

ENRIQUE FRANCISCO LUJÁN SILVA

MICROZONIFICACIÓN SÍSMICA DEL DISTRITO DE TRUJILLO





ENRIQUE FRANCISCO LUJAN SILVA

Ingeniero civil, con un doctorado en Ciencias e Ingeniería por la Universidad Nacional de Trujillo, Perú, y una maestría en Ciencias con mención en Ingeniería Geotécnica de la Universidad Nacional de Ingeniería, Lima, Perú, con especialización en evaluación de riesgos de desastres originados por fenómenos naturales, certificado por CENEFRED, Lima.

Director de La Escuela Profesional de Ingeniería Civil de la Universidad Privada Antenor Orrego (UPAO) de Trujillo.

Docente ordinario con categoría de auxiliar de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil, Facultad de Ingeniería, Universidad Privada Antenor Orrego de Trujillo.

Docente de los cursos de Geología, Mecánica de suelos y pavimentos, UPAO (1996-2019).

Gerente general de la empresa SL de Ingeniería E.I.R.L., desde agosto del 2000.

Ingeniero consultor nacional de empresas estatales y organizaciones privadas, nacionales, en obras de ingeniería geotécnica.

Expresidente del capítulo de Ingeniería Civil del Colegio de Ingenieros del Perú, Consejo Departamental de La Libertad.

Expositor, ponente y conferencista de ingeniería civil a nivel nacional e internacional.

Enrique Francisco Luján Silva

**MICROZONIFICACIÓN
SÍSMICA DEL DISTRITO
DE TRUJILLO**

FONDO EDITORIAL DE LA UNIVERSIDAD PRIVADA ANTENOR ORREGO

MICROZONIFICACIÓN SÍSMICA DEL DISTRITO DE TRUJILLO

© Enrique Francisco Luján Silva

Editado por:

© UNIVERSIDAD PRIVADA ANTENOR ORREGO

Av. América Sur N° 3145,

Urb Monserrate Trujillo, Perú

Teléfono (51) 44 604444, anexo 2087

www.upao.edu.pe

Primera edición digital, agosto 2020.

ISBN N° 978-612-4479-10-6

A Dios, por sus bendiciones.

A mis queridos padres Enrique Sebastián y Santos Claudina, que con su ejemplo y sacrificio supieron guiarme por la senda de la superación profesional.

A mis queridos sobrinos.

A mi esposa María Amelia y adorados hijos Graciela Yamilet, Enrique Víctor y Amelia Valeria, por ser mis fuentes de inspiración para poder alcanzar mis metas.

PRESENTACIÓN

Los desastres naturales (terremotos, inundaciones, tsunamis, deslizamientos de tierra y otros) son un peligro latente en cualquier zona del mundo, más aun teniendo en cuenta que los efectos de estos se pueden incrementar debido a una mala planificación urbana, falta de medidas de seguridad, planes de emergencia, sistemas de alerta y 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. Por eso se resalta la contribución a la seguridad necesaria del poblador mediante delimitaciones de zonas más apropiadas donde construir sus viviendas (estudios de microzonificación sísmica).

Para obtener las propiedades, índices y mecánicas de los suelos se llevó a cabo un estudio geotécnico que comprendió pruebas de campo, llámese calicatas o pozos a cielo abierto, sondajes SPT y DPL. Estos estudios fueron complementados con ensayos de laboratorio. Toda esta información fue plasmada en mapas con herramientas de SIG, mapas de distribución de suelos y análisis de la capacidad portante en estos suelos. A la luz de estos resultados se pudo trazar el plano de microzonificación geotécnica. La caracterización dinámica de los suelos se llevó a cabo mediante ensayos de medición de ondas superficiales en arreglos multicanales (MASW) en toda el área de estudio y análisis de respuesta dinámica por efectos de sitio. Los valores de los parámetros dinámicos (períodos) se plasmaron en los mapas y se agruparon zonas por intervalos de períodos, llegándose a realizar una microzonificación según el comportamiento dinámico del suelo.

Finalmente, se realizó la microzonificación geotécnica sísmica en forma integral, conjugando los resultados de los mapas de distribución de suelos y de comportamiento dinámico con la geología y la geomorfología del lugar. Se llegó a delimitar cuatro zonas que definen el comportamiento del terreno según la clasificación del código de diseño sismo resistente E-030.

Palabras Clave: Microzonificación, ondas “S”, método MASW, calicata, sondaje.

ÍNDICE DE CONTENIDO

	05	Agradecimientos
	07	Presentación
17	CAPÍTULO I	
	INTRODUCCIÓN	
	17	1.1 Antecedentes
	17	1.1.1 Antecedentes internacionales
	19	1.1.2 Antecedentes nacionales
	21	1.1.3 Antecedentes locales
	21	1.2 Motivación de la investigación
	21	1.3 Planteamiento del problema
	22	1.4 Justificación
	22	1.5 Importancia
	23	1.6 Objetivos
	23	1.6.1 Objetivo general
	23	1.6.2 Objetivos específicos
25	CAPÍTULO II	
	MARCO TEÓRICO	
	25	2.1 Métodos experimentales
	25	2.1.1 Empleo del ruido sísmico ambiental como excitación sísmica
	26	2.1.2 Método del cociente espectral h/v, hvsr o método de Nakamura
	26	2.1.2.1 Aplicabilidad y limitaciones del método
	28	2.1.2.2 Consideraciones sobre la composición del ruido ambiental
	29	2.1.3 Técnicas Array
	32	2.1.3.1 Método f-k convencional (cvfk)
	32	2.1.4 Inversión de las curvas h-v o hvsr
	33	2.2 Simulación numérica
	33	2.2.1 Simulación numérica 1D. Método lineal equivalente

41

CAPÍTULO III MATERIALES Y MÉTODOS

33	2.3 Microzonificación sísmica
33	2.3.1 Generalidades
36	2.3.2 Principios y recogida de datos en la microzonificación sísmica
41	3.1 Geología
42	3.1.1 Rocas sedimentarias
42	3.1.2 Rocas volcánico – sedimentarias
42	3.1.3 Rocas plutónicas
42	3.1.4 Depósitos sedimentarios
43	3.1.5 Lineamientos estructurales y diaclasas
46	3.2 Geomorfología de suelos de Trujillo
47	3.2.1 Unidades mayores
47	3.2.1.1 Faja litoral
47	3.2.1.2 Macizos costeros y cerros separados
47	3.2.1.3 Zona de pampas o planicies costeras
47	3.2.1.4 Estribaciones andinas
47	3.2.1.5 Última terraza fluvio aluvial
48	3.2.1.6 Penúltima terraza fluvio aluvial
48	3.2.1.7 Último cono aluvial
48	3.2.1.8 Penúltimo cono aluvial
48	3.2.1.9 Último cono terraza fluvio aluvial
48	3.2.1.10 Penúltimo cono-terracea fluvio aluvial
48	3.2.2 Unidades menores
48	3.2.2.1 Última terraza fluvial
48	3.2.2.2 Depósitos pantanosos y lagunales
49	3.2.2.3 Cordones litorales
49	3.2.2.4 Escarpe de erosión marina
49	3.2.2.5 Escarpe de erosión fluvio aluvial
49	3.2.2.6 Dirección del flujo de corrientes

50	3.3 Evolución tectónica de Trujillo
52	3.4 Evaluación del peligro sísmico
52	3.4.1 Análisis de peligro sísmico probabilístico
52	3.4.1.1 Evaluación y caracterización de las fuentes sismogénicas
55	3.4.1.2 Leyes de atenuación de las ondas sísmicas
56	3.4.1.3 Determinación del peligro sísmico probabilístico
57	3.4.2 Análisis de peligro sísmico determinístico
59	3.5 Características geotécnicas
59	3.5.1 Información geotécnica
60	3.5.2 Exploración de campo
61	3.5.2.1 Calicatas
63	3.5.2.2 Ensayo de penetración estándar
67	3.5.2.3 Ensayo de penetración dinámica ligera
69	3.5.2.4 Descripción de perfiles de suelo
69	3.5.3 Ensayos de laboratorio
69	3.5.4 Capacidad portante de suelos
70	3.6 Métodos geofísicos para prospección sísmica
70	3.6.1 Introducción
70	3.6.1.1 Ondas de volumen
72	3.6.1.2 Ondas superficiales
73	3.6.2 Métodos sísmicos activos
74	3.7 Método de análisis de ondas superficiales masw

77 CAPÍTULO IV RESULTADOS

77	4.1 Cuadro resúmenes de los ensayos geotécnicos ejecutados
110	4.2 Cuadros resumen de los ensayos geofísicos ejecutados

111	CAPÍTULO V DISCUSIÓN DE RESULTADOS	111	5.1 Microzonificación geotécnica
		114	5.2 Zonas de isoperíodos
		116	5.3 Microzonificación geotécnica sísmica del distrito de Trujillo
		119	5.4 aceleraciones máximas esperadas del suelo
		119	5.5 Velocidades máximas esperadas del suelo
		119	5.6 Análisis de amplificación sísmica
		120	5.6.1 Efecto de sitio
		120	5.6.2 Espectro respuesta
		121	5.6.3 Análisis unidimensional
		122	5.6.4 Perfiles sísmicos de suelos
127	CAPÍTULO VI CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES		
		127	6.1 Conclusiones
		132	6.2 Recomendaciones
133	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS		
143	ANEXOS		
		145	Anexo A - I. Estudios de mecánica de suelos
		161	Anexo A - II. Resultados de ensayos de laboratorio
		185	Anexo A - III. Registro de ondas y curvas de dispersion de ensayos masw
		206	Anexo A - IV. Perfiles de velocidades de onda de corte de ensayos masw
		216	Anexo A - V. Panel fotográfico

ÍNDICE DE TABLAS

29	Tabla 2.1	Síntesis acerca de las hipótesis del origen de pico H/V en función del contraste de impedancia y del tipo de modelo (Bonnefoy, 2004).
38	Tabla 2.2	Métodos de investigación apropiados para la indagación de datos para la evaluación de la amplificación (Dipartimento della Protezione Civile, 2008).
39	Tabla 2.3	Métodos de investigación apropiados para la indagación de datos para la evaluación de las fallas activas (Dipartimento della Protezione Civile, 2008).
44	Tabla 3.1	Columna estratigráfica de Trujillo y alrededores
51	Tabla 3.2	Evolución tectónica en el territorio peruano y de Trujillo en relación con la escala del tiempo geológico
56	Tabla 3.3	Estaciones acelerográficas utilizadas para obtención de la ley de atenuación CISMID.
57	Tabla 3.4	Punto analizado para la obtención del peligro sísmico.
57	Tabla 3.5	Aceleraciones máximas en roca - método probabilístico.
57	Tabla 3.6	Aceleraciones máximas en suelo firme - método probabilístico
58	Tabla 3.7	Aceleraciones máximas en roca - método determinístico.

59	Tabla 3.8	Aceleraciones máximas en suelo - método determinístico.
65	Tabla 3.9	Grado de compacidad de suelos
65	Tabla 3.10	Consistencia de suelos
77	Tabla 4.1	Ensayos de laboratorio de las calicatas ejecutadas
82	Tabla 4.2	Perfiles estratigráficos de las excavaciones de calicatas ejecutadas
92	Tabla 4.3	Cálculo de capacidad portante de las calicatas ejecutadas
96	Tabla 4.4	Cálculo de asentamiento de excavaciones de las calicatas ejecutadas
98	Tabla 4.5	Descripción de resultados de los ensayos DPL ejecutados
102	Tabla 4.6	Resultados de número de golpes de los ensayos DPL ejecutados
104	Tabla 4.7	Descripción de resultados de los ensayos SPT ejecutados
108	Tabla 4.8	Resultados de número de golpes de los ensayos SPT ejecutados
110	Tabla 4.9	Resultados de líneas geofísicas ondas "S"
119	Tabla 5.1	Valores de aceleración máxima obtenidas

ÍNDICE DE FIGURAS

35	Figura 2.1	Estudio de MS y su uso en la planificación territorial, en la planificación de emergencia y en el desarrollo de proyectos (Dipartimento della Protezione Civile, 2008).
41	Figura 3.1	Depósitos marinos en la franja litoral
45	Figura 3.2	Mapa geológico de Trujillo y alrededores
46	Figura 3.3	Escarpe por erosión marina, Sector el Tablazo – Huanchaco
46	Figura 3.4	Escarpe por erosión fluvioaluvial, Huanchaco
50	Figura 3.5	Mapa geomorfológico de Trujillo y alrededores
53	Figura 3.6	Mapa de distribución de epicentros y fuentes de subducción (CISMID, 2011)
54	Figura 3.7	Mapa de distribución de epicentros y fuentes superficiales (CISMID, 2011)
62	Figura 3.8	Mapa de ubicación de calicatas
63	Figura 3.9	Tubo partido y sus posibles dimensiones
66	Figura 3.10	Mapa de ubicación de ensayo de penetración estándar (SPT)
68	Figura 3.11	Mapa de ubicación de ensayos penetración dinámica ligera (DPL)
70	Figura 3.12(a)	Perturbación típica de una onda P. (b)

72	Figura 3.13	Perturbación típica del paso de una onda S. Reflexión y refracción de las ondas sísmicas al viajar por el subsuelo (ley de Snell).
72	Figura 3.14	Tipo de deformación elástica sufrida por el terreno al paso de una onda superficial tipo Love (tomada de Martínez-Pagán (2007)).
73	Figura 3.15	Tipo de deformación elástica sufrida por el terreno al paso de una onda superficial tipo Rayleigh (tomada de Martínez-Pagán (2007)).
74	Figura 3.16(a)	Dispersión de ondas Rayleigh en medios heterogéneos. (b) Concepto de dispersión en la transmisión de ondas Rayleigh.
75	Figura 3.17	Ejemplo de análisis (a) registro de las ondas superficiales; (b) extracción de las curvas de dispersión del modo fundamental y de los modos superiores; (c) modelo de velocidad de cizalla vs. profundidad.
76	Figura 3.18	Mapa de ubicación de los ensayos geofísicos (MASW)
113	Figura 5.1	Mapa de microzonificación geotécnica
115	Figura 5.2	Mapa de isoperíodos
118	Figura 5.3	Mapa de microzonificación sísmica

ÍNDICE DE FOTOGRAFÍAS

61	Foto 3.1	Excavación de calicata realizada por SL DE INGENIERIA EIRL en la Av. Prolongación Santa – Trujillo
61	Foto 3.2	Excavación de calicata realizada por SL DE INGENIERIA EIRL en la Av. Prolongación Gonzales Prada – Urb. Santa María V Etapa – Trujillo
64	Foto 3.3	Ensayo de penetración estándar (SPT) realizado por la UPAO en el Jr. Independencia – Centro histórico de Trujillo



INTRODUCCIÓN

1.1 ANTECEDENTES

1.1.1 Antecedentes internacionales

Para propósitos de microzonificación por ensayos geofísicos (**Urrego Montero, 2016**) presenta resultados sobre el análisis del ruido sísmico ambiental asociado a la implementación de dos arreglos temporales en la ciudad de Bogotá, con el fin de caracterizar unidades estratigráficas recientes. Fueron desplegados dos arreglos de acelerómetros triaxiales de alto rango dinámico que adquirieron información continua por aproximadamente un mes con un arreglo asimétrico (distancias entre estaciones oscilando entre 1,5 km y 3,7 km), y de una semana con un arreglo simétrico circular (distancias radiales entre 5 – 20 m).

Los análisis sugieren una dependencia inversa entre los coeficientes de autocorrelación con la distancia y los niveles de ruido antrópico. En términos del perfil geotécnico de las unidades estudiadas, encontramos contrastantes resultados que sugieren variaciones laterales de las unidades geotécnicas. Se calculó la función de transferencia para cada estación de donde se obtuvieron los periodos fundamentales para cada una, estos periodos fundamentales oscilan entre 0,85 s y 4,82 s. Aplicando un método determinístico de interpolación se obtuvo un mapa de isoperiodos para una zona piloto en la ciudad de Bogotá como un primer acercamiento al problema de microzonificación sísmica.

Finalmente se generaron dos perfiles de velocidad de la onda S en la estación ZONA3ST7, uno utilizando una estación y el método lineal equivalente, y otro perfil utilizando el arreglo circular simétrico y la metodología SPAC.

(Mendoza Santa María, 2015) El desarrollo de la investigación consistió en la aplicación de ensayos de refracción sísmica y de análisis multicanal de ondas superficiales (MASW por sus siglas en inglés) los cuales permiten el estudio de ondas sísmicas a través de una inducción de energía artificial.

Estos ensayos permiten obtener los módulos elásticos del subsuelo hasta una profundidad máxima de 30 metros, con la finalidad de determinar parámetros de soporte para la edificación de torres de aeroturbinas generadoras de energía.

La metodología consistió en un reconocimiento geológico de campo y la aplicación de los dos ensayos sísmicos, en los cuales se generó una señal sísmica inducida por medio de una liberación de energía, produciendo una deformación en el terreno que fue registrada a través de geófonos y procesada con el software SeisImager por medio de un ordenador.

A través del proceso de investigación se concluyó que los ensayos sísmicos permiten caracterizar las propiedades elásticas dinámicas del suelo con valores variables a diferentes profundidades en cada sitio de cimentación, lo cual indica variaciones leves en las propiedades físicas del material geológico en el subsuelo.

(García & López Palacios, 2014). En este estudio se ha seleccionado la ciudad de Managua, capital de Nicaragua, por ser la zona más vulnerable a eventos sísmicos. Esta zona es afectada por dos fuentes sísmicas principales que son la zona de subducción y el sistema de fallas locales. Debido a estas fallas Managua tiene una alta probabilidad de experimentar terremotos frecuentemente como fue la experiencia en el caso de los tres últimos terremotos ocurridos en 1931 y 1972 y el de abril del 2014 producidos por las fallas locales.

Particularmente en este trabajo se pretende realizar un estudio de microzonificación sísmica en el sector noreste del área urbana de la ciudad de Managua, con el fin de definir el comportamiento dinámico de los suelos a través de métodos que nos ayuden a definir los efectos locales que presentan los suelos superficiales en el área de estudio, así como la medición de ondas de corte Vs. Esta investigación se llevó a efecto utilizando los métodos de ruido ambiental, SPAC y MASW, así como programas actualizados y empleando información geotécnica confiable. Los resultados de este estudio serán de suma importancia para una correcta planificación del uso de los terrenos y el diseño de la estructura según la respuesta sísmica que presente cada sitio de la zona de estudio.

Los principales resultados fueron los mapas de microzonificación que muestran las diferentes zonas del área de estudio. Esta investigación pretende aportar información confiable que se puede complementar con estudios antes realizados, para que las autoridades competentes la implementen con el objetivo de reducir el riesgo sísmico en que se encuentra nuestro país y principalmente la capital Managua.

(Humire Guarachi, 2013). Existen métodos geofísicos no invasivos que permiten inferir las propiedades dinámicas de un sitio. Los métodos sísmicos basados en ondas superficiales son comúnmente usados para determinar las propiedades elásticas de los suelos, pero al ser métodos indirectos existe un grado de incertidumbre importante que requiere ser estudiado.

El principal objetivo de esta investigación es estudiar la aplicación del análisis multi-

canal de ondas superficiales en sus variantes activa y pasiva, para obtener el perfil de velocidades de ondas de corte en diferentes tipos de suelos. El análisis espectral frecuencia-número de onda ($f-k$) y el método de autocorrelación espacial (SPAC) son utilizados para evaluar las propiedades dispersivas de cada sitio, mientras que el algoritmo del vecindario es usado para resolver el problema inverso asociado y así obtener el perfil de velocidades de ondas de corte.

Esta investigación tiene tres focos: estudiar el uso de diferentes fuentes en ensayos activos, estudiar las propiedades geométricas de los arreglos de geófonos en mediciones pasivas y la combinación de los resultados obtenidos con ambas técnicas. Los resultados definirán recomendaciones para la aplicación de este método para diferentes clases sísmicas de suelos. Finalmente, se busca aplicar la metodología desarrollada en esta investigación a un estudio de microzonificación sísmica del norte y poniente de Santiago.

1.1.2 Antecedentes nacionales

(Sifuentes Jiménez, 2012). Los estudios de microzonificación geotécnica sísmica consisten en la división de un territorio urbano en zonas geográficas, clasificadas según su respuesta frente a un evento sísmico, y expuestas en un mapa. Estos mapas deben ser documentos fáciles de interpretar y aplicar en planes de uso del suelo para el desarrollo urbano y la reducción de desastres, disminuyendo costos de construcción.

El distrito de La Molina y la ciudad de Lima, en general, están expuestos a un alto nivel de peligro sísmico. Los sismos principalmente son producto de la alta actividad que genera la subducción de la Placa de Nazca debajo de la Placa Sudamericana, cuyos bordes convergen a pocos kilómetros del litoral peruano. El distrito de La Molina, que se encuentra ubicado al sureste de la ciudad de Lima, debido a sus características geomorfológicas y sus tipos de suelos presenta un comportamiento sísmico particular. La información sísmica obtenida en este distrito durante terremotos pasados muestra que las intensidades sísmicas registradas son mayores que las registradas en otras zonas de la ciudad de Lima.

Se elaboró la microzonificación geotécnica sísmica del distrito de La Molina analizando información relacionada a la mecánica y dinámica de los suelos representada en la microzonificación geotécnica y las curvas de isoperiodos, respectivamente. Se realizaron calicatas, ensayos de microtrepidaciones, ensayos MASW y arreglos de microtrepidaciones para evaluar las características mecánicas y dinámicas de los suelos. Se realizó un análisis unidimensional de amplificación sísmica, resultando en funciones de transferencia del suelo y espectros de respuesta en superficie.

(Díaz Pardave, 2010). Según los estudios básicos de geología y geomorfología, se identificó el origen de los depósitos de suelos y sus formaciones en el lugar. Para la evaluación de la sismicidad de la zona y la determinación de escenarios sísmicos se llevaron a cabo análisis de peligro sísmico mediante métodos probabilísticos y los

perfiles de ondas S, distribuidos en toda la ciudad de Pisco. Esto permitió trazar los espectros de respuesta en la superficie, este espectro se comparó con los parámetros que define la norma sismorresistente actual.

El estudio geotécnico consistió en realizar estudios de mecánica de suelos y los ensayos de campo (calicatas, SPT, etc.) para densificar con los ensayos en el área de estudio. Toda esta información fue plasmada en mapas con herramientas de SIG, elaborándose mapas de distribución de suelos; también se hizo el análisis de capacidad portante en estos suelos, con estos resultados se pudo trazar el plano de microzonificación geotécnica sísmica. La caracterización dinámica de los suelos se llevó a cabo realizando mediciones de microtrepidaciones y ensayos de medición de ondas superficiales en arreglos multicanales (MASW) en toda el área de estudio y análisis de respuesta dinámica por efectos de sitio en la ciudad de Pisco. Los valores de los parámetros dinámicos (períodos) se plasmaron en los mapas y se agruparon zonas por intervalos de períodos, llegándose a realizar una microzonificación según el comportamiento dinámico del suelo.

Finalmente, se realizó la microzonificación geotécnica sísmica en forma integral, reuniendo los resultados de los mapas de distribución de suelos y de comportamiento dinámico con la geología y la geomorfología del lugar. Se llegó a delimitar cuatro zonas que definen el comportamiento del terreno según la clasificación del código de diseño sismorresistente E-030.

(Calderón Cahuana, 2006). Se realizaron los estudios básicos de geología y geomorfología, identificándose el origen de los depósitos de suelos y las formaciones que se observan en el lugar. Para la evaluación de la sismicidad de la zona y la determinación de escenarios sísmicos se llevaron a cabo análisis de peligro sísmico mediante métodos probabilísticos. Se introdujo una ley de atenuación que permitió trazar los espectros de peligro uniforme en superficie. Este espectro se comparó con los parámetros que define la norma sismorresistente actual.

El estudio geotécnico consistió en realizar los estudios de mecánica de suelos y realizar los ensayos de campo (calicatas, SPT, etc.) en los lugares donde no se contaba con información. Toda esta información fue plasmada en mapas con herramientas de SIG, elaborándose mapas de distribución de suelos. También se hizo el análisis de la capacidad portante en estos suelos, con estos resultados se pudo trazar el plano de zonificación geotécnica sísmica. La caracterización dinámica de los suelos se llevó a cabo realizando mediciones de microtrepidaciones en toda el área de estudio y análisis de respuesta dinámica por efectos de sitio en los arenales del extremo norte del distrito. Los valores de los parámetros dinámicos (períodos) se plasmaron en los mapas y se agruparon zonas por intervalos de períodos, llegándose a realizar una zonificación según el comportamiento dinámico del suelo.

Finalmente, se realizó la zonificación geotécnica sísmica en forma integral, conjugando los resultados de los mapas de distribución de suelos y de comportamiento dinámico con la geología y la geomorfología del lugar, llegándose a delimitar 04

zonas que clasifican el comportamiento del terreno conforme al código de diseño sismorresistente.

1.1.3 Antecedentes locales

El distrito de Trujillo actualmente no cuenta con estudios de microzonificación sísmica, vulnerabilidad y riesgo sísmico. Así en el presente trabajo de investigación se realizaron diversos ensayos para densificar la mayor cantidad de puntos de exploración, abarcar la totalidad del área en estudio y obtener planos más a detalle (utilizando sistemas de información geográfica, GIS), actualizados con las normas vigentes.

1.2 MOTIVACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

La Tierra está sometida 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 realizar este estudio se determinaron las características geotécnicas y dinámicas del distrito de Trujillo mediante la ejecución de ensayos a nivel del suelo, para luego poder identificar qué zonas son más 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 reajuste de ésta. Este reajuste 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 algunas ciudades del Perú son los de microzonificación 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 mapas podemos realizar un mejor planeamiento y asegurar a 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 Trujillo, las condiciones

locales de sitio definirán la respuesta dinámica de este. Por ello será indispensable realizar los estudios de microzonificación sísmica.

1.4 JUSTIFICACIÓN

En los últimos años en el Perú 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 ha registrado más de 94 movimientos telúricos alcanzando magnitudes entre 4 y 6 grados Richter, los cuales no han producido mayores daños. Se espera, sin embargo, 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 medida 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 Trujillo, considerando el peligro sísmico, la geología, la geotecnia y la dinámica de los suelos mediante exploraciones directas tal es el caso de calicatas y sondajes, así como realizando ensayos geofísicos de 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 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 qué lugares del distrito de Trujillo son más sensibles frente a la ocurrencia de un sismo; 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

MICROZONIFICACIÓN SÍSMICA DEL DISTRITO DE TRUJILLO.

1.6.2 Objetivos específicos

- Revisar antecedentes, estudios previos que nos permitan dar un panorama general de la zona de estudio.
- Utilizar métodos experimentales para obtener perfiles del suelo debidamente caracterizados, que sean representativos de la zona de estudio.
- Utilizar métodos numéricos que permita la modelación de la respuesta en superficie de los perfiles del suelo, previa selección de las formas de onda de entrada.
- Determinar el estudio de peligro sísmico del distrito de Trujillo.
- Obtener la estratigrafía del suelo mediante exploraciones de calicatas y sondajes en los distintos puntos de exploración para así definir el comportamiento mecánico del suelo e identificar áreas en la microzonificación geotécnica.
- Realizar mediciones de ensayos MASW (ensayos de ondas superficiales en arreglos multicanales) para determinar las características dinámicas del suelo.
- Obtener factores de amplificación sísmica y espectros de diseño para las diferentes zonas determinadas en la microzonificación geotécnica sísmica.



MARCO TEÓRICO

2.1 MÉTODOS EXPERIMENTALES

2.1.1 Empleo del ruido sísmico ambiental como excitación sísmica

El empleo del ruido ambiental como fuente de excitación sísmica (habitualmente como fuente de ondas superficiales) es una opción muy atractiva que ha cobrado interés creciente en las últimas décadas. Al contrario que los terremotos, el ruido ambiental tiene la ventaja de generarse de forma continua y comparado con una fuente artificial de pequeña intensidad tiene habitualmente un rango espectral más amplio. Sin embargo, su utilización también presenta aspectos problemáticos, como la incertidumbre en la ubicación y características de las fuentes, lo que hace necesario sistemas de adquisición y de análisis de datos más complejos. Algunos de estos métodos son:

- Técnica de Nakamura, H/V o HVSR (Horizontal-to- Vertical Spectral Ratio).
- El método de autocorrelación espacial (SPAC) en sus diferentes variantes (Aki, 1957, 1969; Okada and Matsushima, 1989; Bettig et al., 2001; Köhler et al., 2007).
- El método f-k (frecuencia-número de onda) y sus variantes (p. e. Capon 1969).
- Método ReMi (“Refraction Microtremor”, Louie, 2001).
- Otros métodos de análisis de ondas Rayleigh en la componente vertical mediante array circular (Henstridge, 1979; Cho et al. 2006a; Tada et al., 2007).
- Métodos de array circular para ondas Love distintos del 3c-SPAC: métodos “Two radius” (TR, Tada et al., 2006), “Double Ring” (DR, García-Jerez et al. 2006b, 2008a), “Single Circular Array” (SCA, García-Jerez et al. 2008b, 2010), SPAC±L y “Centerless Circular Array for Love waves” (CCA-L, Tada et al., 2009).
- La extracción de funciones de Green entre parejas de estaciones mediante correlación cruzada (Shapiro and Campillo, 2004), que ha sido testada a escala geotécnica por Picozzi et al. (2009).

2.1.2 Método del cociente espectral h/v, hvsr o método de nakamura

La forma más sencilla de obtener información sobre la estructura superficial usando medidas de ruido ambiental consiste en el empleo del cociente entre las amplitudes espectrales de las componentes horizontal y vertical del movimiento. Esta técnica, conocida como técnica de Nakamura, H/V o HVSR (Horizontal-to-Vertical Spectral Ratio) ha sido empleada extensivamente en las últimas décadas, dada su economía en dispositivos y requerimientos logísticos, ya que sólo se necesita obtener un registro en tres componentes del microtremor por cada punto.

El método se conoció por Finn (1991) de los resultados experimentales previamente obtenidos por Nakamura (1989), señalando la potencial utilidad del método en estudios de respuesta local y zonación sísmica. Por ello a esta técnica se la ha conocido como “método de Nakamura”. Sin embargo, la metodología fue propuesta mucho antes en Japón, en trabajos como el de Suzuki (1933), y Nogoshi e Igarashi (1971a y 1971b) (Le Brun et al., 2001; Haghshenas et al., 2008). La técnica ha sido y es aún objeto de controversia en lo relativo a su interpretación física y su utilidad.

Se usa con buenos resultados a partir de registros sísmicos (Lermo y Chávez-García, 1993). Esta técnica se utiliza básicamente con medidas de ruido sísmico, tanto en zonas urbanas como rurales. Las ondas asociadas al ruido sísmico (microtremors) se deben a vibraciones ambientales del suelo excitadas por perturbaciones naturales o artificiales tales como el viento, la lluvia, el oleaje, el paso de los trenes, el tráfico, efectos debidos a la industria tales como las vibraciones de máquinas, etc. Estas perturbaciones constituyen una mezcla de ondas internas y superficiales, y pueden medirse mediante sismómetros de alta sensibilidad. El ruido sísmico constituye una herramienta muy útil para estimar los efectos de la geología superficial en el movimiento sísmico sin la necesidad de disponer de información geológica adicional.

2.1.2.1 Aplicabilidad y limitaciones del método

Para aplicar el método de Nakamura es necesario que la superficie del suelo esté compuesta por una capa de material blando sobre un semi-espacio o una capa más rígida. Este contraste de rigidez es esencial para que haya resonancia, lo que hace que el método del cociente H/V sea apropiado para el estudio de los suelos blandos, ya que éstos presentan grandes contrastes mecánicos con las capas subyacentes (o grandes diferencias en las velocidades de las ondas de cizalla) y, por tanto, se obtienen efectos de resonancia claramente identificables. De esta forma, el cociente espectral entre las componentes horizontales y verticales del movimiento presentará un pico de máxima amplitud para la frecuencia de resonancia (o frecuencia fundamental) del suelo (Delgado et al., 2000a).

Esta técnica permite una buena estimación de la frecuencia de resonancia del suelo en emplazamientos de geología sencilla, compuestos por una superposición de capas sedimentarias horizontales (tales como cuencas sedimentarias). Asimismo permite conocer la morfología del basamento en las zonas donde se carece de

esta información (Lermo y Chávez- García, 1993; Lachet y Bard, 1994; Ibs-von Seht y Wohlenberg, 1999; Delgado et al., 2000a, b).

La amplitud correspondiente a la frecuencia fundamental indica el contraste entre las velocidades de corte del basamento y la capa sedimentaria, y proporciona información sobre los posibles efectos de resonancia producidos durante un terremoto. A mayor amplitud, mayor contraste de velocidades. Sin embargo, dicha amplitud no sólo depende del contraste de velocidades VS, sino también de la distancia y la profundidad de la fuente. Por ello, las amplitudes H/V sólo indican cualitativamente los posibles efectos resonantes (Fäh, 2006).

Numerosos estudios avalan la fiabilidad de los resultados de esta técnica en cuanto a los valores de las frecuencias fundamentales del suelo. Sin embargo, la amplitud del cociente H/V no puede asociarse a las amplificaciones del suelo de forma fiable, lo que ha sido ya constatado en numerosas publicaciones, tanto estudios teóricos como experimentales (Lachet y Bard, 1994; Lermo y Chávez-García, 1994; Cid, 1998; Dimitriu et al., 1998; Goula et al., 1998; Le Brun et al., 2001; Coral, 2002; Haghshenas et al., 2008, por citar algunos). De todas formas, como la amplitud obtenida para la frecuencia fundamental suele ser más baja que la real, se asume al llevarse a cabo una medida que la amplitud real nunca será más baja que la obtenida experimentalmente mediante esta técnica (Bard et al, 2004).

Otra limitación de este método es que sólo proporciona el valor de una sola frecuencia fundamental. Así mismo esta técnica no ofrece demasiada información a frecuencias muy bajas ($f < 0.5\text{Hz}$), correspondientes a estructuras sedimentarias de gran espesor (Lermo y Chávez- García, 1993; Lachet y Bard, 1994; Goula et al., 1998). Por ello, suele recomendarse que los estudios de microzonificación no estén solamente basados en el método de Nakamura, sino que los resultados se comparen con los obtenidos mediante otras técnicas de estudio de efecto de sitio, por ejemplo, los métodos numéricos (Cid et al., 2001).

El método del cociente espectral H/V no es la única técnica experimental para obtener las frecuencias fundamentales del suelo. Existe un método clásico de obtención de las razones espectrales suelo-roca (o método SSR, Standard Spectral Ratio method; Borchardt, 1970), que consiste en tomar registros de sismos (o ruido sísmico) simultáneamente en el emplazamiento de estudio en suelo y en un emplazamiento de referencia en roca y compararlos entre sí. Este método se considera el más fiable para la estimación del efecto de sitio. Sin embargo, no es sencillo de utilizar en zonas urbanas, debido a los costes elevados en la instrumentación, el alto nivel de ruido, la larga duración de los experimentos (que puede ser de varios meses), etc. La técnica de Nakamura, por otro lado, es un buen método para evaluar las frecuencias de resonancia del suelo en zonas urbanas (que pueden variar mucho en distancias cortas), al ser un método rápido y sencillo que necesita solamente de una estación con tres componentes para registrar el ruido sísmico (Lachet y Bard, 1994; Le Brun et al., 2001; Haghshenas et al., 2008). De hecho, es mejor aplicar este método en zonas urbanas que en rurales, ya que, en estas últimas, aunque puedan existir influencias de fuentes de

actividades urbanas, al estar habitualmente alejadas no permiten que se obtengan buenos resultados (Bard et al, 2004).

Un aspecto importante en lo que respecta a la curva HVSR es que, en emplazamientos con presencia de cambios estratigráficos bruscos, con grandes pendientes en profundidad, las curvas obtenidas suelen tener picos fundamentales anchos y pocos agudos, manifestando éstos las frecuencias fundamentales de las estructuras superficiales (cuencas sedimentarias) y de las profundas (lecho rocoso) (Bard et al, 2004). Además, otra peculiaridad es que la presencia de dos picos en una curva denota dos grandes contrastes de impedancia (>4), a distintas profundidades.

En los últimos años se han publicado los resultados del proyecto SESAME (Site EffectS assessment using AMBiental Excitations), llevado a cabo por varios equipos europeos entre 2001 y 2004, y cuyo objetivo era estudiar detenidamente la fiabilidad del método del cociente espectral H/V desde el punto de vista instrumental, numérico y teórico. La conclusión final del proyecto SESAME es que las medidas de ruido sísmico, siempre que se realicen, procesen y analicen con precaución pueden aportar información útil, tanto cuantitativa como cualitativa (aunque limitada) sobre los efectos de amplificación y las condiciones del suelo. Su estudio se recomienda como una herramienta rápida y de bajo coste para estudios de efecto de sitio o microzonificación (Bard, 2008; Chatelain et al., 2008; Haghshenas et al., 2008; Theodoulidis et al., 2008).

2.1.2.2 Consideraciones sobre la composición del ruido ambiental

A pesar de que ha sido objeto de numerosos estudios, actualmente sigue siendo un tema de controversia la composición del ruido (Cornou et al., 2003; Parolai y Galiana-Merino, 2006; Galiana-Merino et al., 2011). Según Bonnefoy-Claudet et al. (2006a), que analizó ruido sintético registrado en un array virtual, la composición de éste depende al menos de dos factores:

- » De la posición de las fuentes (lejanas o cercanas, superficiales o profundas). Bonnefoy et al. (2004) extrajeron las siguientes conclusiones referente a esto:
 - Si la fuente es profunda, estando localizada bajo la cuenca sedimentaria, el pico H/V es debido a la resonancia de las ondas S.
 - Si la fuente está dentro de la cuenca sedimentaria (fuente superficial) y está a una distancia considerable (lejana) con respecto al punto de medida, la curva H/V tiene dos picos. Uno es debido al modo fundamental de Rayleigh y a la resonancia de las ondas S, mientras que el otro se debe a las ondas internas o de cuerpo.
 - Si la fuente está cercana y dentro de la cuenca sedimentaria, H/V muestra un pico debido a la elipticidad del modo fundamental de Rayleigh y a las ondas de volumen refractadas en el contacto entre la cuenca sedimentaria y el sustrato rocoso.

- En la práctica, las fuentes superficiales y locales dominan con respecto a las profundas y lejanas, haciendo que los picos H/V generalmente se deban principalmente a la influencia de las ondas Rayleigh y no a la de las S. Esto no quiere decir que las ondas S no intervengan, sino que no son la causa principal.

	Contraste de impedancia	Polarización horizontal del modo fundamental de Rayleigh	Fase de Airy del modo fundamental de Love	Resonancia de ondas S
Multicapas Monocapa	Débil	No	No	Sí
	Moderado	No	Sí	Sí
	Fuerte	Sí	Sí	Sí
	Débil	No	No	Sí
	Moderado	Sí/No	Sí/No	Sí
	Fuerte	Sí	Sí	Sí

Tabla 2.1 Síntesis acerca de las hipótesis del origen de pico H/V en función del contraste de impedancia y del tipo de modelo (Bonneyoy, 2004).

- » De la estructura del sitio (del contraste de impedancia entre la posible capa sedimentaria y el basamento y de su frecuencia de resonancia). Si el contraste es débil (cuadro 2.1), el pico H/V no coincide con la frecuencia de la fase de Airy de las ondas Love, por lo que se deberá únicamente a la resonancia de las ondas S. Si el modelo bicapa es de contraste moderado, la frecuencia de pico H/V no coincide con la de elipticidad, pero sí con la de las ondas Love; es decir, en este caso, el pico se debe a las ondas Love y/o puede estar influenciado por la resonancia de las ondas S. Es decir, no hay una solución única para el origen del pico H/V (Bonneyoy, 2004).

Según García Jerez (2010), atendiendo a lo expuesto, muchos estudios experimentales podrían estar en buena medida sesgados ya que la mayoría están realizados con estaciones situadas en roca y relativamente protegidas del ruido urbano (de fuentes cercanas). Esta variabilidad en la composición podría ser la causa de la falta de consenso general.

2.1.3 Técnicas Array

En los últimos años se ha incrementado el uso del ruido ambiental en el campo de la ingeniería sísmica para inferir el perfil de las velocidades de cizalla frente a la profundidad en un sitio dado. La principal hipótesis que se debe asumir para poder emplear estos ambientes de vibración es que las ondas que predominan en tal campo de ondas son las superficiales (Richwalski et al., 2007; Endrun et al., 2010; Parolai et al., 2010). Esta asunción es fundamental, ya que hay que tener en cuenta que, en

medios verticalmente heterogéneos, las ondas superficiales son dispersivas, es decir sus velocidades varían en función de la frecuencia, la cual a su vez va a controlar la profundidad de penetración (Aki and Richards, 2002). La dispersión como propiedad va a permitir obtener la velocidad de las ondas de cizalla (V_s) frente a la profundidad a través de un proceso de inversión (Herrmann 1994, Wathelet et al. 2004).

Como consecuencia de que las propiedades de las fuentes que generan la excitación del suelo son generalmente desconocidas, la interpretación del ruido ambiental registrado se lleva a cabo generalmente en dos pasos.

En el primero, la velocidad de las ondas para una frecuencia dada es derivada del procesamiento simultáneo de registros de movimiento del suelo en varias estaciones (array). La aproximación común usada para obtener la curva de dispersión de las ondas superficiales (generalmente expresada como *slowness* ($1/\text{velocidad}$) frente a la frecuencia) de las señales recogidas sin filtrar puede ser acometida mediante varias técnicas que se describen someramente a continuación.

La representación frecuencia-número de ondas (f - k) (Capon, 1969; Lacoss et al., 1969) permite la identificación de direcciones preferentes en las fuentes de ruido ambiente y también ayuda a distinguir entre los diferentes modos presentes en el campo de ondas. Dentro de esta técnica existen dos métodos: el *beam-forming* (BF) (Lacoss et al., 1969) y el *maximum-likelihood* (ML) o *high-resolution* (HR) (Capon, 1969). El método ReMi, introducido por Louie (2001), es una versión extendida del primero, que permite mayor poder de resolución, aunque también conlleva un mayor esfuerzo computacional y es más sensible a errores en la medición (Capon, 1969; Asten y Henstridge, 1984; Okada, 2003; Parolai et al., 2007). Este método ha mostrado la viabilidad del uso de equipos de reflexión/refracción sísmica para el registro de ruido ambiente en entornos urbanos.

La técnica SPAC (Aki 1957, Roberts and Asten 2004) es un método de auto-correlación espacial que asume que el campo de ondas está conformado por paquetes de ondas que llegan arbitrariamente al array desde cualquier dirección. Muchos estudios han sido desarrollados con este método (ej., Horike, 1985; Betti et al., 2001; Chávez-García et al., 2005, 2006 y 2007; Claprod y Asten, 2010). Una modificación de este método, la autocorrelación espacial extendida (ESAC), permite geometrías en array que difieren de la circular con estación central, requerida por el método original (Ohori et al., 2002; Parolai et al., 2006 y 2007; D'Amico et al., 2008). Con esta técnica se pueden analizar mayores profundidades utilizando el mismo tamaño de array, llegando a alcanzar incluso longitudes de onda de 10 a 20 veces mayores que la mayor distancia entre estaciones (Okada, 2003).

Estos métodos son particularmente apropiados para aplicaciones urbanas, ya que la curva de dispersión obtenida posee una gran banda de frecuencias, gozando así de la ventaja de no requerir fuentes artificiales.

En el segundo paso se invierte la curva de dispersión obtenida anteriormente para obtener el perfil de V_s (y eventualmente el de la velocidad de las ondas P, V_p) frente a

la profundidad, como en los métodos clásicos de fuentes-activas (Stokoe et al. 1989, Malagnini et al. 1995). Debido a la incertidumbre de los datos y a la no linealidad del problema, la solución a la inversión de la curva de dispersión no es única. Se han desarrollado diferentes metodologías, tales como la inversión linealizada (Nolet, 1981; Tarantola, 1987), el recocido3 simulado “simulated annealing” (Kirkpatrick, 1983), los algoritmos genéticos (Sambridge y Drijkoningen, 1992; Yamanaka e Ishida, 1996) o el algoritmo de máxima vecindad “Neighborhood algorithm” (Sambridge, 1999), que permite la investigación del espacio paramétrico completo y la introducción de información previa a través de un proceso racional. Entre los diferentes métodos, los tres últimos permiten un amplio rango de exploración analizando muchas opciones en paralelo con cada iteración, partiendo de los modelos que mejor se ajustan a los datos. Esto permite investigar el espacio global de parámetros (V_s , V_p , espesores de capas, densidad, etc.) con el fin de estimar los perfiles que proporcionan un menor error respecto a la curva de dispersión empírica. Por este motivo se han convertido en los métodos mayoritariamente utilizados por la comunidad sismológica, especialmente los dos últimos (Picozzi, 2005; Whatelet, 2005, 2008). Debido al número limitado de parámetros empleados en la inversión de las ondas superficiales, estas técnicas suponen una gran alternativa frente a los métodos linealizados.

Como en todos los métodos de ondas superficiales, la geometría obtenida es puramente unidimensional, lo que implica que estas técnicas no son apropiadas cuando existen fuertes variaciones laterales.

Inicialmente, la mayoría de investigaciones array se centraban en la caracterización de las ondas superficiales de tipo Rayleigh en su modo fundamental de vibración (Scherbaum et al., 2003; Parolai et al., 2007; Mundepe et al., 2010) o incluyendo modos superiores para mejorar el proceso de inversión y obtención de los perfiles V_s (Xia et al., 2003; Parolai et al., 2006; Brooks et al., 2009). Recientemente, muchos estudios también han extendido su análisis a las ondas Love, estimando su contribución al cálculo de la curva de dispersión (Tada et al., 2009; García-Jerez et al., 2010; Endrun et al., 2010). Luego, es posible inferir una estructura de velocidades local o modelo de capas de terreno con distintas velocidades de onda S, a partir de la inversión de dicha curva de dispersión, obteniendo lo que se conoce como perfil de velocidades de onda S o V_s (Cornou et al., 2003; Kind et al., 2005).

Por otro lado, en el campo de las medidas en array también se está investigando en torno al efecto de las diferentes configuraciones de las estaciones desplegadas, así como su posible optimización en términos de geometría y número de estaciones (Wathelet, 2005; Wathelet et al., 2005 y 2008; Asten, 2006; Okada, 2006; Claprod y Asten, 2010). Así mismo resulta igualmente interesante para la comunidad científica el estudio del método desde un punto de vista económico, porque en ocasiones no es fácil disponer de un número suficiente de estaciones de la frecuencia natural deseada. De ahí que se investigue sobre el propio efecto de los sensores en las medidas y se busquen soluciones para ampliar lo máximo posible el rango de frecuencias utilizables, en especial a bajas frecuencias (Strollo et al., 2008a; Galiana-Merino et al., 2011a).

2.1.3.1 Método F-K convencional (CVFK)

El análisis frecuencia-número de onda o f-k, (Lacoss et al. 1969, Kvaerna and Ringdahl 1986) asume la existencia de ondas planas horizontales que viajan a través de un array de sensores extendido sobre una superficie. Considerando una onda con frecuencia f , una dirección de propagación y una velocidad (o su equivalente en k_x y k_y (números de ondas a lo largo de los ejes horizontales x e y , respectivamente)), los tiempos relativos de llegada son determinados en todos los sensores, recalculándose de esta forma las velocidades de fase según los tiempos de retraso. Así, el array de salida es obtenido a partir de la suma de las señales modificadas en el dominio de la frecuencia. Si efectivamente las ondas viajan con una dirección dada y con una velocidad, todas las contribuciones se apilarán constructivamente, obteniéndose un alto array de salida. Considerando que al array de salida dividido entre el poder espectral se le llama semblanza (Lacoss et al. 1969, Asten and Henstridge 1984), la localización de los máximos de semblanza en el plano k_x - k_y , proporciona una estimación de la velocidad y del azimut de las ondas que viajan a través del array

Además, el método f-k permite la identificación de direcciones preferentes en las fuentes de ruido ambiente y también ayuda a distinguir entre los diferentes modos de vibración presentes en el campo de ondas. Su máxima capacidad de análisis en términos de longitud de onda ha sido empíricamente considerada como de dos a tres veces la máxima distancia entre estaciones (Okada, 2003; Parolai et al., 2007).

2.1.4 Inversión de las curvas H-V o HVSR

Puesto que la técnica HVSR proporciona un valor aproximado del factor de amplificación del emplazamiento para las ondas S incidiendo verticalmente, el espectro H/V de ruido ambiente también puede ser empleado para estimar el perfil local V_s . Así, basándose en observaciones en array (Tokimatsu y Miyadera, 1992) revelaron que las variaciones de las razones H/V de ruido ambiente con la frecuencia se corresponden con la elipticidad del modo fundamental de las ondas Rayleigh para el perfil V_s en el emplazamiento. Usando estas características varios estudios han mostrado que la variación de espesor de las capas de sedimentos profundos se puede estimar conociendo los valores de V_s en las correspondientes capas, y haciendo que las frecuencias pico y valle del espectro H/V del modo fundamental de las ondas Rayleigh se ajusten con las correspondientes al ruido ambiente observado en el emplazamiento (ej. Yamanaka et al. 1994; Arai y Tokimatsu, 2004, 2005).

El programa referido en el apartado anterior, DINVER, ofrece la posibilidad de invertir las curvas H-V o HVSR mediante su ajuste a curvas de elipticidad del modo fundamental de las ondas Rayleigh a través del algoritmo de neighbourhood y calculadas a partir de un espacio paramétrico propuesto para el emplazamiento de la medida llevada a cabo.

Más recientemente, varios estudios han demostrado que la inversión conjunta de las curvas de dispersión y H/V puede contribuir a mejorar considerablemente

la estimación de los perfiles de velocidad, sobre todo en las capas más profundas (Parolai et al., 2005; Picozzi et al., 2005, 2007, Richwalski et al., 2007).

2.2 SIMULACIÓN NUMÉRICA

Cuando se tiene restricciones para la aplicación de métodos experimentales de efectos sísmicos locales en un emplazamiento, en especial en regiones de sismicidad moderada, se suele recurrir a los métodos numéricos. A partir de un acelerograma en roca y los parámetros característicos de las distintas columnas de suelo, se obtienen las funciones de transferencia entre dos capas cualesquiera de dicha columna, así como la amplificación del suelo en términos de intensidad.

Los métodos numéricos constituyen una herramienta valiosa para analizar los efectos locales del suelo, en especial porque sirven para simular el movimiento del suelo durante la ocurrencia de un terremoto con unas características determinadas, y porque se pueden realizar estudios con los diversos parámetros involucrados (frecuencia fundamental, amplificación, espectro de respuesta, etc.) sobre emplazamientos de topografía irregular, cuencas sedimentarias, etc.

2.2.1 Simulación numérica 1D. Método lineal equivalente

En este estudio se ha empleado el programa Deepsoil v5.1, como técnica numérica de modelización de la propagación de ondas S en una columna vertical de suelo (modelo 1D) considerando un modelo de comportamiento del suelo denominado “lineal equivalente”.

El programa Deepsoil es especialmente válido para analizar columnas de suelo de gran espesor, más de 150 m, permitiendo llevar a cabo los cálculos mediante análisis no-lineales en el dominio del tiempo o análisis lineales equivalentes en el dominio de la frecuencia. Para este proyecto se ha empleado el método lineal equivalente, el cual calcula la respuesta en un sistema unidimensional compuesto por capas homogéneas y viscoelásticas, de extensión horizontal infinita, que son sometidas a la propagación de un tren de ondas de cizalla en dirección vertical ascendente. Cada capa del sistema está definida por los valores propios del módulo de cizalla (G), amortiguamiento (β), densidad (ρ) y espesor (h).

2.3 MICROZONIFICACIÓN SÍSMICA

2.3.1 Generalidades

El hecho de determinar con exactitud cuándo y dónde se va a producir un terremoto es todavía actualmente imposible, aunque mediante un detallado análisis del medio físico se pueden reducir considerablemente los daños durante el sismo. Este análisis se basa en una planificación territorial y urbana del área objeto del estudio mediante zonificación sísmica regional y microzonificación sísmica (mapas de microzonificación) y en la adopción de medidas de construcción sismorresistente. La

utilidad de proyectos de zonificación sísmica estriba en que gracias a ellos se puede planificar y elaborar normativas, determinar diseños sismorresistentes y distribuir adecuadamente los usos del suelo.

La microzonificación sísmica (MS) está diseñada para reconocer a una escala lo suficientemente grande (a escala municipal o sub-municipal) las condiciones o efectos locales en un área urbana o rural, que pudieran alterar considerablemente las características del movimiento sísmico esperado y propiciar así daños permanentes en edificios o infraestructuras, además de los perjuicios sociales y económicos aparejados. En esencia, la información derivada de una MS se plasma mediante un mapa del territorio en el que se definen las siguientes zonas (Dipartimento della Protezione Civile, 2008):

- Zonas en las que el movimiento sísmico no se alteraría con respecto al esperado en condiciones ideales de roca rígida y plana, siendo, por lo tanto, el movimiento esperado equivalente al proporcionado por los estudios de peligrosidad de la zona (norma sismorresistente).
- Zonas en las que cambia el movimiento sísmico con respecto al esperado en condiciones ideales de roca rígida y plana, a causa de las características litoestratigráficas y geomorfológicas, y del comportamiento geomecánico del terreno.
- Zonas donde se reconocen o son susceptibles ante fenómenos de activación de la deformación permanente en el terreno, inducidos o provocados por el terremoto (inestabilidad de laderas, licuefacción, fallamiento superficial, asentamiento diferencial, etc.).

En definitiva, la MS proporciona una base sobre el conocimiento del riesgo sísmico local en un área, permitiendo establecer jerarquías de peligro útiles para la planificación de intervenciones orientadas a la reducción del riesgo sísmico a diversas escalas.

De acuerdo a los diferentes contextos y diferentes objetivos de las MS que se elaboren, se pueden distinguir tres niveles de detalle, desde el nivel 1 al nivel 3 (Figura 2.2):

- **El nivel 1** es un nivel introductorio, consistente en un inventario de datos preexistentes, necesarios para la subdivisión del territorio en microzonas cualitativamente homogéneas con respecto a los fenómenos descritos anteriormente, y para así poder aplicar posteriormente el nivel 2 o 3, según sea el caso.
- **En el nivel 2**, con el objetivo de compensar la incertidumbre presente en el nivel 1 con un conocimiento más profundo, se introducen elementos cuantitativos asociados a las zonas homogéneas. Es decir, proporciona una cuantificación numérica mediante métodos simplificados (ábacos y leyes empíricas) de la alteración local del movimiento sísmico en la superficie (áreas estables

susceptibles a la amplificación local) y de los fenómenos de deformación permanente (áreas susceptibles a la inestabilidad).

- **El nivel 3** es específico para mapas de microzonificación temáticos o para estudios detallados de áreas concretas. Se aplica dicho nivel en los siguientes casos:
 - En áreas estables y susceptibles a la amplificación local, cuando su complejidad geológica y geotécnica inherente, imposibilita su resolución mediante el uso de ábacos, o cuando la particular extensión de dicha zona hace que sea conveniente llevar a cabo un exhaustivo análisis de detalle, o cuando se vayan a acometer en tal emplazamiento obras de particular importancia.
 - En áreas susceptibles a inestabilidades particularmente severas, debido a la complejidad del fenómeno y/o difusión areal, no pudiéndose llevar a cabo su resolución mediante el uso de metodologías sencillas y directas.

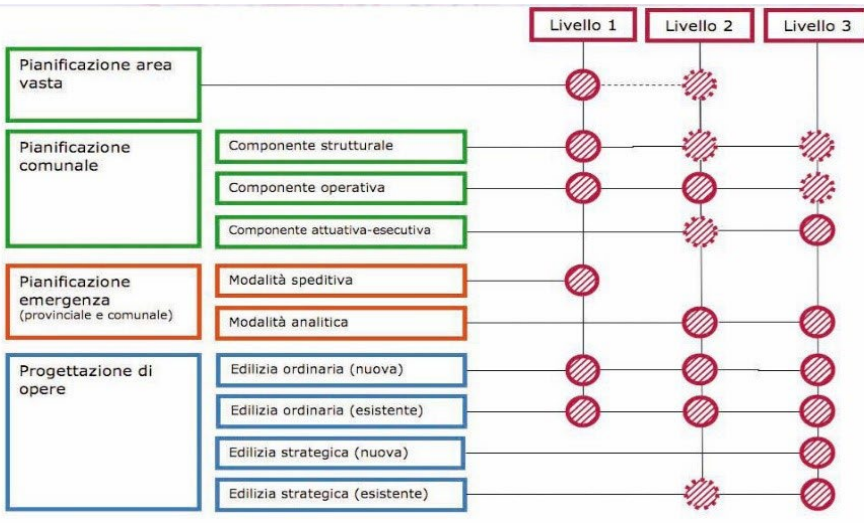


Figura 2. 1 Estudio de MS y su uso en la planificación territorial, en la planificación de emergencia y en el desarrollo de proyectos (Dipartimento della Protezione Civile, 2008).

En los planes de ordenación del territorio urbano, las MS son de una importancia fundamental ya que:

- Permiten discernir qué áreas son las más idóneas para nuevos asentamientos urbanos.
- Definen el tipo de intervención a acometer en un área determinada.
- Programan las investigaciones y los niveles de detalle que se deben llevar a cabo en un área.
- Establecen la orientación y la modalidad de la intervención procedente en un área urbana.
- Establecen prioridades de intervención.

En la planificación de las emergencias, tanto municipales como provinciales, las MS permiten una mejor detección y conocimiento de los elementos estratégicos para un plan de contingencia y, en general, de los recursos de protección civil.

El conocimiento de los posibles efectos locales provocados por un terremoto en un área permiten:

- Elegir las zonas e instalaciones de emergencia, y los edificios estratégicos en las áreas estables.
- Identificar las particularidades “críticas” de la infraestructura vial y de los servicios y obras significativas, en caso de caída. Para estos casos será necesario elaborar evaluaciones específicas de seguridad.

2.3.2 Principios y recogida de datos en la Microzonificación Sísmica

Para la elaboración de una MS es esencial la recogida de datos preexistentes de la zona. Dichos datos proceden de diversas disciplinas como la geología, geomorfología, geología, tecnología, ingeniería geotécnica, geofísica e ingeniería de la estructura, y permiten la construcción de un modelo del subsuelo.

La modelización del subsuelo es el resultado de un proceso iterativo e interactivo destinado a la reconstrucción de:

- Sus unidades litológicas superficiales y sus geometrías.
- Su grado de fracturación.
- Su relación con las unidades del sustrato.
- Sus características geotécnicas y geofísicas.

El objetivo del estudio que se realice, el nivel de detalle y la disponibilidad económica van a determinar la elección de la adquisición de la base de datos. Las escalas habituales de las cartografías de MS varían entre 1:5.000 - 1:10.000. En general, la escala de 1:5.000 se emplea para estudiar zonas particularmente pequeñas.

Almacenamiento de datos preexistentes

Es muy importante verificar y almacenar adecuadamente los datos preexistentes, por lo que se recomienda:

- Establecer un sistema adecuado para el almacenamiento y gestión de datos espaciales (SIG).
- Evaluar la fiabilidad de los datos.
- Establecer un sistema de monitoreo para el almacenamiento de datos.

Campañas de campo

El volumen de datos necesario para acometer la MS de un área determinada dependerá de la homogeneidad de las características geológicas, geotécnicas y geofísicas de la zona.

Datos cartográficos

Adicionalmente a los mapas básicos (cartográficos o aerofotogramétricos a escala municipal), se emplean otros mapas temáticos de referencia como mapas geológicos, mapas geológicos-técnicos, mapas geomorfológicos y cartografías de movimientos de ladera.

Datos de peligrosidad básica

Los estudios de peligrosidad básica son realizados generalmente a escala nacional/regional por expertos en la materia (norma sismorresistente). Estos estudios requieren de experiencia demostrada en el tratamiento y la evaluación de los catálogos de los terremotos, las relaciones de atenuación y el procesado estadístico. Los resultados de estos estudios son muy útiles para la confección de los MS, sobre todo en lo que respecta a los datos sísmicos de entrada (en forma espectral o acelerogramas), a las evaluaciones de amplificaciones locales o de sus eventuales deformaciones permanentes.

Datos para la evaluación de la amplificación

Para la evaluación de la amplificación en superficie son indispensables los siguientes datos:

- Estudio de peligrosidad sísmica básica para definir el input sísmico de referencia.
- Morfología superficial del sitio a estudiar.
- Litoestratigrafía del sitio, prestando especial atención a la profundidad del bedrock sísmico (si está definido).
- Morfología del bedrock sísmico.
- Caracterización geotécnica de los suelos y geomecánica de los macizos rocosos fracturados.
- El perfil de la velocidad de las ondas S (V_s) frente a la profundidad.
- Periodo fundamental de vibración.
- Caracterización del terreno bajo condiciones dinámicas.

Las técnicas más adecuadas para la obtención de los datos referidos anteriormente son las indicadas en la tabla 2.2

BASE DE DATOS	MÉTODO DE INVESTIGACIÓN
Input sísmico de referencia	Análisis de peligrosidad básica y/o datos instrumentales
Morfología del sitio	Modelo digital del terreno, cartografía topográfica de detalle
Litoestratigrafía	Estudio geológico, sondeos
Profundidad del bedrock sísmico y morfología profunda	Sondeos, secciones geológicas 2D, estudios geofísicos
Formaciones acuíferas	Sondeos, prospecciones geoeléctricas
Caracterizaciones geotécnicas y geomecánicas	Análisis geomecánico, pruebas in situ, pruebas de laboratorio, correlaciones con SPT y CPT
Perfil Vs	Down-hole, Cross-hole, sísmica de refracción, SASW, MASW, array sísmico, inversión de curvas H/V, correlaciones con propiedades geotécnicas
Periodo fundamental	Medidas de ruido sísmico ambiental
Caracterización de las propiedades dinámicas del terreno	Ensayo de columna resonante, ensayo de corte torsional cíclico, ensayo de corte cíclico de doble probeta

Tabla 2. 2 Métodos de investigación apropiados para la indagación de datos para la evaluación de la amplificación (Dipartimento della Protezione Civile, 2008).

Datos para la evaluación de las fallas activas

Para la evaluación de las fallas activas son precisos los siguientes datos:

- La traza de las fallas en la superficie.
- Litoestratigrafía general y de detalle.
- El grado de magnitud de los desplazamientos.
- Geometría del plano de falla en profundidad.
- Dataciones de los movimientos de la falla.

Las técnicas más adecuadas para la obtención de los datos referidos anteriormente son las que se indican en la tabla 2.3.

BASE DE DATOS	MÉTODO DE INVESTIGACIÓN
Traza en superficie	Cartografía en situ, interpretación fotos aéreas
Litoestratigrafía	Sondeos, análisis geotécnicos, análisis paleosismológicos
Desplazamiento y rotura de la falla	Análisis paleosismológicos
Tendencia de la falla en profundidad	Análisis paleosismológicos, investigaciones geofísicas
Dataciones del movimiento	Radiometría

Tabla 2. 3 Métodos de investigación apropiados para la indagación de datos para la evaluación de las fallas activas (Dipartimento della Protezione Civile, 2008).

Aparte de los datos presentados, en una MS se emplean otros como los de evaluación de inestabilidad de laderas y de susceptibilidad a la licuefacción, aunque no se van a detallar, ya que no entran dentro del objetivo de este trabajo.



MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 GEOLOGÍA

La geología como disciplina estudia los rasgos litológicos, estructurales y los procesos naturales que han activado en la tierra durante el tiempo geológico, este último en una escala de millones de años. Los rasgos litológicos y estructurales se refieren a los distintos materiales asociados a estructuras regionales y locales, los cuales se encuentran distribuidos en un medio físico.

La geología del distrito de Trujillo y alrededores consiste de afloramientos rocosos (rocas sedimentarias, volcánico sedimentarias y plutónicas) y depósitos sedimentarios (marinos, eólicos, coluvio-aluviales y aluviales), los cuales han sufrido las deformaciones terrestres presentándose estructuras regionales (lineamientos estructurales y diaclasas) que tienen una orientación andina (noroeste-sureste). Los materiales corresponden a edades desde el mesozoico (Jurásico superior) al cenozoico (Cuaternario reciente).

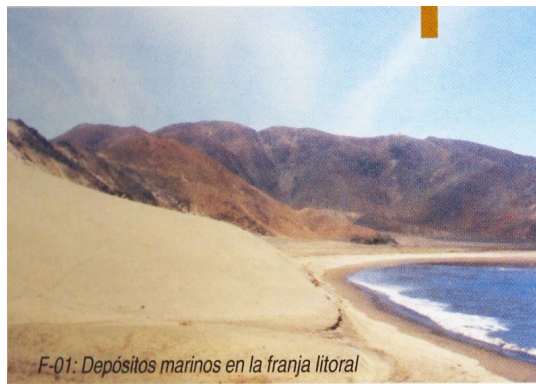


Figura 3. 1 Depósitos marinos en la franja litoral

3.1.1 Rocas sedimentarias

Se distribuyen en la parte alta de los cerros Pibote, el Alto y Prieto al norte de la ciudad y están sometidas a una rápida denudación por acción de los agentes como lluvias, temperaturas, y vientos. Es un remanente de la secuencia sedimentaria que corresponde a la Formación Chicama de edad Jurásico superior (Js) constituida por una intercalación de estratos de lutitas, lutitas arenosas y ocasionales horizontales de areniscas, calizas y derrames volcánicos, atravesados por cuerpos plutónicos de composición granodioríticas. Por la poca resistencia de los agentes de erosión estas rocas dan lugar a un relieve de formas suaves, las deformaciones regionales han definido la posición de los estratos de rocas con una dirección noroeste – sureste y una inclinación de suroeste.

3.1.2 Rocas volcánico – sedimentarias

Afloran en el cerro Cabras y en el Cerro Blanco al norte y al sureste de la ciudad, respectivamente, donde se presentan a manera de remanente de una secuencia volcánico – sedimentaria que se extienden ampliamente al sur de Trujillo. Están constituidas de andesitas intercaladas con areniscas tobáceas de color gris verdosa y que corresponden al Grupo Casma de edad Cretáceo medio-superior (Kms). Los estratos se encuentran inclinados al este y atravesados por fracturas en posición vertical.

3.1.3 Rocas plutónicas

Las rocas configuran un alineamiento de cerros que bordean la parte este de la ciudad de Trujillo como los cerros Campana, Prieto, cerros Cabras, Pibote y San Idelfonso al este y norte de la zona urbana, y el Cerro Blanco al sur de la ciudad de Trujillo. Se presentan como rasgos topográficos dominantes que corresponden al flanco occidental de la Cordillera de los Andes, y son reconocidos con el nombre de Batolito de la Costa de la edad Cretáceo superior-Paleógeno (KsP), cuya composición litológica varía desde diorita (di) a granito (gr), pasando a granodiorita (gd). Este cuerpo ígneo está atravesado por fracturas y lineamientos estructurales con una orientación andina.

Por su mayor resistencia a los agentes externos de erosión, los afloramientos de rocas se destacan por relieves de forma irregulares y su mayor altitud.

3.1.4 Depósitos sedimentarios

Constituyendo la pampa costanera se encuentran los depósitos sedimentarios de origen marino, eólico, coluvio-aluvial y aluvial, que se distribuyen desde la parte baja de los cerros hasta el litoral marino.

En la franja litoral se distribuyen los depósitos marinos (Q-m), constituidos principalmente con arenas finas y con amplias extensiones en los sectores de Huanchaco y Salaverry.

Los depósitos eólicos (Q-e) constituyen mantos de arena de granos finos a medianos sueltos que se encuentran en lenta migración, transportados por las corrientes marinas que los distribuye próximo al litoral marino y por el viento que llegan al continente cubriendo parcialmente los depósitos aluviales como en la Pampas, Salaverry – Moche, El Milagro y Víctor Larco – Trujillo, así como la parte media de la ladera de los cerros que bordean la zona urbana.

Los depósitos Coluvio-aluviales (Q-co-al) corresponden a depósitos que ocupan los cursos de las numerosas quebradas como León, Santo Domingo e Idelfonso y han viajado de los cerros formando torrenteras permitiendo la dispersión del material suelto y formando los abanicos, que en algunos se prolonga hasta la zona urbana como en el distrito El Provenir y la ciudad de Trujillo. Conformado por limo y arcilla con clastos que tienen una distribución irregular y de origen plutónico, de forma angulosa con diferente tamaño y escasa uniformidad. Además, están incluidos los depósitos que ocupan las vertientes y parte baja de los cerros que son productos de la descomposición y desintegración de las rocas.

Los depósitos aluviales (Q-al) conforman el cono deyeectivo del río Moche y la Quebrada Río Seco ocupando las superficies planas que están interrumpidas por los depósitos coluvio-aluviales y eólicos. Los depósitos aluviales son el producto de la desintegración, transporte y depositación de las rocas por las aguas superficiales que discurren por ríos y quebradas. Está constituido por arcillas plásticas con intercalaciones de gravas en matriz arcillosa, los fragmentos son rocas de diorita, granitos y andesitas, de forma subangulosa y subredondeada en tamaños de 8 a 16 cm; pero con interdigitaciones importantes de arena eólica. Los depósitos al este y sur de Salaverry, como en las cercanías de huanchaco están constituidos por fragmentos de roca de formas subangulosas a subredondeadas intercalados con arenas gruesas y medias de color beige, predominando las gravas de rocas plutónicas y en menor proporción volcánicas y calizas, los bloques tienen tamaños de 2 cm y llegan a los 8 cm en una matriz de arena gruesa y fina.

3.1.5 LINEAMIENTOS ESTRUCTURALES Y DIACLASAS

Estos rasgos son el resultado de las deformaciones terrestres que corresponden a la fase tectónica andina y afectaron el territorio peruano desde fines del cretáceo. Los lineamientos estructurales se definen por la forma de las quebradas y el cambio de la forma del relieve de los cerros Blanco, arena y Ochiputur, los cuales tienen una dirección noreste – suroeste y noroeste – sureste y con una posición subvertical.

UNIDADES CRONOESTRATIGRAFICAS			UNIDADES LITOESTRATIGRAFICAS			
ERATEMA	SISTEMA	SERIE		NOMBRE	LEYENDA	DESCRIPCION LITOLOGICA
CENOZOICO	CUATERNARIO	RECIENTE	DEPOSITOS SEDIMENTARIOS	Depósitos marinos	Q-m	Arenas finas a medias con granos de cuarzo, feldspatos y minerales oscuros, con restos de conchas.
				Depósitos eólicos	Q-e	Mantos de arena fina a media suelta, en lenta migración formando dunas.
				Depósitos coluvio-aluviales	Q-co-al	Limo y arcilla con clastos de origen plutónico y distribución irregular, de forma angulosa y tamaño diferente.
				Depósitos aluviales	Q-al	Arcillas con gravas en matriz arcillosa, los clastos son rocas plutónicas y volcánicas de forma subredondeada con niveles de arena eólica.
MESOZOICO	CRETACIO	SUPERIOR	ROCAS VOLVANICO SEDIMENTARIAS	Grupo Casma	Kms-ca	Batolito de la Costa: Conformado por cuerpos de composición litológica como diorita, granodiorita y granito que contienen minerales de cuarzo, ortosa, plagioclasa biotita y horblemda.
		MEDIO				Andesitas intercaladas con estratos de areniscas tobáceas de color gris verdoso.
	JURASICO	SUPERIOR	ROCAS SEDIMENTARIAS	Formación Chicama	Js-ch	Lutitas, lutitas arenosas y ocasionales horizontes de areniscas, calizas y derrames volcánicos.

Tabla 3. 1 Columna estratigráfica de Trujillo y alrededores

3.2 GEOMORFOLOGIA DE SUELOS DE TRUJILLO

La acción constante del oleaje, de las mareas, del viento que transporta materiales y modela las rocas, del agua que las erosiona y acarrea sólidos para depositarlos capa sobre capa y para labrar nuevos cauces en ellas, esa acción sin pausa, construye a lo largo de los siglos las formas del terreno. El trabajo humano, con cada vez más fuerza, también contribuye a crearlas. La geomorfología es la disciplina que estudia esas formas y explica los procesos que le dan origen.

En el distrito de Trujillo y alrededores se observan las unidades morfológicas que se describen con detalle más adelante. De esas sobresalen las de los macizos aislados con las escombras producidas por la erosión y que forman sus laderas, los depósitos acarreados por las aguas que han creado las planicies que contienen a la ciudad actual, a Chan Chan, la capital de los Chimú, y a las tierras de cultivo del valle; los conos de deyección, el estrecho cono fluvial del río Moche y sus terrazas indicativas de que el río hizo nuevos cauces sobre depósitos antiguos, las formaciones litorales, las escarpas, que muestran las variaciones de la línea de playas en el curso de los tiempos; las capas fluvio eólicas y riachuelos al norte y los mantos de arena al este acumulados por el viento.



Figura 3. 3 Escarpe por erosión marina, sector el Tablazo – Huanchaco



Figura 3. 4 Escarpe por erosión fluvioaluvial, Huanchaco

3.2.1 Unidades mayores

3.2.1.1 Faja litoral

La franja angosta que comprende superficies escalonadas llamadas terrazas aluvionales, cortadas por la erosión marina (desgaste con transporte), forman acantilados costeros (relieves de paredes casi verticales). Se observa en Huanchaco con un frente de 35 m aproximadamente. Entre la desembocadura del río Moche y Buenos Aires los terrenos muestran una topografía suave cubierta de arena eólica – aluvial y vegetación natural muy salitrosa.

Entre la desembocadura del río moche y el Puerto de Salaverry se aprecia la acumulación de fragmentos compuestos de arena, grava y conchas acarreadas por los mares y ríos llamados cordones litorales.

3.2.1.2 Macizos costeros y cerros separados

Unidad geomorfológica que comprende algunos cerros bajos o colinas redondeadas de los primeros contrafuertes andinos constituidos por rocas de naturaleza ígnea y sedimentaria.

Se observa cerca de Huanchaco, cerros La Virgen, Prieto, Cabras, en las proximidades del Puerto de Salaverry.

3.2.1.3 Zona de pampas o planicies costeras

Comprende tramos más o menos planos, ligeramente inclinados que se sitúan en la región costanera entre los macizos costeros y las estribaciones andinas. Constituidos por depósitos sedimentarios de origen marino, eólico, coluvioaluvial, aluvial, etc. Se distribuyen en el sector de Huanchaco – Salaverry, Pampa El Milagro, Víctor Larco, Zona Urb. de Trujillo, Valle de Moche y Laredo.

3.2.1.4 Estribaciones andinas

Llegan muy próximas a la línea de costa, constituidas primordialmente por rocas ígneas intrusivas del batolito de la Costa y restos metamorfozados del Grupo Casma y rocas sedimentarias en dirección este. Expuestas a los procesos de denudación como en los cerros de la Campana, Santo Domingo, El Gritón, El Alto, Pibote, San Idelfonso, Ochiputur y Cerro de la Mina.

3.2.1.5 Última terraza fluvio aluvial

En Río Seco se observa una secuencia completa de terrazas fluvio aluvial que corresponden a la última y penúltima terraza.

Siendo la última más reciente con características y condiciones de sedimentación muy similares, generalmente se presentan con entrecruzamiento de depósitos sedimentarios lenticulares de arenas eólicas, cubren los sectores del centro poblado Moche, Curva del Sun, área El Milagro, Reserva de Lomas, Quebrada León.

3.2.1.6 Penúltima terraza fluvio aluvial

Constituye un nivel más bajo que el anterior con materiales gravosos de diferentes tipos de rocas, intercalados con arena de origen eólico aluvial. Se observa en el sector de Río Seco - río Moche, en la línea costera tanto al norte y sur de Huanchaco, Tres Palos, Ruinas de Chan Chan, Quebrada Valdivia, Los Wachagues, área reservada para el aeropuerto.

3.2.1.7 Último cono aluvial

Los depósitos de la quebrada San Idelfonso mayormente de granos angulosos y permeables, constituyen un cono aluvial que se extiende al este y noreste de la ciudad de Trujillo, en la Huaca del Sol y Luna.

3.2.1.8 Penúltimo cono aluvial

Este cono de tipo desértico está constituido de gravas de diferentes tamaños angulosos y con matriz arenosa algo arcilloso que se diferencia según su antigüedad en el grado de alteración y encostramiento. Se observa en el centro poblado Santo Domingo y Nuevo Laredo.

3.2.1.9 Último cono terraza fluvio aluvial

Entre el último cono aluvial y la línea costera los materiales sueltos llamados sedimentos han sido retrabajados por el río constituyendo el último cono-terracea. Se observa en Pampa de Alejandro, Canal Mochica, Laredo y en una parte de la ciudad de Trujillo.

3.2.1.10 Penúltimo cono-terracea fluvio aluvial

Se ha reconocido el retrabajo realizado por los ríos de la parte inferior de los conos aluviales antiguos que bajan hacia el norte por las quebradas del Río Seco y al sur por Uripe. Igualmente debajo del C.P. Santo Domingo y el arenal de San Juan.

3.2.2 Unidades menores

3.2.2.1 Última terraza fluvial

Se presenta en los márgenes del río Moche y está constituida de materiales rodados de diferentes tipos de rocas. En su borde norte se observa el canal antiguo del río que llega hasta cerca del mar al sur de Trujillo y Víctor Larco.

3.2.2.2 Depósitos pantanosos y lagunales

Se presenta el estancamiento de las aguas, charcos y cenegales por las cercanías de la autopista a Salaverry y las lagunas de oxidación. Esto debido al afloramiento del nivel freático determinado por diversas causas. Es interesante destacar que cuando la napa acuífera se encuentra cerca de la superficie, sube por la capilaridad

y al evaporarse produce la salinización del terreno con graves consecuencias para la agricultura.

3.2.2.3 Cordones litorales

Se presenta entre la desembocadura del Río Moche y el Puerto Salaverry con estructura paralela a la línea playera constituido por la acumulación de fragmentos compuestos de arena, gravas y conchas acarreadas por mares, ríos y cubierta de una vegetación natural.

3.2.2.4 Escarpe de erosión marino

Al pie de los cerros Blanco, Chico y Ochiputur se encuentra depósitos aluviales antiguos que determinan en un escarpe de fuerte pendiente con más de 40 m. de desnivel, continuando hacia el sur por el escarpado cerro Salaverry, su origen debería a la erosión marina realizado por el trabajo de la dinámica marina sobre el litoral.

3.2.2.5 Escarpe de erosión fluvio aluvial

Los declives al norte y sur de Huanchaco, en el río Moche y sector Salaverry, cuya pendiente, altura y extensión, dependen del trabajo que realizan las aguas corrientes sobre la superficie terrestre.

3.2.2.6 Dirección del flujo de corrientes

Se distinguen el sentido de movimientos de algunos flujos por la quebrada del Río Seco, San Idelfonso y la hacienda Barraza debido a que las aguas del río Moche son captadas aguas arriba mediante un gran número de presas, luego son desviadas por canales madres que la acarrearán a las áreas de la cooperativa Laredo, posteriormente son distribuidas a la zona Valdivia por las acequias comunales de Mochica Alta – Baja y al sur hasta Moche.

Huellas de ese proceso se observa en el Perú en la formación de los Andes, producto del choque de la placa del Pacífico con la placa de Sudamérica y en Trujillo, donde están a la vista rocas provenientes de la actividad volcánica submarina, batolitos de la costa en el Jurásico, procesos epirogenéticos en el terciario y depósitos sedimentarios en el cuaternario.

PLACAS TECTÓNICAS	ESCALA DEL TIEMPO GEOLÓGICO		PERÚ	TRUJILLO
Conformación de los continentes		CUATERNARIO		Deposición de depósitos sedimentarios
Separación de los continentes Gondwana y Laurasia	65	TERCIARIO	Actividad volcánica	Denudación del sector occidental de la Cordillera de los Andes. Proceso de epirogenesis
Ruptura de los continentes Gondwana y Laurasia	145	CRETACEO	Actividad magmática. Levantamiento de la Cordillera de los Andes: Tectónica andina	Actividad magmática: Batolio de la costa Actividad volcánica submarina: Grupo Casma
Separación del continente Pangea	208	JURASICO	Conformación de la Subcuenca Lima y Chicama. Conformación de las cuencas occidental y oriental	Actividad volcánica Submarina en la subcuenca de Lima. Deposición de la formación Chicama
Ruptura del continente Pangea	245	TRIASICO		
	290	PERMICO	Tectónica Tardihercinica	
	362	CARBONIFERO		
	408	DEVONICO	Tectónica Heohercinica	
	439	SILURICO		
	510	ORDOVICICO		
	570	CAMBRICO	Conformación de geosinclinal andino	
Formación de la Tierra	5000	ARQUEANO	Tectónica caledoniana	
	Millones de años			

Tabla 3. 2 Evolución tectónica en el territorio peruano y de Trujillo en relación con la escala del tiempo geológico

En el jurasico superior medio el borde este de la América del Sur, que contiene al Perú, estaba en formación. De los mares interiores que existían han quedado las rocas sedimentarias en la formación Chicama y Casma que forman el paisaje trujillano.

3.4 EVALUACIÓN DEL PELIGRO SÍSMICO

3.4.1 Análisis de peligro sísmico probabilístico

3.4.1.1 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, 2009).

Las fuentes sismogénicas utilizadas en la presente investigación son las expuestas en el trabajo de investigación “Nuevas fuentes sismogénicas para la evaluación del peligro sísmico y generación de espectros de peligro uniforme en el Perú” realizado por Gamarra (2009).

Gamarra realizó un catálogo que abarca los sismos desde el año 1901 hasta el año 2008. Los datos sísmicos del catálogo utilizados fueron la compilación de dos catálogos sísmicos: el del Instituto Geofísico del Perú y el del National Earthquake Information Center (NEIC).

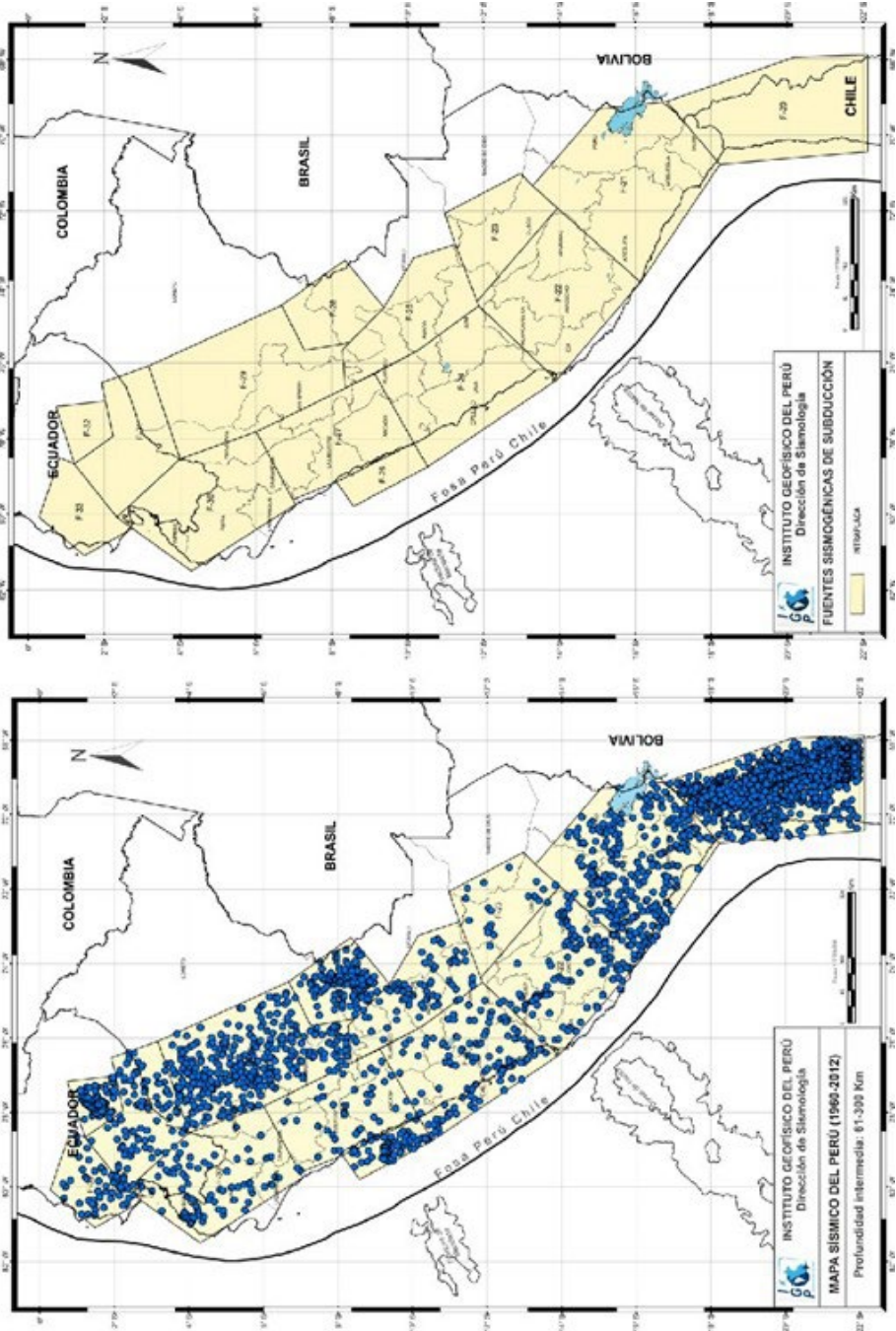


Figura 3. 6 Mapa de distribución de epicentros y fuentes de subducción (CISMID, 2011)

Fuente: IGP

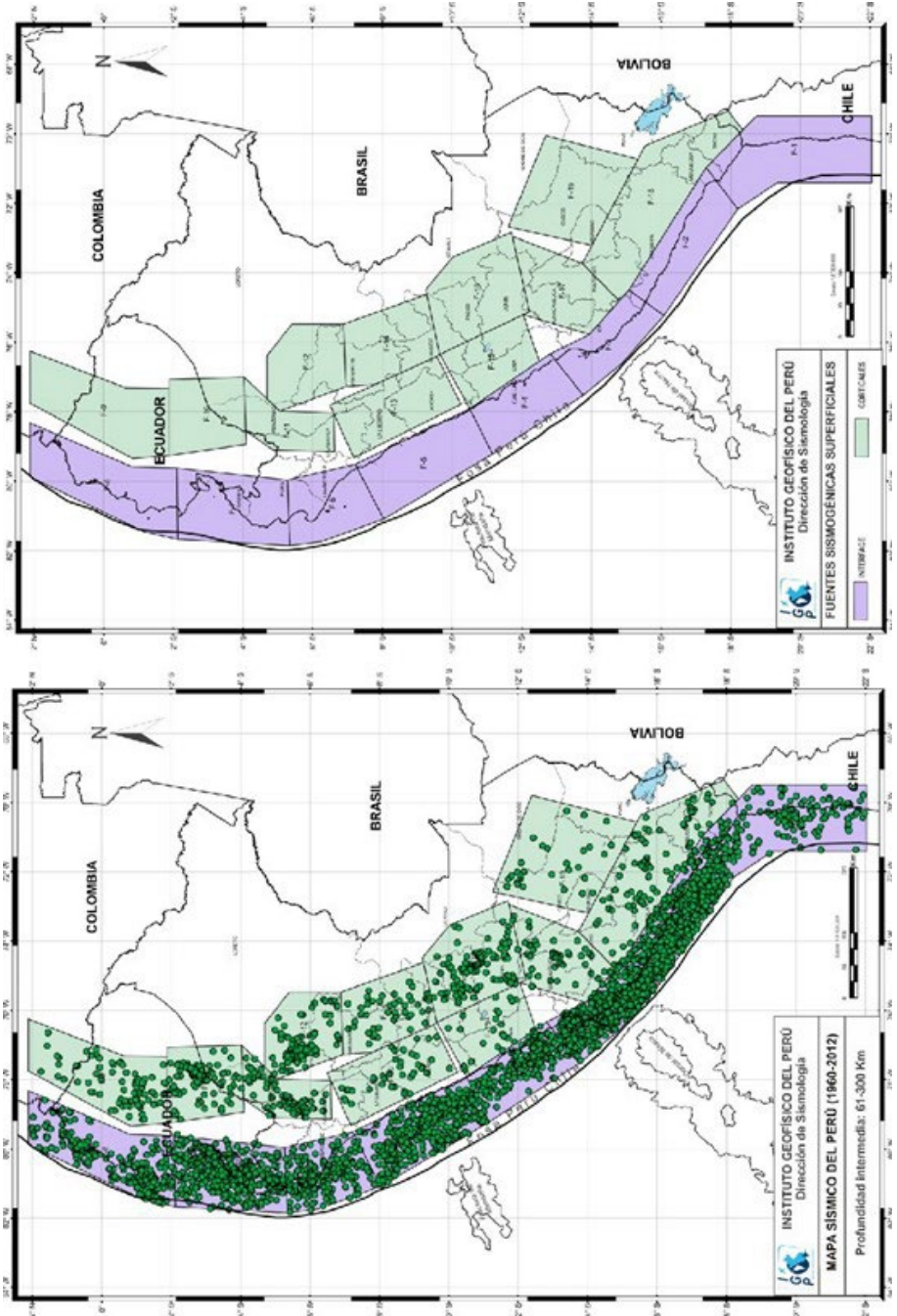


Figura 3.7 Mapa de distribución de epicentros y fuentes superficiales (CISMID, 2011)

Fuente: IGP

Para la definición de las fuentes sismogénicas de subducción de interfase e intraplaca se consideró el cambio de sismicidad que ocurre a la altura de la Fractura Virú y la Depresión de Trujillo, la influencia de la Dorsal de Nazca y las contorsiones que sufre la placa de Nazca al norte (Ecuador) y sur (altura de la Fractura de Nazca - Arequipa) del Perú.

La definición de las fuentes sismogénicas continentales está asociada a deformaciones corticales, agrupaciones de sismos presentes en diversos sistemas de fallas (Tavera et al., 2002) y, en general, a la actividad sísmica superficial producto del reacomodo interno de la corteza por concentraciones de esfuerzos generados de la interacción de los límites de las placas de Nazca y Sudamericana en el proceso de subducción.

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 FS) y de intraplaca superficial (F8, F9 y F10) e intermedias (F12, F13 y F14). Así mismo se han utilizado seis fuentes sísmicas continentales (F15, F16, F17, F18, F19 y F20).

3.4.1.2 Leyes de atenuación de las ondas sísmicas

La atenuación de la energía sísmica es una relación entre las propiedades del sismo, características de la respuesta y otros parámetros como son la distancia al hipocentro o al epicentro del sismo, la magnitud del evento, el medio en que se propaga la onda, et al. (Chávez, 2006)

Para estimar el peligro sísmico se han utilizado los modelos de atenuación para ordenadas espectrales propuesta por Young et al (1997) y CISMID (Chavez, 2006), que diferencian los mecanismos focales para sismos de subducción de interfase e intraplaca en la estimación de la máxima aceleración del suelo, y Sadigh et al. (1997) para sismos continentales.

Young et al. (1997) desarrollaron leyes de atenuación para zonas de subducción de sismos de interfase e intraplaca, usando datos de sismos registrados en Alaska, Chile, Cascadia, Japón, México, Perú (14 registros) y las Islas Salomón, para distancias de entre 10 y 500 km, teniendo en cuenta las características del sitio. Definieron también las características del sitio en tres grupos: roca, suelo duro poco profundo y suelo profundo, consideraron eventos en roca a todos aquellos con velocidad de ondas de corte cercanos a los 750 mis, eventos en suelo profundo aquellos con distancias a la roca mayores a 20 m y con velocidades de corte entre 180 y 360 mis, y eventos en suelo poco profundo aquellos donde la profundidad del suelo es menor a 20 m. Utilizaron la magnitud de momento sísmico M_w (Hanks y Kanamori, 1979) para la medida del evento. Las relaciones de atenuación propuestas corresponden a un amortiguamiento de 5%.

La ley de atenuación para ordenadas espectrales denominada ley de atenuación CISMID fue determinado por Chávez (2006). En base a los trabajos realizados por Hanks y McGuire (1981), Joyner y Boore (1988), Ordaz (1992) se plantean procedimientos que permiten obtener leyes de atenuación para aceleraciones

espectrales, considerando fuentes asociadas a mecanismos de subducción en el Perú, tales como sismos de interfase e intraplaca que correlacionan la magnitud y la distancia de los eventos sísmicos con la respuesta de las estructuras para diferentes periodos de vibración. Las leyes de atenuación fueron calculadas utilizando técnicas de regresión lineal bayesiana, considerando en esta regresión datos de ambas componentes horizontales y de la media geométrica de registros de movimientos fuertes de suelo obtenidos de la Red Acelerográfica del CISMID.

Estación	Ubicación	Longitud (°W)	Latitud (°S)	Condiciones locales de suelo
Jorge Alva Hurtado (CSM)	Universidad nacional de Ingeniería (CISMID - UNI)	77.05021	12.01327	Grava gruesa densa a muy densa, poco profunda
UNSA (AQP1)	Campus de la Universidad Nacional de San Agustín	71.52429	16.40431	Depósito aluvial
VIZCARRA (MOQ1)	Centro Recreativo CTAR	70.92876	17.18676	Depósito aluvial (grava gruesa)
CHEN CHEN (MOQ2)	Planta de tratamiento de aguas residuales, Chen Chen - Moquegua	70.92139	17.19550	Material gravoso con matriz arcillosa y limosa alternadamente
BASADRE (TAC1)	Campus Universidad Nacional de Tacna	70.24939	18.00594	Depósito potente de grava aluvial
GIESECKE (TAC2)	Campus Universidad Privada de Tacna	70.	18.00594	Depósito potente de grava aluvial

Tabla 3. 3 Estaciones acelerográficas utilizadas para obtención de la ley de atenuación CISMID.

Los registros de movimientos fuertes mediante los cuales se ha estimado la ley de atenuación CISMID (Chávez, 2006) han sido obtenidos de estaciones acelerográficas ubicadas en suelos con características similares que podrían ser clasificados como suelos tipo C (IBC, 2009). En la tabla 3.3 se presenta la ubicación de las estaciones acelerográficas y el tipo de material sobre el cual se encuentran ubicadas.

3.4.1.3 Determinación del peligro sísmico probabilístico

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 n modificada u otro parámetro de interés para el diseño ingenieril.

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 y la distancia entre cada fuente y el sitio en estudio.

El peligro sísmico del área de estudio se ha determinado utilizando el programa de cómputo CRISIS 2007, desarrollado por Ordaz et al. (1999), que emplea métodos numéricos conocidos. La evaluación del peligro en el distrito de Trujillo se realizó para las coordenadas geográficas presentadas en la tabla 3.4.

Zona de Estudio	Coordenadas	
	Longitud (W)	Latitud (S)
Distrito de Trujillo	79,02°	8,11°

Tabla 3. 4 Punto analizado para la obtención del peligro sísmico.

La tabla 3.5 muestra los resultados de las máximas aceleraciones horizontales (P.50) esperadas al considerar el modelo de atenuación de Young et al. para roca.

Aceleraciones (g) para diferentes periodos de retorno							
Ley de Atenuación	100	200	400	475	950	1000	2500
Young et al.	0.20	0.26	0.31	0.32	0.39	0.40	0.50

Tabla 3. 5 Aceleraciones máximas en roca - método probabilístico.

Así, la tabla 3.6 muestra los resultados de las máximas aceleraciones horizontales (P.50) esperadas al considerar el modelo de atenuación de Young et al. y CISMID para suelo. La tabla 3.6 incluye los resultados encontrados con la ley de atenuación de Sadigh et al.

Aceleraciones (g) para diferentes periodos de retorno							
Ley de Atenuación	100	200	400	475	950	1000	2500
Young et al.	0.20	0.26	0.31	0.32	0.39	0.40	0.50
CISMID	0.25	0.33	0.41	0.43	0.54	0.55	0.70

Tabla 3. 6 Aceleraciones máximas en suelo firme - método probabilístico

3.4.2 ANÁLISIS DE PELIGRO SÍSMICO DETERMINÍSTICO

El análisis determinístico consiste en desarrollar un escenario sísmico específico para el área del proyecto, el cual debe representar la generación de un evento sísmico característico en la zona de la fuente que se encuentra a la menor distancia del lugar de análisis. Este concepto permite estimar el movimiento sísmico más desfavorable

para el proyecto, sin embargo no presenta información sobre la probabilidad de ocurrencia del evento seleccionado ni la probabilidad de ocurrencia del evento en el lugar asumido, tampoco da información sobre el nivel de movimiento esperado en un periodo de tiempo determinado, como la vida útil de la estructura, ni de los efectos de las incertidumbres de los diferentes pasos requeridos para calcular el nivel del movimiento sísmico esperado.

Los sismos de la zona de subducción que tienen mayor influencia en la zona en la que se desarrolla la presente investigación y que generan los movimientos sísmicos dominantes, son los sismos que se agrupan en dos áreas concentradas de actividad sísmica significativa. La actividad sísmica superficial con mecanismo de interfase presenta profundidades focales que varían desde 40 km a 60 km, con distancias mínimas del sitio de estudio al plano de subducción de 43 km. La actividad sísmica de intraplaca intermedia, localizada entre la línea de costa y el continente, con profundidades focales que varían desde 80 km a 170 km, y distancias mínimas del sitio en estudio al plano de subducción de 168 km.

Las coordenadas del punto analizado son las mostradas en la tabla 3.4 La tabla 3.7 muestra los resultados de las máximas aceleraciones horizontales (P.50) esperadas al considerar la ley de atenuación de Young et al. para roca. La tabla 3.8 muestra los resultados de las máximas aceleraciones horizontales (P.50) esperadas al considerar la ley de atenuación de Young et al. para suelo y la ley de atenuación CISMID.

Ley de Atenuación de Young et al. Sismos de Interfase		
Magnitud del momento sísmico	Mw	8.0
Distancia a la falla	R (Km)	43
Profundidad Focal	H (Km)	39
Desviación estándar	Σ	0.65
Aceleración máxima	Sa	0.19g
Sismos de Interplaca		
Magnitud de momento sísmico	Mw	8.2
Distancia a la falla	R (Km)	170
Profundidad focal	H (Km)	168
Desviación estándar	Σ	0.65
Aceleración máxima	Sa	0.20g

Tabla 3. 7 Aceleraciones máximas en roca - método determinístico.

Ley de Atenuación CISMID		
Sismos de Interfase		
Magnitud de momento sísmico	Mw	8.0
Distancia a la falla	R (Km)	43
Aceleración máxima	Sa	0.38g
Sismos de Interplaca		
Magnitud de momento sísmico	Mw	8.2
Distancia a la falla	R (Km)	170
Aceleración máxima	Sa	0.47g
Ley de Atenuación de Young et al.		
Sismos de Interfase		
Magnitud de momento sísmico	Mw	8.0
Distancia a la falla	R (Km)	43
Profundidad focal	H (Km)	39
Desviación estándar	Σ	0.65
Aceleración máxima	Sa	0.30g
Sismos de Interplaca		
Magnitud de momento sísmico	Mw	8.2
Distancia a la falla	R (Km)	170
Profundidad focal	H (Km)	168
Desviación estándar	Σ	0.65
Aceleración máxima	Sa	0.36g

Tabla 3. 8 Aceleraciones máximas en suelo - método determinístico.

3.5 CARACTERÍSTICAS GEOTÉCNICAS

3.5.1 Información geotécnica

La información geotécnica nos ayuda en la investigación del subsuelo, los análisis y recomendaciones de ingeniería necesarios para el diseño y construcción de las obras en contacto con el suelo, de tal forma que se garantice un comportamiento adecuado de la edificación y proteja ante todo la integridad de las personas ante cualquier fenómeno externo, además de vías, instalaciones de servicios públicos, predios y construcciones vecinas.

Se llevaron a cabo ensayos estándar de laboratorio identificándose las características del suelo, con ello se trazaron perfiles a partir de los cuales fue posible describir los tipos de suelos y su distribución en el distrito.

Adicionalmente, se calculó la capacidad portante en los suelos que predominan en el distrito, para un mismo tipo de cimentación, con el fin de comparar las capacidades de carga de estos suelos y hacer recomendaciones para la elección del tipo de cimentación.

La principal fuente de información sobre las características geotécnicas del distrito Trujillo la constituyen los trabajos de campo y los ensayos de laboratorio realizados por la empresa SL DE INGENIERIA EIRL y por la Universidad Privada Antenor Orrego UPAO, prácticamente en todo el distrito, en los años del 2011 al 2017.

Las características geotécnicas del distrito de Trujillo fueron determinadas mediante treinta (30) exploración de calicatas, quince (15) ensayo de penetración dinámica ligera (DPL) y once (11) ensayo de penetración estándar (SPT). La ubicación de las calicatas y los sondajes se presentan en las figuras 3.8, 3.10 y 3.11, sus registros en el anexo A-I

3.5.2 Exploración 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 Trujillo. 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 ensayos de sondeos (DPL y SPT). En conjunto, para la presente investigación se han ejecutado cincuenta y seis (56) puntos de exploración geotécnica: treinta (30) calicatas, quince (15) ensayos de penetración dinámica ligera (DPL) y once (11) ensayos de penetración estándar (SPT).

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.

3.5.2.1 Calicatas

La excavación de las calicatas se realizó con herramientas manuales hasta una profundidad promedio de 3.00 m. Se obtuvo una muestra alterada e inalterada para su posterior análisis. La figura 3.11 muestra la ubicación de ejecución de las calicatas.

Los perfiles estratigráficos hallados en las calicatas se presentan en el anexo A-I.

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. 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 treinta (30) calicatas realizadas (ver figura 3.11) 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). Asimismo se realizó la clasificación visual del material encontrado en campo (ver el panel fotográfico del anexo A-V), 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 A-I), para luego extraer las muestras y así poder realizar los ensayos de laboratorio correspondientes (ver anexo A-II).



Foto 3. 1 Excavación de calicata realizada por SL DE INGENIERIA EIRL en la Av. Prolongación Santa – Trujillo



Foto 3. 2 Excavación de calicata realizada por SL DE INGENIERIA EIRL en la Av. Prolongación Gonzales Prada – Urb. Santa María V Etapa – Trujillo

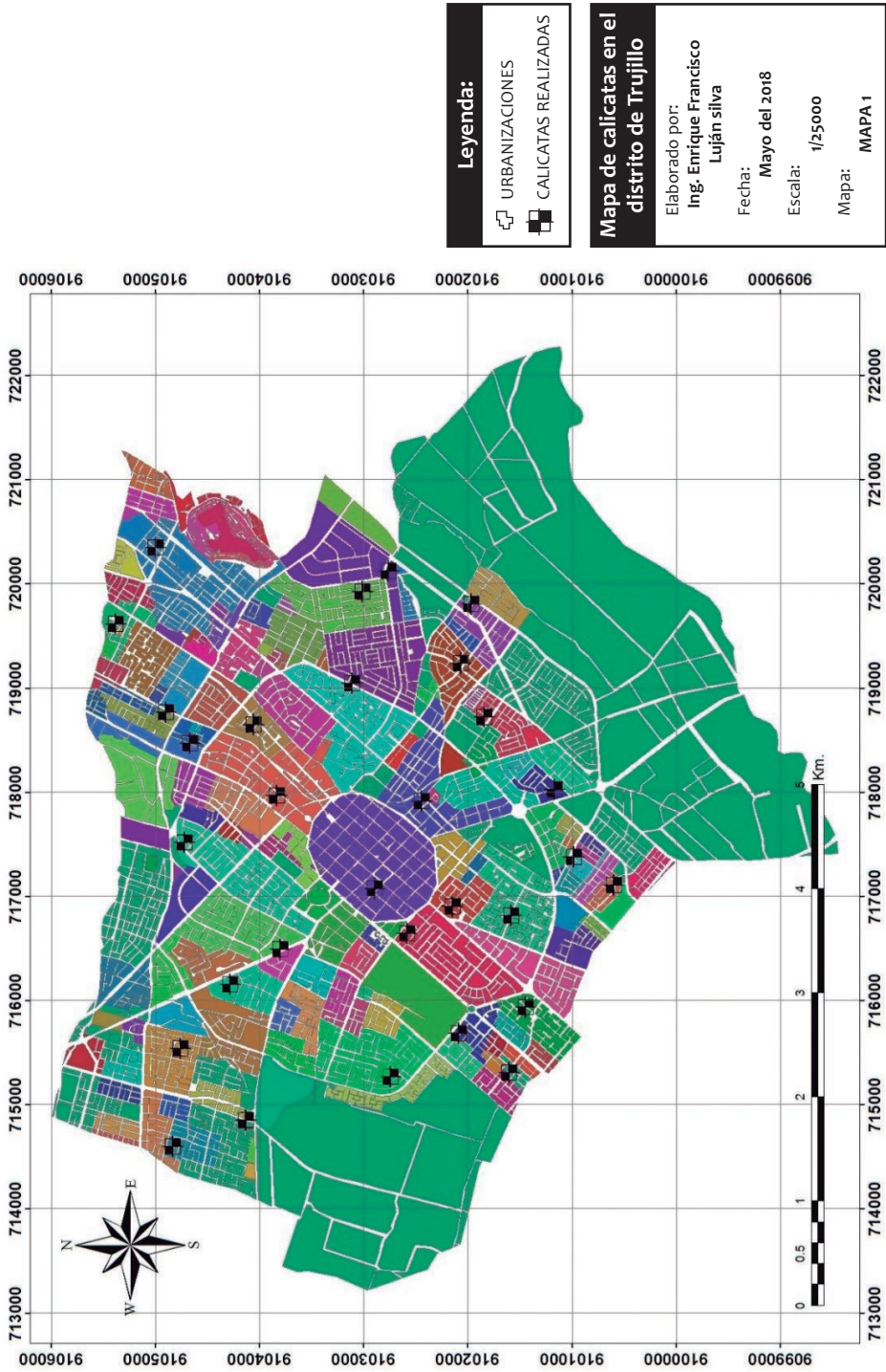


Figura 3. 8 Mapa de ubicación de calicatas

3.5.2.2 Ensayo de penetración estándar

Este ensayo obtiene la medida de la resistencia a la penetración con un muestreador en un suelo no cohesivo, Tomar muestras representativas del suelo, hallar correlación entre: # de golpes, N , medido y la compacidad, ϕ y la resistencia a la comprensión simple por medio de tablas o ábacos ya existentes.

El ensayo de penetración estándar (SPT) es el método de ensayo in situ más utilizado universalmente para la determinación de las condiciones de compresibilidad y resistencia de suelos. Este ensayo permite medir la resistencia a la penetración del terreno y al mismo tiempo obtener muestras representativas alteradas con propósitos de identificación en campo y clasificación en laboratorio. El procedimiento del ensayo de penetración estándar está indicado en la norma ASTM D-1586.

Los elementos y las características relevantes del método propuesto por la ASTM son los siguientes:

- Pesa de 140 lb con una altura de caída de 30 plg.
- Barras y brazos de perforación
- Cabeza de golpeo
- Martinete
- Muestreador o tubo partido con las siguientes dimensiones: Largo: 50 cm, diámetro exterior: 51 mm, diámetro interior: 35 mm, peso total: 70 N. (16 lb).
- Trípode de carga
- Polea
- Cuerda
- Tiza
- Llaves

Este ensayo consiste en hincar en el terreno con un muestreador de tubo partido, cuyo extremo inferior está unido a un anillo cortante (zapata) y es superior a una válvula y pieza de conexión a la línea (tubería) de perforación (figura 3.12). El muestreador tiene un diámetro externo de 51 mm y un diámetro interno de 35 mm. Para la penetración se utiliza la energía de un martillo de 63.5 Kg. de peso que cae libremente de una altura de 760 mm.

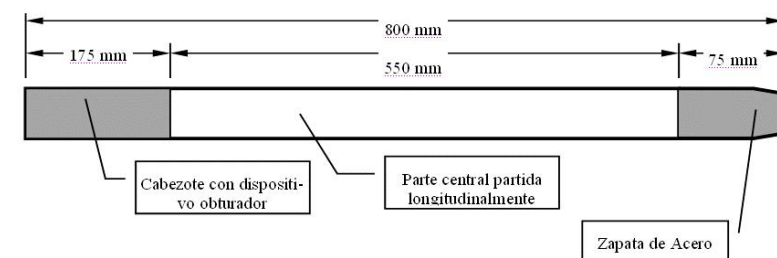


Figura 3. 9 Tubo partido y sus posibles dimensiones

Los ensayos de penetración estándar (SPT) se ejecutaron con personal obrero. La finalidad fue determinar la compacidad y la capacidad de soporte del suelo. En los once (11) ensayos SPT realizados (Ver Figura: 3.13) se procedió a la caracterización de las muestras de los diferentes tipos de suelos, siguiendo la metodología de la norma ASTM D-1586.



Foto 3. 3 Ensayo de penetración estándar (SPT) realizado por la UPAO en el Jr. Independencia – Centro Histórico de Trujillo

El ensayo tiene como objetivo obtener la medida de la resistencia a la penetración con un muestreador en un suelo no cohesivo. Determinar la distribución estratificada del suelo. Tomar muestras representativas del suelo. Hallar correlación entre el número de golpes, N , medido y la compacidad, y la resistencia a la compresión simple por medio de tablas o ábacos ya existentes. Determinar en el campo el método exploratorio para determinar los parámetros del suelo, necesarios para diseñar la cimentación de las construcciones verticales.

El ensayo de penetración estándar de siglas S.P.T. consiste en contar el número de golpes que se necesitan para introducir dentro del suelo un tubo partido a diferentes profundidades. En este caso con variaciones de medio metro y se lo utiliza especialmente en terrenos que requieran realizar un reconocimiento geotécnico. El toma muestras es golpeado con una energía constante, con una masa en caída libre de 145 lb y una altura de caída de más de 70 cm.

Es recomendable realizarlo en depósitos de suelo arenoso y de arcilla blanda; no se recomienda para suelos de roca, grava o arcilla consolidada ya que puede dañar el equipo (Santiago Trujillo, Ensayo SPT, pág. 3).

El propósito de este trabajo es determinar el tipo de suelo ensayado, si posee consistencia o compacidad.

Dibujar el perfil con los diferentes materiales que componen el suelo a un metro y medio de profundidad, en base al ensayo SPT realizado en el campo.

De manera general, el ensayo tiene el siguiente procedimiento:

- Primeramente, realizamos un sondeo base con el barreno en espiral limpiando cuidadosamente el lugar donde se colocará el muestreador. Luego, se hince el muestreador en el terreno, contando el número de golpes necesarios para hincar tres tramos de 15 centímetros. La hince se realiza mediante la maza de 63,5 kg que cae desde una altura de 76 cm en una cabeza de golpeo o yunque.
- Se debe tomar en cuenta que los primeros 15 cm de penetración no se los usa en los cálculos, ya que en estos el suelo puede presentar alguna alteración. Los valores del segundo y tercer golpeo se suman obteniendo el N_{30} o SPT, que es la resistencia del suelo a la penetración estándar.
- La norma ASTM D1586-84 indica que la prueba se puede dar por finalizada cuando se aplican 50 golpes para un tramo de 15 cm, al aplicar 100 golpes en total o cuando no haya penetración alguna durante 10 golpes.
- El tubo partido nos permite, además, obtener una muestra alterada del suelo que posibilita la identificación de los materiales que lo componen y que podremos representar en un perfil del suelo.
- Otro parámetro que se puede determinar a partir del N obtenido y de la clasificación posterior del suelo es el grado de compactación en caso de suelos arenosos y la consistencia en caso de suelos arcillosos. Esto mediante tablas que relacionan los mencionados valores:

COMPACTIDAD (Suelo Granular)	Grado de compactación	N (SPT)	Resistencia a la penetración estática	
Muy Suelta	< 0.2	< 4	< 20	< 30
Suelta	0.2 – 0.4	4 - 10	20 - 40	30 – 35
Compacta	0.4 – 0.6	10 -30	40 -120	35 - 40
Densa	0.6 – 0.8	30 - 50	120 - 200	40 - 45
Muy Densa	> 0.8	> 50	> 200	> 45

Tabla 3. 9 Grado de compactación de suelos

CONSISTENCIA (Suelos cohesivos)	N (SPT)	Qu (Kg /cm ²) Resistencia a la compresión simple	E (Kg / cm ²)
Muy blanda	< 2	< 0.25	3
Blanda	2 a 4	0.25 a 0.50	30
Mediana	4 a 8	0.50 a 1.00	45 a 90
Compacta	8 a 15	1.00 a 2.00	90 a 200
Muy compacta	15 a 30	2.00 a 4.00	200
Dura	> 30	> 4	200

Tabla 3. 10 Consistencia de Suelos

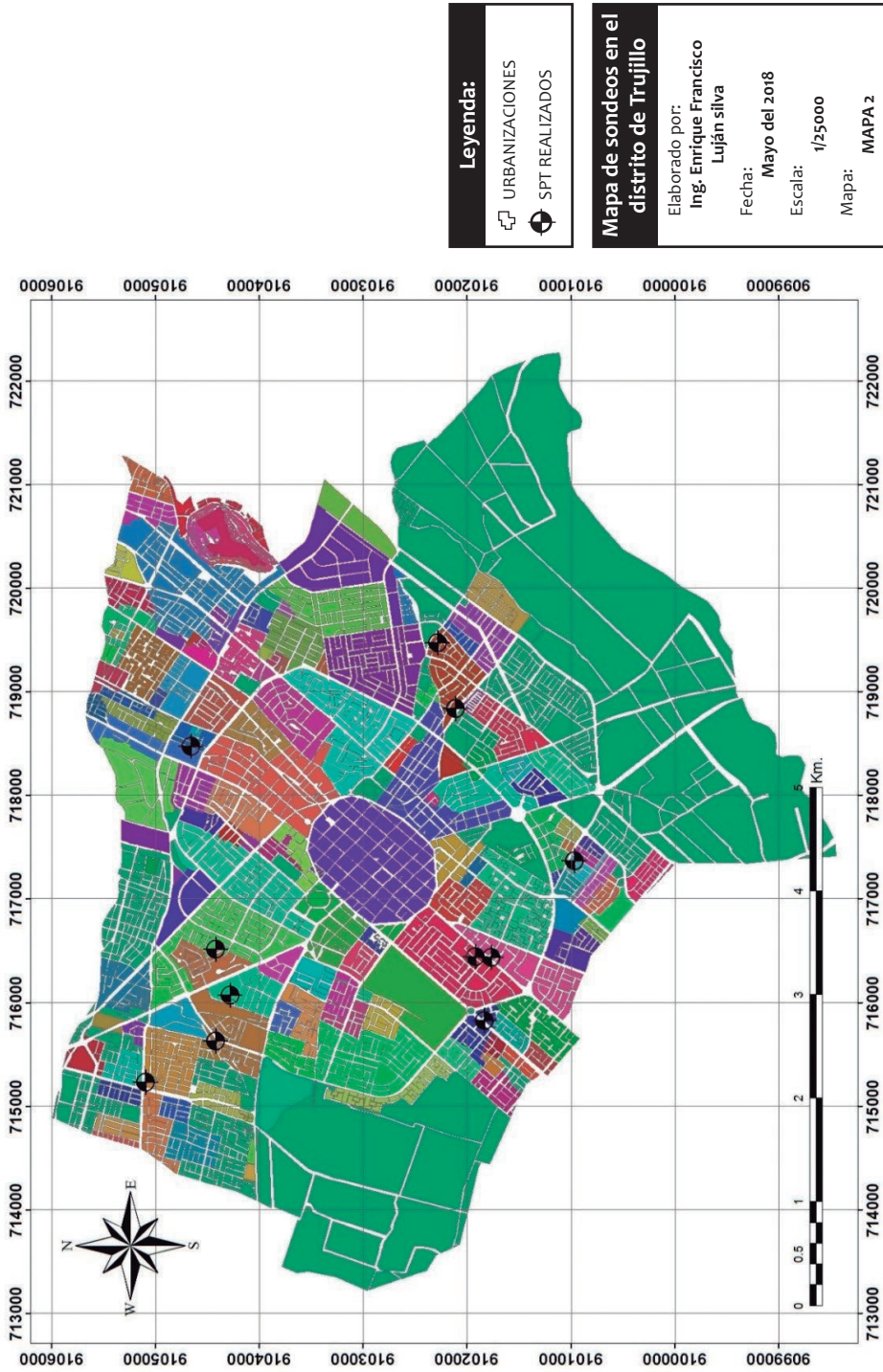


Figura 3. 10 Mapa de ubicación de ensayo de penetración estándar (SPT)

3.5.2.3 Ensayo de penetración dinámica ligera

Tiene como objetivo determinar el esfuerzo cortante en un suelo, determinar los valores de consistencia y el ángulo de fricción y obtener información de las condiciones reales en las que se encuentra el terreno.

El ensayo de penetración dinámica del tipo ligero ideado en Alemania para evaluar la capacidad portante del subsuelo de manera directa, se realiza mediante la medición de la resistencia que ofrece el suelo al avance del aparato llamado penetrómetro mediante golpes (penetrómetro dinámico). La profundidad de investigación para obtener resultados confiables es de 8 m. aproximadamente.

El ensayo DPL (DIN 4094) consiste en el hincado continuo en tramos de 10 cm de una punta cónica de 60° utilizando la energía de un martillo de 10 kg de peso, que cae libremente desde una altura de 50 cm. Este ensayo nos permite obtener un registro continuo de resistencia del terreno a la penetración, existiendo correlaciones para encontrar el valor “N” de resistencia a la penetración estándar en función del tipo de suelo, para cada 30 cm de hincado.

Los elementos y las características relevantes del método del ensayo son las siguientes:

- Equipo de DPL DIN 4094
- Cono metálico de penetración (60°)
- Yunque o cabezote
- Varillas o tubos de perforación
- Martillo o pesa (10 Kg).
- Barra guía

Los ensayos de penetración dinámica ligera (DPL) se ejecutaron con personal obrero. Este ensayo nos permite obtener un registro continuo de resistencia del terreno a la penetración, existiendo correlaciones para encontrar el valor N de resistencia a la penetración estándar en función del tipo de suelo. Por cada 30 cm de hincado se han ejecutado un total de quince (15) ensayos de penetración dinámica ligera (DPL) en el distrito de Trujillo (ver figura 3.14).

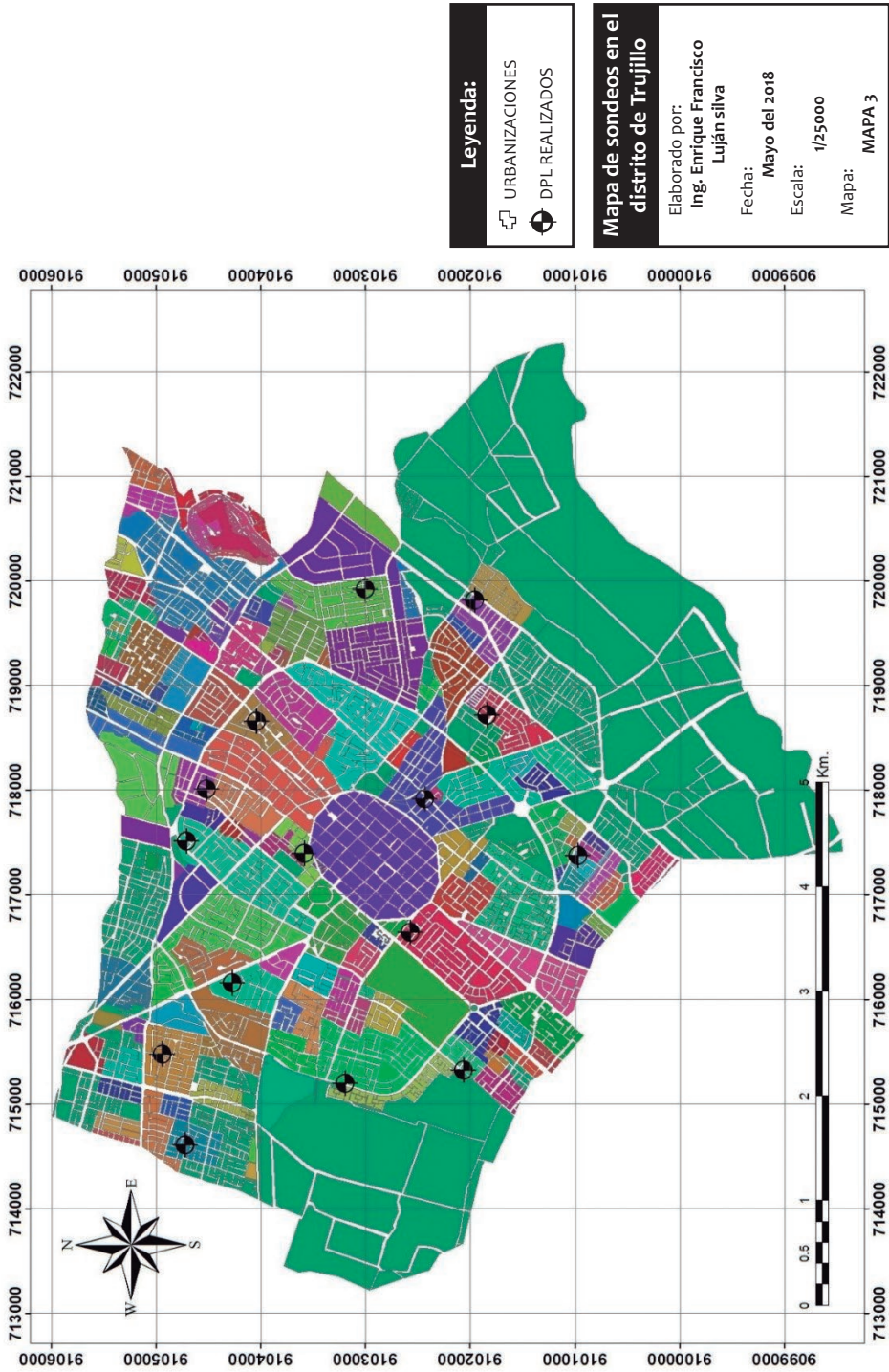


Figura 3. 11 Mapa de Ubicación de ensayos de penetración dinámica ligera (DPL)

3.5.2.4 Descripción de perfiles de suelo

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

Durante los trabajos de campo se estimó conveniente realizar la descripción de los perfiles de suelos (ver el panel fotográfico del anexo A-V), ubicados dentro del área de estudio. Cabe mencionar que, así como en las calicatas, en los ensayos de sondeos (SPT y DPL) fue posible realizar una identificación y descripción de suelos.

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

3.5.3 Ensayos de laboratorio

Los ensayos de laboratorio de las muestras de suelos fueron realizados en el laboratorio geotécnico de la UPAO y SL de Ingeniería EIRL. Los ensayos estándar fueron realizados con la finalidad de identificar y clasificar las muestras de suelo siguiendo los criterios del sistema unificado de clasificación de suelos (SUCS).

Los ensayos fueron realizados de acuerdo a las normas de la American Society for Testing and Material (ASTM) y fueron los siguientes:

- Contenido de humedad: ASTM D 4426
- Análisis granulométrico: ASTM D 422
- Límite líquido y plástico: ASTM D 4318
- Clasificación de suelos: ASTM D 2487
- Contenido sales solubles totales ASTM D 1888
- Gravedad específica: ASTM C 127 – 01
- Corte directo: ASTM D 3080-90

Los resultados de los ensayos de laboratorio se presentan en el anexo A-II

3.5.4 Capacidad portante de suelos

Considerando necesario para la microzonificación evaluar, con la información con la que se cuenta, la capacidad portante para los sectores predominantes se incluye el cálculo de la capacidad portante para una cimentación corrida de una edificación convencional.

La cimentación de una vivienda convencional se definió como un cimiento corrido de 0.60 m de ancho y profundidades de cimentación variable en función al tipo de suelo encontrado en las diferentes zonas del distrito de Trujillo. Para tal fin, se ha utilizado la teoría de capacidad de carga de Terzaghi y la expresión de Meyerhof, con los factores de capacidad de carga propuestos por Vesic en 1973. Para la evaluación de la capacidad portante se han utilizado los parámetros de resistencia cortante obtenidos de la información recopilada.

El capítulo IV muestra los cálculos de capacidad portante y asentamientos realizados. Los resultados de los cálculos fueron referidos a las zonas de la microzonificación geotécnica sísmica que es resultado de la presente investigación.

3.6 MÉTODOS GEOFÍSICOS PARA LA PROSPECCIÓN SÍSMICA

3.6.1 Introducción

Los métodos geofísicos empleados en la prospección sísmica tienen como objetivo el análisis de la variación de la velocidad de propagación de las ondas sísmicas, producidas de forma natural o artificial. Las ondas sísmicas se definen como perturbaciones elásticas que se desplazan a través de los estratos transportando energía con características de propagación dependientes de las propiedades del terreno que atraviesan.

La energía generada de forma natural o artificial en un punto próximo a la superficie del terreno se propaga como ondas internas de volumen (P, S), como ondas superficiales (L, Rg) y ondas de Coda. A continuación, se hace una breve descripción de los tipos de ondas sísmicas comúnmente utilizadas en la prospección sísmica.

3.6.1.1 Ondas de volumen

Onda P: Este tipo de onda es conocido como onda primaria, ya que son las que se registran en primer lugar. Estas ondas son de tipo longitudinal y someten a las partículas del terreno a deformaciones de compresión-dilatación en el sentido de la dirección de propagación de las ondas (Figura 3.12a). Estas se transmiten a través de cualquier tipo de medio material (sólido, líquido y gas).

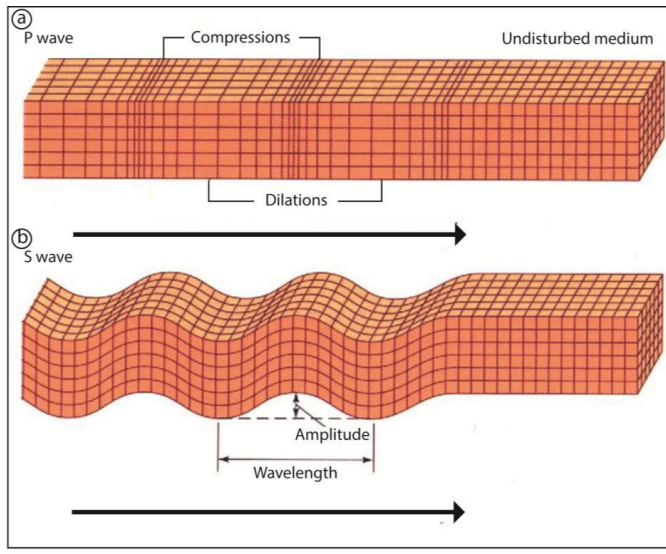


Figura 3. 12 (a) Perturbación típica de una onda P. (b) Perturbación típica del paso de una onda S.

La velocidad de la onda P (VP) viene dada por la expresión:

$$V_p = \left[\frac{K + (4/3)G}{\rho} \right]^{1/2} \quad (3.1)$$

Donde k es el módulo de compresibilidad, G representa el módulo de rigidez (o de cizalladura) y ρ es la densidad del material.

Onda S: Este tipo de ondas es conocido como ondas secundarias, transversales o de cizalla. Se registran a continuación de las ondas P debido a una menor velocidad de propagación. Las ondas S someten al terreno a una deformación a cizalladura, donde las partículas del medio sufrirán desplazamientos perpendiculares a la dirección de propagación de las ondas (Figura 3.12b). Este tipo de ondas no modifica el volumen ni se propagan a través de fluidos o gases. Si las partículas del medio oscilan verticalmente se denomina ondas SV y si lo hacen en dirección horizontal son ondas SH.

La velocidad de propagación de las ondas S (VS) se define como:

$$V_s = \left[\frac{G}{\rho} \right]^{1/2} \quad (3.2)$$

La propagación de las ondas P y S a través de los estratos del terreno experimenta tres fenómenos físicos (Figura 3.16):

1. El rayo directo que viaja por la parte superior de la primera capa a una velocidad V_1 .
2. El rayo refractado que junto al rayo incidente y la normal están en el mismo plano, en donde el ángulo de refracción i_2 depende de las velocidades de propagación de la onda en los medios 1 y 2 y del ángulo de incidencia i_0 , de acuerdo con la relación de Snell (Wolf 1995; Reynolds 1997). Parte de esta energía compresiva se convierte en ondas S transmitidas y reflejadas. La ley de Snell proporciona información acerca de la trayectoria de los rayos, los tiempos de llegada y la posición de los refractores, pero la información sobre las amplitudes de las ondas es nula.

$$\frac{\text{Sen}(i_0)}{V_{P1}} = \frac{\text{Sen}(i_1)}{V_{P1}} = \frac{\text{Sen}(i_{*1})}{V_{S1}} = \frac{\text{Sen}(i_2)}{V_{P2}} = \frac{\text{Sen}(i_{*2})}{V_{S2}} = p \quad (3.3)$$

Donde, V_{P1} , V_{P2} , V_{S1} y V_{S2} son las velocidades de propagación (P y S) de los medios 1 y 2.

3. El rayo reflejado que se origina para ángulos de incidencia pequeños (i_{*2}) al rebotar sobre el techo de la capa inferior.

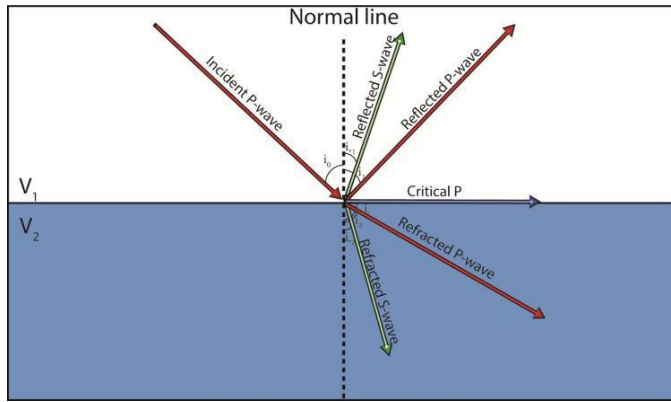


Figura 3.13 Reflexión y refracción de las ondas sísmicas al viajar por el subsuelo (Ley de Snell).

3.6.1.2 Ondas superficiales

Estas ondas viajan a una velocidad menor que las ondas volumétricas, presentando en general una amplitud mayor, por lo que suelen causar mayores daños a las estructuras. Las ondas superficiales se comportan como ondas dispersivas, variando la forma de su onda debido a la variación de las frecuencias contenidas al viajar por medios de diferentes velocidades. Existen varios tipos de ondas superficiales, entre las que destacan:

Ondas Love, L: Debe su nombre al matemático neozelandés A.E. Hough Love, quien desarrollo en el año 1911 un modelo de propagación para este tipo de ondas. Las ondas Love producen un movimiento horizontal de corte o cizalla al propagarse por el medio (figura 3.14). Su velocidad de propagación es del orden de un 90 % de la velocidad de las ondas S.

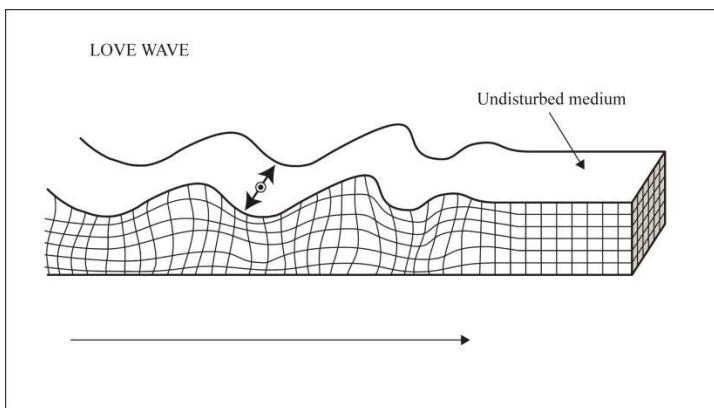


Figura 3.14 Tipo de deformación elástica sufrida por el terreno al paso de una onda superficial tipo Love (tomada de Martínez-Pagán (2007)).

Ondas Rayleigh, Rg: Deben su nombre al físico británico John Rayleigh, el cual predijo en 1885 la presencia de ondas superficiales descifrando matemáticamente el movimiento de ondas planas en un espacio seminfinito elástico (Rayleigh 1885). Estas ondas producen en el medio un movimiento elíptico en sentido contrario a la propagación (figura 3.15).

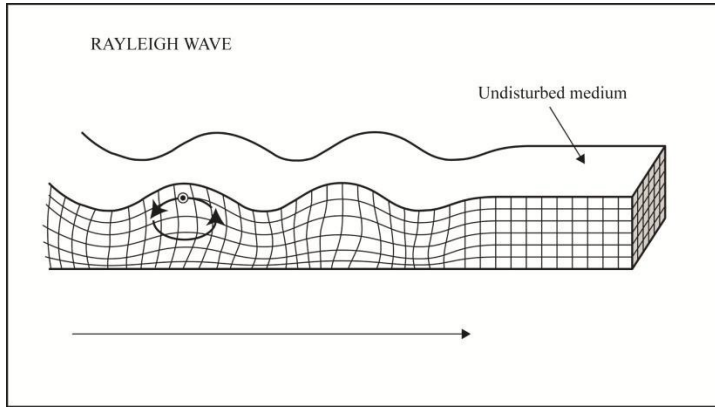


Figura 3. 15 Tipo de deformación elástica sufrida por el terreno al paso de una onda superficial tipo Rayleigh (tomada de Martínez-Pagán (2007))

A continuación, se presentan varias características importantes de las ondas Rg:

1. Se transmiten por la superficie del terreno, permitiendo que se puedan registrar fácilmente mediante geófonos colocados en el suelo. Afectan a un rango de profundidad en función de la longitud de onda.
2. Su velocidad de propagación se estima alrededor del 90% del valor de velocidad VS (Park et al. 1999).
3. Son más fáciles de generar y registrar que las ondas Love, ya que tienen un movimiento de la partícula en dirección vertical (figura 3.15) mientras que las ondas Love tienen un movimiento de las partículas en dirección horizontal (figura 3.14).

3.6.2 Métodos sísmicos activos

Los métodos sísmicos activos usan una fuente sísmica artificial (p.e. una maza). Esta idea está asociada a las investigaciones de campo publicadas por Robert Mallet en el año 1846 en su artículo “Sobre la dinámica de los terremotos”, en donde propuso la idea de generar terremotos artificiales por medio de explosiones controladas mediante el empleo de cartuchos de pólvora. Mallet concluyó que a cada tipo de roca se le asocia una velocidad de propagación de ondas sísmicas, con lo cual sería posible la clasificación de los estratos del terreno en base a las características que presentan dichas velocidades de propagación.

3.7 MÉTODO DE ANÁLISIS DE ONDAS SUPERFICIALES MASW

Las ondas superficiales se propagan por el medio más superficial poniendo de manifiesto las propiedades sísmicas de los materiales propios de dichas zonas. Este tipo de ondas se caracterizan, entre otras propiedades físicas, por presentar fenómeno de dispersión, el cual define la variación del valor de la velocidad de propagación en función del período (T) o de la frecuencia (f) (figura 3.16). Esta propiedad se manifiesta cuando el medio de propagación es heterogéneo verticalmente, atenuándose más rápidamente aquellas ondas caracterizadas por tener longitudes de onda más pequeñas (Ivanov et al. 2001). Por el contrario, las ondas con mayores longitudes de onda se propagan a través de zonas más profundas, permitiendo obtener las propiedades sísmicas de dichos horizontes.

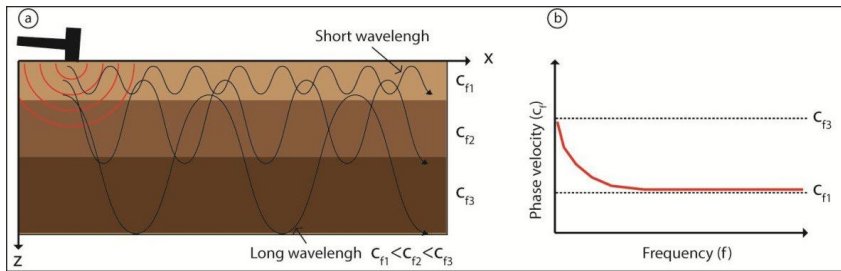


Figura 3. 16 (a) Dispersión de ondas Rayleigh en medios heterogéneos. (b) Concepto de dispersión en la transmisión de ondas Rayleigh.

La velocidad de las ondas de cizalla (VS) se puede determinar para cada capa del terreno mediante la inversión de la curva de dispersión de la velocidad de fase de las ondas Rayleigh (Rg). La velocidad VS depende de los parámetros geotécnicos del terreno como el módulo de cizalla (G) y la densidad (ρ) según la ecuación 3.4.

$$V_s = \left[\frac{G}{\rho} \right]^{1/2} \tag{3.4}$$

Las ondas Rg que viajan por la superficie son registradas por geófonos verticales, los cuales se distribuyen equiespaciados una distancia d, estando el primer geófono a una distancia \$x_0\$ del punto de disparo (offset). La velocidad de fase de estas ondas se analiza para diferentes frecuencias en base a la diferencia del tiempo de llegada de las ondas superficiales a cada uno de los geófonos (Δt_f).

$$C_f = \frac{x_0 + N_i d}{\Delta t_f} = \frac{x}{\Delta t_f} \tag{3.5}$$

Para \$N_i = 0, 1, 2, 3, \dots\$ etc.

Donde \$N_i\$ es el número que describe la posición del geófono a partir del punto de disparo.

Este tipo de ondas (Rg) pueden presentar distintos modos de vibración: un modo fundamental que se caracteriza por presentar una curva de dispersión en un rango

de frecuencias menor que los modos superiores (Ivanov et al. 2001) y los modos superiores que se caracterizan por presentar grandes amplitudes en la parte más superficial del terreno, por lo que las propiedades del material profundo no tienen una influencia importante en ellos.

El Servicio Geológico de la Universidad de Kansas, EEUU (KGS por sus siglas en inglés), ha llevado a cabo numerosos estudios empleando el análisis de las ondas Rayleigh para determinar la estructura superficial del terreno en términos de velocidad VS. El KGS divide el procedimiento de utilización del método MASW en tres etapas: una etapa inicial correspondiente a la adquisición de datos caracterizados por altas frecuencias (≥ 2 Hz) (Figura 3.17a); una segunda etapa consistente en la ejecución de algoritmos matemáticos según una secuencia lógica de procesamiento de los datos sísmicos, pensada para generar las curvas de dispersión de las ondas Rayleigh (Figura 3.17b); y una tercera etapa que se compone de la ejecución de algoritmos matemáticos para llevar a cabo la inversión de las curvas de dispersión, que permitirá obtener los modelos finales de velocidad de onda de cizalla frente a la profundidad (figura 3.17c). La etapa 2 requiere una mayor atención debido a que el grado de exactitud que se consiga durante la generación de las curvas de dispersión se verá reflejado en el grado de exactitud y fiabilidad del modelo final de velocidad VS del terreno obtenido a través de la inversión (Park 1995).

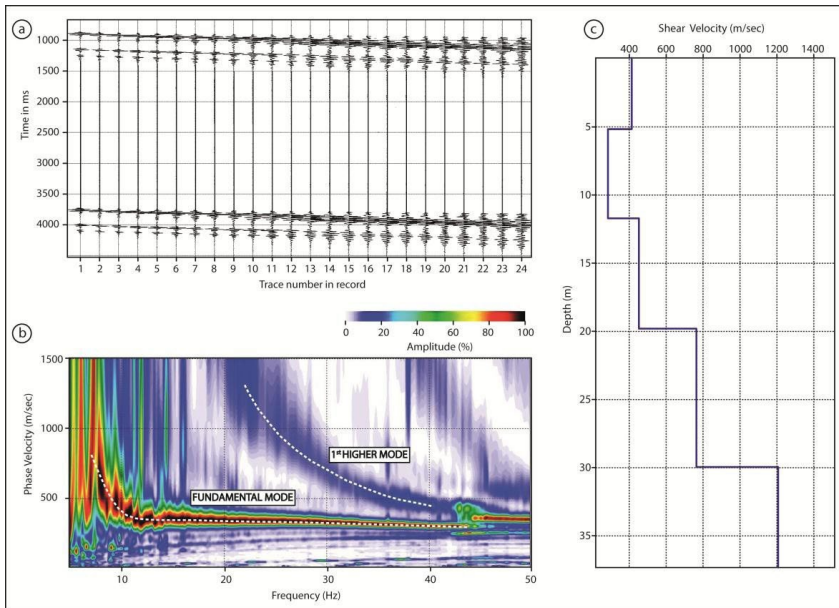


Figura 3.17 Ejemplo de análisis (a) registro de las ondas superficiales; (b) extracción de las curvas de dispersión del modo fundamental y de los modos superiores; (c) modelo de velocidad de cizalla vs. profundidad.

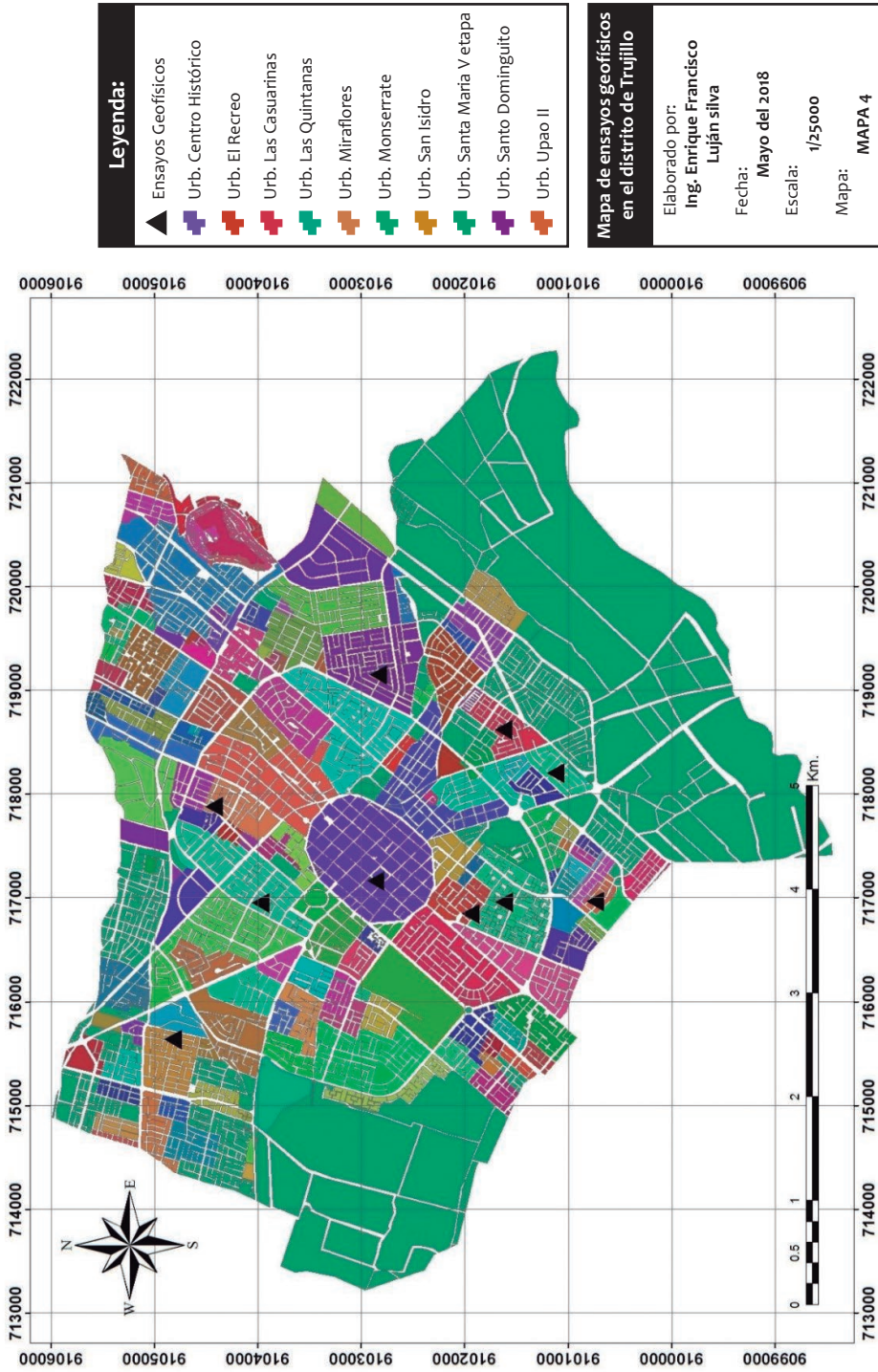


Figura 3. 18 Mapa de ubicación de los ensayos geofísicos (MASW)



RESULTADOS

4.1 CUADRO RESUMENES DE LOS ENSAYOS GEOTÉCNICOS EJECUTADOS

Tabla 4. 1 Ensayos de laboratorio de las calicatas ejecutadas

Calicatas	Profundidad (m.)	Contenido de humedad (w%)	Gravedad específica (Gs)	Límite líquido (%)	Límite plástico (%)	Índice de plasticidad (IP %)	Clasificación		Parámetros de corte	
							SUCS	AASHTO	Ø	C
C-1	0.00 - 0.65	-	-	-	-	-	-	-	0	5.174
	0.65 - 1.10	12.34	2.67	26.80	20.10	6.70	SC	A-2-6		
	1.10 - 3.00	19.59	2.67	29.20	23.40	5.80	CL	A-6		
C-2	0.00 - 0.40	-	-	-	-	-	-	-	27	0
	0.40 - 1.30	15.16	2.69	NP	NP	NP	SP	A-3		
	1.30 - 3.00	17.48	2.69	23.00	17.00	6.00	SP-SM	A-2-6		
C-3	0.00 - 0.40	-	-	-	-	-	-	-	26	0
	0.40 - 1.30	17.31	2.69	24.50	20.00	4.50	SP-SM	A-2-6		
	1.30 - 3.00	23.80	2.68	26.60	21.40	5.20	SM	A-2-6		
C-4	0.00 - 0.30	-	-	-	-	-	-	-	26	0
	0.30 - 3.00	16.77	2.69	NP	NP	NP	SP	A-3		
C-5	0.00 - 0.30	-	-	-	-	-	-	-	29	0
	0.30 - 2.40	11.70	2.70	NP	NP	NP	SP	A-3		
	2.40 - 3.00	14.44	2.71	NP	NP	NP	GP	A-1-a		
C-6	0.00 - 0.30	-	-	-	-	-	-	-	26	0
	0.30 - 3.00	16.64	2.68	NP	NP	NP	SP	A-3		
C-7	0.00 - 0.30	-	-	-	-	-	-	-	29	0
	0.30 - 1.90	10.92	2.71	NP	NP	NP	SP	A-3		
	1.90 - 3.00	14.93	2.71	NP	NP	NP	GP	A-1-a		
C-8	0.00 - 0.30	-	-	-	-	-	-	-	26	0
	0.30 - 3.00	15.72	2.70	NP	NP	NP	SP	A-3		

C-18	0.00 - 0.50	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	5.054
	0.50 - 3.00	19.85	2.67	32.00	23.40	8.60	CL	A-6													
C-19	0.00 - 0.30	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	26	0
	0.30 - 3.00	15.32	2.69	NP	NP	NP	SP	A-3													
C-20	0.00 - 0.30	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	29	0
	0.30 - 2.70	12.53	2.69	NP	NP	NP	SP	A-3													
	2.70 - 3.00	16.39	2.70	NP	NP	NP	GP	A-1-a													
C-21	0.00 - 0.40	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	29	0
	0.40 - 2.50	12.17	2.70	NP	NP	NP	SP	A-3													
	2.50 - 3.00	16.09	2.70	NP	NP	NP	GP	A-1-a													
C-22	0.00 - 0.30	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	0.4409
	0.30 - 0.70	15.09	2.67	25.60	21.00	4.60	SM	A-2-6													
	0.70 - 3.00	27.81	2.69	30.50	22.50	8.00	CL	A-6													
C-23	0.00 - 0.30	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	26	0
	0.30 - 1.30	15.27	2.69	24.20	19.00	5.20	SP-SM	A-2-6													
	1.30 - 3.00	19.29	2.69	24.80	20.10	4.70	SP-SM	A-2-6													
C-24	0.00 - 0.40	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	0.40 - 1.20	12.18	2.67	24.20	18.70	5.50	SC	A-2-6												27	0
	1.20 - 2.60	16.22	2.68	29.40	20.90	8.50	CL	A-6													
	2.60 - 3.00	19.27	2.69	NP	NP	NP	SP	A-3													
C-25	0.00 - 0.30	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	0.4655
	0.30 - 0.80	15.25	2.67	25.60	21.00	4.60	SM	A-2-6													
	0.80 - 3.00	20.31	2.69	29.50	22.50	7.00	CL	A-6													

EXCAVACIÓN DE CALICATAS PERFILES ESTRATIGRÁFICOS DE LOS SUELOS

Tabla 4. 2 Perfiles estratigráficos de las excavaciones de calicatas ejecutadas

Calicatas	Espesor (m.)	Clasificación de suelos SUCS	Descripción del suelo	Nivel freático (NAF)	Ensayos realizados en laboratorio
C-1	0.00 – 0.65	-	Capa de relleno conformada por terreno de cultivo y cierto material orgánico en estado suelto.		
	0.65 – 1.10	SC	Capa de arena arcillosa, de baja a mediana plasticidad, de color plomo oscuro, de estado parcialmente saturado, de compactación suelta a media conforme nos vamos profundizando.	NO	Contenido de humedad, análisis granulométrico, ensayo de densidad máxima y mínima, peso específico de sólidos, límites de Atterberg, ensayo de sales solubles.
	1.10 – 3.00	CL	Capa de arcilla de baja a mediana plasticidad, con presencia de gravas menudas de 1/2", de color marrón oscuro, de regular humedad y de consistencia media hasta la profundidad explorada.		
C-2	0.00 – 0.40	-	Capa de material de relleno en estado suelto con contenido de material orgánico.		
	0.40 – 1.30	SP	Capa de arenas pobremente graduadas, de color marrón, de poca plasticidad y humedad. Se presenta en un estado de compactación suelta a media a medida que nos vamos profundizando	NO	Contenido de humedad, análisis granulométrico, ensayo de densidad máxima y mínima, peso específico de sólidos, límites de Atterberg, ensayo de sales solubles.
	1.30 – 3.00	SP-SM	Capa de arenas pobremente graduadas con contenido de limos, de color marrón, de regular plasticidad y humedad. Se presenta en un estado de compactación media a medida que nos vamos profundizando.		

C-3	0.00 – 0.40	-	Capa de relleno de material suelto	
	0.40 – 1.30	SP-SM	Capa de arena pobremente graduada con limos, de color marrón oscuro, de poca humedad, de compacidad suelta a media, ligeramente plástico.	NO
	1.30 – 3.00	SM	Capa de arena limosa, de color marrón oscuro a amarillo, de regular plasticidad, en estado parcialmente saturado, de estado de compacidad media.	Contenido de humedad, análisis granulométrico, ensayo de densidad máxima y mínima, peso específico de sólidos, límites de Atterberg, ensayo de sales solubles.
C-4	0.00 – 0.30	-	Capa conformada por material de relleno en estado suelto conformado por material de basura en estado suelto	
	0.30 – 3.00	SP	Capa de arenas pobremente graduadas, de color beige pardo a marrón oscuro, de poca a regular humedad, de estado de compacidad media, con la presencia de pequeñas gravas conforme nos vamos profundizando.	NO
C-5	0.00 – 0.30	-	Capa de relleno conformado por suelo orgánico, arena y basura en estado suelto	
	0.30 – 2.40	SP	Capa de arenas pobremente graduadas, de poca humedad, de estado de compacidad media, no plástico, conteniendo además regular porcentaje de gravas menudas de 1" a 3" conforme nos vamos profundizando.	NO
	2.40 – 3.00	GP	Capa de grava mal graduada, de regular humedad, de compacidad media a compacta, no plástico, con ciertas presencias de porciones de bolonería conforme nos vamos profundizando.	Contenido de humedad, análisis granulométrico, ensayo de densidad máxima y mínima, peso específico de sólidos, límites de Atterberg, ensayo de sales solubles.

C-6	0.00 – 0.30	-	Capa de relleno en estado suelto con contenido de material orgánico y basura.	NO	Contenido de humedad, análisis granulométrico, ensayo de densidad máxima y mínima, peso específico de sólidos, límites de Atterberg, ensayo de sales solubles.
	0.30 – 3.00	SP	Capa de arenas pobremente graduadas, de color beige pardo a marrón oscuro, de poca a regular humedad, de estado de compacidad se suelta a media, con la presencia de pequeñas gravas conforme nos vamos profundizando.		
C-7	0.00 – 0.30	-	Capa conformada por material de relleno en estado suelto conformado por material orgánico en estado suelto	NO	Contenido de humedad, análisis granulométrico, ensayo de densidad máxima y mínima, peso específico de sólidos, límites de Atterberg, ensayo de sales solubles.
	0.30 – 1.90	SP	Capa de arenas pobremente graduadas, de poca humedad, de estado de compacidad media, no plástico, conteniendo además regular porcentaje de gravas menudas de 1" a 3" conforme nos vamos profundizando.		
	1.90 – 3.00	GP	Capa de grava mal graduada, de regular humedad, de compacidad media, a compacta, no plástico, con ciertas presencias de porciones de bolonería conforme nos vamos profundizando.		
C-8	0.00 – 0.30	-	Capa conformada por material de relleno en estado suelto conformado por material orgánico en estado suelto	NO	Contenido de humedad, análisis granulométrico, ensayo de densidad máxima y mínima, peso específico de sólidos, límites de Atterberg, ensayo de sales solubles.
	0.30 – 3.00	SP	Capa de Arenas Pobremente Graduadas, de color beige pardo a amarillo oscuro, de poca humedad, de estado de compacidad suelta a media, con la presencia aislada de pequeñas gravillas conforme nos vamos profundizando		

C-9	0.00 – 0.25	-	Capa de material de relleno en estado suelto	
	0.25 – 1.30	SP-SM	Capa de arenas pobremente graduadas con limos, de color marrón claro, de poca humedad, de estado de compacidad media, con la presencia de gravas pequeñas de tamaño ½”	Contenido de humedad, análisis granulométrico, ensayo de densidad máxima y mínima, peso específico de sólidos, límites de Atterberg, ensayo de sales solubles.
	1.30 – 3.00	SP-SM	Capa de arenas pobremente graduadas con limos, de color amarillo claro, de poca a regular humedad, de estado de compacidad media, con la presencia de gravas pequeñas a medianas de tamaño ½” a 1”.	NO
C-10	0.00 – 0.40	-	Capa de material de relleno en estado suelto con contenido de material orgánico y presencia de salitre	Contenido de humedad, análisis granulométrico, ensayo de densidad máxima y mínima, peso específico de sólidos, límites de Atterberg, ensayo de sales solubles.
	0.40 – 3.00	SP-SM	Capa de arenas pobremente graduadas con contenido de limos, de color marrón, de poca plasticidad y humedad. Se presenta en un estado de compacidad suelta a media a medida que nos vamos profundizando.	NO
C-11	0.00 – 0.30	-	Capa de material de relleno, conformado por suelo orgánico en estado suelto.	
	0.30 – 1.50	SP	Capa de arenas pobremente graduadas, de color marrón claro, de poca humedad, de estado de compacidad suelta a media, ligeramente plástico.	Contenido de humedad, análisis granulométrico, ensayo de densidad máxima y mínima, peso específico de sólidos, límites de Atterberg, ensayo de sales solubles.
	1.50 – 3.00	SP	Capa de arenas pobremente graduadas, de color plomo a marrón oscuro, de regular humedad, de estado de compacidad media, ligeramente plástico, conteniendo además regular porcentaje de gravas menudas	NO

C-12	0.00 – 0.45	-	Capa de material de relleno, conformado por suelo orgánico con basura y arena, en estado suelto	Contenido de humedad, análisis granulométrico, ensayo de densidad máxima y mínima, peso específico de sólidos, límites de Atterberg, ensayo de sales solubles.
	0.45 – 1.30	SP	Capa de arenas pobremente graduadas, de color beige pardo a marrón claro, de poca humedad, de estado de compacidad suelta a media, con la presencia aislada de gravas pequeñas de tamaño 1/2"	
	1.30 – 3.00	SP	Capa de arenas pobremente graduadas, de color amarillo claro, de regular humedad, de estado de compacidad media, con la presencia de gravas pequeñas a medianas de tamaño 1/2" a medida que nos vamos profundizando	
C-13	0.00 - 0.20	-	Capa de material de relleno en estado suelto con contenido de material orgánico	Contenido de humedad, análisis granulométrico, ensayo de densidad máxima y mínima, peso específico de sólidos, límites de Atterberg, ensayo de sales solubles.
	0.20 – 3.00	SP-SM	Capa de arenas pobremente graduadas con contenido de limos, de color marrón, de poca plasticidad y de poca a regular humedad. Se presenta en un estado de compacidad media a medida que nos vamos profundizando	
C-14	0.00 - 0.40	-	Capa de material de relleno suelto conformado por suelo orgánico y suelo agrícola ligeramente húmedo	Contenido de humedad, análisis granulométrico, ensayo de densidad máxima y mínima, peso específico de sólidos, límites de Atterberg, ensayo de sales solubles.
	0.40 – 3.00	SP	Capa de arenas pobremente graduadas, de color beige pardo a gris claro, de regular humedad, de estado de compacidad media, conteniendo regular porcentaje de gravas menudas de 1/2", conforme nos vamos profundizando en el suelo de cimentación	

C-15	0.00 – 0.30	-	Capa de material de relleno en estado suelto con contenido de material orgánico	NO	Contenido de humedad, análisis granulométrico, ensayo de densidad máxima y mínima, peso específico de sólidos, límites de Atterberg, ensayo de sales solubles.
	0.30 – 1.50	SP	Capa de arenas pobremente graduadas, de color beige claro, de poca plasticidad y humedad. Se presenta en un estado de compacidad suelta.		
	1.50 – 3.00	SP	Capa de arenas pobremente graduadas, de poca plasticidad y humedad. Se presenta en un estado de compacidad media a medida que nos vamos profundizando		
C-16	0.00 – 0.30	-	Capa de material de relleno en estado suelto con contenido de suelo orgánico	NO	Contenido de humedad, análisis granulométrico, ensayo de densidad máxima y mínima, peso específico de sólidos, límites de Atterberg, ensayo de sales solubles.
	0.30 – 1.50	SP	Capa de arenas pobremente graduadas, de poca humedad, de estado de compacidad media, no plástico, conteniendo además regular porcentaje de gravas menudas de 1" a 3" conforme nos vamos profundizando.		
	1.50 – 3.00	GP	Capa de grava mal graduada, de regular humedad, de compacidad media, a compacta, no plástico, con ciertas presencias de porciones de bolonería conforme nos vamos profundizando.		
C-17	0.00 – 0.30	-	Capa de material de relleno en estado suelto con contenido de material orgánico	NO	Contenido de humedad, análisis granulométrico, ensayo de densidad máxima y mínima, peso específico de sólidos, límites de Atterberg, ensayo de sales solubles.
	0.30 – 1.20	SP-SM	Capa de arenas pobremente graduadas con contenido de limos, de color marrón, de poca plasticidad y de poca a regular humedad. Se presenta en un estado de compacidad suelta a media a medida que nos vamos profundizando		
	1.20 – 3.00	SP	Capa de arenas pobremente graduadas, de color marrón, de poca plasticidad y de regular humedad. Se presenta en un estado de compacidad suelta a media a medida que nos vamos profundizando		

C-18	0.00 – 0.50	-	Capa de material de relleno natural en estado suelto mezclado con suelo agrícola		Contenido de humedad, análisis granulométrico, ensayo de densidad máxima y mínima, peso específico de sólidos, límites de Atterberg, ensayo de sales solubles.
	0.50 – 3.00	CL	Capa de arcillas de mediana plasticidad, de color plomo a marrón oscuro, de baja a considerable humedad, de estado de consistencia media, con cierto contenido de material orgánico, conteniendo además regular porcentaje de gravas menudas de 1/2" a 3/4", conforme nos vamos profundizando.	NO	
C-19	0.00 – 0.30	-	Capa conformada por material de suelo orgánico en estado suelto		Contenido de humedad, análisis granulométrico, ensayo de densidad máxima y mínima, peso específico de sólidos, límites de Atterberg, ensayo de sales solubles.
	0.30 – 3.00	SP	Capa de arenas pobremente graduadas, de color amarillo oscuro, de poca humedad, de estado de compacidad media, con la presencia de limos conforme nos vamos profundizando.	NO	
C-20	0.00 – 0.30	-	Capa de material de relleno en estado suelto con contenido de suelo orgánico		
	0.30 – 2.70	SP	Capa de arenas pobremente graduadas, de poca humedad, de estado de compacidad suelta a media, no plástico, conteniendo además regular porcentaje de gravas menudas de 1" a 3" conforme nos vamos profundizando.	NO	Contenido de humedad, análisis granulométrico, ensayo de densidad máxima y mínima, peso específico de sólidos, límites de Atterberg, ensayo de sales solubles.
	2.70 – 3.00	GP	Capa de grava mal graduada, de regular humedad, de compacidad media, a compacta, no plástico, con ciertas presencias de porciones de bolonería conforme nos vamos profundizando.		

C-21	0.00 – 0.40	-	Capa de material de relleno en estado suelto, mezclado con suelo orgánico y basura.	NO	Contenido de humedad, análisis granulométrico, ensayo de densidad máxima y mínima, peso específico de sólidos, límites de Atterberg, ensayo de sales solubles.
	0.40 – 2.50	SP	Capa de arenas pobremente graduadas, de poca humedad, de estado de compacidad suelta a media, no plástico, conteniendo además regular porcentaje de gravas menudas de 1/2" a 3/4" conforme nos vamos profundizando.		
	2.50 – 3.00	GP	Capa de grava mal graduada, de regular humedad, de compacidad media, a compacta, no plástico, con ciertas presencias de porciones de bolonería conforme nos vamos profundizando.		
C-22	0.00 - 0.30	-	Capa de relleno, conformado por terreno de cultivo y regular contenido de material orgánico.	2.20	Contenido de humedad, análisis granulométrico, ensayo de densidad máxima y mínima, peso específico de sólidos, límites de Atterberg, ensayo de sales solubles.
	0.30 - 0.70	SM	Capa de arena limosa, de baja plasticidad, de poca a regular humedad, de compacidad media.		
	0.70 - 3.00	CL	Capa de arcillas de baja plasticidad con presencia de gravas menudas de 1/2" conforme nos vamos profundizando, de regular humedad, de consistencia blanda a media.		
C-23	0.00 – 0.30	-	Capa de relleno de material orgánico	NO	Contenido de humedad, análisis granulométrico, ensayo de densidad máxima y mínimas, peso específico de sólidos, límites de Atterberg, ensayo de sales solubles.
	0.30 – 1.30	SP-SM	Capa de arena pobremente graduada con contenido de material fino llámese limos, de baja plasticidad, de color beige pardo, de poca humedad, de compacidad relativa media, conteniendo de manera aislada gravas menudas de 1/2" , conforme nos vamos profundizando		
	1.30 – 3.00	SP-SM	Capa de arenas pobremente graduadas con presencia de limos, de baja plasticidad con presencia de gravas menudas de 1/2" , de color plomo oscuro, de regular humedad, de compacidad relativa media, hasta la profundidad indicada.		

C-24	0.00 – 0.40	-	Capa de relleno, conformado por terreno de cultivo y cierto material orgánico en estado suelto	Contenido de humedad, análisis granulométrico, ensayo de densidad máxima y mínima, peso específico de sólidos, límites de Atterberg, ensayo de sales solubles.
	0.40 – 1.20	SC	Capa de arena arcillosa, de baja a mediana plasticidad, de color plomo oscuro, de estado parcialmente saturado, de compactad suelta a media, conteniendo de manera aislada gravas menudas de 1/2", conforme nos vamos profundizando	
	1.20 – 2.60	CL	Capa de arcilla de baja a mediana plasticidad, con presencia de gravas menudas de 1/2", de color marrón oscuro, de regular humedad, y de consistencia media hasta la profundidad explorada.	
	2.60 – 3.00	SP	Capa de arena pobremente graduada, de color beige pardo a plomo oscuro, de regular humedad, compactad media, conteniendo de manera aislada gravas menudas de 1/2", conforme nos vamos profundizando.	NO
C-25	0.00 - 0.30	-	Capa de relleno, conformado por terreno de cultivo y regular contenido de material orgánico	Contenido de humedad, análisis granulométrico, ensayo de densidad máxima y mínima, peso específico de sólidos, límites de Atterberg, ensayo de sales solubles.
	0.30 - 0.80	SM	Capa de arena limosa, de baja plasticidad, de color gris oscuro, de poca a regular humedad, de compactad media, conteniendo de manera aislada gravas menudas de 1/2", conforme nos vamos profundizando. La compactad de este material va aumentando conforme nos profundizamos con respecto al nivel inicial del terreno	
	0.80 - 3.00	CL	Capa de arcillas de baja plasticidad con presencia de gravas menudas de 1/2", de color marrón oscuro, de regular humedad, de consistencia media a firme hasta la profundidad indicada.	

C-26	0.00 – 0.25	-	Capa de material de relleno en estado suelto.	Contenido de humedad, análisis granulométrico, ensayo de densidad máxima y mínima, peso específico de sólidos, límites de Atterberg, ensayo de sales solubles.
	0.25 – 1.30	SP-SM	Capa de arenas pobremente graduadas con limos, de color marrón claro, de poca humedad, de estado de compacidad media, con la presencia aislada de gravas pequeñas	
	1.30 – 3.00	SP-SM	Capa de arenas pobremente graduadas con limos, de color amarillo claro, de poca a regular humedad, de estado de compacidad media, con la presencia de gravas pequeñas de tamaño $\frac{1}{2}$ ".	
C-27	0.00 – 0.30	-	Capa de material de relleno en estado suelto con contenido de material orgánico.	Contenido de humedad, análisis granulométrico, ensayo de densidad máxima y mínima, peso específico de sólidos, límites de Atterberg, ensayo de sales solubles.
	0.30 – 3.00	SP-SM	Capa de arenas pobremente graduadas con contenido de limos, de color beige pardo, de poca plasticidad y humedad. Se presenta en un estado de compacidad media, a medida que nos vamos profundizando.	
C-28	0.00 – 0.30	-	Capa de relleno, conformado por terreno de cultivo y cierto material orgánico en estado suelto.	Contenido de humedad, análisis granulométrico, ensayo de densidad máxima y mínima, peso específico de sólidos, límites de Atterberg, ensayo de sales solubles.
	0.30 – 1.10	SC	Capa de arena arcillosa, de baja a mediana plasticidad, de estado parcialmente saturado, de compacidad suelta.	
	1.10 – 2.70	CL	Capa de arcilla de baja a mediana plasticidad, de regular humedad, y de consistencia media.	
	2.70 – 3.00	SP	Capa de arena pobremente graduada, regular humedad, compacidad media, conteniendo de manera aislada gravas menudas de $\frac{1}{2}$ " – $\frac{3}{4}$ ", conforme nos vamos profundizando.	


C-29	0.00 – 0.30	-	Capa de material de relleno conformado por suelo orgánico y basura en estado suelto.	NO	Contenido de humedad, análisis granulométrico, ensayo de densidad máxima y mínima, peso específico de sólidos, límites de Atterberg, ensayo de sales solubles.
	0.30 – 3.00	SP	Capa de arenas pobremente graduadas, de compacidad media, de poca a regular humedad, de estado de compacidad suelta a media, no plástico, conteniendo además regular porcentaje de gravas menudas de 1/2" conforme nos vamos profundizando.		
C-30	0.00 – 0.70	-	Capa de relleno, conformado por terreno de cultivo y cierto material orgánico en estado suelto	NO	Contenido de humedad, análisis granulométrico, ensayo de densidad máxima y mínima, peso específico de sólidos, límites de Atterberg, ensayo de sales solubles.
	0.70 – 2.20	SC	Capa de arena arcillosa, de baja a mediana plasticidad, de color plomo oscuro, de estado parcialmente saturado, de compacidad suelta, conteniendo de manera aislada gravas menudas de 1/2", conforme nos vamos profundizando		
	2.20 – 3.00	SP	Capa de arena pobremente graduada, de color beige pardo a plomo oscuro, de regular humedad, compacidad media, conteniendo de manera aislada gravas menudas de 1/2", conforme nos vamos profundizando		

CALCULO CAPACIDAD PORTANTE

$$q_u = B \cdot p_e \cdot N_t \cdot s_t / 2 + C N_c \cdot s_c + p_e \cdot D_f \cdot N_q \cdot s_q$$

$$q_a = q_u / F_s$$

Tabla 4. 3 Cálculo de capacidad portante de las calicatas ejecutadas

Calicatas	Tipo de Cimiento	Df (m.)	B (m.)	 (Tn/m3)	Ø	C	Nc	Nt	Nq	Sc	St	Sq	Fs	Capacidad Portante (qa) Kg/cm2
C-1	Corrido	0.70	0.60	1.76	0	5.174	5.14	0	1	-	-	-	3	0.928
	Corrido	0.90	0.60	1.76	0	5.174	5.14	0	1	-	-	-	3	0.939
C-2	Corrido	0.70	0.60	1.70	27	0	23.94	14.47	13.20	1.55	0.60	1.51	3	0.939
	Corrido	0.90	0.60	1.70	27	0	23.94	14.47	13.20	1.55	0.60	1.51	3	1.165
C-3	Corrido	0.70	0.60	1.82	26	0	22.25	12.54	11.85	1.53	0.60	1.49	3	0.885
	Corrido	0.90	0.60	1.82	26	0	22.25	12.54	11.85	1.53	0.60	1.49	3	1.099
C-4	Corrido	0.70	0.60	1.75	26	0	22.25	12.54	11.85	1.53	0.60	1.49	3	0.852
	Corrido	0.90	0.60	1.75	26	0	22.25	12.54	11.85	1.53	0.60	1.49	3	1.058
C-5	Corrido	0.70	0.60	1.68	29	0	27.86	19.34	16.44	1.59	0.60	1.55	3	1.195
	Corrido	0.90	0.60	1.68	29	0	27.86	19.34	16.44	1.59	0.60	1.55	3	1.481
C-6	Corrido	0.70	0.60	1.83	26	0	22.25	12.54	11.85	1.53	0.60	1.49	3	0.892
	Corrido	0.90	0.60	1.83	26	0	22.25	12.54	11.85	1.53	0.60	1.49	3	1.108
C-7	Corrido	0.70	0.60	1.71	29	0	27.86	19.34	16.44	1.59	0.60	1.55	3	1.213
	Corrido	0.90	0.60	1.71	29	0	27.86	19.34	16.44	1.59	0.60	1.55	3	1.503
C-8	Corrido	0.70	0.60	1.88	26	0	22.25	12.54	11.85	1.53	0.60	1.49	3	0.914
	Corrido	0.90	0.60	1.88	26	0	22.25	12.54	11.85	1.53	0.60	1.49	3	1.134
C-9	Corrido	0.70	0.60	1.65	27	0	23.94	14.47	13.20	1.55	0.60	1.51	3	0.910
	Corrido	0.90	0.60	1.65	27	0	23.94	14.47	13.20	1.55	0.60	1.51	3	1.129
C-10	Corrido	0.70	0.60	1.75	25	0	20.72	10.88	10.66	1.51	0.6	1.47	3	0.756
	Corrido	0.90	0.60	1.75	25	0	20.72	10.88	10.66	1.51	0.6	1.47	3	0.939

C-11	Corrido	0.70	0.60	1.78	26	0	22.25	12.54	11.85	1.53	0.60	1.49	3	0.869
	Corrido	0.90	0.60	1.78	26	0	22.25	12.54	11.85	1.53	0.60	1.49	3	1.079
C-12	Corrido	0.70	0.60	1.79	26	0	22.25	12.54	11.85	1.53	0.60	1.49	3	0.874
	Corrido	0.90	0.60	1.79	26	0	22.25	12.54	11.85	1.53	0.60	1.49	3	1.085
C-13	Corrido	0.70	0.60	1.81	26	0	22.25	12.54	11.85	1.53	0.60	1.49	3	0.879
	Corrido	0.90	0.60	1.81	26	0	22.25	12.54	11.85	1.53	0.60	1.49	3	1.092
C-14	Corrido	0.70	0.60	1.74	27	0	23.94	14.47	13.20	1.55	0.60	1.51	3	0.962
	Corrido	0.90	0.60	1.74	27	0	23.94	14.47	13.20	1.55	0.60	1.51	3	1.193
C-15	Corrido	0.70	0.60	1.72	26	0	22.25	12.54	11.85	1.53	0.60	1.49	3	0.838
	Corrido	0.90	0.60	1.72	26	0	22.25	12.54	11.85	1.53	0.60	1.49	3	1.040
C-16	Corrido	0.70	0.60	1.74	29	0	27.86	19.34	16.44	1.59	0.60	1.55	3	1.233
	Corrido	0.90	0.60	1.74	29	0	27.86	19.34	16.44	1.59	0.60	1.55	3	1.528
C-17	Corrido	0.70	0.60	1.69	26	0	22.25	12.54	11.85	1.53	0.60	1.49	3	0.823
	Corrido	0.90	0.60	1.69	26	0	22.25	12.54	11.85	1.53	0.60	1.49	3	1.021
C-18	Corrido	0.70	0.60	1.68	0	5.054	5.14	0	1	-	-	-	3	0.905
	Corrido	0.90	0.60	1.68	0	5.054	5.14	0	1	-	-	-	3	0.916
C-19	Corrido	0.70	0.60	1.77	26	0	22.25	12.54	11.85	1.53	0.60	1.49	3	0.862
	Corrido	0.90	0.60	1.77	26	0	22.25	12.54	11.85	1.53	0.60	1.49	3	1.071
C-20	Corrido	0.70	0.60	1.67	29	0	27.86	19.34	16.44	1.59	0.60	1.55	3	1.187
	Corrido	0.90	0.60	1.67	29	0	27.86	19.34	16.44	1.59	0.60	1.55	3	1.471
C-21	Corrido	0.70	0.60	1.69	29	0	27.86	19.34	16.44	1.59	0.60	1.55	3	1.204
	Corrido	0.90	0.60	1.69	29	0	27.86	19.34	16.44	1.59	0.60	1.55	3	1.492

C-22	Corrido	0.70	0.60	1.67	0	4.409	5.14	0	1	-	-	-	3	0.794
	Corrido	0.90	0.60	1.67	0	4.409	5.14	0	1	-	-	-	3	0.806
C-23	Corrido	0.70	0.60	1.75	26	0	22.25	12.54	11.85	1.53	0.60	1.49	3	0.854
	Corrido	0.90	0.60	1.75	26	0	22.25	12.54	11.85	1.53	0.60	1.49	3	1.061
C-24	Corrido	0.70	0.60	1.77	27	0	23.94	14.47	13.20	1.55	0.60	1.51	3	0.978
	Corrido	0.90	0.60	1.77	27	0	23.94	14.47	13.20	1.55	0.60	1.51	3	1.213
C-25	Corrido	0.70	0.60	1.73	0	4.655	5.14	0	1	-	-	-	3	0.838
	Corrido	0.90	0.60	1.73	0	4.655	5.14	0	1	-	-	-	3	0.849
C-26	Corrido	0.70	0.60	1.83	26	0	22.25	12.54	11.85	1.53	0.60	1.49	3	0.892
	Corrido	0.90	0.60	1.83	26	0	22.25	12.54	11.85	1.53	0.60	1.49	3	1.107
C-27	Corrido	0.70	0.60	1.76	26	0	22.25	12.54	11.85	1.53	0.60	1.49	3	0.858
	Corrido	0.90	0.60	1.76	26	0	22.25	12.54	11.85	1.53	0.60	1.49	3	1.065
C-28	Corrido	0.70	0.60	1.78	27	0	23.94	14.47	13.20	1.55	0.60	1.51	3	0.982
	Corrido	0.90	0.60	1.78	27	0	23.94	14.47	13.20	1.55	0.60	1.51	3	1.219
C-29	Corrido	0.70	0.60	1.80	26	0	22.25	12.54	11.85	1.53	0.60	1.49	3	0.877
	Corrido	0.90	0.60	1.80	26	0	22.25	12.54	11.85	1.53	0.60	1.49	3	1.089
C-30	Corrido	0.70	0.60	1.74	26	0	22.25	12.54	11.85	1.53	0.60	1.49	3	0.848
	Corrido	0.90	0.60	1.74	26	0	22.25	12.54	11.85	1.53	0.60	1.49	3	1.053

CALCULO ASENTAMIENTO

$$S = q_a * B * (1 - U_2) * I_f / E_s$$

Tabla 4. 4 Cálculo de asentamiento de excavaciones de las calicatas ejecutadas

Calicatas	Tipo de Cimiento	Qa (kg/cm2)	B (cm.)	u	1-u2	If	Es (Tn/m2)	Asentamiento (S) cm
C-1	Corrido	0.928	60	0.25	0.9375	1.97	180.00	0.571
	Corrido	0.939	60	0.25	0.9375	1.97	180.00	0.578
C-2	Corrido	0.939	60	0.25	0.9375	1.97	220.00	0.473
	Corrido	1.165	60	0.25	0.9375	1.97	220.00	0.587
C-3	Corrido	0.885	60	0.25	0.9375	1.97	290.00	0.338
	Corrido	1.099	60	0.25	0.9375	1.97	290.00	0.420
C-4	Corrido	0.852	60	0.25	0.9375	1.97	200.00	0.472
	Corrido	1.058	60	0.25	0.9375	1.97	200.00	0.586
C-5	Corrido	1.195	60	0.25	0.9375	1.97	350.00	0.378
	Corrido	1.481	60	0.25	0.9375	1.97	350.00	0.469
C-6	Corrido	0.892	60	0.25	0.9375	1.97	200.00	0.494
	Corrido	1.108	60	0.25	0.9375	1.97	200.00	0.614
C-7	Corrido	1.213	60	0.25	0.9375	1.97	380.00	0.354
	Corrido	1.503	60	0.25	0.9375	1.97	380.00	0.438
C-8	Corrido	0.914	60	0.25	0.9375	1.97	280.00	0.362
	Corrido	1.134	60	0.25	0.9375	1.97	280.00	0.449
C-9	Corrido	0.910	60	0.25	0.9375	1.97	250.00	0.403
	Corrido	1.129	60	0.25	0.9375	1.97	250.00	0.501
C-10	Corrido	0.756	60	0.25	0.9375	1.97	210.00	0.399
	Corrido	0.939	60	0.25	0.9375	1.97	210.00	0.495
C-11	Corrido	0.815	60	0.25	0.9375	1.97	220.00	0.438
	Corrido	1.009	60	0.25	0.9375	1.97	220.00	0.543
C-12	Corrido	0.874	60	0.25	0.9375	1.97	250.00	0.387
	Corrido	1.085	60	0.25	0.9375	1.97	250.00	0.481
C-13	Corrido	0.879	60	0.25	0.9375	1.97	250.00	0.390
	Corrido	1.092	60	0.25	0.9375	1.97	250.00	0.484
C-14	Corrido	0.962	60	0.25	0.9375	1.97	250.00	0.426
	Corrido	1.193	60	0.25	0.9375	1.97	250.00	0.529

C-15	Corrido	0.838	60	0.25	0.9375	1.97	220.00	0.422
	Corrido	1.040	60	0.25	0.9375	1.97	220.00	0.524
C-16	Corrido	1.233	60	0.25	0.9375	1.97	380.00	0.360
	Corrido	1.528	60	0.25	0.9375	1.97	380.00	0.446
C-17	Corrido	0.823	60	0.25	0.9375	1.97	250.00	0.365
	Corrido	1.021	60	0.25	0.9375	1.97	250.00	0.453
C-18	Corrido	0.905	60	0.25	0.9375	1.97	180.00	0.557
	Corrido	0.916	60	0.25	0.9375	1.97	180.00	0.564
C-19	Corrido	0.862	60	0.25	0.9375	1.97	220.00	0.434
	Corrido	1.071	60	0.25	0.9375	1.97	220.00	0.539
C-20	Corrido	1.187	60	0.25	0.9375	1.97	350.00	0.376
	Corrido	1.471	60	0.25	0.9375	1.97	350.00	0.466
C-21	Corrido	1.204	60	0.25	0.9375	1.97	350.00	0.381
	Corrido	1.492	60	0.25	0.9375	1.97	350.00	0.472
C-22	Corrido	0.794	60	0.25	0.9375	1.97	180.00	0.489
	Corrido	0.806	60	0.25	0.9375	1.97	180.00	0.496
C-23	Corrido	0.854	60	0.25	0.9375	1.97	200.00	0.473
	Corrido	1.061	60	0.25	0.9375	1.97	200.00	0.588
C-24	Corrido	0.978	60	0.25	0.9375	1.97	300.00	0.361
	Corrido	1.213	60	0.25	0.9375	1.97	300.00	0.448
C-25	Corrido	0.838	60	0.25	0.9375	1.97	180.00	0.516
	Corrido	0.849	60	0.25	0.9375	1.97	180.00	0.523
C-26	Corrido	0.892	60	0.25	0.9375	1.97	220.00	0.449
	Corrido	1.107	60	0.25	0.9375	1.97	220.00	0.558
C-27	Corrido	0.858	60	0.25	0.9375	1.97	200.00	0.475
	Corrido	1.065	60	0.25	0.9375	1.97	200.00	0.590
C-28	Corrido	0.982	60	0.25	0.9375	1.97	320.00	0.340
	Corrido	1.219	60	0.25	0.9375	1.97	320.00	0.422
C-29	Corrido	0.877	60	0.25	0.9375	1.97	200.00	0.486
	Corrido	1.089	60	0.25	0.9375	1.97	200.00	0.603
C-30	Corrido	0.848	60	0.25	0.9375	1.97	250.00	0.376
	Corrido	1.053	60	0.25	0.9375	1.97	250.00	0.467

ENSAYO DE PENETRACIÓN DINÁMICA LIGERA (DPL)

Tabla 4. 5 Descripción de resultados de los ensayos DPL ejecutadas

Sondeo (DPL)	Profundidad alcanzada	Clasificación de suelos SUCS	Descripción de suelo	Nivel freático (NAF)
DPL - 1	0.30 m.	-	Material de relleno suelto conformado por material agrícola y basura, con cierta presencia de material orgánico en los primeros 30 cm.	
	1.50 m.	SP	Capa de arenas pobremente graduadas, de poca plasticidad y humedad. Se presenta en un estado de compacidad suelta hasta la profundidad de 1.50 m.	NO PRESENTA
	5.00 m.	SP	Capa de arenas pobremente graduadas, de poca plasticidad y humedad. Se presenta en un estado de compacidad media, conteniendo gravas de 1/2" hasta la profundidad de 5.00 m.	
DPL - 2	0.60 m.	-	Capa de material de relleno, conformado por suelo orgánico con basura y arena, en estado suelto en los primeros 60 cm.	
	1.70 m.	SP	Capa de arenas pobremente graduadas, de poca humedad, de estado de compacidad suelta a media, hasta la profundidad de 1.70 m.	NO PRESENTA
	5.00 m.	SP-SM	Capa de arenas pobremente graduadas con ciertos limos, de regular humedad, de estado de compacidad media, con la presencia de gravas hasta la profundidad de 5.00 m.	
DPL - 3	0.30 m.	-	Capa de material de relleno, conformado por suelo agrícola en estado suelto en los primeros 30 cm.	
	1.40 m.	SP	Capa de arena mal graduada, de poca humedad, de estado de compacidad suelta a media, no plástico hasta la profundidad de 1.40 m.	NO PRESENTA
	5.00 m.	SP	Capa de arena mal graduada, de regular humedad, de estado de compacidad media, no plástico conteniendo gravas de 1/2" hasta la profundidad de 5.00 m	
DPL - 4	0.40 m.	-	Capa de relleno conformado por suelo orgánico y suelo agrícola en estado suelto, ligeramente húmedo en los primeros 40 cm.	NO PRESENTA
	5.00 m.	SP	Capa de arena pobremente graduada con cierta presencia de limos, de compacidad suelta a media, de poca a regular humedad, no plástico Se nota cierta presencia de gravas de 3/4" conforme nos vamos profundizando hasta los 5.00 m.	

DPL - 5	0.30 m.	-	Capa conformada por material de suelo agrícola en estado suelto en los primeros 30 cm.	NO PRESENTA
	5.00 m.	SP	Capa de arenas pobremente graduadas, de poca humedad, de estado de compacidad media, con la presencia de gravas conforme nos vamos profundizando hasta los 5.00 m.	
DPL - 6	0.30 m.	-	Capa de material de relleno en estado suelto con contenido de material orgánico en los primeros 30 cm.	NO PRESENTA
	1.30 m.	SP-SM	Capa de arenas pobremente graduadas con contenido de limos, de poca plasticidad y de poca a regular humedad hasta la profundidad de 1.30 m.	
	5.00 m.	SP	Capa de arenas pobremente graduadas, de poca plasticidad y de regular humedad. Se presenta en un estado de compacidad suelta a media conteniendo gravas de 1/2" a medida que nos vamos profundizando hasta los 5.00 m.	
DPL - 7	0.40 m.	-	Capa de relleno suelto conformado por suelo agrícola y suelo orgánico en estado suelto, en los primeros 40 cm.	NO PRESENTA
	5.00 m.	SP-SM	Capa de arena pobremente graduada con limos, de poca a regular humedad, de estado de compacidad suelta a media, poco plástico conteniendo de manera aislada gravas menudas de 1/2" conforme nos vamos profundizando hasta los 5.00 m.	
DPL - 8	0.30 m.	-	Material de relleno, conformado por terreno de cultivo y cierto material orgánico en estado suelto en los primeros 30 cm.	NO PRESENTA
	2.60 m.	SP	Capa de arena pobremente graduada, de poca a regular humedad, de compacidad suelta a media poco plástico, conteniendo de manera aislada gravas de 1/2" a 3/4" hasta la profundidad de 2.60 m.	
	3.30 m.	GP	Capa de grava mal graduada, de regular humedad, de compacidad media, a compacta, no plástico, con ciertas presencias de porciones de bolonería conforme nos vamos profundizando hasta los 3.30 m.	
DPL - 9	0.30 m.	-	Capa de relleno suelto conformado por material agrícola y basura, con cierta presencia de material orgánico (salitre) en los primeros 30 cm.	NO PRESENTA
	1.50 m.	SP-SM	Capa de arena pobremente graduada con limos, de poca humedad, de compacidad media, ligeramente plástico hasta los 1.50 m.	
	5.00 m.	SP-SM	Capa de arena pobremente graduada con limos, de regular humedad, y de compacidad media, poco plástico, conteniendo gravas aisladas de 1/2" a 3/4" conforme nos vamos profundizando hasta la profundidad de 5.00 m.	

DPL - 10	0.30 m.	-	Material de relleno, conformado por terreno de cultivo y cierto material orgánico en estado suelto en los primeros 30 cm.	NO PRESENTA
	5.00 m.	SP	Capa de arena pobremente graduada, de poca a regular humedad, de compacidad suelta a media poco plástico, conteniendo de manera aislada gravas de 1/2" a 3/4" hasta la profundidad de 5.00 m.	
DPL - 11	0.30 m.	-	Material de relleno, conformado por terreno de cultivo y cierto material orgánico en estado suelto en los primeros 30 cm.	NO PRESENTA
	2.40 m.	SP	Capa de arena pobremente graduada, de poca a regular humedad, de compacidad suelta a media poco plástico, conteniendo de manera aislada gravas de 1/2" a 1" hasta la profundidad de 2.40 m.	
	3.10 m.	GP	Capa de grava mal graduada, de regular humedad, de compacidad media, a compacta, no plástico, con ciertas presencias de porciones de bolonería conforme nos vamos profundizando hasta los 3.10 m.	
DPL - 12	0.30 m.	-	Material de relleno en estado suelto conformado por suelo agrícola y basura hasta los 30 cm	NO PRESENTA
	1.20 m.	SC	Capa de arena arcillosa, de poca plasticidad, poca humedad, de estado de compacidad media hasta la profundidad de 1.20 m.	
	2.80 m.	CL	Capa de arcilla de baja plasticidad, de regular humedad, de consistencia media, conteniendo de manera aislada gravas de 1/2 " conforme nos vamos profundizando hasta el 2.80 m.	
	5.00 m.	SP	Capa de arena pobremente graduada , de regular humedad, de estado de compacidad media, conteniendo de manera aislada gravas menudas de 1/2", conforme nos vamos profundizando hasta los 5.00 m.	
DPL - 13	0.30 m.	-	Capa de relleno agrícola y basura en estado suelto hasta los 30 cm.	NO PRESENTA
	3.00 m.	SP	Capa de arenas pobremente graduadas, de poca humedad, de estado de compacidad suelta a media, con la presencia hasta los 3.00 m.	
	5.00 m.	SP	Capa de arena pobremente graduada, de poca a regular humedad, de estado de compacidad media, conteniendo de manera aislada gravas de 1/2 " a 3/4" conforme nos vamos profundizando hasta los 5.00 m.	

DPL -14	0.60 m.	-	Material de relleno en estado suelto conformado por terreno de cultivo y cierto material orgánico en estado suelto hasta los 60 cm.
	1.10 m.	SM	Capa de arena limosa de baja plasticidad, de poca a regular humedad, de compacidad, conteniendo de manera aislada gravas menudas de 1/2", conforme nos vamos profundizando hasta el 1.10 m.
	3.50 m.	CL	Capa de arcilla de baja a mediana plasticidad a mediana plasticidad, con presencia de gravas menudas de 1/2", de color marrón oscuro, de regular humedad, y de consistencia media hasta la profundidad de 3.50 m.
	5.00 m.	SP	Capa de arena pobremente graduada, de regular humedad, de estado de compacidad media, conteniendo de manera aislada gravas menudas de 1/2", conforme nos vamos profundizando hasta los 5.00 m
DPL -15	0.30 m.	-	Material de relleno en estado suelto conformado por terreno de cultivo y cierto material orgánico en estado suelto hasta los 30 cm.
	0.70 m.	SM	Capa de arena limosa de baja plasticidad, de poca a regular humedad, de compacidad, conteniendo de manera aislada gravas menudas de 1/2", conforme nos vamos profundizando hasta el 0.70 m.
	3.20 m.	CL	Capa de arcilla de baja a mediana plasticidad, con presencia de gravas menudas de 1/2", de color marrón oscuro, de regular humedad, y de consistencia media hasta la profundidad de 3.20 m.
	5.00 m.	SP	Capa de arena pobremente graduada, de regular humedad, de estado de compacidad media, conteniendo de manera aislada gravas menudas de 1/2", conforme nos vamos profundizando hasta los 5.00 m

NAF = 3.30

NAF = 2.50

Tabla 4. 6 Resultados de número de golpes de los ensayos DPL ejecutadas

DPL - 1		DPL - 2		DPL - 3		DPL - 4		DPL - 5		DPL - 6		DPL - 7		DPL - 8	
Profundidad (m.)	N _{DPL}	Profundidad (m.)	N _{DPL}	Profundidad (m.)	N _{DPL}	Profundidad (m.)	N _{DPL}	Profundidad (m.)	N _{DPL}	Profundidad (m.)	N _{DPL}	Profundidad (m.)	N _{DPL}	Profundidad (m.)	N _{DPL}
0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0
0.1	0	0.1	0	0.1	0	0.1	0	0.1	0	0.1	0	0.1	0	0.1	0
0.2	0	0.2	0	0.2	0	0.2	0	0.2	0	0.2	0	0.2	0	0.2	0
0.3	0	0.3	0	0.3	0	0.3	0	0.3	0	0.3	0	0.3	0	0.3	0
0.4	8	0.4	0	0.4	8	0.4	0	0.4	7	0.4	7	0.4	0	0.4	12
0.5	9	0.5	0	0.5	9	0.5	5	0.5	9	0.5	9	0.5	8	0.5	15
0.6	11	0.6	0	0.6	10	0.6	6	0.6	10	0.6	10	0.6	10	0.6	13
0.7	13	0.7	11	0.7	11	0.7	8	0.7	11	0.7	11	0.7	11	0.7	15
0.8	12	0.8	12	0.8	12	0.8	9	0.8	13	0.8	13	0.8	12	0.8	17
0.9	14	0.9	14	0.9	14	0.9	12	0.9	13	0.9	13	0.9	12	0.9	18
1.0	15	1.0	13	1.0	13	1.0	14	1.0	12	1.0	15	1.0	10	1.0	20
1.1	14	1.1	14	1.1	14	1.1	16	1.1	14	1.1	14	1.1	11	1.1	21
1.2	14	1.2	15	1.2	15	1.2	17	1.2	15	1.2	16	1.2	12	1.2	24
1.3	16	1.3	15	1.3	17	1.3	16	1.3	16	1.3	16	1.3	13	1.3	23
1.4	15	1.4	16	1.4	18	1.4	18	1.4	18	1.4	19	1.4	15	1.4	22
1.5	15	1.5	16	1.5	21	1.5	20	1.5	17	1.5	18	1.5	14	1.5	25
1.6	13	1.6	17	1.6	20	1.6	21	1.6	18	1.6	20	1.6	12	1.6	24
1.7	17	1.7	18	1.7	19	1.7	22	1.7	19	1.7	19	1.7	13	1.7	24
1.8	15	1.8	20	1.8	18	1.8	21	1.8	18	1.8	17	1.8	14	1.8	25
1.9	19	1.9	19	1.9	19	1.9	22	1.9	19	1.9	18	1.9	15	1.9	26
2.0	18	2.0	20	2.0	20	2.0	23	2.0	21	2.0	19	2.0	14	2.0	27
2.1	22	2.1	22	2.1	22	2.1	25	2.1	22	2.1	20	2.1	17	2.1	25
2.2	21	2.2	22	2.2	22	2.2	28	2.2	22	2.2	21	2.2	16	2.2	28
2.3	21	2.3	21	2.3	21	2.3	25	2.3	21	2.3	22	2.3	17	2.3	31
2.4	23	2.4	21	2.4	21	2.4	25	2.4	21	2.4	21	2.4	15	2.4	31
2.5	20	2.5	23	2.5	23	2.5	26	2.5	20	2.5	19	2.5	15	2.5	34
2.6	23	2.6	23	2.6	23	2.6	26	2.6	19	2.6	20	2.6	14	2.6	36
2.7	25	2.7	25	2.7	25	2.7	29	2.7	21	2.7	21	2.7	16	2.7	39
2.8	23	2.8	26	2.8	26	2.8	30	2.8	23	2.8	21	2.8	18	2.8	42
2.9	26	2.9	26	2.9	26	2.9	31	2.9	22	2.9	22	2.9	17	2.9	46
3.0	22	3.0	24	3.0	26	3.0	28	3.0	25	3.0	23	3.0	19	3.0	45
3.1	23	3.1	23	3.1	25	3.1	29	3.1	26	3.1	24	3.1	21	3.1	47
3.2	25	3.2	24	3.2	24	3.2	27	3.2	24	3.2	24	3.2	24	3.2	48
3.3	23	3.3	23	3.3	22	3.3	26	3.3	25	3.3	22	3.3	25	3.3	50
3.4	24	3.4	24	3.4	22	3.4	28	3.4	26	3.4	23	3.4	24		
3.5	26	3.5	25	3.5	22	3.5	29	3.5	26	3.5	25	3.5	26		
3.6	25	3.6	25	3.6	23	3.6	28	3.6	27	3.6	24	3.6	24		
3.7	25	3.7	27	3.7	21	3.7	30	3.7	28	3.7	26	3.7	26		
3.8	27	3.8	29	3.8	22	3.8	30	3.8	30	3.8	25	3.8	23		
3.9	24	3.9	30	3.9	24	3.9	35	3.9	29	3.9	26	3.9	22		
4.0	29	4.0	30	4.0	22	4.0	35	4.0	30	4.0	27	4.0	23		
4.1	25	4.1	33	4.1	20	4.1	36	4.1	32	4.1	25	4.1	22		
4.2	29	4.2	32	4.2	26	4.2	34	4.2	32	4.2	26	4.2	24		
4.3	32	4.3	35	4.3	28	4.3	36	4.3	31	4.3	28	4.3	21		
4.4	33	4.4	39	4.4	25	4.4	38	4.4	33	4.4	34	4.4	20		
4.5	31	4.5	36	4.5	25	4.5	39	4.5	35	4.5	33	4.5	19		
4.6	35	4.6	38	4.6	26	4.6	42	4.6	36	4.6	32	4.6	24		
4.7	36	4.7	40	4.7	30	4.7	45	4.7	37	4.7	30	4.7	27		
4.8	37	4.8	38	4.8	33	4.8	46	4.8	39	4.8	32	4.8	28		
4.9	35	4.9	40	4.9	33	4.9	48	4.9	38	4.9	35	4.9	30		
5.0	36	5.0	40	5.0	35	5.0	47	5.0	39	5.0	36	5.0	32		

DPL - 9		DPL - 10		DPL - 11		DPL - 12		DPL - 13		DPL - 14		DPL - 15	
Profundidad (m.)	N _{DPL}	Profundidad (m.)	N _{DPL}	Profundidad (m.)	N _{DPL}	Profundidad (m.)	N _{DPL}	Profundidad (m.)	N _{DPL}	Profundidad (m.)	N _{DPL}	Profundidad (m.)	N _{DPL}
0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0
0.1	0	0.1	0	0.1	0	0.1	0	0.1	0	0.1	0	0.1	0
0.2	0	0.2	0	0.2	0	0.2	0	0.2	0	0.2	0	0.2	0
0.3	0	0.3	11	0.3	0	0.3	0	0.3	0	0.3	0	0.3	0
0.4	6	0.4	13	0.4	13	0.4	12	0.4	7	0.4	0	0.4	5
0.5	9	0.5	15	0.5	14	0.5	13	0.5	8	0.5	0	0.5	6
0.6	12	0.6	16	0.6	15	0.6	14	0.6	10	0.6	0	0.6	7
0.7	10	0.7	17	0.7	16	0.7	12	0.7	11	0.7	6	0.7	8
0.8	12	0.8	16	0.8	17	0.8	13	0.8	12	0.8	7	0.8	9
0.9	14	0.9	18	0.9	19	0.9	14	0.9	13	0.9	9	0.9	10
1.0	15	1.0	19	1.0	20	1.0	15	1.0	14	1.0	10	1.0	11
1.1	16	1.1	19	1.1	20	1.1	16	1.1	15	1.1	11	1.1	12
1.2	18	1.2	18	1.2	21	1.2	17	1.2	16	1.2	12	1.2	11
1.3	14	1.3	20	1.3	23	1.3	17	1.3	16	1.3	13	1.3	12
1.4	15	1.4	24	1.4	24	1.4	16	1.4	17	1.4	11	1.4	10
1.5	17	1.5	22	1.5	26	1.5	18	1.5	19	1.5	10	1.5	12
1.6	20	1.6	23	1.6	30	1.6	19	1.6	17	1.6	13	1.6	14
1.7	21	1.7	24	1.7	32	1.7	18	1.7	18	1.7	12	1.7	13
1.8	19	1.8	24	1.8	33	1.8	20	1.8	18	1.8	14	1.8	16
1.9	20	1.9	22	1.9	35	1.9	21	1.9	16	1.9	12	1.9	14
2.0	22	2.0	23	2.0	34	2.0	21	2.0	17	2.0	11	2.0	15
2.1	22	2.1	21	2.1	36	2.1	23	2.1	17	2.1	13	2.1	15
2.2	24	2.2	26	2.2	37	2.2	22	2.2	18	2.2	15	2.2	13
2.3	23	2.3	24	2.3	36	2.3	22	2.3	19	2.3	14	2.3	15
2.4	21	2.4	26	2.4	40	2.4	24	2.4	18	2.4	16	2.4	17
2.5	23	2.5	28	2.5	41	2.5	25	2.5	20	2.5	15	2.5	19
2.6	25	2.6	29	2.6	44	2.6	24	2.6	19	2.6	15	2.6	15
2.7	25	2.7	28	2.7	43	2.7	25	2.7	19	2.7	16	2.7	13
2.8	24	2.8	25	2.8	46	2.8	23	2.8	20	2.8	18	2.8	13
2.9	24	2.9	26	2.9	47	2.9	26	2.9	19	2.9	19	2.9	14
3.0	25	3.0	28	3.0	49	3.0	25	3.0	21	3.0	21	3.0	15
3.1	22	3.1	29	3.1	50	3.1	24	3.1	21	3.1	24	3.1	17
3.2	24	3.2	27			3.2	25	3.2	22	3.2	27	3.2	18
3.3	22	3.3	29			3.3	27	3.3	20	3.3	29	3.3	19
3.4	23	3.4	30			3.4	26	3.4	21	3.4	25	3.4	20
3.5	24	3.5	29			3.5	28	3.5	22	3.5	24	3.5	21
3.6	25	3.6	28			3.6	25	3.6	20	3.6	24	3.6	22
3.7	25	3.7	29			3.7	26	3.7	21	3.7	25	3.7	23
3.8	25	3.8	30			3.8	28	3.8	23	3.8	26	3.8	24
3.9	26	3.9	33			3.9	30	3.9	24	3.9	25	3.9	25
4.0	28	4.0	35			4.0	31	4.0	24	4.0	24	4.0	26
4.1	28	4.1	32			4.1	32	4.1	26	4.1	25	4.1	27
4.2	29	4.2	31			4.2	34	4.2	25	4.2	26	4.2	25
4.3	32	4.3	30			4.3	36	4.3	27	4.3	25	4.3	25
4.4	31	4.4	31			4.4	37	4.4	28	4.4	24	4.4	24
4.5	30	4.5	33			4.5	39	4.5	31	4.5	26	4.5	26
4.6	31	4.6	32			4.6	41	4.6	30	4.6	27	4.6	25
4.7	31	4.7	34			4.7	45	4.7	29	4.7	29	4.7	26
4.8	33	4.8	35			4.8	46	4.8	32	4.8	31	4.8	29
4.9	35	4.9	37			4.9	47	4.9	34	4.9	31	4.9	28
5.0	37	5.0	38			5.0	47	5.0	36	5.0	32	5.0	30

ENSAYO DE PENETRACIÓN STANDAR (SPT)

Tabla 4.7 Descripción de resultados de los ensayos SPT ejecutadas

Sondeo (DPL)	Profundidad alcanzada	Clasificación de suelos SUCS	Descripción de suelo	Nivel freático (NAF)
SPT - 1	0.50 m.	-	Capa de material de relleno natural en estado suelto mezclado con suelo agrícola hasta los 50 cm	NO PRESENTA
	0.80 m.	SM	Capa de arena limosa de baja plasticidad, de poca a regular humedad, de compacidad, conteniendo de manera aislada gravas menudas de 1/2", conforme nos vamos profundizando hasta el 0.80 m.	
	3.70 m.	CL	Capa de arcillas de mediana plasticidad, de baja a considerable humedad, de estado de consistencia media, con cierto contenido de material orgánico y gravas menudas hasta la profundidad de 3.70 m.	
	9.00 m.	SP	Capa de arena pobremente graduada, de poca a regular humedad, de estado de compacidad relativa media, no plástico, conteniendo además regular porcentaje de gravas menudas de 1/2" a 3/4", conforme nos vamos profundizando hasta los 9.00 m..	
SPT - 2	0.40 m.	-	Capa de material de relleno natural en estado suelto mezclado con suelo agrícola hasta los 40 cm	
	0.70 m.	SM	Capa de arena limosa de baja plasticidad, de poca a regular humedad, de compacidad, conteniendo de manera aislada gravas menudas de 1/2", conforme nos vamos profundizando hasta el 0.70 m.	
	3.50 m.	CL	Capa de arcillas de mediana plasticidad, de baja a considerable humedad, de estado de consistencia media, con cierto contenido de material orgánico y gravas menudas hasta la profundidad de 3.50 m.	NO PRESENTA
	9.00 m.	SP	Capa de arena pobremente graduada, de poca a regular humedad, de estado de compacidad relativa media, no plástico, conteniendo además regular porcentaje de gravas menudas de 1/2" a 3/4", conforme nos vamos profundizando hasta los 9.00 m.	

SPT - 3	0.25 m.	-	Capa de relleno, en estado suelto conformado por suelo agrícola y basura hasta los 25 cm.	
	1.40 m.	SC	Capa de arena arcillosa, de baja a mediana plasticidad de estado parcialmente saturado, de compactidad suelta hasta los 1.40 cm.	
	2.90 m.	CL	Capa de arcilla de baja a mediana plasticidad, con presencia de gravas menudas de 1/2", de color marrón oscuro, de regular humedad, y de consistencia media hasta la profundidad de 2.90 m.	NO PRESENTA
SPT - 4	6.75 m.	SP	Capa de arena pobremente graduada, de regular humedad, compactidad media, conteniendo de manera aislada gravas menudas de 1/2" a 3/4" conforme nos vamos profundizando hasta los 6.75 m.	
	0.40 m.	-	Capa de relleno, conformado por suelo orgánico con cierto suelo agrícola en estado suelto hasta los 40 cm.	
	1.40 m.	SC	Capa de arena arcillosa, de baja a mediana plasticidad de estado parcialmente saturado, de compactidad suelta hasta los 1.40 cm.	NO PRESENTA
SPT - 5	7.50 m.	SP	Capa de arena pobremente graduada, de poca a regular humedad, de compactidad suelta a media poco plástico, conteniendo de manera aislada gravas de 1/2" a 1" hasta la profundidad de 7.50 m.	
	0.35 m.	-	Material de relleno, conformado por terreno de cultivo, arena y cierto material orgánico en estado suelto hasta los 35 cm.	
	2.40 m.	SP	Capa de arena pobremente graduada, de poca a regular humedad, de compactidad suelta a media poco plástico, conteniendo de manera aislada gravas de 1/2" a 1" hasta la profundidad de 2.40 m.	NO PRESENTA
SPT - 5	3.75 m.	GP	Capa de grava mal graduada, de regular humedad, de compactidad media, a compacta, no plástico, con ciertas presencias de porciones de bolonería conforme nos vamos profundizando hasta los 3.75 m.	

SPT - 6	0.40 m.	-	Capa de relleno, conformada por suelo orgánico con basura y arena, en estado suelto hasta los 40 cm.	
	2.50 m.	SP	Capa de arena pobremente graduada, de poca humedad, de estado de compacidad suelta a media, con la presencia aislada de gravas pequeñas de tamaño 1/2". hasta la profundidad de 2.50 m.	NO PRESENTA
	4.00 m.	SP-SM	Capa de arenas pobremente graduadas con ciertos limos, de regular humedad, de estado de compacidad media con la presencia de gravas pequeñas a medianas de tamaño 1/2" a medida que nos profundizamos hasta los 4.00 m.	
	7.50 m.	SP	Capa de arena pobremente graduada, de poca a regular humedad, de estado de compacidad suelta a media, con la presencia aislada de gravas de 1/2" a 3/4" conforme nos vamos profundizando hasta los 7.50 m..	
SPT - 7	0.30 m.	-	Capa de relleno, conformado por suelo orgánico con basura en estado suelto hasta los 30 cm.	NO PRESENTA
	7.50 m.	SP	Capa de arena pobremente graduada, de poca humedad, de estado de compacidad suelta a media, con la presencia aislada de gravas pequeñas de tamaño 1/2". hasta la profundidad de 7.50 m.	
SPT - 8	0.40 m.	-	Capa de relleno, conformado por suelo agrícola y basura, en estado suelto hasta los 40 cm.	
	7.50 m.	SP	Capa de arena pobremente graduada, de poca humedad, de estado de compacidad suelta a media, con la presencia aislada de gravas pequeñas de tamaño 1/2". hasta la profundidad de 7.50 m.	NO PRESENTA
SPT - 9	0.45 m.	-	Capa de relleno, conformado por suelo orgánico con basura y arena, en estado suelto hasta los 45 cm.	
	2.80 m.	SP	Capa de arena pobremente graduada, de poca humedad, de estado de compacidad suelta a media, con la presencia aislada de gravas pequeñas de tamaño 1/2". hasta la profundidad de 2.80 m.	
	4.20 m.	SP-SM	Capa de arenas pobremente graduadas con ciertos limos, de regular humedad, de estado de compacidad media con la presencia de gravas pequeñas a medianas de tamaño 1/2" a medida que nos profundizamos hasta los 4.20 m.	NO PRESENTA
	7.50 m.	SP	Capa de arena pobremente graduada, de poca a regular humedad, de estado de compacidad suelta a media, con la presencia aislada de gravas de 1/2" a 3/4" conforme nos vamos profundizando hasta los 7.50 m..	

SPT - 10	0.25 m.	-	Capa de relleno, conformado por terreno de cultivo y cierto suelo orgánico en estado suelto hasta los 25 cm.
	1.20 m.	SC	Capa de arena arcillosa, de baja a mediana plasticidad de estado parcialmente saturado, de compacidad suelta hasta los 1.20 cm.
	2.80 m.	CL	Capa de arcilla de baja a mediana plasticidad, con presencia de gravas menudas de 1/2", de color marrón oscuro, de regular humedad, y de consistencia media hasta la profundidad de 2.80 m.
	6.75 m.	SP	Capa de arena pobremente graduada, de regular humedad, compacidad media, conteniendo de manera aislada gravas menudas de 1/2" a 3/4", conforme nos vamos profundizando hasta los 6.75 m.
SPT - 11	0.30 m.	-	Capa de relleno, conformado por terreno de cultivo y cierto suelo orgánico en estado suelto hasta los 30 cm.
	1.50 m.	SC	Capa de arena arcillosa, de baja a mediana plasticidad de estado parcialmente saturado, de compacidad suelta hasta los 1.50 cm.
	6.75 m.	SP	Capa de arena pobremente graduada, de regular humedad, compacidad media, conteniendo de manera aislada gravas menudas de 1/2" a 3/4", conforme nos vamos profundizando hasta los 6.75 m.

Tabla 4. 8 Resultados de número de golpes de los ensayos SPT ejecutadas

Sondeo (SPT)	PROF. (m.)	N _{CAMP.}	N _{CORR.}	SUCS
SPT - 1	0.00	00	00	SM
	0.75	06	10	SM
	1.50	10	12	CL
	2.25	14	15	CL
	3.00	15	16	CL
	3.75	16	18	CL
	4.50	18	19	SP
	5.25	21	23	SP
	6.00	25	26	SP
	6.75	30	28	SP
SPT - 2	0.00	00	00	SM
	0.75	05	08	SM
	1.50	11	12	CL
	2.25	15	14	CL
	3.00	17	16	CL
	3.75	18	21	CL
	4.50	19	21	SP
	5.25	22	22	SP
	6.00	25	24	SP
	6.75	27	26	SP
SPT - 3	0.00	00	00	SC
	0.75	13	21	SC
	1.50	17	24	CL
	2.25	20	26	CL
	3.00	23	27	SP
	3.75	26	32	SP
	4.50	34	36	SP
	5.25	39	39	SP
	6.00	41	41	SP
	6.75	45	43	SP
SPT - 4	0.00	00	00	SC
	0.75	12	20	SC
	1.50	13	19	SC
	2.25	14	18	SC
	3.00	17	21	SP
	3.75	20	22	SP
	4.50	22	24	SP
	5.25	24	25	SP
	6.00	26	25	SP
	6.75	29	28	SP
SPT - 5	0.00	00	00	SP
	0.75	15	28	SP
	1.50	18	28	SP
	2.25	36	48	SP
	3.00	44	54	GP
SPT - 6	0.00	00	00	SP
	0.75	09	15	SP
	1.50	12	17	SP
	2.25	15	20	SP
	3.00	18	22	SP-SM
	3.75	20	23	SP-SM
	4.50	23	25	SP
	5.25	25	26	SP
	6.00	29	29	SP
	6.75	32	30	SP
7.50	35	32	SP	

Sondeo (SPT)	PROF. (m.)	N _{CAMP.}	N _{CORR.}	SUCS
SPT - 7	0.00	00	00	SP
	0.75	11	18	SP
	1.50	13	19	SP
	2.25	16	21	SP
	3.00	19	23	SP
	3.75	21	22	SP
	4.50	23	25	SP
	5.25	24	24	SP
	6.00	26	26	SP
6.75	30	28	SP	
7.50	34	31	SP	
SPT - 8	0.00	00	00	SP
	0.75	12	20	SP
	1.50	15	22	SP
	2.25	17	24	SP
	3.00	19	24	SP
	3.75	22	25	SP
	4.50	24	26	SP
	5.25	27	28	SP
	6.00	29	29	SP
6.75	34	32	SP	
7.50	38	34	SP	
SPT - 9	0.00	00	00	SP
	0.75	09	15	SP
	1.50	12	17	SP
	2.25	15	20	SP
	3.00	18	22	SP-SM
	3.75	23	26	SP-SM
	4.50	25	27	SP
	5.25	29	30	SP
	6.00	32	32	SP
6.75	36	34	SP	
7.50	40	36	SP	

Sondeo (SPT)	PROF. (m.)	N _{CAMP.}	N _{CORR.}	SUCS
SPT - 10	0.00	00	00	SC
	0.75	13	22	SC
	1.50	17	24	CL
	2.25	24	31	CL
	3.00	26	31	SP
	3.75	29	33	SP
	4.50	34	36	SP
	5.25	37	37	SP
	6.00	42	41	SP
6.75	45	44	SP	
SPT - 11	0.00	00	00	SC
	0.75	12	20	SC
	1.50	16	23	SC
	2.25	21	27	SP
	3.00	24	29	SP
	3.75	27	31	SP
	4.50	30	32	SP
5.25	35	36	SP	
6.00	39	38	SP	
6.75	44	41	SP	

4.2 CUADROS RESUMEN DE LOS ENSAYOS GEOFÍSICOS EJECUTADOS

Tabla 4. 9 Resultados de líneas geofísicas ondas "S"

LÍNEA SÍSMICA	CAPA N°	VS (m/s)	PROFUNDIDAD (m)	INTERPRETACIÓN
LW - 01	1	200 - 300	0.10 - 7.40	Aluvial fino limoso, arenoso medianamente compacta
	2	350 - 400	8.00 - 16.00	Aluvial arena fina medianamente compacta
	3	460 - 530	16.00 - 30.00	Aluvial compacto
LW - 02	1	200 - 300	0.10 - 7.40	Aluvial fino limo arenoso medianamente compacta
	2	350 - 420	8.60 - 13.50	Aluvial fino limo arenoso medianamente compacta
	3	460 - 520	15.50 - 30.00	Aluvial compacto
LW - 03	1	220 - 280	0.10 - 6.00	Aluvial fino limo arcilloso medianamente compacta
	2	350 - 470	7.20 - 16.00	Aluvial arena fina medianamente compacta
	3	510 - 540	18.00 - 30.00	Aluvial compacta
LW - 04	1	200 - 280	0.10 - 7.00	Aluvial fino limo arcilloso medianamente compacta
	2	300 - 410	8.50 - 16.00	Aluvial arena fina medianamente compacta
	3	460 - 520	18.00 - 30.00	Aluvial compacto
LW - 05	1	190 - 280	0.10 - 8.00	Aluvial fino limo arcilloso compacto
	2	310 - 420	10.50 - 15.50	Aluvial grava compacta
	3	450 - 630	18.00 - 30.00	Aluvial compacto
LW - 06	1	180 - 200	0.10 - 5.50	Aluvial fino limo arcilloso compacto
	2	220 - 380	7.00 - 13.00	Aluvial grava compacta
	3	410 - 560	15.50 - 30.00	Aluvial compacto
LW - 07	1	190 - 200	0.10 - 3.50	Aluvial fino arcilloso compacto
	2	210 - 380	5.50 - 13.00	Aluvial arena fina medianamente compacta
	3	460 - 530	15.50 - 30.00	Aluvial compacto
LW - 08	1	190 - 290	0.10 - 7.00	Aluvial fino arcilloso compacto
	2	300 - 410	8.50 - 16.00	Aluvial arena fina medianamente compacta
	3	450 - 530	18.00 - 30.00	Aluvial compacto
LW - 09	1	200 - 260	0.10 - 7.00	Aluvial fino limo Arcilloso compacto
	2	290 - 400	9.00 - 16.00	Aluvial arena fina medianamente compacta
	3	450 - 520	18.00 - 30.00	Aluvial compacto
LW - 10	1	200 - 290	0.10 - 7.00	Aluvial fino limo arcilloso compacto
	2	300 - 410	9.00 - 15.50	Aluvial arena fina medianamente compacta
	3	450 - 520	18.00 - 30.00	Aluvial compacto



DISCUSIÓN DE RESULTADOS

5.1 MICROZONIFICACIÓN GEOTÉCNICA

La evaluación geotécnica del distrito de Trujillo ha permitido delimitar los diferentes tipos de materiales con características geotécnicas similares. Estos representan los tipos de suelos a 2,0 m y 3,0 m de profundidad, cuyos resultados se representa en la figura 5.1. 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, la cual permita identificar zonas favorables y desfavorables para viviendas existentes y proyectadas del tipo convencional.

Esta microzonificación incluyó para cada zona, el cálculo 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). Toda cimentación debe cumplir las 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.

En la presente investigación se ha usado la teoría de capacidad de carga de Terzaghi, utilizando los factores de capacidad de carga propuestos por Vesic (1973).

En consecuencia, se ha dividido el área de estudio en cuatro zonas, los cuales se describen a continuación:

Zona I

Presenta una capa superficial de material de relleno de 0.40 m. de espesor, conformado por suelo orgánico y suelo agrícola. Continúa arena pobremente graduada (SP), de baja humedad, con cierta presencia de gravas menudas y de compacidad relativa media a compacta, hasta 1,50 m de profundidad. Luego se

encuentra grava pobremente graduada (GP), de compacidad relativa media a compacta, regular humedad, con cierta presencia aislada de bolonería a medida que nos vamos profundizando. No se nota la presencia del NAF a la profundidad explorada.

La capacidad de carga admisible para una cimentación corrida de 0,60 m de ancho, en esta zona es de 1,10 a 1,528 Kg/cm², para una profundidad de cimentación de 0,70 a 0,90 m.

Zona II

Presenta una capa superficial de material de relleno conformado por suelo orgánico y cierta basura, de 0,30 m. de espesor. Continúa arena pobremente graduada (SP) con cierta presencia de gravas de ½”, de baja humedad y de compacidad relativa suelta a media. A continuación, se nota arena limosa (SM) de compacidad relativa media, de baja a regular humedad, con cierta presencia de gravas de ¾” de diámetro conforme nos vamos profundizando.

La capacidad de carga admisible para una cimentación corrida de 0,60 m. de ancho y una profundidad de cimentación de 0,70 a 0,90 m; varía de 0,939 a 1,129 Kg/cm².

Zona III

Presenta una capa superficial de material de relleno de 0,10 m. a 0,30 m. de espesor, conformado por suelo orgánico con cierta basura. Continúa arena pobremente graduada (SP) o arena pobremente graduada con limos (SP-SM), con cierta presencia de gravas de ½ “a ¾”, su compacidad relativa varía de suelta a media, conforme nos vamos profundizando, de poca a regular humedad y de nula plasticidad. No se nota la presencia del NAF hasta la profundidad explorada de 4 m a 5 m

La capacidad de carga admisible para una cimentación corrida de 0,60 m de ancho en esta zona varía de 0,914 a 1,099 Kg/cm², para una profundidad de cimentación de 0,70 a 0,90 m.

Zona IV

Presenta una capa superficial de material de relleno de 0,40 m. de espesor. Luego continúa arena arcillosa (SC) de regular humedad, de compacidad relativa media hasta la profundidad de 1,30 m. A continuación, se nota arcilla de baja plasticidad (CL), de consistencia media, regular humedad y con cierta presencia de gravas de ¾” de diámetro. En las urbanizaciones de Santa María IV y V etapa, Los Laureles, Las Casuarinas, San Vicente, Villa Contadores, se nota presencia del NAF a 1,20 m. de profundidad.

La capacidad de carga admisible para las urbanizaciones Santa María y Las Casuarinas, para una cimentación corrida de 0,60 m de ancho y una profundidad de cimentación de 0,70 a 0,90 m varía de 0,794 a 0,939 Kg/cm².

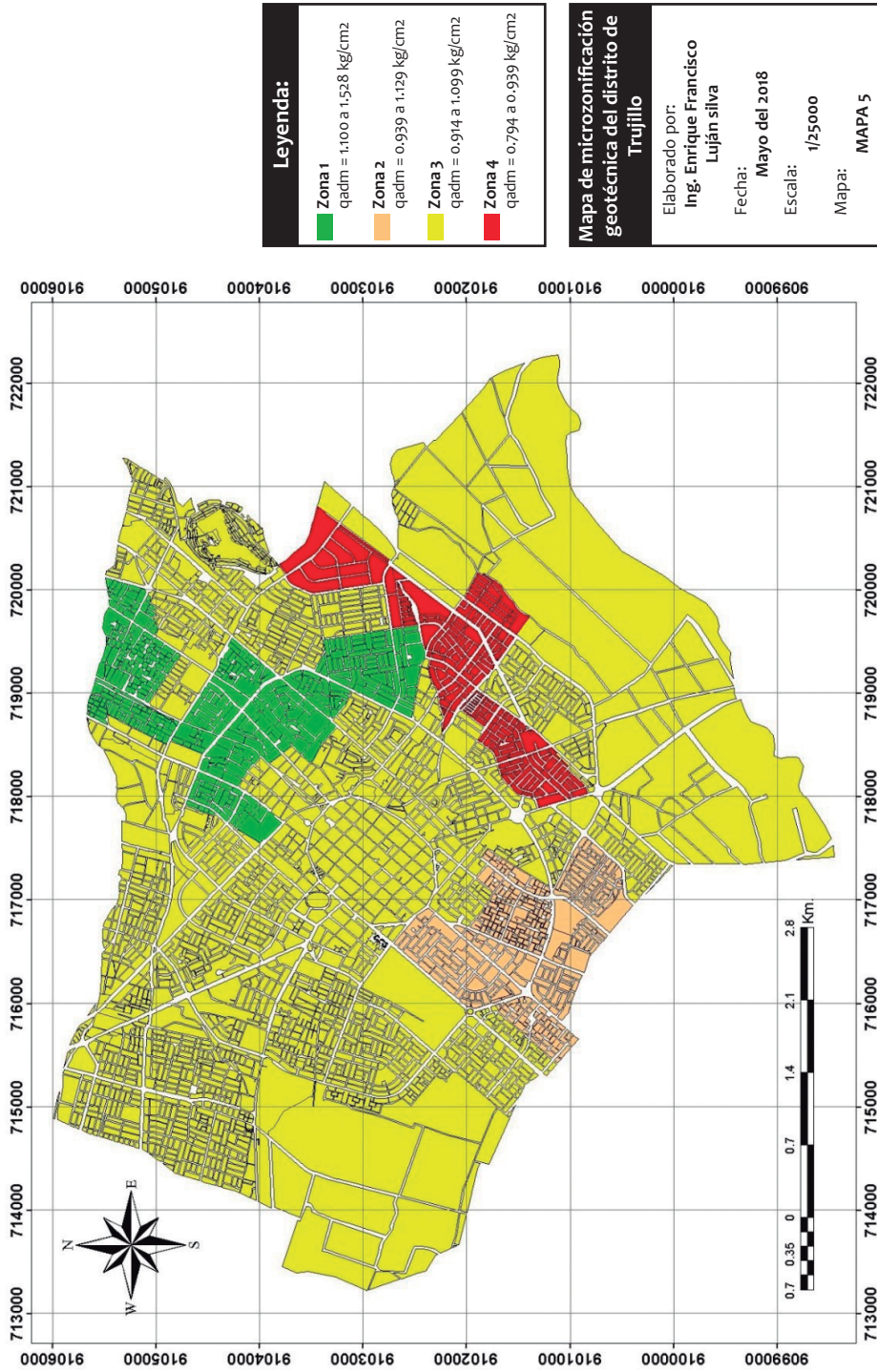


Figura 5.1 Mapa de microzonificación geotécnica

5.2 ZONAS DE ISOPERÍODOS

La presente investigación consistió en la determinación de las características dinámicas de vibración del suelo en el ámbito del distrito de Trujillo. Estas características están definidas por parámetros dinámicos tales como el periodo natural de vibración y la velocidad de ondas de corte. Para el presente estudio 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 la figura 5.2 A continuación se describen las cuatro zonas consideradas:

La zona I

Se muestra en color verde claro y de acuerdo a los resultados de la exploración geotécnica se encontró materiales de arena y gravas de compacidad media a compacta. Los períodos de vibración de esta zona varían entre 0,10 s a 0,20 s, las características dinámicas de vibración de esta zona corresponden a un suelo rígido.

La zona II

Se muestra en color beige pardo y de acuerdo a los resultados de la exploración geotécnica se encontró materiales de arena de compacidad media. Los períodos de vibración de esta zona varían entre 0,20 s a 0,30 s, las características dinámicas de vibración de esta zona corresponden a un suelo medianamente rígido.

La zona III

Se muestra en color amarillo y de acuerdo a los resultados de la exploración geotécnica se encontró materiales de arena de compacidad suelta a media. Los períodos de vibración de esta zona varían entre 0,30 s a 0,40 s, las características dinámicas de vibración de esta zona corresponden a un suelo medianamente rígido.

La zona IV

Se muestra en color rojo y de acuerdo a los resultados de la exploración geotécnica se encontró materiales de limo y arcillas de consistencia media. Los períodos de vibración de esta zona varían entre 0,40 s a 0,50 s, las características dinámicas de vibración de esta zona corresponden a un suelo medianamente flexible.

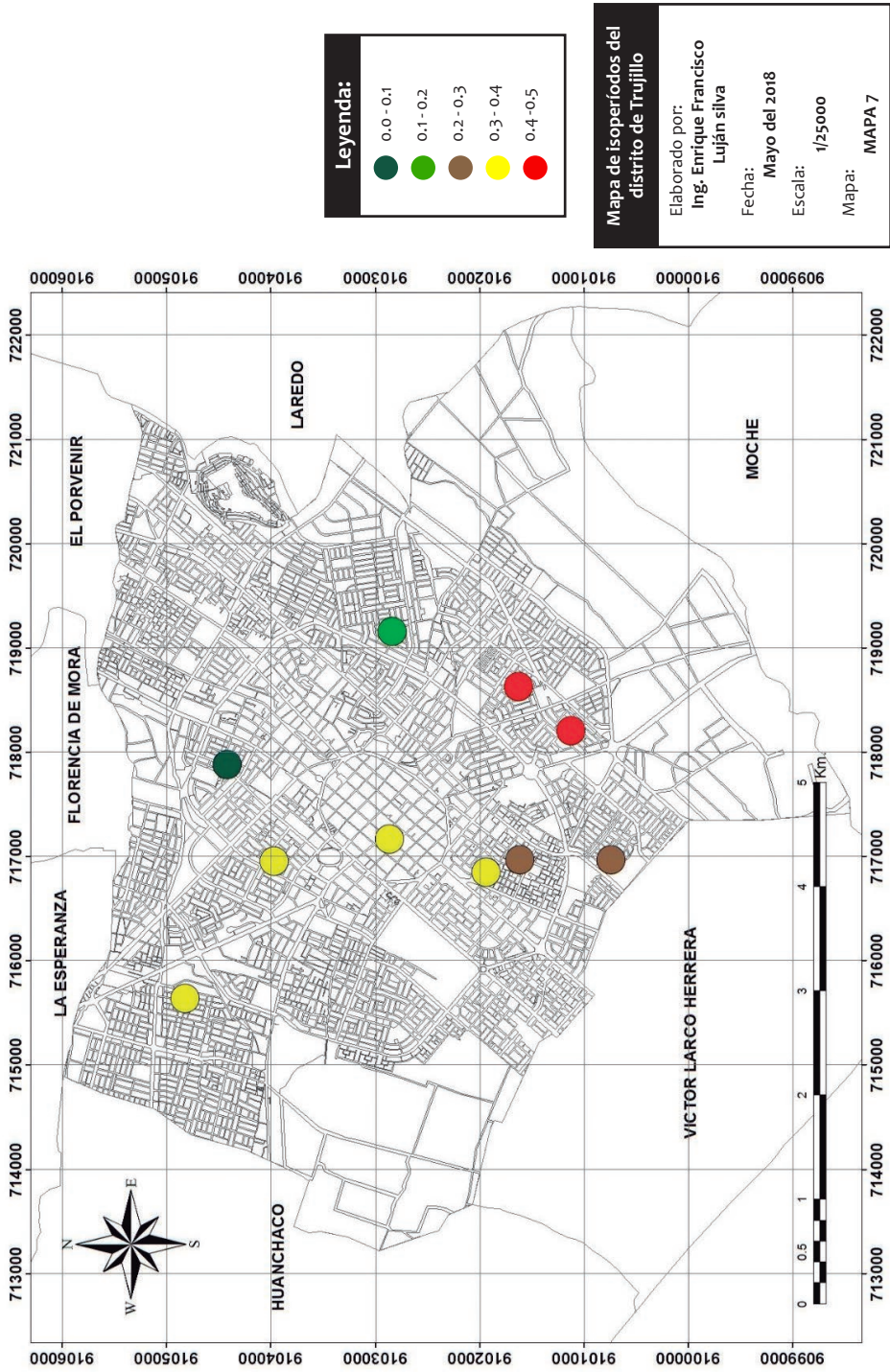


Figura 5. 2 Mapa de isoperíodos

5.3 MICROZONIFICACIÓN GEOTÉCNICA SÍSMICA DEL DISTRITO DE TRUJILLO

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 Trujillo y representadas en los mapas de microzonificación geotécnica (figura 5.1) y de zonas de isoperiodos (figura 5.2). Los resultados de estos estudios son superpuestos en la superficie del área de estudio, permitiendo identificar cuatro zonas en el plano de microzonificación sísmica (figura 5.3). A continuación, se describen estas zonas:

Zona I

Presenta una capa superficial de material de relleno de 0,40 m de espesor, conformado por suelo orgánico y suelo agrícola. Continúa arena pobremente graduada (SP), de baja humedad, con cierta presencia de gravas menudas y de compacidad relativa media a compacta, hasta 1,50 m de profundidad. Luego se encuentra grava pobremente graduada (GP), de compacidad relativa media a compacta, regular humedad, con cierta presencia aislada de bolonería a medida que nos vamos profundizando. No se nota la presencia del NAF a la profundidad explorada. El tipo de suelo descrito en esta zona, presenta las mejores características geotécnicas para la cimentación de edificaciones.

La capacidad de carga admisible para una cimentación corrida de 0,60 m de ancho, en esta zona es de 1,10 a 1,528 Kg/cm², para una profundidad de cimentación de 0,70 a 0,90 m.

El comportamiento dinámico del suelo en esta zona es adecuado, se espera que no se incremente el nivel de peligro sísmico estimado. Los periodos dominantes del suelo tienen valores de 0,10 s a 0,20 s.

Zona II

Presenta una capa superficial de material de relleno conformado por suelo orgánico y cierta basura, de 0.30 m. de espesor. Continúa arena pobremente graduada (SP) con cierta presencia de gravas de ½", de baja humedad y de compacidad relativa suelta a media. A continuación, se nota arena limosa (SM) de compacidad relativa media, de baja a regular humedad, con cierta presencia de gravas de ¾" de diámetro conforme nos vamos profundizando.

La capacidad de carga admisible para una cimentación corrida de 0,60 m de ancho y una profundidad de cimentación de 0,70 a 0,90 m; varía de 0,939 a 1,129 Kg/cm².

Se espera en esta zona un incremento moderado del nivel de peligro sísmico estimado por efecto del comportamiento dinámico del suelo. Los periodos dominantes del suelo tienen valores de 0,20 s a 0,30 s.

Zona III

Capa superficial de material de relleno de 0,10 m a 0,30 m de espesor, conformado por suelo orgánico con cierta basura. Continúa arena pobremente graduada (SP) o arena pobremente graduada con limos (SP-SM), con cierta presencia de gravas de $\frac{1}{2}$ "a $\frac{3}{4}$ ", su compacidad relativa varía de suelta a media, conforme nos vamos profundizando, de poca a regular humedad y de nula plasticidad. No se nota la presencia del NAF hasta la profundidad explorada de 4 m a 5 m.

La capacidad de carga admisible para una cimentación corrida de 0,60 m de ancho en esta zona varía de 0,914 a 1,099 Kg/cm², para una profundidad de cimentación de 0,70 a 0,90 m.

En esta zona se espera un incremento moderado del nivel de peligro sísmico estimado por efecto del comportamiento dinámico del suelo. Los periodos dominantes del suelo tienen valores de 0,30 s a 0,40 s.

Zona IV

Presenta una capa superficial de material de relleno de 0,40 m de espesor. Luego continúa arena arcillosa (SC) de regular humedad, de compacidad relativa media hasta la profundidad de 1,30 m A continuación, se nota arcilla de baja plasticidad (CL), de consistencia media, regular humedad y con cierta presencia de gravas de $\frac{3}{4}$ " de diámetro. En las urbanizaciones de Santa María IV y V etapa, Los Laureles, Las Casuarinas, San Vicente, Villa Contadores, se nota presencia del NAF a 1,20 m de profundidad.

La capacidad de carga admisible para las urbanizaciones Santa María y Las Casuarinas, para una cimentación corrida de 0,60 m de ancho y una profundidad de cimentación de 0,70 a 0,90 m varía de 0,794 a 0,939 Kg/cm².

El accionar dinámico del terreno en esta zona es desfavorable, se espera un fuerte incremento del nivel de peligro sísmico. Los periodos dominantes del suelo tienen valores de 0,40 s a 0,50 s.

Es bueno precisar 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.

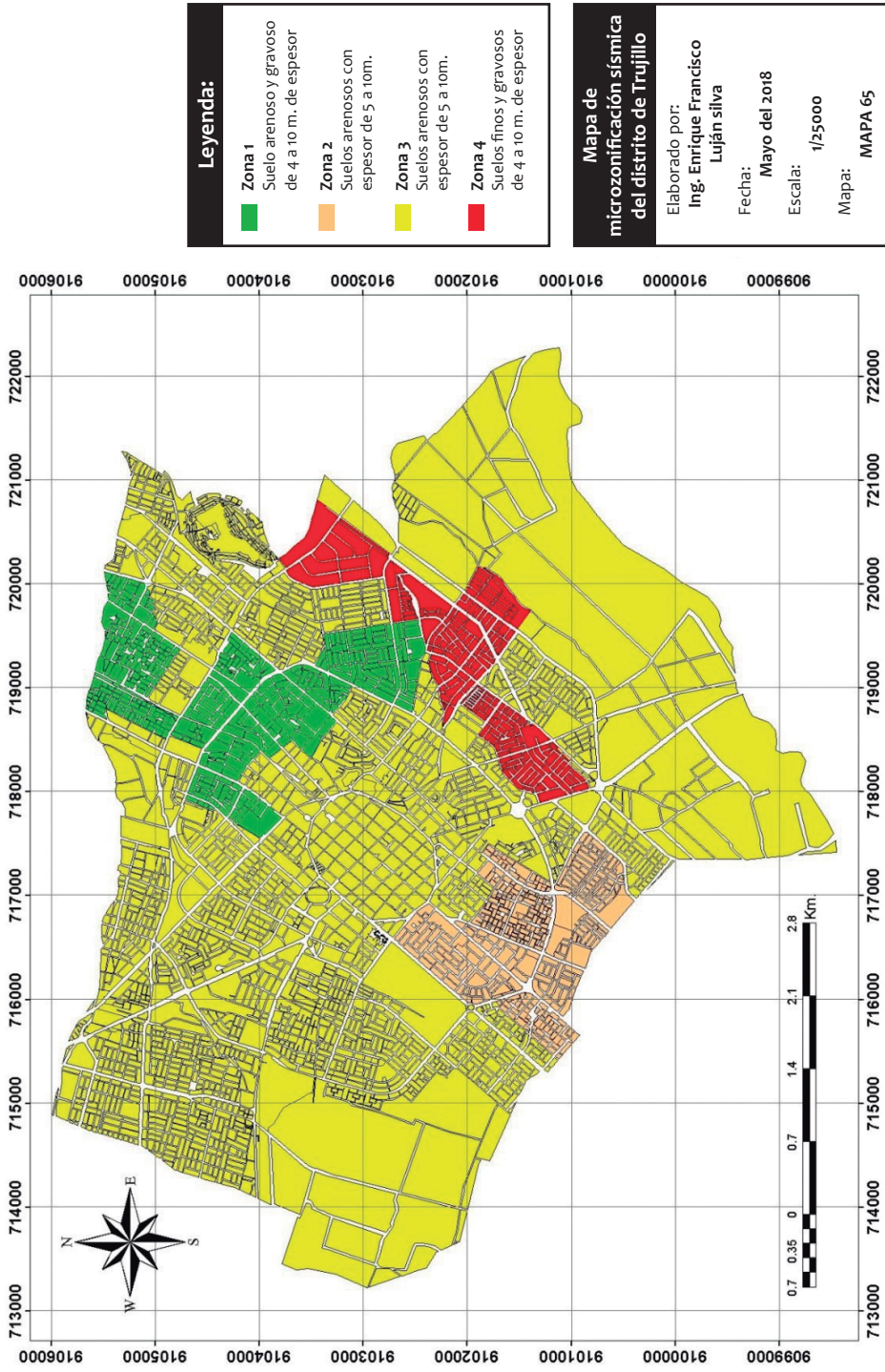


Figura 5.3 Mapa de microzonificación sísmica

5.4 ACCELERACIONES MÁXIMAS ESPERADAS DEL SUELO

Una vez determinado el mapa de microzonificación sísmica del distrito de Trujillo, es necesario caracterizar las zonas identificadas de manera cuantitativa, estimando el valor de aceleración horizontal máxima esperada para el suelo. 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 figura 5.3), 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:

Zona	Factor	Aceleración máxima (cm/s ²)
I	1,00	441,00
II, III y IV	1,052	463,05

Tabla 5. 1. Valores de aceleración máxima obtenidas

5.5 VELOCIDADES MÁXIMAS ESPERADAS DEL SUELO

Es necesario determinar los valores de velocidad máxima del suelo, que pueden presentarse en el distrito de Trujillo, 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:

$$\ln V_{max} = -1,8349 + 1,1146 \ln A_{max} + 0,4043 \ln T$$

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.

Para determinar el mapa de velocidades máximas esperadas del suelo para el distrito de Trujillo se utilizó como datos de entrada la aceleración máxima del suelo y su periodo de oscilación estimados anteriormente.

5.6 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. Durante el tiempo en que la vibración se propaga hacia la superficie, puede ser amplificada, dependiendo de la intensidad de la vibración, la naturaleza de la roca y especialmente 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 más 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 Trujillo.

5.6.1 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 este 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. Por esta razón 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 él 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.

5.6.2 ESPECTRO 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.

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 más 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.

Una de las variables que más 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.

5.6.3 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 causada predominantemente por ondas SH propagándose verticalmente desde la roca o suelo firme.

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 a las observadas en mediciones reales.

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, realizados en el distrito de Trujillo.

Una vez delimitadas 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) y 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 elástico caracterizados por su peso unitario, espesor, módulo de corte, velocidad de ondas de corte y factor de amortiguamiento.

5.6.4 PERFILES SÍSMICOS DE SUELOS

Según los resultados obtenidos de las exploraciones geofísicas MASW en la zona de estudio, se obtuvo los siguientes perfiles sísmicos de los suelos:

Sondaje MASW-01

Ensayo MASW, el cual se encuentra conformado por la línea sísmica denominada línea 1, de 53 m de longitud. La interpretación de estos ensayos genera un sondaje de velocidades de ondas S con resultados confiables hasta una profundidad de 30 m en el punto central de la línea, que muestra la presencia de tres estratos sísmicos.

0,10 a 7,40 m de profundidad presenta valores de velocidad de propagación de ondas S (V_s) de 250 m/s. Estratigráficamente este material correspondería a una arena limosa suelta.

8,00 a 16,00 m de profundidad presenta valores de velocidad de propagación de ondas S (V_s) de 375 m/s en promedio. Estos valores de velocidad corresponderían a una arena pobremente graduada de compacidad media.

16,00 a 30,00 m de profundidad presenta valores de velocidad de propagación de ondas S (V_s) de 495 m/s en promedio. Estos valores de velocidad corresponderían a una grava pobremente graduada densa.

Sondaje MASW-02

Ensayo MASW, el cual se encuentra conformado por la línea sísmica denominada línea 2, de 53 m de longitud. La interpretación de estos ensayos genera un sondaje de velocidades de ondas S con resultados confiables hasta una profundidad de 30 m en el punto central de la línea, el cual muestra la presencia de tres estratos sísmicos.

0,10 a 7,40 m de profundidad presenta valores de velocidad de propagación de ondas S (V_s) de 250 m/s. Estratigráficamente este material correspondería a una arena limosa suelta.

8,60 a 13,50 m de profundidad presenta valores de velocidad de propagación de ondas S (V_s) de 385 m/s en promedio. Estos valores de velocidad corresponderían a una arena pobremente graduada de compacidad media.

15,50 a 30,00 m de profundidad presenta valores de velocidad de propagación de ondas S (V_s) de 490 m/s. Estos valores de velocidad corresponderían a un material compuesto por una grava arenosa de compacidad media a densa.

Sondaje MASW-03

Ensayo MASW, el cual se encuentra conformado por la línea sísmica denominada línea 3 de 53 m de longitud. La interpretación de estos ensayos genera un sondaje de velocidades de ondas S con resultados confiables hasta una profundidad de 30 m en el punto central de la línea, el cual muestra la presencia de tres estratos sísmicos.

0,10 a 6,00 m de profundidad presenta valores de velocidad de propagación de ondas S (V_s) de 250 m/s. Estratigráficamente este material correspondería a un material de arena limosa suelta.

7,20 a 16,00 m de profundidad presenta valores de velocidad de propagación de ondas S (V_s) de 410 m/s en promedio. Estos valores de velocidad corresponderían

18,00 a 30,00 m de profundidad, presenta valores de velocidad de propagación de ondas S (V_s) de 525 m/s en promedio. Estos valores de velocidad corresponderían a un material compuesto por grava arenosa de compacidad media a densa.

Sondaje MASW-04

Ensayo MASW, el cual se encuentra conformado por la línea sísmica denominada línea 4 de 53 m de longitud. La interpretación de estos ensayos genera un sondaje de velocidades de ondas S con resultados confiables hasta una profundidad de 30 m en el punto central de la línea, el cual muestra la presencia de dos estratos sísmicos.

0,10 a 7,00 m de profundidad presenta valores de velocidad de propagación de ondas S (V_s) de 240 m/s. Estratigráficamente este material correspondería a una arena limosa de compacidad suelta a media.

8,50 a 16,00 m de profundidad presenta valores de velocidad de propagación de ondas S (V_s) de 355 m/s en promedio. Estos valores de velocidad corresponderían a un material compuesto por arena pobremente graduada de compacidad media.

18,00 a 30,00 m de profundidad presenta valores de velocidad de propagación de ondas S (V_s) de 490 m/s en promedio. Estos valores de velocidad corresponderían a un material compuesto por grava arenosa de compacidad media a densa.

Sondaje MASW-05

Ensayo MASW, el cual se encuentra conformado por la línea sísmica denominada línea 5 de 72 m de longitud. La interpretación de estos ensayos genera un sondaje de velocidades de ondas S con resultados confiables hasta una profundidad de 30 m en el punto central de la línea, el cual muestra la presencia de tres estratos sísmicos.

0,10 a 8,00 m de profundidad presenta valores de velocidad de propagación de ondas S (V_s) de 235 m/s en promedio. Estratigráficamente este material correspondería a un material compuesto por arena pobremente graduada medio densa.

10,50 a 15,50 m de profundidad presenta valores de velocidad de propagación de ondas S (V_s) de 365 m/s en promedio. Estratigráficamente este material correspondería a una grava limosa de compacidad media a densa.

18,00 a 30,00 m de profundidad presenta valores de velocidad de propagación de ondas S (V_s) de 540 m/s en promedio. Estos valores de velocidad corresponderían a un material compuesto por grava limosa de compacidad compacta.

Sondaje MASW-06

Ensayo MASW, el cual se encuentra conformado por la línea sísmica denominada línea 6 de 72 m de longitud. La interpretación de estos ensayos genera un sondaje de velocidades de ondas S con resultados confiables hasta una profundidad de 30 m en el punto central de la línea, el cual muestra la presencia de tres estratos sísmicos.

0,10 a 5,50 m de profundidad presenta valores de velocidad de propagación de ondas S (V_s) de 190 m/s en promedio. Estratigráficamente este material correspondería a un material compuesto por arena pobremente graduada medio densa.

7,00 a 13,00 m de profundidad presenta valores de velocidad de propagación de ondas S (V_s) de 300 m/s en promedio. Estratigráficamente este material correspondería a una grava limosa de compacidad media a densa.

15,50 a 30,00 m de profundidad presenta valores de velocidad de propagación de ondas S (V_s) de 485 m/s en promedio. Estos valores de velocidad corresponderían a una grava densa.

Sondaje MASW-07

Ensayo MASW, el cual se encuentra conformado por la línea sísmica denominada línea 7 de 72 m de longitud. La interpretación de estos ensayos genera un sondaje de velocidades de ondas S con resultados confiables hasta una profundidad de 25 m en el punto central de la línea, el cual muestra la presencia de tres estratos sísmicos.

0,10 a 3,50 m. de profundidad presenta valores de velocidad de propagación de ondas S (V_s) de 195 m/s en promedio. Estratigráficamente este material correspondería a un material compuesto por arcilla limosa de consistencia media.

5,50 a 13,00 m. de profundidad presenta valores de velocidad de propagación de ondas S (V_s) de 295 m/s en promedio. Estratigráficamente este material correspondería a una arena de compacidad media.

15,50 a 30,00 m. de profundidad presenta valores de velocidad de propagación de ondas S (V_s) de 495 m/s en promedio. Estos valores de velocidad corresponderían a un material compuesto por arena muy densa.

Sondaje MASW-08

Ensayo MASW, el cual se encuentra conformado por la línea sísmica denominada Línea 8 de 72 m de longitud. La interpretación de estos ensayos genera un sondaje de velocidades de ondas S con resultados confiables hasta una profundidad de 25 m en el punto central de la línea, el cual muestra la presencia de tres estratos sísmicos.

0,10 a 7,00 m. de profundidad presenta valores de velocidad de propagación de ondas S (V_s) de 240 m/s en promedio. Estratigráficamente este material correspondería a un material compuesto por arcilla limosa de consistencia media.

8,50 a 16,00 m. de profundidad presenta valores de velocidad de propagación de ondas S (V_s) de 355 m/s en promedio. Estratigráficamente este material correspondería a una arena de compacidad media.

18,00 a 30,00 m. de profundidad presenta valores de velocidad de propagación de ondas S (V_s) de 490 m/s en promedio. Estos valores de velocidad corresponderían a un material compuesto por arena muy densa.

Sondaje MASW-09

Ensayo MASW, el cual se encuentra conformado por la línea sísmica denominada línea 9 de 53 m de longitud. La interpretación de estos ensayos genera un sondaje de velocidades de ondas S con resultados confiables hasta una profundidad de 25 m en el punto central de la línea, el cual muestra la presencia de tres estratos sísmicos.

0,10 a 7,00 m. de profundidad presenta valores de velocidad de propagación de ondas S (V_s) de 230 m/s en promedio. Estratigráficamente este material correspondería a un material compuesto por arcilla limosa de consistencia media.

9,00 a 16,00 m. de profundidad presenta valores de velocidad de propagación de ondas S (V_s) de 345 m/s en promedio. Estratigráficamente este material correspondería a una arena limosa medio densa a densa.

18,00 a 30,00 m. de profundidad presenta valores de velocidad de propagación de ondas S (V_s) de 485 m/s en promedio. Estos valores de velocidad corresponderían a una grava arenosa densa.

Sondaje MASW-10

Ensayo MASW, el cual se encuentra conformado por la línea sísmica denominada línea 10 de 72 m de longitud. La interpretación de estos ensayos genera un sondaje de velocidades de ondas S con resultados confiables hasta una profundidad de 30 m en el punto central de la línea, el cual muestra la presencia de tres estratos sísmicos.

0,10 a 11,00 m. de profundidad presenta valores de velocidad de propagación de ondas S (V_s) de 300 m/s en promedio. Estratigráficamente este material correspondería a un material compuesto por la intercalación de material limoso y arena pobremente gradada con arcilla, densa.

11,00 a 21,00 m. de profundidad presenta valores de velocidad de propagación de ondas S (V_s) de 400 m/s en promedio. Estratigráficamente este material correspondería a una grava pobremente gradada medio densa con intercalación de arcilla dura.

21,00 a 30,00 m. de profundidad presenta valores de velocidad de propagación de ondas S (V_s) de 500 m/s en promedio. Estos valores de velocidad corresponderían a una arena pobremente gradada muy densa.



CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1 CONCLUSIONES

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

1. El distrito de Trujillo no tenía información técnica referente al grado de peligro al que estaban expuestas sus edificaciones. Mediante el presente estudio se ha logrado obtener 4 zonas de menor a mayor grado de amenaza sísmica, elaborándose las respectivas recomendaciones en la cimentación de las edificaciones.
2. El estudio de geología nos indica que el distrito de Trujillo está conformado por afloramientos rocosos (rocas sedimentarias, volcánicas sedimentarias y plutónicas) y depósitos sedimentarios (marinos, eólicos, coluvio aluviales y aluviales), los cuales han sufrido las deformaciones terrestres presentándose estructuras regionales (lineamientos estructurales y diaclasas) que tienen una orientación andina (noroeste-sureste).
3. El estudio geomorfológico nos indica que los procesos de geodinámica externa, tales como el oleaje marino, han erosionado los acantilados y a la vez han conllevado a la formación de playas y el cordón litoral; y la acción eólica ha cubierto las formaciones geológicas presentes con arenas provenientes de las playas.
4. El distrito de Trujillo dada su ubicación próxima al litoral, presenta un alto nivel de peligro sísmico, según los sismos históricos registrados de gran magnitud, como el ocurrido el 14 de febrero de 1619, que alcanzó una magnitud de 8.4 Mw. Asimismo, esta ciudad está expuesta a una alta probabilidad de ocurrencia de licuación de suelos y tsunamis.
5. Según el trabajo desarrollado por Gamarra (2009) y las leyes de atenuación de Young et al. (1997), CISMID (2006) y Sadigh et al. (1997) se encontró en la zona de estudio el análisis probabilístico, para eventos sísmicos con un periodo de retorno de 475 años, donde se obtuvo lo siguiente: la aceleración máxima para un suelo firme es de 0.43 g considerando el modelo de atenuación según

CISMID y de 0.52 g considerando el modelo de atenuación de Young et al. Para un emplazamiento en roca la aceleración de diseño es de 0.32 g considerando el modelo de atenuación Young et al. En el análisis de peligro sísmico determinístico se encontró lo siguiente: la aceleración máxima para un emplazamiento en suelo firme es de 0.47 g considerando el modelo de atenuación de CISMID y de 0.36 g considerando el modelo de atenuación de Young et al. Para un emplazamiento en roca la aceleración de diseño es de 0.20 g considerando el modelo de atenuación Young et al.

6. Se ha realizado un programa de exploración geotécnica, que consiste en la excavación de calicatas con extracción de muestras de suelo, ensayos de penetración estándar SPT, ensayos de penetración dinámica ligera DPL, así como los ensayos de laboratorio. Estos trabajos han permitido definir un mapa de microzonificación geotécnica para el distrito de Trujillo.
7. La microzonificación geotécnica del distrito de Trujillo, incluyendo sus 160 urbanizaciones, nos permite delimitar cuatro zonas (I, II, III, IV) considerando características geotécnicas similares.
8. Según el estudio geotécnico desarrollado en las zonas I, II, III y IV, se ha obtenido la siguiente información:

En la zona I la capacidad de carga admisible varía de $q_{adm} = 1,10 \text{ kg/cm}^2$ a $q_{adm} = 1,528 \text{ kg/cm}^2$ para una cimentación corrida de 0,60 m de ancho cimentada a una profundidad de cimentación entre 0,70 m a 0,90 m. Se considera que la cimentación deberá asentarse sobre el suelo competente conformado por una grava compacta.

Para la zona II la capacidad de carga admisible varía de $q_{adm} = 0,939 \text{ kg/cm}^2$ a $q_{adm} = 1,129 \text{ kg/cm}^2$ para una cimentación corrida de 0,60 m de ancho cimentada a una profundidad de cimentación entre 0,70 m a 0,90 m. Se considera que la cimentación deberá asentarse sobre el suelo conformado por arena pobremente graduada con presencia de gravas aisladas.

Para la zona III la capacidad de carga admisible varía de $q_{adm} = 0,914 \text{ kg/cm}^2$ a $q_{adm} = 1,099 \text{ kg/cm}^2$ para una cimentación corrida de 0,60 m de ancho cimentada a una profundidad de cimentación entre 0,70 m a 0,90 m. Se considera que la cimentación deberá asentarse sobre el suelo conformado por arena pobremente graduada con presencia de limos.

Para la zona IV la capacidad de carga admisible varía de 0,794 a 0,939 kg/cm^2 m. (Se considera que la cimentación deberá asentarse sobre el suelo conformado por arcilla de baja a mediana plasticidad) y en estado parcialmente saturado.

9. De los ensayos geofísicos realizados en la zona de estudio se pudo obtener perfiles sísmicos con velocidades de propagación de ondas de corte.

Zona I, el primer estrato correspondería a una arena limosa suelta a medianamente suelta con velocidades de ondas S (V_s) que van desde los 190 m/s a los 280 m/s. El siguiente estrato consistiría en una grava limosa compacta con velocidades de

ondas S (Vs) que van desde los 310 m/s a los 420 m/s. Subyaciendo a este material se encontraría una grava limosa muy compacta y/o grava o roca alterada muy compacta con velocidades de ondas S (Vs) de 450 m/s a 630 m/s.

Zona II, el primer estrato correspondería a una arcilla limosa con velocidades de ondas S (Vs) de 120 m/s a 280 m/s. El segundo estrato correspondería a una arena fina de compacidad media con velocidades de ondas S (Vs) de 280 m/s a 390 m/s. El siguiente estrato correspondería a una arena y grava compacta con velocidades de ondas S (Vs) de 400 m/s a 530 m/s.

Zona III, el primer estrato correspondería a una arena limosa medio suelta con velocidades de ondas S (Vs) que van desde los 200 m/s a 300 m/s. El segundo estrato correspondería a una arena limosa de compacidad media con velocidades de ondas S (Vs) que van desde los 350 m/s a los 400 m/s. El siguiente estrato consistiría en una arena y grava limosa compacta con velocidades de ondas S (Vs) que van desde los 460 m/s a los 530 m/s.

Zona IV, el primer estrato correspondería a una arcilla limosa de consistencia media con velocidades de ondas S (Vs) que van desde los 190 m/s a 200 m/s. El segundo estrato correspondería a una arena mal graduada de compacidad media, con velocidades de ondas S (Vs) que van desde los 210 m/s a los 380 m/s. El siguiente estrato consistiría en una arena y grava limosa compacta con velocidades de ondas S (Vs) que van desde los 460 m/s a los 530 m/s.

10. Para el análisis unidimensional de amplificación sísmica se han tomado en cuenta diez puntos de sondajes obtenidos por el método geofísico MASW que están distribuidos en toda la ciudad del distrito de Trujillo y son representativos.
11. Como fuentes de excitación sísmica del suelo se ha utilizado el acelerograma de la estación Colegio de Ingenieros CDL-CIP, una aceleración máxima de 0,06 g o 58,8 gal en la dirección norte sur, para el sismo del 15 de agosto de 2007. Esta señal ha sido escalada a la aceleración máxima de 0,45 g del evento de 475 años de periodo de retorno, obtenido del estudio de peligro sísmico de la ciudad de Trujillo.
12. La ventaja de utilizar un espectro de respuesta del suelo para un evento sísmico con la metodología señalada para su obtención, es poder obtener cuales serían las aceleraciones máximas a nivel de suelo que se presentarían en sistemas de diferentes grados de libertad con un mismo amortiguamiento. Estos valores serían los más recomendables para diseñar.
13. En el distrito de Trujillo los espectros de respuesta de aceleraciones presentan una demanda sísmica considerable, como se muestra a continuación:
 - Para la zona I con pico máximo de 1,7 g para un periodo de 0,10 a 0,20 s.
 - Para la zona II con pico máximo de 1,85 g para periodos de 0,20 a 0,30 s.
 - Para la zona III con pico máximo de 1,90 g para un periodo de 0,30 a 0,40 s.
 - Para la zona IV con pico máximo de 2,6 g para un periodo de 0,40 a 0,50 s.

14. Para el diseño sísmico de la estructura, de acuerdo a la norma de diseño sismo resistente E.030 del Reglamento Nacional de Construcciones (SENCICO, 2016), se considera que el depósito de suelo de cimentación, para zona I, corresponde a un perfil tipo S1, con periodo predominante de $T_p = 0,4$ segundos; para zona II corresponde a un perfil Tipo S2, con periodo predominante de $T_p = 0,6$ segundos; para zona III corresponde a un perfil tipo S2, con periodo predominante de $T_p = 0,6$ segundos; y para zona IV corresponde a un perfil tipo S2, con periodo predominante de $T_p = 0,6$ segundos.
15. El espectro de peligro uniforme representaría el comportamiento dinámico del terreno a nivel de suelo firme. Este espectro deberá ser amplificado a nivel de superficie de acuerdo a las condiciones propias de cada zona para ser usado como espectro de diseño.
16. El distrito de Trujillo revela un alto nivel de peligro sísmico. Históricamente en esta región han ocurrido sismos de gran magnitud como el 14 de febrero de 1619 ($M_w = 8,4$), 06 de enero de 1725 ($M_s = 7,8$), 02 de setiembre de 1759 ($M_s = 7,8$) y 20 de mayo de 1917 ($M_b = 6,10$), comparados con el ocurrido el 31 de mayo de 1970, en el departamento de Ancash que alcanzó una magnitud de 7,9 M_w , se puede concluir que la sismicidad del distrito de Trujillo es poco conocida. A esta limitación se suma la escasa instrumentación (acelerógrafos).
17. La microzonificación sísmica final del presente estudio define 4 zonas que han sido clasificadas según los tipos de suelos que señala la norma de diseño sismorresistente E030, y el orden en que han sido descritos van de suelo con menor amenaza sísmica a suelo con mayor amenaza sísmica:

Zona I

Conformada por las urbanizaciones Andrés Rázuri, Aranjuez, Daniel Hoyle, El Molino, La Marqueza, La Intendencia, Miraflores, Palermo, Pay Pay, San José, Santa Lucía, Santa Teresa de Ávila y Santo Domingo. Los terrenos de esta zona presentan el mejor suelo con características dinámicas.

Presenta una capa superficial de material de relleno de 0,40 m de espesor, conformado por suelo orgánico y suelo agrícola. Continúa arena pobremente graduada (SP), de baja humedad, con cierta presencia de gravas menudas y de compacidad relativa media a compacta, hasta 1,50 m de profundidad. Luego se encuentra grava pobremente graduada (GP), de compacidad relativa media a compacta, regular humedad, con cierta presencia aislada de bolonería a medida que vamos profundizando. No se nota la presencia del NAF a la profundidad explorada.

Zona II

Conformada por las urbanizaciones La Arboleda, La Merced, Los Pinos, Monserrate, Plaza Vea, San Andrés I, II y III Etapa, San Eloy, UPAO, UPAO II, El Galeno, Ingeniería I, II y III. En esta zona se espera un moderado incremento del

nivel de peligro sísmico por efecto del comportamiento dinámico del terreno.

Los terrenos de esta zona presentan el mejor suelo con características dinámicas favorables y está conformado por una capa superficial de material de relleno conformado por suelo orgánico y cierta basura, de 0,30 m de espesor. Continúa arena pobremente graduada (SP) con cierta presencia de gravas de ½", de baja humedad y de compacidad relativa suelta a media. A continuación, se nota arena limosa (SM) de compacidad relativa media, de baja a regular humedad, con cierta presencia de gravas de ¾" de diámetro conforme vamos profundizando.

Zona III

Conformada por las urbanizaciones Huerta Grande, Alto Mochica, Barrio Medico, Centro Histórico, Ciudad Universitaria, Covicorti, Covidunt, El Alambre, El Bosque, El Mayorista, El Recreo, Juan Pablo II, La Encalada, La Esmeralda, La Noria, La Perla, Las Capullanas, Las Quintanas, Los Cedros, Los Granados, Los Jardines, Mochica, Natasha Alta, Palermo, Primavera, San Fernando, San Nicolás, Santa Inés, San Salvador, Torres Araujo, Trupal. En esta zona se espera un moderado incremento del nivel de peligro sísmico por efecto del comportamiento dinámico del terreno.

Capa superficial de material de relleno de 0,10 m a 0,30 m de espesor, conformado por suelo orgánico con cierta basura. Continúa arena pobremente graduada (SP) o arena pobremente graduada con limos (SP-SM), con cierta presencia de gravas de ½ "a ¾", su compacidad relativa varía de suelta a media, conforme vamos profundizando, de poca a regular humedad y de nula plasticidad. No se nota la presencia del NAF hasta la profundidad explorada de 4 m a 5 m.

Zona IV

Conformada por las urbanizaciones Las Casuarinas, Los Laureles, Santa María V Etapa, Santa Rosa, Semirústica El Bosque, Villa El Contador y Villa Santa María. El comportamiento dinámico del terreno es el más desfavorable, es el área del distrito de Trujillo que está expuesta a los más altos niveles de peligro sísmico.

Presenta una capa superficial de material de relleno de 0,40 m de espesor. Luego continúa arena arcillosa (SC) de regular humedad, de compacidad relativa media hasta la profundidad de 1,30 m. A continuación, se nota arcilla de baja plasticidad (CL), de consistencia media, regular humedad y con cierta presencia de gravas de ¾" de diámetro. En las urbanizaciones de Santa María IV y V Etapa, Los Laureles, Las Casuarinas, San Vicente, Villa Contadores se nota presencia del NAF a 1,20 m de profundidad.

6.2 RECOMENDACIONES

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

1. Se debe precisar que los resultados obtenidos en la microzonificación sísmica del distrito de Trujillo, 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.
2. Es recomendable para estudios sísmicos que se clasifique el suelo según las velocidades de ondas de corte (V_s), como lo describe la norma internacional (The International Building Code (IBC)) para clasificar el tipo de suelo.
3. Es importante realizar estudios de microzonificación sísmica para aquellas zonas destinadas a la expansión urbana, debido a que es muy importante 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 más a detalle, debido a que la microzonificación sísmica en estos casos es algo referencial.
5. Es importante corroborar los ensayos geofísicos MASW mediante estudios de métodos directos de exploración geotécnica (calicatas, 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.) para tener señales de mejor calidad.
8. Antes de realizar las mediciones es necesario tener en cuenta el estudio geológico del lugar en estudio.
9. Es importante instalar más acelerógrafos en el distrito de Trujillo para así representar mejor los efectos de sitio que se puedan presentar en dicho distrito.
10. Se requiere realizar más ensayos geofísicos en el distrito de Trujillo para obtener perfiles sísmicos con velocidades de propagación de ondas de corte (MASW). Para obtener un mayor promedio de la respuesta dinámica del terreno y estimar los factores de amplificación que generan las ondas sísmicas que arriban a la superficie desde el subsuelo

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Aki, K. (1957). Space and time spectra of stationary stochastic waves, with special reference to microtremors, Bulletin of the Earthquake Research Institute 35, 415-456.

Aki, K., & Richards, P. G. (2002). Quantitative Seismology, University Science Books, Sausalito, CA. Akkar S. and Emrah Yenier E. (2009). Assessment of Point-Source Stochastic Simulations Using Recently Derived Ground-Motion Prediction Equations. Bull. Seism. Soc. Am. 99 (6), 3172-3191.

Arai, H., & Tokimatsu, K. (2004). S-wave velocity profiling by inversion of microtremor H/V spectrum, Bull. Seism. Soc. Am. 94, 53-63.

Arai, H., & Tokimatsu, K. (2005). S-Wave Velocity Profiling by Joint Inversion of Microtremor Dispersion Curve and Horizontal-to-Vertical (H/V) Spectrum. Bull. Seism. Soc. Am. 95 (5), 1766-1778.

Asten, M. (2006). On bias and noise in passive seismic data from finite circular array data processed using SPAC methods, Geophysics 71, 153-162.

Asten, M. W., & Henstridge, J. D. (1984). Arrays estimators and the use of microseisms for reconnaissance of sedimentary basins. Geophysics 49(11), 1828-1837.

Bard , P. Y. (1985). Les effets de site d'origine structurale: principaux résultats expérimentaux et théoriques. Victor Davidovici (editor). Paris, 223-271.

Bard , P. Y. (2008). The H/V technique: capabilities and limitations based on the results of the SESAME project. Bull. Earthquake Eng. 6, 1-2.

Bettig , B., Bard, P. Y., Scherbaum, F., Riepl , J., Cotton , F., Cornou , C., & Hatzfeld, D. (2001). Analysis of dense array noise measurements using the modified spatial auto-correlation method (SPAC): application to the Grenoble area, Boll. Geof. Teor. Appl. 42, 281-304.

Bonnefoy-Claudet , S. (2004). Nature du bruit de fond sismique: implications pour les études des effets de site. PhD Thesis. Joseph Fourier University, Grenoble, France, 216 pp. (in French).

Bonnefoy-Claudet, S., Cornou , C., Bard , P. Y., Cotton, F., Moczo, P., Kristek , J., & Fäh, D. (2006). H/V ratio: a tool for site effects evaluation. Results from 1-D noise simulations. Geophys. J. Int. 167, 827-837.

Calderón Cahuana, D. L. (2006). Microzonificación geotécnica sísmica del distrito de Ventanilla. Universidad Nacional de Ingeniería, Facultad de Ingeniería Civil, Lima - Peru.

Capon, J. (1969). High-resolution frequency-wavenumber spectrum analysis. IEEE. 57 1408-1419.

Chatelain, J. L., Guillier, B., Cara , F., Duval, A. M., Atakan , K., & Bard, P. Y. (2008). Evaluation of the influence of experimental conditions on H/V results from ambient noise recordings. Bulletin of Earthquake Engineering 6, 33-74.

Chávez, J. (2006). "Leyes de atenuación para aceleraciones espectrales en el Perú", tesis de grado, Facultad de Ingeniería Civil, Universidad Nacional de Ingeniería Civil. Lima - Perú.

Chávez-García , F. J., Rodríguez, M., & Stephenson , W. R. (2006). Subsoil structure using SPAC measurements along a line. Bull. Seism. Soc. Am. 96(2), 729-736.

Cid , J T; Susagna , X; Goula , L; Chavarria , S; Figueras, J; Fleta , A; Casas ; Roca , A. (2001). Seismic zonation of Barcelona based on numerical simulation of site effects. Pure Appl. Geophys. 158, 2559-2577.

Cid, J. (1998). Zonación sísmica de la ciudad de Barcelona basada en métodos de simulación numérica de efectos locales. Tesis doctoral. Universidad Politécnica de Cataluña, 215 pp.

Claprod , M., & Asten , M. W. (2010). Statistical Validity Control on SPAC Microtremor Observations Recorded with a Restricted Number of Sensors. Bulletin of the Seismological Society of America 100 (2), 776–791.

Coral , H. (2002). Utilización de métodos experimentales y de simulación numérica para la microzonificación sísmica de zonas urbanizadas en Andorra. Tesis doctoral. Universidad Politécnica de Cataluña, 207 pp.

Cornou, C., Bard , P. Y., & Dietrich, M. (2003). Contribution of dense array analysis to the identification and quantification of basin-edge-induced waves, part I : methodology, Bull. Seism. Soc. Am., 93, 2604-2623.

Council, I. C. (2009). “International Building Code”, USA.

Delgado , J., López Casado , C., Estévez , A., Giner , J., Cuenca , A., & Molina , S. (2000a). Mapping soft soils in the Segura river valley (SE Spain): a case study of microtremors as an exploration tool. J. Appl. Geophys. 45, 19-32.

Delgado , J., López Casado , C., Giner , J., Estévez , A., Cuenca , A., & Molina, S. (2000b). Microtremors as a geophysical exploration tool: applications and limitations, Pure Appl. Geophys. 157, 1445-1462.

Díaz Pardave, M. Á. (2010). Microzonificación sísmica de la ciudad de Pisco. Universidad Nacional de Ingeniería, Facultad de Ingeniería Civil, Lima - Perú.

Dimitriu, P. P., Papaioannou , C. A., & Theodulidis , N. P. (1998). EURO-SEISTEST strongmotion array near Thessaloniki, Northern Greece: a study of site effects. Bull. Seism. Soc. Am. 88, 862-873.

Dipartimento della Protezione Civile . (2008). Indirizzi e criterio per la microzonazione sísmica. Parti I e II. Grupo di lavoro “Indirizzi e criterio generali per la microzonazione sísmica”. Presidenza del Consiglio dei Ministri.

Endrun, B. (2010). Love wave contribution to the ambient vibration H/V amplitude peak observed by array measurements, Journal of Seismology, in press.

Fäh , D., Kind, F., & Giardini , D. (2003). Inversion of local S-wave velocity structures from average H/V ratios, and their use for the estimation of site-effects. *Journal of Seismology* 7, 449-467.

Finn, W. (1991). Geotechnical aspects of seismic zonation. Proc. IV International Conference on Seismic Zonation, EERI, Stanford (California) Vol. I, p. 199-260.

Galiana-Merino, J. J., Parolai, S., & Rosa-Herranz , J. (2011). Seismic wave characterization using complex trace analysis in the stationary wavelet packet domain. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering* 31, 1565–1578.

Gamarra, C. (2009). “Nuevas fuentes sismogénicas para la evaluación del peligro sísmico y generación de espectros de peligro uniforme en el Perú”, tesis de grado, Facultad de Ingeniería Civil, Universidad Nacional de Ingeniería. Lima - Peru.

García, A. d., & López Palacios, N. J. (2014). Microzonificación sísmica en el sector noreste del área urbana de la ciudad de Managua. Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua, Managua - Nicaragua.

García-Jerez , A. (2010). Desarrollo y evaluación de métodos avanzados de exploración sísmica pasiva. Aplicación a estructuras geológicas locales del sur de España. Tesis doctoral. Universidad de Almería, 258 pp.

Goula, X., Susagna , T., Figueras , S., Cid , J., Alfaro , A., & Barchiesi , A. (1998). Comparison of numerical simulation and microtremor measurement for the analysis of site effects in the city of Barcelona (Spain). 11th European Conference on Earthquake Engineering. París, 13 pp.

Haghshenas, E., Bard , P. Y., & Theodulidis N. and the SESAME WP04 team. (2008). Empirical evaluation of microtremor H/V spectral ratio. *Bull. Earthquake Eng.* 6, 75-108.

Hanks, T., & Kanamori, H. (1979). “A moment magnitude scale”, *Journal of Geophysical Research*, Vol. 84, pp. 2348-2350.

Hanks, T., & McGuire, R. (1981). “The character of high frequency strong ground motion”, *Bulletin of the Seismological Society of America*, Vol. 71, pp. 2071- 2095.

Herrmann, R. B. (1994). Computer programs in seismology, vol IV, St Louis University.

Horike, M. (1985). Inversion of phase velocity of long-period microtremors to the S-wave velocity structure down to the basement in urbanized areas. *Journal of Physics of the Earth* 33, 59-96.

Humire Guarachi, F. A. (2013). Aplicación de métodos geofísicos basados en ondas superficiales para la caracterización sísmica de suelos. Aplicación a la microzonificación sísmica del norte y poniente de Santiago. Pontificia Universidad Católica de Chile, Santiago De Chile.

Ibs-von Seht, M., & Wohlenberg, J. (1999). Microtremor measurements used to map thickness of soft sediments, *Bull. Seism. Soc. Am.* 89, 250-259.

International Code Council. (2009). "International Building Code", USA, 2009.

Ivanov, J., Park, C. B., Miller, R. D., Xia, J., & Overtone, R. (2001). "Modal separation before dispersion curve extraction by MASW method". *Proceedings of the SAGEEP 2001: Denver, Colorado, SSM-3*, 1-11.

Joyner, W., & Boore, D. (1988). "Measurement, characterization, and prediction of strong ground motion", *Earthquake Engineering and Soil Dynamics 11 - Recent Advances in Ground Motion Evaluation, Geotechnical Special Publication 20*, pp. 43-102, ASCE, New York.

Kind, F., Fäh, D., & Giardini, D. (2005). Array measurements of S-wave velocities from ambient vibrations, *Geophys. J. Int.* 160, 114-126.

Kirkpatrick, S. C., Gelatt, D., & Vecchi, M. P. (1983). Optimization by simulated annealing. *Science* 220, 671-680.

Kovach, R. L. (1965). "Seismic surface wave; some observations and recent developments". In L.H Ahrens, F. Press. S.K. Runcorn, and H.C. Urey, eds., *Physics and Chemistry of the Earth*, 6, Pergamon Press. 251-314.

Kvaerna, T., & Ringdahl, F. (1986). Stability of various fk-estimation techniques, in *Semiannual Technical Summary*, 1 October 1985 - 31 March 1986. In *NORSAR Scientific Report*, 1- 86/87, Kjeller, Norway, 29-40.

Lachet, C., & Bard, P. Y. (1994). Numerical and theoretical investigations on the possibilities and limitations of Nakamura's technique. *Journal of Physics of the Earth* 42 (4), 377-397.

Lacoss, R. T., Kelly, E. J., & Nafi, T. M. (1969). Estimation of seismic noise structure using arrays. *Geophysics* 34(1), 21-38.

Le Brun, B., Hatzfeld, D., & Bard, P. Y. (2001). Site effect study in urban area: experimental results in Grenoble (France). *Pure Appl. Geophys.* 158, 2543-2557.

Le Brun, B., Hatzfeld, D., & Bard, P. Y. (2001). Site effect study in urban area: experimental results in Grenoble (France). *Pure Appl. Geophys.* 158, 2543-2557.

Lermo, J., & Chávez-García, F. J. (1994). Are microtremors useful in site response evaluation? *Bull. Seism. Soc. Am.* 84, 1350-1364.

Lermo, J., & Chávez-García, F. J. (1993). Site effect evaluation using spectral ratios with only one station. *Bull. Seism. Soc. Am.* 83, 1574-1594.

Louie, J. N. (2001). Faster, better: Shear-wave velocity to 100 meters depth from refraction microtremor arrays, *Bull. Seismol. Soc. Am.* 91, 347-364.

Malagnini, L. R., Herrmann, B., Biella, G., & De Franco, R. (1995). Rayleigh waves in Quaternary alluvium from explosive sources: determination of shear-wave velocity and Q structure, *Bull. Seism. Soc. Am.* 85, 900-922.

Martínez-Pagán, P. (2007). "Prospección geofísica-2": Métodos sísmicos. Universidad Politécnica de Cartagena. 1-137.

Mendoza Santa María, J. N. (2015). Uso de refracción sísmica y análisis multicanal de ondas superficiales para la determinación de módulos elásticos, en la finca Viento Blanco, San Vicente Pacaya, Escuintla. Universidad de San Carlos de Guatemala, Cobán - Alta Verapaz.

Mundepi, A. K., Galiana-Merino, J. J., Kamal, & Lindholm, C. (2010). Soil characteristics and site effect assessment in the city of Delhi (India) using H/V and f-k methods. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering* 30, 591-599.

Nakamura, Y. (2000). Clear identification of fundamental idea of Nakamura's technique and its applications. 12th World Conference on Earthquake Engineering. Auckland New Zealand), 8 pp.

Nakamura, Y. (1989). A method for dynamic characteristics estimation of subsurface using microtremors on the ground surface. *Quarterly Report of Railway Technical Research Institute (RTRI)* 30, 25-33.

Nogoshi , M., & Igarashi , T. (1971). On the amplitude characteristics of microtremor (part 2), *J. Seismol. Soc. Japan* 24, 26-40 (in Japanese with English Abstract).

Nolet , G. (1981). Linearized inversion of (teleseismic) data. En *The Solution of the Inverse Problem in Geophysical Interpretation*. Editor Cassinis R., Plenum Press (New York), 9–37.

Okada , H. (2006). Theory of efficient array observations of microtremors with special reference to the SPAC method, *Exploration Geophysics* 37, 73-85.

Okada, H. (2003). *The Microtremor Survey Method* (translated by Koya Suto). Geophysical Monograph Series, No.12, Society of Exploration Geophysicists.

Ordaz, M. (1992). “Estimación de movimientos fuertes ante temblores de subducción”, tesis doctoral, División de Estudios Posgrado de la Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional Autónoma de México.

Park, C. B. (1995). “Characterization of geotechnical sites by Multichannel Analysis of Surface Wave”. *Proceedings of the Korean Ground Society, 95th annual meeting: Seoul, Korea*, 15-21.

Park, C. B., Miller, R. D., & Xia, J. (1999). “Multichannel analysis of surface waves” *Geophysics*: 64, 800-808.

Park, C. B., Miller, R. D., Xia, J., & Ivanov, J. (2001). “Characterization of geotechnical sites by Multichannel Analysis of Surface Wave (MASW) method”. *Tenth International conference on Soil Dynamics and Earthquake Engineering (SDEE): Philadelphia*, 1-16.

Parolai , S., & Galiana-Merino , J. J. (2006). Effect of transient seismic noise on estimates of H/V spectral ratios. *Bulletin of the Seismological Society of America* 96 (1), 228–236.

Parolai, S., Mucciarelli, M., Gallipoli, M. R., Richwalski, S. M., & Strollo, A. (2007). Comparison of Empirical and Numerical Site Responses at the Tito Test Site, Southern Italy. *Bulletin of the Seismological Society of America* 97, 1413–1431.

Parolai, S., Orunbaev, S., Bindi , D., Strollo, A., Usupaev , S., & Picozzi, M. (2010). Site Effects Assessment in Bishkek (Kyrgyzstan) Using Earthquake and Noise Recording Data. *Bulletin of the Seismological Society of America* 6, 3068–3082.

Parolai, S., Picozzi, M., Richwalski, S. M., & Milkereit, C. (2005). Joint inversion of phase velocity dispersion and H/V ratio curves from seismic noise recordings using a genetic algorithm, considering higher modes, *Geophys. Res. Lett.* 32, L01303, doi: 10.1029/2004GL021115.

Picozzi, M. (2005). Joint inversion of phase velocity dispersion and H/V ratio curves from seismic noise recordings, PhD. Thesis. Università degli Studi di Siena, Italy.

Rayleigh, L. (1885). "On waves propagated along the plane surface of an elastic solid". *Proc. Lond. Math. Soc.*: 17,4.

Reynolds, J. (1997). "An introduction to applied and environmental geophysics". John Wiley and Sons, London, 793 pp.

Richwalski, S; Picozzi, M; Parolai, S; Milkereit, C; Baliva, F; Albarello, D; Row-Chowdhury, K; Van der Meer, H; Zschau, J. (2007). Rayleigh wave dispersion curves from seismological and engineering-geotechnical methods: a comparison at the Bornheim test site (Germany). *Journal of Geophysics and Engineering* 4, 349–361.

Roberts, J., & Asten, M. (2004). Resolving a velocity inversion at the geotechnical scale using the microtremor (passive seismic) survey method, *Explor. Geoph.* 35, 14-18.

Sadigh, K., Chang, C., Egan, J., Makdisi, F., & Youngs, R. R. (1997). "Attenuation Relationship for Shallow Crustal Earthquakes Based on California Strong Motion Data", *Seismological Research Letters*, Volume 68, Number 1, January/February.

Sambridge, M., & Drijkoningen, G. G. (1992). Genetic algorithms in seismic waveform inversion. *Geophysical Journal International* 109, 323–342.

Sambridge, M. (1999). Geophysical inversion with a neighbourhood algorithm: I. Searching a parameter space, *Geophys. J. Int.* 138, 479-494.

Scherbaum, F., Hinzen, K. G., & Ohrnberger, M. (2003). Determination of shallow shear wave velocity profiles in the Cologne, Germany area using ambient vibrations, *Geophys. J. Int.*, 152, 597-612.

Sifuentes Jiménez, A. I. (2012). Microzonificación Geotécnica Sísmica del Distrito de la Molina. Universidad Nacional de Ingeniería, Facultad de Ingeniería Civil, Lima - Peru.

Stokoe, K., Rix H. II, G. J. , & Nazarian , S. ((1989)). In Situ Seismic Testing with Surface Waves, In Proc. XII Intl. Conf. on Soil Mechanics and Foundation Engineering, 331- 334.

Strollo , A., Bindi , D., Parolai , S., & Jäckel, K. H. (2008). On the suitability of 1s geophone for ambient noise measurements in the 0.1-20 Hz frequency range: experimental outcomes. Bulletin of Earthquake Engineering 6, 141–147.

Suzuki, T. (1933). Amplitude of Rayleigh on the surface of a stratified medium. B. Earthq. Res. I. Tokyo 11, 187-194.

Tada, T., Cho , I., & Shinozaki , Y. (2009). New Circular-Array Microtremor Techniques to Infer Love-Wave Phase Velocities, Bull. Seismol. Soc. Am. 99, 2912-2926.

Tarantola , A. (1987). Inverse problem theory: methods for data fitting and model parameter estimation. Elsevier, Amsterdam.

Tavera , H., Buforn , E., Bernal , I., Antayhua, Y., & Vilcapoma , L. (2002). “The Arequipa (Peru) Earthquake of June 23, 2001”, Journal of Seismology, Vol. 6, pp. 279 - 283.

Tokimatsu, K., & Miyadera Y., Y. (1992). Characteristics of Rayleigh waves in microtremors and their relation to underground structures. Journal of Structural and Construction Engineering 439, 81–87.

Urrego Montero, G. I. (2016). Determinación de parámetros elastomecánicos, caracterización de ruido sísmico ambiental y generación del modelo de velocidades de Ondas S utilizando ruido sísmico ambiental: Aplicación a una zona piloto en Bogotá para propósitos de microzonificación sísmica. Bogota - Colombia.

Wathelet , M. (2005). Array recordings of ambient vibrations: surface-wave inversion. PhD thesis, University of Liège, Belgium.

Wathelet , M. (2008). An improved neighborhood algorithm: Parameter conditions and dynamic scaling. Geophysical research letters, vol. 35, issue 9.

Wathelet , M., Jongmans, D., & Ohrnberger, M. (2004). Surface wave inversion using a direct search algorithm and its application to ambient vibration measurements, Near Surface Geophysics 2, 211-221.

Wathelet, M. (2006). Geopsy Manual.

Wathelet, M., Jongmans, D., Ohrnberger, M., & Bonnefoy-Claudet, S. (2007). Array performances for ambient vibrations on a shallow structure and consequences over Vs inversion. *J. Seismol* 12:1-19.

Wolf, k. b. (1995). "Geometry and dynamics in refracting systems". *European Journal of Physics*: 16, 14-20.

Xia, J., Miller, R. D., Park, C. B., & Tian, G. (2003). Inversion of high frequency surface waves with fundamental and higher modes. *Journal of Applied Geophysics* 52 (1), 45-57.

Xia, J., Park, C. B., Hunter, J. A., Harris, J. B., & Ivanov, J. (2002). "Comparing shear-velocity profiles from multichannel Analysis of surface wave with borehole measurement". *Soil Dynamics and Earthquake Engineering (SDEE)*: 22(3) 181-190.

Yamanaka, H., & Ishida, H. (1996). Application of Genetic algorithms to an inversion of surfacewave dispersion data. *Bull. Seism. Soc. Am.* 86, 436-444.

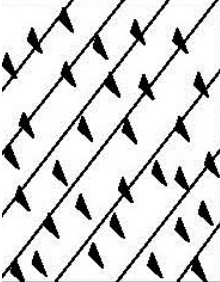
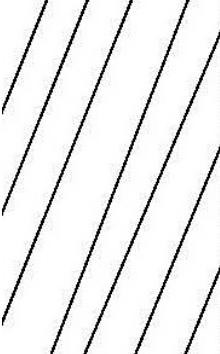
Youngs, R. R., Chiou, S. J., Silva, W. J., & Humphrey, J. R. (1997). "Strong Ground Motion Attenuation Relationships for Subduction Zone Earthquakes," *Seismological Research Letters*, 68(1), 58-73.

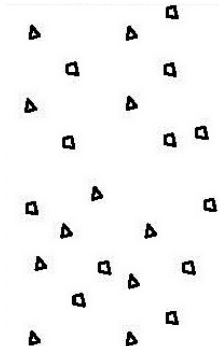


ANEXOS

ANEXO A-I. ESTUDIOS DE MECANICA DE SUELOS

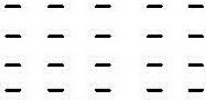
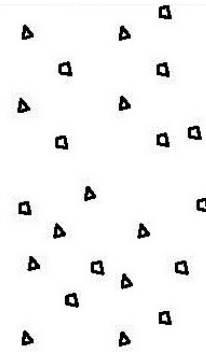
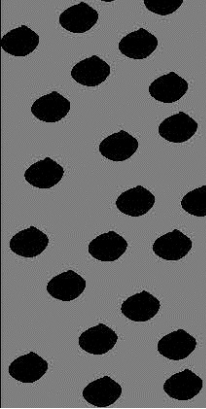
PERFILES ESTRATIGRÁFICOS

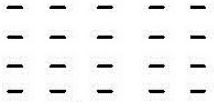

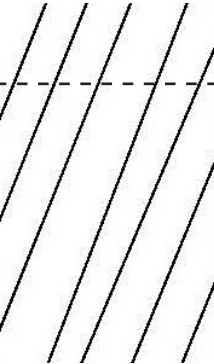
SOLICITANTE: ING. ENRIQUE LUJAN FRANCISCO SILVA						
PROYECTO: UTILIZACIÓN DE MÉTODOS EXPERIMENTALES Y DE SIMULACIÓN NUMÉRICA PARA EL ESTUDIO DE LA MICROZONIFICACIÓN SÍSMICA DEL DISTRITO DE TRUJILLO.						
UBICACIÓN: MZ. N SUB LOTE 05 AV. RICARDO PALMA, URB. SEMIRÚSTICA EL BOSQUE. DIST. TRUJILLO - PROV. TRUJILLO - DPTO. LA LIBERTAD						
FECHA: JULIO DEL 2017						
CALICATA: C-I						
Prof. (m.)	Clasificación		Descripción del material	Humedad natural y límites de consistencia		
	Símb. SUCS	Símbolo		W (%)	LL (%)	IP (%)
0.65		-----	Material de relleno en estado suelto con contenido de material orgánico.	-	-	-
1.10	SC		Material de arena arcillosa, de baja a mediana plasticidad, de color plomo oscuro, de estado parcialmente saturado, de compactad suelta a media conforme nos vamos profundizando.	12.34	26.80	6.70
3.00	CL		Material de arcilla de baja a mediana plasticidad, con presencia de gravas menudas de 1/2", de color marrón oscuro, de regular humedad, y de consistencia media, media. No se presenta NAF	19.59	29.20	5.80

SOLICITANTE: ING. ENRIQUE LUJAN FRANCISCO SILVA					
PROYECTO: UTILIZACIÓN DE MÉTODOS EXPERIMENTALES Y DE SIMULACIÓN NUMÉRICA PARA EL ESTUDIO DE LA MICROZONIFICACIÓN SÍSMICA DEL DISTRITO DE TRUJILLO.					
UBICACIÓN: JR. ATAHUALPA N° 336 – 342 - SECTOR CHICAGO DIST. TRUJILLO - PROV. TRUJILLO - DPTO. LA LIBERTAD					
FECHA: ENERO DEL 2017					
CALICATA: C-4					
Prof. (m.)	Tipo de excavación	Muestra	Descripción del material	Clasificación (SUCS)	Símbolo
0.30		M-1	Material de relleno agrícola y basura en estado suelto.	Relleno	— — — — — — — — — — — — — — —
3.00	A CIELO ABIERTO	M-3	Capa de arenas pobremente graduadas, de color beige pardo a marrón oscuro, de poca a regular humedad, de estado de compacidad media, con la presencia de pequeñas gravas conforme nos vamos profundizando. No se presenta NAF	SP	

SOLICITANTE: ING. ENRIQUE LUJAN FRANCISCO SILVA						
PROYECTO: UTILIZACIÓN DE MÉTODOS EXPERIMENTALES Y DE SIMULACIÓN NUMÉRICA PARA EL ESTUDIO DE LA MICROZONIFICACIÓN SÍSMICA DEL DISTRITO DE TRUJILLO.						
UBICACIÓN: CALLE PROLONGACIÓN AV. SANTA N° 1725 – URB SANTA TERESA DE AVILA. DIST. TRUJILLO - PROV. TRUJILLO - DPTO. LA LIBERTAD						
FECHA: OCTUBRE DEL 2017						
CALICATA: C-7						
Prof. (m.)	Tipo de excavación	Muestra	Descripción del material	Clasificación (SUCS)	Símbolo	
0.30	A CIELO ABIERTO	M-1	Capa de suelo orgánico con arena en estado suelto.	Relleno		
1.90		M-2	Material de arena pobremente graduada, de color beige pardo, de poca humedad, compactidad media, conteniendo gravas de 3" conforme nos vamos profundizando.	SP		
3.00		M-3	Material de gravas mal graduadas, de color beige pardo a marrón, de poca humedad, compactidad media a compacta, conteniendo bolonería de 4". No se presenta NAF	GP		

SOLICITANTE: ING. ENRIQUE LUJAN FRANCISCO SILVA						
PROYECTO: UTILIZACIÓN DE MÉTODOS EXPERIMENTALES Y DE SIMULACIÓN NUMÉRICA PARA EL ESTUDIO DE LA MICROZONIFICACIÓN SÍSMICA DEL DISTRITO DE TRUJILLO.						
UBICACIÓN: MZ "M" LOTE 7-8-9-10 - URB SOLILUZ . DIST. TRUJILLO - PROV. TRUJILLO - DPTO. LA LIBERTAD						
FECHA: NOVIEMBRE DEL 2017						
CALICATA: C-II						
Prof. (m.)	Tipo de excavación	Muestra	Descripción del material	Clasificación (SUCS)	Símbolo	
0.30	A CIELO ABIERTO	M-1	Material de relleno agrícola y basura en estado suelto.	Relleno		
1.50		M-2	Material de arena pobremente graduada, de color marrón claro, de poca humedad, de estado de compacidad suelta a media, ligeramente plástico.	SP		
3.00		M-3	Material de arena pobremente graduada, de color plomo a marrón oscuro, de regular humedad, de estado de compacidad media, ligeramente plástico, conteniendo además regular porcentaje de gravas menudas 1/2". No se presenta NAF	SP		

SOLICITANTE: ING. ENRIQUE LUJAN FRANCISCO SILVA					
PROYECTO: UTILIZACIÓN DE MÉTODOS EXPERIMENTALES Y DE SIMULACIÓN NUMÉRICA PARA EL ESTUDIO DE LA MICROZONIFICACIÓN SÍSMICA DEL DISTRITO DE TRUJILLO.					
UBICACIÓN: MZ. "E" LOTE 6 - URB. EL SOL DEL CHACARERO. DIST. TRUJILLO - PROV. TRUJILLO - DPTO. LA LIBERTAD					
FECHA: AGOSTO DEL 2013					
CALICATA: C-16					
Prof. (m.)	Tipo de excavación	Muestra	Descripción del material	Clasificación (SUCS)	Símbolo
0.30	A CIELO ABIERTO	M-1	Capa de suelo orgánico con arena en estado suelto.	Relleno	
1.50		M-2	Material de arena pobremente graduada, de color beige pardo, de poca humedad, compactidad media, conteniendo gravas de 3" conforme nos vamos profundizando..	SP	
3.00		M-3	Material de gravas mal graduada, de color beige pardo a marrón, de poca humedad, compactidad media a compacta, conteniendo bolonería de 4". No se presenta NAF	GP	

SOLICITANTE: ING. ENRIQUE LUJAN FRANCISCO SILVA						
PROYECTO: UTILIZACIÓN DE MÉTODOS EXPERIMENTALES Y DE SIMULACIÓN NUMÉRICA PARA EL ESTUDIO DE LA MICROZONIFICACIÓN SÍSMICA DEL DISTRITO DE TRUJILLO.						
UBICACIÓN: MZ. "F", LOTE 08, PROLONGACIÓN AV. EGUREN - URB. VILLA EL CONTADOR DISTR. TRUJILLO - PROV. TRUJILLO - DPTO. LA LIBERTAD						
FECHA: JUNIO DEL 2015						
CALICATA: C-22						
Prof. (m.)	Clasificación		Descripción del material	Humedad natural y límites de consistencia		
	Símb. SUCS	Símbolo		W (%)	LL (%)	IP (%)
0.30			Material de relleno conformado por terreno de cultivo y regular contenido de material orgánico.	-	-	-
0.70	SM		Material de arena limosa, de baja plasticidad, de poca a regular humedad, de compacidad media.	15.09	25.60	4.60
3.00	CL		NAF = 2.20 m. Material de arcilla de baja a mediana plasticidad, de regular humedad y de consistencia blanda a media. Se presenta NAF = 2.20 m.	27.81	30.50	8.00

SOLICITANTE: ING. ENRIQUE LUJAN FRANCISCO SILVA						
PROYECTO: UTILIZACIÓN DE MÉTODOS EXPERIMENTALES Y DE SIMULACIÓN NUMÉRICA PARA EL ESTUDIO DE LA MICROZONIFICACIÓN SÍSMICA DEL DISTRITO DE TRUJILLO.						
UBICACIÓN: MZ. "G" - LOTE 10 - URB. UPAO II DIST. TRUJILLO - PROV. TRUJILLO - DPTO. LA LIBERTAD						
FECHA: SETIEMBRE DEL 2013						
CALICATA: C-24						
Prof. (m.)	Clasificación		Descripción del material	Humedad natural y límites de consistencia		
	Símb. SUCS	Símbolo		W (%)	LL (%)	IP (%)
0.40			.Material de relleno conformado por terreno de cultivo y cierto material orgánico en estado suelto.	-	-	-
1.20	SC		Material de arena arcillosa, de compactación media, regular plasticidad, regular humedad.	12.18	24.20	5.50
2.60	CL		Arcilla de baja a mediana plasticidad, de color marrón oscuro, regular humedad y de consistencia media.	16.22	29.40	8.50
3.00	SP		Arena pobremente graduada, de regular humedad, no plástico y de compactación media conteniendo de manera aislada gravas menudas de 1/2", conforme nos vamos profundizando. No se presenta NAF	19.27	NP	NP

SOLICITANTE: ING. ENRIQUE LUJAN FRANCISCO SILVA						
PROYECTO: UTILIZACIÓN DE MÉTODOS EXPERIMENTALES Y DE SIMULACIÓN NUMÉRICA PARA EL ESTUDIO DE LA MICROZONIFICACIÓN SÍSMICA DEL DISTRITO DE TRUJILLO.						
UBICACIÓN: MZ. "E" - LOTE 17, URB. INGENIERÍA II DIST. TRUJILLO - PROV. TRUJILLO - DPTO. LA LIBERTAD						
FECHA: NOVIEMBRE DEL 2017						
CALICATA: C-28						
Prof. (m.)	Clasificación		Descripción del material	Humedad natural y límites de consistencia		
	Símb. SUCS	Símbolo		W (%)	LL (%)	IP (%)
0.30			.Material de relleno en estado suelto conformado por suelo agrícola y basura.	-	-	-
1.10	SC		Material de arena arcillosa, de regular humedad, regular plasticidad y de compactad media.	12.18	24.20	5.50
2.70	CL		Arcilla de baja a mediana plasticidad, de color marrón oscuro, regular humedad y de consistencia media.	16.22	29.40	8.50
3.00	SP		Arena pobremente graduada, de regular humedad, no plástico y de compactad media conteniendo de manera aislada gravas menudas de 1/2", conforme nos vamos profundizando. No se presenta NAF	19.27	NP	NP

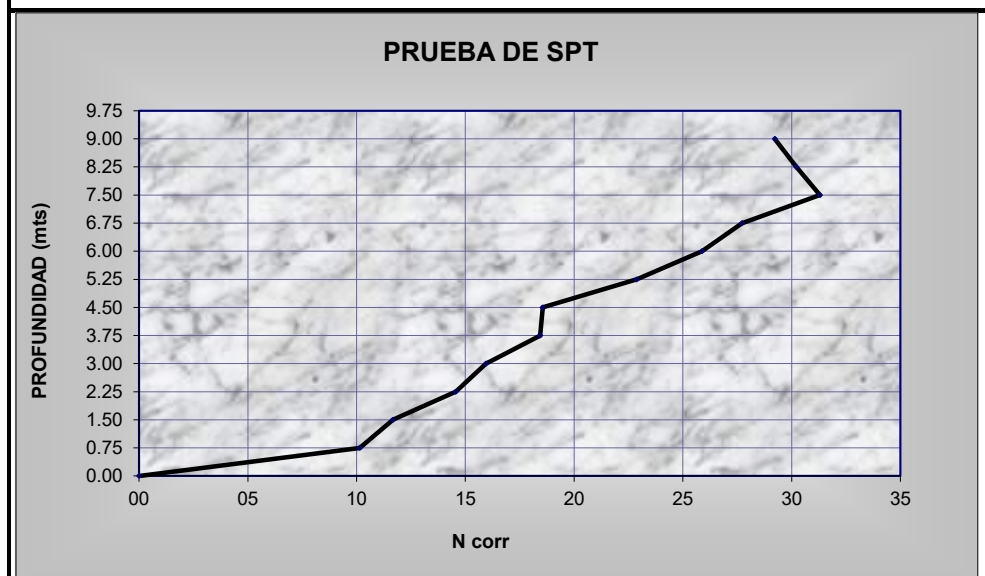
ENSAYOS DE PENETRACIÓN DINÁMICA LIGERA DPL

SOLICITANTE:		ING. ENRIQUE LUJAN FRANCISCO SILVA				
PROYECTO:		UTILIZACIÓN DE MÉTODOS EXPERIMENTALES Y DE SIMULACIÓN NUMÉRICA PARA EL ESTUDIO DE LA MICROZONIFICACIÓN SÍSMICA DEL DISTRITO DE TRUJILLO.				
UBICACIÓN:		MZ C LT. 4- 5. URB. SOLILUZ DIST. TRUJILLO - PROV. TRUJILLO - DPTO. LA LIBERTAD				
FECHA:		SETIEMBRE DEL 2017	SONDEO	DPL-I	PROF. 5.00 m.	
PROF. (m.)	DESCRIPCIÓN DEL SUELO	SUCS	CORRELACIONES			ENSAYOS DE PENETRACION DINAMICA LIGERA $N_{DPL} = \frac{N^{\circ} \text{ de Golpes}}{10cm}$
			N SPT	ϕ (°) Suelo Fricción	c (kg/cm ²) Suelo cohesivo	
1.00	Material de relleno agrícola y basura en estado suelto.	SP	5	25.0	-	
2.00	Material de arena pobremente graduadas, de color beige pardo, de poca humedad, de compacidad suelta a media, conteniendo de manera aislada gravas de 1/2".		13	31.1	-	
3.00	Material de arena pobremente graduadas, de color marrón oscuro, de poca a regular humedad, de compacidad media, conteniendo de manera aislada gravas de 1/2" a 3/4". No se presenta el nivel freático NAF a la profundidad explorada.	SP	15	32.3	-	
4.00			17	33.4	-	
5.00			21	35.5	-	
			23	36.4	-	
			24	36.9	-	
			27	38.2	-	
6.00			-	-	-	
7.00			-	-	-	
8.00			-	-	-	
OBSERVACIONES:		Los primeros 0.30 m. no se contabilizan el número de golpes, por ser un estrato de relleno no apto para fines de cimentación. Por lo tanto se recomienda eliminar dicho material y reemplazarlo por afirmado compactado en capas de 20 a 30 cm.				

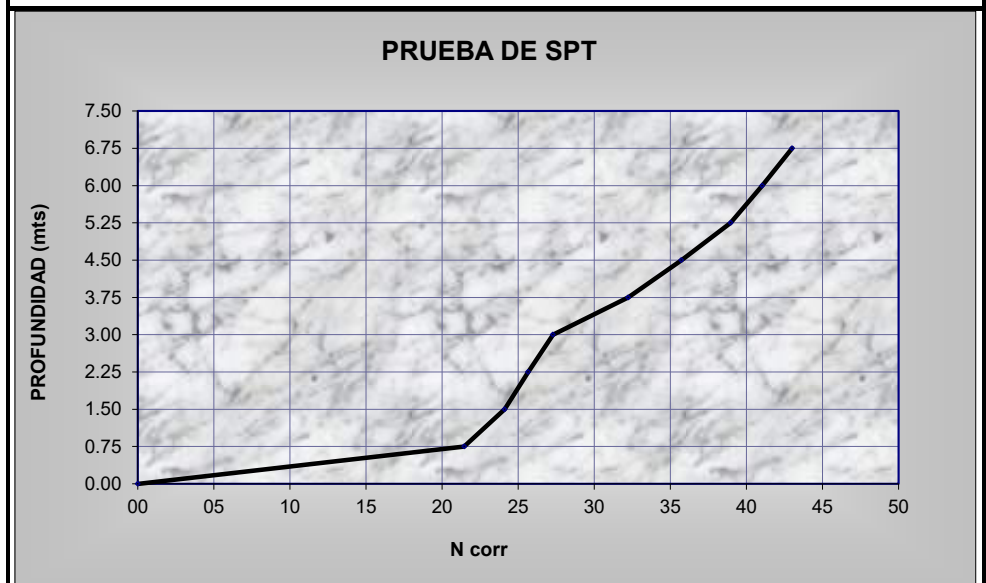
SOLICITANTE:		ING. ENRIQUE LUJAN FRANCISCO SILVA				
PROYECTO:		UTILIZACIÓN DE MÉTODOS EXPERIMENTALES Y DE SIMULACIÓN NUMÉRICA PARA EL ESTUDIO DE LA MICROZONIFICACIÓN SÍSMICA DEL DISTRITO DE TRUJILLO.				
UBICACIÓN:		AV. PERÚ N° 1123-1125 - URB. LA INTENDENCIA				
		DIST. TRUJILLO - PROV. TRUJILLO - DPTO. LA LIBERTAD				
FECHA:		ENERO DEL 2013	SONDEO	DPL-II	PROF. 3.10 m.	
PROF. (m.)	DESCRIPCIÓN DEL SUELO	S U C S	CORRELACIONES			ENSAYOS DE PENETRACION DINAMICA LIGERA $N_{DPL} = \frac{N^{\circ} \text{ de Golpes}}{10cm}$
			N SPT	ϕ (°) Suelo Friccio nante	c kg/cm ² Suelo cohesi vo	
1.00	Capa de suelo orgánico, mezclado con arena en estado suelto.	SP	9	28.4	-	
	Capa de arena pobremente graduada, de color marrón oscuro, de poca a regular humedad, compacidad media, conteniendo de manera aislada gravas menudas de 3/4" a 3", conforme nos vamos profundizando.		18	34.0	-	
2.00	Capa de grava mal graduada, de color beige pardo a plomo oscuro, de regular humedad, de compacidad media, a compacta, no plástico, con cierta presencia de porciones de bolonería 4" conforme nos vamos profundizando. No se presenta el nivel freático NAF a la profundidad explorada.	GP	24	36.9	-	
				34	-	
3.00			39	-	-	
			47	-	-	
4.00			-	-	-	
			-	-	-	
5.00			-	-	-	
			-	-	-	
6.00			-	-	-	
			-	-	-	
7.00			-	-	-	
			-	-	-	
8.00						
OBSERVACIONES:		Los primeros 0.30 m. no se contabilizan el número de golpes, por ser un estrato de relleno no apto para fines de cimentación para la edificación a construir. Por lo tanto se recomienda eliminar dicho material y reemplazarlo por afirmado compactado en capas de 20 a 30 cm.				

ENSAYOS DE PENETRACIÓN ESTÁNDAR SPT

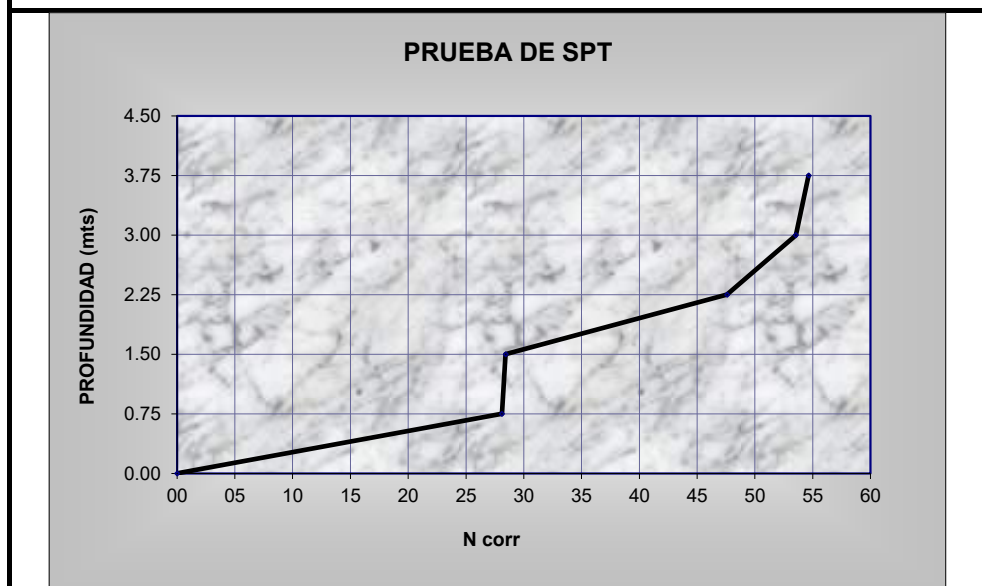
SOLICITANTE:		ING. ENRIQUE LUJAN FRANCISCO SILVA									
PROYECTO:		UTILIZACIÓN DE MÉTODOS EXPERIMENTALES Y DE SIMULACIÓN NUMÉRICA PARA EL ESTUDIO DE LA MICROZONIFICACIÓN SÍSMICA DEL DISTRITO DE TRUJILLO.									
UBICACIÓN:		FUNDO EL PRISMA LOTE I- TRUJILLO-TRUJILLO- LA LIBERTAD									
		DIST. TRUJILLO - PROV. TRUJILLO - DPTO. LA LIBERTAD									
FECHA:		OCTUBRE DEL 2014				SONDEO: SPT-I		PROF. 9.00 m.			
Nº	Prof. (m.)	Dens.Unt. (ton/m3)	Ncamp	Ncorr Napa	Esf. Efect. (ton/m2)	Correc. Esf. Efect.	Ncorr.	Nprom	SUCS	Cota	
1	0.00	1.70	00	00	0.00	1.00	00	00	SM	29.00	
2	0.75	1.70	06	06	1.28	1.69	10	10	SM	28.25	
3	1.50	1.70	10	08	2.55	1.46	12	11	CL	27.50	
4	2.25	1.70	14	11	3.83	1.32	15	12	CL	26.75	
5	3.00	1.70	15	13	5.10	1.23	16	13	CL	26.00	
6	3.75	1.70	16	16	6.38	1.15	18	14	CL	25.25	
7	4.50	1.70	18	17	7.65	1.09	19	15	SP	24.50	
8	5.25	1.70	21	22	8.93	1.04	23	16	SP	23.75	
9	6.00	1.70	25	26	10.20	1.00	26	17	SP	23.00	
10	6.75	1.70	30	29	11.48	0.96	28	17	SP	22.25	
11	7.50	1.70	32	34	12.75	0.92	31	18	SP	21.50	
12	8.25	1.70	34	34	14.03	0.89	30	17	SP	20.75	
13	9.00	1.70	35	34	15.30	0.86	29	17	SP	20.00	



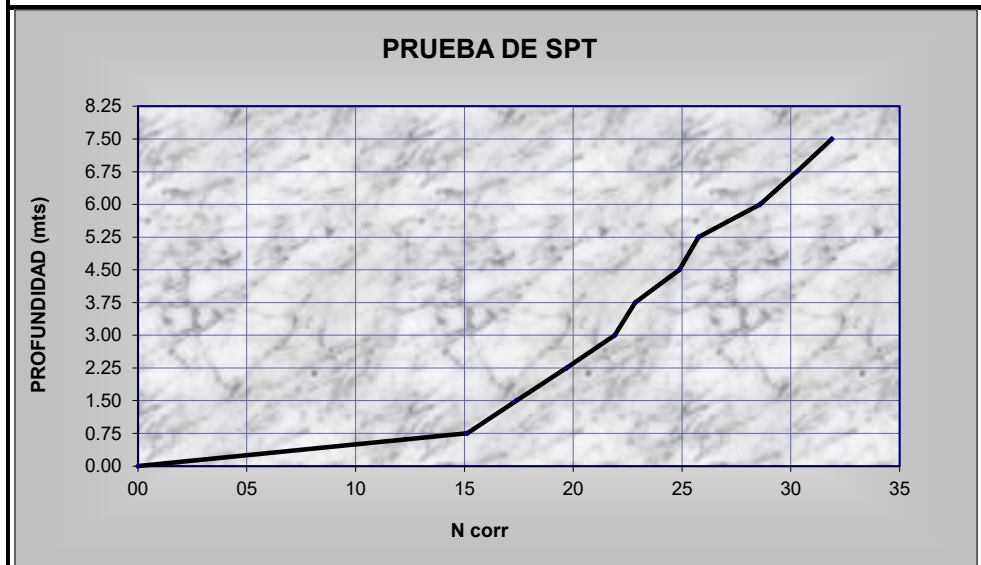
SOLICITANTE:		ING. ENRIQUE LUJAN FRANCISCO SILVA								
PROYECTO:		UTILIZACIÓN DE MÉTODOS EXPERIMENTALES Y DE SIMULACIÓN NUMÉRICA PARA EL ESTUDIO DE LA MICROZONIFICACIÓN SÍSMICA DEL DISTRITO DE TRUJILLO.								
UBICACIÓN:		MZ. "E" - LOTE 17, URB. INGENIERÍA II								
		DIST. TRUJILLO - PROV. TRUJILLO - DPTO. LA LIBERTAD								
FECHA:		NOVIEMBRE DEL 2017			SONDEO: SPT-3		PROF. 6.75 m.			
Nº	Prof. (m.)	Dens.Unt. (ton/m3)	Ncamp	Ncorr Napa	Esf. Efect. (ton/m2)	Correc. Esf. Efect.	Ncorr.	Nprom	SUCS	Cota
1	0.00	1.92	00	00	0.00	1.00	00	00	SC	0.00
2	0.75	1.92	13	13	1.44	1.65	21	21	SC	-0.75
3	1.50	1.92	17	17	2.88	1.42	24	23	CL	-1.50
4	2.25	1.92	20	20	4.32	1.28	26	24	CL	-2.25
5	3.00	1.92	23	23	5.76	1.19	27	25	SP	-3.00
6	3.75	1.92	26	29	7.20	1.11	32	26	SP	-3.75
7	4.50	1.92	34	34	8.64	1.05	36	28	SP	-4.50
8	5.25	1.92	39	39	10.08	1.00	39	29	SP	-5.25
9	6.00	1.92	41	43	11.52	0.95	41	31	SP	-6.00
10	6.75	1.92	45	47	12.96	0.92	43	30	SP	-6.75



SOLICITANTE:		ING. ENRIQUE LUJAN FRANCISCO SILVA								
PROYECTO:		UTILIZACIÓN DE MÉTODOS EXPERIMENTALES Y DE SIMULACIÓN NUMÉRICA PARA EL ESTUDIO DE LA MICROZONIFICACIÓN SÍSMICA DEL DISTRITO DE TRUJILLO.								
UBICACIÓN:		CALLE SAMUEL MORSE N° 665, URB. PAY PAY								
		DIST. TRUJILLO - PROV. TRUJILLO - DPTO. LA LIBERTAD								
FECHA:		MARZO DEL 2016			SONDEO:		SPT-5	PROF.		3.75 m.
N°	Prof. (m.)	Dens.Unt. (ton/m3)	Ncamp	Ncorr Napa	Esf. Efect. (ton/m2)	Correc. Esf. Efect.	Ncorr.	Npro m	SUCS	Cota
1	0.00	1.90	00	00	0.00	1.00	00	00	SP	16.00
2	0.75	1.90	15	17	1.43	1.65	28	28	SP	15.25
3	1.50	1.90	18	20	2.85	1.42	28	28	SP	14.50
4	2.25	1.90	36	37	4.28	1.29	48	35	SP	13.75
5	3.00	1.90	44	45	5.70	1.19	54	39	GP	13.00
6	3.75	1.90	46	49	7.13	1.12	55	42	GP	12.25



SOLICITANTE:		ING. ENRIQUE LUJAN FRANCISCO SILVA								
PROYECTO:		UTILIZACIÓN DE MÉTODOS EXPERIMENTALES Y DE SIMULACIÓN NUMÉRICA PARA EL ESTUDIO DE LA MICROZONIFICACIÓN SÍSMICA DEL DISTRITO DE TRUJILLO.								
UBICACIÓN:		MZ. "H-5", LOTE 10-11 (MANUEL DE FALLA) - URB. PRIMAVERA DIST. TRUJILLO - PROV. TRUJILLO - DPTO. LA LIBERTAD								
FECHA:		FEBRERO DEL 2014			SONDEO: SPT-6		PROF. 7.50 m.			
Nº	Prof. (m.)	Dens.Unt. (ton/m3)	Ncamp	Ncorr Napa	Esf. Efect. (ton/m2)	Correc. Esf. Efect.	Ncorr.	Nprom	SUCS	Cota
1	0.00	1.75	00	00	0.00	1.00	00	00	SP	19.00
2	0.75	1.75	09	09	1.31	1.68	15	15	SP	18.25
3	1.50	1.75	12	12	2.63	1.45	17	16	SP	17.50
4	2.25	1.75	15	15	3.94	1.31	20	17	SP	16.75
5	3.00	1.75	18	18	5.25	1.22	22	19	SP-SM	16.00
6	3.75	1.75	20	20	6.56	1.14	23	19	SP-SM	15.25
7	4.50	1.75	23	23	7.88	1.08	25	20	SP	14.50
8	5.25	1.75	25	25	9.19	1.03	26	21	SP	13.75
9	6.00	1.75	29	29	10.50	0.99	29	22	SP	13.00
10	6.75	1.75	32	32	11.81	0.95	30	21	SP	12.25
11	7.50	1.75	35	35	13.13	0.91	32	21	SP	11.50



ANEXO A-II. RESULTADOS DE ENSAYOS DE LABORATORIO

CONTENIDO HUMEDAD

SOLICITANTE:	ING. ENRIQUE LUJAN FRANCISCO SILVA		
PROYECTO:	UTILIZACIÓN DE MÉTODOS EXPERIMENTALES Y DE SIMULACIÓN NUMÉRICA PARA EL ESTUDIO DE LA MICROZONIFICACIÓN SÍSMICA DEL DISTRITO DE TRUJILLO.		
UBICACIÓN:	JR. ATAHUALPA N° 336 – 342 - SECTOR CHICAGO		
	DIST. TRUJILLO - PROV. TRUJILLO - DPTO. LA LIBERTAD		
FECHA:	ENERO DEL 2017	CALICATA:	C-4
Calicata N° :	4		
Profundidad :	1.40 m.		
Lata N° :	1	2	
Peso de la muestra húmeda + lata (gr)	56.13	41.20	
Peso de la muestra seca + lata (gr)	51.22	37.85	
Peso del agua (gr)	4.91	3.35	
Peso de la lata (gr)	13.00	13.00	
Peso de la muestra seca (gr)	38.22	24.85	
Contenido de humedad (%)	12.85	13.48	
Contenido de humedad promedio (%)	13.16		
Calicata N° :	4		
Profundidad :	3.00 m.		
Lata N° :	3	4	
Peso de la muestra húmeda + lata (gr)	50.66	48.76	
Peso de la muestra seca + lata (gr)	45.12	43.75	
Peso del agua (gr)	5.54	5.01	
Peso de la lata (gr)	13.00	13.00	
Peso de la muestra seca (gr)	32.12	30.75	
Contenido de humedad (%)	17.25	16.29	
Contenido de humedad promedio (%)	16.77		

SOLICITANTE:	ING. ENRIQUE LUJAN FRANCISCO SILVA		
PROYECTO:	UTILIZACIÓN DE MÉTODOS EXPERIMENTALES Y DE SIMULACIÓN NUMÉRICA PARA EL ESTUDIO DE LA MICROZONIFICACIÓN SÍSMICA DEL DISTRITO DE TRUJILLO.		
UBICACIÓN:	CALLE PROLONGACIÓN AV. SANTA N° 1725 - URB SANTA TERESA DE AVILA.		
	DIST. TRUJILLO - PROV. TRUJILLO - DPTO. LA LIBERTAD		
FECHA:	OCTUBRE DEL 2017	CALICATA:	C-7
Calicata N° :	7		
Profundidad :	1.50 m.		
Lata N° :	1	2	
Peso de la muestra húmeda + lata (gr)	45.20	48.60	
Peso de la muestra seca + lata (gr)	42.00	45.13	
Peso del agua (gr)	3.20	3.47	
Peso de la lata (gr)	13.00	13.00	
Peso de la muestra seca (gr)	29.00	32.13	
Contenido de humedad (%)	11.03	10.80	
Contenido de humedad promedio (%)	10.92		
Calicata N° :	7		
Profundidad :	3.00 m.		
Lata N° :	3	4	
Peso de la muestra húmeda + lata (gr)	48.60	46.21	
Peso de la muestra seca + lata (gr)	45.00	41.00	
Peso del agua (gr)	3.60	5.21	
Peso de la lata (gr)	13.00	13.00	
Peso de la muestra seca (gr)	32.00	28.00	
Contenido de humedad (%)	11.25	18.61	
Contenido de humedad promedio (%)	14.93		

SOLICITANTE:	ING. ENRIQUE LUJAN FRANCISCO SILVA		
PROYECTO:	UTILIZACIÓN DE MÉTODOS EXPERIMENTALES Y DE SIMULACIÓN NUMÉRICA PARA EL ESTUDIO DE LA MICROZONIFICACIÓN SÍSMICA DEL DISTRITO DE TRUJILLO.		
UBICACIÓN:	MZ. "F", LOTE 08, PROLONGACIÓN AV. EGUREN - URB. VILLA EL CONTADOR		
	DIST. TRUJILLO - PROV. TRUJILLO - DPTO. LA LIBERTAD		
FECHA:	JUNIO DEL 2015	CALICATA:	C-22
Calicata N° :	22		
Profundidad :	0.70 m.		
Lata N° :	1	2	
Peso de la muestra húmeda + lata (gr)	52.00	59.00	
Peso de la muestra seca + lata (gr)	47.35	53.28	
Peso del agua (gr)	4.65	5.72	
Peso de la lata (gr)	16.00	16.00	
Peso de la muestra seca (gr)	31.35	37.28	
Contenido de humedad (%)	14.83	15.34	
Contenido de humedad promedio (%)	15.09		
Calicata N° :	22		
Profundidad :	3.00 m.		
Lata N° :	3	4	
Peso de la muestra húmeda + lata (gr)	43.34	64.20	
Peso de la muestra seca + lata (gr)	37.12	53.00	
Peso del agua (gr)	6.22	11.20	
Peso de la lata (gr)	14.00	14.00	
Peso de la muestra seca (gr)	23.12	39.00	
Contenido de humedad (%)	26.90	28.72	
Contenido de humedad promedio (%)	27.81		

SOLICITANTE:	ING. ENRIQUE LUJAN FRANCISCO SILVA		
PROYECTO:	UTILIZACIÓN DE MÉTODOS EXPERIMENTALES Y DE SIMULACIÓN NUMÉRICA PARA EL ESTUDIO DE LA MICROZONIFICACIÓN SÍSMICA DEL DISTRITO DE TRUJILLO.		
UBICACIÓN:	MZ. "E" - LOTE 17, URB. INGENIERÍA II		
	DIST. TRUJILLO - PROV. TRUJILLO - DPTO. LA LIBERTAD		
FECHA:	NOVIEMBRE DEL 2017	CALICATA:	C-28
Calicata N° :	28		
Profundidad :	1,10 m.		
Lata N° :	1	2	
Peso de la muestra húmeda + lata (gr)	43.00	60.00	
Peso de la muestra seca + lata (gr)	40.00	55.22	
Peso del agua (gr)	3.00	4.78	
Peso de la lata (gr)	16.00	16.00	
Peso de la muestra seca (gr)	24.00	39.22	
Contenido de humedad (%)	12.50	12.19	
Contenido de humedad promedio (%)	12.34		
Calicata N° :	28		
Profundidad :	2,70 m.		
Lata N° :	3	4	
Peso de la muestra húmeda + lata (gr)	50.00	61.23	
Peso de la muestra seca + lata (gr)	44.85	55.00	
Peso del agua (gr)	5.15	6.23	
Peso de la lata (gr)	16.00	16.00	
Peso de la muestra seca (gr)	28.85	39.00	
Contenido de humedad (%)	17.85	15.97	
Contenido de humedad promedio (%)	16.91		
Calicata N° :	28		
Profundidad :	3,00 m.		
Lata N° :	5	6	
Peso de la muestra húmeda + lata (gr)	50.00	61.23	
Peso de la muestra seca + lata (gr)	44.32	54.26	
Peso del agua (gr)	5.68	6.97	
Peso de la lata (gr)	16.00	16.00	
Peso de la muestra seca (gr)	28.32	38.26	
Contenido de humedad (%)	20.06	18.22	
Contenido de humedad promedio (%)	19.14		

GRAVEDAD ESPECÍFICA

SOLICITANTE:	ING. ENRIQUE LUJAN FRANCISCO SILVA		
PROYECTO:	UTILIZACIÓN DE MÉTODOS EXPERIMENTALES Y DE SIMULACIÓN NUMÉRICA PARA EL ESTUDIO DE LA MICROZONIFICACIÓN SÍSMICA DEL DISTRITO DE TRUJILLO.		
UBICACIÓN:	JR. ATAHUALPA N° 336 – 342 - SECTOR CHICAGO DIST. TRUJILLO - PROV. TRUJILLO - DPTO. LA LIBERTAD		
FECHA:	ENERO DEL 2017	CALICATA:	C-4
Calicata :	4		
Profundidad :	1.40 m.		
DESCRIPCIÓN		UNIDAD	CANTIDAD
1.-Peso de la fiola		grs.	153.70
2.-Peso de la fiola + 500 cm ³ de agua.		grs.	648.00
3.-Peso de la fiola + 50cm ³ de agua.		grs.	290.00
4.-Peso de la fiola + 50cm ³ de agua + Muestra Seca		grs.	494.66
5.-Peso de la Muestra Seca .		grs.	204.66
6.-Peso de la fiola + Muestra + 500 cm ³ de agua		grs.	776.00
7.-Peso sumergido		grs.	128.00
8.-Volumen.		cm ³	76.66
9.-Peso especif. partícul. finas		gr/cm ³ .	2.67
10.-Peso especif. del agua		gr/cm ³ .	1.00
11.-Gravedad específica sólidos			2.67
Calicata :	4		
Profundidad :	3.00 m.		
DESCRIPCIÓN		UNIDAD	CANTIDAD
1.-Peso de la fiola		grs.	153.70
2.-Peso de la fiola + 500 cm ³ de agua.		grs.	648.05
3.-Peso de la fiola + 50cm ³ de agua.		grs.	290.00
4.-Peso de la fiola + 50cm ³ de agua + Muestra Seca		grs.	494.03
5.-Peso de la muestra seca .		grs.	204.03
6.-Peso de la fiola + Muestra + 500 cm ³ de agua		grs.	776.10
7.-Peso sumergido		grs.	128.05
8.-Volumen.		cm ³	75.98
9.-Gravedad específica.		gr/cm ³ .	2.69
10.-Peso especif. del agua		gr/cm ³ .	1.00
11.-Gravedad específica sólidos			2.69

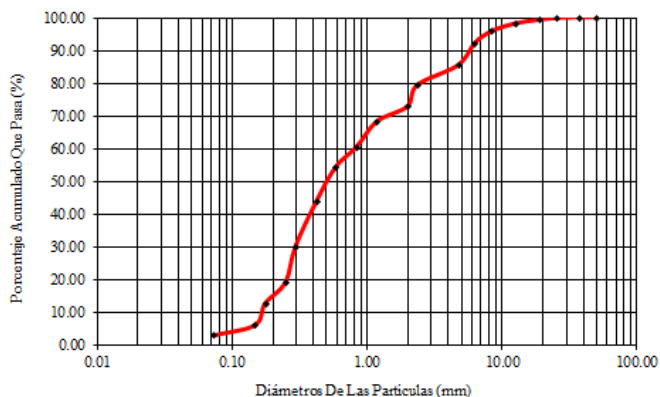
SOLICITANTE:	ING. ENRIQUE LUJAN FRANCISCO SILVA		
PROYECTO:	UTILIZACIÓN DE MÉTODOS EXPERIMENTALES Y DE SIMULACIÓN NUMÉRICA PARA EL ESTUDIO DE LA MICROZONIFICACIÓN SÍSMICA DEL DISTRITO DE TRUJILLO.		
UBICACIÓN:	CALLE PROLONGACIÓN AV. SANTA N° 1725 - URB SANTA TERESA DE AVILA.		
	DIST. TRUJILLO - PROV. TRUJILLO - DPTO. LA LIBERTAD		
FECHA:	OCTUBRE DEL 2017	CALICATA:	C-7
Calicata :	7		
Profundidad :	1.90 m.		
DESCRIPCIÓN		UNIDAD	CANTIDAD
1.-Peso de la fiola		grs.	153.70
2.-Peso de la fiola + 500 cm3 de agua.		grs.	648.00
3.-Peso de la fiola + 50cm3 de agua.		grs.	291.46
4.-Peso de la fiola + 50cm3 de agua + Muestra Seca		grs.	494.12
5.-Peso de la muestra seca .		grs.	202.66
6.-Peso de la fiola + Muestra + 500 cm3 de agua		grs.	776.00
7.-Peso sumergido		grs.	128.00
8.-Volumen.		cm3	74.66
9.-Peso especif. particul. finas		gr/cm3.	2.71
10.-Peso especif. del agua		gr/cm3.	1.00
11.-Gravedad específica sólidos			2.71
Calicata :	7		
Profundidad :	3.00 m.		
DESCRIPCIÓN		UNIDAD	CANTIDAD
1.-Peso de la fiola		grs.	153.70
2.-Peso de la fiola + 500 cm3 de agua.		grs.	648.00
3.-Peso de la fiola + 50cm3 de agua.		grs.	291.41
4.-Peso de la fiola + 50cm3 de agua + Muestra Seca		grs.	494.26
5.-Peso de la muestra seca .		grs.	202.85
6.-Peso de la fiola + Muestra + 500 cm3 de agua		grs.	776.10
7.-Peso sumergido		grs.	128.10
8.-Volumen.		cm3	74.75
9.-Gravedad específica.		gr/cm3.	2.71
10.-Peso especif. del agua		gr/cm3.	1.00
11.-Gravedad específica sólidos			2.71

SOLICITANTE:	ING. ENRIQUE LUJAN FRANCISCO SILVA		
PROYECTO:	UTILIZACIÓN DE MÉTODOS EXPERIMENTALES Y DE SIMULACIÓN NUMÉRICA PARA EL ESTUDIO DE LA MICROZONIFICACIÓN SÍSMICA DEL DISTRITO DE TRUJILLO.		
UBICACIÓN:	MZ. "F", LOTE 08, PROLONGACIÓN AV. EGUREN - URB. VILLA EL CONTADOR		
	DIST. TRUJILLO - PROV. TRUJILLO - DPTO. LA LIBERTAD		
FECHA:	JUNIO DEL 2015	CALICATA:	C-22
Calicata :	22		
Profundidad :	0.70 m.		
DESCRIPCION		UNIDAD	CANTIDAD
1.-Peso de la fiola		grs.	153.70
2.-Peso de la fiola + 500 cm3 de agua.		grs.	648.85
3.-Peso de la fiola + 50cm3 de agua.		grs.	291.19
4.-Peso de la fiola + 50cm3 de agua + Muestra Seca		grs.	494.00
5.-Peso de la muestra seca .		grs.	202.81
6.-Peso de la fiola + Muestra + 500 cm3 de agua		grs.	775.63
7.-Peso sumergido		grs.	126.78
8.-Volumen.		cm3	76.03
9.-Peso especif. partícul. finas		gr/cm3.	2.67
10.-Peso especif. del agua		gr/cm3.	1.00
11.-Gravedad específica sólidos			2.67
Calicata :	22		
Profundidad :	3.00 m.		
DESCRIPCION		UNIDAD	CANTIDAD
1.-Peso de la fiola		grs.	153.70
2.-Peso de la fiola + 500 cm3 de agua.		grs.	648.56
3.-Peso de la fiola + 50cm3 de agua.		grs.	291.55
4.-Peso de la fiola + 50cm3 de agua + Muestra Seca		grs.	494.44
5.-Peso de la muestra seca .		grs.	202.89
6.-Peso de la fiola + Muestra + 500 cm3 de agua		grs.	776.00
7.-Peso sumergido		grs.	127.44
8.-Volumen.		cm3	75.45
9.-Gravedad específica.		gr/cm3.	2.69
10.-Peso especif. del agua		gr/cm3.	1.00
11.-Gravedad específica sólidos			2.69

SOLICITANTE:	ING. ENRIQUE LUJAN FRANCISCO SILVA		
PROYECTO:	UTILIZACIÓN DE MÉTODOS EXPERIMENTALES Y DE SIMULACIÓN NUMÉRICA PARA EL ESTUDIO DE LA MICROZONIFICACIÓN SÍSMICA DEL DISTRITO DE TRUJILLO.		
UBICACIÓN:	MZ. "E" - LOTE 17, URB. INGENIERÍA II		
	DIST. TRUJILLO - PROV. TRUJILLO - DPTO. LA LIBERTAD		
FECHA:	NOVIEMBRE DEL 2017	CALICATA:	C-28
Calicata :	28		
Profundidad :	1,10 m.		
	DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD
	1.-Peso de la fiola	grs.	153.70
	2.-Peso de la fiola + 500 cm3 de agua	grs.	648.85
	3.-Peso de la fiola + 50cm3 de agua.	grs.	291.15
	4.-Peso de la fiola + 50cm3 de agua + Muestra Seca.	grs.	494.06
	5.-Peso de la muestra seca .	grs.	202.91
	6.-Peso de la fiola + Muestra + 500 cm3 de agua.	grs.	775.63
	7.-Peso sumergido	grs.	126.78
	8.-Volumen.	cm3	76.13
	9.-Peso especif. particul. finas	gr/cm3.	2.67
	10.-Peso especif. del agua	gr/cm3.	1.00
	11.-Gravedad específica sólidos		2.67
Calicata :	28		
Profundidad :	2,70 m.		
	DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD
	1.-Peso de la fiola	grs.	153.70
	2.-Peso de la fiola + 500 cm3 de agua	grs.	648.56
	3.-Peso de la fiola + 50cm3 de agua.	grs.	291.00
	4.-Peso de la fiola + 50cm3 de agua + Muestra Seca.	grs.	494.51
	5.-Peso de la muestra seca .	grs.	203.51
	6.-Peso de la fiola + Muestra + 500 cm3 de agua.	grs.	776.00
	7.-Peso sumergido	grs.	127.44
	8.-Volumen.	cm3	76.07
	9.-Peso especif. particul. finas	gr/cm3.	2.68
	10.-Peso especif. del agua	gr/cm3.	1.00
	11.-Gravedad específica sólidos		2.68
Calicata :	28		
Profundidad :	3,00 m.		
	DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD
	1.-Peso de la fiola	grs.	153.70
	2.-Peso de la fiola + 500 cm3 de agua	grs.	648.81
	3.-Peso de la fiola + 50cm3 de agua.	grs.	292.00
	4.-Peso de la fiola + 50cm3 de agua + Muestra Seca.	grs.	493.57
	5.-Peso de la muestra seca .	grs.	201.57
	6.-Peso de la fiola + Muestra + 500 cm3 de agua.	grs.	775.63
	7.-Peso sumergido	grs.	126.82
	8.-Volumen.	cm3	74.75
	9.-Peso especif. particul. finas	gr/cm3.	2.70
	10.-Peso especif. del agua	gr/cm3.	1.00
	11.-Gravedad específica sólidos		2.70

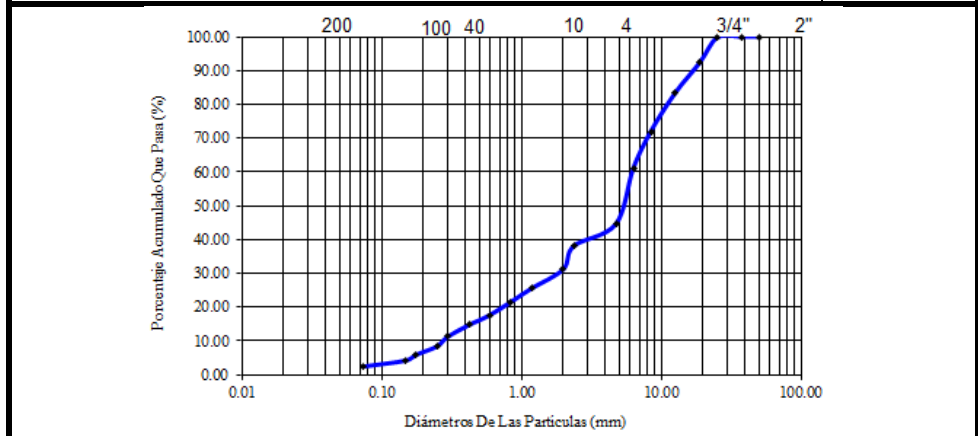
GRANULOMETRÍA

SOLICITANTE:	ING. ENRIQUE LUJAN FRANCISCO SILVA				
PROYECTO:	UTILIZACIÓN DE MÉTODOS EXPERIMENTALES Y DE SIMULACIÓN NUMÉRICA PARA EL ESTUDIO DE LA MICROZONIFICACIÓN SÍSMICA DEL DISTRITO DE TRUJILLO.				
UBICACIÓN:	JR. ATAHUALPA N° 336 – 342 - SECTOR CHICAGO				
	DIST. TRUJILLO - PROV. TRUJILLO - DPTO. LA LIBERTAD				
FECHA:	ENERO DEL 2017	CALICATA:	C-4	PROF:	3.00 m.
TAMIZ N°	ABERTURA mm	PESO RETENIDO	%PESO RETENIDO	% PESO RETENIDO ACUMULADO	%QUE PASA
2"	50.80	0.00	0.00	0.00	100.00
1 1/2"	38.10	0.00	0.00	0.00	100.00
1"	25.40	6.32	0.23	0.23	99.77
3/4"	19.00	15.42	0.57	0.80	99.20
1/2"	12.70	28.42	1.04	1.84	98.16
3/8"	8.46	65.55	2.41	4.25	95.75
1/4"	6.35	98.11	3.61	7.86	92.14
N° 4	4.76	185.22	6.81	14.67	85.33
N° 8	2.38	164.00	6.03	20.70	79.30
N° 10	2.00	180.00	6.62	27.31	72.69
N° 16	1.19	124.56	4.58	31.89	68.11
N° 20	0.84	213.22	7.84	39.73	60.27
N° 30	0.59	165.88	6.10	45.83	54.17
N° 40	0.425	285.00	10.48	56.30	43.70
N° 50	0.297	376.00	13.82	70.12	29.88
N° 60	0.250	302.00	11.10	81.22	18.78
N° 80	0.177	172.44	6.34	87.56	12.44
N° 100	0.149	182.00	6.69	94.25	5.75
N° 200	0.074	85.33	3.14	97.39	2.61
Recipiente	-	71.00	2.61	100.00	0.00
Sumatoria		2720.47	100.00		
D10 = 0.17	D30 = 0.30	D60 = 0,84	Cu > 6	I < Cc < 3	LL: NP
Clasificación SUSC : SP (Arena Pobremente Graduada)					LP: NP
					IP: NP

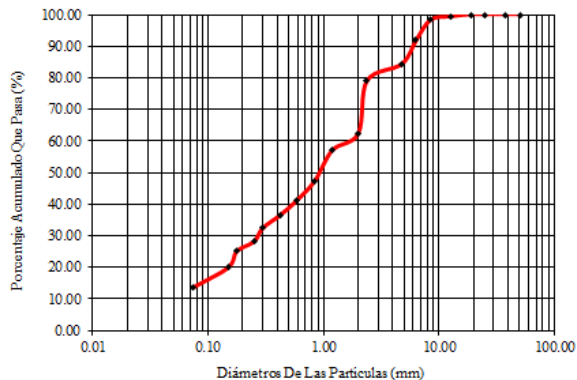


SOLICITANTE:	ING. ENRIQUE LUJAN FRANCISCO SILVA				
PROYECTO:	UTILIZACIÓN DE MÉTODOS EXPERIMENTALES Y DE SIMULACIÓN NUMÉRICA PARA EL ESTUDIO DE LA MICROZONIFICACIÓN SÍSMICA DEL DISTRITO DE TRUJILLO.				
UBICACIÓN:	CALLE PROLONGACIÓN AV. SANTA N° 1725 - URB SANTA TERESA DE AVILA. DIST. TRUJILLO - PROV. TRUJILLO - DPTO. LA LIBERTAD				
FECHA:	OCTUBRE DEL 2017	CALICATA:	C-7	PROF:	1.90 m.
TAMIZ N°	ABERTURA Mm	PESO RETENIDO	%PESO RETENIDO	% PESO RETENIDO ACUMULADO	%QUE PASA
2"	50.80	0.00	0.00	0.00	100.00
1 1/2"	38.10	0.00	0.00	0.00	100.00
1"	25.40	5.21	0.18	0.18	99.82
3/4"	19.00	19.00	0.64	0.82	99.18
1/2"	12.70	24.00	0.81	1.63	98.37
3/8"	8.46	56.80	1.92	3.54	96.46
1/4"	6.35	92.30	3.11	6.65	93.35
N° 4	4.76	154.00	5.19	11.85	88.15
N° 8	2.38	185.00	6.24	18.09	81.91
N° 10	2.00	203.00	6.85	24.93	75.07
N° 16	1.19	121.33	4.09	29.03	70.97
N° 20	0.84	223.00	7.52	36.55	63.45
N° 30	0.59	131.44	4.43	40.98	59.02
N° 40	0.425	365.40	12.32	53.30	46.70
N° 50	0.297	421.00	14.20	67.50	32.50
N° 60	0.250	310.00	10.46	77.96	22.04
N° 80	0.177	181.00	6.10	84.06	15.94
N° 100	0.149	265.47	8.95	93.01	6.99
N° 200	0.074	125.00	4.22	97.23	2.77
Recipiente	-	82.13	2.77	100.00	0.00
Sumatoria		2965.08	100.00		
D10 = 0.17 D30= 0.30 D60= 0,60 Cu > 6 I < Cc < 3					LL: NP
Clasificación SUSC : SP (Arena Pobremente Graduada)					LP: NP
					IP: NP

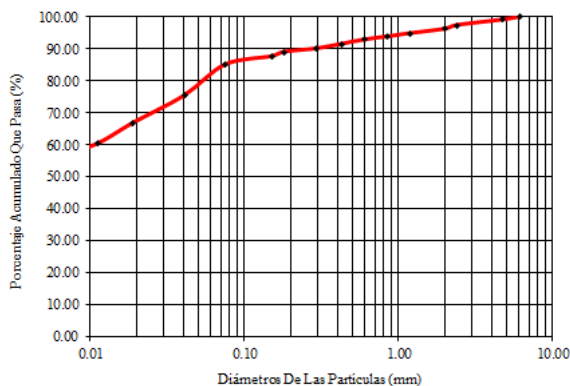
SOLICITANTE:	ING. ENRIQUE LUJAN FRANCISCO SILVA				
PROYECTO:	UTILIZACIÓN DE MÉTODOS EXPERIMENTALES Y DE SIMULACIÓN NUMÉRICA PARA EL ESTUDIO DE LA MICROZONIFICACIÓN SÍSMICA DEL DISTRITO DE TRUJILLO.				
UBICACIÓN:	CALLE PROLONGACIÓN AV. SANTA N° 1725 - URB SANTA TERESA DE AVILA.				
	DIST. TRUJILLO - PROV. TRUJILLO - DPTO. LA LIBERTAD				
FECHA:	OCTUBRE DEL 2017	CALICATA:	C-7	PROF:	3.00 m.
TAMIZ N°	ABERTURA mm	PESO RETENIDO	%PESO RETENIDO	% PESO RETENIDO ACUMULADO	%QUE PASA
2"	50.80	0.00	0.00	0.00	100.00
1 1/2"	38.10	0.00	0.00	0.00	100.00
1"	25.40	6.20	0.23	0.23	99.77
3/4"	19.00	205.00	7.45	7.68	92.32
1/2"	12.70	244.55	8.89	16.57	83.43
3/8"	8.46	315.66	11.47	28.04	71.96
1/4"	6.35	300.00	10.91	38.95	61.05
N° 4	4.76	453.00	16.47	55.42	44.58
N° 8	2.38	178.00	6.47	61.89	38.11
N° 10	2.00	190.00	6.91	68.79	31.21
N° 16	1.19	154.62	5.62	74.41	25.59
N° 20	0.84	112.00	4.07	78.49	21.51
N° 30	0.59	109.00	3.96	82.45	17.55
N° 40	0.425	76.00	2.76	85.21	14.79
N° 50	0.297	98.03	3.56	88.77	11.23
N° 60	0.250	76.50	2.78	91.56	8.44
N° 80	0.177	68.77	2.50	94.06	5.94
N° 100	0.149	47.00	1.71	95.76	4.24
N° 200	0.074	49.00	1.78	97.55	2.45
Recipiente	-	67.52	2.45	100.00	0.00
Sumatoria		2750.85	100.00		
D10 = 0.30		D30= 2.00	D60= 6.00	Cu > 6	I < Cc < 3
Clasificación SUSC : GP (Grava Pobremente Graduada)					LL: NP LP: NP IP: NP



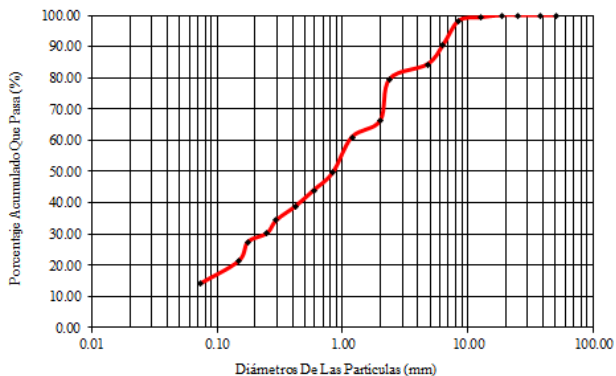
SOLICITANTE:	ING. ENRIQUE LUJAN FRANCISCO SILVA				
PROYECTO:	UTILIZACIÓN DE MÉTODOS EXPERIMENTALES Y DE SIMULACIÓN NUMÉRICA PARA EL ESTUDIO DE LA MICROZONIFICACIÓN SÍSMICA DEL DISTRITO DE TRUJILLO.				
UBICACIÓN:	MZ. "F", LOTE 08, PROLONGACIÓN AV. EGUREN - URB. VILLA EL CONTADOR DIST. TRUJILLO - PROV. TRUJILLO - DPTO. LA LIBERTAD				
FECHA:	JUNIO DEL 2015	CALICATA:	C-22	PROF:	0.70 m.
TAMIZ N°	ABERTURA Mm	PESO RETENIDO	%PESO RETENIDO	% PESO RETENIDO ACUMULADO	%QUE PASA
2"	50.80	0.00	0.00	0.00	100.00
1 1/2"	38.10	0.00	0.00	0.00	100.00
1"	25.40	0.00	0.00	0.00	100.00
3/4"	19.00	0.00	0.00	0.00	100.00
1/2"	12.70	13.22	0.62	0.62	99.38
3/8"	8.46	23.00	1.08	1.71	98.29
1/4"	6.35	136.77	6.45	8.16	91.84
N° 4	4.76	160.00	7.55	15.70	84.30
N° 8	2.38	111.00	5.23	20.94	79.06
N° 10	2.00	354.29	16.71	37.65	62.35
N° 16	1.19	113.00	5.33	42.97	57.03
N° 20	0.84	205.00	9.67	52.64	47.36
N° 30	0.59	130.00	6.13	58.77	41.23
N° 40	0.425	97.88	4.62	63.39	36.61
N° 50	0.297	90.00	4.24	67.63	32.37
N° 60	0.250	89.35	4.21	71.85	28.15
N° 80	0.177	65.00	3.07	74.91	25.09
N° 100	0.149	110.00	5.19	80.10	19.90
N° 200	0.074	134.00	6.32	86.42	13.58
Recipiente	-	288.00	13.58	100.00	0.00
Sumatoria		2120.51	100.00		
D10 = 0.05		D30 = 0.28	D60 = 1.80	Cu > 6	I < Cc < 3
Clasificación SUSC : SM (Arena Limosa)					LL: 25.60 LP: 21.00 IP: 4.60



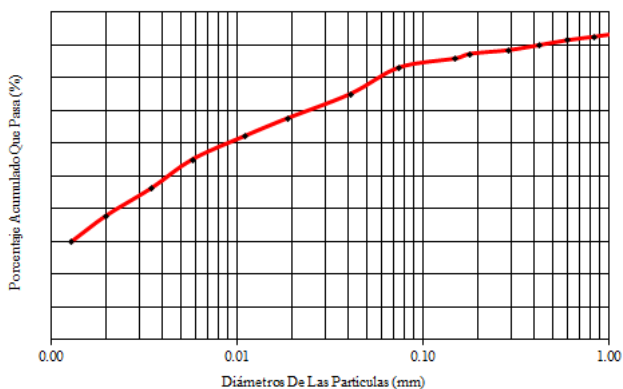
SOLICITANTE:	ING. ENRIQUE LUJAN FRANCISCO SILVA				
PROYECTO:	UTILIZACIÓN DE MÉTODOS EXPERIMENTALES Y DE SIMULACIÓN NUMÉRICA PARA EL ESTUDIO DE LA MICROZONIFICACIÓN SÍSMICA DEL DISTRITO DE TRUJILLO.				
UBICACIÓN:	MZ. "F", LOTE 08, PROLONGACIÓN AV. EGUREN - URB. VILLA EL CONTADOR DIST. TRUJILLO - PROV. TRUJILLO - DPTO. LA LIBERTAD				
FECHA:	JUNIO DEL 2015	CALICATA:	C-22	PROF:	3.00 m.
TAMIZ N°	ABERTURA mm	PESO RETENIDO	%PESO RETENIDO	% PESO RETENIDO ACUMULADO	%QUE PASA
2"	6.12	0.00	0.00	0.00	100.00
1 1/2"	4.75	2.44	0.87	0.87	99.13
1"	2.38	4.89	1.74	2.61	97.39
3/4"	2.00	3.24	1.15	3.77	96.23
1/2"	1.19	3.88	1.38	5.15	94.85
3/8"	0.84	2.90	1.03	6.18	93.82
1/4"	0.60	2.65	0.94	7.13	92.87
N° 4	0.425	3.87	1.38	8.51	91.49
N° 8	0.29	4.00	1.43	9.93	90.07
N° 10	0.18	2.90	1.03	10.97	89.03
N° 16	0.15	3.89	1.39	12.35	87.65
N° 20	0.075	7.22	2.57	14.93	85.07
N° 30	0.0409	27.00	9.62	24.55	75.45
N° 40	0.0189	24.22	8.63	33.18	66.82
N° 50	0.0112	18.00	6.42	39.60	60.40
N° 60	0.0058	15.66	5.58	45.18	54.82
N° 80	0.0035	25.22	8.99	54.17	45.83
N° 100	0.0020	20.00	7.13	61.30	38.70
N° 200	0.0013	18.57	6.62	67.92	32.08
Recipiente	-	90.00	32.08	100.00	0.00
Sumatoria		280.55	99.13		
D10 =	D30=	D60=	Cu > 6	I < Cc < 3	LL: 30.50
Clasificación SUSC : CL (Arcilla de baja plasticidad)					LP: 22.50
					IP: 8.00



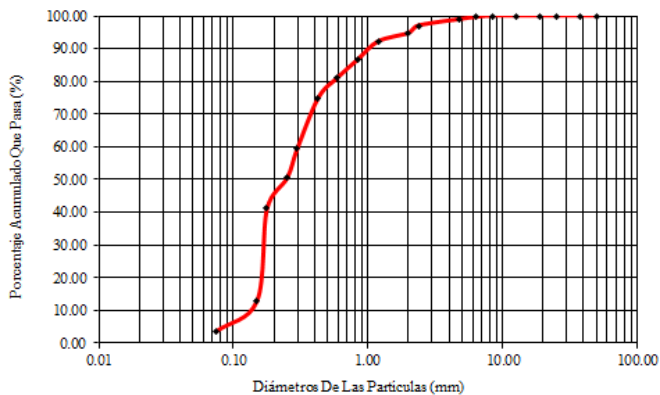
SOLICITANTE:	ING. ENRIQUE LUJAN FRANCISCO SILVA				
PROYECTO:	UTILIZACIÓN DE MÉTODOS EXPERIMENTALES Y DE SIMULACIÓN NUMÉRICA PARA EL ESTUDIO DE LA MICROZONIFICACIÓN SÍSMICA DEL DISTRITO DE TRUJILLO.				
UBICACIÓN:	MZ. "E" - LOTE 17, URB. INGENIERÍA II				
	DIST. TRUJILLO - PROV. TRUJILLO - DPTO. LA LIBERTAD				
FECHA:	NOVIEMBRE DEL 2017	CALICATA:	C-28	PROF:	1.10 m.
TAMIZ N°	ABERTURA Mm	PESO RETENIDO	%PESO RETENIDO	% PESO RETENIDO ACUMULADO	%QUE PASA
2"	50.80	0.00	0.00	0.00	100.00
1 1/2"	38.10	0.00	0.00	0.00	100.00
1"	25.40	0.00	0.00	0.00	100.00
3/4"	19.00	0.00	0.00	0.00	100.00
1/2"	12.70	15.00	0.70	0.70	99.30
3/8"	8.46	23.12	1.08	1.78	98.22
1/4"	6.35	167.00	7.78	9.56	90.44
N° 4	4.76	132.49	6.17	15.73	84.27
N° 8	2.38	100.00	4.66	20.39	79.61
N° 10	2.00	288.00	13.42	33.81	66.19
N° 16	1.19	112.00	5.22	39.03	60.97
N° 20	0.84	243.50	11.35	50.37	49.63
N° 30	0.59	122.00	5.68	56.06	43.94
N° 40	0.425	108.00	5.03	61.09	38.91
N° 50	0.297	98.27	4.58	65.67	34.33
N° 60	0.250	90.00	4.19	69.86	30.14
N° 80	0.177	57.00	2.66	72.52	27.48
N° 100	0.149	133.00	6.20	78.72	21.28
N° 200	0.074	154.77	7.21	85.93	14.07
Recipiente	-	302.00	14.07	100.00	0.00
Sumatoria		2146.15	100.00		
D10 = 0.05 D30= 0.24 D60= 1.20 Cu > 6 I < Cc < 3					LL: 24.00
Clasificación SUSC : SC (Arena Arcillosa)					LP: 18.50 IP: 5.50



SOLICITANTE:	ING. ENRIQUE LUJAN FRANCISCO SILVA				
PROYECTO:	UTILIZACIÓN DE MÉTODOS EXPERIMENTALES Y DE SIMULACIÓN NUMÉRICA PARA EL ESTUDIO DE LA MICROZONIFICACIÓN SÍSMICA DEL DISTRITO DE TRUJILLO.				
UBICACIÓN:	MZ. "E" - LOTE 17, URB. INGENIERÍA II DIST. TRUJILLO - PROV. TRUJILLO - DPTO. LA LIBERTAD				
FECHA:	NOVIEMBRE DEL 2017	CALICATA:	C-28	PROF:	2.70 m.
TAMIZ N°	ABERTURA mm	PESO RETENIDO	%PESO RETENIDO	% PESO RETENIDO ACUMULADO	%QUE PASA
2"	50.80	0.00	0.00	0.00	100.00
1 1/2"	38.10	3.22	1.23	1.23	98.77
1"	25.40	6.70	2.56	3.79	96.21
3/4"	19.00	3.00	1.14	4.93	95.07
1/2"	12.70	3.90	1.49	6.42	93.58
3/8"	8.46	3.00	1.14	7.56	92.44
1/4"	6.35	2.80	1.07	8.63	91.37
N° 4	4.76	3.90	1.49	10.12	89.88
N° 8	2.38	4.11	1.57	11.69	88.31
N° 10	2.00	2.90	1.11	12.79	87.21
N° 16	1.19	3.78	1.44	14.24	85.76
N° 20	0.84	7.12	2.72	16.95	83.05
N° 30	0.59	21.30	8.13	25.08	74.92
N° 40	0.425	19.33	7.38	32.46	67.54
N° 50	0.297	14.00	5.34	37.80	62.20
N° 60	0.250	19.00	7.25	45.05	54.95
N° 80	0.177	23.00	8.78	53.83	46.17
N° 100	0.149	22.00	8.40	62.22	37.78
N° 200	0.074	21.00	8.01	70.24	29.76
Recipiente	-	78.00	29.76	100.00	0.00
Sumatoria		262.06	98.77		
D10 =	D30=	D60=	Cu > 6	I < Cc < 3	LL: 29.00
Clasificación SUSC : CL (Arcilla de baja plasticidad)					LP: 20.60 IP: 8.40



SOLICITANTE:	ING. ENRIQUE LUJAN FRANCISCO SILVA				
PROYECTO:	UTILIZACIÓN DE MÉTODOS EXPERIMENTALES Y DE SIMULACIÓN NUMÉRICA PARA EL ESTUDIO DE LA MICROZONIFICACIÓN SÍSMICA DEL DISTRITO DE TRUJILLO.				
UBICACIÓN:	MZ. "E" - LOTE 17, URB. INGENIERÍA II DIST. TRUJILLO - PROV. TRUJILLO - DPTO. LA LIBERTAD				
FECHA:	NOVIEMBRE DEL 2017	CALICATA:	C-28	PROF:	3.00 m.
TAMIZ N°	ABERTURA Mm	PESO RETENIDO	%PESO RETENIDO	% PESO RETENIDO ACUMULADO	%QUE PASA
2"	50.80	0.00	0.00	0.00	100.00
1 1/2"	38.10	0.00	0.00	0.00	100.00
1"	25.40	0.00	0.00	0.00	100.00
3/4"	19.00	0.00	0.00	0.00	100.00
1/2"	12.70	0.00	0.00	0.00	100.00
3/8"	8.46	0.00	0.00	0.00	100.00
1/4"	6.35	7.00	0.39	0.39	99.61
N° 4	4.76	12.37	0.70	1.09	98.91
N° 8	2.38	34.00	1.91	3.00	97.00
N° 10	2.00	41.00	2.31	5.31	94.69
N° 16	1.19	45.00	2.53	7.84	92.16
N° 20	0.84	98.16	5.52	13.36	86.64
N° 30	0.59	100.00	5.62	18.99	81.01
N° 40	0.425	110.00	6.19	25.17	74.83
N° 50	0.297	276.00	15.52	40.70	59.30
N° 60	0.250	156.29	8.79	49.49	50.51
N° 80	0.177	167.00	9.39	58.88	41.12
N° 100	0.149	500.00	28.12	87.01	12.99
N° 200	0.074	165.00	9.28	96.29	3.71
Recipiente	-	66.00	3.71	100.00	0.00
Sumatoria		1777.82	100.00		
D10 = 0.13 D30 = 0.18 D60 = 0,30 Cu > 6 I < Cc < 3					LL: NP
Clasificación SUSC : SP (Arena Pobremente Graduada)					LP: NP IP: NP



CONTENIDO DE SALES

SOLICITANTE:	ING. ENRIQUE LUJAN FRANCISCO SILVA		
PROYECTO:	UTILIZACIÓN DE MÉTODOS EXPERIMENTALES Y DE SIMULACIÓN NUMÉRICA PARA EL ESTUDIO DE LA MICROZONIFICACIÓN SÍSMICA DEL DISTRITO DE TRUJILLO.		
UBICACIÓN:	JR. ATAHUALPA N° 336 – 342 - SECTOR CHICAGO		
	DIST. TRUJILLO - PROV. TRUJILLO - DPTO. LA LIBERTAD		
FECHA:	ENERO DEL 2017	CALICATA:	C-4
Calicata N° :	4		
Profundidad :	1.40 m.		
Lata N° :	1	2	
Peso del recipiente vacío (gr)	116.90	116.90	
Peso recip. + Peso agua destilada + sales (gr)	178.12	177.60	
Peso del recipiente + sales (gr)	117.53	117.55	
Peso de la sal (gr)	0.63	0.65	
Contenido de sales (%)	1.03	1.07	
Contenido promedio de sales (%)	1.05		
Calicata N° :	4		
Profundidad :	3.00 m.		
Lata N° :	3	4	
Peso del recipiente vacío (gr)	116.90	116.90	
Peso recip. + Peso agua destilada + sales (gr)	177.76	176.20	
Peso del recipiente + sales (gr)	117.58	117.59	
Peso de la sal (gr)	0.68	0.69	
Contenido de sales (%)	1.12	1.16	
Contenido promedio de sales (%)	1.14		

SOLICITANTE:	ING. ENRIQUE LUJAN FRANCISCO SILVA		
PROYECTO:	UTILIZACIÓN DE MÉTODOS EXPERIMENTALES Y DE SIMULACIÓN NUMÉRICA PARA EL ESTUDIO DE LA MICROZONIFICACIÓN SÍSMICA DEL DISTRITO DE TRUJILLO.		
UBICACIÓN:	CALLE PROLONGACIÓN AV. SANTA N° 1725 - URB		SANTA TERESA
	DE AVILA.		
	DIST. TRUJILLO - PROV. TRUJILLO - DPTO. LA LIBERTAD		
FECHA:	OCTUBRE DEL 2016	CALICATA:	C-7
Calicata N° :	7		
Profundidad :	1.90 m.		
Lata N° :	1	2	
Peso del recipiente vacío (gr)	116.90	116.90	
Peso recip. + Peso agua destilada + sales (gr)	180.00	179.00	
Peso del recipiente + sales (gr)	117.56	117.51	
Peso de la sal (gr)	0.66	0.61	
Contenido de sales (%)	1.05	0.98	
Contenido promedio de sales (%)	1.01		
Calicata N° :	7		
Profundidad :	3.00 m.		
Lata N° :	3	4	
Peso del recipiente vacío (gr)	116.90	116.90	
Peso recip. + Peso agua destilada + sales (gr)	178.00	179.66	
Peso del recipiente + sales (gr)	117.58	117.58	
Peso de la sal (gr)	0.68	0.68	
Contenido de sales (%)	1.11	1.08	
Contenido promedio de sales (%)	1.10		

SOLICITANTE:	ING. ENRIQUE LUJAN FRANCISCO SILVA		
PROYECTO:	UTILIZACIÓN DE MÉTODOS EXPERIMENTALES Y DE SIMULACIÓN NUMÉRICA PARA EL ESTUDIO DE LA MICROZONIFICACIÓN SÍSMICA DEL DISTRITO DE TRUJILLO.		
UBICACIÓN:	MZ. "F", LOTE 08, PROLONGACIÓN AV. EGUREN - URB. VILLA EL CONTADOR		
	DIST. TRUJILLO - PROV. TRUJILLO - DPTO. LA LIBERTAD		
FECHA:	JUNIO DEL 2015	CALICATA:	C-22
Calicata N° :	22		
Profundidad :	0.70 m.		
Lata N° :	1	2	
Peso del recipiente vacío (gr)	116.90	116.90	
Peso recip.+ Peso agua destilada + sales (gr)	179.44	177.68	
Peso del recipiente + sales (gr)	117.54	117.54	
Peso de la sal (gr)	0.64	0.64	
Contenido de sales (%)	1.02	1.05	
Contenido promedio de sales (%)	1.04		
Calicata N° :	22		
Profundidad :	3.00 m.		
Lata N° :	3	4	
Peso del recipiente vacío (gr)	116.90	116.90	
Peso recip.+ Peso agua destilada + sales (gr)	177.00	176.00	
Peso del recipiente + sales (gr)	117.58	117.58	
Peso de la sal (gr)	0.68	0.68	
Contenido de sales (%)	1.13	1.15	
Contenido promedio de sales (%)	1.14		

SOLICITANTE:	ING. ENRIQUE LUJAN FRANCISCO SILVA		
PROYECTO:	UTILIZACIÓN DE MÉTODOS EXPERIMENTALES Y DE SIMULACIÓN NUMÉRICA PARA EL ESTUDIO DE LA MICROZONIFICACIÓN SÍSMICA DEL DISTRITO DE TRUJILLO.		
UBICACIÓN:	MZ. "E" - LOTE 17, URB. INGENIERÍA II		
	DIST. TRUJILLO - PROV. TRUJILLO - DPTO. LA LIBERTAD		
FECHA:	NOVIEMBRE DEL 2017	CALICATA:	C-28
Calicata N° :	28		
Profundidad :	1,10 m.		
Lata N° :	1	2	
Peso del recipiente vacío (gr)	116.90	116.90	
Peso recip. + Peso agua destilada + sales (gr)	177.22	176.00	
Peso del recipiente + sales (gr)	117.52	117.54	
Peso de la sal (gr)	0.62	0.64	
Contenido de sales (%)	1.03	1.08	
Contenido promedio de sales (%)	1.06		
Calicata N° :	28		
Profundidad :	2,70 m.		
Lata N° :	3	4	
Peso del recipiente vacío (gr)	116.90	116.90	
Peso recip. + Peso agua destilada + sales (gr)	178.11	176.11	
Peso del recipiente + sales (gr)	117.55	117.54	
Peso de la sal (gr)	0.65	0.64	
Contenido de sales (%)	1.06	1.08	
Contenido promedio de sales (%)	1.07		
Calicata N° :	28		
Profundidad :	3,00 m.		
Lata N° :	5	6	
Peso del recipiente vacío (gr)	116.90	116.90	
Peso recip. + Peso agua destilada + sales (gr)	177.21	176.11	
Peso del recipiente + sales (gr)	117.58	117.58	
Peso de la sal (gr)	0.68	0.68	
Contenido de sales (%)	1.13	1.15	
Contenido promedio de sales (%)	1.14		

CORTE DIRECTO

SOLICITANTE:		ING. ENRIQUE LUJAN FRANCISCO SILVA				
PROYECTO:		UTILIZACIÓN DE MÉTODOS EXPERIMENTALES Y DE SIMULACIÓN NUMÉRICA PARA EL ESTUDIO DE LA MICROZONIFICACIÓN SÍSMICA DEL DISTRITO DE TRUJILLO.				
UBICACIÓN:		JR. ATAHUALPA N° 336 – 342 - SECTOR CHICAGO				
FECHA:		ENERO DEL 2017		CALICATA:	C-4	
N° De Espécimen	Peso Volumétrico Seco (gr/cm ³)	Esfuerzo Normal (Kg/cm ²)	Proporción de Esfuerzos (t/s)	Humedad Natural (%)	Esfuerzo De Corte (Kg/cm ²)	Humedad Saturada (%)
1	1.551	0.50	0.487	16.60	0.244	21.80
2	1.555	1.00	0.487	16.40	0.487	21.61
3	1.554	1.50	0.487	16.25	0.731	21.29

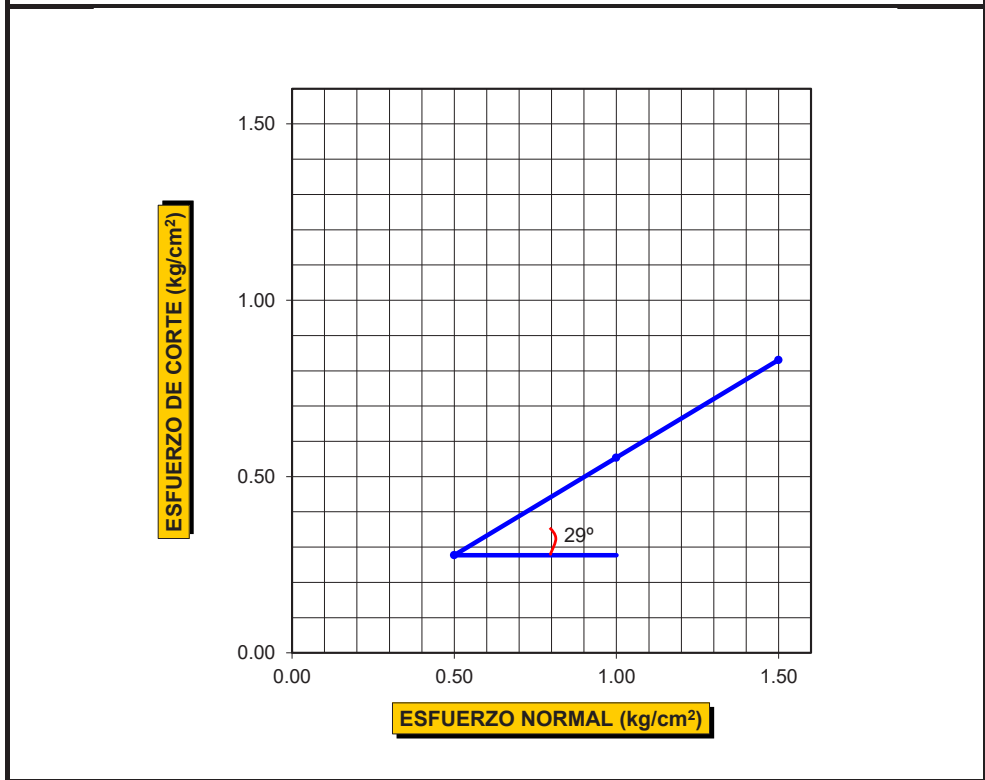
RESULTADO:

Cohesión (kg/cm²) : 0.00

Ángulo de Fricción Interna (o) : 26°

El gráfico muestra una línea azul que representa la relación entre el Esfuerzo Normal (kg/cm²) en el eje horizontal y el Esfuerzo de Corte (kg/cm²) en el eje vertical. La línea comienza en el origen (0,0) y se extiende hasta aproximadamente (1.5, 0.73). Un ángulo de 26° está marcado entre la línea y el eje horizontal.

SOLICITANTE:		ING. ENRIQUE LUJAN FRANCISCO SILVA				
PROYECTO:		UTILIZACIÓN DE MÉTODOS EXPERIMENTALES Y DE SIMULACIÓN NUMÉRICA PARA EL ESTUDIO DE LA MICROZONIFICACIÓN SÍSMICA DEL DISTRITO DE TRUJILLO.				
UBICACIÓN:		CALLE PROLONGACIÓN AV. SANTA N° 1725 – URB. SANTA TERESA DE AVILA. DIST. TRUJILLO - PROV. TRUJILLO - DPTO. LA LIBERTAD				
FECHA:		OCTUBRE DEL 2016	CALICATA:	C-7		
N° De Espécimen	Peso Volumétrico Seco (gr/cm ³)	Esfuerzo Normal (Kg/cm ²)	Proporción de Esfuerzos (t/s)	Humedad Natural (%)	Esfuerzo De Corte (Kg/cm ²)	Humedad Saturada (%)
1	1.492	0.50	0.554	8.70	0.277	13.70
2	1.496	1.00	0.554	8.60	0.554	13.62
3	1.498	1.50	0.554	8.15	0.831	13.16
RESULTADO:						
Cohesión (kg/cm ²) : 0.00						
Angulo de Fricción Interna (o) : 29 °						

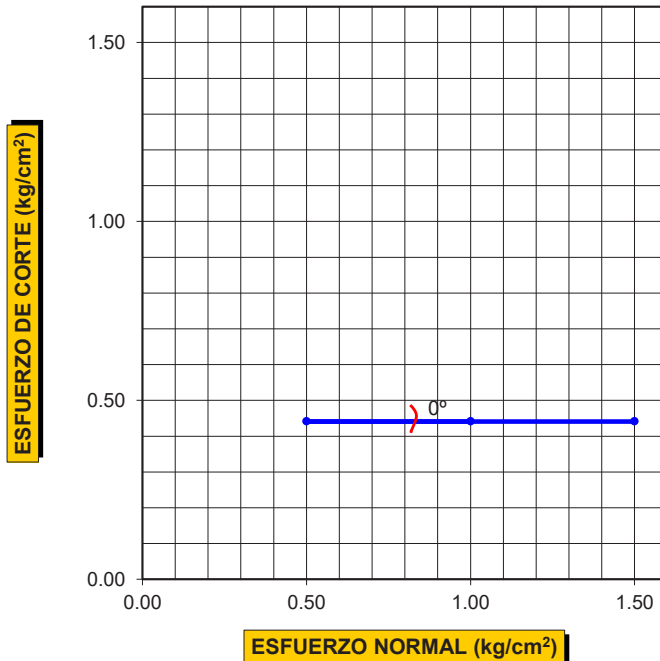


SOLICITANTE:	ING. ENRIQUE LUJAN FRANCISCO SILVA		
PROYECTO:	UTILIZACIÓN DE MÉTODOS EXPERIMENTALES Y DE SIMULACIÓN NUMÉRICA PARA EL ESTUDIO DE LA MICROZONIFICACIÓN SÍSMICA DEL DISTRITO DE TRUJILLO.		
UBICACIÓN:	MZ. "F", LOTE 08, PROLONGACIÓN AV. EGUREN - URB. VILLA EL CONTADOR DIST. TRUJILLO - PROV. TRUJILLO - DPTO. LA LIBERTAD		
FECHA:	JUNIO DEL 2015	CALICATA:	C-22

N° De Espécimen	Peso Volumétrico Seco (gr/cm ³)	Esfuerzo Normal (Kg/cm ²)	Proporción de Esfuerzos (t/s)	Humedad Natural (%)	Esfuerzo De Corte (Kg/cm ²)	Humedad Saturada (%)
1	1.591	0.50	0.882	21.20	0.441	26.20
2	1.597	1.00	0.441	21.65	0.441	26.66
3	1.623	1.50	0.294	21.75	0.441	26.77

RESULTADO:

Cohesión (kg/cm²) : 0.4409
 :
 Angulo de Fricción Interna (o) : 0°



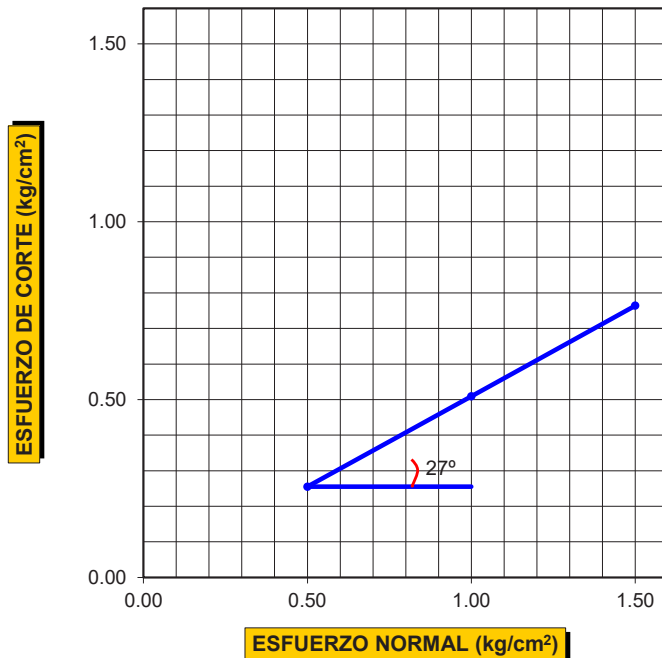
SOLICITANTE:	ING. ENRIQUE LUJAN FRANCISCO SILVA		
PROYECTO:	UTILIZACIÓN DE MÉTODOS EXPERIMENTALES Y DE SIMULACIÓN NUMÉRICA PARA EL ESTUDIO DE LA MICROZONIFICACIÓN SÍSMICA DEL DISTRITO DE TRUJILLO.		
UBICACIÓN:	MZ. "E" - LOTE 17, URB. INGENIERÍA II		
	DIST. TRUJILLO - PROV. TRUJILLO - DPTO. LA LIBERTAD		
FECHA:	NOVIEMBRE DEL 2017	CALICATA:	C-28

N° De Espécimen	Peso Volumétrico Seco (gr/cm ³)	Esfuerzo Normal (Kg/cm ²)	Proporción de Esfuerzos (t/s)	Humedad Natural (%)	Esfuerzo De Corte (Kg/cm ²)	Humedad Saturada (%)
1	1.524	0.50	0.509	11.85	0.255	17.68
2	1.528	1.00	0.509	11.70	0.509	17.49
3	1.531	1.50	0.509	11.45	0.764	17.25

RESULTADO:

Cohesión (kg/cm²) : 0.00

Angulo de Fricción Interna (o) : 27°

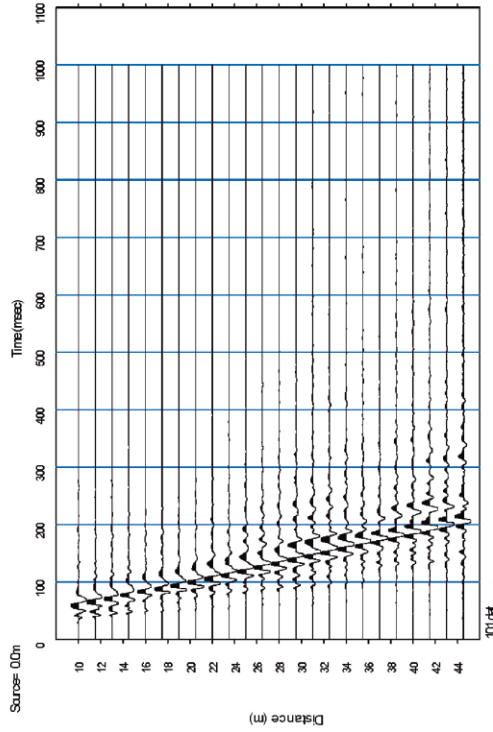


ANEXO A - III. REGISTRO DE ONDAS Y CURVAS DE DISPERSION DE ENSAYOS MASW

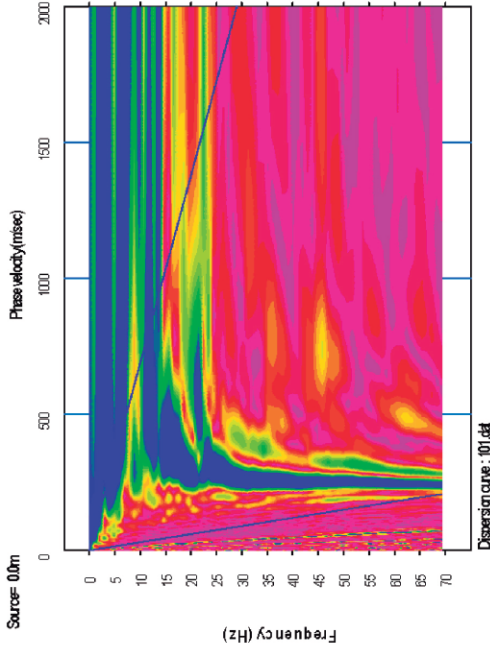
UBICACIÓN DE LÍNEAS MASW EJECUTADAS EN EL DISTRITO DE TRUJILLO

LINEA	LUGAR / URBANIZACIÓN	COORDENADAS		PROF. (m)	TIPO DE ONDA
		ESTE	NORTE		
LW-01	Urb. Centro Histórico	717247.8	9102768	30	Onda S
LW-02	Urb. El Recreo	716889.6	9101983	30	Onda S
LW-03	Urb. Los Cedros	715730.2	9104285	30	Onda S
LW-04	Urb. Las Quintanas	716667.6	9104659	30	Onda S
LW-05	Urb. Miraflores	717916.5	9104131	30	Onda S
LW-06	Urb. Santo Dominguito	719124.6	9102863	30	Onda S
LW-07	Urb. Santa María V Etapa	717982.8	9101888	30	Onda S
LW-08	Urb. Las Casuarinas	718302.4	9101152	30	Onda S
LW-09	Urb. Monserrate	716957.9	9101597	30	Onda S
LW-10	Urb. Upao II	716987.3	9100754	30	Onda S

REGISTRO SÍSMICO



CURVA DE DISPERSIÓN



Proyecto: Utilización de métodos experimentales y de simulación numérica para el estudio de la microzonificación sísmica del distrito de Trujillo

Lugar: Urbanización Centro Histórico

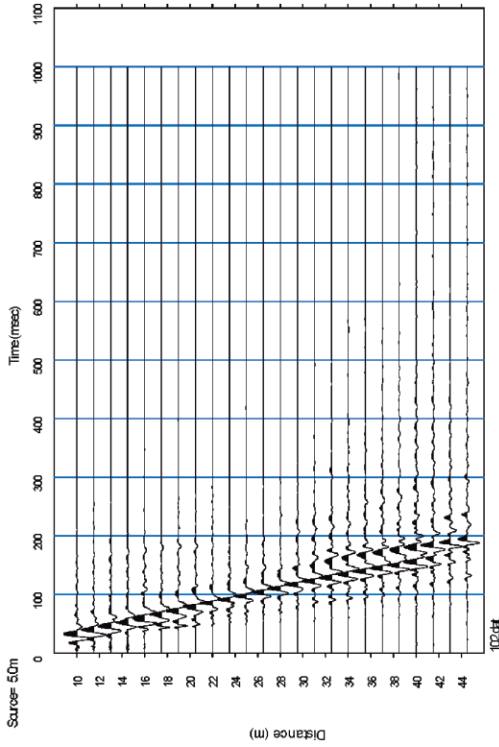
Línea: LW-01

Registro: 101.dat

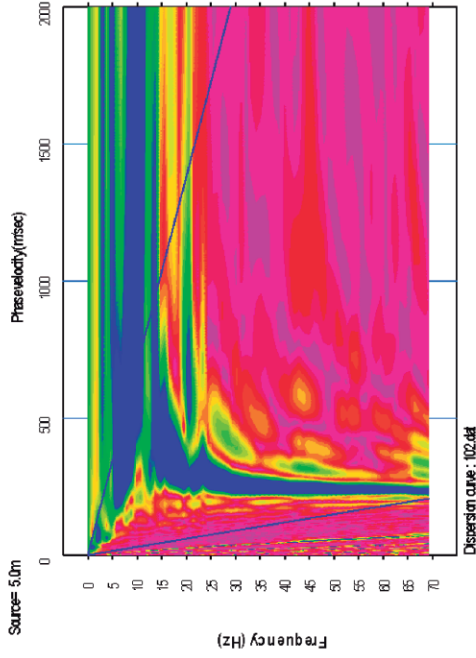
Shot: 01

Fecha: Setiembre, 2012.

REGISTRO SÍSMICO



CURVA DE DISPERSIÓN



Proyecto: Utilización de métodos experimentales y de simulación numérica para el estudio de la microzonificación sísmica del distrito de Trujillo

Lugar: Urbanización Centro Histórico

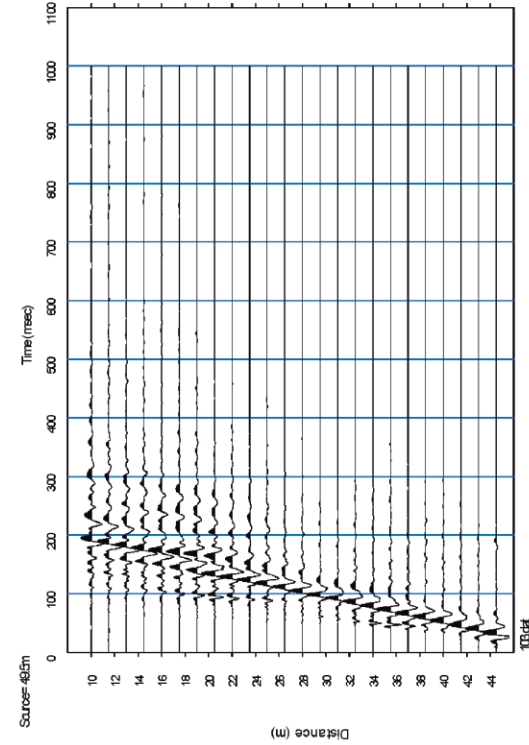
Línea: LW-01

Registro: 102.dat

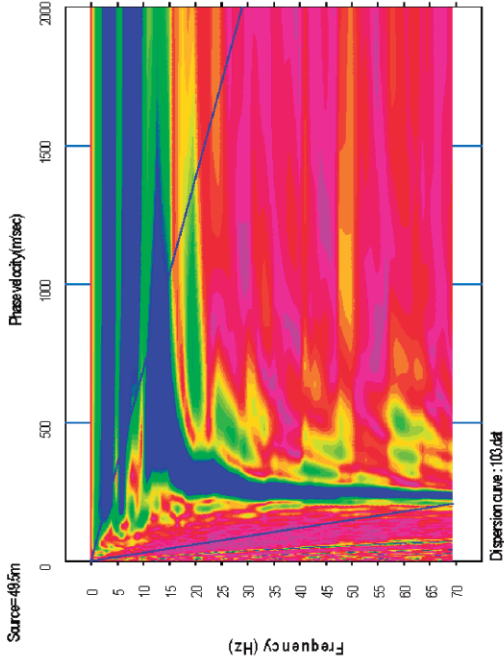
Shot: 02

Fecha: Setiembre, 2012.

REGISTRO SÍSMICO



CURVA DE DISPERSIÓN



Proyecto: Utilización de métodos experimentales y de simulación numérica para el estudio de la microzonificación sísmica del distrito de Trujillo

Lugar: Urbanización Centro Histórico

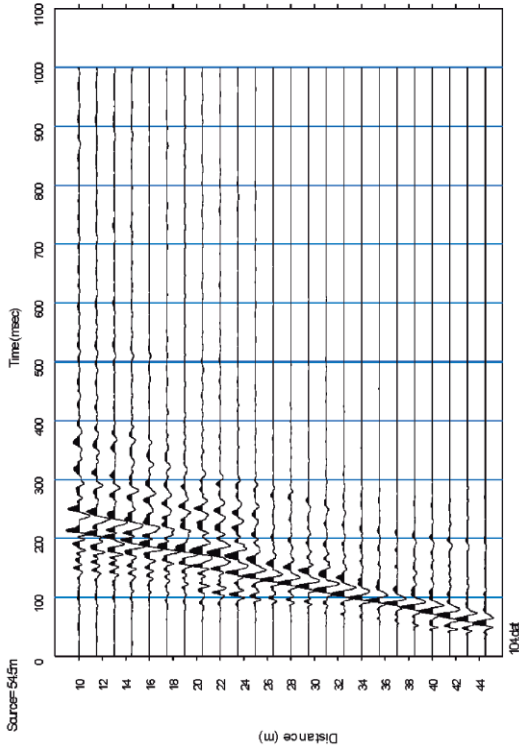
Línea: LW-01

Registro: 103.dat

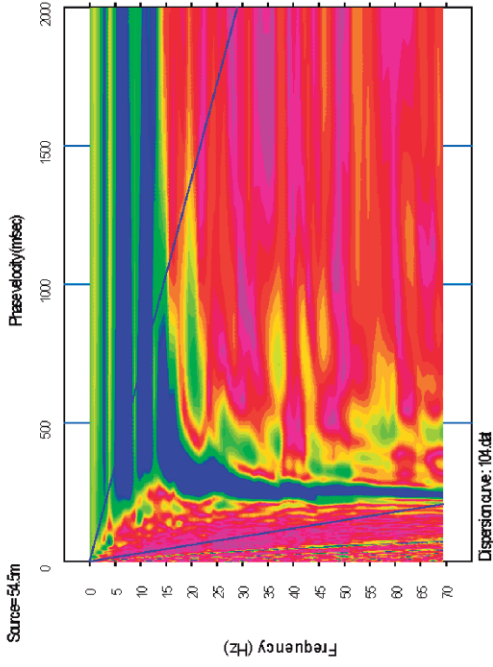
Shot: 03

Fecha: Setiembre, 2012.

REGISTRO SÍSMICO



CURVA DE DISPERSIÓN



Proyecto: Utilización de métodos experimentales y de simulación numérica para el estudio de la microzonificación sísmica del distrito de Trujillo

Lugar: Urbanización Centro Histórico

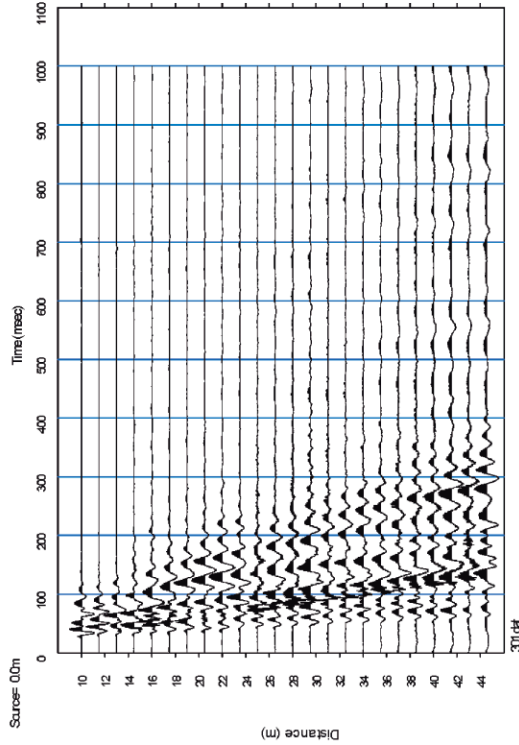
Línea: LW-01

Registro: 104.dat

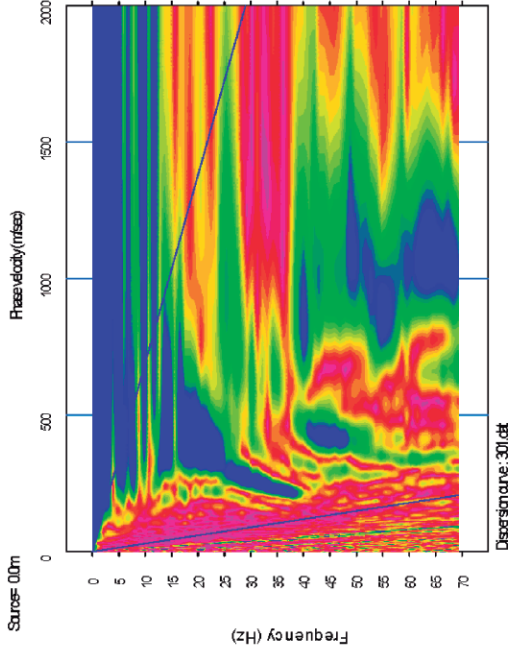
Shot: 04

Fecha: Setiembre, 2012.

REGISTRO SÍSMICO



CURVA DE DISPERSIÓN



Proyecto: Utilizaci3n de m3todos experimentales y de simulaci3n num3rica para el estudio de la microzonificaci3n s3smica del distrito de Trujillo

Lugar: Urbanizaci3n Los Cedros

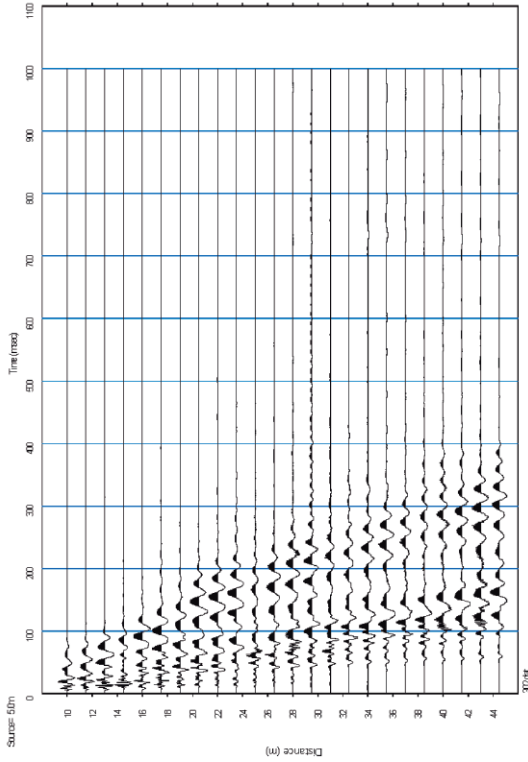
L3nea: LW-03

Registro: 301.dat

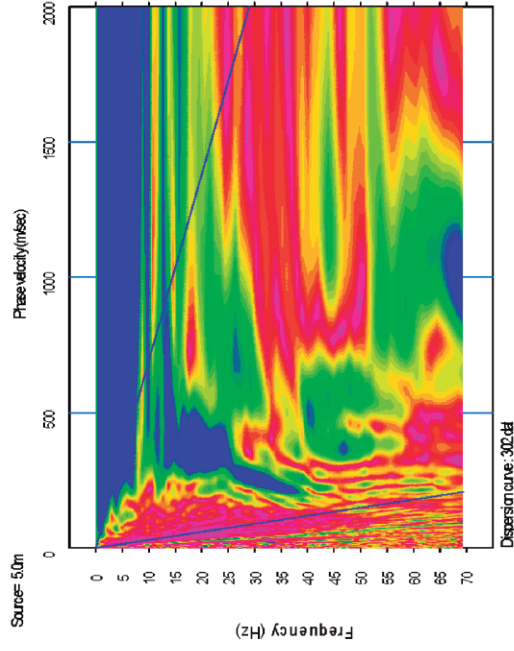
Shot: 01

Fecha: Setiembre, 2012.

REGISTRO SÍSMICO



CURVA DE DISPERSIÓN



Proyecto: Utilización de métodos experimentales y de simulación numérica para el estudio de la microzonificación sísmica del distrito de Trujillo

Lugar: Urbanización Los Cedros

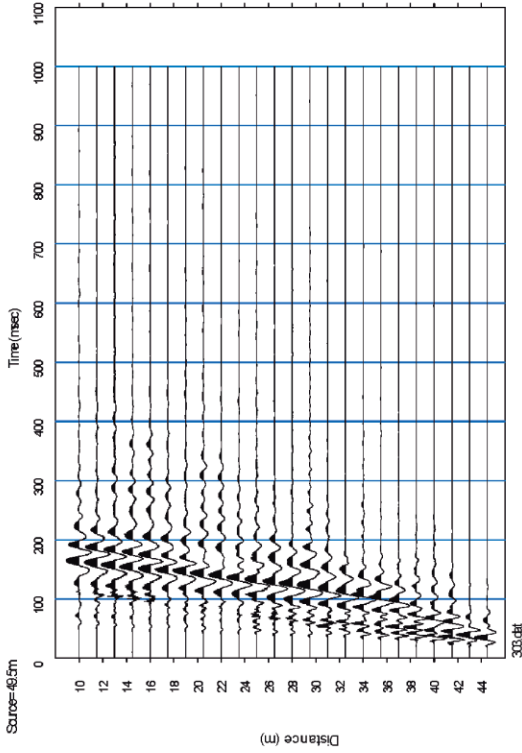
Línea: LW-03

Registro: 302.dat

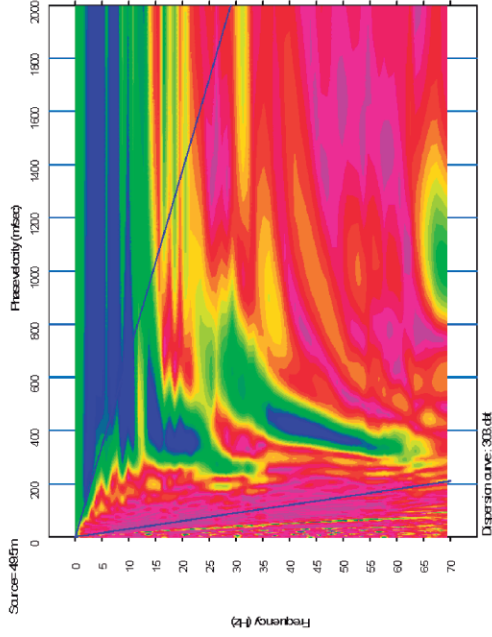
Shot: 02

Fecha: Setiembre, 2012.

REGISTRO SÍSMICO



CURVA DE DISPERSIÓN



Proyecto: Utilización de métodos experimentales y de simulación numérica para el estudio de la microzonificación sísmica del distrito de Trujillo

Lugar: Urbanización Los Cedros

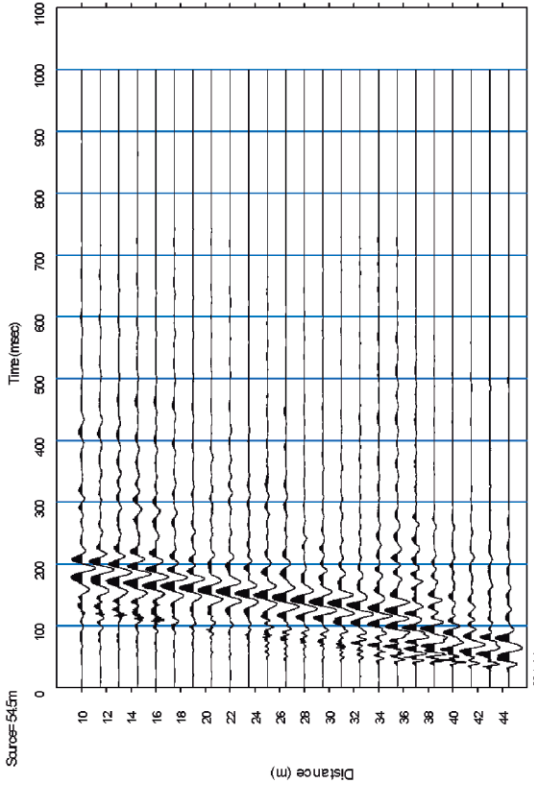
Línea: LW-03

Registro: 303.dat

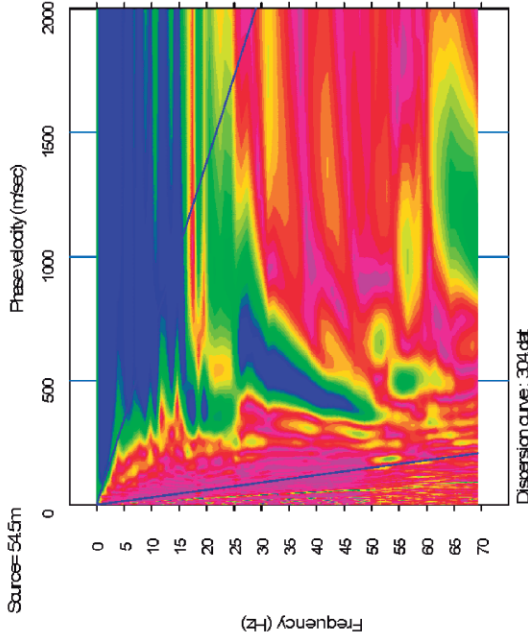
Shot: 03

Fecha: Setiembre, 2012.

REGISTRO SÍSMICO



CURVA DE DISPERSIÓN



Proyecto: Utilización de métodos experimentales y de simulación numérica para el estudio de la microzonificación sísmica del distrito de Trujillo

Lugar: Urbanización Los Cedros

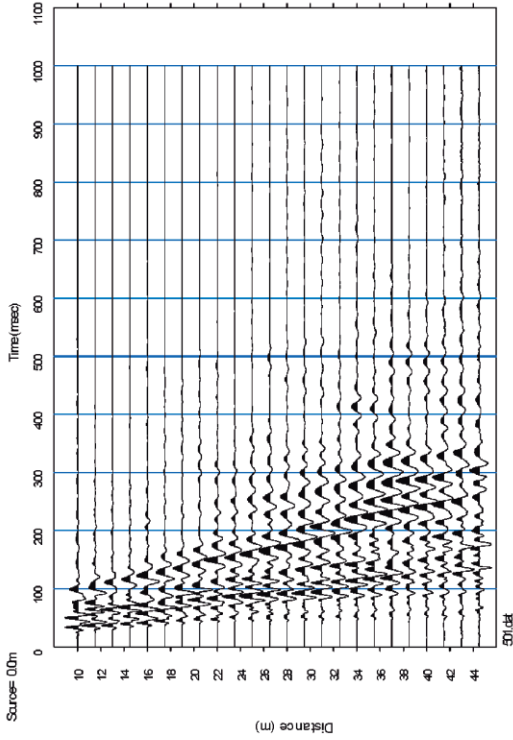
Línea: LW-03

Registro: 304.dat

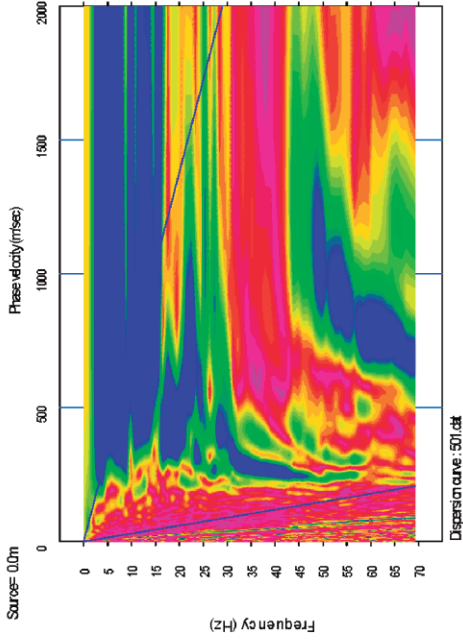
Shot: 04

Fecha: Setiembre, 2012.

REGISTRO SÍSMICO



CURVA DE DISPERSIÓN



Proyecto: Utilización de métodos experimentales y de simulación numérica para el estudio de la microzonificación sísmica del distrito de Trujillo

Lugar: Urbanización Miraflores

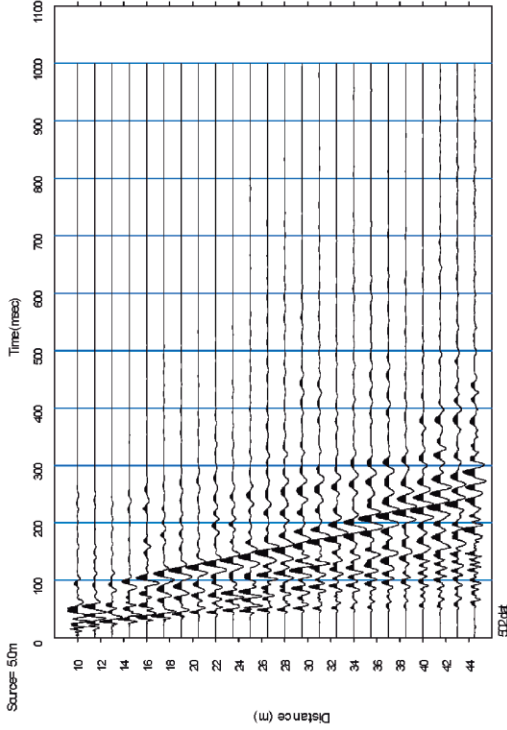
Línea: LW-05

Registro: 501.dat

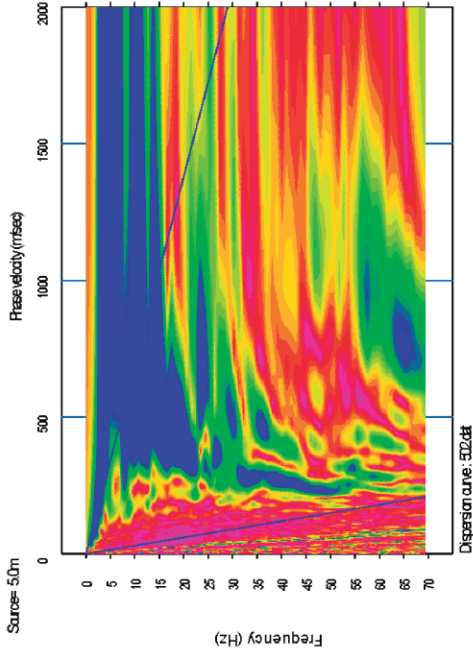
Shot: 01

Fecha: Setiembre, 2012.

REGISTRO SÍSMICO



CURVA DE DISPERSIÓN



Proyecto: Utilización de métodos experimentales y de simulación numérica para el estudio de la microzonificación sísmica del distrito de Trujillo

Lugar: Urbanización Miraflores

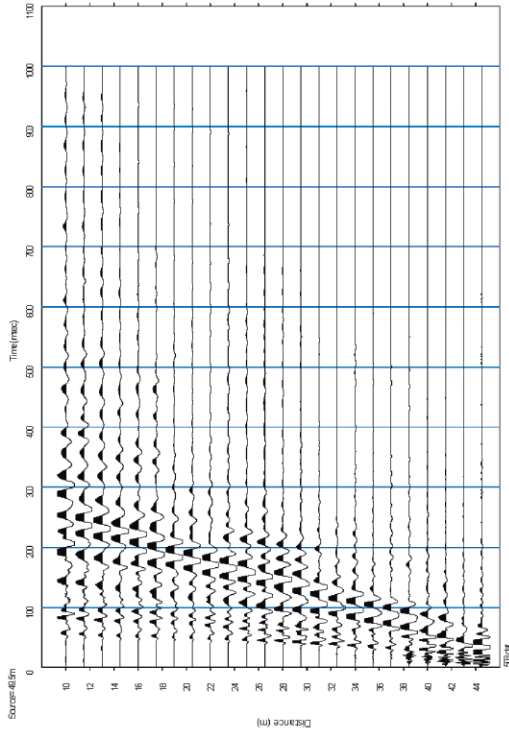
Línea: LW-05

Registro: 502.dat

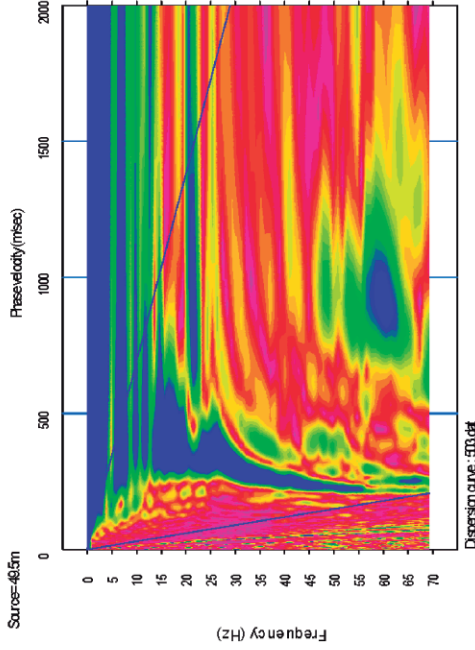
Shot: 02

Fecha: Setiembre, 2012.

REGISTRO SÍSMICO



CURVA DE DISPERSIÓN



Proyecto: Utilización de métodos experimentales y de simulación numérica para el estudio de la microzonificación sísmica del distrito de Trujillo

Lugar: Urbanización Miraflores

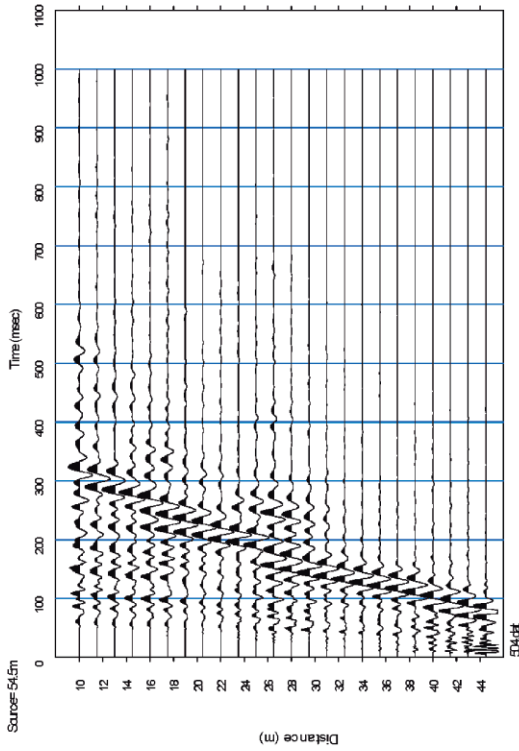
Línea: LW-05

Registro: 503.dat

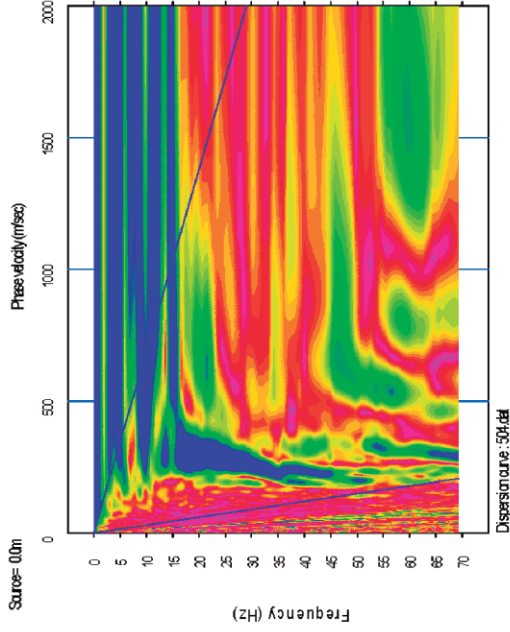
Shot: 03

Fecha: Setiembre, 2012.

REGISTRO SÍSMICO



CURVA DE DISPERSIÓN



Proyecto: Utilización de métodos experimentales y de simulación numérica para el estudio de la microzonificación sísmica del distrito de Trujillo

Lugar: Urbanización Miraflores

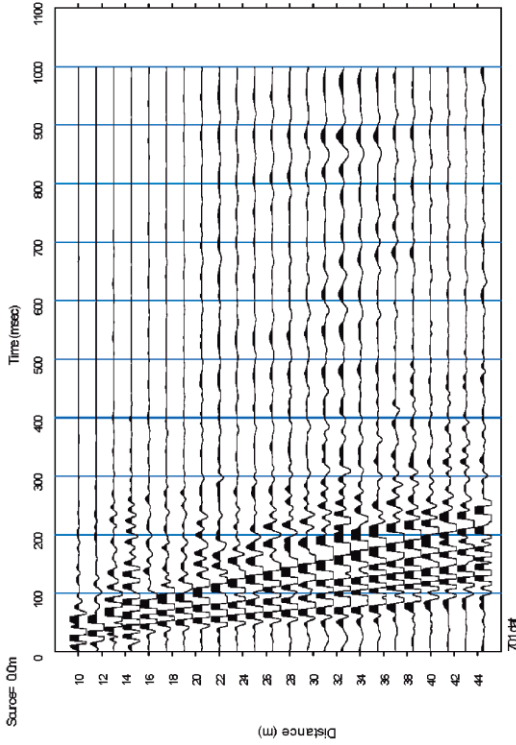
Línea: LW-05

Registro: 504.dat

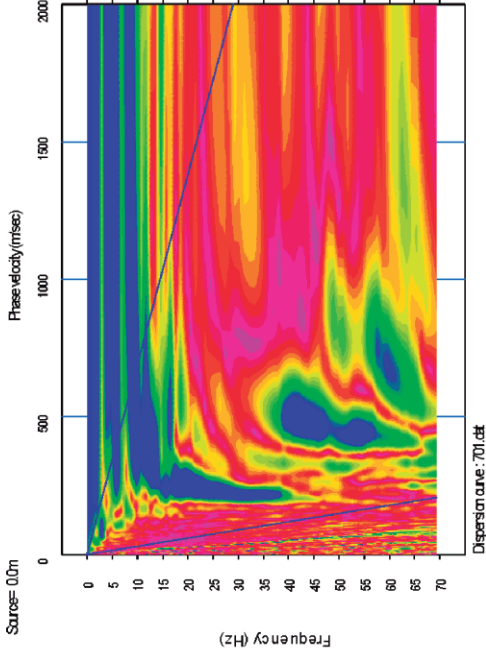
Shot: 04

Fecha: Setiembre, 2012.

REGISTRO SÍSMICO



CURVA DE DISPERSIÓN



Proyecto: Utilización de métodos experimentales y de simulación numérica para el estudio de la microzonificación sísmica del distrito de Trujillo

Lugar: Urbanización Santa María V Etapa

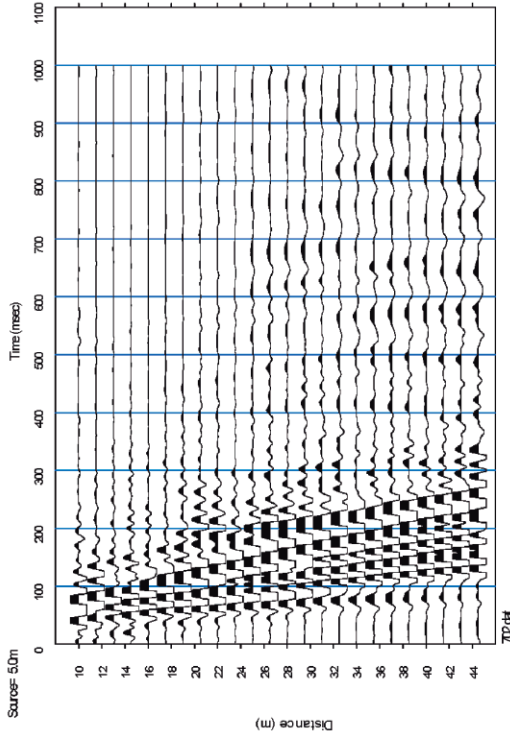
Línea: LW-07

Registro: 701.dat

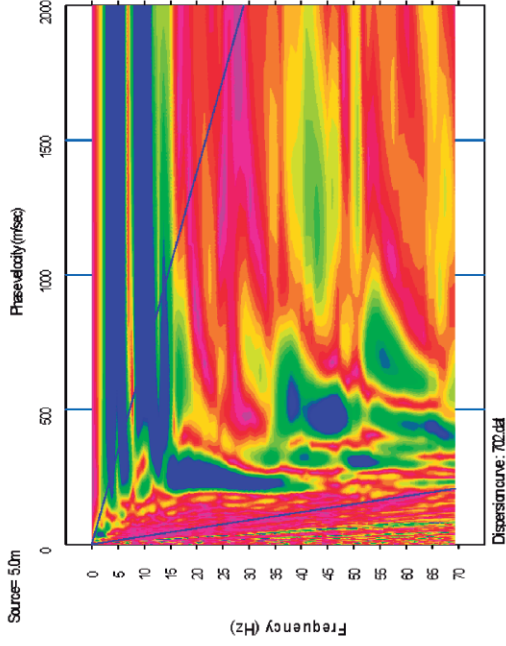
Shot: 01

Fecha: Setiembre, 2012.

REGISTRO SÍSMICO



CURVA DE DISPERSIÓN



Proyecto: Utilización de métodos experimentales y de simulación numérica para el estudio de la microzonificación sísmica del distrito de Trujillo

Lugar: Urbanización Santa María V Etapa

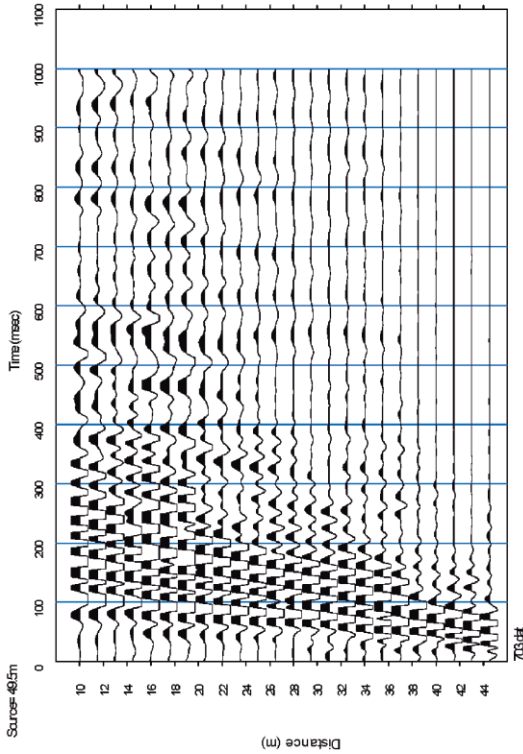
Línea: LW-07

Registro: 702.dat

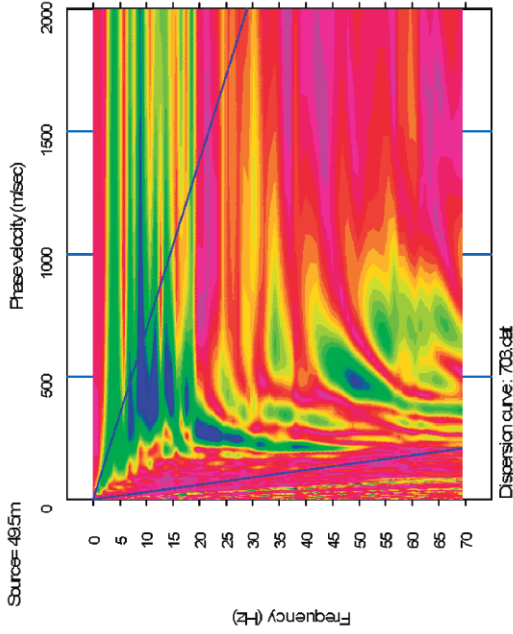
Shot: 02

Fecha: Setiembre, 2012.

REGISTRO SÍSMICO



CURVA DE DISPERSIÓN



Proyecto: Utilización de métodos experimentales y de simulación numérica para el estudio de la microzonificación sísmica del distrito de Trujillo

Lugar: Urbanización Santa María V Etapa

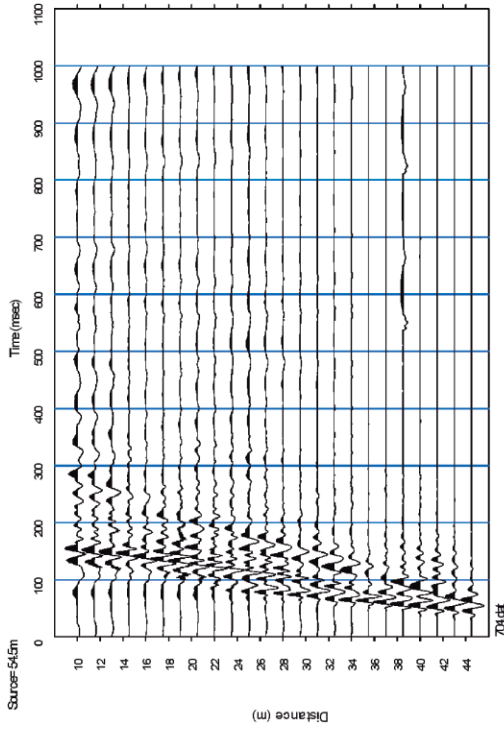
Línea: LW-07

Registro: 703.dat

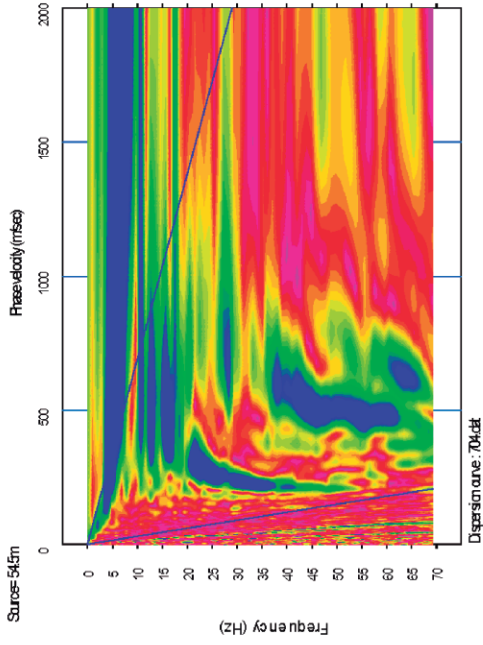
Shot: 03

Fecha: Setiembre, 2012.

REGISTRO SÍSMICO



CURVA DE DISPERSIÓN



Proyecto: Utilización de métodos experimentales y de simulación numérica para el estudio de la microzonificación sísmica del distrito de Trujillo

Lugar: Urbanización Santa María V Etapa

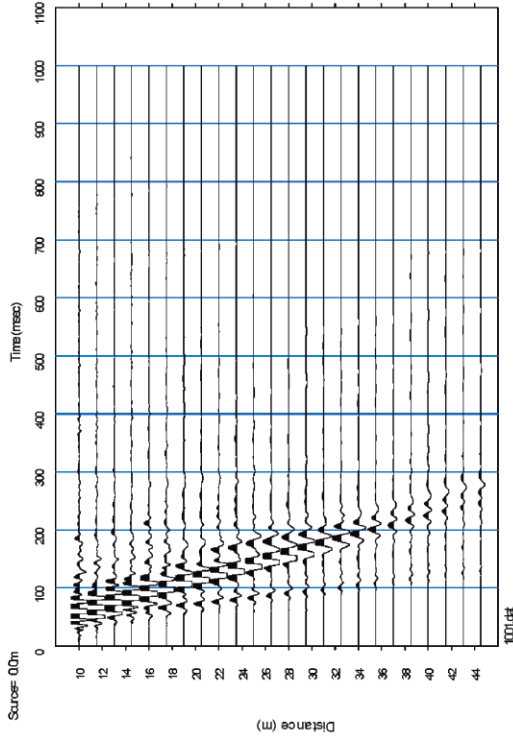
Línea: LW-07

Registro: 704.dat

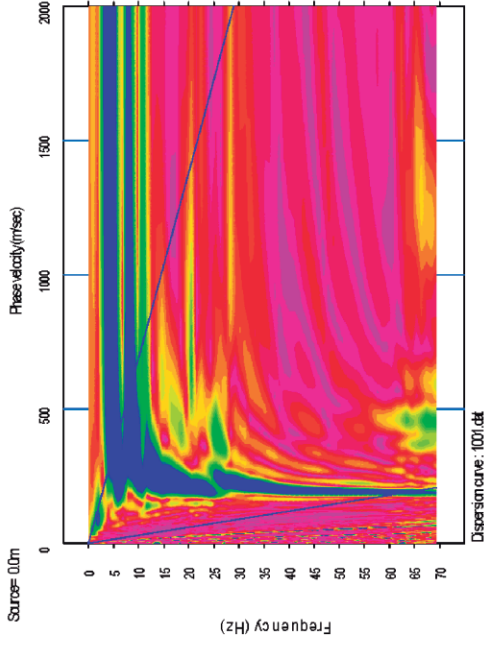
Shot: 04

Fecha: Setiembre, 2012.

REGISTRO SÍSMICO



CURVA DE DISPERSIÓN



Proyecto: Utilización de métodos experimentales y de simulación numérica para el estudio de la microzonificación sísmica del distrito de Trujillo

Lugar: Urbanización Upao II

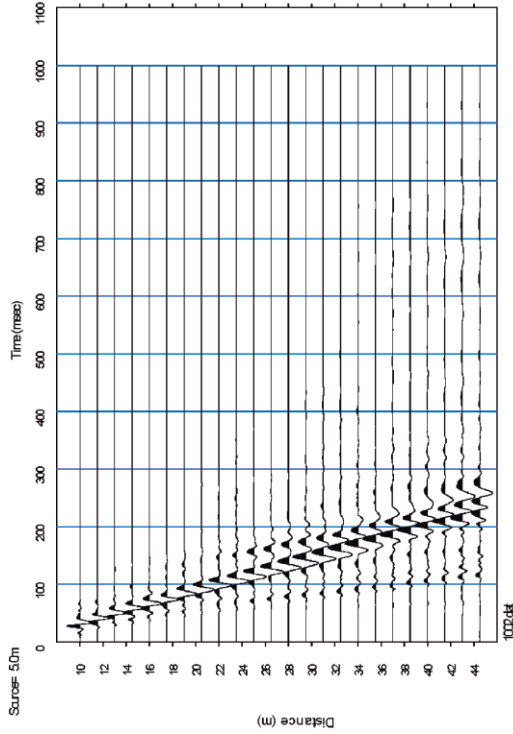
Línea: LW-10

Registro: 1001.dat

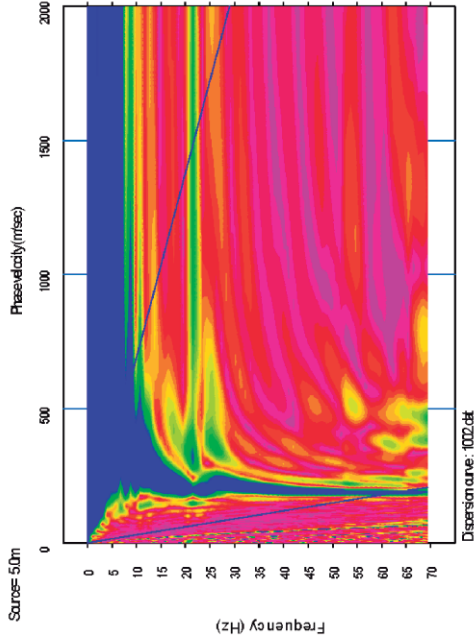
Shot: 01

Fecha: Setiembre, 2012.

REGISTRO SÍSMICO



CURVA DE DISPERSIÓN



Proyecto: Utilización de métodos experimentales y de simulación numérica para el estudio de la microzonificación sísmica del distrito de Trujillo.

Lugar: Urbanización Upao II

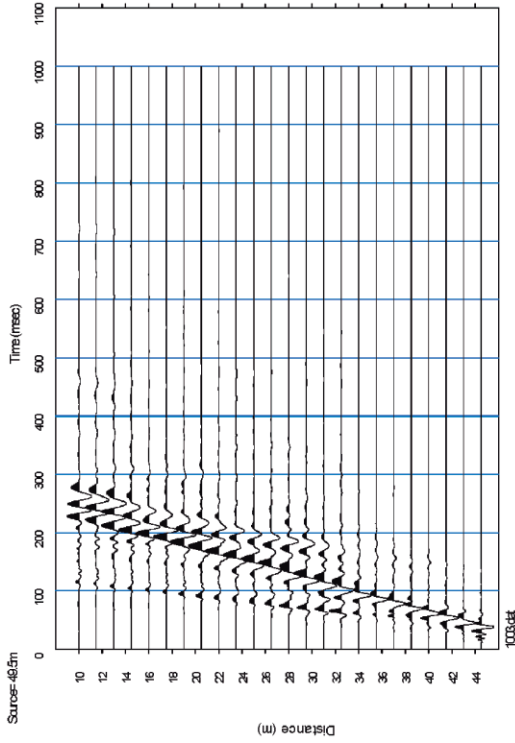
Línea: LW-10

Registro: 1002.dat

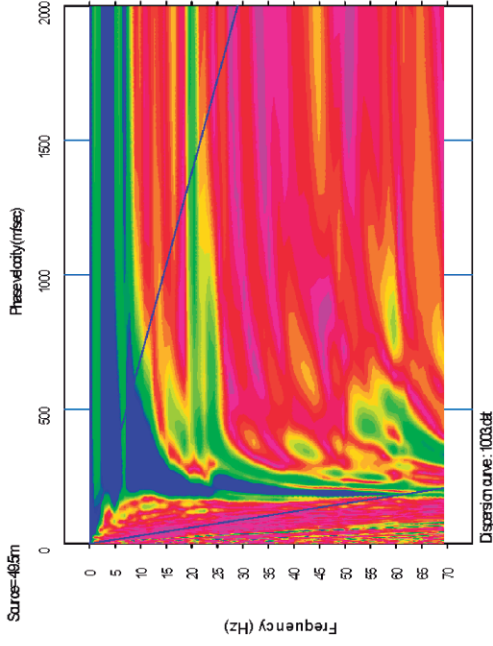
Shot: 02

Fecha: Setiembre, 2012.

REGISTRO SÍSMICO



CURVA DE DISPERSIÓN



Proyecto: Utilización de métodos experimentales y de simulación numérica para el estudio de la microzonificación sísmica del distrito de Trujillo

Lugar: Urbanización Upao II

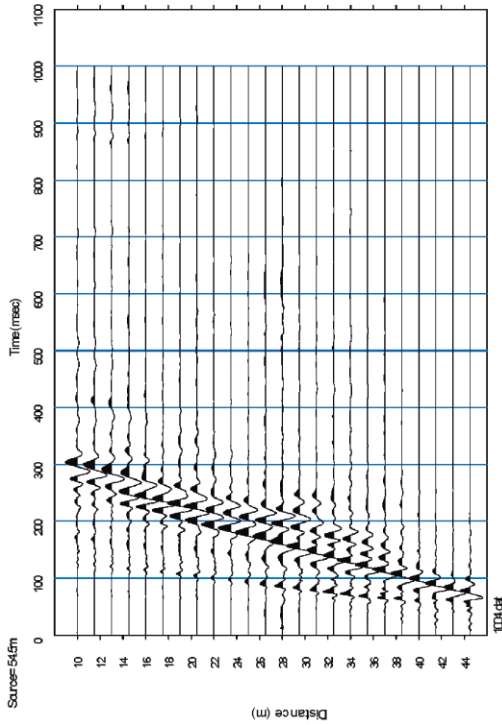
Línea: LW-10

Registro: 1003.dat

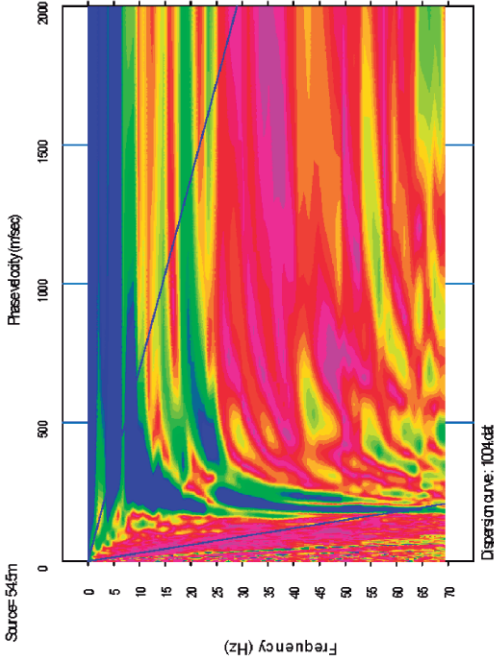
Shot: 03

Fecha: Setiembre, 2012.

REGISTRO SÍSMICO



CURVA DE DISPERSIÓN



Proyecto: Utilización de métodos experimentales y de simulación numérica para el estudio de la microzonificación sísmica del distrito de Trujillo.

Lugar: Urbanización Upaio II

Línea: LW-10

Registro: 1004.dat

Shot: 04

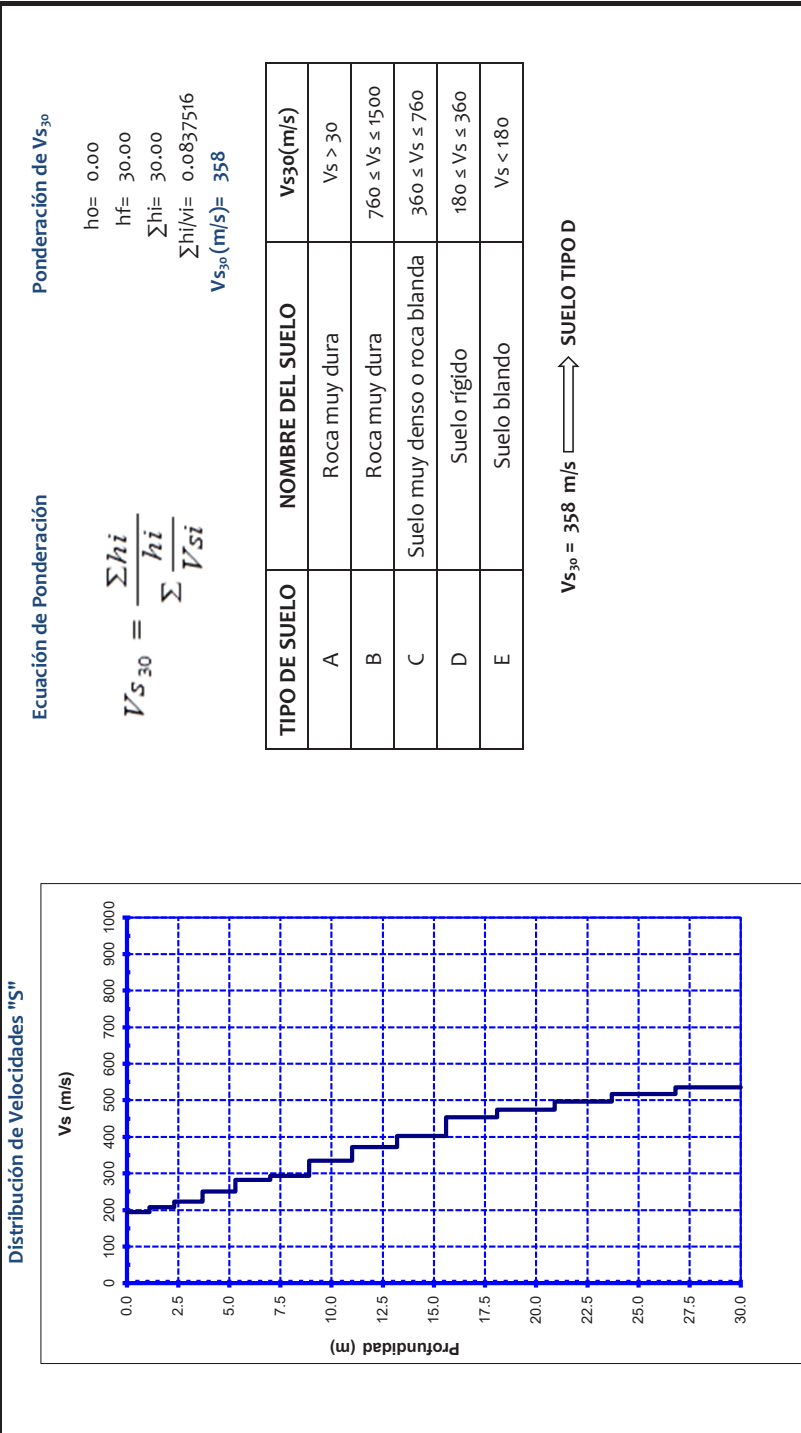
Fecha: Setiembre, 2012.

ANEXO A - IV. PERFILES DE VELOCIDADES DE ONDA DE CORTE DE ENSAYOS MASW

ENSAYOS GEOFÍSICOS

SOLICITANTE:		ING. ENRIQUE LUJAN FRANCISCO SILVA												
PROYECTO:		UTILIZACIÓN DE MÉTODOS EXPERIMENTALES Y DE SIMULACIÓN NUMÉRICA PARA EL ESTUDIO DE LA MICROZONIFICACIÓN SÍSMICA DEL DISTRITO DE TRUJILLO.												
UBICACIÓN:		URB. CENTRO HISTÓRICO - DIST. TRUJILLO - PROV. TRUJILLO - DPTO. LA LIBERTAD												
FECHA:		SETIEMBRE DEL 2012				SONDEO:		LW - 01		PROFUNDIDAD:			30 m.	
Profundidad h(m)	Desde	Hasta	hi (m)	Velocidad P (m/s) V _{pi}	Velocidad S (m/s) V _{si}	hi/V _{si}	Densidad (tn/m ³) ρ	Relación de Poisson u	Módulo de Corte (kg/cm ²) G	Módulo de Young (kg/cm ²) E _d	Módulo de Young (Kg/cm ²) E _s	Módulo de Young (Tn/m ²) E _s		
0.0	1.1	1.1	1.1	1589.35	194.24	0.00566	1.70	0.25	654	1,636	164	1,636		
1.1	2.3	2.3	1.2	1594.85	207.51	0.00578	1.70	0.25	747	1,867	187	1,867		
2.3	3.7	3.7	1.4	1613.84	223.06	0.00628	1.70	0.25	863	2,158	216	2,158		
3.7	5.3	5.3	1.6	1642.03	250.41	0.00639	1.70	0.25	1,088	2,719	272	2,719		
5.3	7.0	7.0	1.7	1671.79	281.83	0.00603	1.70	0.25	1,378	3,445	344	3,445		
7.0	8.9	8.9	1.9	1699.46	293.85	0.00647	1.70	0.25	1,498	3,745	374	3,745		
8.9	11.0	11.0	2.1	1723.62	335.40	0.00626	1.80	0.25	2,066	5,166	517	5,166		
11.0	13.2	13.2	2.2	1746.22	372.31	0.00591	1.80	0.25	2,546	6,365	636	6,365		
13.2	15.6	15.6	2.4	1775.57	402.30	0.00597	1.80	0.25	2,973	7,432	743	7,432		
15.6	18.1	18.1	2.5	1775.57	453.62	0.00551	1.80	0.25	3,780	9,449	945	9,449		
18.1	20.9	20.9	2.8	1828.54	474.90	0.00590	1.80	0.25	4,142	10,356	1,036	10,356		
20.9	23.7	23.7	2.8	1828.54	496.69	0.00564	1.80	0.25	4,531	11,328	1,133	11,328		
23.7	26.8	26.8	3.1	1828.54	517.88	0.00599	1.80	0.25	4,926	12,315	1,232	12,315		
26.8	30.0	30.0	3.2	1849.67	535.53	0.00598	1.80	0.25	5,268	13,169	1,317	13,169		

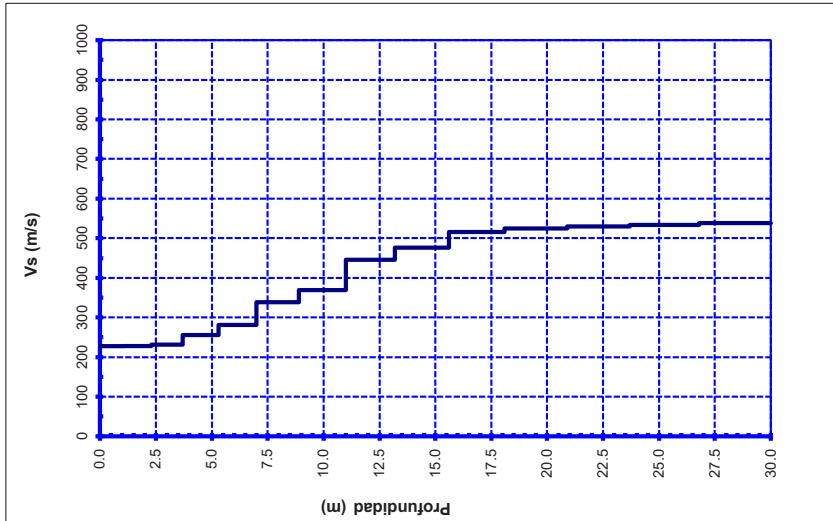
(*) ρ y u estimados



SOLICITANTE:		ING. ENRIQUE LUJAN FRANCISCO SILVA										
PROYECTO:		UTILIZACIÓN DE MÉTODOS EXPERIMENTALES Y DE SIMULACIÓN NUMÉRICA PARA EL ESTUDIO DE LA MICROZONIFICACIÓN SÍSMICA DEL DISTRITO DE TRUJILLO.										
UBICACIÓN:		URB. LOS CEDROS - DIST. TRUJILLO - PROV. TRUJILLO - DPTO. LA LIBERTAD										
FECHA:		SETIEMBRE DEL 2012										
		SONDEO:			LW - 03			PROFUNDIDAD:				
Profundidad h(m)	Desde	Hasta	hi (m)	Velocidad P (m/s) v _{pi}	Velocidad S (m/s) v _{si}	hi/v _{si}	Densidad (tn/m ³) ρ	Relación de Poisson u	Módulo de Corte (kg/cm ²) G	Módulo de Young (kg/cm ²) E _d	Módulo de Young (Kg/cm ²) E _s	Módulo de Young (Tn/m ²) E _s
0.0	1.1	1.1	1.1	1551.68	227.93	0.00483	1.70	0.25	901	2,253	225	2,253
1.1	2.3	2.3	1.2	1551.02	227.83	0.00527	1.70	0.25	900	2,251	225	2,251
2.3	3.7	3.7	1.4	1558.06	231.11	0.00606	1.70	0.25	927	2,316	232	2,316
3.7	5.3	5.3	1.6	1589.78	255.71	0.00626	1.70	0.25	1,134	2,836	284	2,836
5.3	7.0	7.0	1.7	1613.90	281.45	0.00604	1.70	0.25	1,374	3,435	344	3,435
7.0	8.9	8.9	1.9	1666.51	339.01	0.00560	1.80	0.25	2,111	5,277	528	5,277
8.9	11.0	11.0	2.1	1687.77	369.25	0.00569	1.80	0.25	2,504	6,261	626	6,261
11.0	13.2	13.2	2.2	1763.93	446.03	0.00493	1.80	0.25	3,654	9,135	914	9,135
13.2	15.6	15.6	2.4	1792.75	476.10	0.00504	1.80	0.25	4,163	10,408	1,041	10,408
15.6	18.1	18.1	2.5	1834.56	515.11	0.00485	1.80	0.25	4,874	12,184	1,218	12,184
18.1	20.9	20.9	2.8	1845.09	524.95	0.00533	1.80	0.25	5,062	12,654	1,265	12,654
20.9	23.7	23.7	2.8	1850.26	530.10	0.00528	1.80	0.25	5,161	12,903	1,290	12,903
23.7	26.8	26.8	3.1	1853.16	534.05	0.00580	1.80	0.25	5,239	13,096	1,310	13,096
26.8	30.0	30.0	3.2	1855.04	538.27	0.00594	1.80	0.25	5,322	13,304	1,330	13,304

(*) p y u estimados

Distribución de Velocidades "Vs"



Ecuación de Ponderación

$$V_{S_{30}} = \frac{\sum h_i}{\sum \frac{h_i}{V_{si}}}$$

Ponderación de $V_{S_{30}}$

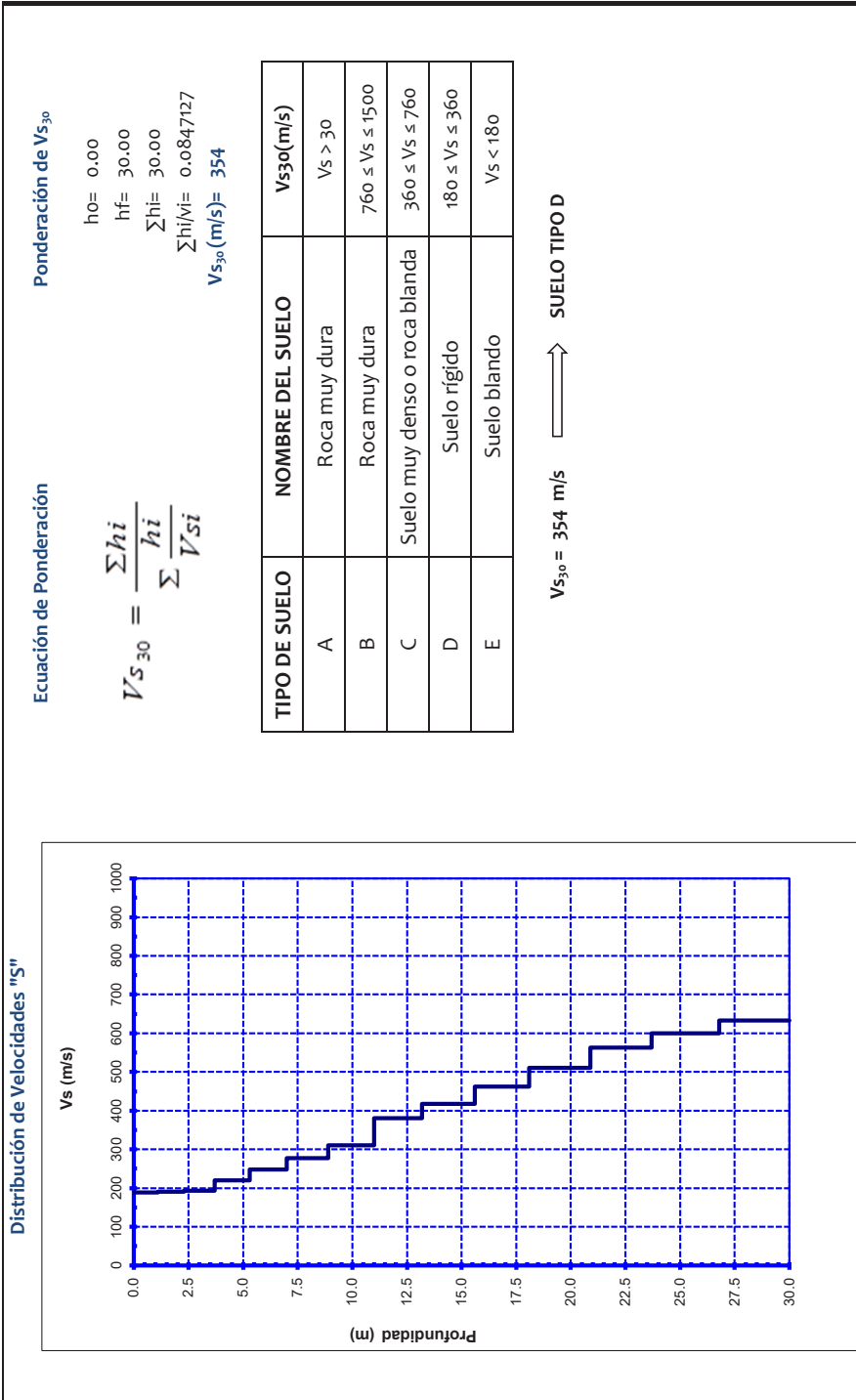
$h_0 = 0.00$
 $h_f = 30.00$
 $\sum h_i = 30.00$
 $\sum \frac{h_i}{V_i} = 0.0769320$
 $V_{S_{30}} (m/s) = 390$

TIPO DE SUELO	NOMBRE DEL SUELO	$V_{S30}(m/s)$
A	Roca muy dura	$V_s > 30$
B	Roca muy dura	$760 \leq V_s \leq 1500$
C	Suelo muy denso o roca blanda	$360 \leq V_s \leq 760$
D	Suelo rígido	$180 \leq V_s \leq 360$
E	Suelo blando	$V_s < 180$

$V_{S_{30}} = 390 \text{ m/s}$ \Rightarrow SUELO TIPO C

SOLICITANTE:		ING. ENRIQUE LUJAN FRANCISCO SILVA											
PROYECTO:		UTILIZACIÓN DE MÉTODOS EXPERIMENTALES Y DE SIMULACIÓN NUMÉRICA PARA EL ESTUDIO DE LA MICROZONIFICACIÓN SÍSMICA DEL DISTRITO DE TRUJILLO.											
UBICACIÓN:		URB. MIRAFLORES - DIST. TRUJILLO - PROV. TRUJILLO - DPTO. LA LIBERTAD											
FECHA:		SETIEMBRE DEL 2012											
		SONDEO:					LW - 05					PROFUNDIDAD:	
Profundidad h(m)	Desde	Hasta	hi (m)	Velocidad P (m/s) Vpi	Velocidad S (m/s) Vsi	hi/Nsi	Densidad (tn/m ³) ρ	Relación de Poisson u	Módulo de Corte (kg/cm ²) G	Módulo de Young (kg/cm ²) Ed	Módulo de Young (Kg/cm ²) Es	30 m.	Módulo de Young (Tn/m ²) Es
0.0	1.1	1.1	1.1	1601.16	188.63	0.00583	1.70	0.25	617	1,543	154	30 m.	1,543
1.1	2.3	2.3	1.2	1601.16	190.15	0.00631	1.70	0.25	627	1,568	157	30 m.	1,568
2.3	3.7	3.7	1.4	1610.39	193.71	0.00723	1.70	0.25	651	1,627	163	30 m.	1,627
3.7	5.3	5.3	1.6	1633.40	220.34	0.00726	1.70	0.25	842	2,105	211	30 m.	2,105
5.3	7.0	7.0	1.7	1661.08	248.10	0.00685	1.70	0.25	1,068	2,669	267	30 m.	2,669
7.0	8.9	8.9	1.9	1681.55	277.91	0.00684	1.70	0.25	1,340	3,349	335	30 m.	3,349
8.9	11.0	11.0	2.1	1705.08	310.49	0.00676	1.80	0.25	1,771	4,427	443	30 m.	4,427
11.0	13.2	13.2	2.2	1729.19	380.40	0.00578	1.80	0.25	2,658	6,645	664	30 m.	6,645
13.2	15.6	15.6	2.4	1770.90	417.11	0.00575	1.80	0.25	3,196	7,989	799	30 m.	7,989
15.6	18.1	18.1	2.5	1818.77	462.33	0.00541	1.80	0.25	3,926	9,815	982	30 m.	9,815
18.1	20.9	20.9	2.8	1830.08	510.68	0.00548	1.80	0.25	4,790	11,975	1,198	30 m.	11,975
20.9	23.7	23.7	2.8	1843.13	562.44	0.00498	1.80	0.25	5,810	14,526	1,453	30 m.	14,526
23.7	26.8	26.8	3.1	1843.13	599.85	0.00517	1.80	0.25	6,609	16,522	1,652	30 m.	16,522
26.8	30.0	30.0	3.2	1843.13	632.98	0.00506	1.80	0.25	7,359	18,398	1,840	30 m.	18,398

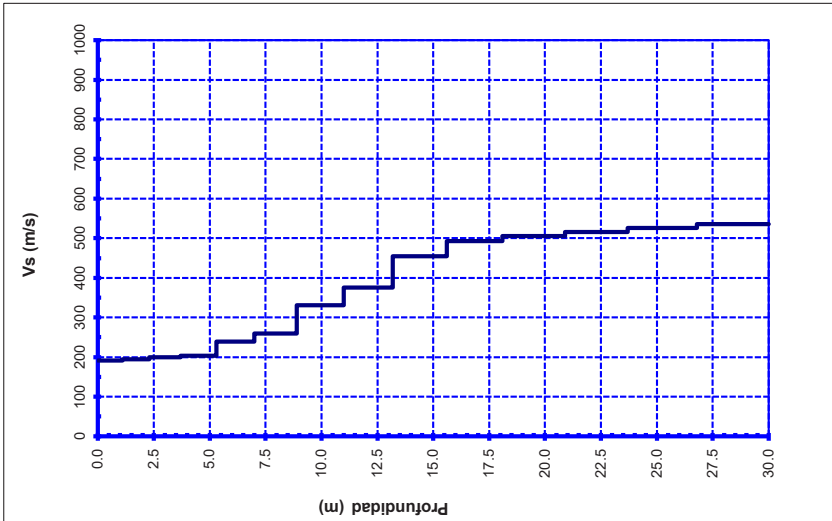
(*) p y u estimados



SOLICITANTE:		ING. ENRIQUE LUJAN FRANCISCO SILVA										
PROYECTO:		UTILIZACIÓN DE MÉTODOS EXPERIMENTALES Y DE SIMULACIÓN NUMÉRICA PARA EL ESTUDIO DE LA MICROZONIFICACIÓN SÍSMICA DEL DISTRITO DE TRUJILLO.										
UBICACIÓN:		URB. SANTA MARÍA V ETAPA - DIST. TRUJILLO - PROV. TRUJILLO - DPTO. LA LIBERTAD										
FECHA:		SETIEMBRE DEL 2012										
		SONDEO:					LW - 07			PROFUNDIDAD:		
Profundidad h(m)	Desde	Hasta	hi (m)	Velocidad P (m/s) v _{pi}	Velocidad S (m/s) v _{si}	hi/ksi	Densidad (tn/m ³) ρ	Relación de Poisson u	Módulo de Corte (kg/cm ²) G	Módulo de Young (kg/cm ²) E _d	Módulo de Young (Kg/cm ²) E _s	Módulo de Young (Tn/m ²) E _s
0.0	1.1	1.1	1.1	1512.34	191.31	0.00575	1.70	0.25	635	1,587	159	1,587
1.1	2.3	1.2	1.2	1511.66	194.75	0.00616	1.70	0.25	658	1,645	164	1,645
2.3	3.7	1.4	1.4	1512.24	199.85	0.00701	1.70	0.25	693	1,732	173	1,732
3.7	5.3	1.6	1.6	1510.49	203.50	0.00786	1.70	0.25	718	1,796	180	1,796
5.3	7.0	1.7	1.7	1555.61	239.29	0.00710	1.70	0.25	993	2,483	248	2,483
7.0	8.9	1.9	1.9	1620.47	258.91	0.00734	1.70	0.25	1,163	2,907	291	2,907
8.9	11.0	2.1	2.1	1684.38	331.36	0.00634	1.80	0.25	2,017	5,042	504	5,042
11.0	13.2	2.2	2.2	1719.32	375.61	0.00586	1.80	0.25	2,591	6,478	648	6,478
13.2	15.6	2.4	2.4	1793.89	453.96	0.00529	1.80	0.25	3,785	9,463	946	9,463
15.6	18.1	2.5	2.5	1836.59	492.43	0.00508	1.80	0.25	4,454	11,135	1,113	11,135
18.1	20.9	2.8	2.8	1851.37	505.74	0.00554	1.80	0.25	4,698	11,745	1,174	11,745
20.9	23.7	2.8	2.8	1862.63	515.88	0.00543	1.80	0.25	4,888	12,221	1,222	12,221
23.7	26.8	3.1	3.1	1873.64	525.80	0.00590	1.80	0.25	5,078	12,695	1,270	12,695
26.8	30.0	3.2	3.2	1884.54	535.62	0.00597	1.80	0.25	5,269	13,173	1,317	13,173

(*) p y e estimados

Distribución de Velocidades "S"



Ecuación de Ponderación

$$V_{S_{30}} = \frac{\sum h_i}{\sum \frac{h_i}{V_{Si}}}$$

Ponderación de $V_{S_{30}}$

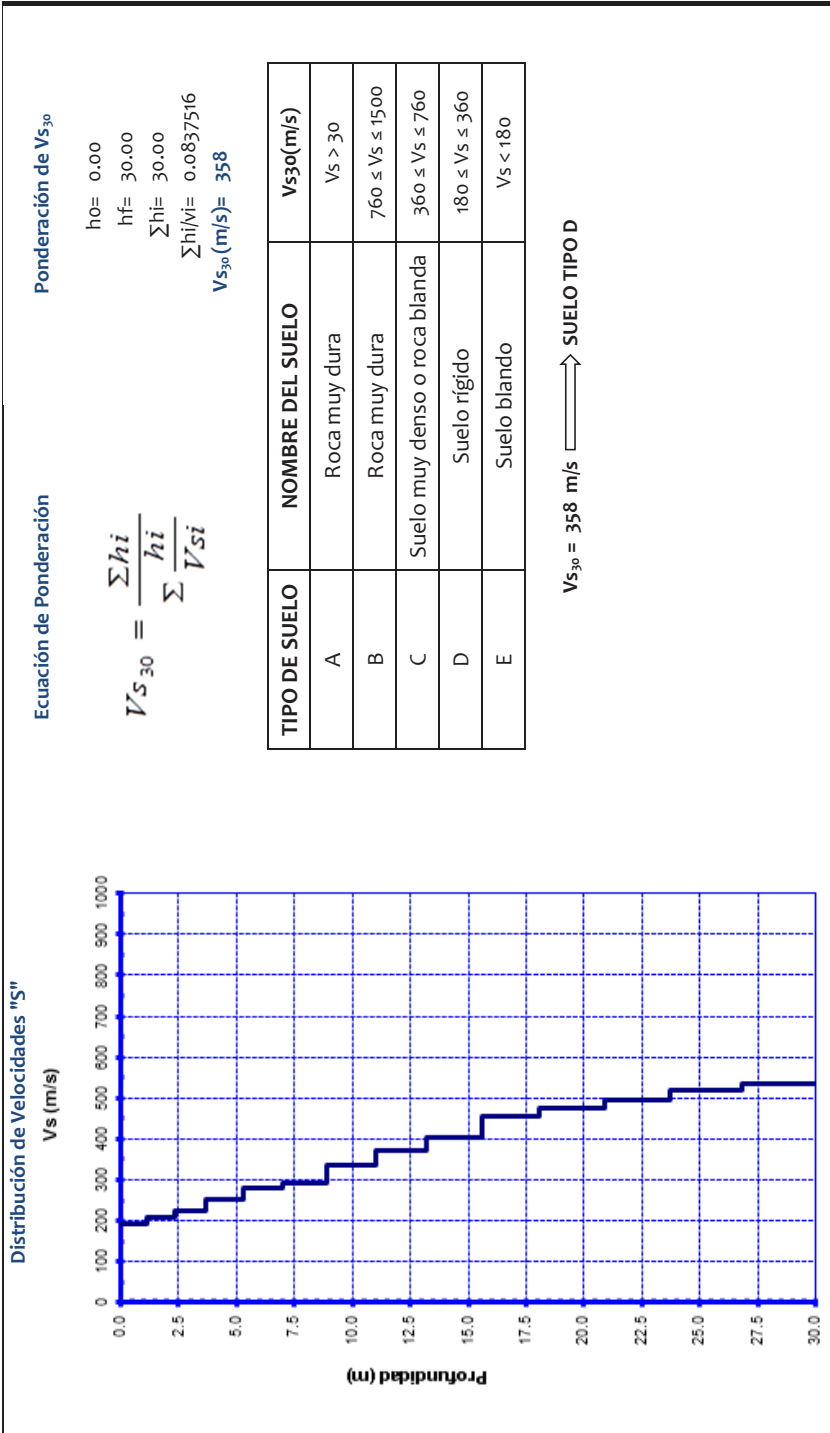
$h_0 = 0.00$
 $h_f = 30.00$
 $\sum h_i = 30.00$
 $\sum \frac{h_i}{V_{Si}} = 0.0866145$
 $V_{S_{30}} (m/s) = 346$

TIPO DE SUELO	NOMBRE DEL SUELO	$V_{S_{30}}(m/s)$
A	Roca muy dura	$V_s > 30$
B	Roca muy dura	$760 \leq V_s \leq 1500$
C	Suelo muy denso o roca blanda	$360 \leq V_s \leq 760$
D	Suelo rígido	$180 \leq V_s \leq 360$
E	Suelo blando	$V_s < 180$

$V_{S_{30}} = 346 \text{ m/s}$ \Rightarrow SUELO TIPO D

SOLICITANTE:		ING. ENRIQUE LUJAN FRANCISCO SILVA																	
PROYECTO:		UTILIZACIÓN DE MÉTODOS EXPERIMENTALES Y DE SIMULACIÓN NUMÉRICA PARA EL ESTUDIO DE LA MICROZONIFICACIÓN SÍSMICA DEL DISTRITO DE TRUJILLO.																	
UBICACIÓN:		URB. UPAO II - DIST. TRUJILLO - PROV. TRUJILLO - DPTO. LA LIBERTAD																	
FECHA:		SEPTIEMBRE DEL 2012																	
		SONDEO:				LW -10		PROFUNDIDAD:											
		Velocidad P (m/s) V _{pi}		Velocidad S (m/s) V _{si}		hi/ksi		Densidad (tn/m ³) ρ		Relación de Poisson u		Módulo de Corte (kg/cm ²) G		Módulo de Young (kg/cm ²) E _d		Módulo de Young (kg/cm ²) E _s		Módulo de Young (Tn/m ²) E _s	
Profundidad h(m)	Hasta	hi (m)																	
0.0	1.1	1.1	1589.35	194.24	0.00566	1.70	0.25	654	1,636	164	1,636	164	1,636	1,636	1,636	1,636	1,636	1,636	1,636
1.1	2.3	1.2	1594.85	207.51	0.00578	1.70	0.25	747	1,867	187	1,867	187	1,867	1,867	1,867	1,867	1,867	1,867	1,867
2.3	3.7	1.4	1613.84	223.06	0.00628	1.70	0.25	863	2,158	216	2,158	216	2,158	2,158	2,158	2,158	2,158	2,158	2,158
3.7	5.3	1.6	1642.03	250.41	0.00639	1.70	0.25	1,088	2,719	272	2,719	272	2,719	2,719	2,719	2,719	2,719	2,719	2,719
5.3	7.0	1.7	1671.79	281.83	0.00603	1.70	0.25	1,378	3,445	344	3,445	344	3,445	3,445	3,445	3,445	3,445	3,445	3,445
7.0	8.9	1.9	1699.46	293.85	0.00647	1.70	0.25	1,498	3,745	374	3,745	374	3,745	3,745	3,745	3,745	3,745	3,745	3,745
8.9	11.0	2.1	1723.62	335.40	0.00626	1.80	0.25	2,066	5,166	517	5,166	517	5,166	5,166	5,166	5,166	5,166	5,166	5,166
11.0	13.2	2.2	1746.22	372.31	0.00591	1.80	0.25	2,546	6,365	636	6,365	636	6,365	6,365	6,365	6,365	6,365	6,365	6,365
13.2	15.6	2.4	1775.57	402.30	0.00597	1.80	0.25	2,973	7,432	743	7,432	743	7,432	7,432	7,432	7,432	7,432	7,432	7,432
15.6	18.1	2.5	1775.57	453.62	0.00551	1.80	0.25	3,780	9,449	945	9,449	945	9,449	9,449	9,449	9,449	9,449	9,449	9,449
18.1	20.9	2.8	1828.54	474.90	0.00590	1.80	0.25	4,142	10,356	1,036	10,356	1,036	10,356	10,356	10,356	10,356	10,356	10,356	10,356
20.9	23.7	2.8	1828.54	496.69	0.00564	1.80	0.25	4,531	11,328	1,133	11,328	1,133	11,328	11,328	11,328	11,328	11,328	11,328	11,328
23.7	26.8	3.1	1828.54	517.88	0.00599	1.80	0.25	4,926	12,315	1,232	12,315	1,232	12,315	12,315	12,315	12,315	12,315	12,315	12,315
26.8	30.0	3.2	1849.67	535.53	0.00598	1.80	0.25	5,268	13,169	1,317	13,169	1,317	13,169	13,169	13,169	13,169	13,169	13,169	13,169

(*) p y e estimados



ANEXO A - V. PANEL FOTOGRÁFICO



FOTO A-5-01: Vista panorámica de la calicata C-1, ubicada en la Mz. N Sub Lote 05 Av. Ricardo Palma, Urb. Semirústica El Bosque.



FOTO A-5-02: Vista del perfil estratigráfico de la calicata C-1, a la profundidad de 3.00 m. Nótese inicialmente la presencia del relleno superficial conformado por suelo orgánico hasta los 65 cm, luego la presencia de arenas arcillosas SC, de compactación media y poca humedad, luego sigue arcillas de baja a mediana plasticidad CL, de consistencia media y regular humedad. No se nota la presencia del NAF a la profundidad explorada.



FOTO A-5-03: Vista panorámica de la calicata C-7, ubicada en Prolongación Av. Santa N° 1725 – Urb. Santa Teresa de Ávila.



FOTO A-5-04: Vista del perfil estratigráfico de la calicata C-7, a la profundidad de 3.00 m. Nótase la presencia del relleno superficial conformado por suelo orgánico con arena suelta, luego la presencia de arena pobremente graduada (SP), de poca humedad y compacidad suelta a media, y con cierta presencia de gravillas, a medida que nos vamos profundizando y posteriormente se encuentra grava pobremente graduada (GP), de compacidad relativa media a compacta, regular humedad, con cierta presencia aislada de bolonería a medida que nos vamos profundizando. No se nota la presencia del NAF a la profundidad explorada.



FOTO A-5-05: Vista panorámica de la calicata C-11, ubicada en MZ “M” Lote 7-8-9-10 Urb. Soliluz.



FOTO A-5-06: Vista del perfil estratigráfico de la calicata C-11, a la profundidad de 3.00 m. Nótese la presencia conformado inicialmente por material de relleno orgánico suelto, luego sigue arena pobremente graduada SP, no plástica, de poca humedad y de compacidad media. No se nota el NAF a la profundidad explorada.



FOTO A-5-07: Vista panorámica de la calicata C-19, ubicada en MZ. “K-1”, Lote 22, Urb. Covicorti.



FOTO A-5-08: Vista del perfil estratigráfico de la calicata C-19, a la profundidad de 3.00 m. Nótese la presencia conformado inicialmente por material de relleno orgánico suelto, luego sigue arena pobremente graduada SP, no plástica, de poca humedad y de compacidad media con la presencia de limos conforme nos vamos profundizando. No se nota el NAF a la profundidad explorada.



FOTO A-5-09: Vista panorámica de la calicata C-22, ubicada en Mz. “F”, Lote 08, Prolongación Av. Eguren – Urb. Villa del Contador.



FOTO A-5-10: Vista del perfil estratigráfico de la calicata C-22, a la profundidad de 3.00 m. Nótese el tipo de material superficial, conformado por material de relleno, luego arena Limosa SM, de baja plasticidad, de poca a regular humedad, de compactación media y a continuación arcillas de baja plasticidad CL. con presencia de gravas menudas de 1/2” conforme nos vamos profundizando, de regular humedad, de consistencia blanda a media. Se nota el NAF a la profundidad de 2.20 m.



FOTO A-5-11: Vista panorámica de la calicata C-28, ubicada en Mz. “E” - Lote 17, Urb. Ingeniería II.

FOTO A-5-12: Vista del Perfil estratigráfico de la calicata C-28, a la profundidad de 3.00 m. Nótese el material superficial, conformado por suelo agrícola en estado suelto, luego la presencia de arenas arcillosas SC, de compactidad media y poca humedad, luego sigue arcillas de baja a mediana plasticidad CL, de consistencia media y poca humedad y posteriormente arenas pobremente graduadas SP, de compactidad media, regular humedad, y con cierta presencia de gravillas, a medida que nos vamos profundizando. No se nota el NAF a la profundidad.





FOTO A-5-13: Vista del sondeo de exploración con el equipo de penetración dinámica ligera DPL-05, hasta la profundidad de 5.00 m., ubicada en MZ. “K-1”, Lote 22, Urb. Covicorti.



FOTO A-5-14: Vista del sondeo de exploración con el equipo de penetración dinámica ligera DPL-08, hasta la profundidad de 3.00 m., ubicada en la Urb. La Intendencia.



FOTO A-5-15: Vista del sondeo de exploración con el equipo de penetración dinámica ligera DPL-12, hasta la profundidad de 5.00 m., ubicada en Mz. “E” - Lote 17, Urb. Ingeniería II



FOTO A-5-16: Vista del sondeo de exploración con el equipo de penetración dinámica ligera DPL-14, hasta la profundidad de 5.00 m., ubicada en MZ “J” - LT. 19 - calle 14 - Urb. Las Casuarinas.



FOTO A-5-17: Vista del sondeo de exploración con el equipo de penetración estándar SPT-1, hasta los 9.00 m., ubicada en Fundo el Prisma.



FOTO A-5-18: Vista del sondeo de exploración con el equipo de penetración estándar SPT-3, hasta los 6.75 m., ubicada en Mz. "E" – Lote 17 – Urb. Ingeniería II.



FOTO A-5-19: Vista del sondeo de exploración con el equipo de penetración estándar SPT-5, hasta los 3.75 m., ubicada en calle Samuel Morse N°665 – Urb. Pay Pay.



FOTO A-5-20: Vista del sondeo de exploración con el equipo de penetración estándar SPT-6, hasta los 7.50 m., ubicada en Mz. “H-5”, lote 10-11 (Manuel de falla) - Urb. Primavera.



FOTO A-5-21: Vista panorámica de la línea MASW (LW-01), ubicada en la Urb. Centro Histórico.



FOTO A-5-22: Vista panorámica de la línea MASW (LW-02), ubicada en la Urb. El Recreo.



FOTO A-5-23: Vista panorámica de la línea MASW (LW-03), ubicada en la Urb. Los Cedros.



FOTO A-5-24: Vista panorámica de la línea MASW (LW-06), ubicada en la Urb. Santo Dominguito



FOTO A-5-25: Vista panorámica de la línea MASW (LW-07), ubicada en la Urb. Santa María V Etapa



FOTO A-5-26: Vista panorámica de la línea MASW (LW-09), ubicada en la Urb. Monserrate



FOTO A-5-27: Vista panorámica de la línea MASW (LW-10), ubicada en la Urb. Upao II

Los desastres naturales (terremotos, inundaciones, tsunamis, deslizamientos de tierra y otros) son un peligro latente en cualquier zona del mundo, más aún si tenemos en cuenta que los efectos de estos se pueden incrementar debido a una mala planificación urbana, falta de medidas de seguridad, de planes de emergencia y sistemas de alerta, además de una rápida expansión urbana y de ocupación del suelo.

luego de minuciosos análisis de campo que incluyó estudios de la mecánica de suelos, ensayos de laboratorio y análisis de la capacidad portante de los mismo, el presente volumen aporta un importante estudio de microzonificación geotécnica y sísmica, en consideración del peligro sísmico latente en los suelos de la ciudad de Trujillo. Información representada en mapas de distribución.

La delimitación de zonas que serían las más apropiadas para construir viviendas en Trujillo es una contribución a la seguridad ciudadana que ofrece esta investigación a los pobladores de esta importante ciudad peruana, en la medida que se define el comportamiento típico del terreno en relación al diseño de construcciones sismo resistentes.



UPAO

FONDO EDITORIAL

