp. 308-331.
- [19] López Ernesto. 2011. *Análisis de Regresión Lineal para Correlacionar datos del valor b en Catálogos de Sismicidad, obtenidos con dos técnicas*. Tesis de Pregrado. Universidad Autónoma de Nuevo León, México.
- [20] McGuire R. K. 1974. *Seismic Structural Response Risk Analysis incorporating Peak Response Regression on Earthquake Magnitude and Distance*. Massachusetts Institute of Technology. Report R74-51 Cambridge MA, USA.
- [21] Nakamura Y. 1989. *A Method for Dynamic Characteristics Estimation of Subsurface using Microtremors on the Ground Surface*. Quarterly Report Railway Technical Research Institute. Vol. 30, N° 3, pp. 25-33.
- [22] Ordaz M., Aguilar A. y Arboleda J. 1999. *Program for Computing Seismic Hazard: CRISIS 2003 Ver 3.0.1*. Institute of Engineering, Universidad Nacional Autónoma de México.
- [23] P. Gabriels, R. Snieder y G. Nolet. 1987. *In Situ Measurements of Shear-Wave Velocity in Sediments With Higher-Mode Rayleigh Waves*. Geophysical Prospecting.
- [24] R. Franklin, J.O. Caselles, J.A. Canas, J. Clapes, Ll. G. Pujades, M. Navarro, F. García y Vega Gracia. 2006. *Estimación de la Respuesta de sitio mediante el Método del cociente espectral aplicado a ruido ambiental: aplicación a la Ciutat Vella de Valencia*. Revista Internacional de Métodos Numéricos para Cálculo y Diseño en Ingeniería. Vol. 22, 2, 169-191.

-
- [25] Rosales Cristina. 2001. *Sobre el Comportamiento Sísmico de los Depósitos de Suelos del Área de Cañaveralejo, Cali, Colombia*. Universidad del Valle. Santiago de Cali.
- [26] Sifuentes Armando. 2012. *Microzonificación Geotécnica Sísmica del distrito de La Molina*. Universidad Nacional de Ingeniería. Lima. Perú.
- [27] Silgado E. 1978. *Historia de los Sismos más Notables ocurridos en el Perú (1513-1974)*. Instituto de Geología y Minería, Boletín No 3, Serie C, Geodinámica e Ingeniería Geológica. Lima, Perú.
- [28] Srbulov Milutin. 2008. *Geotechnical Earthquake Engineering, Simplified Analyses with Case Studies and Examples*. United Kingdom, Springer, 41 - 49.
- [29] Tavera H., Bufo E., Bernal I., Antayhua Y. y Vilcapoma L. 2001. *The Arequipa (Perú) Earthquake of June 23*. Journal of Seismology, Vol. 6. pp. 279-283.
- [30] Tavera Hernando y Bernal Isabel. 2002. *Geodinámica, Sismicidad y Energía Sísmica en Perú*. Instituto Geofísico del Perú.
- [31] Tokimatsu K., Miyadera Y. y Kuwayama S. 1992a. *Determination of Shear Wave Velocity Structures from Spectrum Analyses of Short-Period Microtremors*. Proc., 10th World Conference on Earthquake Engineering, 1, 253-258.
- [32] Tokimatsu K., Shinzawa K. y Kuwayama S. 1992b. *Use of Short-Period Microtremors for Vs Profiling*. J. Geotechnical Engineering. 118(10), 1544-1558.
- [33] Youngs R. R., Chiou S. J., Silva W. J. y Humprey J. R. 1997. *Strong Ground Motion Attenuation Relationships for Subduction Zone Earthquakes*. Seismological Research Letters, Vol. 68, Numb. 1, pp. 58-73, USA.

ANEXOS

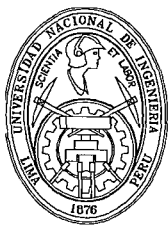
Anexo I: Estudios de Mecánica de Suelos

Relación de calicatas ejecutadas.

Calicatas	Este (m)	Norte (m)	Profundidad (m)	Nivel freático (m)
C-1	275723.00	8672278.00	3.00	NA
C-2	277448.00	8672681.00	1.60	NA
C-3	276449.00	8672548.00	3.00	NA
C-4	276754.00	8673526.00	2.80	NA
C-5	276766.00	8672702.00	2.30	NA
C-6	276100.00	8674996.00	3.00	NA
C-7	277026.00	8675078.00	3.00	NA
C-8	275896.60	8674834.92	3.00	NA
C-9	275441.75	8673456.03	3.00	NA
C-10	276672.19	8671752.81	3.00	NA
C-11	276351.44	8675330.15	3.00	NA
C-12	275391.76	8674313.09	3.00	NA
C-13	275886.66	8672766.36	3.00	NA
C-14	277243.41	8673863.37	3.00	NA
C-15	277830.73	8673620.42	3.00	NA
C-16	276437.52	8674258.82	3.00	NA
C-17	277642.69	8674623.50	3.00	NA
C-18	277971.44	8675126.84	3.00	NA
C-19	277794.13	8675062.68	3.00	NA
C-20	278555.74	8676656.43	3.00	NA
C-21	277870.50	8676152.80	3.00	NA
C-22	277280.59	8675872.25	3.00	NA

Relación de descripción de taludes ejecutados.

Taludes	Este (m)	Norte (m)	Profundidad (m)	Nivel freático (m)
T-1	277440.00	8675029.00	2.50	NA
T-2	277455.00	8675006.00	4.50	NA
T-3	276528.00	8675523.00	5.00	NA
T-4	276490.00	8674232.00	1.80	NA
T-5	276423.00	8674003.00	7.00	NA
T-6	276371.00	8673883.00	5.00	NA
T-7	276188.53	8674955.60	6.00	NA
T-8	276206.00	8675263.00	10.00	NA
T-9	278547.27	8676667.65	4.00	NA



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL
CENTRO PERUANO JAPONES DE INVESTIGACIONES SISMICAS
Y MITIGACION DE DESASTRES



REGISTRO DE SONDAJE

Tesis : Microzonificación Geotécnica Sísmica del distrito de Independencia - Lima.

Cota Relativa (m) : -

Prof. Nivel Freat. (m) : N.A.

Prof. Total (m) : 3.0 m

Supervisor : Bach. Rick Delgadillo

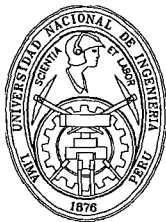
Revisor : Dra. Diana Calderón

Ubicación : Independencia, Lima, Lima.

Fecha : Octubre, 2014.

CALICATA : C-1

Profundidad (m)	Espesor del estrato (m)	Muestra obtenida	Clasificación SUCS	Simbología Gráfica	Resultados de campo		Descripción	ENSAYO DE PENETRACION Gráfica de N 10 20 30 40 50 —○— SPT —▲— CP
					H. N. %	D. N. g/cm ³		
0.0								
0.40	S/M	R			-	-	Terreno de cultivo; marrón; húmedo; con presencia de raíces.	
0.5								
1.00	M-1	SM			5.8	-	Arena limosa; beige; compacidad media; humedad baja; con 62.8% de arena y 37.2% de finos; no plástica.	
1.0								
0.40	M-2	SP			1.5	-	Arena mal gradada con grava; gris; compacidad media; humedad baja; con 45.2% de grava $\leq 3"$, 49.9% de arena y 4.9% de finos. Ensayo de corte directo: $C = 0.00 \text{ kg/cm}^2$ y $\phi = 33^\circ$.	
1.5								
1.60	S/M	-			-	-	Grava arenosa; beige; compacidad media; humedad baja; con 40% de grava, 20% de arena, 10% de finos y 30% de bolonería $\leq 8"$.	
2.0								
2.5								
3.0								



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL
CENTRO PERUANO JAPONES DE INVESTIGACIONES SISMICAS
Y MITIGACION DE DESASTRES



REGISTRO DE SONDAJE

Tesis : Microzonificación Geotécnica Sísmica del distrito de Independencia - Lima.

Cota Relativa (m) : -

Prof. Nivel Freat. (m) : N.A.

Prof. Total (m) : 1.6 m

Supervisor : Bach. Rick Delgadillo

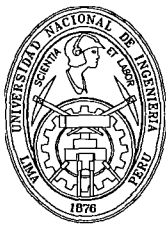
Revisor : Dra. Diana Calderón

Ubicación : Independencia, Lima, Lima.

Fecha : Octubre, 2014.

CALICATA : C-2

Profundidad (m)	Espesor del estrato (m)	Muestra obtenida	Clasificación SUCS	Simbología Gráfica	Resultados de campo		Descripción	ENSAYO DE PENETRACION				
					H. N. %	D. N. g/cm ³		Gráfica de N				
								10	20	30	40	50
0.0												
0.5	1.00	S/M	R		-	-	Terreno de cultivo; marrón; con presencia de raíces.					
1.0												
1.5	0.60	M-1	SC-SM		2.8	-	Arena arcillo limosa con grava; marrón; densa; humedad baja; con 37.6% de grava $\leq 3"$, 44.7% de arena y 17.7% de finos; plasticidad baja (IP= 7). Presencia de partículas de roca $\leq 10"$. Ensayo de corte directo: C = 0.00 kg/cm ² y $\phi = 39^\circ$.					
2.0												
2.5												
3.0												



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL
CENTRO PERUANO JAPONES DE INVESTIGACIONES SISMICAS
Y MITIGACION DE DESASTRES



REGISTRO DE SONDAJE

Tesis : Microzonificación Geotécnica Sísmica del distrito de Independencia - Lima.

Cota Relativa (m) : -

Prof. Nivel Freat. (m) : N.A.

Prof. Total (m) : 3.0 m

Supervisor: : Bach. Rick Delgadillo

Revisor: : Dra. Diana Calderón

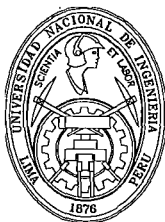
Ubicación : Independencia, Lima, Lima.

Fecha : Octubre, 2014.

CALICATA : C-3

Profundidad (m)	Espesor del estrato (m)	Muestra obtenida	Clasificación SUCS	Simbología Gráfica	Resultados de campo		Descripción	ENSAYO DE PENETRACION				
					H. N. %	D. N. g/cm³		Gráfica de N				
								10	20	30	40	50
0.0								—○— SPT —△— CP				
0.60	S/M	R			-	-	Terreno de cultivo; marrón oscuro; con presencia de raíces.					
0.5												
1.30	M-1	CL-ML			7.3	-	Arcilla limosa arenosa; marrón; semi dura; humedad baja; con 0.2% de grava ≤ 3/8", 49.1% de arena y 50.7% de finos; plasticidad baja (IP=6). Ensayo de corte directo: C = 0.20 kg/cm2 y φ = 30°.					
1.5												
2.0												
1.10	M-2	GM			4.6	-	Grava limosa con arena; gris; compactidad media; humedad baja; con 60.2% de grava ≤ 2", 24.6% de arena y 15.2% de finos; plasticidad baja (IP=3).					
2.5												
3.0												

Página : 1 de 1



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL
CENTRO PERUANO JAPONES DE INVESTIGACIONES SISMICAS
Y MITIGACION DE DESASTRES



REGISTRO DE SONDAJE

Tesis : Microzonificación Geotécnica Sísmica del distrito de Independencia - Lima.

Cota Relativa (m) : -

Prof. Nivel Freat. (m) : N.A.

Prof. Total (m) : 2.8 m

Supervisor : Bach. Rick Delgadillo

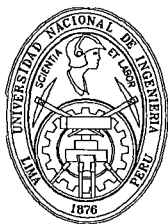
Revisor : Dra. Diana Calderón

Ubicación : Independencia, Lima, Lima.

Fecha : Octubre, 2014.

CALICATA : C-4

Profundidad (m)	Espesor del estrato (m)	Muestra obtenida	Clasificación SUCS	Simbología Gráfica	Resultados de campo		Descripción	ENSAYO DE PENETRACION				
					H. N. %	D. N. g/cm ³		Gráfica de N				
0.0								10	20	30	40	50
								—○— SPT		—△— CP		
0.70	S/M	R			-	-	Terreno de cultivo; marrón oscuro; con presencia de raíces.					
0.5												
0.30	S/M	-			-	-	Arena con grava de bordes angulosos; marrón; suelta; humedad baja.					
1.0												
0.80	M-1	SM			3.4	-	Arena limosa con grava; beige; compacidad media; humedad baja; con 16.5% de grava $\leq 1\frac{1}{2}$ ", 70.6% de arena y 12.9% de finos. Ensayo de corte directo: $C = 0.00 \text{ kg/cm}^2$ y $\phi = 36^\circ$.					
1.5												
2.0												
1.00	M-2	GW-GM			1.8	-	Grava bien gradada con limo y arena; marrón; compacidad media; humedad baja; con 50% de grava ≤ 3 ", 43% de arena y 7% de finos.					
2.5												
3.0												



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL
CENTRO PERUANO JAPONES DE INVESTIGACIONES SISMICAS
Y MITIGACION DE DESASTRES



REGISTRO DE SONDAJE

Tesis : Microzonificación Geotécnica Sísmica del distrito de Independencia - Lima.

Cota Relativa (m) : -

Prof. Nivel Freat. (m) : N.A.

Prof. Total (m) : 2.5 m

Supervisor : Bach. Rick Delgadillo

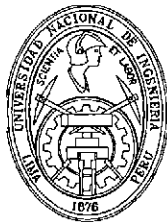
Revisor : Dra. Diana Calderón

Ubicación : Independencia, Lima, Lima.

Fecha : Octubre, 2014.

CALICATA : C-5

Profundidad (m)	Espesor del estrato (m)	Muestra obtenida	Clasificación SUCS	Simbología Gráfica	Resultados de campo		Descripción	ENSAYO DE PENETRACION					
					H. N. %	D. N. g/cm ³		Gráfica de N					
0.0	0.40	S/M	R		-	-	Terreno de cultivo; marrón oscuro; con presencia de raíces.	10	20	30	40	50	—○— SPT —△— CP
0.5	0.90	M-1	GP-GM		1.2	-	Grava mal gradada con limo y arena; beige; suelta; humedad baja; con 47.1% de grava $\leq 3"$, 46.9% de arena y 6% de finos; con presencia de raíces.						
1.0	1.00	M-2	SM		5	-	Arena limosa con grava; marrón; densa; humedad baja; con 20.4% de grava $\leq 1"$, 47.9% de arena y 31.7% de finos; plasticidad baja (IP=6); con presencia de partículas de roca $\leq 20"$.						
1.5													
2.0													
2.5													
3.0													



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL
CENTRO PERUANO JAPONES DE INVESTIGACIONES SISMICAS
Y MITIGACION DE DESASTRES



REGISTRO DE SONDAJE

Tesis : Microzonificación Geotécnica Sísmica del distrito de Independencia - Lima.

Cota Relativa (m) : -

Prof. Nivel Freat. (m) : N.A.

Prof. Total (m) : 3.00 m

Ubicación : Independencia, Lima, Lima.

Supervisor : Bach. Rick Delgadillo

Fecha : Octubre, 2014.

Revisor : Dra. Diana Calderón

CALICATA : C-6

Profundidad (m)	Espesor del estrato (m)	Muestra obtenida	Clasificación SUCS	Simbología Gráfica	Resultados de campo		Descripción	ENSAYO DE PENETRACION					
					H. N. %	D. N. g/cm³		Gráfica de N					
								10	20	30	40	50	
0.0								—○— SPT —▲— CP					
0.5													
1.0													
1.5	3.00	S/M	R		-	-	Relleno gris oscuro; suelto; humedad baja; con presencia de plásticos y escombros.						
2.0													
2.5													
3.0													

Página : 1 de 1



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL
CENTRO PERUANO JAPONES DE INVESTIGACIONES SISMICAS
Y MITIGACION DE DESASTRES



REGISTRO DE SONDAJE

Tesis : Microzonificación Geotécnica Sísmica del distrito de Independencia - Lima.

Cota Relativa (m) : -

Prof. Nivel Freat. (m) : N.A.

Prof. Total (m) : 3.0 m

Ubicación : Independencia, Lima, Lima.

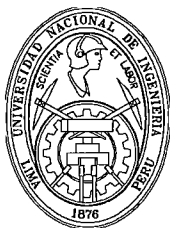
Supervisor : Bach. Rick Delgadillo

Fecha : Octubre, 2014.

Revisor : Dra. Diana Calderón

CALICATA : C-7

Profundidad (m)	Espesor del estrato (m)	Muestra obtenida	Clasificación SUCS	Simbología Gráfica	Resultados de campo		Descripción	ENSAYO DE PENETRACION	
					H. N. %	D. N. g/cm ³		Gráfica de N	
0.0								10 20 30 40 50	—○— SPT —△— CP
0.60	S/M	R			-	-	Terreno de cultivo; marrón oscuro; compacidad media; con presencia de raíces.		
0.60	M-1	SW-SM			2.8	-	Arena bien gradada con limo y grava; marrón; compacidad media; humedad baja; con 17.6% de grava $\leq 1"$, 76.9% de arena y 5.5% de finos; no plástica.		
1.80	M-2	SP-SM			3.6	-	Arena mal gradada con limo y grava; marrón; densa; humedad baja; con 30.4% de grava $\leq 1\frac{1}{2}"$, 57.7% de arena y 11.9% de finos; con presencia de partículas de roca $\leq 20"$. Ensayo de corte directo: $C = 0.00 \text{ kg/cm}^2$ y $\phi = 41^\circ$.		
3.0									



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL
CENTRO PERUANO JAPONES DE INVESTIGACIONES SISMICAS
Y MITIGACION DE DESASTRES



REGISTRO DE SONDAJE

Tesis : Microzonificación Geotécnica Sísmica del distrito de Independencia - Lima.

Ubicación : Independencia, Lima, Lima.

Fecha : Octubre, 2014.

Cota Relativa (m) : -

Prof. Nivel Freat. (m) : N.A.

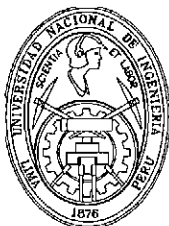
Prof. Total (m) : 3.0 m

Operador : Bach. Rick Delgadillo

Revisado : Dra. Diana Calderón

CALICATA : C-8

Profundidad (m)	Espesor del estrato (m)	Muestra obtenida	Clasificación SUCS	Simbología Gráfica	Resultados de campo		Descripción	ENSAYO DE PENETRACION				
					H. N. %	D. N. g/cm ³		Gráfica de N				
0.0								10	20	30	40	50
0.5												
1.0	2.00	S/M	R		---	---	Relleno de arena gruesa con grava angulosa, color beige, seco, regular compactad.					
1.5												
2.0												
2.5	1.00	M-1	SM		0.8	---	Arena limosa, color beige, baja humedad, densidad suelta a media, 31.9% de grava angulosa aplanada de TM 1", 43.5% de arena, 2% de bolonería angulosa muy aislada de TM 6", 24.6% de finos.					
3.0												



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL
CENTRO PERUANO JAPONES DE INVESTIGACIONES SISMICAS
Y MITIGACION DE DESASTRES



REGISTRO DE SONDAJE

Tesis : Microzonificación Geotécnica Sísmica del distrito de Independencia - Lima.

Ubicación : Independencia, Lima, Lima.

Fecha : Octubre, 2014.

Cota Relativa (m) : -

Prof. Nivel Freat. (m) : N.A.

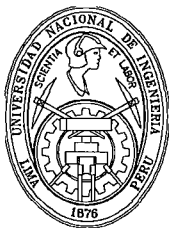
Prof. Total (m) : 3.0 m

Operador : Bach. Rick Delgadillo

Revisado : Dra. Diana Calderón

CALICATA : C-9

Profundidad (m)	Espesor del estrato (m)	Muestra obtenida	Clasificación SUCS	Simbología Gráfica	Resultados de campo		Descripción	ENSAYO DE PENETRACION				
					H. N. %	D. N. g/cm ³		Gráfica de N				
0.0	0.20	S/M	R		---	---	Relleno constituido por limo arenoso con material orgánico, color oscuro, se encuentra seco y su compacidad es suelta.	10	20	30	40	50
0.5	1.20	M-1	SM		2.2	---	Arena limosa, color mostaza, se encuentra seca y su compacidad es suelta. La granulometría presenta: Grava=0.2%, Arena=76%, Finos=23.8%.					
1.0	1.00	M-3	ML		0.8	---	Limo arenoso de baja plasticidad, color marrón claro, se encuentra seca y su consistencia es blanda. La granulometría presenta: Grava=0.2%, Arena=42.5%, Finos=57.3%.					
2.0	0.60	M-3	GM		0.6	---	Grava limosa con arena, con abundante presencia de óxidos identificado por un color característico de color anaranjado-rojizo en la matriz y en la grava.					
2.5												
3.0								Página : 1 de 1				



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL
CENTRO PERUANO JAPONES DE INVESTIGACIONES SISMICAS
Y MITIGACION DE DESASTRES



REGISTRO DE SONDAJE

Tesis : Microzonificación Geotécnica Sísmica del distrito de Independencia - Lima.

Ubicación : Independencia, Lima, Lima.

Fecha : Octubre, 2014.

Cota Relativa (m) : -

Prof. Nivel Freat. (m) : N.A.

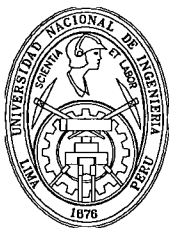
Prof. Total (m) : 3.0 m

Operador : Bach. Rick Delgadillo

Revisado : Dra. Diana Calderón

CALICATA : C-10

Profundidad (m)	Espesor del estrato (m)	Muestra obtenida	Clasificación SUCS	Simbología Gráfica	Resultados de campo		Descripción	ENSAYO DE PENETRACION
					H. N. %	D. N. g/cm ³		
0.0								Gráfica de N 10 20 30 40 50 —○— SPT —△— CP
0.50	S/M	R			---	---	Relleno contaminado. Color beige claro. Humedad media. Presencia de plásticos, restos de ladrillos, bolonería y material de desmonte.	
0.5								
1.0								
1.5								
2.50	M-1	SW-SM			0.9	---	Arena bien gradada con limos.	
2.0								
2.5								
3.0								



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL
CENTRO PERUANO JAPONES DE INVESTIGACIONES SISMICAS
Y MITIGACION DE DESASTRES



REGISTRO DE SONDAJE

Tesis : Microzonificación Geotécnica Sísmica del distrito de Independencia - Lima.

Ubicación : Independencia, Lima, Lima.

Fecha : Octubre, 2014.

Cota Relativa (m) : -

Prof. Nivel Freat. (m) : N.A.

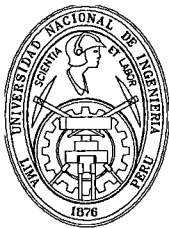
Prof. Total (m) : 3.0 m

Operador : Bach. Rick Delgadillo

Revisado : Dra. Diana Calderón

CALICATA : C-11

Profundidad (m)	Espesor del estrato (m)	Muestra obtenida	Clasificación SUCS	Simbología Gráfica	Resultados de campo		Descripción	ENSAYO DE PENETRACION					
					H. N. %	D. N. g/cm ³		Gráfica de N					
0.0								10	20	30	40	50	—○— SPT —△— CP
0.5	1.30	S/M	R		---	---	Relleno conformado por restos de ladrillo, polietileno, etc. Presencia de gravas angulosas aisladas, compacidad media.						
1.0													
1.5													
2.0	1.70	M-1	SM		1.3	---	Arena limosa con grava, color beige, densidad media, 36.6% de finos, presenta 19.6% de gravas angulosas TM 1.5", 43.8% de arena.						
2.5													
3.0													



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL
CENTRO PERUANO JAPONES DE INVESTIGACIONES SISMICAS
Y MITIGACION DE DESASTRES



REGISTRO DE SONDAJE

Tesis : Microzonificación Geotécnica Sísmica del distrito de Independencia - Lima.

Ubicación : Independencia, Lima, Lima.

Fecha : Octubre, 2014.

Cota Relativa (m) : -

Prof. Nivel Freat. (m) : N.A.

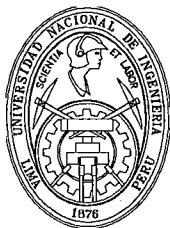
Prof. Total (m) : 3.0 m

Operador : Bach. Rick Delgadillo

Revisado : Dra. Diana Calderón

CALICATA : C-12

Profundidad (m)	Espesor del estrato (m)	Muestra obtenida	Clasificación SUCS	Simbología Gráfica	Resultados de campo		Descripción	ENSAYO DE PENETRACION					
					H. N. %	D. N. g/cm ³		Gráfica de N					
0.0								10	20	30	40	50	—○— SPT —△— CP
0.5	1.10	M-1	ML		0.2	---	Limo de baja plasticidad, con arcilla, húmedo, color marrón, presencia de micas y raíz.						
1.0													
1.5	1.10	M-2	SP-SM		---	---	Arena de grano medio a fino pobremente gradada con limos, presenta oxidaciones.						
2.0													
2.5	0.80	M-3	SP		---	---	Arena pobremente gradada, grano medio a fino, seca, color plomizo, deleznable.						
3.0													



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL
CENTRO PERUANO JAPONES DE INVESTIGACIONES SISMICAS
Y MITIGACION DE DESASTRES



REGISTRO DE SONDAJE

Tesis : Microzonificación Geotécnica Sísmica del distrito de Independencia - Lima.

Ubicación : Independencia, Lima, Lima.

Fecha : Octubre, 2014.

Cota Relativa (m) : -

Prof. Nivel Freat. (m) : N.A.

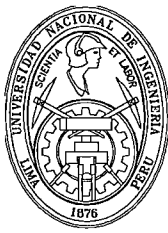
Prof. Total (m) : 3.0 m

Operador : Bach. Rick Delgadillo

Revisado : Dra. Diana Calderón

CALICATA : C-13

Profundidad (m)	Espesor del estrato (m)	Muestra obtenida	Clasificación SUCS	Simbología Gráfica	Resultados de campo		Descripción	ENSAYO DE PENETRACION					
					H. N. %	D. N. g/cm ³		Gráfica de N					
0.0								10	20	30	40	50	
0.40	S/M	R			---	---	Relleno formado por limo arcilloso, terreno de cultivo, gravas aisladas, cascotes de ladrillo.						—○— SPT —△— CP
0.5													
1.0	1.30	M-1	CL		0.5	---	Arcilla de baja plasticidad, semi compacta, color marrón.						
1.5													
2.0	0.80	M-2	SM		---	---	Arena limosa, no plástico, color beige, semi compacto, poco húmedo.						
2.5													
0.50	M-3	GP			0.4	---	Grava pobremente gradada con matriz de arena, húmeda, presenta gravas de TM 2.5".						
3.0													



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL
CENTRO PERUANO JAPONES DE INVESTIGACIONES SISMICAS
Y MITIGACION DE DESASTRES



REGISTRO DE SONDAJE

Tesis : Microzonificación Geotécnica Sísmica del distrito de Independencia - Lima.

Ubicación : Independencia, Lima, Lima.

Fecha : Octubre, 2014.

Cota Relativa (m) : -

Prof. Nivel Freat. (m) : N.A.

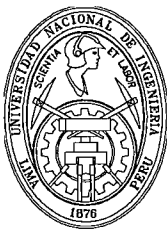
Prof. Total (m) : 3.0 m

Operador : Bach. Rick Delgadillo

Revisado : Dra. Diana Calderón

CALICATA : C-16

Profundidad (m)	Espesor del estrato (m)	Muestra obtenida	Clasificación SUCS	Simbología Gráfica	Resultados de campo		Descripción	ENSAYO DE PENETRACION					
					H. N. %	D. N. g/cm ³		Gráfica de N					
0.0								10	20	30	40	50	
0.5													
1.0													
1.5	3.00	M-1	SW- SM		1.6	---	Arena bien gradada con limo y grava aislada angulosa, color beige, húmeda, compactidad media, no plástica. Presenta lente de arena fina de 8cm a 16cm de espesor, de color beige.						
2.0													
2.5													
3.0													



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL
CENTRO PERUANO JAPONES DE INVESTIGACIONES SISMICAS
Y MITIGACION DE DESASTRES



REGISTRO DE SONDAJE

Tesis : Microzonificación Geotécnica Sísmica del distrito de Independencia - Lima.

Ubicación : Independencia, Lima, Lima.

Fecha : Octubre, 2014.

Cota Relativa (m) : -

Prof. Nivel Freat. (m) : N.A.

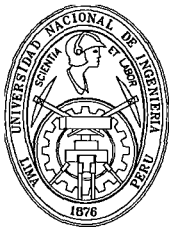
Prof. Total (m) : 3.0 m

Operador : Bach. Rick Delgadillo

Revisado : Dra. Diana Calderón

CALICATA : C-17

Profundidad (m)	Espesor del estrato (m)	Muestra obtenida	Clasificación SUCS	Simbología Gráfica	Resultados de campo		Descripción	ENSAYO DE PENETRACION					
					H. N. %	D. N. g/cm ³		Gráfica de N					
0.0								10	20	30	40	50	
0.40	S/M	R			---	---	Relleno conformado por terreno de cultivo, ademas gravas con matriz arenosa limosa, con restos aislados de plásticos, ladrillos, etc.						—○— SPT —△— CP
0.5													
1.0													
1.5													
2.60	M-1	SP-SM			3.3	---	Arena pobremente gradada con limos, seco, semi compacto, no plástico. Presencia de grava sub angulara de TM 2".						
2.0													
2.5													
3.0													



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL
CENTRO PERUANO JAPONES DE INVESTIGACIONES SISMICAS
Y MITIGACION DE DESASTRES



REGISTRO DE SONDAJE

Tesis : Microzonificación Geotécnica Sísmica del distrito de Independencia - Lima.

Ubicación : Independencia, Lima, Lima.

Fecha : Octubre, 2014.

Cota Relativa (m) : -

Prof. Nivel Freat. (m) : N.A.

Prof. Total (m) : 3.0 m

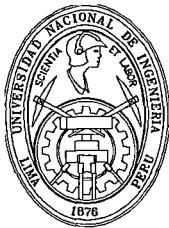
Operador : Bach. Rick Delgadillo

Revisado : Dra. Diana Calderón

CALICATA : C-18

Profundidad (m)	Espesor del estrato (m)	Muestra obtenida	Clasificación SUCS	Simbología Gráfica	Resultados de campo		Descripción	ENSAYO DE PENETRACION
					H. N. %	D. N. g/cm ³		
0.0								Gráfica de N 10 20 30 40 50 —○— SPT —▲— CP
0.5								
1.0	2.20	M-1	SP- SM		3.2	1.8	Arena pobremente gradada con limo y grava, color beige, humedad baja, densidad media.	
1.5								
2.0								
2.5	0.80	M-2	GW- GM		0.7	---	Grava pobremente gradada con limos y arena, color beige oscuro, humedad baja, semi compacta.	
3.0								

BIBLIOTECA E INFORMACION
CULTURAL
U.N.S.C.H.



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL
CENTRO PERUANO JAPONES DE INVESTIGACIONES SISMICAS
Y MITIGACION DE DESASTRES



REGISTRO DE SONDAJE

Tesis : Microzonificación Geotécnica Sísmica del distrito de Independencia - Lima.

Ubicación : Independencia, Lima, Lima.

Fecha : Octubre, 2014.

Cota Relativa (m) : -

Prof. Nivel Freat. (m) : N.A.

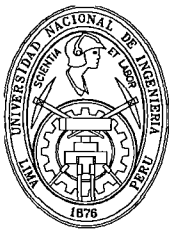
Prof. Total (m) : 3.0 m

Operador : Bach. Rick Delgadillo

Revisado : Dra. Diana Calderón

CALICATA : C-19

Profundidad (m)	Espesor del estrato (m)	Muestra obtenida	Clasificación SUCS	Simbología Gráfica	Resultados de campo		Descripción	ENSAYO DE PENETRACION					
					H. N. %	D. N. g/cm ³		Gráfica de N					
0.0	0.30	S/M	R		---	---	Relleno constituido por limo arenoso con material orgánico, color oscuro, se encuentra seco y su compacidad es suelta.	10	20	30	40	50	—○— SPT —▲— CP
0.5													
1.0													
1.5	2.70	M-1	SP-SM		2.3	---	Arena pobremente gradada con limos, húmedo, estado de compacidad semi compacto, no plástico, presencia de bolonería angulosa.						
2.0													
2.5													
3.0													



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL
CENTRO PERUANO JAPONES DE INVESTIGACIONES SISMICAS
Y MITIGACION DE DESASTRES



REGISTRO DE SONDAJE

Tesis : Microzonificación Geotécnica Sísmica del distrito de Independencia - Lima.

Ubicación : Independencia, Lima, Lima.

Fecha : Octubre, 2014.

Cota Relativa (m) : -

Prof. Nivel Freat. (m) : N.A.

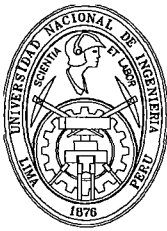
Prof. Total (m) : 3.0 m

Operador : Bach. Rick Delgadillo

Revisado : Dra. Diana Calderón

CALICATA : C-20

Profundidad (m)	Espesor del estrato (m)	Muestra obtenida	Clasificación SUCS	Simbología Gráfica	Resultados de campo		Descripción	ENSAYO DE PENETRACION					
					H. N. %	D. N. g/cm ³		Gráfica de N					
0.0								10	20	30	40	50	—○— SPT —△— CP
0.5													
1.80	S/M	R			---	---	Relleno de material grueso, restos de ladrillos, bloques de concreto y bolonería TM 10".						
1.0													
1.5													
2.0													
1.20	M-1	SW-SM			1.5	---	Arena bien gradada con limos, color marrón claro amarillento.						
2.5													
3.0													



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL
CENTRO PERUANO JAPONES DE INVESTIGACIONES SISMICAS
Y MITIGACION DE DESASTRES



REGISTRO DE SONDAJE

Tesis : Microzonificación Geotécnica Sísmica del distrito de Independencia - Lima.

Ubicación : Independencia, Lima, Lima.

Fecha : Octubre, 2014.

Cota Relativa (m) : -

Prof. Nivel Freat. (m) : N.A.

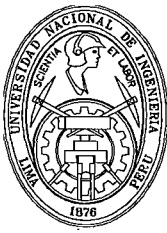
Prof. Total (m) : 3.0 m

Operador : Bach. Rick Delgadillo

Revisado : Dra. Diana Calderón

CALICATA : C-21

Profundidad (m)	Espesor del estrato (m)	Muestra obtenida	Clasificación SUCS	Simbología Gráfica	Resultados de campo		Descripción	ENSAYO DE PENETRACION					
					H. N. %	D. N. g/cm ³		Gráfica de N					
0.0								10	20	30	40	50	
									—○— SPT		—△— CP		
0.5	1.20	S/M	R		---	---	Relleno constituido por limo arenoso con material orgánico, color oscuro, se encuentra seco y su compactación es suelta.						
1.0													
1.5													
2.0	1.80	M-1	SW-SM		1.4	---	Arena bien gradada con limos, color marrón, compactación medianamente densa a suelta. Presencia de 20 % a 40 % de bolonería de TM 6".						
2.5													
3.0													



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL
CENTRO PERUANO JAPONES DE INVESTIGACIONES SISMICAS
Y MITIGACION DE DESASTRES



REGISTRO DE SONDAJE

Tesis : Microzonificación Geotécnica Sísmica del distrito de Independencia - Lima.

Ubicación : Independencia, Lima, Lima.

Fecha : Octubre, 2014.

Cota Relativa (m) : -

Prof. Nivel Freat. (m) : N.A.

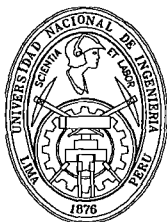
Prof. Total (m) : 3.0 m

Operador : Bach. Rick Delgadillo

Revisado : Dra. Diana Calderón

CALICATA : C-22

Profundidad (m)	Espesor del estrato (m)	Muestra obtenida	Clasificación SUCS	Simbología Gráfica	Resultados de campo		Descripción	ENSAYO DE PENETRACION					
					H. N. %	D. N. g/cm ³		Gráfica de N					
0.0								10	20	30	40	50	
								—○— SPT					—△— CP
0.5													
1.60	S/M	R			---	---	Relleno conformado por restos de ladrillo, presencia de arena gruesa, gravas angulosas de TM 8", color beige, ligera humedad.						
1.0													
1.5													
2.0													
1.40	M-1	SW-SM			1.3	---	Arena bien gradada con grava, ligera humedad, densidad media.						
2.5													
3.0													



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL
CENTRO PERUANO JAPONES DE INVESTIGACIONES SISMICAS
Y MITIGACION DE DESASTRES



REGISTRO DE SONDAJE

Tesis : Microzonificación Geotécnica Sísmica del distrito de Independencia - Lima.

Cota Relativa (m) : -

Prof. Nivel Freat. (m) : N.A.

Alt. Total (m) : 2.5 m

Supervisor : Bach. Rick Delgadillo

Revisado : Dra. Diana Calderón

Ubicación : Independencia, Lima, Lima.

Fecha : Octubre, 2014.

TALUD : T-1

Profundidad (m)	Espesor del estrato (m)	Muestra obtenida	Clasificación SUCS	Simbología Gráfica	Resultados de campo		Descripción	ENSAYO DE PENETRACION	
					H. N. %	D. N. g/cm ³		Gráfica de N	
								10 20 30 40 50	—○— SPT —△— CP
0.0									
0.5									
1.0									
1.5	2.50	M-1	SP-SM		1.2	-	Arena mal gradada con limo y grava; beige; muy densa; seca; con 35.2% de grava $\leq 2"$, 57.3% de arena y 7.5% de finos.		
2.0									
2.5									
3.0									



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL
CENTRO PERUANO JAPONES DE INVESTIGACIONES SISMICAS
Y MITIGACION DE DESASTRES



REGISTRO DE SONDAJE

Tesis : Microzonificación Geotécnica Sísmica del distrito de Independencia - Lima.

Cota Relativa (m) : -

Prof. Nivel Freat. (m) : N.A.

Alt. Total (m) : 4.5 m

Supervisor : Bach. Rick Delgadillo

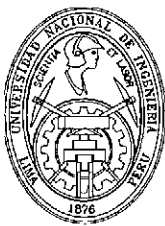
Revisado : Dra. Diana Calderón

Ubicación : Independencia, Lima, Lima.

Fecha : Octubre, 2014.

TALUD : T-2

Profundidad (m)	Espesor del estrato (m)	Muestra obtenida	Clasificación SUCS	Simbología Gráfica	Resultados de campo		Descripción	ENSAYO DE PENETRACION					
					H. N. %	D. N. g/cm ³		Gráfica de N					
								10	20	30	40	50	
0.0				XXXX									—○— SPT —△— CP
0.5				XXXX									
1.0				XXXX									
1.5				XXXX									
2.0				XXXX									
2.5	4.50	S/M	---	XXXX	-	-	Formación rocosa; gris; seca; moderadamente fracturada.						
3.0				XXXX									
3.5				XXXX									
4.0				XXXX									
4.5				XXXX									



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL
CENTRO PERUANO JAPONES DE INVESTIGACIONES SISMICAS
Y MITIGACION DE DESASTRES



REGISTRO DE SONDAJE

Tesis : Microzonificación Geotécnica Sísmica del distrito de Independencia - Lima.

Cota Relativa (m) : -

Prof. Nivel Freat. (m) : N.A.

Alt. Total (m) : 5.0 m

Supervisor : Bach. Rick Delgadillo

Revisado : Dra. Diana Calderón

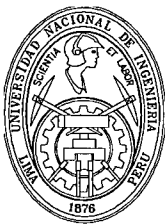
Ubicación : Independencia, Lima, Lima.

Fecha : Octubre, 2014.

TALUD : T-3

Profundidad (m)	Espesor del estrato (m)	Muestra obtenida	Clasificación SUCS	Simbología Gráfica	Resultados de campo		Descripción	ENSAYO DE PENETRACION				
					H. N. %	D. N. g/cm³		Gráfica de N				
								10	20	30	40	50
0.0				XXXX				—○— SPT —▲— CP				
0.5				XXXX								
1.0				XXXX								
1.5				XXXX								
2.0				XXXX								
2.5	5.00	S/M	---	XXXX	-	-	Formación rocosa; gris; seca; altamente fracturada; cubierta por suelos.					
3.0				XXXX								
3.5				XXXX								
4.0				XXXX								
4.5				XXXX								
5.0				XXXX								

Página : 1 de 1



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL
CENTRO PERUANO JAPONES DE INVESTIGACIONES SISMICAS
Y MITIGACION DE DESASTRES



REGISTRO DE SONDAJE

Tesis : Microzonificación Geotécnica Sísmica del distrito de Independencia - Lima.

Cota Relativa (m) : -

Prof. Nivel Freat. (m) : N.A.

Alt. Total (m) : 1.8 m

Supervisor : Bach. Rick Delgadillo

Revisado : Dra. Diana Calderón

Ubicación : Independencia, Lima, Lima.

Fecha : Octubre, 2014.

TALUD : T-4

Profundidad (m)	Espesor del estrato (m)	Muestra obtenida	Clasificación SUCS	Simbología Gráfica	Resultados de campo		Descripción	ENSAYO DE PENETRACION				
					H. N. %	D. N. g/cm³		Gráfica de N				
								10	20	30	40	50
0.0								—○— SPT	—△— CP			
0.5												
1.0	1.80	M-1	SC		2.2	-	Arena arcillosa con grava; gris claro; densa; humedad baja; con 25.5% de grava ≤ 2", 44.6% de arena y 29.9% de finos; plasticidad baja (IP=9)					
1.5												
2.0												
2.5												
3.0												

Página : 1 de 1



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL
CENTRO PERUANO JAPONES DE INVESTIGACIONES SISMICAS
Y MITIGACION DE DESASTRES



REGISTRO DE SONDAJE

Tesis : Microzonificación Geotécnica Sísmica del distrito de Independencia - Lima.

Cota Relativa (m) : -

Prof. Nivel Freat. (m) : N.A.

Alt. Total (m) : 5.0 m

Supervisor : Bach. Rick Delgadillo

Revisado : Dra. Diana Calderón

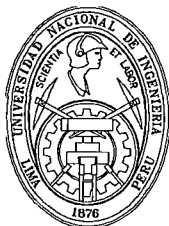
Ubicación : Independencia, Lima, Lima.

Fecha : Octubre, 2014.

TALUD : T-6

Profundidad (m)	Espesor del estrato (m)	Muestra obtenida	Clasificación SUCS	Simbología Gráfica	Resultados de campo		Descripción	ENSAYO DE PENETRACION				
					H. N. %	D. N. g/cm³		Gráfica de N				
0.0				XXXX				10	20	30	40	50
				XXXX				—○— SPT —●— CP				
0.5				XXXX								
				XXXX								
				XXXX								
1.0				XXXX								
				XXXX								
				XXXX								
1.5				XXXX								
				XXXX								
				XXXX								
2.0				XXXX								
				XXXX								
				XXXX								
2.5	5.00	S/M	---	XXXX	-	-	Formación rocosa; beige; seca; moderadamente fracturada; cubierta parcialmente por suelos.					
				XXXX								
				XXXX								
3.0				XXXX								
				XXXX								
				XXXX								
3.5				XXXX								
				XXXX								
				XXXX								
4.0				XXXX								
				XXXX								
				XXXX								
4.5				XXXX								
				XXXX								
				XXXX								
5.0				XXXX								

Página : 1 de 1



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL
CENTRO PERUANO JAPONES DE INVESTIGACIONES SISMICAS
Y MITIGACION DE DESASTRES



REGISTRO DE SONDAJE

Tesis : Microzonificación Geotécnica Sísmica del distrito de Independencia - Lima.

Ubicación : Independencia, Lima, Lima.

Fecha : Octubre, 2014.

Cota Relativa (m) : -

Prof. Nivel Freat. (m) : N.A.

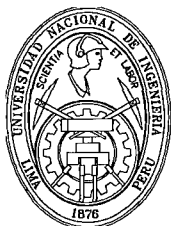
Prof. Total (m) : 6.0 m

Operador : Bach. Rick Delgadillo

Revisado : Dra. Diana Calderón

TALUD : T-7

Profundidad (m)	Espesor del estrato (m)	Muestra obtenida	Clasificación SUCS	Simbología Gráfica	Resultados de campo		Descripción	ENSAYO DE PENETRACION				
					H. N. %	D. N. g/cm ³		Gráfica de N				
0.0								10	20	30	40	50
1.0												
2.0												
3.0	6.00	M-1	SC		---	---	Arena arcillosa con grava; gris claro; densa; humedad baja.					
4.0												
5.0												
6.0												



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL
CENTRO PERUANO JAPONES DE INVESTIGACIONES SISMICAS
Y MITIGACION DE DESASTRES



REGISTRO DE SONDAJE

Tesis : Microzonificación Geotécnica Sísmica del distrito de Independencia - Lima.

Ubicación : Independencia, Lima, Lima.

Fecha : Octubre, 2014.

Cota Relativa (m) : -

Prof. Nivel Freat. (m) : N.A.

Prof. Total (m) : 10.0 m

Operador : Bach. Rick Delgadillo

Revisado : Dra. Diana Calderón

TALUD : T-8

Profundidad (m)	Espesor del estrato (m)	Muestra obtenida	Clasificación SUCS	Simbología Gráfica	Resultados de campo		Descripción	ENSAYO DE PENETRACION					
					H. N. %	D. N. g/cm ³		Gráfica de N					
0.0				XXXX				10	20	30	40	50	
1.0				XXXX									
2.0				XXXX									
3.0				XXXX									
4.0				XXXX									
5.0	10.00	S/M	---	XXXX	---	---	Formación rocosa; gris; seca; altamente fracturada.						
6.0				XXXX									
7.0				XXXX									
8.0				XXXX									
9.0				XXXX									
10.0				XXXX									



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL
CENTRO PERUANO JAPONES DE INVESTIGACIONES SISMICAS
Y MITIGACION DE DESASTRES



REGISTRO DE SONDAJE

Tesis : Microzonificación Geotécnica Sísmica del distrito de Independencia - Lima.

Ubicación : Independencia, Lima, Lima.

Fecha : Octubre, 2014.

Cota Relativa (m) : -

Prof. Nivel Freat. (m) : N.A.

Prof. Total (m) : 4.0 m

Operador : Bach. Rick Delgadillo

Revisado : Dra. Diana Calderón

TALUD : T-9

Profundidad (m)	Espesor del estrato (m)	Muestra obtenida	Clasificación SUCS	Simbología Gráfica	Resultados de campo		Descripción	ENSAYO DE PENETRACION				
					H. N. %	D. N. g/cm ³		Gráfica de N				
								10	20	30	40	50
								—○— SPT —▲— CP				
0.0				XXXX								
				XXXX								
				XXXX								
				XXXX								
0.5				XXXX								
				XXXX								
				XXXX								
				XXXX								
1.0				XXXX								
				XXXX								
				XXXX								
				XXXX								
1.5				XXXX								
				XXXX								
				XXXX								
				XXXX								
2.0	4.00	S/M	---	XXXX	---	---	Formación rocosa altamente fracturada; color gris; seca.					
				XXXX								
				XXXX								
				XXXX								
				XXXX								
2.5				XXXX								
				XXXX								
				XXXX								
				XXXX								
3.0				XXXX								
				XXXX								
				XXXX								
				XXXX								
3.5				XXXX								
				XXXX								
				XXXX								
				XXXX								
4.0				XXXX								

Anexo II: Resultados de Ensayos de Laboratorio



ENSAYOS DE CARACTERIZACIONES FÍSICAS

(ASTM - D4426; D422; D4318; D427; D2487; D-3282)

Informe : LG13-090

Fecha : Mayo, 2013

Solicitante : MINISTERIO DE ECONOMÍA Y FINANZAS

Proyecto : Fortalecimiento de Tecnología para la Mitigación de Desastres por Terremoto y Tsunami en el Perú

Ubicación : Dist. Independencia, Prov. y Dpto. Lima

Sondaje : C - 01

Hoja : 1 de 1

Muestra : M - 01

Profundidad (m) : 0.40 - 1.00

Granulometría por tamizado

Tamiz	Abertura (mm)	Acum. q' Pasa (%)
3"	76.200	100.0
2"	50.800	100.0
1½"	38.100	100.0
1"	25.400	100.0
¾"	19.050	100.0
3/8"	9.525	100.0
Nº 4	4.750	100.0
Nº 10	2.000	99.8
Nº 20	0.850	98.9
Nº 40	0.425	89.1
Nº 60	0.250	61.8
Nº 140	0.106	39.3
Nº 200	0.075	37.2

Contenido de humedad

	(%)	5.8
Límites de consistencia		
Límite Líquido	(%)	18
Límite Plástico	(%)	NP
Índice de Plasticidad	(%)	NP
Límite de Contracción	(%)	---
Resultados de granulometría por tamizado		
Coeficiente de Uniformidad (Cu)		---
Coeficiente de Curvatura (Cc)		---
Grava [Nº 4 < ϕ < 3"]	(%)	0.0
Arena [Nº 200 < ϕ < Nº 4]	(%)	62.8
Finos [ϕ < Nº 200]	(%)	37.2

Clasificación

AASHTO

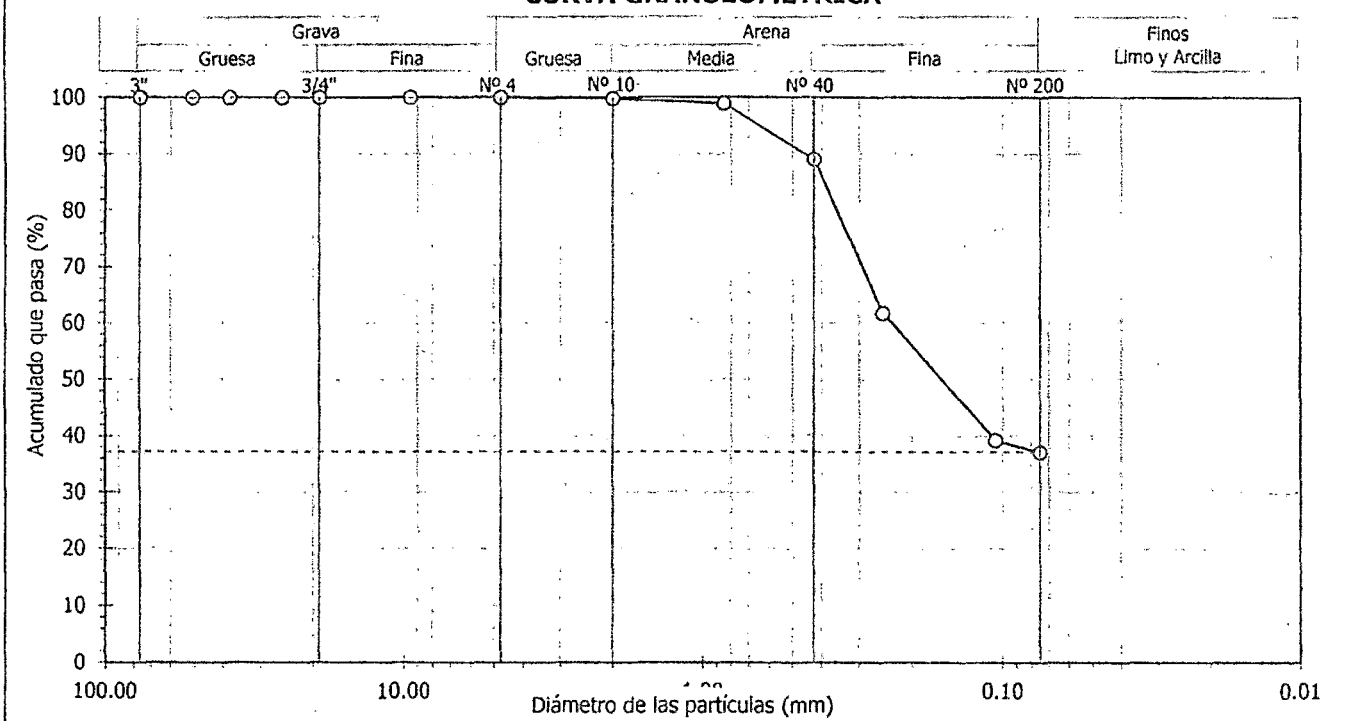
SUCS

A-4 (0)

SM

Arena limosa

CURVA GRANULOMETRICA



DAVID LUNA DURÁN

INGENIERO CIVIL - CIP 43988

JEFE DEL LAB. GEOTÉCNICO





ENSAYOS DE CARACTERIZACIONES FÍSICAS

(ASTM - D4426; D422; D4318; D427; D2487; D-3282)

Informe : LG13-090
Solicitante : MINISTERIO DE ECONOMÍA Y FINANZAS
Proyecto : Fortalecimiento de Tecnología para la Mitigación de Desastres por Terremoto y Tsunami en el Perú

Fecha : Mayo, 2013

Ubicación : Dist. Independencia, Prov. y Dpto. Lima

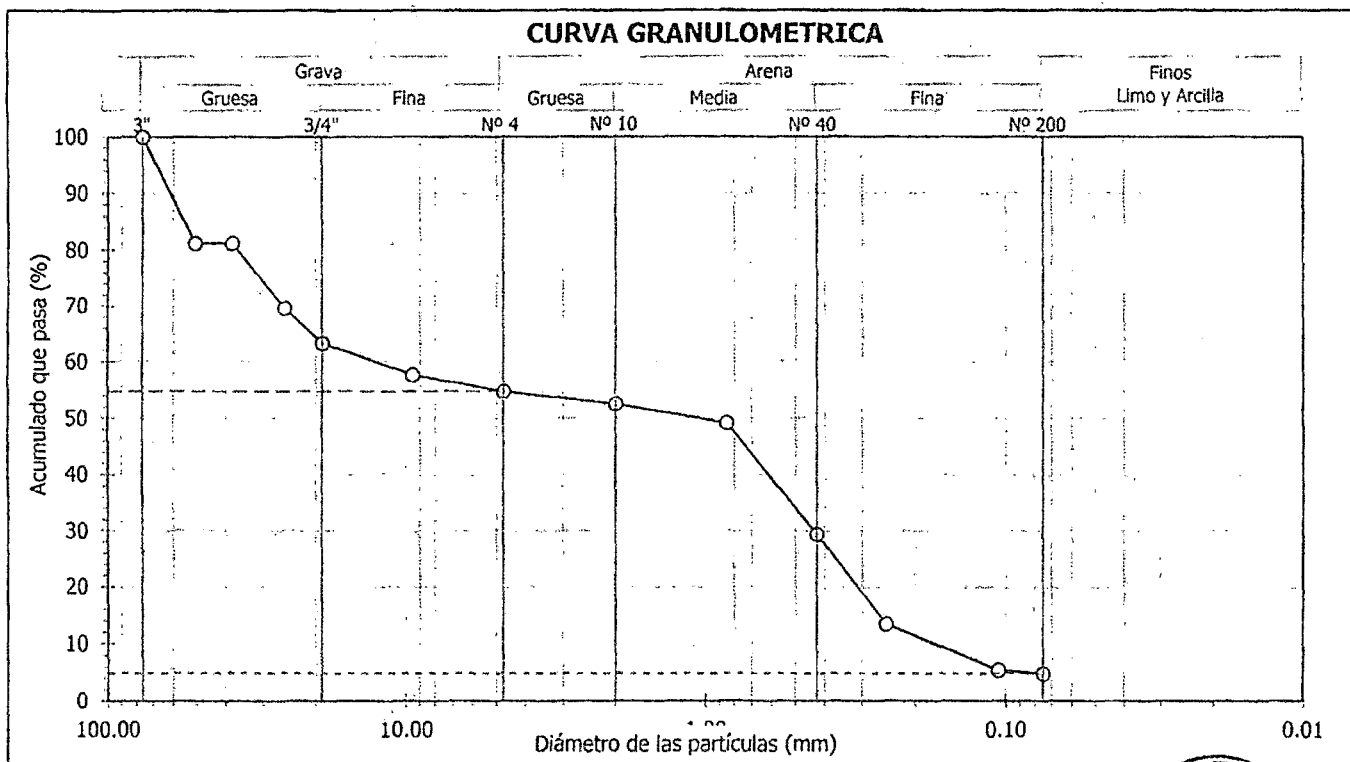
Sondaje : C - 01
Muestra : M - 02
Profundidad (m) : 1.00 - 1.40

Hoja : 1 de 1

Granulometría por tamizado		
Tamiz	Abertura (mm)	Acum. q' Pasa (%)
3"	76.200	100.0
2"	50.800	81.2
1½"	38.100	81.2
1"	25.400	69.6
¾"	19.050	63.3
3/8"	9.525	57.7
Nº 4	4.750	54.8
Nº 10	2.000	52.6
Nº 20	0.850	49.2
Nº 40	0.425	29.4
Nº 60	0.250	13.5
Nº 140	0.106	5.5
Nº 200	0.075	4.9

Contenido de humedad		(%)	1.5
Límites de consistencia	Límite Líquido	(%)	NP
	Límite Plástico	(%)	NP
	Índice de Plasticidad	(%)	NP
	Límite de Contracción	(%)	---
Resultados de granulometría por tamizado	Coefficiente de Uniformidad (Cu)		73.9
	Coefficiente de Curvatura (Cc)		0.1
	Grava [Nº 4 < ϕ < 3"]	(%)	45.2
	Arena [Nº 200 < ϕ < Nº 4]	(%)	49.8
	Finos [ϕ < Nº 200]	(%)	4.9

Clasificación	
AASHTO	SUCS
A-1b (0)	SP
Arena mal gradada con grava	



DAVID LUNA DURÁN
INGENIERO CIVIL - CIP 43988
JEFE DEL LAB. GEOTÉCNICO





ENSAYOS DE CARACTERIZACIONES FÍSICAS

(ASTM - D4426; D422; D4318; D427; D2487; D-3282)

Informe : LG13-090
Solicitante : MINISTERIO DE ECONOMÍA Y FINANZAS
Proyecto : Fortalecimiento de Tecnología para la Mitigación de Desastres por Terremoto y Tsunami en el Perú

Fecha : Mayo, 2013

Ubicación : Dist. Independencia, Prov. y Dpto. Lima

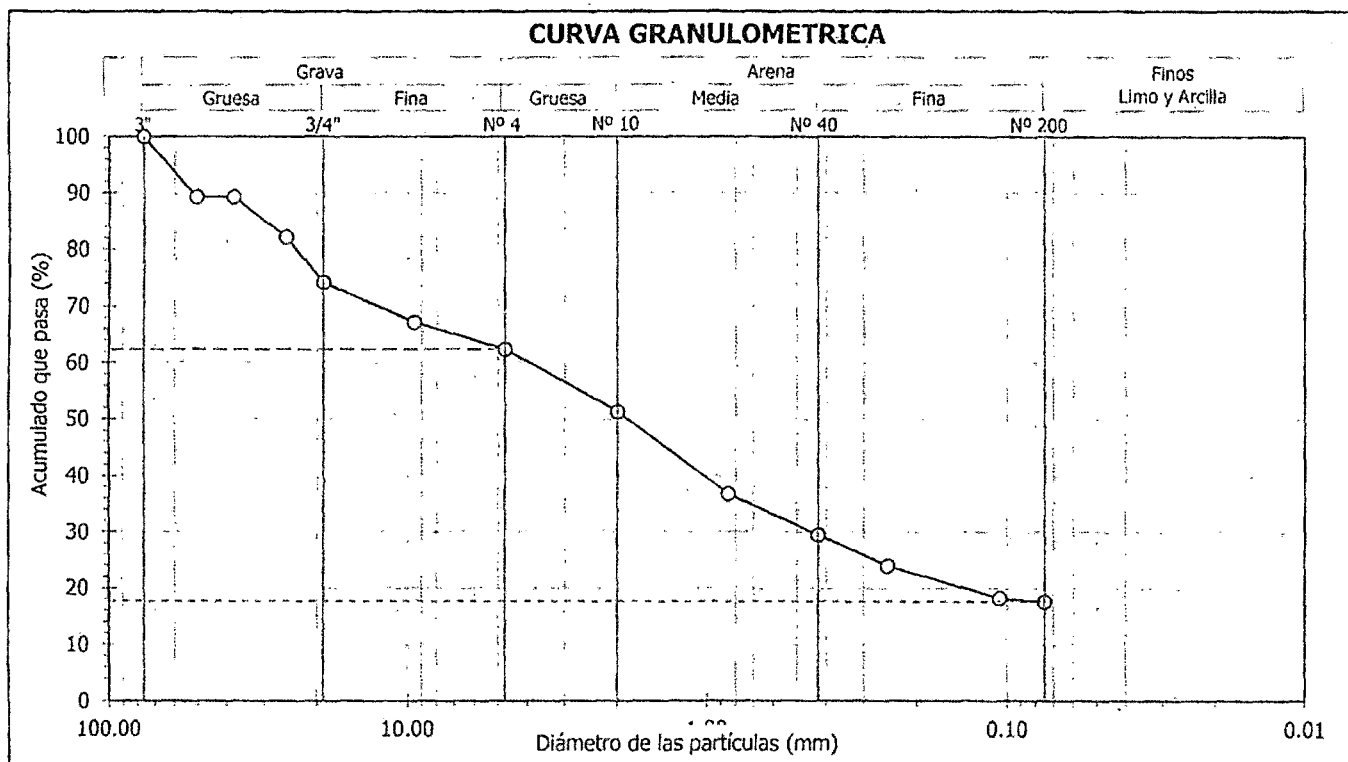
Sondaje : C - 02
Muestra : M - 01
Profundidad (m) : 1.00 - 1.60

Hoja : 1 de 1

Granulometría por tamizado		
Tamiz	Abertura (mm)	Acum. q' Pasa (%)
3"	76.200	100.0
2"	50.800	89.3
1 1/2"	38.100	89.3
1"	25.400	82.2
3/4"	19.050	74.2
3/8"	9.525	67.2
Nº 4	4.750	62.4
Nº 10	2.000	51.3
Nº 20	0.850	36.8
Nº 40	0.425	29.5
Nº 60	0.250	24.0
Nº 140	0.106	18.3
Nº 200	0.075	17.7

Contenido de humedad		(%)	2.8
Límites de consistencia	Límite Líquido	(%)	28
	Límite Plástico	(%)	21
	Índice de Plasticidad	(%)	7
	Límite de Contracción	(%)	---
Resultados de granulometría por tamizado	Coefficiente de Uniformidad (Cu)		---
	Coefficiente de Curvatura (Cc)		---
	Grava [$Nº 4 < \phi < 3"$]	(%)	37.6
	Arena [$Nº 200 < \phi < Nº 4$]	(%)	44.7
	Finos [$\phi < Nº 200$]	(%)	17.7

Clasificación	
AASHTO	SUCS
A-2-4 (0)	SC - SM
Arena arcillo limosa con grava	



DAVID LUNA DURÁN
INGENIERO CIVIL - CIP 43988
JEFE DEL LAB. GEOTÉCNICO





ENSAYOS DE CARACTERIZACIONES FISICAS

(ASTM - D4426; D422; D4318; D427; D2487; D-3282)

Informe : LG13-090

Fecha : Mayo, 2013

Solicitante : MINISTERIO DE ECONOMÍA Y FINANZAS

Proyecto : Fortalecimiento de Tecnología para la Mitigación de Desastres por Terremoto y Tsunami en el Perú

Ubicación : Dist. Independencia, Prov. y Dpto. Lima

Sondaje : C - 03

Hoja : 1 de 1

Muestra : M - 01

Profundidad (m) : 0.60 - 1.90

Granulometría por tamizado

Tamiz	Abertura (mm)	Acum. q' Pasa (%)
3"	76.200	100.0
2"	50.800	100.0
1½"	38.100	100.0
1"	25.400	100.0
¾"	19.050	100.0
3/8"	9.525	100.0
Nº 4	4.750	99.8
Nº 10	2.000	96.7
Nº 20	0.850	93.2
Nº 40	0.425	86.2
Nº 60	0.250	74.8
Nº 140	0.106	53.3
Nº 200	0.075	50.7

Contenido de humedad

	(%)	7.3
Límites de consistencia	Límite Líquido (%)	22
	Límite Plástico (%)	16
	Índice de Plasticidad (%)	6
	Límite de Contracción (%)	---
Resultados de granulometría por tamizado	Coefficiente de Uniformidad (Cu)	---
	Coefficiente de Curvatura (Cc)	---
	Grava [Nº 4 < ϕ < 3"] (%)	0.2
	Arena [Nº 200 < ϕ < Nº 4] (%)	49.1
	Finos [ϕ < Nº 200] (%)	50.7

Clasificación

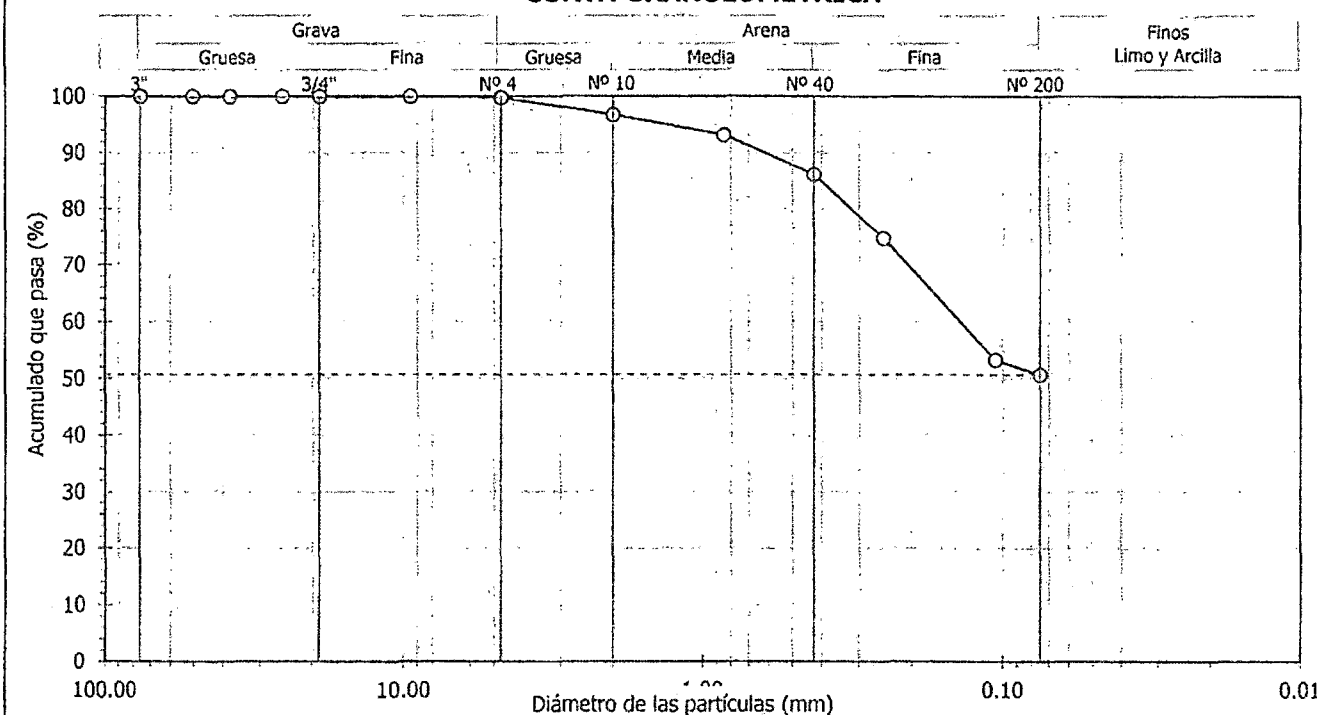
AASHTO

SUCS

A-4 (0)

CL - ML Arcilla limosa arenosa

CURVA GRANULOMETRICA



DAVID LUNA DURÁN
INGENIERO CIVIL - CIP 43988





ENSAYOS DE CARACTERIZACIONES FÍSICAS

(ASTM - D4426; D422; D4318; D427; D2487; D-3282)

Informe : LG13-090
Solicitante : MINISTERIO DE ECONOMÍA Y FINANZAS
Proyecto : Fortalecimiento de Tecnología para la Mitigación de Desastres por Terremoto y Tsunami en el Perú
Ubicación : Dist. Independencia, Prov. y Dpto. Lima

Fecha : Mayo, 2013

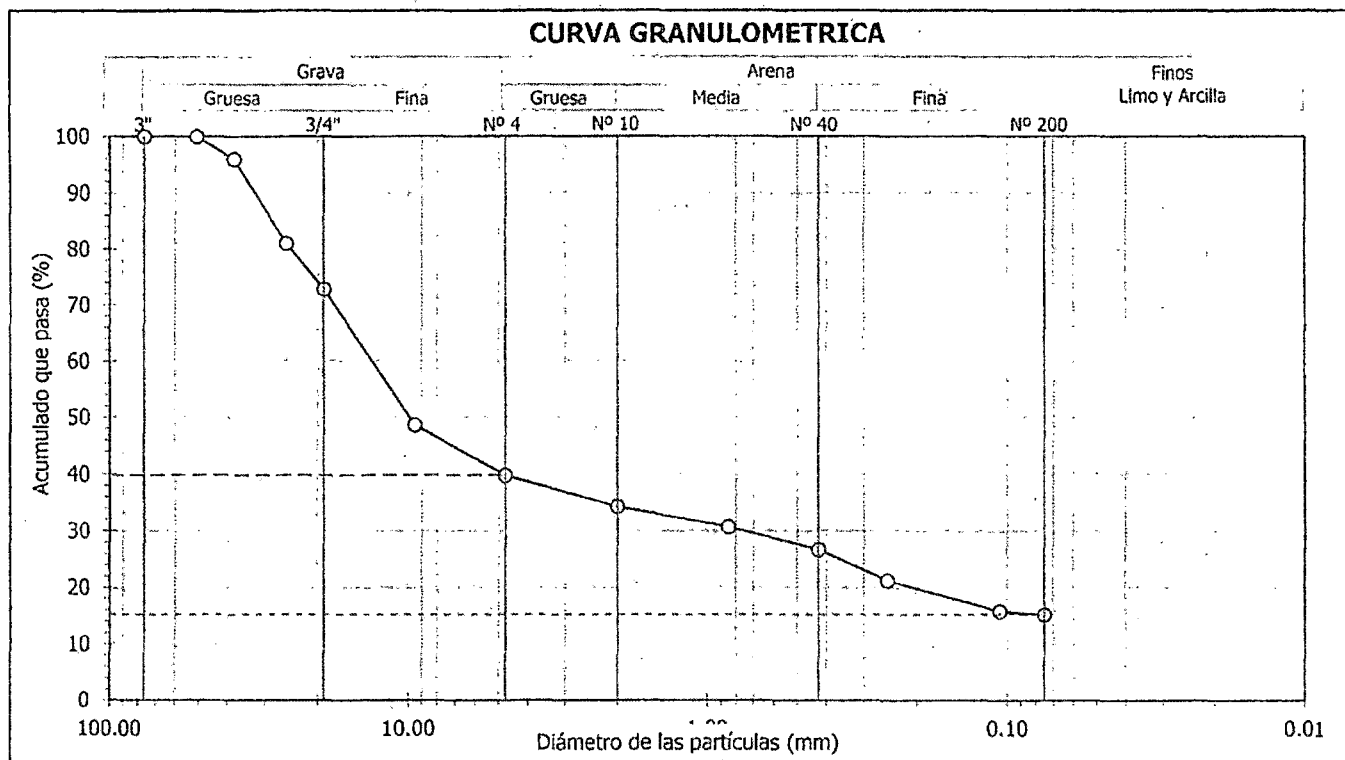
Sondaje : C - 03
Muestra : M - 02
Profundidad (m) : 1.90 - 3.00

Hoja : 1 de 1

Granulometría por tamizado		
Tamiz	Abertura (mm)	Acum. q' Pasa (%)
3"	76.200	100.0
2"	50.800	100.0
1½"	38.100	96.0
1"	25.400	81.1
¾"	19.050	72.9
3/8"	9.525	48.7
Nº 4	4.750	39.8
Nº 10	2.000	34.3
Nº 20	0.850	30.7
Nº 40	0.425	26.7
Nº 60	0.250	21.2
Nº 140	0.106	15.8
Nº 200	0.075	15.2

Contenido de humedad		(%)	4.6
Límites de consistencia	Límite Líquido	(%)	21
	Límite Plástico	(%)	18
	Índice de Plasticidad	(%)	3
	Límite de Contracción	(%)	---
Resultados de granulometría por tamizado	Coefficiente de Uniformidad (Cu)	(%)	---
	Coefficiente de Curvatura (Cc)	(%)	---
	Grava [$Nº 4 < \phi < 3"$]	(%)	60.2
	Arena [$Nº 200 < \phi < Nº 4$]	(%)	24.5
	Finos [$\phi < Nº 200$]	(%)	15.2

Clasificación	
AASHTO	SUCS
A-1b (0)	GM Grava limosa con arena



David Luna Durán
DAVID LUNA DURÁN
INGENIERO CIVIL - CIP 43988
JEFE DEL LAB. GEOTÉCNICO





ENSAYOS DE CARACTERIZACIONES FÍSICAS

(ASTM - D4426; D422; D4318; D427; D2487; D-3282)

Informe : LG13-090
Solicitante : MINISTERIO DE ECONOMÍA Y FINANZAS
Proyecto : Fortalecimiento de Tecnología para la Mitigación de Desastres por Terremoto y Tsunami en el Perú

Fecha : Mayo, 2013

Ubicación : Dist. Independencia, Prov. y Dpto. Lima

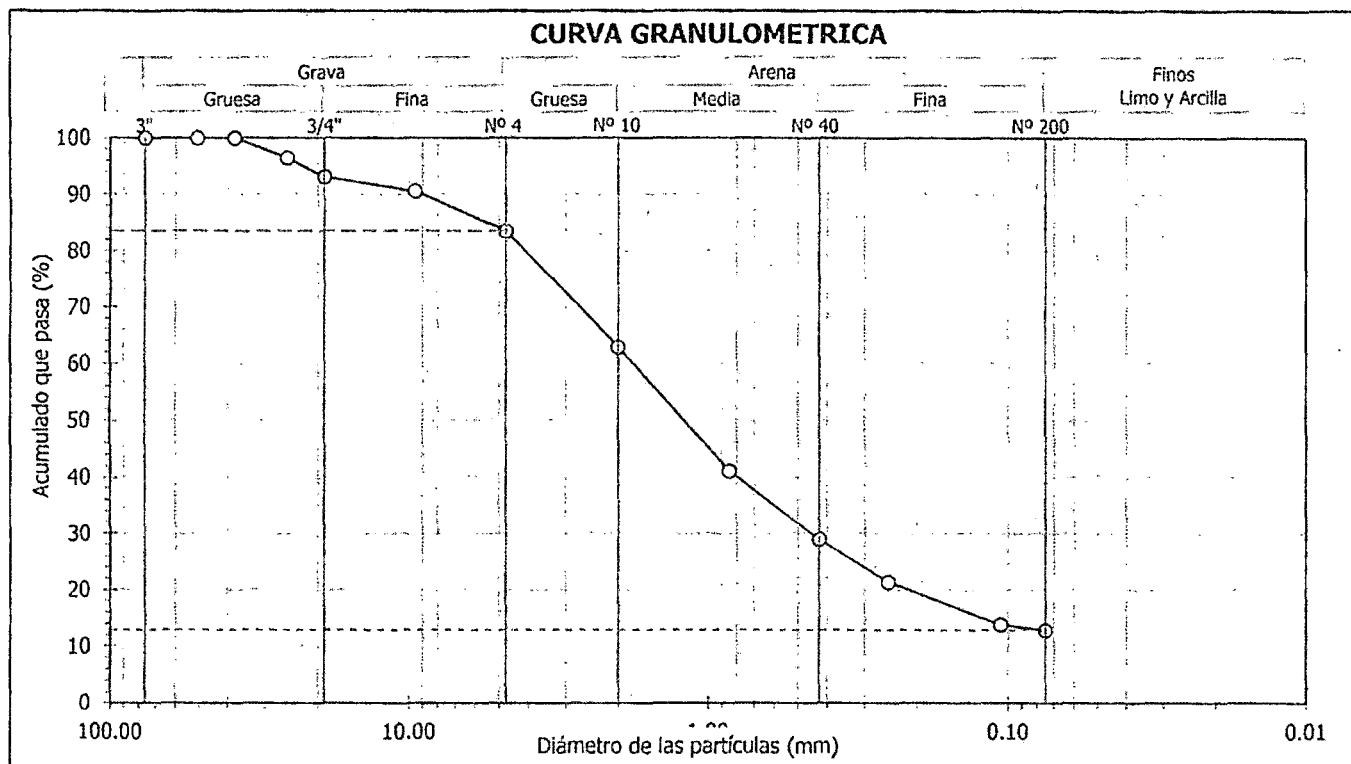
Sondaje : C - 04
Muestra : M - 01
Profundidad (m) : 1.00 - 1.80

Hoja : 1 de 1

Granulometría por tamizado		
Tamiz	Abertura (mm)	Acum. q' Pasa (%)
3"	76.200	100.0
2"	50.800	100.0
1½"	38.100	100.0
1"	25.400	96.5
¾"	19.050	93.1
3/8"	9.525	90.6
Nº 4	4.750	83.5
Nº 10	2.000	62.9
Nº 20	0.850	41.1
Nº 40	0.425	29.0
Nº 60	0.250	21.4
Nº 140	0.106	13.9
Nº 200	0.075	12.9

Contenido de humedad		(%)	3.4
Límites de consistencia	Límite Líquido	(%)	NP
	Límite Plástico	(%)	NP
	Índice de Plasticidad	(%)	NP
	Límite de Contracción	(%)	---
Resultados de granulometría por tamizado	Coefficiente de Uniformidad (Cu)		---
	Coefficiente de Curvatura (Cc)		---
	Grava [$N^{\circ} 4 < \phi < 3"$]	(%)	16.5
	Arena [$N^{\circ} 200 < \phi < N^{\circ} 4$]	(%)	70.5
	Finos [$\phi < N^{\circ} 200$]	(%)	12.9

Clasificación	
AASHTO	SUCS
A-1b (0)	SM Arena limosa con grava



DAVID LUNA DURÁN
INGENIERO CIVIL - CIP 43988





ENSAYOS DE CARACTERIZACIONES FISICAS

(ASTM - D4426; D422; D4318; D427; D2487; D-3282)

Informe : LG13-090
Solicitante : MINISTERIO DE ECONOMÍA Y FINANZAS
Proyecto : Fortalecimiento de Tecnología para la Mitigación de Desastres por Terremoto y Tsunami en el Perú
Ubicación : Dist. Independencia, Prov. y Dpto. Lima

Fecha : Mayo, 2013

Sondaje : C - 04
Muestra : M - 02
Profundidad (m) : 1.80 - 2.80

Hoja : 1 de 1

Granulometría por tamizado		
Tamiz	Abertura (mm)	Acum. q' Pasa (%)
3"	76.200	100.0
2"	50.800	74.9
1½"	38.100	74.9
1"	25.400	68.9
¾"	19.050	67.9
3/8"	9.525	62.4
Nº 4	4.750	50.0
Nº 10	2.000	29.6
Nº 20	0.850	17.9
Nº 40	0.425	13.5
Nº 60	0.250	11.2
Nº 140	0.106	7.7
Nº 200	0.075	7.0

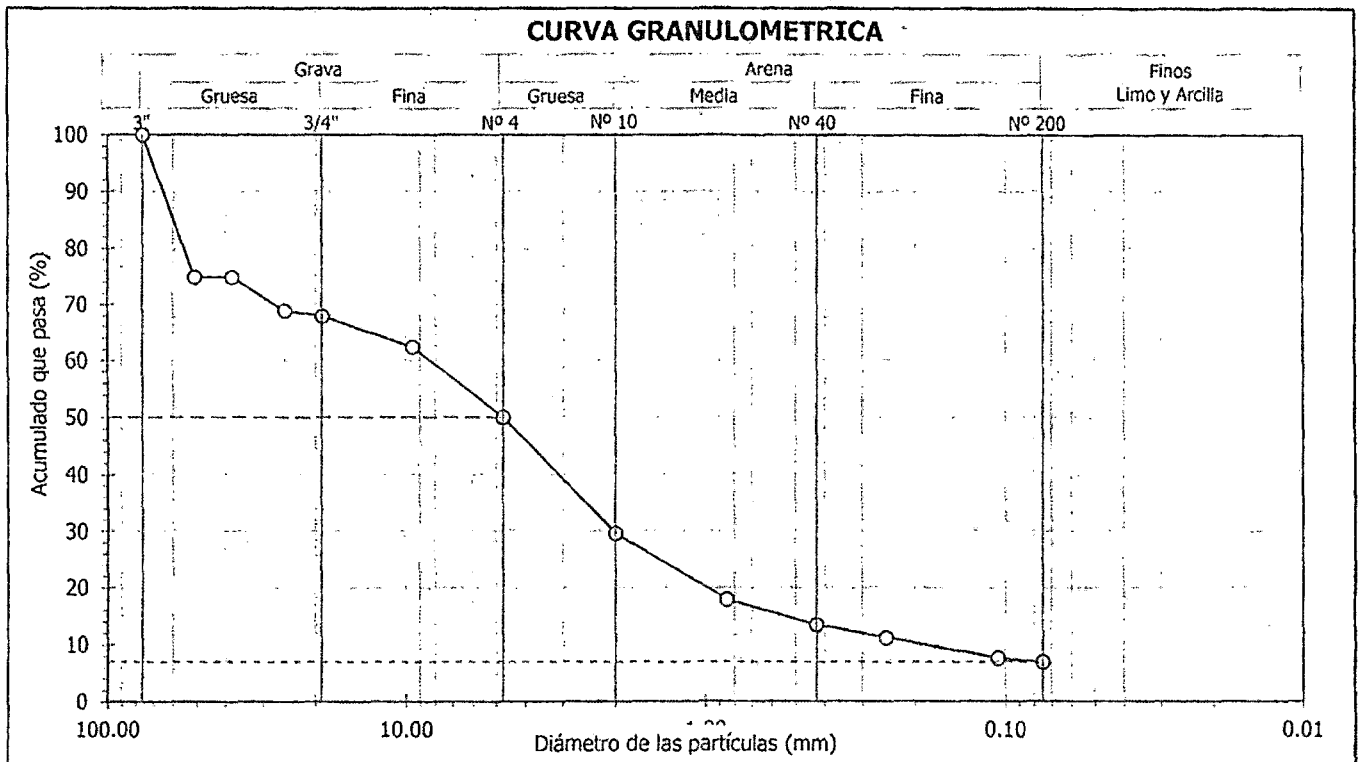
Contenido de humedad		(%)	1.8
Límites de consistencia	Límite Líquido	(%)	NP
	Límite Plástico	(%)	NP
	Índice de Plasticidad	(%)	NP
	Límite de Contracción	(%)	---
Resultados de granulometría por tamizado	Coefficiente de Uniformidad (Cu)		44.2
	Coefficiente de Curvatura (Cc)		2.7
	Grava [$Nº 4 < \phi < 3"$]	(%)	50.0
	Arena [$Nº 200 < \phi < Nº 4$]	(%)	43.0
	Finos [$\phi < Nº 200$]	(%)	7.0

Clasificación

AASHTO

SUCS

A-1a (0) GW - GM Grava bien gradada con limo y arena



DAVID LUNA DURÁN
INGENIERO CIVIL - CIP 43988
JEFE DEL LAB. GEOTÉCNICO





ENSAYOS DE CARACTERIZACIONES FISICAS

(ASTM - D4426; D422; D4318; D427; D2487; D-3282)

Informe : LG13-090
Solicitante : MINISTERIO DE ECONOMÍA Y FINANZAS
Proyecto : Fortalecimiento de Tecnología para la Mitigación de Desastres por Terremoto y Tsunami en el Perú

Fecha : Mayo, 2013

Ubicación : Dist. Independencia, Prov. y Dpto. Lima

Sondaje : C - 05
Muestra : M - 01
Profundidad (m) : 0.40 - 1.30

Hoja : 1 de 1

Granulometría por tamizado		
Tamiz	Abertura (mm)	Acum. q' Pasa (%)
3"	76.200	100.0
2"	50.800	94.2
1½"	38.100	85.2
1"	25.400	75.6
¾"	19.050	70.5
3/8"	9.525	60.8
Nº 4	4.750	52.9
Nº 10	2.000	38.3
Nº 20	0.850	23.4
Nº 40	0.425	15.8
Nº 60	0.250	11.4
Nº 140	0.106	6.7
Nº 200	0.075	6.0

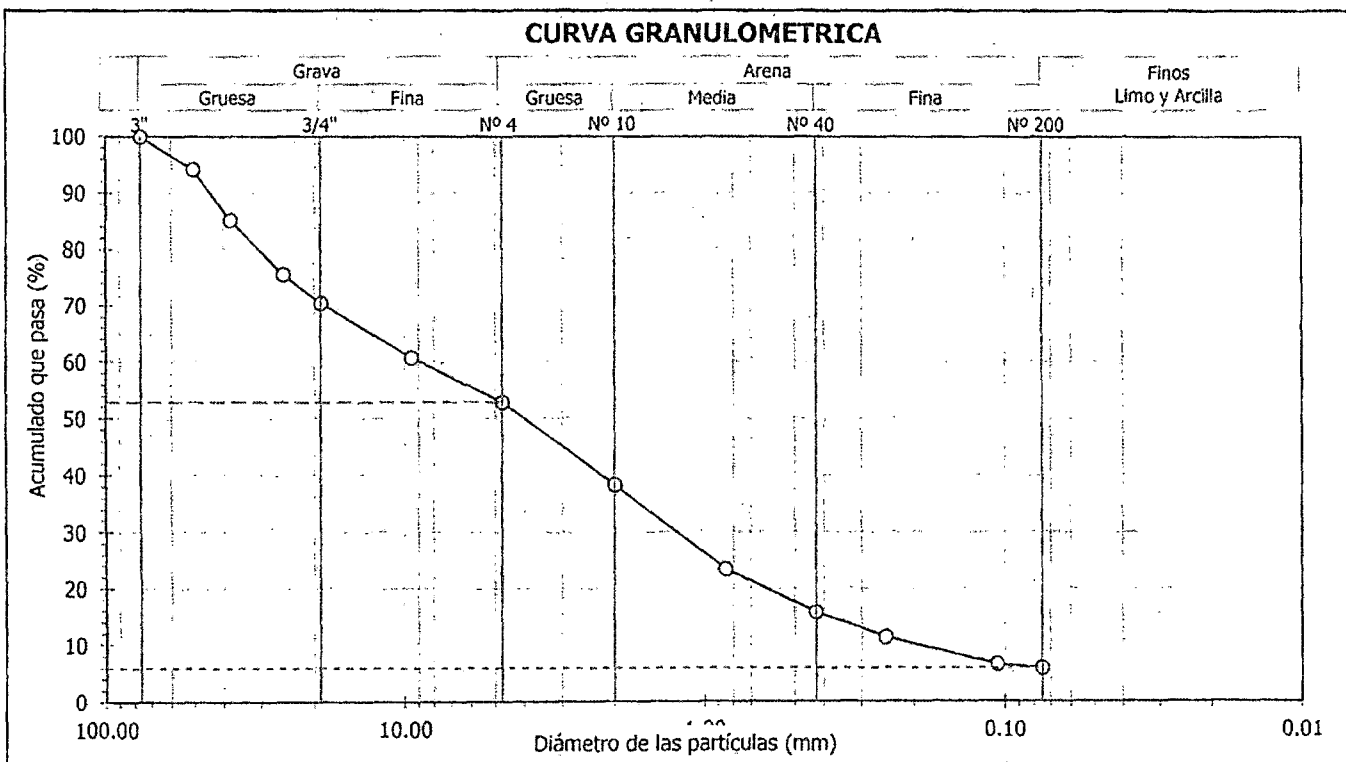
Contenido de humedad (%)		1.2
Límites de consistencia	Límite Líquido (%)	NP
	Límite Plástico (%)	NP
	Índice de Plasticidad (%)	NP
	Límite de Contracción (%)	---
Resultados de granulometría por tamizado	Coefficiente de Uniformidad (Cu)	46.0
	Coefficiente de Curvatura (Cc)	0.9
	Grava [$Nº 4 < \phi < 3"$] (%)	47.1
	Arena [$Nº 200 < \phi < Nº 4$] (%)	46.8
	Finos [$\phi < Nº 200$] (%)	6.0

Clasificación

AASHTO

SUCS

A-1a (0) | GP - GM Grava mal gradada con limo y arena



David Luna Durán
DAVID LUNA DURÁN
INGENIERO CIVIL - CIP 43988
JEFE DEL LAB. GEOTÉCNICO





ENSAYOS DE CARACTERIZACIONES FÍSICAS

(ASTM - D4426; D422; D4318; D427; D2487; D-3282)

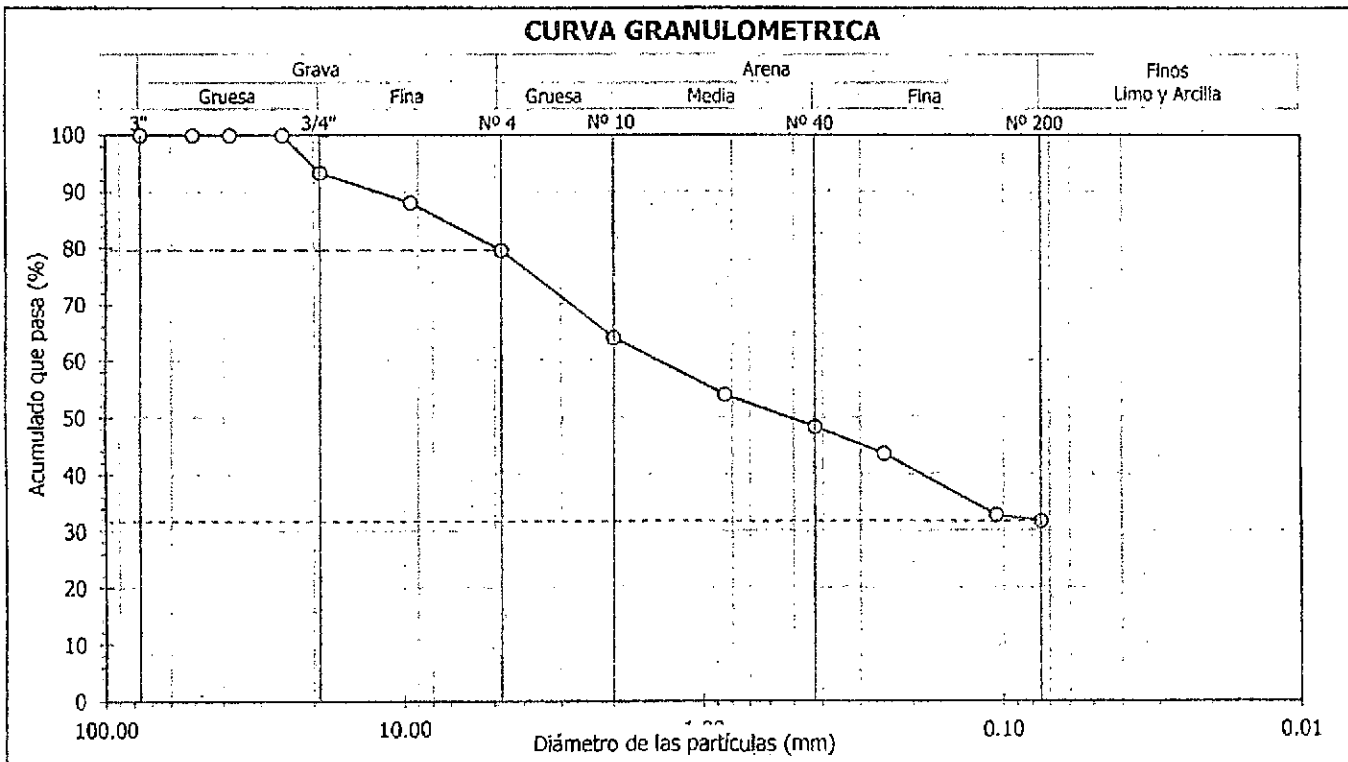
Informe : LG13-090 Fecha : Mayo, 2013
Solicitante : MINISTERIO DE ECONOMÍA Y FINANZAS
Proyecto : Fortalecimiento de Tecnología para la Mitigación de Desastres por Terremoto y Tsunami en el Perú
Ubicación : Dist. Independencia, Prov. y Dpto. Lima

Sondaje : C - 05 Hoja : 1 de 1
Muestra : M - 02
Profundidad (m) : 1.30 - 2.50

Granulometría por tamizado		
Tamiz	Abertura (mm)	Acum. q' Pasa (%)
3"	76.200	100.0
2"	50.800	100.0
1½"	38.100	100.0
1"	25.400	100.0
¾"	19.050	93.4
3/8"	9.525	88.1
Nº 4	4.750	79.6
Nº 10	2.000	64.1
Nº 20	0.850	54.0
Nº 40	0.425	48.3
Nº 60	0.250	43.6
Nº 140	0.106	32.8
Nº 200	0.075	31.7

Contenido de humedad (%)		5.0
Límites de consistencia	Límite Líquido (%)	16
	Límite Plástico (%)	13
	Índice de Plasticidad (%)	3
	Límite de Contracción (%)	---
Resultados de granulometría por tamizado	Coefficiente de Uniformidad (Cu)	---
	Coefficiente de Curvatura (Cc)	---
	Grava [Nº 4 < ϕ < 3"] (%)	20.4
	Arena [Nº 200 < ϕ < Nº 4] (%)	47.9
	Finos [ϕ < Nº 200] (%)	31.7

Clasificación	
AASHTO	SUCS
A-2-4 (0)	SM Arena limosa con grava



Amab
DAVID LUNA DURÁN
INGENIERO CIVIL - CIP 43988
JEFE DEL LAB. GEOTÉCNICO





ENSAYOS DE CARACTERIZACIONES FÍSICAS

(ASTM - D4426; D422; D4318; D427; D2487; D-3282)

Informe : LG13-090

Fecha : Mayo, 2013

Solicitante : MINISTERIO DE ECONOMÍA Y FINANZAS

Proyecto : Fortalecimiento de Tecnología para la Mitigación de Desastres por Terremoto y Tsunami en el Perú

Ubicación : Dist. Independencia, Prov. y Dpto. Lima

Sondaje : C - 07

Hoja : 1 de 1

Muestra : M - 01

Profundidad (m) : 0.60 - 1.20

Granulometría por tamizado

Tamiz	Abertura (mm)	Acum. q' Pasa (%)
3"	76.200	100.0
2"	50.800	100.0
1½"	38.100	100.0
1"	25.400	100.0
¾"	19.050	98.8
3/8"	9.525	93.1
Nº 4	4.750	82.4
Nº 10	2.000	59.5
Nº 20	0.850	35.5
Nº 40	0.425	21.4
Nº 60	0.250	14.2
Nº 140	0.106	6.4
Nº 200	0.075	5.5

Contenido de humedad

	(%)	2.8
Límites de consistencia	Límite Líquido (%)	NP
	Límite Plástico (%)	NP
	Índice de Plasticidad (%)	NP
	Límite de Contracción (%)	---
Resultados de granulometría por tamizado	Coefficiente de Uniformidad (Cu)	12.9
	Coefficiente de Curvatura (Cc)	1.3
	Grava [Nº 4 < ϕ < 3"] (%)	17.6
	Arena [Nº 200 < ϕ < Nº 4] (%)	77.0
	Finos [ϕ < Nº 200] (%)	5.5

Clasificación

AASHTO

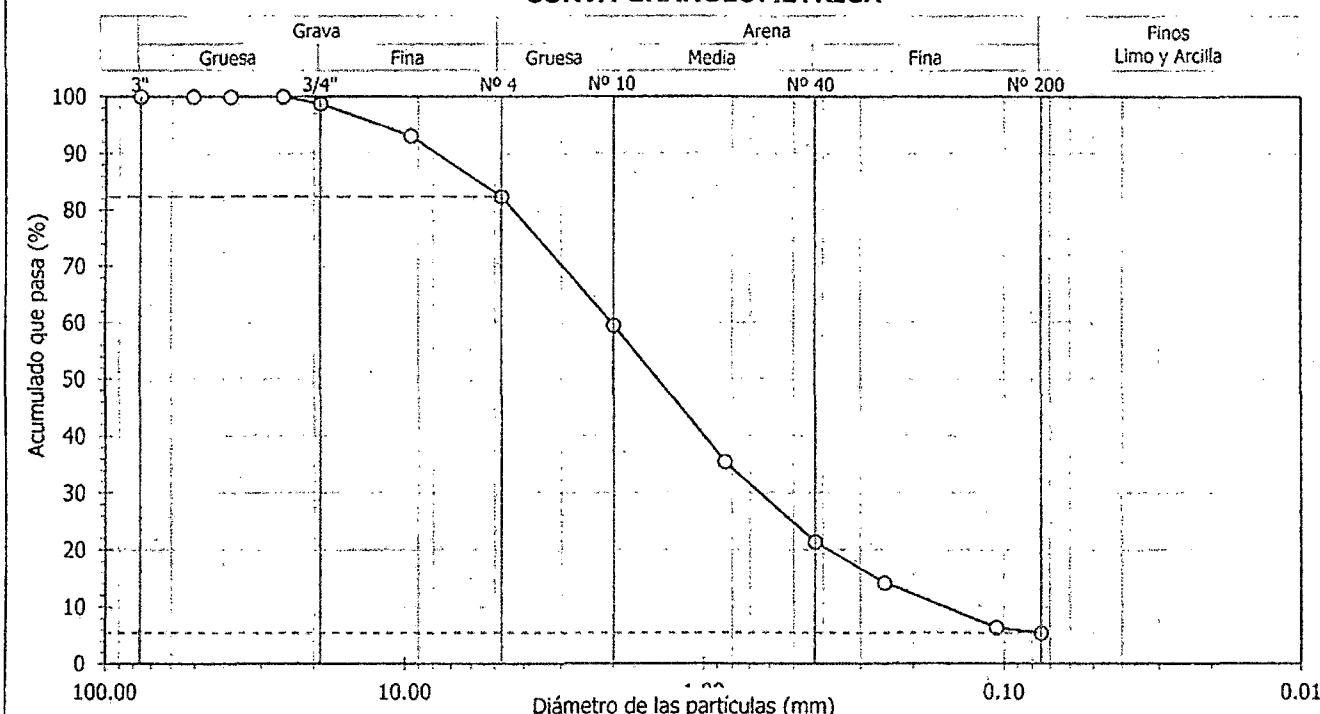
SUCS

A-1b (0)

SW - SM

Arena bien gradada con limo y grava

CURVA GRANULOMETRICA



David Luna Durán
DAVID LUNA DURÁN
INGENIERO CIVIL - CIP 43988
JEFE DEL LAB. GEOTÉCNICO





ENSAYOS DE CARACTERIZACIONES FÍSICAS

(ASTM - D4426; D422; D4318; D427; D2487; D-3282)

Informe : LG13-090 Fecha : Mayo, 2013
Solicitante : MINISTERIO DE ECONOMÍA Y FINANZAS
Proyecto : Fortalecimiento de Tecnología para la Mitigación de Desastres por Terremoto y Tsunami en el Perú
Ubicación : Dist. Independencia, Prov. y Dpto. Lima

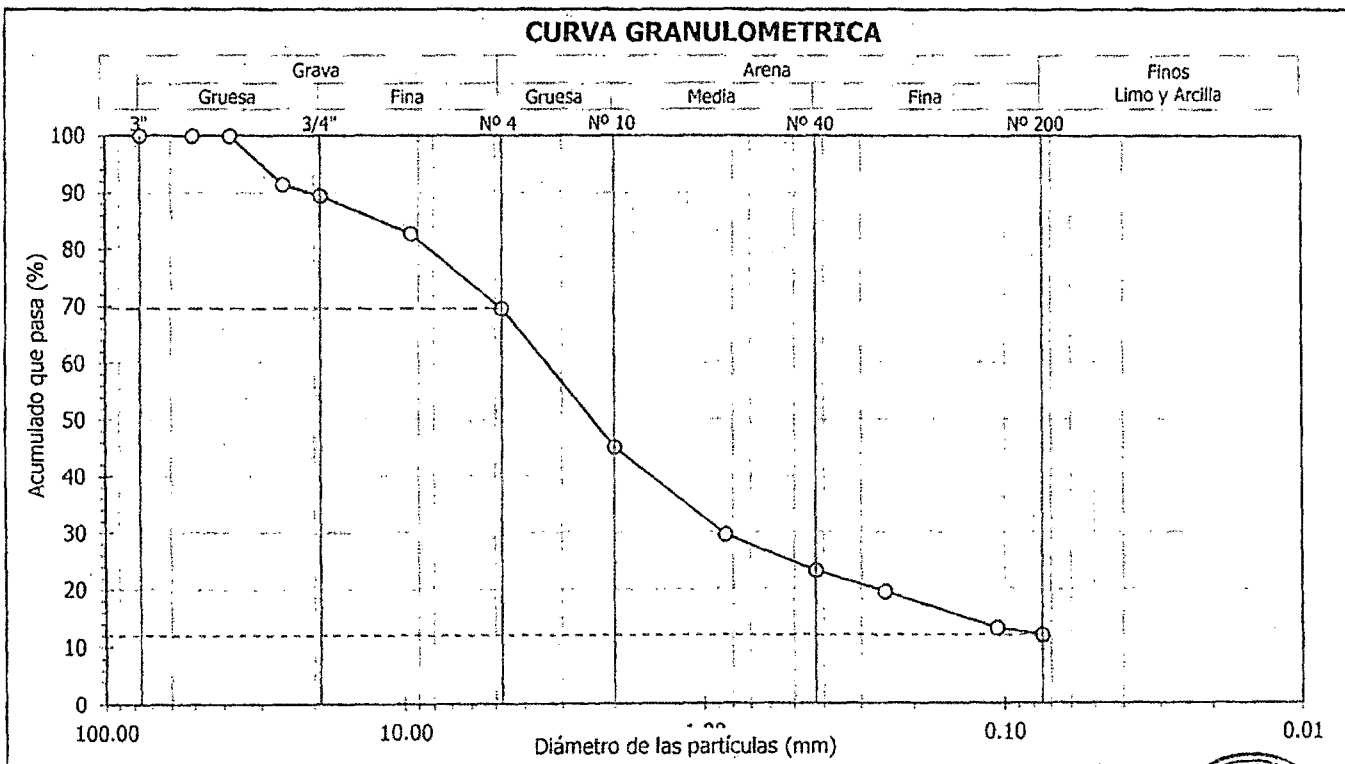
Sondaje : C - 07 Hoja : 1 de 1
Muestra : M - 02
Profundidad (m) : 1.20 - 3.00

Tamiz	Abertura (mm)	Acum. q' Pasa (%)
3"	76.200	100.0
2"	50.800	100.0
1½"	38.100	100.0
1"	25.400	91.5
¾"	19.050	89.5
3/8"	9.525	82.8
Nº 4	4.750	69.6
Nº 10	2.000	45.1
Nº 20	0.850	29.6
Nº 40	0.425	23.2
Nº 60	0.250	19.5
Nº 140	0.106	13.1
Nº 200	0.075	11.9

	(%)	
Contenido de humedad	3.6	
Límite Líquido	NP	
Límite Plástico	NP	
Índice de Plasticidad	NP	
Límite de Contracción	---	
Coefficiente de Uniformidad (Cu)	---	
Coefficiente de Curvatura (Cc)	---	
Grava [Nº 4 < ϕ < 3"]	30.4	(%)
Arena [Nº 200 < ϕ < Nº 4]	57.7	(%)
Finos [ϕ < Nº 200]	11.9	(%)

AASHTO	SUCS
A-1a (0)	SP - SM

Arena mal gradada con limo y grava



David Luna Durán
DAVID LUNA DURÁN
INGENIERO CIVIL - CIP 43988
JEFE DEL LAB. GEOTÉCNICO





ENSAYOS DE CARACTERIZACIONES FÍSICAS

(ASTM - D4426; D422; D4318; D427; D2487; D-3282)

Informe : LG13-090
Solicitante : MINISTERIO DE ECONOMÍA Y FINANZAS
Proyecto : Fortalecimiento de Tecnología para la Mitigación de Desastres por Terremoto y Tsunami en el Perú
Ubicación : Dist. Independencia, Prov. y Dpto. Lima

Fecha : Mayo, 2013

Sondaje : T - 01
Muestra : M - 02
Profundidad (m) : 0.00 - 2.50

Hoja : 1 de 1

Granulometría por tamizado		
Tamiz	Abertura (mm)	Acum. q' Pasa (%)
3"	76.200	100.0
2"	50.800	100.0
1½"	38.100	87.8
1"	25.400	87.8
¾"	19.050	87.8
3/8"	9.525	83.5
Nº 4	4.750	64.8
Nº 10	2.000	34.4
Nº 20	0.850	19.3
Nº 40	0.425	14.1
Nº 60	0.250	11.4
Nº 140	0.106	8.2
Nº 200	0.075	7.5

Contenido de humedad		(%)	1.2
Límites de consistencia	Límite Líquido	(%)	NP
	Límite Plástico	(%)	NP
	Índice de Plasticidad	(%)	NP
	Límite de Contracción	(%)	---
Resultados de granulometría por tamizado	Coefficiente de Uniformidad (Cu)		24.0
	Coefficiente de Curvatura (Cc)		3.4
	Grava [Nº 4 < ϕ < 3"]	(%)	35.2
	Arena [Nº 200 < ϕ < Nº 4]	(%)	57.4
	Finos [ϕ < Nº 200]	(%)	7.5

Clasificación

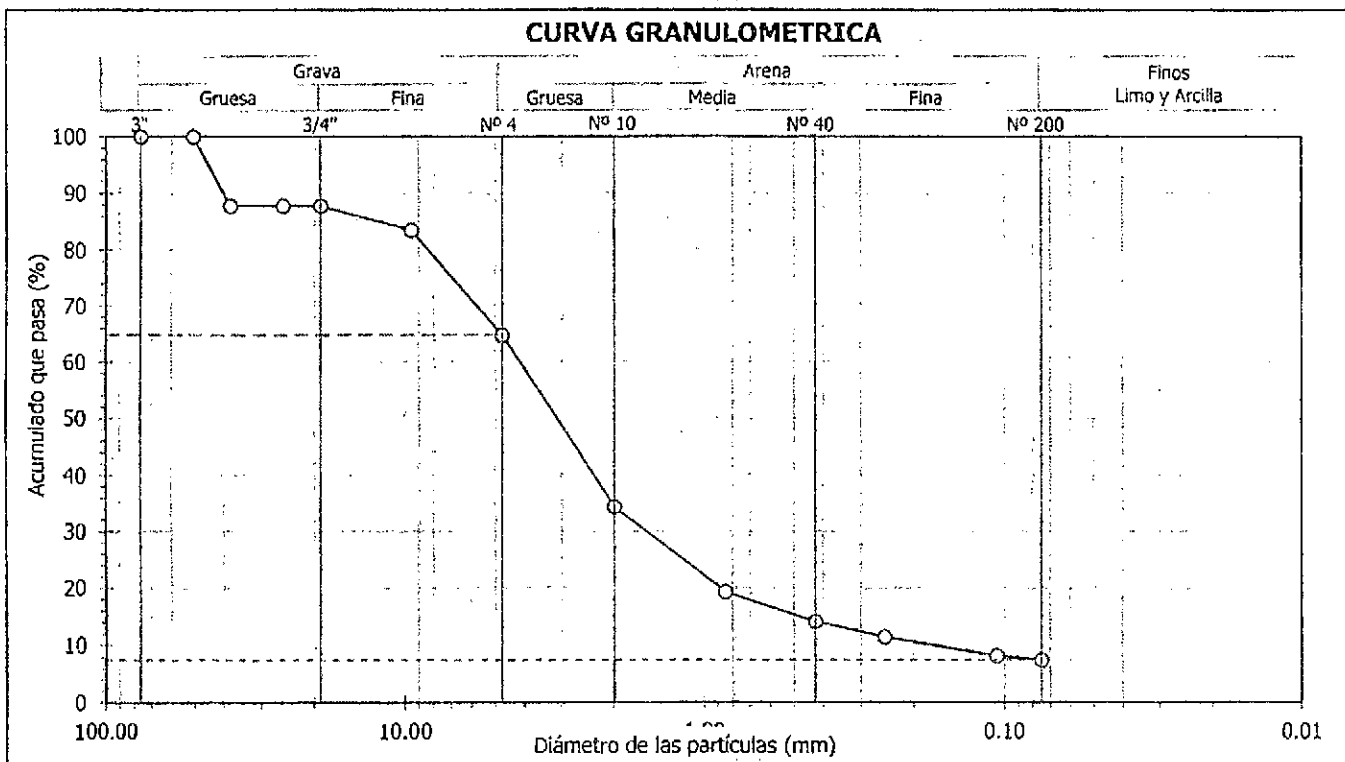
AASHTO

SUCS

A-1a (0)

SP - SM

Arena mal gradada con limo y grava



David Luna Durán
DAVID LUNA DURÁN
INGENIERO CIVIL - CIP 43988
IEFF DEL LAB. GEOTÉCNICO





ENSAYOS DE CARACTERIZACIONES FÍSICAS

(ASTM - D4426; D422; D4318; D427; D2487; D-3282)

Informe : LG13-090
Solicitante : MINISTERIO DE ECONOMÍA Y FINANZAS
Proyecto : Fortalecimiento de Tecnología para la Mitigación de Desastres por Terremoto y Tsunami en el Perú

Fecha : Mayo, 2013

Ubicación : Dist. Independencia, Prov. y Dpto. Lima

Sondaje : T - 04
Muestra : M - 01
Profundidad (m) : 0.00 - 1.80

Hoja : 1 de 1

Granulometría por tamizado		
Tamiz	Abertura (mm)	Acum. q' Pasa (%)
3"	76.200	100.0
2"	50.800	100.0
1½"	38.100	80.0
1"	25.400	80.0
¾"	19.050	78.1
3/8"	9.525	77.9
Nº 4	4.750	74.5
Nº 10	2.000	62.8
Nº 20	0.850	52.3
Nº 40	0.425	46.0
Nº 60	0.250	40.6
Nº 140	0.106	31.6
Nº 200	0.075	29.9

Contenido de humedad (%)		2.2
Límites de consistencia	Límite Líquido (%)	29
	Límite Plástico (%)	20
	Índice de Plasticidad (%)	9
	Límite de Contracción (%)	---
Resultados de granulometría por tamizado	Coefficiente de Uniformidad (Cu)	---
	Coefficiente de Curvatura (Cc)	---
	Grava [Nº 4 < ϕ < 3"] (%)	25.5
	Arena [Nº 200 < ϕ < Nº 4] (%)	44.6
	Finos [ϕ < Nº 200] (%)	29.9

Clasificación

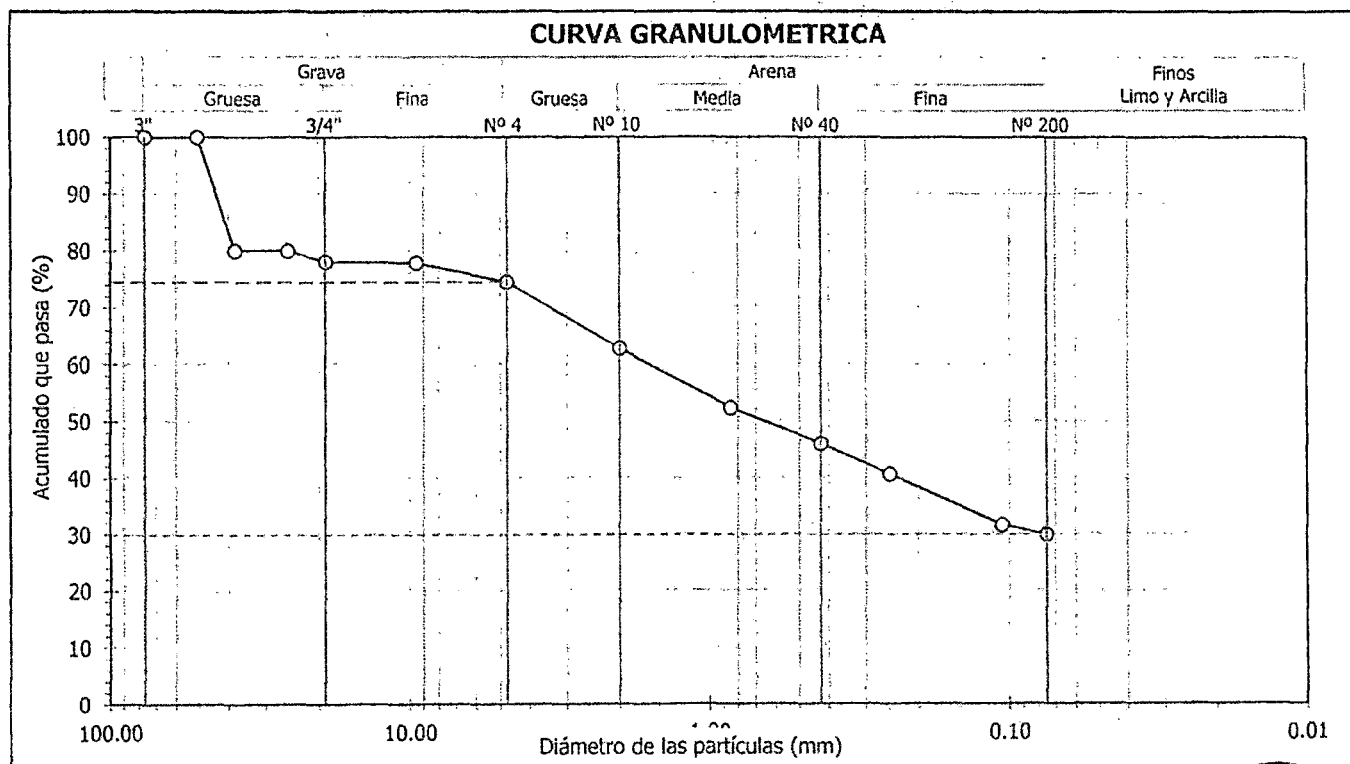
AASHTO

SUCS

A-2-4 (0)

SC

Arena arcillosa con grava



David Luna Durán
DAVID LUNA DURÁN
INGENIERO CIVIL - CIP 43988
JEFE DEL LAB. GEOTÉCNICO





ENSAYOS DE CORTE DIRECTO

(ASTM - D3080)

Informe : LG13-090

Fecha : Mayo, 2013

Solicitante : MINISTERIO DE ECONOMÍA Y FINANZAS

Proyecto : Fortalecimiento de Tecnología para la Mitigación de Desastres por Terremoto y Tsunami en el Perú

Ubicación : Dist. Independencia, Prov. y Dpto. Lima

Sondaje : C - 01

Velocidad : 0.50 mm/min

Muestra : M - 02

AASHTO : A-1b (0)

Prof. (m) : 1.00 - 1.40

SUCS : SM / Arena limosa con grava

Estado : Remoldeado

Hoja : 1 de 4

ESFUERZO NORMAL : 1 kg/cm²

Datos del espécimen

Diámetro : 6 cm

Altura : 2 cm

Contenido de humedad

Humedad : 1.5 %

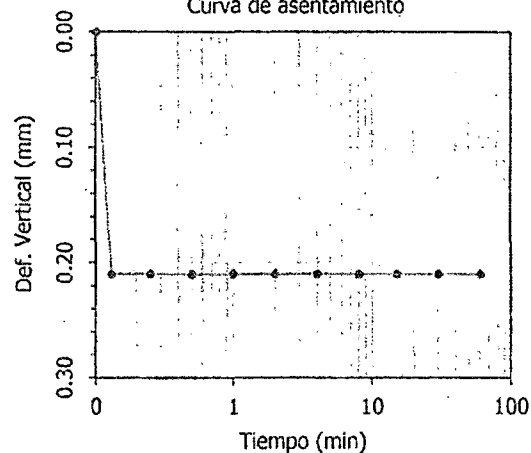
Aplicación del esfuerzo normal

Tiempo (min)	Deform. Vertical (mm)	Altura (mm)	Densidad seca (g/cm ³)
0	0.000	20.000	1.680
0.13	0.210	19.790	1.698
0.25	0.210	19.790	1.698
0.5	0.210	19.790	1.698
1	0.210	19.790	1.698
2	0.210	19.790	1.698
4	0.210	19.790	1.698
8	0.210	19.790	1.698
15	0.210	19.790	1.698
30	0.210	19.790	1.698
60	0.210	19.790	1.698

Aplicación del esfuerzo cortante

Deformación		Altura (mm)	Densidad seca (g/cm ³)	Esfuerzo	
Horizontal (%)	Vertical (mm)			Cortante (kg/cm ²)	Normalizado
0.00	0.000	19.790	1.698	0.000	0.000
0.05	0.000	19.790	1.698	0.165	0.165
0.10	0.000	19.790	1.698	0.198	0.198
0.20	0.000	19.790	1.698	0.264	0.264
0.35	0.000	19.790	1.698	0.331	0.331
0.50	0.000	19.790	1.698	0.377	0.377
0.75	0.000	19.790	1.698	0.453	0.453
1.00	0.000	19.790	1.698	0.496	0.496
1.25	0.000	19.790	1.698	0.539	0.539
1.50	0.000	19.790	1.698	0.562	0.562
1.75	0.000	19.790	1.698	0.595	0.595
2.00	0.000	19.790	1.698	0.612	0.612
2.50	0.000	19.790	1.698	0.628	0.628
3.00	0.000	19.790	1.698	0.661	0.661
3.50	0.000	19.790	1.698	0.668	0.668
4.00	0.000	19.790	1.698	0.668	0.668
4.50	0.000	19.790	1.698	0.645	0.645
5.00	0.000	19.790	1.698	0.628	0.628
6.00	0.000	19.790	1.698	0.618	0.618
7.00	0.000	19.790	1.698	0.595	0.595
8.00	0.000	19.790	1.698	0.562	0.562
9.00	0.000	19.790	1.698	0.549	0.549
10.00	0.000	19.790	1.698	0.529	0.529
11.00	0.000	19.790	1.698	0.529	0.529
12.00	0.000	19.790	1.698	0.529	0.529

Curva de asentamiento



Observación :

Material que pasa el tamiz N° 4, humedad = 1.5%, densidad seca = 1.68g/cm³. Remoldeado a la densidad relativa del 60%.

DAVID LUNA DURÁN
INGENIERO CIVIL - CIP 43988





ENSAYOS DE CORTE DIRECTO

(ASTM - D3080)

Informe : LG13-090

Fecha : Mayo, 2013

Solicitante : MINISTERIO DE ECONOMÍA Y FINANZAS

Proyecto : Fortalecimiento de Tecnología para la Mitigación de Desastres por Terremoto y Tsunami en el Perú

Ubicación : Dist. Independencia, Prov. y Dpto. Lima

Sondaje : C - 01
Muestra : M - 02
Prof. (m) : 1.00 - 1.40
Estado : Remoldeado

Velocidad : 0.50 mm/min
AASHTO : A-1b (0)
SUCS : SM / Arena limosa con grava
Hoja : 2 de 4

ESFUERZO NORMAL : 2 kg/cm²

Datos del espécimen

Diámetro : 6 cm
Altura : 2 cm

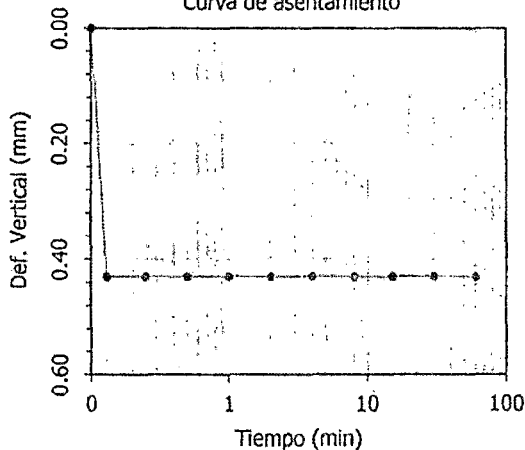
Contenido de humedad

Humedad : 1.5 %

Aplicación del esfuerzo normal

Tiempo (min)	Deform. Vertical (mm)	Altura (mm)	Densidad seca (g/cm ³)
0	0.000	20.000	1.680
0.13	0.430	19.570	1.717
0.25	0.430	19.570	1.717
0.5	0.430	19.570	1.717
1	0.430	19.570	1.717
2	0.430	19.570	1.717
4	0.430	19.570	1.717
8	0.430	19.570	1.717
15	0.430	19.570	1.717
30	0.430	19.570	1.717
60	0.430	19.570	1.717

Curva de asentamiento



Aplicación del esfuerzo cortante

Deformación		Altura (mm)	Densidad seca (g/cm ³)	Esfuerzo	
Horizontal (%)	Vertical (mm)			Cortante (kg/cm ²)	Normalizado
0.00	0.000	19.570	1.717	0.000	0.000
0.05	0.000	19.570	1.717	0.271	0.136
0.10	0.008	19.562	1.718	0.397	0.198
0.20	0.016	19.554	1.718	0.529	0.264
0.35	0.030	19.540	1.720	0.694	0.347
0.50	0.045	19.525	1.721	0.820	0.410
0.75	0.058	19.512	1.722	0.949	0.474
1.00	0.060	19.510	1.722	1.058	0.529
1.25	0.060	19.510	1.722	1.157	0.578
1.50	0.060	19.510	1.722	1.240	0.620
1.75	0.060	19.510	1.722	1.316	0.658
2.00	0.060	19.510	1.722	1.372	0.686
2.50	0.060	19.510	1.722	1.421	0.711
3.00	0.060	19.510	1.722	1.454	0.727
3.50	0.060	19.510	1.722	1.471	0.735
4.00	0.060	19.510	1.722	1.487	0.744
4.50	0.060	19.510	1.722	1.497	0.749
5.00	0.060	19.510	1.722	1.507	0.754
6.00	0.060	19.510	1.722	1.487	0.744
7.00	0.060	19.510	1.722	1.421	0.711
8.00	0.060	19.510	1.722	1.405	0.702
9.00	0.060	19.510	1.722	1.388	0.694
10.00	0.060	19.510	1.722	1.378	0.689
11.00	0.060	19.510	1.722	1.378	0.689
12.00	0.060	19.510	1.722	1.378	0.689

Observación :

Material que pasa el tamiz N° 4, humedad = 1.5%, densidad seca = 1.68g/cm³. Remoldeado a la densidad relativa del 60%.

David Luna Durán
DAVID LUNA DURÁN
INGENIERO CIVIL - CIP 43988
JEFE DEL LAB. GEOTÉCNICO





ENSAYOS DE CORTE DIRECTO (ASTM - D3080)

Informe : LG13-090

Fecha : Mayo, 2013

Solicitante : MINISTERIO DE ECONOMÍA Y FINANZAS

Proyecto : Fortalecimiento de Tecnología para la Mitigación de Desastres por Terremoto y Tsunami en el Perú

Ubicación : Dist. Independencia, Prov. y Dpto. Lima

Sondaje	C - 01	Velocidad	: 0.50 mm/min
Muestra	M - 02	AASHTO	: A-1b (0)
Prof. (m)	1.00 - 1.40	SUCS	: SM / Arena limosa con grava
Estado	Remoldeado	Hoja	: 3 de 4

ESFUERZO NORMAL : 4 kg/cm²

Datos del espécimen

Diámetro : 6 cm
Altura : 2 cm

Contenido de humedad

Humedad : 1.5 %

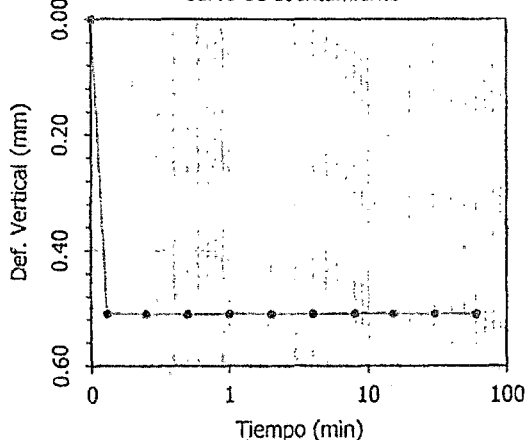
Aplicación del esfuerzo normal

Tiempo (min)	Deform. Vertical (mm)	Altura (mm)	Densidad seca (g/cm ³)
0	0.000	20.000	1.680
0.13	0.510	19.490	1.724
0.25	0.510	19.490	1.724
0.5	0.510	19.490	1.724
1	0.510	19.490	1.724
2	0.510	19.490	1.724
4	0.510	19.490	1.724
8	0.510	19.490	1.724
15	0.510	19.490	1.724
30	0.510	19.490	1.724
60	0.510	19.490	1.724

Aplicación del esfuerzo cortante

Deformación		Altura (mm)	Densidad seca (g/cm ³)	Esfuerzo	
Horizontal (%)	Vertical (mm)			Cortante (kg/cm ²)	Normalizado
0.00	0.000	19.490	1.724	0.000	0.000
0.05	0.000	19.490	1.724	0.397	0.099
0.10	0.000	19.490	1.724	0.529	0.132
0.20	0.004	19.486	1.724	0.793	0.198
0.35	0.008	19.482	1.725	0.975	0.244
0.50	0.018	19.472	1.726	1.157	0.289
0.75	0.025	19.465	1.726	1.388	0.347
1.00	0.030	19.460	1.727	1.587	0.397
1.25	0.037	19.453	1.727	1.768	0.442
1.50	0.038	19.452	1.727	1.901	0.475
1.75	0.040	19.450	1.727	2.016	0.504
2.00	0.040	19.450	1.727	2.116	0.529
2.50	0.040	19.450	1.727	2.248	0.562
3.00	0.040	19.450	1.727	2.340	0.585
3.50	0.040	19.450	1.727	2.439	0.610
4.00	0.040	19.450	1.727	2.545	0.636
4.50	0.040	19.450	1.727	2.578	0.645
5.00	0.040	19.450	1.727	2.578	0.645
6.00	0.040	19.450	1.727	2.565	0.641
7.00	0.040	19.450	1.727	2.519	0.630
8.00	0.040	19.450	1.727	2.502	0.626
9.00	0.040	19.450	1.727	2.479	0.620
10.00	0.040	19.450	1.727	2.453	0.613
11.00	0.040	19.450	1.727	2.453	0.613
12.00	0.040	19.450	1.727	2.453	0.613

Curva de asentamiento



Observación :

Material que pasa el tamiz N° 4, humedad = 1.5%, densidad seca = 1.68g/cm³. Remoldeado a la densidad relativa del 60%.

David Luna Durán
DAVID LUNA DURÁN
INGENIERO CIVIL - CIP 43988
JEFE DEL LAB. GEOTÉCNICO





ENSAYOS DE CORTE DIRECTO

(ASTM - D3080)

Informe : LG13-090

Fecha : Mayo, 2013

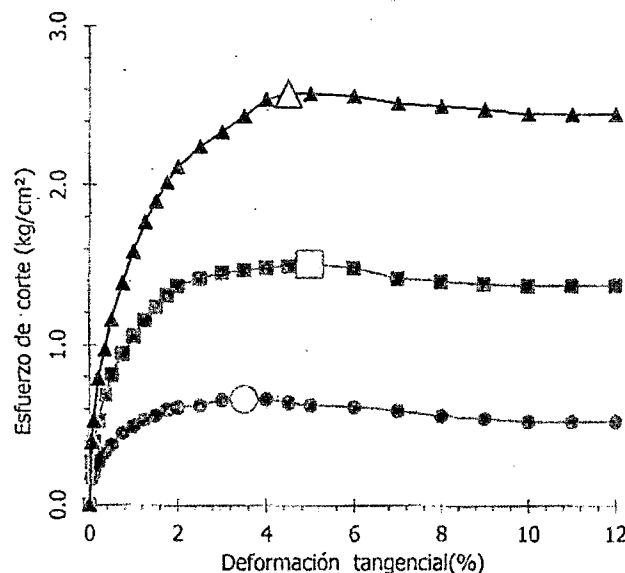
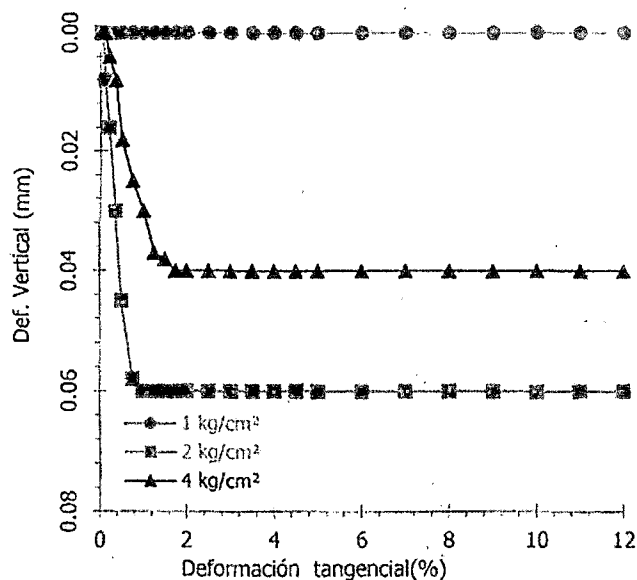
Solicitante : MINISTERIO DE ECONOMÍA Y FINANZAS

Proyecto : Fortalecimiento de Tecnología para la Mitigación de Desastres por Terremoto y Tsunami en el Perú

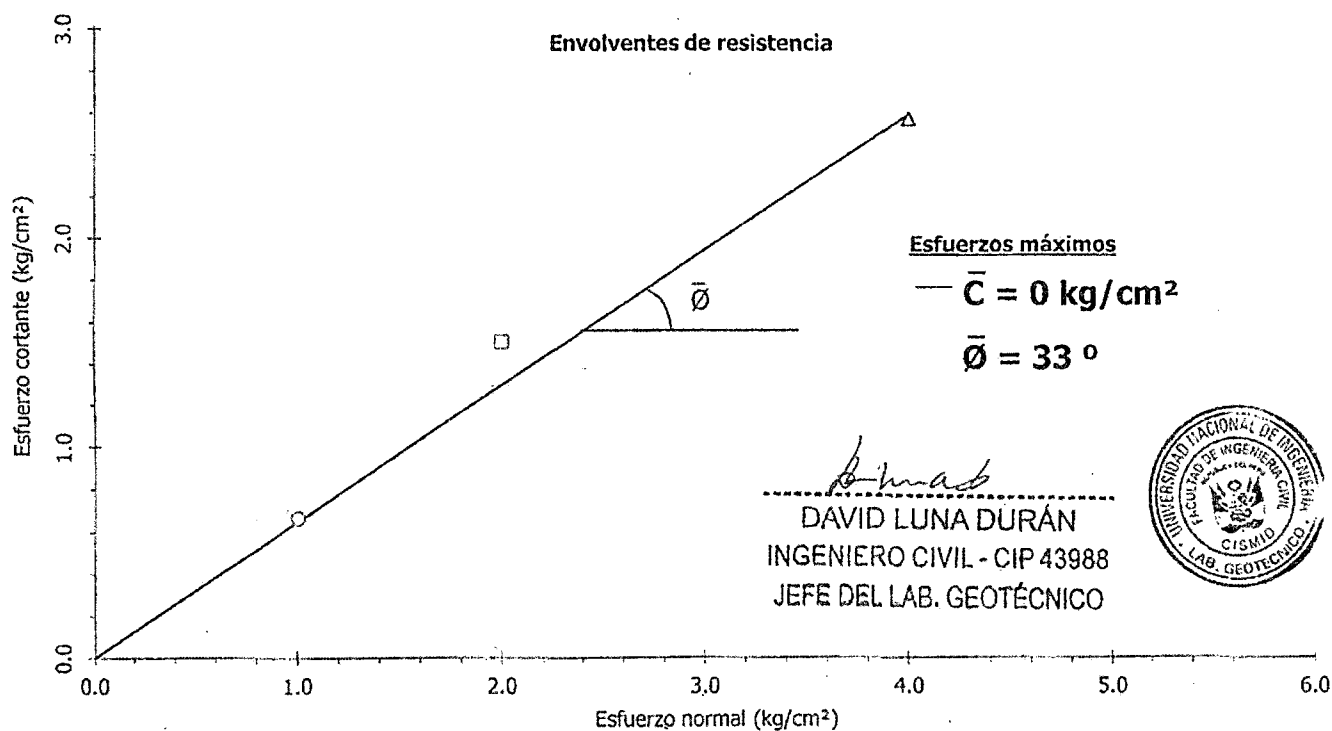
Ubicación : Dist. Independencia, Prov. y Dpto. Lima

Sondaje	C - 01	Velocidad	: 0.50 mm/min
Muestra	M - 02	AASHTO	: A-1b (0)
Prof. (m)	1.00 - 1.40	SUCS	: SM / Arena limosa con grava
Estado	Remoldeado	Hoja	: 4 de 4

Aplicación del esfuerzo cortante



Envoltantes de resistencia



DAVID LUNA DURÁN
INGENIERO CIVIL - CIP 43988
JEFE DEL LAB. GEOTÉCNICO





ENSAYOS DE CORTE DIRECTO

(ASTM - D3080)

Informe : LG13-090

Fecha : Mayo, 2013

Solicitante : MINISTERIO DE ECONOMÍA Y FINANZAS

Proyecto : Fortalecimiento de Tecnología para la Mitigación de Desastres por Terremoto y Tsunami en el Perú

Ubicación : Dist. Independencia, Prov. y Dpto. Lima

Sondaje : C - 02

Velocidad : 0.50 mm/min

Muestra : M - 01

AASHTO : A-2-4 (0)

Prof. (m) : 1.00 - 1.60

SUCS : SC - SM / Arena arcillo limosa con grava

Estado : Remoldeado

Hoja : 1 de 4

ESFUERZO NORMAL : 1 kg/cm²

Datos del espécimen

Diámetro : 6 cm

Altura : 2 cm

Contenido de humedad

Humedad : 2.8 %

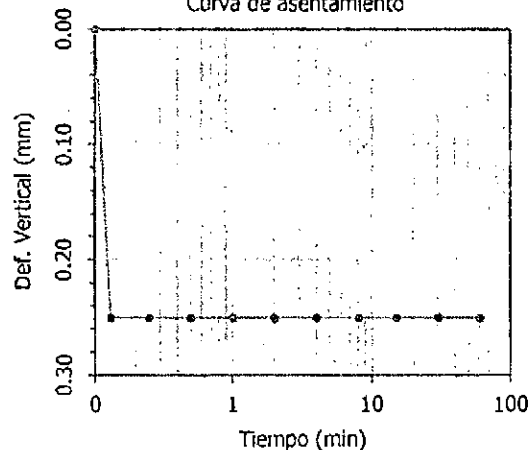
Aplicación del esfuerzo normal

Tiempo (min)	Deform. Vertical (mm)	Altura (mm)	Densidad seca (g/cm ³)
0	0.000	20.000	1.850
0.13	0.250	19.750	1.874
0.25	0.250	19.750	1.874
0.5	0.250	19.750	1.874
1	0.250	19.750	1.874
2	0.250	19.750	1.874
4	0.250	19.750	1.874
8	0.250	19.750	1.874
15	0.250	19.750	1.874
30	0.250	19.750	1.874
60	0.250	19.750	1.874

Aplicación del esfuerzo cortante

Deformación		Altura (mm)	Densidad seca (g/cm ³)	Esfuerzo	
Horizontal (%)	Vertical (mm)			Cortante (kg/cm ²)	Normalizado
0.00	0.000	19.750	1.874	0.000	0.000
0.05	0.000	19.750	1.874	0.126	0.126
0.10	0.000	19.750	1.874	0.205	0.205
0.20	0.000	19.750	1.874	0.324	0.324
0.35	0.002	19.748	1.874	0.430	0.430
0.50	0.005	19.745	1.874	0.496	0.496
0.75	0.008	19.742	1.874	0.578	0.578
1.00	0.008	19.742	1.874	0.628	0.628
1.25	0.010	19.740	1.874	0.661	0.661
1.50	0.010	19.740	1.874	0.694	0.694
1.75	0.010	19.740	1.874	0.727	0.727
2.00	0.010	19.740	1.874	0.744	0.744
2.50	0.010	19.740	1.874	0.754	0.754
3.00	0.010	19.740	1.874	0.760	0.760
3.50	0.010	19.740	1.874	0.767	0.767
4.00	0.010	19.740	1.874	0.777	0.777
4.50	0.010	19.740	1.874	0.783	0.783
5.00	0.010	19.740	1.874	0.793	0.793
6.00	-0.015	19.765	1.872	0.777	0.777
7.00	-0.030	19.780	1.871	0.767	0.767
8.00	-0.066	19.816	1.867	0.760	0.760
9.00	-0.090	19.840	1.865	0.754	0.754
10.00	-0.117	19.867	1.862	0.737	0.737
11.00	-0.117	19.867	1.862	0.737	0.737
12.00	-0.117	19.867	1.862	0.737	0.737

Curva de asentamiento

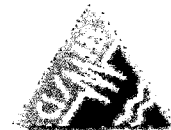


Observación :

Material que pasa el tamiz Nº 4, humedad = 2.8%, densidad seca = 1.85g/cm³. Remoldeado a la densidad relativa del 70%.

David Luna Durán
DAVID LUNA DURÁN
INGENIERO CIVIL - CIP 43988
JEFE DEL LAB. GEOTÉCNICO





ENSAYOS DE CORTE DIRECTO (ASTM - D3080)

Informe : LG13-090

Fecha : Mayo, 2013

Solicitante : MINISTERIO DE ECONOMÍA Y FINANZAS

Proyecto : Fortalecimiento de Tecnología para la Mitigación de Desastres por Terremoto y Tsunami en el Perú

Ubicación : Dist. Independencia, Prov. y Dpto. Lima

Sondaje : C - 02

Velocidad : 0.50 mm/min

Muestra : M - 01

AASHTO : A-2-4 (0)

Prof. (m) : 1.00 - 1.60

SUCS : SC - SM / Arena arcillo limosa con grava

Estado : Remoldeado

Hoja : 2 de 4

ESFUERZO NORMAL : 2 kg/cm²

Datos del espécimen

Diámetro : 6 cm

Altura : 2 cm

Contenido de humedad

Humedad : 2.8 %

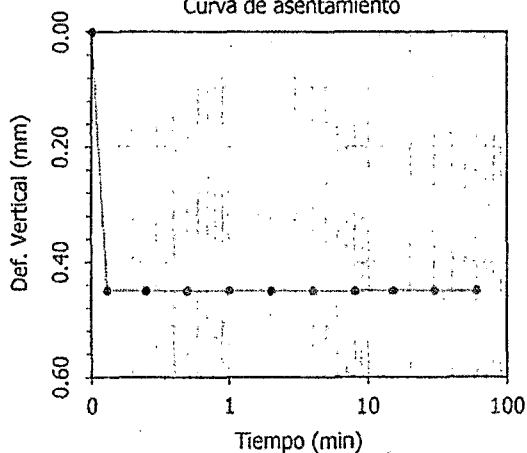
Aplicación del esfuerzo normal

Tiempo (min)	Deform. Vertical (mm)	Altura (mm)	Densidad seca (g/cm ³)
0	0.000	20.000	1.850
0.13	0.450	19.550	1.893
0.25	0.450	19.550	1.893
0.5	0.450	19.550	1.893
1	0.450	19.550	1.893
2	0.450	19.550	1.893
4	0.450	19.550	1.893
8	0.450	19.550	1.893
15	0.450	19.550	1.893
30	0.450	19.550	1.893
60	0.450	19.550	1.893

Aplicación del esfuerzo cortante

Deformación		Altura (mm)	Densidad seca (g/cm ³)	Esfuerzo	
Horizontal (%)	Vertical (mm)			Cortante (kg/cm ²)	Normalizado
0.00	0.000	19.550	1.893	0.000	0.000
0.05	0.000	19.550	1.893	0.198	0.099
0.10	0.000	19.550	1.893	0.331	0.165
0.20	0.008	19.542	1.893	0.463	0.231
0.35	0.020	19.530	1.895	0.595	0.297
0.50	0.040	19.510	1.897	0.727	0.364
0.75	0.052	19.498	1.898	0.926	0.463
1.00	0.055	19.495	1.898	1.058	0.529
1.25	0.055	19.495	1.898	1.124	0.562
1.50	0.055	19.495	1.898	1.249	0.625
1.75	0.055	19.495	1.898	1.289	0.645
2.00	0.055	19.495	1.898	1.349	0.674
2.50	0.055	19.495	1.898	1.421	0.711
3.00	0.055	19.495	1.898	1.487	0.744
3.50	0.055	19.495	1.898	1.554	0.777
4.00	0.055	19.495	1.898	1.570	0.785
4.50	0.055	19.495	1.898	1.587	0.793
5.00	0.055	19.495	1.898	1.620	0.810
6.00	0.055	19.495	1.898	1.653	0.826
7.00	0.050	19.500	1.898	1.653	0.826
8.00	0.035	19.515	1.896	1.646	0.823
9.00	0.035	19.515	1.896	1.636	0.818
10.00	0.035	19.515	1.896	1.620	0.810
11.00	0.035	19.515	1.896	1.620	0.810
12.00	0.035	19.515	1.896	1.620	0.810

Curva de asentamiento



Observación :

Material que pasa el tamiz Nº 4, humedad = 2.8%, densidad seca = 1.85g/cm³. Remoldeado a la densidad relativa del 70%.

David Luna Durán
DAVID LUNA DURÁN
INGENIERO CIVIL - CIP 43988
JEFE DEL LAB. GEOTÉCNICO





ENSAYOS DE CORTE DIRECTO (ASTM - D3080)

Informe : LG13-090

Fecha : Mayo, 2013

Solicitante : MINISTERIO DE ECONOMÍA Y FINANZAS

Proyecto : Fortalecimiento de Tecnología para la Mitigación de Desastres por Terremoto y Tsunami en el Perú

Ubicación : Dist. Independencia, Prov. y Dpto. Lima

Sondaje	C - 02	Velocidad	: 0.50 mm/min
Muestra	M - 01	AASHTO	: A-2-4 (0)
Prof. (m)	1.00 - 1.60	SUCS	: SC - SM / Arena arcillo limosa con grava
Estado	Remoldeado	Hoja	: 3 de 4

ESFUERZO NORMAL : 4 kg/cm²

Datos del espécimen

Diámetro : 6 cm
Altura : 2 cm

Contenido de humedad

Humedad : 2.8 %

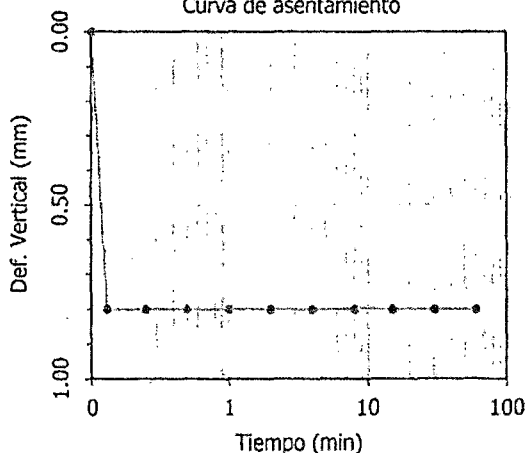
Aplicación del esfuerzo normal

Tiempo (min)	Deform. Vertical (mm)	Altura (mm)	Densidad seca (g/cm ³)
0	0.000	20.000	1.850
0.13	0.800	19.200	1.927
0.25	0.800	19.200	1.927
0.5	0.800	19.200	1.927
1	0.800	19.200	1.927
2	0.800	19.200	1.927
4	0.800	19.200	1.927
8	0.800	19.200	1.927
15	0.800	19.200	1.927
30	0.800	19.200	1.927
60	0.800	19.200	1.927

Aplicación del esfuerzo cortante

Deformación		Altura (mm)	Densidad seca (g/cm ³)	Esfuerzo	
Horizontal (%)	Vertical (mm)			Cortante (kg/cm ²)	Normalizado
0.00	0.000	19.200	1.927	0.000	0.000
0.05	0.000	19.200	1.927	0.380	0.095
0.10	0.011	19.189	1.928	0.496	0.124
0.20	0.018	19.182	1.929	0.701	0.175
0.35	0.025	19.175	1.930	0.992	0.248
0.50	0.034	19.166	1.931	1.190	0.297
0.75	0.055	19.145	1.933	1.454	0.364
1.00	0.067	19.133	1.934	1.719	0.430
1.25	0.090	19.110	1.936	1.884	0.471
1.50	0.112	19.088	1.938	2.049	0.512
1.75	0.120	19.080	1.939	2.182	0.545
2.00	0.128	19.072	1.940	2.281	0.570
2.50	0.140	19.060	1.941	2.446	0.612
3.00	0.148	19.052	1.942	2.644	0.661
3.50	0.150	19.050	1.942	2.777	0.694
4.00	0.150	19.050	1.942	2.843	0.711
4.50	0.150	19.050	1.942	2.968	0.742
5.00	0.150	19.050	1.942	3.041	0.760
6.00	0.150	19.050	1.942	3.173	0.793
7.00	0.150	19.050	1.942	3.223	0.806
8.00	0.150	19.050	1.942	3.223	0.806
9.00	0.150	19.050	1.942	3.216	0.804
10.00	0.150	19.050	1.942	3.206	0.802
11.00	0.150	19.050	1.942	3.206	0.802
12.00	0.150	19.050	1.942	3.206	0.802

Curva de asentamiento



Observación :

Material que pasa el tamiz Nº 4, humedad = 2.8%, densidad seca = 1.85g/cm³. Remoldeado a la densidad relativa del 70%.

David Luna Durán
DAVID LUNA DURÁN
INGENIERO CIVIL - CIP 43988
JEFE DEL LAB. GEOTÉCNICO





ENSAYOS DE CORTE DIRECTO

(ASTM - D3080)

Informe : LG13-090

Fecha : Mayo, 2013

Solicitante : MINISTERIO DE ECONOMÍA Y FINANZAS

Proyecto : Fortalecimiento de Tecnología para la Mitigación de Desastres por Terremoto y Tsunami en el Perú

Ubicación : Dist. Independencia, Prov. y Dpto. Lima

Sondaje : C - 02

Velocidad : 0.50 mm/min

Muestra : M - 01

AASHTO : A-2-4 (0)

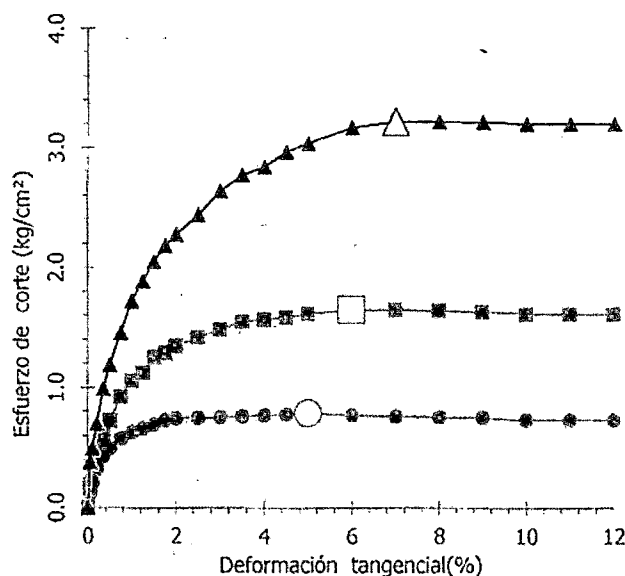
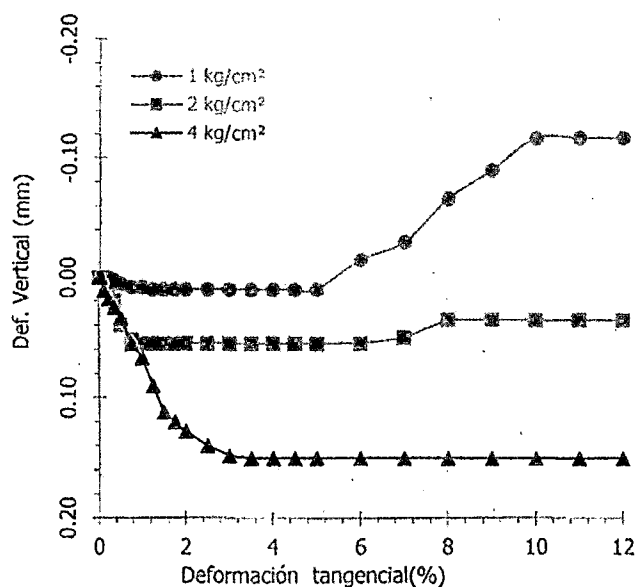
Prof. (m) : 1.00 - 1.60

SUCS : SC - SM / Arena arcillo limosa con grava

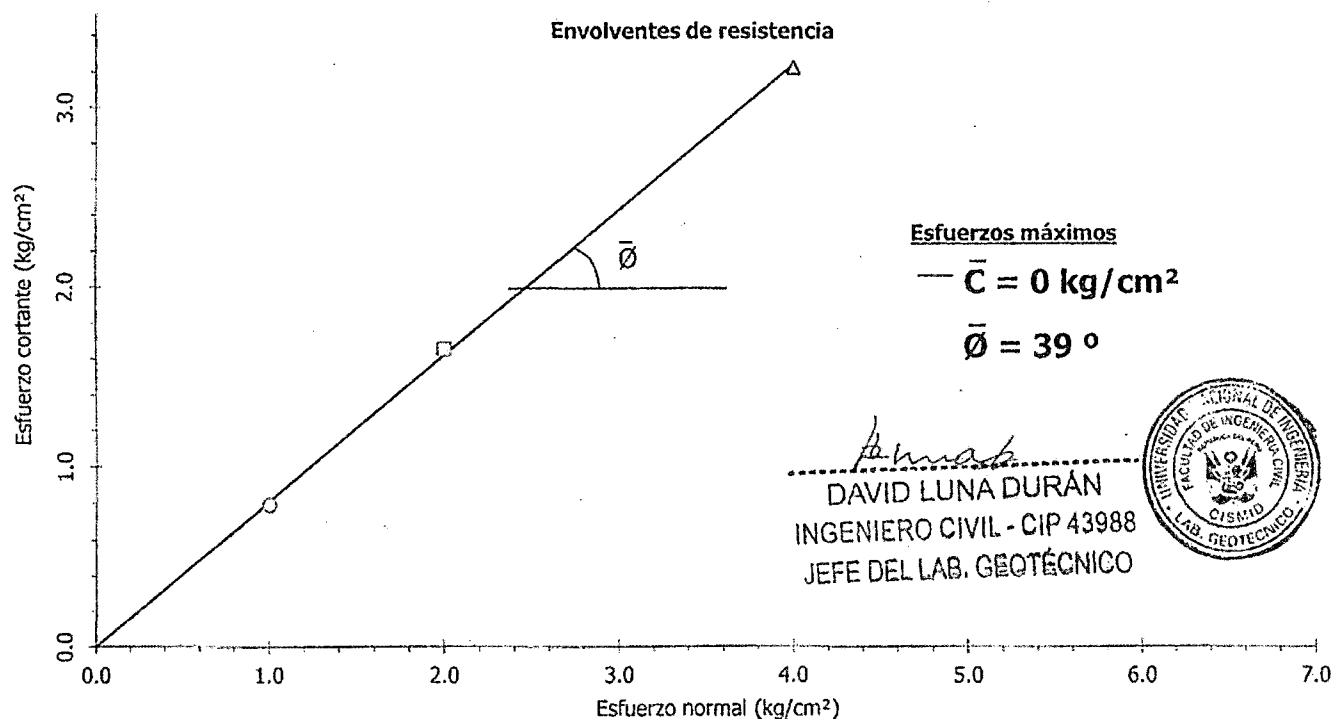
Estado : Remoldeado

Hoja : 4 de 4

Aplicación del esfuerzo cortante



Envoltentes de resistencia



Esfuerzos máximos

$\bar{C} = 0 \text{ kg/cm}^2$

$\bar{\phi} = 39^\circ$

DAVID LUNA DURÁN
INGENIERO CIVIL - CIP 43988
JEFE DEL LAB. GEOTÉCNICO





ENSAYOS DE CORTE DIRECTO

(ASTM - D3080)

Informe : LG13-090

Fecha : Mayo, 2013

Solicitante : MINISTERIO DE ECONOMÍA Y FINANZAS

Proyecto : Fortalecimiento de Tecnología para la Mitigación de Desastres por Terremoto y Tsunami en el Perú

Ubicación : Dist. Independencia, Prov. y Dpto. Lima

Sondaje : C - 03

Velocidad : 0.25 mm/min

Muestra : M - 01

AASHTO : A-4 (0)

Prof. (m) : 0.60 - 1.90

SUCS : CL - ML / Arcilla limosa arenosa

Estado : Remoldeado

Hoja : 1 de 4

ESFUERZO NORMAL : 1 kg/cm²

Datos del espécimen

Diámetro : 6 cm

Altura : 2 cm

Contenido de humedad

Humedad : 8.9 %

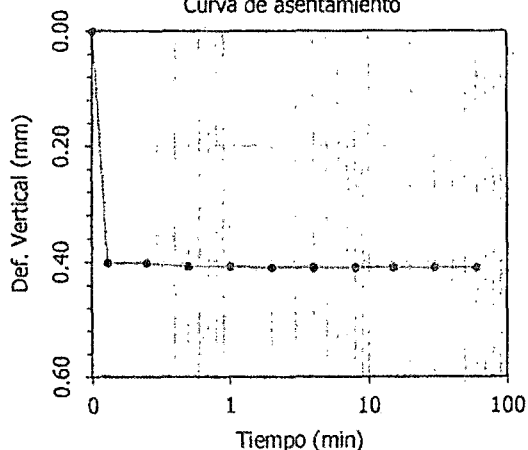
Aplicación del esfuerzo normal

Tiempo (min)	Deform. Vertical (mm)	Altura (mm)	Densidad seca (g/cm ³)
0	0.000	20.000	1.650
0.13	0.402	19.598	1.684
0.25	0.402	19.598	1.684
0.5	0.408	19.592	1.684
1	0.408	19.592	1.684
2	0.410	19.590	1.685
4	0.410	19.590	1.685
8	0.410	19.590	1.685
15	0.410	19.590	1.685
30	0.410	19.590	1.685
60	0.410	19.590	1.685

Aplicación del esfuerzo cortante

Deformación		Altura (mm)	Densidad seca (g/cm ³)	Esfuerzo	
Horizontal (%)	Vertical (mm)			Cortante (kg/cm ²)	Normalizado
0.00	0.000	19.590	1.685	0.000	0.000
0.05	0.004	19.586	1.685	0.099	0.099
0.10	0.025	19.565	1.687	0.165	0.165
0.20	0.040	19.550	1.688	0.215	0.215
0.35	0.050	19.540	1.689	0.281	0.281
0.50	0.060	19.530	1.690	0.331	0.331
0.75	0.070	19.520	1.691	0.397	0.397
1.00	0.080	19.510	1.692	0.463	0.463
1.25	0.090	19.500	1.692	0.496	0.496
1.50	0.090	19.500	1.692	0.529	0.529
1.75	0.090	19.500	1.692	0.555	0.555
2.00	0.095	19.495	1.693	0.562	0.562
2.50	0.110	19.480	1.694	0.602	0.602
3.00	0.127	19.463	1.696	0.621	0.621
3.50	0.140	19.450	1.697	0.628	0.628
4.00	0.155	19.435	1.698	0.635	0.635
4.50	0.165	19.425	1.699	0.688	0.688
5.00	0.170	19.420	1.699	0.701	0.701
6.00	0.170	19.420	1.699	0.727	0.727
7.00	0.170	19.420	1.699	0.744	0.744
8.00	0.170	19.420	1.699	0.760	0.760
9.00	0.170	19.420	1.699	0.767	0.767
10.00	0.170	19.420	1.699	0.770	0.770
11.00	0.170	19.420	1.699	0.770	0.770
12.00	0.170	19.420	1.699	0.770	0.770

Curva de asentamiento



Observación :

Material que pasa el tamiz N° 4, humedad = 8.9%, densidad seca = 1.65g/cm³. Los datos del remoldeo han sido obtenidos del ensayo peso volumétrico.

David Luna Durán
DAVID LUNA DURÁN
INGENIERO CIVIL - CIP 43988
JEFE DEL LAB. GEOTÉCNICO





ENSAYOS DE CORTE DIRECTO

(ASTM - D3080)

Informe : LG13-090

Fecha : Mayo, 2013

Solicitante : MINISTERIO DE ECONOMÍA Y FINANZAS

Proyecto : Fortalecimiento de Tecnología para la Mitigación de Desastres por Terremoto y Tsunami en el Perú

Ubicación : Dist. Independencia, Prov. y Dpto. Lima

Sondaje : C - 03

Velocidad : 0.25 mm/min

Muestra : M - 01

AASHTO : A-4 (0)

Prof. (m) : 0.60 - 1.90

SUCS : CL - ML / Arcilla limosa arenosa

Estado : Remoldeado

Hoja : 2 de 4

ESFUERZO NORMAL : 2 kg/cm²

Datos del espécimen

Diámetro : 6 cm

Altura : 2 cm

Contenido de humedad

Humedad : 8.9 %

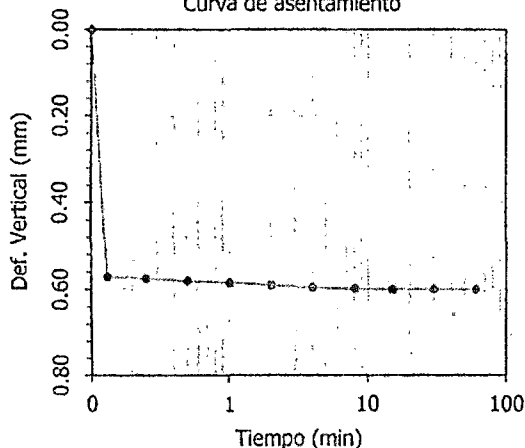
Aplicación del esfuerzo normal

Tiempo (min)	Deform. Vertical (mm)	Altura (mm)	Densidad seca (g/cm ³)
0	0.000	20.000	1.650
0.13	0.570	19.430	1.698
0.25	0.574	19.426	1.699
0.5	0.580	19.420	1.699
1	0.584	19.416	1.700
2	0.590	19.410	1.700
4	0.595	19.405	1.701
8	0.598	19.402	1.701
15	0.600	19.400	1.701
30	0.600	19.400	1.701
60	0.600	19.400	1.701

Aplicación del esfuerzo cortante

Deformación		Altura (mm)	Densidad seca (g/cm ³)	Esfuerzo	
Horizontal (%)	Vertical (mm)			Cortante (kg/cm ²)	Normalizado
0.00	0.000	19.400	1.701	0.000	0.000
0.05	0.004	19.396	1.701	0.132	0.066
0.10	0.017	19.383	1.703	0.198	0.099
0.20	0.030	19.370	1.704	0.304	0.152
0.35	0.044	19.356	1.705	0.397	0.198
0.50	0.080	19.320	1.708	0.496	0.248
0.75	0.094	19.306	1.709	0.562	0.281
1.00	0.115	19.285	1.711	0.628	0.314
1.25	0.142	19.258	1.714	0.694	0.347
1.50	0.170	19.230	1.716	0.727	0.364
1.75	0.187	19.213	1.718	0.787	0.393
2.00	0.220	19.180	1.721	0.826	0.413
2.50	0.242	19.158	1.723	0.876	0.438
3.00	0.270	19.130	1.725	0.935	0.468
3.50	0.287	19.113	1.727	1.025	0.512
4.00	0.313	19.087	1.729	1.091	0.545
4.50	0.338	19.062	1.731	1.124	0.562
5.00	0.366	19.034	1.734	1.177	0.588
6.00	0.400	19.000	1.737	1.230	0.615
7.00	0.427	18.973	1.739	1.240	0.620
8.00	0.450	18.950	1.742	1.322	0.661
9.00	0.465	18.935	1.743	1.355	0.678
10.00	0.480	18.920	1.744	1.362	0.681
11.00	0.480	18.920	1.744	1.365	0.683
12.00	0.480	18.920	1.744	1.365	0.683

Curva de asentamiento



Observación :

Material que pasa el tamiz Nº 4, humedad = 8.9%, densidad seca = 1.65g/cm³. Los datos del remoldeo han sido obtenidos del ensayo peso volumétrico.

David Luna Durán
DAVID LUNA DURÁN
INGENIERO CIVIL - CIP 43988
JEFE DEL LAB. GEOTÉCNICO





ENSAYOS DE CORTE DIRECTO (ASTM - D3080)

Informe : LG13-090

Fecha : Mayo, 2013

Solicitante : MINISTERIO DE ECONOMÍA Y FINANZAS

Proyecto : Fortalecimiento de Tecnología para la Mitigación de Desastres por Terremoto y Tsunami en el Perú

Ubicación : Dist. Independencia, Prov. y Dpto. Lima

Sondaje : C - 03

Velocidad : 0.25 mm/min

Muestra : M - 01

AASHTO : A-4 (0)

Prof. (m) : 0.60 - 1.90

SUCS : CL - ML / Arcilla limosa arenosa

Estado : Remoldeado

Hoja : 3 de 4

ESFUERZO NORMAL : 4 kg/cm²

Datos del espécimen

Diámetro : 6 cm

Altura : 2 cm

Contenido de humedad

Humedad : 8.9 %

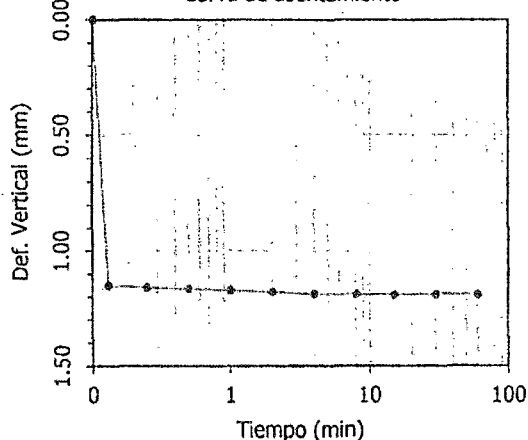
Aplicación del esfuerzo normal

Tiempo (min)	Deform. Vertical (mm)	Altura (mm)	Densidad seca (g/cm ³)
0	0.000	20.000	1.650
0.13	1.150	18.850	1.751
0.25	1.158	18.842	1.751
0.5	1.164	18.836	1.752
1	1.170	18.830	1.753
2	1.178	18.822	1.753
4	1.187	18.813	1.754
8	1.188	18.812	1.754
15	1.190	18.810	1.754
30	1.190	18.810	1.754
60	1.190	18.810	1.754

Aplicación del esfuerzo cortante

Deformación		Altura (mm)	Densidad seca (g/cm ³)	Esfuerzo	
Horizontal (%)	Vertical (mm)			Cortante (kg/cm ²)	Normalizado
0.00	0.000	18.810	1.754	0.000	0.000
0.05	0.003	18.807	1.755	0.231	0.058
0.10	0.010	18.800	1.755	0.364	0.091
0.20	0.027	18.783	1.757	0.529	0.132
0.35	0.046	18.764	1.759	0.694	0.174
0.50	0.060	18.750	1.760	0.760	0.190
0.75	0.081	18.729	1.762	0.985	0.246
1.00	0.103	18.707	1.764	1.107	0.277
1.25	0.137	18.673	1.767	1.206	0.302
1.50	0.160	18.650	1.770	1.296	0.324
1.75	0.190	18.620	1.772	1.355	0.339
2.00	0.210	18.600	1.774	1.421	0.355
2.50	0.246	18.564	1.778	1.497	0.374
3.00	0.290	18.520	1.782	1.554	0.388
3.50	0.310	18.500	1.784	1.752	0.438
4.00	0.342	18.468	1.787	1.851	0.463
4.50	0.386	18.424	1.791	1.967	0.492
5.00	0.424	18.386	1.795	2.205	0.551
6.00	0.458	18.352	1.798	2.373	0.593
7.00	0.490	18.320	1.801	2.453	0.613
8.00	0.522	18.288	1.805	2.578	0.645
9.00	0.550	18.260	1.807	2.611	0.653
10.00	0.555	18.255	1.808	2.621	0.655
11.00	0.558	18.252	1.808	2.628	0.657
12.00	0.560	18.250	1.808	2.618	0.654

Curva de asentamiento



Observación :

Material que pasa el tamiz Nº 4, humedad = 8.9%, densidad seca = 1.65g/cm³. Los datos del remoldeo han sido obtenidos del ensayo peso volumétrico.

David Luna Durán
DAVID LUNA DURÁN
INGENIERO CIVIL - CIP 43988
JEFE DEL LAB. GEOTÉCNICO





ENSAYOS DE CORTE DIRECTO

(ASTM - D3080)

Informe : LG13-090

Fecha : Mayo, 2013

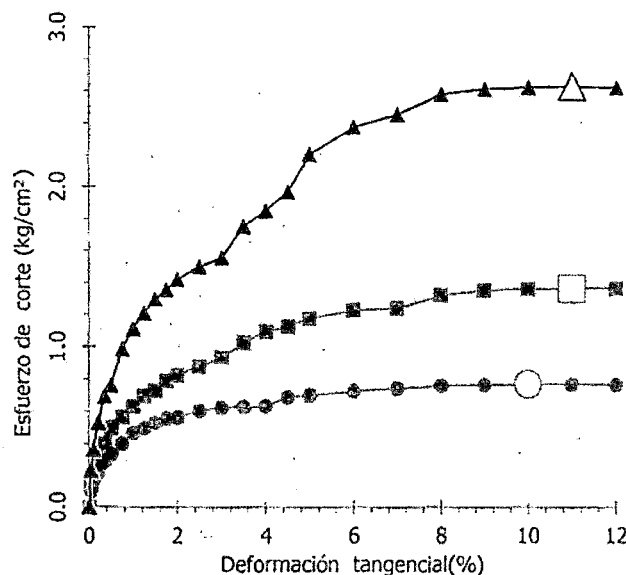
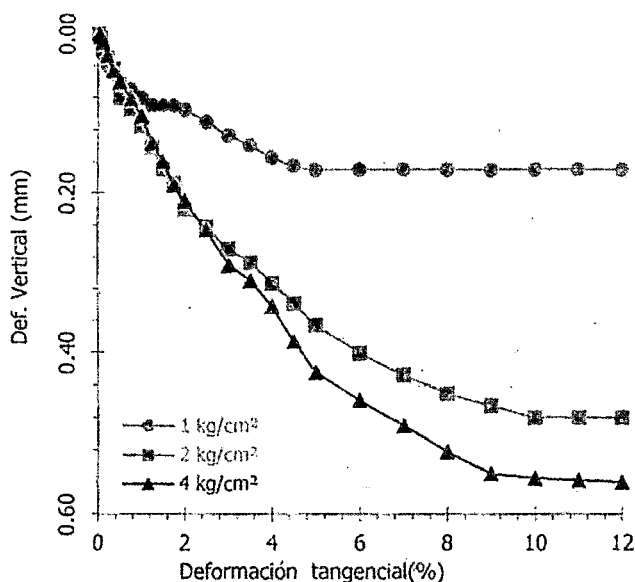
Solicitante : MINISTERIO DE ECONOMÍA Y FINANZAS

Proyecto : Fortalecimiento de Tecnología para la Mitigación de Desastres por Terremoto y Tsunami en el Perú

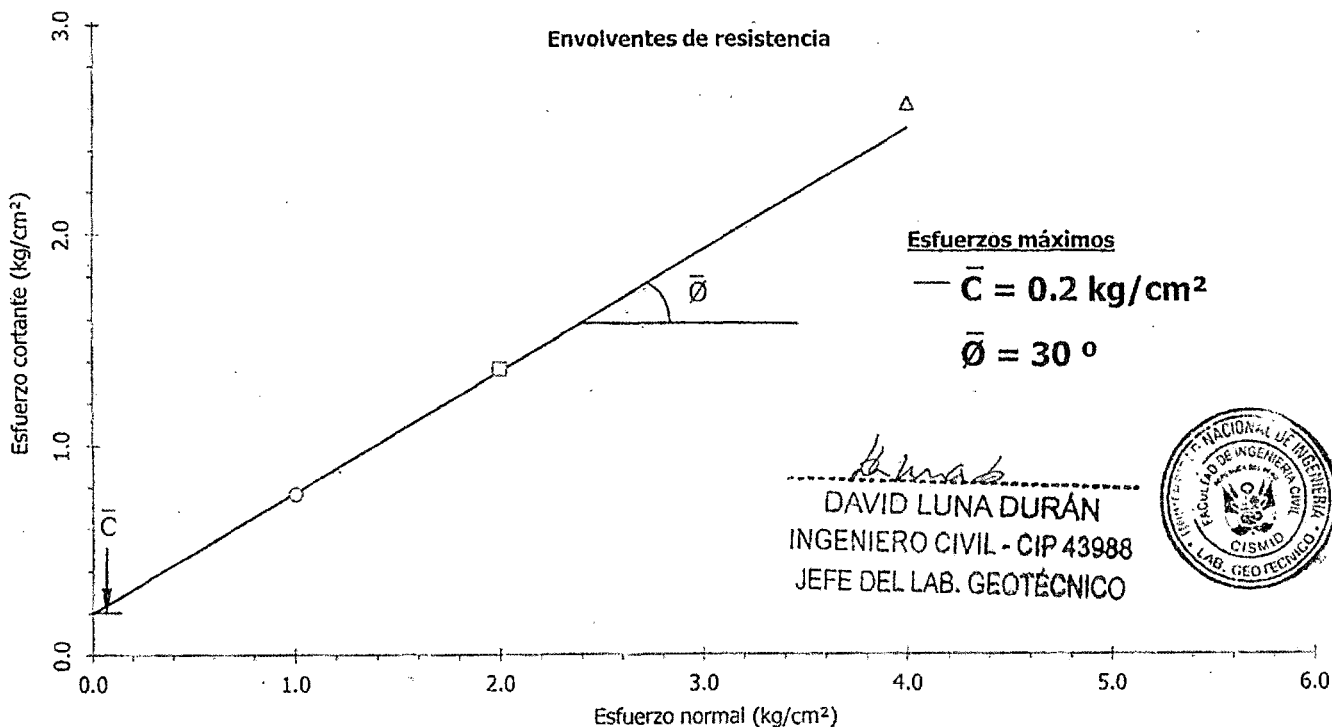
Ubicación : Dist. Independencia, Prov. y Dpto. Lima

Sondaje	C - 03	Velocidad	: 0.25 mm/min
Muestra	M - 01	AASHTO	: A-4 (0)
Prof. (m)	0.60 - 1.90	SUCS	: CL - ML / Arcilla limosa arenosa
Estado	Remoldeado	Hoja	: 4 de 4

Aplicación del esfuerzo cortante



Envolturas de resistencia





ENSAYOS DE CORTE DIRECTO

(ASTM - D3080)

Informe : LG13-090

Fecha : Mayo, 2013

Solicitante : MINISTERIO DE ECONOMÍA Y FINANZAS

Proyecto : Fortalecimiento de Tecnología para la Mitigación de Desastres por Terremoto y Tsunami en el Perú

Ubicación : Dist. Independencia, Prov. y Dpto. Lima

Sondaje : C - 04

Velocidad : 0.50 mm/min

Muestra : M - 01

AASHTO : A-1b (0)

Prof. (m) : 1.00 - 1.80

SUCS : SM / Arena limosa con grava

Estado : Remoldeado

Hoja : 1 de 4

ESFUERZO NORMAL : 1 kg/cm²

Datos del espécimen

Diámetro : 6 cm

Altura : 2 cm

Contenido de humedad

Humedad : 3.4 %

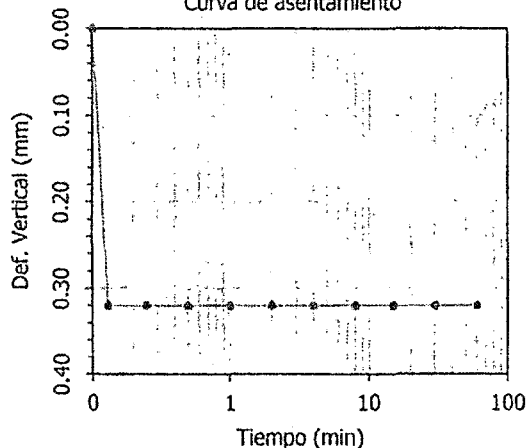
Aplicación del esfuerzo normal

Tiempo (min)	Deform. Vertical (mm)	Altura (mm)	Densidad seca (g/cm ³)
0	0.000	20.000	1.840
0.13	0.320	19.680	1.870
0.25	0.320	19.680	1.870
0.5	0.320	19.680	1.870
1	0.320	19.680	1.870
2	0.320	19.680	1.870
4	0.320	19.680	1.870
8	0.320	19.680	1.870
15	0.320	19.680	1.870
30	0.320	19.680	1.870
60	0.320	19.680	1.870

Aplicación del esfuerzo cortante

Deformación		Altura (mm)	Densidad seca (g/cm ³)	Esfuerzo	
Horizontal (%)	Vertical (mm)			Cortante (kg/cm ²)	Normalizado
0.00	0.000	19.680	1.870	0.000	0.000
0.05	0.000	19.680	1.870	0.165	0.165
0.10	0.000	19.680	1.870	0.231	0.231
0.20	0.000	19.680	1.870	0.364	0.364
0.35	0.004	19.676	1.870	0.479	0.479
0.50	0.007	19.673	1.871	0.535	0.535
0.75	0.010	19.670	1.871	0.618	0.618
1.00	0.010	19.670	1.871	0.661	0.661
1.25	0.010	19.670	1.871	0.678	0.678
1.50	0.010	19.670	1.871	0.727	0.727
1.75	0.010	19.670	1.871	0.737	0.737
2.00	0.010	19.670	1.871	0.750	0.750
2.50	0.010	19.670	1.871	0.760	0.760
3.00	0.010	19.670	1.871	0.767	0.767
3.50	0.010	19.670	1.871	0.773	0.773
4.00	0.010	19.670	1.871	0.777	0.777
4.50	0.010	19.670	1.871	0.777	0.777
5.00	0.010	19.670	1.871	0.777	0.777
6.00	0.010	19.670	1.871	0.760	0.760
7.00	-0.015	19.695	1.869	0.747	0.747
8.00	-0.030	19.710	1.867	0.727	0.727
9.00	-0.068	19.748	1.863	0.714	0.714
10.00	-0.077	19.757	1.863	0.694	0.694
11.00	-0.077	19.757	1.863	0.694	0.694
12.00	-0.077	19.757	1.863	0.694	0.694

Curva de asentamiento

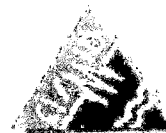


Observación :

Material que pasa el tamiz Nº 4, humedad = 3.4%, densidad seca = 1.84g/cm³. Remoldeado a la densidad relativa del 60%.

DAVID LUNA DURÁN
INGENIERO CIVIL - CIP 43988
JEFE DEL LAB. GEOTÉCNICO





ENSAYOS DE CORTE DIRECTO (ASTM - D3080)

Informe : LG13-090

Fecha : Mayo, 2013

Solicitante : MINISTERIO DE ECONOMÍA Y FINANZAS

Proyecto : Fortalecimiento de Tecnología para la Mitigación de Desastres por Terremoto y Tsunami en el Perú

Ubicación : Dist. Independencia, Prov. y Dpto. Lima

Sondaje C - 04

Velocidad : 0.50 mm/min

Muestra M - 01

AASHTO : A-1b (0)

Prof. (m) 1.00 - 1.80

SUCS : SM / Arena limosa con grava

Estado Remoldeado

Hoja : 2 de 4

ESFUERZO NORMAL : 2 kg/cm²

Datos del espécimen

Diámetro : 6 cm

Altura : 2 cm

Contenido de humedad

Humedad : 3.4 %

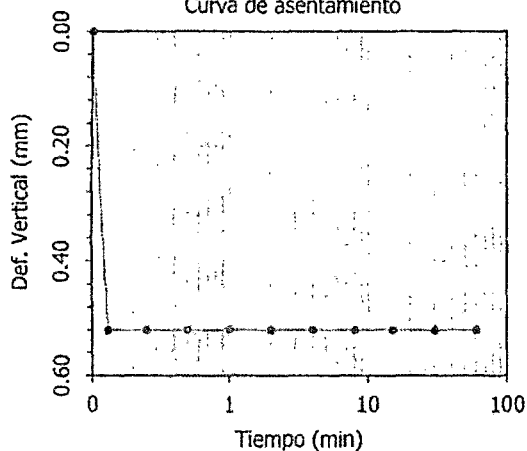
Aplicación del esfuerzo normal

Tiempo (min)	Deform. Vertical (mm)	Altura (mm)	Densidad seca (g/cm ³)
0	0.000	20.000	1.840
0.13	0.520	19.480	1.889
0.25	0.520	19.480	1.889
0.5	0.520	19.480	1.889
1	0.520	19.480	1.889
2	0.520	19.480	1.889
4	0.520	19.480	1.889
8	0.520	19.480	1.889
15	0.520	19.480	1.889
30	0.520	19.480	1.889
60	0.520	19.480	1.889

Aplicación del esfuerzo cortante

Deformación		Altura (mm)	Densidad seca (g/cm ³)	Esfuerzo	
Horizontal (%)	Vertical (mm)			Cortante (kg/cm ²)	Normalizado
0.00	0.000	19.480	1.889	0.000	0.000
0.05	0.000	19.480	1.889	0.248	0.124
0.10	0.000	19.480	1.889	0.324	0.162
0.20	0.005	19.475	1.890	0.413	0.207
0.35	0.010	19.470	1.890	0.529	0.264
0.50	0.020	19.460	1.891	0.628	0.314
0.75	0.020	19.460	1.891	0.727	0.364
1.00	0.020	19.460	1.891	0.820	0.410
1.25	0.020	19.460	1.891	0.876	0.438
1.50	0.020	19.460	1.891	0.942	0.471
1.75	0.020	19.460	1.891	0.992	0.496
2.00	0.020	19.460	1.891	1.058	0.529
2.50	0.020	19.460	1.891	1.157	0.578
3.00	0.020	19.460	1.891	1.256	0.628
3.50	0.020	19.460	1.891	1.339	0.669
4.00	0.020	19.460	1.891	1.388	0.694
4.50	0.020	19.460	1.891	1.421	0.711
5.00	0.020	19.460	1.891	1.461	0.731
6.00	0.020	19.460	1.891	1.471	0.735
7.00	0.020	19.460	1.891	1.471	0.735
8.00	0.020	19.460	1.891	1.461	0.731
9.00	0.020	19.460	1.891	1.461	0.731
10.00	0.020	19.460	1.891	1.454	0.727
11.00	0.020	19.460	1.891	1.454	0.727
12.00	0.020	19.460	1.891	1.454	0.727

Curva de asentamiento



Observación :

Material que pasa el tamiz N° 4, humedad = 3.4%, densidad seca = 1.84g/cm³. Remoldeado a la densidad relativa del 60%.

DAVID LUNA DURÁN
INGENIERO CIVIL - CIP 43988
JEFE DEL LAB. GEOTÉCNICO





ENSAYOS DE CORTE DIRECTO

(ASTM - D3080)

Informe : LG13-090

Fecha : Mayo, 2013

Solicitante : MINISTERIO DE ECONOMÍA Y FINANZAS

Proyecto : Fortalecimiento de Tecnología para la Mitigación de Desastres por Terremoto y Tsunami en el Perú

Ubicación : Dist. Independencia, Prov. y Dpto. Lima

Sondaje C - 04

Velocidad : 0.50 mm/min

Muestra M - 01

AASHTO : A-1b (0)

Prof. (m) 1.00 - 1.80

SUCS : SM / Arena limosa con grava

Estado Remoldeado

Hoja : 3 de 4

ESFUERZO NORMAL : 4 kg/cm²

Datos del espécimen

Diámetro : 6 cm

Altura : 2 cm

Contenido de humedad

Humedad : 3.4 %

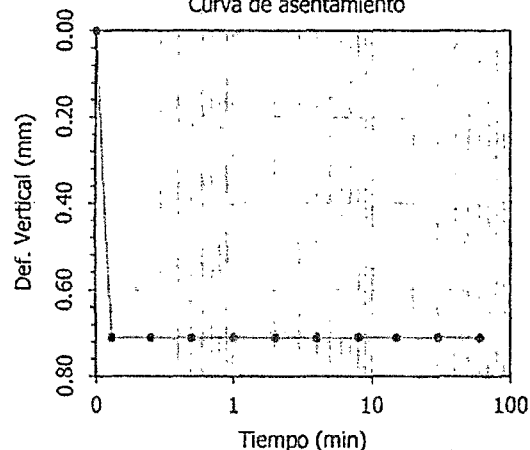
Aplicación del esfuerzo normal

Tiempo (min)	Deform. Vertical (mm)	Altura (mm)	Densidad seca (g/cm ³)
0	0.000	20.000	1.840
0.13	0.710	19.290	1.908
0.25	0.710	19.290	1.908
0.5	0.710	19.290	1.908
1	0.710	19.290	1.908
2	0.710	19.290	1.908
4	0.710	19.290	1.908
8	0.710	19.290	1.908
15	0.710	19.290	1.908
30	0.710	19.290	1.908
60	0.710	19.290	1.908

Aplicación del esfuerzo cortante

Deformación		Altura (mm)	Densidad seca (g/cm ³)	Esfuerzo	
Horizontal (%)	Vertical (mm)			Cortante (kg/cm ²)	Normalizado
0.00	0.000	19.290	1.908	0.000	0.000
0.05	0.000	19.290	1.908	0.430	0.107
0.10	0.008	19.282	1.909	0.602	0.150
0.20	0.028	19.262	1.911	0.892	0.223
0.35	0.060	19.230	1.914	1.157	0.289
0.50	0.080	19.210	1.916	1.454	0.364
0.75	0.090	19.200	1.917	1.653	0.413
1.00	0.100	19.190	1.918	1.884	0.471
1.25	0.105	19.185	1.918	2.039	0.510
1.50	0.108	19.182	1.918	2.182	0.545
1.75	0.108	19.182	1.918	2.297	0.574
2.00	0.110	19.180	1.919	2.413	0.603
2.50	0.110	19.180	1.919	2.595	0.649
3.00	0.110	19.180	1.919	2.704	0.676
3.50	0.110	19.180	1.919	2.810	0.702
4.00	0.110	19.180	1.919	2.909	0.727
4.50	0.110	19.180	1.919	3.008	0.752
5.00	0.110	19.180	1.919	3.107	0.777
6.00	0.110	19.180	1.919	3.206	0.802
7.00	0.110	19.180	1.919	3.239	0.810
8.00	0.110	19.180	1.919	3.213	0.803
9.00	0.110	19.180	1.919	3.173	0.793
10.00	0.110	19.180	1.919	3.173	0.793
11.00	0.110	19.180	1.919	3.173	0.793
12.00	0.110	19.180	1.919	3.173	0.793

Curva de asentamiento



Observación :

Material que pasa el tamiz N° 4, humedad = 3.4%, densidad seca = 1.84g/cm³. Remoldeado a la densidad relativa del 60%.

David Luna Durán
DAVID LUNA DURÁN
INGENIERO CIVIL - CIP 43988
JEFE DEL LAB. GEOTÉCNICO





ENSAYOS DE CORTE DIRECTO

(ASTM - D3080)

Informe : LG13-090

Fecha : Mayo, 2013

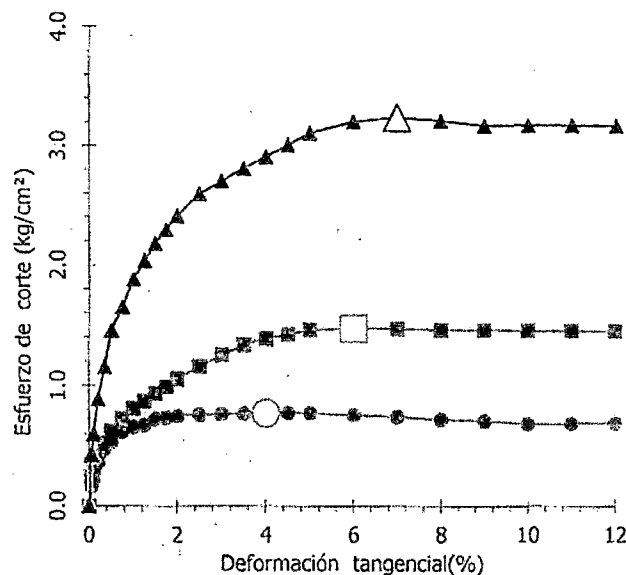
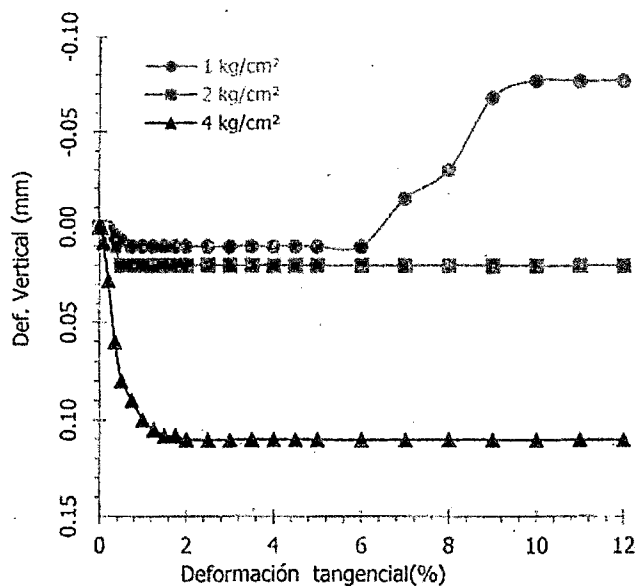
Solicitante : MINISTERIO DE ECONOMÍA Y FINANZAS

Proyecto : Fortalecimiento de Tecnología para la Mitigación de Desastres por Terremoto y Tsunami en el Perú

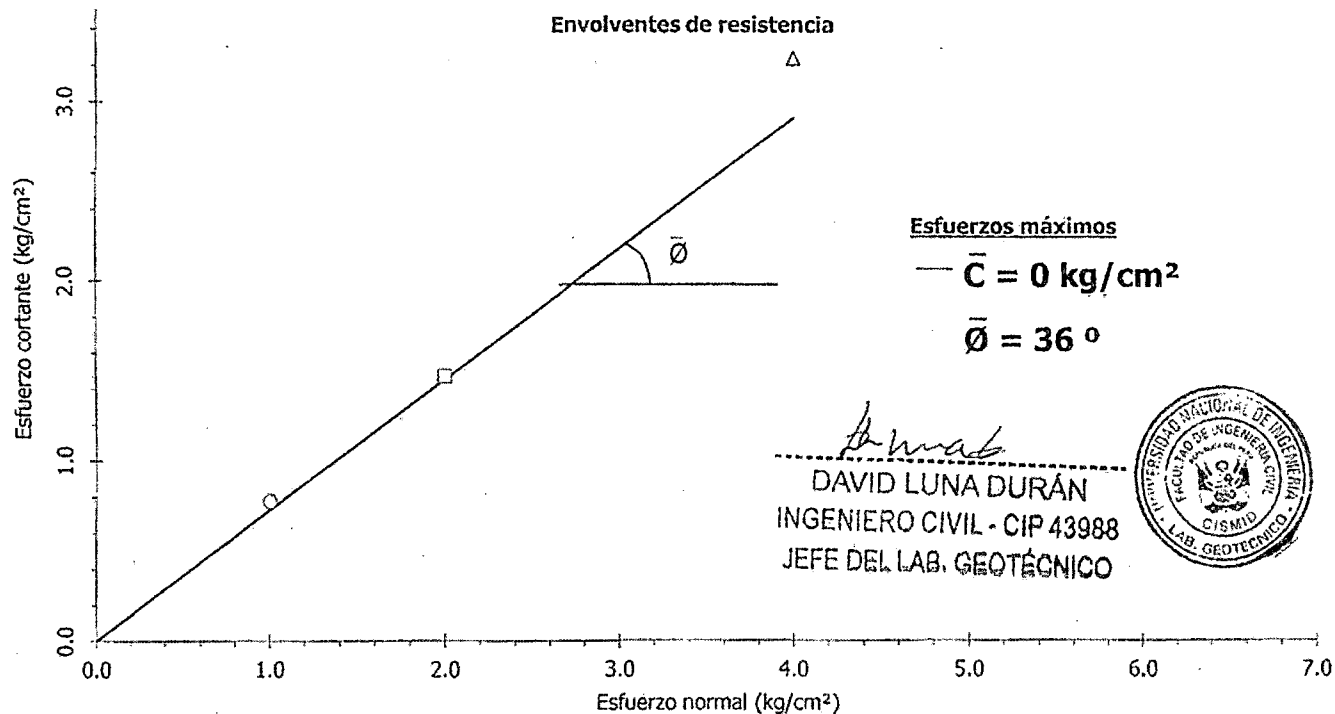
Ubicación : Dist. Independencia, Prov. y Dpto. Lima

Sondaje	C - 04	Velocidad	: 0.50 mm/min
Muestra	M - 01	AASHTO	: A-1b (0)
Prof. (m)	1.00 - 1.80	SUCS	: SM / Arena limosa con grava
Estado	Remoldeado	Hoja	: 4 de 4

Aplicación del esfuerzo cortante



Envolturas de resistencia





ENSAYOS DE CORTE DIRECTO

(ASTM - D3080)

Informe : LG13-090

Fecha : Mayo, 2013

Solicitante : MINISTERIO DE ECONOMÍA Y FINANZAS

Proyecto : Fortalecimiento de Tecnología para la Mitigación de Desastres por Terremoto y Tsunami en el Perú

Ubicación : Dist. Independencia, Prov. y Dpto. Lima

Sondaje : C - 07

Velocidad : 0.50 mm/min

Muestra : M - 02

AASHTO : A-1a (0)

Prof. (m) : 1.20 - 3.00

SUCS : SP - SM / Arena mal gradada con limo y grava

Estado : Remoldeado

Hoja : 1 de 4

ESFUERZO NORMAL : 1 kg/cm²

Datos del espécimen

Diámetro : 6 cm

Altura : 2 cm

Contenido de humedad

Humedad : 3.6 %

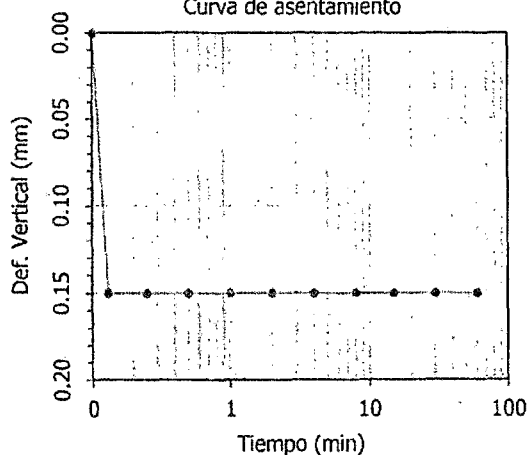
Aplicación del esfuerzo normal

Tiempo (min)	Deform. Vertical (mm)	Altura (mm)	Densidad seca (g/cm ³)
0	0.000	20.000	1.920
0.13	0.150	19.850	1.935
0.25	0.150	19.850	1.935
0.5	0.150	19.850	1.935
1	0.150	19.850	1.935
2	0.150	19.850	1.935
4	0.150	19.850	1.935
8	0.150	19.850	1.935
15	0.150	19.850	1.935
30	0.150	19.850	1.935
60	0.150	19.850	1.935

Aplicación del esfuerzo cortante

Deformación		Altura (mm)	Densidad seca (g/cm ³)	Esfuerzo	
Horizontal (%)	Vertical (mm)			Cortante (kg/cm ²)	Normalizado
0.00	0.000	19.850	1.935	0.000	0.000
0.05	0.000	19.850	1.935	0.099	0.099
0.10	0.008	19.842	1.935	0.165	0.165
0.20	0.010	19.840	1.936	0.248	0.248
0.35	0.016	19.834	1.936	0.331	0.331
0.50	0.018	19.832	1.936	0.364	0.364
0.75	0.020	19.830	1.937	0.430	0.430
1.00	0.020	19.830	1.937	0.496	0.496
1.25	0.020	19.830	1.937	0.545	0.545
1.50	0.020	19.830	1.937	0.588	0.588
1.75	0.020	19.830	1.937	0.612	0.612
2.00	0.020	19.830	1.937	0.628	0.628
2.50	0.020	19.830	1.937	0.668	0.668
3.00	0.020	19.830	1.937	0.727	0.727
3.50	0.020	19.830	1.937	0.760	0.760
4.00	0.020	19.830	1.937	0.777	0.777
4.50	0.020	19.830	1.937	0.800	0.800
5.00	0.020	19.830	1.937	0.810	0.810
6.00	0.020	19.830	1.937	0.816	0.816
7.00	0.020	19.830	1.937	0.793	0.793
8.00	0.020	19.830	1.937	0.777	0.777
9.00	0.020	19.830	1.937	0.760	0.760
10.00	0.020	19.830	1.937	0.736	0.736
11.00	0.020	19.830	1.937	0.737	0.737
12.00	0.020	19.830	1.937	0.727	0.727

Curva de asentamiento



Observación :

Material que pasa el tamiz N° 4, humedad = 3.6%, densidad seca = 1.92g/cm³. Remoldeado a la densidad relativa del 65%.

DAVID LUNA DURÁN
INGENIERO CIVIL - CIP 43988
JEFE DEL LAB. GEOTÉCNICO





ENSAYOS DE CORTE DIRECTO

(ASTM - D3080)

Informe : LG13-090

Fecha : Mayo, 2013

Solicitante : MINISTERIO DE ECONOMÍA Y FINANZAS

Proyecto : Fortalecimiento de Tecnología para la Mitigación de Desastres por Terremoto y Tsunami en el Perú

Ubicación : Dist. Independencia, Prov. y Dpto. Lima

Sondaje C - 07

Velocidad : 0.50 mm/min

Muestra M - 02

AASHTO : A-1a (0)

Prof. (m) 1.20 - 3.00

SUCS : SP - SM / Arena mal gradada con limo y grava

Estado Remoldeado

Hoja : 2 de 4

ESFUERZO NORMAL : 2 kg/cm²

Datos del espécimen

Diámetro : 6 cm

Altura : 2 cm

Contenido de humedad

Humedad : 3.6 %

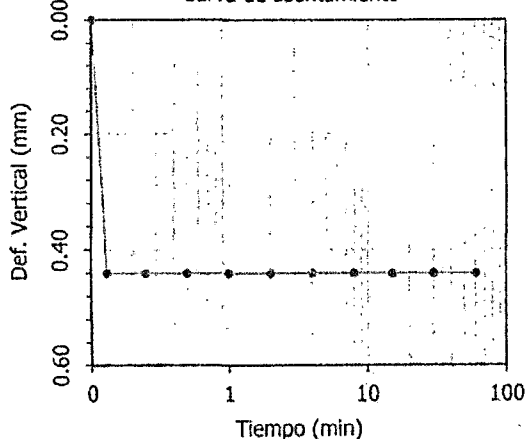
Aplicación del esfuerzo normal

Tiempo (min)	Deform. Vertical (mm)	Altura (mm)	Densidad seca (g/cm ³)
0	0.000	20.000	1.920
0.13	0.440	19.560	1.963
0.25	0.440	19.560	1.963
0.5	0.440	19.560	1.963
1	0.440	19.560	1.963
2	0.440	19.560	1.963
4	0.440	19.560	1.963
8	0.440	19.560	1.963
15	0.440	19.560	1.963
30	0.440	19.560	1.963
60	0.440	19.560	1.963

Aplicación del esfuerzo cortante

Deformación		Altura (mm)	Densidad seca (g/cm ³)	Esfuerzo	
Horizontal (%)	Vertical (mm)			Cortante (kg/cm ²)	Normalizado
0.00	0.000	19.560	1.963	0.000	0.000
0.05	0.000	19.560	1.963	0.231	0.116
0.10	0.000	19.560	1.963	0.304	0.152
0.20	0.006	19.554	1.964	0.430	0.215
0.35	0.016	19.544	1.965	0.578	0.289
0.50	0.037	19.523	1.967	0.694	0.347
0.75	0.055	19.505	1.969	0.892	0.446
1.00	0.076	19.484	1.971	0.985	0.493
1.25	0.094	19.466	1.973	1.091	0.545
1.50	0.105	19.455	1.974	1.190	0.595
1.75	0.108	19.452	1.974	1.256	0.628
2.00	0.110	19.450	1.974	1.329	0.664
2.50	0.110	19.450	1.974	1.454	0.727
3.00	0.110	19.450	1.974	1.554	0.777
3.50	0.110	19.450	1.974	1.587	0.793
4.00	0.110	19.450	1.974	1.653	0.826
4.50	0.110	19.450	1.974	1.679	0.840
5.00	0.110	19.450	1.974	1.719	0.859
6.00	0.110	19.450	1.974	1.752	0.876
7.00	0.110	19.450	1.974	1.719	0.859
8.00	0.110	19.450	1.974	1.719	0.859
9.00	0.110	19.450	1.974	1.706	0.853
10.00	0.110	19.450	1.974	1.686	0.843
11.00	0.110	19.450	1.974	1.686	0.843
12.00	0.110	19.450	1.974	1.679	0.840

Curva de asentamiento



Observación :

Material que pasa el tamiz N° 4, humedad = 3.6%, densidad seca = 1.92g/cm³. Remoldeado a la densidad relativa del 65%.

David Luna Durán
DAVID LUNA DURÁN
INGENIERO CIVIL - CIP 43988
JEFE DEL LAB. GEOTÉCNICO





ENSAYOS DE CORTE DIRECTO

(ASTM - D3080)

Informe : LG13-090

Fecha : Mayo, 2013

Solicitante : MINISTERIO DE ECONOMÍA Y FINANZAS

Proyecto : Fortalecimiento de Tecnología para la Mitigación de Desastres por Terremoto y Tsunami en el Perú

Ubicación : Dist. Independencia, Prov. y Dpto. Lima

Sondaje : C - 07
Muestra : M - 02
Prof. (m) : 1.20 - 3.00
Estado : Remoldeado
Velocidad : 0.50 mm/min
AASHTO : A-1a (0)
SUCS : SP - SM / Arena mal gradada con limo y grava
Hoja : 3 de 4

ESFUERZO NORMAL : 4 kg/cm²

Datos del espécimen

Diámetro : 6 cm
Altura : 2 cm

Contenido de humedad

Humedad : 3.6 %

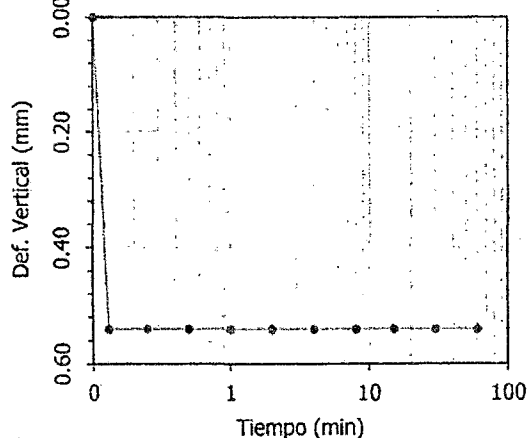
Aplicación del esfuerzo normal

Tiempo (min)	Deform. Vertical (mm)	Altura (mm)	Densidad seca (g/cm ³)
0	0.000	20.000	1.920
0.13	0.540	19.460	1.973
0.25	0.540	19.460	1.973
0.5	0.540	19.460	1.973
1	0.540	19.460	1.973
2	0.540	19.460	1.973
4	0.540	19.460	1.973
8	0.540	19.460	1.973
15	0.540	19.460	1.973
30	0.540	19.460	1.973
60	0.540	19.460	1.973

Aplicación del esfuerzo cortante

Deformación		Altura (mm)	Densidad seca (g/cm ³)	Esfuerzo	
Horizontal (%)	Vertical (mm)			Cortante (kg/cm ²)	Normalizado
0.00	0.000	19.460	1.973	0.000	0.000
0.05	0.000	19.460	1.973	0.364	0.091
0.10	0.000	19.460	1.973	0.529	0.132
0.20	0.007	19.453	1.974	0.760	0.190
0.35	0.010	19.450	1.974	0.959	0.240
0.50	0.025	19.435	1.976	1.164	0.291
0.75	0.033	19.427	1.977	1.454	0.364
1.00	0.060	19.400	1.980	1.742	0.435
1.25	0.074	19.386	1.981	1.983	0.496
1.50	0.092	19.368	1.983	2.182	0.545
1.75	0.114	19.346	1.985	2.347	0.587
2.00	0.120	19.340	1.986	2.479	0.620
2.50	0.120	19.340	1.986	2.744	0.686
3.00	0.124	19.336	1.986	2.843	0.711
3.50	0.127	19.333	1.986	3.074	0.769
4.00	0.128	19.332	1.986	3.272	0.818
4.50	0.130	19.330	1.987	3.388	0.847
5.00	0.130	19.330	1.987	3.438	0.859
6.00	0.130	19.330	1.987	3.537	0.884
7.00	0.130	19.330	1.987	3.570	0.892
8.00	0.130	19.330	1.987	3.593	0.898
9.00	0.130	19.330	1.987	3.603	0.901
10.00	0.130	19.330	1.987	3.577	0.894
11.00	0.130	19.330	1.987	3.537	0.884
12.00	0.130	19.330	1.987	3.491	0.873

Curva de asentamiento



Observación :

Material que pasa el tamiz N° 4, humedad = 3.6%, densidad seca = 1.92g/cm³. Remoldeado a la densidad relativa del 65%.

DAVID LUNA DURÁN
INGENIERO CIVIL - CIP 43988
JEFE DEL LAB. GEOTÉCNICO





ENSAYOS DE CORTE DIRECTO

(ASTM - D3080)

Informe : LG13-090

Fecha : Mayo, 2013

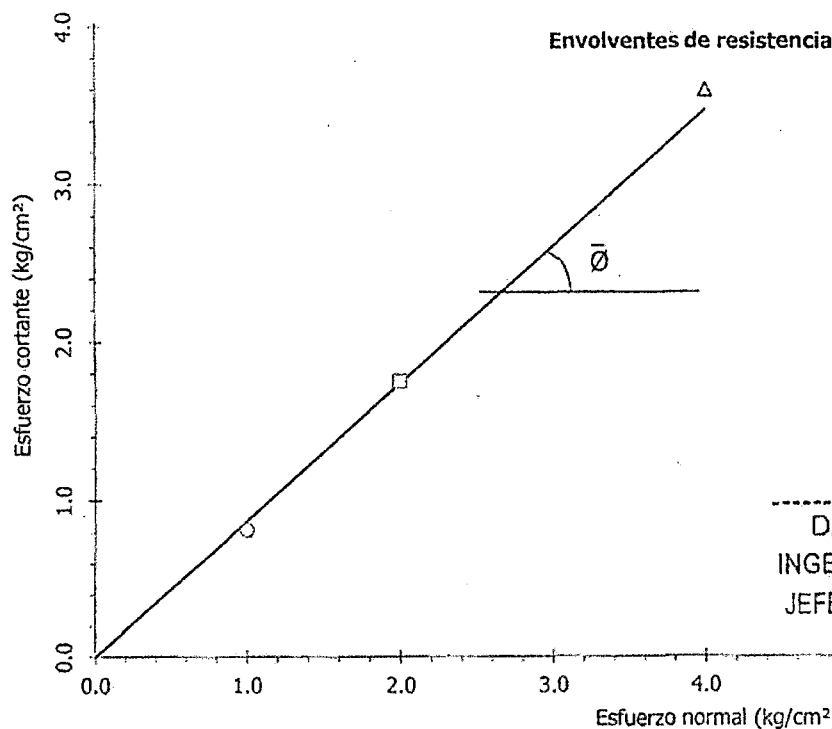
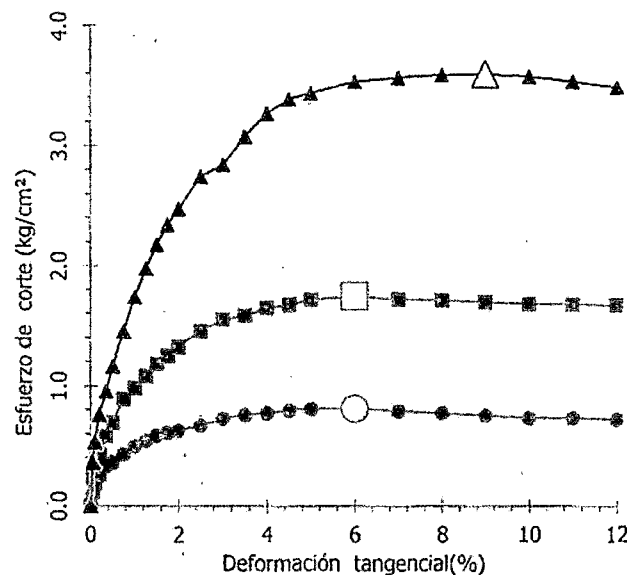
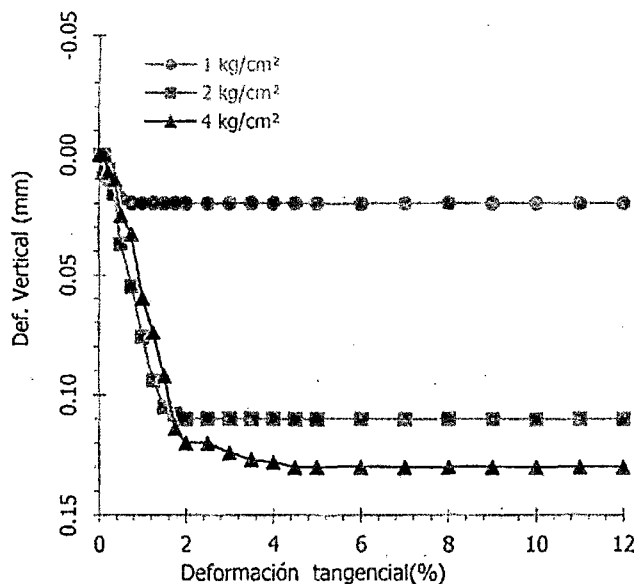
Solicitante : MINISTERIO DE ECONOMÍA Y FINANZAS

Proyecto : Fortalecimiento de Tecnología para la Mitigación de Desastres por Terremoto y Tsunami en el Perú

Ubicación : Dist. Independencia, Prov. y Dpto. Lima

Sondaje	C - 07	Velocidad	: 0.50 mm/min
Muestra	M - 02	AASHTO	: A-1a (0)
Prof. (m)	1.20 - 3.00	SUCS	: SP - SM / Arena mal gradada con limo y grava
Estado	Remoldeado	Hoja	: 4 de 4

Aplicación del esfuerzo cortante



Esfuerzos máximos

$\bar{C} = 0 \text{ kg/cm}^2$

$\bar{\phi} = 41^\circ$

DAVID LUNA DURÁN
INGENIERO CIVIL - CIP 43988
JEFE DEL LAB. GEOTÉCNICO





ENSAYOS DE LABORATORIO

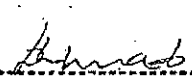
Informe Nº : LG13-090 Fecha : Mayo, 2013
Solicitante : MINISTERIO DE ECONOMÍA Y FINANZAS
Proyecto : Fortalecimiento de Tecnología para la Mitigación de Desastres por Terremoto y Tsunami en el Perú
Ubicación : Dist. Independencia, Prov. y Dpto. Lima

DENSIDAD SECA MÍNIMA Y DENSIDAD SECA MÁXIMA (JSF - T26)

Sondaje	Muestra	Profundidad (m)	Clasificación (SUCS)	Clasificación (AASHTO)	Densidad mínima (g/cm ³)	Densidad máxima (g/cm ³)
C - 01	M - 02	1.00 - 1.40	SP	A-1b (0)	1.49	1.84
C - 02	M - 01	1.00 - 1.60	SC - SM	A-2-4 (0)	1.61	1.98
C - 04	M - 01	1.00 - 1.80	SM	A-1b (0)	1.59	2.06
C - 07	M - 02	1.20 - 3.00	SP - SM	A-1a (0)	1.63	2.12

PESO VOLUMÉTRICO

Sondaje	Muestra	Profundidad (m)	Clasificación (SUCS)	Clasificación (AASHTO)	Humedad (%)	Densidad Húmeda (g/cm ³)
C - 03	M - 01	0.60 - 1.90	CL - ML	A-4 (0)	8.90	1.80


DAVID LUNA DURÁN
INGENIERO CIVIL - CIP 43988
JEFE DEL LAB. GEOTÉCNICO





ENSAYO DE COMPRESION TRIAXIAL

No Consolidado - No Drenado (UU) // ASTM - D2850

Informe N° : LG13-090 Fecha : Mayo, 2013
Solicitante : MINISTERIO DE ECONOMÍA Y FINANZAS
Proyecto : Fortalecimiento de Tecnología para la Mitigación de Desastres por Terremoto y Tsunami en el Perú
Ubicación : Dist. Independencia, Prov. y Dpto. Lima

Sondaje : C - 03 Hoja : 1 de 4
Muestra : M - 02 AASHTO : A-1b (0)
Profundidad (m) : 1.90 - 3.00 SUCS : GM // Grava limosa con arena
Estado : Remoldeado Velocidad : 0.5 mm/min

PRESION DE CELDA : 1 kg/cm²

Datos iniciales del espécimen

Diámetro : 10 cm
Altura : 20.5 cm
Humedad : 5 %
Densidad seca : 1.86 g/cm³

Cuadro de detalle al aplicar el esfuerzo desviador

Deformación (%)	Esf. Desv. (kg/cm ²)	σ_1 (kg/cm ²)	p (kg/cm ²)	q (kg/cm ²)	q/p	Oblicuidad (σ_1/σ_3)
0.00	0.00	1.00	1.00	0.00	0.00	1.00
0.05	0.67	1.67	1.33	0.33	0.25	1.67
0.10	1.04	2.04	1.52	0.52	0.34	2.04
0.20	1.84	2.84	1.92	0.92	0.48	2.84
0.34	2.67	3.67	2.34	1.34	0.57	3.67
0.49	3.17	4.17	2.58	1.58	0.61	4.17
0.73	3.59	4.59	2.80	1.80	0.64	4.59
0.98	3.68	4.68	2.84	1.84	0.65	4.68
1.22	3.74	4.74	2.87	1.87	0.65	4.74
1.46	3.80	4.80	2.90	1.90	0.65	4.80
1.71	3.82	4.82	2.91	1.91	0.66	4.82
1.95	3.84	4.84	2.92	1.92	0.66	4.84
2.44	3.86	4.86	2.93	1.93	0.66	4.86
2.93	3.87	4.87	2.93	1.93	0.66	4.87
3.41	3.85	4.85	2.92	1.92	0.66	4.85
3.90	3.86	4.86	2.93	1.93	0.66	4.86
4.39	3.81	4.81	2.91	1.91	0.66	4.81
4.88	3.79	4.79	2.90	1.90	0.65	4.79
5.85	3.66	4.66	2.83	1.83	0.65	4.66
6.83	3.59	4.59	2.79	1.79	0.64	4.59
7.80	3.52	4.52	2.76	1.76	0.64	4.52
8.78	3.45	4.45	2.73	1.73	0.63	4.45
9.76	3.39	4.39	2.69	1.69	0.63	4.39
10.73	3.32	4.32	2.66	1.66	0.62	4.32
11.71	3.28	4.28	2.64	1.64	0.62	4.28

Observaciones :

Material menor de 3/4", humedad = 5.0%, máxima densidad seca remoldeable = 1.86g/cm³ (densidad proporcionada = 2.00g/cm³).


DAVID LUNA DURÁN
INGENIERO CIVIL - CIP 43988
JEFE DEL LAB. GEOTÉCNICO





ENSAYO DE COMPRESION TRIAXIAL

No Consolidado - No Drenado (UU) // ASTM - D2850

Informe N° : LG13-090 Fecha : Mayo, 2013
Solicitante : MINISTERIO DE ECONOMÍA Y FINANZAS
Proyecto : Fortalecimiento de Tecnología para la Mitigación de Desastres por Terremoto y Tsunami en el Perú
Ubicación : Dist. Independencia, Prov. y Dpto. Lima

Sondaje : C - 03 Hoja : 2 de 4
Muestra : M - 02 AASHTO : A-1b (0)
Profundidad (m) : 1.90 - 3.00 SUCS : GM // Grava limosa con arena
Estado : Remoldeado Velocidad : 0.5 mm/min

PRESION DE CELDA : 2 kg/cm²

Datos iniciales del espécimen

Diámetro : 10 cm
Altura : 20.5 cm
Humedad : 5 %
Densidad seca : 1.86 g/cm³

Cuadro de detalle al aplicar el esfuerzo desviador

Deformación (%)	Esf. Desv. (kg/cm ²)	σ_1 (kg/cm ²)	p (kg/cm ²)	q (kg/cm ²)	q/p	Oblicuidad (σ_1/σ_3)
0.00	0.00	2.00	2.00	0.00	0.00	1.00
0.05	0.40	2.40	2.20	0.20	0.09	1.20
0.10	1.27	3.27	2.64	0.64	0.24	1.64
0.20	2.01	4.01	3.00	1.00	0.33	2.00
0.34	3.20	5.20	3.60	1.60	0.44	2.60
0.49	4.13	6.13	4.07	2.07	0.51	3.07
0.73	5.12	7.12	4.56	2.56	0.56	3.56
0.98	5.51	7.51	4.75	2.75	0.58	3.75
1.22	5.69	7.69	4.85	2.85	0.59	3.85
1.46	5.78	7.78	4.89	2.89	0.59	3.89
1.71	5.96	7.96	4.98	2.98	0.60	3.98
1.95	5.98	7.98	4.99	2.99	0.60	3.99
2.44	6.01	8.01	5.01	3.01	0.60	4.01
2.93	6.08	8.08	5.04	3.04	0.60	4.04
3.41	6.24	8.24	5.12	3.12	0.61	4.12
3.90	6.24	8.24	5.12	3.12	0.61	4.12
4.39	6.34	8.34	5.17	3.17	0.61	4.17
4.88	6.34	8.34	5.17	3.17	0.61	4.17
5.85	6.31	8.31	5.15	3.15	0.61	4.15
6.83	6.33	8.33	5.17	3.17	0.61	4.17
7.80	6.39	8.39	5.20	3.20	0.62	4.20
8.78	6.32	8.32	5.16	3.16	0.61	4.16
9.76	6.23	8.23	5.11	3.11	0.61	4.11
10.73	6.13	8.13	5.06	3.06	0.61	4.06
11.71	6.06	8.06	5.03	3.03	0.60	4.03

Observaciones :

Material menor de 3/4", humedad = 5.0%, máxima densidad seca remoldeable = 1.86g/cm³ (densidad proporcionada = 2.00g/cm³).

David Luna Durán
DAVID LUNA DURÁN
INGENIERO CIVIL - CIP 43988
JEFE DEL LAB. GEOTÉCNICO





ENSAYO DE COMPRESION TRIAXIAL

No Consolidado - No Drenado (UU) // ASTM - D2850

Informe N° : LG13-090 Fecha : Mayo, 2013
Solicitante : MINISTERIO DE ECONOMÍA Y FINANZAS
Proyecto : Fortalecimiento de Tecnología para la Mitigación de Desastres por Terremoto y Tsunami en el Perú

Ubicación : Dist. Independencia, Prov. y Dpto. Lima

Sondaje : C - 03 Hoja : 3 de 4
Muestra : M - 02 AASHTO : A-1b (0)
Profundidad (m) : 1.90 - 3.00 SUCS : GM // Grava limosa con arena
Estado : Remoldeado Velocidad : 0.5 mm/min

PRESION DE CELDA : 4 kg/cm²

Datos iniciales del espécimen

Diámetro : 10 cm
Altura : 20.5 cm
Humedad : 5 %
Densidad seca : 1.86 g/cm³

Cuadro de detalle al aplicar el esfuerzo desviador

Deformación (%)	Esf. Desv. (kg/cm ²)	σ_1 (kg/cm ²)	p (kg/cm ²)	q (kg/cm ²)	q/p	Oblicuidad (σ_1/σ_3)
0.00	0.00	4.00	4.00	0.00	0.00	1.00
0.05	1.44	5.44	4.72	0.72	0.15	1.36
0.10	2.17	6.17	5.09	1.09	0.21	1.54
0.20	3.31	7.31	5.65	1.65	0.29	1.83
0.34	4.44	8.44	6.22	2.22	0.36	2.11
0.49	5.20	9.20	6.60	2.60	0.39	2.30
0.73	6.15	10.15	7.08	3.08	0.43	2.54
0.98	6.83	10.83	7.42	3.42	0.46	2.71
1.22	7.28	11.28	7.64	3.64	0.48	2.82
1.46	7.66	11.66	7.83	3.83	0.49	2.91
1.71	7.97	11.97	7.98	3.98	0.50	2.99
1.95	8.28	12.28	8.14	4.14	0.51	3.07
2.44	8.66	12.66	8.33	4.33	0.52	3.16
2.93	9.07	13.07	8.54	4.54	0.53	3.27
3.41	9.38	13.38	8.69	4.69	0.54	3.35
3.90	9.56	13.56	8.78	4.78	0.54	3.39
4.39	9.90	13.90	8.95	4.95	0.55	3.47
4.88	10.10	14.10	9.05	5.05	0.56	3.52
5.85	10.47	14.47	9.23	5.23	0.57	3.62
6.83	10.73	14.73	9.37	5.37	0.57	3.68
7.80	10.90	14.90	9.45	5.45	0.58	3.73
8.78	11.09	15.09	9.55	5.55	0.58	3.77
9.76	11.15	15.15	9.58	5.58	0.58	3.79
10.73	11.03	15.03	9.52	5.52	0.58	3.76
11.71	10.91	14.91	9.46	5.46	0.58	3.73

Observaciones :

Material menor de 3/4", humedad = 5.0%, máxima densidad seca remoldeable = 1.86g/cm³ (densidad proporcionada = 2.00g/cm³).


DAVID LUNA DURÁN
INGENIERO CIVIL - CIP 43988
JEFE DEL LAB. GEOTÉCNICO



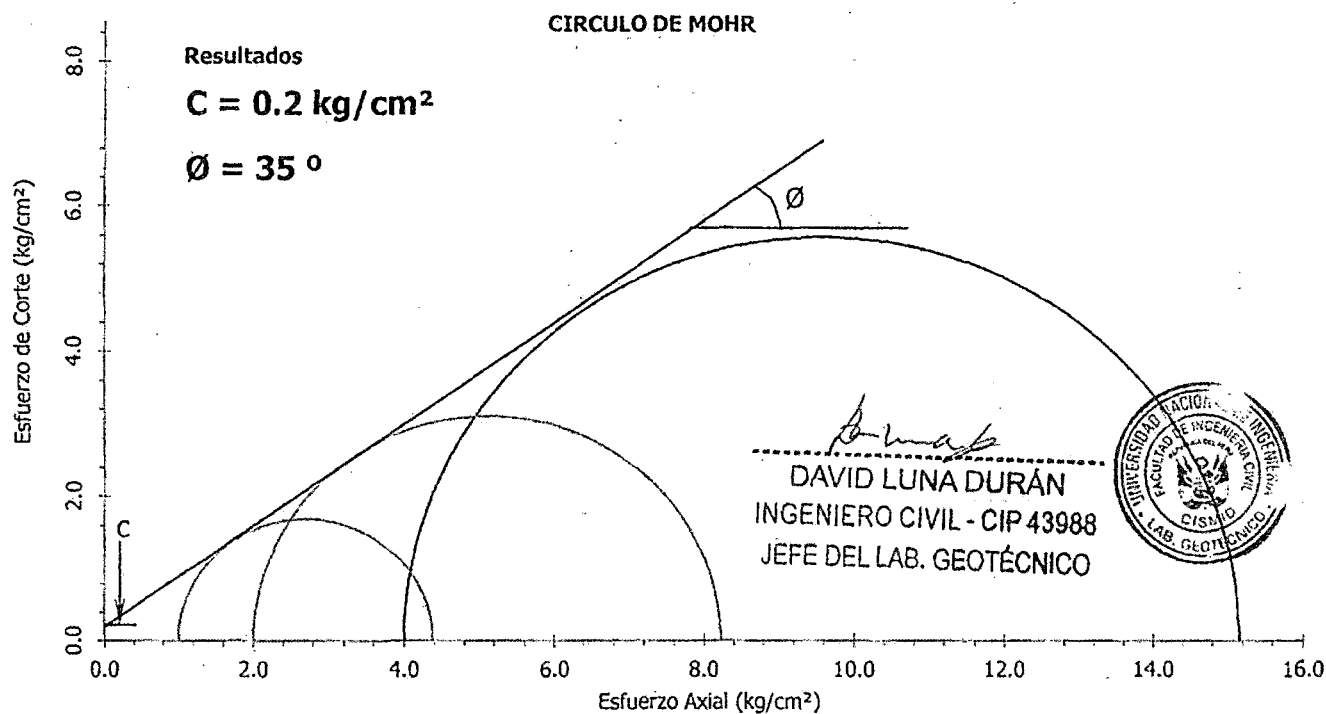
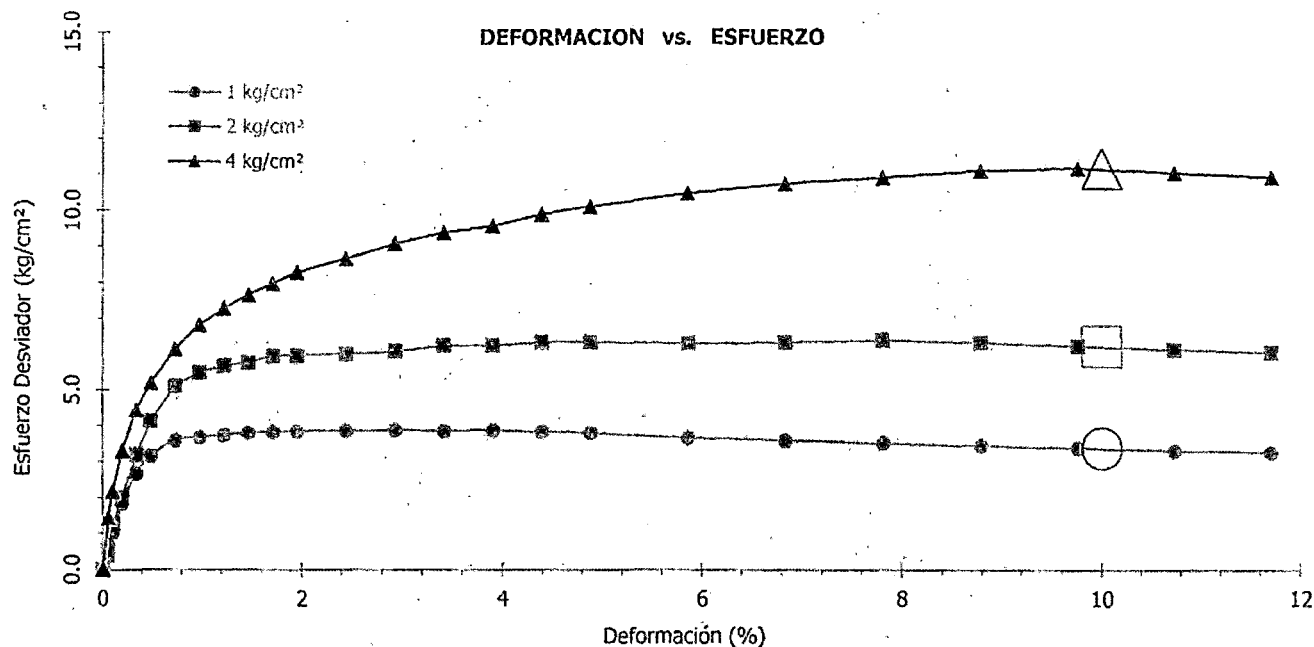


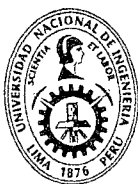
ENSAYO DE COMPRESION TRIAXIAL

No Consolidado - No Drenado (UU) // ASTM - D2850

Informe N° : LG13-090 Fecha : Mayo, 2013
Solicitante : MINISTERIO DE ECONOMÍA Y FINANZAS
Proyecto : Fortalecimiento de Tecnología para la Mitigación de Desastres por Terremoto y Tsunami en el Perú
Ubicación : Dist. Independencia, Prov. y Dpto. Lima

Sondaje : C - 03 Hoja : 4 de 4
Muestra : M - 02 AASHTO : A-1b (0)
Profundidad (m) : 1.90 - 3.00 SUCS : GM // Grava limosa con arena
Estado : Remoldeado Velocidad : 0.5 mm/min





UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA

Facultad de Ingeniería Civil

LABORATORIO QUÍMICO FIC

ANÁLISIS FÍSICO-QUÍMICO

SOLICITANTE: C I S M I D

REGISTRO: LQ13-086

OBRA: "FORTALECIMIENTO DE TECNOLOGÍA PARA LA MITIGACIÓN DE DESASTRES
POR TERREMOTO Y TSUNAMI EN EL PERÚ"

UBICACIÓN: INDEPENDENCIA--LIMA-LIMA

TIPO DE MUESTRA: CALICATA: C-02/M-1

PROFUNDIDAD (m):1.00 - 1.60

UBICACIÓN DE LA MUESTRA: PARQUE-UBICADO EN JR. LOS ARRAYANES

RECEPCIÓN DE MUESTRA: 25 -03-13

ANÁLISIS DE:	CLORUROS Cl ⁻	SULFATOS (SO ₄) ⁻²	SALES SOLUBLES TOTALES	pH
	ASTM D 3370:1999 AASHTO T 291	ASTM E 275:2001 AASHTO T 290	MTCE 219.2000 ASTMD 1888	MTCE 119 ASTMD 4792
	ppm	ppm	ppm	
TIPO DE MUESTRA:				
CALICATA:				
C-02	294	3 961	4 297	6.20
M-1				
PROFUNDIDAD(m):				
1.0 -160				

Lima, 26 de Marzo del 2013



CARMEN M. REYES CUBAS
MSC ING. ANALISTA DEL LABORATORIO
Laboratorio de Química de la FIC-UNI


ROSA ALTAMIRANO MEDINA
MS ING. JEFA DEL LABORATORIO
Laboratorio de Química de la FIC-UNI

El Laboratorio no responsabiliza del muestreo ni de la procedencia de la muestra

Av. Tupac Amaru 210, Lima 25, Peru
Apartado Postal 1301 Lima 100 - Peru Telefax: (511) 481-9845
Central Telefonica: 481-1070 Anexo: 295



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA

Facultad de Ingeniería Civil

LABORATORIO QUÍMICO FIC

ANÁLISIS FÍSICO-QUÍMICO

SOLICITANTE: C I S M I D

REGISTRO: LQ13-087

OBRA: "FORTALECIMIENTO DE TECNOLOGÍA PARA LA MITIGACIÓN DE DESASTRES
POR TERREMOTO Y TSUNAMI EN EL PERÚ"

UBICACIÓN: INDEPENDENCIA--LIMA-LIMA

TIPO DE MUESTRA: CALICATA: C-03/M-1

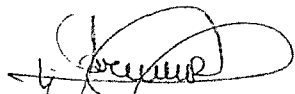
PROFUNDIDAD (m):0.60 - 1.90

UBICACIÓN DE LA MUESTRA: PARQUE-UBICADO EN CALLE LOS TULIPANES

RECEPCIÓN DE MUESTRA: 25 -03-13

ANÁLISIS DE:	CLORUROS Cl ⁻	SULFATOS (SO ₄) ²⁻	SALES SOLUBLES TOTALES	pH
	ASTM D 3370:1999 AASHTO T 291	ASTM E 275:2001 AASHTO T 290	MTC E 219.2000 ASTMD 1888	MTC E 119 ASTMD 4792
	ppm	ppm	ppm	
TIPO DE MUESTRA:				
CALICATA:				
C-03	231	1 396	1 678	6.47
M-1				
PROFUNDIDAD(m):				
0.60 -- 1.90				

Lima, 26 de Marzo del 2013


CARMEN M. REYES CUBAS
MSC ING. ANALISTA DEL LABORATORIO
Laboratorio de Química de la FIC-UNI


ROSA ALTAMIRANO MEDINA
MS ING. JEFA DEL LABORATORIO
Laboratorio de Química de la FIC-UNI

El Laboratorio no responsabiliza del muestreo ni de la procedencia de la muestra

Av. Tupac Amaru 210, Lima 25, Peru
Apartado Postal 1301 Lima 100 - Peru Telefax: (511) 481-9845
Central Telefonica: 481-1070 Anexo: 295



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA

Facultad de Ingeniería Civil

LABORATORIO QUÍMICO FIC

ANÁLISIS FÍSICO-QUÍMICO

SOLICITANTE: C I S M I D

REGISTRO: LQ13-088

OBRA: "FORTALECIMIENTO DE TECNOLOGÍA PARA LA MITIGACIÓN DE DESASTRES
POR TERREMOTO Y TSUNAMI EN EL PERÚ"

UBICACIÓN: INDEPENDENCIA—LIMA-LIMA

TIPO DE MUESTRA: CALICATA: C-04/M-1

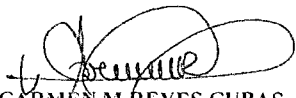
PROFUNDIDAD (m):1.00 - 1.80

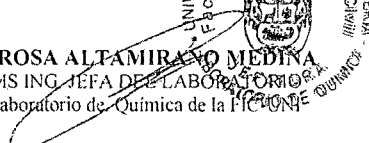
UBICACIÓN DE LA MUESTRA: PARQUE-UBICADO EN AV.17 DE NOVIEMBRE CON 1° DE MAYO

RECEPCIÓN DE MUESTRA: 25 -03-13

ANÁLISIS DE:	CLORUROS Cl ⁻	SULFATOS (SO ₄) ²⁻	SALES SOLUBLES TOTALES	pH
	ASTM D 3370:1999	ASTM E 275:2001	MTC E 219.2000	MTC E 119
	AASHTO T 291	AASHTO T 290	ASTMD 1888	ASTMD 4792
	ppm	ppm	ppm	
TIPO DE MUESTRA:				
CALICATA:				
C-04	628	25 434	26 103	6.10
M-1				
PROFUNDIDAD(m):				
1.00-1.80				

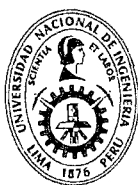
Lima, 26 de Marzo del 2013


CARMEN M. REYES CUBAS
MSC ING. ANALISTA DEL LABORATORIO
Laboratorio de Química de la FIC-UNI


ROSA ALTAMIRANO MEDINA
MS ING. JEFA DEL LABORATORIO
Laboratorio de Química de la FIC-UNI

El Laboratorio no responsabiliza del muestreo ni de la procedencia de la muestra

Av. Tupac Amaru 210, Lima 25, Peru
Apartado Postal 1301 Lima 100 - Peru Telefax: (511) 481-9845
Central Telefonica: 481-1070 Anexo: 295



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA

Facultad de Ingeniería Civil

LABORATORIO QUÍMICO FIC

ANÁLISIS FÍSICO-QUÍMICO

SOLICITANTE: C I S M I D

REGISTRO: LQ13-089

OBRA: "FORTALECIMIENTO DE TECNOLOGÍA PARA LA MITIGACIÓN DE DESASTRES
POR TERREMOTO Y TSUNAMI EN EL PERÚ"

UBICACIÓN: INDEPENDENCIA—LIMA-LIMA

TIPO DE MUESTRA: CALICATA: C-07/M-2

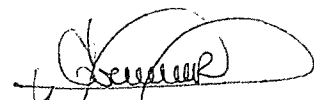
PROFUNDIDAD (m):1.20 -3.00

UBICACIÓN DE LA MUESTRA: PARQUE-UBICADO EN LA INTERSECCION DE
INCA YUPANQUI CON QUIPAYPAMPA

RECEPCIÓN DE MUESTRA: 25 -03-13

ANALISIS DE:	CLORUROS Cl ⁻	SULFATOS (SO ₄) ²⁻	SALES SOLUBLES TOTALES	pH
	ASTM D 3370:1999	ASTM E 275:2001	NTC E 219.2000	NTC E 119
	AASHTO T 291	AASHTO T 290	ASTMD 1888	ASTMD 4792
	ppm	ppm	ppm	
TIPO DE MUESTRA:				
CALICATA:				
C-07	136	1 642	1 825	7.31
M-2				
PROFUNDIDAD(m):				
1.20 – 3.00				

Lima, 26 de Marzo del 2013


CARMEN M.REYES CUBAS
MSC ING.ANALISTA DEL LABORATORIO
Laboratorio de. Química de la FIC-UNI


ROSA ALTAMIRANO MEDINA
MS ING. JEFA DEL LABORATORIO
Laboratorio de. Química de la FIC-UNI

El Laboratorio no responsabiliza del muestreo ni de la procedencia de la muestra

Av. Tupac Amaru 210, Lima 25, Peru
Apartado Postal 1301 Lima 100 - PeruTelefax: (511) 481-9845
Central Telefonica: 481-1070 Anexo: 295



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA

Facultad de Ingeniería Civil

LABORATORIO QUÍMICO FIC

ANÁLISIS FÍSICO-QUÍMICO

SOLICITANTE: C I S M I D

REGISTRO: LQ13-086

OBRA: "FORTALECIMIENTO DE TECNOLOGÍA PARA LA MITIGACIÓN DE DESASTRES
POR TERREMOTO Y TSUNAMI EN EL PERÚ"

UBICACIÓN: INDEPENDENCIA—LIMA-LIMA

TIPO DE MUESTRA: CALICATA: C-02/M-1

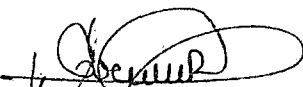
PROFUNDIDAD (m):1.00 - 1.60

UBICACIÓN DE LA MUESTRA: PARQUE-UBICADO EN JR. LOS ARRAYANES

RECEPCIÓN DE MUESTRA: 25 -03-13

ANÁLISIS DE:	CLORUROS Cl ⁻	SULFATOS (SO ₄) ²⁻	SALES SOLUBLES TOTALES	pH
	ASTM D 3370:1999 AASHTO T 291	ASTM E 275:2001 AASHTO T 290	MTC E 219.2000 ASTMD 1888	MTC E 119 ASTMD 4792
	%	%	%	
TIPO DE MUESTRA:				
CALICATA:				
C-02	0,02	0,39	0,42	6,20
M-1				
PROFUNDIDAD(m):				
1.0 -160				

Lima, 26 de Marzo del 2013


CARMEN M. REYES CUBAS
MSC ING. ANALISTA DEL LABORATORIO
Laboratorio de Química de la FIC-UNI


ROSA ALTAMIRANO MEDINA
MS ING. JEFA DEL LABORATORIO
Laboratorio de Química de la FIC-UNI

El Laboratorio no responsabiliza del muestreo ni de la procedencia de la muestra

Av. Tupac Amaru 210, Lima 25, Peru
Apartado Postal 1301 Lima 100 - Peru Telefax: (511) 481-9845
Central Telefonica: 481-1070 Anexo: 295



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA

Facultad de Ingeniería Civil

LABORATORIO QUÍMICO FIC

ANÁLISIS FÍSICO-QUÍMICO

SOLICITANTE: C I S M I D

REGISTRO: LQ13-087

**OBRA: "FORTALECIMIENTO DE TECNOLOGÍA PARA LA MITIGACIÓN DE DESASTRES
POR TERREMOTO Y TSUNAMI EN EL PERÚ"**

UBICACIÓN: INDEPENDENCIA—LIMA-LIMA

TIPO DE MUESTRA: CALICATA: C-03/M-1

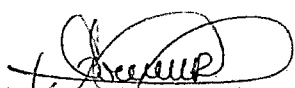
PROFUNDIDAD (m):0.60 - 1.90

UBICACIÓN DE LA MUESTRA: PARQUE-UBICADO EN CALLE LOS TULÍPANES

RECEPCIÓN DE MUESTRA: 25 -03-13

ANÁLISIS DE:	CLORUROS Cl ⁻	SULFATOS (SO ₄) ²⁻	SALES SOLUBLES TOTALES	pH
	ASTM D 3370:1999	ASTM E 275:2001	MTC E 219:2000	MTC E 119
	AASHTO T 291	AASHTO T 290	ASTMD 1888	ASTMD 4792
	%	%	%	
TIPO DE MUESTRA:				
CALICATA:				
C-03	0,02	0,13	0,16	6,47
M-1				
PROFUNDIDAD(m):				
0.60 - 1.90				

Lima, 26 de Marzo del 2013


CARMEN M. REYES CUBAS
MSC ING. ANALISTA DEL LABORATORIO
Laboratorio de. Química de la FIC-UNI


ROSA ALTAMIRANO MEDINA
MS ING. JEFA DEL LABORATORIO
Laboratorio de. Química de la FIC-UNI

El Laboratorio no responsabiliza del muestreo ni de la procedencia de la muestra

Av. Tupac Amaru 210, Lima 25, Peru
Apartado Postal 1301 Lima 100 - PeruTelefax: (511) 481-9845
Central Telefonica: 481-1070 Anexo: 295



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA

Facultad de Ingeniería Civil

LABORATORIO QUÍMICO FIC

ANÁLISIS FÍSICO-QUÍMICO

SOLICITANTE: C I S M I D

REGISTRO: LQ13-088

OBRA: "FORTALECIMIENTO DE TECNOLOGÍA PARA LA MITIGACIÓN DE DESASTRES
POR TERREMOTO Y TSUNAMI EN EL PERÚ"

UBICACIÓN: INDEPENDENCIA—LIMA-LIMA

TIPO DE MUESTRA: CALICATA: C-04/M-I

PROFUNDIDAD (m):1.00 - 1.80

UBICACIÓN DE LA MUESTRA: PARQUE-UBICADO EN AV.17 DE NOVIEMBRE CON 1° DE MAYO

RECEPCIÓN DE MUESTRA: 25 -03-13

ANÁLISIS DE:	CLORUROS Cl ⁻ ASTM D 3370:1999 AASHTO T 291 %	SULFATOS (SO ₄) ²⁻ ASTM E 275:2001 AASHTO T 290 %	SALES SOLUBLES TOTALES MTC E 219.2000 ASTMD 1888 %	pH MTC E 119 ASTMD 4792
TIPO DE MUESTRA: CALICATA: C-04 M-I PROFUNDIDAD(m): 1.00 -1.80	0,06	2,5	2,6	6,10

Lima, 26 de Marzo del 2013


CARMEN M. REYES CUBAS
MSC ING. ANALISTA DEL LABORATORIO
Laboratorio de. Química de la FIC-UNI


ROSA ALTAMIRANO MEDINA
MS ING. JEFA DEL LABORATORIO
Laboratorio de. Química de la FIC-UNI

El Laboratorio no responsabiliza del muestreo ni de la procedencia de la muestra

Av. Tupac Amaru 210, Lima 25, Peru
Apartado Postal 1301 Lima 100 - Peru Telefax: (511) 481-9845
Central Telefonica: 481-1070 Anexo: 295



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA

Facultad de Ingeniería Civil

LABORATORIO QUÍMICO FIC

ANÁLISIS FÍSICO-QUÍMICO

SOLICITANTE: C I S M I D

REGISTRO: LQ13-089

**OBRA: "FORTALECIMIENTO DE TECNOLOGÍA PARA LA MITIGACIÓN DE DESASTRES
POR TERREMOTO Y TSUNAMI EN EL PERÚ"**

UBICACIÓN: INDEPENDENCIA—LIMA-LIMA

TIPO DE MUESTRA: CALICATA: C-07/M-2

PROFUNDIDAD (m):1.20 - 3.00

**UBICACIÓN DE LA MUESTRA: PARQUE-UBICADO EN LA INTERSECCION DE
INCA YUPANQUI CON QUIPAYPAMPA**

RECEPCIÓN DE MUESTRA: 25 -03-13

ANÁLISIS DE:	CLORUROS Cl ⁻	SULFATOS (SO ₄) ²⁻	SALES SOLUBLES TOTALES	pH
	ASTM D 3370:1999	ASTM E 275:2001	MTC E 219.2000	MTC E 119
	AASHTO T 291	AASHTO T 290	ASTMD 1888	ASTMD 4792
	%	%	%	
TIPO DE MUESTRA:				
CALICATA:				
C-07	0,01	0,16	0,18	7,31
M-2				
PROFUNDIDAD(m):				
1.20 – 3.00				

Lima, 26 de Marzo del 2013

CARMEN MIREYES CUBAS
MSC ING. ANALISTA DEL LABORATORIO
Laboratorio de. Química de la FIC-UNI



ROSA ALTAMIRANO MEDINA
MS ING. JEFA DEL LABORATORIO
Laboratorio de. Química de la FIC-UNI

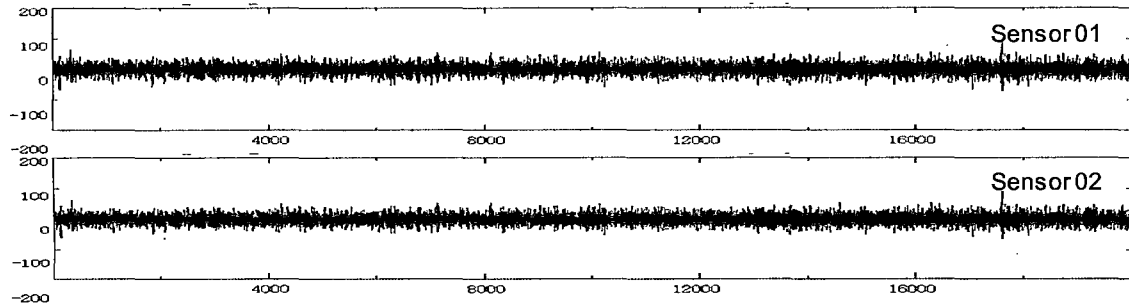
El Laboratorio no responsabiliza del muestreo ni de la procedencia de la muestra

Av. Tupac Amaru 210, Lima 25, Peru
Apartado Postal 1301 Lima 100 - PeruTelefax: (511) 481-9845
Central Telefonica: 481-1070 Anexo: 295

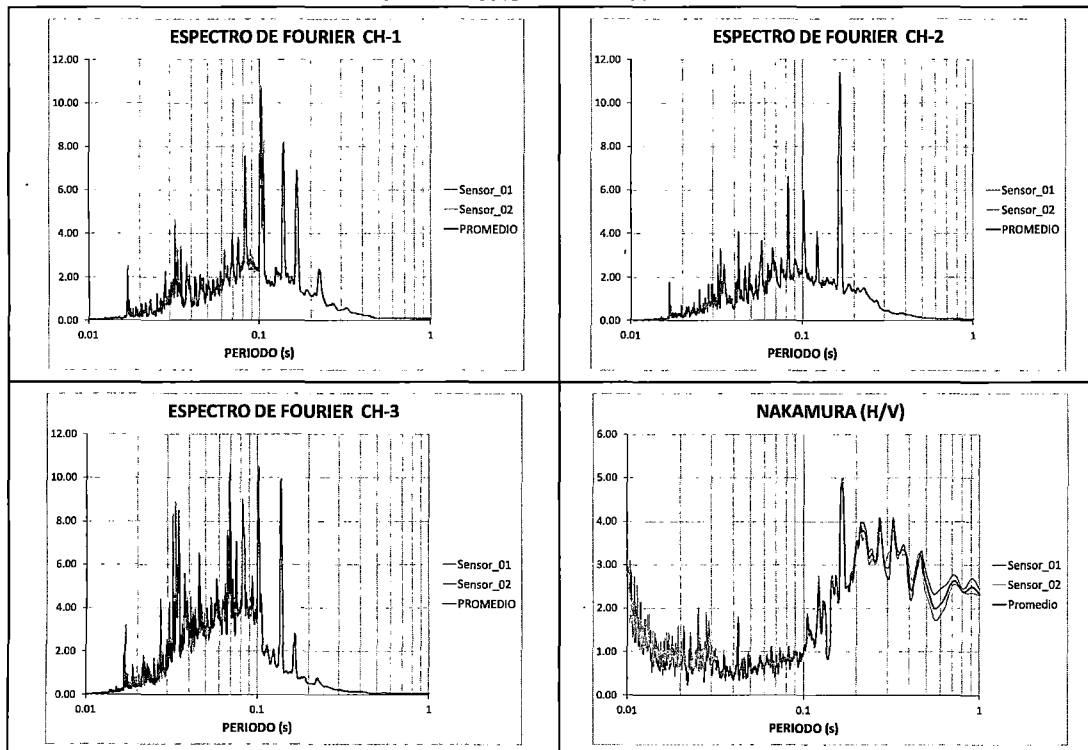
Anexo III: Registro de Microtrepidaciones

MEDICIÓN DE MICROTREMORES

SEGMENTO DE ONDA



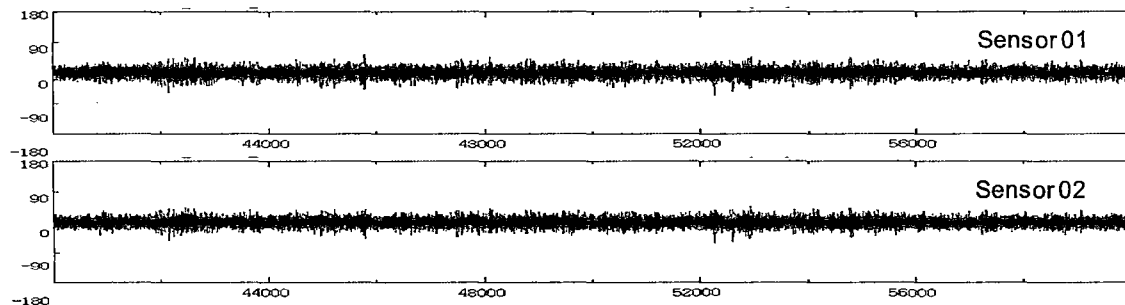
COCIENTES ESPECTRALES



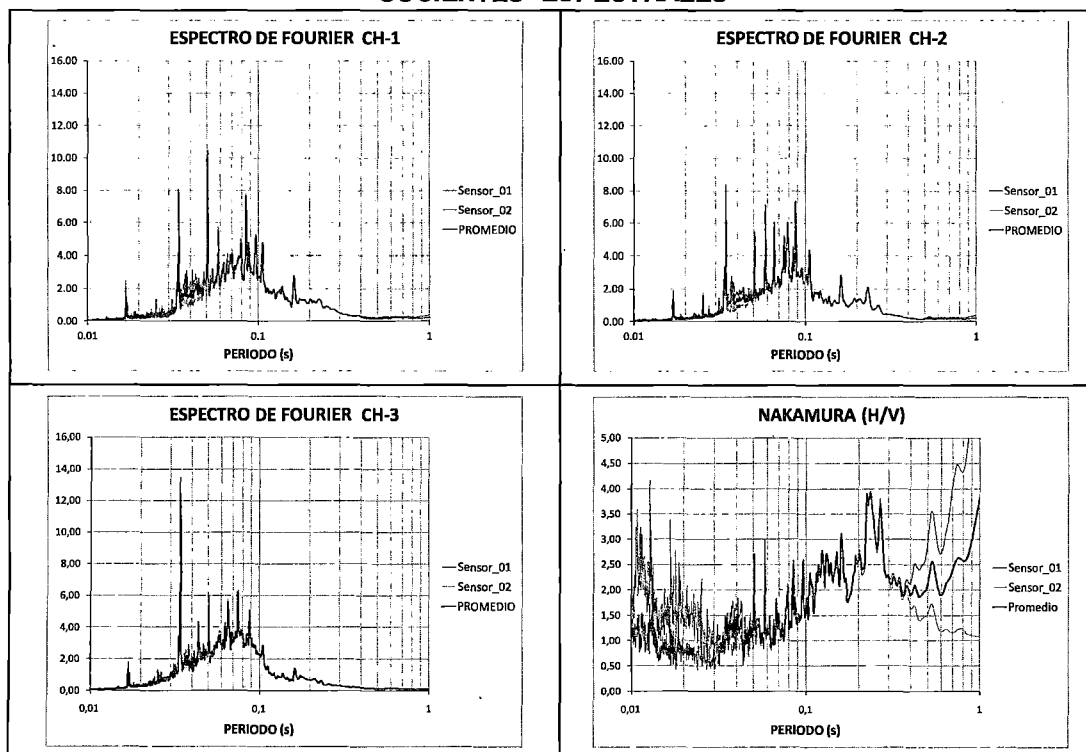
TESIS : Microzonificación Geotécnica Sísmica del distrito de Independencia – Lima.
FUENTE : Desarrollo de Microzonificación ante Sismo y Tsunami – 2013 (CISMD).
PUNTO : M01.
FECHA : Octubre, 2014.
ESTE : 275170.85
NORTE : 8674966.59
PERIODO : 0.20s.

MEDICIÓN DE MICROTREMORES

SEGMENTO DE ONDA



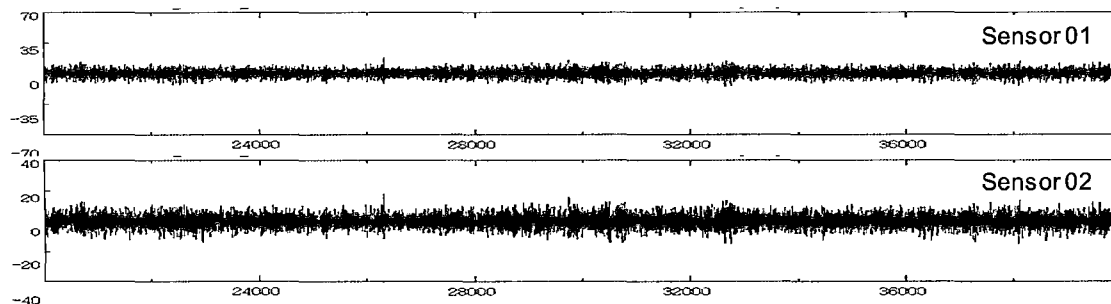
COCIENTES ESPECTRALES



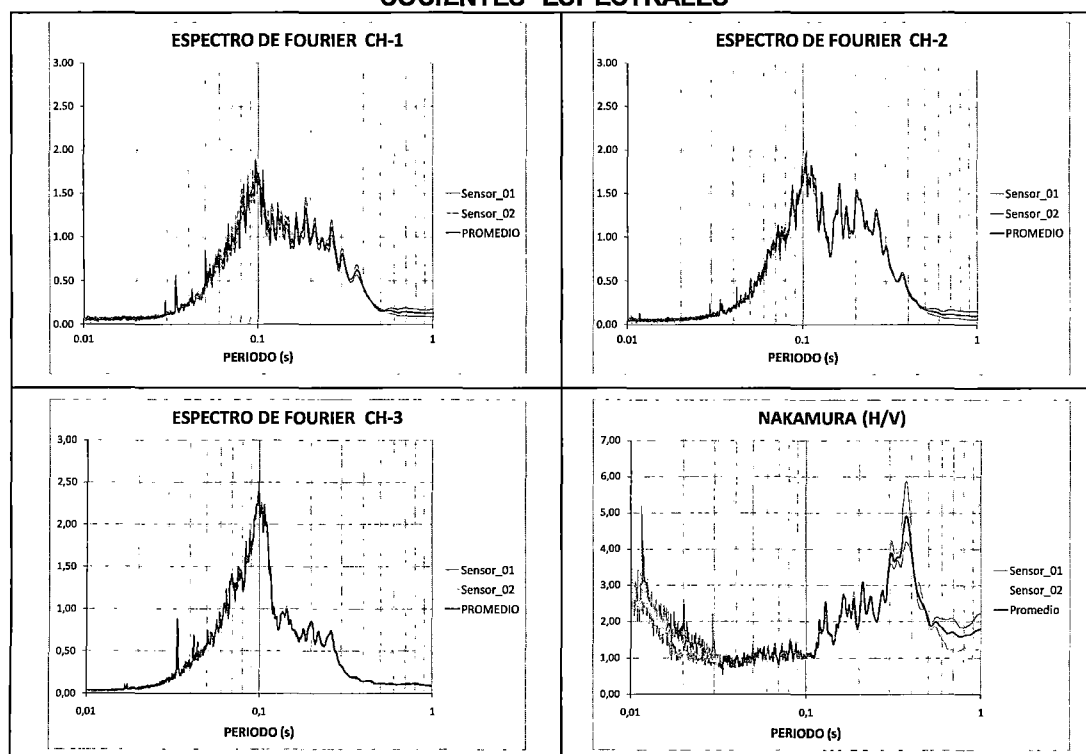
TESIS : Microzonificación Geotécnica Sísmica del distrito de Independencia – Lima.
FUENTE : Desarrollo de Microzonificación ante Sismo y Tsunami – 2013 (CISMID).
PUNTO : M02.
FECHA : Octubre, 2014.
ESTE : 275506.34
NORTE : 8674579.17
PERIODO : 0.23s.

MEDICIÓN DE MICROTREMORES

SEGMENTO DE ONDA



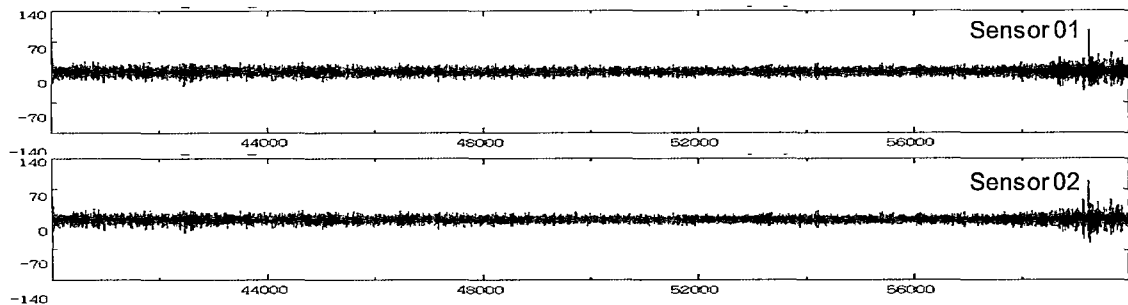
COCIENTES ESPECTRALES



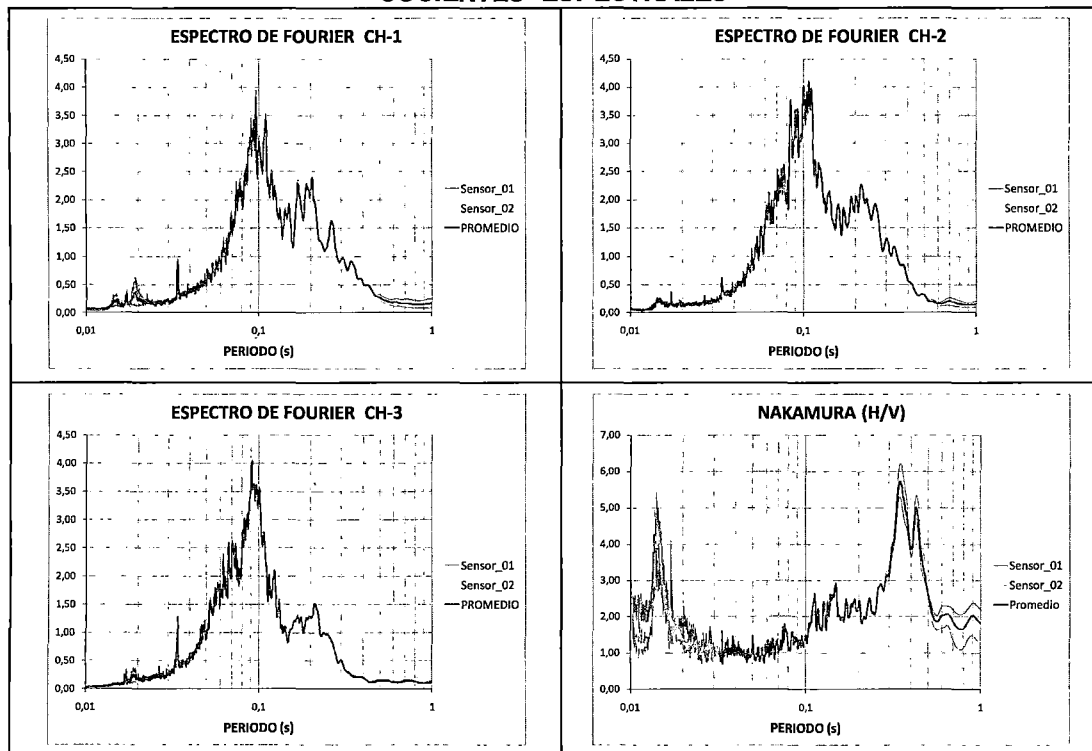
TESIS : Microzonificación Geotécnica Sísmica del distrito de Independencia – Lima.
FUENTE : Desarrollo de Microzonificación ante Sismo y Tsunami – 2013 (CISMID).
PUNTO : M03.
FECHA : Octubre, 2014.
ESTE : 275717.71
NORTE : 8674079.29
PERIODO : 0.38s.

MEDICIÓN DE MICROTREMORES

SEGMENTO DE ONDA



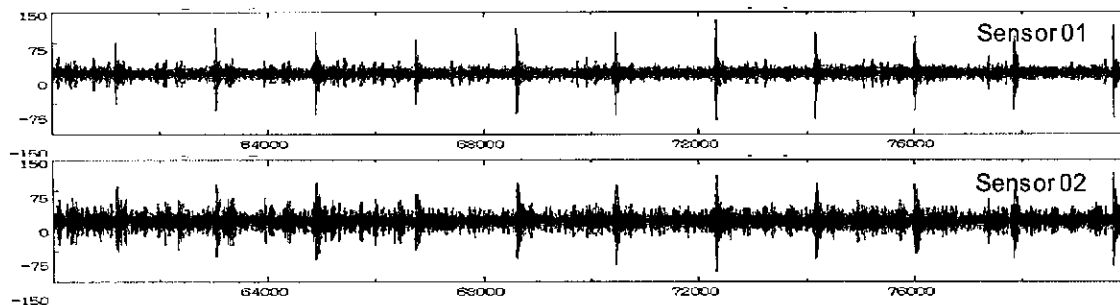
COCIENTES ESPECTRALES



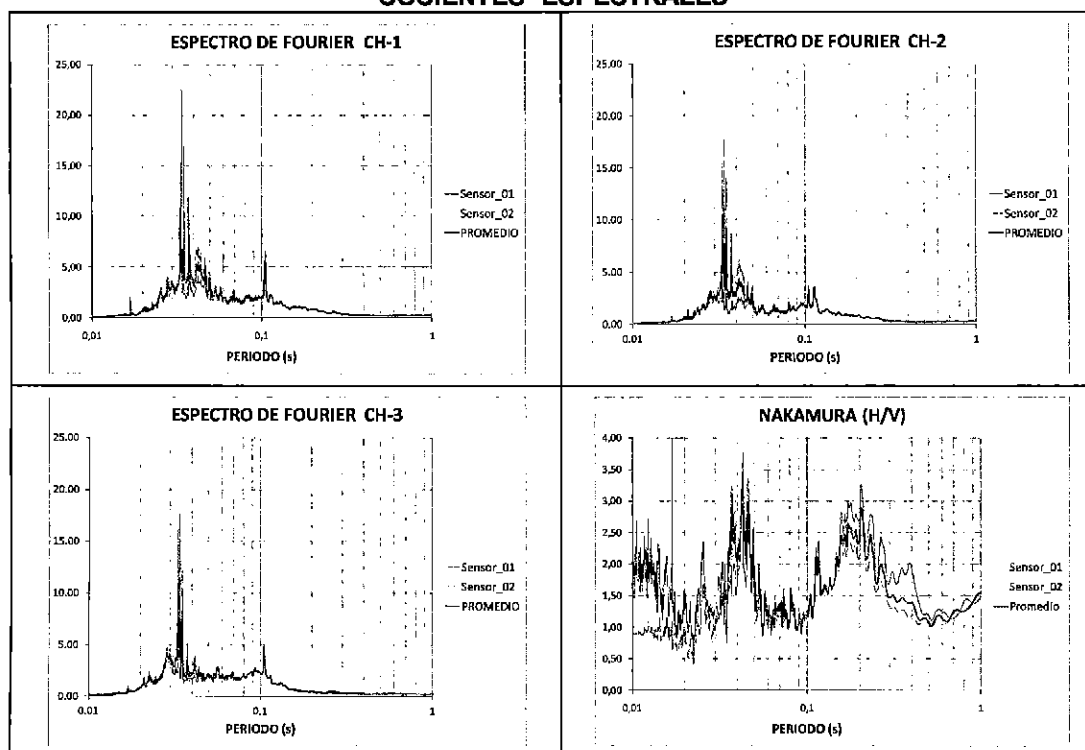
TESIS : Microzonificación Geotécnica Sísmica del distrito de Independencia – Lima.
FUENTE : Desarrollo de Microzonificación ante Sismo y Tsunami – 2013 (CISMID).
PUNTO : M04.
FECHA : Octubre, 2014.
ESTE : 275414.56
NORTE : 8674061.20
PERIODO : 0.35s.

MEDICIÓN DE MICROTREMORES

SEGMENTO DE ONDA



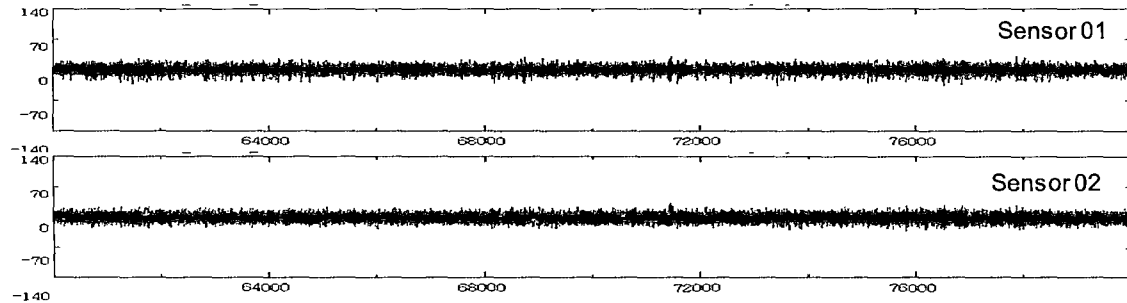
COCIENTES ESPECTRALES



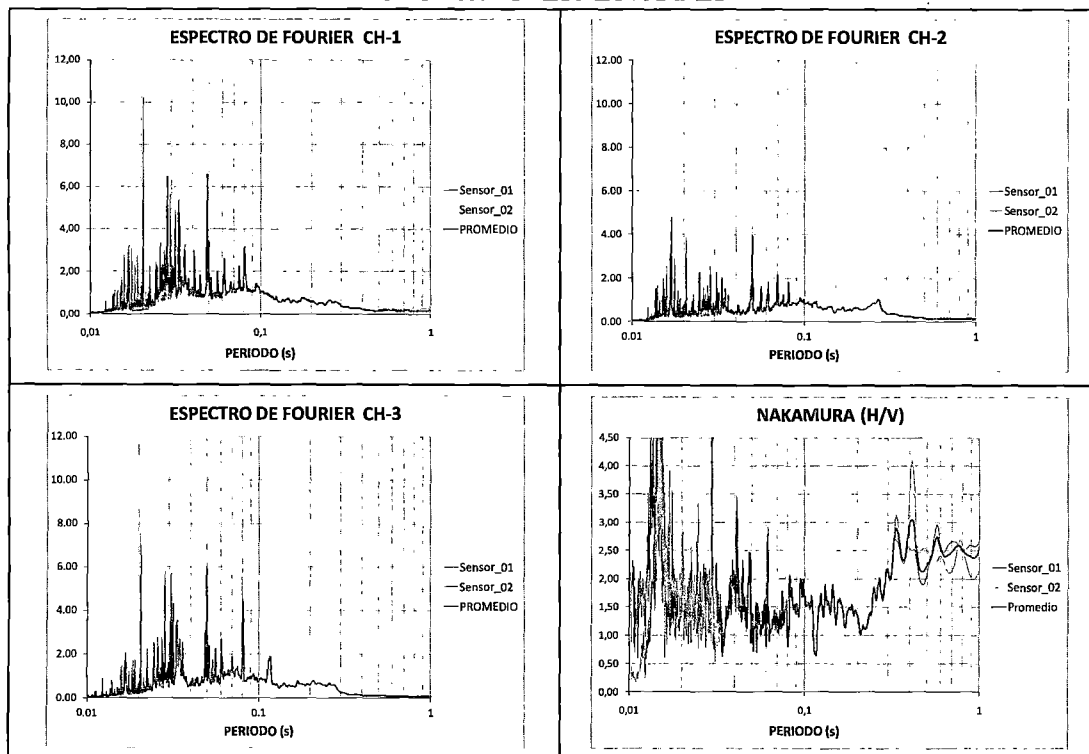
TESIS : Microzonificación Geotécnica Sísmica del distrito de Independencia – Lima.
FUENTE : Desarrollo de Microzonificación ante Sismo y Tsunami – 2013 (CISMID).
PUNTO : M05.
FECHA : Octubre, 2014.
ESTE : 275974.32
NORTE : 8673048.40
PERIODO : 0.18s.

MEDICION DE MICROTREMORES

SEGMENTO DE ONDA



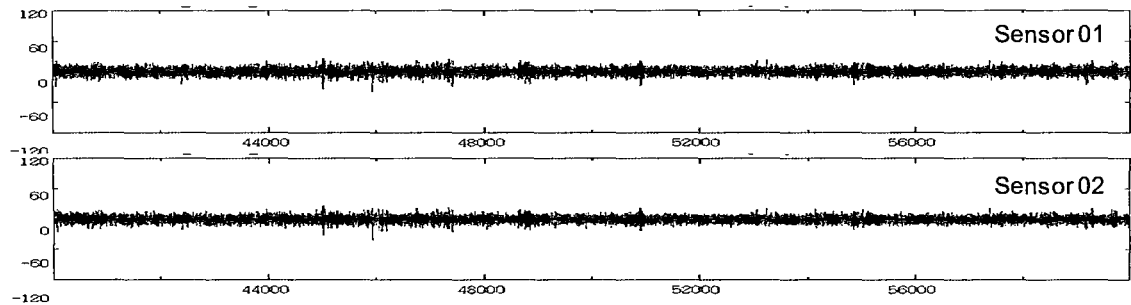
COCIENTES ESPECTRALES



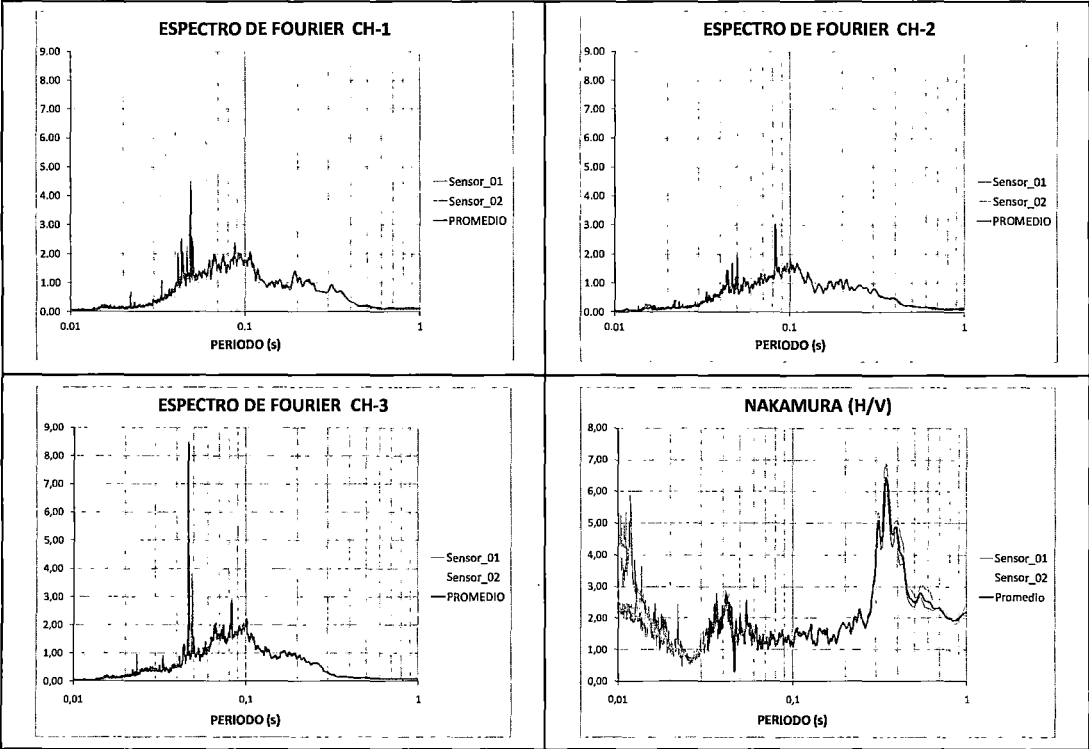
TESIS	:	Microzonificación Geotécnica Sísmica del distrito de Independencia – Lima.
FUENTE	:	Desarrollo de Microzonificación ante Sismo y Tsunami – 2013 (CISMID).
PUNTO	:	M06.
FECHA	:	Octubre, 2014.
ESTE	:	275742.10
NORTE	:	8672550.18
PERIODO	:	0.33s.

MEDICIÓN DE MICROTREMORES

SEGMENTO DE ONDA



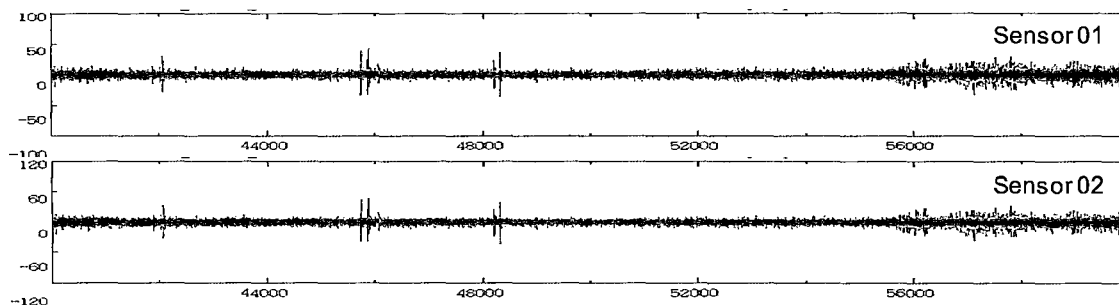
COCIENTES ESPECTRALES



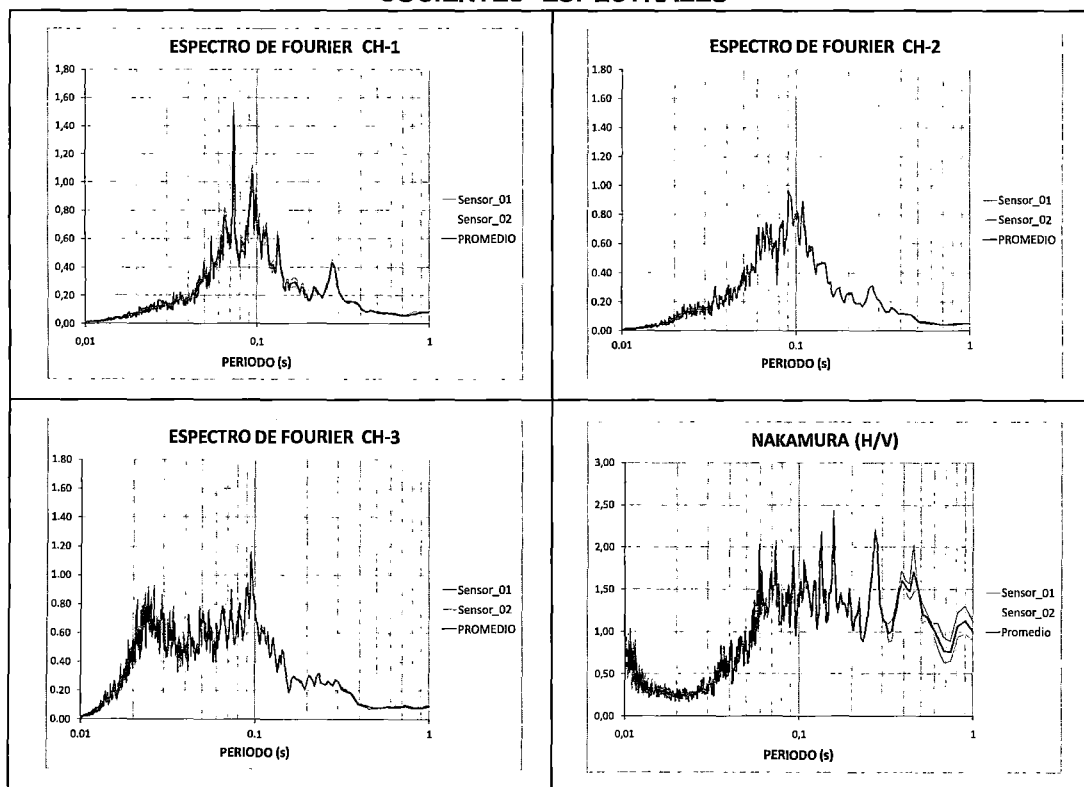
TESIS : Microzonificación Geotécnica Sísmica del distrito de Independencia – Lima.
FUENTE : Desarrollo de Microzonificación ante Sismo y Tsunami – 2013 (CISMID).
PUNTO : M07.
FECHA : Octubre, 2014.
ESTE : 275638.10
NORTE : 8673550.45
PERIODO : 0.35s.

MEDICIÓN DE MICROTREMORES

SEGMENTO DE ONDA



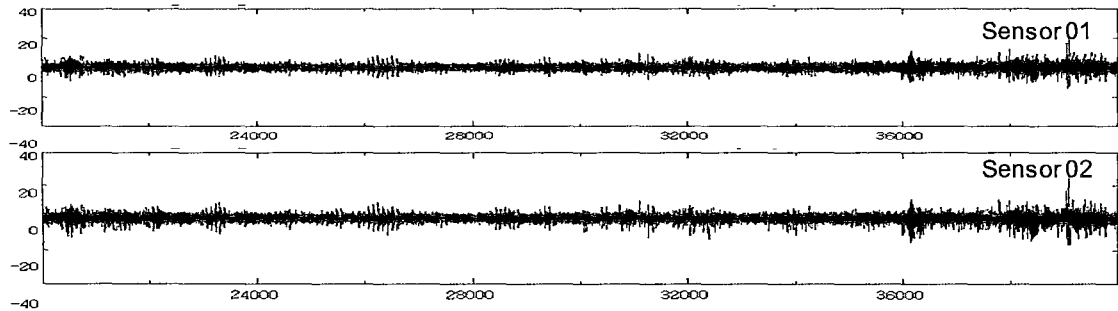
COCIENTES ESPECTRALES



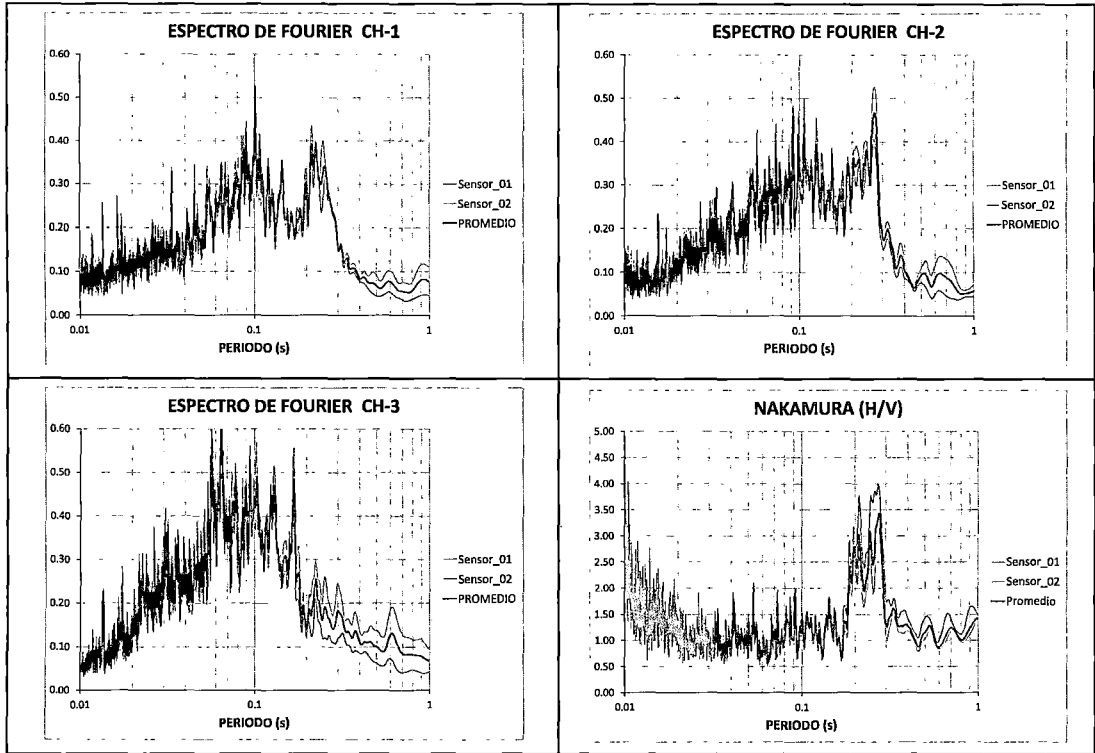
TESIS	:	Microzonificación Geotécnica Sísmica del distrito de Independencia – Lima.
FUENTE	:	Desarrollo de Microzonificación ante Sismo y Tsunami – 2013 (CISMID).
PUNTO	:	M08.
FECHA	:	Octubre, 2014.
ESTE	:	276110.58
NORTE	:	8671954.76
PERIODO	:	0.11s.

MEDICIÓN DE MICROTREMORES

SEGMENTO DE ONDA



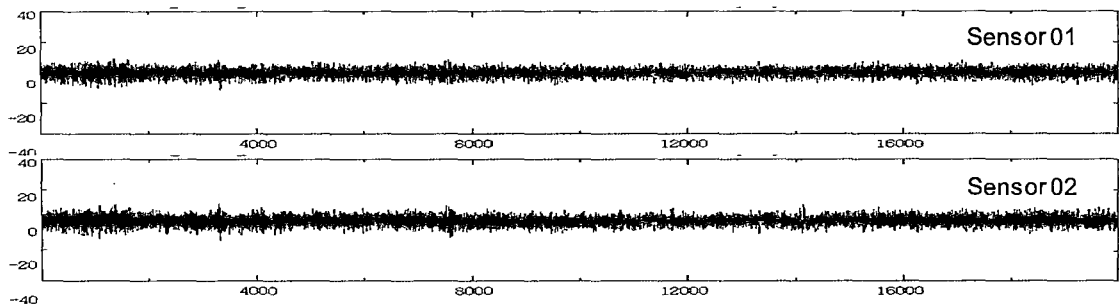
COCIENTES ESPECTRALES



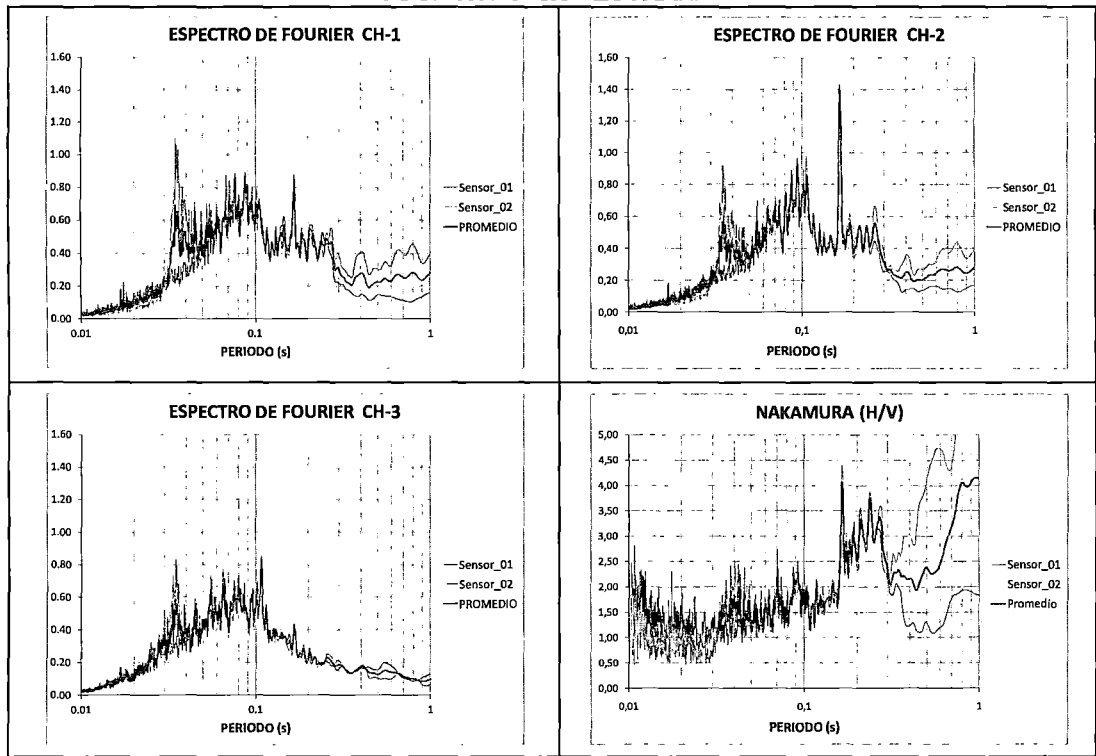
TESIS	:	Microzonificación Geotécnica Sísmica del distrito de Independencia – Lima.
FUENTE	:	Desarrollo de Microzonificación ante Sismo y Tsunami – 2013 (CISMID).
PUNTO	:	M09.
FECHA	:	Octubre, 2014.
ESTE	:	277041.47
NORTE	:	8675710.59
PERIODO	:	0.26s.

MEDICIÓN DE MICROTREMORES

SEGMENTO DE ONDA



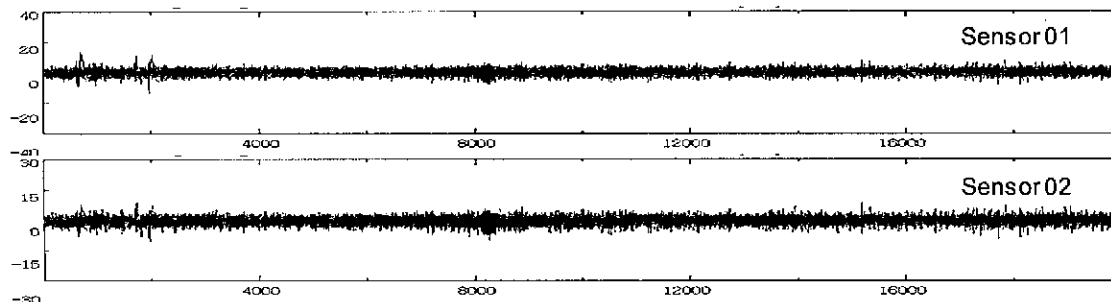
COCIENTES ESPECTRALES



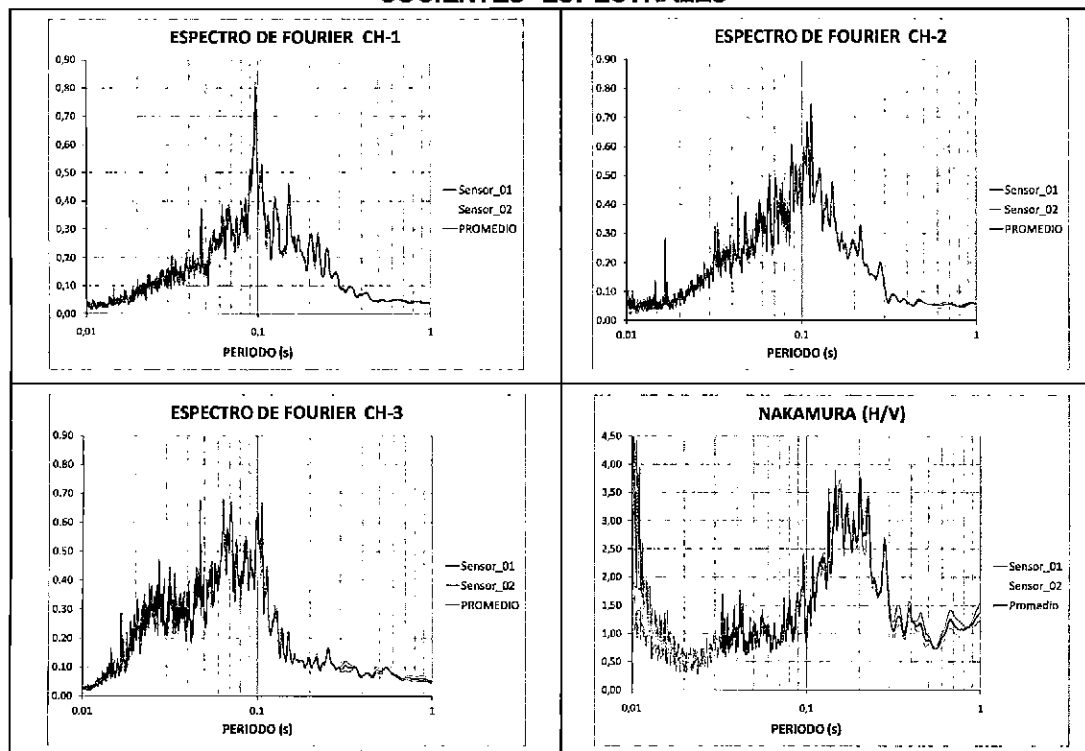
TESIS : Microzonificación Geotécnica Sísmica del distrito de Independencia – Lima.
FUENTE : Desarrollo de Microzonificación ante Sismo y Tsunami – 2013 (CISMID).
PUNTO : M10.
FECHA : Octubre, 2014.
ESTE : 276542.26
NORTE : 8674676.52
PERIODO : 0.17s.

MEDICIÓN DE MICROTREMORES

SEGMENTO DE ONDA



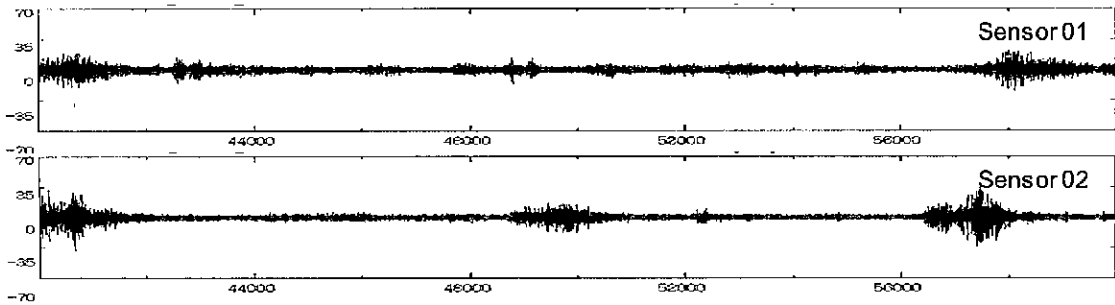
COCIENTES ESPECTRALES



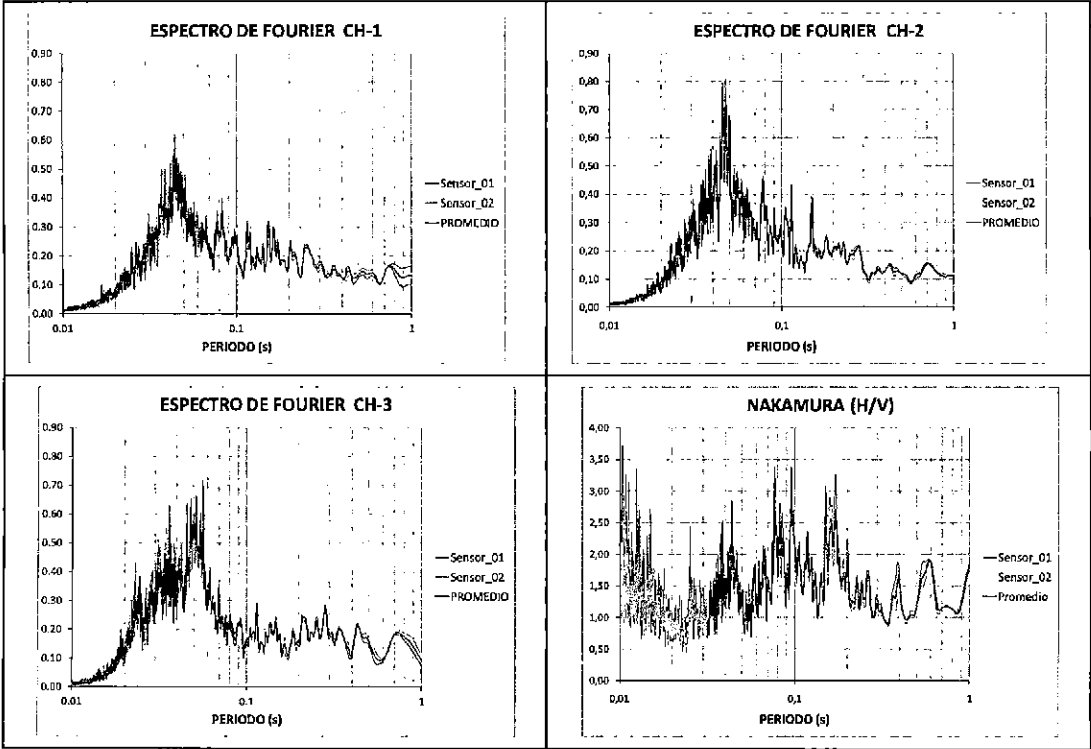
TESIS	:	Microzonificación Geotécnica Sísmica del distrito de Independencia – Lima.
FUENTE	:	Desarrollo de Microzonificación ante Sismo y Tsunami – 2013 (CISMID).
PUNTO	:	M11.
FECHA	:	Octubre, 2014.
ESTE	:	276539.81
NORTE	:	8673278.01
PERIODO	:	0.16s.

MEDICIÓN DE MICROTREMORES

SEGMENTO DE ONDA



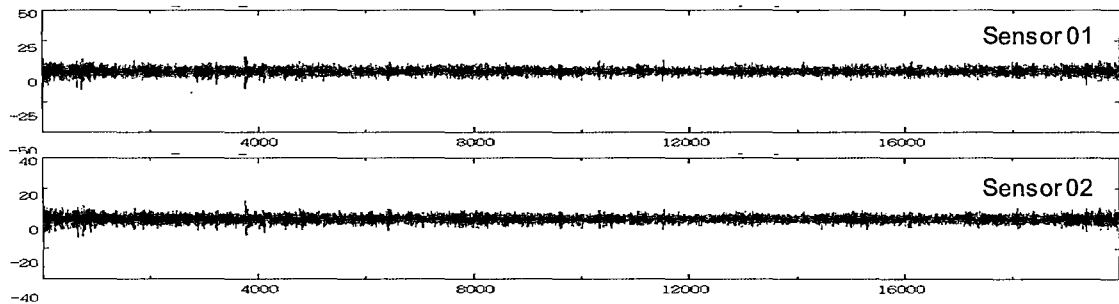
COCIENTES ESPECTRALES



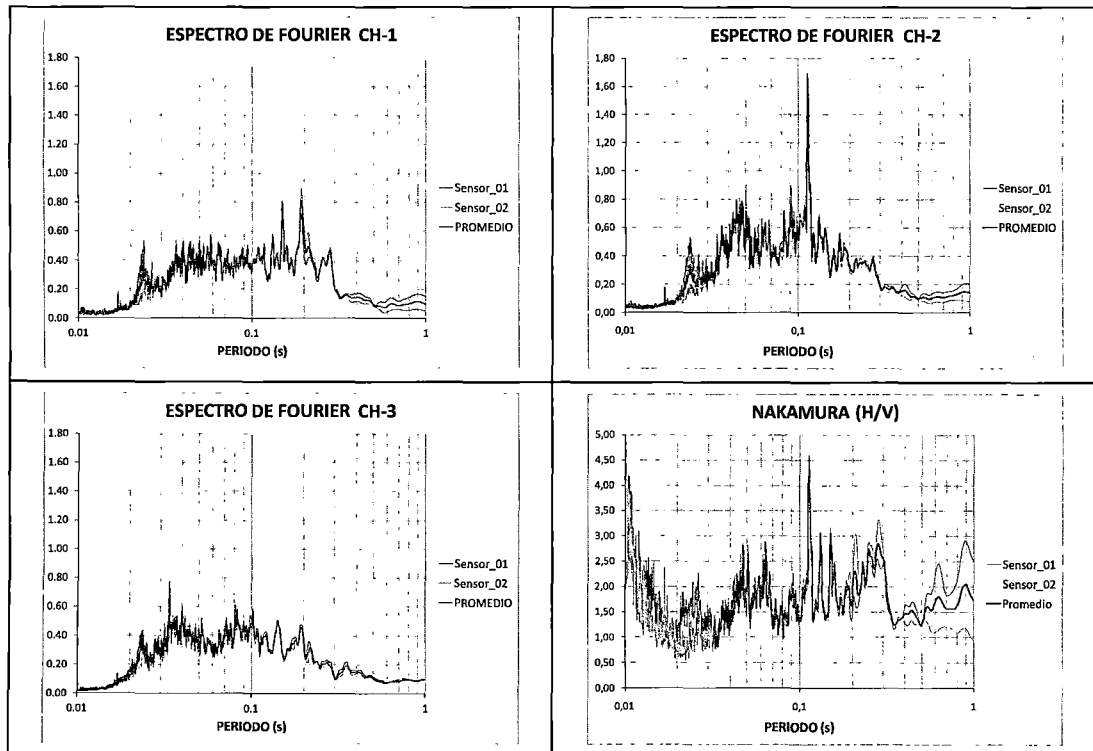
TESIS	:	Microzonificación Geotécnica Sísmica del distrito de Independencia – Lima.
FUENTE	:	Desarrollo de Microzonificación ante Sismo y Tsunami – 2013 (CISMID).
PUNTO	:	M12.
FECHA	:	Octubre, 2014.
ESTE	:	276825.76
NORTE	:	8672471.84
PERIODO	:	0.16s.

MEDICIÓN DE MICROTREMORES

SEGMENTO DE ONDA



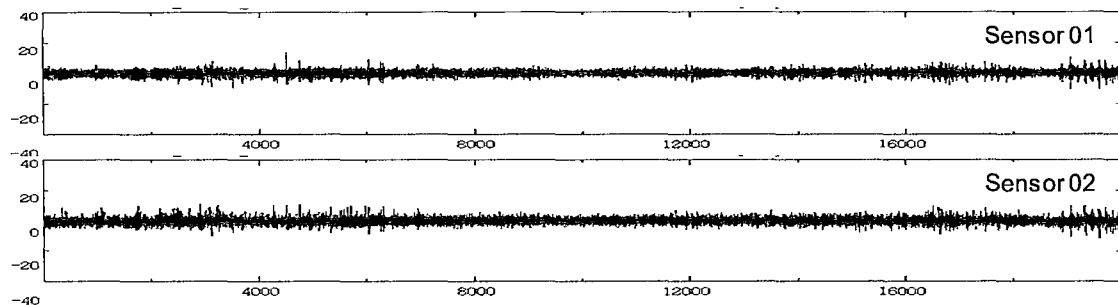
COCIENTES ESPECTRALES



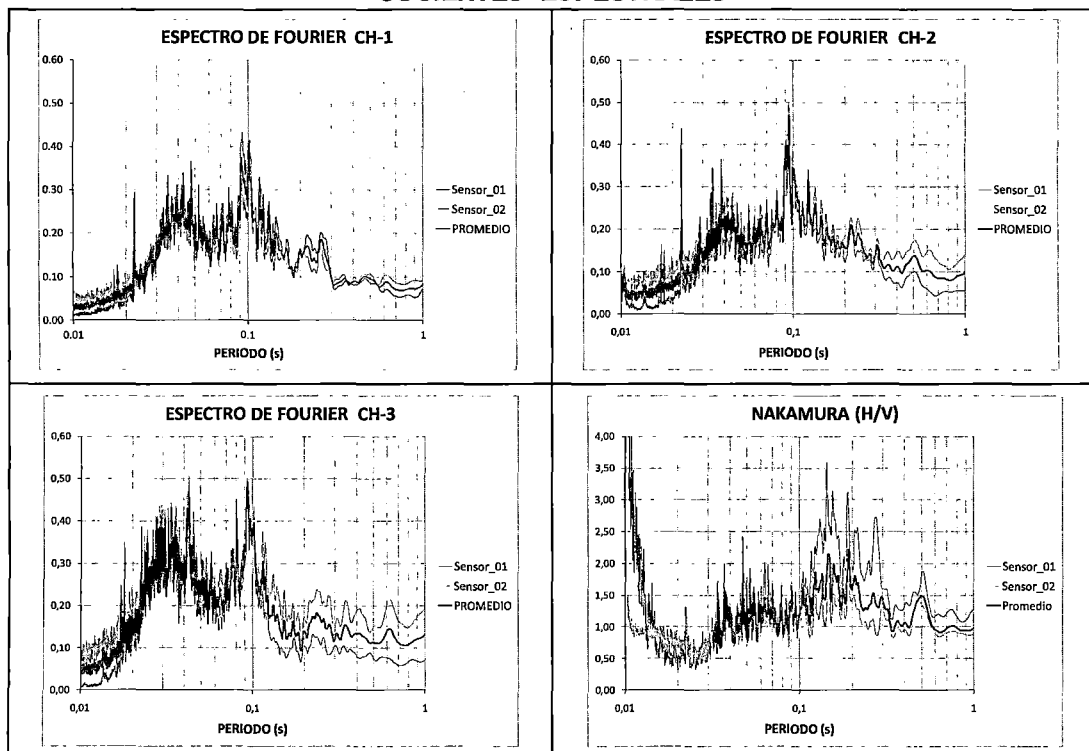
TESIS	:	Microzonificación Geotécnica Sísmica del distrito de Independencia – Lima.
FUENTE	:	Desarrollo de Microzonificación ante Sismo y Tsunami – 2013 (CISMID).
PUNTO	:	M13.
FECHA	:	Octubre, 2014.
ESTE	:	276496.56
NORTE	:	8672168.09
PERIODO	:	0.11s.

MEDICIÓN DE MICROTREMORES

SEGMENTO DE ONDA



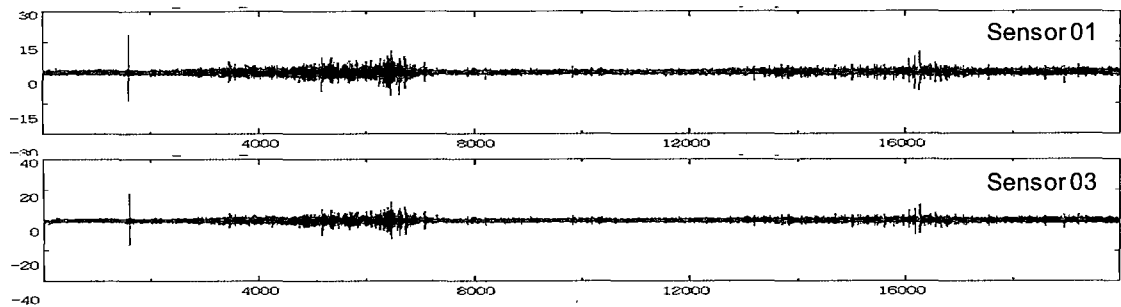
COCIENTES ESPECTRALES



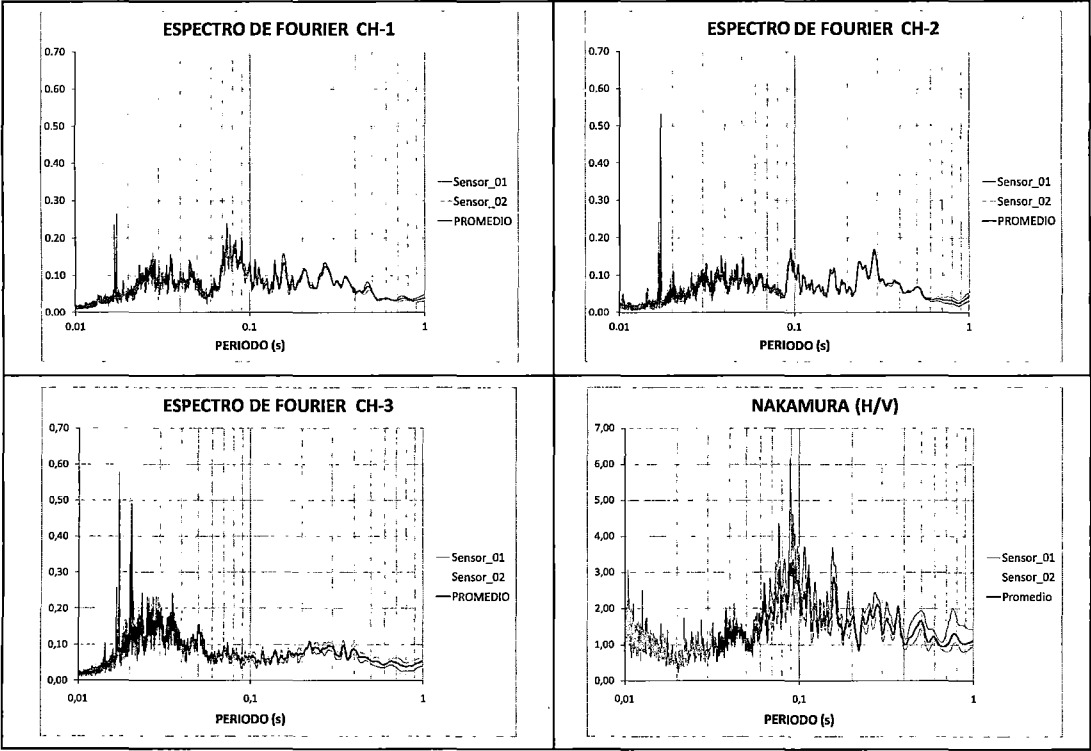
TESIS	:	Microzonificación Geotécnica Sísmica del distrito de Independencia – Lima.
FUENTE	:	Desarrollo de Microzonificación ante Sismo y Tsunami – 2013 (CISMID).
PUNTO	:	M14.
FECHA	:	Octubre, 2014.
ESTE	:	276656.68
NORTE	:	8671539.25
PERIODO	:	0.14s.

MEDICIÓN DE MICROTREMORES

SEGMENTO DE ONDA



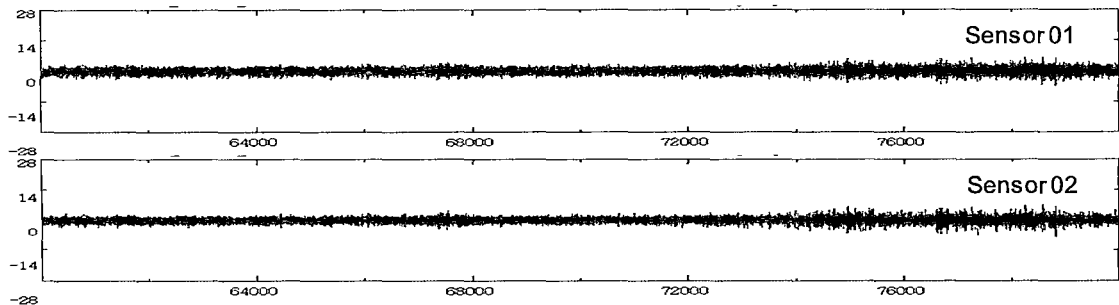
COCIENTES ESPECTRALES



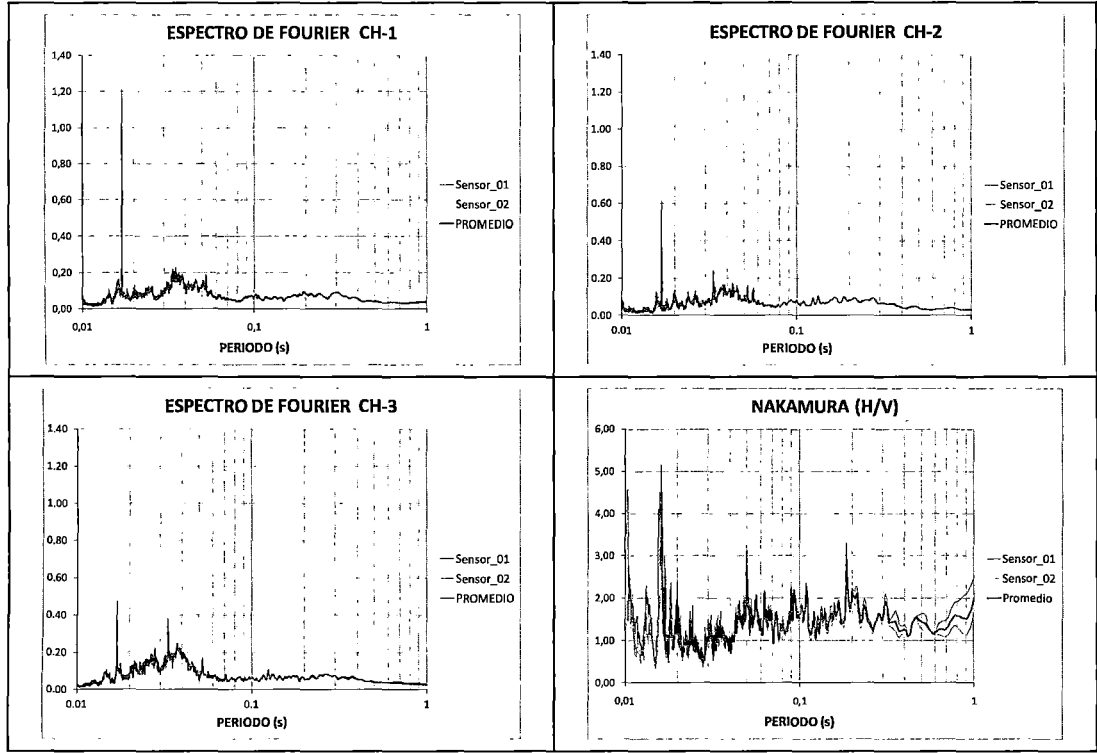
TESIS	:	Microzonificación Geotécnica Sísmica del distrito de Independencia – Lima.
FUENTE	:	Desarrollo de Microzonificación ante Sismo y Tsunami – 2013 (CISMID).
PUNTO	:	M15.
FECHA	:	Octubre, 2014.
ESTE	:	277103.42
NORTE	:	8671432.70
PERIODO	:	0.09s.

MEDICIÓN DE MICROTREMORES

SEGMENTO DE ONDA



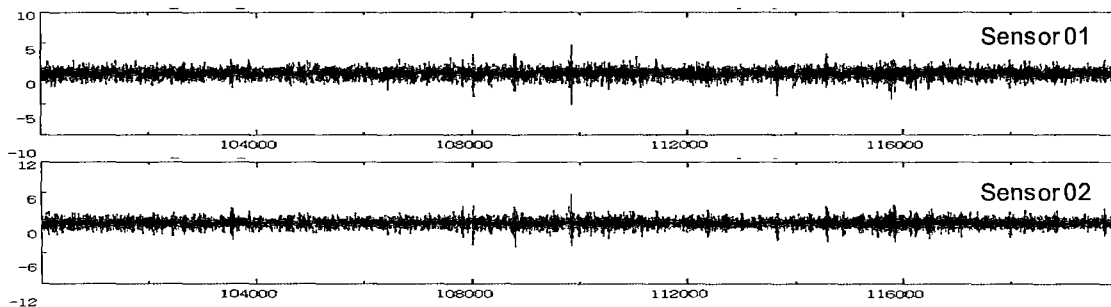
COCIENTES ESPECTRALES



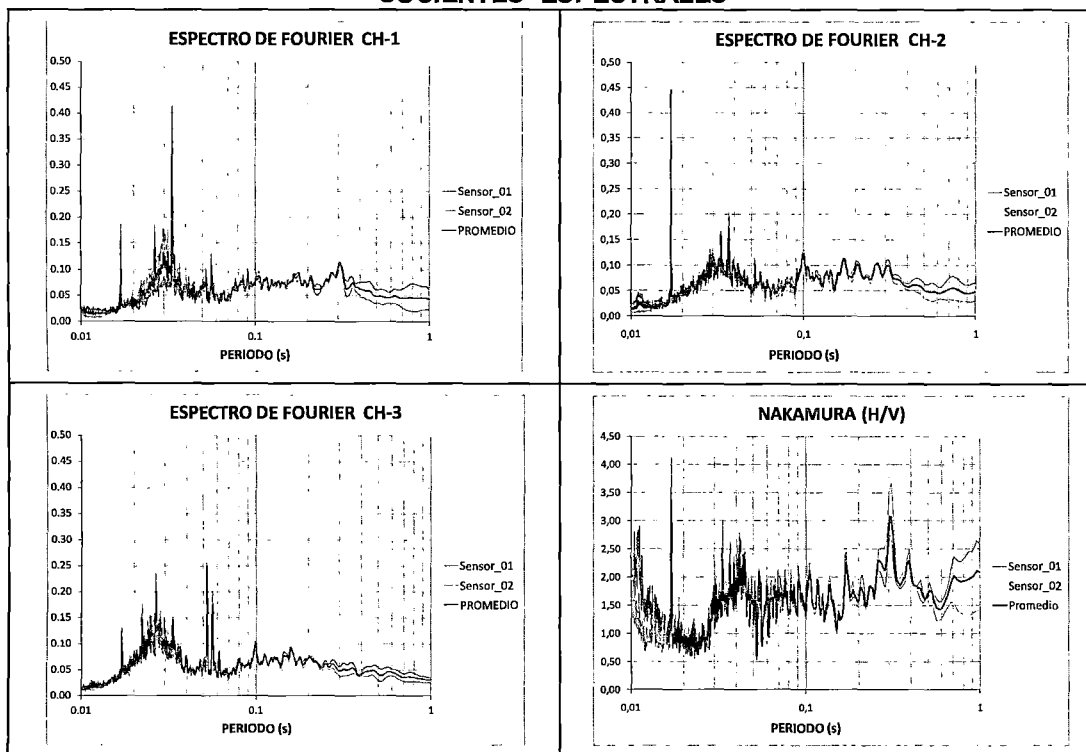
TESIS : Microzonificación Geotécnica Sísmica del distrito de Independencia – Lima.
FUENTE : Desarrollo de Microzonificación ante Sismo y Tsunami – 2013 (CISMID).
PUNTO : M16.
FECHA : Octubre, 2014.
ESTE : 276987.24
NORTE : 8671323.84
PERIODO : 0.18.

MEDICIÓN DE MICROTREMORES

SEGMENTO DE ONDA



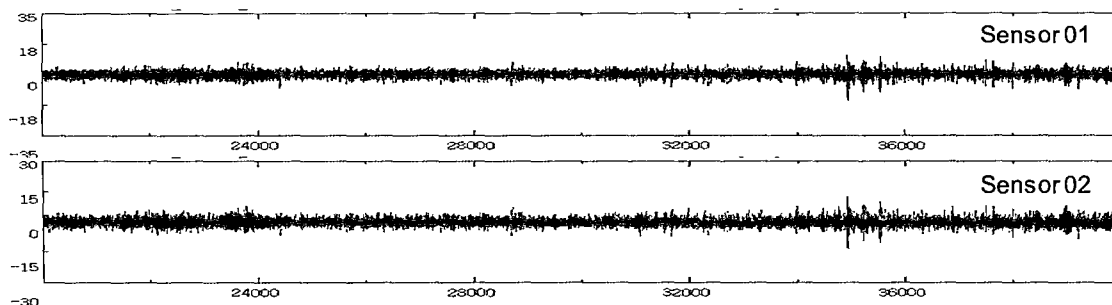
COCIENTES ESPECTRALES



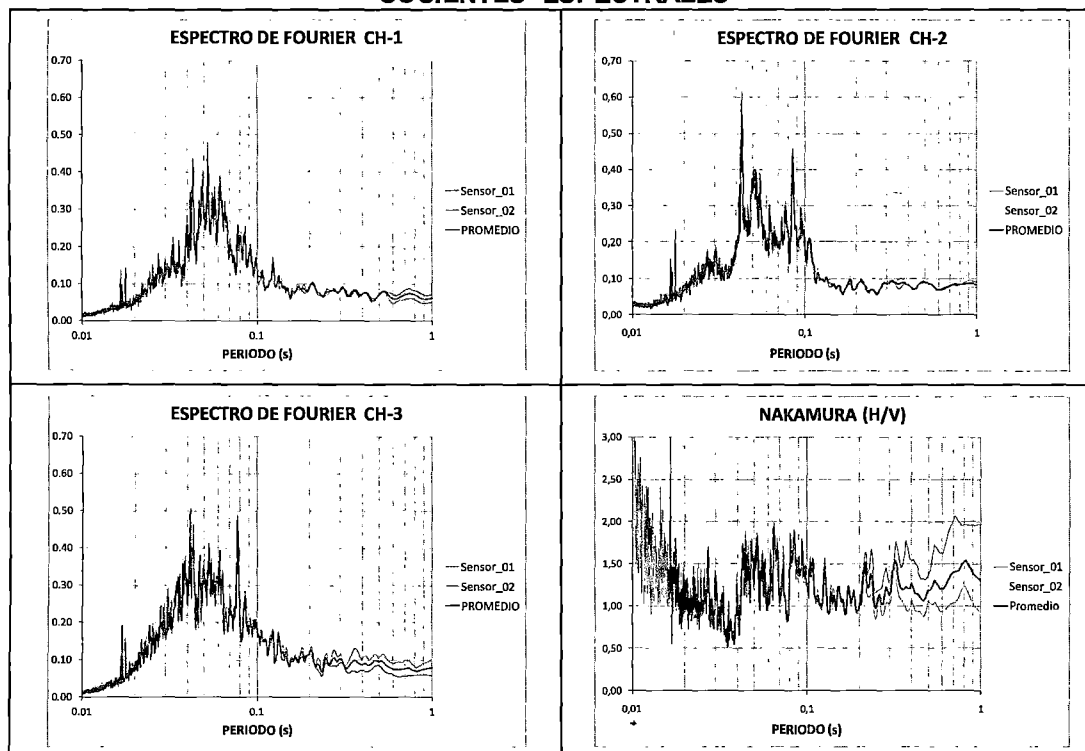
TESIS : Microzonificación Geotécnica Sísmica del distrito de Independencia – Lima.
FUENTE : Desarrollo de Microzonificación ante Sismo y Tsunami – 2013 (CISMID).
PUNTO : M17.
FECHA : Octubre, 2014.
ESTE : 276989.00
NORTE : 8671086.84
PERIODO : 0.17s.

MEDICIÓN DE MICROTREMORES

SEGMENTO DE ONDA



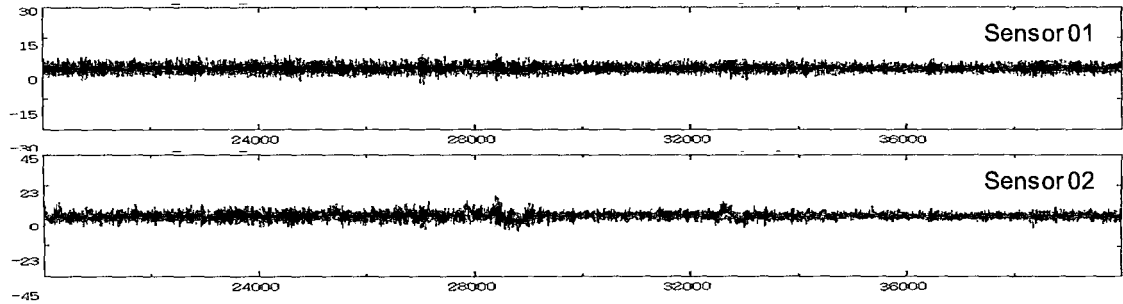
COCIENTES ESPECTRALES



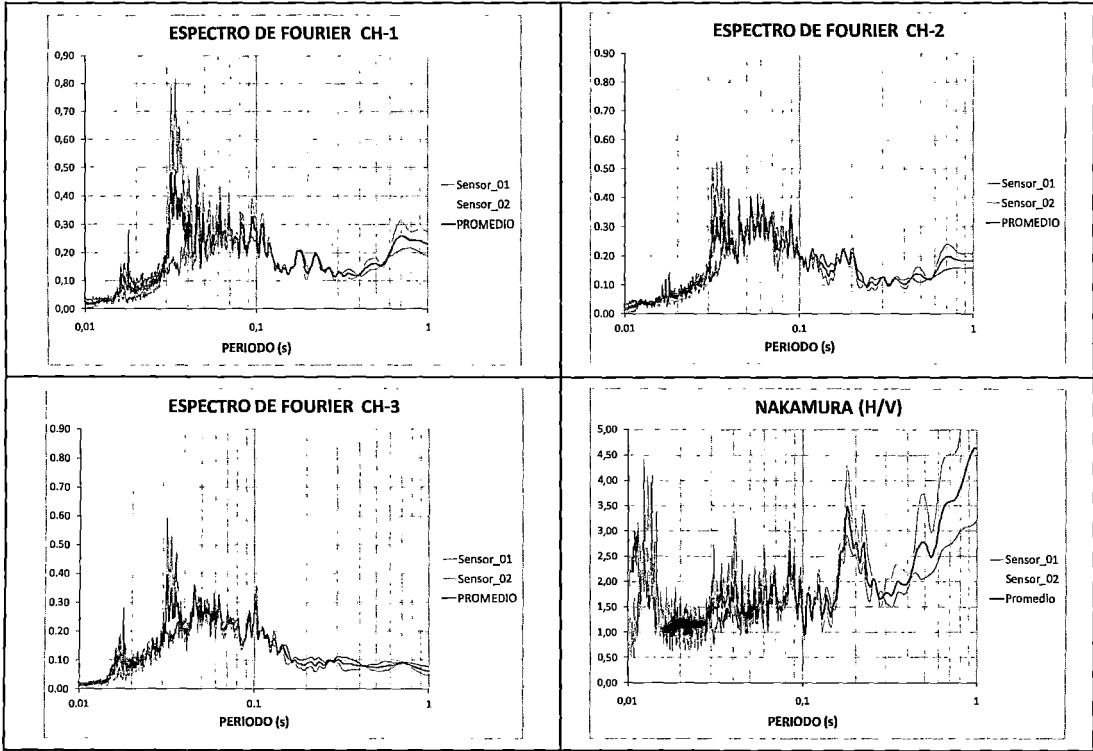
TESIS	:	Microzonificación Geotécnica Sísmica del distrito de Independencia – Lima.
FUENTE	:	Desarrollo de Microzonificación ante Sismo y Tsunami – 2013 (CISMID).
PUNTO	:	M18.
FECHA	:	Octubre, 2014.
ESTE	:	277097.56
NORTE	:	8670756.26
PERIODO	:	0.08s.

MEDICIÓN DE MICROTREMORES

SEGMENTO DE ONDA



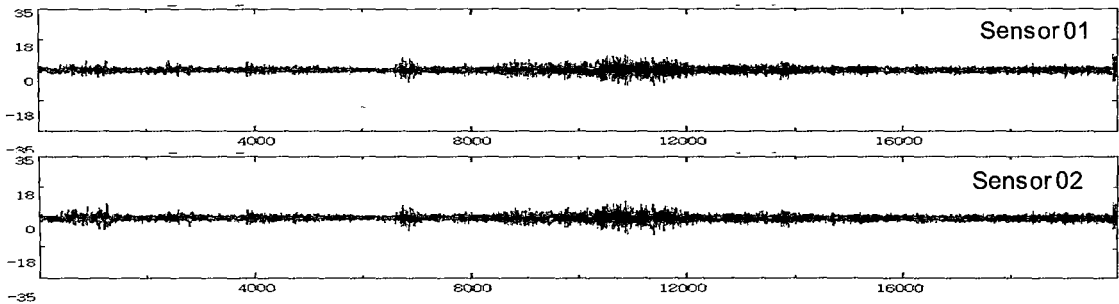
COCIENTES ESPECTRALES



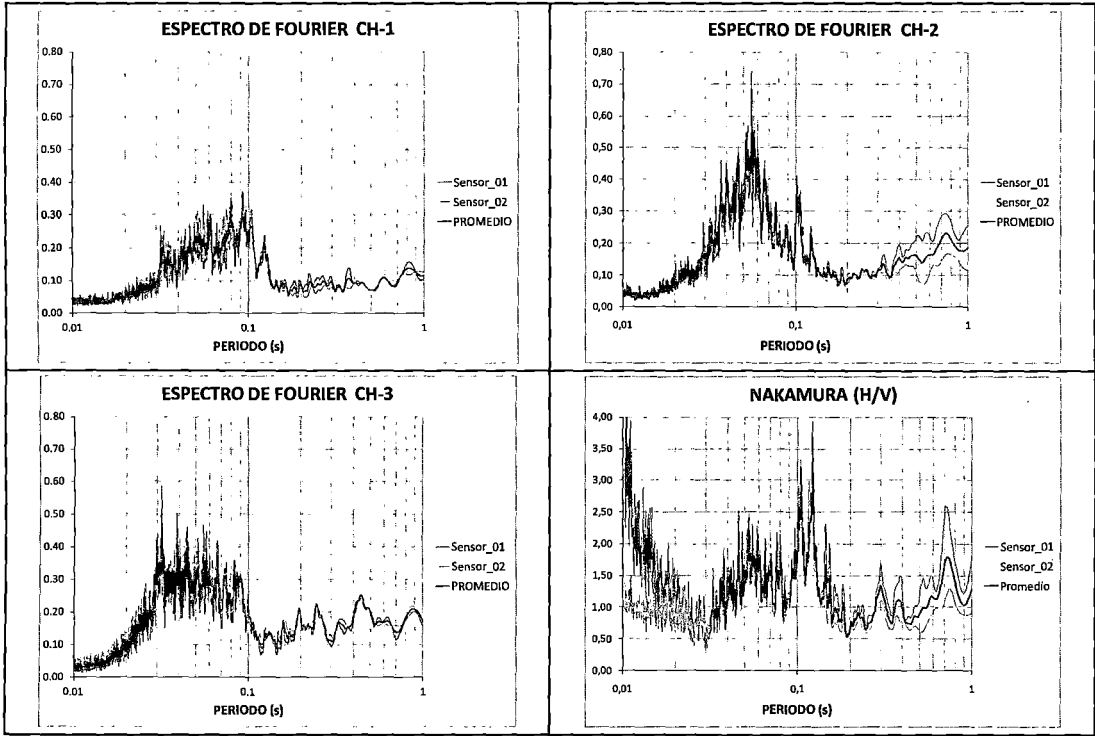
TESIS	:	Microzonificación Geotécnica Sísmica del distrito de Independencia – Lima.
FUENTE	:	Desarrollo de Microzonificación ante Sismo y Tsunami – 2013 (CISMID).
PUNTO	:	M19.
FECHA	:	Octubre, 2014.
ESTE	:	278047.19
NORTE	:	8675048.61
PERIODO	:	0.18s.

MEDICIÓN DE MICROTREMORES

SEGMENTO DE ONDA



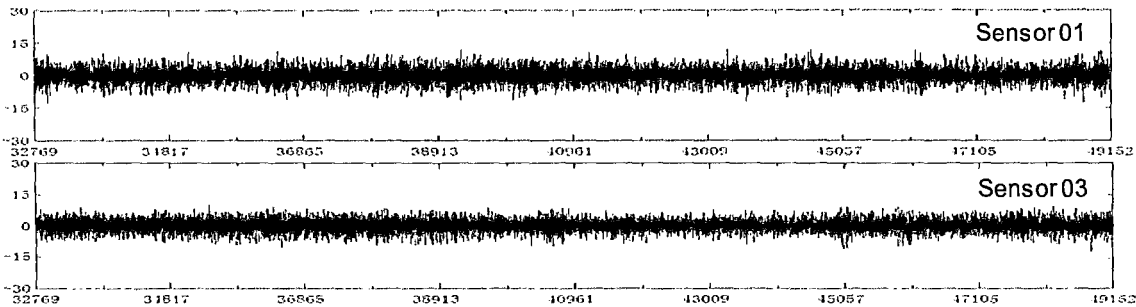
COCIENTES ESPECTRALES



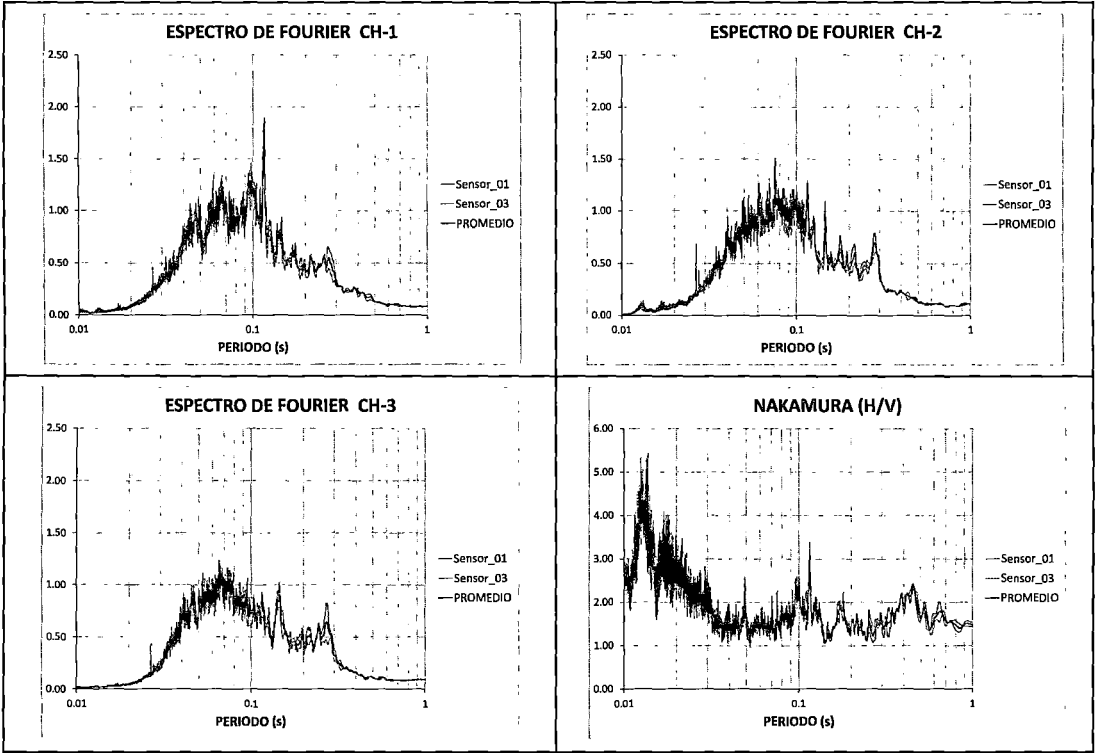
TESIS	:	Microzonificación Geotécnica Sísmica del distrito de Independencia – Lima.
FUENTE	:	Desarrollo de Microzonificación ante Sismo y Tsunami – 2013 (CISMID).
PUNTO	:	M20.
FECHA	:	Octubre, 2014.
ESTE	:	277982.04
NORTE	:	8676199.21
PERIODO	:	0.12s.

MEDICIÓN DE MICROTREMORES

SEGMENTO DE ONDA



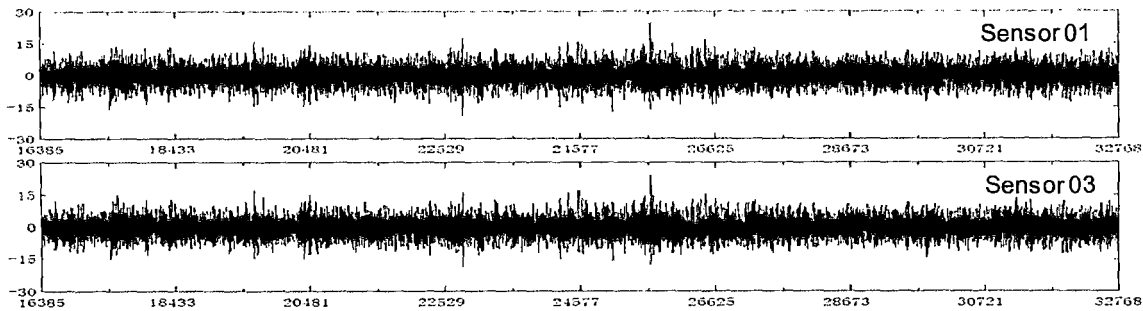
COCIENTES ESPECTRALES



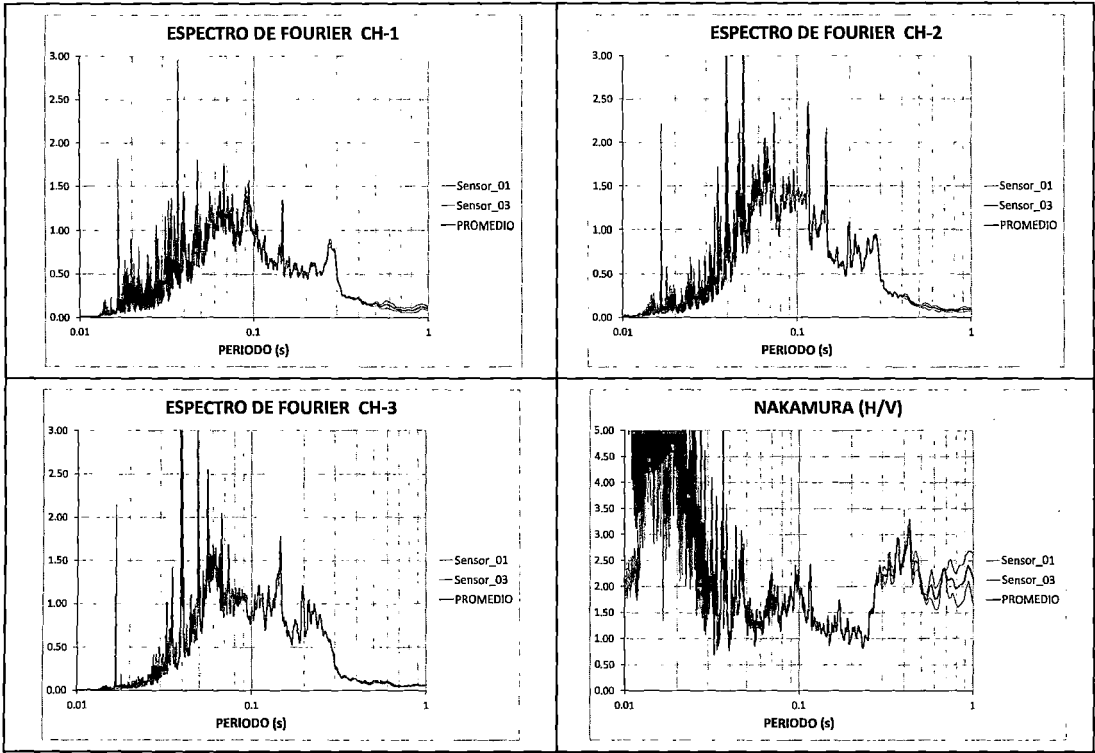
TESIS	:	Microzonificación Geotécnica Sísmica del distrito de Independencia – Lima.
FUENTE	:	Desarrollo de Microzonificación ante Sismo y Tsunami – 2013 (CISMID).
PUNTO	:	M21.
FECHA	:	Octubre, 2014.
ESTE	:	275944.99
NORTE	:	8672118.28
PERIODO	:	0.12s.

MEDICIÓN DE MICROTREMORES

SEGMENTO DE ONDA



COCIENTES ESPECTRALES



TESIS : Microzonificación Geotécnica Sísmica del distrito de Independencia – Lima.
FUENTE : Desarrollo de Microzonificación ante Sismo y Tsunami – 2013 (CISMID).
PUNTO : M22.
FECHA : Octubre, 2014.
ESTE : 275760.76
NORTE : 8672065.11
PERIODO : 0.18s.

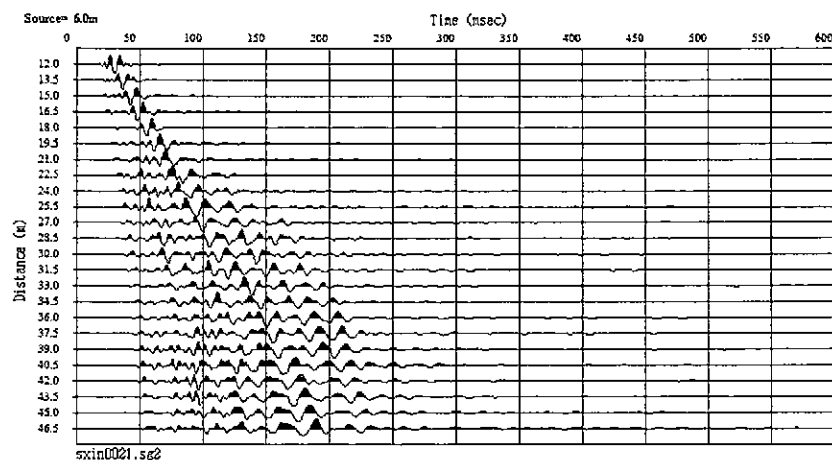
Anexo IV: Registro de Ondas y Curvas de Dispersión de Ensayos MASW

Ubicación de Líneas MASW Realizadas.

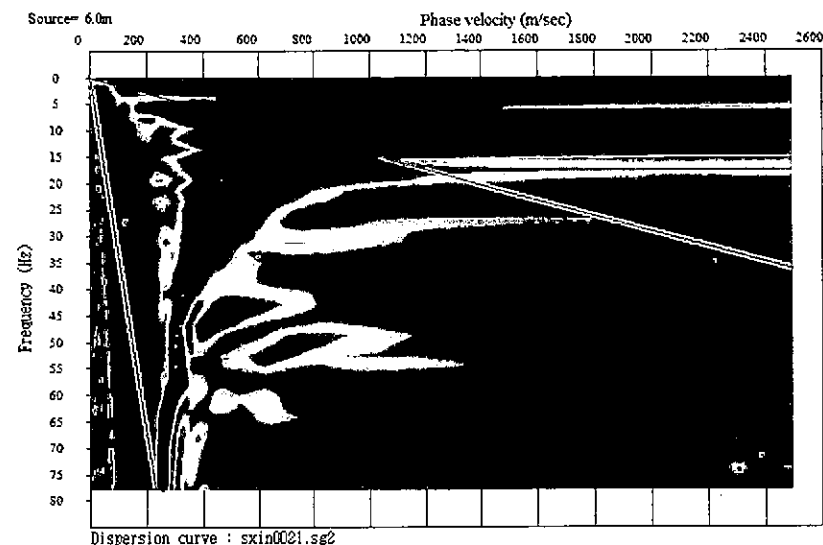
Línea	Ubicación	Coordenadas		Cota (m)	Longitud (m)	Tipo de Onda
		Este (m)	Norte (m)			
MASW01	CENTRO	276887.19	8672446.73	105.0	34.50	Onda S
MASW02	CENTRO	275733.07	8672244.00	81.0	34.50	Onda S
MASW03	CENTRO	277314.47	8675826.39	162.0	34.50	Onda S
MASW04	CENTRO	275492.83	8674577.45	69.0	34.50	Onda S
MASW05	CENTRO	276059.88	8674592.61	84.0	34.50	Onda S

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN CRISTÓBAL DE HUAMANGA
FACULTAD DE INGENIERÍA DE MINAS, GEOLOGÍA Y CIVIL
ESCUELA DE FORMACIÓN PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

REGISTRO SÍSMICO



CURVA DE DISPERSIÓN



TESIS: Microzonificación Geotécnica Sísmica del distrito de Independencia - Lima.

FUENTE: Desarrollo de Microzonificación ante Sismo y Tsunami – 2013 (CISMID).

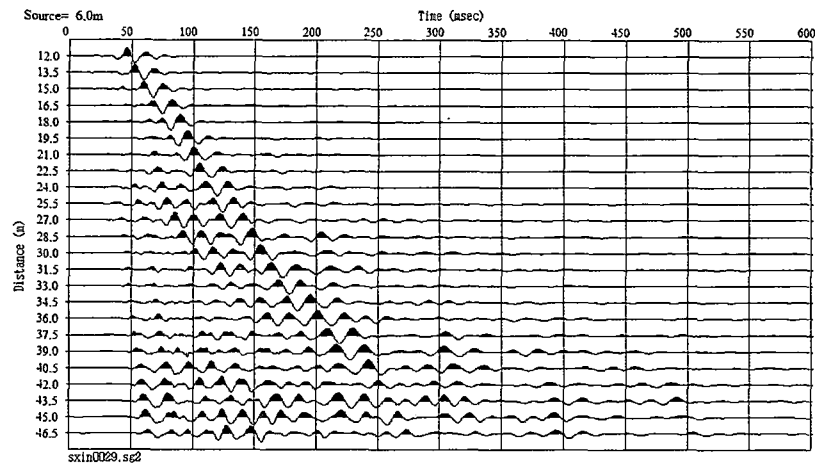
LÍNEA: MASW01.

SHOT: 02.

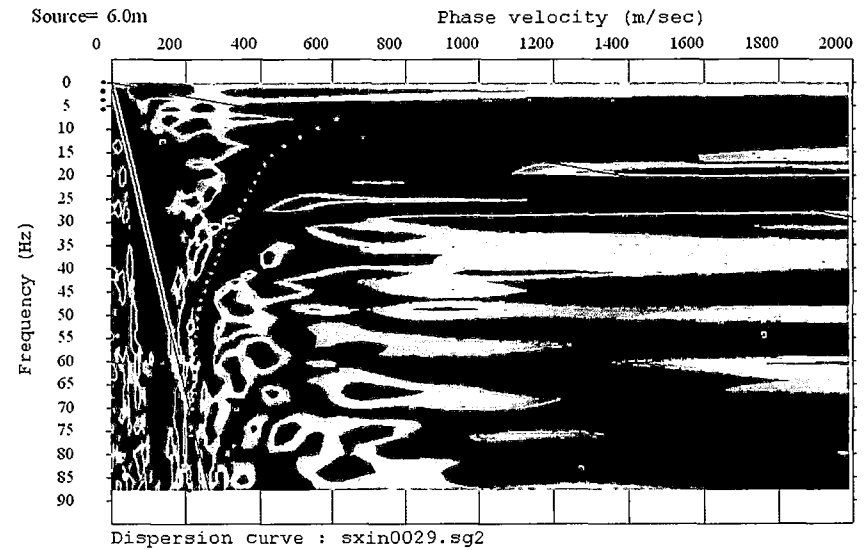
FECHA: Octubre, 2014.

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN CRISTÓBAL DE HUAMANGA
FACULTAD DE INGENIERÍA DE MINAS, GEOLOGÍA Y CIVIL
ESCUELA DE FORMACIÓN PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

REGISTRO SÍSMICO



CURVA DE DISPERSIÓN



TESIS: Microzonificación Geotécnica Sísmica del distrito de Independencia - Lima.

FUENTE: Desarrollo de Microzonificación ante Sismo y Tsunami – 2013 (CISMID).

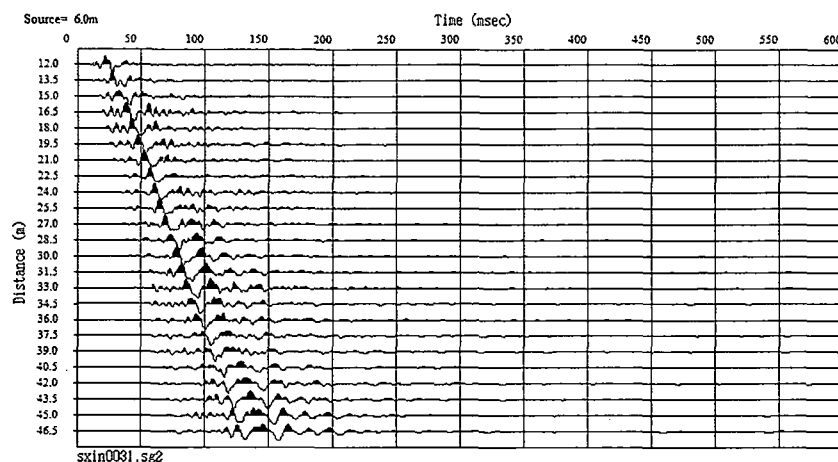
LÍNEA: MASW02.

SHOT: 02.

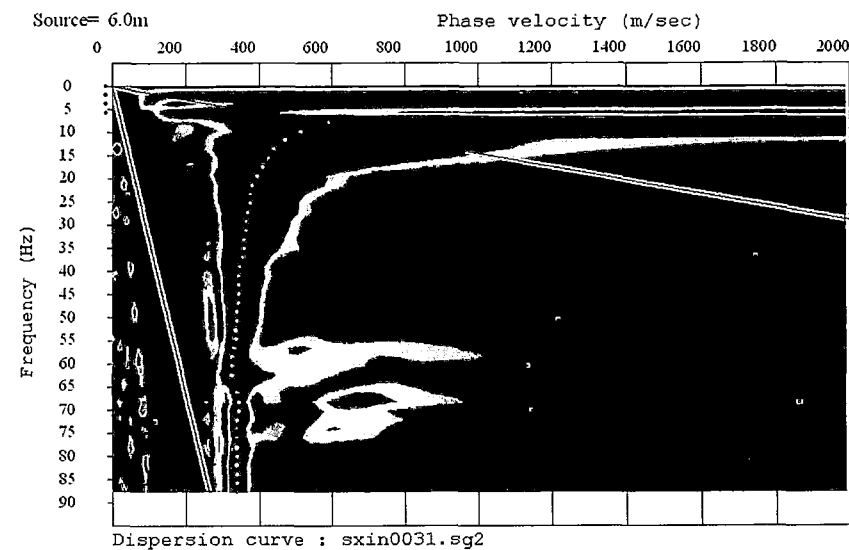
FECHA: Octubre, 2014.

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN CRISTÓBAL DE HUAMANGA
FACULTAD DE INGENIERÍA DE MINAS, GEOLOGÍA Y CIVIL
ESCUELA DE FORMACIÓN PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

REGISTRO SÍSMICO



CURVA DE DISPERSIÓN



TESIS: Microzonificación Geotécnica Sísmica del distrito de Independencia - Lima.

FUENTE: Desarrollo de Microzonificación ante Sismo y Tsunami – 2013 (CISMID).

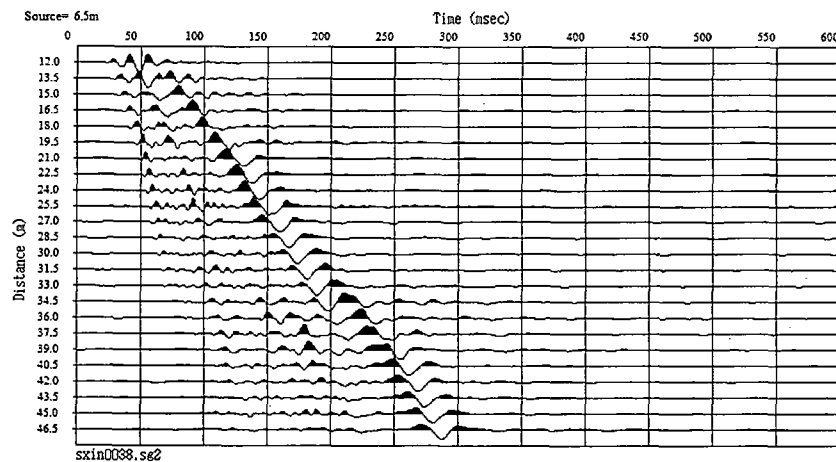
LÍNEA: MASW03.

SHOT: 02.

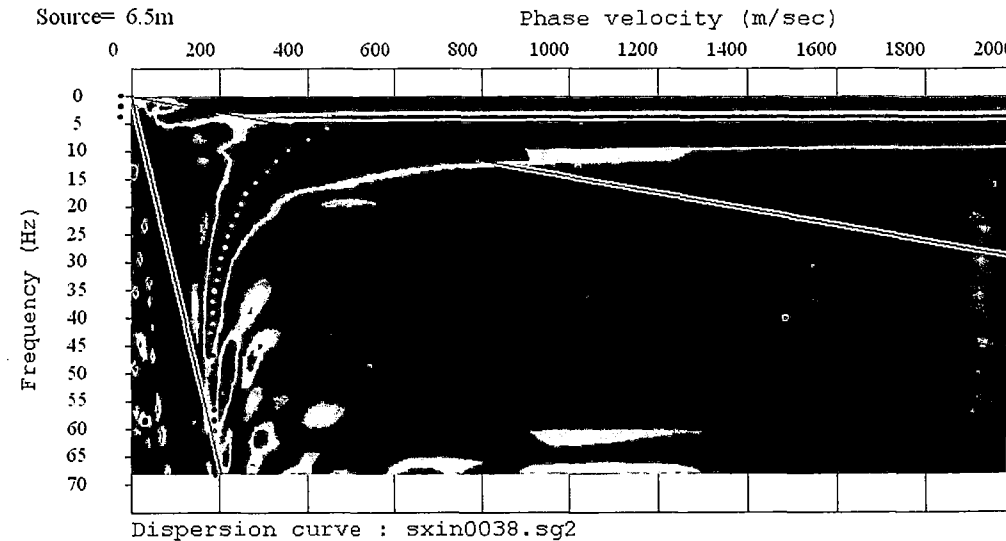
FECHA: Octubre, 2014.

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN CRISTÓBAL DE HUAMANGA
FACULTAD DE INGENIERÍA DE MINAS, GEOLOGÍA Y CIVIL
ESCUELA DE FORMACIÓN PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

REGISTRO SÍSMICO



CURVA DE DISPERSIÓN



TESIS: Microzonificación Geotécnica Sísmica del distrito de Independencia - Lima.

FUENTE: Desarrollo de Microzonificación ante Sismo y Tsunami – 2013 (CISMID).

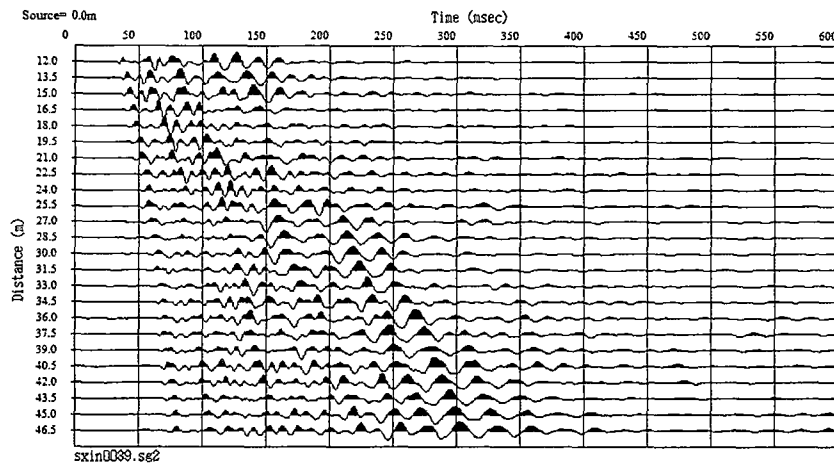
LÍNEA: MASW04.

SHOT: 02.

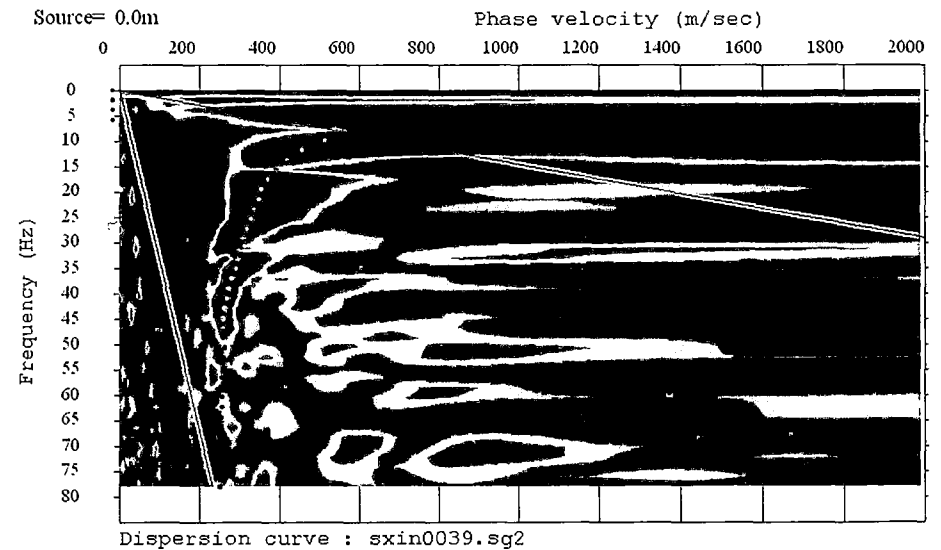
FECHA: Octubre, 2014.

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN CRISTÓBAL DE HUAMANGA
FACULTAD DE INGENIERÍA DE MINAS, GEOLOGÍA Y CIVIL
ESCUELA DE FORMACIÓN PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

REGISTRO SÍSMICO



CURVA DE DISPERSIÓN



TESIS: Microzonificación Geotécnica Sísmica del distrito de Independencia - Lima.

FUENTE: Desarrollo de Microzonificación ante Sismo y Tsunami – 2013 (CISMID).

LÍNEA: MASW05.

SHOT: 02.

FECHA: Octubre, 2014.

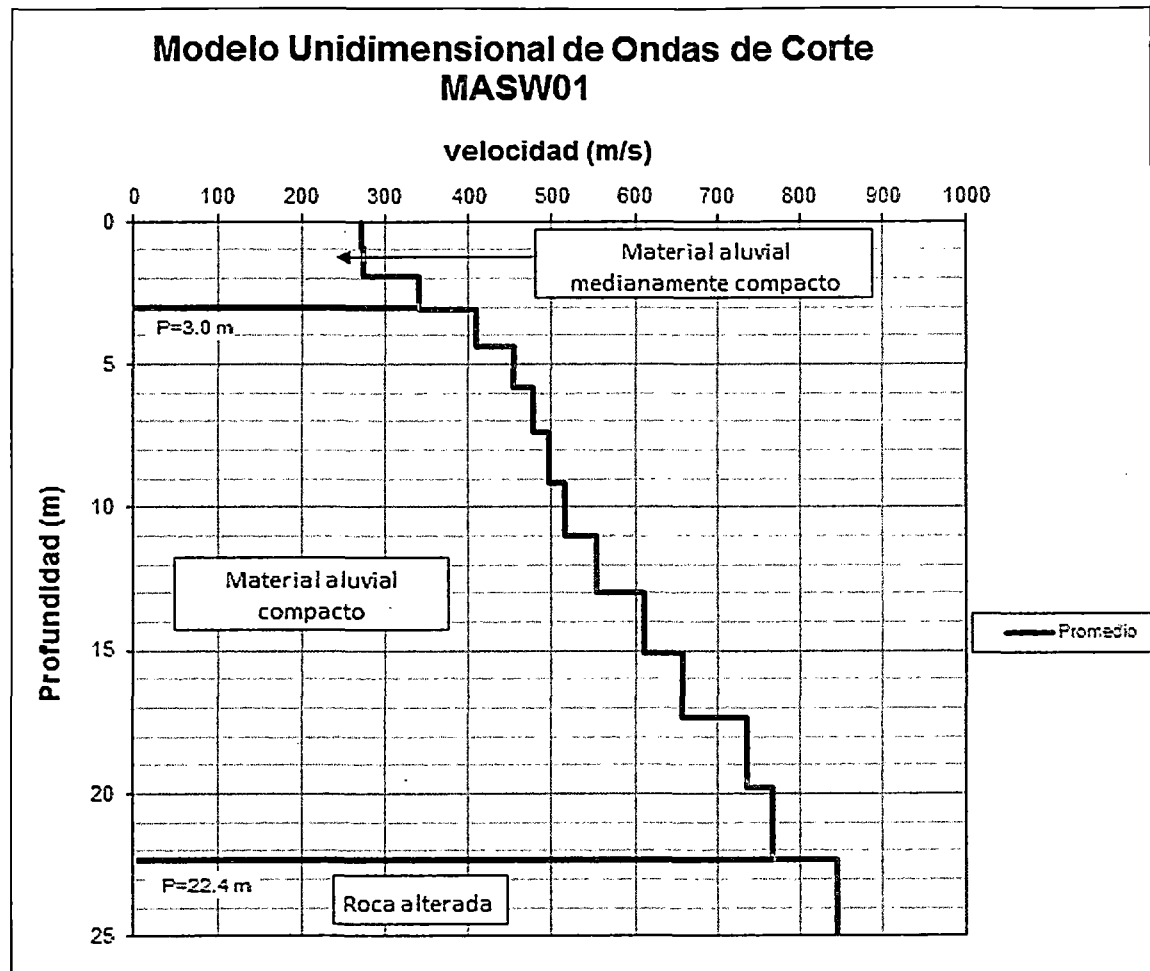
Anexo V: Perfiles de Velocidades de Ondas de Corte de Ensayos MASW

Resumen de Velocidades de Ondas S – Líneas MASW Realizadas.

Línea	Estrato	Vs	Espesor	Descripción
		(m/s)	(m)	
MASW01	1	270 – 340	3.00	Material aluvial medianamente compacto
	2	410 – 770	19.40	Material aluvial compacto
	3	845	---	Roca alterada
MASW02	1	235 – 340	3.90	Material aluvial medianamente compacto
	2	385 – 640	---	Material aluvial compacto
MASW03	1	330 – 360	3.90	Relleno superficial y Material aluvial medianamente denso
	2	400 – 630	---	Material aluvial compacto
MASW04	1	190 – 370	13.00	Material aluvial medianamente denso
	2	390 – 470	---	Material aluvial compacto
MASW05	1	230 – 340	5.10	Material aluvial medianamente denso
	2	380 – 620	---	Material aluvial compacto

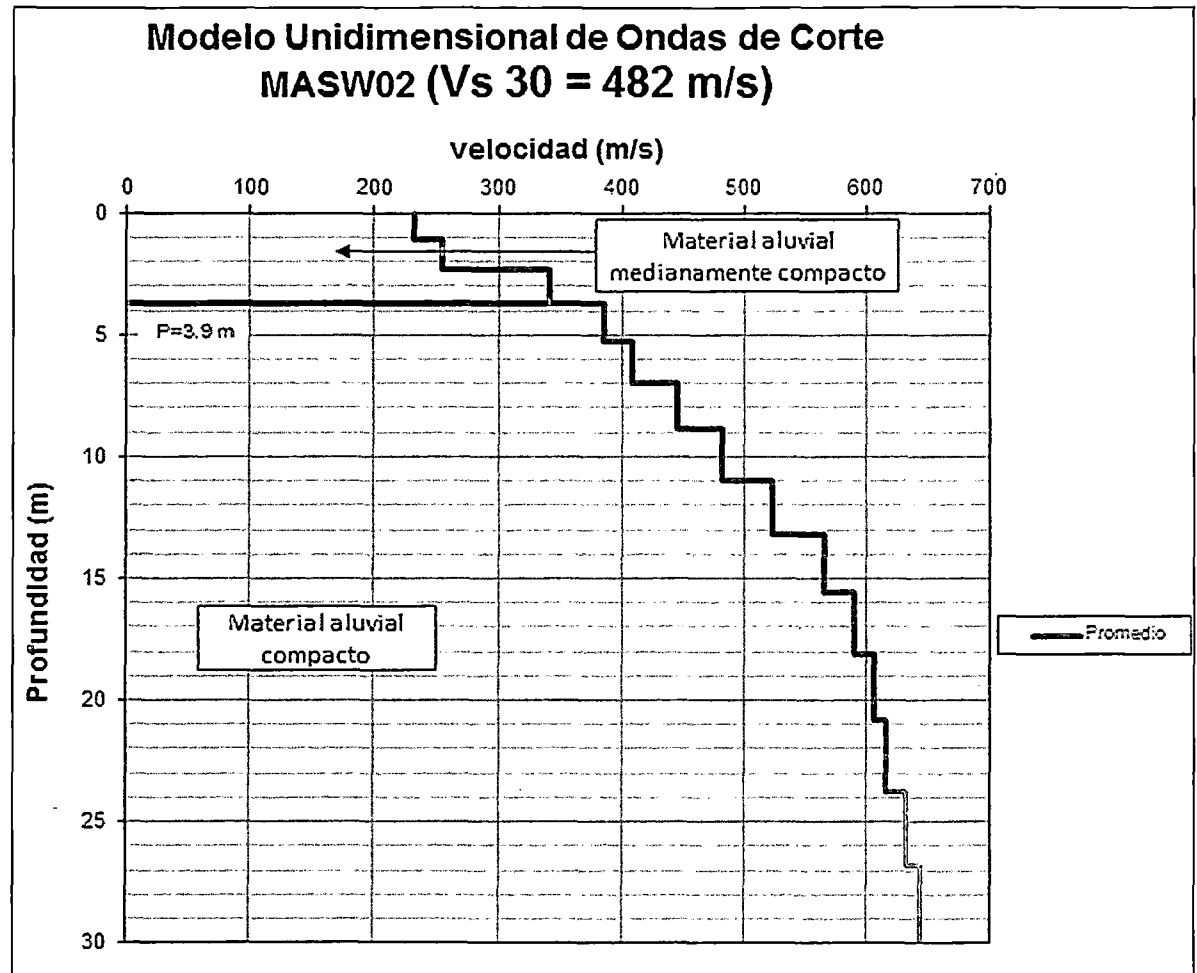
UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN CRISTÓBAL DE HUAMANGA
FACULTAD DE INGENIERÍA DE MINAS, GEOLOGÍA Y CIVIL
ESCUELA DE FORMACIÓN PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

TESIS: Microzonificación Geotécnica Sísmica
del distrito de Independencia – Lima.
FUENTE: Desarrollo de Microzonificación ante
Sismo y Tsunami – 2013.
LÍNEA: MASW01.
FECHA: Octubre, 2014.



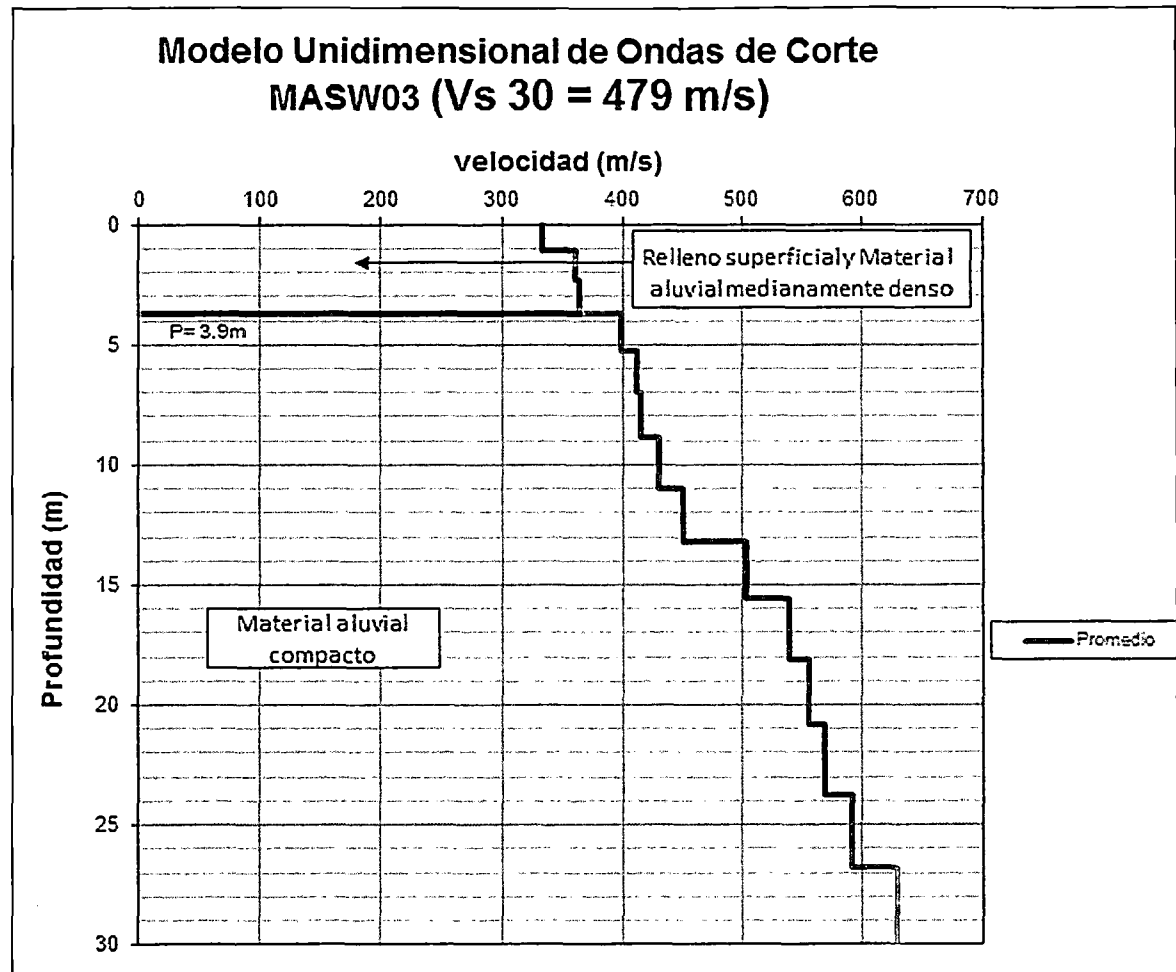
UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN CRISTÓBAL DE HUAMANGA
FACULTAD DE INGENIERÍA DE MINAS, GEOLOGÍA Y CIVIL
ESCUELA DE FORMACIÓN PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

TESIS: Microzonificación Geotécnica Sísmica
del distrito de Independencia – Lima.
FUENTE: Desarrollo de Microzonificación ante
Sismo y Tsunami – 2013.
LÍNEA: MASW02.
FECHA: Octubre, 2014.



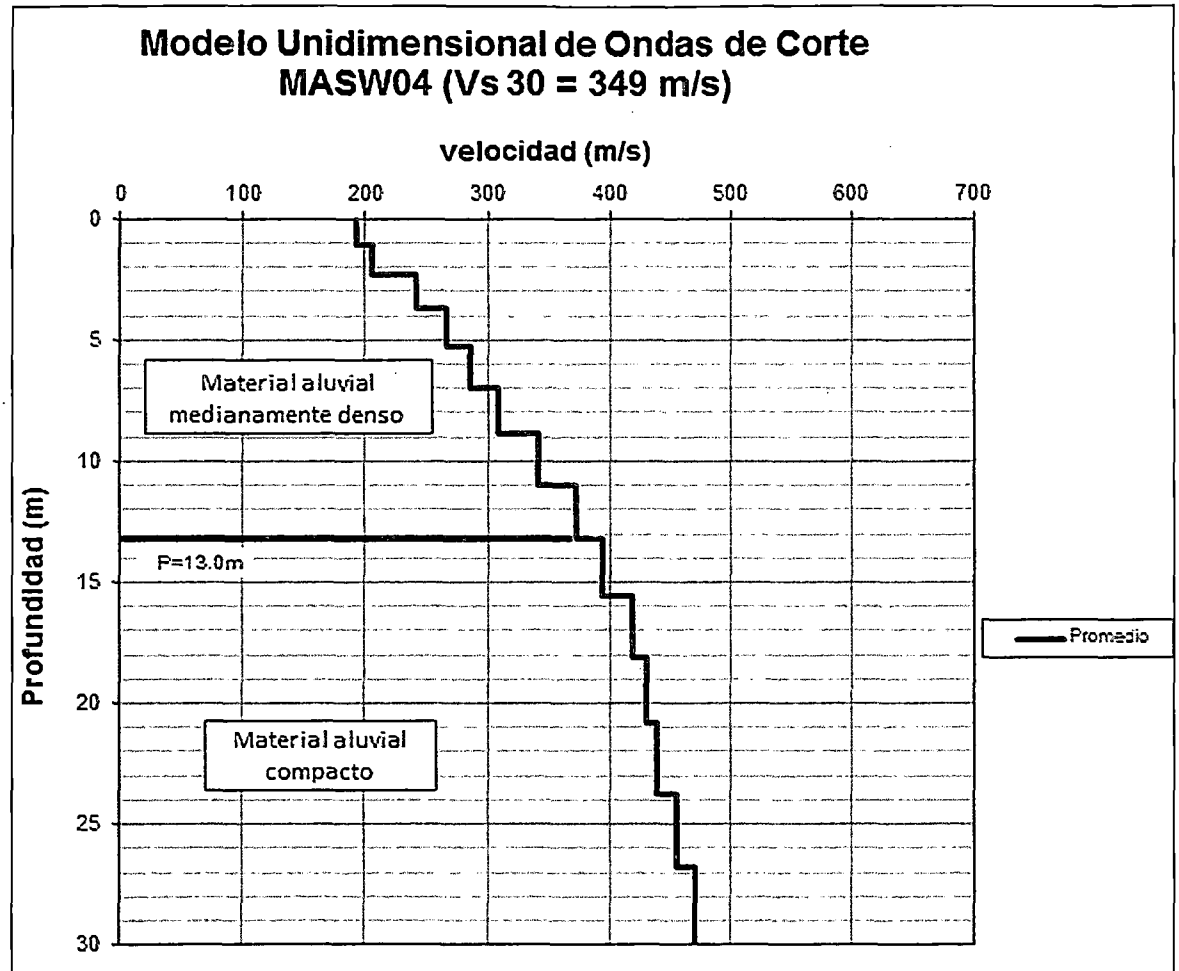
UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN CRISTÓBAL DE HUAMANGA
FACULTAD DE INGENIERÍA DE MINAS, GEOLOGÍA Y CIVIL
ESCUELA DE FORMACIÓN PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

TESIS: Microzonificación Geotécnica Sísmica
del distrito de Independencia – Lima.
FUENTE: Desarrollo de Microzonificación ante
Sismo y Tsunami – 2013.
LÍNEA: MASW03.
FECHA: Octubre, 2014.



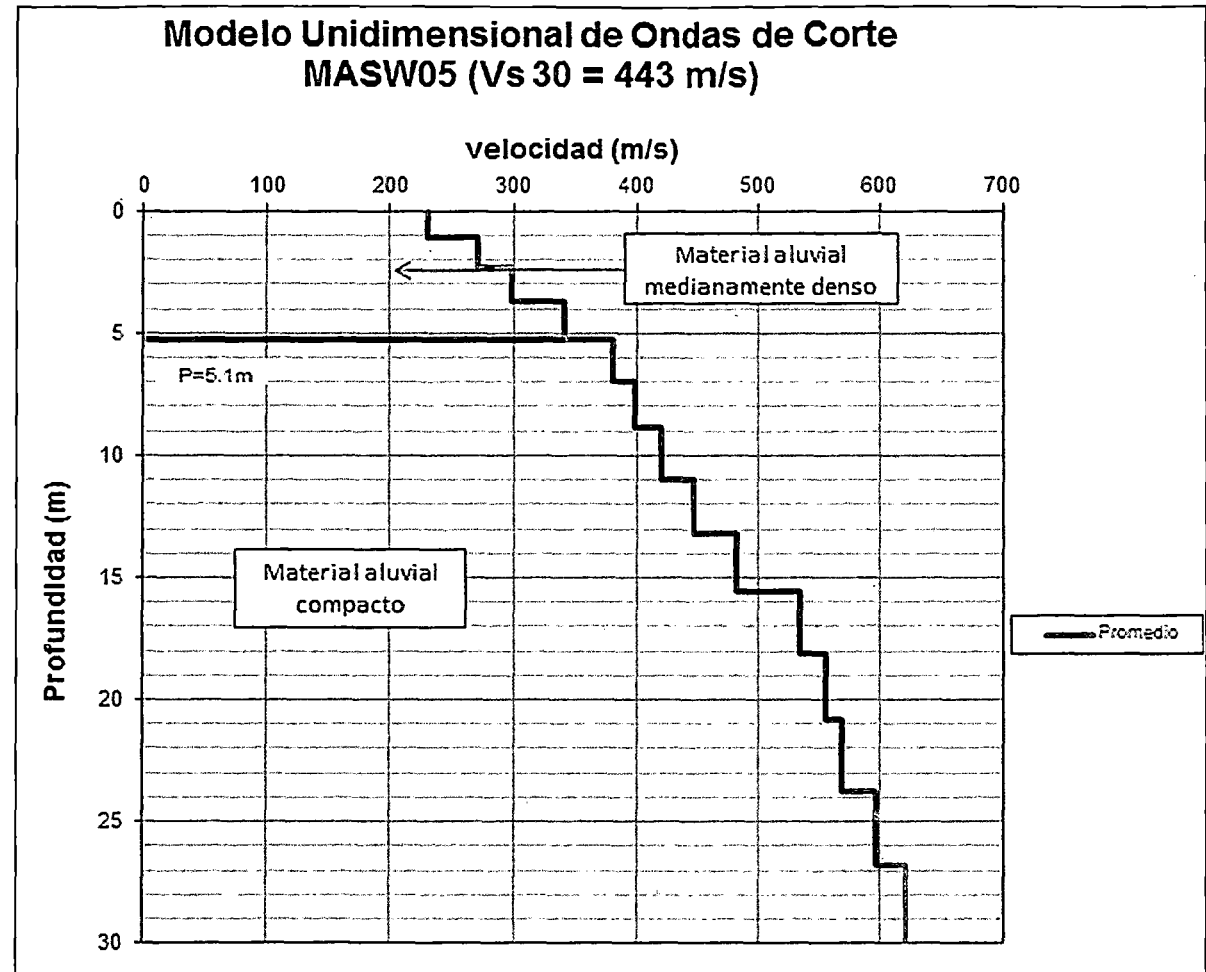
UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN CRISTÓBAL DE HUAMANGA
FACULTAD DE INGENIERÍA DE MINAS, GEOLOGÍA Y CIVIL
ESCUELA DE FORMACIÓN PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

TESIS: Microzonificación Geotécnica Sísmica
del distrito de Independencia - Lima.
FUENTE: Desarrollo de Microzonificación ante
Sismo y Tsunami – 2013.
LÍNEA: MASW04.
FECHA: Octubre, 2014.



UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN CRISTÓBAL DE HUAMANGA
FACULTAD DE INGENIERÍA DE MINAS, GEOLOGÍA Y CIVIL
ESCUELA DE FORMACIÓN PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

TESIS: Microzonificación Geotécnica Sísmica
del distrito de Independencia - Lima.
FUENTE: Desarrollo de Microzonificación ante
Sismo y Tsunami – 2013.
LÍNEA: MASW05.
FECHA: Octubre, 2014.



Anexo VI: Panel Fotográfico

EXPLORACIÓN DE CALICATAS Y DESCRIPCIÓN DE TALUDES



FOTO 1: Calicata C-1, ubicada entre la Av. Bolognesi y la calle Astronautas. Ver Plano P-07.

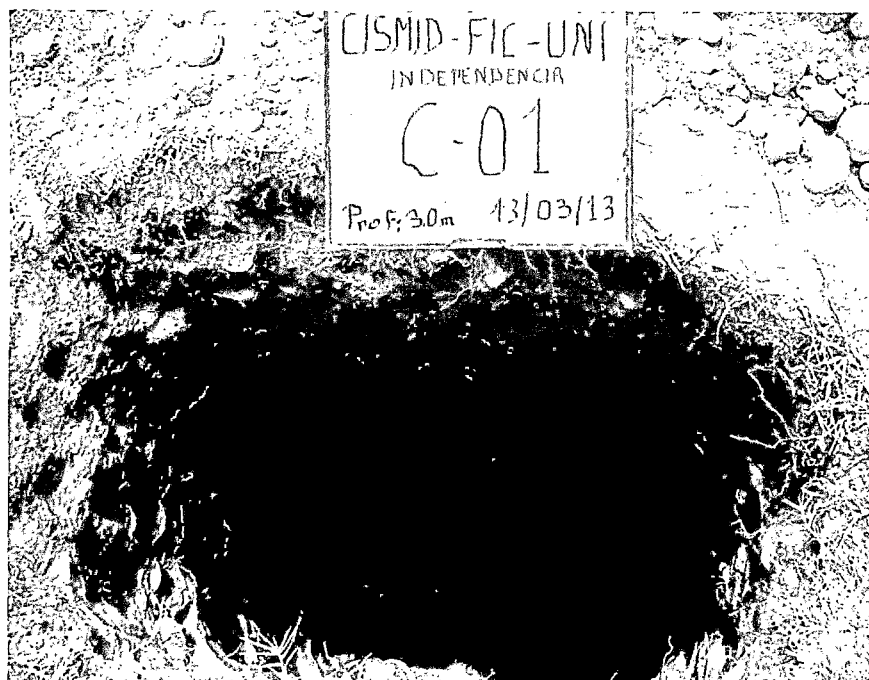


FOTO 2: En la Calicata C-1, de 0.00 a 0.40 m se tiene terreno de cultivo, de 0.40 a 1.00 m, arena limosa (SM), de 1.00 a 1.40 m, arena mal gradada con grava (SP) y de 1.40 a 3.00 m, grava arenosa con bolonería $\leq 8"$.



FOTO 3: Calicata C-2, ubicada entre las calles Los Arrayanes y Pepinos. Ver Plano P-07.

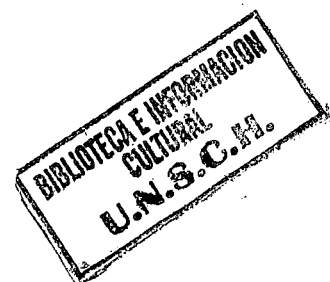


FOTO 4: En la Calicata C-2, de 0.00 a 1.00 m se tiene terreno de cultivo y de 1.00 a 1.60 m, arena arcillo limosa con grava (SC – SM).



FOTO 5: Calicata C-3, ubicada en la calle Los Tulipanes, a espaldas de la Av. Túpac Amaru. Ver Plano P-07.



FOTO 6: En la Calicata C-3, de 0.00 a 0.60 m se tiene terreno de cultivo, de 0.60 a 1.90 m, arcilla limosa arenosa (CL – ML) y de 1.90 a 3.00 m, grava limosa con arena (GM).

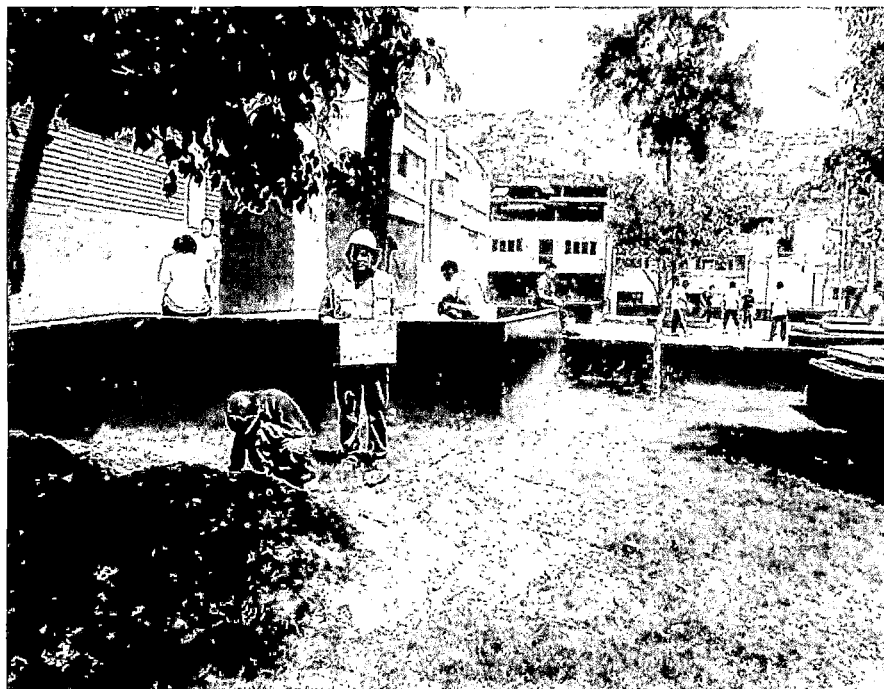


FOTO 7: Calicata C-4, ubicada entre la Av. 17 de noviembre y la calle 1ro de mayo.
Ver Plano P-07.



FOTO 8: En la Calicata C-4, de 0.00 a 0.70 m se tiene terreno de cultivo, de 0.70 a 1.00 m, arena gravosa de bordes angulosos, de 1.00 a 1.80 m, arena limosa con grava (SM) y de 1.80 a 2.80 m, grava bien gradada con limo y arena (GW - GM).



FOTO 9: Calicata C-5, ubicada entre las calles Begonias y Alefés. Ver Plano P-07.



FOTO 10: En la Calicata C-5, de 0.00 a 0.40 m se tiene terreno de cultivo, de 0.40 a 1.30 m, grava mal gradada con limo y arena (GP – GM) y de 1.30 a 2.50 m, arena limosa con grava (SM).



FOTO 11: Calicata C-6, ubicada entre las calles 5 y 6. Ver Plano P-07.

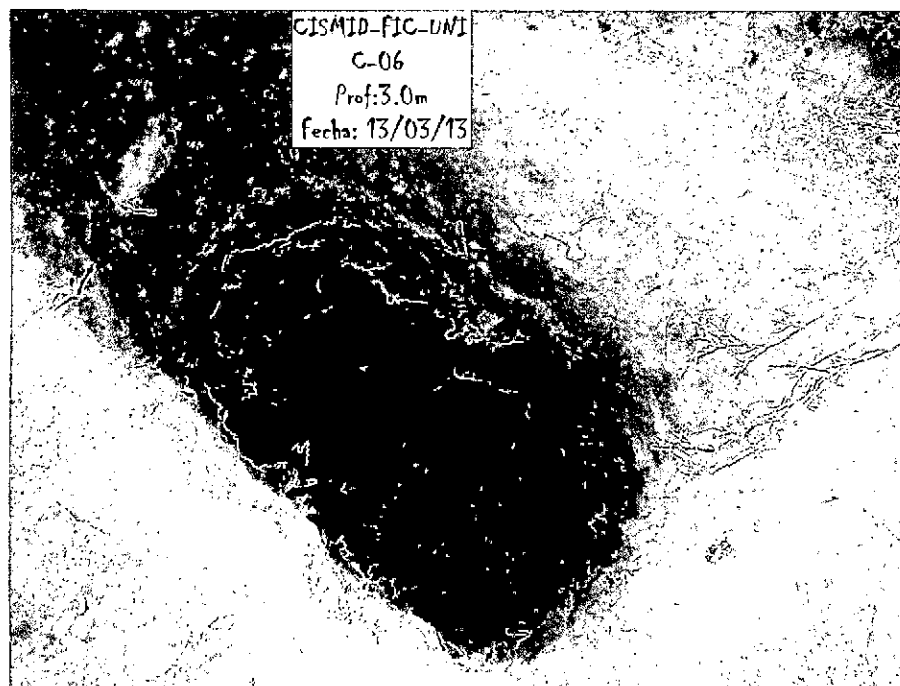


FOTO 12: En la Calicata C-6, de 0.00 a 3.00 m se tiene relleno.



FOTO 13: Calicata C-7, ubicada entre las calles Inca Yupanqui y Quipaypampa. Ver Plano P-07.



FOTO 14: En la Calicata C-7, de 0.00 a 0.60 m se tiene terreno de cultivo, de 0.60 a 1.20 m, arena bien gradada con limo y grava (SW – SM) y de 1.20 a 3.00 m, arena mal gradada con limo y grava (SP – SM) con presencia de partículas de roca.



FOTO 15: Calicata C-8, ubicada entre la avenida Chinchaysuyo y la calle Huascar.
Ver Plano P-07.



FOTO 16: En la Calicata C-8, de 0.00 a 2.00 m se tiene relleno de arena gruesa con grava, de 2.00 a 3.00 m, arena limosa, color beige, baja humedad, densidad suelta a media (SM).

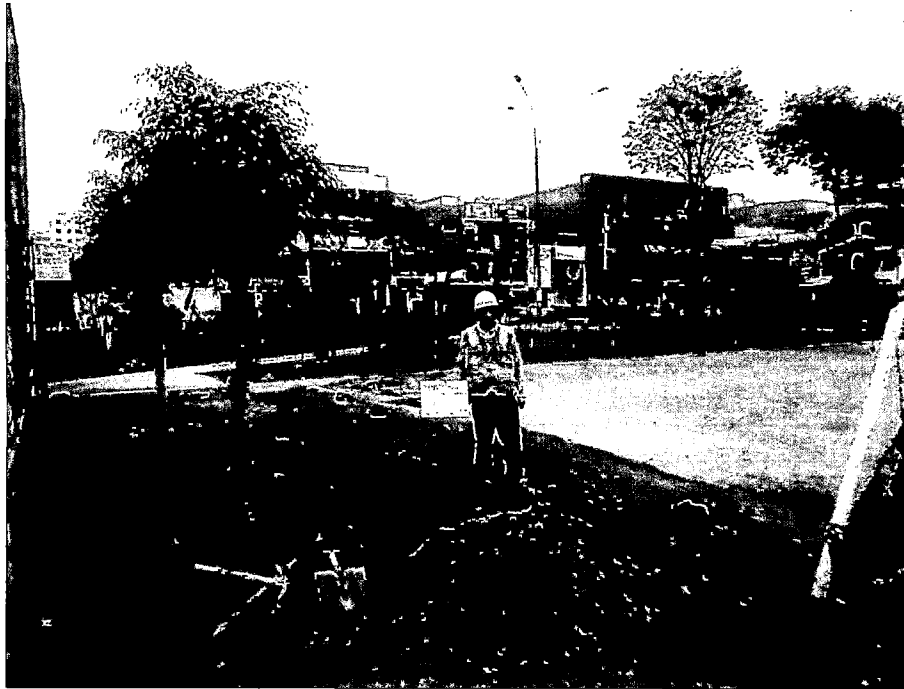


FOTO 17: Calicata C-9, ubicada entre la calle A y calle 1. Ver Plano P-07.



FOTO 18: En la Calicata C-9, de 0.00 a 0.20 m se tiene terreno de cultivo, de 0.20 a 1.20 m, arena limosa, color mostaza (SM). De 1.20 a 2.40 m, limo arenoso de baja plasticidad, color marrón claro (ML) y de 2.40 a 3.00 se tiene grava bien gradada con arena (GW) con presencia de óxidos.



FOTO 19: Calicata C-10, ubicada en la Av. Primavera. Ver Plano P-07.



FOTO 20: En la Calicata C-10, de 0.00 a 0.50 m se tiene terreno de cultivo, de 0.50 a 3.00 m, arena bien gradada con limos (SW – SM).



FOTO 21: Calicata C-11, ubicada entre las calles J y 1. Ver Plano P-07.



FOTO 22: En la Calicata C-11, de 0.00 a 1.30 m se tiene relleno conformado por restos de ladrillo, polietileno, etc, de 1.30 a 3.00 m, arena bien gradada con gravas y limos (SW – SM).



FOTO 23: Calicata C-12, ubicada entre las calles Guaba y Tunas. Ver Plano P-07.



FOTO 24: En la Calicata C-12, de 0.00 a 1.10 m se tiene limo de baja plasticidad con arcilla, húmedo, color marrón (ML), de 1.10 a 2.20 m, arena de grano medio a fino pobremente gradada con limos (SP – SM) y de 2.20 a 3.00 m, arena pobremente gradada con grano medio a fino, color plomizo (SP).

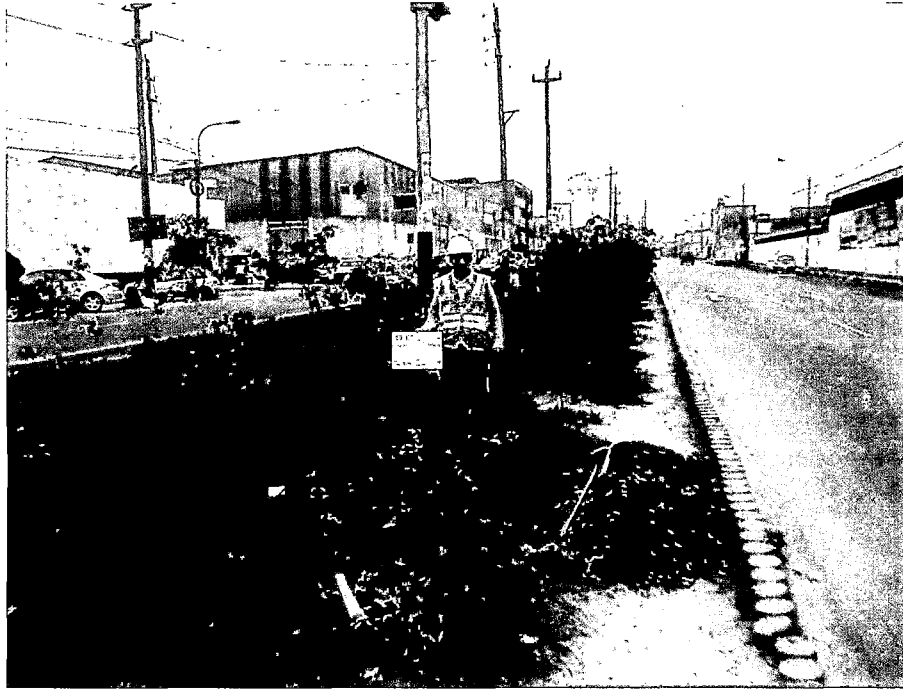


FOTO 25: Calicata C-13, ubicada entre la Av. Industrial y la calle Rufino Macedo. Ver Plano P-07.



FOTO 26: En la Calicata C-13, de 0.00 a 0.40 m se tiene relleno formado por limo arcilloso, terreno de cultivo, de 0.40 a 1.70 m, arcilla de baja plasticidad, semi compacta, color marrón (CL). De 1.70 a 2.50 m, arena limosa, color beige (SM). Y de 2.50 a 3.00 m, grava pobremente gradada (GP), con matriz de arena, húmeda.



FOTO 27: Calicata C-14, ubicada entre las calles Cesar Vallejo y El trabajo. Ver Plano P-07.



FOTO 28: En la Calicata C-14, de 0.00 a 0.30 m se tiene arena arcillosa con grava (SC), de 0.30 a 3.00 m, se encuentra la formación rocosa, moderadamente fracturada.



FOTO 29: Calicata C-15, ubicada entre las calles Cahuide y Tahuantinsuyo. Ver Plano P-07.



FOTO 30: En la Calicata C-15, de 0.00 a 0.20 m se tiene arena arcillosa (SC), de 0.20 a 3.00 m, se encuentra la formación rocosa, moderadamente fracturada



FOTO 31: Calicata C-16, ubicada entre la Av. Indoamerica y la calle Chimú. Ver Plano P-07.



FOTO 32: En la Calicata C-16, de 0.00 a 3.00 m se tiene arena bien gradada con limo y grava aislada angulosa (SW – SM), color beige, húmeda, compacidad media, no plástica.



FOTO 33: Calicata C-17, ubicada en la calle Huarucondor. Ver Plano P-07.



FOTO 34: En la Calicata C-17, de 0.00 a 0.40 m se tiene relleno conformado por terreno de cultivo y gravas con matriz arenosa con restos aislados de plásticos y ladrillos, de 0.40 a 3.00 m, arena pobremente gradada con limos (SP – SM), seco, semi compacto, no plástico.



FOTO 35: Calicata C-18, ubicada entre las calles Nazca y Ollantaytambo. Ver Plano P-07.



FOTO 36: En la Calicata C-18, de 0.00 a 2.20 m se tiene arena pobremente gradada con limo y grava (SP - SM), de 2.20 a 3.00 m, grava pobremente gradada con limos y arena (GP - GM), color beige oscuro, humedad baja, semi compacta.

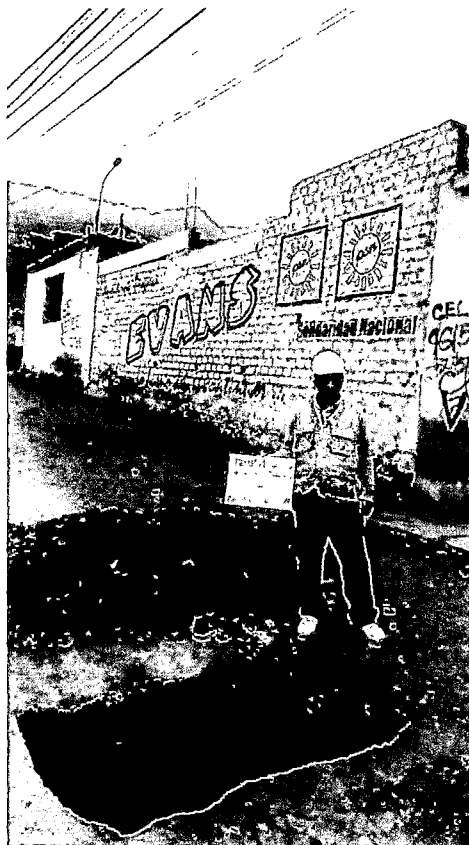


FOTO 37: Calicata C-19, ubicada entre las calles Río Urubamba y Ollantaytambo. Ver Plano P-07.



FOTO 38: En la Calicata C-19, de 0.00 a 0.30 m se tiene relleno constituido por limo arenoso con material orgánico, de 0.30 a 3.00 m, arena pobremente gradada con limos (SP – SM), húmedo, estado de compactación semi compacto, no plástico.

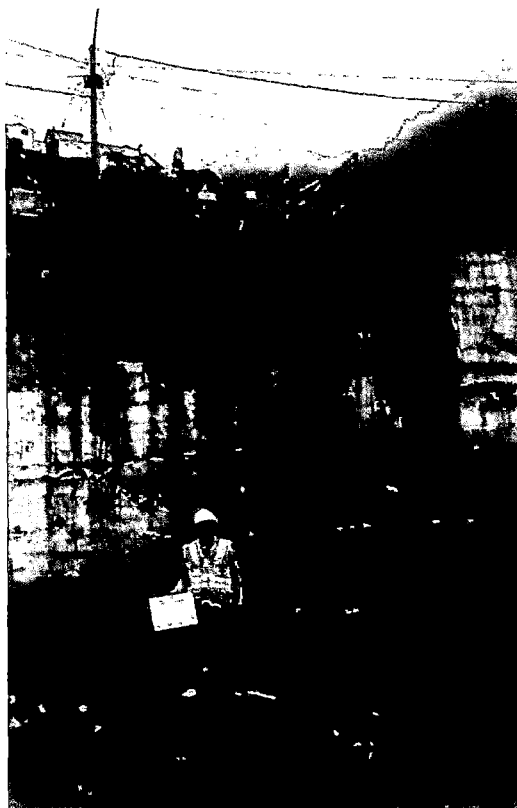


FOTO 39: Calicata C-20, ubicada en la zona más alejada al Noreste del distrito de Independencia. Ver Plano P-07.



FOTO 40: En la Calicata C-20, de 0.00 a 1.80 m se tiene relleno de material grueso, restos de ladrillos, bloques de concreto y bolonería, de 1.80 a 3.00 m, arena bien gradada con limos (SW – SM), color marrón claro amarillento.



FOTO 41: Calicata C-21, ubicada entre la calle Malchora Balandra. Ver Plano P-07.



FOTO 42: En la Calicata C-21, de 0.00 a 1.20 m se tiene relleno constituido por limo arenoso con material orgánico, color oscuro, de 1.20 a 3.00 m, arena bien gradada con limos (SW – SM), color marrón, compacidad medianamente densa a suelta.



FOTO 43: Calicata C-22, ubicada entre los jirones Huaytapampa y Cajabamba. Ver Plano P-07.



FOTO 44: En la Calicata C-22, de 0.00 a 1.60 m se tiene relleno conformado por restos de ladrillo, presencia de arena gruesa, de 1.60 a 3.00 m, arena bien gradada con grava (SW – SM) ligera humedad, densidad media.



FOTO 45: Talud T-1. Ubicado al final del pasaje Heraud a dos cuadras de la Av. Ollantaytambo. Ver Plano P-07.



FOTO 46: En el Talud T-1, de 0.00 a 2.50 m se tiene arena mal gradada con limo y grava (SP – SM).



FOTO 47: Talud T-2. Ubicado al final del pasaje Horacio Zevallos, a una cuadra de la Av. Ollantaytambo. Ver Plano P-07.

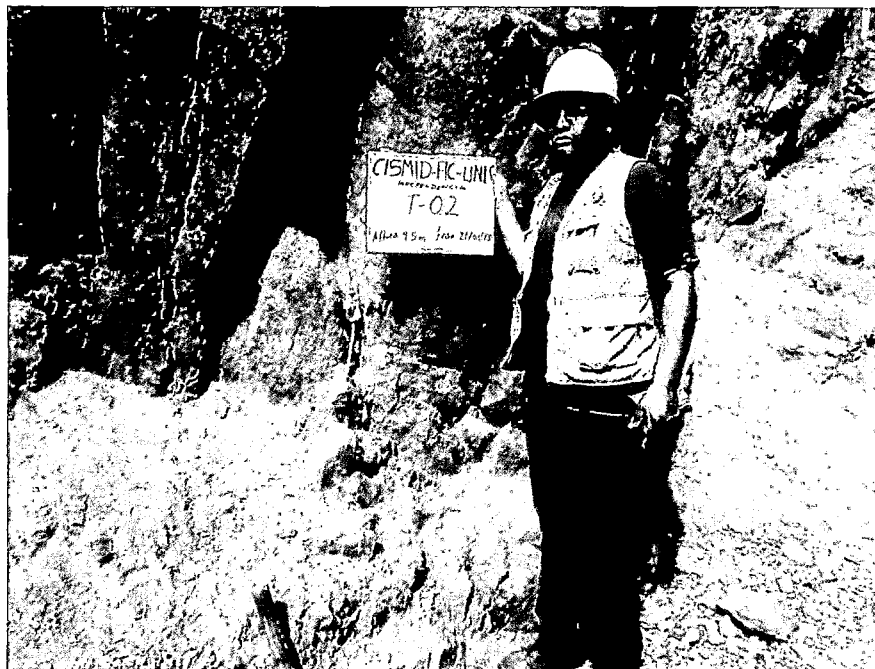


FOTO 48: En el Talud T-2, de 0.00 a 4.50 m se tiene roca medianamente fracturada.

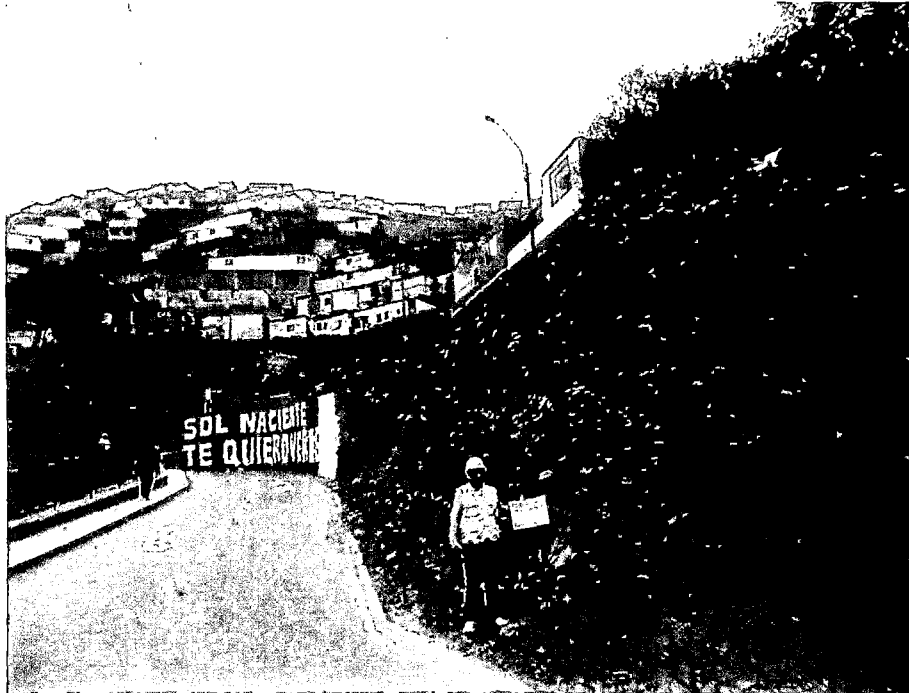


FOTO 49: Talud T-3. Ubicado en la carretera que une las partes altas de Comas e Independencia. Ver Plano P-07.

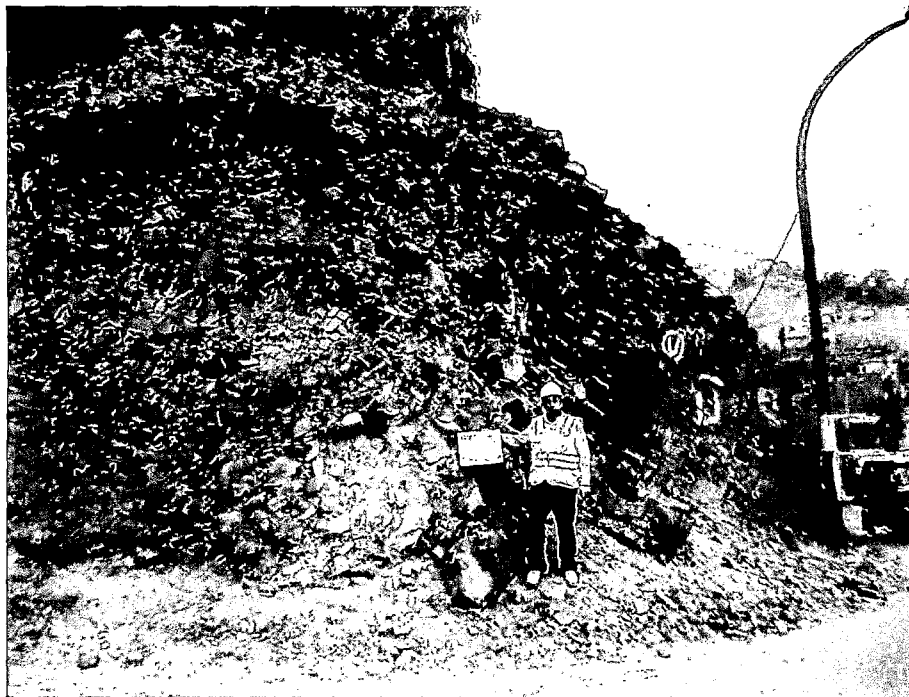


FOTO 50: En el Talud T-3, de 0.00 a 5.00 m se tiene roca altamente fracturada.



FOTO 51: Talud T-4, Ubicado cerca a la Av. 17 de noviembre. Ver Plano P-07.

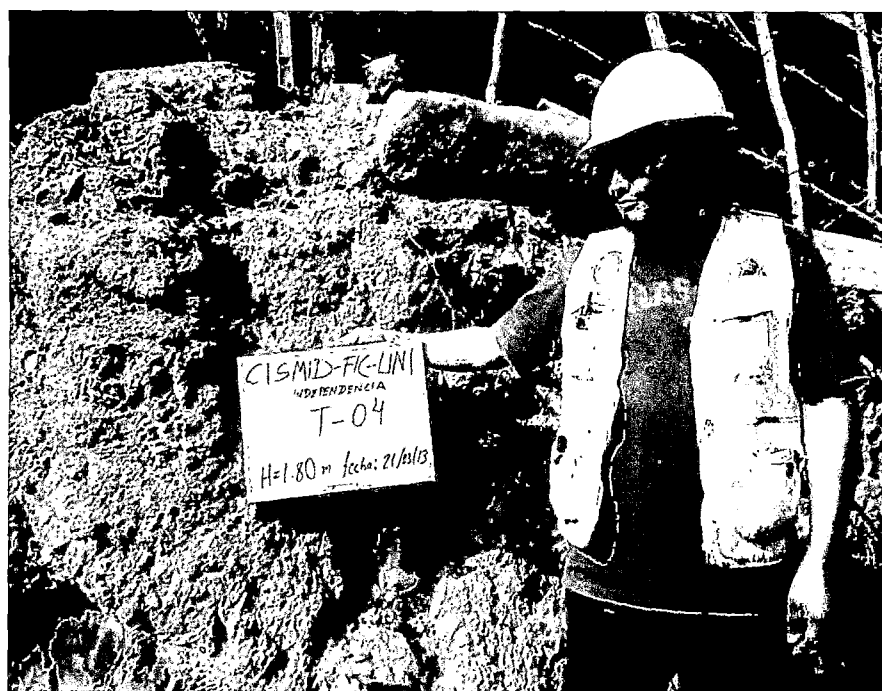


FOTO 52: En el Talud T-4, de 0.00 a 1.80 m se tiene arena arcillosa con grava (SC).



FOTO 53: Talud T-5, Ubicado por inmediaciones de la última cuadra de la calle Collasuyo. Ver Plano P-07.



FOTO 54: En el Talud T-5, de 0.00 a 7.00 m se tiene formación rocosa con fracturas.



FOTO 55: Talud T-6, Ubicado al inicio de la escalera que da acceso al AA. HH. Las Américas. Ver Plano P-07.

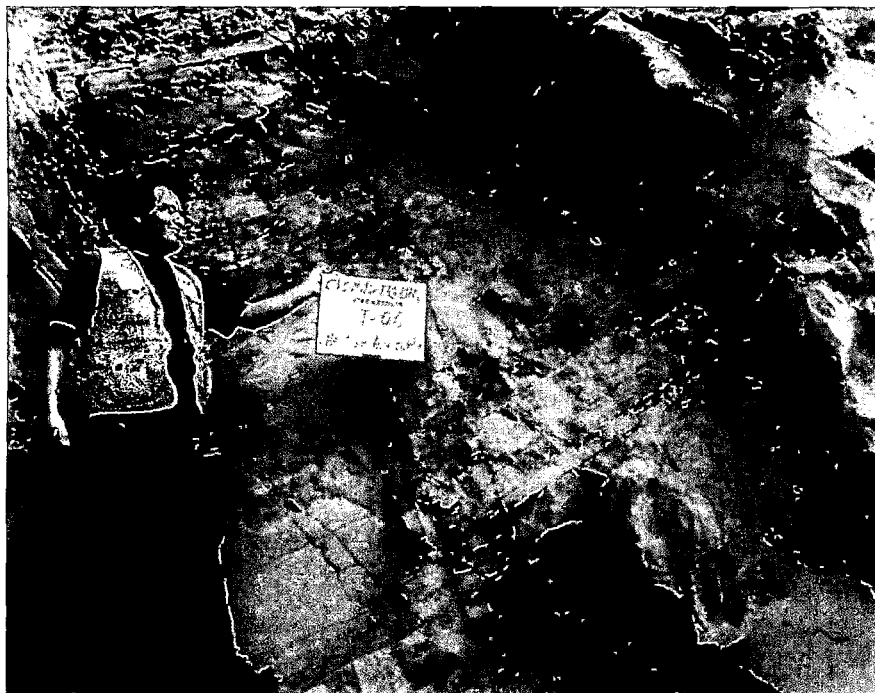


FOTO 56: En el Talud T-6, de 0.00 a 5.00 m se tiene material similar al talud T-5.



FOTO 57: Talud T-7, Ubicado entre la Av. Chinchaysuyo y la calle Ramiro Priale. Ver Plano P-07.

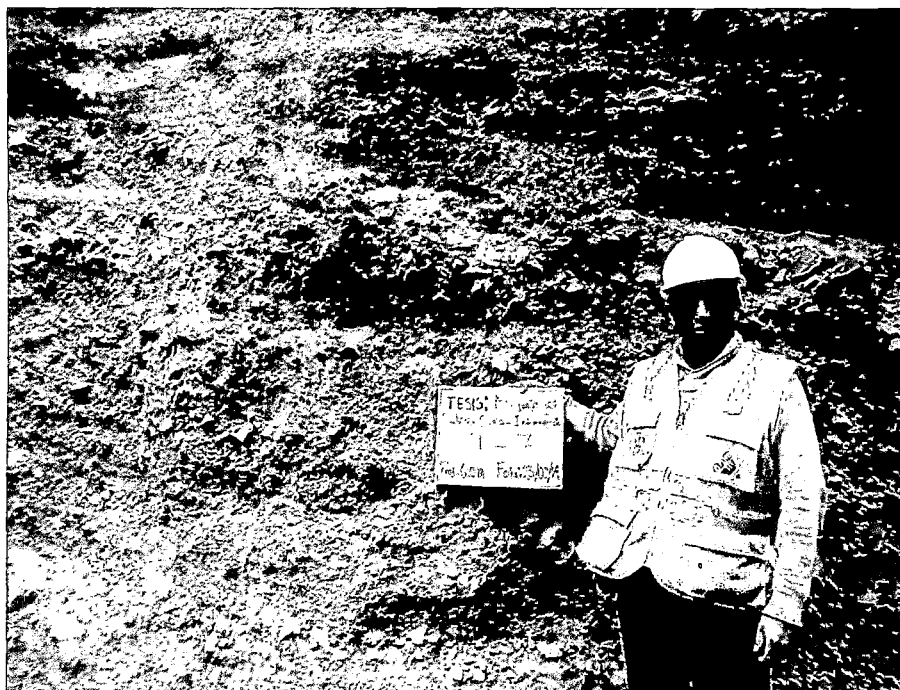


FOTO 58: En el Talud T-7, de 0.00 a 6.00 m se tiene arena arcillosa con grava, gris claro, densa, humedad baja.



FOTO 59: Talud T-8, Ubicado entre las calles F y 1. Ver Plano P-07.



FOTO 60: En el Talud T-8, de 0.00 a 10.00 m se tiene formación rocosa, gris, seca, altamente fracturada.

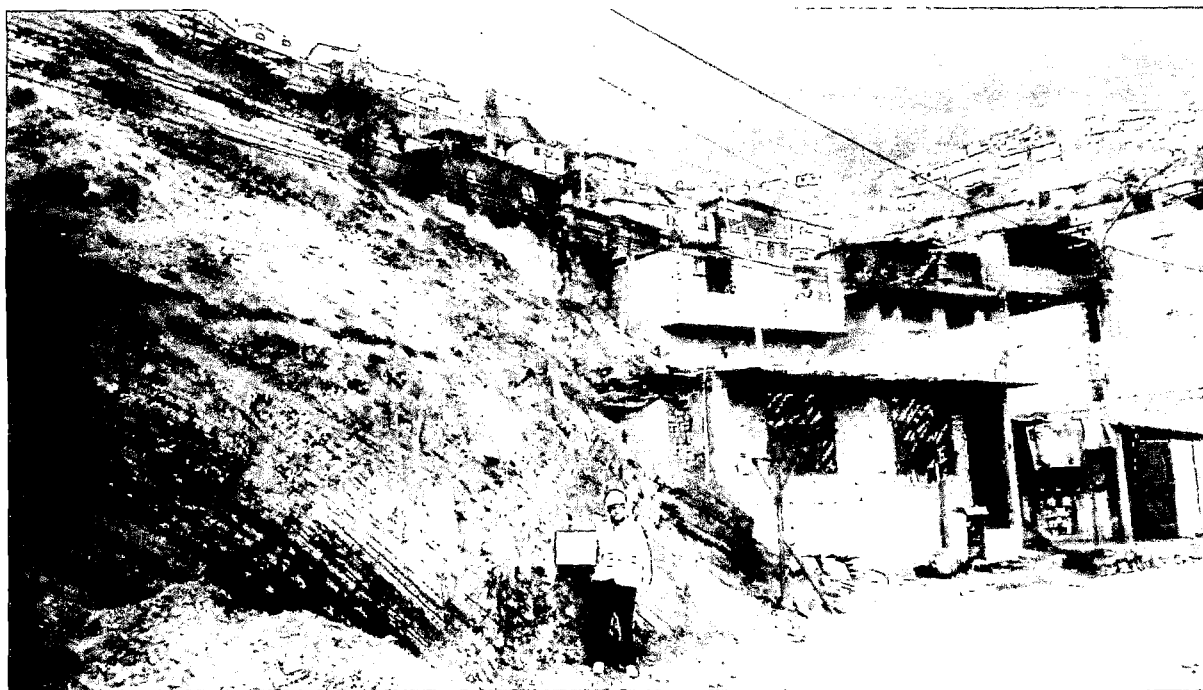


FOTO 61: Talud T-9, Ubicado en la zona más alejada al Noreste del distrito de Independencia. Ver Plano P-07.

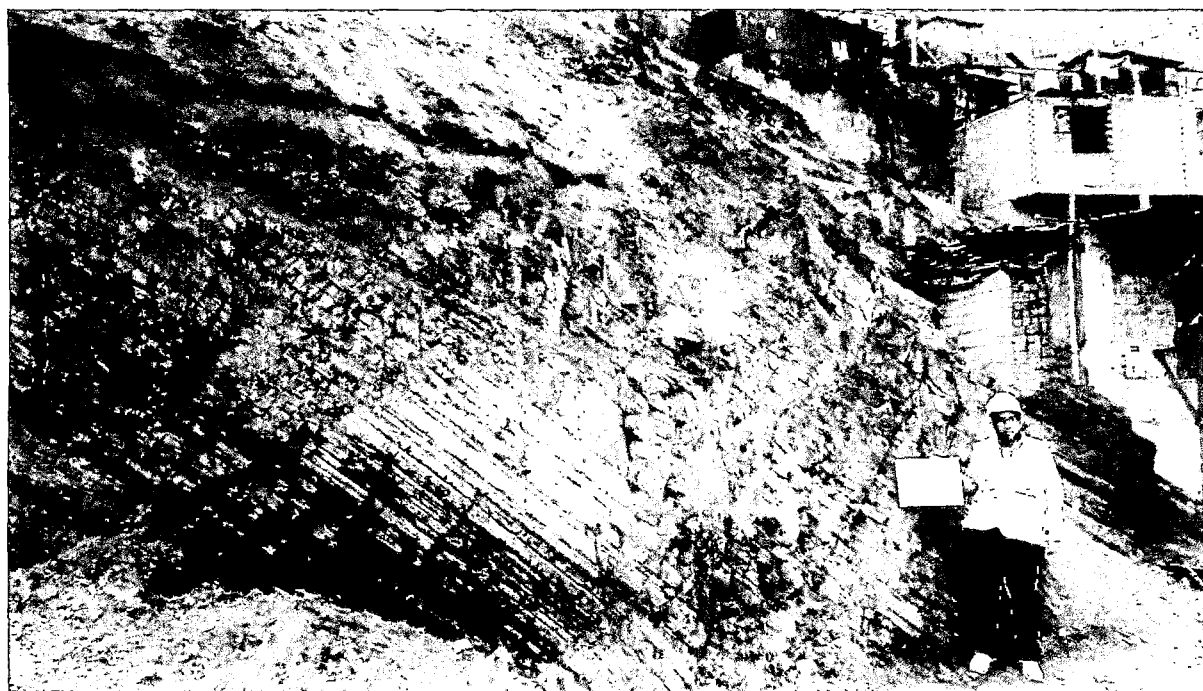


FOTO 62: En el Talud T-9, de 0.00 a 4.00 m se tiene formación rocosa altamente fracturada.

MEDICIÓN DE MICROTREMORES



FOTO 63: M01. Se observa el instante del registro de las ondas de microtremores.



FOTO 64: M02. Se muestra el equipo de medición de microtremores compuesto por 2 sensores, cables, una batería, un adquisidor de señales y una laptop.

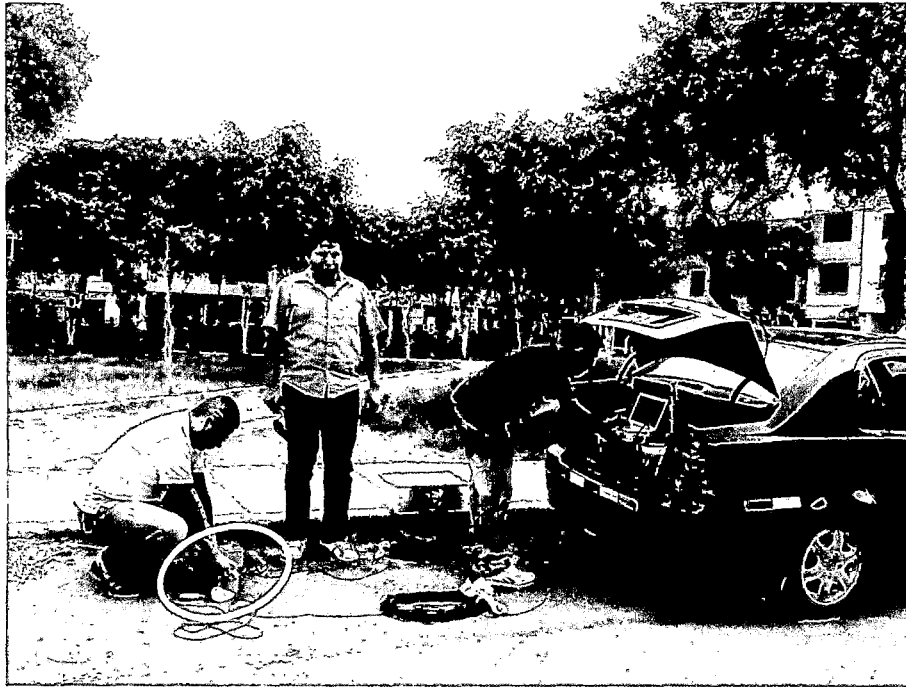


FOTO 65: M03. Se observa el instante de la instalación de los sensores.



FOTO 66: M04. Se observa el instante del registro de las ondas de microtemores.



FOTO 67: M05. Se muestran la disposición del equipo de medición de microtemores.

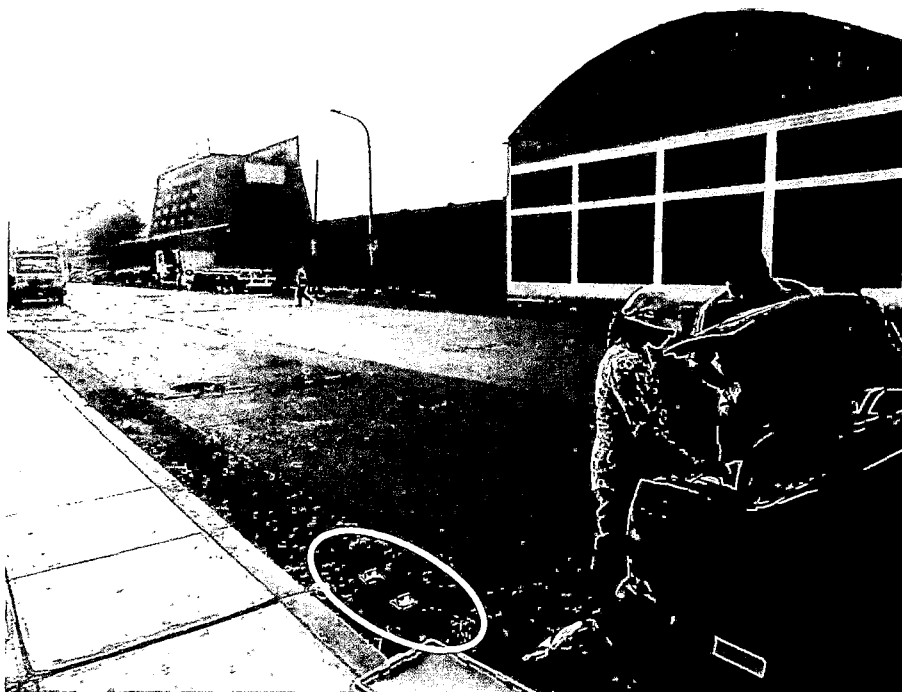


FOTO 68: M06. Se muestra el momento del registro de las microtrepidaciones.



FOTO 69: M07. Se observa el tendido de los cables junto a los sensores para la medición de los microtremores.



FOTO 70: M08. Se muestran los sensores utilizados para la medición de las microtrepidaciones.



FOTO 71: M21. Se observa el arreglo lineal de sensores y el instante del registro de microtremores.

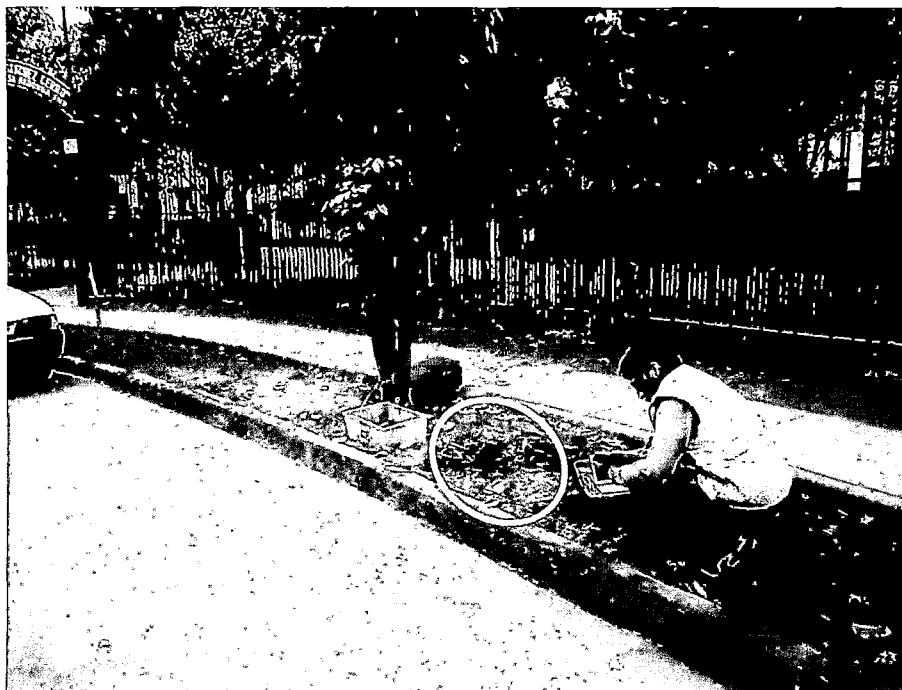


FOTO 72: M22. Se observa el registro de microtrepidaciones, además de anotaciones importantes en el cuaderno de campo.

MEDICIÓN DE LÍNEAS MASW



FOTO 73: MASW01. Se muestra el tendido de los cables para la ejecución del arreglo sísmico.



FOTO 74: MASW02. Se muestra la instalación de los geófonos y su conexión con el equipo de adquisición de datos.



FOTO 75: MASW03. Se muestra el tendido de los cables para la ejecución del arreglo sísmico y la toma de coordenadas UTM de la línea respectiva.



FOTO 76: MASW04. Se muestra la instalación de los geófonos y su conexión con el equipo de adquisición de datos.



FOTO 77: MASW05. Se muestra el tendido de los cables para la ejecución del arreglo sísmico.