

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL



MICROZONIFICACION SISMICA
DE LA PUNTA Y EL CALLAO

T E S I S

Para optar el Título Profesional de
INGENIERO CIVIL

CARLOS ERNESTO HUAMAN EGOAVIL

Lima - Perú

1991

RESUMEN

La presente tesis, titulada Microzonificación Sísmica de La Punta y El Callao, tiene el propósito de establecer aquellas áreas más susceptibles de sufrir daño sísmico por efecto de la presencia de los depósitos de suelo subyacentes a la ciudad y el Puerto del Callao.

En el Capítulo I se presenta una introducción sobre los antecedentes que llevaron a realizar este trabajo; se establecen los conceptos básicos sobre la microzonificación sísmica y se presentan datos generales acerca del área de estudio.

En el Capítulo II se hace una **revisión** del contexto geológico sobre el que se ubica el área estudiada. Se encuentra que la geología local es enteramente del Cuaternario reciente y no presenta mayores variaciones hasta las profundidades que son de interés en la ingeniería civil, excepto por la particular formación de La Punta. La delimitación de zonas se hace más bien respecto a las características geotécnicas, en base a la información recopilada sobre estudios de cimentación. Se concluye estableciendo zonas geotécnicamente similares.

En el Capítulo III se revisa la información sísmica, tanto histórica como instrumental. La información histórica permite concluir que se trata de

una zona altamente sísmica, y que los daños producidos por los sismos en Lima han tenido mayor intensidad en áreas de suelos blandos o con otros problemas, siendo una de estas áreas el Callao. La información instrumental es escasa, sólo existe para el centro de Lima, pero existe una red acelerográfica del CISMID que puede llenar este vacío en el futuro. Por otro lado, se presenta una revisión de los estudios sobre riesgo sísmico para Lima y el Perú, y se realiza el análisis de riesgo sísmico para Lima Metropolitana con el objeto de establecer los niveles de aceleración probables, que corresponden a los períodos de retorno usualmente empleados en el diseño de las obras civiles.

En el Capítulo IV se presenta los resultados de las 257 pruebas de microtrepidaciones realizadas en el área estudiada. Estos resultados sirven para establecer un mapa de curvas isoperíodo, del cual se desprenden zonas con un período predominante característico del suelo, que tienen concordancia con las condiciones del subsuelo y los daños sísmicos observados. Además, se comparan los resultados de los períodos predominantes obtenidos por microtrepidaciones con aquellos obtenidos de los registros acelerográficos de 5 pequeños sismos registrados en la recientemente instalada red acelerográfica del CISMID, encontrándose una buena correlación entre estos dos grupos de datos.

En el Capítulo V, luego de revisar los conceptos actuales sobre el efecto de los suelos sobre el daño sísmico, se aplica la teoría de amplificación dinámica, calculándose los períodos fundamentales de 14 perfiles modelados en la zona estudiada. Estos períodos son comparados con los resultados de las microtrepidaciones, hallándose concordancia. Luego, dos perfiles de suelos considerados como los más desfavorables para La Punta y El Callao respectivamente, son sometidos a la acción de tres sismos registrados en el centro de Lima, asumiendo que estas señales son los movimientos de entrada en la roca base. De los espectros de respuesta obtenidos se concluye que el suelo de La Punta es un suelo muy blando, en tanto que al suelo del Callao puede calificársele como blando. Además, se propone una relación entre los períodos medidos por microtrepidaciones y los períodos predominantes de los sismos severos, encontrándose que para el caso de La Punta se produce un período que excede al mayor período propuesto en el Reglamento Nacional de Construcciones para un suelo blando.

Por último, el Capítulo VI contiene las conclusiones fundamentales extraídas de esta investigación, y las recomendaciones para la continuación del estudio a mayor profundidad.

El Autor.

INDICE

CAPITULO I : INTRODUCCION

pág.

Antecedentes.	1
Concepto de Microzonificación Sísmica.	2
Las Microtrepidaciones como Técnica de Microzonificación.	4
Generalidades.	5
1.4.1 Ubicación y Extensión de la Provincia del Callao.	5
1.4.2 Ubicación y Extensión del Estudio.	6
1.4.3 Clima y Medio Físico.	7
1.4.4 Población.	9
1.4.5 Condiciones de Vivienda.	9
Breve Historia e Importancia del Callao.	10

CAPITULO II : CARACTERISTICAS GEOLOGICAS Y GEOTECNICAS DE LA PUNTA Y EL CALLAO.

2.1 Introducción.	13
2.2 Geología Regional.	14
2.3 Geología del Cono Aluvial del Río Rímac.	21
2.4 Formación Geológica de La Punta.	24

2.5 Geomorfología de las Terrazas Aluviales del Rímac.	25
2.6 Hidrogeología de la Gran Lima.	28
2.7 Geotecnia de los Acantilados de Lima.	33
2.8 Características Geotécnicas de La Punta.	35
2.9 Características Geotécnicas del Callao, La Perla y Bellavista.	40
2.10 Zonificación Geotécnica de La Punta y El Callao.	63
2.11 Conclusiones.	68

CAPITULO III : SISMICIDAD HISTORICA DE LIMA Y EL CALLAO.

3.1 Introducción.	84
3.2 Cronología de los Sismos más Notables Ocurridos en Lima.	85
3.3 Revisión de Estudios sobre Sismos Recientes.	97
3.3.1 El sismo del 17 de Octubre de 1966.	97
3.3.2 El sismo del 3 de Octubre de 1974.	102
3.4 Información Instrumental para Lima.	106
3.5 Revisión de Estudios sobre Riesgo Sísmico en Lima.	107

3.5.1 Riesgo Sísmico del	
Departamento de Lima.	109
3.5.2 Monumentos Históricos y Riesgo	
Sísmico para la Zona de Lima.	111
3.5.3 Zonificación Sísmica del Perú.	113
3.5.4 Riesgo Sísmico en Lima	
Metropolitana.	115
3.6 Conclusiones.	116

CAPITULO IV : MEDICION DE MICROTREPIDACIONES EN LA PUNTA Y EL CALLAO.

4.1 Introducción.	140
4.2 Origen y Fundamento de las	
Microtrepidaciones.	141
4.3 Características del Equipo de Medición y	
Análisis.	145
4.3.1 Transductores o Sensores.	145
4.3.2 Amplificador.	145
4.3.3 Grabadora.	146
4.3.4 Oscilador Gráfico.	146
4.3.5 Analizador de Señales FFT.	147
4.4 Descripción de las Mediciones Realizadas	
en La Punta y El Callao.	147
4.5 Análisis de la Onda de Microtrepidaciones.	151
4.5.1 Metodología.	151

4.5.2 Modo de Operación del	
Analizador de Ondas FFT.	153
4.6 Definición de Curvas Isoperíodo y Zonas	
Características.	158
4.7 Comparación de las Microtrepidaciones con	
Sismos Pequeños.	161
4.8 Conclusiones.	164

CAPITULO V : APLICACION DE LA TEORIA DE AMPLIFICACION DINAMICA EN DEPOSITOS DE SUELO.

5.1 Introducción.	193
5.2 Influencia de las Condiciones del Suelo	
sobre el Daño Sísmico.	194
5.3 Métodos de Evaluación del Efecto Local.	199
5.4 Teoría de la Propagación Unidimensional	
de Ondas de Corte.	202
5.5 Movimientos Transitorios.	208
5.6 Descripción del Programa SHAKE.	210
5.7 Determinación de Parámetros Dinámicos	
del Suelo.	212
5.8 Modelaje de Perfiles Representativos del	
Suelo del Callao.	218
5.9 Cómputo del Período Fundamental de los	
Perfiles Modelados.	220

5.10 Comparación de Resultados Calculados y Medidos del Período del Suelo.	221
5.11 Análisis de la Respuesta Dinámica de los Perfiles bajo Sismos de Entrada.	223
5.12 Conclusiones.	233

CAPITULO VI : CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

6.1 Conclusiones.	251
6.2 Recomendaciones.	259

BIBLIOGRAFIA Y REFERENCIAS.	261
-----------------------------	-----

ANEXO I.

I.1 Relación de Estudios de Mecánica de Suelos y Pozos Recopilados.	I-3
I.2 Perfiles Estratigráficos Representativos.	I-12
I.3 Registros de Perforación de Pozos de Agua Subterránea.	I-35

ANEXO II.

II.1 Manual de Entrada de Datos al Programa RISK.	II-3
II.2 Datos para el Riesgo Sísmico en Lima.	II-8
II.3 Resultados del Análisis.	II-11

ANEXO III.

III.1 Fichas de Medición de Microtremors.	III-3
III.2 Espectros de Fourier de Sismos Pequeños y de Microtremors Cercanos.	III-34

ANEXO IV.

IV.1 Resultados del Análisis Dinámico con el Programa FRF.	IV-3
IV.2 Archivo de Datos MODDAMP para el Programa SHAKE.	IV-18

ANEXO V.

Fotografías.

PLANOS

- Plano 1: Ubicación de Sondajes, Pozos Recopilados, y Ensayos de Microtrepidaciones.
- Plano 2: Mapa de Curvas Isoperíodo para La Punta y El Callao.
- Plano 3: Mapa de Zonificación Geotécnica de La Punta y El Callao.

CAPITULO I

INTRODUCCION

1.1 ANTECEDENTES.

La ciudad de Lima ha estado sometida desde su fundación a innumerables sismos, algunos de ellos calificados como destructores. Sin embargo, sólo a partir de los sismos más recientes, en especial los de 1966 y 1974, ha quedado claramente establecido que el centro mismo de la ciudad de Lima ha sufrido menor intensidad de daño que otras zonas periféricas. Entre estas últimas se encuentran los distritos de Chorrillos, Barranco, La Molina, La Punta y El Callao. Hoy se reconoce que la causa de esta diferencia en las intensidades del daño a las construcciones se encuentra en las peculiares condiciones del suelo de estos lugares, que tienen un suelo más blando que el del centro de Lima, además de otros problemas.

Bajo estos antecedentes, el Centro Peruano-Japonés de Investigaciones Sísmicas y Mitigación de Desastres (CISMID) está interesado en preparar un Mapa de Microzonificación Sísmica de Lima, que incluya también a la Provincia Constitucional del Callao. De allí que, como parte de este plan, el presente proyecto de investigación,

denominado Microzonificación Sísmica de La Punta y El Callao, que ha contado con el auspicio de JICA y CONCYTEC, intenta establecer con mayor precisión las áreas sísmicamente vulnerables de esta zona, tal como se ha hecho ya en La Molina y se hará próximamente en Barranco y Chorrillos.

El presente estudio comprende fundamentalmente la realización de mediciones de microtrepidaciones en el área mencionada, y la recopilación de estudios de mecánica de suelos y pozos de agua subterránea que permitan definir la estratigrafía y modelar el subsuelo, para aplicar la teoría de amplificación dinámica.

Además, el CISMID con la ayuda de JICA, ha instalado un acelerógrafo digital en el local de la Dirección de Hidrografía y Navegación de la Marina de Guerra del Perú, en Chucuito, el cual a la fecha ya ha sido activado por un sismo pequeño. La información de los acelerogramas que se registren en el futuro mediante este instrumento será de particular importancia, por tratarse de información para suelo blando, la cual casi no existe en el Perú.

1.2 CONCEPTO DE MICROZONIFICACION SISMICA.

La microzonificación sísmica de una ciudad puede definirse como el proceso para establecer unidades

geográficas limitadas de comportamiento característico observado o probable desde el punto de vista del suelo, frente a la ocurrencia de un evento sísmico.

Con este propósito, datos de geología, sismología, evaluación de daños sísmicos pasados, topografía, geotecnia, medición de parámetros dinámicos del suelo, etc., son recopilados, procesados y comparados hasta identificar las áreas de una ciudad más susceptibles de ser afectadas debido a la respuesta dinámica del suelo bajo la acción de un sismo.

En la actualidad se conoce que los elementos fundamentales que eventualmente determinan la potencialidad de los daños son las ondas sísmicas incidentes en la roca base, la amplificación o filtrado de estas ondas debido a la presencia de los depósitos de suelos y la respuesta de las estructuras debido a tales ondas amplificadas.

La necesidad de realizar estos estudios está asociada con el planeamiento del uso de tierras en áreas urbanas y con la determinación de los factores de diseño sismo-resistente de estructuras, que reduzcan el daño a la vida humana y a la propiedad.

1.3 LAS MICROTREPIDACIONES COMO TECNICA DE MICROZONIFICACION.

La técnica de medir u observar las microtrepidaciones es útil para realizar la microzonificación sísmica de un lugar, ya que proporciona el período predominante del suelo en una forma rápida y práctica, valor que sirve para conocer comparativamente el comportamiento dinámico del suelo, y para determinar los factores sísmicos relativos al diseño de las construcciones sismo-resistentes (Kanai, 1961).

Existe experiencia acumulada respecto al método, especialmente en el Japón, en donde ha sido aplicado intensamente y sus resultados se utilizan para clasificar los suelos según el reglamento de construcciones de ese país.

En el Perú, varios trabajos han sido realizados recientemente aplicando esta técnica, en ciudades como Chimbote y Huaraz (Chávez, 1984); y en Cusco y Tacna (Tokeshi, 1990).

El ensayo de microtrepidaciones consiste en medir las vibraciones del suelo que están en el rango de 0.1 a 1 micras de amplitud, y en el rango de 0.05 a 2 seg. de período, según la definición japonesa de Kanai (1961), producto de agentes relativamente remotos como son el

tráfico vehicular, el viento, las olas de mar, etc. Estas vibraciones son detectadas por pequeños sensores electromagnéticos de gran sensibilidad, luego son grabadas con un adecuado nivel de amplificación, y reproducidas después para analizar su contenido de frecuencias y período predominante.

En el presente estudio se ha utilizado la técnica de microtrepidaciones con el objeto de establecer aquellas zonas susceptibles de sufrir mayor daño sísmico, según el período del suelo, en La Punta y El Callao.

1.4 GENERALIDADES.

1.4.1 Ubicación y Extensión de la Provincia del Callao.

La Provincia Constitucional del Callao se encuentra ubicada al oeste de la ciudad de Lima, en la Costa Central del Perú. Sus límites son:

- El Río Chillón por el Norte.
- El Océano Pacífico por el Sur.
- La Provincia de Lima por el Este.
- El Océano Pacífico por el Oeste.

El área de la Provincia Constitucional es de 74 Km² en total, que comprende 57 Km² de área continental y 17

Km² de área ocupada por las Islas San Lorenzo, El Frontón y los Islotes Hormigas de Fuera, Palomino y Peña Horadada.

La Provincia Constitucional del Callao está conformada por los distritos de Callao, Bellavista, Carmen de La Legua-Reynoso, La Perla, La Punta y Ventanilla.

1.4.2. Ubicación y Extensión del Estudio.

El área estudiada en este trabajo se ubica en la Provincia del Callao, comprendiendo una extensión de 22 Km². Está delimitada como sigue:

- Por el Norte con la margen izquierda del Río Rímac.
- Por el Sur con el Océano Pacífico y el Distrito de San Miguel.
- Por el Este con la Avenida Elmer Faucett.
- Por el Oeste con el Océano Pacífico.

Las coordenadas geográficas del área estudiada varían de 77°05'30" a 77°10'00" de Longitud Oeste, y de 12°01'00" a 12°04'00" de Latitud Sur, aproximadamente.

El área de estudio contiene la totalidad de los Distritos de La Punta y La Perla, y parte de los Distritos de Callao, Bellavista y San Miguel.

La Fig. 1.1. muestra un plano del Cuadrángulo de Lima de la Carta Nacional, publicado por el Instituto Geográfico Nacional originalmente a escala 1/100,000, en el cual se ha sombreado el área estudiada.

1.4.3 Clima y Medio Físico.

La presencia de la Corriente Peruana o de Humboldt cambia el clima tropical que correspondería a esta latitud, produciendo temperaturas que varían de 15 a 22°C. Existe escasa precipitación, neblina en invierno y humedad relativa media bastante alta, aproximadamente de 85%.

El área en estudio tiene una topografía esencialmente plana, con pendientes suaves. Las cotas varían desde 1 m. en La Punta, 2 m. en el Callao antiguo, 10 m. en Bellavista, hasta 46 m. en la Av. Faucett.

Las costas son de dos tipos, las primeras se ubican al lado norte de La Punta, y presentan un mar tranquilo; en ellas se ha construido el Terminal Marítimo, el cual está protegido de las corrientes marinas por la Isla San Lorenzo sobre el lado sudoeste y por la península de La Punta sobre el lado sur. Las segundas están al lado sur de La Punta, y se caracterizan por la braveza del mar, que ha obligado a construir obras de defensa. Estas consisten en 2 espigones de gran longitud que tienden a cerrarse, dejando entre ellos una entrada estrecha.



En la parte baja del Callao se han construido 3 espigones en forma de T, perpendiculares a la playa, que han resultado eficaces para la protección de este sector costanero que con anterioridad era frecuentemente erosionado por las olas en los períodos de braveza. En este sector del litoral, debido a la fuerte pendiente de la playa, la incidencia de las olas se produce prácticamente con el íntegro de su energía y su efecto devastador es considerable.

La bahía donde se asienta el Puerto está protegida de los vientos, la braveza del mar y los tsunamis por la Isla San Lorenzo, la más grande de las 30 islas del litoral peruano, la cual está separada de la península de La Punta por 4 Km. de mar poco profundo, cubierto a trechos por grandes peñascos que forman un canal llamado Boquerón.

El zócalo continental en la parte central del Perú es bastante ancho, debido probablemente al hundimiento de la primitiva Costa Central. El zócalo remata bruscamente en una fosa marina, que es una profunda grieta longitudinal que se extiende de Ica a Chimbote.

Las mareas en el Callao son moderadas.

1.4.4 Población.

La población, según el censo de 1972, era de 315,6 mil habitantes en la Provincia del Callao, con una densidad de 55 Hab/Ha. Según el censo de 1981, la población había aumentado a más de 400,000 habitantes.

1.4.5 Condiciones de Vivienda.

Estudios realizados en las zonas bajas del Callao (Casas, 1974), indican que cerca del 50% de las viviendas están hechas de adobe y quincha, son muy antiguas y se encuentran en mal estado. Un 45% de las viviendas están construidas con albañilería de ladrillo, y un 5% son de concreto armado.

En cuanto a las alturas de las edificaciones se conoce lo siguiente en las zonas bajas del Callao:

Nº de pisos	% Viviendas
1	55.0
2	37.0
3	5.0
4	1.5
>4	1.5

En el caso de La Punta, la mayor parte de viviendas son del tipo residencial de 2 pisos.

1.5 BREVE HISTORIA E IMPORTANCIA DEL CALLAO.

El puerto del Callao era conocido desde el tiempo de los Incas como Pitipiti, y su existencia española es más antigua que la ciudad de Lima misma, siendo conocido como Magdalena o Puerto de Santa María del Callao. Los españoles lo usaron como portón hacia el mar para embarcar los productos del valle del Rímac y los tesoros extraídos del Virreynato. A partir de entonces fue blanco de piratas y corsarios.

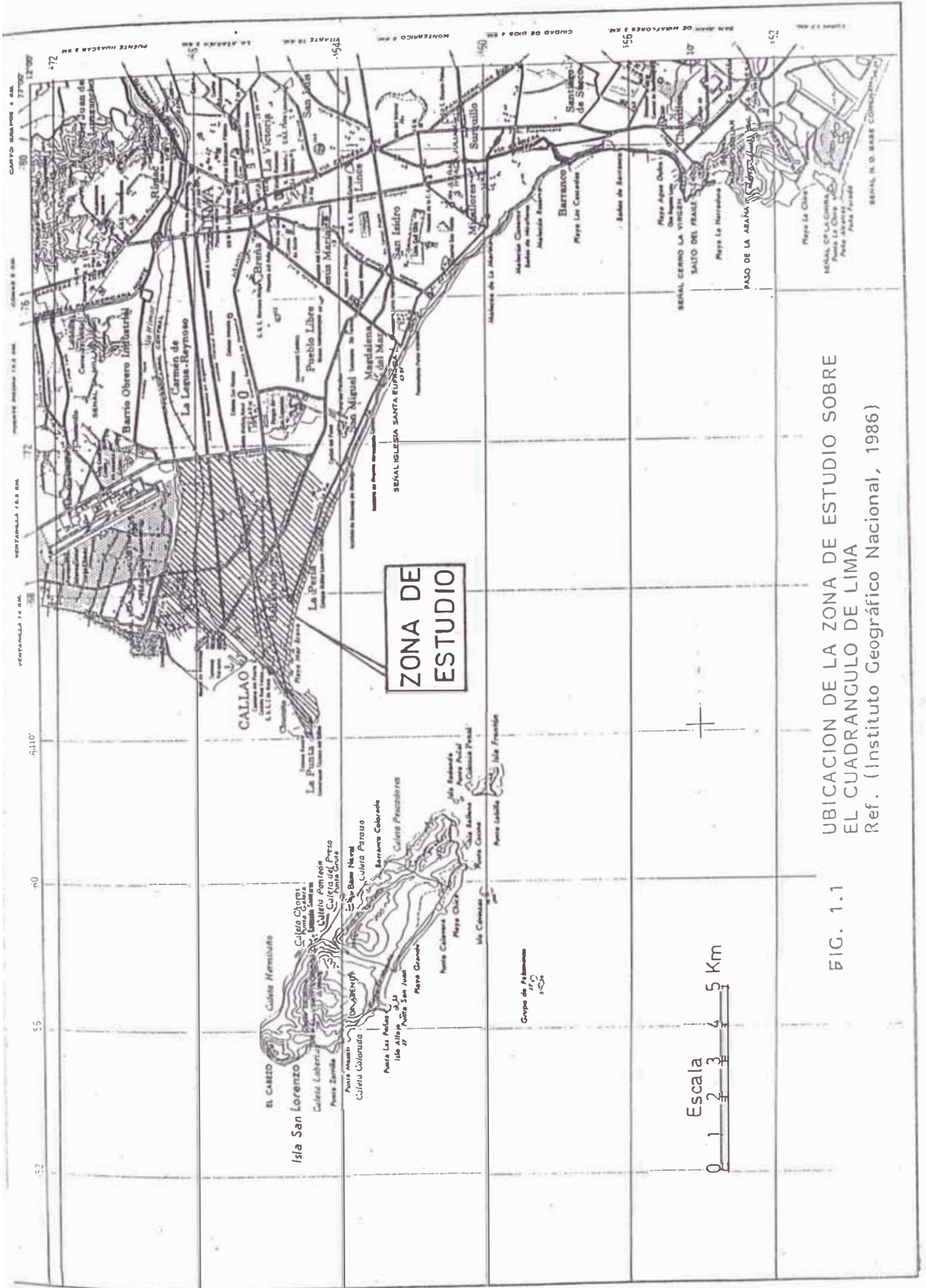
Al fundarse la República el puerto mantuvo su importancia. Las obras portuarias culminaron en 1869 en que la firma inglesa Templemen Bergman construyó el Muelle Dársena. Como puerto moderno funcionó a partir de 1930, con la construcción de un Terminal Marítimo ejecutado por la firma Frederick Snare Corporation. Para esa época los espigones, almacenes y edificios eran amplios y espaciosos.

La importancia del área en estudio radica en las múltiples actividades económicas que se realizan en ella, derivadas de la presencia del Puerto del Callao, el cual es el más grande puerto exterior del país, y maneja cerca del 25% del volumen de carga anual del total nacional. No sólo funciona como un puerto comercial, soportando las actividades socio-económicas del área concentrada alrededor de él, sino que también es parcialmente usado

como un puerto naval y un puerto de pesca. Además, existe una intensa actividad industrial y naviera que es la mayor del país. Estas actividades han determinado la presencia de una densa infraestructura urbana que sirve y alberga a cerca de medio millón de habitantes.

Actualmente, la infraestructura del Puerto requiere mejoramiento y expansión, para permitir el manejo más eficiente de la carga, que evite una caída del poder competitivo para la exportación de bienes a los mercados internacionales (JICA, 1983).

Por otra parte, en el área comprendida en el estudio se han establecido importantes instalaciones navales y militares.



CAPITULO II

CARACTERISTICAS GEOLOGICAS Y GEOTECNICAS DE LA PUNTA Y EL CALLAO

2.1 INTRODUCCION.

En este capítulo se presenta la información recopilada concerniente a la geología de la zona en estudio, la cual está basada en una descripción regional más que local.

En cuanto a las características geotécnicas, se intenta establecer algunas zonas donde la estratigrafía y las condiciones de cimentación pueden generalizarse de algún modo, gracias a la información de numerosos estudios de mecánica de suelos recopilados y a los registros de perforación de agua subterránea con que se ha contado.

La distinción hecha en el nombre de este proyecto como Microzonificación Sísmica de La Punta y El Callao, obedece en gran parte a la conformación geotécnica, que diferencia claramente dichas zonas, como se indicará en este capítulo.

2.2 GEOLOGIA REGIONAL.

A nivel regional, la faja Costanera del Perú Central comprendida entre los valles de Pativilca y Pisco, presenta la siguiente Estratigrafía y Tectónica del Cuaternario, Macharé (1979):

a) Basamento Mesozoico.

A lo largo de la zona mencionada, el basamento pre-Terciario está constituido por rocas sedimentarias y volcánicas submarinas del Cretáceo, que alcanzan más de 10,000 metros de potencia y están intruídas por el Batolito de la Costa.

b) Cobertura Cenozoica.

Pueden distinguirse dos sectores: uno desde Pativilca hasta Cañete y el otro de Cañete a Pisco. El primero se caracteriza por la ausencia de rocas marinas terciarias, mientras que en el segundo hacen su aparición estas rocas, las cuales van tomando gran desarrollo hacia la zona de Ica-Nazca.

Las rocas terciarias de origen marino corresponden a las formaciones: Paracas del Eoceno Superior-Oligoceno y Pisco del Mioceno-Plioceno.

El Cuaternario de esta región está constituido por diferentes tipos de depósitos: fluviales, marinos, eólicos y "aluviales" desérticos.

La estratigrafía relativa ha sido establecida básicamente gracias al estudio de las terrazas aluviales, ya que las unidades marinas no tienen un buen desarrollo y no existe un sistema escalonado de ellas.

Globalmente se pueden distinguir cuatro episodios mayores de acumulación continental que resultan morfológicamente en sistemas de terrazas encajonadas.

c) Neotectónica.

Como norma general, los terrenos cuaternarios aflorantes se hallan poco deformados como efecto de la Tectónica. Se nota que a pesar que la zona está situada sobre una margen activa, que actualmente es un área eminentemente sísmica, los fenómenos geodinámicos internos no han dejado huellas de una fuerte actividad durante el Cuaternario.

d) Movimientos Verticales de la Costa.

La morfología del litoral de la Costa Central muestra la ausencia de terrazas marinas. Se sabe que durante el Cuaternario han existido niveles del mar más altos que el actual, los cuales han dejado sobre las costas

estables terrazas marinas. Lo anterior implica que la Costa en el sector estudiado ni es estable ni se levanta, sino por el contrario se hunde a lo largo del Cuaternario.

La conclusión anterior queda sustentada por dos hechos, el primero es el hallazgo de dos niveles de abrasión marina sumergidos a unos 5 y 30 m. bajo el nivel del mar en la Playa Santa Rosa (Teves y Gagliano, 1970). Por otro lado, la geofísica muestra que la base rocosa del relleno aluvial de Lima, debajo de San Isidro, alcanza profundidades de 350 m., es decir esta base se ha hundido mucho durante el Plio-Cuaternario.

e) Sedimentación Cuaternaria.

La geología de los sedimentos cuaternarios puede ser definida por el estudio de Castro, 1969, sobre la Geología de Lima y Vecindades (Fig. 2.1), que comprende los sectores de los conos de deyección de los ríos Chancay, Chillón, Rímac, Lurín y Chilca, según lo cual:

Cada uno de estos abanicos de descarga fluvio-aluviales son dispares en cuanto a su configuración, relieve, drenaje, superficie y acumulación de sus clastos cuaternarios. Sin embargo, todos ellos tienen otros rasgos comunes tales como: la misma génesis, los mismos procesos de erosión física y química, semejantes condiciones climáticas, etc.

Los vértices deyectivos de estos ríos están retirados del mar y fluctúan entre 20 a 40 Km. de la línea de playa.

La geomorfología diferencial en todo el área estudiada sólo es notable en las investigaciones locales; más regionalmente se aprecian pocas diferencias.

Lo más interesante que presentan los conos deyectivos de los valles en referencia son las acumulaciones de clastos en los sectores inferiores de estos ríos.

El Pleistoceno está constituido por 100 a 400 metros de espesor de cascajos, arenas y arcillas, los cuales a veces se encuentran entremezclados. Los regímenes de sedimentación han sido diversos, alternándose en ellos los del tipo turbulento con el laminar. Pero en el Holoceno impera la sedimentación arcillosa. Las arcillas cubren los cascajos pleistocénicos y permiten que prosperen los campos agrícolas.

En el Holoceno, las arcillas con espesores de 1 a 10 m. son de excelente calidad, de color pardo o castaño. El poco espesor de estas arcillas demuestra que el Holoceno ha tenido poca duración, que el régimen fue aluvial, y en él se produjo excavación en las cajas de los ríos o cambios en la dirección de los cursos hídricos, como ha ocurrido

con el río Rímac, en que el caudal hidráulico migró desde Chorrillos a Barranco, luego a Miraflores, después a Magdalena y finalmente se estacionó en el Callao.

Pero esta variación del curso hidrológico del río Rímac se debe fundamentalmente al movimiento de ascensión de la margen izquierda del abanico deyectivo del Río Rímac.

Las arcillas holocénicas se contaminaron en muchos lugares con huaicos y limos, o con las arenas eólicas aportadas de playas sollevantadas.

Por dentro de los aglomerados de cascajos y arenas fluyen napas de aguas subterráneas que descargan su caudal en el mar. Los acantilados que se presentan, tanto en Chorrillos como en Pasamayo, nos indican que los depósitos fluviales y aluviales de estas regiones se hundieron en el mar parcialmente. En donde existen estos acantilados, las playas son de hundimiento. La abrasión marina no ha sido la causa de la génesis de estos acantilados, sino los ligeros hundimientos de la plataforma continental.

Esto quiere decir que en el Cuaternario más reciente hubo desequilibrios en el litoral. Por esto es que encontramos en Pasamayo los depósitos arenosos, limosos y hasta aglomerados aluviónicos a cientos de metros sobre el nivel del mar. Todos estos materiales pertenecen a las descargas del río Chancay.

Los sedimentos cuaternarios fluviales sumergidos en el mar se dilatan hasta 50 Km. de la línea playera. Estos sectores hundidos en el mar mantendrán sus rasgos fisiográficos primitivos.

En el Terciario la masa volcánica en la cordillera elevó los terrenos 3,000 metros y se produjo el más intenso diastrofismo, el cual produjo como resultados inmediatos dislocación, fallamiento y sobrescurrimientos. Como consecuencia, gran aporte de materiales deshechos fueron transportados hacia los terrenos inferiores de la Costa, continuando el proceso de formación del rellenamiento de los terrenos bajos de la Costa.

En el Cuaternario se produjeron ligeros desplomes, hundimientos y levantamientos en el litoral; el acabado del perfil de la Costa adquiere una configuración definitiva. Concluyen estos levantamientos con la formación de 5 terrazas costaneras marinas escalonadas, cuya cota oscila entre 10 a 120 metros como promedio. Así quedan constituidos los tablazos, los despoblados, las playas, los acantilados y la morfología definitiva del litoral.

f) La Falla de Lima o el Anticlinal de Lima.

En la región de Lima, según Castro Bastos, existe una falla terciaria de 100 Km. de longitud, extendida desde Ancón hasta Chilca, que es inactiva. Esta falla cruza la

ciudad de Lima, como se observa en la Fig. 2.1. Se ha confundido el criterio de considerarse a esta falla causante de focos sísmicos en la zona de Lima y vecindades, lo cual no es cierto. La falla no es activa, más bien, producido un sismo, esta falla disipa la energía liberada y evita mayores daños en la ciudad de Lima, según opinión de Castro B.

Respecto a la presencia de esta falla, Lisson en 1907 había propuesto que en la zona de Lima existió un plegamiento; en la Figura 2.2 se muestra el eje del Anticlinal, la forma de éste y los materiales sedimentarios del plegamiento, los que posteriormente fueron erosionados por los torrentes, los que a la vez depositaron los materiales clásticos muebles en el Cuaternario. La Fig. 2.3 muestra un corte del Anticlinal, según Lisson.

Maggiolo (1969) contrapone la formulación de Lisson sobre el Anticlinal de Lima y la de Castro Bastos sobre la Falla de Lima, y concluye que la posición de Castro Bastos en relación a la tectónica de Lima y sus vecindades, de suponer una falla inactiva que pasa entre Lima y el Callao, se ajusta a la realidad. Esto también es aclarado por Martínez (1975), según el cual una revisión de los buzamientos alrededor de Lima, no confirma la hipótesis de un supuesto domo (anticlinal), ya que las capas cercanas al mar muestran inclinaciones localmente, así como las series sedimentarias al Norte o al Este de la Capital.

2.3 GEOLOGIA DEL CONO ALUVIAL DEL RIO RIMAC.

La Punta y El Callao, así como la ciudad de Lima, se encuentran dentro de los límites de influencia del cono de deyección Cuaternario del Río Rímac, según se observa en la Fig. 2.4, que muestra el Plano Geológico de Lima según Martínez y col., 1975. Este cono consiste de material aluvial de estructura lentiforme donde se superponen depósitos de cantos rodados, arena, arcilla y limo, sin orden ni arreglo.

Estos sedimentos aluviales, como ya se ha mencionado, han sido depositados durante la última etapa del Pleistoceno, sobre el zócalo rocoso más antiguo, compuesto por rocas sedimentarias del Mesozoico.

La secuencia de este proceso, según Maggiolo (1982), fue la siguiente:

A fines del Terciario Superior (Plioceno) comienzos del Pleistoceno, el Río Rímac era torrentoso y de gran poder erosivo. En momentos de calma tectónica erosionó profundamente el basamento, constituido por lutitas del Jurásico Superior-Cretácico Inferior. Es así como el río deja los sedimentos clásticos del conglomerado de Lima, de gran espesor.

Con el transcurrir del tiempo, el río va virando del Sur-Oeste hacia el Nor-Oeste, debido a los movimientos tectónicos basculares, hasta que en el Cuaternario superior (Holoceno) queda en la posición actual.

Durante el Holoceno los movimientos tectónicos y el poder erosivo del río disminuyen, depositándose el material fino que ha originado la cubierta superficial arcillosa de 8 a 15 m. de espesor en el Callao.

De esta forma, en la base de los suelos blandos predomina la sedimentación alternada de arenas marinas procedentes del Sur, con gravas arenosas del río. La capa superior está constituida por arcillas poco consolidadas en cuya superficie puede existir **turba** originada por la descomposición de algas en ambientes palustres.

Según Martínez y Téves (1966), los depósitos lenticulares que forman el subsuelo del Callao aumentan de potencia en la parte occidental, debido a la inclinación que tuvo el fondo del océano en el período de crecimiento del cono. El muestreo de la superficie submarina ha revelado que el fondo de la bahía está constituido por un lecho arcilloso-arenoso compresible, con la excepción de La Punta y El Camotal, donde se encuentra conglomerado; también existe una planicie de arena en el extremo sur de la Isla San Lorenzo y frente a la Isla El Frontón, extendiéndose hasta encontrarse con los canturrales de la

prolongación submarina del Camotal. La arcilla penetra con una potencia máxima variable de 7 m., disminuyendo al NE del muelle Dársena, a medida que se va acercando al litoral, conservando un espesor mínimo de 2.5 metros. Los sondeos han demostrado que a un metro de profundidad, la arcilla se encuentra completamente saturada en su estado de plasticidad. Prospecciones a partir de los 20 m., indican que el suelo va aumentando en resistencia. El conglomerado superficial en el Camotal está constituido por rodados de dimensiones variables, desde unos pocos mm. a 30 cm.

Lo anterior se confirma con el estudio de JICA (1983), Fig 2.5, donde se muestra la distribución de tipos de sedimento marino, que se extienden desde el sur del Puerto del Callao hasta la Isla San Lorenzo, donde se nota que:

a) Los sedimentos del fondo del mar al Suroeste del Puerto del Callao que se extienden hasta la Isla San Lorenzo están formados por lodo, conocido como "lodo negro" o Black Mud.

b) Los sedimentos del fondo del mar en el área comprendida entre La Punta y La Isla San Lorenzo, están compuestos de grava, lodo, arena con lodo y arena.

c) Los sedimentos al Este de La Punta están compuestos por arena y arena con lodo.

En conclusión, se ha confirmado que el fondo de la bahía no es sino la prolongación del cono de deyección del Rímac. Se deduce de los diferentes sondeos efectuados, que la arcilla desciende sobre un lecho de conglomerado y que este lecho presenta una inclinación suave y continua.

2.4 FORMACION GEOLOGICA DE LA PUNTA.

Investigaciones efectuadas han demostrado que el conglomerado sufre desplazamientos relativos debido a la acción del mar, que en tiempos anteriores ha atacado el cono deyección, socavándolo y formando el barranco que se extiende desde el Morro Solar hasta el Callao. Los materiales caídos al mar, y sujetos a su acción son arrastrados hacia las zonas de las Islas San Lorenzo y el Frontón; este hecho explica la formación de La Punta y su prolongación submarina, como también su tendencia a aumentar de espesor (Martínez y Téves, 1966).

La hipótesis anterior parece ser sustentada por los estudios realizados por Macharé (1979) sobre la geología del Cuaternario en la costa de Lima, según lo cual la isla San Lorenzo muestra ciertas particularidades en su relieve, una de ellas es la verificación de la existencia de terrazas marinas cuaternarias más antiguas que el nivel Holoceno. Así, se ha podido observar una terraza marina T_{m1} , hallada a unos 4 m.s.n.m., conformada por cantos

redondeados mezclados con bloques subangulosos que obviamente fueron aportados por el acantilado.

De allí que en La Punta los materiales pertenecientes al abanico aluvial del Rímac hayan sido modificados por la acción marina que ha erosionado los materiales originales, dando lugar a una secuencia de grava mal graduada, con limos y arenas, entremezclados de una manera poco uniforme, (Romani, 1978).

Sin embargo, otros estudios indican que La Punta conformaría un resto de erosión de lo que vendría a ser la última terraza del Río Rímac, originado por la mayor resistencia de este sector a la erosión marina por efecto de la protección de las islas, principalmente San Lorenzo (Aramburú Menchaca-CORPEI, 1978).

2.5 GEOMORFOLOGIA DE LAS TERRAZAS ALUVIALES DEL RIMAC.

El cono de deyección del Rímac va desde Santa Clara al Este, Morro Solar al Sur y Bocanegra al Norte. Su profundidad no es bien conocida, aunque Lisson (1926), fuera el primero en atribuir un espesor de más de 500 m. al conglomerado, el cual descansaría sobre las formaciones del Mesozoico (rocas sedimentarias y metamórficas) y una parte del Batolito, tal como se muestra en su corte geológico de Lima, Fig. 2.3. Según este gráfico la potencia del manto

aluvial sería de unos 400 m. debajo de La Punta, y hasta de unos 800 m. en el Callao y Lima. Los registros de perforación de pozos de agua recopilados en este estudio confirman que por lo menos a 200 m. no se encuentra aún el basamento rocoso. Por otro lado, según Aguirre y Vançon (1971), estudios de geofísica aplicados a la Carta Hidrogeológica de la Gran Lima darían un espesor de 400 m. al manto aluvial en la zona del Callao, y de 100 a 200 m. en el centro de Lima. La Fig. 2.6 muestra las curvas de nivel de la base de los aluviones, según el estudio geofísico realizado para elaborar la Carta Hidrogeológica de la Gran Lima, por los autores mencionados.

La geomorfología de La Punta y El Callao puede ser descrita en base al Mapa Geomorfológico de Lima, Fig. 2.7, de Martínez y Porturas (1975), del cual, para este estudio, interesan las fases de evolución de los depósitos cuaternarios llamados terrazas, según lo siguiente:

a) La presencia de una terraza de formación reciente t_0 , adyacente al cauce actual del río Rímac.

b) Las escarpas producidas por la erosión del río, que separan la terraza t_0 de la t_1

c) La terraza t_1 , que cubre casi toda el área en estudio, incluyendo La Punta, y que alcanza por el Sur escarpas de un pasado más remoto.

d) La terraza t_2 que termina en su parte frontal en los acantilados casi verticales que se presentan en La Perla y el resto del litoral hasta el Morro Solar, producto de la erosión del mar. Esta terraza corresponde a las primeras épocas del Rímac, cuando su cauce seguía la dirección SO.

Por otro lado, en este plano se distinguen afloramientos rocosos como los de la Isla San Lorenzo y el Morro Solar, ambos formados por rocas sedimentarias mesozoicas, que conforman el basamento sobre el que descansa el manto aluvial.

La unidad geomorfológica de mayor interés para este estudio, la terraza t_1 , se ubica a escasos metros sobre el nivel del mar, manifestando un relieve sumamente horizontal, con suave pendiente hacia la línea de playa.

La terraza t_2 , por su parte, va tomando mayor altura de Norte a Sur, adquiriendo su mayor desarrollo en Miraflores, donde estaría situada la parte central del cono deyectivo, alcanzando 70 m.

La morfología del borde litoral tiene un control estructural y litológico debido al sistema de fallas y fracturas.

2.6 HIDROGEOLOGIA DE LA GRAN LIMA.

Con el objeto de tener un conocimiento cercano de las condiciones hidrogeológicas de la capital del Perú, en 1971 se realizó el Estudio de los Recursos de Aguas Subterráneas de la Gran Lima, por el Ministerio de Agricultura. Los aspectos más importantes de este trabajo se resumen a continuación:

La región estudiada comprende los valles bajos del Chillón, del Rímac y del Lurín, lo que representa una faja litoral de 50 Km. de longitud de Norte a Sur, remontándose hasta 30 Km. en el interior de las tierras.

El fondo de estos valles está ocupado por aluviones espesos que encierran un acuífero de estructura compleja (multi-capa). La alimentación de agua de Lima está asegurada en parte por el bombeo de estas aguas subterráneas. Alrededor de 1500 pozos habían sido perforados hasta 1971 en la región estudiada.

Los tres ríos tienen una importancia muy desigual. Sólo el Rímac corre permanentemente al Océano, mientras que el Chillón y el Lurín están secos prácticamente durante ocho meses del año, fuera del período de crecida de enero a abril. La tabla siguiente resume las principales informaciones relativas a las vertientes:

TABLA 2.1. VERTIENTES DEL RIMAC, CHILLON Y LURIN.

VERTIENTE	Superficie (Km ²)	Caudal Medio (m ³ /seg)	Caudal Estiaje (m ³ /seg)
RIMAC en Chosica (arriba de la zona en estudio)	2300	28	10
RIMAC en la desembocadura	3400	30	4
CHILLON en Huarangal (a- rriba de la zona en est.)	1300	8	-
CHILLON en desembocadura	2300	-	Seco
LURIN en la desembocadura	1700	4.5	Seco

Una gran parte del agua de los tres ríos se desvía hacia una red de canales de irrigación muy importante, que cubre completamente el fondo de los valles, comprende la zona urbana, donde las canalizaciones son en parte cementadas. El Río Surco es el más importante de estas derivaciones: recorre toda la orilla Este de la ciudad de Lima.

En general, esta red hidrográfica compleja alimenta las napas de agua subterránea contenidas en los aluviones, pero juega a veces el papel de dren, como el río Lurín sobre ciertas partes de su curso.

El fondo de los tres valles está ocupado por depósitos aluviales muy gruesos. Las rocas sedimentarias e

intrusivas son prácticamente impermeables al escurrimiento de las aguas subterráneas; los aluviones encierran las napas acuíferas explotadas para la alimentación de agua de Lima.

Morfológicamente, es posible distinguir cuatro episodios en el depósito de estos aluviones, escalonados del Cuaternario a nuestros días.

Los afloramientos (acantilados, canteras de grava) y los numerosos cortes litológicos de sondajes disponibles, proporcionan informaciones parciales sobre la naturaleza de los aluviones. Ellos están constituidos por acumulaciones complejas de bloques, guijarros, gravas, arenas y arcillas. En la mayor parte de los pozos se encuentra, en la profundidad, materiales cada vez más finos. El Cuaternario Medio del Rímac y del Lurín está constituido por depósitos bastante gruesos, al menos en los primeros 50 metros.

Bajo la zona de afloramiento del Cuaternario "Q al" (estado precedente de los depósitos actuales), en la región del Callao, las perforaciones más profundas, como aquella del Hospital Carrión (profundidad final: 202 m), han encontrado, bajo depósitos bastante impermeables, uno o varios niveles de materiales gruesos que contienen una napa bien en carga. A inicios del siglo, esta napa era ligeramente artesiana.

Aparte de algunas excepciones (perforaciones en las proximidades de las colinas, 3 en las cercanías del Hospital de la Marina), los pozos no alcanzan la base de los aluviones ni las formaciones secundarias y terciarias del substrato.

La campaña geofísica efectuada a fines de 1969, inicios de 1970, ha permitido precisar el espesor total de los aluviones y su naturaleza en superficie y en profundidad, y de proporcionar por consiguiente una idea precisa de la geometría del reservorio permeable.

La Fig. 2.6 muestra el esquema de la geometría del aluvión, para cuyo reconocimiento se ha efectuado prospección eléctrica. El espesor de los aluviones alcanza, aproximadamente 400 a 500 m. (sector litoral al Sur del Callao).

En conclusión, las formaciones aluviales presentan una sedimentación muy variada y un gran espesor. Sólo la parte superficial es conocida por los perfiles litológicos de los pozos. La prospección geofísica ha revelado, para la sección ya conocida, la presencia de un importante conjunto arcillo-arenoso en el cual es posible encontrar niveles acuíferos más permeables, bien en carga.

Evolución de la Napa.

Se han realizado dos campañas piezométricas completas, una en enero de 1969, y la otra en marzo de 1971. Estas mediciones han permitido trazar dos cartas piezométricas precisas. Las variaciones de nivel entre estos dos años son poco importantes. Se observa en el sector de la Av. Argentina una zona deprimida, debido a los fuertes bombeos (hasta 300 l/seg bombeados en una superficie de 1 Km²). El descenso observado en este sector no se ha acentuado entre 1969 y 1971.

Una carta esquemática de las profundidades de la napa en 1969 ha sido diseñada (Fig. 2.8). Se encuentra la napa a profundidades que varían de menos de 5 metros (Valle de Lurín, ciertos sectores del valle de Chillón), a más de 75 m. (parte central del cono aluvial del Rímac), con respecto a la superficie del suelo. Para el Callao se observa un nivel promedio de 5 m.

Un aumento de los bombeos del orden de 10 m³/seg, lo que representa una multiplicación por dos de la cifra actual, provocaría en el año 2,000 descensos de la napa del orden de 40 metros. Una baja semejante implica el abandono de un porcentaje importante de los pozos de insuficiente profundidad y de una disminución del rendimiento de los demás. Las tomas por bombeo en la napa deberán, por consiguiente, ser inferiores a 20 m³/seg.

Los datos anteriores están resumidos en la Carta Hidrogeológica de la Gran Lima, de Aguirre y Vançon, (1971), establecida a la escala 1/50,000, que representa una síntesis de los datos conocidos hasta ahora.

2.7 GEOTECNIA DE LOS ACANTILADOS DE LIMA.

Con el objeto de estudiar la factibilidad de crear un circuito de playas desde La Punta a Chorrillos, Aramburú Menchaca-CORPEI (Corporación Peruana de Ingeniería), presentaron un informe minucioso sobre los acantilados de Lima en 1972. Los aspectos relevantes para este trabajo se reproducen a continuación:

Los acantilados deben su origen a la erosión marina, que se ve facilitada por la no consolidación de los materiales, la meteorización y la acción eólica litoral.

En la parte central del litoral y en el sector de Miraflores, los cantos rodados (matriz areno-limosa-arcillosa) se presentan uniformes en todo el acantilado; hacia el sector de Chorrillos y hacia el sector del Callao, la granulometría de los materiales sufre variaciones, aumentando los porcentajes de finos.

En La Perla, los materiales están constituidos básicamente por intercalaciones de arcillas CL, arenas

limosas, arcillas CH y algunos estratos delgados de grava intercalados entre los materiales blandos, así como cuñas de grava, al final de la Perla Alta.

Los materiales descritos corresponden a las eras Pleistocénica final y Holocénica, especialmente los de la cubierta superficial o techo del talud, parecidos a los de las arcillas de Barranco.

Entre la Av. Santa Rosa y la cuadra 23 de la Av. Costanera, se encuentran estratos alternados de arenas limosas SM, arcillas CL de baja a mediana plasticidad, limos ML y arcillas CH. En los contactos, debajo de las arenas SM con otros suelos arcillosos, existen delgados lentes de arenas SP. Desde el punto de vista de sedimentación, estos materiales corresponden a una formación de materiales sedimentarios, a través de canales secundarios.

Existen zonas inestables en los acantilados. En muchos lugares se han producido desmoronamientos y derrumbes debido a las características físicas de los sedimentos, a la circulación de aguas, a las vibraciones del suelo ante la acción de sobrecargas y a la erosión eólica. Se puede mencionar deslizamientos de importancia ubicados en las siguientes zonas:

- a) 200 m. al sur del Colegio Leoncio Prado, con una longitud de 300 a 400 m.
- b) En la Cuadra 24 de la Av. Costanera.
- c) A lo largo de la Av. Costanera, extremo Norte del Puericultorio Pérez Aranibar.
- d) Diversos sectores próximos al litoral de San Isidro y Miraflores.

Por otra parte, los rellenos se extienden desde La Perla hasta la Quebrada de Armendáriz de una manera discontinua, constituyendo otro factor de inestabilidad por estar conformados, en su mayor parte, por materiales de desmonte, basurales, detritus, etc. colocados en forma caótica, sin ningún criterio técnico, tal como se observa al inicio de los acantilados, 100 m. al Norte de la Av. Santa Rosa, en La Perla.

2.8 CARACTERISTICAS GEOTECNICAS DE LA PUNTA.

La descripción geotécnica que se hace en este acápite y en 2.9, debe ser entendida con la ayuda del Plano N°1, donde se ubican todos los estudios de suelos y pozos de agua consultados. El Anexo 1.1 presenta una relación numerada de los estudios, según el Plano N°1, el Anexo 1.2 contiene los perfiles estratigráficos representativos de los sondeos recopilados y el Anexo 1.3 contiene los perfiles de los pozos más significativos.

Como ha sido mostrado en 2.4, la formación geológica de La Punta, difiere en la parte superficial del resto del Callao, debido a que los materiales superiores habrían sido arrastrados por el mar desde los acantilados, cuando el mar tenía una gran fuerza erosiva.

Este hecho ha producido un perfil del suelo conformado superficialmente por un estrato de grava pobremente graduada, seguido de arena densa, de clasificación GP y SP, respectivamente, que tiene un espesor promedio de 12 m. a lo largo de La Punta, varía entre 7.0 m. y 12.0 m. en el área de la Escuela Naval y llega hasta unos 15 m. en Chucuito, según se desprende de los estudios de suelos N°21 (Romaní, 1977), N°1 (Romaní, 1975), N°2 (Carrillo, 1976), N°30 y N°31; y de los registros de pozos revisados, N°2-P, N°3-P y N°62-C. En la Escuela Naval y en Chucuito, existe además una capa de relleno artificial gravoso no mayor de 3 m.

Debajo del estrato principal anterior, existe un estrato conformado por arena fina con lentes de limo y/o arcilla, de clasificación SM/SC. Este estrato está intercalado por un lente de limo arcilloso orgánico del tipo OH y por arcillas de alta plasticidad CH en Chucuito. Este estrato tiene una profundidad promedio de 20 m. a lo largo de La Punta, y alcanza hasta 28 m. en el área de la Escuela Naval, al extremo de la península. La arena limosa es densa y la arena arcillosa tiene una consistencia media.

Finalmente, debajo del estrato anterior, se puede encontrar una grava arenosa densa probablemente perteneciente al cono de deyección del Rímac.

La Fig. 2.9 muestra el perfil estratigráfico del suelo bajo la Escuela Naval, representativo de La Punta.

La capacidad portante del primer estrato puede calificarse como buena, salvo algunas excepciones.

Así, el estudio N° 1, para la cimentación de un edificio de 9 pisos ubicado entre el Malecón Figueredo y el Jr. Sáenz Peña (Romani, 1975), recomienda el uso de cimentación tipo "superficial", con la base de los cimientos ubicada a 1.40 m. bajo la superficie, ya que la napa freática se encuentra a 1.45 m. A esa profundidad, se podrá aplicar un valor de capacidad portante de 1.4 Kg/cm^2 .

En el área que ocupa la Escuela Naval se han llevado a cabo varios estudios de suelos para cimentación de sus edificios. Para el proyectado Bloque C del nuevo Edificio Gran Almirante Grau de Alojamiento de Cadetes, Estudio N° 11, (Romani, 1978), se recomendó utilizar una capacidad admisible de 1.2 Kg/cm^2 para el diseño de las zapatas, debido a que se detectó una bolsonada de arena cercana a la superficie, diferente en constitución física a la grava circundante, para la cual se había recomendado una presión admisible de 2.0 Kg/cm^2 .

Una excepción a los valores de capacidad anteriores es el que se da en un informe del mismo Romaní (1976), para la cimentación del nuevo Edificio de Lavandería y Pañol de Servicios de la Escuela Naval; se recomendó usar una capacidad portante admisible de solamente 0.5 Kg/cm^2 , debido a que los cantos rodados y gravas que predominan en la superficie están envueltos por arena fina limosa saturada, en un estado de compactación natural suelta.

Hacia el Este, cerca de la Playa Cantolao, Maggiolo (1969), recomendó una carga de trabajo de 1.5 Kg/cm^2 para el nuevo Reservoirio Elevado de cimentación anular, sobre materiales constituidos por grava mal gradada, conteniendo limos y arenas, y napa de agua alta.

En Chucuito, el estudio N° 32, para la cimentación del edificio de la Compañía Peruana de Vapores, recomienda cimentar a 3.0 metros de profundidad con una presión admisible de 1.7 kg/cm^2 ; se recomienda utilizar una losa armada. En esta zona, la densidad relativa de los estratos de grava superficial es media, según los ensayos SPT.

El estudio N°2 de Carrillo (1976), para la Dirección de Hidrografía y Navegación de la Marina de Guerra del Perú, que alcanza los 15 m. de profundidad, encuentra para el primer estrato, compuesto siempre por gravas y arenas, compacidades de 31 golpes/pie entre los 3.0 y 8.0 metros; 16 golpes/pie, entre 8 y 10 m.; y 54

golpes/pie entre 10 y 12 m., aumentando considerablemente en un valor de N promedio > 100 golpes/pie a los 15 m.

También en Chucuito, según Maggiolo (1969), para el edificio de viviendas de empleados de la Corporación de Fertilizantes, se dió una carga de trabajo a los 2.0 metros de profundidad, de 0.5 Kg/cm^2 , recomendando la platea de cimentación muy rígida o amarrada y reforzada. El perfil se describe, de arriba a abajo, como: cantos rodados mal gradados y flojos, arenas con limos orgánicos y una serie de estratos de materiales intercalados de materiales flojos, incluyendo arcillas.

En consecuencia, puede establecerse que las áreas descritas constituyen una primera zona con características geotécnicas similares, donde la capacidad portante varía de 1.2 a 2.0 Kg/cm^2 para cimentaciones superficiales, y para profundidades de cimentación de 1.4 a 3.0 m., debajo del relleno superficial y de la napa freática. Es aceptable el uso de plateas reforzadas para edificios de cierta altura (hasta 5 pisos hay experiencia satisfactoria) y de zapatas conectadas para viviendas de poca altura.

Existen excepciones como las que se ha indicado, debido a la presencia de materiales muy sueltos, para las cuales las plateas reforzadas siguen siendo una solución satisfactoria. El uso de pilotes no parece necesario; además, se corre el riesgo de producirse problemas

dinámicos como licuefacciones locales y pérdida de capacidad lateral, Maggiolo (1982).

Los niveles freáticos según se ha visto de los estudios, están en el rango de 1.50 a 3.50 m.

2.9 CARACTERISTICAS GEOTECNICAS DEL CALLAO, LA PERLA Y BELLAVISTA.

La secuencia de un primer estrato de materiales granulares gruesos, como se ha notado en 2.9, aparentemente termina a la altura del Castillo del Real Felipe, siempre avanzando en la descripción hacia el Este, a juzgar por los registros de los pozos N°64-C y 65-C. De allí en adelante, para las zonas del Callao, Bellavista y La Perla, la estratigrafía muestra que las capas superiores están compuestas por materiales blandos tales como arcillas, limos y arenas, con lentes de material orgánico, de diversos espesores y disposición errática, llegando en el caso más extremo a 15 m. de potencia. En general, la profundidad de este depósito va aumentando cerca a la desembocadura actual del río Rímac. Las diferencias en la estratigrafía no son grandes, salvo por la mayor o menor Presencia de alguno de los materiales blandos mencionados.

Así, la zona Sur del Callao, adyacente a la Playa de Mar Brava, presenta suelos con ligero predominio de

arenas debido, seguramente, a la acción del mar que en épocas pasadas depositó este material en las costas.

Esto puede comprobarse por algunos estudios y registros de perforación de pozos efectuados cerca del borde de la playa, (Pozos N°61-C, 63-C y 1-R); así como por el estudio de factibilidad para el circuito de playas de Aramburú Menchaca-CORPEI (1972), resumido en 2.7, el cual muestra que en la Perla Alta el primer estrato está formado principalmente por arenas limosas SM, y arenas arcillosas SC, con intercalaciones de arcillas del tipo CL y CH.

Los estudios de suelos en una franja paralela a la línea de playa presentan las siguientes características:

El estudio para la cimentación de las Oficinas y Nuevos Silos de la Molinera Santa Rosa, el N° 27, de Olcese (1985), encuentra un perfil formado por un estrato superficial de arena arcillosa con desmonte de construcción, de profundidades hasta 1.20 m.; luego se encuentran los suelos naturales compuestos por bolsones de suelo de diverso tipo, predominando en la zona de oficinas, al Norte del estudio, suelos clasificados como: arcilla inorgánica de baja plasticidad, saturada, blanda (CL); arena fina limosa, saturada, densa, con algunas gravillas (SM). En la zona de los silos, en dirección a la playa, se encuentran bolsones de suelos del tipo: grava arcillosa, medianamente densa (GC); arcilla arenosa, ligeramente

gravosa, blanda (SC); arena limosa, medianamente densa (SM); arena arcillosa, muy blanda, orgánica (SM) y arena fina limosa, medianamente densa (SM). Todos estos bolsones se encuentran suprayaciendo a un estrato de grava arenosa arcillosa (GC), detectado con el ensayo de auscultación Cono Tipo Peck. Este estrato se inicia a profundidades que varían entre 1.20 y 6.0 m.

Dentro de la profundidad investigada se detectó la Napa Freática a profundidades variables entre 1.00 y 1.40 m. Para las oficinas, se recomendó emplear un nivel de cimentación de 1.0 m., con presiones admisibles de 0.60 Kg/cm² para zapatas continuas, y 0.72 Kg/cm² para zapatas cuadradas.

En la zona de los silos, la existencia de suelos muy blandos y blandos a profundidades que varían entre 0.3 y 3.5 m. y el nivel freático a 1.10 m. hizo descartar la posibilidad de utilizar cimentaciones poco profundas. Por lo tanto, se recomendó cimentar mediante pilotes de punta apoyados en el depósito de suelos granulares densos ubicados a 8.0 m. de profundidad.

A unos 100 m. al NO del estudio anterior, el estudio N° 36, realizado para el local del Colegio José Olaya, concluye que deberá emplearse una capacidad admisible de 1.2 Kg/cm². El perfil de suelos muestra rellenos con desmonte en la parte superior, hasta 0.85 m.,

seguido de un limo arcilloso de baja plasticidad ML hasta los 5 m., intercalado por un estrato de arena limosa SM.

Siguiendo hacia el Este, en dirección casi paralela a la línea de playa, el pozo N° 61-C, muestra en los primeros 10 m., arcillas y arena fina, seguido de grava en una matriz de arcilla.

El pozo anterior es explotado para abastecer de agua a la Unidad Vecinal Modelo, establecida en el área, y para la cual, el estudio N° 26, realizado por la Junta de Obras Públicas del Callao en 1951, establece que el suelo predominante superficial corresponde a los "humíferos, turbosos y pantanosos", es decir, material de relleno orgánico, con nivel freático superficial en ese entonces. El terreno superficial hasta una profundidad aproximada de 0.90 m. es "marga" (arcilla con caliza, de color gris oscuro, claro o azulado). Después de esta capa, se encuentra otra cuya constitución es una mezcla de arcilla con materia orgánica y presencia de agua de 2 m. de espesor. Luego se encuentra una capa de 3.50 metros de espesor formada por arcilla con arena fina, mezclada con materia orgánica, tipo turba. Por último, se encontró arena con arcilla y cantos rodados, estimándose que a esta profundidad, 8.50 m., ya se encuentra el terreno resistente. El agua del subsuelo en las profundidades inmediatas a la superficie es salobre dada su vecindad al mar.

La presencia de suelo orgánico por esta zona se corrobora con el estudio de Lee (1969), sobre el sismo de 1966, en el cual se señalan zonas cercanas a la Unidad Vecinal Modelo, donde se han producido asentamientos graves por la presencia de turbas, agravados por el sismo.

Hacia el NE, a unos 500 m. del estudio anterior, un estudio para la cimentación del templo de la Iglesia de Jesucristo de los S.U.D., el N°28, realizado por Dongo (1985), presenta un perfil de suelos conformado por arcillas limosas arenosas CL-ML de 3 a 4 m. de profundidad, y arenas medias a finas hasta los 6 u 8 m., profundidad máxima de exploración.

Para la Perla Baja, casi no se cuenta con estudios de mecánica de suelos, excepto la referencia hecha por Maggiolo (1969), según la cual, en la Perla Baja y la parte de Bellavista colindante con ella, debajo de limos arcillosos CL-ML, entre 1.50 y 2.00 metros de profundidad se han encontrado estratos delgados de 0.15 m. a 0.20 m. de turbas disecadas, las que con los riegos de los jardines han producido asientos diferenciales irregulares, por donde no se pusieron vigas de cimentación o de amarre reforzadas.

La Perla Alta, también según Maggiolo (1969), tiene estratificación alternada de limos arenosos SM y limos arcillosos CL-ML, en la parte superior o techo de los acantilados, con las gravas de los barrancos.

Lo anterior se confirma con el estudio N°16 para la cimentación de la Urbanización Altamar, en la Perla Alta, (LAGESA, 1970). De los perfiles de los sondeos efectuados hasta los 5 m., se concluye que los suelos subyacentes que predominan son: limos CL-ML, limos arenosos SM, y arenas limosas SM. En algunos casos, dentro de los estratos descritos anteriormente, se encuentran lentes de arcilla CH, que eventualmente presentan trazas de materia orgánica. No se ha encontrado el nivel freático en ninguna de las perforaciones efectuadas. Se recomendó adoptar una cimentación superficial por cimientos corridos, asignando al suelo una presión admisible no mayor de 1 Kg/cm^2 , a una profundidad no mayor de 1 m.

A pocos metros de la urbanización anterior, el estudio del suelo de cimentación para el Complejo Deportivo Concordia Universal, N° 14, de Meza (1978), para edificaciones de dos plantas, considera aconsejable cimentar a una profundidad de 0.7 a 1.0 m., aplicándosele una carga admisible de 0.70 Kg/cm^2 . El área está constituida por suelos finos, distribuidos en la siguiente forma: de 0.0 a 1.30 m., arcilla de baja plasticidad CL; de 1.30 a 1.60 m., limo arcilloso de baja compresibilidad (CL-ML) muy fino; y de 1.60 a 2.05 m. limo de baja compresibilidad ML. No se ha encontrado nivel freático hasta la profundidad excavada.

La descripción anterior se ha efectuado en dirección aproximadamente Este, casi paralela a los acantilados o línea de playa. Veamos ahora cómo varía el suelo en una franja casi paralela a la bahía donde se asienta el Puerto y las instalaciones navales.

A unos 200 m. del Castillo del Real Felipe, sobre la Av. Sáenz Peña, el estudio N° 34 para un edificio de 11 pisos, del Banco de la Industria de la Construcción, da cuenta de un perfil conformado por limo arenoso ML con cantos rodados hasta los 0.40 m.; luego, hasta los 6.00 m. se encuentra una grava pobremente graduada GP; de 6.0 a 7.6 m. se halla grava limosa, pobremente graduada GP-GM; luego, hasta los 11.0 m., hay estratos de arena fina limosa SP-SM. El estudio recomienda cimentar por medio de pilotes de punta, debido a que la edificación propuesta es un edificio de 11 pisos, dichos pilotes deberán llegar hasta el estrato duro localizado a 11 m. de profundidad. El nivel freático se encontró a 1.7 m.

También el estudio N°35, para un edificio de 7 pisos, recomienda cimentar con pilotes y vigas de cimentación armadas, debido a la presencia del nivel freático entre 1.8 y 2.1 m. de profundidad. Las calicatas realizadas muestran, hasta los 0.80 m., relleno artificial; de 0.80 a 2.40 m., grava arcillosa arenosa con conchuelas GP-GC; y de 2.40 a 3.20 m. un limo orgánico, blando, color negro (OL).

Hacia el NO, el estudio N°3 de LAGESA (1970), realizado para la reconstrucción de la Iglesia Matriz del Callao, deduce de los perfiles estratigráficos obtenidos, que el subsuelo está constituido por material de relleno GP-GM, hasta 3.20 m. de profundidad, reforzando esta afirmación el dato de que antiguamente esta zona correspondía al mar. De 3.20 a 4.0 m., el subsuelo está constituido por materia orgánica, Pt. A partir de los 4.0 m., el material está constituido por canto rodado y cascajo menudo, depósitos originados probablemente por el agua. El nivel freático se ha encontrado a los 3.20 m. La Fig. 2.10 muestra el perfil del subsuelo de esta zona.

Todo lo anterior, hace descartar una cimentación superficial, por los asentamientos considerables que se producirían. Es más conveniente adoptar una cimentación profunda por medio de pilotes por punta, los cuales serían hincados en los suelos gruesos a partir de los 4.00 m.

Siguiendo hacia el NO, el estudio N°33, para los edificios de INFOCAP y la Oficina Principal de ENAPU-PERU indica que el suelo está constituido básicamente por tres estratos: un estrato superior de espesor variable entre 0.80 y 2.00 m. de profundidad, compuesto de rellenos artificiales de gravas, arenas y limos; un estrato intermedio, constituido predominantemente por arcilla limosa CL-ML, medianamente compacta, y por arcilla orgánica de plasticidad media y consistencia muy blanda, que se

extiende hasta profundidades entre 5.0 y 7.0 m., respecto a la superficie del terreno; por último, existe un estrato potente de suelos granulares compuesto en sus primeros 2 m. por arenas, limos y gravillas medianamente densas, seguido de grava muy densa ($N > 50$), la cual se extiende más allá de la profundidad investigada. Aunque no se consigna ninguna recomendación en la recopilación, parece evidente que sería necesario cimentar con pilotes, tratándose de edificios de cierta altura. En el caso de edificaciones bajas, habría que cimentar a más de 2.00 m de profundidad, pasando los rellenos artificiales.

Hacia el Este, el estudio N°37, para el Colegio Alberto Secada, presenta un perfil compuesto por arcilla limosa poco plástica (CL), hasta los 0.50 m., seguido de arena limosa poco plástica (SM) hasta los 2.50 m., intercalada por un suelo turboso Pt de 0.70 m. de espesor. Se recomienda cimentar a no menos de 1.70 m., atravesando el suelo orgánico, y conectar los cimientos por medio de vigas de cimentación. Se empleará una capacidad portante admisible de 1.5 Kg/cm².

Al norte del estudio anterior, nos encontramos ya en el área de los terrenos habilitados para la construcción de las explanadas del Terminal Marítimo del Callao.

JICA (1983), tras recopilar los sondeos realizados por ENAPU en 1956, indica, para la zona cercana a los

silos, que existe un relleno consistente en limo gris y negro con algo de conchuelas hasta aproximadamente 11 m., que no tiene resistencia alguna a la penetración, debajo del cual se encontrarían cantos rodados de grava guesa. Este perfil, ya cerca del muro de contención, está constituido por un relleno de grava gris con algunas conchuelas, hasta unos 11 m., luego del cual aparece el terreno natural compuesto por arena gravosa.

Michelena (1972), en el estudio N° 4, confirma lo anterior, encontrando un perfil generalizado de 4 pozos como el siguiente: arcillas limosas y limos arcillosos CL-ML, interestratificados con gravas medias limpias a profundidades de 8.40 a 10.0 m., luego se tienen suelos friccionantes areno-gravosos de clasificación de campo GP-SP, hasta la profundidad de 20 m. Los suelos finos limo-arcillosos del primer estrato se hacen más preponderantes hacia el mar. De la información anterior, se infiere que la cimentación de los nuevos silos y ampliación de los existentes, será por pilotes apoyados por punta, sobre el estrato gravo-arenoso que se halla entre los 8.4 y 10.2 m.

También Alva (1985) en el estudio N°6, para las Torres de la Faja Transportadora del Terminal Marítimo del Callao, presenta en un sondaje a unos 60 m. de la orilla del mar, una estratigrafía compuesta por 10.50 m. de limo arcilloso orgánico, el cual conformaría un relleno hidráulico, debajo del cual puede encontrarse un estrato de

grava de canto rodado con arena gruesa y fina, pobremente graduada, GP y SP. El mismo estudio indica que a 20 m. del sondaje anterior, en dirección al mar, se encuentran rellenos de grava con arena y suelo fino, desde la superficie hasta 7.2 m., máxima profundidad del sondaje. Este relleno habría sido colocado como parte del muro de contención para protección de los pavimentos del puerto.

Ya en el mar, en un estudio para la construcción del amarradero 10 A, **el N°20** (Carrillo,1972), un corte perpendicular a la línea de playa muestra, a partir de los 6 m. de profundidad, un estrato de limo orgánico color oscuro, mezclado con conchuela y escamas (fango), de 4 m. de espesor, luego aparece un estrato de arena pobremente graduada SP de fina a gruesa, mezclada con gravilla, de unos 5 m. de potencia, en donde se presenta un lente de arcilla de alta plasticidad CH. Finalmente, existe un estrato de arena y piedra grande mezclado con arena.

JICA en 1983 presenta los sondajes realizados por ENAPU en 1956, para la construcción de los muelles, los que se indican en el Plano N° 1, y estos muestran que el fondo marino está compuesto principalmente por limo color negro (Black Mud) en sus primeros metros.

Ya fuera del área del Terminal Marítimo, nos encontramos con el estudio **N° 29** del Laboratorio de Mecánica de Suelos de la UNI (1969), el cual muestra un

perfil compuesto por arcillas inorgánicas CL, intercaladas por arenas limosas SM y por arcilla orgánica de alta plasticidad OH, hasta los 13 m. de profundidad; luego aparece una grava pobremente graduada GP.

Sin embargo, el perfil anterior es muy diferente a aquel encontrado muy cerca por Michelena (1971), estudio N°8, para los Molinos Nicolini, en el cual se indica la presencia de estratos alternos de gravas arenosas y arenas gravosas, hasta los 15 metros.

En el mismo lugar, Michelena (1978), estudio N°9 encuentra un relleno artificial hasta 1.85 m. máximo, de grava arcillosa, desmonte, etc., seguido de gravas arcillosas GC. Se recomendó adoptar una profundidad de cimentación de 2.0 a 2.3 m., pasando los rellenos, con una presión admisible de cimentación de 2.0 Kg/cm².

También Alva (1988), estudio N°10, determina, en base a calicatas y sondajes con el cono de Peck, un perfil conformado por grava de canto rodado con escasa matriz, en estado suelto. La grava está contaminada con conchuelas y tiene un tamaño máximo de 4". La grava aumenta de densidad con la profundidad, llegando a tener más de 50 golpes/pie de penetración a los 2.50 m. de profundidad. El tamaño máximo de las gravas aumenta hasta las 5" o 6" con la profundidad. No se encontró nivel freático, pero se estima en 3 m. por estudios anteriores. Se recomendó una

profundidad de cimentación de 2.50 m., con un tipo de cimentación convencional, para la cual se recomienda utilizar un valor de capacidad admisible de carga de 2 Kg/cm².

De los tres últimos estudios puede inferirse que nos encontramos ante una bolsonada de materiales gruesos, pues los sondajes más cercanos son sustantivamente distintos en la estratigrafía superficial.

De los Molinos Callao, siguiendo una dirección aproximadamente SE paralela a la Av. Guardia Chalaca, nos encontramos entre la Av. Argentina y la Av. Guardia Chalaca, con un conjunto de sondajes realizados por la JOP del Callao (1950), para la Unidad Vecinal Santa Marina, estudio N° 26, según el cual, los materiales predominantes hasta unos 10 m., profundidad máxima de cimentación, son: rellenos arcillosos con materia orgánica hasta aproximadamente 1m., arcillas intercaladas con algunos lentes de arena fina hasta los 7.0 m, y a partir de los 7.0 m., arena y cascajo chico. El manto acuífero se encontró en el rango de 1.40 a 2.50 m. de profundidad. Las pruebas de carga para determinar la resistencia de los suelos dan un valor de 0.5 Kg/cm². Puesto que el tipo de construcción previsto para esta zona eran edificios de 4 pisos, se recomendó cimentar por medio de zapatas interconectadas. En todo caso se recomendó hincar pilotes a una profundidad no menor de 12 m.

Al lado opuesto de la Unidad Vecinal mencionada arriba, sobre la Av. Guardia Chalaca, el estudio N° 42 encuentra una capa superior de relleno artificial de limo arcilloso, de 1.30 m. de espesor, debajo de esta capa y hasta los 7.50 m. se encuentran estratos muy delgados de arcilla medianamente compacta CL, limo no plástico ML y arenas limosas bastante densas SM. A partir de los 7.50 m. se encontró rechazo en las auscultaciones, correspondiendo el depósito de grava arenosa densa al cono de deyección del Rímac. El nivel freático se encontró a los 5.70 m. aproximadamente. Se recomendó cimentar con solados o zapatas apoyados a 3.0 m de profundidad y/o pilotes de punta. La capacidad de carga que puede adoptarse es de 0.8 Kg/cm² a los 3 m. de profundidad.

Suguiendo hacia el SE paralelamente a la Av. Guardia Chalaca, el estudio N°13 de Montero Pinillos (1967), para un edificio de 4 pisos identifica, hasta los 2.70 metros, estratos conformados por tierra de cultivo, limo de baja plasticidad ML, arcilla CL, turba Pt de espesor 0.60 m. y nuevamente ML. Se recomendó, por lo tanto, cimentar bajo el estrato de turba, a partir de los 2.30 m., con una carga admisible de 0.75 Kg/cm².

A unos 100 m. del estudio anterior, el estudio N°24 de Romani (1977), hasta una profundidad máxima de 5 metros encuentra arcilla limosa de plasticidad media CL-ML, intercalada por 0.70 m. de arena limosa SM. Se recomendó

usar zapatas aisladas unidas con vigas, con un valor de carga admisible de 1.5 Kg/cm², a una profundidad mínima de 1.0 m. por debajo del nivel del terreno natural.

En la intersección entre las Avs. Guardia Chalaça y Saénz Peña, el Laboratorio de Mecánica de Suelos de la UNI (1967), estudio N°19, encuentra suelos blandos hasta unos 9 m., compuesto por limos de baja plasticidad ML, arcilla orgánica de alta plasticidad OH y arcillas CH y CL. Los ensayos SPT dan valores entre 2 y 22 golpes/pie hasta los 7 m., y más de 50 golpes a partir de los 7m.

Siempre hacia el SE, por la Av. Guardia Chalaca, el estudio N°15 de Carrillo (1972), estima una presión admisible del suelo no mayor de 1.2 Kg/cm² para la Cripta Israelita del Cementerio Británico, en Bellavista. El perfil, hasta los 4 m., está compuesto por arcillas CL y ML, y debajo arenas finas SP.

A unos 100 m. al SE del estudio anterior, el estudio N°38 para el Hospital San Juan de Dios, recomienda adoptar una presión admisible máxima de 1.5 Kg/cm² para cimientos conectados. El suelo está compuesto por una arena limosa SM hasta los 0.75 m., un estrato de limo poco plástico ML hasta los 3.85 m. y limo de buena plasticidad MH hasta los 5.0 m.

Hacia el Sur, el estudio N°17 de Rojo (1987), muestra el predominio de arcillas CL, limos ML y algunas intercalaciones de arena limosa SM, hasta los 8.0 m. Se recomendó, para un cimiento continuo, una capacidad de 1.25 Kg/cm² y para una losa de cimentación una capacidad de 1.00 Kg/cm². Los ensayos SPT realizados, varían de 7 a 16 golpes/pie hasta los 4.0 m, y de 16 a 29 golpes/pie hasta los 8.0 m.

El estudio N°39 para el Centro Comercial La Perla, en el Ovalo Saloom, encuentra básicamente, debajo de un material de relleno de unos 0.50 m., un estrato de arcilla CL hasta aproximadamente los 6.00 m., debajo del cual se puede hallar grava GP. Se recomienda una capacidad de carga máxima de 1.0 Kg/cm².

Al norte del estudio anterior, el estudio N°40 para el Complejo Deportivo Yahuar Huaca, muestra un perfil típico como el siguiente: hasta 1.50 m., limo ML; hasta 4.50 m., arcilla arenosa CL; hasta los 6.50 m. un lente de arcilla CH y finalmente la grava GP hasta los 8 m. La Fig. 2.11 ilustra el perfil obtenido por este estudio.

A unos 200 m. del estudio que antecede, la UNI (1974), realizó un intenso trabajo de exploración en el terreno destinado a la construcción de los edificios de la Universidad Técnica del Callao, en Bellavista. La estratigrafía generalizada puede ser descrita como sigue:

- "Suelos intermedios", donde no se observan estratos definidos, salvo la capa superficial que es predominantemente arcillosa del tipo CL y de espesor variable entre 0.80 y 2.60 m., debajo del cual, se advierte cierta tendencia de intercalarse limos ML, limos arenosos SM, arcillas del tipo CL y lentes de arcilla de alta plasticidad CH, y arcillas orgánicas.

- "Suelos hormigón", que son del tipo conglomerado de Lima, a profundidades entre 2.50 y 10.00 m de profundidad.

No se encontró nivel freático hasta los 13.5 m. Para las construcciones proyectadas, de 2 y 3 pisos, se recomendó que la cimentación sea del tipo superficial, a 1.50 m. como profundidad mínima de cimentación, con una presión admisible de 1.00 Kg/cm².

El estudio N° 41 para la cimentación del Reservorio Elevado de la Urbanización Palomino, muestra que el suelo es muy heterogéneo hasta aproximadamente 5 m., conformado por estratos muy delgados de arena, limo o arcilla, que se alternan en forma errática. A partir de los 5 m. de profundidad se encuentra la grava arenosa típica del cono de deyección del río Rímac. Se determinó una capacidad de carga admisible máxima de 2.00 Kg/cm². No se encontró napa freática en las calicatas.

En los dos últimos estudios, ya puede notarse que el estrato firme de grava arenosa perteneciente al cono de deyección del Rímac, se encuentra a menor profundidad. Además, a partir del estudio N°15, no se hace mención a suelos orgánicos, salvo algunos lentes en la Universidad del Callao, y tampoco hay problemas de hundimiento de pistas, lo cual parece indicar que este tipo de problema está asociado con la presencia de material orgánico. Esta distinción también nos permite encontrar una nueva delimitación geotécnica.

Ahora, intentemos una descripción de la geotecnia en una dirección casi paralela al Río Rímac, empezando por un estudio situado muy cerca de la desembocadura actual del Rímac. Este estudio, el N° 25, efectuado por Michelena (1987), para la cimentación de la Escuela de Submarinos en la Base Naval del Callao, presenta un perfil del suelo compuesto por una capa superior de relleno de gravas y arenas, hasta 1 m. de profundidad; bajo esta capa, se encuentran varios estratos de arena fina a media, con contenido variable de limo SM, que llega como máximo hasta los 6.40 m.; luego existe un estrato de limo arenoso, no plástico SM, medianamente compacto a compacto, que llega hasta profundidades entre 7.00 y 7.50 m. A continuación el perfil del suelo se vuelve sumamente heterogéneo y consiste de estratos de diversos espesores y de disposición errática, compuestos por arcillas, limos arcillosos, limos arenosos, arenas y suelos orgánicos. Estos suelos son

predominantemente cohesivos, tienen consistencia variable entre blanda y medianamente compacta y llegan hasta una profundidad máxima de 15.40 m. Finalmente, a partir de la profundidad anterior, se encuentra un depósito de grava arenosa y/o arena gravosa, densa a muy densa. La napa freática se detectó a 1 m. bajo la superficie.

El proyecto preveía elevar la cota del terreno 1 m. mediante la colocación de un relleno. Entre las posibles soluciones para la cimentación se sugiere utilizar pilotes de punta, de 15 m. de longitud aproximadamente, o zapatas conectadas, habiendo densificado previamente el estrato superior de arenas por medio de pilotes de grava o de arena. Después de compactado el estrato de arena, la profundidad de cimentación sería de 1 m. y la presión admisible de 1.5 Kg/cm².

Hacia el SE el estudio N° 22 de Alva (1989), para un terreno de Castrol del Perú, muestra que todo el subsuelo investigado está constituido por materiales finos. Estos son: arcilla limosa CL o limo arenoso ML hasta los 4.0 m. Por debajo de este material existe arcilla de alta plasticidad CH hasta los 7.0 m, que es donde empieza a aparecer el cascajo de Lima. No se determinó el nivel freático hasta las profundidades investigadas. En algunas zonas existen caliches de 1.5 a 2.5 metros. El valor promedio de N es igual a 15 para la profundidad activa.

Considerando edificaciones de poca carga, se recomendó cimentar como mínimo a una profundidad de 1.50 m. por debajo de la arcilla orgánica superficial, con zapatas armadas conectadas entre sí por vigas de cimentación. Para estructuras de más de dos pisos, se recomendó el empleo de plateas de cimentación, y para estructuras de más de 4 pisos o de carga elevada, el empleo de pilotes.

La capacidad portante del terreno se ha determinado en base a la resistencia no drenada del subsuelo y a la consideración de edificaciones de un solo piso con zapatas corridas, como 1.2 Kg/cm².

Siguiendo en dirección casi paralela al Rímac, el estudio N°12 de Alva (1987), para el Molino y Silo de Granos de la Fábrica Nicovita, establece que el perfil estratigráfico encontrado presenta una capa superficial de relleno limo-arenoso, de casi 1 m. de espesor; luego, hasta los 7 m. existen materiales arcillosos limosos; a partir de los 7 m. existe una capa de material arenoso. La grava aparece de 10 a 11.5 metros. No existe nivel freático.

Los ensayos de SPT arrojan valores de N que aumentan con la profundidad. A los 4 m. existen valores tan bajos como 16, aumentando hasta 25 a los 7.0 m. A partir de dicha profundidad los valores de N aumentan hasta ser mayores que 50.

El cálculo de la capacidad admisible de carga del Molino se realizó para una cimentación rectangular de 14 x 19 metros, con un nivel propuesto de -7.0 m. Se determinó una capacidad admisible de 3.3 Kg/cm², con un asentamiento $\rho = 5.0$ cm. Para los silos se ha determinado que la cimentación debe profundizarse hasta los 10 m. de profundidad, pues el asentamiento de $\rho = 17.75$ cm. es intolerable.

Por último, en el extremo Este de la zona en estudio, en la intersección entre las Avs. Faucett y Argentina, el estudio N°23, de LAGESA (1982), presenta un perfil conformado por dos tipos característicos de suelos, ambos de grano grueso. De 0 a 5 m. arenas limosas SM, y debajo de 5.0 metros gravas arenosas. La capa superior es poco densa. Las capacidades de carga admisible recomendadas a partir de los 3.50 m. son: para un ancho de zapata de 1.50 a 2.00 m., 1.5 Kg/cm²; y para un ancho de zapata de 2.10 a 2.70 m., 2.0 Kg/cm².

Propiedades Elásticas de los Suelos de Lima y el Callao.

Se han realizado trabajos en el análisis y determinación de algunas de las propiedades elásticas de los suelos subyacentes a la ciudad de Lima y alrededores, Carrillo (1969). Estos han consistido en la realización de 99 ensayos de placa realizados en diversas zonas de la ciudad, Fig.2.12. Los respectivos parámetros estáticos de deformación en la mayoría de los casos han sido tomados como un módulo tangente inicial, Fig.2.13, obteniéndose de primera intención el módulo de reacción del terreno (k) como un factor de proporcionalidad, para después obtener el respectivo Módulo de Elasticidad Estático, de acuerdo con las teorías establecidas para puntos en la frontera de la placa cargada, en la suposición de que las deformaciones son pequeñas. La siguiente expresión relaciona los datos de prueba con las constantes de comportamiento:

$$E = (2/\pi).(1 - \gamma^2)kD$$

Donde: γ = Relación de Poisson.

k = Módulo de reacción del terreno o
coeficiente de proporcionalidad.

D = Diámetro de la placa cargada.

Los datos obtenidos de los ensayos realizados han permitido establecer valores promedio del Módulo de Elasticidad Estático, los mismos que se muestran en la

Tabla 2.2, considerándose que los realizados en arcillas, principalmente en el Puerto del Callao (Fig.2.14.a), y en algunas áreas de La Molina, Puente Piedra y Surco, presentan inconsistencias, ya que las condiciones de humedad han sido muy particulares, y las experiencias realizadas por numerosos autores indican que el Módulo de Elasticidad para arcillas depende principalmente de sus características de humedad y propiedades físico químicas. En el caso de los suelos compuestos por gravas mezcladas con arenas (Fig.2.14.d), muy abundante en el centro de la ciudad, y de las arenas limpias (Fig.2.14.c) que se encuentran generalmente en la zona de borde del cono deyectivo del río Rímac, en algunas partes del Callao y zonas pobladas recientes del Sur de la ciudad, los resultados son más satisfactorios debido a la uniformidad de los depósitos de suelos granulares y a los resultados experimentales que indican que en arenas puras que no contienen limo o arcilla en mezcla, el módulo de elasticidad es estable en sus características y no cambia con el contenido de humedad, granulometría y porosidad.

TABLA 2.2

VALORES PROMEDIO DEL MODULO DE ELASTICIDAD ESTATICO EN LOS
SUELOS DE LIMA Y ALREDEDORES. Carrillo (1969)

Descripción del Suelo	E. (Kg/cm ²)
1.- Arcillas:	
Arcilla plástica, poco resistente	45 a 92
Arcilla plástica, consistente	101 a 169
Arcilla seca, semi-sólida	200 a 214
2.- Suelos Intermedios:	
Limos de baja compresibilidad	90 a 150
Limos arenosos	153 a 180
Limos arcillosos	184 a 250
3.- Arenas:	
Arena poco densa	95 a 192
Arena medianamente densa	204 a 397
Arena densa y seca	400 a 471
4.- Gravas:	
Arenas mezcladas con gravas	326 a 570
Gravas empacadas en arenas, limos o arcillas	463 a 733
Gravas compactas (Conglomerado)	696 a 1692

2.10 ZONIFICACION GEOTECNICA DE LA PUNTA Y EL CALLAO.

De la descripción geotécnica realizada en los acápites 2.8 y 2.9, se han encontrado zonas con características similares, en relación a la estratigrafía, las propiedades mecánicas de los suelos y las condiciones de cimentación existentes. Estas zonas se pueden apreciar en el Plano N°3 y pueden definirse como sigue:

ZONA IV: Esta zona comprende toda el área de La Punta y Chucuito. La estratigrafía generalizada está conformada por: un relleno gravoso artificial no mayor de 3 m., suelto y a veces mezclado con limos, debajo del cual se encuentra un estrato de suelos granulares gruesos conformado por gravas y arenas de graduación pobre, GP y SP, que tiene un espesor promedio de 12 m. a lo largo de La Punta. A continuación, existe un estrato compuesto por arena fina con lentes de limo y/o arcilla, de clasificación SM/SC. En la zona de Chucuito, este estrato es prácticamente reemplazado por un lente de suelo orgánico. Dicho estrato tiene una profundidad promedio de 20 m. a lo largo de La Punta, y llega a tener hasta 28 m. en el área de la Escuela Naval. Finalmente, debajo del estrato anterior se halla la grava arenosa densa que pertenece al cono de deyección del Rímac.

Para el primer estrato, la capacidad portante varía de 1.2 a 2.0 Kg/cm², a profundidades de cimentación de 1.4 a 3.0 m, es decir, por debajo del relleno superficial gravoso y de la napa freática, que oscila entre 1.50 a 3.50 m. Para edificaciones de poca altura, es recomendable el empleo de zapatas conectadas, y para edificaciones de cierta altura, el uso de plateas reforzadas. En el caso de existir bolsones de materiales muy sueltos, arenosos o limosos, entremezclados con la grava, las plateas reforzadas siguen teniendo un buen comportamiento. El uso de pilotes no parece necesario.

ZONA III: Esta zona estaría comprendida por una franja que sigue la línea de playa sobre la que se ha establecido el Puerto del Callao. Se trata de un área donde los suelos tienen una disposición errática, debido a que habrían sido colocados artificialmente como rellenos para ganar tierras al mar. Estos rellenos son del tipo gravoso GP y gravoso limoso GC en las cercanías del Puerto, y en el Puerto mismo aparecen intercalaciones de arcillas orgánicas limosas CL-ML. La profundidad de estos rellenos varía de 4 a 11 m., profundidad a la cual puede hallarse el estrato resistente de canto rodado con arena fina. Esto obliga al uso de pilotes de punta, que es la forma de cimentación que agrupa a estos suelos, ya que los rellenos, especialmente los limosos orgánicos del Puerto, tienen resistencia nula a la penetración.

Por su naturaleza indeterminada, es necesario realizar estudios específicos para cualquier construcción en esta zona. El nivel freático se encuentra entre 1.7 y 3.2 m.

ZONA II: Esta zona incluye las zonas bajas del Callao, Bellavista y La Perla, vale decir, aquellas áreas con cotas entre 2 y 15 m. El perfil estratigráfico que caracteriza a esta zona está formado por suelos blandos que alcanzan en promedio una potencia de 10 m., llegando hasta 15 m. cerca de la desembocadura del Rímac, hacia el Norte.

Los materiales que conforman los estratos blandos son preferentemente suelos limo arcillosos de baja plasticidad CL-ML, que suprayacen arenas limosas SM, y presentan intercalaciones de turbas Pt y eventualmente suelos plásticos CH y OH, hasta encontrarse con la grava arenosa del cono deyectivo del Rímac. En el Sur, cerca a Mar Brava, hay un ligero predominio de suelos arenosos SM, en tanto que al Norte se presentan más suelos limosos y arcillosos. Los suelos orgánicos, cuando son superficiales y están saturados, producen asentamientos en las edificaciones y hundimientos en las pistas. Esto es muy común por la presencia de niveles freáticos entre 1.0 y 2.5 m.

Las condiciones de cimentación hacen recomendable el empleo de zapatas armadas conectadas entre sí por vigas de cimentación, para edificaciones de poca carga; plateas de cimentación para estructuras de más de 2 pisos y pilotes para estructuras pesadas o de más de 4 pisos. Para las cimentaciones superficiales, las profundidades de cimentación varían de 1.0 a 3.0 m., con capacidades de carga generalmente menor de 1 Kg/cm^2 .

Se ha detectado una bolsonada de grava en las inmediaciones del Molino Callao, donde la capacidad portante excepcionalmente llega a ser de 2 Kg/cm^2 .

ZONA I: Esta zona presenta una estratigrafía similar a la de la Zona II, con la diferencia que casi desaparecen los suelos orgánicos, pues no se han observado asentamientos ni hundimientos de pistas. Otra característica es que la base de suelos gravosos arenosos del conglomerado típico de Lima, se halla a una profundidad menor; hacia el Sur, cerca de los acantilados, todavía está a unos 10 m., pero hacia el Noreste llega a tener sólo 5 m.

La estratigrafía en esta zona está conformada por limos arenosos SM y limos arcillosos CL-ML alternados, suprayacendo las gravas del conglomerado de Lima. Hacia la Av. Faucett predominan los materiales arenosos.

Las capacidades de carga recomendadas están entre 1.0 y 2.0 Kg/cm² para cimentaciones superficiales, tipo zapatas conectadas. El nivel freático está profundo, en un caso se encontró a 13 m.

En la parte Sur, en los acantilados, esta zona comprende algunos sectores con problemas de deslizamientos.

2.9 CONCLUSIONES.

Las principales conclusiones que se derivan de este capítulo son:

a) La geología local no presenta mayores variaciones, pues toda el área estudiada está comprendida en los límites del cono deyectivo Cuaternario del Río Rímac, compuesto por intercalaciones de gravas, arenas, limos y arcillas dispuestos erráticamente.

b) La formación de la península de La Punta tiene su origen en la acción erosiva del mar, que ha ido arrancando material granular de los acantilados y los ha ido arrastrando hacia el Norte, a una zona protegida de las corrientes marinas por la Isla San Lorenzo.

c) El manto aluvial del cono deyectivo es muy profundo, llegando a tener cerca de 400 m. en el Callao.

e) La evolución del cauce del Rímac ha sido de SO a NO, dejando en el camino terrazas aluviales cada cual con materiales más finos.

f) Las arcillas que forman la cubierta superficial del Callao son poco consolidadas. Además, hay presencia de turbas originadas por la descomposición de algas en ambientes palustres.

g) La hidrogeología demuestra que la estructura de los sedimentos permite almacenar agua en varios niveles superiores a las rocas sedimentarias e intrusivas, que son impermeables al escurrimiento.

h) Geotécnicamente se han distinguido 4 zonas. La Zona IV resultaría la más desfavorable, no por la capacidad estática del primer estrato, de unos 12 m., que es de regular a buena, sino por la profundidad del estrato blando arenoso arcilloso que subyace la grava, de hasta 28 m., lo cual determina un suelo muy flexible desde el punto de vista dinámico, como se verá más adelante.

i) La Zona III es prácticamente artificial, compuesta de rellenos, y se hace imprescindible cimentar por pilotes.

j) La Zona II presenta problemas de asentamientos por la presencia de suelo orgánico y alto nivel freático, lo que le confiere baja capacidad portante.

k) La Zona I se constituye como la mejor zona, con buena capacidad portante y nivel freático profundo.

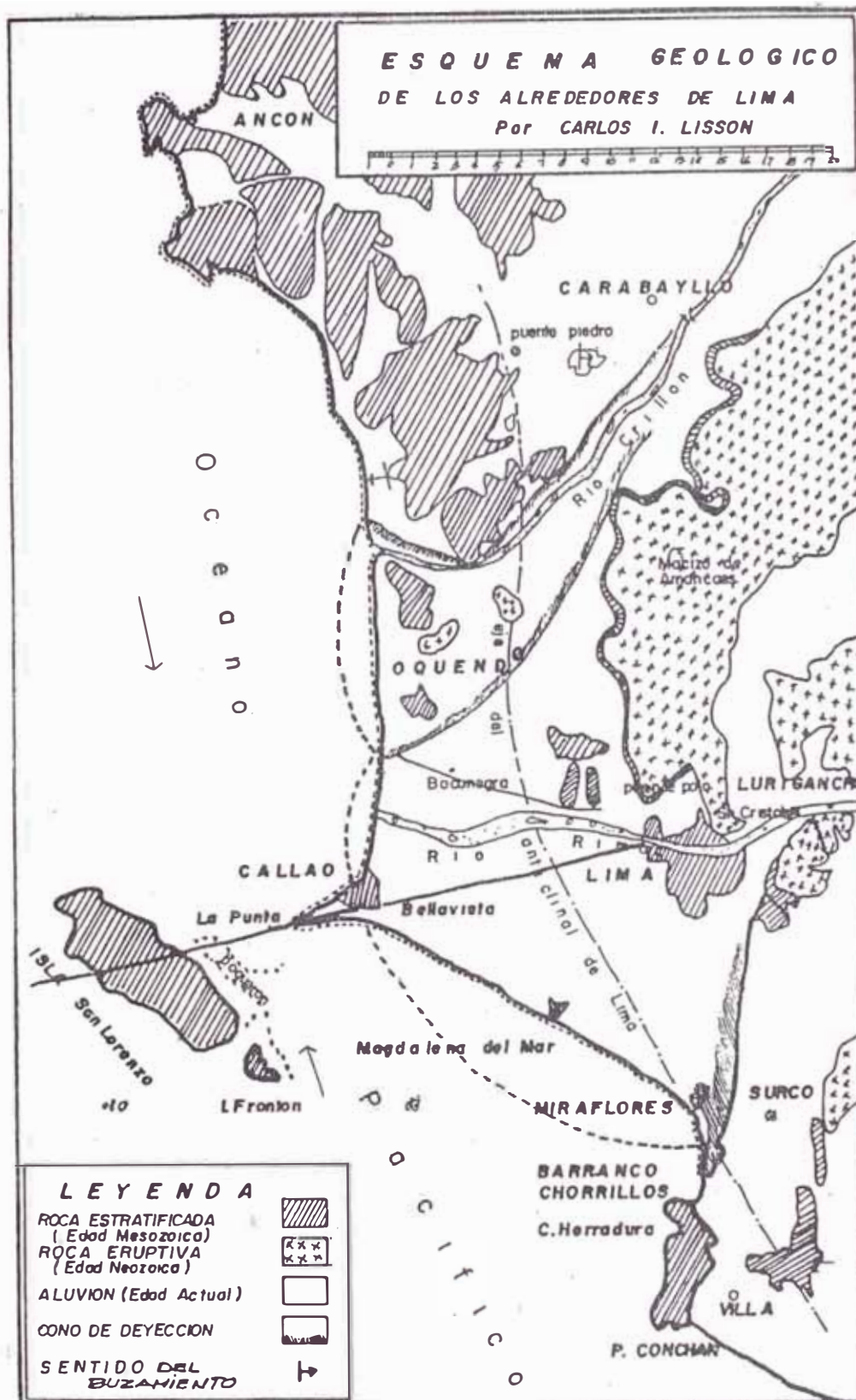


FIG. 2.2 ESQUEMA GEOLOGICO DE LOS ALREDEDORES DE LIMA SEGUN CARLOS I. LISSON
Ref. (Maggiolo, 1969)

PLANO GEOLOGICO DE LIMA

(Según Martínez y col. 1975)

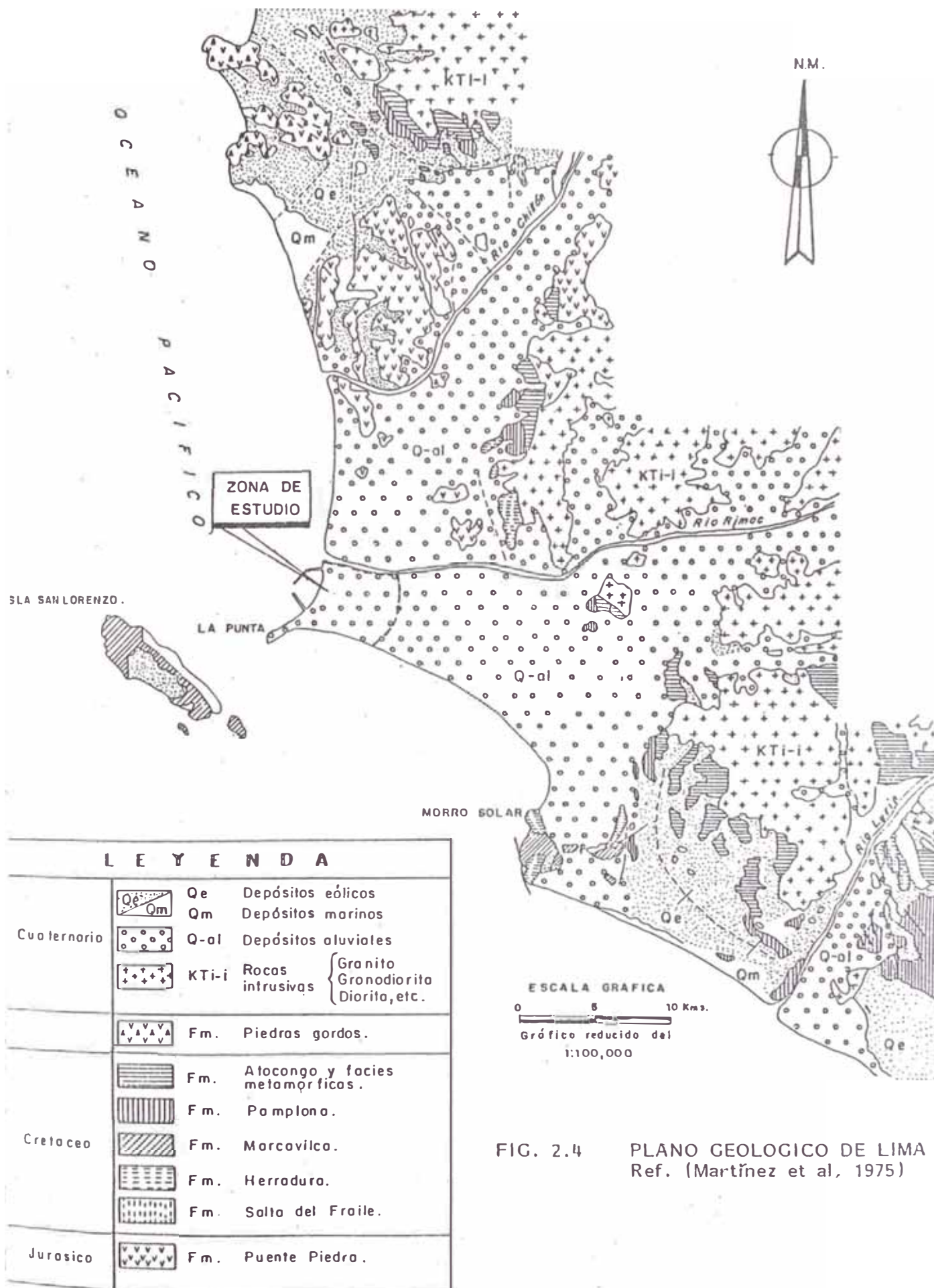


FIG. 2.4 PLANO GEOLOGICO DE LIMA
Ref. (Martínez et al, 1975)

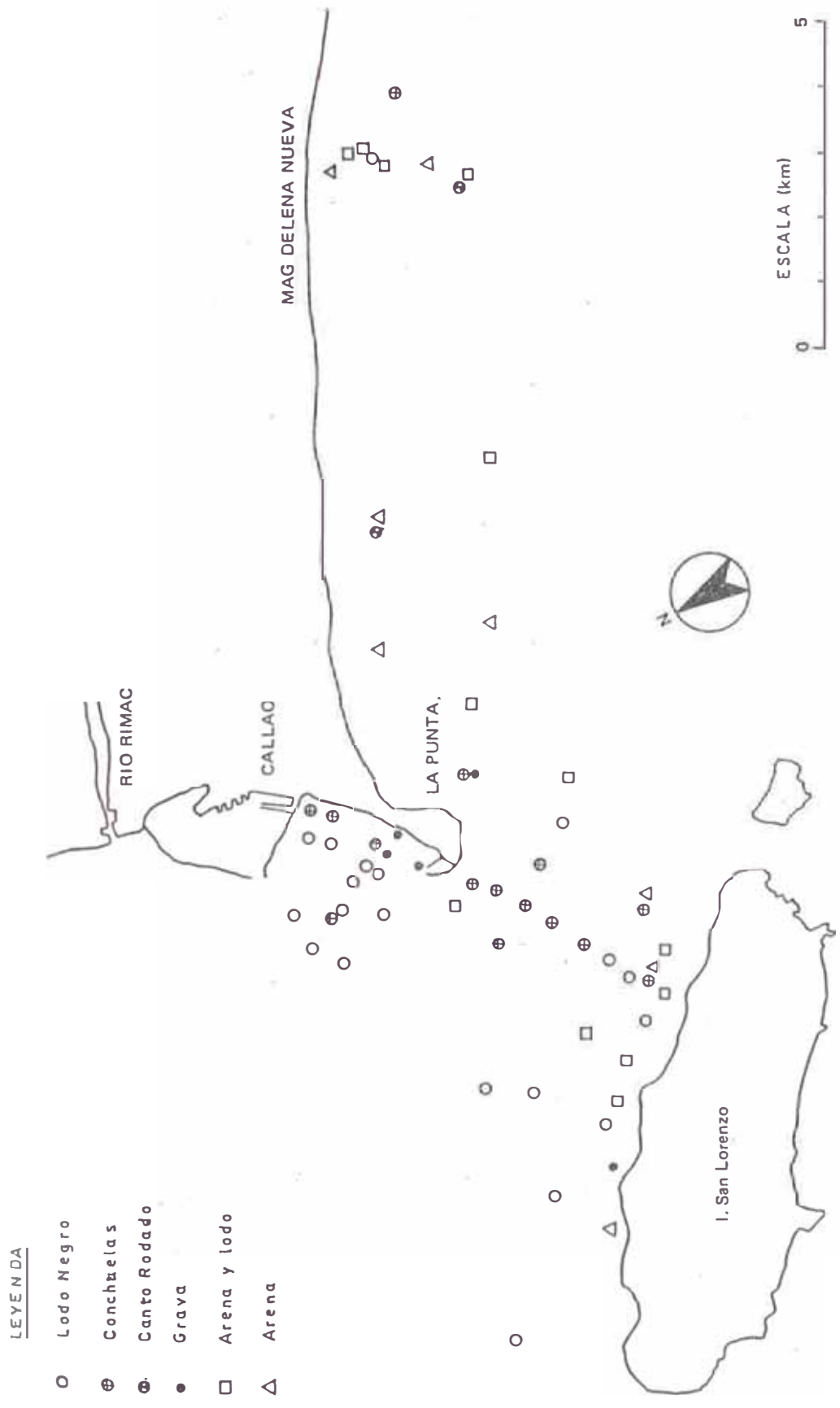


FIG. 2.5 DISTRIBUCION DE LOS SEDIMENTOS MARINOS
ENTRE EL CALLAO Y LA ISLA SAN LORENZO
Ref. (JICA, 1983)

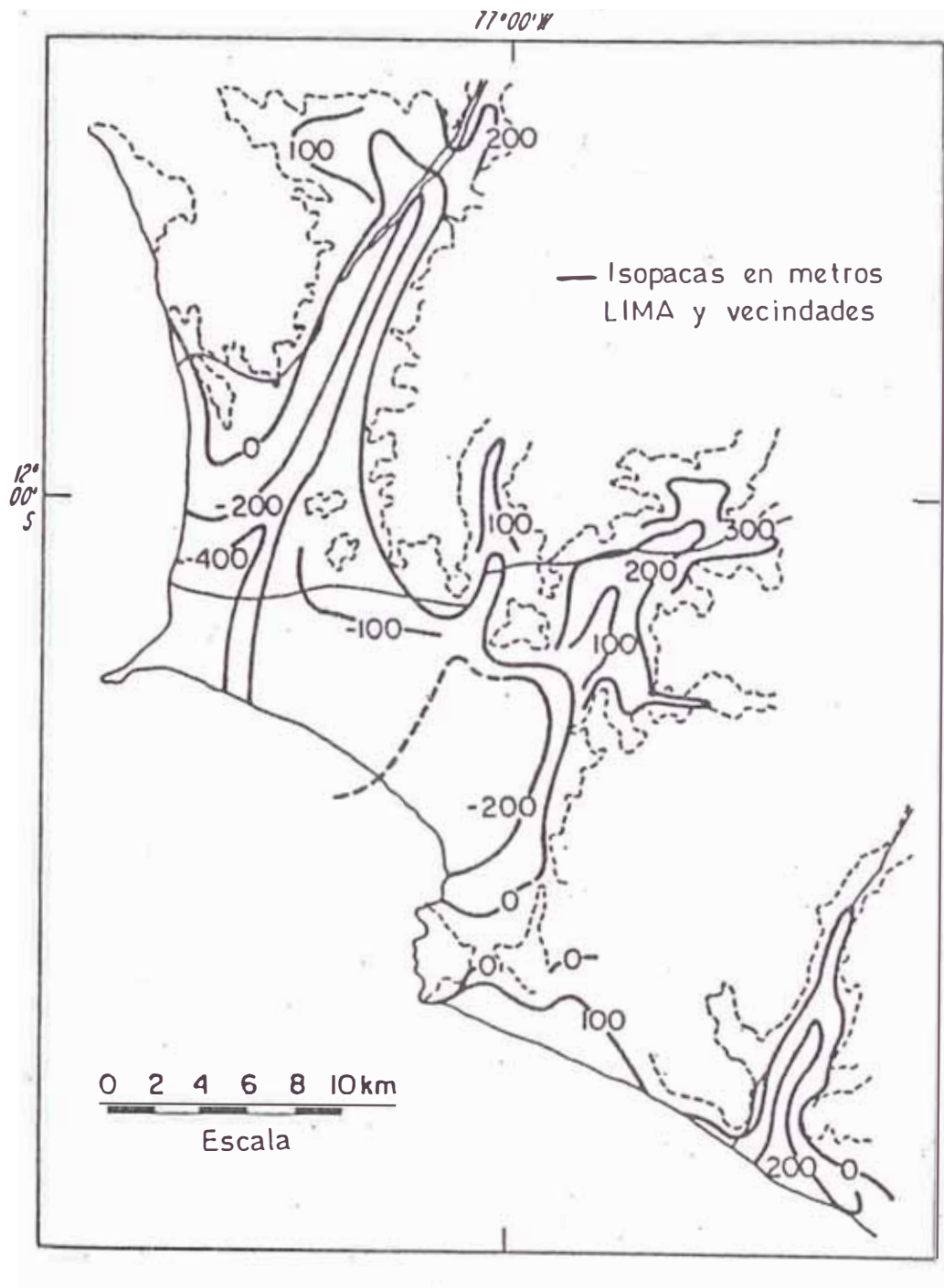


FIG. 2.6 CURVAS DE NIVEL DE LA BASE DE LOS ALUVIONES DEL CONO DEYECTIVO DEL RIMAC
Ref. (Aguirre y Vançon, 1971)

MAPA GEOMORFOLOGICO DE LIMA (Según A. Martínez Vargas y col 1975)

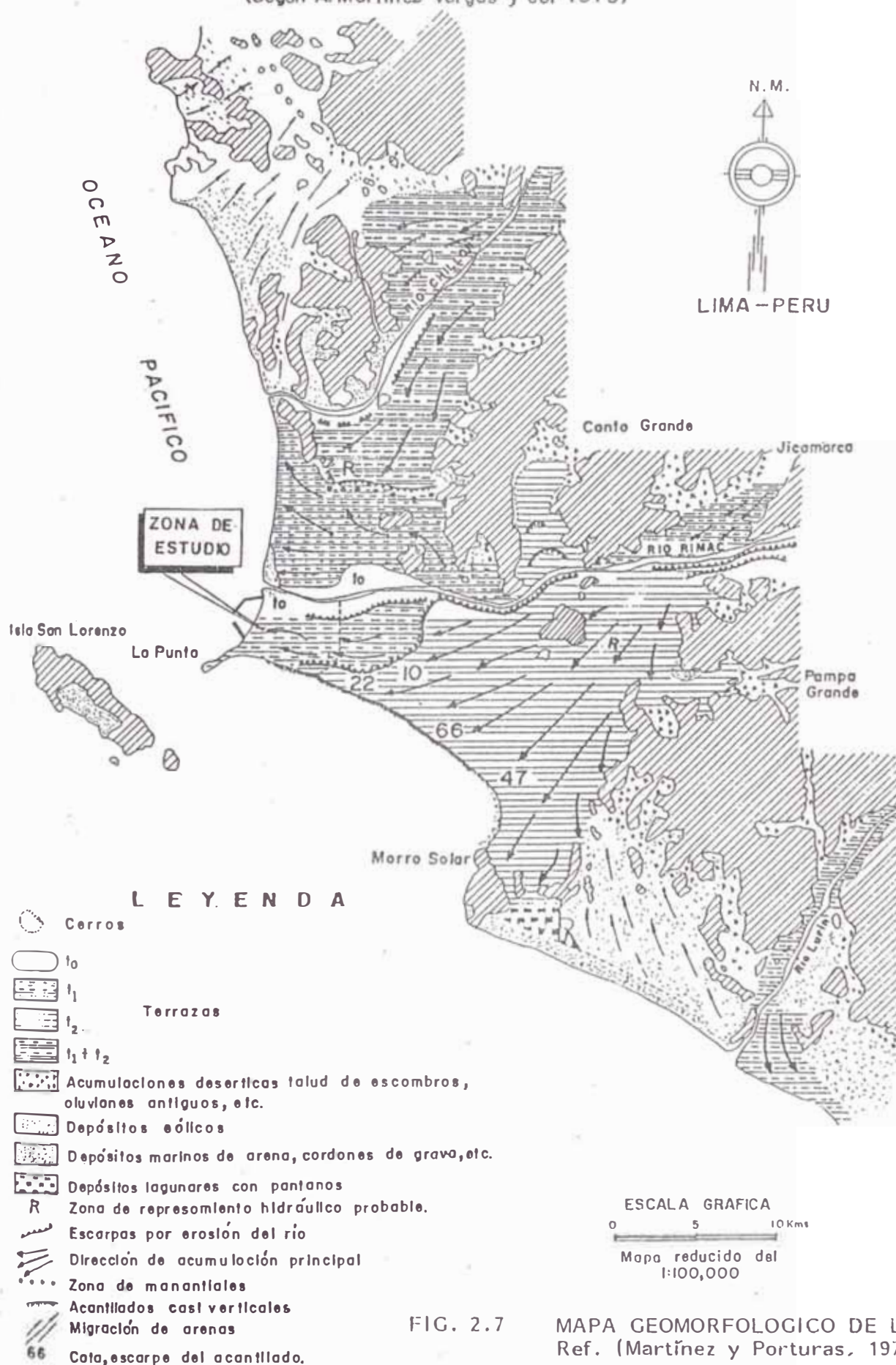


FIG. 2.7

MAPA GEOMORFOLOGICO DE LIMA
Ref. (Martínez y Porturas, 1975)

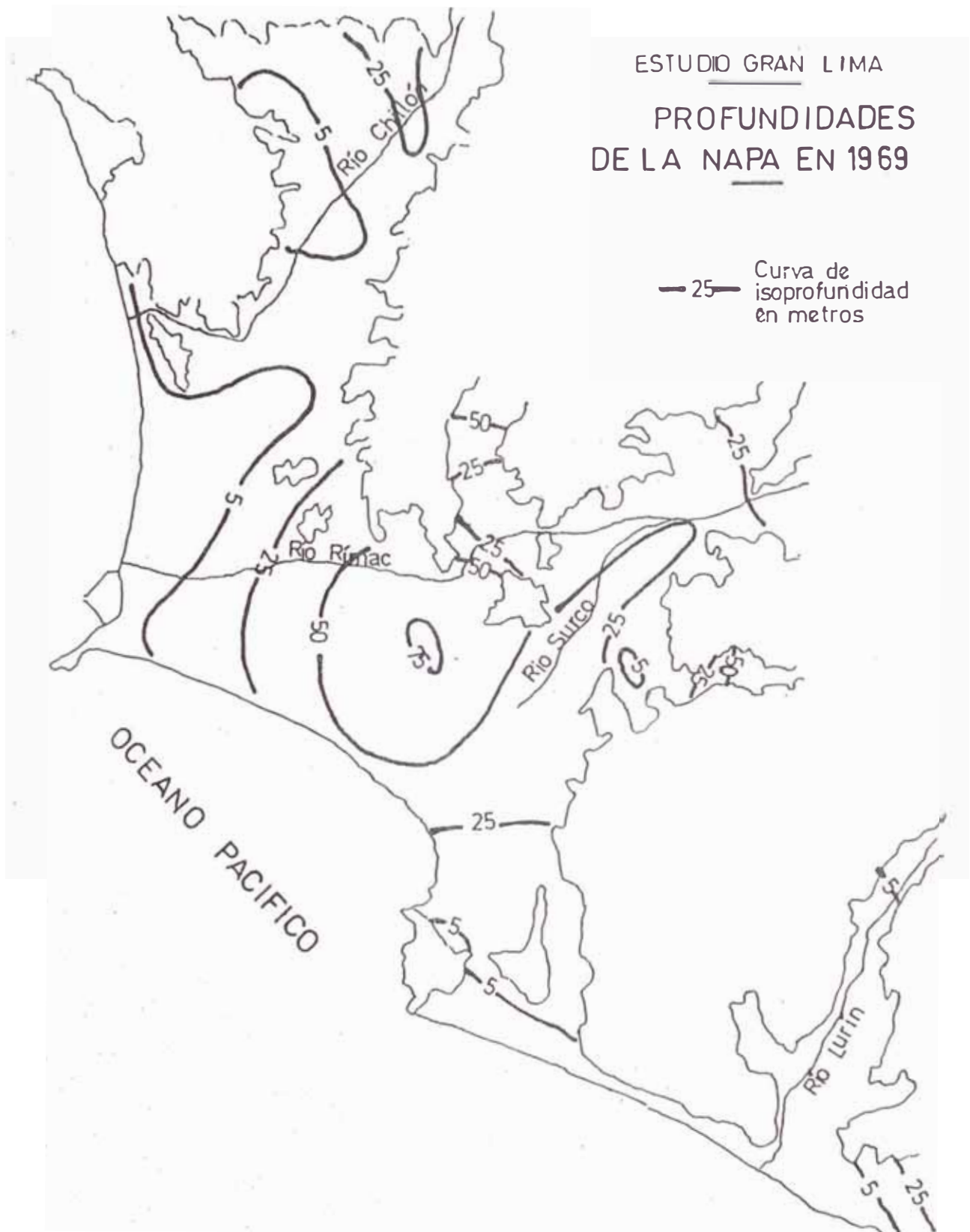


Fig. 2.8 PROFUNDIDADES DE LA NAPA
FREÁTICA EN LIMA EN 1969
Ref. (Aguirre y Vançon, 1971)

ROMANI INGENIEROS
CONSULTORES S.A.

MINISTERIO DE MARINA
ESCUELA NAVAL DEL PERU
EDIFICIO DE 'CADETES
PERFORACION BLOQUE F

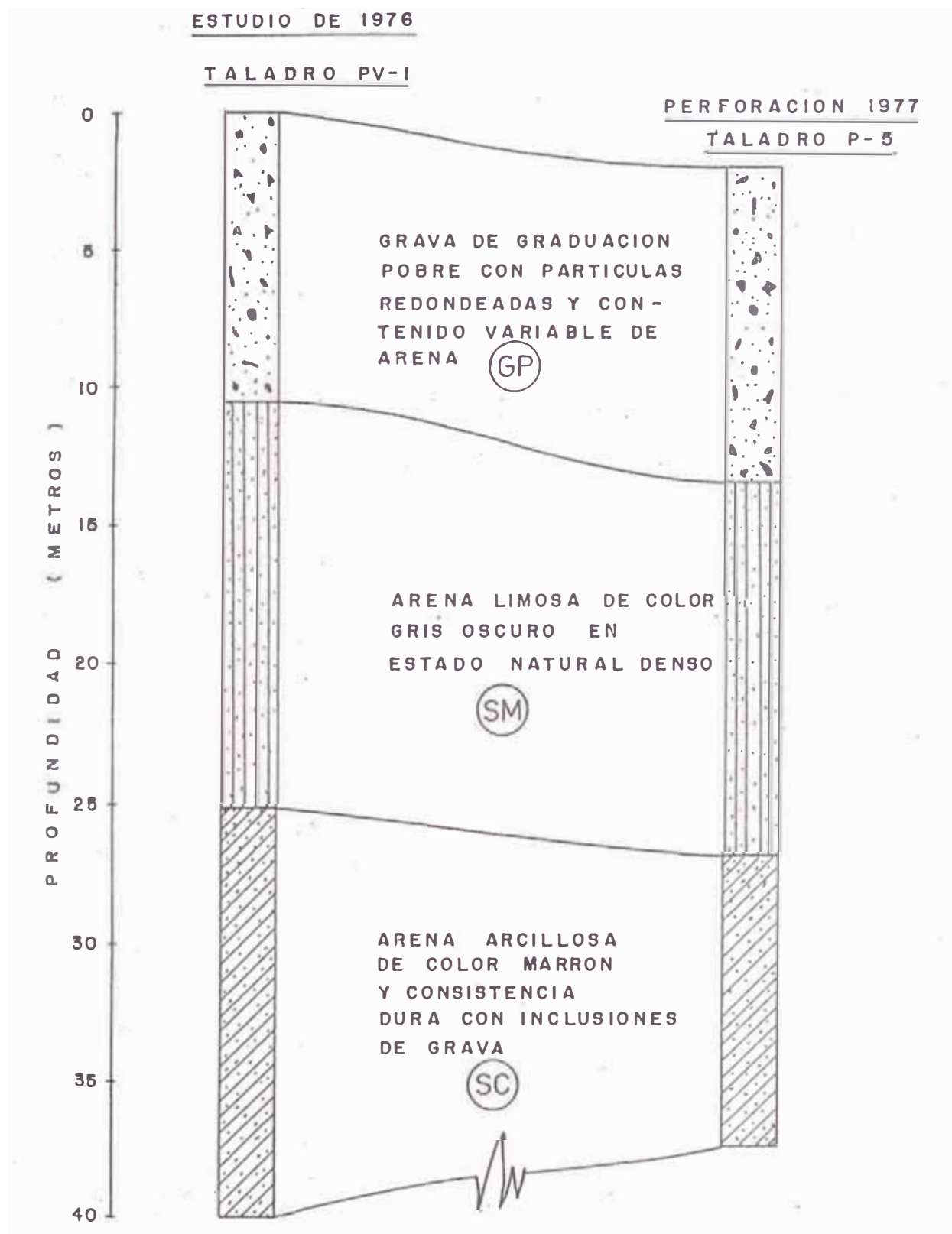


FIG. 2.9 PERFIL ESTRATIGRAFICO TIPICO DE LA PUNTA
Ref. (Romani 1977)

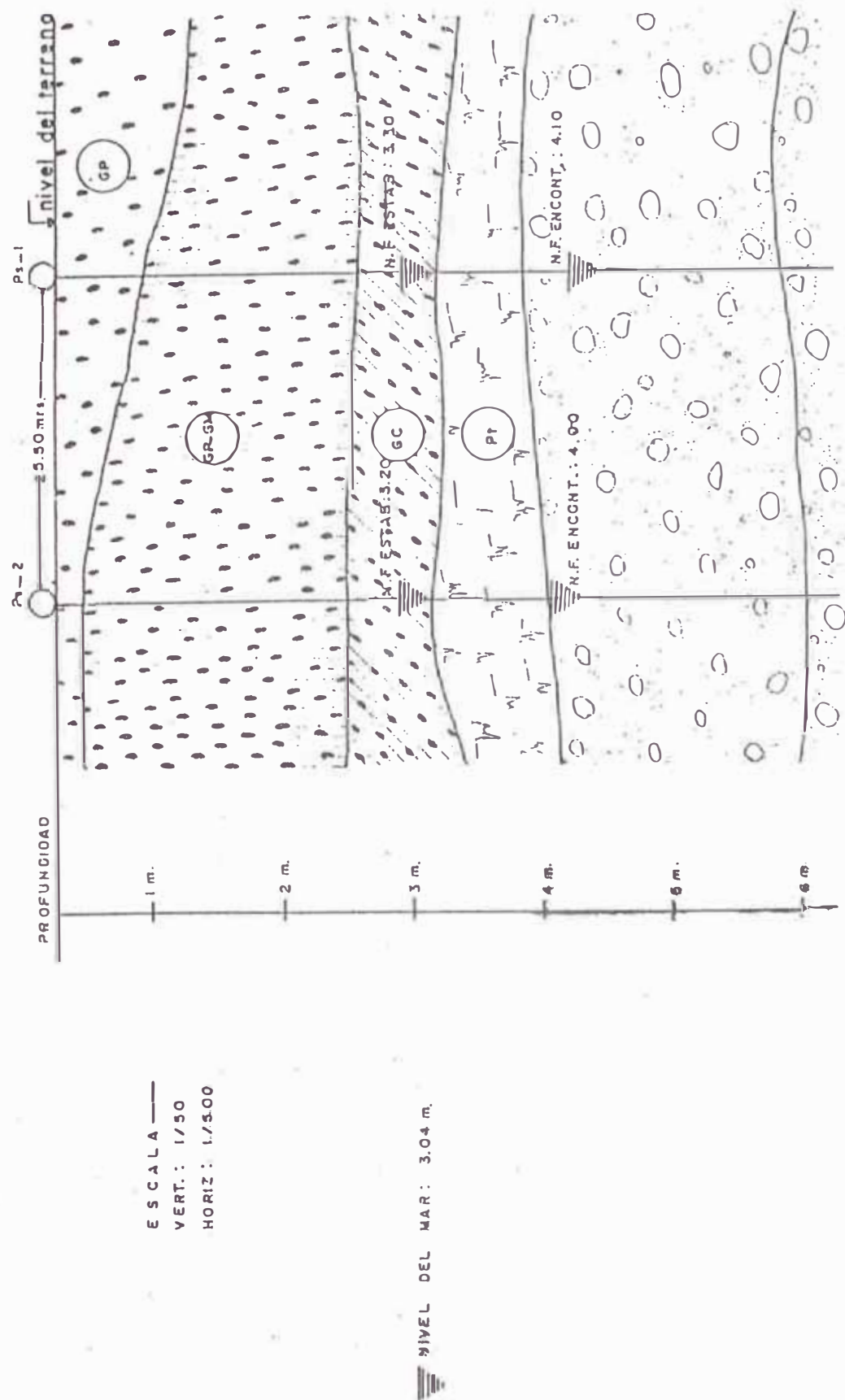


FIG. 2.10 PERFIL ESTRATIGRAFICO CERCANO AL PUERTO
ZONA DE RELLENOS
Ref. (LAGESA, 1970)

COMPLEJO DEPORTIVO PARQUE ZONAL "YAHUARHUACA"

ESTADIO TRIBUNA OCCIDENTE

SECCION ESTRATIGRAFICA VERIFICACION LITOLOGICA

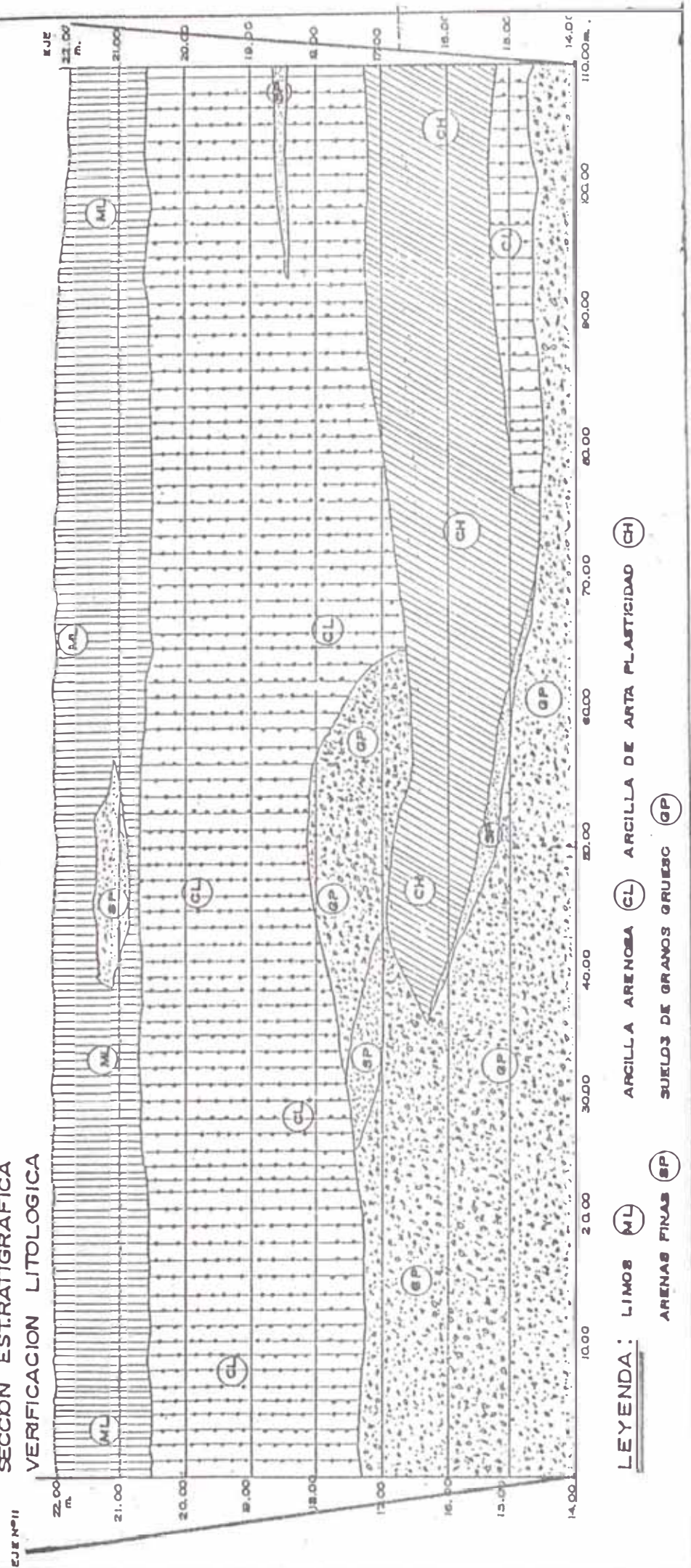


FIG. 2.11 PERFIL ESTRATIGRAFICO REPRESENTATIVO
EN BELLAVISTA, CALLAO
Ref. (Maraví, 1988)

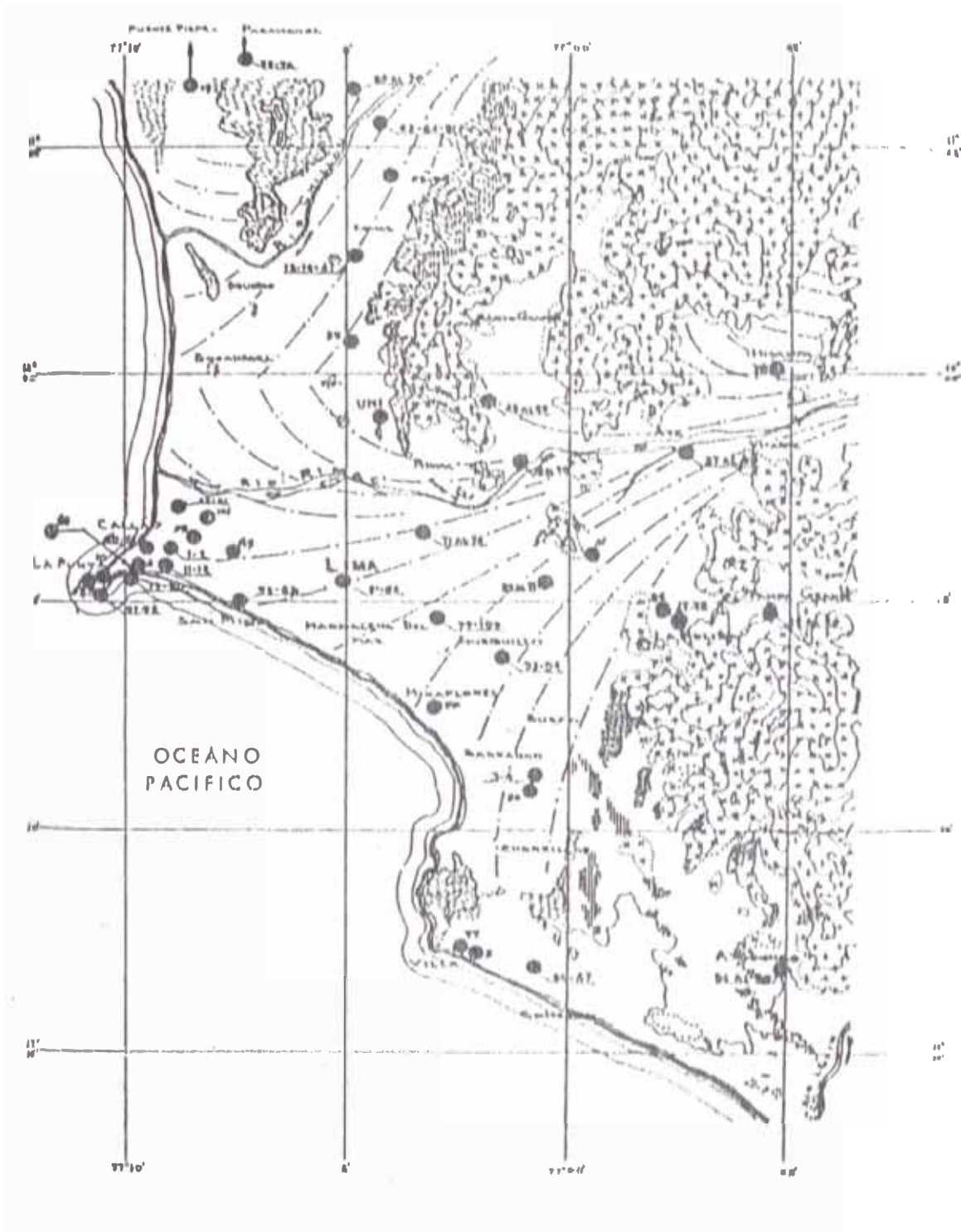


FIG. 2.12 UBICACION DE LOS ENSAYOS DE PLACA
REALIZADOS EN LIMA
Ref. (Carrillo, 1969)

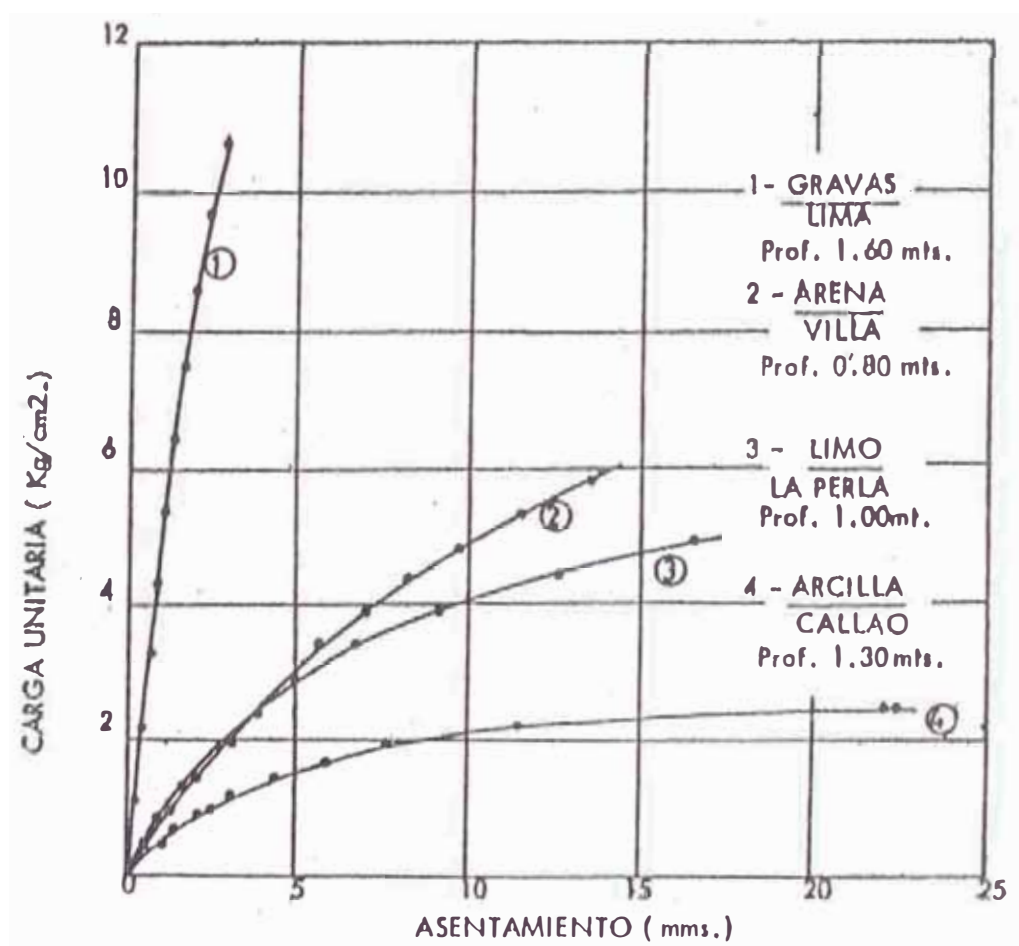
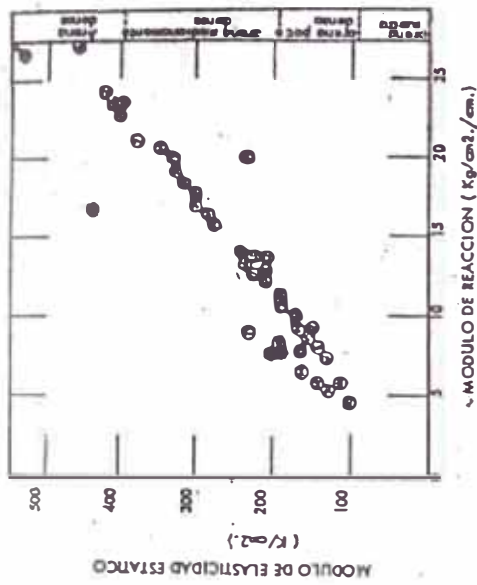
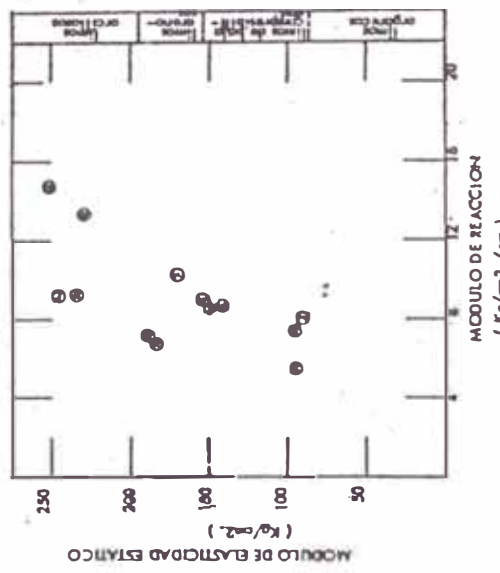


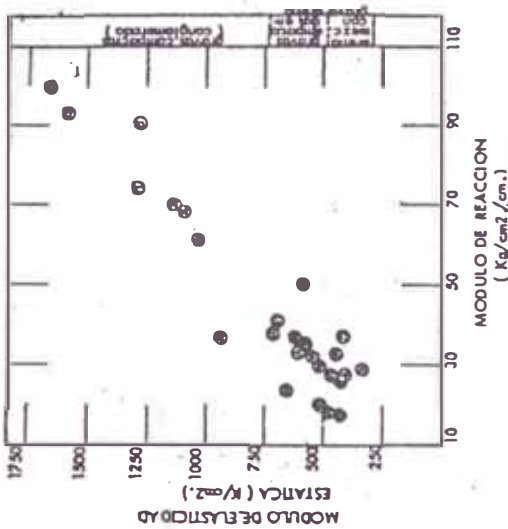
FIG. 2.13 CURVAS ESFUERZO-DEFORMACION TÍPICAS.
ENSAYOS DE PLACA CON APLICACION DE
CARGA ESTÁTICA CONTINUA
Ref. (Carrillo, 1969)



a) RESULTADOS DE LAS PRUEBAS DE PLACA EN ARCILLAS



b) RESULTADOS DE LAS PRUEBAS DE PLACA EN SUELOS INTERMEDIO



c) RESULTADOS DE LAS PRUEBAS DE PLACA EN GRAVAS (CONGLOMERADO)

FIG. 2.14 RESULTADOS DE LAS PRUEBAS DE PLACA EN DIVERSOS TIPOS DE SUELO
Ref. (Carrillo, 1969)

CAPITULO III

SISMICIDAD HISTÓRICA DE LIMA Y EL CALLAO

3.1 INTRODUCCION.

La zona de subducción del Pacífico, que corre paralela a gran parte de la costa oeste de Sudamérica, es lugar frecuente de reajustes de la corteza terrestre los cuales producen sismos de gran magnitud.

El Perú, en lo que le toca, ha sufrido sismos muy fuertes de consecuencias devastadoras, y la ciudad de Lima ha estado sujeta, en los pasados 40 años, a 6 sismos con magnitudes de onda superficial en el rango de 6 a 7.6.

El propósito de este capítulo es presentar una revisión de la sismicidad histórica e instrumental que ha afectado la zona de Lima y el Callao, con el objeto de documentar los antecedentes de daños sísmicos severos, y por otro lado, tener un conocimiento de los niveles de aceleración que podrían esperarse en esta región.

3.2 CRONOLOGIA DE LOS SISMOS MAS NOTABLES OCURRIDOS EN LIMA.

La noticia de los terremotos que acaecieron en el antiguo Perú, data prácticamente desde la conquista española, como un relato de los efectos por ellos causados, de las pérdidas de vidas, junto con otras observaciones.

Los datos de que se dispone son incompletos y se encuentran esparcidos en diversas obras inéditas o poco conocidas, en las crónicas de los religiosos, o en las narraciones de los viajeros ilustres que visitaron esta parte del continente. Un trabajo notable de recopilación de información lo realizó Silgado (1978), el cual se resume a continuación:

SIGLO XVI

1584. Marzo 17. Gran temblor en Lima que averió edificios. El Cabildo acordó que don Francisco Morales, alarife de la ciudad, junto con los fieles ejecutores, viesén los edificios, reparasen los que tenían necesidad y apuntalaran los que ofrecían peligro de desplome. Se ordenó la eliminación de las almenas de las construcciones altas por el riesgo que ofrecían. En el Callao, el edificio de las Casas Reales quedó dañado. Por

espacio de dos días quedó temblando la tierra, contándose de 8 a 9 minutos.

1586. Julio 9, a las 19 horas. Terremoto que asoló gran parte de la ciudad de Lima, sus principales edificios se vinieron al suelo y otros quedaron muy maltratados. Hubo derrumbe de peñascos y piedras del Cerro San Cristóbal y de otros situados en la parte alta del valle, así como agrietamiento del terreno. La destrucción se extendió a los valles cercanos a Lima, y llegó hasta la Villa de Valverde de Ica.

A este sismo le siguió un tsunami, que anegó gran proporción de la costa. En el Callao el mar subió como dos brazas e inundó parte del pueblo.

SIGLO XVII

1655. Noviembre 13 a las 14:38 horas. Hubo un fuerte movimiento de tierra que derribó muchas casas y edificios en Lima, abriéndose grietas en la Plaza Mayor y cerca del Convento de Guadalupe; el Padre Buendía relata: " Se comenzó a sacudir violentamente la tierra que todos creyeron perecer en el estrago, las paredes más robustas se mecían y doblegaban como si fueran débiles juncos al soplo del viento; las cruces más bien firmes en las Peanas, al repetido vaivén desmintieron de la fijeza de

sus lugares; las campanas y esquilones se doblegaban en desordenado clamor, la tierra en parte rajada, se abría en grietas horribles y bocas. Tuvo al parecer este terremoto su origen y nacimiento del Presidio del Callao por la parte que mira al poniente; porque de su espaciosa isla fue mayor el combate y se reparó que cayendo los altos peñascos se deshacían con estruendo al precipitarse al mar."

1678. Junio 17, a las 19:45 un fortísimo temblor averió muchas edificaciones de Lima, entre ellas el Palacio del Virrey, cuyas habitaciones altas y bajas quedaron muy cuarteadas. En el Callao, en haciendas y casas de campo de algunas leguas en contorno del Puerto y de Lima, el sismo causó estragos y ruinas. Por suerte hubo sólo 9 muertos en Lima, Callao y Chancay.

1687. Octubre 20. Ocurrieron dos terremotos en Lima, uno a las 4 1/4 y el otro pasado las 5 1/2. El primer movimiento sacudió y desarticuló los edificios y torres de la ciudad, y el segundo, más prolongado en duración, los acabó de arruinar originando cerca de cien muertos.

Los estragos fueron grandes en el Puerto del Callao y alrededores, extendiéndose las ruinas hasta unos setecientos kilómetros al sur de Lima, especialmente en

las haciendas de los valles de Cañete, Ica, Palpa, Nazca y Camaná.

Sobre lo que aconteció en el Puerto, informa el Virrey: " En el Puerto del Callao, no ha quedado casa ni edificio en pie, habiendo allí perecido mucha gente, porque al temblor se siguió otro enemigo de igual fuerza, pues retirándose la mar de manera que se vió gran parte del puerto seco, volvió con mayor ímpetu y furia contra la tierra que la inundó toda y de los que pudieron escapar de la horribilidad y temblor del terremoto se anegaron muchos en el mismo camino que escogieron para salvar sus vidas."

Según el Padre López y Martínez, el tsunami se produjo durante el segundo temblor. Murieron en el puerto cerca de 300 personas. Según la encuesta hecha por el Cabildo de la ciudad, la ola marina entró al puerto por encima de las murallas haciendo encallar dos embarcaciones e hizo desaparecer un pueblo de indios pescadores llamado Quilcay (Lurín), situado a 5 leguas de Lima.

SIGLO XVIII

1746. Octubre 28, a las 22:30. Terremoto en Lima y tsunami en el Callao. Probable intensidad X-XI MM.

De las 3,000 casas existentes distribuidas en 150 manzanas, sólo 25 quedaron en pie. Cayeron a tierra los principales y más sólidos edificios, entre ellos la Catedral. Cayeron igualmente monasterios, conventos, hospitales y muchas otras construcciones. El movimiento parece que tuvo gran duración, para Llano y Zapata fue de 3 a 4 minutos. Según el relato oficial, perecieron en Lima 1,141 personas de un total de 60,000 habitantes, otros cronistas suben estas cifras por diversas causas, y por las epidemias que luego se desataron.

En el Puerto del Callao quedaron arruinadas casi la totalidad de las edificaciones, resistiendo tan sólo algunas torres y partes de las murallas; media hora después de que había aquietado el ánimo de los habitantes el mar se erizó y elevándose a gran altura irrumpió sobre la población, ahogando a gran parte de ella, llevando la vaciante mar adentro todo lo que encontró a su paso. Los barcos que se encontraban anclados en la bahía, unos quedaron sumergidos, otros pasando por encima de las murallas fueron arrojados a tierra; siguieron una serie de olas sísmicas como vaciantes. De los 4,000 habitantes de que se componía la población del Callao, sólo pudieron salvar unos 200. Del puerto no quedó sino vestigios; cascajos y arenas se depositaron sobre sus escombros.

La Fig. 3.1 muestra un croquis del Puerto del Callao después del terremoto de 1746.

SIGLO XIX

1806. Diciembre 1º a las 18 horas, sobrevino el mayor temblor que se había experimentado en Lima después de 1746. Se estremeció la ciudad por espacio de más o menos un minuto. El mar salió fuera de sus límites ordinarios y causó averías en algunos barcos surtos en la bahía.

1828. Marzo 30, a las 07:35, un terremoto causó grandes daños en los edificios y viviendas en Lima. Hubo ese día 30 muertos y numerosos heridos. Sufrieron el Puerto del Callao, Chorrillos y Chancay, Huarochirí y el pueblo de San Gerónimo.

SIGLO XX

1904. Marzo 4, a las 05:17 horas. Intenso movimiento sísmico en Lima, sentido en un área de percepción aproximada de unos 230,000 Km².

En un área epicentral de 4000 Km², el sismo alcanzó una intensidad VII-VIII MM. Dentro de esa área, en Lima, cayeron cornisas, paredes antiguas y agrietaron

las torres de la Catedral; en el Callao y en Chorrillos no quedó casa sin rajadura. Hacia el Sur la destrucción se extendió hasta Mala. Otros efectos se apreciaron en el Este de la ciudad, en La Molina, donde cayó una chimenea de 20 m de altura, I>VII M.M. En Matucana hubo desprendimientos del material meteorizado de la parte alta de los cerros y agrietamientos en las viviendas, mientras que en la zona costera, en Pasamayo, fueron profusos los deslizamientos en los acantilados de arenas.

1926. Marzo 11, a las 06:20 horas. Tembló la tierra en Lima con intensidad, cayeron algunas cornisas y en el cementerio del Callao sufrieron los mausoleos. Sentido con violencia en Chosica y Cañete; leve en Chiclayo e Ica. A consecuencia del sismo se produjeron derrumbes en la ruta del Ferrocarril Central.

1932. Enero 19, a las 21:33 horas. Ocurrió un sismo cuya posición epicentral es cercana a la ciudad de Lima; según Gutenberg y Richter, **12°S, 77.5°W**. Magnitud 7.3. Profundidad $h=100$ Km. En Lima el temblor hizo caer cornisas, tapias y paredes viejas. En el Puerto del Callao, el temblor fue tan fuerte como en la Capital, y ocasionó diversos daños en las edificaciones; la iglesia de Santa Rosa quedó en lamentable estado. Intensidad VI-VII MM. Se sintió fuerte en Huacho al Norte de Lima y en el Callejón de Huaylas.

1940. Mayo 24, a las 11:35 horas. La ciudad de Lima y poblaciones cercanas fueron sacudidas por un terremoto, cuya intensidad, apreciada por sus efectos sobre las construcciones urbanas, se aproximó al grado VII-VIII MM. Tuvo una vasta área de percepción, que comprendió casi todo el Perú, extendiéndose hasta el Puerto de Guayaquil, Ecuador al Norte y el Puerto de Arica, Chile al Sur. Ocasionó la destrucción de muchas edificaciones en Lima, Callao y Chorrillos, Barranco, Chancay y Lurín, efecto que se acentuó en las construcciones de fábricas antiguas y en las de estado semirruinoso. Sufrieron averías varios templos, entre ellos la Catedral, y se constataron desperfectos en algunos edificios modernos con esqueleto estructural, lo que fue atribuido a la constitución del terreno. Las estadísticas oficiales consignaban que sufrieron daños un 38% de las viviendas de quincha; 23% de las de adobe; 20% de las casas de ladrillo; 9% de las de cemento y 10% de las construídas con otros materiales.

El puerto del Callao, que sufrió ruina considerable, está edificado sobre terreno arenoso, saturado de agua, y el balneario de Chorrillos está situado en una zona próxima a barrancos de terreno aluvial incoherente. Las construcciones cercanas a los cerros que rodean el abanico fluvial del valle también fueron afectadas, entre ellas la nueva edificación de

ladrillo de la Escuela Nacional de Agricultura, que sufrió daños de consideración.

Luego del terremoto se produjo un pequeño tsunami que afectó la Base Aérea de Ancón. El fenómeno de retroceso del mar se observó en La Punta, Callao y en Pisco.

El cabezo de la Isla San Lorenzo sufrió derrumbes. Se formaron polvaredas en toda la zona. En La Punta, se apreció después de los remezones iniciales (Ondas P y S), la llegada de ondas reflejadas y superficiales (Lr, Lq), De las Casas (1975).

La Fig. 3.2 muestra el Mapa de Isosistas del Terremoto de Lima del 24 de Mayo de 1940, para el Perú, según referencia de Silgado (1978).

1966. Octubre 17 a las 16:41 horas. La ciudad de Lima fue estremecida por un sismo que fue indudablemente uno de los más intensos que se habían producido desde 1940. Dejó un saldo de cien muertos. El área de percepción cubrió aproximadamente 524,000 Km², y fue destructor a lo largo de la franja litoral comprendida entre Lima y Supe, situada al Norte. La intensidad máxima se estimó en el grado VIII MM, aunque en un área muy limitada puede haber sobrepasado este grado. La

aceleración registrada en Lima estuvo acompañada de períodos dominantes del orden de un décimo de segundo. La amplitud máxima fue de 0.4 g., entre ondas de aceleraciones menores de 0.2 g.

Dentro de la zona metropolitana de Lima, se produjeron diversos deterioros (grado VII), acentuándose éstos en el Callao por la antigüedad de sus construcciones y consistencia del suelo. Otros daños se observaron en La Planicie, La Molina, lugares situados al Este de la ciudad.

A unos cincuenta minutos después del terremoto se produjo un tsunami moderado, registrándose la primera onda en los mareógrafos de La Punta, Chimbote y San Juan. En Casma y Tortugas hubo inundación, sufriendo grandes pérdidas las fábricas pesqueras.

La Fig. 3.3 presenta el Mapa de Isosistas del Terremoto del 17 de Octubre de 1966, según referencia de CERESIS.

1974. Octubre 3, a las 09:21 horas de la mañana. La duración del movimiento fue de más de 1.5 minutos, contribuyendo a acentuar la destrucción de muchas casas antiguas de adobe y quincha entre los 12° y 14° Sur.

En Lima Metropolitana sufrieron daños entre leves a considerables, las iglesias y monumentos históricos, los edificios públicos y privados, las viviendas antiguas de adobe de los Barrios Altos, Rímac, El Cercado, Callao, Barranco y Chorrillos.

Algunas estructuras modernas quedaron lesionadas, unas por fallas estructurales y otras por la consistencia del terreno. En La Molina, los pabellones erigidos a partir de 1966 sufrieron graves daños.

Se observaron derrumbes de material aluvial en los acantilados situados entre Magdalena y Chorrillos.

A los pocos minutos del sismo se observó en las playas cercanas a Lima una retirada del mar, que en Agua Dulce alcanzó unos 120 metros, volviendo las aguas a su cauce de manera gradual. El mareógrafo de La Punta registró un máximo de ola de 5 pies.

El muestreo de intensidades hecho por el Instituto Geofísico del Perú (IGP), en varios lugares de la gran Lima, Fig. 3.4, condujo a establecer una intensidad promedio de VII MM. para Lima, una intensidad máxima de VIII IX MM. para Chorrillos y La Molina, un grado V - VI para San Isidro, San Borja y algunos lugares de Miraflores. En La Punta se estableció una intensidad

de VII y en el Callao de VI. Después del sismo principal y durante siete días el IGP informó haber registrado 1,317 réplicas.

TABLA 3.1 PARAMETROS DE LOS GRANDES TERREMOTOS QUE AFECTARON LA ZONA DE LIMA LOS SIGLOS XVI, XVII, XVIII y XIX.

Fecha	Hora Local	Epicentro Aproximado		Lugar	Magnitud
		Lat. S	Long.0		
9 Julio 1586	19:30	12.2	77.7	Costa Departamento de Lima	8.1
20 Oct. 1687	05:30	13.0	77.5	Costa Sur Departamento Lima	8.2
28 Oct. 1746	22:30	11.6	77.5	Costa Norte Departam. Lima	8.4
7 Dic. 1806	18:00	12.0	78.0	Frente al Puerto del Callao	-

TABLA 3.2. PARAMETROS DE LOS GRANDES TERREMOTOS QUE AFECTARON LA ZONA DE LIMA DURANTE ESTE SIGLO.

Fecha	Hora (TMS) H M S	Posición Epicentro		Prof. (Km)	Magnitud	Región Afectada
		Lat. S	Long.0			
11 Marzo 1926	11:20:00	13.7	76.6	-	-	Lima
24 Mayo 1940	16:33:57	10.5	77.0	50-60	8.2	Lima
17 Oct. 1966	21:41:57	10.7	78.6	38	7.5	Norte de Lima
03 Oct. 1974	14:21:29	12.3	77.8	13	7.5	Lima y Sur del Perú

Fuente: ISS, USCGS hoy NOAA.

3.3 REVISION DE ESTUDIOS SOBRE SISMOS RECIENTES EN LIMA.

3.3.1 El Sismo del 17 de Octubre de 1966.

(Espinoza y Fukuda, 1967).

a) Información Sismológica.

El movimiento en Lima fue registrado por un acelerógrafo tipo Montana, propiedad del USGS, operado por el Instituto Geofísico del Perú, colocado sobre el conglomerado compacto en el centro de la ciudad de Lima (Parque de la Reserva).

La duración de la fase intensa del sismo fue de 16 segundos, con períodos dominantes en el orden de 0.15 seg. En cuanto a la amplitud, se ha observado un máximo de 0.4 g. aislado entre ondas que indican aceleraciones pico inferiores a 0.2 g.

La determinación preliminar del USCGS (United States Coast and Geodetic Survey) señaló como origen las 21h 41m 56.3s en tiempo local, ubicó el foco a 10.7° de Latitud Sur, 78.7° de Longitud Oeste, 38 Km. de Profundidad y magnitud $m_b=6.3$; Berkeley calculó la magnitud $M_s = 7.5$ y Pasadena $M_s = 7 \frac{1}{2}$.

Entre los posibles mecanismos del sismo se sugiere un movimiento a lo largo de una gran falla que corre casi paralela a la costa, originado al SE de la localización calculada por el USCGS, involucrando en el comienzo masas relativamente pequeñas propagándose hacia el NO con poca velocidad y adquiriendo mayores proporciones en las proximidades del epicentro calculado.

b) Daños Producidos en Lima y el Callao.

La Fig. 3.5 muestra el mapa de intensidades en la escala MSK para la ciudad de Lima según el IGP.

En las zonas del Callao, del Cercado y del distrito del Rímac, así como en el área de Chorrillos, se registraron porcentajes de daños que los ubican en el grado VII de la escala MSK de intensidades. Debido a fenómenos geológicos (zona de contacto), las Casuarinas y parte de la Molina presentan el mismo grado.

Los distritos de Miraflores, San Isidro, Lima, Breña y Magdalena presentan daños de intensidad VI. Estos distritos se hallan ubicados en zonas de conglomerado de gran potencia.

Es de notar que los barrios marginales, a pesar de estar ubicados en zonas de contacto y tener

construcciones de no muy buena calidad, como Comas y El Agustino, no presentan en general daños de intensidad mayor al grado VI.

En el sector de los acantilados de Barranco y en uno que otro tramo del litoral ocurrieron pequeños deslizamientos, que si bien no produjeron consecuencias, dejan ver la necesidad de establecer una faja de seguridad que limite las construcciones.

Según la Dirección de Hidrografía y Navegación de la Marina, se produjo un Tsunami en La Punta a las 17:32 hora local (22:32 GMT), con un período de la oscilación de 15 minutos y amplitud máxima (máximo a mínimo) de 4.6 m.

En el Callao, ubicado a 218 Kms. del epicentro, las construcciones de adobe y quincha sufrieron colapsos parciales o totales por el sismo. Buena parte de ellos se encontraban anteriormente en no muy buenas condiciones debido a la humedad imperante y al factor tiempo. La Iglesia Matriz del Callao experimentó colapso de sus muros laterales y cobertura. Algunas chimeneas del sector industrial perdieron su verticalidad. Se registró así mismo fallas en la estructura de un atracadero con elementos pretensados que se hallaba en construcción.

Un edificio para Hospital de 9 pisos de concreto armado sufrió agrietamiento de los muros en sus tres primeros niveles. Este agrietamiento incluye principalmente la separación de la junta perimetral entre muros y marco y ocasionalmente el agrietamiento diagonal de los muros. El edificio es alargado en planta. Las crujiás extremas de su fachada larga contenían en toda su altura una celosía de elementos de barro cocido. Las deformaciones laterales ocasionaron daños en la celosía, incluyendo el colapso de porciones importantes en algunos niveles.

A nivel del departamento de Lima, se ha observado que los mayores daños producidos por este sismo se presentan en las localidades de Supe, Huaura y Huacho, al norte de Lima.

c) Daños en el Callao por efecto del Suelo.

(Lee, 1969).

Según este estudio, la presencia de pequeñas áreas aisladas de suelo orgánico disecado de hasta 2 metros de espesor, que ya había causado serios daños por problemas de asentamientos en edificios, habría agravado estos daños durante el sismo. Sin embargo, en muchos casos, el comportamiento de estas estructuras fundadas en suelos blandos compresibles no fue significativamente

peor que el de estructuras vecinas similares con fundaciones adecuadas.

También hay casos de asentamientos de rellenos artificiales. En El Callao, parte del malecón está construido sobre pilotes de hormigón. Detrás de esta estructura hay un muro de contención con relleno de tierra granular. Durante el sismo el relleno granular se asentó alrededor de 6 cm. con respecto a los pilotes y al muro de contención de hormigón. Las líneas de ferrocarril que atraviesan la zona donde ocurrieron los asentamientos diferenciales fueron puestas fuera de servicio. Sin embargo, no hubo otro daño serio.

También en el puerto del Callao los rellenos alrededor del alto silo de granos sufrieron asentamientos desde 2 a 10 cm. con respecto al silo. El silo mismo fue construido sobre pilotes y aparentemente no sufrió asentamiento. Algunas escalas y una pequeña sala de hormigón adyacentes al silo, aparentemente sólo fundadas en relleno, se asentaron y fueron seriamente agrietadas.

3.3.2 El Sismo del 3 de Octubre de 1974.

(Espinosa et al, 1977).

a) Información Sismológica.

El epicentro de este sismo según el NEIS (National Earthquake Information Service) del USGS, se ubicó en los 12.2° de Latitud Sur y 77.67° de Longitud Oeste, a unos 80 Km. al oeste de Lima. La profundidad focal según la misma fuente fue de 13 Kms. El USGS le asignó una magnitud $m_b = 6.6$ y $M_s = 7.6$.

Las Figs. 3.6 y 3.7 muestran mapas de isosistas del sismo según el Instituto Geofísico del Perú (1974) y según Giesecke, Ocola y Silgado (1980).

Los acelerogramas registrados en un instrumento tipo Montana ubicado en el centro de Lima, y en otro del tipo SMA-1 ubicado en Las Gardenias Surco, ambos propiedad del Instituto Geofísico del Perú, muestran las siguientes características:

- a) Larga duración, alrededor de 99 segundos.
- b) Altas aceleraciones, mayores de 0.2 g.
- c) Gran cantidad de períodos cortos, menores que 0.1 seg.

Las aceleraciones máximas fueron:

0.228 g para la componente N82W

0.220 g para la componente NO8E

0.140 g para la componente VERTICAL.

El período predominante del espectro de respuesta para un amortiguamiento de 0% es de 0.38 seg. Por comparación, el período predominante espectral en Lima, medido a causa de los terremotos del 17 de Octubre de 1966, 31 de Mayo de 1970 y 5 de Enero de 1974 estaba en el rango de 0.1 a 0.16 seg.

La aceleración máxima horizontal pico para el sismo del 3 de octubre de 1974 fue alrededor de la mitad de la aceleración máxima horizontal pico para el sismo del 17 de Octubre de 1966, a pesar de que la distancia epicentral del sismo de 1974 fue alrededor de tres veces menor que la del sismo de 1966. La baja atenuación de estas señales a estas distancias implica un muy alto Q o baja absorción de la energía sísmica.

El período predominante de 0.38 seg. (relativamente largo para los sismos peruanos), da una indicación de porqué las viviendas y estructuras de 1 o 2 pisos no sufrieron mayor daño.

La mayor parte de las estructuras que sufrieron daños severos, fueron construcciones de 3 o más pisos, y construcciones tipo adobe y quinchá de 1 o 2 pisos.

b) Distribución de Intensidades en Lima Metropolitana.

La Fig. 3.8 muestra el mapa de intensidades para Lima metropolitana según Espinosa, Husid, Algermissen y De las Casas (1975).

La intensidad más alta en la escala Mercalli Modificada en Lima fue IX. Esta intensidad fue observada en los distritos del Callao, Barranco, La Molina y Lima. La distribución de intensidades en estos distritos es muy diversificada, y esto puede deberse en parte a los diferentes tipos de estructuras y a posibles efectos localizados de amplificación del suelo.

c) Daños Producidos en el Callao.
(Fernández, 1974).

Los mayores daños producidos en esta zona son los que presentaron modernas estructuras de concreto armado, como los edificios de la Escuela Naval, en La Punta; la Oficina de Correos, en la calle 2 de Mayo y un antiguo silo del Terminal Marítimo, que colapsó y perdió 20 m de los 60 m que tenía originalmente.

Respecto a los daños en la Escuela Naval, estos se resumieron en el colapso total de varios edificios y en la falla parcial de otros que han motivado su abandono o una fuerte reparación de los mismos; al respecto no ha habido mayores investigaciones, aparentemente debido a la naturaleza reservada de esas instalaciones. En cuanto a la Oficina de Correos, Espinosa et al, 1975, sugieren que el colapso de esta estructura podría deberse a una combinación de una pobre estructura y a un efecto de amplificación de las ondas sísmicas. Con respecto al silo, se atribuye a su forma de péndulo invertido, por la torre elevadora de la parte alta, la causa del colapso.

Otros daños se reportaron en los depósitos de la Fábrica Pilsen Callao, entre Castilla y Sucre, donde cayeron grandes paredes; en viviendas dañadas en las calles Apurímac, Sáenz Peña, Colón, Ancash, Venezuela; y en La Perla y Bellavista, donde cayeron tramos de paredes o arcos, cornisas y parapetos elevados. La Iglesia Matriz del Callao, ya gravemente dañada en 1966, colapsó totalmente.

En la zona sur del Callao, donde las casas son en su mayoría de adobe y quincha, éstas cedieron y cayeron. Las tuberías de agua y desagüe antiguas y deterioradas sufrieron roturas.

3.4 INFORMACION INSTRUMENTAL PARA LIMA.

En 1977, A.G. Brady y V. Perez presentaron un reporte titulado "Strong-Motion Earthquake Accelerograms Digitization and Analysis Records from Lima, Perú: 1951 to 1974". Hasta hoy, exceptuando la información de pequeños sismos que está registrando la red de acelerógrafos del CISMID, (Alva et al., 1990), este reporte y la cinta magnética respectiva, es la única información instrumental más o menos confiable con que se cuenta en el Perú.

Este reporte contiene gráficas de los registros obtenidos y del análisis espectral de diez acelerogramas de movimientos fuertes registrados en cinco estaciones diferentes, generadas por siete sismos escogidos, ocurridos en el Perú durante el período del 31 de Enero de 1951 al 9 de Noviembre de 1974. La información de las estaciones y registros están reunidas en las Tablas 3.3 y 3.4 respectivamente. Las gráficas de los acelerogramas sin corregir; aceleraciones corregidas, velocidad y desplazamiento; espectro para respuesta de velocidades, respuesta de pseudo-velocidad, etc, para cada una de las componentes de los registros estudiados son presentados en el juego de figuras de este reporte. En este estudio, las Figs. 3.9, 3.10, 3.11, y 3.12, corresponden a los acelerogramas y espectros de respuesta de aceleraciones de las componentes horizontales más fuertes de los sismos

del 17 de Octubre de 1966 y del 3 de Octubre de 1974, los cuales serán utilizados en el análisis dinámico de perfiles en el Capítulo V.

El procedimiento de corrección utilizado según la técnica del Instituto Tecnológico de California, demuestra que las altas frecuencias presentes en los sismos peruanos necesitan un rango de adquisición de datos más denso que 50 puntos por segundo, lo que daría una mejor representación del contenido de altas frecuencias. Actualmente, los acelerógrafos digitales del CISMID tienen un sistema de adquisición de datos de 100 puntos por segundo.

3.5 REVISION DE ESTUDIOS SOBRE RIESGO SISMICO EN LIMA.

El peligro sísmico viene a ser la descripción probabilística de la severidad del movimiento sísmico del suelo en un lugar dado, en un determinado período de tiempo.

El riesgo sísmico es la descripción probabilística de los daños durante un período de tiempo determinado, asociado con el peligro sísmico; implica asumir un grado de vulnerabilidad o coeficiente de seguridad ante el peligro sísmico, (Ocola, 1990).

En adelante, sin embargo, el término "riesgo sísmico" es utilizado en lugar de "peligro sísmico".

Para el análisis del riesgo sísmico en un lugar, es necesario:

a) Una descripción de la sismicidad local o regional, y

b) Una función de atenuación de la medida de la intensidad del movimiento que sea de interés.

El primer requerimiento depende del lugar e involucra la síntesis de la historia sísmica, y la evidencia geológica y tectónica. El segundo requerimiento es menos específico al lugar; las funciones de atenuación son frecuentemente asumidas para aplicarse a escala regional, McGuire (1976).

El primer paso implica la identificación de fuentes sismogénicas, es decir, zonas tectónicas en las cuales los eventos sísmicos futuros son considerados igualmente probables de ocurrir en cualquier ubicación. La identificación de las zonas sismogénicas requiere de una descripción estadística estable de los sismos ocurridos, para lo cual deben evaluarse cuidadosamente los catálogos sísmicos. Para cada zona sismogénica se establece una relación frecuencia-magnitud. (Ocola, 1990).

La ley o función de atenuación usualmente estudia el decaimiento de la aceleración máxima en función de la distancia hipocentral y su incremento por la magnitud.

A continuación se presenta una revisión de los estudios sobre riesgo sísmico para la zona de Lima. También se presenta el resumen de un estudio de zonificación sísmica del Perú, basado en aceleraciones máximas esperadas.

3.5.1 Riesgo Sísmico del Departamento de Lima.

(Casaverde, 1979).

Utilizando la metodología de Cornell (1968) y el programa RISK de McGuire (1976), el autor evaluó el riesgo sísmico del departamento de Lima, en función de las máximas aceleraciones esperadas.

El área de influencia considerada en el estudio estuvo comprendida entre las coordenadas 8° a 17° de latitud sur y 71° a 81° de longitud oeste.

Casaverde estableció cinco zonas sismogénicas aplicables al departamento de Lima, y el análisis de recurrencia determinó las siguientes ecuaciones:

Fuente 1	:	$\log N = 2.833 - 0.358 M$
Fuente 2	:	$\log N = 2.963 - 0.345 M$
Fuente 3	:	$\log N = 1.989 - 0.289 M$
Fuente 4	:	$\log N = 2.736 - 0.379 M$
Fuente 5	:	$\log N = 1.413 - 0.204 M$

Estas ecuaciones corresponden a un período de 51 años (1925-1975) habiéndose eliminado las réplicas. Los datos fueron tomados del catálogo de hipocentros del Instituto Geofísico del Perú.

La ley de atenuación utilizada en el estudio en referencia se basó en 17 registros de aceleraciones todos ellos tomados en Lima, y tiene la siguiente forma:

$$\ln a = 0.82 M - 2.91 - 1.00 \ln (R+25)$$

donde:

a = aceleración máxima expresada en porcentaje de la gravedad.

M = magnitud.

R = distancia epicentral en Kms.

Los resultados de este estudio se resumen en dos mapas de aceleraciones: uno para aceleraciones con un 80 % de probabilidad de no ser excedidas en 50 años (Fig.

3.13) y el otro para aceleraciones con un período de retorno medio de 50 años (Fig. 3.14).

Para el área de Lima Metropolitana el primer mapa da un valor de 0.22 g. de aceleración con un 80% de probabilidad de no ser excedida en 50 años, y para el segundo mapa un valor de 0.14 a 0.15 g. de aceleración con un período de retorno medio de 50 años.

3.5.2 Monumentos Históricos y Riesgo Sísmico para la Zona de Lima. (Vargas, 1979).

Este estudio evaluó el riesgo sísmico de Lima utilizando la misma metodología de trabajos anteriores determinando para ello siete fuentes sismogénicas. Cuatro de ellas están relacionadas con la zona de Benioff, dos superficiales (profundidad menor que 70 Kms.) y dos de mediana profundidad (mayor o igual que 70 Kms.). Esta división de la zona de Benioff se debe a la existencia de la cordillera oceánica de Nazca (perpendicular a la costa), alrededor de la cual cambian las pendientes dominantes en la localización de hipocentros. Dos fuentes más están asociadas a la actividad sísmica regional (Andina) y una última a la falla de Huaytapallana.

A partir de los datos del catálogo sísmico del Instituto Geofísico del Perú se obtuvieron las leyes de

recurrencia de las seis fuentes. La recurrencia de la fuente siete se supuso que era el promedio de las anteriores.

Las leyes de atenuación fueron calculadas en base a las señales de terremotos procesadas por Brady y Pérez (1977). Las leyes de atenuación de aceleraciones, velocidades y desplazamientos, son las siguientes:

$$a = 68.7 e^{\frac{0.8M_s}{(R+25)} - 1.0}$$

$$v = 13.0 e^{\frac{1.0M_s}{(R+25)} - 1.5}$$

$$d = 0.41 e^{\frac{1.2M_s}{(R+25)} - 1.3}$$

donde:

a = aceleración en cm/seg².

v = velocidad en cm/seg.

d = desplazamiento en cm.

M_s = magnitud expresada en ondas de superficie.

R = distancia hipocentral en Kms.

Los resultados del análisis de riesgo sísmico para la ciudad de Lima se presentan en la Figura 3.15, para aceleraciones máximas esperadas.

El período de retorno, en términos de la aceleración máxima del suelo sería:

Para 50 años	$a = 200 \text{ cm/seg}^2$.
Para 100 años	$a = 320 \text{ cm/seg}^2$.
Para 500 años	$a = 400 \text{ cm/seg}^2$.

3.5.3 Zonificación Sísmica del Perú.

(Casaverde y Vargas, 1980).

Este informe presentó la zonificación sísmica del Perú, basada en métodos probabilísticos. Se presentaron mapas de distribución de aceleraciones máximas en todo el Perú para períodos de retorno de 30, 50 y 100 años. Los autores utilizaron la metodología de Cornell (1968), modificada por McGuire con su programa de cómputo RISK (1976).

Con los datos sísmicos instrumentales provenientes del catálogo del Instituto Geofísico de Perú, los daños sísmicos históricos provenientes de los trabajos realizados principalmente por Silgado, además de información geotécnica y geofísica, definición de fallas, estudios de los desarrollos neotectónicos, etc. realizados por diversos investigadores, se establecieron ventisiete fuentes sismogénicas cubriendo toda la zona del Perú y áreas vecinas con influencia en el Perú.

Estas fuentes sismogénicas fueron seleccionadas por los autores de tal forma que representan los procesos

tectónicos que continúan trabajando en el Perú. Las características particulares de cada fuente están indicadas en el trabajo revisado.

Una vez delineadas estas fuentes, los autores procedieron a efectuar el análisis estadístico de los datos de cada una de las fuentes, calculándose sus parámetros de recurrencia sísmica. Con estos valores dedujeron los parámetros utilizados en el programa RISK.

Las leyes de atenuación utilizadas fueron las mismas que las presentadas por Vargas (1979). Los resultados obtenidos se presentan en las Figuras 3.16, 3.17 y 3.18 que corresponden a mapas de aceleraciones máximas esperadas en suelo firme para tres períodos de retorno (30, 50 y 100 años).

Para Lima Metropolitana se obtuvieron los siguientes resultados:

TR (años)	a máx. (cm/seg ²)
30	220
50	270
100	360

Un estudio complementario del anterior es el Presentado por Casaverde y Vargas (1982), en donde se

presentan mapas de velocidades máximas y desplazamientos máximos esperados para los mismos períodos de retorno.

También un estudio de Casaverde y Vargas, 1982, presenta un Mapa de Distribución Probabilística de Intensidades del Perú, según el cual, es de esperarse sismos con intensidades de VIII para la zona de Lima, con un período de retorno de 100 años.

3.5.4 Riesgo Sísmico en Lima Metropolitana.

Con el objeto de realizar una comparación con los estudios revisados anteriormente, se ha efectuado una corrida del programa RISK, versión para computadoras personales, para una ubicación aproximada de Lima Metropolitana de 12°02' Sur y 77°05' Oeste. Se ha utilizado 9 fuentes sismogénicas aplicables a Lima, de las 27 fuentes sismogénicas propuestas por Casaverde y Vargas, 1979, para el Perú, con sus respectivas ecuaciones de recurrencia. Los parámetros de recurrencia de las fuentes sismogénicas fueron los presentados por Arévalo (1984). Se ha utilizado la siguiente ley de atenuación para las aceleraciones, del estudio de Vargas, 1979 para el departamento de Lima.

$$a = 68.7 e^{0.8M_s} (R + 25)^{-1.0}$$

Los resultados se muestran a continuación:

Períodos de Retorno (años)	a máx (cm/seg ²)
30	234
50	253
100	361
200	455
400	566
500	607
1000	743

El Anexo II contiene un manual para la entrada de datos al programa RISK, los datos utilizados para este caso y los resultados obtenidos.

3.6 CONCLUSIONES.

Las conclusiones obtenidas de este Capítulo son las siguientes:

a) Existe clara evidencia histórica de que la zona en estudio tiene una naturaleza marcadamente sísmica.

b) La revisión histórica muestra que el terremoto más fuerte del que se tiene noticia en esta zona es el de

1746, con una magnitud probable de 8.4 y con intensidades probables en Lima de X a XI MM.

c) Se ha encontrado que, históricamente, los grandes terremotos como los de 1687 y 1746, causaron directamente un gran daño al Puerto del Callao, aunque este daño ha pasado un poco desapercibido por el terrible efecto de los tsunamis producidos después del sismo, lo cual indica que no puede olvidarse que este riesgo puede ser mayor que el del sismo mismo, para esta zona.

d) En lo que va de este siglo, el sismo de mayor magnitud ha sido el de 1940 (8.2), y el de mayor duración fue el de 1974 (1 minuto y medio).

e) La revisión histórica de daños producidos en cada sismo identifica, especialmente a partir de este siglo, zonas específicas de la ciudad de Lima donde ha existido fuerte daño, estas zonas son: el Callao, Chorrillos, La Molina y Barranco.

f) Recién a partir del sismo de 1940 la literatura existente hace mención a problemas locales del suelo como la causa de la diferencia en intensidades entre zonas vulnerables, tales como Chorrillos, La Molina y el Callao, respecto al centro de la ciudad de Lima. Los estudios de 1966 y 1974 encuentran ya una definitiva

correlación entre los altos niveles de intensidad y la presencia de áreas que tienen condiciones de suelo desfavorables. Se han determinado intensidades hasta de IX MM para estos lugares, en tanto que el centro de Lima presenta intensidades promedio de VII.

g) La información instrumental para Lima, y por lo tanto para el Perú, es escasa. Para Lima, de los 10 acelerogramas disponibles, 9 han sido registrados sobre sedimento aluvional compuesto por materiales gruesos y densos, y sólo 1, en La Molina, ha sido registrado sobre un limo arcilloso.

h) Esta información, además, se ha obtenido con un sistema de adquisición de datos de menor densidad que la requerida para reflejar adecuadamente las altas frecuencias de los acelerogramas registrados.

i) La aceleración máxima corregida es de 269.3 cm/seg² para el sismo de 1966 y la mayor duración es de 90 segundos para el sismo de 1974.

j) Por otro lado, los niveles máximos de aceleraciones probables para la zona de Lima Metropolitana extraídos de los estudios de riesgo sísmico revisados, muestran que se podría esperar una aceleración en la roca base entre 150 y 270 cm/seg², para un período

de retorno de 50 años; y aceleraciones máximas probables de 400 a 600 cm/seg², para un período de retorno de 500 años.

TABLA 3.3 ACELEROGRAMAS DISPONIBLES (Brady y Pérez, 1977)

FECHA	ESTACION N°	COMPONENTES	DURACION (seg)	VALORES MAXIMOS CORREGIDOS			DISTANCIA (Km)	
				Accleración (cm/seg ²)	Velocidad (cm/seg)	Desplaza- miento (cm)	Hipocentral	Epicentral
31-01-51	4300	UP N82W N08E	30	18.7 -60.44 45.7	-1.54 -1.70 .92	-1.30 -1.31 .20	116	105
17-10-66	4302	UP N82W N08E	66	94.3 -180.6 -269.3	10.6 13.2 -21.6	13.5 7.4 -16.6	240	236
31-05-70	4302	UP N82W N08E	45	73.5 -104.8 - 97.8	4.5 4.7 7.0	1.5 1.6 2.6	375	372
29-11-71	4302	UP N82W N08E	40	23.0 53.6 86.5	1.2 4.1 -4.2	.60 1.7 -1.3	138	127
05-01-74	4302	UP N82W N08E	36	-30.3 66.8 -72.3	-2.0 4.0 -2.2	- .7 .6 .5	123	74
05-01-74	4303	UP N34E N56W	33	-77.1 -139.6 -156.2	-2.3 3.2 4.4	.0 1.3 1.1	122	73
03-10-74	4304	UP N70W N20E	90	192.3 -207.1 -126.3	-20.5 16.9 12.0	7.9 8.0 -4.6	95	91
03-11-74	4302	UP N82W N08E	90	99.8 -192.5 178.9	-7.0 14.5 10.3	-5.8 6.4 -5.3	90	86
07-11-74	4302	UP N82W N08E	48	-28.0 46.2 -69.2	-3.2 -3.6 -4.9	-1.8 1.0 -1.0	95	95
07-11-74	4305	UP N05E N85W	40	-115.8 - 41.3 - 93.7	-7.9 5.3 -5.4	2.4 2.6 1.3	103	103

TABLA 3.4 ESTACIONES DE REGISTRO (Brady y Perez, 1977)

ESTACION N°	UBICACION	COORDENADAS Latitud Longitud	TIPO Y TAMAÑO DE LA ESTRUCTURA	INSTRUMENTO Y UBICACION DEL MISMO	CONDICIONES LOCALES DEL SUELO
4300	Instituto Geológico Plaza Habich-Lima	12.07 S 77.04 W	Edificio de 2 pisos	STD A nivel del suelo	Grava gruesa Densa y Cantos Rodados a una profundidad desconocida de al menos varias decenas y posiblemente 100 ó más pies con una napa freática profunda.
4302	Instituto Geológico Av. Arequipa Lima.	12.07 S 77.04 W	Edificio de 1 piso	STD A nivel del suelo	
4303	Estación Zártego Lima	12.02 S 77.01 W	-	SMA 1 A nivel del suelo	Sedimento Aluvional
4304	Residencia Dr. Huaco Las Gardenias Lima	12.02 S 76.98 W	Casa de 2 pisos	SMA 1 A nivel del terreno	Sedimento Aluvional
4305	La Molina, Lima	12.08 S 76.95 W	Edificio de 2 pisos	SMA 1 A nivel del terreno	Limo arcilloso

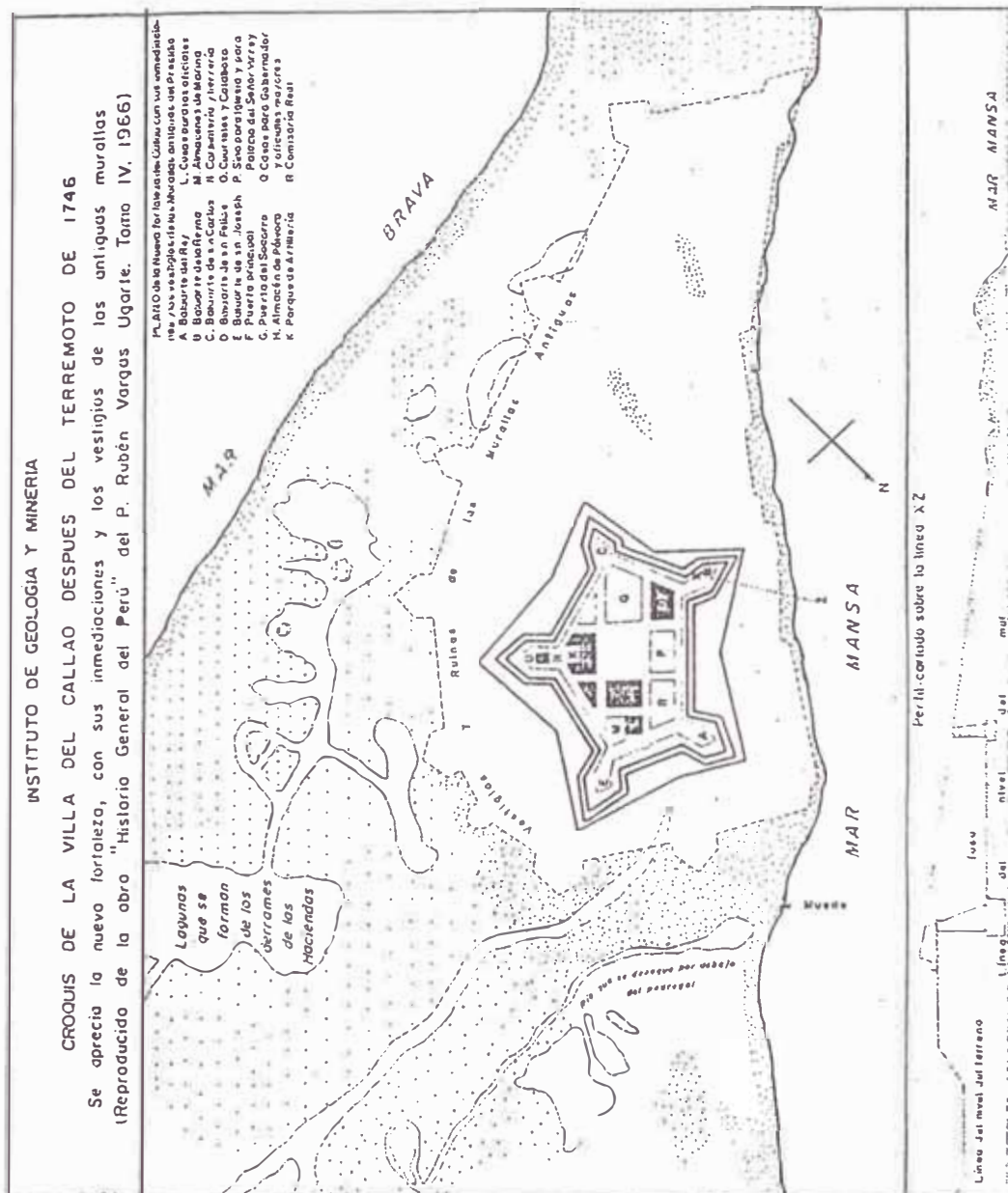


FIG. 3.1 CROQUIS DEL PUERTO DEL CALLAO DESPUES DEL TERREMOTO Y TSUNAMI DE 1746
Ref. (Silgado, 1978)

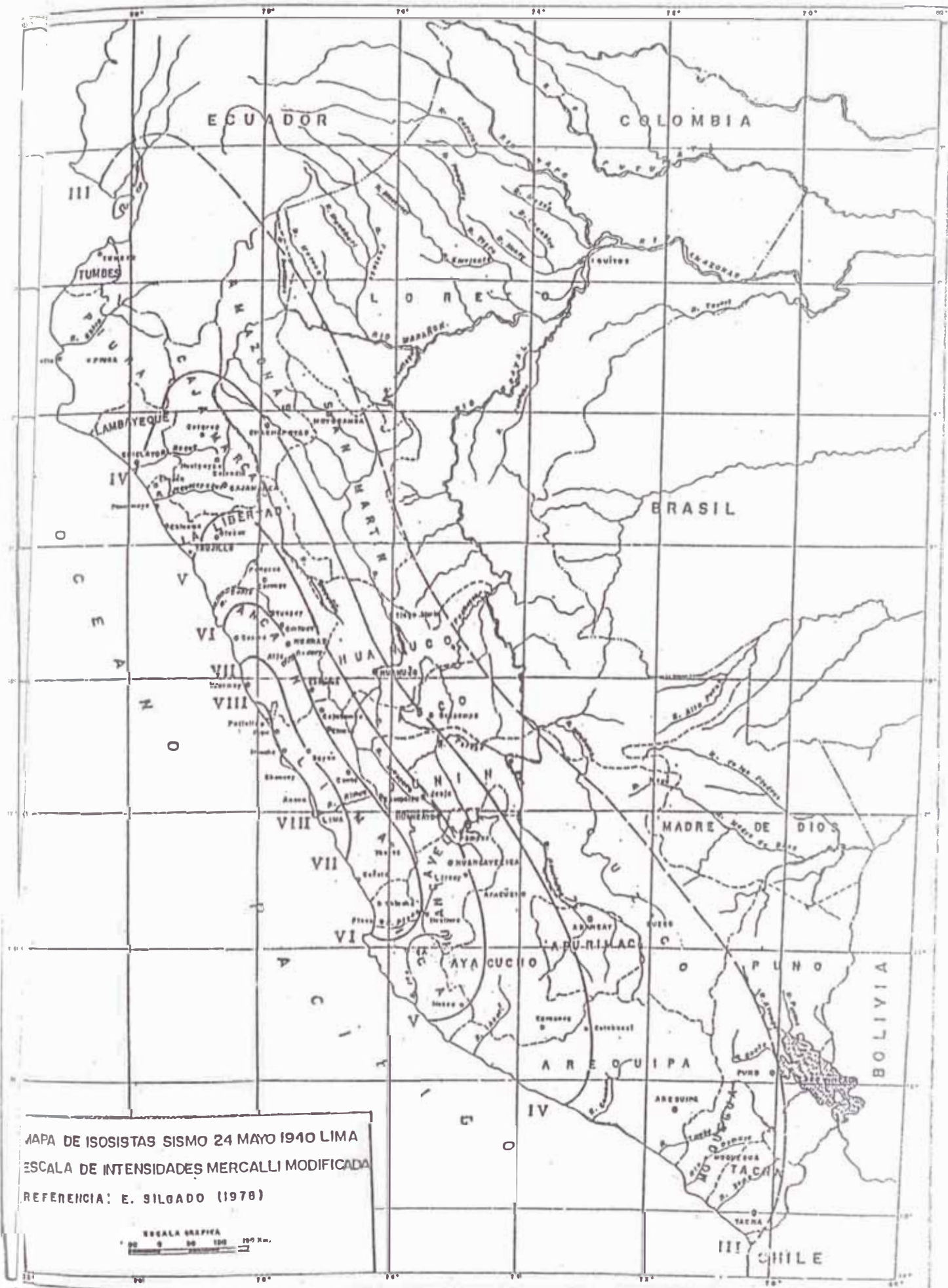


FIG. 3.2 MAPA DE ISOSISTAS DEL SISMO DEL 24 DE MAYO DE 1940
 Ref. (Silgado, 1978)

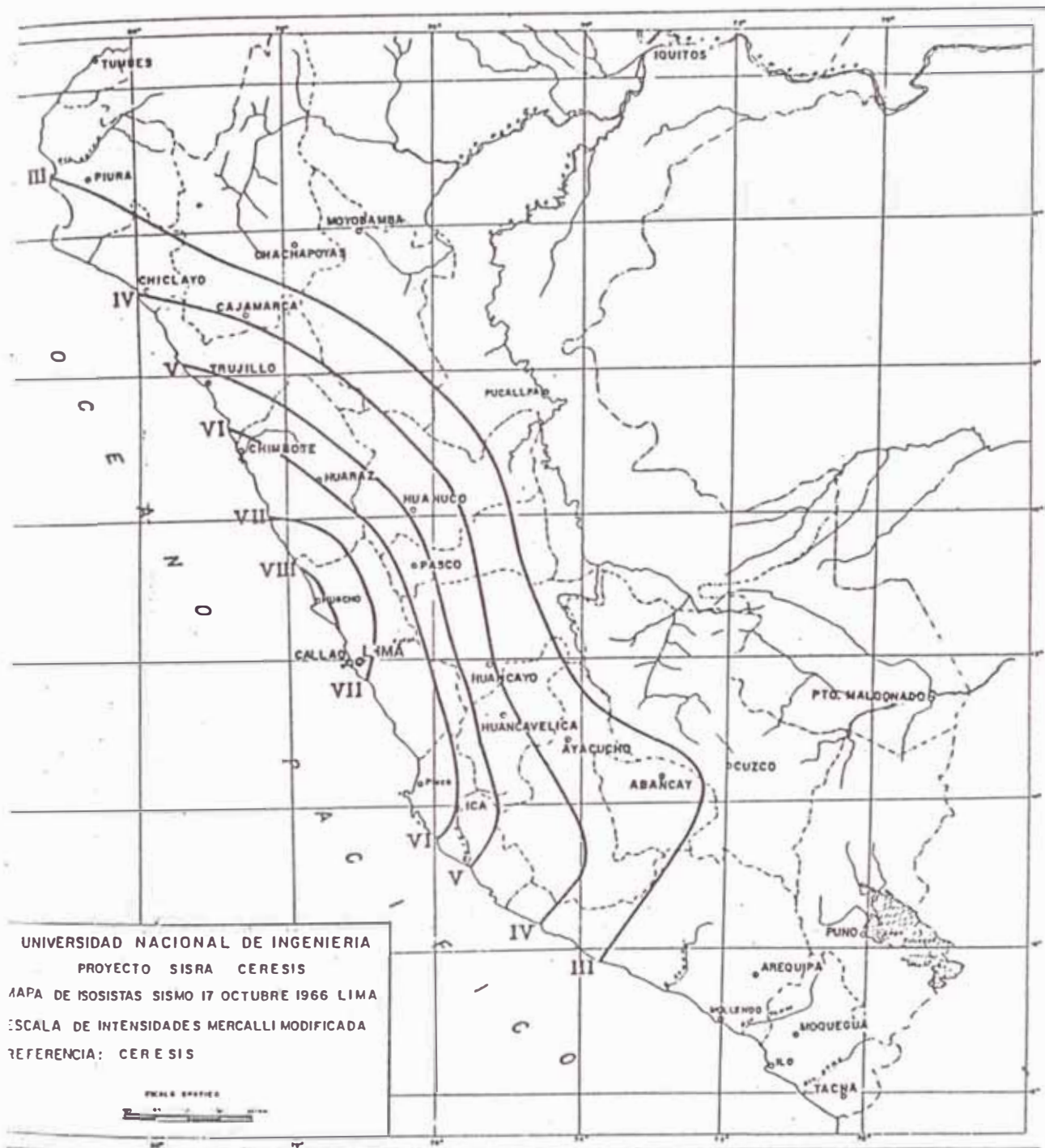


FIG. 3.3 MAPA DE ISOSISTAS DEL SISMO DEL 17 DE OCTUBRE DE 1966
 Ref. (CERESIS)

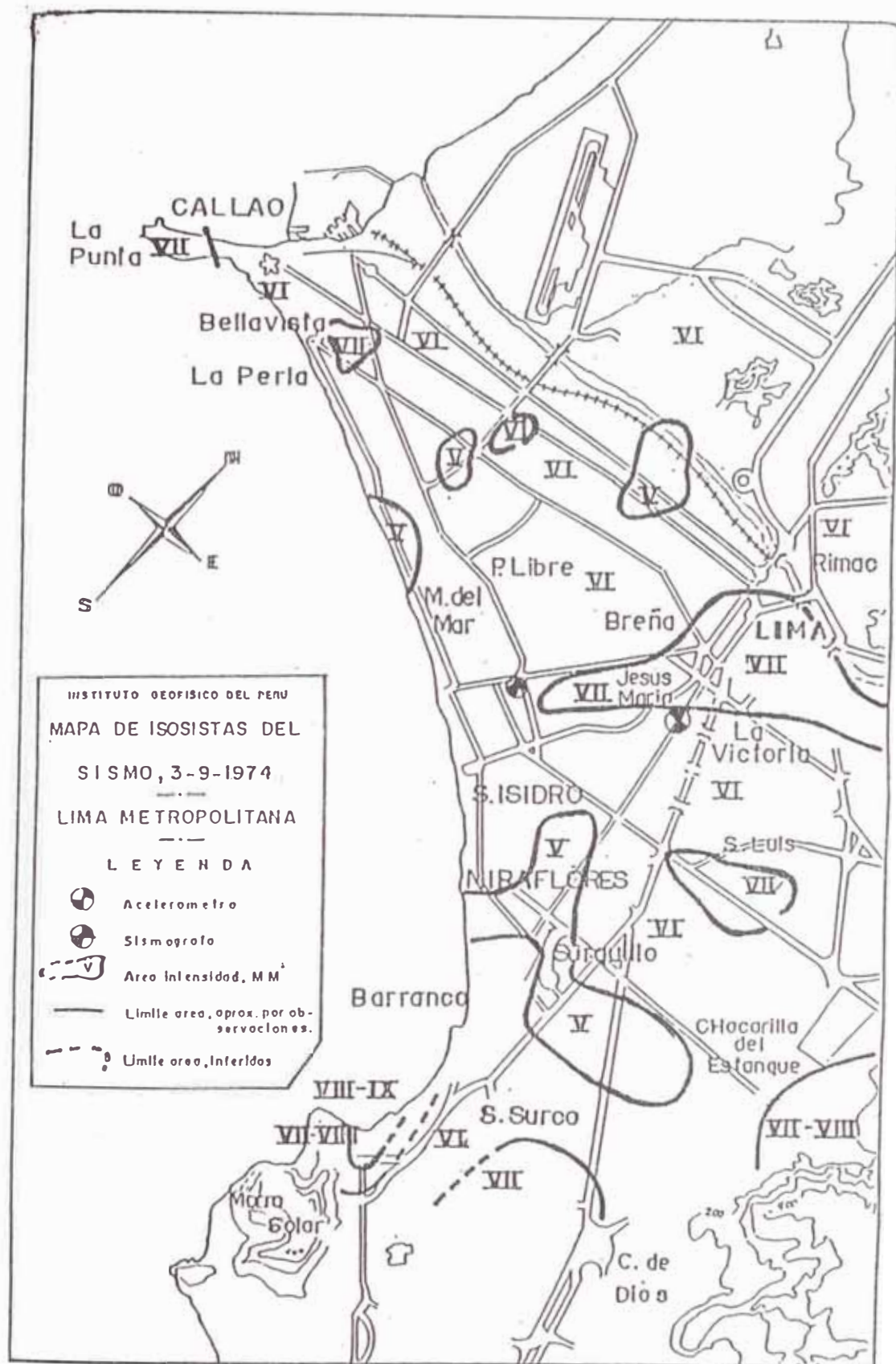


FIG. 3.4 MAPA DE ISOSISTAS DEL SISMO DEL 3 DE OCTUBRE DE 1974 EN LIMA METROPOLITANA Ref. (Instituto Geofísico del Perú)

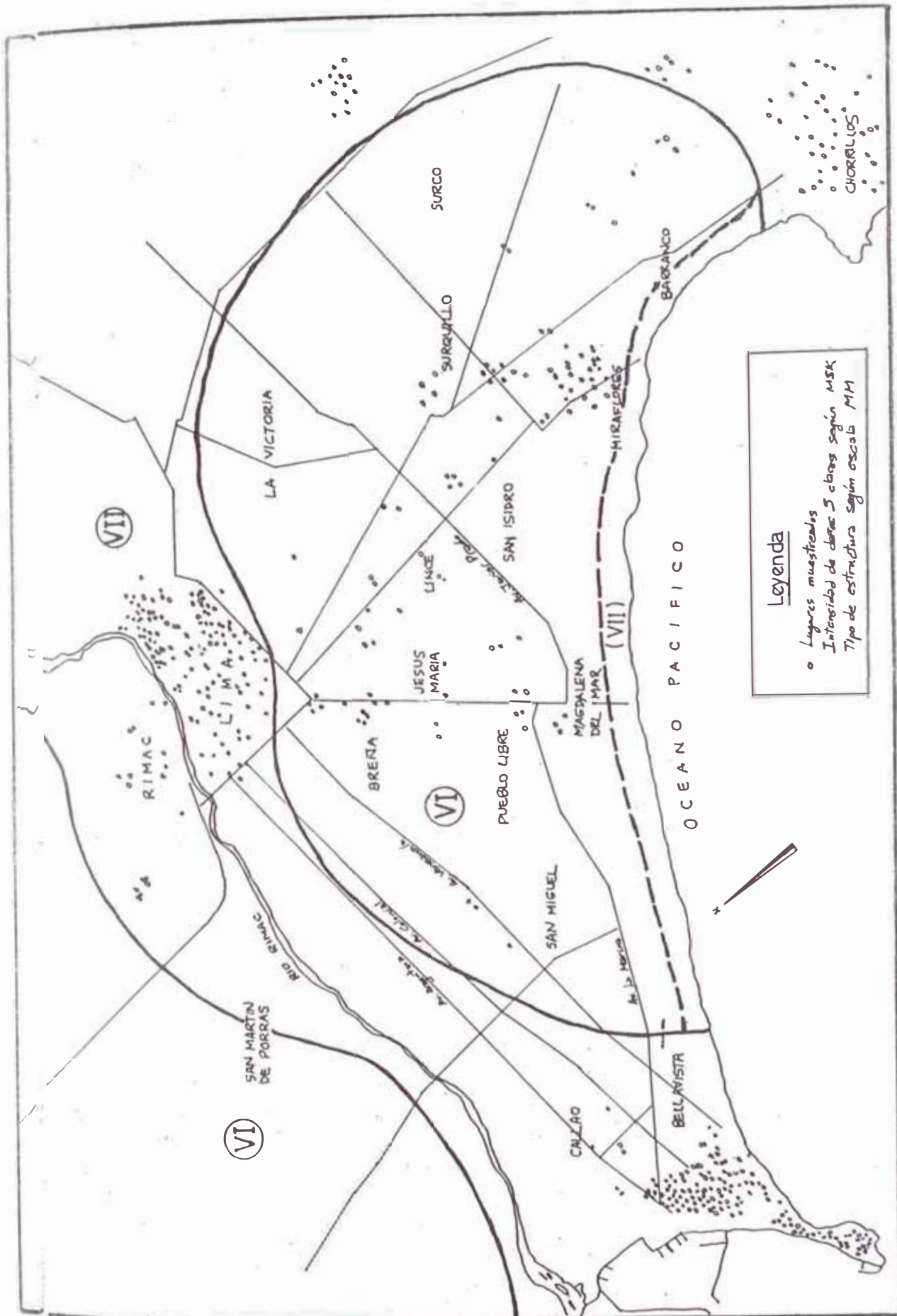


Fig. 3.5 MAPA DE INTENSIDADES EN LA
ESCALA MSK PARA LIMA. SISMO 17/10/66
Ref. (Instituto Geofísico del Perú)

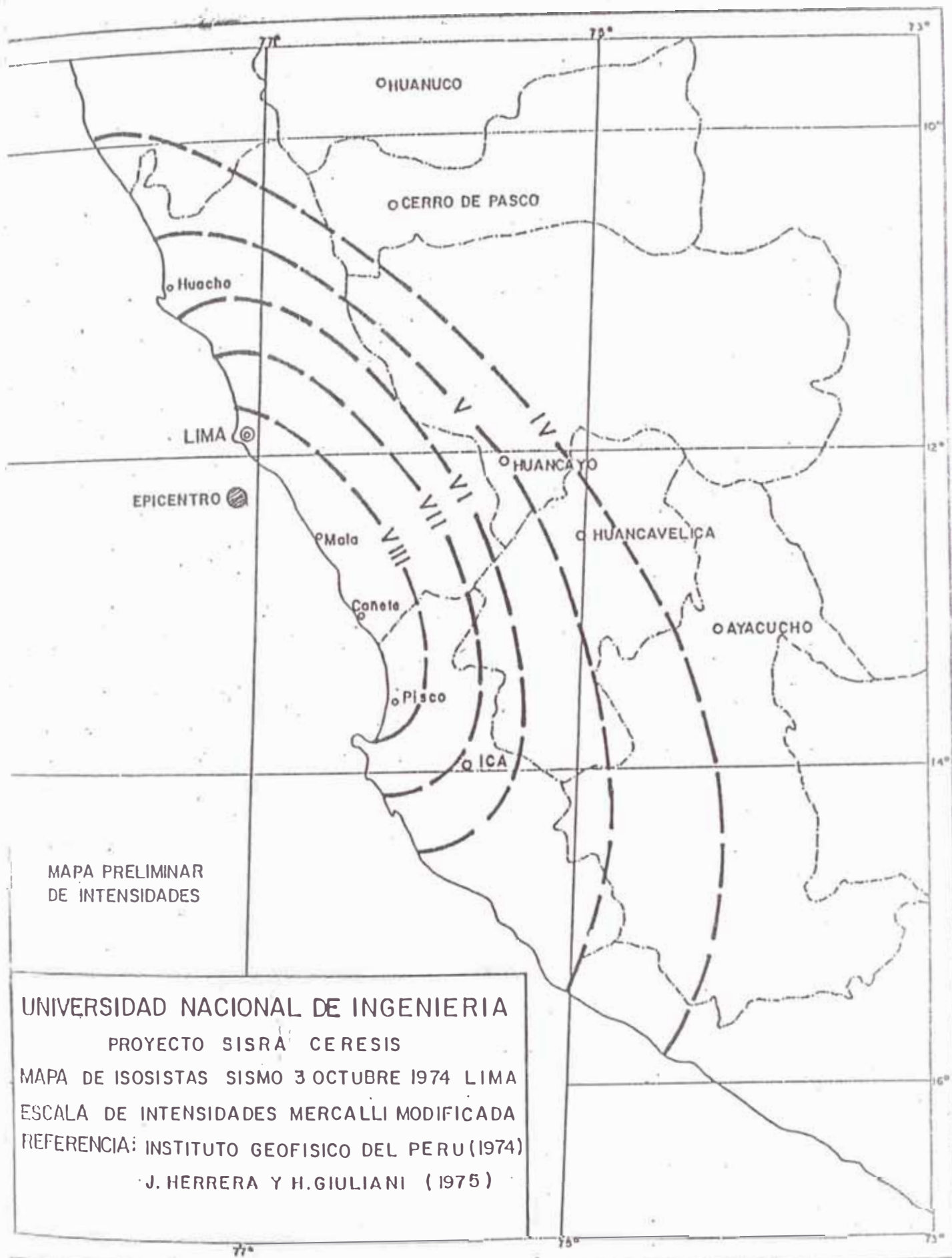


FIG. 3.6 MAPA DE ISOSISTAS DEL SISMO DEL 3
DE OCTUBRE DE 1974
Ref. (Instituto Geofísico del Perú, 1974)
(Herrera, J. y Giuliani, H., 1975)

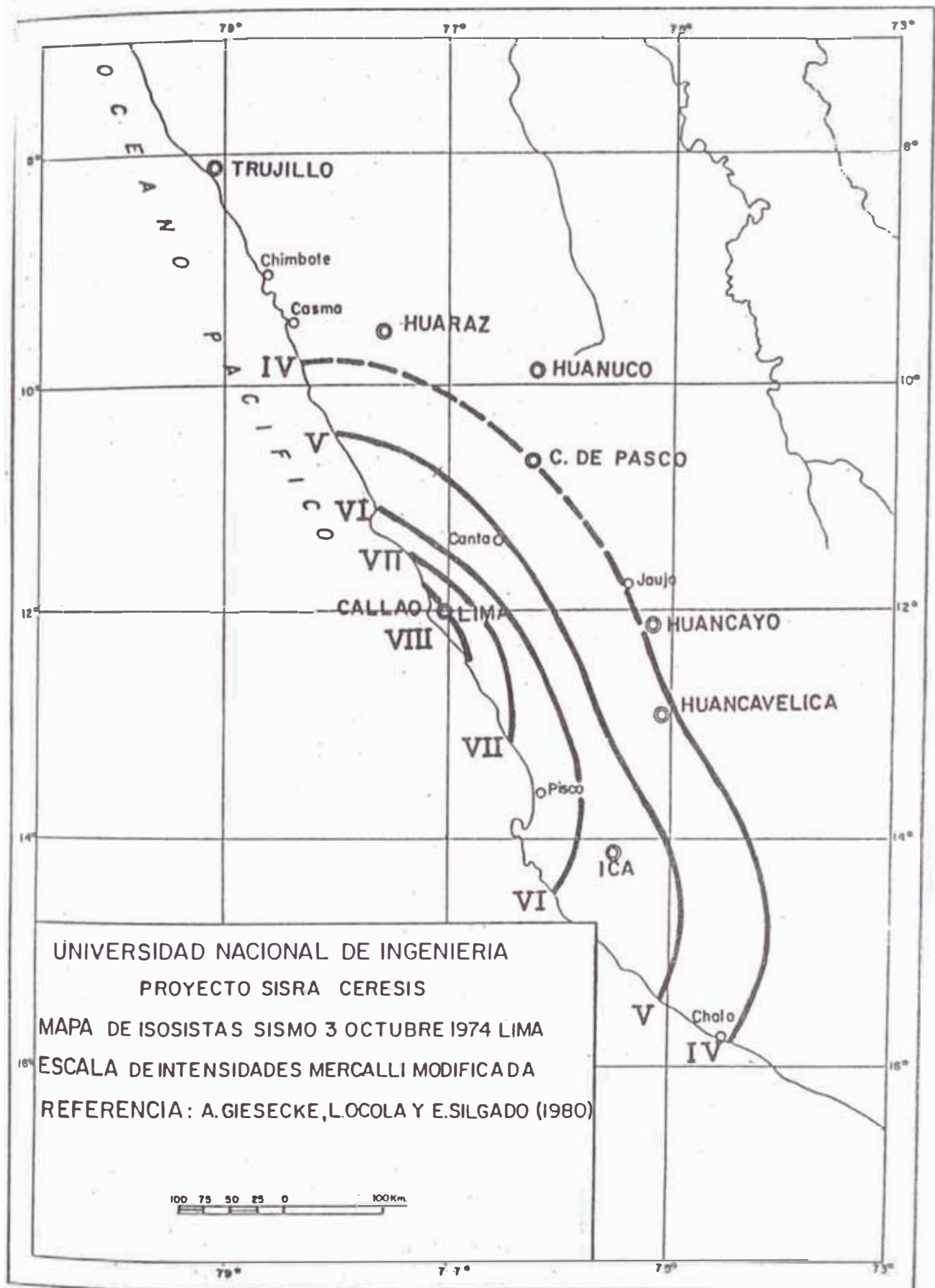


Fig. 3.7 MAPA DE ISOSISTAS DEL SISMO DEL 3 DE OCTUBRE DE 1974
Ref. (Giesecke, Ocola y Silgado, 1980)

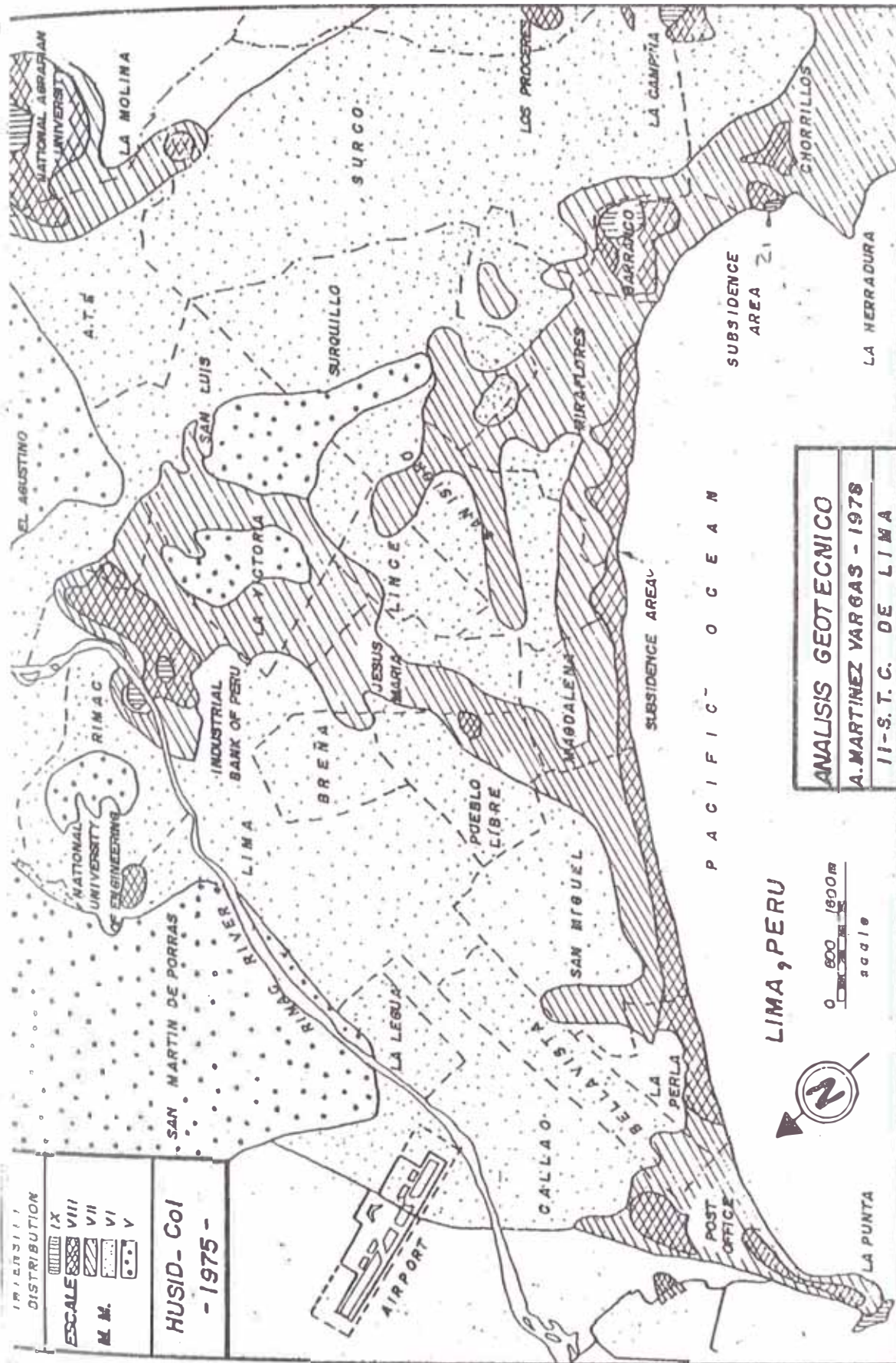


FIG. 3.8 MAPA DE INTENSIDADES PARA LIMA METROPOLITANA, SEGUN HUSID ET AL, 1975. SISMO DEL 3 DE OCTUBRE DE 1974
 Ref. (Martínez, 1978)

CORRECTED ACCELERATION, VELOCITY, DISPLACEMENT
 LIMA, PERU EARTHQUAKE OF OCTOBER 10, 1966
 INSTITUTO GEOFISICO DEL PERU, NOBE COMP
 ACCELEROGRAM IS BAND PASS FILTERED BETWEEN .050 - .070 AND 25.00 - 27.00 CYC/SEC
 • PEAK VALUES ACCEL=-269.3 CM/SEC/SEC, VELOCITY=-21.60 CM/SEC, DISPL=-16.60 CM

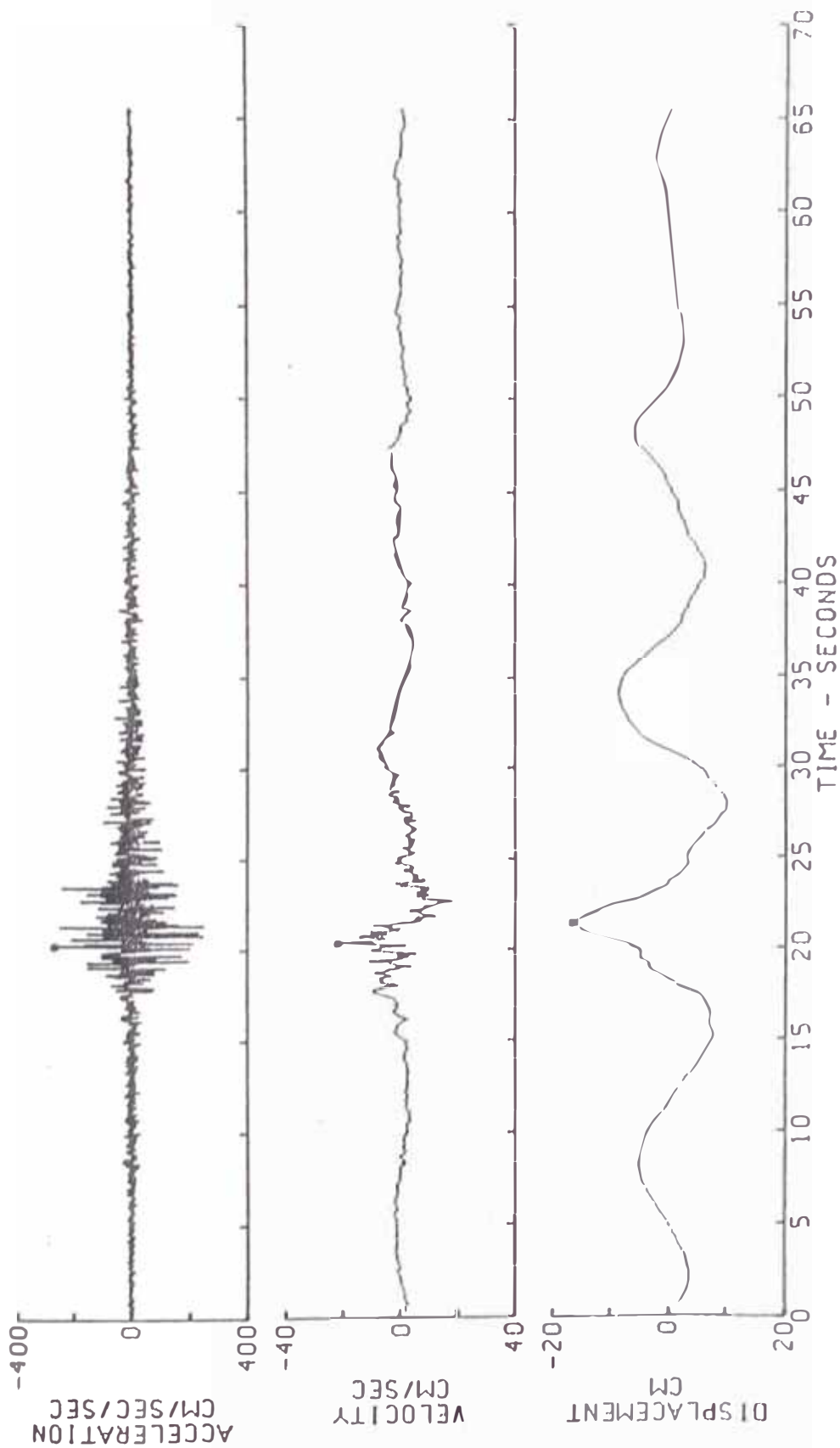


FIG. 3.9 REGISTRO CORREGIDO DE ACCELERACIONES,
 VELOCIDADES Y DESPLAZAMIENTOS
 COMP. NOBE, SISMO DEL 17 DE OCTUBRE DE 1966
 Ref. Brady y Pérez, (1977)

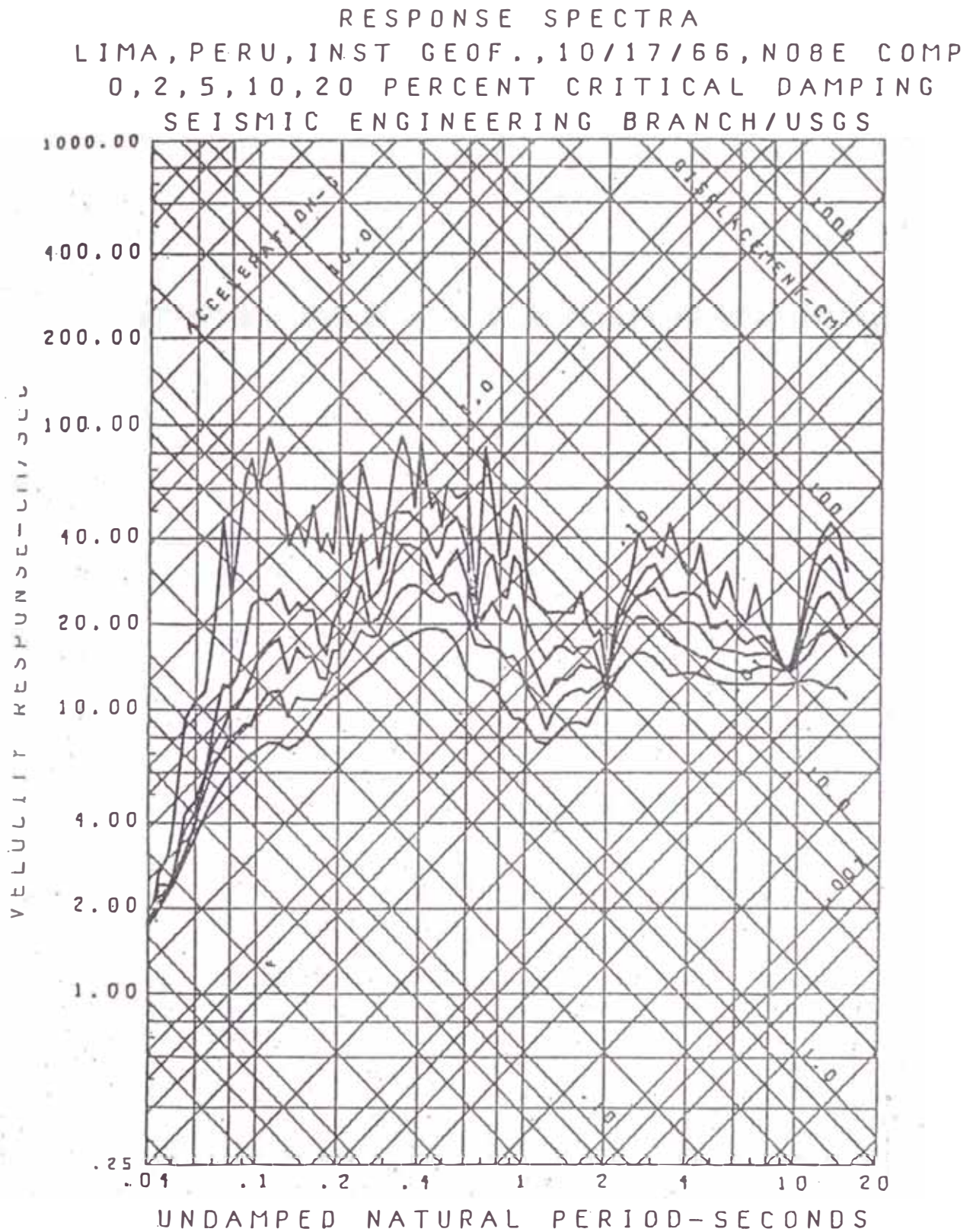


FIG. 3.10 ESPECTRO DE RESPUESTA. COMP. N08E.
SISMO DEL 17 DE OCTUBRE DE 1966
Ref. (Brady y Pérez, 1977)

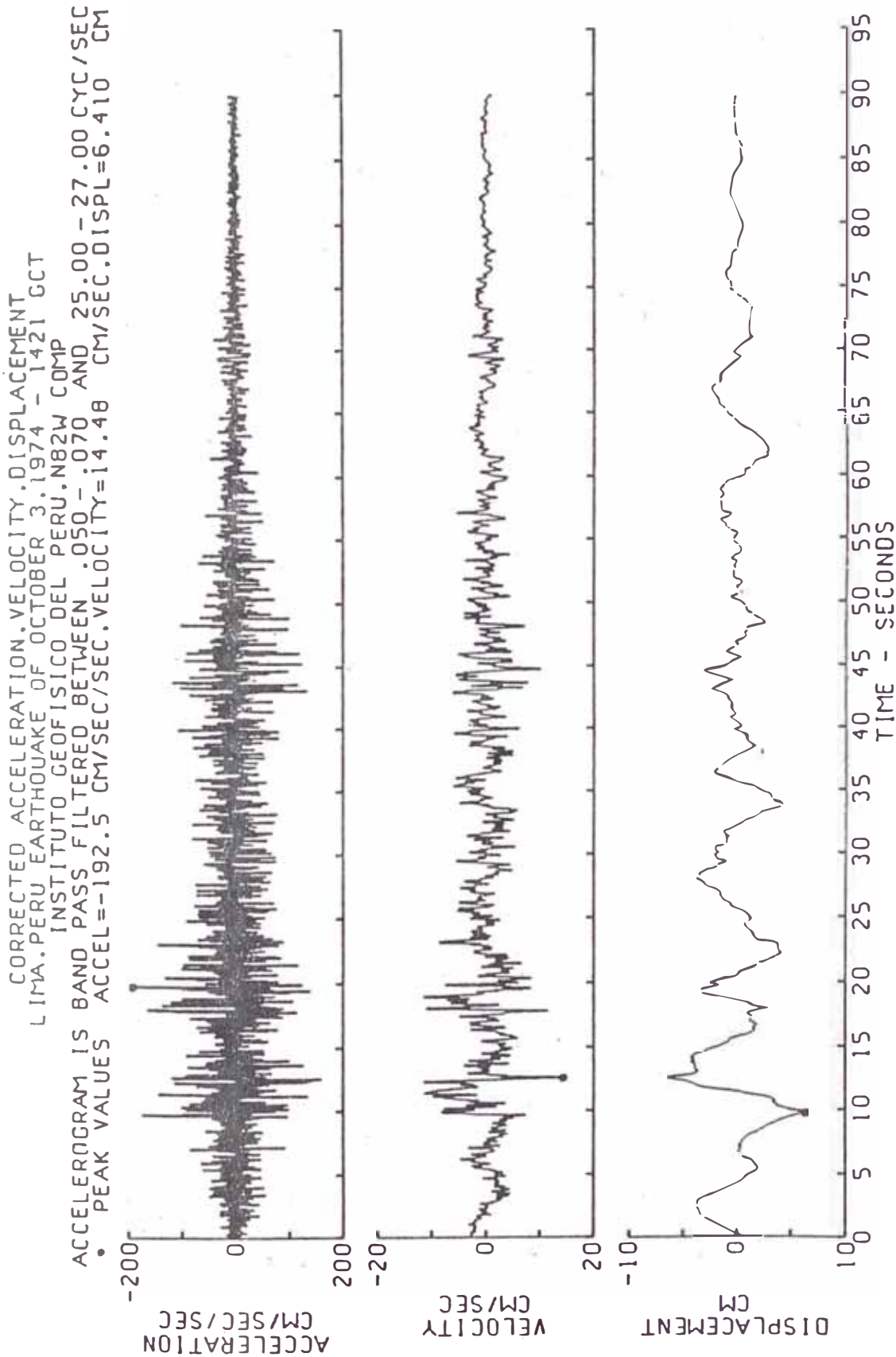


FIG. 3.11 REGISTRO CORREGIDO DE ACELERACIONES,
VELOCIDADES Y DESPLAZAMIENTOS.
COMP. N82W. SISMO DEL 3 DE OCTUBRE DE 1974
Ref. (Brady y Pérez, 1977)

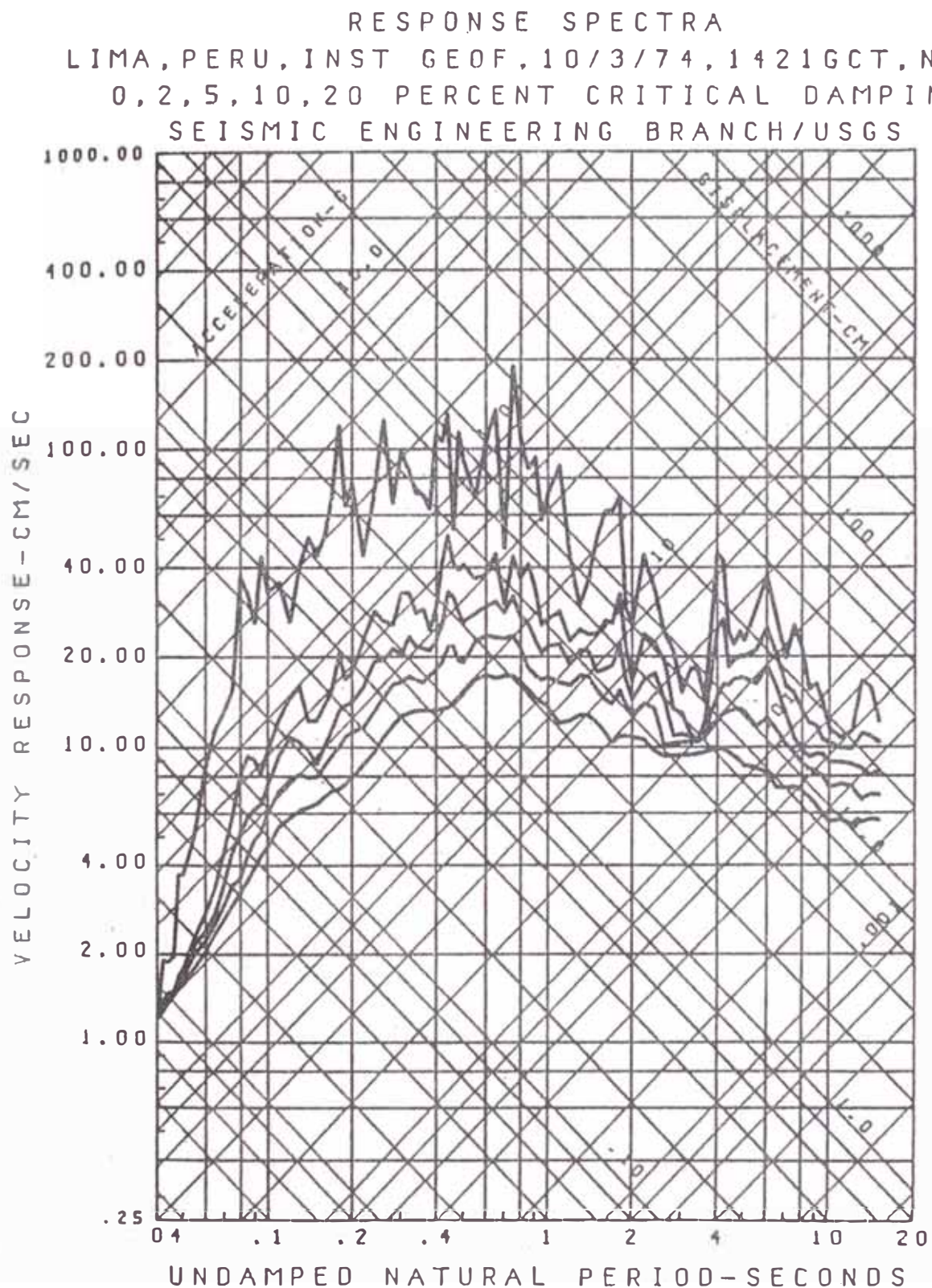


FIG. 3.12 ESPECTRO DE RESPUESTA. COMP. N82W.
SISMO DEL 3 DE OCTUBRE DE 1974.
Ref. (Brady y Pérez, 1977)

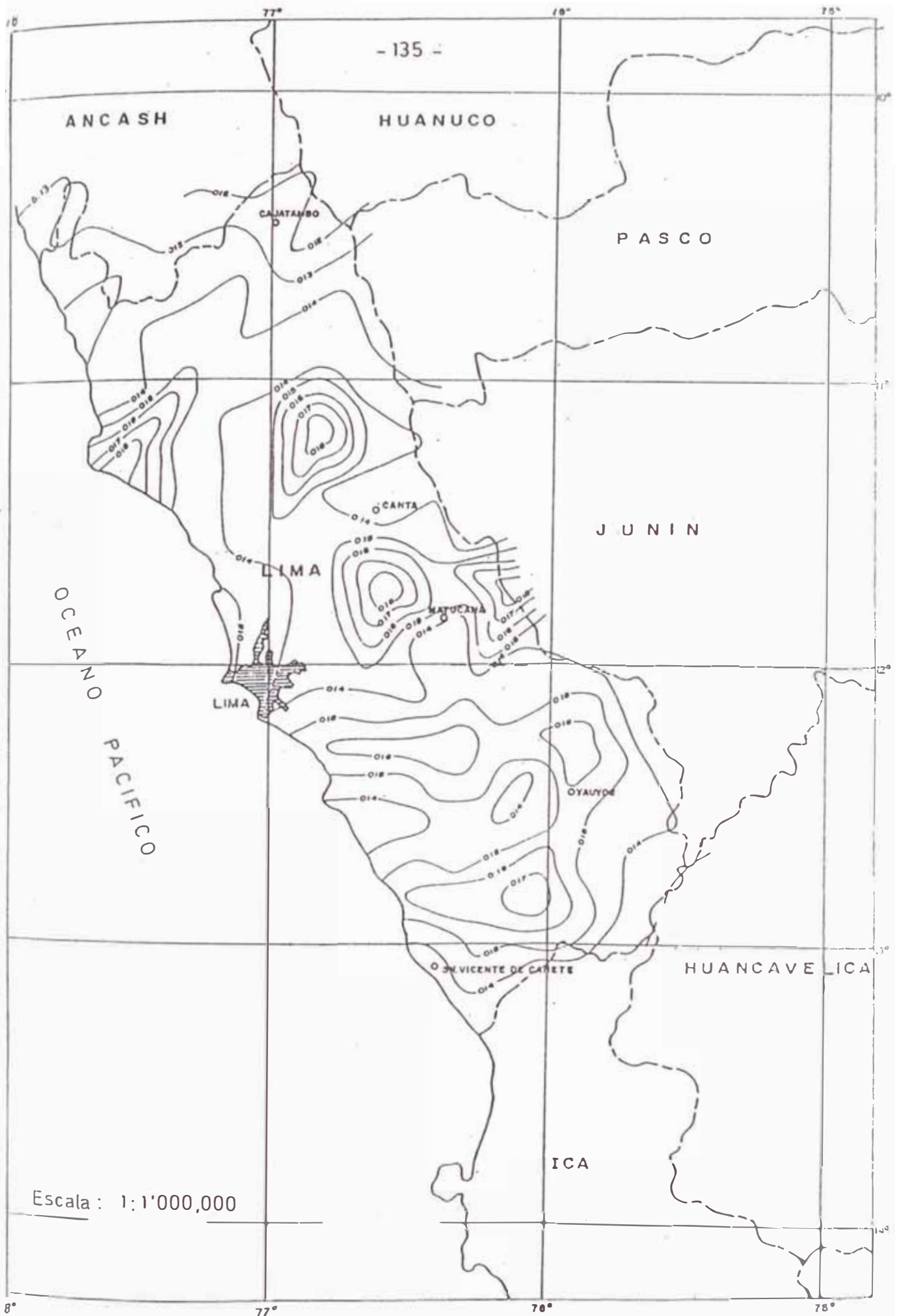
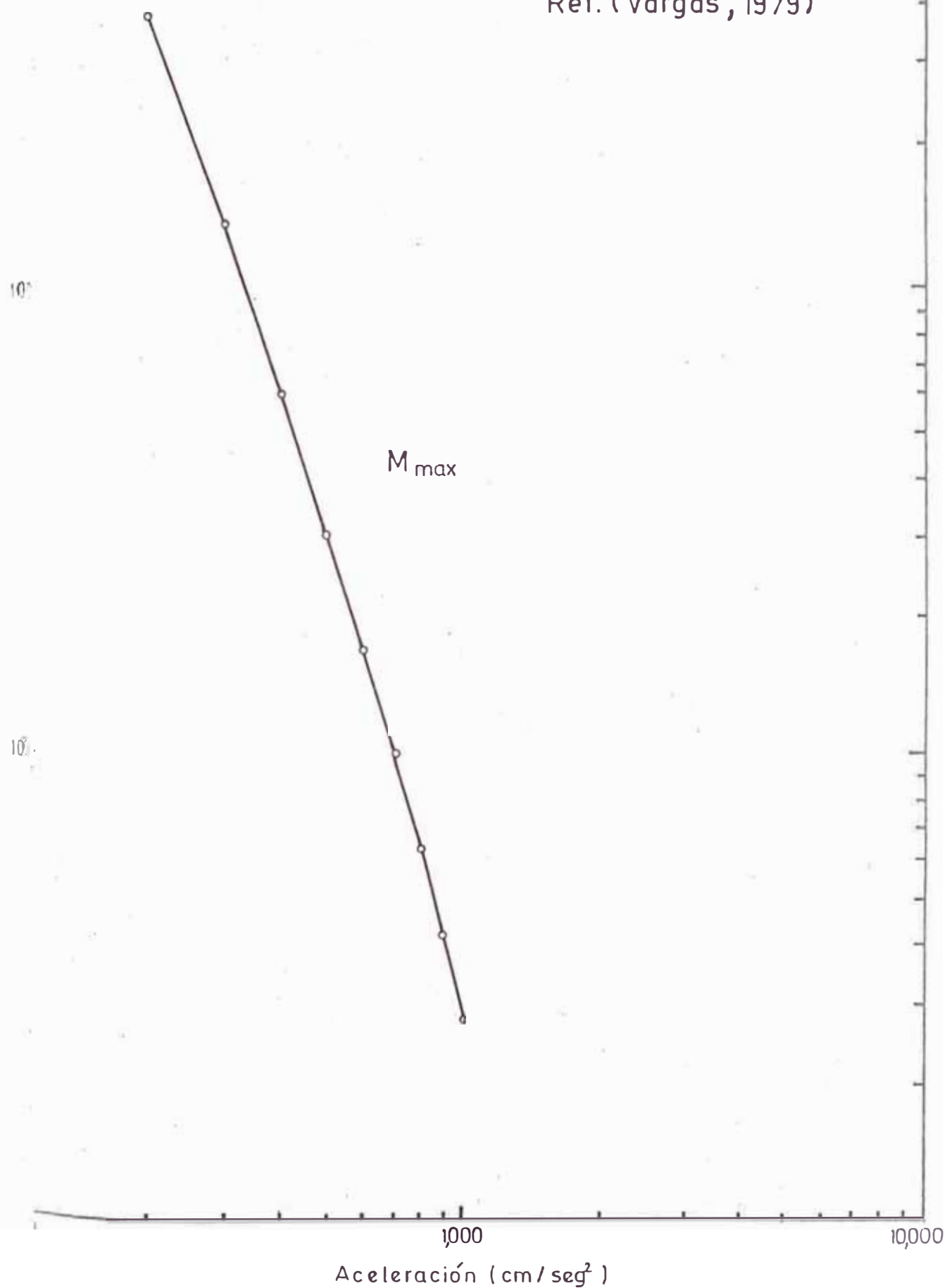


FIG. 3.14 MAPA DE ACELERACIONES CON UN PERIODO DE RETORNO MEDIO (T) DE 50 AÑOS
Ref. (Casaverde, 1979)

Fig. 3.15 Riesgo Sísmico en
terminos de Aceleración
Maxima del Suelo.
Ref. (Vargas, 1979)



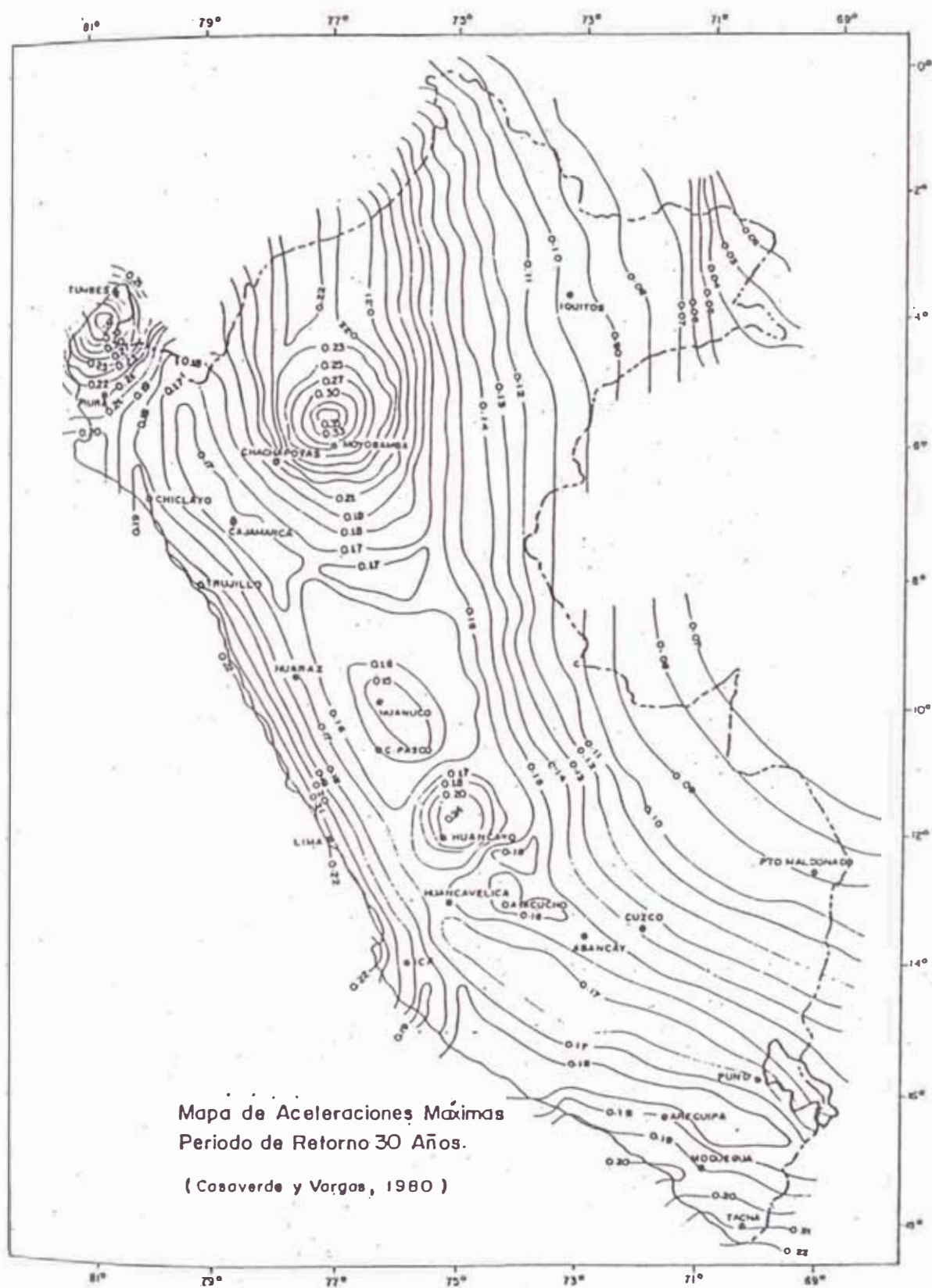


FIG. 3.16 MAPA DE ACELERACIONES MAXIMAS CON UN PERIODO DE RETORNO DE 30 AÑOS
Ref. (Casaverde y Vargas, 1980)

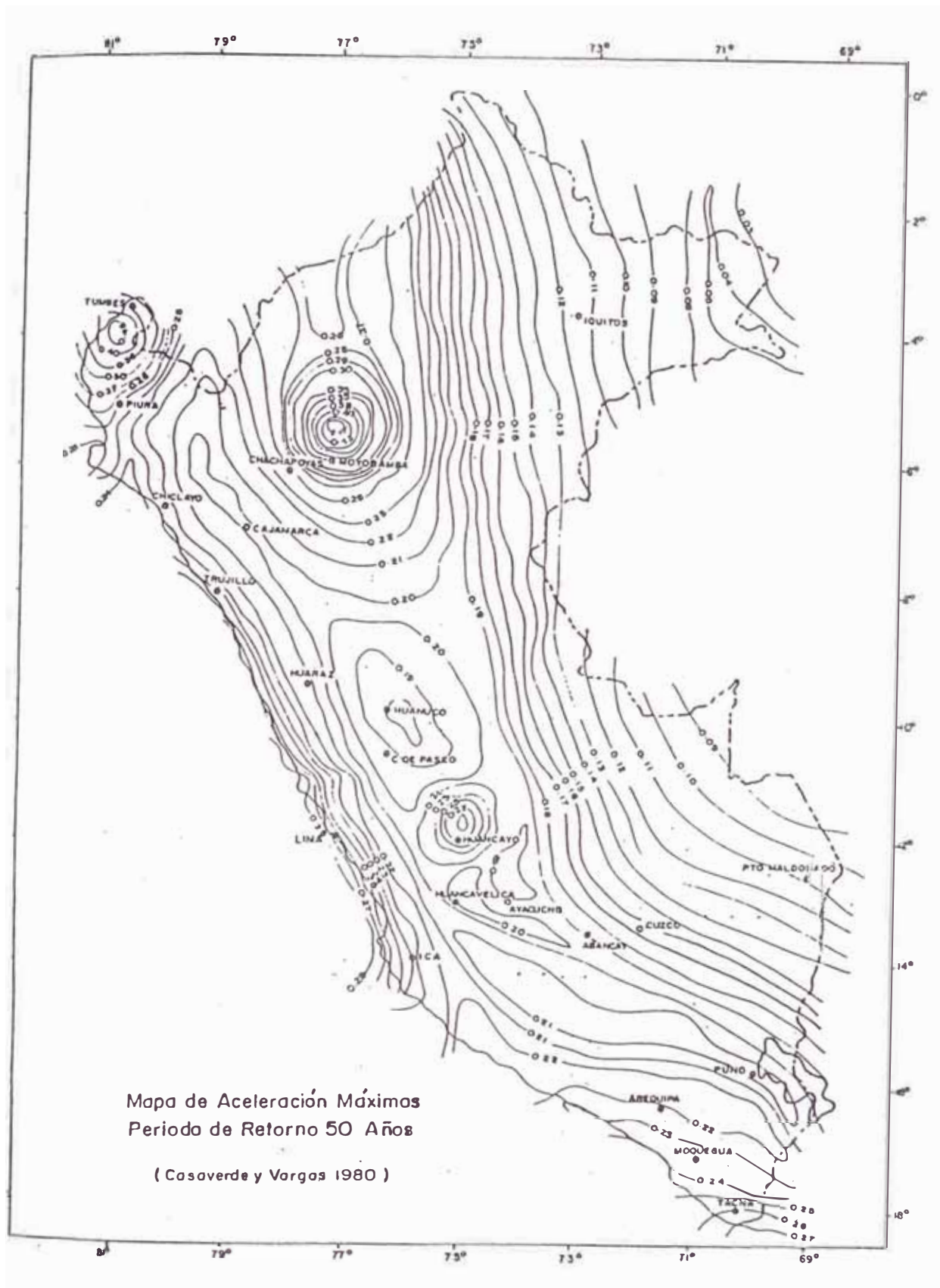


FIG. 3.17 MAPA DE ACELERACIONES MAXIMAS CON UN PERIODO DE RETORNO DE 50 AÑOS
Ref. (Casaverde y Vargas, 1980)

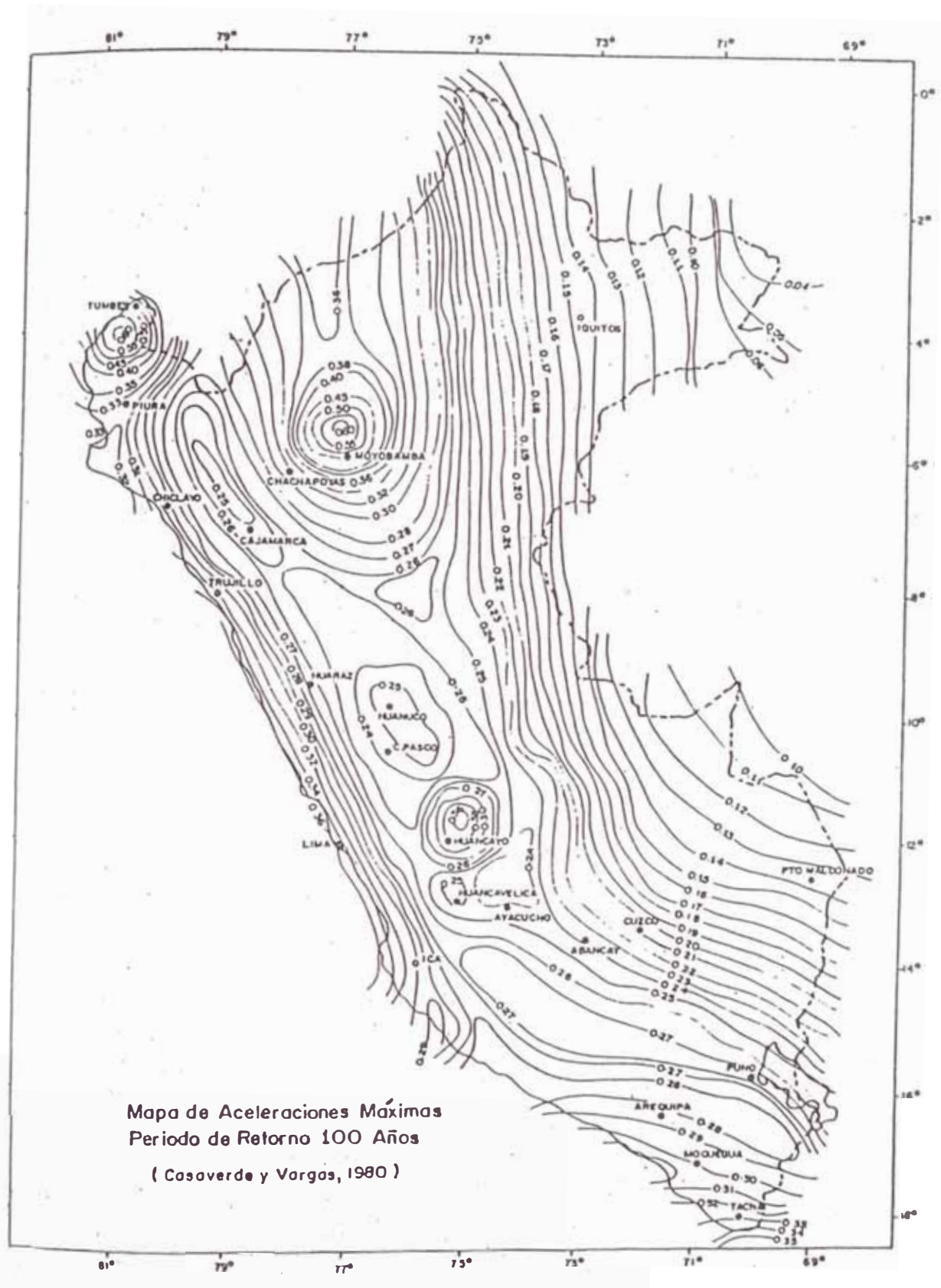


FIG. 3.18 MAPA DE ACELERACIONES MAXIMAS CON UN PERIODO DE RETORNO DE 100 AÑOS
Ref. (Casaverde y Vargas, 1980)

CAPITULO IV

MEDICION DE MICROTREPIDACIONES EN LA PUNTA Y EL CALLAO

4.1 INTRODUCCION.

En este capítulo se presenta un informe del trabajo de medición de microtrepidaciones desarrollado, describiéndose el equipo y la metodología empleada para la toma de datos y su análisis. Los resultados se resumen en un plano de curvas isoperíodo de la zona estudiada. Se presenta además la comparación de los resultados de estas mediciones con los resultados de los registros de pequeños sismos grabados por la red acelerográfica del CISMID.

El programa de mediciones llevado a cabo, formó parte del proyecto de Microzonificación Sísmica de La Punta y el Callao, y contó con el auspicio de la Agencia de Cooperación Internacional del Japón (JICA) y del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONCYTEC). Este proyecto, además, está enmarcado por un plan más amplio que consiste en la zonificación sísmica de Lima en áreas vulnerables como La Molina y Chorrillos, el cual es propugnado por el Centro Peruano-Japonés de Investigaciones Sísmicas y Mitigación de Desastres (CISMID), a través de su Laboratorio Geotécnico.

4.2 ORIGEN Y FUNDAMENTO DE LAS MICROTREPIDACIONES.

La técnica de observar o medir las microtrepidaciones se originó en los registros sismográficos de gran sensibilidad. Así, un sismógrafo que tenga una magnificación de más de 1000 veces, grabará los movimientos del suelo continuamente.

En un principio, las fuentes que originaban estas vibraciones no eran identificadas y se les consideraba como un tipo de ruido en los sismógrafos. Posteriormente, a estas vibraciones se les denominó "microtremors", porque su nivel de amplitudes era el de las micras, y se encontró que eran causadas principalmente por perturbaciones artificiales tales como el tráfico, máquinas industriales, etc; de allí que, mientras más grande sea una ciudad, mayores serán las amplitudes de las microtrepidaciones.

La forma en que las fuentes arriba mencionadas producen las microtrepidaciones, es explicada por la teoría de la reflexión múltiple, según la cual, las ondas generadas por los agentes superficiales van reflejándose en las interfases superiores de una columna de suelo, de tal forma que al llegar a la superficie contienen las frecuencias del suelo que corresponden a la estratigrafía atravesada. Las condiciones requeridas para que se presente una vibración predominante superficial fueron establecidas por Kanai (1957), según lo cual:

a) Cuando el suelo está formado por un solo estrato, la respuesta espectral del suelo tiene un solo pico predominante.

b) En general, en el caso de capas múltiples estratificadas, la respuesta espectral de las amplitudes en el estrato superficial es muy irregular, y el valor máximo del pico no es demasiado grande como en el caso de un estrato único.

c) En algunas circunstancias particulares, cuando todas las ondas reflejadas en cada interfase que arriban a la superficie libre están en la misma fase, la amplitud superficial crece a un valor extremadamente grande.

d) Es probable que amplitudes de vibración muy grandes aparezcan en la superficie, aún si un medio rígido existe en el estrato superficial o en uno intermedio.

e) En muchos casos, el período predominante de vibración del suelo coincide con el período natural del estrato más alto.

f) La discriminación de un buen o mal suelo desde el punto de vista vibracional, a veces difiere de aquél considerado estáticamente, es decir, considerando la capacidad portante del suelo, etc.

Investigaciones realizadas en el Japón han demostrado que el espectro de la razón de amplitudes de las ondas de microtrepidaciones medidas en la superficie y a diferentes profundidades, tiene la forma del espectro de amplificación teórico, obtenido a partir del análisis del perfil de suelo; todo lo cual indica que las microtrepidaciones representan al suelo vibrando bajo niveles muy reducidos de deformación, que para el caso teórico vendrían a ser nulos.

Además, se ha encontrado que el período predominante de microtrepidaciones es, en la mayoría de los casos, el período predominante esperado para sismos pequeños, Kanai (1969), ó sea a niveles todavía bajos de deformación.

Por otro lado, de las sistemáticas mediciones de microtrepidaciones que han sido llevadas a cabo en el Japón, se ha encontrado que las propiedades del suelo inferidas de las características de las microtrepidaciones, son útiles para la determinación del factor sísmico relativo al diseño de construcciones sismo-resistentes, Kanai (1966), aspecto que no se ha desarrollado en el Perú.

En la actualidad, en el Código Sísmico del Japón, se establece claramente la relación entre las características de las microtrepidaciones, dadas por el período predominante del suelo obtenido a través del

espectro de Fourier, y la condición del suelo, tal como se observa en las Tablas 4.1 y 4.2. En el pasado se sugirieron otros métodos, basados en la medición de los períodos predominante, medio y el más largo, lo que obedecía al análisis de la curva de distribución de períodos y a la consideración de la amplitud de la vibración para la clasificación.

TABLA 4.1. CLASIFICACION DEL SUELO POR MICROTREPIDACIONES.

TIPO	CARACTERISTICAS
1°	Rocas, gravas duras y depósitos anteriores al Terciario. O cuando los resultados del análisis del período predominante muestren el mismo tipo de suelo descrito.
2°	Ni el primero ni el tercero.
3°	Suelos orgánicos, lodos y otros materiales similares al tipo de suelo aluvial (incluye relleno), con potencias mayores a 30 metros. Suelos habilitados con potencias de aprox. 3 metros. Con antigüedad de relleno no mayor de 30 años. O si los resultados del análisis del análisis predominante muestran la clase de suelo mencionada.

TABLA 4.2. CORRESPONDENCIA ENTRE EL TIPO DE SUELO Y EL PERIODO PREDOMINANTE POR MICROTREPIDACIONES (EN JAPON).

TIPO DE SUELO	PERIODO (en seg.)
1°	$T_g \leq 0.2$
2°	$0.2 < T_g \leq 0.75$
3°	$0.75 < T_g$

4.3 CARACTERISTICAS DEL EQUIPO DE MEDICION Y ANALISIS.

El equipo de medición utilizado en este trabajo consta de las siguientes partes:

4.3.1 Transductores o Sensores.

Son elementos constituidos por un péndulo electromagnético con amortiguamiento, los cuales reciben la señal de vibración y tienen un período natural de 1 seg. Se usaron transductores marca OGAWA del modelo MTKH-1C los horizontales, y MTKV-1C el vertical. Ambas componentes miden velocidades con una sensibilidad de 5.25 V/k, en el rango de frecuencias de 1 a 70 Hz. La Fig. 4.1 ilustra el sensor horizontal y la Fig. 4.2 el sensor vertical.

4.3.2 Amplificador.

Esta unidad sirve para recibir la señal y darle salida con el nivel de amplitudes requerido. Se usó una marca OGAWA, del modelo TA-406, Fig.4.3, que cuenta con 6 canales, cada uno de los cuales tiene las siguientes características:

Filtro pasa-bajos con $f_c = 30$ Hz.

2 Atenuadores, uno para 0, 6, 14, 26, 34 y 46 dB;
y otro para 0 y 20 dB.

Opción de medir velocidades o desplazamientos.

- Opción de medir con sensores de 1 ó 5 seg. de período.

- Curva de respuesta con sensibilidad máxima de 4V/u, para medir desplazamientos con sensores de 1 seg. de período, que es el caso para este trabajo. La curva de respuesta se muestra en la Fig. 4.5.

4.3.3 Grabadora.

Se utilizó una grabadora marca TEAC-RD-110T de 8 canales, con entrada y salida simultánea de señales mediante una interfase. Este aparato ofrece, entre otras facilidades: un canal exclusivo para sonido del medio ambiente o registro de la voz; otro canal para grabar y reproducir fecha y hora; y un último canal para grabar un código de identificación del evento. También cuenta con un monitor de barras luminosas y búsqueda a alta velocidad. Las amplitudes se reciben en el rango de ± 2 V para este caso. La Fig. 4.4 ilustra este aparato.

4.3.4 Oscilador Gráfico.

Se utiliza para monitorear la señal durante la grabación y el posterior análisis. El aparato utilizado fue uno marca NEC de 2, 4 o 6 canales, de escritura térmica rectilínea. Se usó la velocidad de impresión de 5 mm/seg. y una relación de impresión de 1 V/cm.

4.3.5 Analizador de Señales FFT.

Este aparato forma parte del equipo de análisis, que está constituido además por la grabadora y el oscilador gráfico descritos. Se utilizó un analizador de señales llamado FFT ANALYZING SCOPE de la marca TEAC, modelo F-3000, Fig. 4.7. Este aparato utiliza la Transformada Rápida de Fourier para obtener el espectro de frecuencias de la señal recibida. Ha sido usado con las siguientes opciones:

- Marco de tiempo de 10 seg., es decir, 10 seg. visibles por vez.
- Rango de frecuencias de 20 Hz.
- Filtro de 20 Hz. pasa-bajos.
- Resolución de frecuencia de 0.1 Hz.
- 512 puntos muestreados cada 10 seg.
- Promediado de espectros como media aritmética.

4.4 DESCRIPCION DE LAS MEDICIONES REALIZADAS EN LA PUNTA Y EL CALLAO.

En La Punta y el Callao se realizaron mediciones sobre 257 puntos, distribuidos uniformemente en el área comprendida por el estudio, que incluye los distritos de La Punta, Callao, Bellavista y La Perla, además de una pequeña porción del distrito de San Miguel.

Se realizaron hasta 4 campañas de medición, durante los meses de Enero a Agosto de 1990, aunque el trabajo de campo sólo ocupó unos 22 días efectivos. Los intervalos entre campañas sirvieron para ir evaluando los resultados, con el propósito de densificar la red.

El programa de medición se inició en lugares abiertos que ofrecieran menor perturbación de tráfico vehicular, tales como parques, campos deportivos, etc., donde los sensores se colocaron generalmente sobre terreno natural firme. Luego, al reducirse la primera posibilidad, se optó por medir en calles con poco tránsito, colocándose los sensores sobre veredas de concreto o sobre el pavimento mismo. Finalmente, se midió en instalaciones especiales, como las del puerto, a pesar de la actividad existente.

Merecen especial mención las mediciones tomadas sobre el bloque de concreto del acelerógrafo del CISMID en el Callao (Chucuito), y sobre los muelles del Terminal Marítimo.

Se prestó atención en tomar nota de las perturbaciones causadas por el viento, tráfico vehicular, ruido de motores, golpes de olas de mar, etc., cuya actividad muy próxima produce vibraciones que exceden el rango preestablecido.

El registro de las microtrepidaciones se grabó en la forma de desplazamientos en tres componentes: Norte-Sur, Este-Oeste y Vertical.

El procedimiento para tomar las mediciones fue el siguiente:

a) Se ubicó, con la ayuda de un plano a escala 1/10,000 los lugares que presentaran la apariencia de no estar sometidos a tráfico intenso, ni estar cerca de industrias o cámaras de bombeo.

b) La elección anterior se verificó en el campo y se procuró aislar el lugar del paso de personas.

c) Se despejó un área de aproximadamente 1 m² de terreno natural, eliminando el material suelto superficial, césped o piedras. En varios casos, al no contar con un suelo suficientemente firme, o en ausencia completa de terreno natural, los sensores fueron instalados sobre veredas o sobre el pavimento.

d) Colocados los sensores sobre la superficie escogida, se orientó su posición con la ayuda de una brújula, de tal manera que un sensor horizontal quedase alineado en la dirección norte-sur y el otro sensor horizontal en la dirección este-oeste. El sensor vertical no necesita orientación particular.

e) Se nivelaron los sensores, observando el nivel de burbuja con que cada sensor cuenta en la cubierta, de tal manera que solamente asomara el filo de la bobina de cobre del péndulo, para garantizar su perpendicularidad.

f) En caso de notarse corrientes de viento, se cubrió los sensores con una caja de cartón, tratando de no producir tensión en los cables de conexión con el amplificador.

g) Se observó la vibración de los tres sensores en el amplificador, reduciéndose en algunos casos a 6 dB la amplitud de las ondas, es decir a la mitad, y en muy pocos casos a 14 dB, la quinta parte, para lograr un adecuado nivel de grabación.

h) Con la ayuda del oscilador gráfico se observó la forma de la onda, y de no presentar mayores perturbaciones, se procedió a grabar.

i) Si la onda fue alterada por una fuente extraña momentánea, ésta se consignó en la grabación en forma oral; si la perturbación tuvo una duración prolongada, la medición fue repetida.

La configuración de todo el equipo al momento de la medición se ilustra en la Fig.4.8.

Algunas fotografías que ilustran el proceso de medición se presentan en el Anexo V.

Los datos concernientes a la medición se consignaron en fichas como las mostradas en el Anexo III.1. Estos datos se refieren a la ubicación e identificación del punto, nivel de atenuación de la onda al momento de la grabación, tiempo de grabación y tiempo seleccionado útil. Se concluye dando el período predominante horizontal promedio del suelo, y la amplitud máxima horizontal promedio.

4.5 ANÁLISIS DE LA ONDA DE MICROTREPIDACIONES.

4.5.1 Metodología.

El análisis de la onda pasa por las siguientes etapas:

a) Imprimir en un oscilador gráfico previamente calibrado, todo el registro de la medición en un punto, en sus tres componentes simultáneamente. Para este caso, las ondas fueron impresas a una velocidad de 5 mm/seg y una relación gráfica de impresión de 1 V/cm.

b) Seleccionar de este registro aquellos tramos similares en amplitud y forma, y eliminar aquellos con

perturbaciones notorias, anotando en una ficha los tiempos que corresponden a cada tramo elegido.

c) Reproducir la grabación, enviando la señal de un canal por vez, al analizador de ondas FFT, y activar el procedimiento de cálculo del espectro de Fourier sólo cuando los tramos seleccionados pasen por la pantalla del analizador. Para un mejor entendimiento del procedimiento, en la sección siguiente se explica con más detalle el modo de operación del analizador FFT.

d) Imprimir un segmento de onda característico para cada componente, y su correspondiente espectro de Fourier promedio. Del espectro elegir o identificar la frecuencia pico.

e) Calcular el período predominante para cada componente, que vendría a ser el valor inverso de la frecuencia predominante, y promediar los períodos horizontales, valor que será el resultado final del ensayo para un punto.

La Tabla 4.3 presenta los resultados de los 257 puntos de medición de microtrepidaciones, en la forma de períodos predominantes para cada componente, además de una columna que muestra los períodos promedios horizontales. Se presenta también una columna que contiene el cuadrante con el que puede ubicarse los puntos dentro del Plano N° 2.

En la elección de la frecuencia pico se han tomado en cuenta las siguientes consideraciones generales:

a) Se han descartado las frecuencias pico muy bajas, las que se encuentran alrededor de 1 Hz. (1 seg. de período), asumiendo que se trata de oscilaciones producidas por el viento, puesto que tales frecuencias sólo se presentan con gran amplitud en las componentes horizontales, más no en la componente vertical.

b) Se ha tratado de elegir valores de frecuencia pico cercanos para las componentes horizontales de un mismo punto.

c) Se ha preferido elegir la frecuencia pico que estuviera "acompañada" por frecuencias menores y mayores, de menor amplitud, antes que aquella que se presentara sola.

d) Se ha revisado las anotaciones hechas en el campo al momento de la medición, para descartar frecuencias altas producidas por motores o bombas.

4.5.2 Modo de Operación del Analizador de Ondas FFT.

El procesamiento de las ondas de microtrepidaciones se realiza utilizando un analizador de señales multipropósito, llamado en inglés FFT Analyzer.

La Fig. 4.9 muestra la configuración típica de un Analizador FFT. Se observa que, en primer lugar, las señales de entrada son amplificadas o reducidas a un nivel conveniente por el amplificador, antes de entrar al filtro pasa-bajos, el cual elimina todos los elementos de la señal que exceden el rango de frecuencia tope para el análisis o frecuencia de Nyquist.

Las señales entran luego al convertidor A/D para su conversión a cantidades digitales, las cuales a su vez son almacenadas en la memoria de datos. Las señales almacenadas se muestran en pantalla.

El acrónimo FFT (Fast Fourier Transformer en inglés), significa: cálculo de la Transformada de Fourier a alta velocidad.

Procedimiento de Cálculo.

La Transformación de Fourier teóricamente no nos da nada, a menos que una señal sea observada desde el pasado infinito al futuro infinito, pues según la definición:

$$F(\alpha) = \int_{-\infty}^{\infty} f(u) \cdot e^{-i\alpha u} du$$

Donde $F(\alpha)$ es la Transformada de Fourier de $f(\alpha)$.

Desde que esto es obviamente imposible, la práctica ordinaria es observar la señal por un período finito de tiempo.

Las Transformaciones de Fourier se aproximan para encontrar una Serie de Fourier sobre la base de este período de observación, conocido como el período de muestreo, Fig.4.11.

Para calcular esta Serie de Fourier se requiere integrar el producto de la señal observada y una función exponencial compleja, con respecto al tiempo. Debido a que este tipo de cálculo no puede ser realizado directamente por el computador, el período de observación es dividido apropiadamente. Luego, sólo se usa el valor de la señal para cada uno de los puntos divididos con el fin de aproximar el producto, Fig. 4.12.

En el cómputo de las cantidades físicas, un convertidor A/D es utilizado para cambiar el objeto de observación de formato análogo a digital.

El proceso de observar por un período finito de tiempo, luego obtener una serie de Fourier dividiendo ese intervalo, se llama Transformación Discreta de Fourier (DFT en inglés). La técnica de alta velocidad para calcular la DFT es la Transformación Rápida de Fourier o FFT.

Generalmente, el intervalo de observación finito es llamado un marco, y la duración de ese período el intervalo del marco. El procedimiento de división del intervalo del marco en partes y la observación de la señal en cada punto dividido es llamado muestreo. El intervalo de tiempo para estas divisiones se llama un ciclo de muestreo, Fig. 4.13, (el valor recíproco del ciclo de muestreo es la frecuencia de muestreo).

En el Analizador FFT, un marco generalmente consiste de un número fijo de puntos muestreados: 512, 1024, 2048, etc.

De lo anterior se desprende que la resolución de frecuencia del Analizador FFT es el recíproco del marco de tiempo, y que el espectro de frecuencia obtenido es un múltiplo entero (0,1,2,...) de la resolución de frecuencia.

De acuerdo a la teoría de muestreo, típicamente ocurre lo siguiente: una señal análoga temporalmente continua, con un espectro como el presentado en la Fig. 4.14, es muestreado a una frecuencia f_s .

Esto produce una señal temporalmente discreta, cuyos espectros son aquellos reproducidos en la misma forma, flanqueando al original en posiciones perfectamente múltiplos de la frecuencia de muestreo f_s ($-, \dots, -2f_s, f_s \sim 0, f_s, 2f_s, \dots$), Fig.4.15.

Si el espectro en la Fig.4.14 contiene elementos de más alta frecuencia, como se muestra en la Fig. 4.16, el muestreo produce espectros con traslapes como se presenta en la Fig.4.17. Este fenómeno es llamado "aliasing".

Si la señal análoga original contiene aún elementos de frecuencia más alta, los espectros resultantes del muestreo desarrollarán traslapes a través del rango completo de frecuencias. En tales casos, no hay lugar en el cual preservar el espectro original, Fig. 4.18.

Eliminar los traslapes requiere **hacer la** señal análoga original libre de todos los elementos de frecuencia mayores que la mitad de la frecuencia de muestreo. Esto se puede lograr de dos formas, una es someter la señal análoga a un filtro pasa-bajos, para remover los elementos de frecuencia más altos; otra forma es realizar el muestreo a una frecuencia de muestreo al menos dos veces tan alta como los elementos de frecuencia contenidos en la señal análoga. En la mayoría de los dispositivos, incluyendo el Analizador FFT, un filtro pasa-bajos es incorporado en la sección de entrada de la señal.

En la sección de procesamiento, el filtro de muestreo se mantiene a una frecuencia tan baja como sea posible. Este filtro pasa-bajos se llama un filtro "anti-aliasing".

Cuando un marco contiene N puntos de muestreo, la frecuencia de muestreo es $N/(\text{marco de tiempo})$, es decir, N veces la resolución de frecuencia.

Generalmente, los Analizadores FFT operan sobre las siguientes relaciones:

$$\text{Frec. de muestreo} = 2.56 \text{ ó } 4.096 \times (\text{rango de frecuencias})$$

4.6 DEFINICION DE CURVAS ISOPERIODO Y ZONAS CARACTERISTICAS.

El Plano N° 2 presenta el área estudiada con las curvas isoperíodo de microtrepidaciones cada 0.05 seg. Estas curvas fueron trazadas interpolando los puntos con valor conocido de período predominante del suelo. De este plano se desprenden las siguientes observaciones:

- La tendencia general de los períodos es creciente conforme los puntos de medición se acercan al mar, o decreciente conforme crece la cota topográfica.

Existe una extensa zona que tiene un período promedio de 0.30 seg., que abarca casi todo el Callao, Bellavista y La Perla. Para La Punta y Chucuito, el período promedio es de 0.50 seg.

- El período máximo horizontal medido es de 0.75 seg. en la Escuela Naval, en La Punta; y el mínimo período horizontal es .09 seg. medido cerca a la intersección de las Avenidas Faucett y Argentina, en el extremo más cercano al centro de Lima, probablemente con un perfil de suelos similar al de esta área.

- Existe una franja paralela al Río Rímac donde el valor típico que se presenta es 0.33 seg. un período muy nítido de distinguir en los espectros.

- Hay cierta tendencia de los períodos a crecer en las zonas de rellenos del Puerto.

- Los períodos más cortos se presentan cerca de la Av. Faucett, donde la base de grava está menos profunda.

- En las zonas D y E, la componente vertical presenta períodos alrededor de 0.25 seg., más cortos que las componentes horizontales.

- Las amplitudes registradas están en el rango de 0.2 a 0.8 micras.

- Los valores de período predominante obtenido de las mediciones de microtrepidaciones en los muelles, no se han considerado para trazar las curvas isoperíodo, por tratarse de estructuras y no del suelo propiamente. Sin

embargo, en ellas se observa un período más corto conforme crece el área, es decir su rigidez.

En la Fig. 4.19 se presenta un Mapa de Zonificación por Períodos del área estudiada, donde pueden notarse zonas características de período predominante, extraídas de los resultados del Plano N°2, que según los rangos de período establecidos arbitrariamente para este trabajo se han clasificado en:

ZONA	RANGO DE PERIODO (seg.)	UBICACION
A	<0.25	Area cercana a la Av. Faucett
B	0.25-0.35	Area extensa que incluye casi todo el Callao, Bellavista y La Perla.
C	0.35-0.45	Area que incluye parte del Terminal Marítimo, Chucuito y partes de La Perla.
D	0.45-0.55	La mayor parte de La Punta.
E	>0.55	Escuela Naval en La Punta.

Un espectro de frecuencias representativo de la Zona A se muestra en la Fig. 4.20, con un período Predominante de 0.16 seg. Se nota la aparición de varios Picos, especialmente en la componente norte-sur.

La Zona B está representada en la Fig. 4.21 por un período muy característico de 0.33 seg. para la zona de la desembocadura del río Rímac, medido en la Base Naval del Callao.

La Zona C está representada en la Fig. 4.22 por un período de 0.42 seg, medido en la Aduana del Terminal Marítimo.

La Zona D está caracterizada por la Fig. 4.23, que muestra un período predominante de 0.53 seg., medido en la caseta del acelerógrafo del CISMID, en Chucuito, ubicado en la Dirección de Hidrografía y Navegación de la Marina de Guerra del Perú.

Por último, en la Zona E se pueden observar espectros como los de la Fig. 4.24, que producen un valor pico de 0.59 seg., en un punto medido en la Escuela Naval, en La Punta.

4.7 COMPARACION DE LAS MICROTREPIDACIONES CON SISMOS PEQUEÑOS.

La experiencia descrita en el acápite 4.1 establece que existe buena concordancia entre el período predominante del suelo obtenidos por microtrepidaciones y el período predominante obtenido de acelerogramas de poca magnitud.

Esto puede explicarse por el bajo nivel de deformación a que está sometido el suelo durante los sismos pequeños, de tal forma que sus propiedades dinámicas, tales como el módulo cortante, no varían sustancialmente. Sin embargo, cuando se trata de movimientos fuertes, el período tiende a ser mayor, como se comprobará en el Capítulo V.

En el estudio que nos ocupa, se ha tenido la oportunidad de realizar dicha comparación. Para ello, se contó con cinco registros acelerográficos de la red nacional del Centro Peruano-Japonés de Investigaciones Sísmicas y Mitigación de Desastres, CISMID, que está compuesta por diez acelerógrafos instalados en importantes ciudades del Perú. Estos registros fueron procesados siguiendo una metodología implementada para el caso, Alva et al (1990), obteniendo, entre otros datos, el espectro de Fourier de aceleraciones para cada componente, el cual proporciona el período predominante del registro. Luego, los valores de período del sismo fueron comparados con los períodos medidos por microtrepidaciones en cada uno de los lugares donde se tiene instalado el acelerógrafo. Para el caso de las estaciones del Callao, campus del CISMID y Tacna, se tomaron microtrepidaciones sobre el mismo bloque de concreto del acelerógrafo; en el Parque de la Reserva y Majes, se midió a pocos metros de la caseta; en Tacna, se ha tomado la medición realizada por Tokeshi (1990).

Los resultados se observan en la Tabla 4.4. De ella se nota que la relación resultante es prácticamente $T_m = T_s$, donde T_m es el período medido por microtrepidaciones y T_s es el período para un pequeño sismo. Esto confirmaría la teoría de un período cercanamente igual bajo condiciones de deformación mínima.

TABLA 4.4 COMPARACION DE MICROTREPIDACIONES Y SISMOS PEQUEÑOS

LUGAR	PERIODO POR MICROTREPIDAC.	FECHA SISMO	PERIODO PREDOMINANTE DEL SISMO
CISMID	0.06	01/01/89	0.12
MAJES	0.17	28/11/89	0.21
TACNA	0.09	08/04/90	0.10
PQE.RES	0.08	03/08/90	0.07
CALLAO	0.53	03/08/90	0.48

En el Anexo III.2 se muestran los espectros de Fourier por microtrepidaciones y por un pequeño sismo, para cada uno de los lugares analizados.

En el caso específico de este estudio, es de particular interés el resultado de la comparación en el Callao, pues confirma que los resultados de las microtrepidaciones están en un rango que las hace confiables.

4.8 CONCLUSIONES.

a) La zona estudiada presenta períodos en el rango de 0.10 a 0.70 seg. El Callao, Bellavista y La Perla tienen un período promedio de 0.30 seg., en tanto que La Punta y Chucuito están caracterizados por un período de 0.50 seg.

b) Puede afirmarse que las zonas que podrían presentar mayores problemas de amplificación, por tratarse de suelos blandos según el período de suelo obtenido, son las zonas D y E, siendo el efecto menor en la zona C, donde también podría presentarse este problema.

c) Se ha encontrado concordancia entre los valores de período y la geología descrita en el Capítulo II. Según esto, se nota claramente que los períodos van creciendo conforme se profundizan los depósitos blandos, tal como ocurre en La Punta. Además, se ha encontrado concordancia entre la uniformidad de los valores de período del suelo medido y la conformación estratigráfica de la zona adyacente al Rímac, donde el depósito de material arcilloso se profundiza, debido a pertenecer a la terraza más reciente del río, hecho que determina frecuencias pico pronunciadas.

d) Se encuentra correspondencia entre las zonas definidas por su período predominante y aquellas zonas establecidas en el Capítulo II, según las condiciones

geotécnicas. Así, las Zonas E y D según el período del suelo (0.50 en promedio), corresponderían a la Zona IV de la zonificación geotécnica, lo cual es concordante por tratarse de un perfil formado por suelos blandos de hasta 40 m. de profundidad, que producen períodos altos.

e) La Zona C, con períodos ligeramente más altos que el promedio para el Callao, alrededor de 0.40 seg., coincide con la Zona III de la clasificación geotécnica, lo que puede explicarse por los rellenos sueltos de esta área, que alcanzan hasta 10 m. de profundidad en el Puerto.

f) La Zona B, con períodos alrededor de 0.30 seg., incluiría una extensa área, la Zona II, que geotécnicamente está compuesta por estratos blandos de 7 a 15 m. de profundidad. La Zona A, que tiene los períodos más cortos (hasta 0.10 seg.) se encuentra dentro de la Zona I, geotécnicamente la mejor zona, con el suelo firme del conglomerado de Lima a pocos metros de la superficie.

h) También existe una clara relación entre las zonas encontradas en este estudio y los niveles de intensidad del sismo del 3 de Octubre de 1974. En especial, hay buena concordancia entre la zona E, que corresponde al área de la Escuela Naval, donde se produjeron los mayores daños, intensidad IX; y entre la zona D, que comprende casi toda La Punta, donde los daños alcanzaron intensidades de

hasta VIII. En tanto, en el centro de Lima, con un suelo firme, las intensidades llegan a VII en promedio

i) Se ha demostrado que bajo niveles reducidos de deformación, el período del suelo se mantiene, y por lo tanto es muy parecido para microtrepidaciones y sismos pequeños, lo que hace confiable esta técnica para estimar el comportamiento dinámico del suelo cuando no se cuenta con información instrumental de acelerógrafos.

TABLA N°4.3 RELACION DE PUNTOS DE MEDICION DE MICROTREPIDACIONES EN LA PUNTA Y EL CALLAO.

PM	UBICACION		CUAD.	PERIODO PREDOMINANTE DEL SUELO (Seg.)			
				N-S	E-O	PROM.	VERT.
1	Plaza Parodi						
	Jr. Medina. Cuadra 3	LA PUNTA	A-2	0.53	0.40	0.47	0.22
2	U.V. Santa Marina Norte						
	Bloques E y F.	CALLAO	F-9	0.29	0.29	0.29	0.29
3	Interior Universidad Técnica						
	del Callao	BELLAVISTA	D-12	0.36	0.33	0.35	0.40
4	Av. Ignacio Mariátegui						
	Cuadra 8.	CALLAO	H-9	0.33	0.33	0.33	0.23
5	Plaza Parodi.						
	Jr. Sáenz Peña. Cuadra 3	LA PUNTA	A-2	0.45	0.42	0.44	0.24
6	Plaza Gálvez.						
	Av. Bolognesi. Cuadra 10	LA PUNTA	B-3	0.33	0.34	0.34	0.33
7	Malecón Wiese y						
	Jr. Palacios	LA PUNTA	B-3	0.53	0.50	0.52	0.24
8	Malecón Figueredo y						
	Jr. García y García	LA PUNTA	B-2	0.56	0.67	0.62	0.24
9	Plaza Santa Rosa						
	Jr. Chanchamayo. Cuadra 1.	CALLAO	C-4	0.38	0.34	0.36	0.19
10	Jr. Estados Unidos y						
	Jr. Ucayali	CALLAO	C-5	0.40	0.36	0.38	0.20
11	Jr. Loreto y						
	Jr. Pichincha	CALLAO	C-5	0.27	0.26	0.27	0.26
12	Plaza Ayacucho. Jr. Contralmi-						
	rante Villar. Cuadra 5	CALLAO	C-8	0.32	0.29	0.31	0.36
13	U.V. Santa Marina Norte						
	Bloques Q e Y	CALLAO	E-9	0.29	0.32	0.31	0.34
14	Urb. Jardines Virú						
	Jr. Los Robles. Cuadra 3	BELLAVISTA	D-16	0.33	0.20	0.27	0.20
15	Parque						
	Av. Argentina. Cuadra 43	CALLAO	F-16	0.13	0.09	0.11	0.13
16	Espaldas Cementerio Baquijano						
		CALLAO	E-12	0.29	0.29	0.29	0.27
17	Parque.						
	Urb. Renovación Palomino	CALLAO	E-12	0.32	0.34	0.33	0.37
18	Interior Parque Zonal						
	Yahuar Huaca	BELLAVISTA	D-11	0.29	0.29	0.29	0.33
19	Urb. Ciudad del Pescador						
	Parque. Calle 26 y Calle 7.	BELLAVISTA	D-13	0.33	0.34	0.34	0.43
20	Parque						
	Urb. Benjamín Doig.	SAN MIGUEL	C-12	0.29	0.29	0.29	0.37
21	Parque						
	Jr. Chimbote. Cuadra 1	LA PERLA	A-13	0.40	0.34	0.37	0.37
22	Urb. Los Rosales						
	Parque Juan Cosápio	LA PERLA	A-11	0.34	0.29	0.32	0.42
23	Jr. Atahualpa. Cuadra 8						
		LA PERLA	B-10	0.24	0.29	0.27	0.32
24	Jr. Comandante Espinar.						
	Cuadra 4.	BELLAVISTA	C-9		0.29	0.29	0.67
25	Jr. Lambayeque y Jr. Chancay.						
	Parque.	CALLAO	E-9	0.29	0.29	0.29	0.33

PM	UBICACION		CUAD.	PERIODO PREDOMINANTE DEL SUELO (Seg.)			
				N-S	E-O	PROM.	VERT.
26	Av. Jorge Chávez.						
	Astilleros Maggiolo.	CALLAO	C-4	0.40	0.28	0.34	0.28
27	Jrs. Salaverry, Pachitea y						
	Gálvez. Plazuela	CALLAO	D-6	0.34	0.24	0.29	0.53
28	Plaza San Román. Jrs. Moquegua,						
	Monteagudo y Zepita.	CALLAO	E-7	0.28	0.33	0.31	0.37
29	Jr. Ayacucho. Cuadra 1.						
	Entrada Terminal Marítimo.	CALLAO	F-6	0.33	0.36	0.35	0.36
30	Av. Ignacio Mariátegui.						
	Cuadra 1.	CALLAO	G-7	0.33	0.33	0.33	0.33
31	Barrio Frigorífico.						
		CALLAO	H-7	0.33	0.33	0.33	0.33
32	Urb. MAriscal Castilla.						
	Parque. Mz.K y Mz.F	CALLAO	H-10	0.33	0.29	0.31	0.33
33	U.V. Santa Marina Sur						
	Extremo Bloque 26.	CALLAO	F-10	0.29	0.29	0.29	0.29
34	Urb. Estibadores.						
	Calle Orrego. Parque.	CALLAO	E-10	0.29	0.29	0.29	0.29
35	Parque Ramón Castilla						
	Jr. García Calderón. Cuadra 8.	CALLAO	E-8	0.29	0.29	0.29	0.36
36	Unidad Vecinal Modelo.						
	Parque.	CALLAO	B-7	0.29	0.28	0.29	0.26
37	Jr. Tovar. Cuadra 1.						
		LA. PUNTA	A-2	0.50	0.37	0.44	0.24
38	Jr. Alberto Secada y						
	Jr. Paz Soldán	CALLAO	C-6	0.36	0.36	0.36	0.36
39	Jr. Alberto Secada. Cuadra 4.						
		CALLAO	C-6	0.29	0.29	0.29	0.20
40	Jr. Atahualpa. Cuadra 3.						
		CALLAO	E-8	0.20	0.29	0.25	0.40
41	Av. República de Panamá.						
	Cuadra 2.	CALLAO	D-9	0.33	0.29	0.31	0.42
42	Av. Rimac y Jr. Manuel Arispe.						
	Lote Industrial La Chalaca.	CALLAO	F-9	0.29	0.29	0.29	0.33
43	Urb. Néstor Gambetta.						
	Parque.	CALLAO	H-11	0.29	0.29	0.29	0.29
44	Callejón Villegas. Cuadra 4.						
	Fábrica Nicovita.	CALLAO	G-12	0.32	0.32	0.32	0.29
45	Urb. 2 de Julio.						
	Parque	CALLAO	F-14	0.33	0.34	0.34	0.34
46	Urb. Stella Maris. Parque.						
	Jr. Bonnewaison y Dueñas.	BELLAVISTA	D-12	0.29	0.29	0.29	0.32
47	Jr. Bolognesi. Cuadra 3.						
		BELLAVISTA	D-10	0.34	0.29	0.32	0.50
48	Av. Colina. Cuadra 7.						
		BELLAVISTA	C-10	0.34	0.29	0.32	0.36
49	Jr. Manuel Arispe. Cuadra 2.						
	Lote Industrial La Chalaca.	CALLAO	G-10	0.29	0.29	0.29	0.33
50	Jr. Huáscar y Jr. Ronald.						
	Lote Industrial La Chalaca	CALLAO	G-10	0.33	0.29	0.31	0.42

PM	UBICACION	CUAD.	PERIODO PREDOMINANTE DEL SUELO (Seg.)			
			N-S	E-O	PROM.	VERT.
51	Av. Néstor Cerbetta. Cuadra 4. CALLAO	G-10	0.33	0.29	0.31	0.29
52	Urb. Centenario. Parque. Mz. F. CALLAO	F-11	0.29	0.29	0.29	0.29
53	U. V. Santa Marina Norte. Extremo Bloque W. CALLAO	F-9	0.33	0.29	0.31	0.29
54	U. V. Santa Marina Sur. Plazuela. Jr. Fernandini y Supe. CALLAO	E-10	0.29	0.29	0.29	0.29
55	Urb. Autoridad Portuaria. Parque. Jr. Los Brillantes. BELLAVISTA	D-11	0.29	0.29	0.29	0.40
56	Interior Hospital IPSS. Playa de Estacionamiento. BELLAVISTA	C-11	0.31	0.29	0.30	0.32
57	Interios Hospital IPSS. Cancha de Fútbol. BELLAVISTA	C-11	-	0.29	0.29	0.30
58	Plaza Guardia Chalaca. Av. Gálvez CALLAO	B-8	0.42	0.45	0.44	0.41
59	Av. La Paz y Jr. Lima. LA PERLA	A-10	0.33	0.29	0.31	0.33
60	Jr. Tarata. Cuadra 5. LA PERLA	B-11	0.36	0.29	0.33	0.33
61	Jr. Atahualpa. Cuadra 20. LA PERLA	A-12	0.45	0.29	0.37	0.37
62	Jr. Camaná. Cuadra 2. Parque. LA PERLA	B-12	0.29	0.29	0.29	0.37
63	Urb. Ciudad del Pescador. Parque. Calle 69. BELLAVISTA	C-13	0.29	0.29	0.29	0.42
64	Urb. Confecciones Militares. Parque. BELLAVISTA	D-13	0.29	0.29	0.29	0.29
65	Urb. Los Pilares. Parque. CALLAO	E-13	0.25	0.29	0.27	0.31
66	Urb. Pedro Ruiz Gallo. Parque. CALLAO	F-15	0.14	0.16	0.15	0.15
67	Urb. Tarapacá. Parque Alfonso Ugarte. CALLAO	F-15	0.16	0.16	0.16	0.34
68	Urb. Tarapacá. Parque Augusto B. Leguía. CALLAO	F-15	0.16	0.16	0.16	0.16
69	Urb. Tarapacá. Parque Ramón Castilla. CALLAO	F-16	0.34	0.25	0.30	0.32
70	Urb. Tarapacá. Parque Guillermo Billinghurst. CALLAO	E-15	0.16	0.19	0.18	0.34
71	Urb. El Aguila. Jr. Donofrio. Parque. BELLAVISTA	E-16	0.23	0.20	0.22	0.22
72	Urb. Jardines Virú. Los Ficus. Cuadra 3. Parque. BELLAVISTA	D-16	0.20	0.34	0.27	0.37
73	Urb. Jardines Virú. Las Orquídeas. Cuadra 2. BELLAVISTA	E-16	0.20	0.19	0.20	0.42
74	Urb. Jardines Virú. Los Olivos. Cuadra 3. BELLAVISTA	D-16	0.20	0.20	0.20	0.20
75	Urb. Jardines Virú. Los Ficus. Cuadra 1. BELLAVISTA	D-16	0.20	0.23	0.22	0.20

FM	UBICACION		CUAD.	PERIODO PREDOMINANTE DEL SUELO (Seg.)			
				N-S	E-O	PROM.	VERT.
76	Urb. Bellavista.	BELLAVISTA	D-15	0.29	0.20	0.25	0.36
77	Los Juncuales. Cuadra 1.	BELLAVISTA	D-15	0.33	0.33	0.33	0.32
78	Urb. Proción.	BELLAVISTA	D-15	0.33	0.22	0.28	0.33
79	Urb. Ciudad del Pescador.	BELLAVISTA	D-15	0.36	0.32	0.34	0.40
80	Av. Los Insurgentes.	BELLAVISTA	D-15	0.33	0.36	0.35	0.33
81	Urb. Ciudad del Pescador.	BELLAVISTA	D-14	0.33	0.25	0.29	0.33
82	Av. 2 y Calle 26	BELLAVISTA	E-13	0.29	0.29	0.29	0.36
83	Urb. La Taboadita.	BELLAVISTA	H-16	0.34	0.25	0.30	0.37
84	Calle 16. Parque.	CALLAO	H-15	0.25	0.34	0.30	0.34
85	Urb. Manuel Dulanto.	CALLAO	H-16	0.33	0.34	0.34	0.37
86	Parque.	CALLAO	6-15	0.24	0.32	0.28	0.33
87	Urb. Manuel Dulanto.	CALLAO	6-16	0.24	0.38	0.31	0.38
88	Parque.	CALLAO	6-15	0.24	0.32	0.28	0.26
89	Urb. Manuel Dulanto.	CALLAO	H-14	0.33	0.38	0.36	0.33
90	Jr. Chulucanas y Jr. Paita.	CALLAO	6-13	0.31	0.29	0.30	0.40
91	Estadio.	CALLAO	6-13	0.29	0.31	0.30	0.29
92	Urb. Santa Rosa.	CALLAO	6-13	0.29	0.29	0.29	0.43
93	Parque.	CALLAO	H-13	0.29	0.29	0.29	0.42
94	Urb. Santa Cruz.	CALLAO	6-12	0.29	0.29	0.29	0.48
95	Parque.	CALLAO	H-11	0.33	0.29	0.31	0.33
96	Urb. Néstor Gambetta.	CALLAO	F-14	0.33	0.33	0.33	0.31
97	Calle Tacna. Parque.	CALLAO	F-13	0.33	0.31	0.32	0.33
98	Urb. Mariscal Castilla.	CALLAO	E-14	0.32	0.33	0.33	0.32
99	Mz. N. Parque.	CALLAO	E-13	0.29	0.31	0.30	0.40
100	Urb. 2 de Julio.	CALLAO	E-13	0.29	0.33	0.31	0.29

PM	UBICACION	CUAD.	PERIODO PREDOMINANTE DEL SUELO (Seg.)				
			N-S	E-O	PROM.	VERT.	
101	Urb. Renovación Palomino. Av. Santa Rosa y Calle B.	CALLAO	F-13	0.29	0.29	0.29	0.32
102	Calle C. Cerca al Callejón Villegas.	CALLAO	F-12	0.29	0.29	0.29	0.33
103	Prolongación Av. Central. Espaldas Cementerio Británico.	CALLAO	E-11	0.29	0.33	0.31	0.29
104	Pueblo Joven José Boterín. Mz. H.	CALLAO	F-11	0.29	0.29	0.29	0.29
105	Pasaje José Boterín y Callejón Villegas.	CALLAO	F-12	0.29	0.29	0.29	0.29
106	Jr. Otto Kieffer y Jr. Huáscar.	CALLAO	6-9	0.33	0.29	0.31	0.37
107	Jr. Nauta y Jr Atalaya.	CALLAO	6-8	0.29	0.29	0.29	0.48
108	Pueblo Joven Ciudadela Chalaca. Jr. Yurimaguas.	CALLAO	F-9	0.21	0.22	0.22	0.45
109	Barrio Fiscal No 1. Calle Segunda. Cuadra 4.	CALLAO	F-8	0.31	0.37	0.34	0.32
110	Jr. Huáscar. Cuadra 2.	CALLAO	F-8	0.34	0.33	0.34	0.34
111	Av. Contralmirante Mariátegui. Cuadra 6.	CALLAO	H-8	0.33	-	0.33	0.26
112	Barrio Frigorífico.	CALLAO	H-7	0.29	0.33	0.31	0.33
113	Av Contralmirante Raygada. Depósitos Petro-Perú.	CALLAO	6-7	0.38	0.33	0.36	0.34
114	Fábrica Nicolini.	CALLAO	F-7	0.34	0.33	0.34	0.34
115	Calle Tercera. Cuadra 5.	CALLAO	F-8	0.33	0.29	0.31	0.29
116	Jr. García Calderón. Cuadra 5.	CALLAO	E-8	0.33	0.29	0.31	0.40
117	Jr. Ayacucho. Cuadra 3.	CALLAO	E-6	0.33	0.33	0.33	0.40
118	Jr. Nicolás de Piérola. Cuadra 8.	CALLAO	E-7	0.33	0.28	0.31	0.40
119	Jr. Uruguay. Cuadra 1.	CALLAO	E-6	0.33	0.33	0.33	0.36
120	Jr. Tarapacá. Palacio de Justicia.	CALLAO	E-6	0.29	0.33	0.31	0.40
121	Explanada de ingreso a silos. Terminal Marítimo.	CALLAO	E-6	0.29	0.29	0.29	0.38
122	Jr. Constitución. Plazuela frente a Catedral.	CALLAO	D-6	0.29	0.29	0.29	0.29
123	Av. Jorge Chávez. Frente al Real Felipe.	CALLAO	D-5	0.32	0.33	0.33	0.28
124	Jr. Loreto. Cuadra 1.	CALLAO	C-5	0.26	0.28	0.27	0.26
125	Jr. Pedro Ruiz Gallo. Cuadra 5.	CALLAO	C-6	0.26	0.28	0.27	0.22

PM	UBICACION	CUAD.	PERIODO PREDOMINANTE DEL SUELO (Seg.)			
			N-S	E-O	PROM.	VERT.
126	Jr. Aguirre y Jr. Pizarro.	BELLAVISTA C-9	0.29	0.29	0.29	0.38
127	Jr. Comandante Espinar.	BELLAVISTA C-9	0.29	0.29	0.29	0.40
128	Cuadra 2.	BELLAVISTA C-9	0.29	0.29	0.29	0.40
128	Jr. Bolognesi. Cuadra 9.	LA PERLA C-9	0.37	0.29	0.33	0.55
129	Jr. Bolognesi. Cuadra 13.	LA PERLA B-9	0.29	0.29	0.29	0.38
130	Urb. Néstor Gambetta.	CALLAO H-11	0.33	0.29	0.31	0.29
131	Parque. Mz. P.	CALLAO D-6	0.28	0.26	0.27	0.43
131	Parroquia Santa Rosa.	CALLAO C-6	0.28	0.33	0.31	0.38
132	Av. Marco Polo. Cuadra 2.	CALLAO C-5	0.34	0.36	0.35	0.53
132	Jr. Secada. Cuadra 3.	CALLAO C-6	0.33	0.33	0.33	0.36
133	Piscina Municipal.	CALLAO C-6	0.33	0.33	0.33	0.36
133	Cerca del Real Felipe.	CALLAO C-6	0.33	0.33	0.33	0.36
134	Jr. Washington y Jr. Apurímac.	CALLAO C-6	0.33	0.33	0.33	0.36
135	Parque Miguel Grau.	LA PUNTA A-2	0.56	0.56	0.56	0.24
136	Jr. Sáenz Peña y	LA PUNTA B-2	0.56	0.50	0.53	0.26
136	Malecón Figueredo.	LA PUNTA B-2	0.56	0.50	0.53	0.26
137	Jr. Tovar y Jr. Larco	LA PUNTA A-2	0.50	0.53	0.52	0.24
138	Jr. Arrieta. Cuadra 4.	LA PUNTA B-2	0.45	0.48	0.47	0.25
139	Jr. Arrieta. Cuadra 2.	LA PUNTA A-2	0.48	0.53	0.51	0.23
140	Jr. Moore. Cuadra 3.	LA PUNTA B-2	0.43	0.43	0.43	0.25
141	Malecón Wiese y Jr. Aguirre.	LA PUNTA B-3	0.45	0.43	0.44	0.22
142	Malecón Figueredo y	LA PUNTA B-3	0.50	0.48	0.49	0.27
142	Jr. Aguirre.	LA PUNTA B-3	0.50	0.48	0.49	0.27
143	Pasaje Gálvez.	LA PUNTA B-3	0.50	0.43	0.47	0.26
144	Malecón Wiese y	LA PUNTA B-3	0.50	0.43	0.47	0.26
144	Jr. Diego Ferré.	LA PUNTA B-3	0.43	0.45	0.44	0.19
145	Malecón Figueredo y	LA PUNTA B-3	0.43	0.45	0.44	0.19
145	Jr. Diego Ferré.	LA PUNTA B-3	0.53	0.48	0.51	0.26
146	Jr. Zela. Cuadra 1.	CALLAO B-3	0.40	0.45	0.43	0.21
147	Chucuito.	CALLAO C-4	0.48	0.48	0.48	0.23
147	Residencial Chucuito.	CALLAO C-4	0.48	0.48	0.48	0.23
148	Jr. Olavide y Jr. Roca.	CALLAO C-4	0.26	0.48	0.37	0.19
148	Jr. Ucayali. Cuadra 4.	CALLAO C-4	0.26	0.48	0.37	0.19
149	Jr. Ucayali. Cuadra 3.	CALLAO C-4	0.38	0.37	0.38	0.37
150	Malecón La Rivera.	CALLAO C-4	0.38	0.37	0.38	0.37
150	Playa Chucuito.	CALLAO C-4	0.50	0.46	0.48	0.67

PM	UBICACION	CUAD.	PERIODO PREDOMINANTE DEL SUELO (Seg.)			
			N-S	E-O	PROM.	VERT.
151	Jr. Gamarrita y Jr. Titicaca.	CALLAO C-4	0.30	0.45	0.38	0.22
152	Cabeza de Espigón. Chucuito.	CALLAO B-4	0.38	0.42	0.40	0.63
153	Jr. Magdalena. Club de Cabos y Marineros.	CALLAO C-5	0.28	0.26	0.27	0.28
154	Jr. Saloom. Cuadra 3.	CALLAO C-7	0.36	0.37	0.37	0.14
155	Jr. Lazareto y Jr. Venezuela.	CALLAO E-7	0.30	0.33	0.32	0.42
156	Jr. Ayacucho. Cuadra 6.	CALLAO E-7	0.33	0.33	0.33	0.37
157	Jr. Bolívar. Cuadra 1.	CALLAO D-6	0.29	0.26	0.28	0.53
158	Jr. Arica. Cuadra 1.	CALLAO D-8	0.31	0.29	0.30	0.56
159	Jr. Tacna. Cuadra 2.	CALLAO D-8	0.29	0.29	0.29	0.40
160	Jr. California. Cuadra 3.	CALLAO D-8	0.37	0.29	0.33	0.71
161	Plaza Guardia Chalaca. Av. Gálvez.	CALLAO B-8	0.25	0.29	0.27	0.37
162	Jr. Maranga. Cuadra 1.	BELLAVISTA C-9	0.37	0.29	0.33	0.36
163	Jr. Atahualpa. Cuadra 4.	LA PERLA B-9	0.34	0.29	0.32	0.34
164	Jr. Zarumilla. Cuadra 7.	LA PERLA B-9	0.33	0.29	0.31	0.56
165	Jr. Unión. Cuadra 3.	LA PERLA B-10	0.33	0.29	0.31	0.59
166	Jr. Maranga. Cuadra 7.	BELLAVISTA C-10	0.29	0.29	0.29	0.63
167	Jr. Los Heros. Cuadra 7.	BELLAVISTA C-10	0.29	0.29	0.29	0.63
168	Av. Argentina. Cuadra 43.	CALLAO G-16	0.25	0.19	0.22	0.36
169	Av. Argentina. Cuadra 40.	CALLAO G-15	0.25	0.16	0.21	0.40
170	Pasaje El Aguila.	CALLAO G-14	0.25	0.25	0.25	0.24
171	Av. Argentina. Cuadra 23.	CALLAO F-12	0.33	0.23	0.28	0.24
172	Av. Argentina. Cuadras 17 y 18.	CALLAO F-11	0.33	0.21	0.27	0.20
173	Av. Néstor Gambetta. Cuadra 3.	CALLAO G-10	0.33	0.33	0.33	0.45
174	Urb. Ramón Castilla. Jr. Arequipa. Mz. C.	CALLAO H-11	0.33	0.33	0.33	0.21
175	Urb. Ramón Castilla.	CALLAO H-11	0.33	0.33	0.33	0.33

PM	UBICACION	CUAD.	PERIODO PREDOMINANTE DEL SUELO (Seg.)			
			N-S	E-O	PROM.	VERT.
176	Urb. Néstor Gambetta.	CALLAO H-12	0.33	0.33	0.33	0.30
177	Urb. Santa Rosa.	CALLAO H-13	0.33	0.33	0.33	0.38
178	Urb. Santa Rosa.	CALLAO H-14	0.33	0.33	0.33	0.38
179	Cooperativa Juventud Chalaca	CALLAO G-14	0.33	0.33	0.33	0.36
180	Urb. Jardines Virú.	BELLAVISTA E-15	0.24	0.24	0.24	0.28
181	Av. Benavides. Cuadra 26.	CALLAO F-14	0.22	0.24	0.23	0.20
182	Pasaje El Sol. Cuadra 1.	CALLAO E-11	0.33	0.33	0.33	0.33
183	Pueblo Joven El Carmen.	CALLAO E-10	0.27	0.26	0.27	0.33
184	Urb. Melitón Carbajal.	LA PERLA B-12	0.29	0.29	0.29	0.37
185	Sáenz Peña. Cuadra 16.	LA PERLA B-12	0.29	0.29	0.29	0.40
186	Urb. Benjamín Doig.	LA PERLA B-13	0.37	0.29	0.33	0.29
187	Jr. Trujillo. Cuadra 1.	CALLAO G-8	0.33	0.28	0.31	0.33
188	Parque.	CALLAO D-7	0.23	0.28	0.26	0.45
189	Jr. Guadalupe. Cuadra 1.	CALLAO C-7	0.53	0.53	0.53	0.22
190	Jr. Sucre. Cuadra 5.	CALLAO C-7	0.34	0.38	0.36	0.16
191	Jr. Loreto y Jr. Guise.	CALLAO C-8	0.29	0.29	0.29	0.34
192	Jr. Saloom. Cuadra 6.	CALLAO C-8	0.26	0.29	0.28	0.37
193	Jr. Carrillo Albornoz.	LA PERLA B-11	0.23	0.29	0.26	0.29
194	Cuadra 3.	LA PERLA B-11	0.33	0.34	0.34	0.36
195	Jr. Carrillo Albornoz.	LA PERLA B-11	0.29	0.29	0.29	0.29
196	Cuadra 2.	BELLAVISTA D-10	0.22	0.29	0.26	0.29
197	Jr. Arica. Cuadra 7.	BELLAVISTA D-13	0.33	0.33	0.33	0.34
198	Jr. Morro de Arica.	BELLAVISTA C-12	0.32	0.29	0.31	0.37
199	Cuadra 4.	BELLAVISTA C-13	0.29	0.34	0.32	0.36
200	Jr. Olaya. Cuadra 14.	SAN MIGUEL B-13	0.33	0.33	0.33	0.33
	Av. Guardia Chalaca.					
	Cuadra 16.					
	Urb. Confecciones Militares.					
	Parque. Calle H.					
	Urb. Ciudad del Pescador.					
	Urb. Ciudad del Pescador.					
	Parque.					
	Urb. Bata.					
	Parque. Jr. López Albújar.					

PM	UBICACION		CUAD.	PERIODO PREDOMINANTE DEL SUELO (Seg.)			
				N-S	E-O	PROM.	VERT.
201	Av. 7 de Enero y	SAN MIGUEL	C-14	0.29	0.29	0.29	0.36
202	Jr. Mariátegui.						
	Urb. La Macarena.	LA PERLA	A-13	0.33	0.32	0.33	0.34
203	Jr. Grito de Huaura.	SAN MIGUEL	C-15	0.33	0.32	0.33	0.38
204	Cuadra 2.						
	Parque José Santos Chocano.	SAN MIGUEL	B-15	0.33	0.36	0.35	0.36
205	Jr. Stiglish.						
	Parque Acuña.	SAN MIGUEL	B-16	0.33	0.34	0.34	0.37
206	Calle Ubinas.						
	Parque Palma.	SAN MIGUEL	C-16	0.20	0.33	0.27	0.42
207	Jr. Hidalgo.						
	Pasaje Celendón.	SAN MIGUEL	B-15	0.29	0.29	0.29	0.37
208	Urb. Los Precursores.	SAN MIGUEL	B-15	0.23	0.23	0.23	0.33
209	Parque.						
	Urb. Los Precursores.	SAN MIGUEL	A-16	0.29	0.20	0.25	0.53
210	Parque. Jr. Isla del Gallo.						
	Ingreso ENAPU.	CALLAO	F-7	0.27	0.33	0.30	0.48
211	Terminal Marítimo.						
	Playa de Estacionamiento.	CALLAO	F-7	0.33	0.31	0.32	0.28
212	Oficinas ENAPU.						
	Final Muelle No 9.	CALLAO	F-5	0.48	0.48	0.48	0.42
213	Terminal Marítimo.						
	Ingreso al Muelle No 9.	CALLAO	E-5	0.53	0.50	0.52	0.42
214	Terminal Marítimo.						
	Entrada Sur al Terminal	CALLAO	D-5	0.36	0.33	0.35	0.36
215	Marítimo.						
	Calle Este y Zona 3.	CALLAO	D-5	0.37	0.37	0.37	0.38
216	Terminal Marítimo.						
	Silos.	CALLAO	E-6	0.40	0.33	0.37	0.42
217	Terminal Marítimo.						
	Fajas Transportadoras.	CALLAO	E-6	0.33	0.33	0.33	0.36
218	Terminal Marítimo.						
	Calle 4.	CALLAO	F-6	0.33	0.40	0.37	0.21
219	Terminal Marítimo.						
	Muelle Terminal Pesquero.	CALLAO	G-6	0.29	0.33	0.31	0.45
220	Final Muelle Terminal	CALLAO	H-6	0.33	0.33	0.33	0.50
221	Pesquero.						
	Muelle No 4.	CALLAO	G-6	0.59	0.59	0.59	0.43
222	Terminal Marítimo.						
	Patio de Contenedores.	CALLAO	G-7	0.34	0.38	0.36	0.38
223	Terminal Marítimo.						
	Muelle Almacén No 3.	CALLAO	F-6	0.45	0.45	0.45	0.29
224	Terminal Marítimo.						
	Muelle No 2. Almacenes 1 y 2.	CALLAO	F-6	0.50	0.50	0.50	0.33
225	Terminal Marítimo.						
	Muelle No 1.	CALLAO	F-6	0.67	0.59	0.63	0.43
	Terminal Marítimo.						

PM	UBICACION	CUAD.	PERIODO PREDOMINANTE DEL SUELO (Seg.)			
			N-S	E-O	PROM.	VERT.
226	Estacionamiento de la Aduana. Terminal Marítimo. CALLAO	F-6	0.45	0.38	0.42	0.21
227	Av. Costanera y Av. Colectora. LA PERLA	A-13	0.33	-	0.33	0.36
228	Av. Costanera y Leoncio Prado. LA PERLA	A-11	0.37	-	0.23	0.37
229	Av. Los Precursores. LA PERLA	A-14	0.32	0.32	0.32	0.32
230	Urb. La Macarena. LA PERLA	A-14	0.25	0.34	0.30	0.33
231	Caseta del Acelerógrafo CISMID. Av. Samarra y Jr. Roca. CALLAO	C-4	0.63	0.43	0.53	0.23
232	Extremo Sur-Oeste. SIMA. CALLAO	H-7	0.33	0.33	0.33	0.33
233	Frente a Taller de Mantenimiento. SIMA. CALLAO	H-8	0.33	0.33	0.33	0.33
234	Explanada Central. SIMA. CALLAO	H-6	0.33	0.33	0.33	0.33
235	Jardín Central. Base Naval. CALLAO	I-8	0.33	0.33	0.33	0.33
236	Cabezal derecho del Dique Seco. Base Naval. CALLAO	H-7	0.33	0.33	0.33	0.33
237	Inicio del Muelle No 3. Base Naval. CALLAO	I-7	0.33	0.33	0.33	0.33
238	Muelle 5 y Muelle Marginal. Base Naval. CALLAO	I-6	0.34	0.34	0.34	0.34
239	Muelle Marginal. Base Naval. CALLAO	I-6	0.59	0.67	0.63	0.34
240	Extremo colindante con el CITEN. Base Naval. CALLAO	I-7	0.33	0.33	0.33	0.18
241	Extremo Norte Ex-Estadio. Base Naval. CALLAO	I-7	0.33	0.33	0.33	0.33
242	Capilla de la Base Naval. CALLAO	I-7	0.33	0.33	0.33	0.36
243	Al Nor-Este del huerto. Base Naval. CALLAO	I-9	0.33	0.29	0.31	0.33
244	Al Este del huerto. Base Naval. CALLAO	I-9	0.33	0.33	0.33	0.33
245	Al Sur-Este del huerto. Base Naval. CALLAO	H-9	0.33	0.33	0.33	0.33
246	Al Sur-Oeste del huerto. Base Naval. CALLAO	H-8	0.33	0.33	0.33	0.33
247	Dirección de Abastecimiento. Base Naval. CALLAO	I-8	0.33	0.33	0.33	0.33
248	Puente al CITEN. Base Naval. CALLAO	J-7	0.33	0.33	0.33	0.36
249	Estadio de la Escuela Naval. LA PUNTA	A-1	0.67	0.50	0.59	0.26
250	Inicio Rompeolas Sur. Escuela Naval.. LA PUNTA	A-1	0.63	0.63	0.63	0.31

PM	UBICACION		CUAD.	PERIODO PREDOMINANTE DEL SUELO (Seg.)			
				N-S	E-O	PROM.	VERT.
251	Rompeolas Norte. Escuela Naval.	LA PUNTA	B-1	0.63	0.50	0.57	0.26
252	Lado Sur, colindante con el Malecón Pardo. Escuela Naval	LA PUNTA	A-1	0.50	0.67	0.59	0.26
253	Jardín Central y Aulas. Escuela Naval.	LA PUNTA	A-1	0.77	0.63	0.70	0.26
254	Aulas. Escuela Naval.	LA PUNTA	A-1	0.48	0.67	0.58	0.25
255	Jardín Central. Escuela Naval.	LA PUNTA	A-1	0.63	0.67	0.65	0.26
256	Esquina colindante con Malecón Pardo. Escuela Naval.	LA PUNTA	A-1	0.53	0.50	0.52	0.26
257	Explanada de Ingreso. Escuela Naval.	LA PUNTA	A-1	0.53	0.56	0.55	0.26

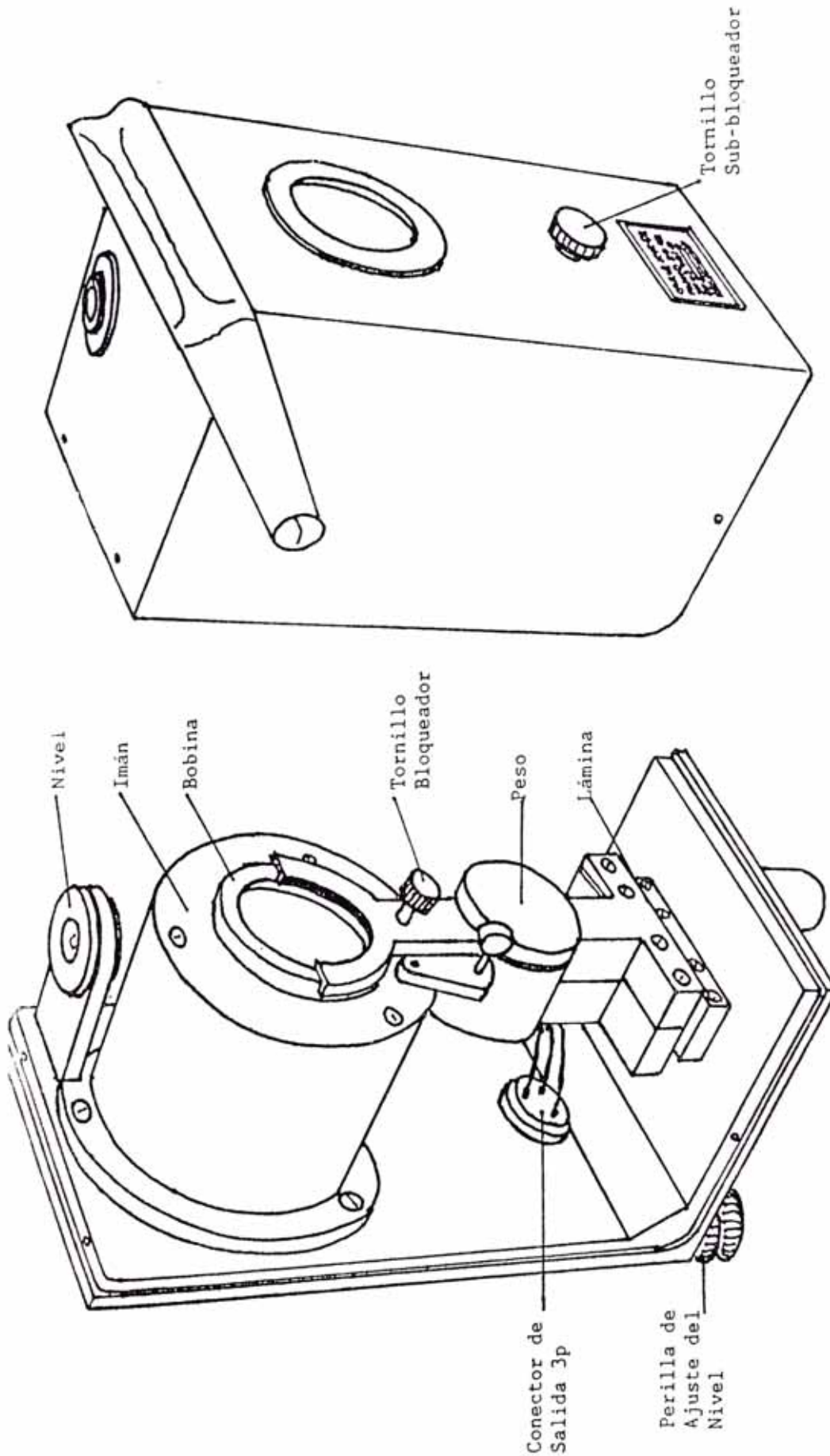


FIG. 4.1 Sensor Horizontal del tipo MTEH-1C, de la OGAWA SEIKI Co., LTD
(Del Manual de Instrucción del Pick-up de la OGAWA SEIKI Co., LTD).

Ref. (Tokeshi, 1990)

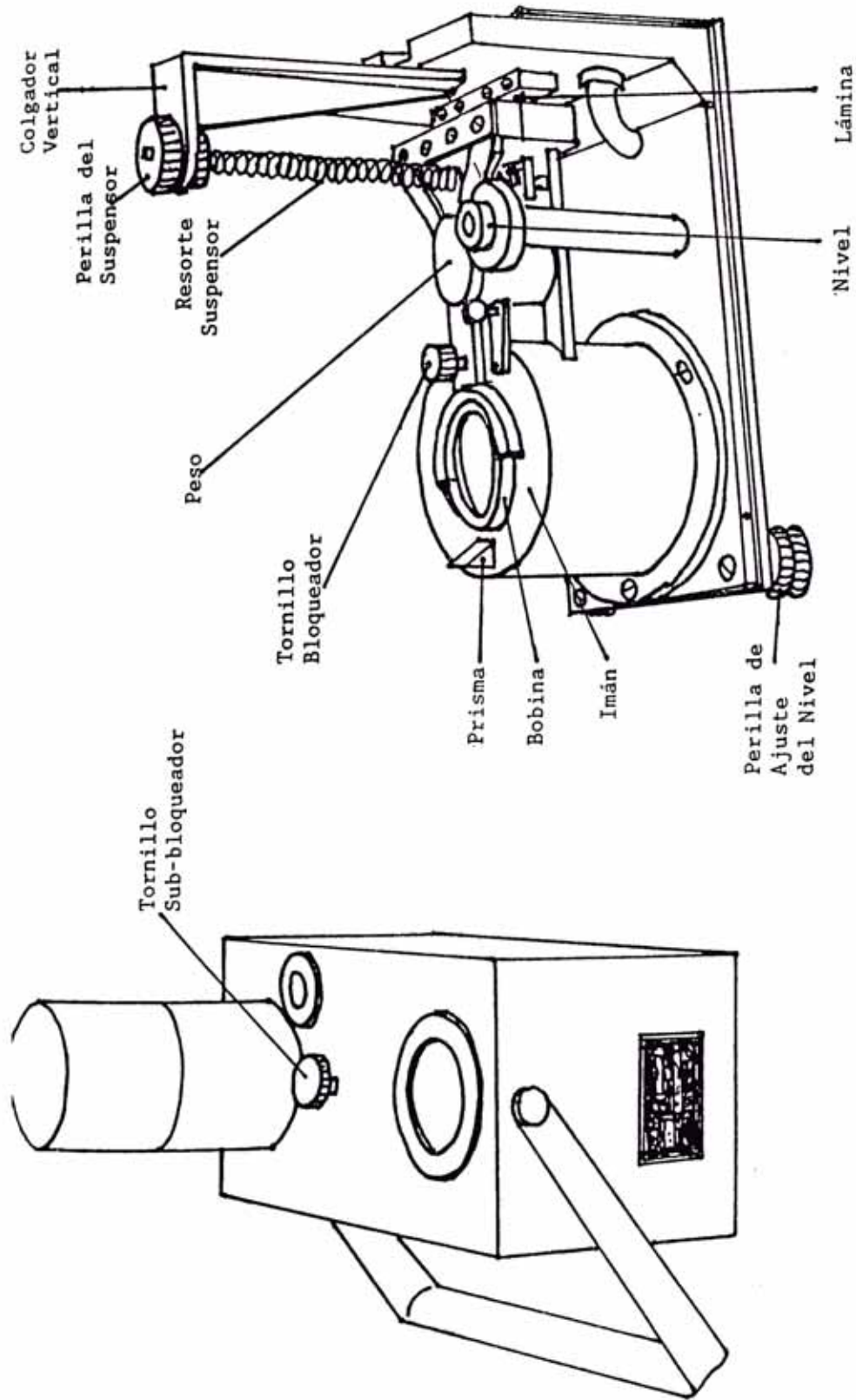


FIG. 4.2 Sensor Vertical del tipo MTKV-1C de la OGAWA SEIKI Co., LTD
(Del Manual de Instrucción del Pick-up de la OGAWA SEIKI Co., LTD)

Ref. (Tokeshi, 1990)

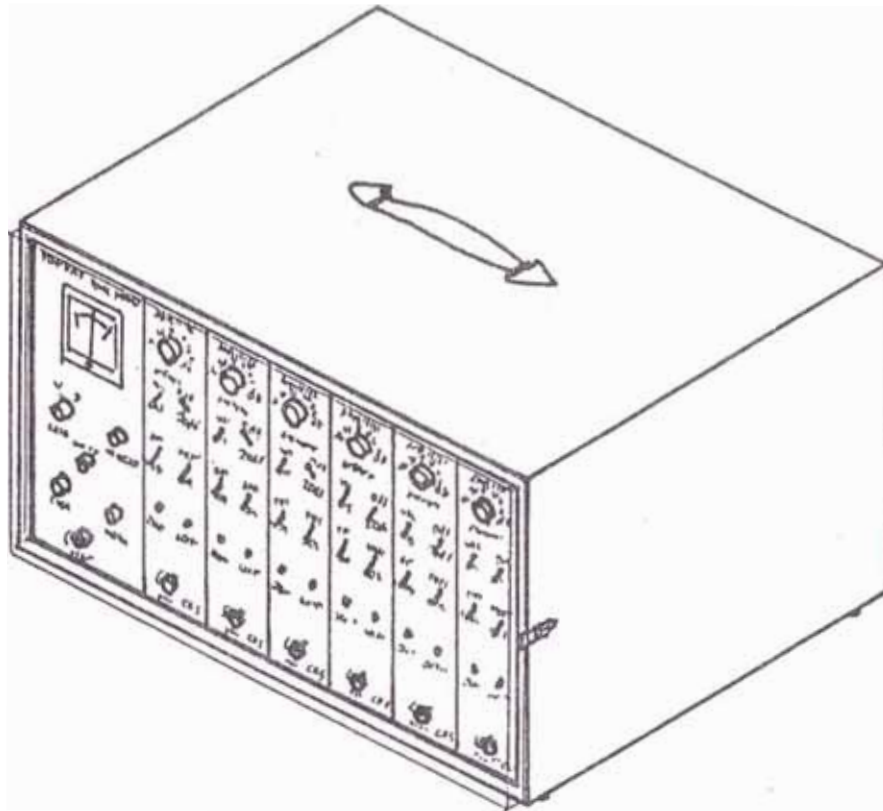


FIG. 4.3 Amplificador de 6 canales, tipo TA-406
(Del Manual de Instrucción del Amplificador de la
OGAWA SEIKI Co., LTD).

Ref. (Tokeshi, 1990)

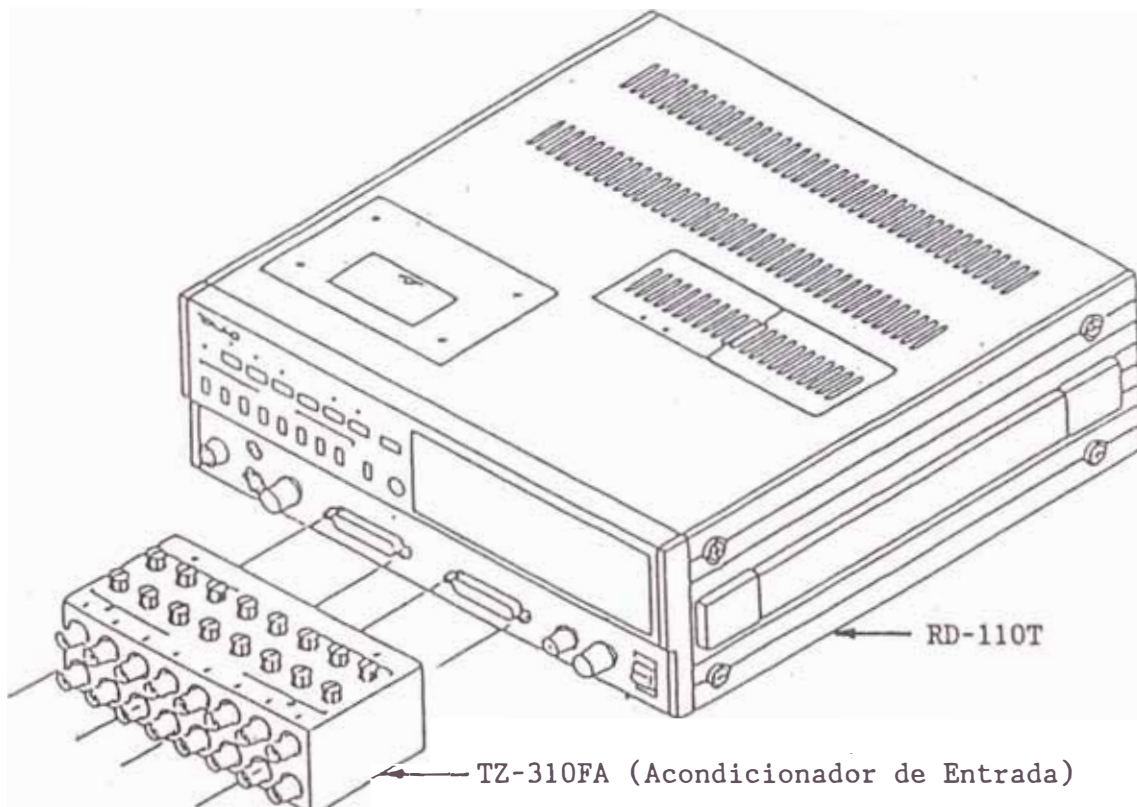


FIG. 4.4 Data Recorder RD-110T
(Del Manual de Instrucción del PCM DATA RECORDER
RD-100T/110T de la TEAC CORPORATION)

Ref. (Tokeshi, 1990)

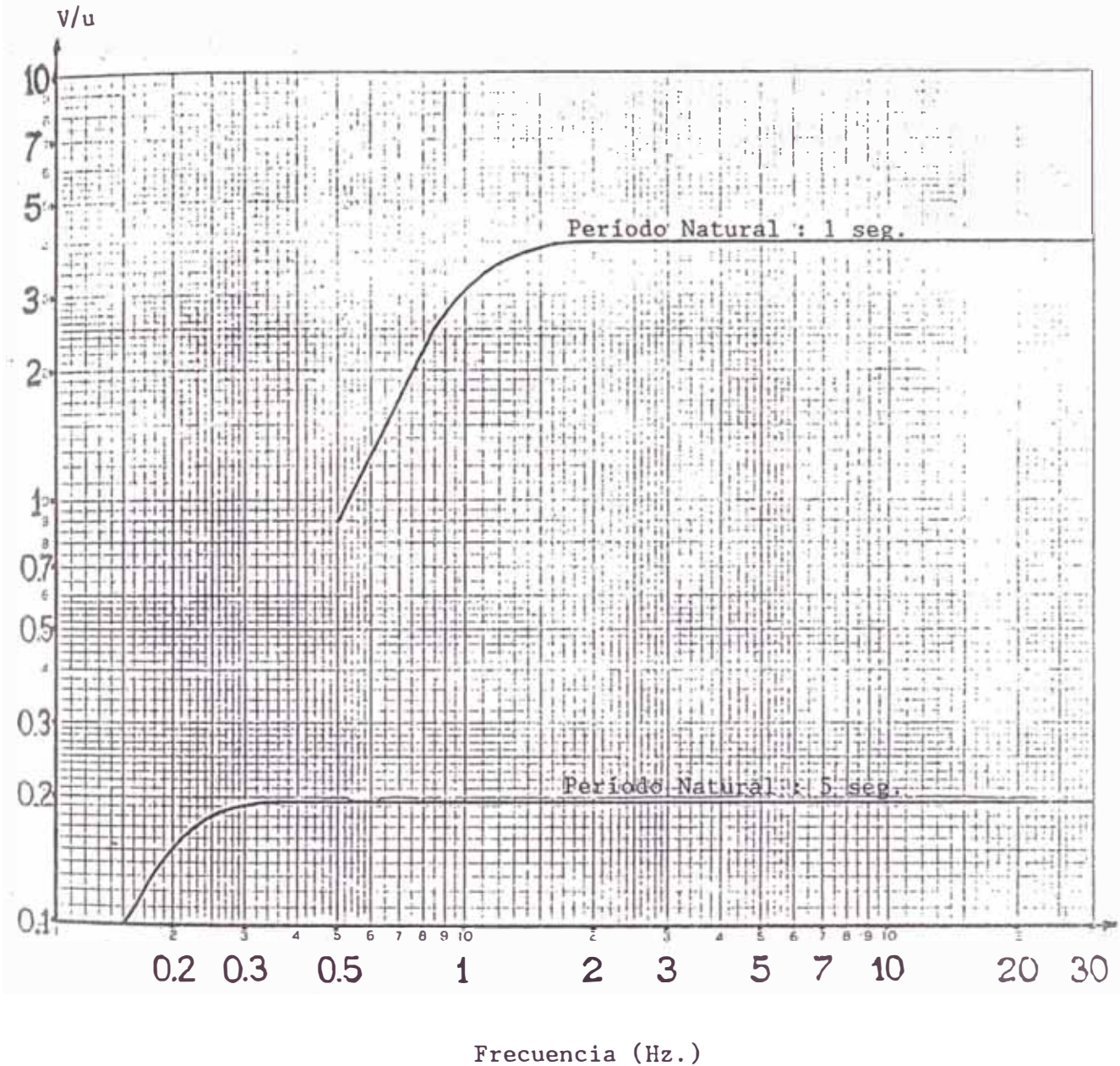


FIG. 4.5 Curvas de Respuestas de Frecuencia vs. Máxima Sensibilidad para los periodos naturales "1S" y "5S", para mediciones por desplazamiento del Canal 1 del Amplificador TA-406.

(Del Manual de Instrucción del Amplificador de la OGAWA SEIKI Co., LTD).

Ref. (Tokeshi, 1990)

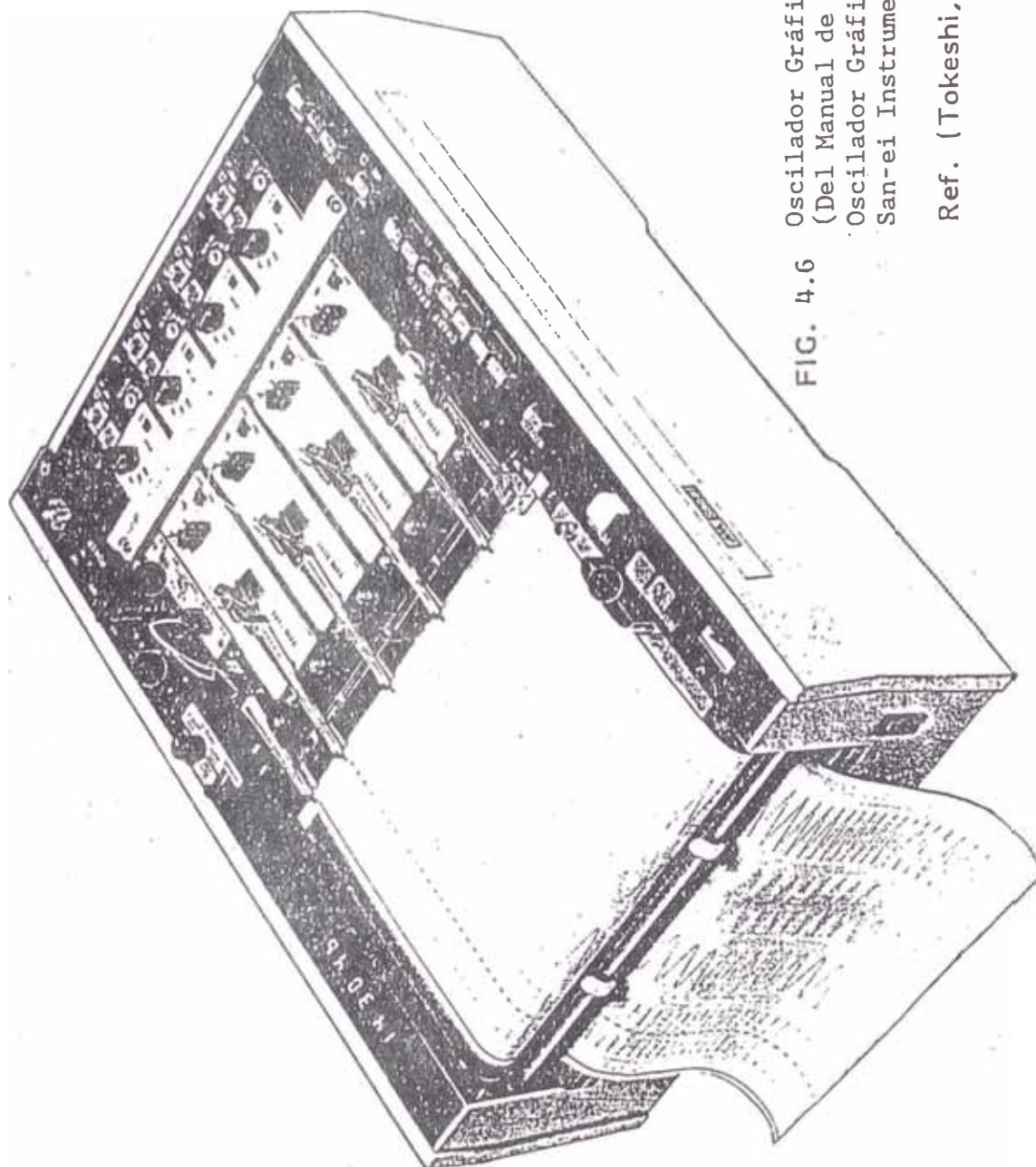


FIG. 4.6 Oscilador Gráfico del tipo 8K21.
(Del Manual de Instrucción del
Oscilador Gráfico de la NEC
San-ei Instruments, Ltd).

Ref. (Tokeshi, 1990)

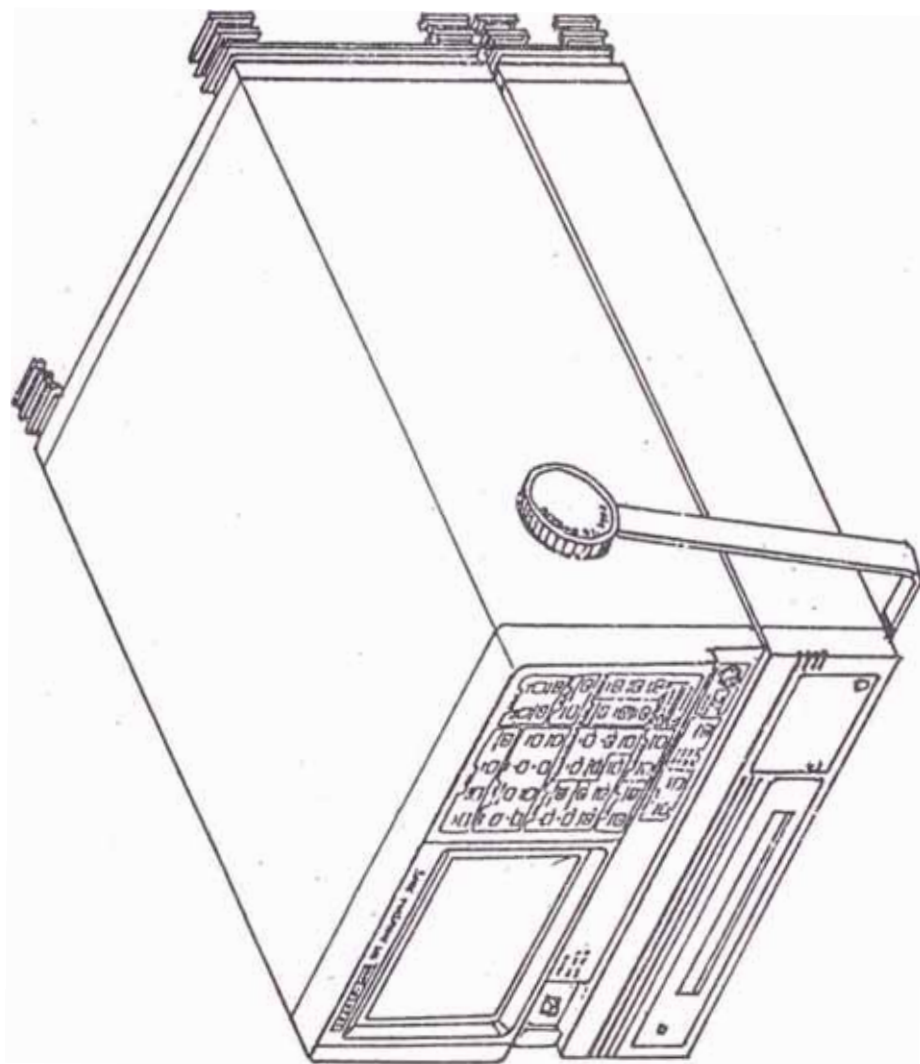


FIG. 4.7 Analizador espectral FFT "F-3000" de la TEAC CORPORATION,
Ref. (Tokeshi, 1990)

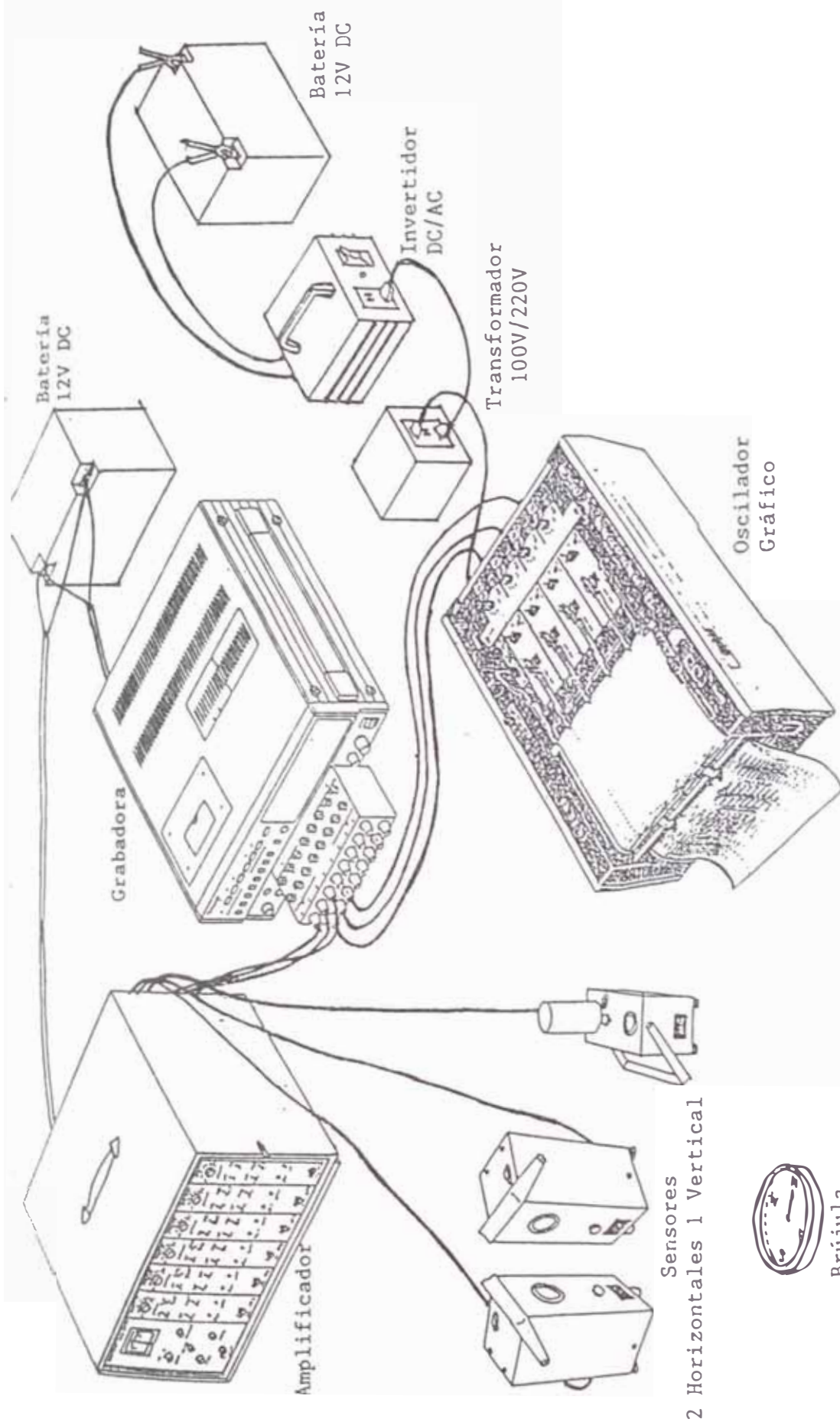


FIG. 4.8 Configuración en campo del "EQUIPO MICROREM N° 3"

Ref. (Tokeshi, 1990)

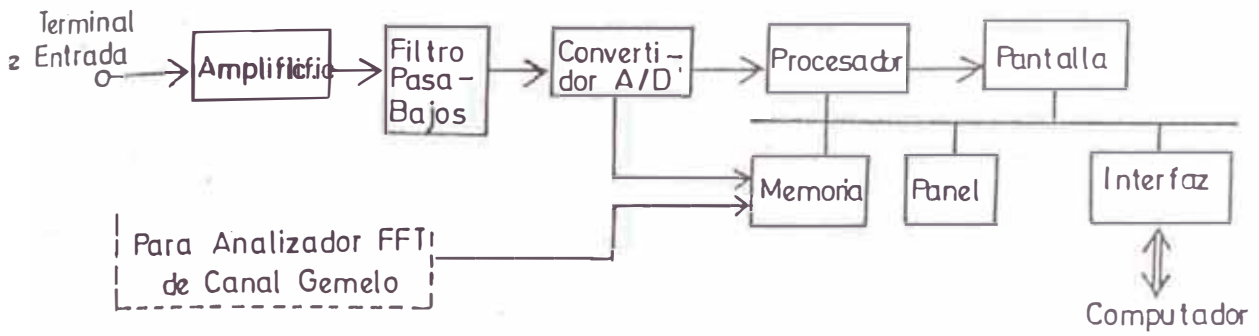


FIG. 4.9 CONFIGURACION TIPICA DE UN ANALIZADOR FFT
 Ref. (Manual de Instrucciones, F-3000
 FFT Analyzing Scope, TEAC, 1988)



FIG. 4.10

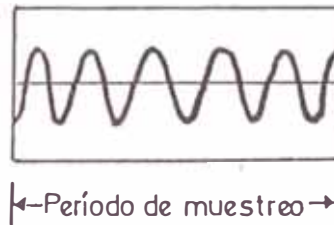


FIG. 4.11

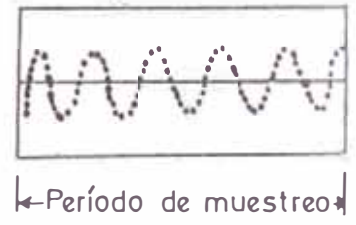


FIG. 4.12

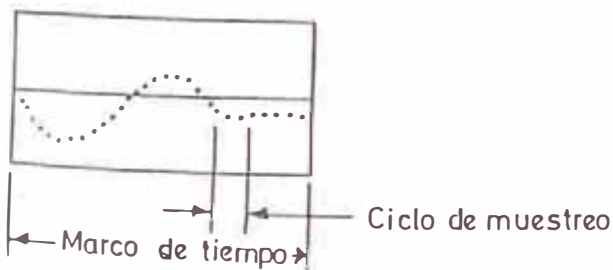


FIG. 4.13

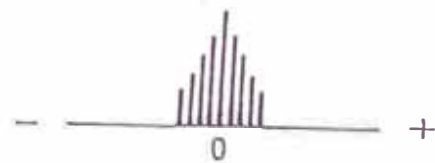


FIG. 4.14



FIG. 4.15

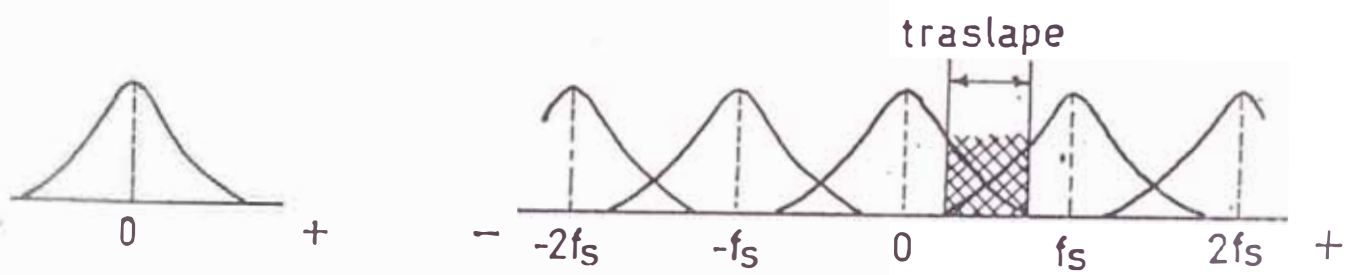


FIG. 4.16

FIG. 4.17

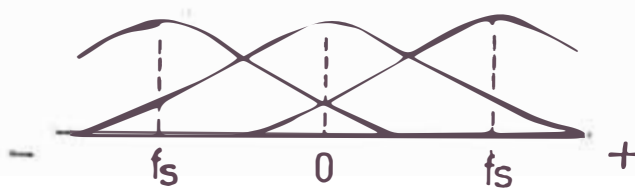


FIG. 4.18

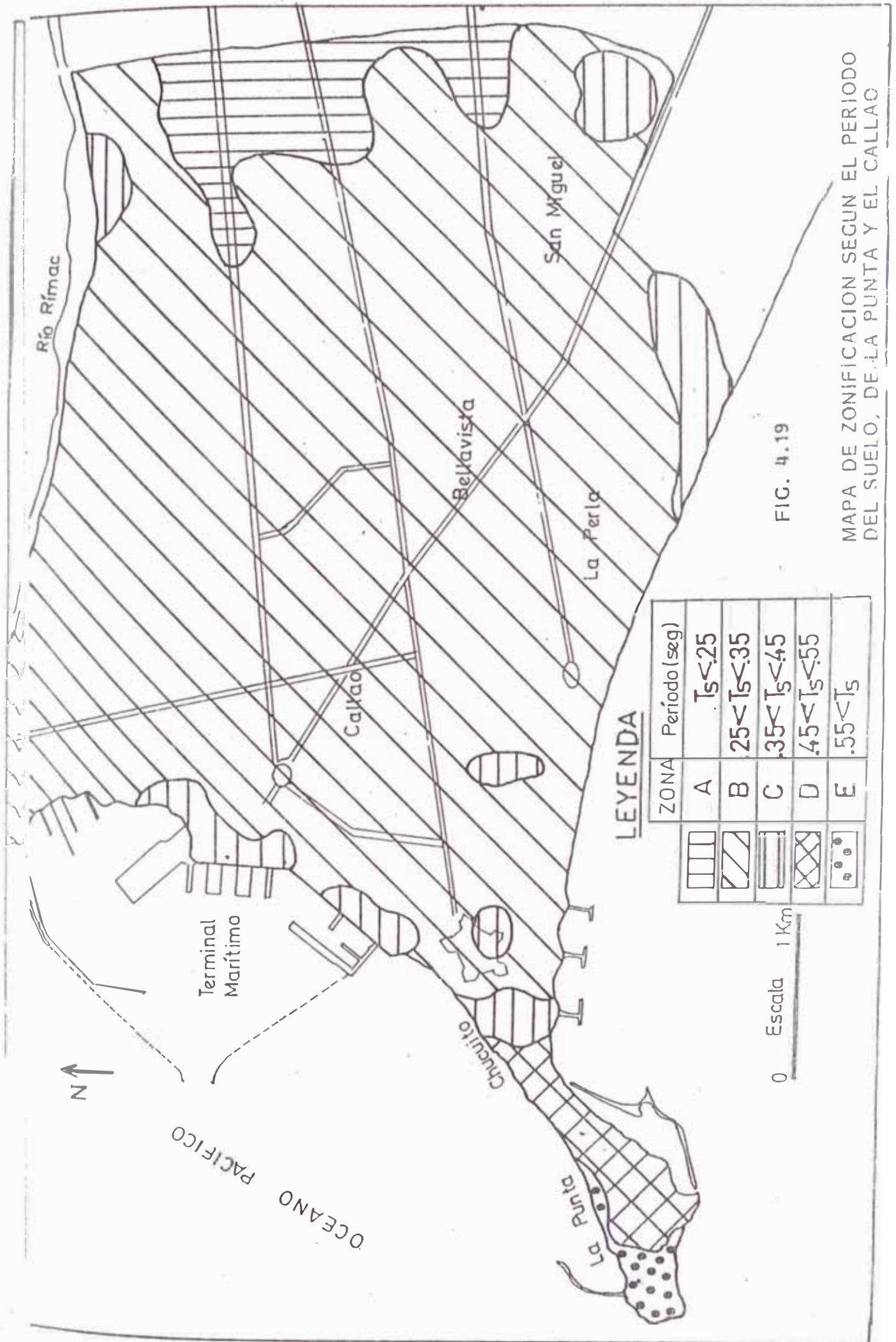


FIG. 4.19

MAPA DE ZONIFICACION SEGUN EL PERIODO DEL SUELO, DE LA PUNTA Y EL CALLAO



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL

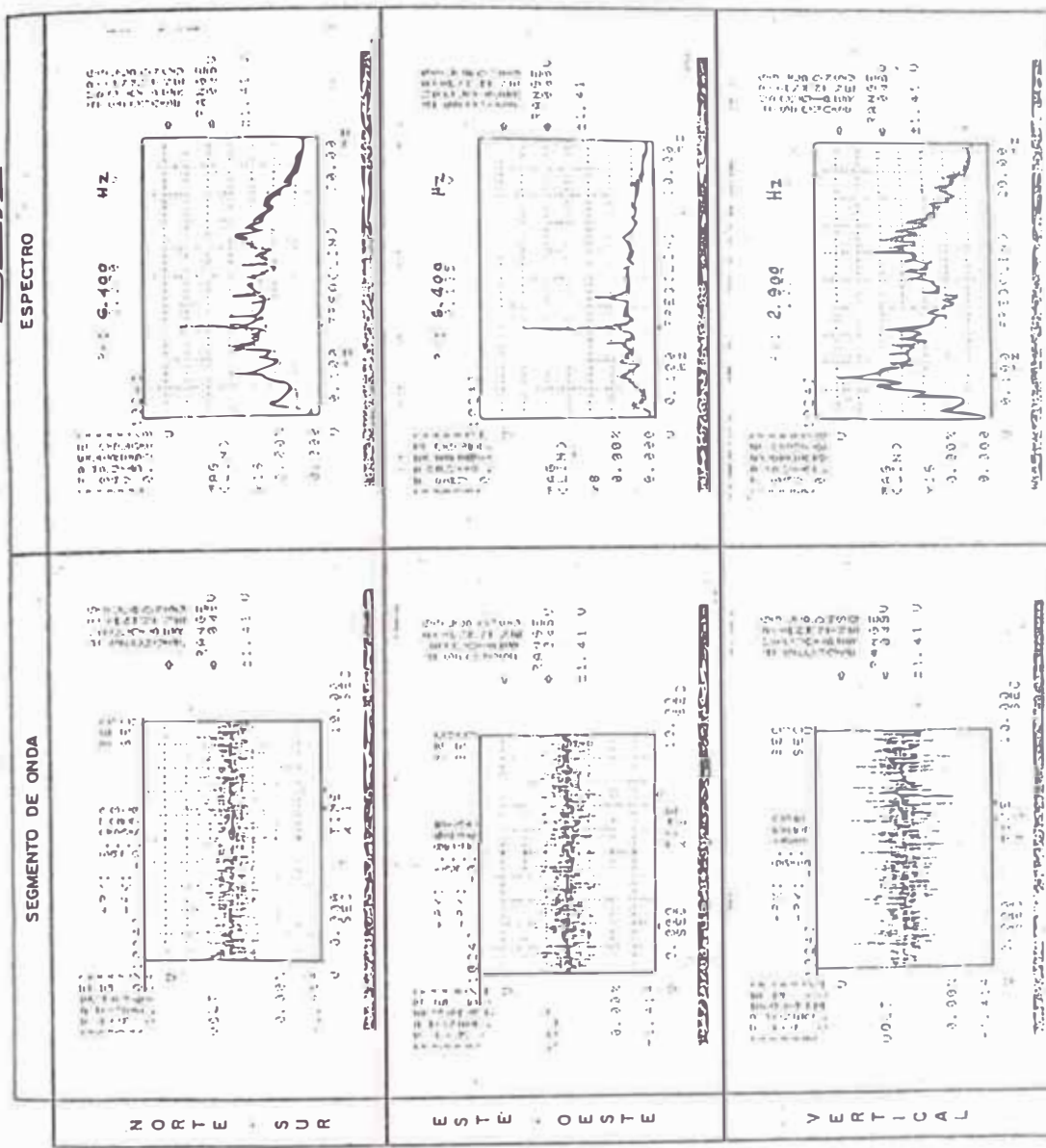
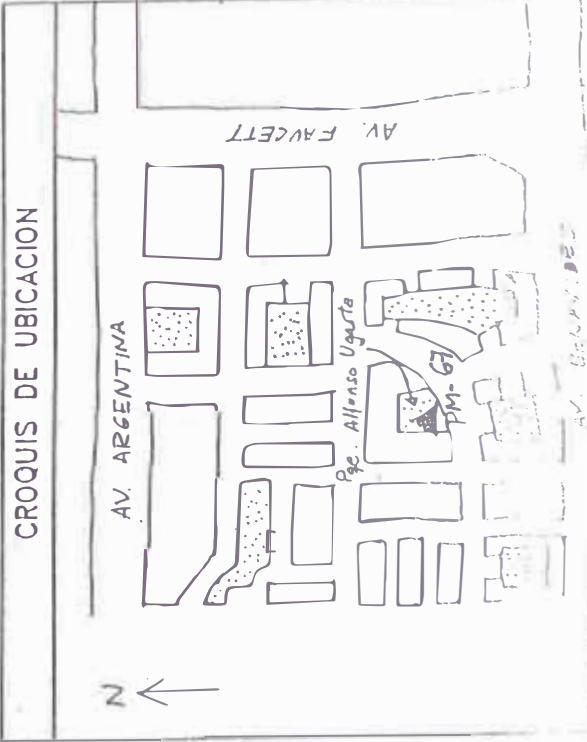
CENTRO PERUANO-JAPONES
DE INVESTIGACIONES SISMICAS
Y MITIGACION DE DESASTRES

CAL
Callao

FICHA DE MEDICION DE MICROTREPIDACIONES

SEGMENTOS DE ONDA Y ESPECTROS UTILIZADOS EN EL ANALISIS PARA EL CALCULO DEL PERIODO PREDOMINANTE

Proyecto: MICROZONIFICACION SISMICA DE LA PUNTA Y EL CALLAO			
Fecha: 20/2/90		Operador: C.E.R.E. Punto def.: PM-67	
Ubicación: Urb. Tarapacá - Pqe. Alfonso Ugarte - Callao			
MEDICION		ATENUACION	
Cassette N°	IV-39	Componente	dB
Hora	11:02	N-S	6
Tiempo grabado	4'00"	E-O	6
Tiempo útil	2'45"	V	0
Observaciones: Tráfico lejano.			



CONCLUSION: $T_s = 0.16$ seg.
 $A_{max} = 0.35 \mu$

FIG. 4.20
MEDICION DE MICROTREPIDACIONES
REPRESENTATIVA DE LA ZONA A



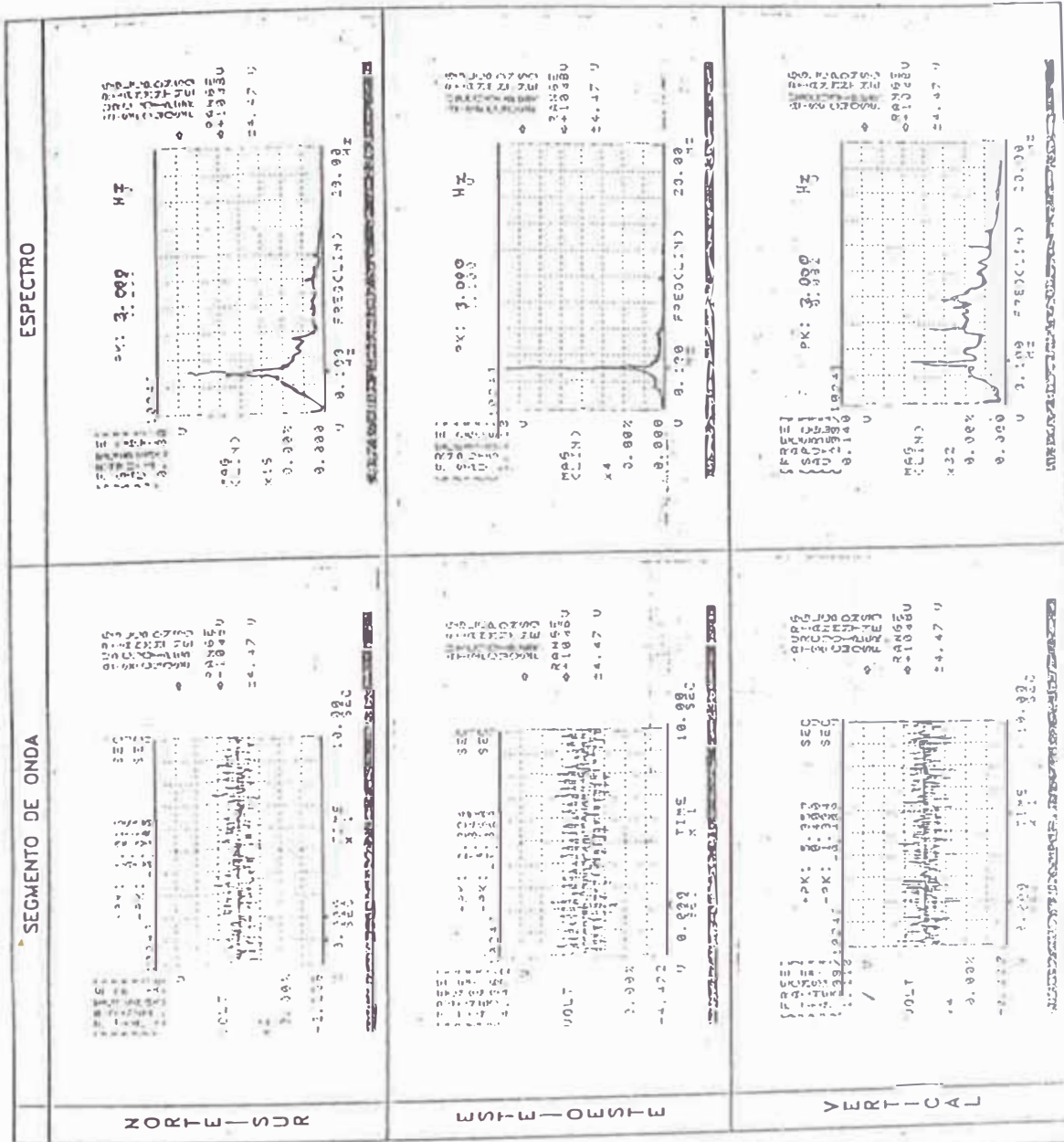
SEGMENTOS DE ONDA Y ESPECTROS
UTILIZADOS EN EL ANALISIS PARA EL
CALCULO DEL PERIODO PREDOMINANTE

Proyecto:	MICROZONIFICACION SISMICA DE LA PUNTA Y EL CALLAO		
Fecha:	28/8/90	Operador:	C.E.B.B. Punto def.: PM-237
Ubicación:	Inicio Muelle N°3 - Base Naval - Callao		

MEDICION		ATENUACION	
Cassette N°	XII-11	Componente	dB
Hora	11:58	N-S	6
Tiempo grabado	5'00"	E-O	6
Tiempo útil	2'20"	V	6

Observaciones: Paso de autos y personas. Sensores sobre el pavimento. Brújula no señala correctamente el Norte.

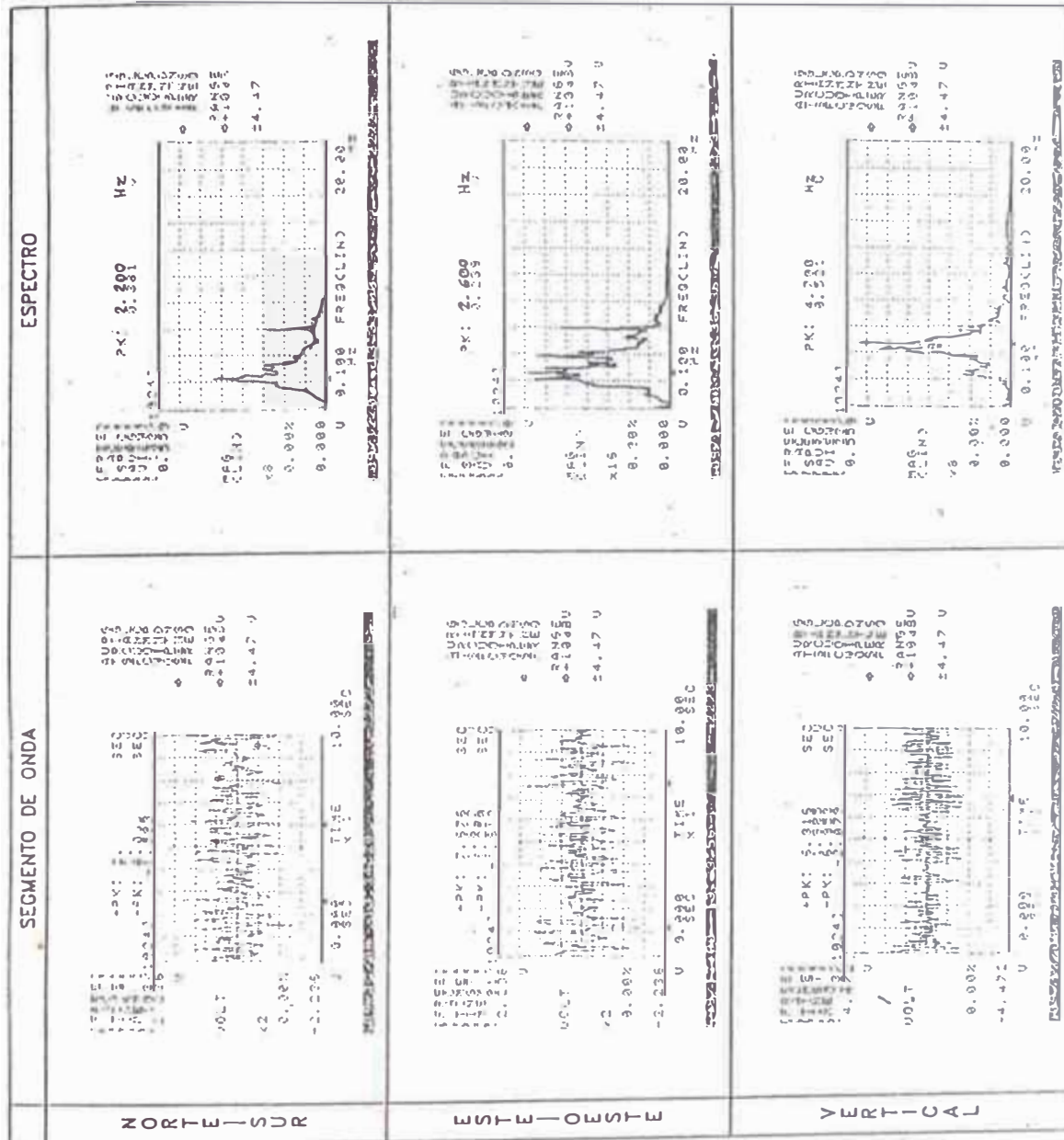
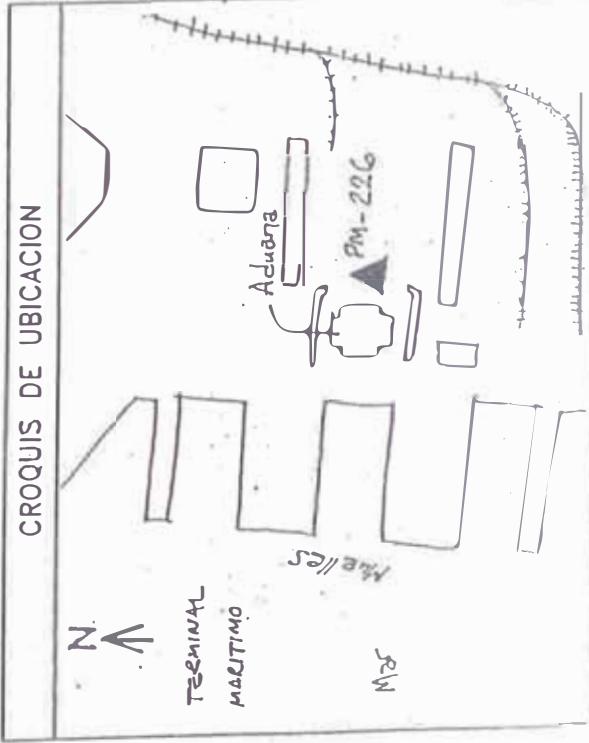
CROQUIS DE UBICACION



CONCLUSIONES: $T_0 = 0.32$ seg | FIG. 4.21 MEDICION DE MICROTREPIDACIONES REPRESENTATIVA DE LA ZONA B

SEGMENTOS DE ONDA Y ESPECTROS
UTILIZADOS EN EL ANALISIS PARA EL
CALCULO DEL PERIODO PREDOMINANTE

Proyecto: MICROZONIFICACION SISMICA DE LA PUNTA Y EL CALLAO			
Fecha: 01/08/90		Operador: C.E.R.E. Punto def.: PM-226	
Ubicación: Estacionamiento Aduana - ENAPU-Callao			
MEDICION		ATENUACION	
Cassette N°	X-20	Componente	dB
Hora	16:23	N-S	0
Tiempo grabado	1'00"	E-O	0
Tiempo útil	0'30"	V	0
Observaciones: Sopla poco viento			



CONCLUSIONES: $T_s = 0.42 \text{ seg.}$
 $A_{max} = 0.40g$

FIG. 4.22 MEDICION DE MICROTREPIDACIONES
REPRESENTATIVA DE LA ZONA C

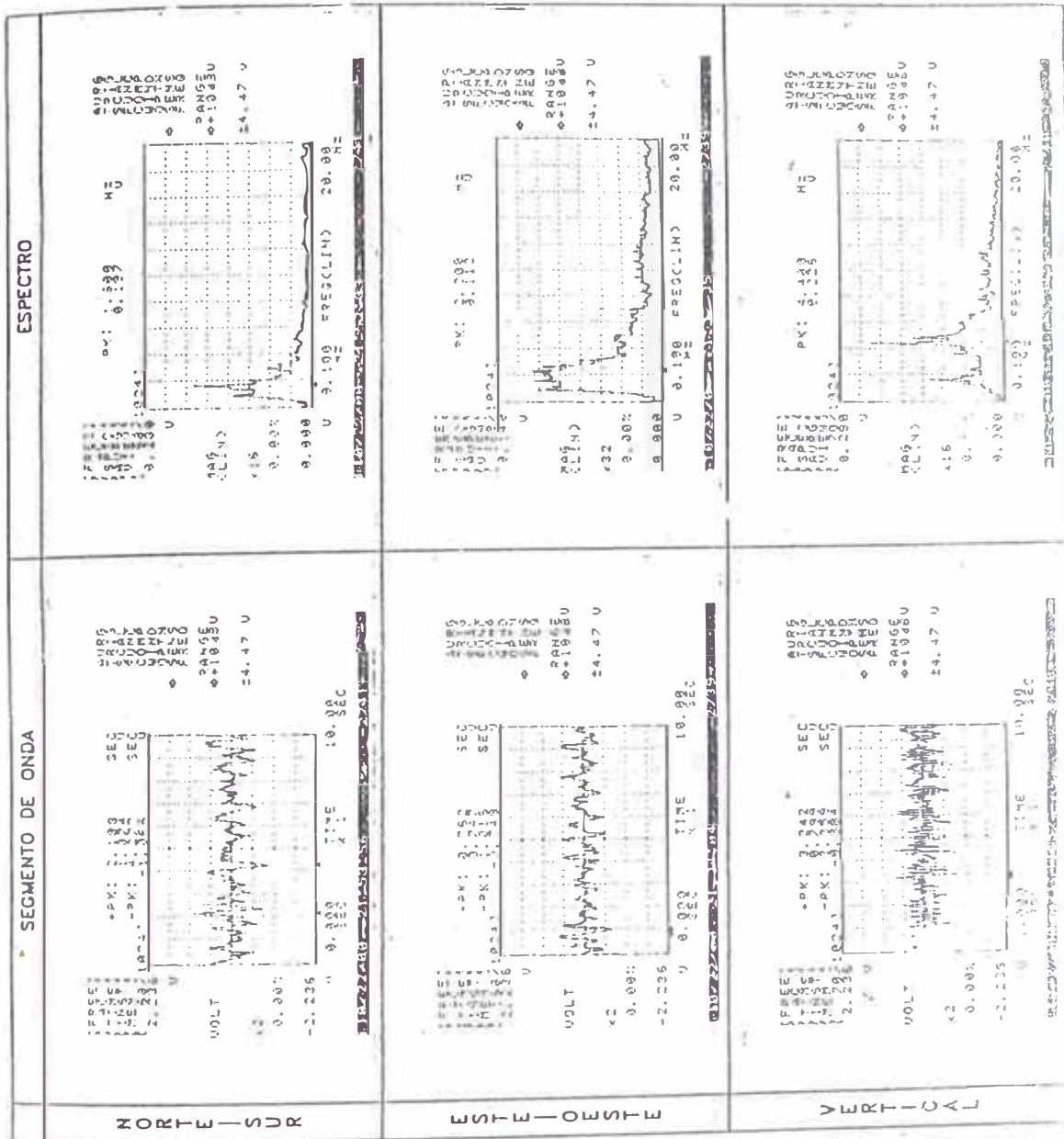
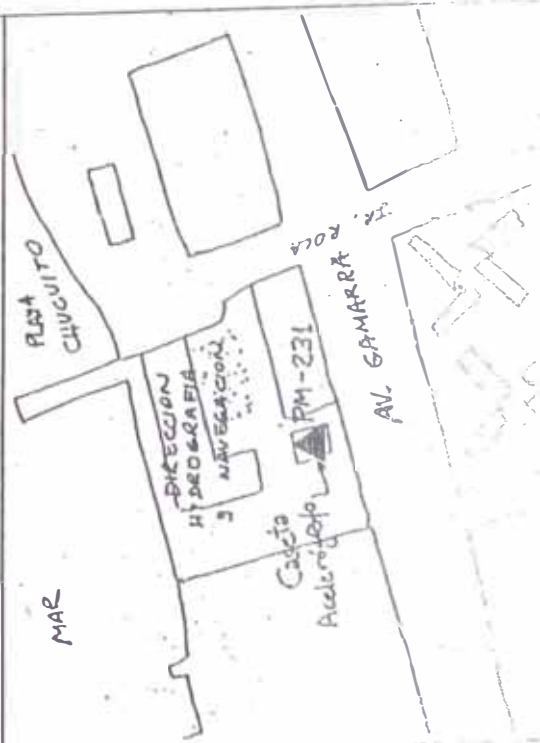


SEGMENTOS DE ONDA Y ESPECTROS
UTILIZADOS EN EL ANALISIS PARA EL
CALCULO DEL PERIODO PREDOMINANTE

Proyecto: MICROZONIFICACION SISMICA DE LA PUNTA Y EL CALLAO			
Fecha: 27/8/90		Operador: C.E.B.E. Punto def.: PM-231	
Ubicación: Caseta del Acelerógrafo-Chucuito - Callao			
MEDICION		ATENUACION	
Cassette N°	IX-55	Componente	dB
Hora	14:25	N-S	0
Tiempo grabado	6'30"	E-O	0
Tiempo útil	2'15"	V	0

Observaciones: Sensores sobre el bloque de concreto
del acelerógrafo. Perturbación del
tráfico a 10 m.

CROQUIS DE UBICACION



CONCLUSIONES: 15-05-1990
ANEX-0231

FIG. 4.23 MEDICION DE MICROTREMORIDADES
REPRESENTATIVA DE LA ZONA D



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL

CENTRO PERUANO-JAPONES
DE INVESTIGACIONES SISMICAS
Y MITIGACION DE DESASTRES



La Pont

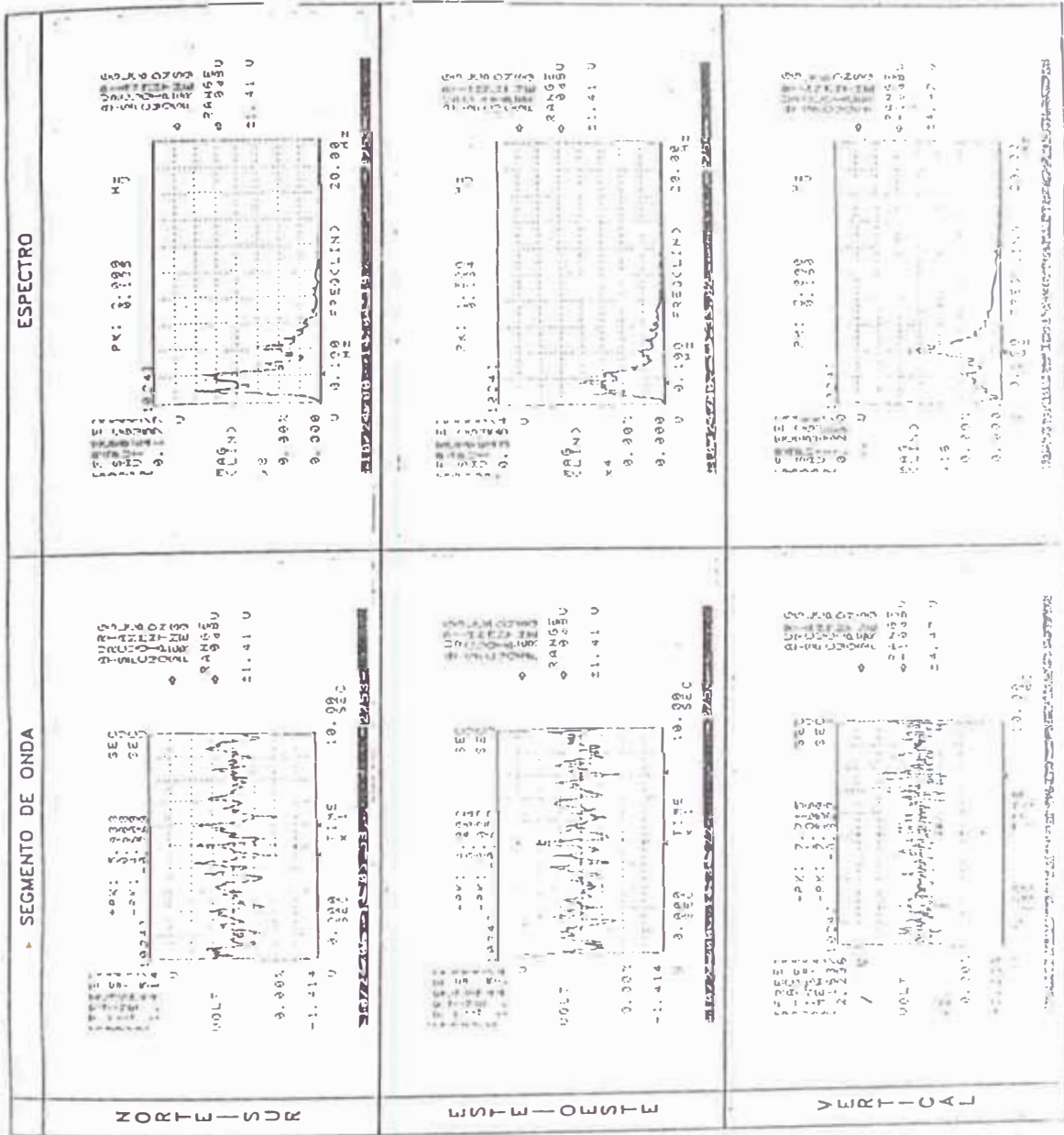
FICHA DE MEDICION DE MICROTREPIDACIONES

SEGMENTOS DE ONDA Y ESPECTROS
UTILIZADOS EN EL ANALISIS PARA EL
CALCULO DEL PERIODO PREDOMINANTE

Proyecto: MICROZONIFICACION SISMICA DE LA PUNTA Y EL CALLAO	
Fecha: 29/8/90	Operador: C.E.B.E. Punto def.: PM-252
Ubicación: Lado Sur de la Escuela Naval - La Punta	
ATENUACION	
Cassette N°	X11-41
Hora	11:37
Tiempo grabado	3'05"
Tiempo útil	0'40"

Observaciones: Sensores sobre losa de concreto.
A 10 m. mar en calma.

CROQUIS DE UBICACION



CAPITULO V

APLICACION DE LA TEORIA DE AMPLIFICACION DINAMICA

5.1 INTRODUCCION.

El presente capítulo tiene como objetivo aplicar la teoría de propagación unidimensional de las ondas de corte en depósitos de suelo, primero bajo niveles mínimos de deformación, y luego utilizando señales sísmicas de movimiento fuerte como fuerza de excitación.

Se propone determinar con este método el comportamiento dinámico de los suelos de La Punta y el Callao, y compararlo con los datos obtenidos en el campo a través de la medición de microtrepidaciones.

Como primer paso se presenta una revisión de los conocimientos actuales sobre los efectos de las condiciones locales sobre el daño sísmico. Luego se presenta la teoría de propagación unidimensional de ondas de corte. A continuación se modelan los perfiles de suelo de la zona de estudio, y se les somete al cómputo de sus períodos fundamentales mediante el programa FRF, que calcula la Función de Respuesta de Frecuencias, y finalmente al

cómputo de los espectros de respuesta de estos suelos, bajo tres sismos de entrada registrados en Lima, utilizando el programa SHAKE.

Los resultados logrados de este último análisis, tienen particular relevancia por cuanto se trata de suelos blandos, para los cuales casi no existen registros sísmicos en el Perú, y por lo tanto, no se conocen sus espectros de respuesta reales.

5.2 INFLUENCIA DE LAS CONDICIONES LOCALES DEL SUELO SOBRE EL DAÑO SISMICO A LAS CONSTRUCCIONES.

Actualmente, la mayoría de los sismólogos e ingenieros sísmicos están de acuerdo con la idea que las características del sacudimiento sísmico en un sitio dado, en un evento particular, dependerá de muchos factores, incluyendo los siguientes:

1. El mecanismo fuente del sismo.
2. La magnitud del sismo.
3. La distancia del lugar a la zona principal de liberación de energía.
4. Las características geológicas de las formaciones rocosas a través de las cuales las ondas sísmicas deben viajar desde la fuente hasta el área

general de interés.

5. Las condiciones locales del suelo subyacente al sitio en particular, y
6. Los posibles efectos de superposición.

En efecto, la energía que es liberada de una repentina fuente de falla en la corteza terrestre, probablemente a una profundidad de muchos kilómetros bajo la superficie del suelo, viajará en la forma de ondas sísmicas hacia una zona de importancia, tal como una ciudad o una estructura crítica (presa o planta de energía). Para ello las ondas cruzarán muchas interfases y fallas en la estructura geológica, serán reflejadas y refractadas y finalmente llegarán al sitio de interés, con características generalmente similares pero no siempre con uniformidad de un punto a otro. La energía retenida dependerá de la capacidad de absorción de energía (características de amortiguamiento) de las formaciones rocosas, a través de las cuales viajan las ondas.

Una vez alcanzada el área de la ciudad, los movimientos serán nuevamente modificados conforme ellos pasen de las formaciones rocosas subyacentes a través de los diferentes depósitos de suelo (variantes en tipo y profundidad), de tal forma que al alcanzar la superficie del suelo tendrán características diferentes en distintos lugares de la ciudad, y por lo tanto, también se esperará

que el daño sísmico varíe significativamente.

En años recientes esto ha sido muy notorio por el registro simultáneo de movimientos sísmicos en diferentes lugares de grandes ciudades, de tal forma que se ha obtenido una clara evidencia para demostrar estos efectos.

Aunque en algunos casos los datos no han sido cuantitativamente establecidos, los numerosos casos de relaciones entre los niveles de daño a las construcciones y la profundidad de los depósitos provee un patrón bastante consistente que tiene las siguientes características:

1. Para estructuras bajas, de período relativamente corto, se produce máximo daño e intensidad del movimiento sobre depósitos superficiales (de período corto) y mínima intensidad de daño sobre depósitos de suelo profundos (de período largo).

2. Para estructuras altas, de período largo, se produce máximo daño e intensidad del sacudimiento sobre depósitos profundos (de período largo) y mínimo daño sobre depósitos superficiales (de período corto).

Este patrón general sugiere que la intensidad del daño estructural está relacionado (entre otros factores) a: el período natural de la estructura y el período

fundamental del depósito de suelo subyacente. Cuando estos períodos son similares, un tipo de efecto de resonancia puede desarrollarse y la respuesta de la edificación puede ser muy alta; cuando estos períodos son muy diferentes no se espera fuerte interacción entre el suelo y la estructura y la respuesta estructural es relativamente baja.

Espectros de Respuesta.

De las diferentes características de los movimientos sísmicos, ninguna es tan influenciada por las condiciones del suelo, como la forma del espectro de respuesta.

Estudios de las formas características del espectro de respuesta de aceleración se han hecho (Seed, Ugas, y Lysmer, 1974) para grupos de registros acelerográficos obtenidos para cuatro condiciones de suelo:

- 1) Roca.
- 2) Suelos rígidos (menos de 200 pies de profundidad).
- 3) Suelos no cohesivos profundos (mayores de 250 pies de profundidad).
- 4) Depósitos de arcilla blandos a medianos en rigidez.

Mientras un gran número de registros de los movimientos pudo ser recolectado adecuadamente para los suelos de los grupos 1 a 3, existen relativamente pocos registros disponibles para depósitos de arcilla blandos a medianamente rígidos, y por lo tanto los pocos registros disponibles muestran amplias variaciones en sus características.

Con estas limitaciones, los resultados de un estudio de las formas espectrales para un amortiguamiento de 5% y para las cuatro condiciones de suelo mencionadas, se muestran en la Fig. 5.1. Es rápidamente notorio que existen amplias diferencias en las formas, dependiendo de las condiciones del suelo, particularmente para períodos mayores que 0.5 seg; arriba de este valor, las amplificaciones espectrales son mucho más altas para depósitos de suelo no cohesivo profundo y para depósitos de arcilla blanda o medio rígida, que para suelos rígidos o roca.

En otras palabras, los depósitos de suelo blandos y profundos introducen una mayor proporción de componentes de períodos largos en los movimientos de la superficie; los efectos aparentemente se incrementan conforme la profundidad o blandura del suelo crece. El error de considerar estos efectos para períodos mayores que 0.5 segundos podría conducir a mayores discrepancias en la

evaluación de las aceleraciones espectrales o en el establecimiento de los criterios de diseño.

5.3 METODOS DE EVALUACION DEL EFECTO LOCAL.

Varios métodos para evaluar el efecto de las condiciones locales del suelo sobre la respuesta del terreno durante los sismos están disponibles en la actualidad. La mayor parte de estos métodos se basan en la suposición que las principales respuestas en un depósito de suelo son causadas por la propagación vertical de las ondas de corte provenientes de la formación rocosa subyacente. Procedimientos analíticos basados en este concepto, que incorporan un comportamiento no-lineal del suelo, han dado resultados en buena concordancia con las observaciones de campo en cierto número de casos. De allí que estos métodos estén logrando incrementar su uso en la ingeniería sísmica para predecir las respuestas en depósitos de suelo y las características de los movimientos en la superficie del terreno.

El procedimiento analítico involucra los siguientes pasos:

a) Determinar las características de los movimientos Probables a desarrollar en la formación rocosa subyacente

al sitio, y seleccionar un acelerograma con estas características para el análisis.

La aceleración máxima, el período predominante y la duración efectiva son los parámetros más importantes de un movimiento sísmico. Relaciones empíricas entre estos parámetros y la distancia de la falla causante al lugar, han sido establecidas para diferentes magnitudes sísmicas (Gutenberg y Richter, 1956, Seed et al, 1969, Schnabel y Seed, 1972). Un movimiento de diseño con las características deseadas puede ser seleccionado de los acelerogramas de movimiento fuerte que han sido registrados durante sismos previos (Seed e Idriss, 1969) o de acelerogramas artificialmente generados (Housner y Jennings, 1964).

b) Determinar las propiedades dinámicas del suelo.

Relaciones promedio entre el módulo dinámico de corte y la fracción de amortiguamiento de suelos, como funciones de la deformación por corte, y las propiedades estáticas, han sido establecidas para varios tipos de suelo (Hardin y Drnevich, 1970, Seed e Idriss, 1970). De este modo, un programa relativamente simple de pruebas para obtener las propiedades estáticas puede usarse en estas relaciones para establecer las propiedades dinámicas con un grado suficiente de precisión. Sin embargo, procedimientos

más elaborados de pruebas dinámicas se requieren para problemas especiales y para casos que involucren tipos de suelo para los cuales no han sido establecidas relaciones empíricas con las propiedades estáticas.

c) Calcular la respuesta del depósito de suelo al movimiento de la roca base.

Un método unidimensional de análisis puede ser usado si la estructura es esencialmente horizontal. Programas desarrollados para realizar este análisis están en general basados en una de las soluciones de la ecuación de onda (Kanai, 1951; Matthiesen et al, 1964; Roesset y Whitman, 1969; Lysmer et al, 1971). o en una simulación de masas concentradas (Idriss y Seed, 1968). Depósitos de suelo más irregulares pueden requerir un análisis con elementos finitos.

En los siguientes párrafos, se describen la teoría y uso del programa de cómputo utilizado en este trabajo, denominado SHAKE (Schnabel, Lysmer y Seed, 1972), basado en el método de propagación unidimensional de ondas de corte. El programa puede calcular las respuestas para un movimiento de diseño dado en cualquier parte del sistema. Así, los acelerogramas obtenidos sobre la superficie del depósito pueden usarse para generar nuevos movimientos de roca los cuales, a su vez, pueden ser usados como

movimientos de diseño para otros depósitos de suelo, ver Fig.5.2 (Schnabel et al, 1971). El programa también incorpora el comportamiento no lineal del suelo, el efecto de la elasticidad de la roca base y los sistemas con amortiguamiento variable.

5.4 TEORIA DE LA PROPAGACION UNIDIMENSIONAL DE ONDAS DE CORTE.

La teoría considera las respuestas asociadas con la propagación vertical de ondas de corte a través del sistema lineal viscoelástico mostrado en la Fig.5.3. El sistema está formado por N estratos horizontales, los cuales se extienden al infinito en la dirección horizontal y tiene un semiespacio como el estrato de fondo. Cada estrato es homogéneo e isotrópico y está caracterizado por el espesor, h , la densidad de masa, ρ , el módulo de corte, G , y el factor de amortiguamiento, β .

La propagación vertical de las ondas de corte a través del sistema mostrado en la Fig.5.3 causará sólo desplazamientos horizontales:

$$u = u(x,t) \tag{5.1}$$

los cuales deben satisfacer la ecuación de onda:

$$\rho \cdot \delta^2 u / \delta t^2 = G \cdot \delta^2 u / \delta x^2 + \eta \cdot \delta^3 u / \delta x^2 \delta t \quad (5.2)$$

Los desplazamientos armónicos con frecuencia ω pueden ser descritos en la forma:

$$u(x, t) = U(x) \cdot e^{i\omega t} \quad (5.3)$$

Sustituyendo la Ec. 5.3 en la Ec. 5.2 se obtiene una ecuación diferencial ordinaria:

$$(G + i\omega\eta) \cdot d^2 U / dx^2 = \rho \omega^2 U \quad (5.4)$$

la cual tiene la solución general:

$$U(x) = E e^{ikx} + F e^{-ikx} \quad (5.5)$$

en donde

$$k^2 = \rho \omega^2 / (G + i\omega\eta) = \rho \omega^2 / G^* \quad (5.6)$$

donde k es el número complejo de onda y G^* es el módulo de corte complejo. El coeficiente de amortiguamiento crítico, β , está relacionado a la viscosidad η por:

$$\omega\eta = 2G\beta$$

Experimentos en muchos materiales de suelo indican que G y β son cercanamente constantes sobre el rango de frecuencia que es de principal interés en el análisis. Por ello conveniente expresar el módulo de corte complejo en términos del factor crítico de amortiguamiento en vez de la viscosidad:

$$G^* = G + i\omega\eta = G(1 + 2i\beta) \quad (5.7)$$

donde G^* puede asumirse que es independiente de la frecuencia.

Las ecuaciones 5.3 y 5.5 dan la solución para la ecuación de onda de un movimiento armónico de frecuencia ω .

$$u(x,t) = Ee^{i(kx + \omega t)} + Fe^{-i(kx - \omega t)} \quad (5.8)$$

donde el primer término representa la onda incidente viajando en la dirección x negativa (hacia arriba) y el segundo término representa la onda reflejada viajando en la dirección x positiva (hacia abajo).

La ecuación 5.8 es válida para cada uno de los estratos de la Fig.5.3. Introduciendo un sistema de coordenadas locales x para cada estrato, los desplazamientos en la parte superior e inferior del estrato son:

$$u_m(X=0) = (E_m + F_m)e^{i\omega t} \quad (5.9)$$

$$u_m(X=h_m) = (E_m e^{ik_m h_m} + F_m e^{-ik_m h_m}) e^{i\omega t} \quad (5.10)$$

El esfuerzo de corte sobre un plano horizontal es:

$$\tau(x,t) = G \cdot \delta u / \delta x + \eta \cdot \delta^2 u / \delta x \delta t = G^* \cdot \delta u / \delta x \quad (5.11)$$

o por la ecuación 5.8:

$$\tau(x,t) = ikG^* (Ee^{ikx} - Fe^{-ikx}) e^{i\omega t} \quad (5.12)$$

y los esfuerzos de corte en la parte superior e inferior del estrato m son respectivamente:

$$\tau_m(X=0) = ik_m G_m^* (E_m - F_m) e^{i\omega t} \quad (5.13)$$

$$\tau_m(X=h_m) = ik_m G_m^* (E_m e^{ik_m h_m} - F_m e^{-ik_m h_m}) e^{i\omega t} \quad (5.14)$$

Los esfuerzos y los desplazamientos deben ser continuos en todos los bordes. De aquí, por las ecuaciones 5.9, 5.10, 5.13 y 5.14:

$$E_{m+1} + F_{m+1} = E_m e^{ik_m h_m} + F_m e^{-ik_m h_m} \quad (5.15)$$

$$E_{m+1} - F_{m+1} = (k_m G_m^* / k_{m+1} G_{m+1}^*) \cdot (E_m e^{ik_m h_m} - F_m e^{-ik_m h_m}) \quad (5.16)$$

La sustracción y adición de las ecuaciones 5.15 y 5.16 conducen a las siguientes fórmulas de recurrencia para la amplitudes, E_{m+1} y F_{m+1} , de las ondas incidente y reflejada en el estrato $m+1$, expresados en términos de amplitudes en el estrato m :

$$E_{m+1} = (1/2)E_m(1+\alpha_m)e^{ik_m h_m} + (1/2)F_m(1-\alpha_m)e^{-ik_m h_m} \quad (5.17)$$

$$F_{m+1} = (1/2)E_m(1-\alpha_m)e^{ik_m h_m} + (1/2)F_m(1+\alpha_m)e^{-ik_m h_m} \quad (5.18)$$

donde α_m es la razón de impedancia compleja:

$$\alpha_m = k_m G_m^* / k_{m+1} G_{m+1}^* = (\rho_m G_m^* / \rho_{m+1} G_{m+1}^*)^{1/2} \quad (5.19)$$

que de nuevo es independiente de la frecuencia.

En la superficie libre los esfuerzos de corte deben ser cero. Además, la Ec. 5.12 con T_1 y X_1 igual a cero da $E_1 = F_1$, por lo que las amplitudes de las ondas incidente y reflejada son siempre iguales en la superficie libre. Empezando por el estrato superficial, el uso repetido de las fórmulas de las ecuaciones 5.17 y 5.18 conduce a las siguientes relaciones entre las amplitudes en el estrato m

y aquellas en la superficie del estrato:

$$E_m = e_m(w) E_1 \quad (5.20)$$

$$F_m = f_m(w) E_1 \quad (5.21)$$

Las funciones de transferencia e_m y f_m son simplemente las amplitudes para el caso en que $E_1 = F_1 = 1$, y pueden ser determinadas sustituyendo esta condición en las anteriores fórmulas de recurrencia.

Otras funciones de transferencia se obtienen fácilmente de las funciones e_m y f_m . La función de transferencia $A_{n,m}$ entre los desplazamientos en el nivel n y m está definida por:

$$A_{n,m}(w) = u_m/u_n$$

y sustituyendo las Ecs. 5.9, 5.20 y 5.21:

$$A_{n,m}(w) = (e_m(w)+f_m(w))/(e_n(w)+f_n(w)) \quad (5.22)$$

En base a estas ecuaciones la función de transferencia $A(w)$ puede ser hallada entre 2 estratos cualesquiera en el sistema. Es decir, si el movimiento es conocido en un estrato en el sistema puede ser calculado en cualquier otro estrato.

Las amplitudes E y F pueden así ser calculadas para todos los estratos en el sistema, y las deformaciones y aceleraciones pueden ser derivadas de la función desplazamiento. Las aceleraciones son expresadas por la ecuación:

$$\ddot{u}(x,t) = \delta^2 u / \delta t^2 = -\omega^2 (E e^{i(kx+\omega t)} + F e^{-i(kx-\omega t)}) \quad (5.23)$$

y las deformaciones por:

$$\gamma = \delta u / \delta x = ik (E e^{i(kx+\omega t)} - F e^{-i(kx-\omega t)}) \quad (5.24)$$

5.5 MOVIMIENTOS TRANSITORIOS.

Las expresiones desarrolladas en 5.4 son válidas para movimientos armónicos de estado constante. La teoría puede ser extendida a movimientos transitorios a través del uso de la Transformada de Fourier.

Un sismograma digitizado con n valores de aceleración equidistantes, $\ddot{u}_j(j \cdot dt)$, $j = 0, \dots, n-1$, puede ser representado por una suma finita de movimientos armónicos:

$$\ddot{u}(t) = \sum_{s=0}^{n/2} (a_s e^{i\omega_s t} + b_s e^{-i\omega_s t}) \quad (5.25)$$

donde w_s , $s=0, \dots, n/2$ son las frecuencias equidistantes:

$$w_s = (2\pi / n dt) \cdot s \quad (5.26)$$

a_s y b_s designan a los coeficientes complejos de Fourier:

$$a_s = (1/n) \sum_{j=0}^{n-1} \ddot{u}(t) e^{-i w_s t}, \quad b_s = (1/n) \sum_{j=0}^{n-1} \ddot{u}(t) e^{i w_s t} \quad (5.27)$$

y cada término en la ecuación 5.25 es un movimiento armónico oscilando con frecuencia w_s .

Si las series en la ecuación 5.25 representan el movimiento de un estrato m , una nueva serie representando el movimiento de cualquier otro estrato n , puede ser obtenida aplicando el adecuado factor de amplificación de la Ec.5.22 para cada término en la serie:

$$\ddot{u}_n(t) = \sum_{s=0}^{n/2} A_{m,n}(w_s) \cdot (a_{m,s} e^{i w_s t} + b_{m,s} e^{-i w_s t}) \quad (5.28)$$

La representación de un movimiento discreto por su Transformada de Fourier da una exacta representación del movimiento en los puntos discretos $t=j \cdot dt$, $j=0, \dots, n-1$. La repetición cíclica del movimiento con el período $T=n \cdot dt$ está implícita en la solución. La solución se aplica, por lo tanto, a un infinito tren de acelerogramas idénticos

mejor que a un sólo acelerograma dado. Para sistemas con amortiguamiento esto no es de significativa consecuencia desde que los acelerogramas individuales pueden ser separados por una zona de silencio de ceros.

La Transformada de Fourier puede realizarse en varias formas. El programa SHAKE utiliza el algoritmo para la Transformada Rápida de Fourier desarrollado por Cooley y Tukey (1965), el cual es más rápido por un factor $n/\log n$ sobre el método convencional. Esta técnica calcula todos los valores en la serie simultáneamente. El método requiere que el número de términos en la serie sea alguna potencia de 2. Un análisis típico usando un registro de aceleraciones de 800 términos con intervalo de tiempo $t = 0.02$ seg usará 1024 valores en la Transformada Rápida de Fourier, con todos los valores entre 800 y 1024 fijados como cero. Esto satisfacerá ambos requisitos, el de una zona de silencio después del registro de aceleraciones y el que el número de términos deba ser potencia de 2.

5.6 DESCRIPCION DEL PROGRAMA SHAKE.

El programa SHAKE calcula las respuestas en un sistema de estratos homogéneos y viscoelásticos, de extensión horizontal infinita, sujetos al viaje vertical de las ondas de corte. El sistema es mostrado en la Fig.5.3.

El programa está basado en la solución continua de la ecuación de onda (Kanai, 1951) adaptado para usarse con movimientos transitorios a través del algoritmo de la Transformada Rápida de Fourier (Cooley y Tukey, 1965). La no linealidad del módulo de corte y del amortiguamiento es tomada en cuenta para usar propiedades lineales equivalentes del suelo (Idriss y Seed, 1968, Seed e Idriss, 1970) usando un procedimiento iterativo para obtener valores del módulo y del amortiguamiento compatibles con las deformaciones efectivas en cada estrato.

Las siguientes suposiciones están implícitas en el análisis:

1. El sistema de suelos se extiende infinitamente en la dirección horizontal.

2. Cada estrato en el sistema está completamente definido por su valor de módulo de corte, razón de amortiguamiento crítico, densidad y espesor. Estos valores son independientes de la frecuencia.

3. Las respuestas en el sistema son causadas por la propagación vertical de las ondas de corte provenientes de la formación rocosa subyacente.

4. Las ondas de corte están dadas como valores de aceleración a intervalos igualmente espaciados en el tiempo. La repetición cíclica del tiempo-historia de aceleraciones está implícita en la solución.

5. La dependencia de la deformación del módulo y del amortiguamiento está tomada en cuenta por un procedimiento lineal equivalente basado en un nivel de deformación promedio efectivo calculado para cada estrato.

El programa es capaz de manejar variaciones en ambos, módulo y amortiguamiento, y tomar en cuenta el efecto de la base elástica. El movimiento original usado para el análisis, llamado movimiento objeto, puede ser asignado a cualquier estrato del sistema y nuevos movimientos pueden ser calculados en cualquier otro estrato.

5.7 DETERMINACION DE LAS PARAMETROS DINAMICOS DEL SUELO.

Los parámetros que representan las características fundamentales de los suelos y son de interés en la dinámica de suelos son:

a) La densidad de masa ρ ($\text{t} \cdot \text{seg}^2/\text{m}^4$) o peso unitario (t/m^3).

$$\rho = \gamma / 9.8$$

b) El módulo de corte $G(t/m^2)$ o velocidad de ondas de corte $V_s (m/seg)$.

$$G = \rho \cdot V_s^2$$

c) El coeficiente de viscosidad $\eta (t \cdot seg/m^2)$ o el factor de amortiguamiento β .

Entre ellos, los parámetros G , V_s , η y β son dependientes de la deformación, pero pueden ser asumidos independientes de la frecuencia.

5.7.1 Masa de Suelo.

El peso unitario de suelos puede medirse rápidamente tomando muestras del suelo en un sondaje.

Usualmente, para calcular la presión efectiva en un depósito de suelo, el peso unitario sumergido

$$\gamma' = \gamma - 1$$

tiene que usarse para suelos bajo el nivel freático. Sin embargo, para el análisis dinámico, puede usarse simplemente el peso unitario γ , debido a que las partículas del suelo se mueven con el agua que las rodea.

5.7.2 Módulo de Corte y Velocidad de Ondas de Corte.

El módulo de corte G y la velocidad de ondas de corte V_s están relacionadas según:

$$G = \rho \cdot V_s^2$$

a) Determinación del Módulo de Corte.

Hay varias formas de medir o estimar el módulo de corte o la velocidad de ondas de corte de los suelos. Sin embargo, éstas son dependientes de la deformación, por lo tanto, debe prestarse atención a qué magnitud de deformación corresponde el módulo de corte medido o estimado.

i) Exploración sísmica in-situ. Generalmente se usa el sistema down-hole, que consiste en producir ondas en la superficie y recibirlas mediante geófonos a diferentes profundidades en un pozo tubular.

ii) Ensayo de compresión triaxial dinámico. Consiste en someter un espécimen cilíndrico a esfuerzos axiales y volumétricos. El módulo de corte se determina de la pendiente esfuerzo-deformación.

iii) Ensayo de columna resonante. Un torque cíclico se aplica a un espécimen de suelo cilíndrico. La frecuencia

de resonancia permite determinar el módulo de corte.

iv) Estimación en base al valor de N. El módulo de corte puede ser aproximadamente estimado del valor N del ensayo de penetración estándar por:

$$G = 1200 N^{0.8} \quad (t/m^2)$$

independiente del tipo de suelo y la profundidad desde la superficie del suelo (Ohsaki e Iwasaki, 1973). El módulo de corte así estimado corresponde a deformaciones pequeñas, aproximadamente iguales a aquellas producidas en la exploración sísmica.

En este estudio, se ha aplicado la fórmula mencionada arriba, que para un valor promedio de $\gamma = 1.8 \text{ t/m}^3$ da una relación:

$$V_s = 81 N^{0.40}$$

la cual ha sido utilizada en los casos en que se contó con valores de N.

b) Dependencia del Módulo de Corte respecto a la deformación.

El módulo de corte del suelo decrece

considerablemente con el incremento de la deformación por corte. De un gran número de ensayos de compresión triaxial, se han logrado obtener curvas de reducción como se muestra en la Fig. 5.4 para arcilla pura (Hara, 1972) y arena pura (Seed, 1969).

Las deformaciones por corte en depósitos de suelo para exploración sísmica o para microtrepidaciones están en el rango de

$$e = 10^{-5} \text{ a } 10^{-3} \%$$

y para sismos destructivos están aproximadamente en el rango de

$$e = 0.5 \text{ a } 1 \%$$

Es decir, los módulos de corte se reducen de 1/3 a 1/5 para arcillas y a 1/10 o menos para arenas.

c) Independencia del Módulo de Corte respecto a la Frecuencia

Como ya se ha indicado, el módulo cortante del suelo puede ser asumido independiente de la frecuencia en el rango de frecuencias de interés práctico.

5.7.3 Amortiguamiento de Suelos.

El amortiguamiento de los suelos es una combinación del modelo de Voigt y del modelo de Maxwell, y es independiente de la frecuencia.

Se ha establecido la siguiente relación:

$$\eta w / G = 2\beta, \text{ donde } \eta w / G \text{ es una constante.}$$

y:

η = Coeficiente de viscosidad.

w = Frecuencia angular del suelo (1/seg)

G = Módulo de Corte.

β = Factor de Amortiguamiento (Adimensional).

Similarmente al módulo de corte, el amortiguamiento cambia considerablemente con la deformación. Cuando las deformaciones crecen, los factores de amortiguamiento para arenas y arcillas se incrementan como se muestra en la Fig.5.5. Para deformaciones pequeñas, $\beta = 2 \%$ para ambos, arena y arcilla. Para grandes deformaciones como 0.5 a 1 % durante sismos destructivos β crece a:

12 a 15 % para arcillas.

20 a 25 % para arenas.

5.8 MODELAJE DE PERFILES REPRESENTATIVOS DEL SUELO DEL CALLAO.

Estos perfiles fueron modelados consultando los estudios de suelos con fines de cimentación, recopilados para este estudio, los cuales figuran en los Anexos I.1 y I.2 ; así como los registros de perforación de aguas subterráneas proporcionados por el Ministerio de Agricultura, Anexo I.3.

La mayor parte de los estudios para cimentación consultados en el Callao llegan a unos 10 metros de profundidad como máximo, pues a esa profundidad se encuentra ya la grava propia del conglomerado de Lima, salvo casos especiales como los de la Escuela Naval, donde se han hecho realizado sondajes hasta 40 metros de profundidad, debido a los graves daños registrados en este lugar por el sismo del 3 de Octubre de 1974.

Por el motivo anterior, la descripción de los primeros estratos es detallada, y por lo general se ha contado con valores de N (número de golpes/pie), que han servido para la estimación de las velocidades de ondas de corte por la fórmula empírica mencionada en 5.7.2.; en tanto que a profundidades mayores se ha tenido que recurrir a los registros de pozos de agua subterránea, los cuales no obedecen a una clasificación ingenieril de los suelos, pero

son útiles para estimar el tipo y profundidad de los estratos más profundos.

Sólo en el caso de la Escuela Naval, se ha contado con datos de velocidad de ondas de corte, obtenidos a partir de un ensayo Down-Hole, al cual se hace referencia en Polo (1975). La Fig. 5.6 muestra estos resultados.

Por último, se ha estimado el nivel de la roca base de acuerdo a los registros de pozos mencionados y a perfiles generalizados para diversos suelos de Lima de Repetto et al, (1980), Fig. 5.7.

La velocidad de ondas de corte del estrato base se ha asumido en 600 m/seg., considerándosele similar al conglomerado del centro de Lima, según ensayos Down-Hole realizados en el Parque de la Reserva, Fig. 5.8.

La densidad del estrato base se ha asumido como 2.2 gr/cm³, para todos los casos. El amortiguamiento de todos los estratos se ha tomado como 5 % en el caso del cálculo de la Función de Respuesta de Frecuencias (FRF), para deformaciones pequeñas. Para usar el programa SHAKE, se han estimado valores iniciales de amortiguamiento algo mayores.

Con estas suposiciones, se ha logrado modelar 14 perfiles en lugares distribuidos de la forma más uniforme

posible en el área estudiada. Los parámetros dinámicos de estos perfiles se muestran en el Anexo IV.1.

5.9 COMPUTO DEL PERIODO FUNDAMENTAL DE LOS PERFILES MODELADOS.

Para el cómputo del período fundamental de los perfiles de suelo modelados en el acápite anterior, se ha hecho uso del programa FRF, que calcula la Función de Respuesta de Frecuencias o la Función de Transferencia según la teoría descrita en 5.4 , la cual proporciona una curva de amplificación de las frecuencias del estrato superficial, con respecto al estrato base.

En este caso, los parámetros de módulo cortante G y amortiguamiento β son constantes, debido a que se trata de deformaciones muy pequeñas y por lo tanto se asume un comportamiento lineal del suelo.

El programa calcula la Función de Respuesta para un rango de frecuencias de 10 Hz., la cual puede ser graficada utilizando un trazador de plumas. También proporciona como valores finales la frecuencia pico, la amplificación máxima y el período fundamental del depósito, tal como se muestra en los resultados del Anexo IV.1.

5.10 COMPARACION DE RESULTADOS CALCULADOS Y MEDIDOS DEL PERIODO DEL SUELO.

En base a los resultados obtenidos en 5.9., se ha realizado una comparación entre los valores de período predominante obtenido por microtrepidaciones y los valores de período fundamental calculados en base a la teoría de propagación unidimensional de ondas de corte mediante el programa de cómputo FRF. Esta comparación está basada en el hecho que las microtrepidaciones miden deformaciones pequeñas, y el programa FRF trabaja en la suposición de un nivel mínimo de deformación del suelo.

Los resultados pueden observarse en la Tabla 5.1., donde se consigna los 14 lugares para los cuales se ha hecho la comparación, con los respectivos períodos obtenidos por ambos métodos, y la amplificación máxima obtenida con el programa FRF.

Los períodos medidos por microtrepidaciones se han tomado, en algunos casos, como un promedio de valores en lugares cercanos al sitio de análisis. Por otro lado, se observa en ciertos puntos alguna discrepancia importante debido, posiblemente, a un modelo que no representa adecuadamente el perfil del suelo, por la dificultad para conocer las propiedades dinámicas de los estratos más profundos, especialmente las de la grava.

En el caso de la Escuela Naval, por ejemplo, la profundidad del segundo estrato se ha tomado como 20 m., aunque en casos extremos llega a 28 m. Esto explicaría el menor período obtenido en el análisis dinámico respecto a las microtrepidaciones.

La Fig. 5.9 muestra que la correlación existente entre estos dos juegos de valores es por lo menos buena, y que, por lo tanto, hay confiabilidad en las valores de períodos predominantes proporcionados por este estudio.

Por otro lado, se observa que la amplificación máxima está alrededor de 13 veces, para todos los casos, debido a que el amortiguamiento de todos los suelos se ha tomado como un valor constante de 5 %.

Esta amplificación evidentemente disminuirá conforme aumente el amortiguamiento y disminuya el módulo cortante y por lo tanto la velocidad de ondas de corte, para deformaciones mayores.

TABLA 5.1. COMPARACION ENTRE VALORES DE PERIODO CALCULADO POR ANALISIS DINAMICO LINEAL (FRF) Y MEDIDO POR MICROTREPIDACIONES.

Nº	LUGAR	AMPLIFICACION MAXIMA	PERIODO FUNDAMENTAL CALCULADO CON FRF (seg)	PERIODO PREDOMINANTE MEDIDO POR MI- CROTREP. (seg)
1	Escuela Naval	12.5	0.50	0.61
2	C.P.V.	12.4	0.46	0.48
3	Oficina ENAPU	13.9	0.34	0.33
4	Silos Puerto	13.0	0.51	0.37
5	Depósito CPC	14.1	0.21	0.32
6	Base Naval	12.2	0.33	0.33
7	Av. G.Chalaca	13.4	0.24	0.28
8	Castrol Perú	13.2	0.26	0.33
9	Iglesia JSUD	12.8	0.25	0.31
10	Urb. Altamar	13.3	0.26	0.32
11	Av. Colina	13.4	0.26	0.30
12	U.T. Callao	13.3	0.25	0.35
13	Nicolini	13.6	0.15	0.32
14	Av.Argentina	13.2	0.11	0.10

5.11 ANALISIS DE LA RESPUESTA DINAMICA DE LOS PERFILES BAJO SISMOS DE ENTRADA.

Para efectuar el análisis de la respuesta dinámica de los suelos bajo sismos de entrada, se ha utilizado el programa PCSHAKE, una versión para computadoras personales del programa SHAKE descrito en 5.6.

Se ha escogido dos perfiles representativos de los periodos obtenidos en 5.10., éstos son:

a) Perfil del suelo de la Escuela Naval en La Punta.

b) Perfil del suelo de la Base Naval en el Callao.

Los parámetros dinámicos de estos perfiles pueden apreciarse en el Anexo IV.1. Los perfiles estratigráficos se presentan en el Anexo I.1, en los Estudios N° 21 y 25, respectivamente.

Se ha considerado que estos perfiles son representativos de los casos más desfavorables para La Punta y el Callao, respectivamente. Además, en ambos casos se han hecho mínimas suposiciones para modelarlos gracias a la información de campo con que se ha contado.

Se han utilizado tres acelerogramas de movimiento fuerte como señales de entrada en la roca base, con las siguientes características acondicionadas para el programa PCSHAKE:

SISMO	FUENTE	COMP	DURACION
17 OCT 1966	IGP	N08E	60 seg.
31 MAY 1970	IGP	L	40 seg.
3 OCT 1974	IGP	N82W	60 seg.

Los tres acelerogramas se han utilizado con un intervalo de digitización de 0.02 seg., tal como se encuentran en la cinta original.

Se ha trabajado con dos niveles de aceleración máxima del tiempo-historia:

- a) NIVEL A con 0.20 g.
- b) NIVEL B con 0.40 g.

El Nivel A representa aproximadamente el nivel de aceleraciones esperado para un período de retorno de 50 años, y el Nivel B para un período de retorno de 500 años, según los estudios de riesgo sísmico revisados en el Capítulo III.

Las curvas de variación del módulo cortante y amortiguamiento, con respecto a la deformación, que han sido empleadas, son las mismas que trae el programa PCSHAKE en el archivo MODDAMP que puede verse en el Anexo IV.2, las cuales fueron propuestas por Seed e Idriss, 1970.

Estas curvas sólo han sido modificadas para el caso de gravas, material que no está considerado entre los tipos de suelo de MODDAMP, por lo cual se ha incrementado en un 50% la curva de variación del módulo cortante para arenas, en base al estudio de Seed et al. (1984) que determina curvas de variación para el módulo cortante y el amortiguamiento de suelos gravosos. También de acuerdo con este estudio, se ha encontrado que la curva de variación del amortiguamiento para gravas es casi idéntica a la de

las arenas considerada en MODDAMP, por lo cual esta última no ha sido modificada.

Se han calculado los espectros de respuesta de aceleraciones y velocidades en la superficie, con un amortiguamiento de 5 % del resorte lineal.

Los resultados para aceleraciones se muestran en las Tablas 5.2 y 5.3 para los dos lugares analizados, con los correspondientes niveles de aceleración máxima en la base utilizados.

TABLA 5.2 AMPLIFICACION MAXIMA DE RESPUESTA DE ACELERACIONES. ESCUELA NAVAL. LA PUNTA.

SISMO	AMPLIFICACION MAXIMA	
	NIVEL A	NIVEL B
1966	3.2	2.2
1970	4.0	2.5
1974	3.6	2.1

TABLA 5.3 AMPLIFICACION MAXIMA DE RESPUESTA DE ACELERACIONES. BASE NAVAL. CALLAO.

SISMO	AMPLIFICACION MAXIMA	
	NIVEL A	NIVEL B
1966	6.0	4.3
1970	7.5	4.6
1974	6.6	4.3

Las Figs. 5.10 y 5.11 muestran los espectros de aceleraciones para la Escuela Naval, en La Punta, bajo los niveles de aceleración máxima en la base de 0.20 g (NIVEL A) y 0.40 g (NIVEL B), respectivamente. De estas figuras, se observa que:

a) La amplificación máxima promedio para el Nivel A es de 3.5 veces, la cual corresponde a una aceleración máxima espectral de 0.70 g. que se produce para un período de 0.74 seg. Existe un segundo pico de 0.6 g. de aceleración para un período de 0.24 seg.

b) Para el Nivel B, la amplificación máxima promedio es de 2.2 veces, la cual corresponde a una aceleración máxima espectral de 0.87 g. que se produce para un período de 0.24 seg. Un segundo pico se presenta con una aceleración máxima de 0.85 g. para un período de 0.74 seg.

Análogamente, las Figs. 5.12 y 5.13 muestran los espectros de aceleraciones para la Base Naval, en el Callao, bajo los niveles de aceleración máxima en la base de 0.20 g (NIVEL A) y 0.40 g (NIVEL B), respectivamente. De estas figuras, se observa que:

a) La amplificación máxima promedio para el Nivel A es 6.0 veces, la cual corresponde a una aceleración máxima espectral de 1.19 g., para un período de 0.50 seg.

b) Para el Nivel B, la amplificación máxima promedio es 4.0 veces, la cual corresponde a una aceleración máxima espectral de 1.58 g. que se produce para un período de 0.60 seg.

Las Figs. 5.14 y 5.15 presentan los espectros normalizados de aceleraciones para los niveles A y B respectivamente. En cada una de estas gráficas se han superpuesto los espectros promedio correspondientes a la Escuela Naval y a la Base Naval. De estas gráficas, puede observarse que existe diferencia en las formas espectrales de los dos tipos de suelo analizados. Las amplificaciones máximas de los espectros de respuesta promedio para la Base Naval son alrededor de 2 veces las amplificaciones máximas para la Escuela Naval, en ambos niveles. Los espectros de la Base Naval muestran una forma pronunciada para cierto rango de períodos, en tanto que los espectros para la Escuela Naval son achatados y presentan amplificación para un rango más amplio de períodos, característica de los depósitos muy blandos.

Para el Nivel B, que corresponde a un período $T_R = 500$ años que es el requerido por el Reglamento Nacional de Construcciones para el diseño de obras civiles, el rango de períodos para el que se produce amplificación es:

- Para la Escuela Naval, de 0.06 a 1.19 seg.
- Para la Base Naval, de 0 a 1.10 seg.

Sin embargo, para propósitos de diseño es más conveniente expresar estos resultados en la forma de un período para el cual termina la platea de diseño. En este caso podría proponerse que este período fuese de 1.0 seg. para ambos lugares. El Reglamento Nacional de Construcciones contempla 3 tipos de suelo en atención a su período T_s . Estos tipos son:

Suelo Tipo I	$T_s = 0.3$ seg.
Suelo Tipo II	$T_s = 0.6$ seg.
Suelo Tipo III	$T_s = 0.9$ seg.

Esto significa que habría que extender la platea de diseño para suelos Tipo III hasta por lo menos 1.0 seg. o establecer un nuevo suelo Tipo IV, por lo menos en el caso de suelos como los de La Punta y el Callao.

Estos resultados nos confirman que se trata de suelos blandos, en especial el suelo de la Escuela Naval, en La Punta. Por comparación, el rango de períodos para el cual se produce amplificación de los sismos registrados en el centro de Lima está entre 0 y 0.55 seg. (Meneses, 1985), y la platea de diseño en este tipo de suelo alcanza sólo 0.30 seg.

Por otro lado, comparando la amplificación máxima de la aceleración espectral obtenida en el Callao (Base Naval, Nivel B, 4.0 veces), con la amplificación máxima de la aceleración espectral en el Centro de Lima según Meneses, 1985, (2.75 veces), se obtiene una relación de 1.45. Es decir, la fuerza sísmica de diseño en el Callao debería ser 1.45 veces aquella establecida para el Centro de Lima, considerando todos los demás factores constantes. Esta amplificación, sin embargo, no se produce para el suelo de La Punta, sino todo lo contrario, una atenuación de 0.8 veces, que para efectos de diseño puede considerarse como si no existiese amplificación.

En cuanto a los períodos del suelo, los resultados del análisis efectuado muestran que los períodos fundamentales del suelo, calculados por el programa PCSHAKE por el método de la velocidad promedio ponderada del perfil, crecen con la aplicación de una onda sísmica, debido a la no linealidad en la variación de las propiedades dinámicas, en las proporciones que se indican en las Tablas 5.4 y 5.5.

TABLA 5.4 INCREMENTO DEL PERIODO DEL SUELO ($T_s = 4H/V_s$)
BAJO LA APLICACION DE UN SISMO. ESCUELA NAVAL.
Período inicial = 0.48 seg.

SISMO	NIVEL A		NIVEL B	
	Período durante el sismo en seg.	RAZON	Período durante el sismo en seg.	RAZON
1966	0.70	1.46	0.81	1.69
1970	0.76	1.58	0.87	1.81
1974	0.80	1.67	0.96	2.00

TABLA 5.4 INCREMENTO DEL PERIODO DEL SUELO ($T_s = 4H/V_s$)
BAJO LA APLICACION DE UN SISMO. BASE NAVAL.
Período inicial = 0.30 seg.

SISMO	NIVEL A		NIVEL B	
	Período durante el sismo en seg.	RAZON	Período durante el sismo en seg.	RAZON
1966	0.47	1.57	0.53	1.77
1970	0.44	1.47	0.54	1.80
1974	0.48	1.60	0.60	2.00

El cálculo del período fundamental que realiza el programa PCSHAKE en base a la velocidad ponderada promedio de los estratos es el siguiente:

$$T_s = 4H/V_s^*$$

$$\text{donde } V_s^* = \frac{\sum_{i=1}^n h_i V_i}{H_{\text{total}}}$$

En resumen, el incremento del período sería en promedio:

LUGAR	NIVEL A	NIVEL B
Escuela Naval	1.57	1.83
Base Naval	1.55	1.86

En cuanto a la relación entre las aceleraciones máximas de los acelerogramas en la superficie y en el estrato base, se han encontrado los siguientes valores promedio:

TABLA 5.5. AMPLIFICACION DE LAS ACELERACIONES MAXIMAS DE LOS ACELEROGRAMAS

LUGAR	NIVEL A	NIVEL B
Escuela Naval	1.05	-0.25
Base Naval	1.70	1.28

Es decir, prácticamente no existe amplificación de los tiempo-historia de aceleraciones en la Escuela Naval sino que se produce atenuación. En el caso de la Base Naval sí se produce amplificación de este tipo.

5.12 CONCLUSIONES.

a) Existe buena concordancia entre los valores de períodos medidos por microtrepidaciones y aquellos calculados por la teoría de amplificación dinámica, lo que hace más confiables las mediciones de microtrepidaciones efectuadas en La Punta y El Callao.

b) La amplificación máxima va decreciendo conforme crece el nivel de aceleración máxima de entrada en el estrato base, debido a la no linealidad de los parámetros dinámicos del suelo.

c) Hay una clara diferencia entre el comportamiento dinámico del suelo del Callao y el del suelo de La Punta, y entre ambos y el suelo del centro de Lima. Los espectros obtenidos muestran que al suelo del Callao puede considerársele medianamente blando, en tanto que al suelo de La Punta muy blando. La relación entre las amplificaciones máximas de los espectros promedio en la Base Naval (Callao) y la Escuela Naval (La Punta) está entre 1.68 y 1.86 veces.

d) Por otro lado, la amplificación de la fuerza sísmica en el Callao (Nivel B), respecto al centro de Lima, debería ser como mínimo 1.45 veces, para un amortiguamiento de 5%. Para La Punta no hay amplificación de la fuerza sísmica respecto al centro de Lima. Además, la platea del

espectro de diseño debería llegar a por lo menos 1.0 seg. de período en La Punta y el Callao.

e) Los períodos fundamentales del suelo crecen, para el Nivel B, alrededor de 1.83 veces en La Punta, y 1.86 veces en El Callao, cuando los perfiles están sometidos a movimientos fuertes.

e) Según lo anterior, y teniendo en cuenta que los períodos fundamentales de los perfiles de suelo calculados son similares a los períodos medidos por microtrepidaciones, podría proponerse que el período del suelo bajo sismos fuertes se considere aproximadamente igual a 1.85 veces el valor medido por microtrepidaciones, por lo menos en el caso de suelos blandos de La Punta y El Callao.

f) De las conclusiones anteriores se deduce que el actual Reglamento Nacional de Construcciones debería adaptarse a la realidad de suelos tan blandos como los encontrados en este trabajo, en especial al suelo de La Punta. Para ello, es necesario establecer un nuevo tipo de suelo (Tipo IV) que refleje adecuadamente los largos períodos que se producen en depósitos muy blandos bajo sismos intensos.

g) Es necesario, por otro lado, realizar ensayos directos de medición de velocidades de ondas de corte para modelar mejor el suelo de La Punta y Callao, y esclarecer las propuestas aquí contenidas.

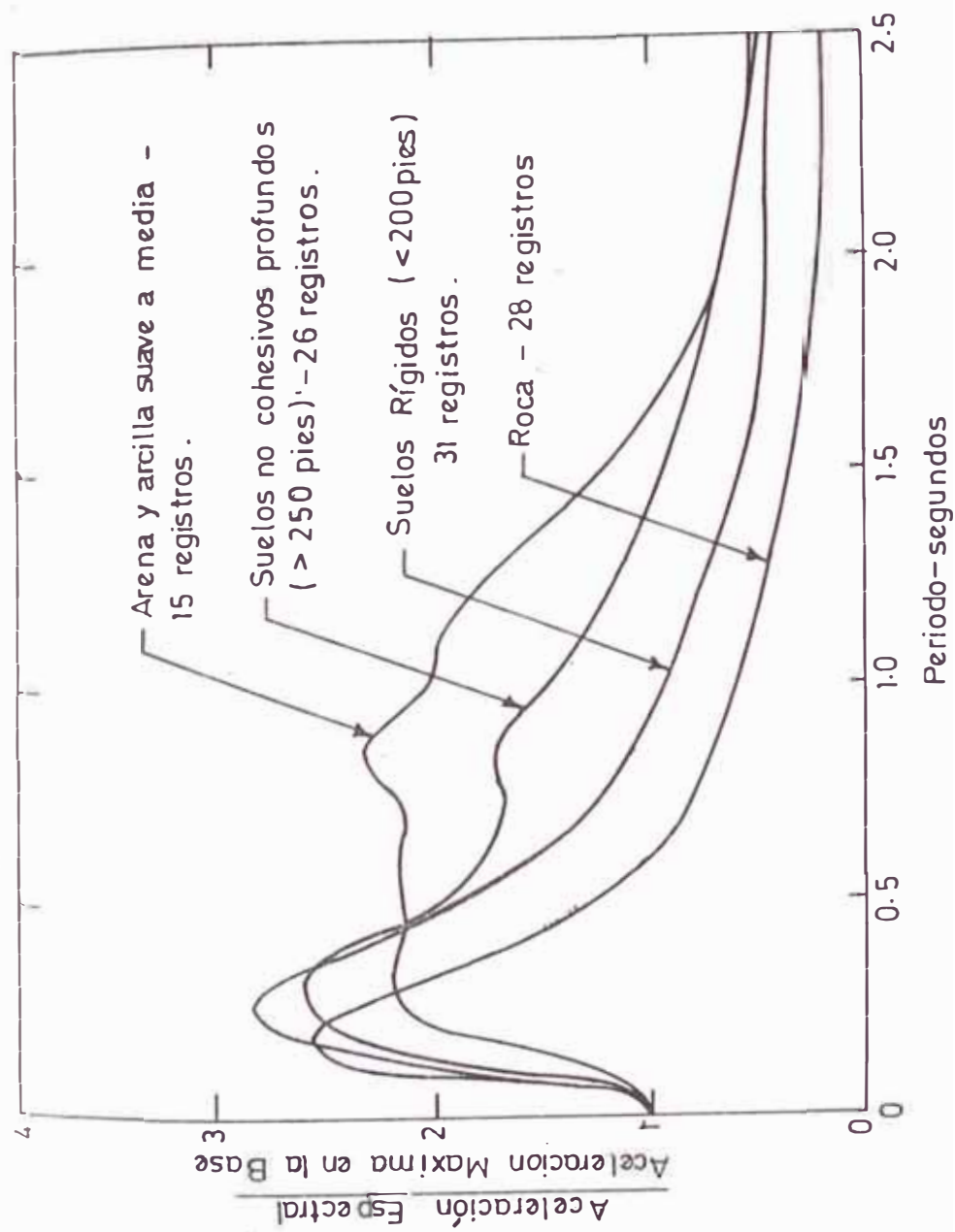


Fig. 5.1 ESPECTROS PROMEDIO PARA
DIFERENTES SUELOS.
Ref. (Seed, 1987)

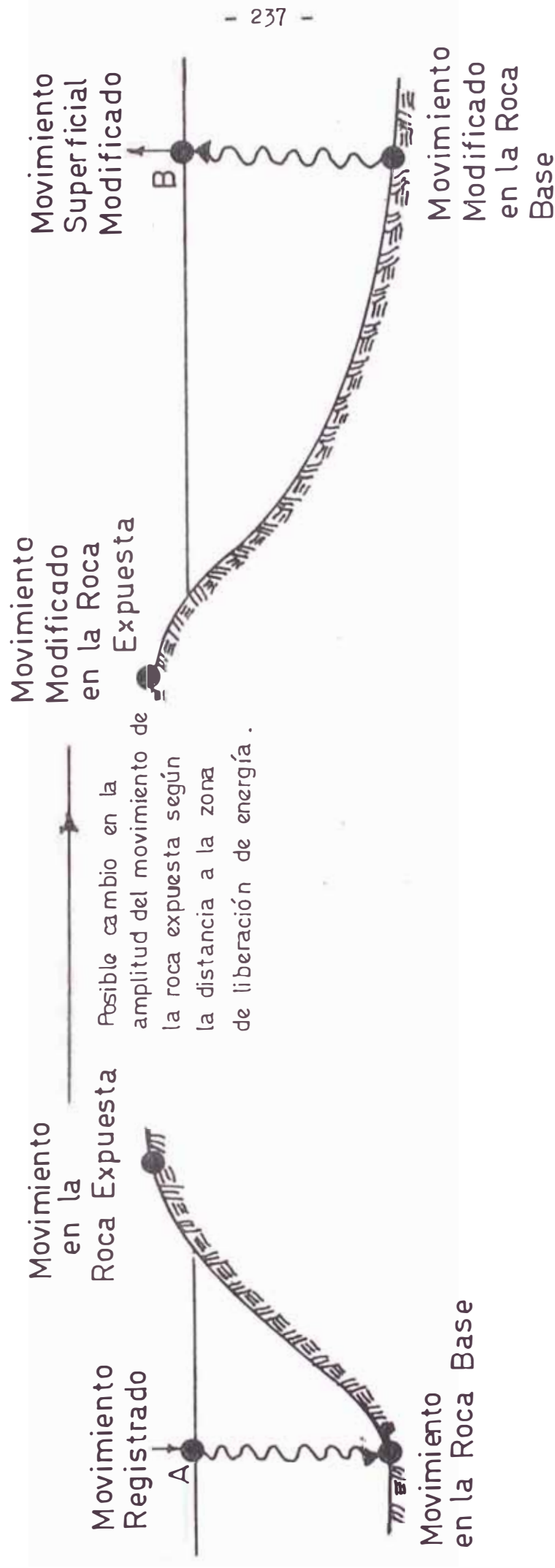


Fig. 5.2 ESQUEMA DEL PROCESO PARA EVALUAR
LOS EFECTOS LOCALES DEL SUELO .

Ref. (Schnabel et al ..1972)

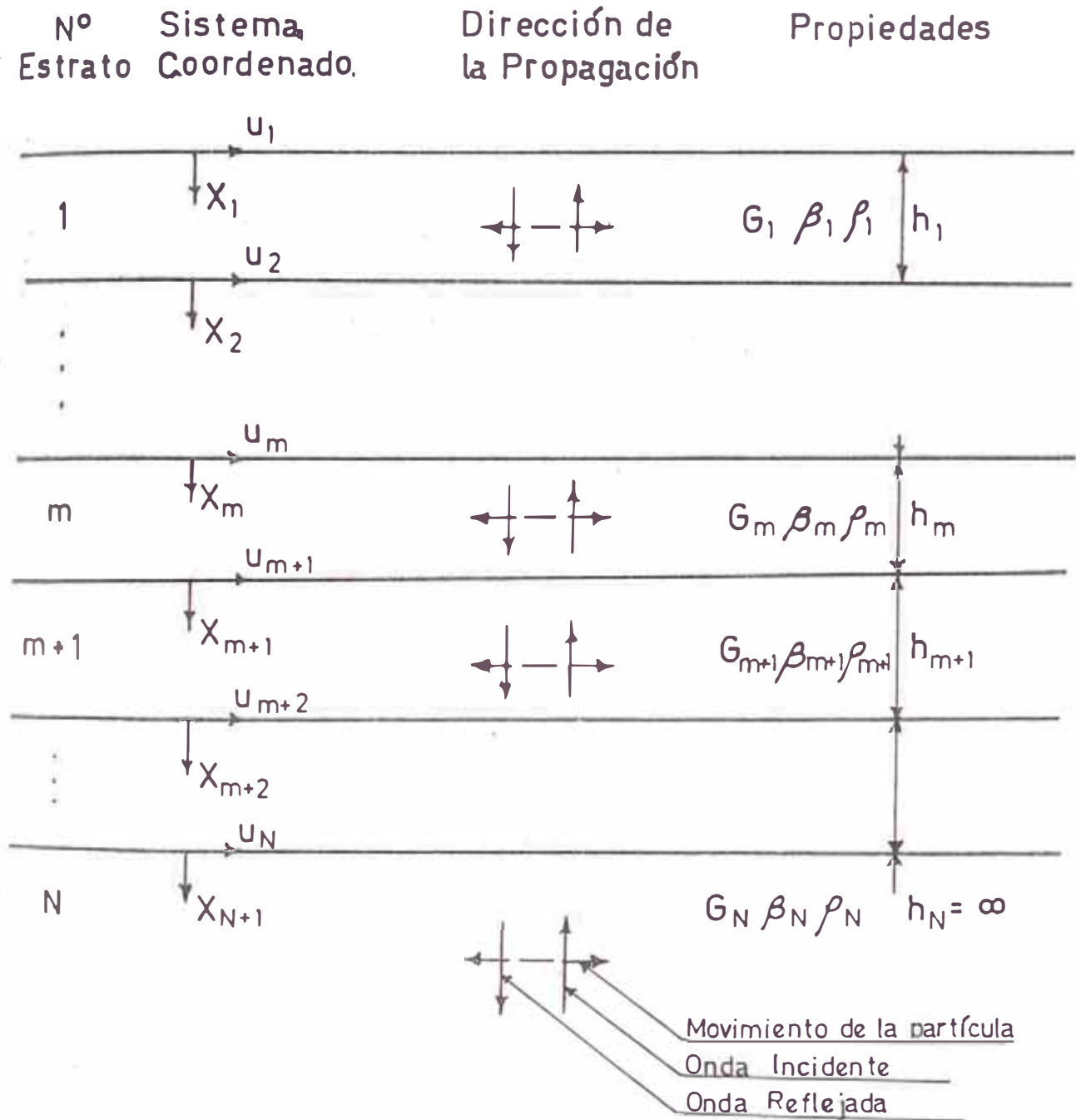


Fig.5.3 SISTEMA UNIDIMENSIONAL
Ref. (Schnabel et al, 1972)

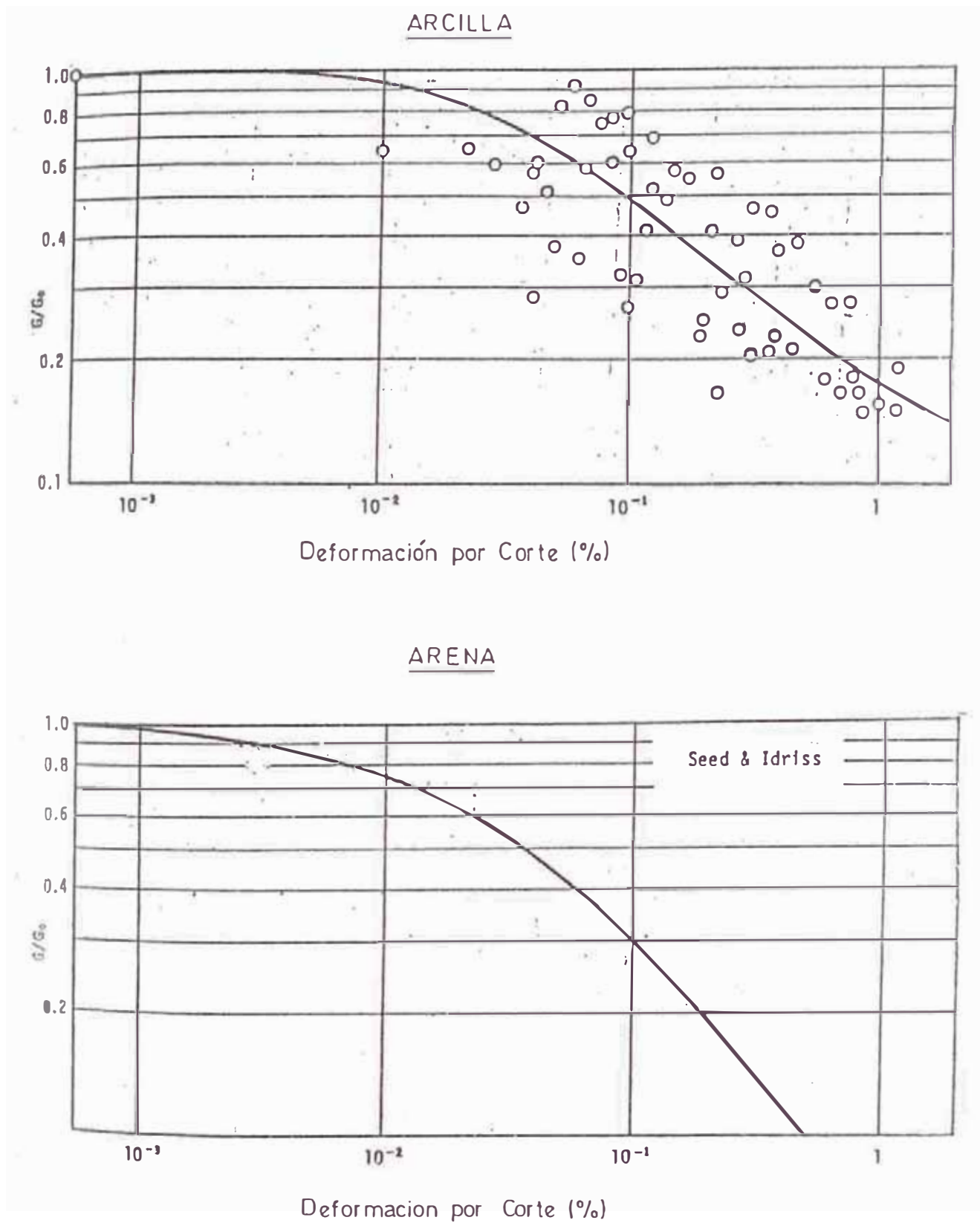


Fig. 5.4 DEPENDENCIA DEL MODULO DE CORTE
DE LA DEFORMACION
Ref. (Ohsaki, 1975)

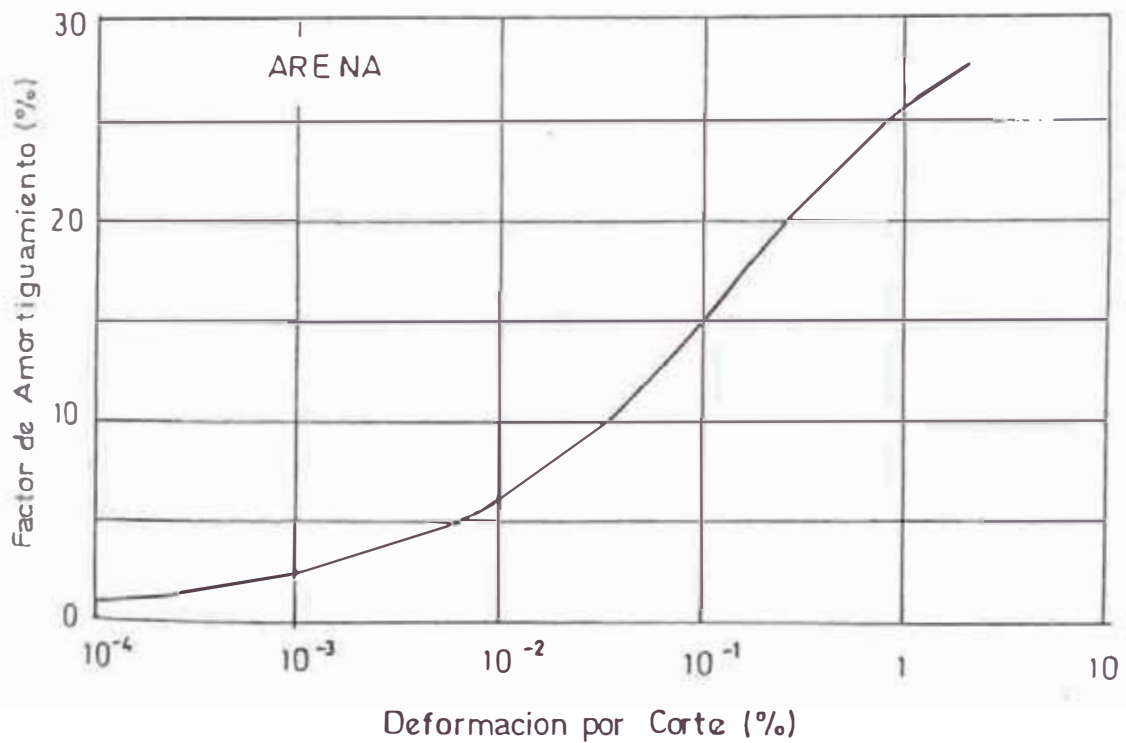
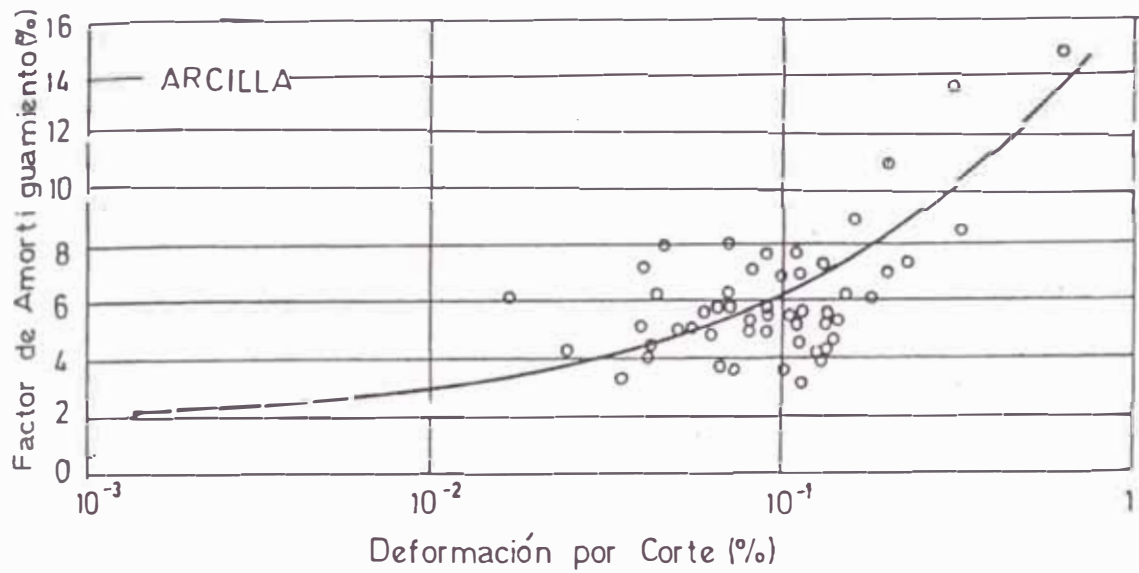


Fig.5.5 DEPENDENCIA DEL FACTOR DE AMORTIGUAMIENTO DE LA DEFORMACION
Ref. (Ohsaki, 1975)

PROFUNDIDAD (m)	TIPO DE SUELO	V_s (m/seg)	ρ (gr/cm ³)
10.0	Relleno. Grava.	250	2.2
19.0	Arena limosa arcillosa.	220	1.75
23.0	Arena.	400	1.80
25.0	Arcilla.	200	1.90
31.0	Arena. Arcilla.	600	1.90
35.0	Arena.	266	1.90
50.0	Grava arcillosa	571	1.90
80.0	Caliche compacto.	1000	2.30

Fig. 5.6 ENSAYO DOWN HOLE EN LA
ESCUELA NAVAL. LA PUNTA.
Ref. (Polo, 1977)

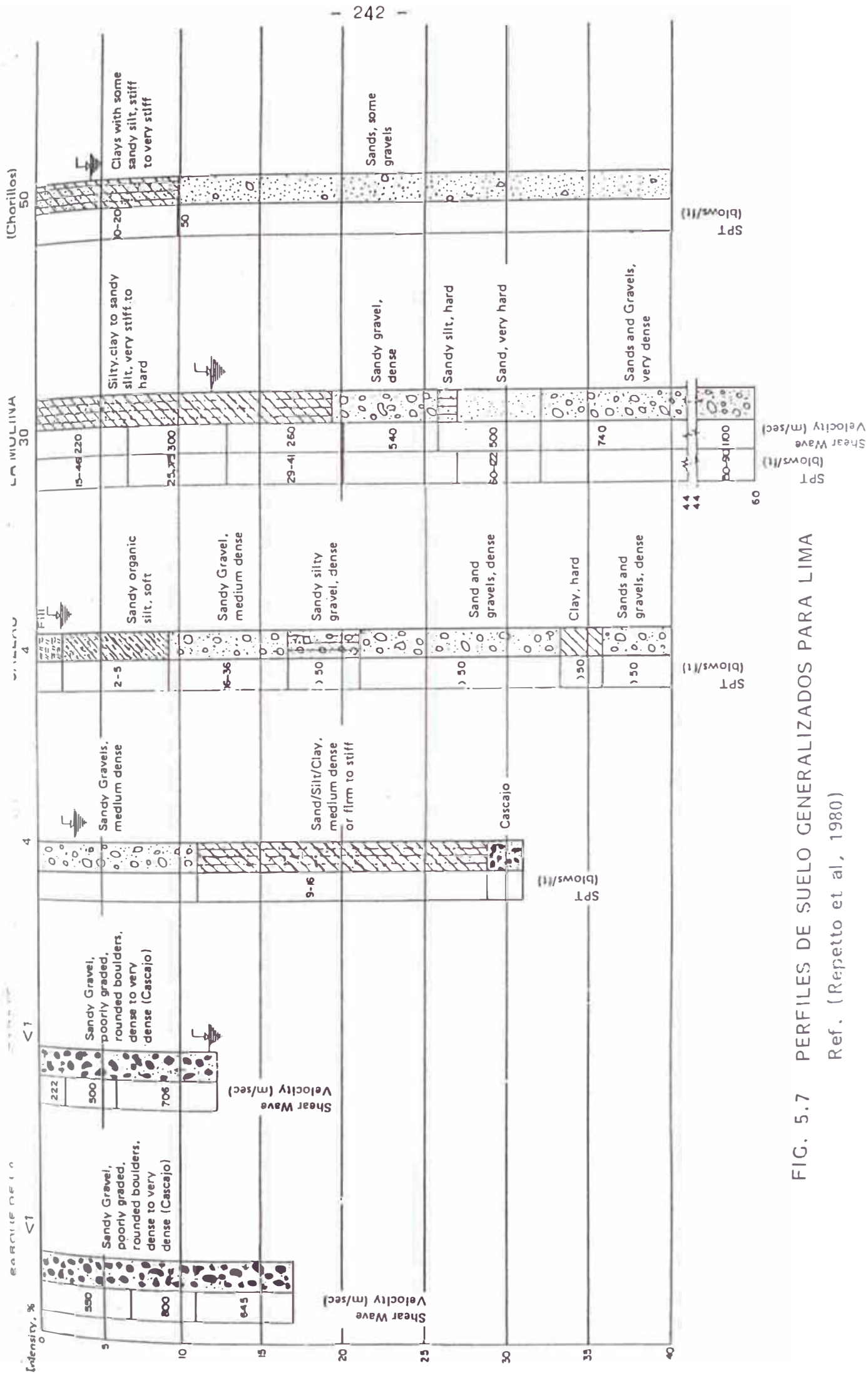


FIG. 5.7 PERFILES DE SUELO GENERALIZADOS PARA LIMA
Ref. (Repetto et al, 1980)

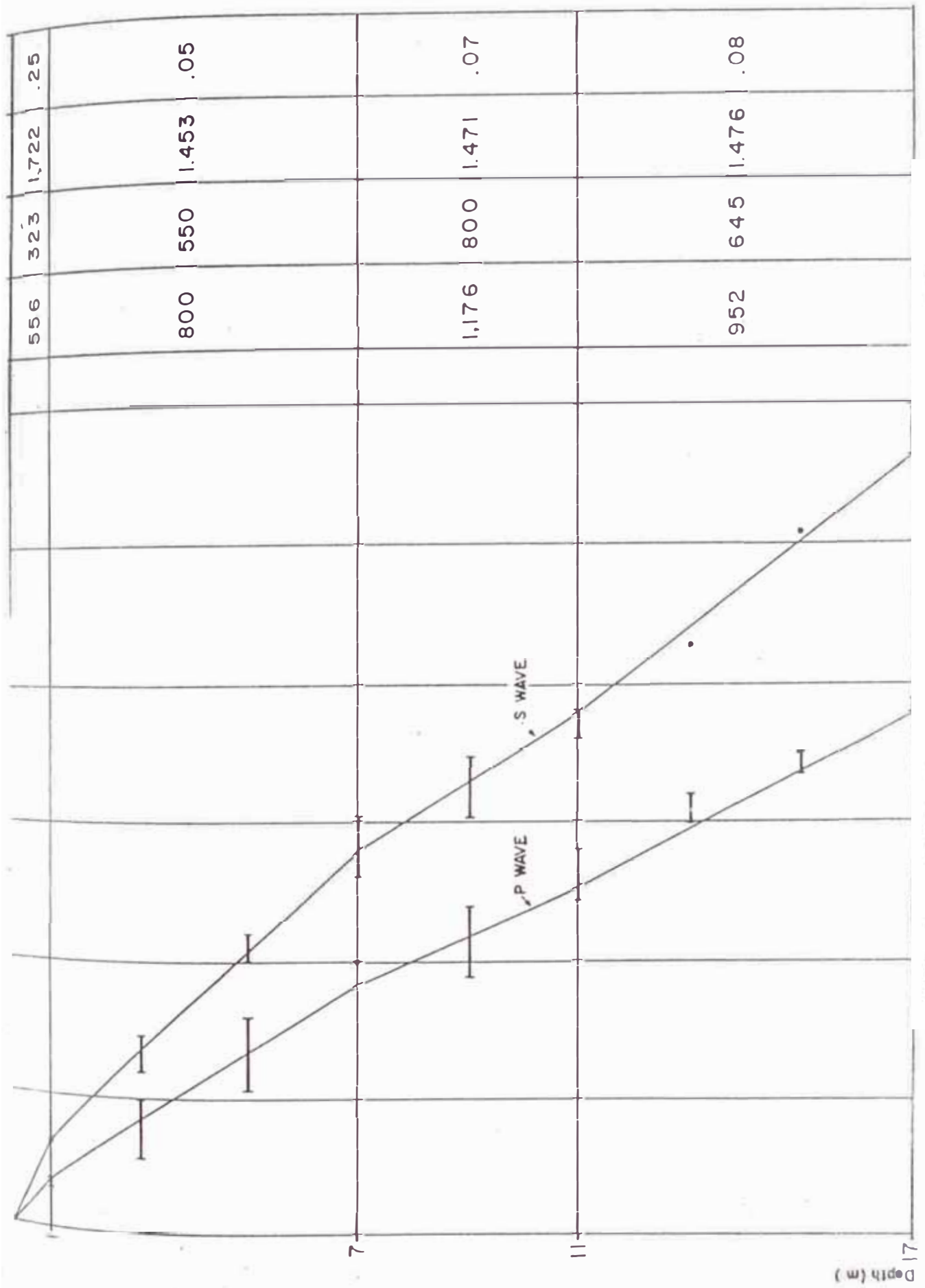


FIG. 5.8 ENSAYO DOWN-HOLE EN EL CENTRO DE LIMA.
PARQUE DE LA DECEBVA Ref. (Rojas et al, 1980)

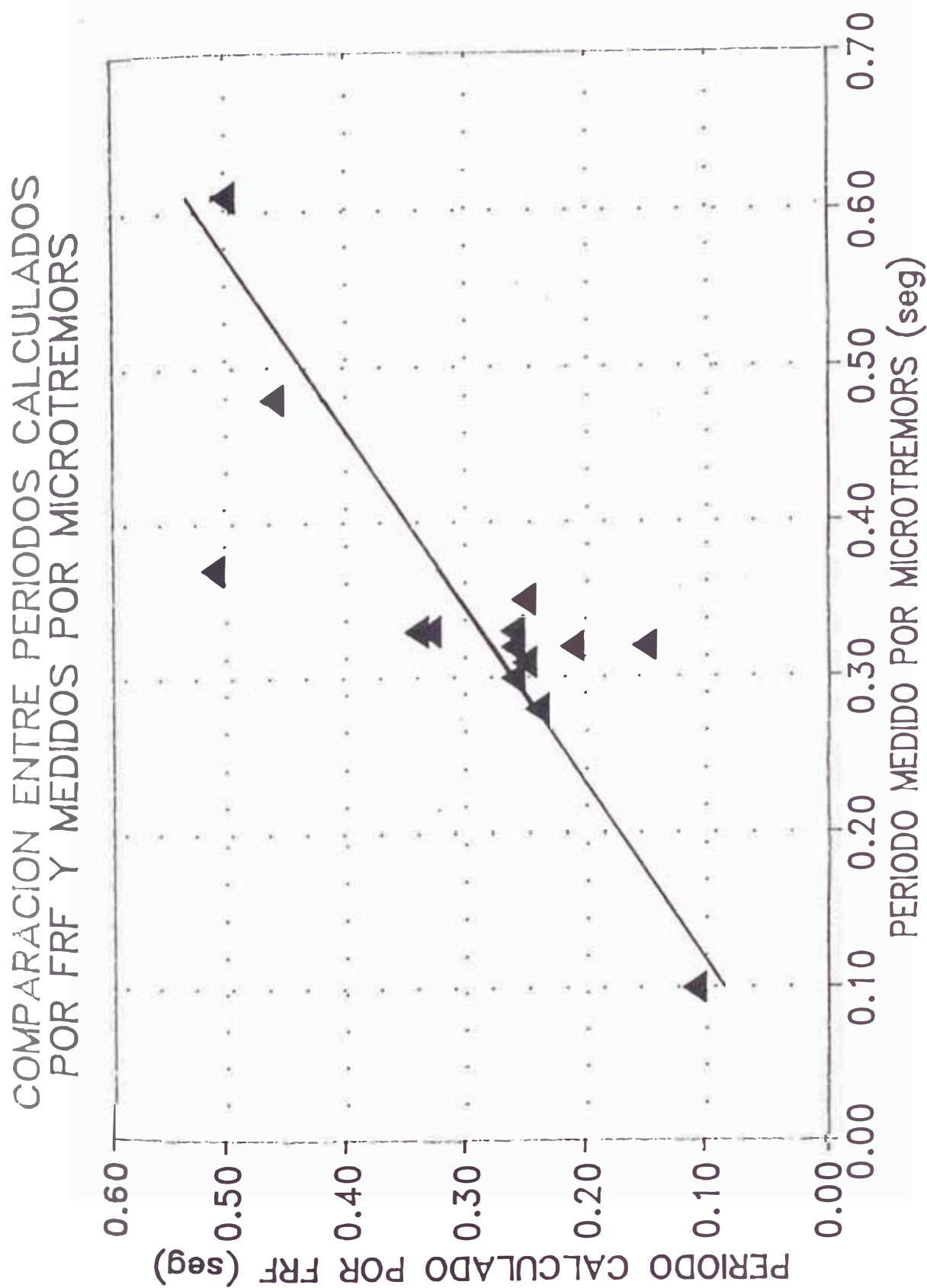


FIG. 5.9 COMPARACION ENTRE PERIODOS MEDIDOS POR MICROTREPIDACIONES
Y CALCULADOS POR ANALISIS DINAMICO

ESPECTROS DE ACELERACIONES

ESCUELA NAVAL - ACEL.BASE = 0.2g - $\beta=5\%$

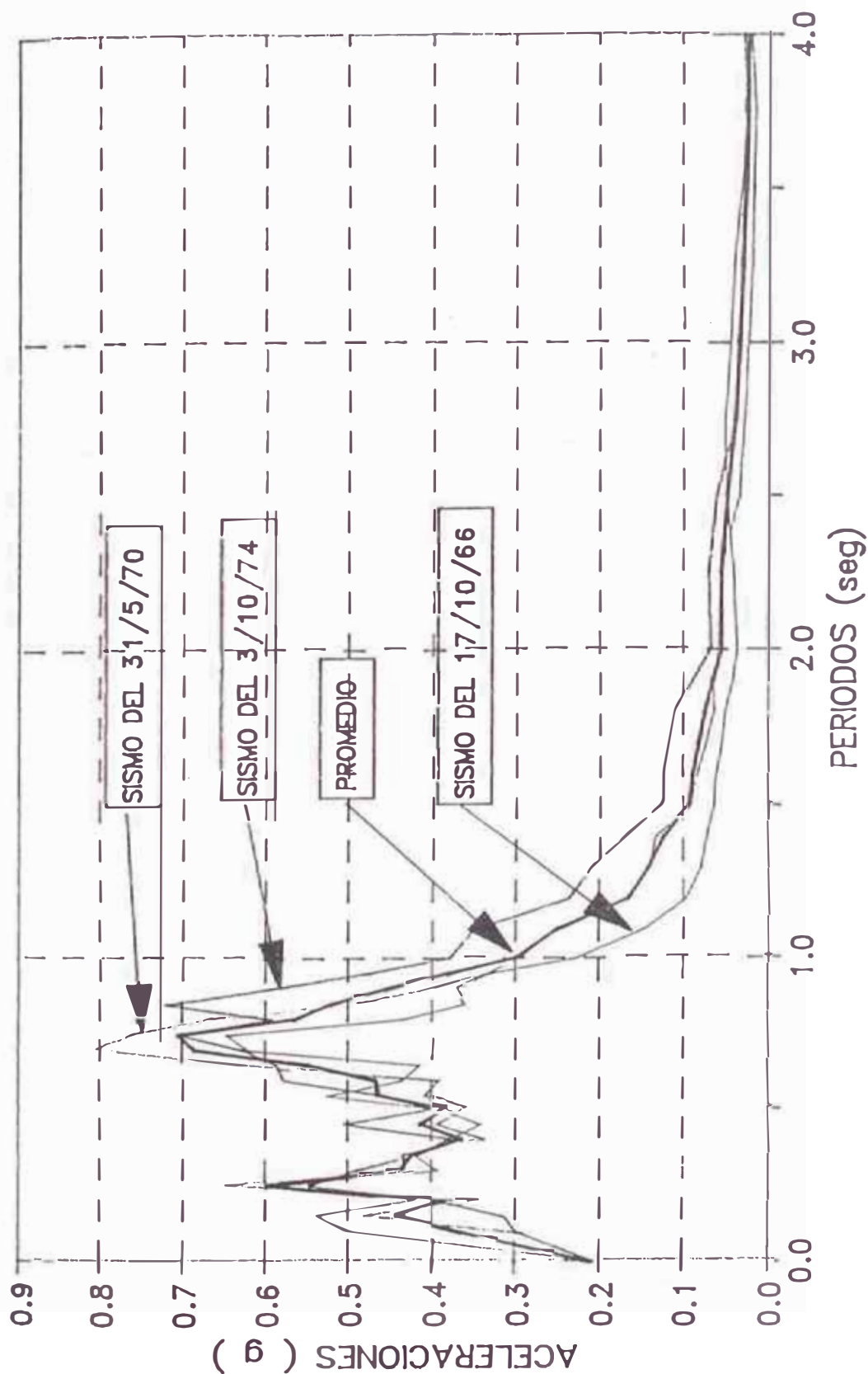


FIG. 5.10 ESPECTROS DE RESPUESTA PARA LA ESCUELA
NAVAL EN LA PUNTA. NIVEL A = 0.2g

ESPECTROS DE ACCELERACIONES ESCUELA NAVAL - ACCEL.BASE = 0.4g - $\beta=5\%$

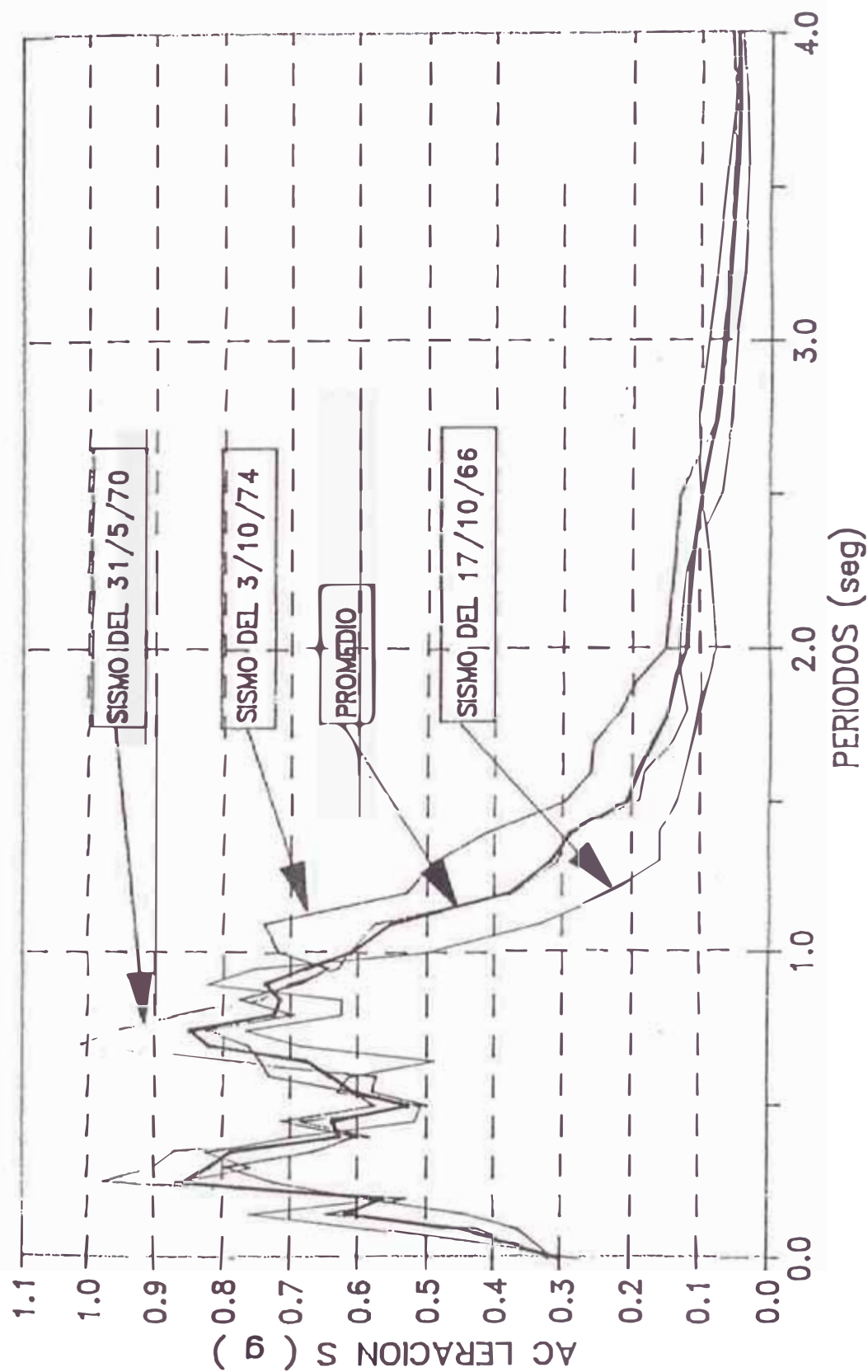


FIG. 5.11 ESPECTROS DE RESPUESTA PARA LA ESCUELA
 NAVAL EN LA PUNTA. NIVEL B = 0.4 g

ESPECTROS DE ACELERACIONES

BASE NAVAL - ACEL.BASE = 0.2g - $\beta=5\%$

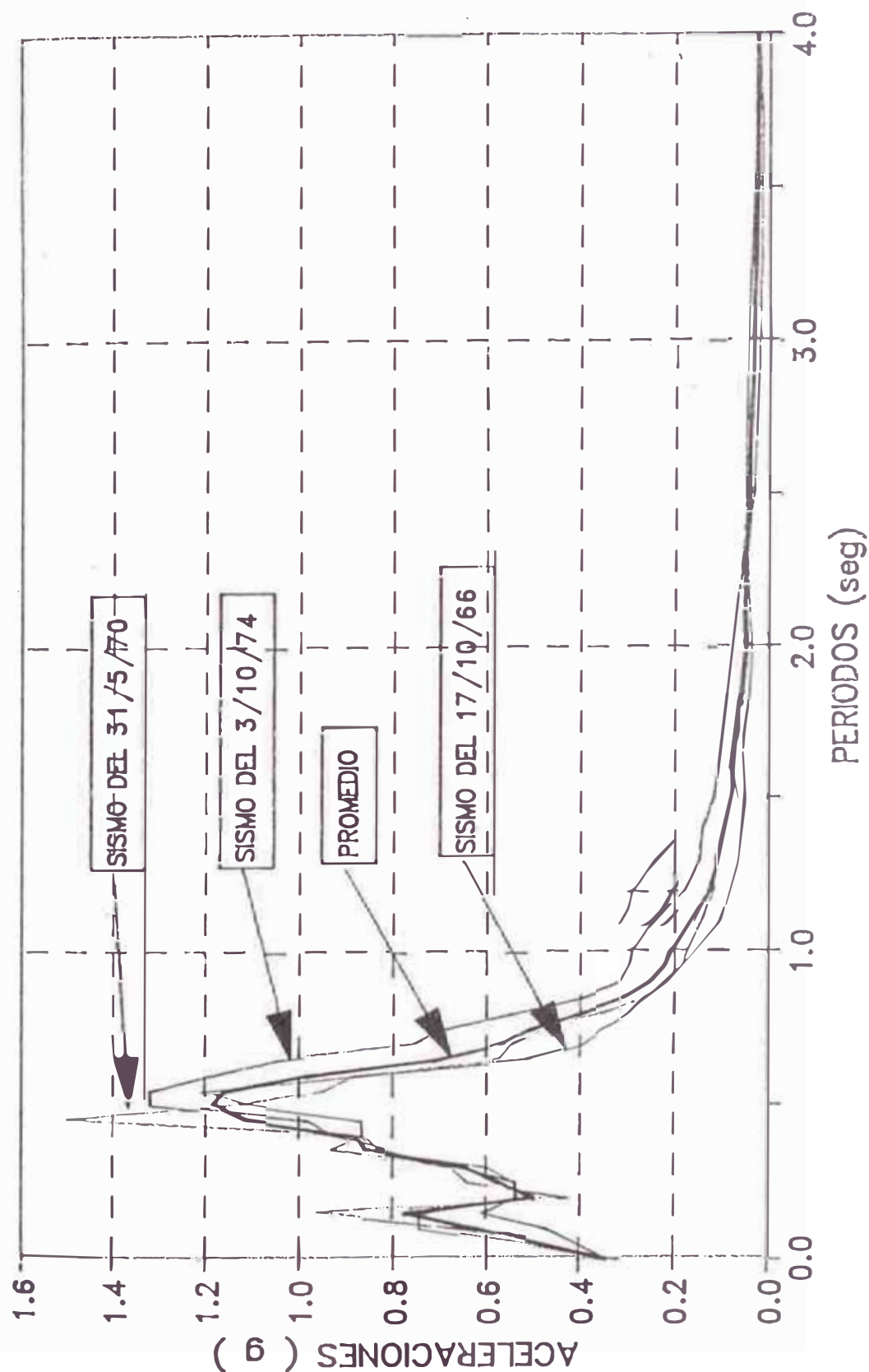


FIG. 5.12 ESPECTROS DE RESPUESTA PARA LA BASE
NAVAL EN EL CALLAO. NIVEL A = 0.2 g

ESPECTROS DE ACELERACIONES

BASE NAVAL — ACEL.BASE = 0.4 g — $\beta=5\%$

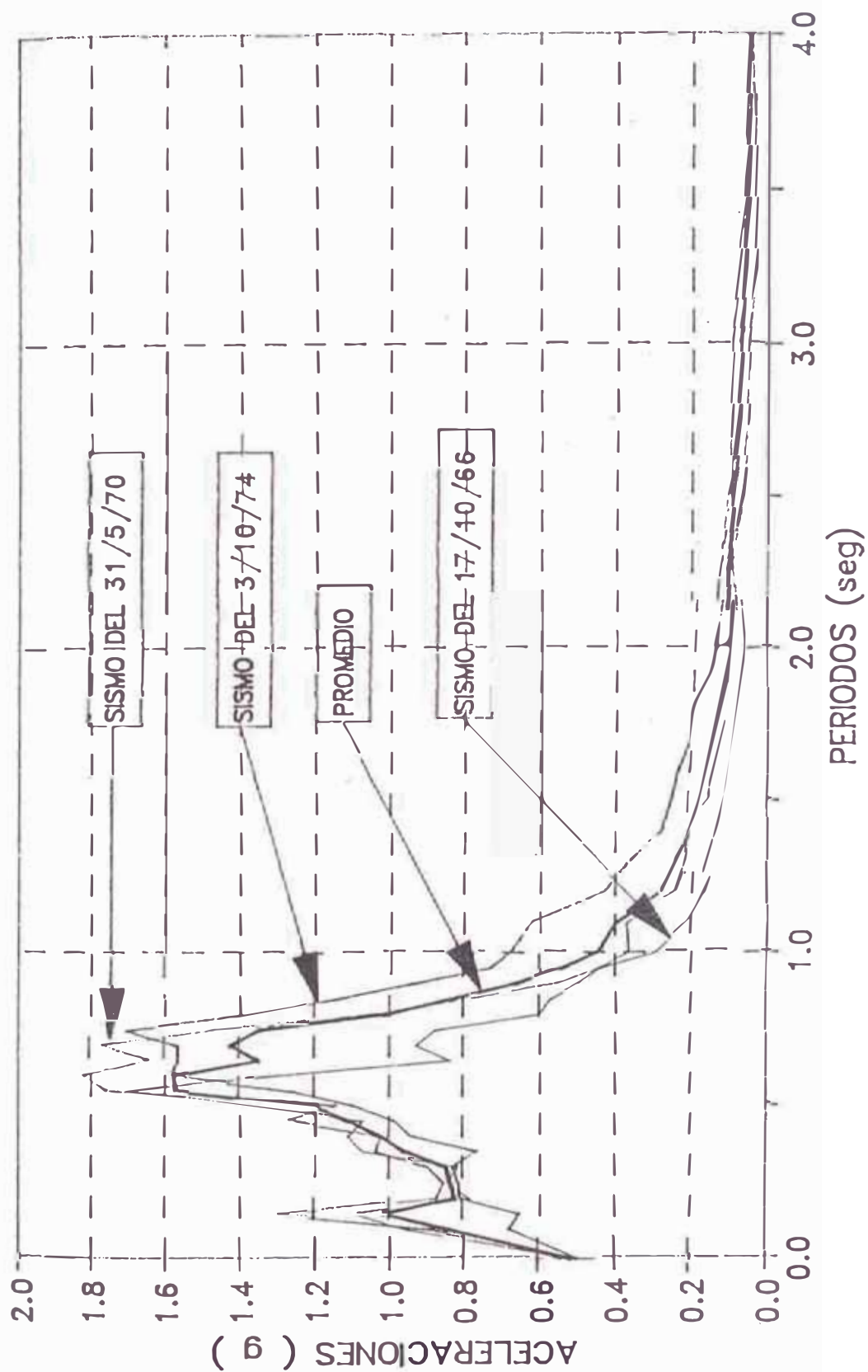


FIG. 5.13 ESPECTROS DE RESPUESTA PARA LA BASE NAVAL
EN EL CAILAO. NIVEL B = 0.4 g

ACELERACIONES

BASE = 200 gals - $\beta = 5\%$

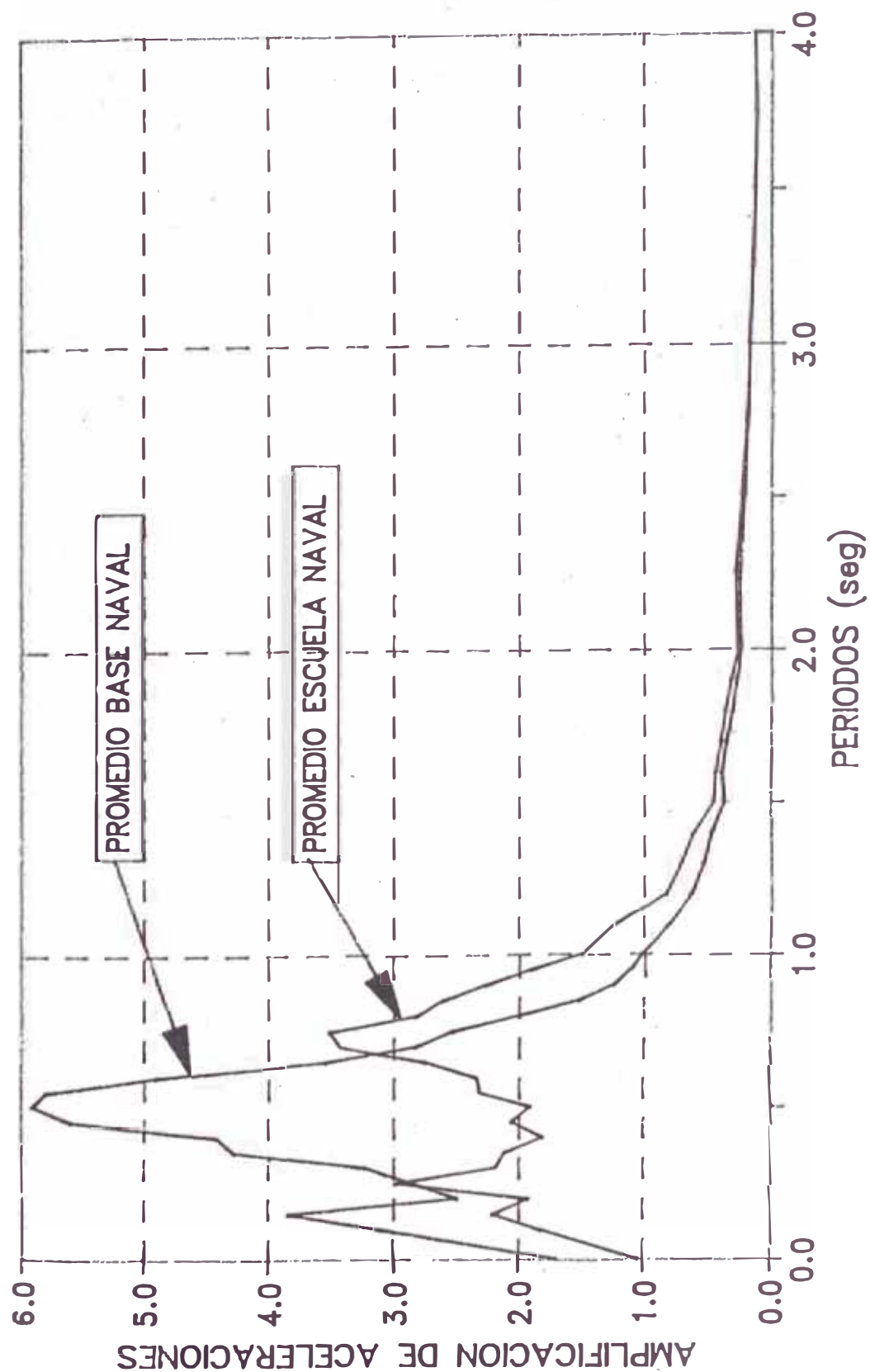
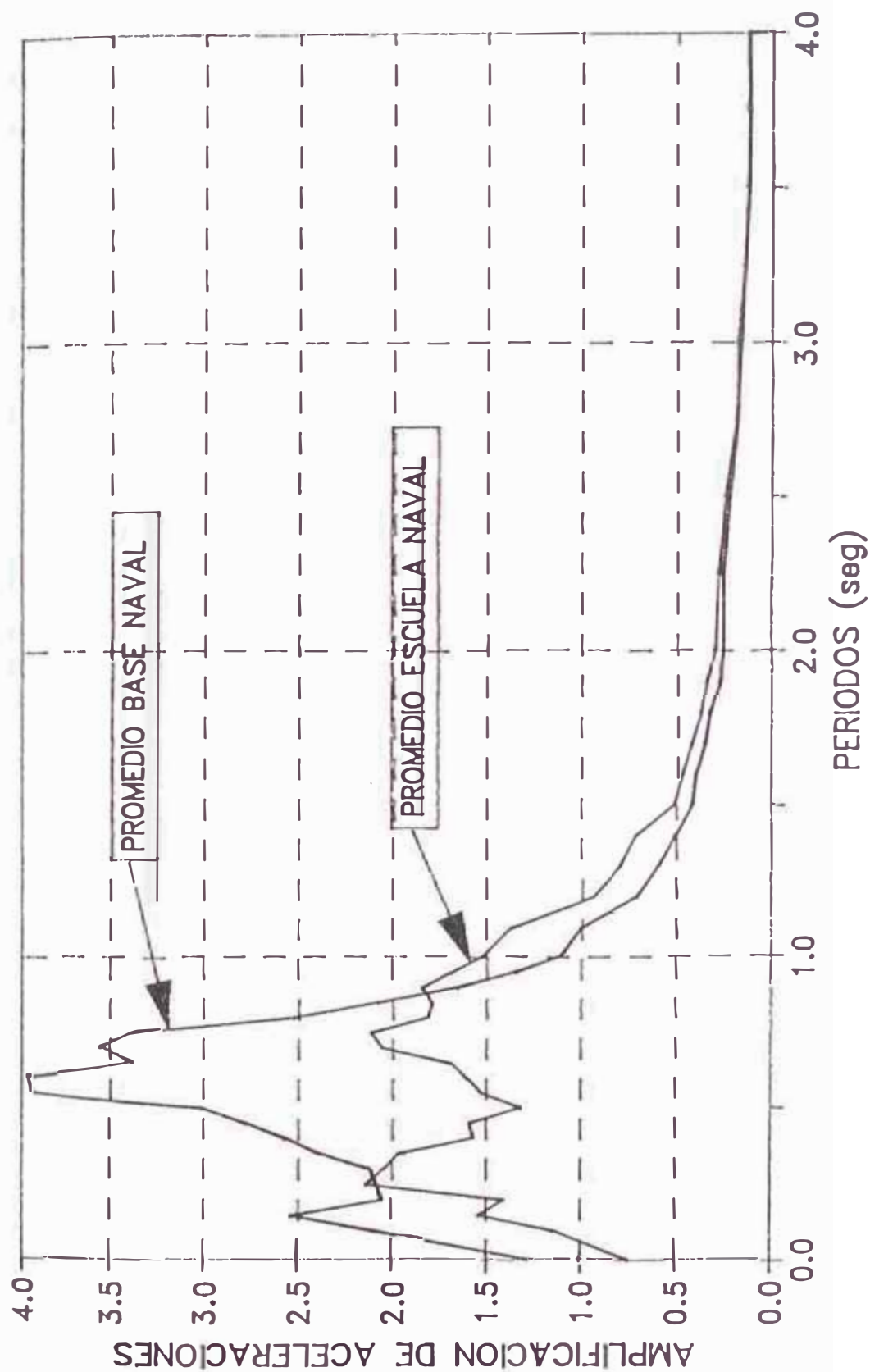


FIG. 5.14 ESPECTROS DE RESPUESTA PROMEDIO.

NIVEL A = 0.2 g

ESPECTROS NORMALIZADOS ACELERACIONES

ACEL. BASE = 400 gals $\beta = 5\%$



ESPECTROS DE RESPUESTA PROMEDIO.

NIVEL B = 0.4 g

CAPITULO VI

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1 CONCLUSIONES.

Las conclusiones que se derivan de la presente investigación son:

1) La geología de toda el **área** estudiada está comprendida en los límites del cono deyectivo Cuaternario del Río Rímac, compuesto por intercalaciones de gravas, arenas, limos y arcillas dispuestos erráticamente.

2) La formación de la península de La Punta tiene su origen en la acción erosiva del mar, que en épocas anteriores ha ido arrancando material granular de los acantilados y los ha ido arrastrando hacia el Norte, a una zona protegida de las corrientes marinas por la Isla San Lorenzo.

3) El manto aluvial del cono deyectivo es muy profundo, llegando a tener cerca de 400 m. en el Callao.

4) La evolución del cauce del Rímac ha sido de Sur-Oeste a Nor-Oeste, dejando en el camino terrazas aluviales

cada cual con materiales más finos, hasta establecerse en el cauce actual.

5) Los sedimentos finales están constituidos por arcillas poco consolidadas que forman la cubierta superficial del Callao. Además, hay presencia de material orgánico originado por la descomposición de algas en ambientes palustres.

6) El nivel freático en La Punta y en las zonas bajas del Callao y La Perla, es muy superficial, lo que contribuye a saturar los materiales blandos mencionados produciendo asentamientos en las edificaciones o hundimientos en las pistas.

7) Geotécnicamente se han distinguido 4 zonas. La Zona IV, que comprende La Punta y Chucuito, resultaría la más desfavorable, no por la capacidad estática del primer estrato, formado por gravas sueltas de unos 12 m. de espesor, que es regular, sino por la profundidad del estrato blando arenoso arcilloso que subyace a la grava, de hasta 28 m., la cual determina un suelo muy flexible desde el punto de vista dinámico, con períodos altos.

8) La Zona III es prácticamente artificial, compuesta de rellenos colocados para recuperar terrenos al mar, y se hace imprescindible cimentar mediante pilotes que alcancen la grava del conglomerado de Lima.

9) La Zona II presenta problemas de asentamientos por la presencia de suelo orgánico y alto nivel freático, lo que le confiere baja capacidad portante.

10) La Zona I se constituye como la mejor zona, con buena capacidad portante y nivel freático profundo. En cierto sector, este tipo de suelo es similar al del centro de Lima.

11) En cuanto a la información sobre sismicidad puede concluirse que existe clara evidencia histórica de que la zona en estudio pertenece a una región que tiene una naturaleza marcadamente sísmica, donde la mayor parte de los sismos se han producido por el mecanismo de subducción de placas.

12) La revisión histórica muestra que el terremoto más fuerte del que se tiene noticia en esta zona es el de 1746, con una magnitud probable de 8.4 y con intensidades probables en Lima de X a XI MM.

13) En lo que va de este siglo, el sismo de mayor magnitud ha sido el de 1940 ($M_s = 8.2$), y el de mayor duración fue el de 1974 (1 minuto y medio). Esta evidencia de largas duraciones tiene que ver con la destructividad del sismo.

14) La revisión histórica de daños producidos en cada sismo identifica, especialmente a partir de este siglo, zonas específicas de la ciudad de Lima donde ha existido fuerte daño, estas zonas son: el Callao, Chorrillos, La Molina y Barranco.

15) A partir del sismo de 1940, se empieza a entender que los problemas locales del suelo pueden ser la causa de la diferencia en intensidades entre zonas vulnerables, tales como Chorrillos, La Molina y el Callao, respecto al centro de la ciudad de Lima. Los estudios de los sismos de 1966 y 1974 encuentran ya una definitiva correlación entre los altos niveles de intensidad y la presencia de áreas que tienen condiciones de suelo desfavorables. Se han determinado intensidades hasta de IX MM para estos lugares, en tanto que el centro de Lima presenta intensidades promedio de VII MM.

16) La información instrumental para Lima, y por lo tanto para el Perú, es escasa. Para Lima, de los 10 acelerogramas disponibles, 9 han sido registrados sobre sedimento aluvional compuesto por materiales gruesos y densos, y sólo 1, en La Molina, ha sido registrado sobre un limo arcilloso. Esta deficiencia puede ser superada en el futuro por la adquisición de datos a través de la recientemente instalada red acelerográfica del CISMID a nivel nacional.

17) Para la ciudad de Lima, la aceleración máxima corregida registrada es de 269.3 cm/seg^2 para el sismo de 1966.

18) Por otro lado, los niveles máximos de aceleraciones probables para la zona de Lima Metropolitana extraídos de los estudios de riesgo sísmico revisados, muestran que se podría esperar una aceleración en la roca base entre 150 y 270 cm/seg^2 , para un período de retorno de 50 años; y aceleraciones máximas probables de 400 a 600 cm/seg^2 , para un período de retorno de 500 años.

19) Las mediciones de microtrepidaciones muestran que los períodos del suelo en la zona estudiada presentan valores en el rango de 0.10 a 0.70 seg . El Callao, Bellavista y La Perla tienen un período promedio de 0.30 seg ., en tanto que La Punta y Chucuito están caracterizados por un período de 0.50 seg .

20) Se ha encontrado concordancia entre los valores de período y la geología descrita en el Capítulo II. Según esto, se nota claramente que los períodos van creciendo conforme se profundizan los depósitos blandos, tal como ocurre en La Punta. Además, se ha encontrado concordancia entre la uniformidad de los valores de período del suelo medido y la conformación estratigráfica de la zona adyacente al Rímac, donde el depósito de material arcilloso se profundiza, debido a pertenecer a la terraza más

reciente del río, hecho que determina frecuencias pico pronunciadas.

21) Se encuentra correspondencia entre las zonas definidas por su período predominante y aquellas zonas establecidas en el Capítulo II, según las condiciones geotécnicas. Así, las Zonas E y D según el período del suelo (0.50 en promedio), corresponderían a la Zona IV de la zonificación geotécnica, lo cual es concordante por tratarse de un perfil formado por suelos blandos de hasta 40 m. de profundidad, que produce altos períodos.

22) La Zona C, con períodos ligeramente más altos que el promedio para el Callao, alrededor de 0.40 seg., coincide con la Zona III de la clasificación geotécnica, lo que puede explicarse por los rellenos sueltos de esta área, que alcanzan hasta 10 m. de profundidad en el Puerto.

23) La Zona B, con períodos alrededor de 0.30 seg. incluiría una extensa área, la Zona II, que geotécnicamente está compuesta por estratos blandos de 7 a 15 m. de profundidad. La Zona A, que tiene los períodos más cortos (hasta 0.10 seg.) se encuentra dentro de la Zona I, geotécnicamente la mejor zona, con el suelo firme del conglomerado de Lima a pocos metros de la superficie.

24) También existe una clara relación entre las zonas encontradas en este estudio y los niveles de

idad del sismo del 3 de Octubre de 1974. En especial, buena concordancia entre la zona E, que corresponde al área de la Escuela Naval, donde se produjeron los mayores daños, intensidad IX MM; y entre la zona D, que comprende casi toda La Punta, donde los daños alcanzaron intensidades de hasta VIII MM. En tanto, en el centro de Lima, con un suelo firme, las intensidades llegaron a VII MM en promedio.

25) Se ha demostrado que bajo niveles reducidos de deformación, el período del suelo conserva su valor, y por lo tanto es muy parecido para microtrepidaciones y para sismos pequeños, lo que hace confiable esta técnica para estimar el comportamiento dinámico del suelo cuando no se cuenta con información instrumental de acelerógrafos.

26) Existe buena concordancia entre los valores de períodos medidos por microtrepidaciones y aquellos calculados por la teoría de amplificación dinámica para deformaciones pequeñas, lo que hace aún más confiables las mediciones efectuadas en La Punta y El Callao.

27) Respecto a los resultados del análisis dinámico se ha encontrado que hay una clara diferencia entre el comportamiento dinámico del suelo del Callao y el del suelo Punta respecto a las amplificaciones; el primero considerarse medianamente blando, con un rango de ión de las aceleraciones en el rango de 0 a 1

seg., en tanto que el segundo es muy blando, con un rango de amplificación de las aceleraciones de 0 a 1.2 seg. La relación entre las amplificaciones máximas de los espectros promedio en la Base Naval (Callao) y la Escuela Naval (La Punta) es de 1.68 a 1.86 veces.

28) La amplificación máxima va decreciendo conforme crece el nivel de aceleración máxima de entrada en el estrato base, debido a la no linealidad de los parámetros dinámicos del suelo.

29) La amplificación de la fuerza sísmica en el Callao, para un Nivel B (0.4 g. de aceleración de entrada en la roca base) respecto al centro de Lima, debería ser como mínimo 1.45 veces, para un amortiguamiento de 5%. En La Punta no se produce este tipo de efecto. Además, el rango de períodos del espectro de diseño debería llegar a por lo menos 1.0 seg. para La Punta y el Callao.

30) Las mayores amplificaciones bajo sismos muy fuertes para los suelos de La Punta, se producen para períodos alrededor de 0.75 seg., en tanto que para la Base Naval, para períodos de hasta 0.65 seg. Esto afectaría estructuras relativamente altas, de 8 a 10 pisos.

30) Los períodos fundamentales del suelo crecen cerca de 1.83 veces en La Punta, y 1.86 veces en El Callao, cuando los perfiles están sometidos a movimientos fuertes.

31) Según lo anterior, y teniendo en cuenta que los periodos fundamentales calculados son similares a los periodos medidos por microtrepidaciones, podría proponerse que el periodo del suelo bajo sismos fuertes se considere aproximadamente igual a 1.85 veces el valor medido por microtrepidaciones, por lo menos en el caso de suelos blandos. Esto permitiría una evaluación rápida del periodo del suelo en las condiciones reales que requiere el diseño de las obras.

32) Finalmente, puede afirmarse que el presente trabajo ha servido para mostrar evidencia de que los efectos destructivos de los sismos en el pasado en La Punta y El Callao, tienen su explicación en las condiciones del subsuelo y que la zonificación geotécnica presentada así como la zonificación por periodos medidos por microtrepidaciones, constituyen el mayor aporte de esta investigación a la microzonificación sísmica de la región.

6.2 RECOMENDACIONES.

Las principales recomendaciones derivadas de este estudio son:

a) Recopilar mayor información geotécnica, de los estudios de mecánica de suelos para cimentación, los cuales se encuentran en manos de instituciones públicas y

privadas, de La Punta y el Callao, así como de cada ciudad importante, con el propósito de tener un mejor conocimiento de las condiciones del subsuelo.

b) Realizar ensayos directos para la determinación de la velocidad de ondas de corte de los suelos, tales como refracción sísmica, PS-Well Logging, etc, equipos con los que se cuenta en el CISMID, cuyos resultados permitirían obtener modelos dinámicos más precisos.

c) Investigar sobre la naturaleza de la forma de los Espectros de Fourier proporcionados por las microtrepidaciones, ya que éstas pueden brindar mayor información sobre la estratigrafía.

d) Realizar el análisis dinámico en muchos más lugares del Callao, con el objeto de proponer finalmente espectros de respuesta normalizados que conduzcan a modificar el Reglamento Nacional de Construcciones, en cuanto a los factores de diseño sísmico se refiere.

BIBLIOGRAFIA Y REFERENCIAS

- 1.- Aguirre, A. y Vançon, J.P. (1971), "Carta Hidrogeológica de la Gran Lima", Ministerio de Agricultura, Lima, Perú.
- 2.- Alva, J., Meneses, J., Parra, D. y Huamán, C. (1990), "Red Nacional de Acelerógrafos del CISMID y Procesamiento de Acelerogramas Registrados", VIII Congreso Nacional de Ingeniería Civil, Piura, Perú.
- 3.- Aramburú-Menchaca - CORPEI. (1972), "Defensas del Litoral y Habilitación de Nuevas Playas en Lima Metropolitana", Estudio de Pre-factibilidad, Lima, Perú.
- 4.- Arévalo, E. (1984), "Riesgo Sísmico del Departamento de Ancash", Tesis de Grado, Universidad Nacional de Ingeniería, Lima, Perú.
- 5.- Brady, A. G., and Perez, V. (1971), "Strong-Motion Earthquake Accelerograms Digitization and Analysis Records from Lima, Perú: 1951 to 1974", Open File Report No 77-587, U.S. Geological Survey, California, U.S.A.
- 6.- Carrillo, A. (1969), "Estudio de las Propiedades Elásticas de los Suelos de Lima", I Congreso Nacional de Sismología e Ingeniería Antisísmica, Lima, Perú.

7.- Casas, A. (1974), "Estimación de Daños por Sismos y Tsunamis en Zonas Bajas del Callao", Tesis de Grado, Universidad Nacional de Ingeniería, Lima, Perú.

8.- Casaverde, L. (1979), "Riesgo Sísmico del Departamento de Lima", Publicación DI-80-02, Pontificia Universidad Católica del Perú, Lima, Perú.

9.- Castro, L. (1969), "Geología de Lima y Vecindades", Anexo, I Congreso Nacional de Sismología e Ingeniería Antisísmica, Lima, Perú.

10.- Chávez Figueroa, O. (1984), "Amplificación Sísmica en Algunas Ciudades del Peru", Tesis de Grado, Universidad Nacional de Ingeniería, Lima, Perú.

11.- De las Casas, J. (1975), "Terremotos del Siglo XX en Lima", Reunión Andina de Seguridad Sísmica, Pontificia Universidad Católica del Perú, Lima, Perú.

12.- Dirección de Aguas Subterráneas del Ministerio de Agricultura, "Perfiles Litológicos de Pozos en la Gran Lima", Lima, Perú.

13.- Espinosa, A. F., Husid, R., Algermissen, S.T., and De las Casas, J. (1977), "The Lima Earthquake of October 3, 1974: Intensity Distribution", Bulletin of the Seismological Society of America, Vol. 67, N° 5, pp.1429-1439.

14.- Espinoza, G. y Fukuda, S. (1967), "Estudio del Sismo del 17 de Octubre de 1966", Tesis de Grado, Universidad Nacional de Ingeniería, Lima, Perú.

15.- Fernández, F. (1974), "El sismo del 3 de octubre de 1974 en Lima", Tesis de Grado, Universidad Nacional de Ingeniería, Lima, Perú.

16.- Japan International Cooperation Agency (JICA). (1983), "The Development Project of the Port of Callao in the Republic of Peru", Final Report.

17.- Kanai, K, (1957), "The Requisite Conditions for the Predominant Vibration of Ground", Earthquake Research Institute, Tokyo, Japan.

18.- Kanai, K. and Tanaka, T. (1961), "On Microtremor VIII", Bulletin of the Earthquake Research Institute, Vol 39, pp 94-104, Tokyo, Japan.

19.- Kanai, K., Tanaka, T., Morishita, T. and Osada, K. (1966), "Observation of Microtremors XI", Earthquake Research Institute, Vol.44, pp. 1297-1333, Tokyo, Japan.

20.- Lástrico R. and Monge, J. (1972), "Chilean Experience in Seismic Microzonation", Seattle, Washington, U.S.A.

21.- Lee, K. (1969), "El Terremoto del Perú de 1966. Condiciones de Suelos y Fundaciones en las Areas Afectadas por el Terremoto", I Congreso Nacional de

Sismología e Ingeniería Antisísmica. Lima, Perú.

22.- Lisson, C. (1907), citado por Martínez (1975), "Contribuciones al Conocimiento de la Geología de Lima y Alrededores", Librería e Imprenta Gil.

23.- Lisson, C. (1926), citado por Martínez (1975), "Geología", primer fascículo, Geodinámica Externa, pp. 11., Librería Francesa Científica, Editorial Rosey, Lima.

24.- Lisson, C. (1939), citado por Martínez (1975), "Esquema Geológico de los Alrededores de Lima", Museo de Historia Natural Javier Prado, Año 3, N°3, pp. 3-17.

25.- Macharé, J. (1979), "Investigaciones sobre la Geología del Cuaternario en la Costa de Lima", Instituto Geofísico del Perú, Lima, Perú.

26.- Maggiolo, O. (1969), "Características del Suelo de Cimentación de Lima Central (y Alrededores), Aspectos Geológicos Generales y el Comportamiento de los Suelos ante los Sismos en Relación a las Estructuras", I Congreso Nacional de Sismología e Ingeniería Antisísmica, Lima, Perú.

27.- Maggiolo, O. (1975), "Algunos Aspectos de Mecánica de Suelos y Comportamiento de Construcciones durante el Sismo del 3 de Octubre de 1974", Reunión Andina de Seguridad Sísmica, Pontificia Universidad Católica del Perú, Lima, Perú.

28.- Maggiolo, O. (1982), "Informe Geotécnico con Fines de Diseño, Cimentación y Construcción de una Edificación en la Plaza Fanning en el Callao", Lima, Perú.

29.- Maraví, C. (1988), "Zonificación Sísmica del Callao (Estudios Preliminares)", Tesis de Grado, Universidad Particular Ricardo Palma, Lima, Perú.

30.- Martínez, A. y Téves, N. (1966), "Estudio de Investigación sobre los Acantilados desde La Punta hasta el Morro Solar", Pub. **Lgga. N°25**, Universidad Nacional de Ingeniería.

Martínez, A. (1969), "Algunas Apreciaciones Geotécnicas de los más Recientes Efectos Sísmicos en Lima", I Congreso Nacional de Sismología e Ingeniería Antisísmica, Lima, Perú.

32.- Martínez, A. y Porturas, F. (1975), "Planos Geotécnicos para Lima, Perú. Análisis y Visión en Ingeniería Sísmica", Pontificia Universidad Católica del Perú, Lima, Perú.

33.- Martínez, A. (1978), "Aspectos Geotécnicos de los Suelos de Lima", II Congreso Nacional de Ingeniería Civil, Arequipa, Perú.

34.- Mc Guire, R. (1976), "FORTRAN Computer Program for Seismic Risk Analysis", Open-File Report 76-67, United States Department of the Interior Geological Survey.

35.- Meneses, J. (1985), "Evaluación de Acelerogramas y Determinación de Espectros de Respuesta en Lima", Tesis de Grado, Universidad Nacional de Ingeniería, Lima, Perú.

36.- NEC San-ei Instruments, Ltd. (1988), Instruction Manual for Rectilinear Thermal Writing Oscillographs, 8K20 Series, Tokyo, Japan.

37.- Ocola, L. (1990), "Zonificación Regional", Apuntes del Taller de Riesgo Sísmico en Los Andes, UNSAAC-Multiciencias 90, Cuzco, Perú.

38.- OGAWA SEIKI CO.,LTD., Instruction Manual Pickup MTKH-1C, MTKV-1C, Tokyo, Japan.

39.- OGAWA SEIKI CO.,LTD., Instruction Manual OSK 5761 Amplifier, Tokyo, Japan.

40.- Ohsaki, Y. (1975), "Dynamic Characteristics and One-Dimensional Amplification Theory of Soil Deposits", Research Report 75-01, Department of Architecture, Faculty of Engineering, University of Tokyo, Japan.

41.- Polo, A. (1977), "Amplificación Sísmica para Lima Metropolitana por Efecto de las Propiedades del Suelo", Tesis de Grado, Universidad Nacional de Ingeniería, Lima, Perú.

42.- Repetto, P., Arango, J. and Seed, H. B. (1980), "Influence of Site Characteristics on Building Damage during the October 3, 1974 Lima Earthquake", Report of

the Earthquake Engineering Research Center, California, U.S.A.

43.- Ríos, R. (1975), "Amplificación de Sismos por Causa del Suelo de Lima", Reunión Andina de Seguridad Sísmica, Lima, Perú.

44.- Sarrazin, M., Saragoni, R., y Monge, J. (1976), "El Terremoto del Perú del 3 de Octubre de 1974", Segundas Jornadas Chilenas de Sismología e Ingeniería Antisísmica, Santiago, Chile.

45.- Schnabel P., Lysmer, J. and Seed, H. (1972), "SHAKE: A Computer Program for Earthquake Response Analysis of Horizontally Layered Sites", Earthquake Engineering Research Center, Report N.EERC 72-12, College of Engineering, University of California, Berkeley-California.

46.- Seed, B., Wong, R., Idriss, I.M., and Tokimatsu, K., (1984), "Moduli and Damping Factors for Dynamic Analysis of Cohesionless Soils", Report No. UCB/EERC-84, College of Engineering, University of California, Berkeley, California.

47.- Seed, B. (1987), "Influence of Local Conditions on Ground Motions and Building Damage during Earthquakes", Eighth Nabor Carrillo Lecture, Mexican Society for Soil Mechanics, México D.F., México.

48.- Silgado, E. (1978), "Historia de los Sismos más Notables Ocurridos en el Perú (1513-1974)", Instituto de Geología y Minería, Boletín N° 3, Serie C, Geodinámica e Ingeniería Geológica, Lima, Perú.

49.- TEAC Corporation. (1988), Instruction Manual, RD-100T/110T, PCM DATA RECORDER, Tokyo, Japan.

50.- TEAC Corporation. (1988), Operation Manual, F-3000 FFT Analyzing Scope, Tokyo, Japan.

51.- Tokeshi, J. (1990), "Microtrepidaciones en las Ciudades de Cusco y Tacna", Tesis de Grado, Universidad Nacional de Ingeniería, Lima, Perú.

ANEXOS

ANEXO I

ANEXO I . 1

Relación de Estudios de Mecánica de Suelos Recopilados.

I.1 INFORMACION GEOTECNICA RECOPIADA.

- 1.- Romani Ingenieros Consultores S.A. 1975. Estudio de Suelos para la Cimentación de un Edificio de 9 pisos. Malecón Figueredo y Jr. Sáenz Peña - La Punta.
- 2.- Carrillo Gil & Asociados. 1976. Estudio de Suelos para la Cimentación de los Nuevos Edificios para la Dirección de Hidrografía y Navegación. Av. Gamarra y Jr. Roca - Chucuito.
- 3.- LAGESA. 1970. Estudio de Suelos para la Cimentación de la Catedral del Callao. Pasaje Miller y Pasaje Gálvez - Callao.
- 4.- Roberto Michelena & Asociados. 1972. Investigaciones Geotécnicas para la Cimentación de los Nuevos Silos de Granos de ENAPU. Informe Preliminar. Terminal Marítimo del Callao.
- 5.- Roberto Michelena & Asociados. 1972. Estudio de Suelos para la Ampliación de los Silos de Granos. Informe Final. Terminal Marítimo del Callao.
- 6.- Alva Hurtado, Jorge. 1985. Estudio Geotécnico para la Cimentación de Fajas Transportadoras. Terminal Marítimo del Callao.

7.- Alva Hurtado, Jorge. 1985. Estudio Verificatorio para la Cimentación de las Fajas Transportadoras. Terminal Marítimo del Callao.

8.- Roberto Michelena & Asociados. 1971. Investigación de Suelos en los Molinos Callao de Nicolini Hnos. Av. Guardia Chalaca. Callao.

9.- Roberto Michelena & Asociados. 1978. Estudio de Suelos para la Cimentación del Nuevo Comedor y Puentes de Conexión entre el Edificio de Silos y Molino. Molino Callao de Nicolini Hnos. Av. Guardia Chalaca. Callao.

10.- Alva Hurtado, Jorge. 1988. Estudio Geotécnico de Cimentación para la Ampliación de las Oficinas del Molino Callao. Av. Guardia Chalaca. Callao.

11.- Romani Ingenieros Consultores, 1978. Informe Técnico: Capacidad Soportante de Suelos en el Bloque C del Nuevo Edificio Gran Almirante Grau. Escuela Naval del Perú. La Punta.

12.- Alva Hurtado, Jorge. 1987. Estudio Geotécnico de Cimentación, Molino y Silo de Granos. Fábrica Nicolini. Callejón Villegas. Callao.

- 13.- Montero Pinillos, Manuel. 1967. Estudio de Reconocimiento de las Condiciones Existentes para la Cimentación de un Edificio de 4 pisos. Jr. Ilo y Jr. Cañete. Callao.
- 14.- Meza Cárdenas, Lindbergh. 1978. Estudio del Suelo de Cimentación del Complejo Deportivo Concordia Universal. Av. La Paz y Jr. España. La Perla.
- 15.- Carrillo Gil & Asociados. 1972. Estudio de Suelos para la Cimentación de la Cripta del Cementerio Israelita. Bellavista.
- 16.- LAGESA. 1970. Estudio de suelos para Cimentación de Viviendas. Urbanización Altamar. La Perla.
- 17.- Rojo, César. 1987. Informe Geotécnico para la Cimentación de Edificaciones de Cuatro Pisos. Av. Colina y Av. Castilla. Bellavista.
- 18.- Laboratorio de Mecánica de Suelos U.N.I. 1974. Trabajos de Exploración de Subsuelos y Ensayos de Laboratorio para la Cimentación de Obras de la Universidad Técnica del Callao. Av. Santa Rosa. Bellavista.

19.- Laboratorio de Mecánica de Suelos U.N.I. 1967. Estudio de Suelos para Cimentación solicitado por la Junta de Obras Públicas. Avs. Sáenz Peña, Colonial y Guardia Chalaca. Callao.

20.- Carrillo Gil & Asoc. 1972. Estudio de Suelos para la Cimentación del Amarradero 10A y Habilitación de la Plataforma de los Amarraderos 9B y 11A y Anexo N° 10. Puerto del Callao.

21.- Romani Ingenieros Consultores. 1977. Perforación Adicional en la Ubicación del Bloque F del Nuevo Edificio de Alojamiento de Cadetes. Escuela Naval del Perú. La Punta.

22.- Alva Hurtado, Jorge. 1989. Estudio Geotécnico de Cimentación en el Terreno de Castrol del Perú S.A. Av. Contralmirante Mariátegui. Callao.

23.- LAGESA. 1982. Estudio de Mecánica de Suelos para la Ampliación de la Fábrica Komfort. Av. Argentina y Av. Faucett. Callao.

24.- Romani, Freddy. 1977. Estudio de Suelos para la Cimentación de una Vivienda. Av. Guardia Chalaca y Jr. Lambayeque. Callao.

25.- Michelena, Repetto y Asoc. 1987. Estudio de Suelos para la Cimentación de las Edificaciones de la Escuela de Submarinos. Base Naval del Callao.

26.- Junta de Obras Públicas. Estudio para la Cimentación de las Unidades de Vivienda Modelo y Santa Marina. Callao.

27.- Olcese, Manuel. 1985. Estudio de Suelos para la Cimentación de las Oficinas y los Nuevos Silos del Molino Santa Rosa. Av. Buenos Aires. Callao.

28.- Dongo, Mercedes. 1985. Estudio de suelos para la Cimentación del Templo de la Iglesia de Jesucristo S.U.D. Contralmirante Villar y Apurímac. Callao.

29.- Laboratorio de Mecánica de Suelos U.N.I. 1969. Estudio de Suelos para la Cimentación de los Muros de Sostenimiento del Depósito de Cerro de Pasco Corporation. Av. Guardia Chalaca. Callao.

Estudios Recopilados por Maraví (1988).

30.- Estudio de Suelos para la Cimentación de un Edificio de la Escuela Naval del Perú. 1976.

31.- Estudio de Suelos para la Cimentación del Pabellón de Aulas y Gabinetes de la Escuela Naval. 1975.

32.- Estudio de Suelos para la Cimentación del Edificio de la Compañía de Vapores (1972).

33.- Estudio de Suelos para la Cimentación de los Edificios de INFOCAP y ENAPU (Terminal Marítimo). 1977.

34.- Estudio de Suelos para la Cimentación del Edificio del Banco de la Industria de la Construcción. 2da. Cuadra de la Av. Sáenz Peña. 1981.

35.- Estudio de Suelos para la Cimentación del Edificio Cúneo. Saénz Peña 286. 1981.

36.- Estudio de Suelos para la Cimentación del Colegio José Olaya. 1986.

37.- Estudio de Suelos para la Cimentación del Colegio Alberto Secada. 1986.

38.- Estudio de Suelos para la Reparación del Hospital San Juan de Dios. 1986.

39.- Estudio de Suelos para la Cimentación del Centro Comercial La Perla. 1976.

40.- Estudio de Suelos para la Cimentación del Complejo Deportivo Yahuar Huaca. 1986.

41.- Estudio de Suelos para la Cimentación del Tanque Elevado de la Urbanización Palomino. 1974.

42.- Estudio de Suelos para la Cimentación del Centro de Transformación Santa Marina. 1977.

UBICACION DE LOS ESTUDIOS DENTRO DEL PLANO N° 1

ESTUDIO N°	CUADRANTE
E-1	B-2
E-2	C-4
E-3	D-6
E-4	E-6
E-5	E-6
E-6	E-6
E-7	E-6
E-8	F-7
E-9	F-7
E-10	F-7
E-11	A-1
E-12	G-12
E-13	D-9
E-14	A-11
E-15	D-10
E-16	A-11
E-17	C-11
E-18	D-12
E-19	D-10
E-20	E-5
E-21	A-1
E-22	H-9
E-23	G-16
E-24	E-9
E-25	I-7
E-26	F-9 y C-7

E-27	C-6
E-28	C-8
E-29	F-7
E-30	A-1
E-31	A-1
E-32	C-3
E-33	D-5 y D-6
E-34	D-6
E-35	D-6
E-36	C-6
E-37	D-7
E-38	C-10
E-39	C-12
E-40	D-11
E-41	E-13
E-42	E-8

UBICACION DE LOS POZOS DENTRO DEL PLANO N° 1

POZO N°	CUADRANTE
2-P	A-1
3-P	A-3
12-C	G-16
20-C	F-15
38-C	F-12
57-C	H-10
60-C	E-9
61-C	B-7
62-C	B-3
63-C	C-6
64-C	C-5
65-C	D-5
66-C	D-7
67-C	D-7
69-C	F-7
123-C	G-9
135-C	G-7
136-C	G-4
144-C	I-7
145-C	G-8
209-C	I-8
231-C	G-14
14-B	C-11
15-B	D-9
1-R	B-11
9-R	C-11

ANEXO 1.2

Perfiles Estratigráficos Representativos.

CISMID - Laboratorio Geotecnico



ESTUDIO N°1

P R O F. (mt)	E S T R A T O (mt)	M U E S T R A S O B T E N I D A S	P R U E B A S D E C A M P O		S I M B O L O G I A	C L A S I F. (SUCS)	D E S C R I P C I O N D E L M A T E R I A L	E N S A Y O D E P E N E T R A C I O N E S T A N D A R							
			D. N. (gr/cm3)	H. N. (%)				P R O F. (mt)	N U M E R O D E G O L P E S / P I E	G R A F I C A D E N					
								0	10	20	30	40	50		
3.10	3.10	M-1			0.0 0.1 0.2 0.3 0.4 0.5 0.6 0.7 0.8 0.9 1.0 1.1 1.2 1.3 1.4 1.5 1.6 1.7 1.8 1.9 2.0 2.1 2.2 2.3 2.4 2.5 2.6 2.7 2.8 2.9 3.0 3.1 3.2 3.3 3.4 3.5 3.6 3.7 3.8 3.9 4.0 4.1 4.2 4.3 4.4 4.5 4.6 4.7 4.8 4.9 5.0 5.1 5.2 5.3 5.4 5.5 5.6 5.7 5.8 5.9 6.0 6.1 6.2 6.3 6.4 6.5 6.6 6.7 6.8 6.9 7.0 7.1 7.2 7.3 7.4 7.5 7.6 7.7 7.8 7.9 8.0 8.1 8.2 8.3 8.4 8.5 8.6 8.7 8.8 8.9 9.0 9.1 9.2 9.3 9.4 9.5 9.6 9.7 9.8 9.9 10.0	GM	Grava limosa compuesta de partículas de grava redondeadas de 1 a 3" de tamaño máximo, en una matriz de arena limosa con lentes de arena gruesa. Densidad relativa y humedad medianas	1.00							
							1.45	N=11							
							2.00	N=14							
							2.45	N=18							
							3.20								
							3.65	N=30							
							SP	Arena media de graduacion pobre con inclusiones de grava pequena en poca cantidad de forma redondeada y presencia de conchuelas. Densidad relativa mediana aumentando con la profundidad.	5.00						
									5.45	N=40					
12.00															

CISMID - Laboratorio Geotecnico



OPERADOR : P.R.F.

ESTUDIO Nº 6

[illegible]

[illegible]



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL
CISMID - Laboratorio Geotécnico



REGISTRO DE SONDAJES

SOLICITADO : COMPESA INGS. (Dr. Alva)
PROYECTO : SILOS NICOVITA
UBICACION : CALLAO

SONDAJE : S-1
FECHA : Enero 1987
OPERADOR : J.O.

TIPO DE SONDAJE : SPT
PROFUNDIDAD N.F. : No se encontró.

ESTUDIO N°12

P R O F. (mt)	E S T R A T O (mt)	M U E S T R A S O B T E N I D A S	P R U E B A S D E C A M P O		S I M B O L O G I A	C L A S I F. (SUCS)	D E S C R I P C I O N D E M A T E R I A L	E N S A Y O D E P E N E T R A C I O N E S T A N D A R							
			D.N. (gr/cm3)	H.N. (%)				P R O F. (mt)	N U M E R O D E G O L P E S /P I E	G R A F I C A D E N					
										0	10	20	30	40	50
1.00	1.00					CL	Arcilla de mediana plasticidad con arena fina. Color marrón. Humeda. Blanda.	1.00							
1.45	0.45			12.8		CL-ML	Arcilla limosa con arena. Marrón. Medianamente húmeda. Med. compacta.	1.45	5- 7- 8 N=15						
2.35	0.90					CL	Arcilla de mediana plasticidad con arena. Med. húmeda. Med. compacta. Marrón.	1.90	6- 7-10 N=17						
								2.35	7- 8-10 N=18						
2.80	0.45			27.3		CH	Arcilla plástica con 35% de arena. Marrón. Med. húmeda. Med. compacta.		9-12-15 N=27						
4.00	1.20					CL	Arcilla de mediana plasticidad. Marrón. Lentes amarillos. De blanda a medianamente compacta. Med. húmeda	2.90	4- 6- 8 N=14						
								3.35	9-14-18 N=32						
								3.80							
4.45	0.45					CL-ML	Arcilla limosa. Baja plasticidad. Compacta. Med. húmeda. Con arena.	4.00							
								4.45	25-28-30 N=58						
4.90	0.45			5.1		ML	Limo arenoso no plástico. Amarillo. Seco. 45% arena. Compacto.		15-16-24 N=40						
								4.90							



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA

FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL

CISMID - Laboratorio Geotécnico

REGISTRO DE SONDAJES



SOLICITADO : COMPESA INGS. (Dr. Alva)

PROYECTO : SILOS NICOVITA

UBICACION : CALLAO

SONDAJE : S-1

FECHA : Enero 1987

OPERADOR : J.O.

TIPO DE SONDAJE : SPT

PROFUNDIDAD N.F. : No se encontró.

P R O F. (mt)	F U E R O R (mt)	M U E S T R A S	O B T E N I D A S	PRUEBAS DE CAMPO		S I M B O L O G I A	CLASIF. (SUCS)	DESCRIPCION DEL MATERIAL	ENSAYO DE PENETRACION ESTANDAR						
				D.N. (gr/cm3)	H.N. (%)				P R O F. (mt)	NUMERO DE GOLPES /PIE	GRAFICA DE N				
										0	10	20	30	40	50
	0.90					CL-ML	Arcilla limosa de mediana plasticidad. Húmeda. Color marrón.	5.35	7- 8- 9 N=17						
5.80								5.80	9- 9-12 N=21						
6.25	0.45			35.7		CL	Arcilla de mediana plasticidad. Marrón. Húmeda. Blanda.	6.25	5- 6- 9 N=15						
									10-18-30 N=48						
								6.70							
									13-24-31 N=55						
								7.15							
									25-28-30 N=58						
								7.60							
	3.15			17.3		ML	Limo arenoso. Marrón. De baja plasticidad. Lentes amarillos. Compacto. 20 a 25% de arena. Seco.	8.05	20-26-22 N=48						
									19-30-40 N=70						
								8.50							
									19-26-30 N=56						
								8.95							
9.40									20-20-50 N=70						
								9.40							
	0.45			6.7		GP	Grava con arena. Mal graduada. Seca. Compacta.		50-60-60 N=120						
9.85															
10.00	0.15					SM	Arena limosa.	9.85							



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA

FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL

CISMID - Laboratorio Geotecnico



REGISTRO DE SONDAJES

SOLICITADO : COVENSA INGS. (LAGESA)

PROYECTO : URB. "ALTAMAR"

UBICACION : DISTRITO DE LA PERLA

SONDAJE : PS-1

FECHA : ABRIL 1970

OPERADOR : J.V.V.

TIPO DE SONDAJE : SPT

PROFUNDIDAD N.F. : No se encontró.

ESTUDIO N° 16

P O R T O (mt)	F U N D A M E N T O (mt)	M U E S T R A S	PRUEBAS DE CAMPO		S T R A T I F I C A C I O N	CLASIF. (SUCS)	DESCRIPCION DEL MATERIAL	ENSAYO DE PENETRACION ESTANDAR							
			D.N. (gr/cm3)	H.N. (%)				P R O F. (mt)	NUMERO DE GOLPES /PIE	GRAFICA DE N					
	1.20	M-1		13.0		CL	Arcilla inorgánica de media plasticidad color roja. Seca y compacta con raíces y oquedades.	1.00							
1.20															
	1.70	M-2		6.0		ML	Limo inorgánico no plástico color amarillo. Húmedo. Bastante denso. Se encuentran interestratificados lentes de arena de grano fino. Raíces. (limo arenoso).	1.50	6- 8-12 N=20						
								2.00	3-10-16 N=26						
								2.50	9-15-15 N=30						
2.90								3.00	8-16-17 N=33						
	0.80	M-3		25.0		CH	Arcilla inorgánica de alta plasticidad color rojo. Húmeda. Caliche. Trazas de turba. Bastante consistente.	3.50	6- 9-14 N=23						
3.70															
	0.90	M-4		19.0		CL-ML	Limo arcilloso o arcilla limosa. Limo inorgánico no plástico con arcilla de baja plasticidad. Húmeda. Caliche. Muy consistente.	4.00	6-10-13 N=23						
								4.50	16-15-16 N=31						
4.50															
	0.40	M-5		6.0		SM	Arena pobremente graduada de grano fino, seca y medianamente compacta.	5.00	16-16-13 N=29						
5.00															

SONDAJE : PS-5
FECHA : ABRIL 1970
OPERADOR : J.V.V.

TIPO DE SONDAGE : SPT
PROFUNDIDAD N.F. : No se encontro.

[illegible]



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA

FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL

CISMID - Laboratorio Geotécnico



REGISTRO DE SONDAJES

SOLICITADO : GESSA INGS. (ING. ROJO)

PROYECTO : EDIFICACIONES

UBICACION : AV. MARISCAL CASTILLA

SONDAJE : PS-3

FECHA : FEBRERO 1987

OPERADOR : G.R.P. - H.C.Y.

TIPO DE SONDAJE : SPT

PROFUNDIDAD N.F. : No se encontró.

ESTUDIO N°17

P R O F. (mt)	E S T R A T O (mt)	M U E S T R A S O B T E N I D A S	P R U E B A S D E C A M P O		S Í M B O L O G R Á F I C A	C L A S I F. (SUCS)	D E S C R I P C I O N D E L M A T E R I A L	E N S A Y O D E P E N E T R A C I O N E S T A N D A R						
			D.N. (gr/cm3)	H.N. (%)				P R O F. (mt)	N U M E R O D E G O L P E S /P I E	G R A F I C A D E N				
								0	10	20	30	40	50	



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA

FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL

CISMID - Laboratorio Geotécnico

REGISTRO DE SONDAJES



SOLICITADO : C.O.N.U.P.

PROYECTO : U.N.T.C.

UBICACION : BELLAVISTA-CALLAO

SONDAJE : S-1

FECHA : JUNIO 1974

OPERADOR : LAB. MECANICA DE SUELOS-UNI

TIPO DE SONDAJE : SPT

PROFUNDIDAD N.F. : No se encontro.

ESTUDIO N° 18

PROF. (mt)	ESTRATOR (mt)	MUESTRAS OBTENIDAS	PRUEBAS DE CAMPO		S I M B O L O G I A	CLASIF. (SUCS)	DESCRIPCION DEL MATERIAL	ENSAYO DE PENETRACION ESTANDAR							
			D.N. (gr/cm3)	H.N. (%)				PROF. (mt)	NUMERO DE GOLPES /PIE	GRAFICA DE N					
										0	10	20	30	40	50
0.90	0.90	S/M	1.86			ML	Limo arcilloso con poco % de arena fina.Color marrón.Ligeramente húmeda De baja plasticidad.Raíces delgadas.								
1.75	0.85	M-1		28.5		CL	Arcilla limosa marrón.Húmeda.De mediana plasticidad y compacidad. Presencia de raíces delgadas.	1.15							
								1.45	3- 4- 7 N=11						
2.25	0.50	M-2		40.2		OH	Arcilla rojiza húmeda de alta plasticidad con raíces.De 2.12 a 2.25 capta de arena fina.	2.10							
								2.40	3- 6- 9 N=15						
3.35	1.10	M-3		20.5		ML	Limo con arena fina color amarillento.Húmeda.Con raíces.	3.20							
3.95	0.60	M-4		29.1		CL	Arcilla limosa color amarillento,de mediana plasticidad,con raíces y algunas particulas cementadas.	3.50	7- 5- 6 N=11						
5.75	1.80	M-5		9.9		SM	Arena limosa color beige sin plasticidad con partículas de arena limosa fuertemente cementadas en pequeño %.	4.15							
								4.45	10-15-19 N=34						
								5.15							
								5.45	17-27-26 N=53						
6.95	1.20	M-6		33.3		CL	Arcilla limosa color amarillento rojizo.Húmeda.De mediana plasticidad. Partículas cementadas aisladas hasta de 1".	5.90							
								6.20	5- 5- 8 N=13						
7.45	0.50	M-7		24.9		SM	Arena limosa color beige amarillento sin plasticidad.	7.15							
								7.45	7-14-15 N=29						

REGISTRO DE SONDAJES



OPERADOR : LAB. MECANICA DE SUELOS-UNI

PROFUNDIDAD N.F. : No se encontro.

[illegible]



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA

FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL

CISMID - Laboratorio Gestión de la Información



REGISTRO DE SONDAJES

SOLICITADO : JUNTA DE OBRAS PUBLICAS DEL CALLAO

PROYECTO : EDIFICACION

UBICACION : AV. SAENZ PEÑA Y COLONIAL

SONDAJE : PS-2

FECHA : NOVIEMBRE 1967.

OPERADOR : LAB. MECANICA DE SUELOS- UNI

TIPO DE SONDAJE : SPT

PROFUNDIDAD N.F. : 7.50 mt

ESTUDIO N° 19

PROF. (mt)	FUNDAMENTO (mt)	MUESTRA OBTENIDA	PRUEBAS DE CAMPO		SIMBOLOGIA	CLASIF. (SUCS)	DESCRIPCION DEL MATERIAL	ENSAYO DE PENETRACION ESTANDAR						
			D.N. (gr/cm3)	H.N. (%)				PROF. (mt)	NUMERO DE GOLPES /PIE	GRAFICA DE N				
								0	10	20	30	40	50	
1.20	1.20	S/M					Tierra de cultivo. Relleno:escombros, raíces. Gravas, tejas etc.	0.90						
2.00	0.80	M-1			CL	Arcilla inorgánica de media plasticidad. Color plomo, con materia orgánica.	1.35	N= 6						
							1.80	N= 5						
							1.95							
4.30	2.30	M-2			OH	Arcilla orgánica de alta plasticidad Color plomo. Lentes de turba. Concentraciones de carbonato de calcio (caliche). Lentes de limo orgánico.	2.40	N= 3						
							2.55							
							3.00	N= 3						
							3.35							
							3.80	N= 2						
6.10	1.80	M-3			CL	Arcilla inorgánica de plasticidad baja a media. Trazas de materia orgánica.	4.85							
							5.30	N=10						
							5.65							
6.40	0.30	M-4			SP	Lente de arena pobremente graduada.	6.10	N=16						
8.40	2.00	M-5			ML	Limo inorgánico arenoso.	6.45							
							6.90	N=24						
							7.15							
							7.60	N=10						
							7.75							
10.00	1.60	M-6			GP	Conglomerado con piedra cuyo t.m. es de 2" en un 25%. 60 % de grava de 1" y 2". 20% de arena pobremente graduada de grano fino.	8.20	N>50						



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA

FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL

CISMID - Laboratorio Geotécnico



REGISTRO DE SONDAJES

SOLICITADO : Ministerio de Marina (ROMICSA)

PROYECTO : Bloque F - Edificio de Cadetes.

UBICACION : Escuela Naval - La Punta.

SONDAJE : P-5

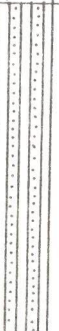
FECHA : Noviembre 1977

OPERADOR : L.T.S.

TIPO DE SONDAGE : Perforación Rotatoria y Percusión.

PROFUNDIDAD N.F. : No figura.

ESTUDIO N° 21

PROF. (mt)	ESTRATO (mt)	OBTENIDAS MUESTRAS	PRUEBAS DE CAMPO		S I M B O L O G I A	CLASIF. (SUCS)	DESCRIPCION DEL MATERIAL	ENSAYO DE PENETRACION ESTANDAR								
			D.N. (gr/cm3)	H.N. (%)				P R O F. (mt)	NUMERO DE GOLPES /PIE	GRAFICA DE N						
										0	10	20	30	40	50	
2.00		M-1				GP	Grava pobremente graduada consistente de partículas redondeadas o cantos rodados con tamaños comprendidos entre 1/2 y 3-1/2" con mayor o menor cantidad de arena de relleno y conchuelas. Color gris claro.									
4.00		M-2				GP										
6.00	11.50	M-3				GP										
8.00		M-4				GP										
10.00		M-5				GP		Continúa el estrato de grava de graduacion pobre. Particulas redondeadas de 1 a 3". Con muy poca arena de relleno de color gris con inclusiones eventuales de conchuelas.	9.00							
11.50		M-6				GP			9.45	N>50						
14.00	4.50	M-7				SM	Arena fina limosa de color gris oscuro. Pequenos lentes de consistencia arcillosa predominando el limo. Densidad relativa muy alta.	13.00								
16.00		M-8				SM		13.45	N>50							



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA

FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL

CISMID - Laboratorio Geotécnico



REGISTRO DE SONDAJES

SOLICITADO : Ministerio de Marina (ROMICSA)
 PROYECTO : Bloque F - Edificio de Cadetes.
 UBICACION : Escuela Naval - La Punta.

SONDAJE : P-5
 FECHA : Noviembre 1977
 OPERADOR : L.T.S.

TIPO DE SONDAJE : Perforación Rotatoria y Percusión.
 PROFUNDIDAD N.F. : No figura.

P R O F . (mt)	E S T R A T O R I O (mt)	M U E S T R A S O B T E N I D A S	P R U E B A S D E C A M P O		S I M B O L O G I A	G R A F I C A	C L A S I F . (SUCS)	D E S C R I P C I O N D E L M A T E R I A L	E N S A Y O D E P E N E T R A C I O N E S T A N D A R							
			D . N . (gr/cm3)	H . N . (%)					P R O F . (mt)	N U M E R O D E G O L P E S / P I E	G R A F I C A D E N					
		M-9					SM	Arena fina limosa de color gris oscuro con un lente de gravila de 1/2" entre los 16.10 y 16.40 m. de prof. En ubicaciones aisladas se encuentran pequenos lentes de gravilla asi como inclusiones arcillosas. Predomina el limo.								
18.00	8.80	M-10					SM									
20.00		M-11					SM									
22.00		M-12					SM									
24.80																
26.00	7.20	M-13					SC	Arena arcillosa de color variable entre marrón y beige. Inclusiones de grava entre los 26.6 y 30.0 m. También aparecen gravas entre los 30.0 y 32.0 m. apareciendo en forma aislada. De consistencia media.								
28.00		M-14					SC									
		M-15					SC									
30.00		M-16					SC									
32.00																

SONDAJE : P-5
FECHA : Noviembre 1977
OPERADOR : L.T.S.

[illegible]



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA

FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL

CISMID - Laboratorio Geotécnico

REGISTRO DE SONDAJES



SOLICITADO : P y V Ings. (Dr. Alva)

PROYECTO : Castrol del Peru S.A.

UBICACION : Callao

SONDAJE : SPT-2

FECHA : Diciembre 1989

OPERADOR : V.V.

TIPO DE SONDAJE : SPT

PROFUNDIDAD N.F. : No se encontró.

ESTUDIO N° 22

PROF. (mt)	FUSORIO (mt)	MUESTRAS OBTENIDAS	PRUEBAS DE CAMPO		SIMBOLOGIA	CLASIF. (SUCS)	DESCRIPCION DEL MATERIAL	ENSAYO DE PENETRACION ESTANDAR							
			D.N. (gr/cm3)	H.N. (%)				PROF. (mt)	NUMERO DE GOLPES /PIE	GRAFICA DE N					
										0	10	20	30	40	50
1.00	1.00					SC	Relleno. Arena arcillosa. Marrón oscura. Con grava.	1.00							
1.45	0.45			19.4		CL	Arcilla limosa. Amarillenta. Con caliches. 79 % finos.	1.45	1- 1- 2 N= 3						
	2.55			18.1		ML	Limo arenoso. Marrón amarillento. Con caliches.	2.00							
								2.45	2-10-13 N=23						
								3.00							
								3.45	5- 7- 7 N=14						
4.00								4.00							
	1.00			18.8		CL	Arcilla limosa. Marrón. Mediana plasticidad. Caliche. 70 a 98 % de finos. Lente de arcilla plástica.	4.45	5- 8- 8 N=16						
5.00								5.00							
	1.00			17.5		ML	Limo arenoso. Amarillento. No plástico. 70 % finos. Medianamente húmedo. Medianamente compacto.	5.45	7-11-15 N=26						
6.00								6.00							
	0.95			7.1		SM	Arena limosa. Marrón amarillenta. Densa. Ligera humedad. Se encontró gravilla de 1".	6.50	11-17-17 N=34						
6.95								6.95	20-32-28 N=60						

REGISTRO DE SONDAJES



OPERADOR : J.V.

ESTUDIO Nº 23

PROF. (mt)	ESTRATO (mt)	MUESTRAS OBTENIDAS	PRUEBAS DE CAMPO		SIMBOLOGIA	CLASIF. (SUCS)	DESCRIPCION DEL MATERIAL	ENSAYO DE PENETRACION ESTANDAR							
			D.N. (gr/cm3)	H.N. (%)				PROF. (mt)	NUMERO DE GOLPES /PIE	GRAFICA DE N					
										0	10	20	30	40	50
3.80	3.80	M-1				SM	Arena limosa húmeda. Marrón algo oscura. No plástico. Inorgánico. Poco compacto. La arena es fina. Mal graduada. De granos subangulares. Algunos lentes arcillosos plásticos.	1.50	N=12						
								1.95							
								3.00	N=12						
								3.45							
								4.40	0.60		M-2				SP-SM
5.05	0.65	M-3				SM	Idem al primer estrato.	4.95 5.05							
6.40	1.35	M-4				GP-SM	Mezcla de gravas y arenas. Piedras subangulares. Rugosas. Medianamente graduadas. La arena es fina a media. Mal graduada. Compacidad media.	5.50	N=60						



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA

FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL

CISMID - Laboratorio Geotécnico

REGISTRO DE SONDAJES



SOLICITADO : MARINA DE GUERRA (MICHELENA INGS.)

PROYECTO : ESCUELA DE SUBMARINOS

UBICACION : BASE NAVAL DEL CALLAO

SONDAJE : P-1

FECHA : MAYO 1987

OPERADOR : U.F.A.

TIPO DE SONDAJE : SPT

PROFUNDIDAD N.F. : 1.00 mt

ESTUDIO N° 25

PROF. (mt)	ESTRATO (mt)	MUESTRAS OBTENIDAS	PRUEBAS DE CAMPO		SIMBOLOGIA GRAFICA	CLASIF. (SUCS)	DESCRIPCION DEL MATERIAL	ENSAYO DE PENETRACION ESTANDAR							
			D.N. (gr/cm3)	H.N. (%)				PROF. (mt)	NUMERO DE GOLPES /PIE	GRAFICA DE N					
										0	10	20	30	40	50
1.00	1.00	S/M	2.0			GM	Relleno.Grava arenosa limosa.Densa. Húmeda.Marrón plomizo con cantos sub redondeados de t.m. 6".								
2.50	1.50	M-1	2.0			SP-SM	Arena fina mal graduada.Ligeramente limosa.Medianamente densa.Muy húmeda a saturada.Plomo oscuro.Olor putre- facto.Presencia de conchuelas.	1.95							
								2.40	N=11						
4.30	1.80	M-2	2.0			SP	Arena fina a media mal graduada.Me- dianamente densa.Saturada.Plomo os- curo.Presencia de conchuelas.	3.20							
								3.65	N=14						
6.40	2.10	M-3	2.0			SM	Arena fina a media.Limosa.Medianamen- te densa.Saturada.Plomo oscuro.Con conchuelas.	4.60							
								5.05	N=15						
7.40	1.00	M-4	2.0			ML	Limo arenoso no plástico.Compacto.Sa- turado.Plomo oscuro.	6.65	N=14						
								7.00							
9.40	2.00	M-5	1.8			ML	Limo arenoso con lentes de arcilla a- renosa de 0.05 cm. Plasticidad baja. Medianamente compacto a blando.Satu- rado.Plomo.Con conchuelas.	7.45	N= 9						
								8.00							
								8.45	N= 5						
								9.00							
9.70	0.30	M-6	1.8			ML	Limo arcilloso.Plasticidad baja.Blan- do.Saturado.Plomo oscuro.	9.45	N= 4						



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL
CISMID - Laboratorio Geotécnico



REGISTRO DE SONDAJES

SOLICITADO : MARINA DE GUERRA (MICHELENA INGS.)

PROYECTO : ESCUELA DE SUBMARINOS

UBICACION : BASE NAVAL DEL CALLAO

SONDAJE : P-1

FECHA : MAYO 1987

OPERADOR : U.F.A.

TIPO DE SONDAGE : SPT

PROFUNDIDAD N.F. : 1.00 mt

PROF. (mt)	ESTRATORIO (mt)	MUESTRA OBTENIDA	PRUEBAS DE CAMPO		SIMBOLOGIA	CLASIF. (SUCS)	DESCRIPCION DEL MATERIAL	ENSAYO DE PENETRACION ESTANDAR		
			D.N. (gr/cm3)	H.N. (%)				PROF. (mt)	NUMERO DE GOLPES / PIE	GRAFICA DE N
10.70	1.00	M-7	1.8			CL	Arcilla limosa. Plasticidad media. Muy blanda. Saturada. Plomo verdoso. Con restos de conchuelas.	10.00		
								10.45	N= 2	
								11.00		
12.10	1.40	M-8	1.8			ML	Limo arenoso arcilloso. Plasticidad baja. Medianamente compacto. Saturado. Plomo claro. Con conchuelas.	11.45	N= 8	
								12.20		
12.70	0.60	M-9	2.0			SM	Arena fina limosa. Suelta. Saturada. Plomo. Con conchuelas abundantes.	12.65	N= 8	
13.00	0.30	M-10	2.0			ML	Limo arenoso ligeramente arcilloso.	13.00		
13.60	0.60	M-11	2.0			CL	Arcilla limosa. Plasticidad media. Medianamente compacta. Saturada. Plomo verdoso. Lentes de arena limosa.	13.45	N= 7	
14.00	0.40	M-12	2.0			ML		14.00		
14.80	0.80	M-13	2.0			ML	Limo arenoso oscuro no plástico medianamente compacto. Saturado. Plomo oscuro. Abundantes conchuelas y lentes de arena limosa y arcilla.	14.45	N= 5	
15.50	0.70	M-14	2.0			ML		15.00		
								15.45	N=27	
17.20	1.70	M-15	2.2			GP	Grava arenosa mal graduada. Muy densa Plomo claro. Con cantos subredondeado. Con conchuelas.	16.00		
								16.45	N>50	
								17.00		
								17.45	N>50	
19.30	2.10	M-16				SP	Arena gravosa mal graduada. Densa. Saturada. Plomo claro. Con conchuelas.	18.00		
								18.45	N=36	
								19.00		
20.00	0.70	M-17				GP	Grava arenosa mal graduada. Densa. Saturada. Plomo claro. Con cantos subredondeados. Con conchuelas.	19.45	N=49	

REGISTRO DE SONDAJES



OPERADOR : A.M.I.-V.C.L.

ESTUDIO N° 28

[illegible]



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA

FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL

CISMID - Laboratorio Geotécnico

REGISTRO DE SONDAJES



SOLICITADO : IGLESIA J.S.U.D. (ING. DONGO)

PROYECTO : TEMPLO

UBICACION : JR. CONTRALMIRANTE VILLAR

SONDAJE : PS-3

FECHA : AGOSTO 1985

OPERADOR : A.M.I.-V.C.L.

TIPO DE SONDAGE : SPT

PROFUNDIDAD N.F. : No se encontro.

PROF. (mt)	ESTRATO (mt)	MUESTRAS OBTENIDAS	PRUEBAS DE CAMPO		SIMBOLOGIA	CLASIF. (SUCS)	DESCRIPCION DEL MATERIAL	ENSAYO DE PENETRACION ESTANDAR																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																
			D.N. (gr/cm3)	H.N. (%)				PROF. (mt)	NUMERO DE GOLPES /PIE	GRAFICA DE N																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																														



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA

FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL

CISMID - Laboratorio Geotécnico

REGISTRO DE SONDAJES



SOLICITADO : CERRO DE PASCO CORPORATION

PROYECTO : MUROS DE SOSTENIMIENTO

UBICACION : AV. GUARDIA CHALACA CDRA. 1

SONDAJE : PS-2

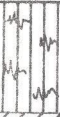
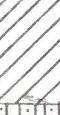
FECHA : DICIEMBRE 1969.

OPERADOR : LAB. MECANICA DE SUELOS-UNI.

TIPO DE SONDAGE : SPT

PROFUNDIDAD N.F. : 5.00 mt

ESTUDIO Nº 29

PROF. (mt)	FUSION (mt)	MUESTRA OBTENIDA	PRUEBAS DE CAMPO		SIMBOLOGIA	CLASIF. (SUCS)	DESCRIPCION DEL MATERIAL	ENSAYO DE PENETRACION ESTANDAR							
			D.N. (gr/cm3)	H.N. (%)				PROF. (mt)	NUMERO DE GOLPES /PIE	GRAFICA DE N					
										0	10	20	30	40	50
0.70	0.70	M-1				ML	Limo inorgánico de baja plasticidad. Contaminado con materia orgánica.								
1.40	0.70	M-2				CL	Arcilla de baja plasticidad con mate ria orgánica.	0.90							
								1.35	2- 3- 3 N= 6						
2.30	0.90	M-3				SM	Arena limosa con materia orgánica.	1.80	5- 3- 5 N= 8						
								2.25	5- 4- 5 N= 9						
3.20	0.90	M-4				CL	Arcilla inorgánica de baja plastici- dad. Color plomo oscuro con raíces y turba. Húmeda.	2.70	1- 1- 1 N= 2						
3.70	0.50	M-5				SM	Arena limosa pobremente graduada. Presencia de trazas de turba.	3.15	1- 4- 8 N=12						
								3.60	5-10-11 N=21						
5.00	1.30	M-6				CL-ML	Arcilla limosa de baja plasticidad.	4.05	7-10-17 N=27						
								4.50	5- 8- 9 N=17						
								4.95	6-13-15 N=28						
6.20	1.80	M-7				CL	Arcilla inorgánica de media a baja plasticidad. Color amarilla, con are- na fina pobremente graduada.	5.40	5- 8- 9 N=17						
								5.85	18-28-38 N=66						
								6.30	8- 9-12 N=21						
								6.75	6-20-11 N=31						
7.70	0.90	M-8				CH	Arcilla inorgánica de alta plastici- dad de diferentes colores y humedad.	7.20	3- 3- 6 N= 9						
								7.65	1- 3- 5 N= 8						



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL



CENTRO PERUANO-JAPONES
DE INVESTIGACIONES SISMICAS
Y MITIGACION DE DESASTRES

CAL
Callao

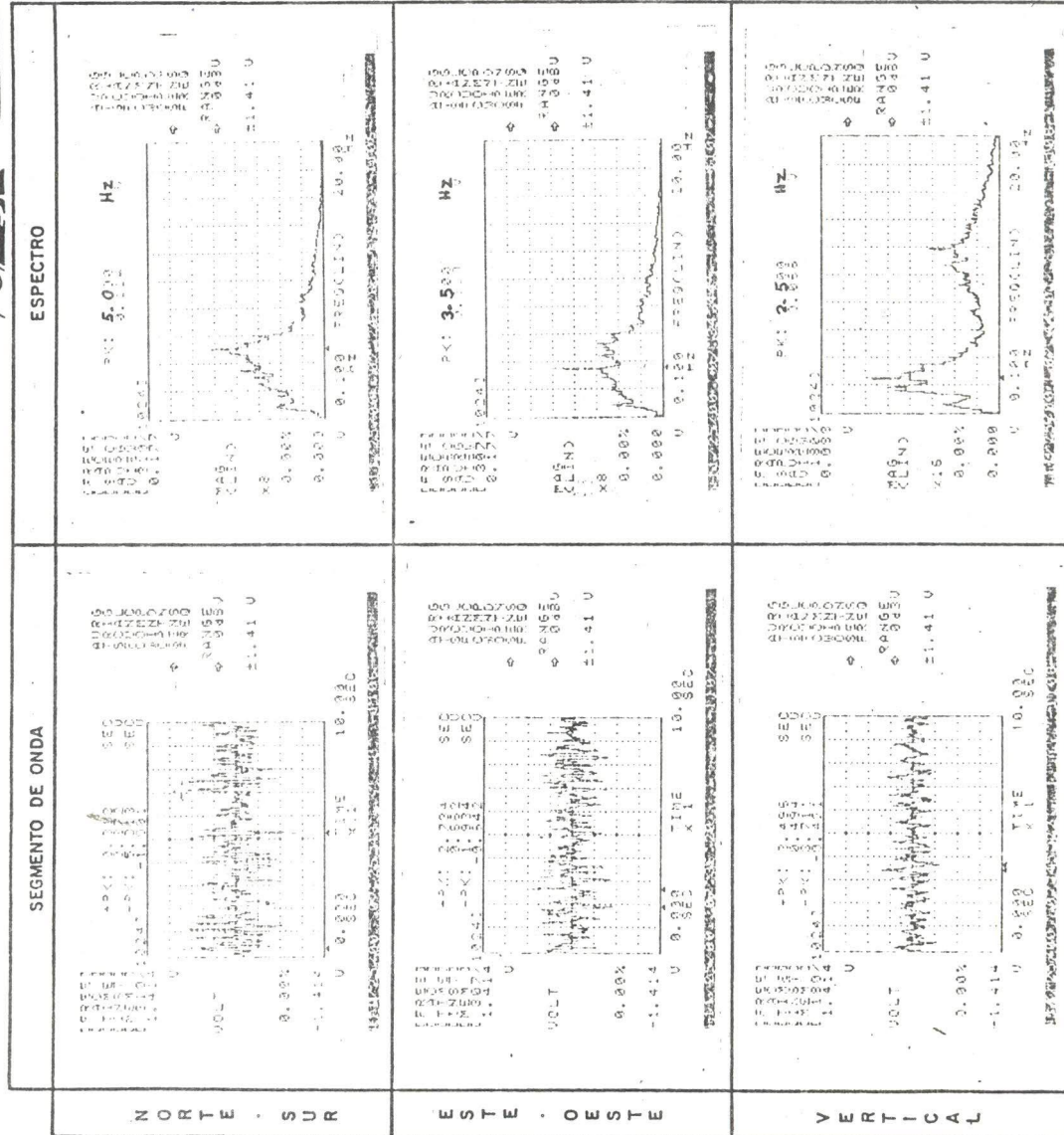
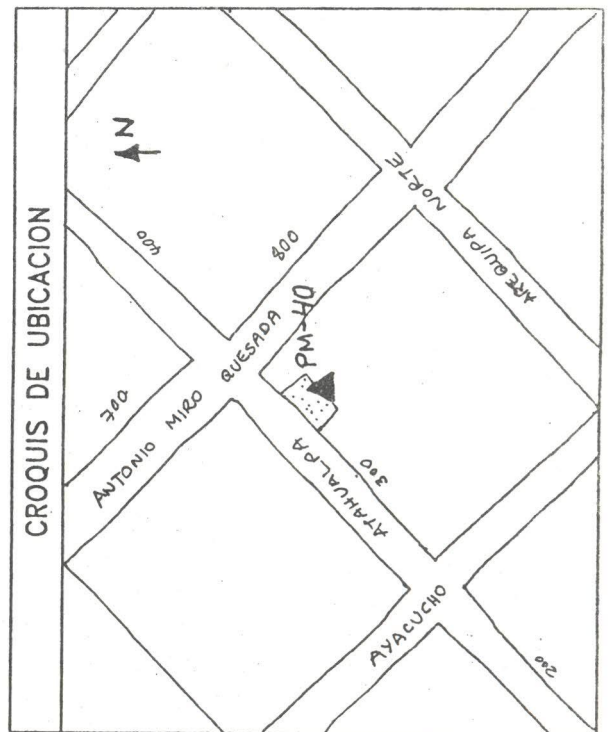
FICHA DE MEDICION DE MICROTREPIDACIONES

SEGMENTOS DE ONDA Y ESPECTROS
UTILIZADOS EN EL ANALISIS PARA EL
CALCULO DEL PERIODO PREDOMINANTE

Proyecto: MICROZONIFICACION SISMICA DE LA PUNTA Y EL CALLAO	
Fecha: 26/02/90	Operador: C.E.H.E. Punto def.: PM-40
Ubicación: Jr. Atahualpa-Cuadra 3 - Callao.	

MEDICION		ATENUACION	
Cassette N°	III-21	Componente	dB
Hora	12:54	N-S	6
Tiempo grabado	6'05"	E-O	6
Tiempo útil	1'43"	V	6

Observaciones: Se midió en el interior de un local universitario. Paso de vehículos por Jr. Atahualpa a unos 15 m).



CONCLUSION: El período predominante del suelo es 0.25 seg.
La amplitud máxima horizontal promedio es 0.42u.



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL

FICHA DE MEDICION DE MICROTREPIDACIONES

CENTRO PERUANO-JAPONES
DE INVESTIGACIONES SISMICAS
Y MITIGACION DE DESASTRES



CAL
Callao

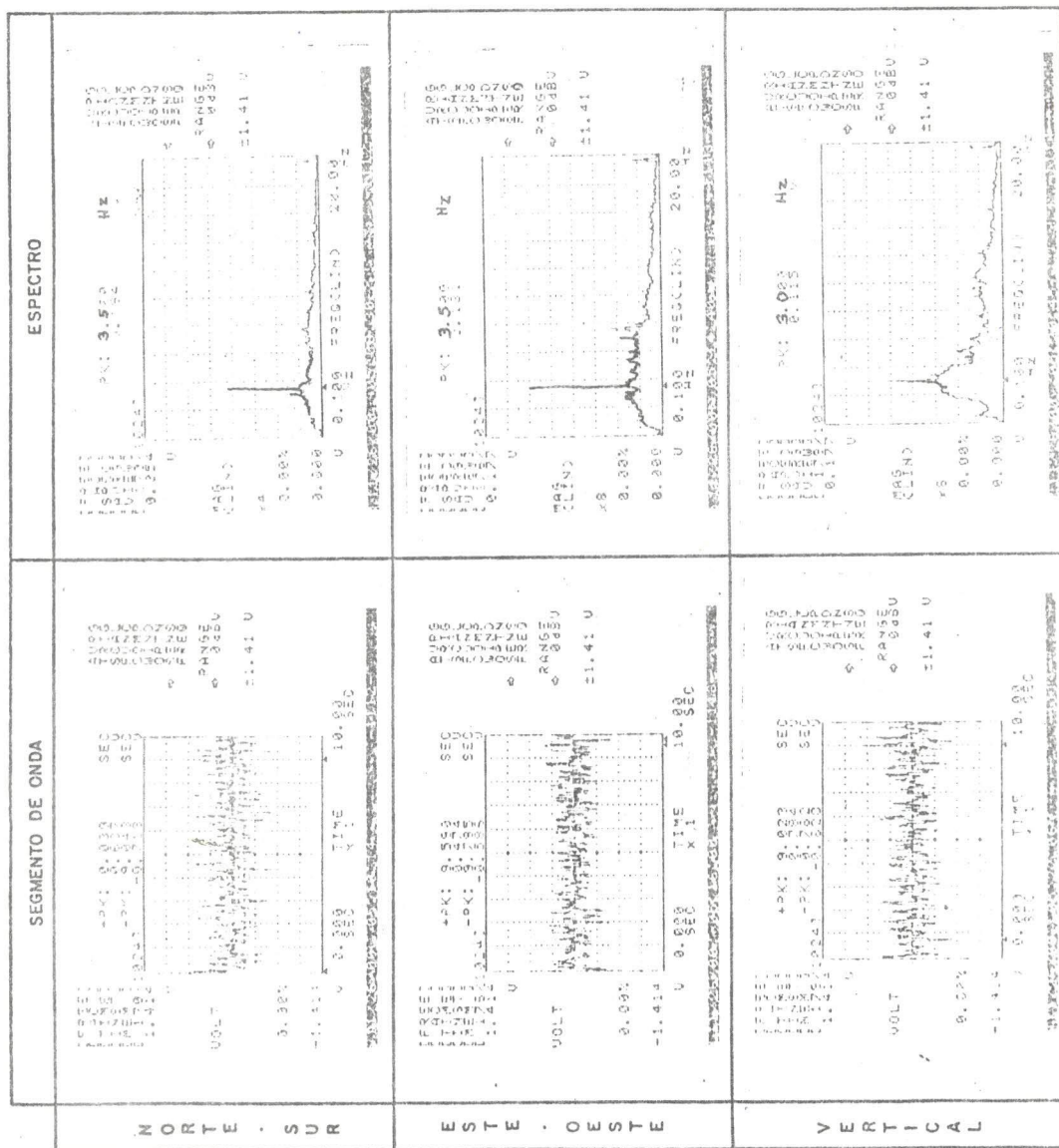
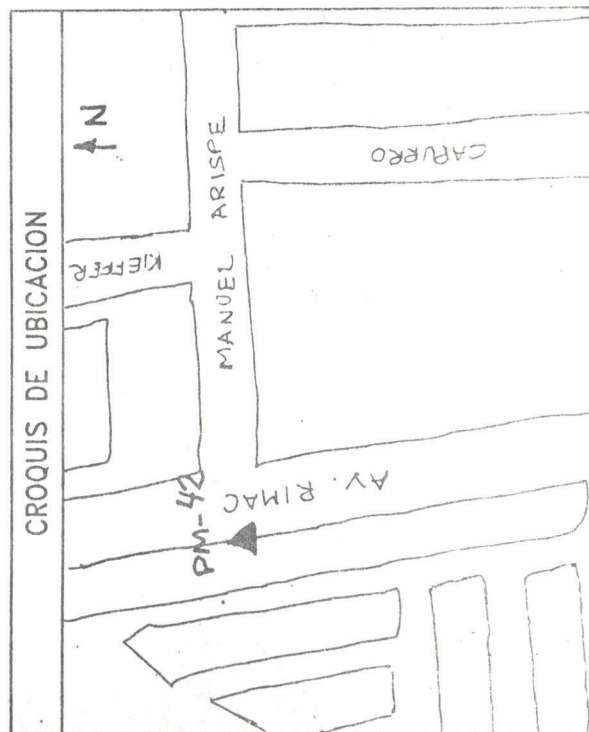
SEGMENTOS DE ONDA Y ESPECTROS
UTILIZADOS EN EL ANALISIS PARA EL
CALCULO DEL PERIODO PREDOMINANTE

Proyecto: MICROZONIFICACION SISMICA DE LA PUNTA Y EL CALLAO	
Fecha: 26/02/90	Operador: C.E.H.E. Punto def.: PM-42
Ubicación: Av. Rimac y Jr. Arispe-Lote Industrial La Chalaca-Callao.	
MEDICION	
Cassette N°	III-25
Hora	14:47
Tiempo grabado	4'27"
Tiempo útil	1'08"
Observaciones: Zona industrial. Tráfico vehicular pesado por momentos.	

ATENUACION

Componente	dB
N-S	6
E-O	6
V	0

CROQUIS DE UBICACION



CONCLUSION: El periodo predominante del suelo es 0.29 seg.
La amplitud máxima horizontal promedio es 0.32u.



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL

FICHA DE MEDICION DE MICROTREMIDACIONES

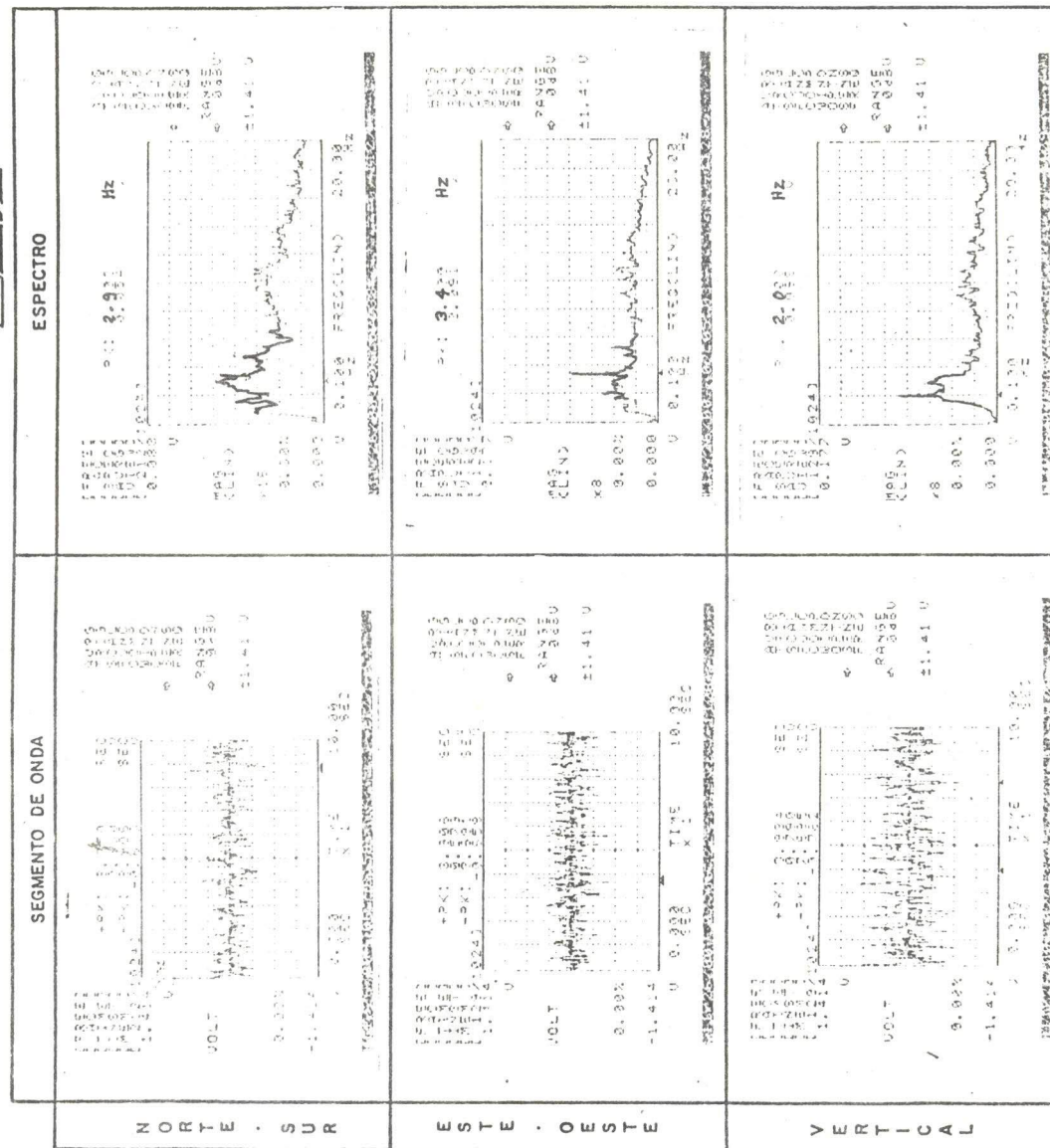
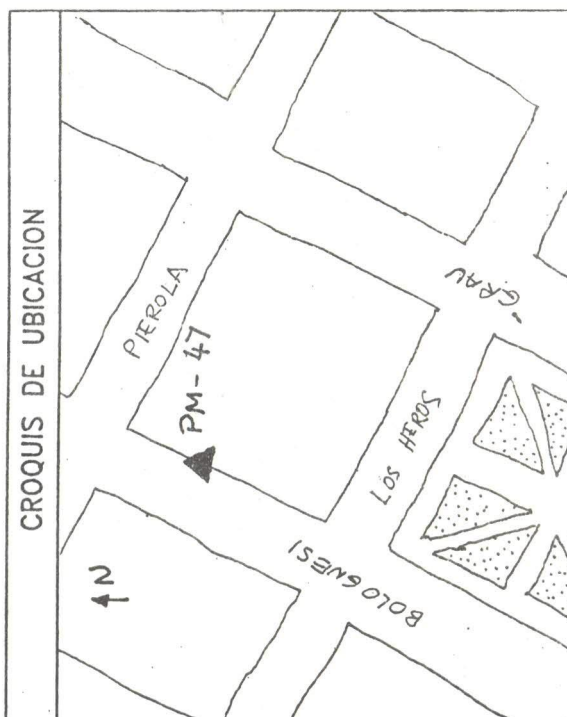
CENTRO PERUANO-JAPONES
DE INVESTIGACIONES SISMICAS
Y MITIGACION DE DESASTRES



CAL
Bellav

SEGMENTOS DE ONDA Y ESPECTROS
UTILIZADOS EN EL ANALISIS PARA EL
CALCULO DEL PERIODO PREDOMINANTE

Proyecto: MICROZONIFICACION SISMICA DE LA PUNTA Y EL CALLAO			
Fecha: 26/02/90	Operador: C.E.H.E.	Punto def.: PM-47	
Ubicación: Jr. Bolognesi Guadra 3 - Bellavista			
MEDICION		ATENUACION	
Cassette N°	III-35	Componente	dB
Hora	17:03	N-S	6
Tiempo grabado	7'03"	E-O	6
Tiempo útil	1'01"	V	6
Observaciones: Sensores entre 2 árboles de raíz profunda, junto a una calle transitada. Paso de personas.			



CONCLUSION: El periodo predominante del suelo es 0.32 seg.
La amplitud máxima horizontal promedio es 0.32u.



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL

FICHA DE MEDICION DE MICROTREPIDACIONES

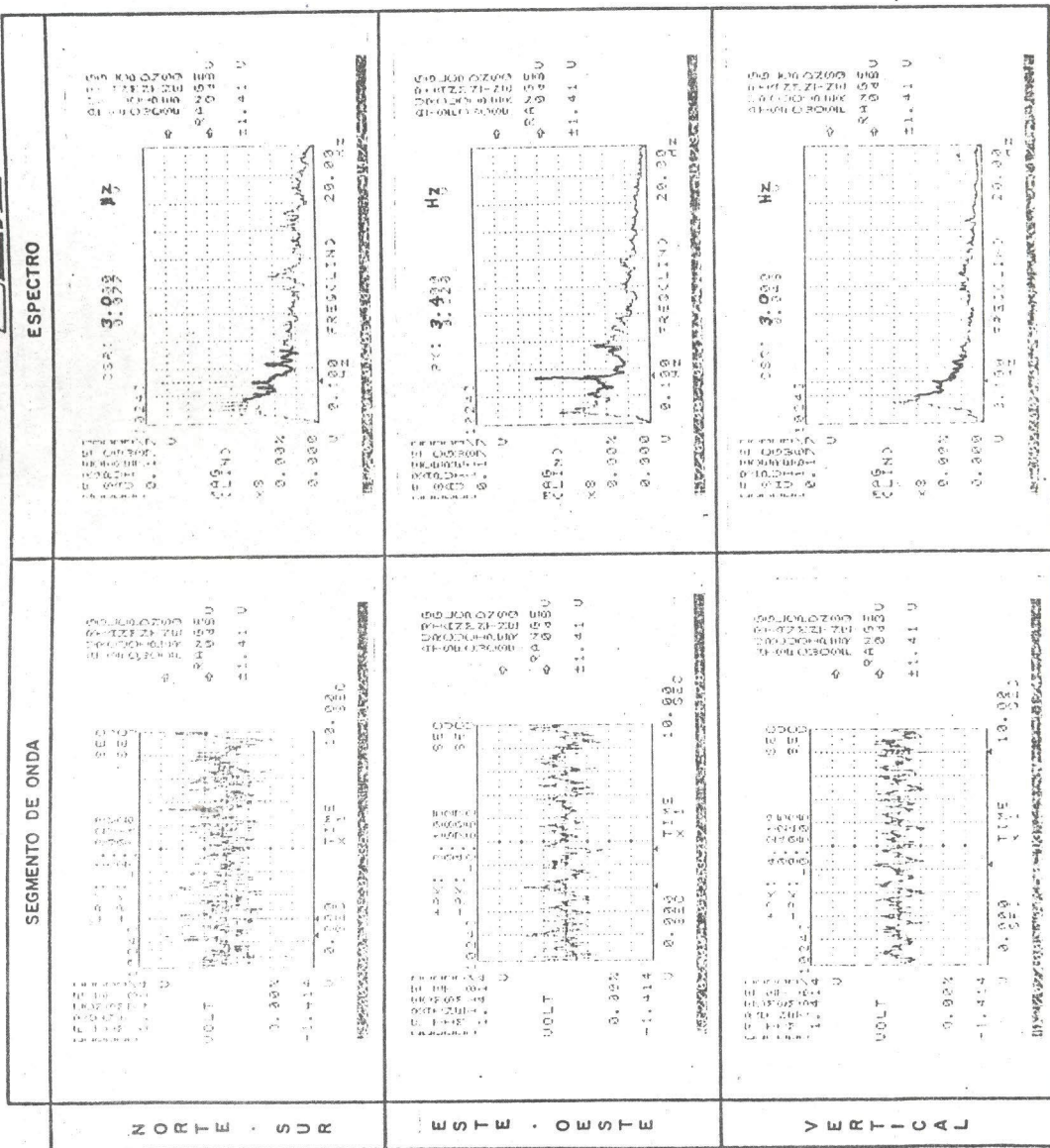
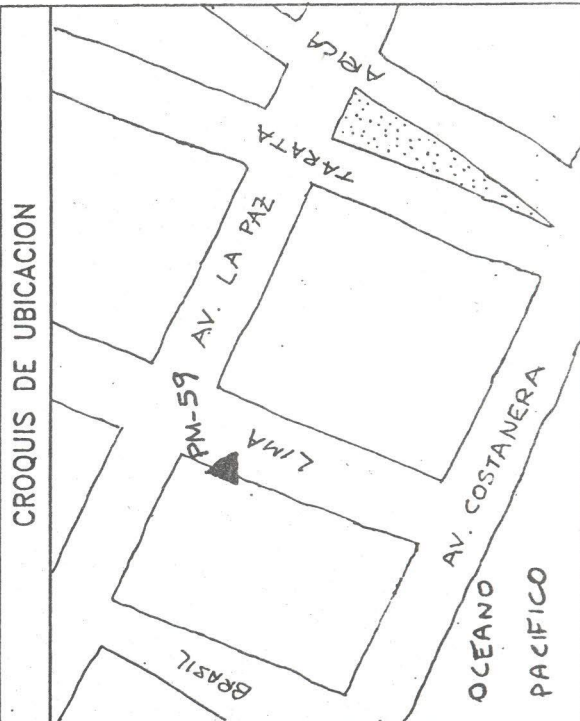
CENTRO PERUANO-JAPONES
DE INVESTIGACIONES SISMICAS
Y MITIGACION DE DESASTRES



CAL
La Perla

SEGMENTOS DE ONDA Y ESPECTROS
UTILIZADOS EN EL ANALISIS PARA EL
CALCULO DEL PERIODO PREDOMINANTE

Proyecto: MICROZONIFICACION SISMICA DE LA PUNTA Y EL CALLAO	
Fecha: 28/02/90	Operador: C.E.H.E. Punto def.: PM-59
Ubicación: Av. La Paz y Jr. Lima - La Perla.	
MEDICION	
Cassette N°	IV-22/23
Hora	15:56/15:57
Tiempo grabado	1'05"/4'02"
Tiempo útil	0'46"
ATENUACION	
Componente	dB
N-S	0
E-O	0
V	0
Observaciones: Sensores colocados sobre un posible relleno. Olas de mar revientan a 150 m. Fuerte viento N-S.	



CONCLUSION: El periodo predominante del suelo es 0.31 seg.
La amplitud máxima horizontal promedio es 0.23 u.



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL

FICHA DE MEDICION DE MICROTREPIDACIONES



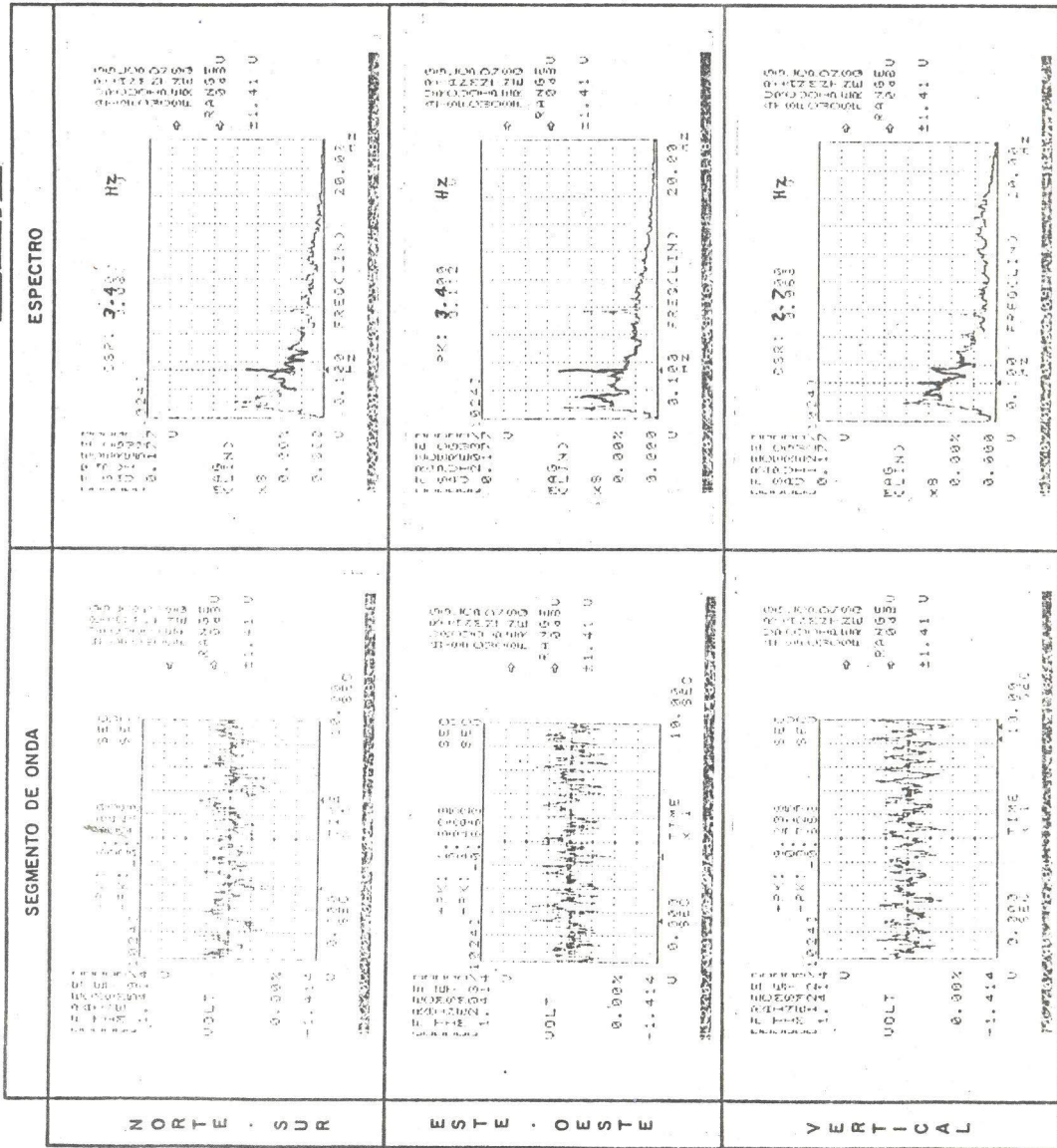
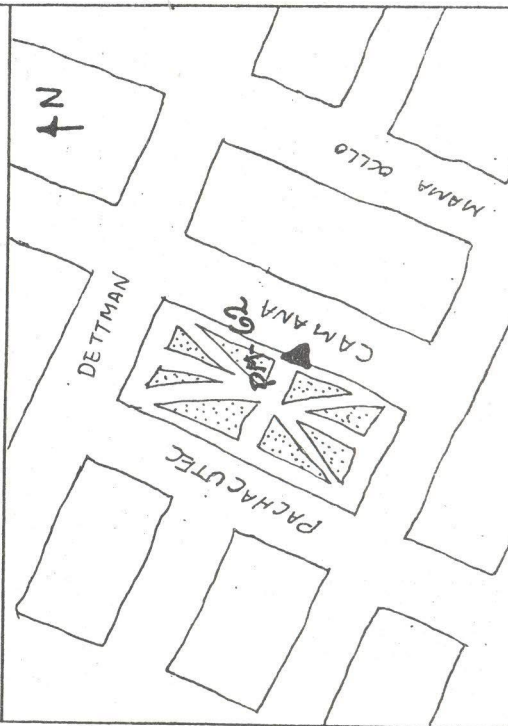
CENTRO PERUANO-JAPONES
DE INVESTIGACIONES SISMICAS
Y MITIGACION DE DESASTRES

CAL
La Perla

SEGMENTOS DE ONDA Y ESPECTROS
UTILIZADOS EN EL ANALISIS PARA EL
CALCULO DEL PERIODO PREDOMINANTE

Proyecto: MICROZONIFICACION SISMICA DE LA PUNTA Y EL CALLAO	
Fecha: 28/02/90	Operador: C.E.H.E. Punto def.: PN-62
Ubicación: Jr. Camaná Cuadra 2- Parque- La Perla	
MEDICION	
Cassette N°	IV-29
Hora	16:59
Tiempo grabado	4'02"
Tiempo útil	0'50"
Observaciones: Fuerte viento N-S. Tráfico lejano.	
ATENUACION	
Componente	dB
N-S	0
E-O	0
V	0

CROQUIS DE UBICACION



CONCLUSION: El periodo predominante del suelo es 0.29 seg.
La amplitud máxima horizontal promedio es 0.17 u.



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL

CENTRO PERUANO-JAPONES
DE INVESTIGACIONES SISMICAS
Y MITIGACION DE DESASTRES



CAL
Callac

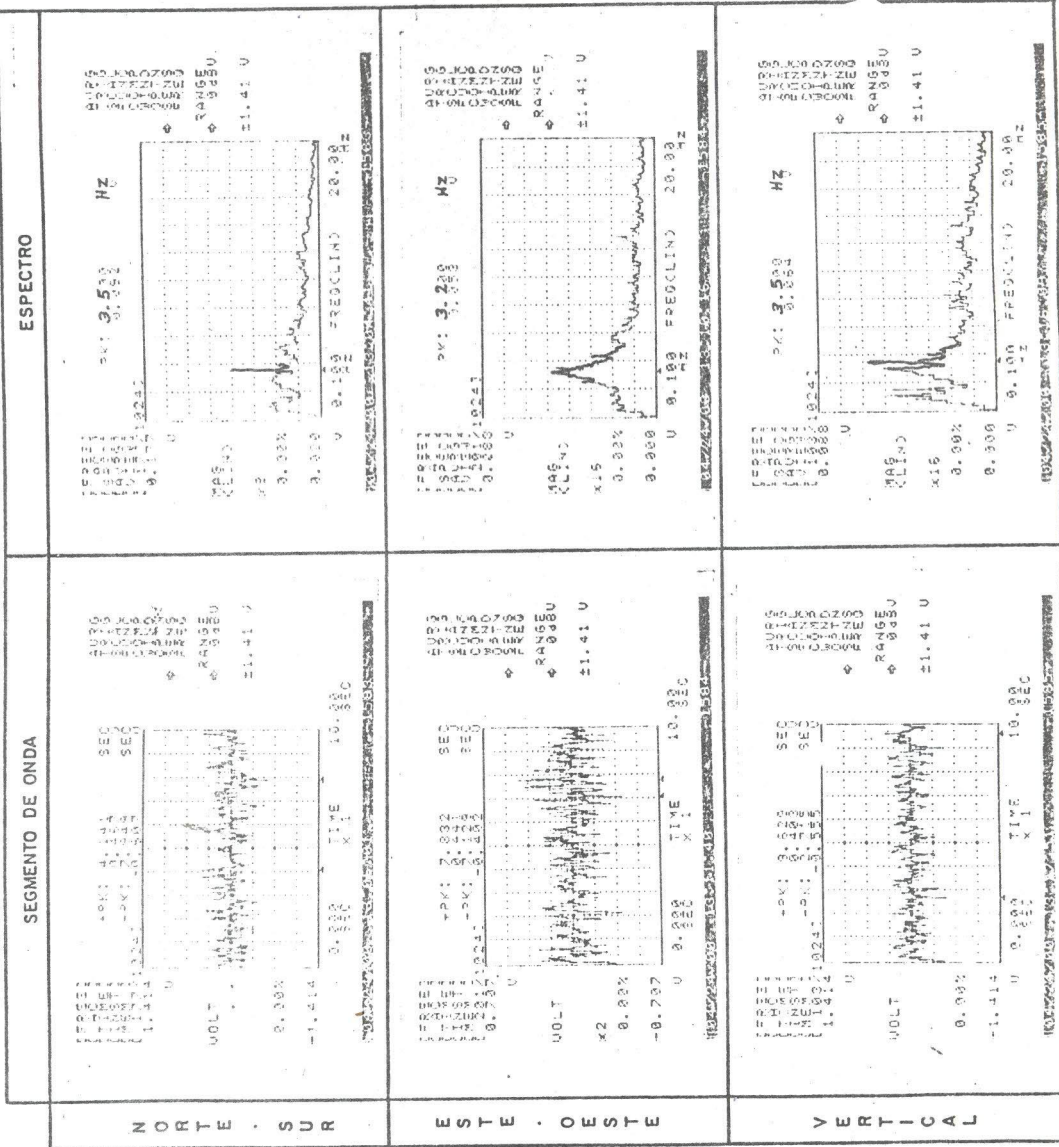
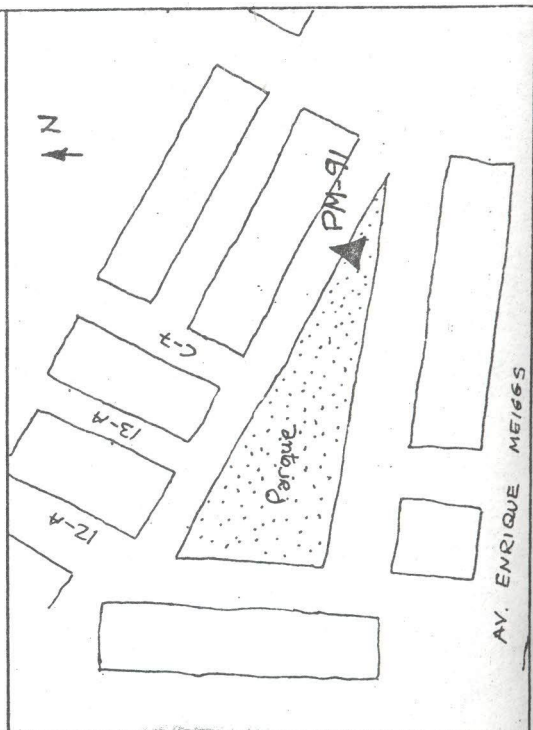
FICHA DE MEDICION DE MICROTREPIDACIONES

SEGMENTOS DE ONDA Y ESPECTROS
UTILIZADOS EN EL ANALISIS PARA EL
CALCULO DEL PERIODO PREDOMINANTE

Proyecto: MICROZONIFICACION SISMICA DE LA PUNTA Y EL CALLAO	
Fecha: 21/03/90	Operador: C.E.H.E. Punto def.: PM-91
Ubicación: Urb. Santa Cruz, Parque, Calbo	
MEDICION	
Cassette N°	V-38
Hora	15:10
Tiempo grabado	4'02"
Tiempo útil	1'02"
Observaciones: Sopa viento. Paso de personas. Niños jugando a 8m.	

ATENUACION	
Cassette N°	Componente
V-38	N-S
15:10	E-O
4'02"	V
1'02"	

CROQUIS DE UBICACION



CONCLUSION: El período predominante del suelo es 0.30 seg.
La amplitud máxima horizontal promedio es 0.13 u.



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL

CENTRO PERUANO-JAPONES
DE INVESTIGACIONES SISMICAS
Y MITIGACION DE DESASTRES

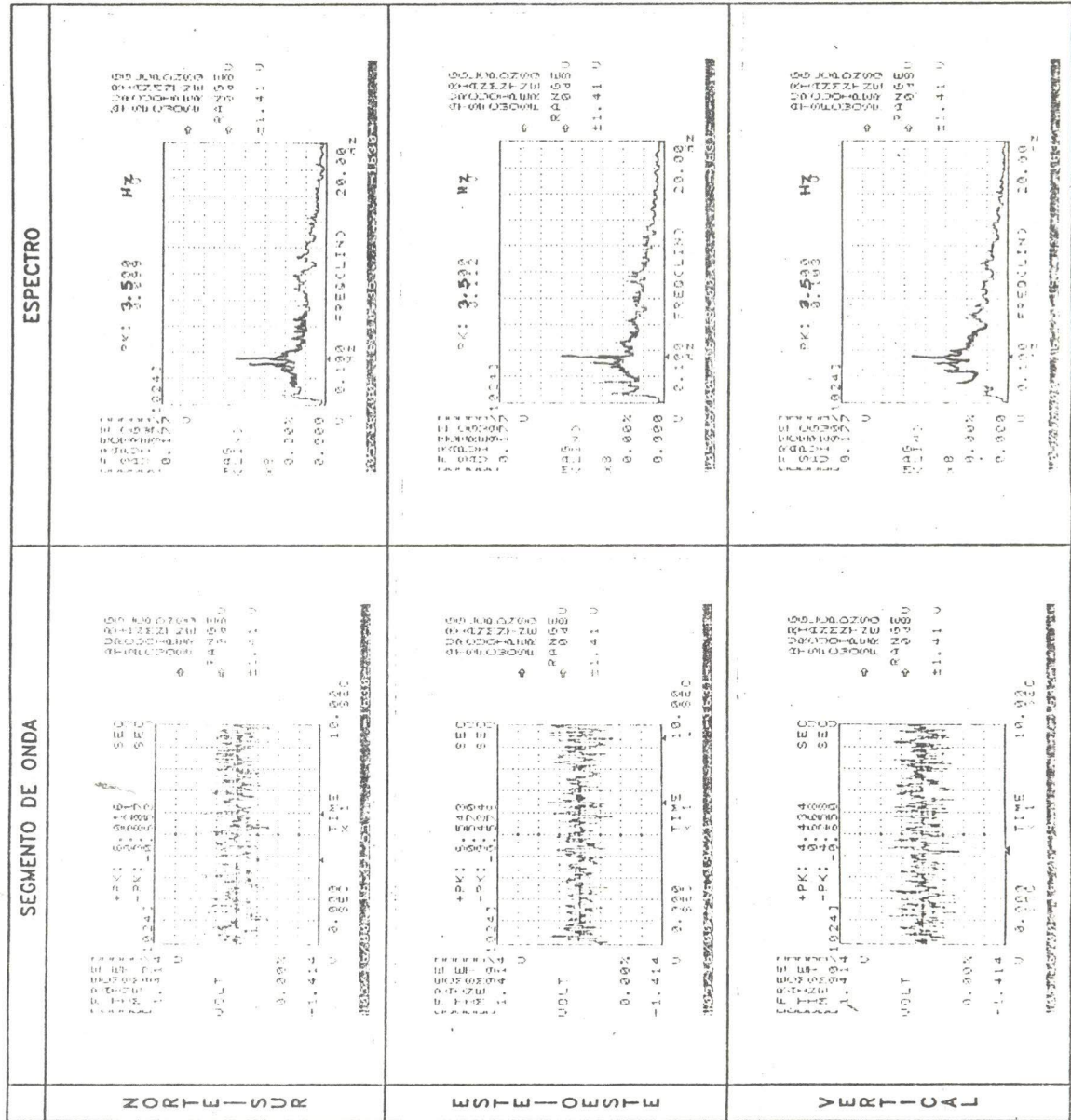


CAL
Callao

SEGMENTOS DE ONDA Y ESPECTROS
UTILIZADOS EN EL ANALISIS PARA EL
CALCULO DEL PERIODO PREDOMINANTE

Proyecto: MICROIDENTIFICACION SISMICA DE LA PUNTA Y EL CALLAO	
Fecha: 22/03/90	Operador: C.E.H.E. Punto def.: PM-105
Ubicación: Pasaje Boterín y Callejón Villegas - Callao	
ATENUACION	
Cassette N°	VII-16
Hora	15:03
Tiempo grabado	4'02"
Tiempo útil	0'37"
Observaciones: Paso frecuente de autos por Villegas. Circulan personas cerca.	

CROQUIS DE UBICACION	
N	
AV. ARGENTINA	
2300	
2400	
CALLEJON VILLEGAS	
PESCA PERU	
PM-105	
Pasaje Boterín	



CONCLUSIONES: El período predominante del suelo es 0.29 seg.
La amplitud máxima horizontal es 0.15 u.



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL

CENTRO PERUANO-JAPONES
DE INVESTIGACIONES SISMICAS
Y MITIGACION DE DESASTRES



CAL
Callao

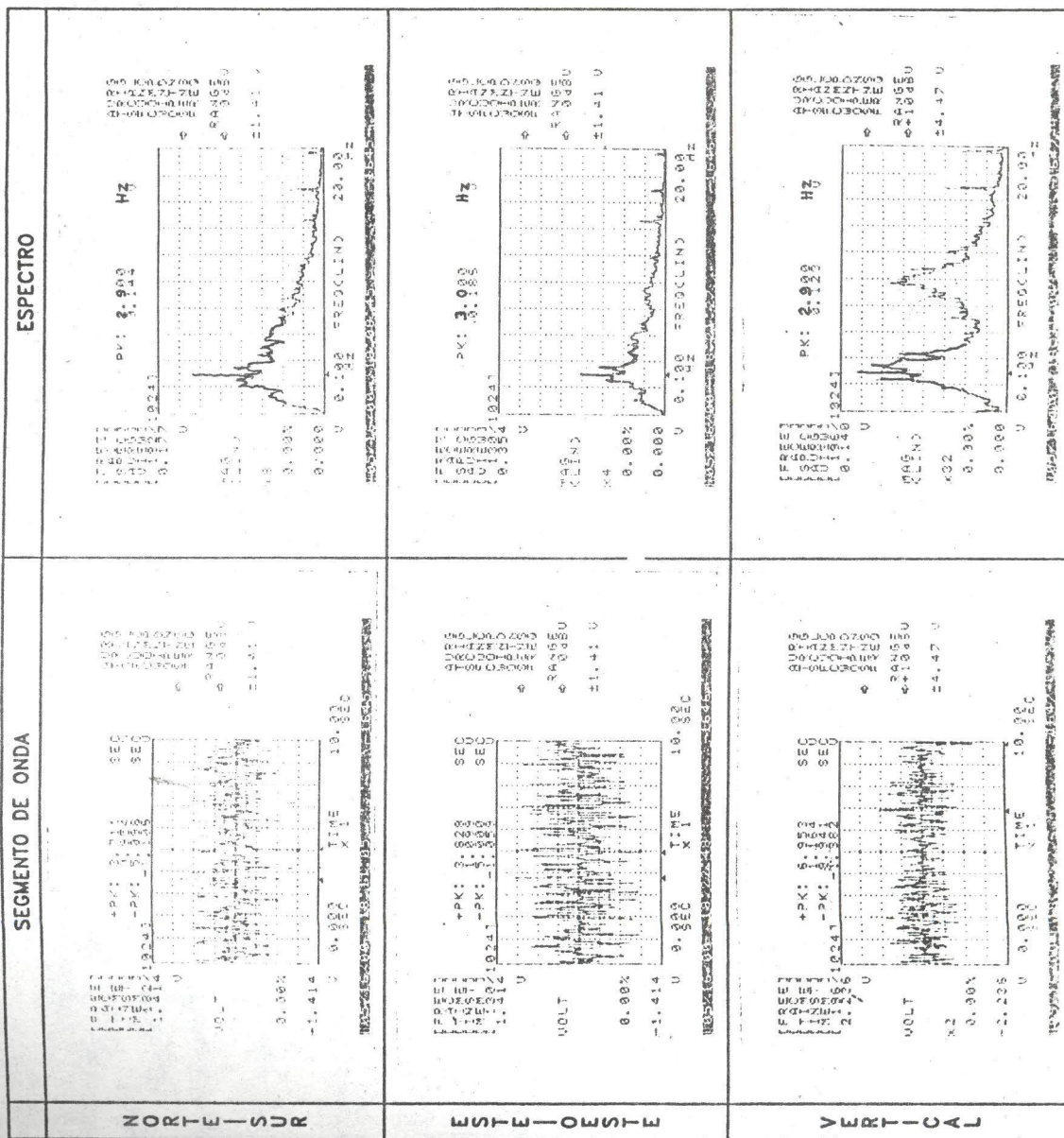
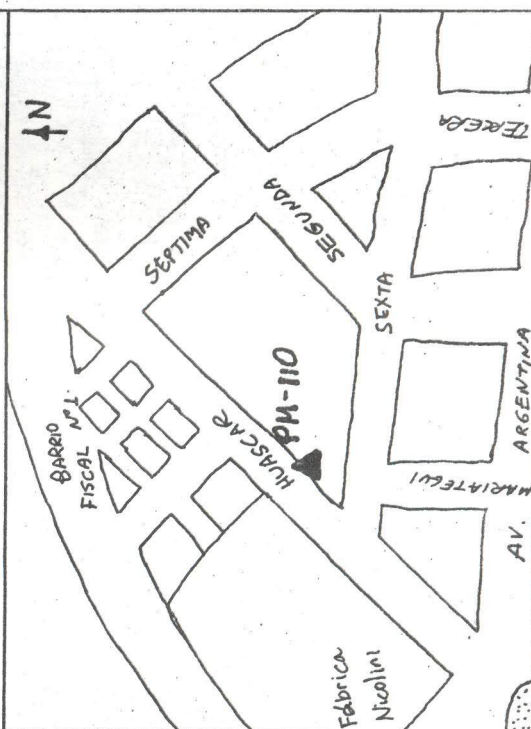
SEGMENTOS DE ONDA Y ESPECTROS
UTILIZADOS EN EL ANALISIS PARA EL
CALCULO DEL PERIODO PREDOMINANTE

Proyecto: MICROZONIFICACION SISMICA DE LA PUNTA Y EL CALLAO
Fecha: 22/03/90 Operador: C.E.H.E. Punto def.: PM-110
Ubicación: Jr. Huáscar - Cuadra 2 - Callao

MEDICION		ATENUACION	
Cassette N°	VI-26	Componente	dB
Hora	16:24	N-S	0
Tiempo grabado	5'00"	E-O	0
Tiempo útil	1'06"	V	0

Observaciones: Se oye ruido proveniente de la
fábrica Nicolini

CROQUIS DE UBICACION



CONCLUSIONES: El período predominante del suelo es 0.34 seg.
La amplitud máxima horizontal promedio es 0.28 u.



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL

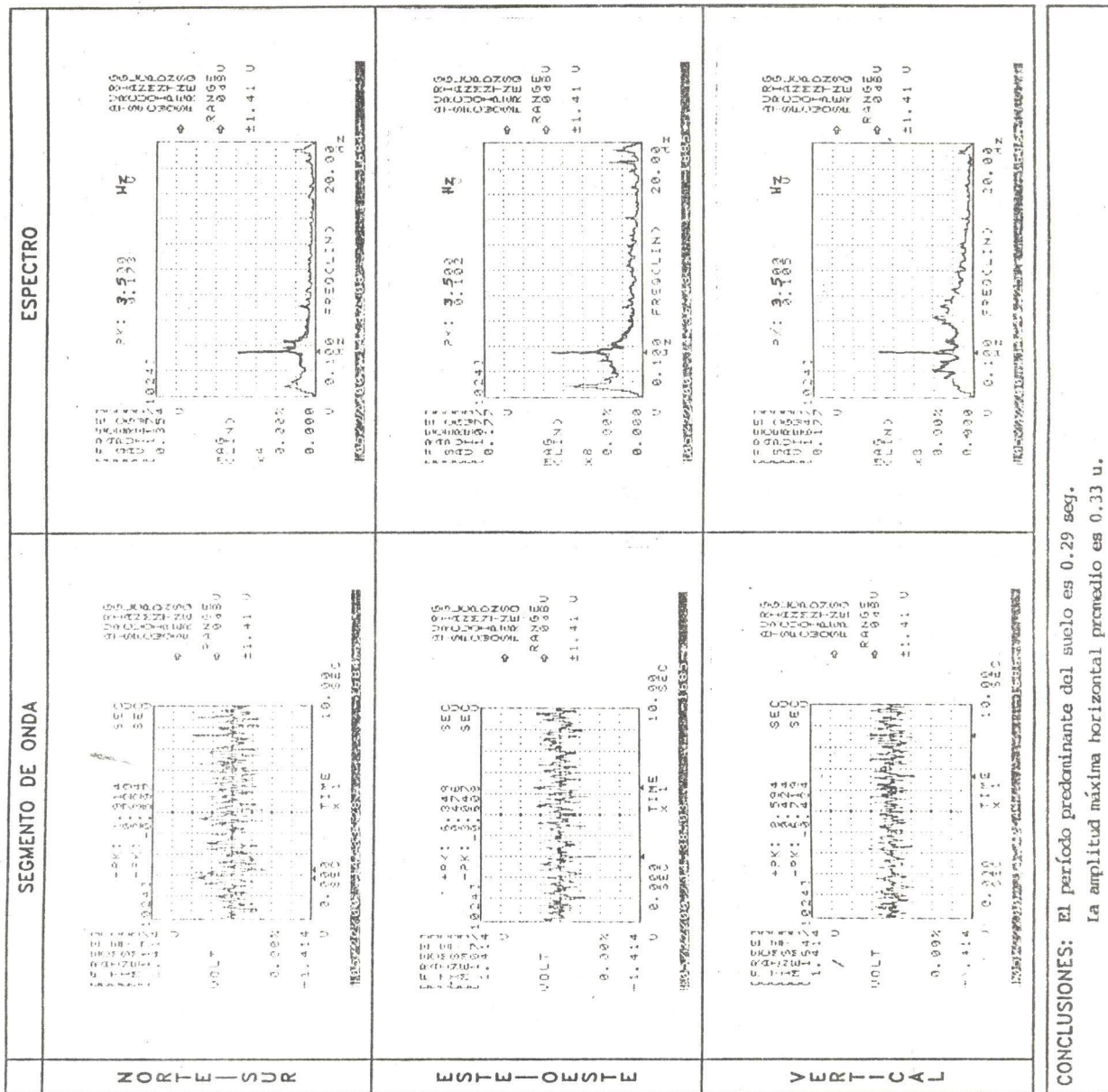
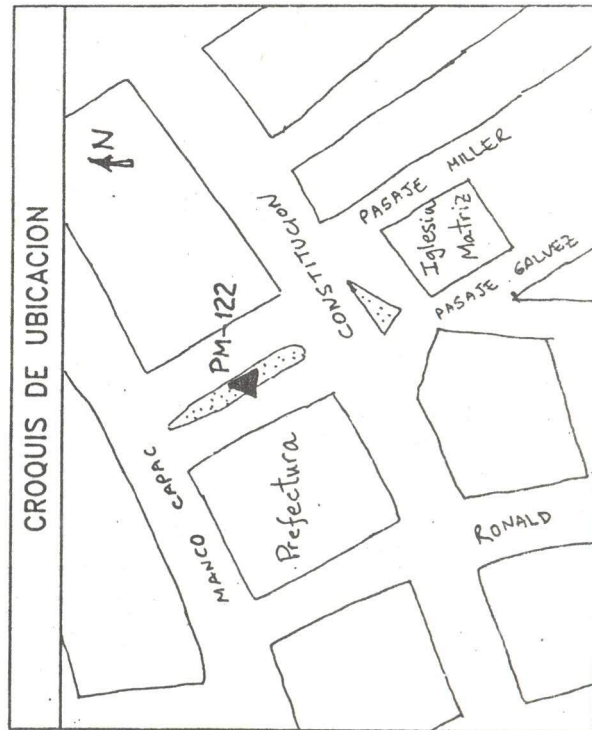
CENTRO PERUANO-JAPONES
DE INVESTIGACIONES SISMICAS
Y MITIGACION DE DESASTRES



CAL
Callao

SEGMENTOS DE ONDA Y ESPECTROS
UTILIZADOS EN EL ANALISIS PARA EL
CALCULO DEL PERIODO PREDOMINANTE

Proyecto: MICROFONIZACION SISMICA DE LA PUNTA Y EL CALLAO			
Fecha: 23/03/90	Operador: C.E.H.E	Punto def.: PM-122	
Ubicación: Jr. Constitución, frente a la Catedral - Callao			
MEDICION		ATENUACION	
Cassette N°	VI-50	Componente	dB
Hora	15:09	N-S	6
Tiempo grabado	5'30"	E-O	6
Tiempo útil	0'50"	V	6
Observaciones: Fuerte tráfico por el Jr. Constitución. Paso de personas.			



CONCLUSIONES: El período predominante del suelo es 0.29 seg.
La amplitud máxima horizontal promedio es 0.33 u.



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL

CENTRO PERUANO-JAPONES
DE INVESTIGACIONES SISMICAS
Y MITIGACION DE DESASTRES



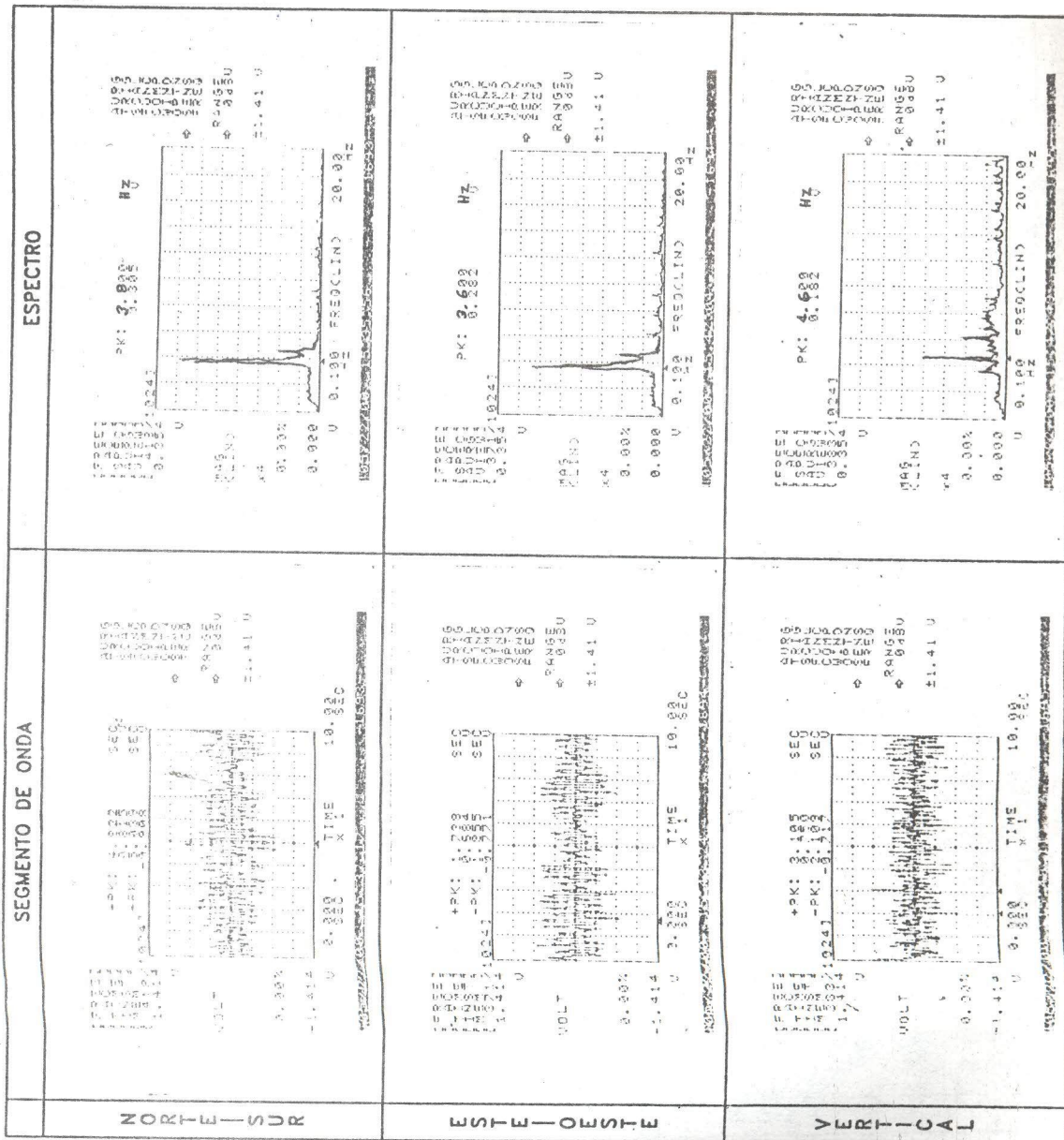
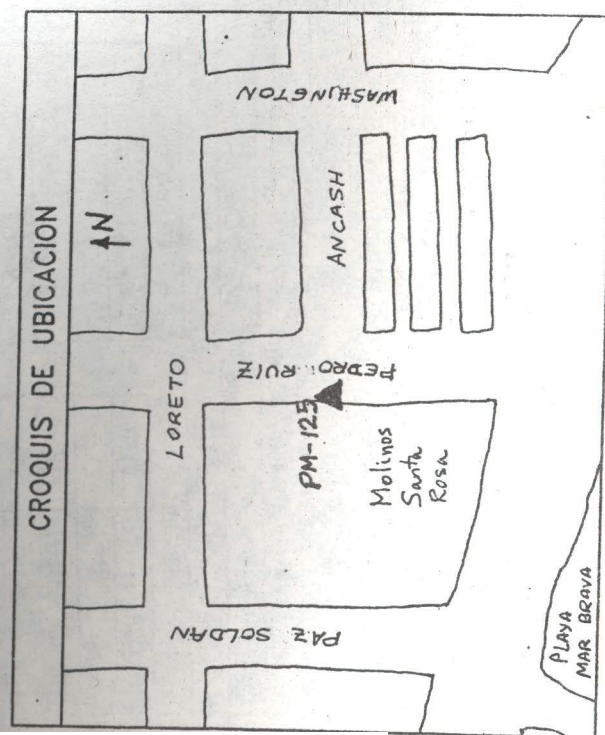
CAL
Callao

SEGMENTOS DE ONDA Y ESPECTROS
UTILIZADOS EN EL ANALISIS PARA EL
CALCULO DEL PERIODO PREDOMINANTE

Proyecto: MICROZONIFICACION SISMICA DE LA PUNTA Y EL CALLAO
Fecha: 23/03/90 Operador: C.E.H.E. Punto def.: PM-125
Ubicación: Jr. Pedro Ruiz Gallo, Cuadra 5. - Callao

MEDICION		ATENUACION	
Cassette N°	VIL-05	Componente	dB
Hora	16:06	N-S	14
Tiempo grabado	4'01"	E-O	14
Tiempo útil	2'32"	V	14

Observaciones: Sensores a 5m. de un silo de los Molinos Santa Rosa. Se oye ruido de la planta. Gran amplitud de ondas.



CONCLUSIONES: El periodo predominante del suelo es 0.27 seg.
La amplitud máxima horizontal promedio es 1.05 u.



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL

CENTRO PERUANO-JAPONES
DE INVESTIGACIONES SISMICAS
Y MITIGACION DE DESASTRES

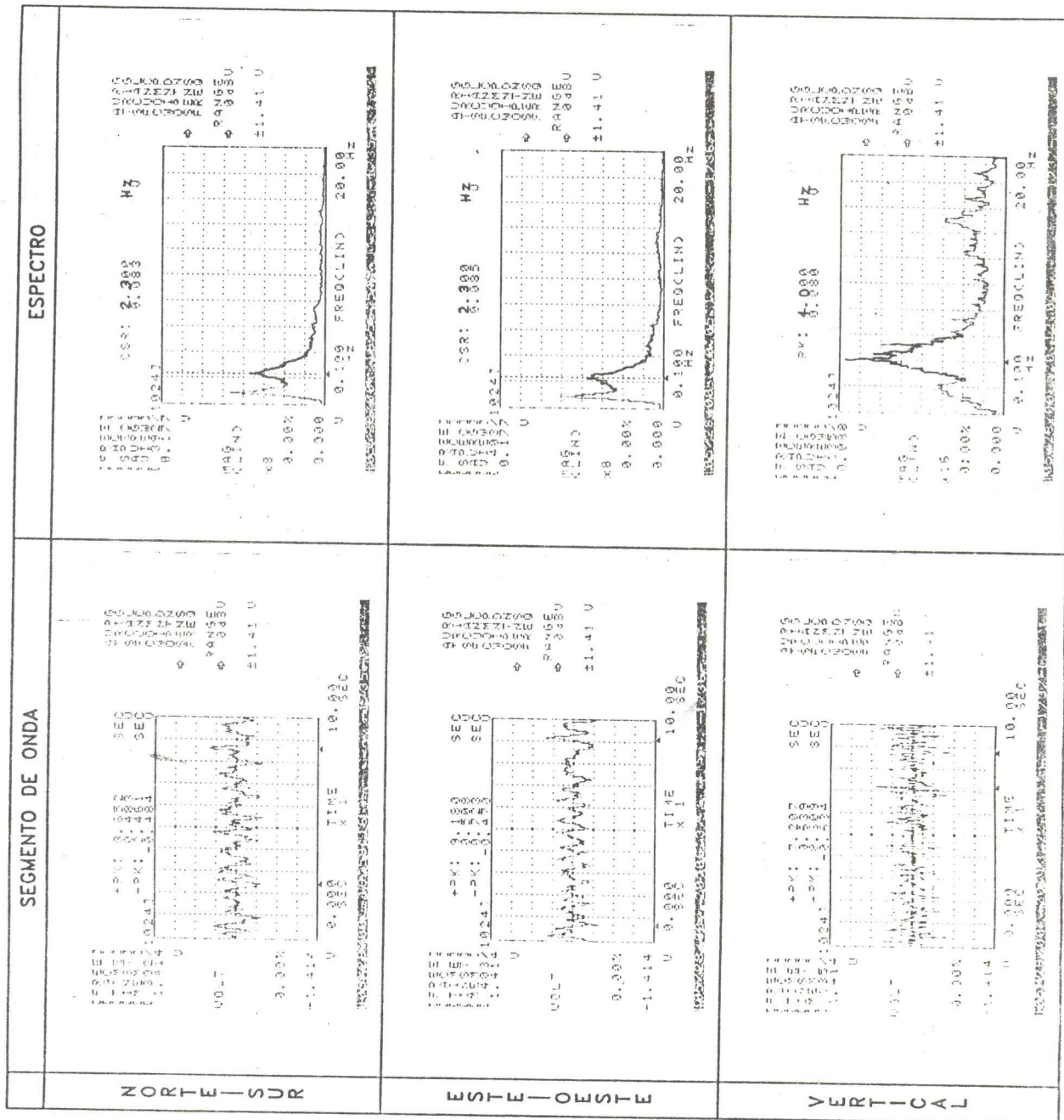
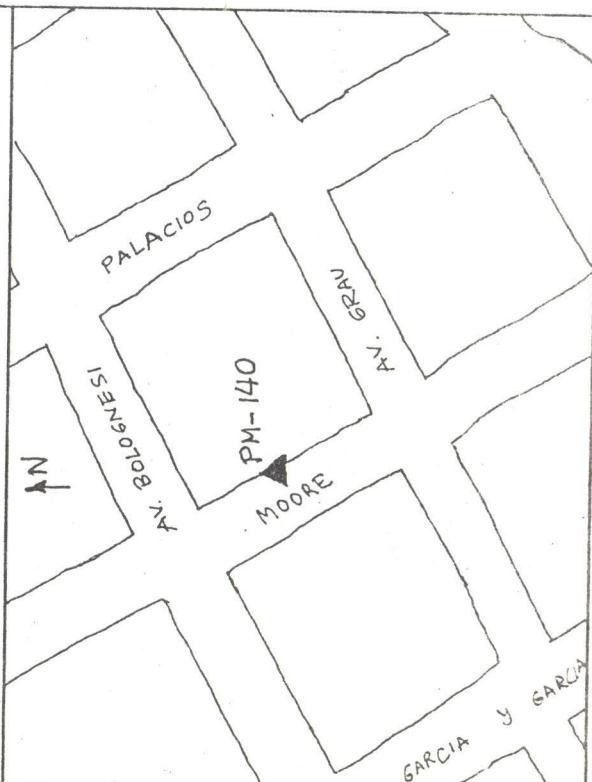


CAL
La Punta

SEGMENTOS DE ONDA Y ESPECTROS
UTILIZADOS EN EL ANALISIS PARA EL
CALCULO DEL PERIODO PREDOMINANTE

Proyecto: MICROZONIFICACION SISMICA DE LA PUNTA Y EL CALLAO	
Fecha: 26/04/90	Operador: C.E.H.E. Punto def.: PM-140
Ubicación: Jr. Moore . Cuadra 3. La Punta	
MEDICION	
Cassette N°	VII - 33
Hora	12:56
Tiempo grabado	4'02"
Tiempo útil	2'01"
Observaciones: Sensores sobre una vereda de concreto. Circulación de autos a 30m. por extremos opuestos.	

CROQUIS DE UBICACION



CONCLUSIONES: El período predominante del suelo es 0.43 seg.
La amplitud máxima horizontal promedio es 0.36 u.



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL

CENTRO PERUANO-JAPONES
DE INVESTIGACIONES SISMICAS
Y MITIGACION DE DESASTRES



CNL
Callao.

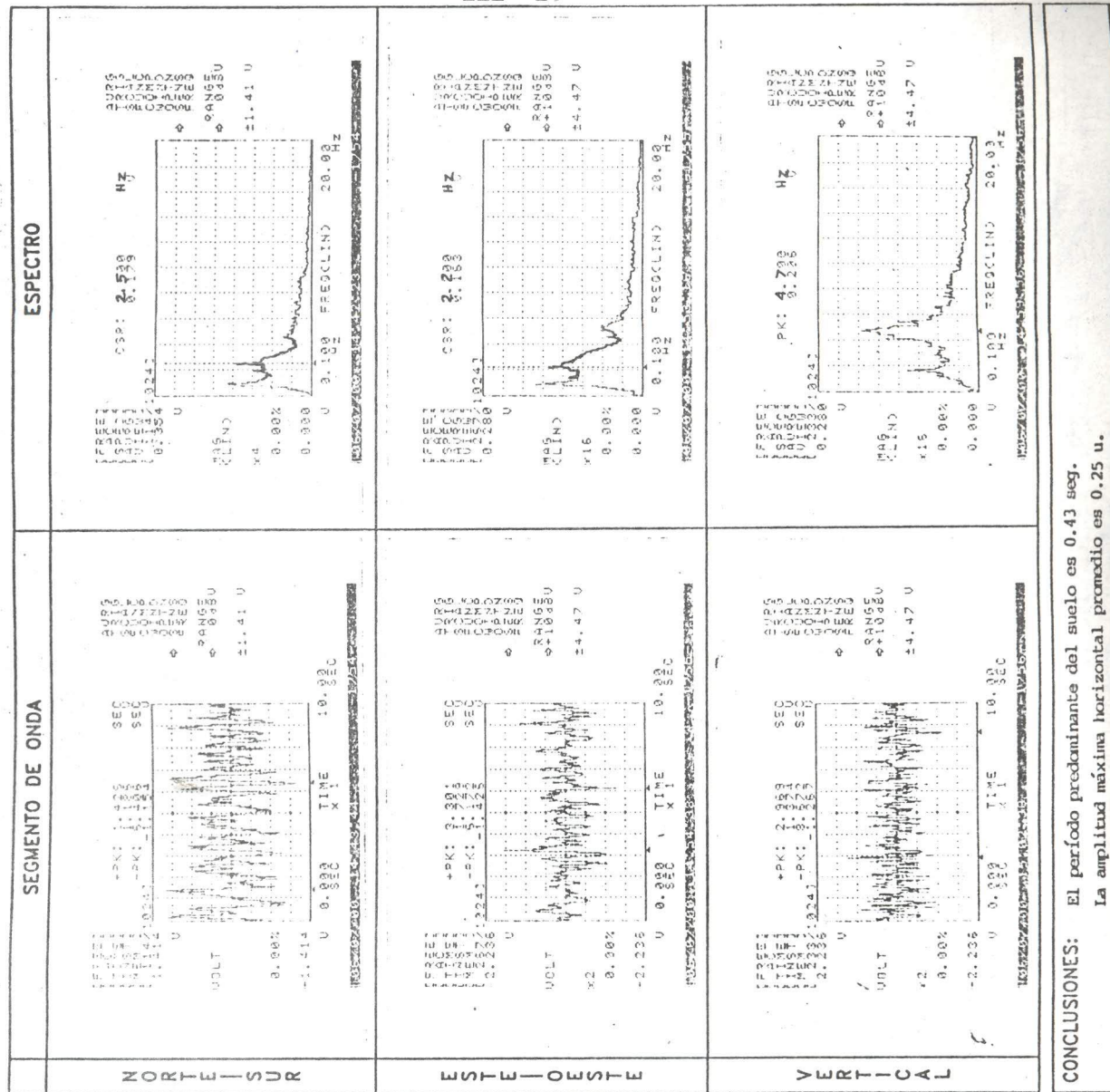
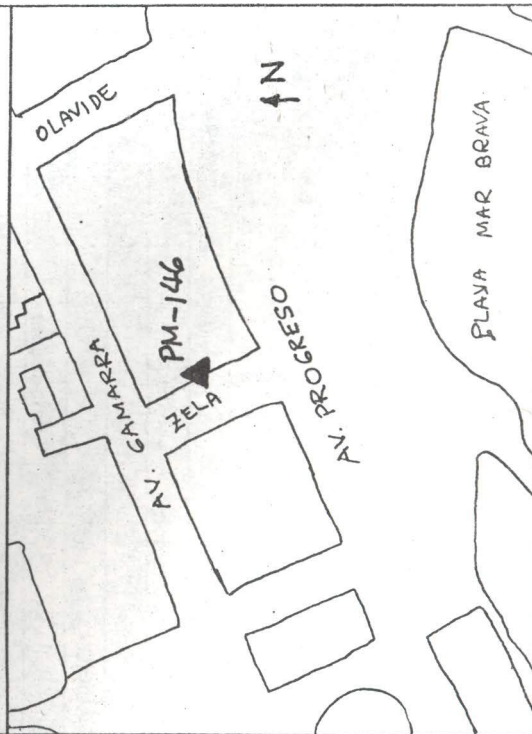
SEGMENTOS DE ONDA Y ESPECTROS
UTILIZADOS EN EL ANALISIS PARA EL
CALCULO DEL PERIODO PREDOMINANTE

Proyecto: MICROZONIFICACION SISMICA DE LA PUNTA Y EL CALLAO	
Fecha: 26/04/90	Operador: C.E.H.E. Punto def.: PM-146
Ubicación: Jr. Zela. Cuadra 1. Chucuito - Callao	
MEDICION	
Cassette N°	VII-45
Hora	15:29
Tiempo grabado	4'00"
Tiempo útil	1'20"
Observaciones: Sensores sobre una vereda de concreto. A 10 m. fuerte tráfico vehicular. Rumor de olas a 100 m.	

ATENUACION

Componente	dB
N-S	0
E-O	0
V	0

CROQUIS DE UBICACION



CONCLUSIONES: El período predominante del suelo es 0.43 seg.
La amplitud máxima horizontal promedio es 0.25 u.



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL

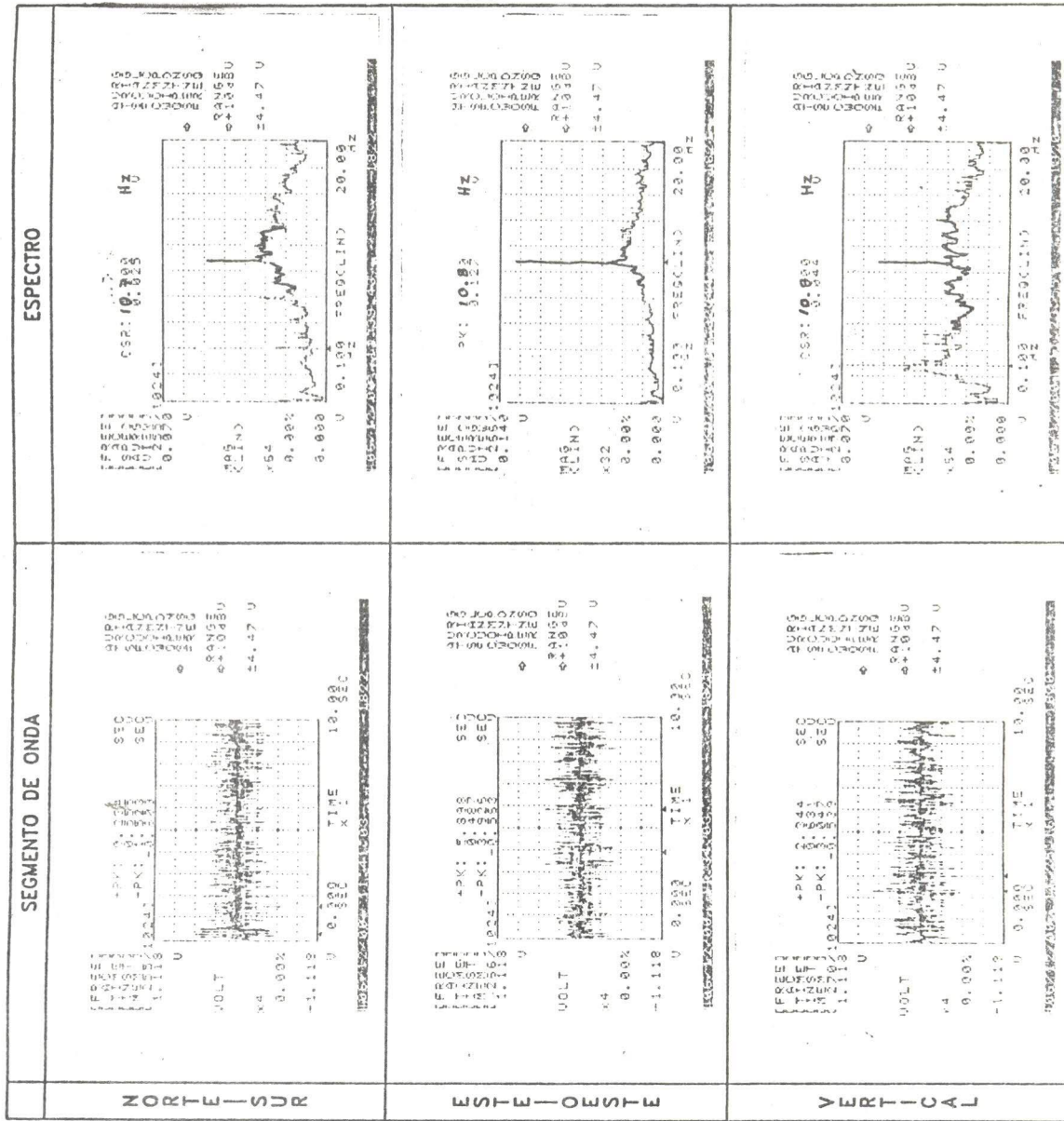
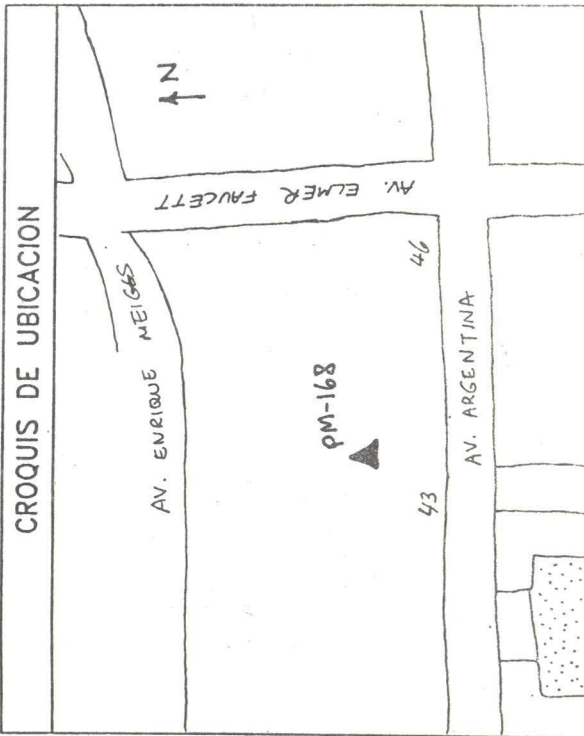
CENTRO PERUANO-JAPONES
DE INVESTIGACIONES SISMICAS
Y MITIGACION DE DESASTRES



CAL
Callao

SEGMENTOS DE ONDA Y ESPECTROS
UTILIZADOS EN EL ANALISIS PARA EL
CALCULO DEL PERIODO PREDOMINANTE

Proyecto: MICROZONIFICACION SISMICA DE LA PUNTA Y EL CALLAO	
Fecha: 30/04/90	Operador: C.E.H.E. Punto def.: PM-168
Ubicación: Av. Argentina - Cuadra 43 - Callao	
MEDICION	
Cassette N°	VIII - 31
Hora	10:56
Tiempo grabado	4'10"
Tiempo útil	1'43"
Observaciones: Tráfico vehicular pesado por la Av. Argentina a unos 30m.	
ATENUACION	
Componente	dB
N-S	14
E-O	14
V	6



CONCLUSIONES: El período predominante del suelo es 0.09 seg.
La amplitud máxima horizontal promedio es 0.73 u.



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL

CENTRO PERUANO-JAPONES
DE INVESTIGACIONES SISMICAS
Y MITIGACION DE DESASTRES

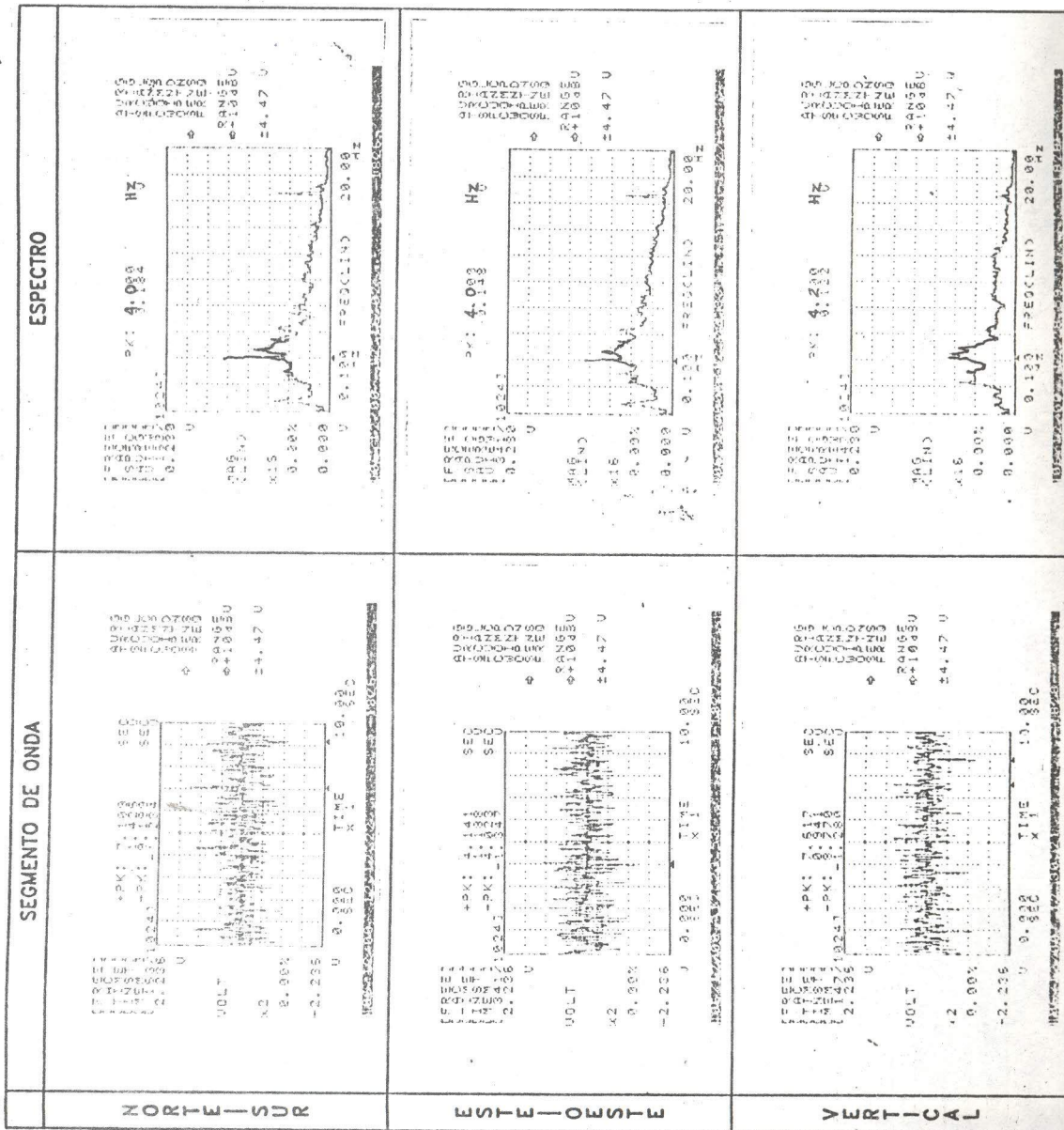
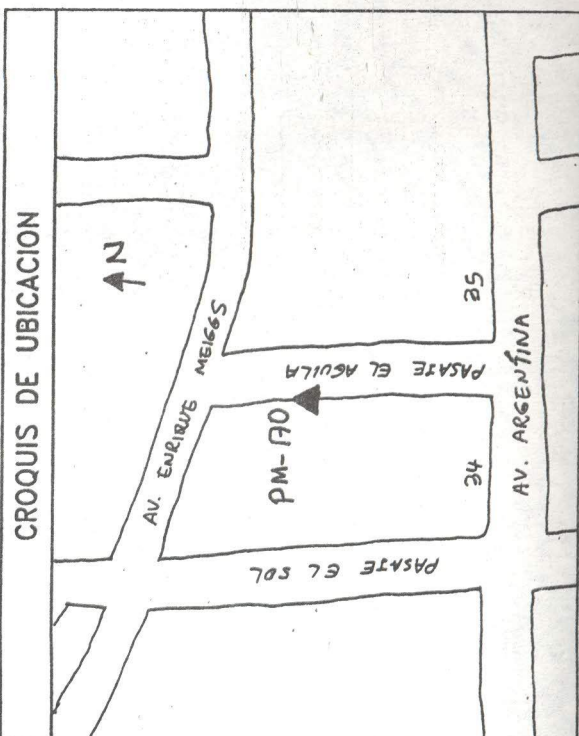


CAL
Callao

SEGMENTOS DE ONDA Y ESPECTROS
UTILIZADOS EN EL ANALISIS PARA EL
CALCULO DEL PERIODO PREDOMINANTE

Proyecto: MICROZONIFICACION SISMICA DE LA PUNTA Y EL CALLAO	
Fecha: 30/04/90	Operador: C.E.H.E. Punto def.: PM-70
Ubicación: Pasaje El Aguila, Av. Argentina Cda. 34 - Callao	
MEDICION	
Cassette N°	XIII-35
Hora	11:29
Tiempo grabado	4'01"
Tiempo útil	1'24"
Observaciones: Poco viento. Condiciones aparentes.	

ATENUACION	
Componente	dB
N-S	0
E-O	0
V	0



CONCLUSIONES: El período predominante del suelo es 0.25 seg.
La amplitud máxima horizontal promedio es 0.35 u.



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL

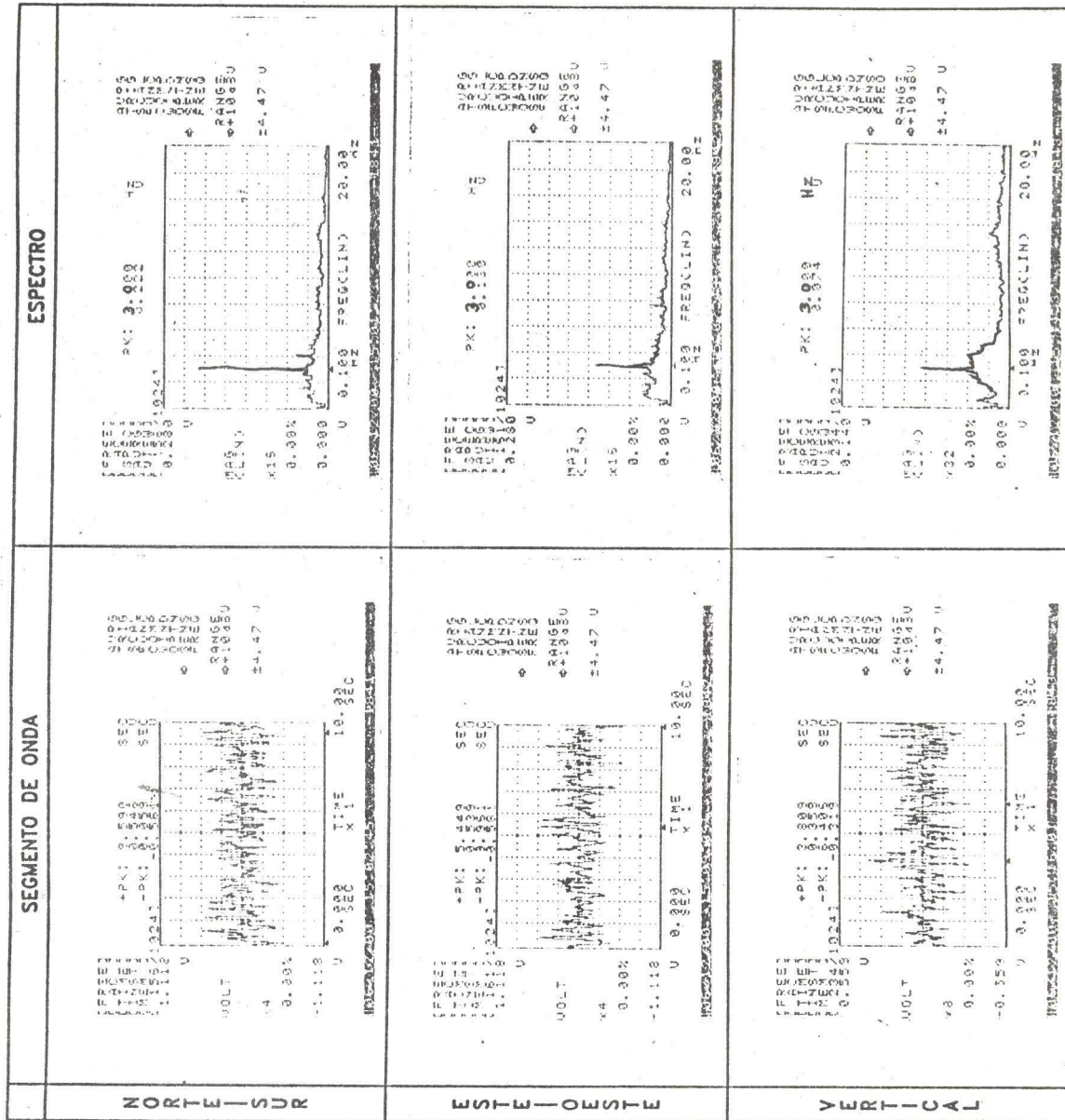
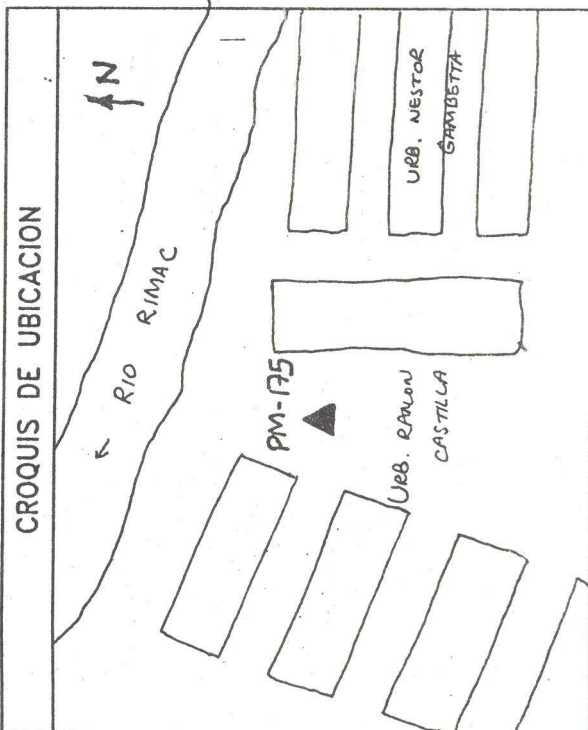
CENTRO PERUANO-JAPONES
DE INVESTIGACIONES SISMICAS
Y MITIGACION DE DESASTRES



CAL
Callao

SEGMENTOS DE ONDA Y ESPECTROS
UTILIZADOS EN EL ANALISIS PARA EL
CALCULO DEL PERIODO PREDOMINANTE

Proyecto: MICROBENEFICACION SISMICA DE LA PUNTA Y EL CALAO	
Fecha: 20/04/90	Operador: C.E.H.E. Punto def.: PM-175
Ubicación: Urbanización Ramón Castilla - Callao	
MEDICION	
Cassette N°	VIII - 46
Hora	13:12
Tiempo grabado	4'10"
Tiempo útil	1'11"
Observaciones: No hay tráfico cercano. Condiciones calmadas. Río Rimac a unos 100 m.	



CONCLUSIONES: El período predominante del suelo es 0.33 seg.
La amplitud máxima horizontal promedio es 0.14 u.



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL

FICHA DE MEDICION DE MICROTREPIDACIONES

CENTRO PERUANO-JAPONES
DE INVESTIGACIONES SISMICAS
Y MITIGACION DE DESASTRES

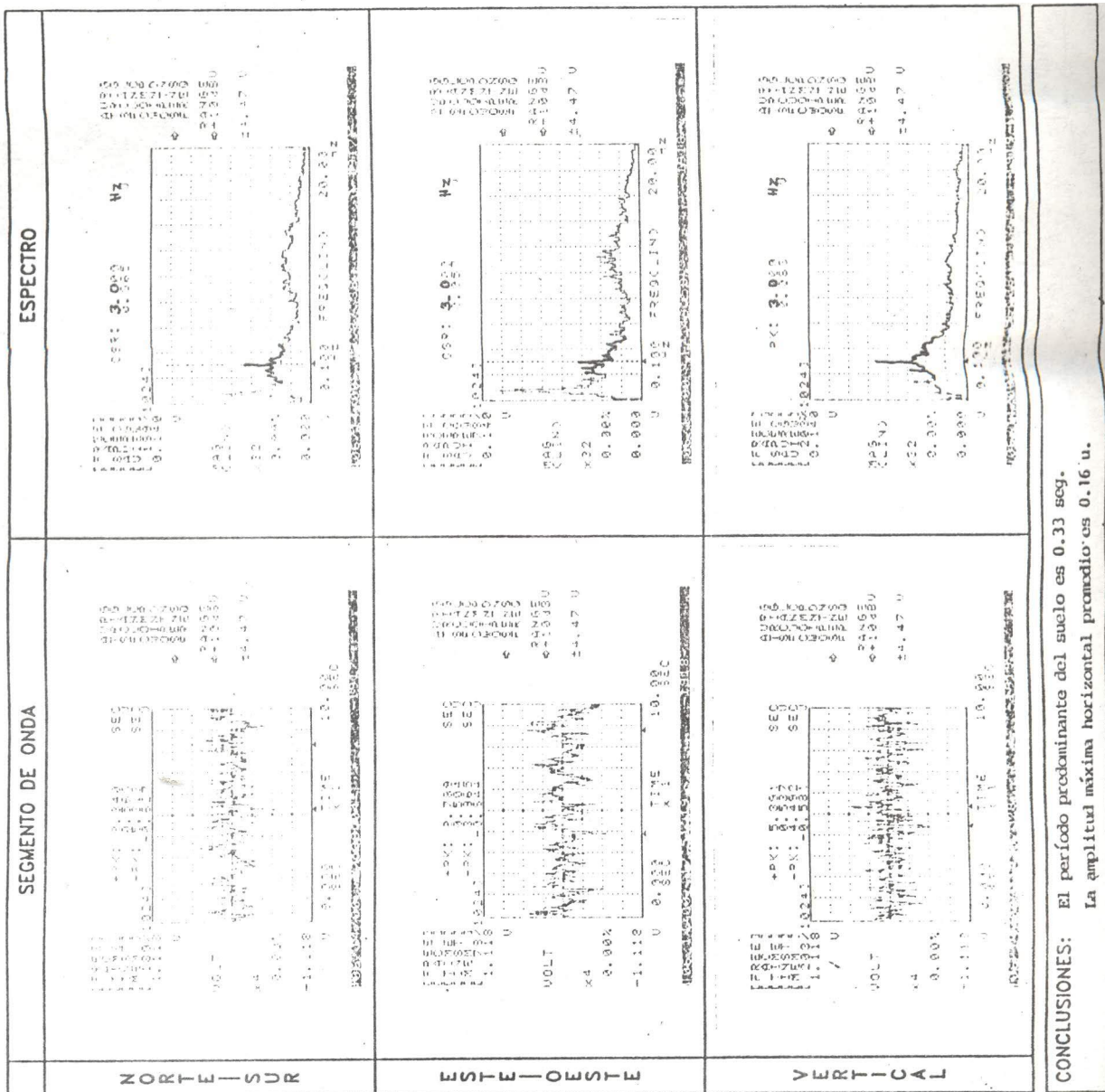
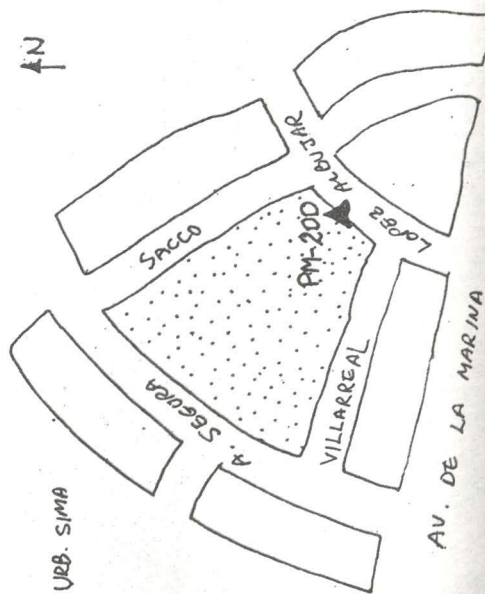


CAL
Sn.Mig.

SEGMENTOS DE ONDA Y ESPECTROS
UTILIZADOS EN EL ANALISIS PARA EL
CALCULO DEL PERIODO PREDOMINANTE

Proyecto: MICROZONIFICACION SISMICA DE LA PUNTA Y EL CALLAO			
Fecha: 02/05/90		Operador: C.E.H.E. Punto def.: PM-200	
Ubicación: Jr. López Albuja - Urb. Bata - San Miguel			
MEDICION		ATENUACION	
Cassette N°	IX - 41	Componente	dB
Hora	16:12	N-S	0
Tiempo grabado	3'30"	E-O	0
Tiempo útil	1'01"	V	0
Observaciones: Sopa fuerte viento E-O			

CROQUIS DE UBICACION



CONCLUSIONES: El período predominante del suelo es 0.33 seg.
La amplitud máxima horizontal promedio es 0.16 u.



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL

FICHA DE MEDICION DE MICROTREPIDACIONES

CENTRO PERUANO-JAPONES
DE INVESTIGACIONES SISMICAS
Y MITIGACION DE DESASTRES

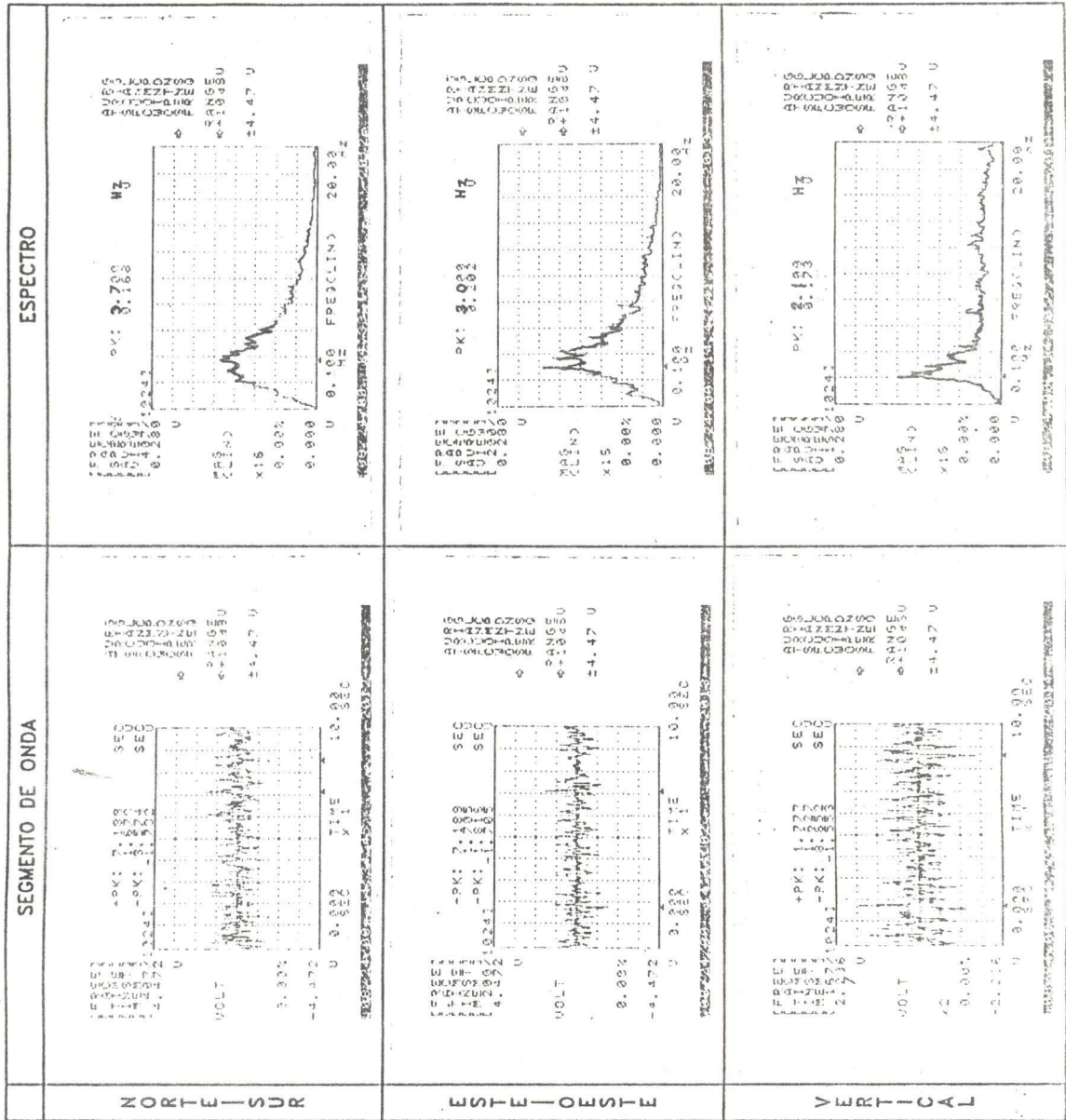
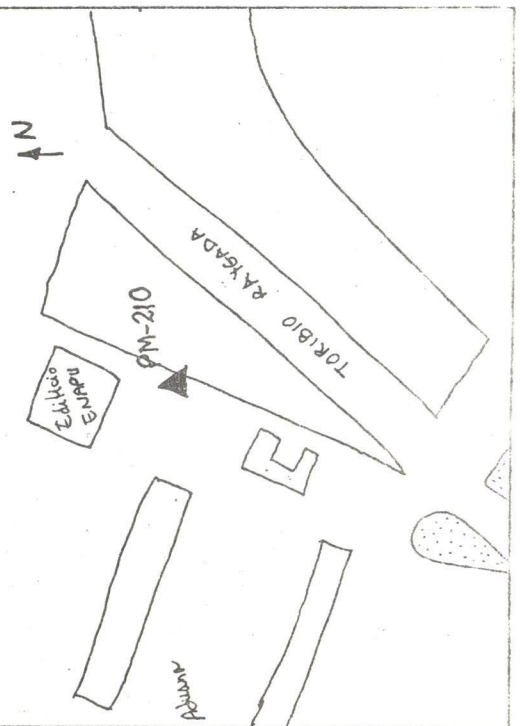


CAL
Callao

SEGMENTOS DE ONDA Y ESPECTROS
UTILIZADOS EN EL ANALISIS PARA EL
CALCULO DEL PERIODO PREDOMINANTE

Proyecto: MICROZONIFICACION SISMICA DE LA PUNTA Y EL CALLAO			
Fecha:	01/08/90	Operador:	C.E.H.E. Punto def.: PM-210
Ubicación:	Explanada de ingreso a ENAPU - Callao		
MEDICION		ATENUACION	
Cassette N°	X-4	Componente	dB
Hora	11:52	N-S	0
Tiempo grabado	4'30"	E-O	0
Tiempo útil	2'00"	V	0
Observaciones: Sensores sobre el pavimento. Sopla viento. Paso de autos y personas.			

CROQUIS DE UBICACION



CONCLUSIONES: El período predominante del suelo es 0.10 seg.
La amplitud mínima horizontal promedio es 0.43 u.



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL

FICHA DE MEDICION DE MICROTREPIDACIONES

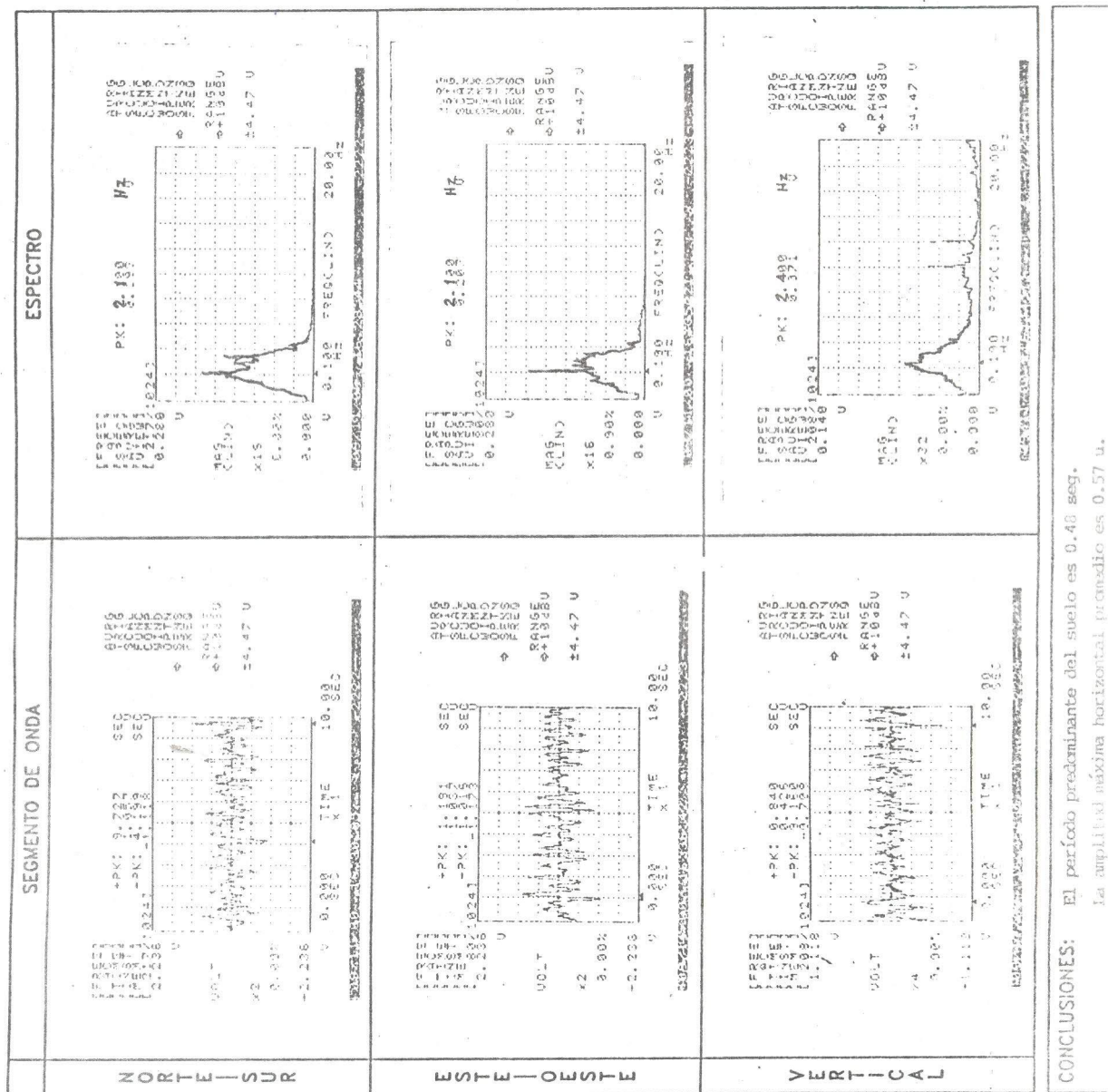
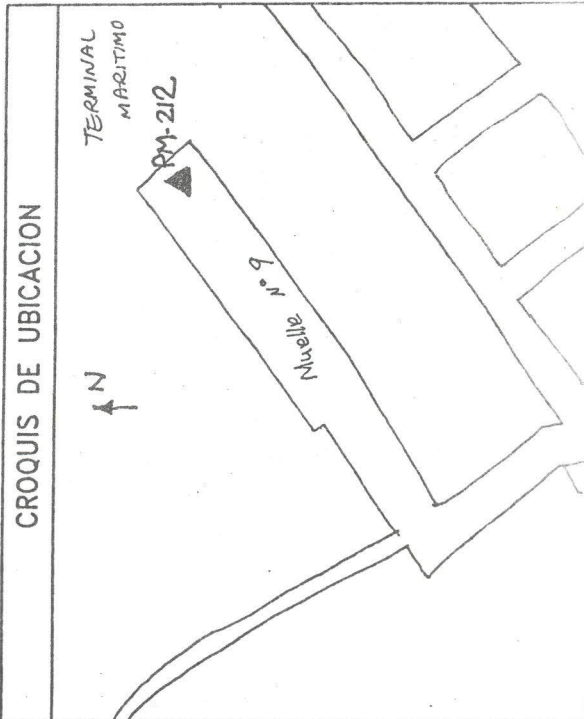
CENTRO PERUANO-JAPONES
DE INVESTIGACIONES SISMICAS
Y MITIGACION DE DESASTRES



CAL
Callao

SEGMENTOS DE ONDA Y ESPECTROS
UTILIZADOS EN EL ANALISIS PARA EL
CALCULO DEL PERIODO PREDOMINANTE

Proyecto: MICROZONIFICACION SISMICA DE LA PUNTA Y EL CALLAO			
Fecha: 01/08/90	Operator: C.B.H.E.	Punto def.: PM-212	
Ubicación: Extremo del Muelle N°9 - ENAPU - Callao			
MEDICION		ATENUACION	
Cassette N°	X-06	Componente	dB
Hora	12:56	N-S	6
Tiempo grabado	7'10"	E-O	6
Tiempo útil	2'00"	V	0
Observaciones: Se percibe fuerte ruido del motor de un barco. El sensor vertical es el más afectado. Sopla viento.			



CONCLUSIONES: El período predominante del suelo es 0.48 seg.
La amplitud máxima horizontal promedio es 0.57 u.



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL

FICHA DE MEDICION DE MICROTREPIDACIONES

CENTRO PERUANO-JAPONES
DE INVESTIGACIONES SISMICAS
Y MITIGACION DE DESASTRES

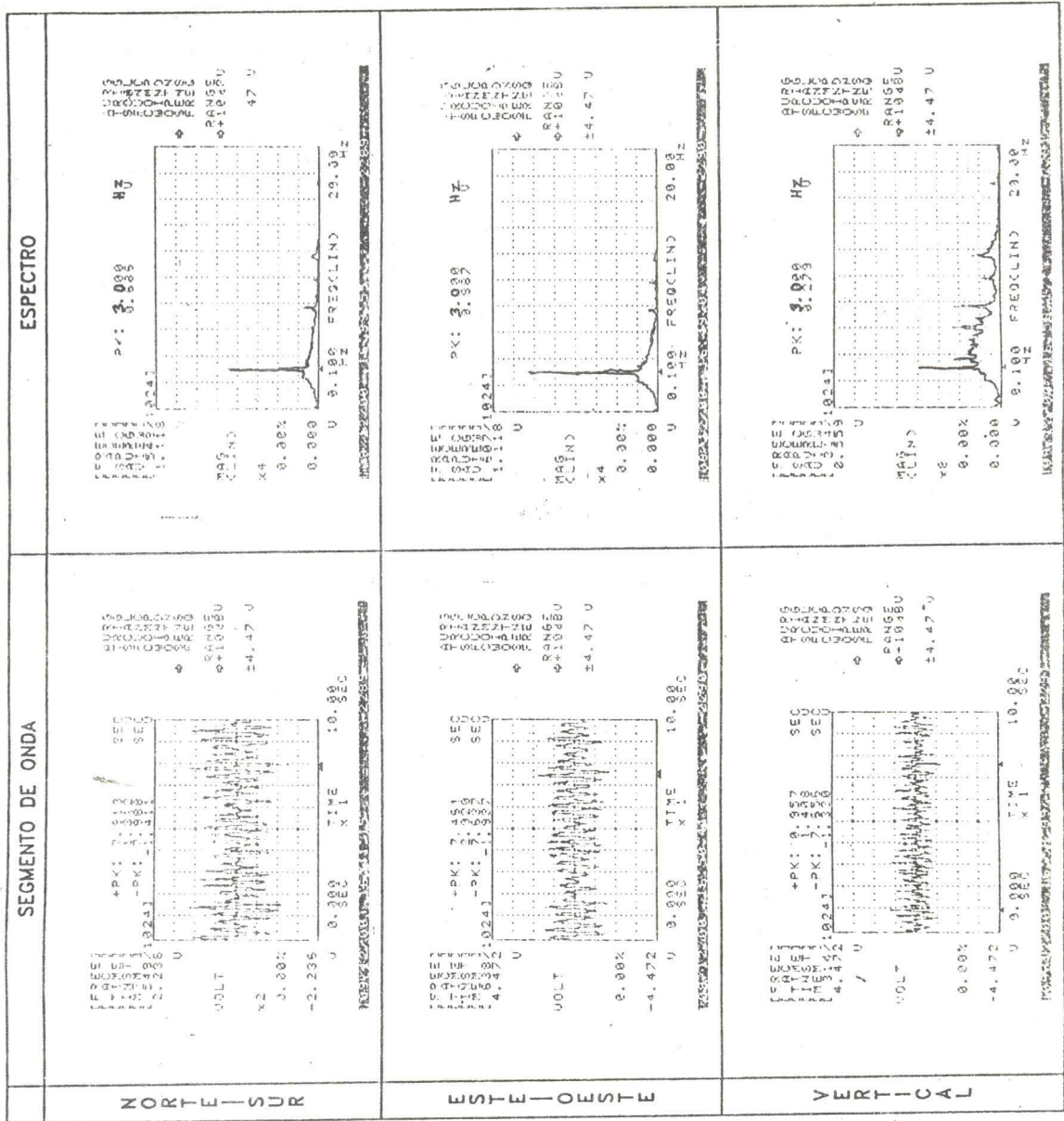
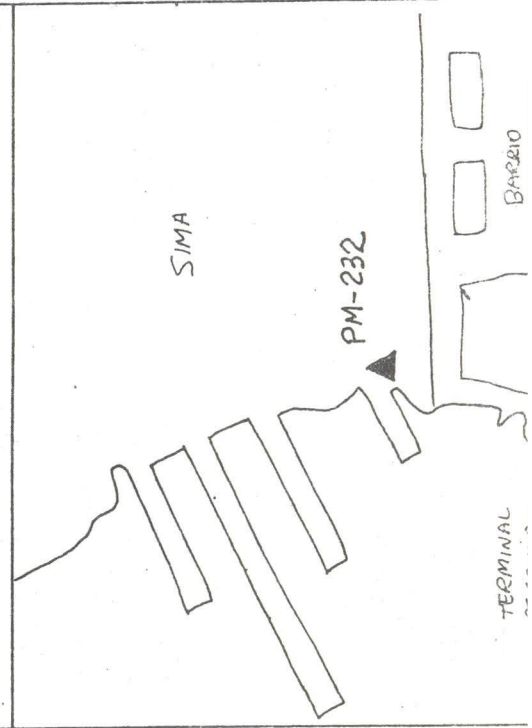


CAL
Callao

SEGMENTOS DE ONDA Y ESPECTROS
UTILIZADOS EN EL ANALISIS PARA EL
CALCULO DEL PERIODO PREDOMINANTE

Proyecto: MICROZONIFICACION SISMICA DE LA PUNTA Y EL CALLAO	
Fecha: 28/08/90	Operador: C.E.H.E. Punto def.: PM-232
Ubicación: Extremo Sur-Oeste SIMA - Callao	
MEDICION	
Cassette N°	XII - 01
Hora	10:33
Tiempo grabado	4'07"
Tiempo útil	3'20"
Observaciones: Soldadores trabajando a unos 20 m. en la reparación de una lanchara. Se percibe ruido de motor cercano al muelle.	
ATENUACION	
Componente	dB
N-S	6
E-O	6
V	0

CROQUIS DE UBICACION



CONCLUSIONES: El período predominante del suelo es 0.33 seg.

La magnitud máxima horizontal registrada es 0.06 "



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL

CENTRO PERUANO-JAPONES
DE INVESTIGACIONES SISMICAS
Y MITIGACION DE DESASTRES



CAL
Callao

FICHA DE MEDICION DE MICROTREPIDACIONES

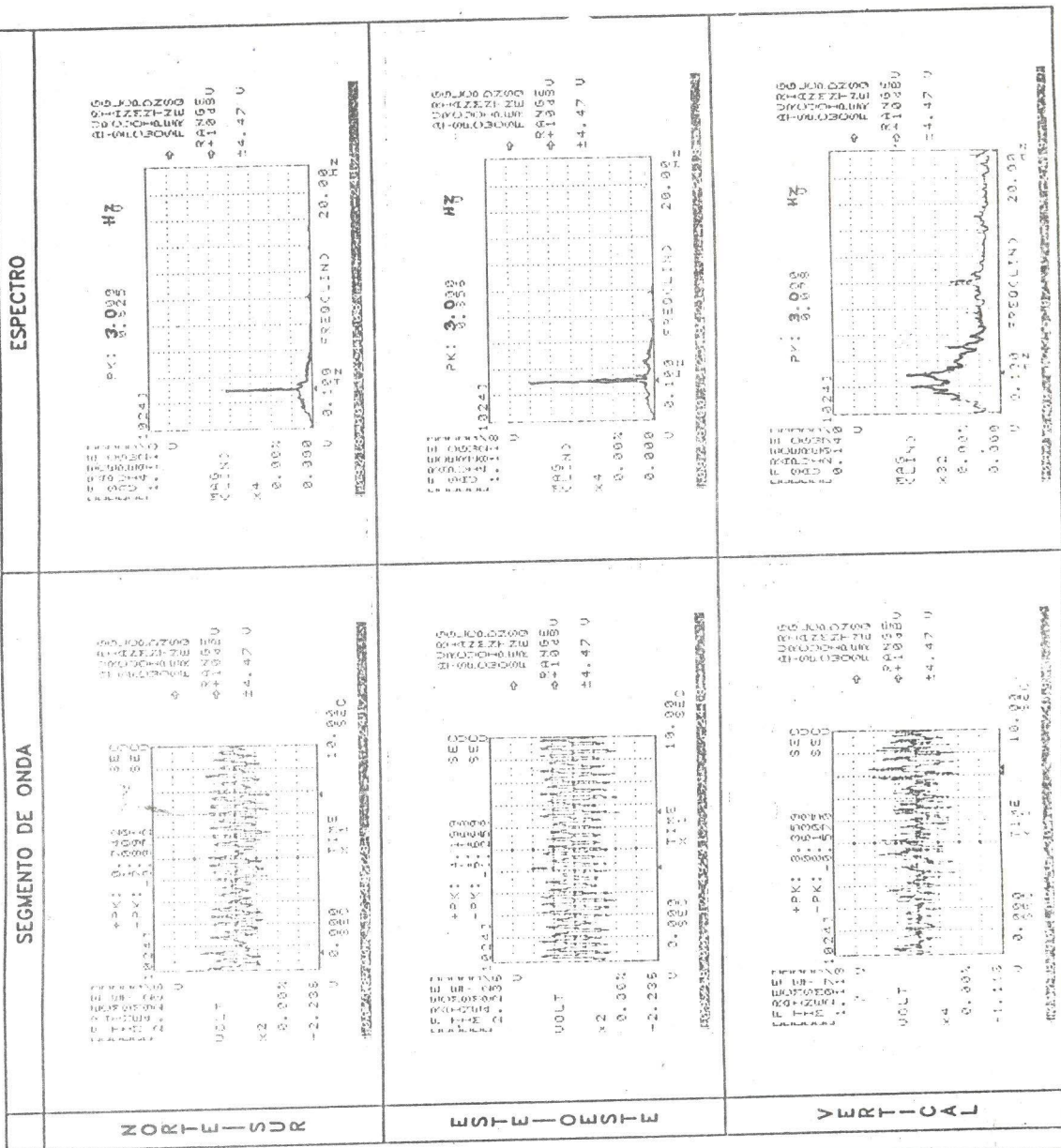
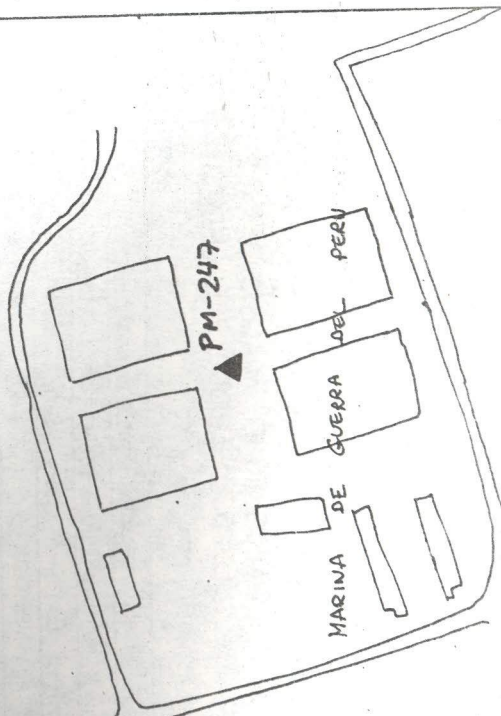
SEGMENTOS DE ONDA Y ESPECTROS
UTILIZADOS EN EL ANALISIS PARA EL
CALCULO DEL PERIODO PREDOMINANTE

Proyecto: MICROZONIFICACION SISMICA DE LA PUNTA Y EL CALLAO	
Fecha: 28/08/90	Operador: C.E.H.E. Punto def.: PM-247
Ubicación: Dirección de Abastecimiento - Base Naval - Callao	
MEDICION	
Cassette N°	XII-31
Hora	15:14
Tiempo grabado	3'32"
Tiempo útil	3'00"

ATENUACION	
Componente	dB
N-S	0
E-O	0
V	0

Observaciones: Sensores sobre el pavimento.
Pasen algunos autos.

CROQUIS DE UBICACION



CONCLUSIONES:

El período predominante del suelo es 0.33 seg.
La amplitud máxima horizontal promedio es 0.28 u.

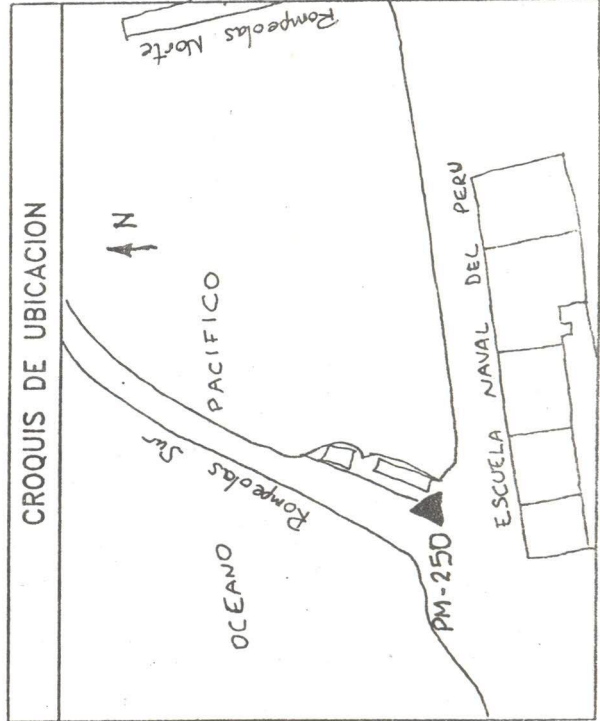


UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL

FICHA DE MEDICION DE MICROTREPIDACIONES

SEGMENTOS DE ONDA Y ESPECTROS
UTILIZADOS EN EL ANALISIS PARA EL
CALCULO DEL PERIODO PREDOMINANTE

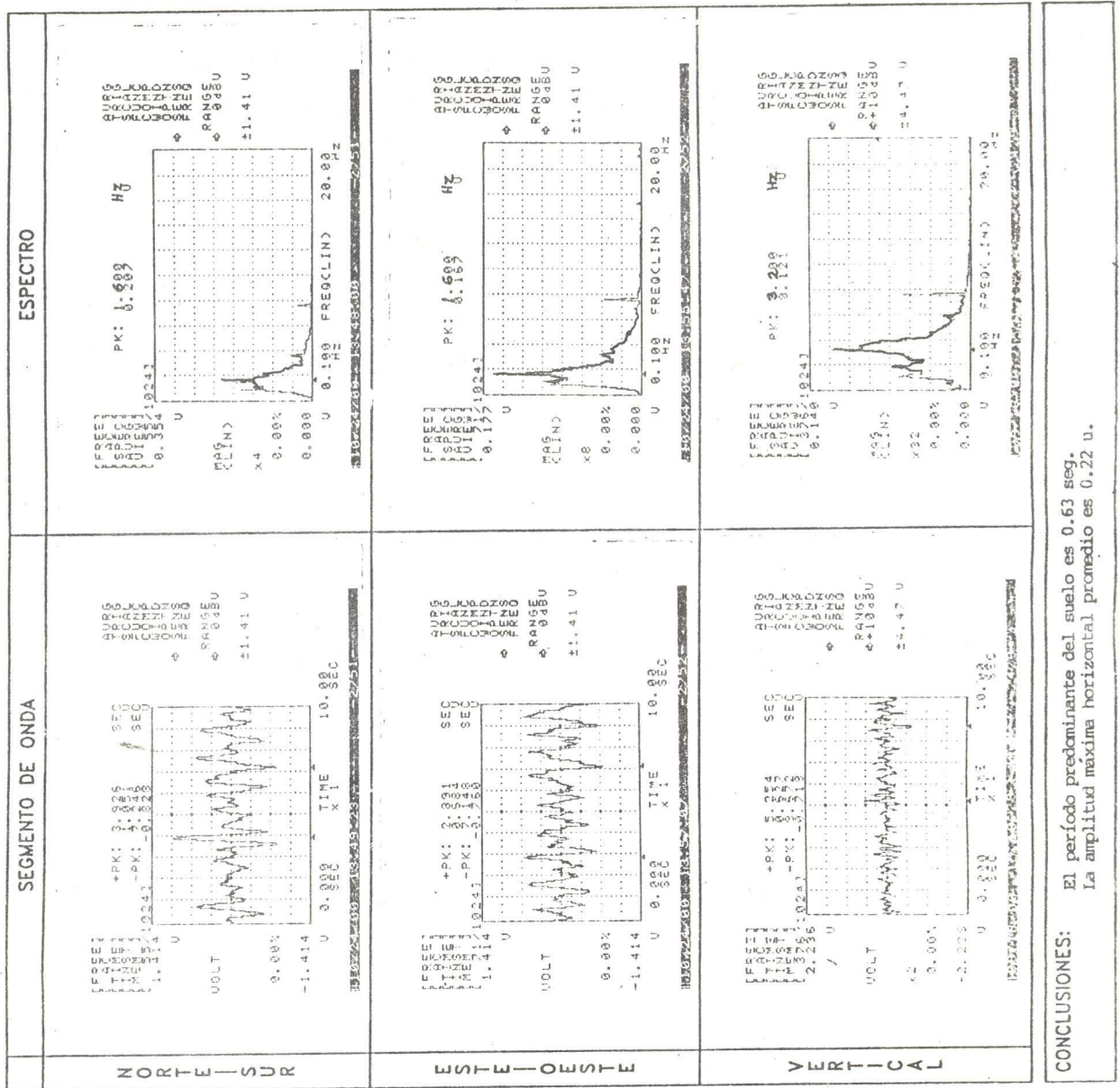
Proyecto: MICROZONIFICACION SISMICA DE LA PUNTA Y EL CALLAO			
Fecha: 29/08/90	Operador: C.E.H.E.	Punto def.: PM-250	
Ubicación: Inicio del Rompeolas Sur - Escuela Naval - La Punta			
MEDICION		ATENUACION	
Cassette N°	XII -37	Componente	dB
Hora	11:07	N-S	0
Tiempo grabado	4'08"	E-O	0
Tiempo útil	0'30"	V	0
Observaciones: Mar en calma a unas 20 m.			



CENTRO PERUANO-JAPONES
DE INVESTIGACIONES SISMICAS
Y MITIGACION DE DESASTRES



CAL
La Punta



CONCLUSIONES: El período predominante del suelo es 0.63 seg.
La amplitud máxima horizontal promedio es 0.22 u.



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL

CENTRO PERUANO-JAPONES
DE INVESTIGACIONES SISMICAS
Y MITIGACION DE DESASTRES

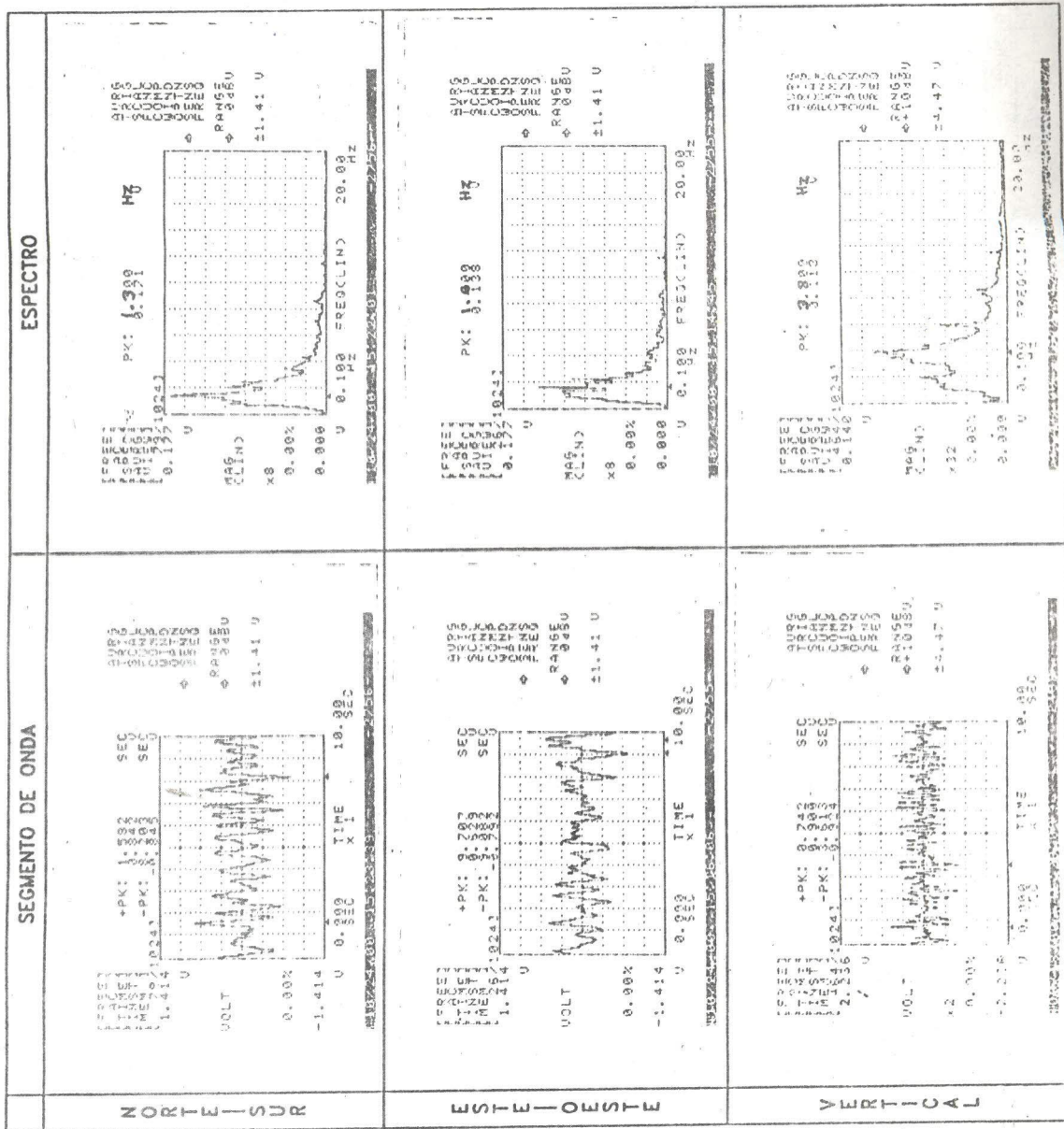
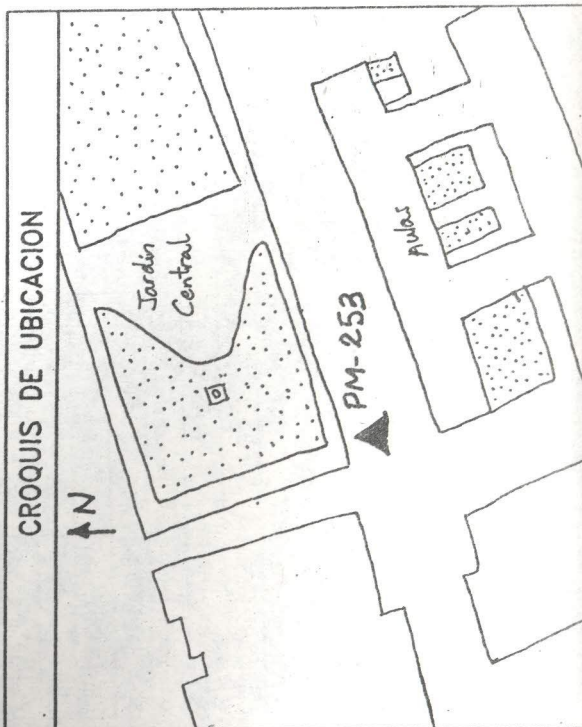


CAL
La Punta

FICHA DE MEDICION DE MICROTREPIDACIONES

SEGMENTOS DE ONDA Y ESPECTROS
UTILIZADOS EN EL ANALISIS PARA EL
CALCULO DEL PERIODO PREDOMINANTE

Proyecto: MICROZONIFICACION SISMICA DE LA PUNTA Y EL CALLAO			
Fecha: 29/08/90	Operador: C.E.H.B.	Punto def.: PM-253	
Ubicación: Jardín Central y Aulas Escuela Naval - La Punta			
MEDICION		ATENUACION	
Cassette N°	XII - 43	Componente	dB
Hora	11:47	N-S	0
Tiempo grabado	3'24"	E-O	0
Tiempo útil	0'30"	V	0
Observaciones: Sensores sobre el pavimento. Sopa viento.			



CONCLUSIONES: El período predominante del suelo es 0.70 seg.
La amplitud máxima horizontal promedio es 0.24 u.

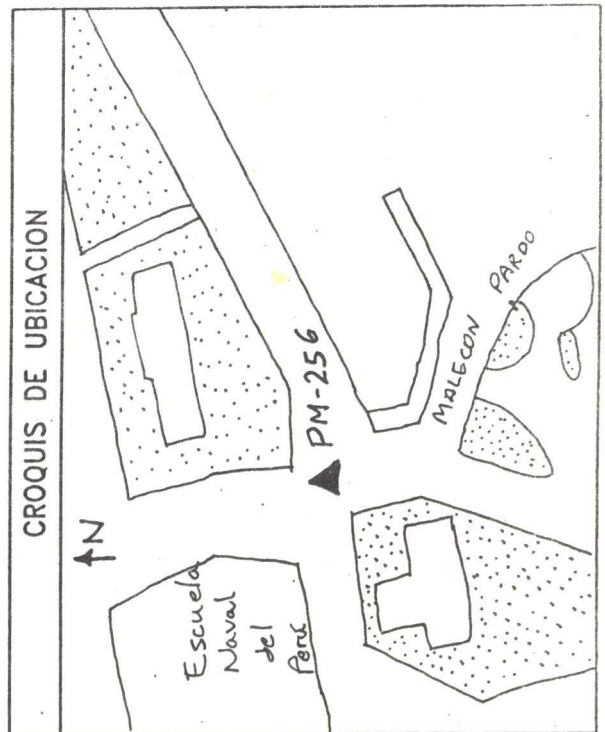


UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL

FICHA DE MEDICION DE MICROTREPIDACIONES

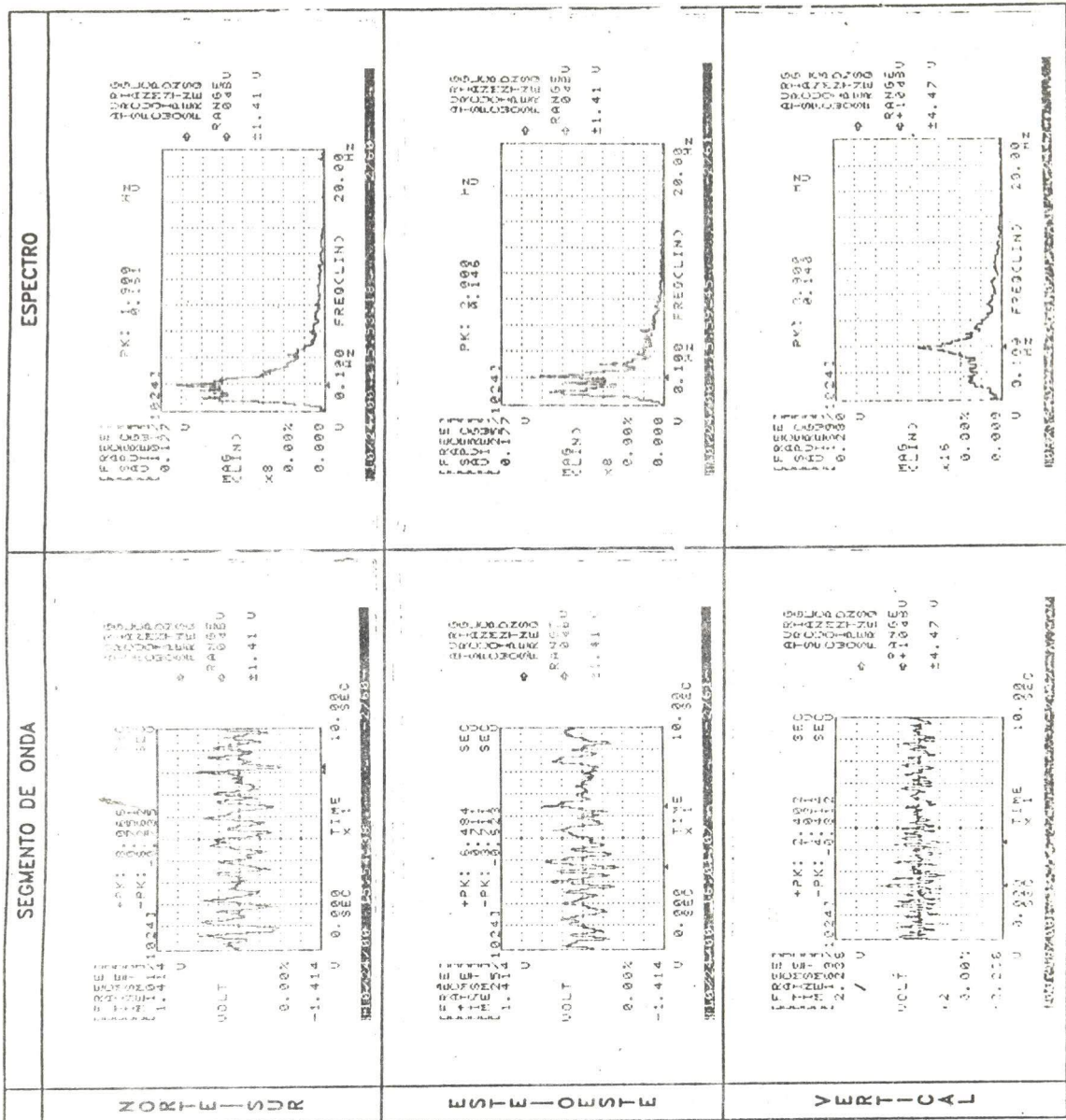
SEGMENTOS DE ONDA Y ESPECTROS
UTILIZADOS EN EL ANALISIS PARA EL
CALCULO DEL PERIODO PREDOMINANTE

Proyecto: MICROZONIFICACION SISMICA DE LA PUNTA Y EL CALLAO			
Fecha: 29/08/99	Operador: C.E.H.E.	Punto def.: PM-256	
Ubicación: Extremo colindante con Malecón Pardo - Escuela Naval			
MEDICION		ATENUACION	
Cassette N°	XII-49	Componente	dB
Hora	12:16	N-S	0
Tiempo grabado	2'18"	E-O	0
Tiempo útil	0'40"	V	0
Observaciones: Sensores sobre el pavimento. Sopa viento.			



CENTRO PERUANO-JAPONES
DE INVESTIGACIONES SISMICAS
Y MITIGACION DE DESASTRES

CAL
La Punta



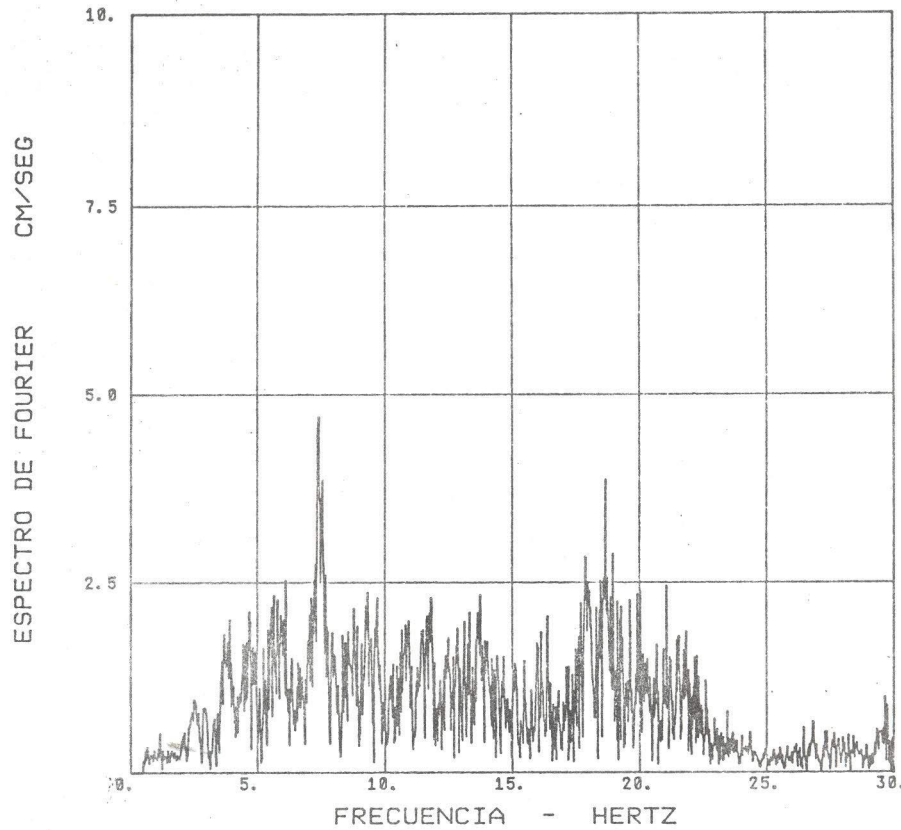
CONCLUSIONES: El período predominante del suelo es 0.52 seg.
La amplitud máxima horizontal promedio es 0.21 u.

ANEXO III.2

Espectros de Fourier de Sismos Pequeños y Fichas de
Microtrepidaciones cerca de las casetas.

ESPECTRO DE FOURIER

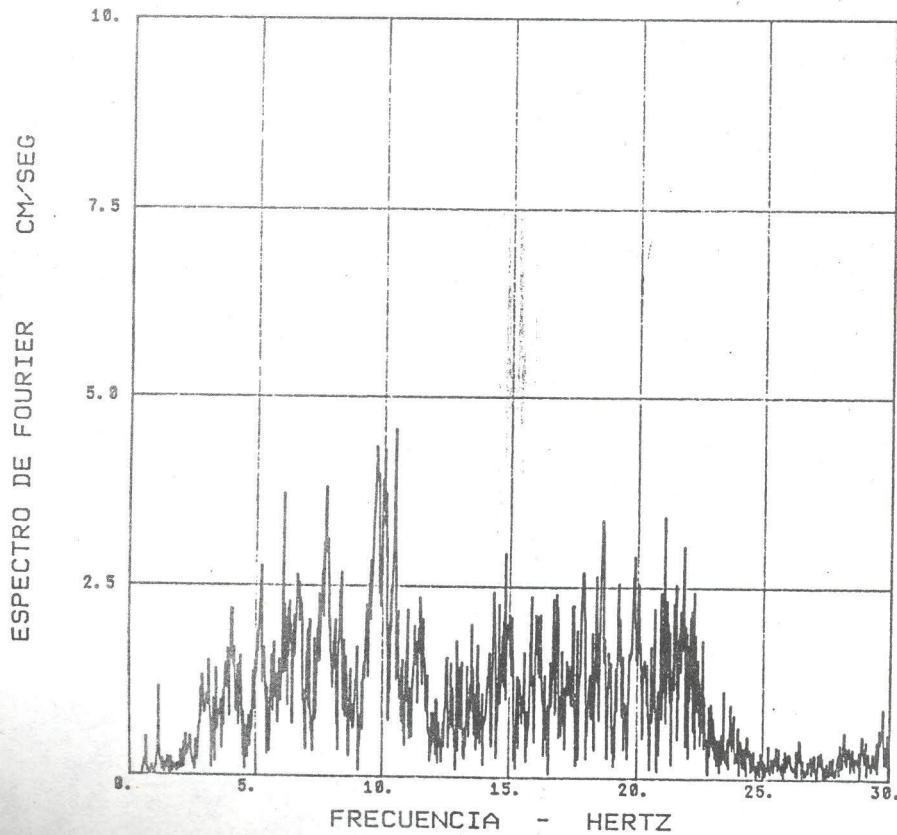
ESTACION : CISMID - UNI , 01/01/89 , COMP N-S



UNI-FIC
CISMID

ESPECTRO DE FOURIER

ESTACION : CISMID - UNI , 01/01/89 , COMP E-O



UNI-FIC
CISMID



CENTRO PERUANO-JAPONÉS DE
INVESTIGACIONES SÍSMICAS Y
MITIGACIÓN DE DESASTRES
LABORATORIO GEOTECNICO

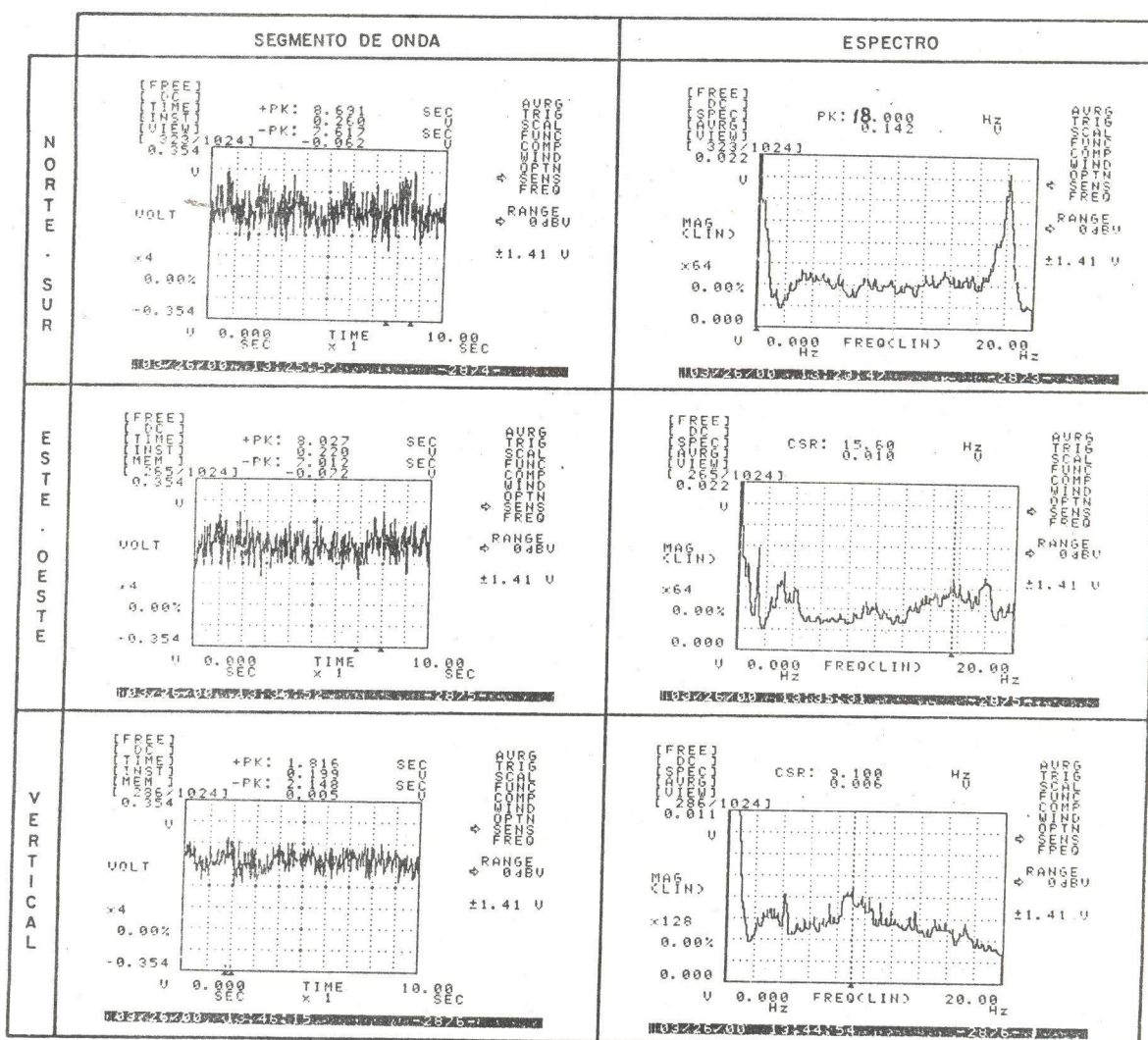
UNIVERSIDAD NACIONAL
DE INGENIERIA
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL



LIM

SEGMENTOS DE ONDAS Y ESPECTROS UTILIZADOS EN EL ANALISIS
PARA EL CALCULO DEL PERIODO PREDOMINANTE

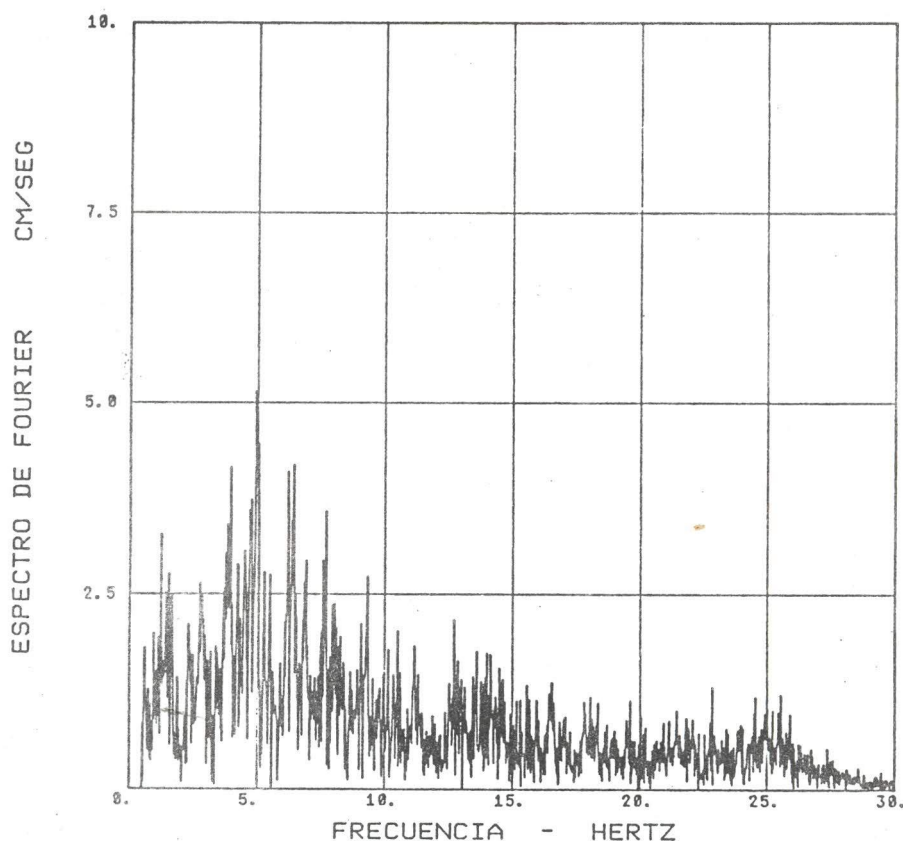
PROYECTO : MICROZONIFICACION SISMICA DE LA CIUDAD DE LIMA		PUNTO DEFINIDO : CISMID										
FECHA : 26 / 03 / 91	EQUIPO MICROTREMOR : NO 3	CASSETTE : N°	OPERADOR : C.H.E.									
COUNTER CALIBRACION : <table border="1"><tr><td></td><td></td></tr></table> MEDICION : <table border="1"><tr><td>5</td><td>00</td></tr></table> MODO : <table border="1"><tr><td></td><td>P</td></tr></table>				5	00		P	HORA Hora Min Seg <table border="1"><tr><td>11</td><td>30</td><td></td></tr></table>		11	30	
5	00											
	P											
11	30											
CLIMA : Fuerte sol		OTROS : Sensores sobre el bloque de concreto del acelerógrafo en el CISMID										



CONCLUSION: El período predominante del suelo es 0.06 seg.

ESPECTRO DE FOURIER

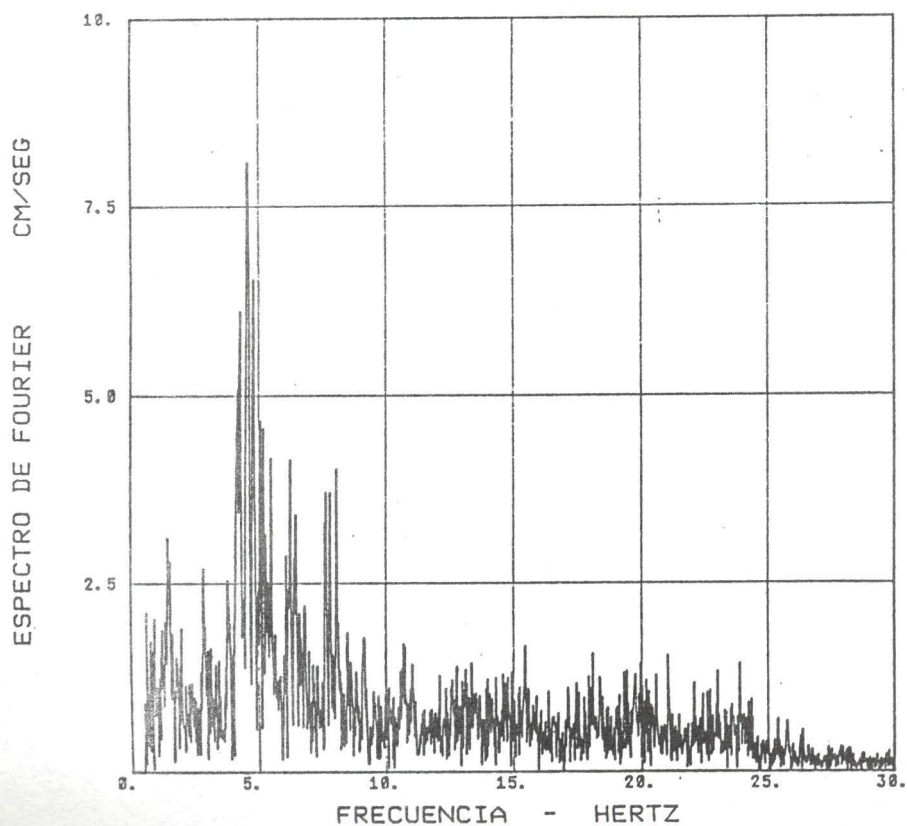
ESTACION : MAJES-AREQUIPA, 28/11/89, COMP N-S



UNI-FIC
CISMID

ESPECTRO DE FOURIER

ESTACION : MAJES, AREQUIPA, 28/11/89 , COMP E-O



UNI-FIC
CISMID



CENTRO PERUANO-JAPONÉS DE
INVESTIGACIONES SÍSMICAS Y
MITIGACIÓN DE DESASTRES
LABORATORIO GEOTÉCNICO

III - 37

UNIVERSIDAD NACIONAL

DE INGENIERÍA

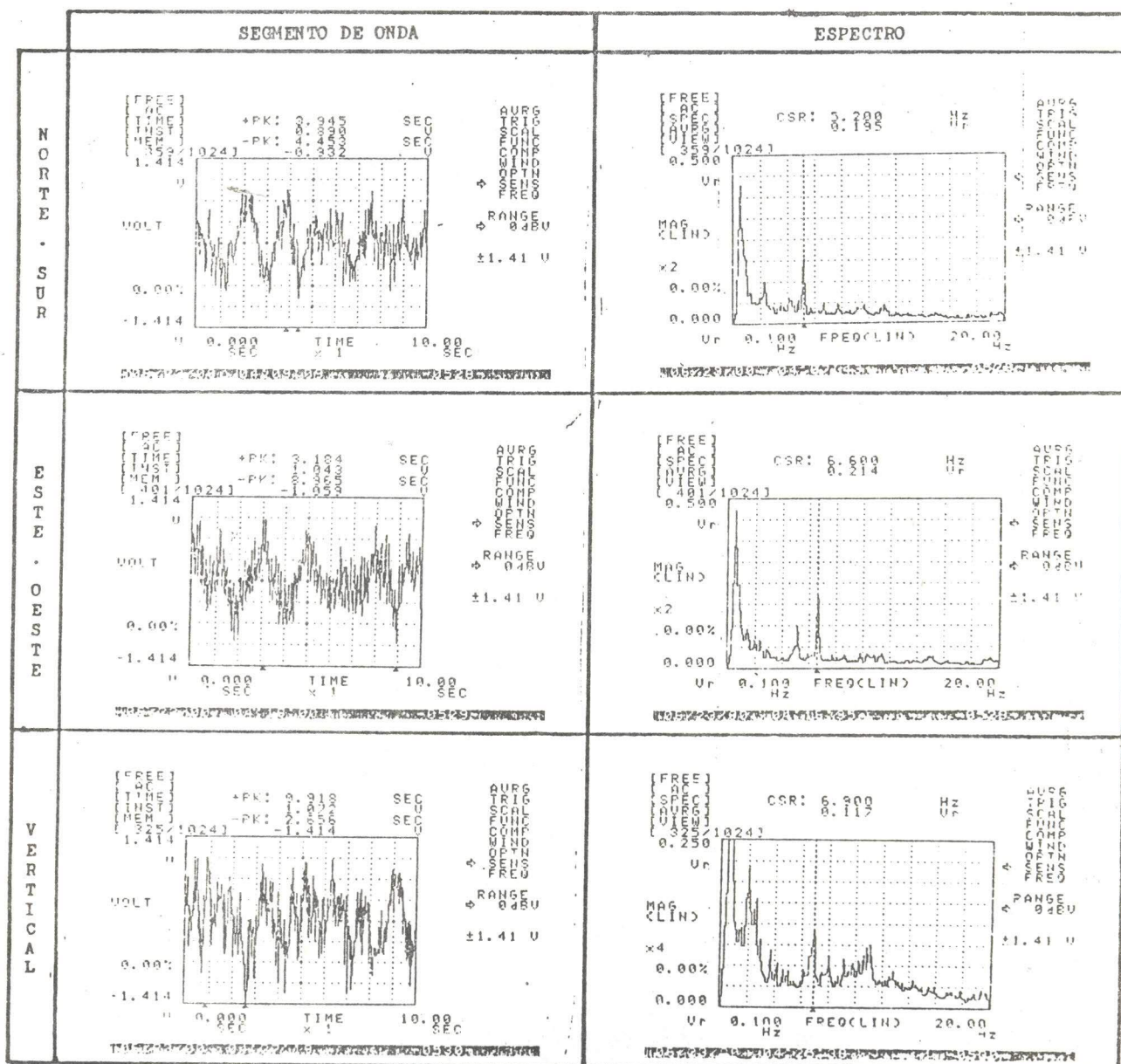
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL



ARE

SEGMENTOS DE ONDAS Y ESPECTROS UTILIZADOS EN EL ANALISIS
PARA EL CALCULO DEL PERIODO PREDOMINANTE

PROYECTO : MICROZONIFICACION SISMICA DE LA CIUDAD DE MAJES		PUNTO DEFINIDO : PM-10	
FECHA : 24 / 09 / 89	EQUIPO MICROTREMOR : N° 3.	CASSETTE : N° 2	OPERADOR : C.H.E.
COUNTER Min Seg		ID	HORA Hora Min Seg
CALIBRACION : MEDICION : MODO : ☐ A ☐ P			CLIMA : Despejado, poco viento. OTROS : Se oye ruido del generador del Campamento Central.

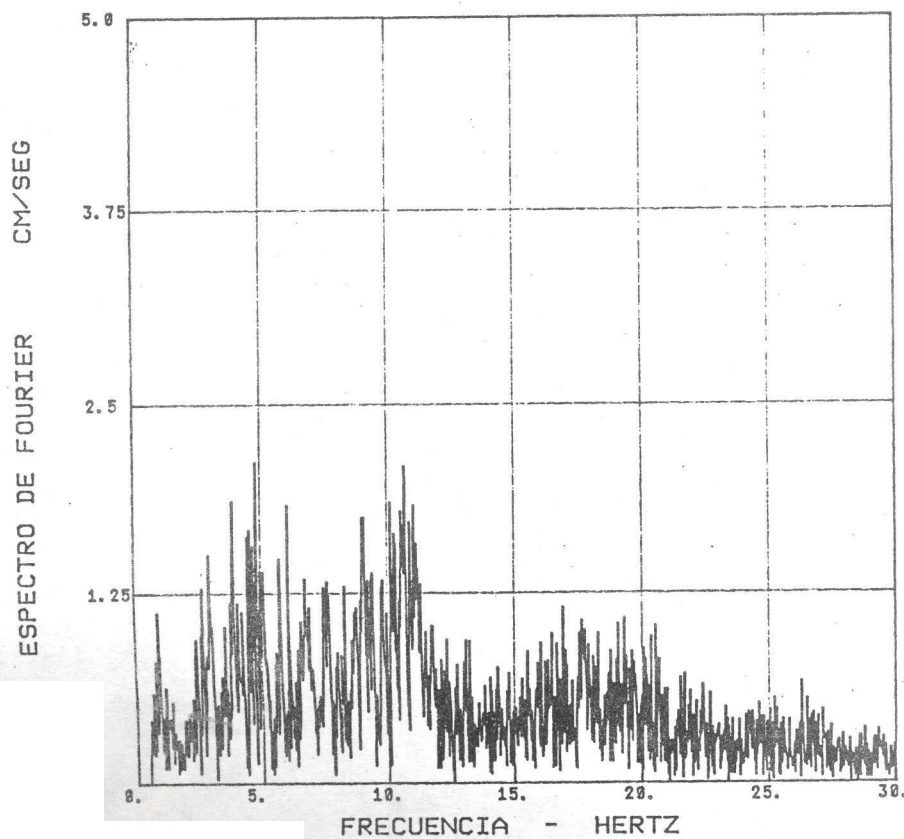


CONCLUSION :

El período fundamental del suelo es 0.17 seg.

III - 38
ESPECTRO DE FOURIER

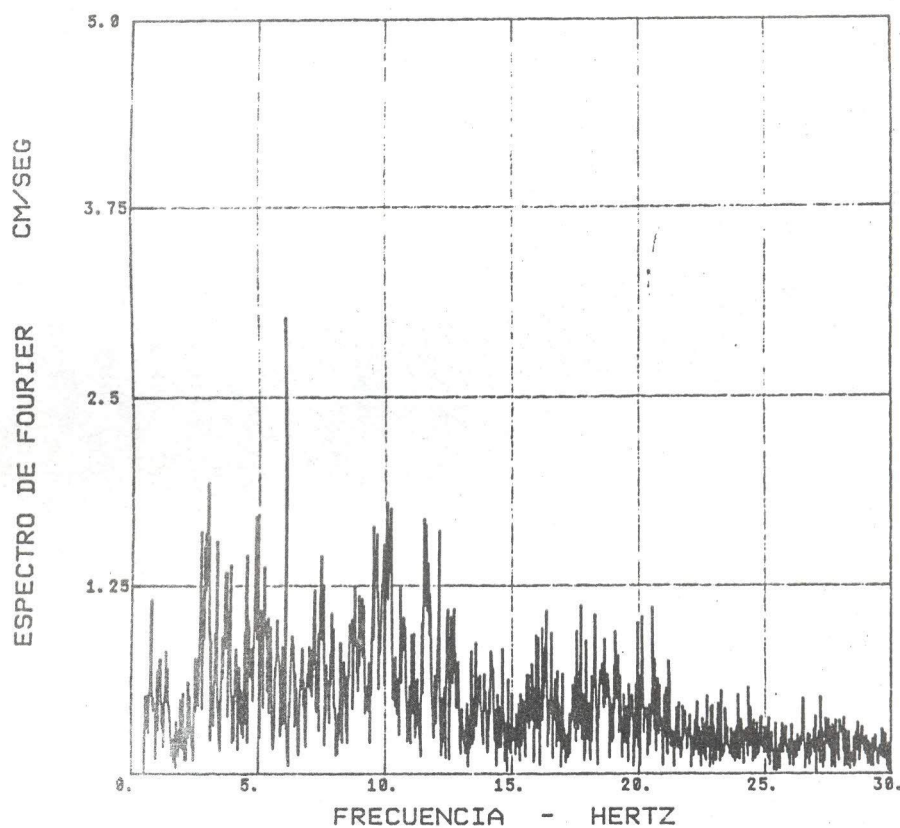
ESTACION : TACNA ABRIL 90 COMP N-S



UNI-FIC
CISMID

ESPECTRO DE FOURIER

ESTACION : TACNA , ABRIL 90 , COMP E-O



UNI-FIC
CISMID



CENTRO PERUANO-JAPONÉS DE
INVESTIGACIONES SÍSMICAS Y
MITIGACIÓN DE DESASTRES
LABORATORIO GEOTÉCNICO

III - 39

UNIVERSIDAD NACIONAL
DE INGENIERÍA

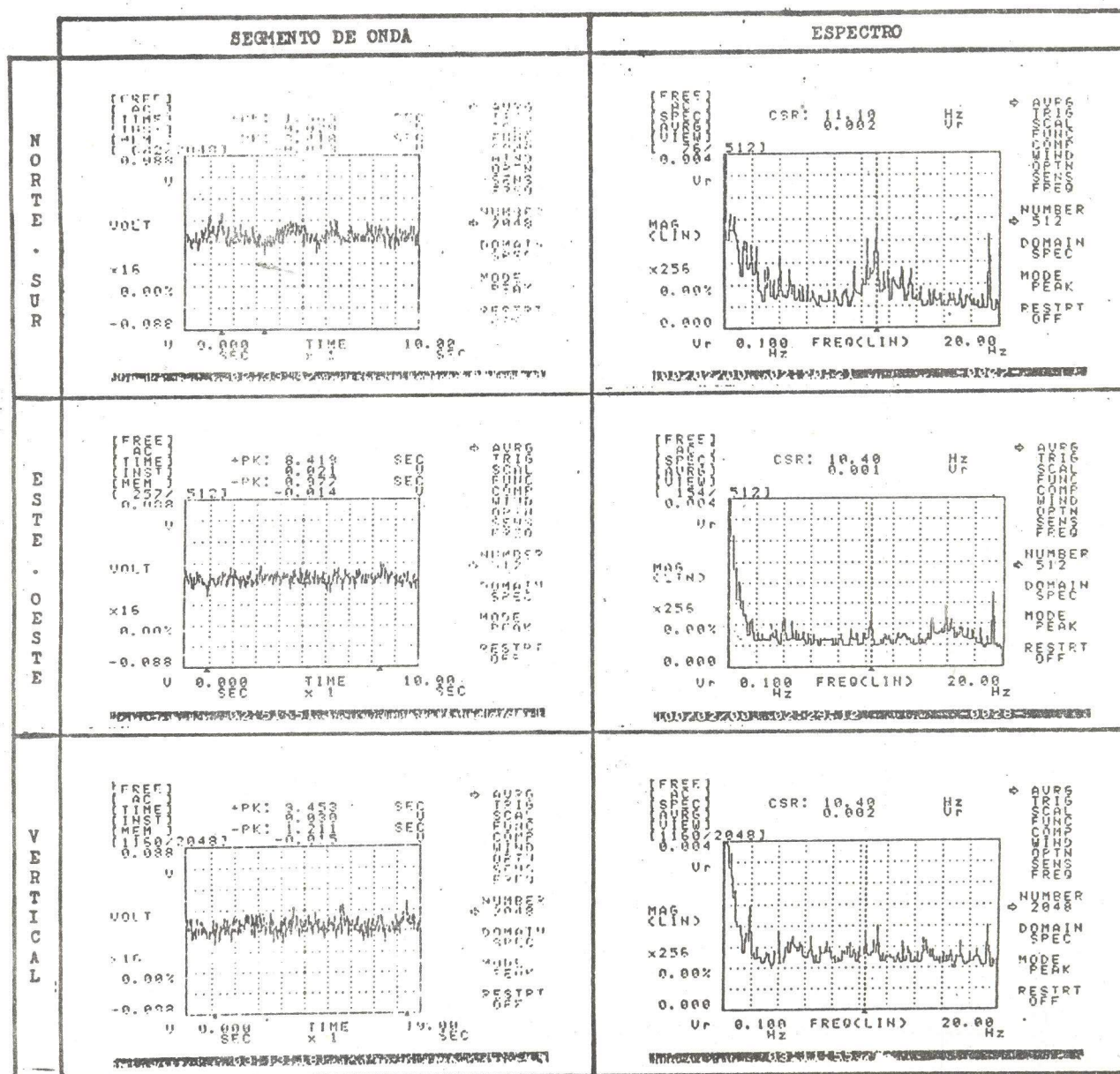
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL



TAC-1

SEGMENTOS DE ONDAS Y ESPECTROS UTILIZADOS EN EL ANALISIS
PARA EL CALCULO DEL PERIODO PREDOMINANTE

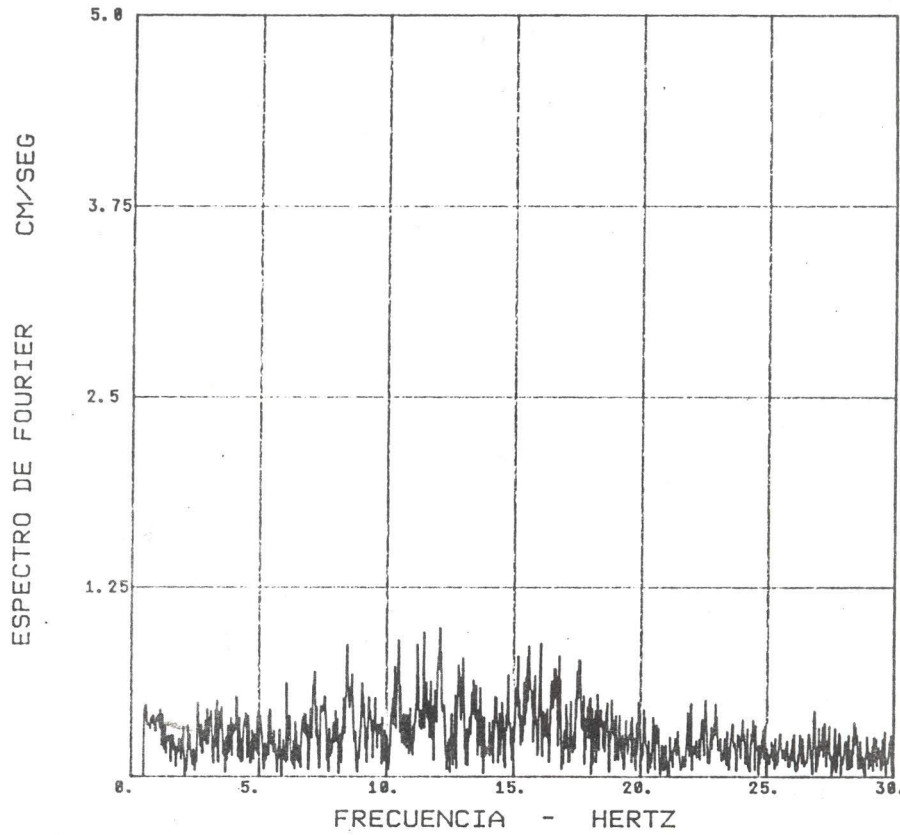
PROYECTO :	MICROZONIFICACION SISMICA DE LA CIUDAD DE TACNA	PUNTO DEFINIDO :	PM-17
FECHA :	14 /02 /89	EQUIPO MICROTREMOR :	Nº 2
		CASSETTE :	Nº 13.
		OPERADOR :	J.C.T.N.
CLIMA :	Soleado con regular viento.		
HORA :	13:20	CALIBRACION :	000-013
		MEDICION :	013-190 / 190-200.
OTROS :			



CONCLUSION : Este punto registró una frecuencia predominante promedio de 10.75 Hz., lo que corresponde a un período fundamental de 0.09 seg.

ESPECTRO DE FOURIER

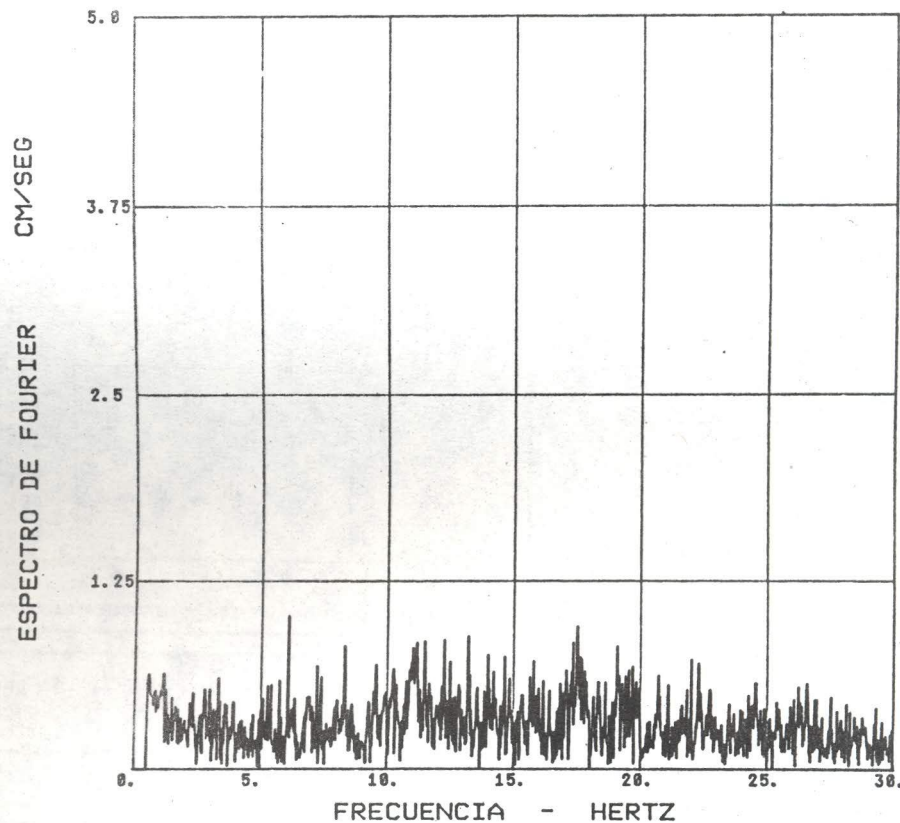
ESTACION : PQUE. RESERVA , 08/10/90 COMP N-S



UNI-FIC
CISMID

ESPECTRO DE FOURIER

ESTACION : PQUE. RESERVA , 08/10/90 , COMP E-O



UNI-FIC
CISMID



CENTRO PERUANO-JAPONES DE
INVESTIGACIONES SISMICAS Y
MITIGACION DE DESASTRES
LABORATORIO GEOTECNICO

UNIVERSIDAD NACIONAL
DE INGENIERIA
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL



LIM

SEGMENTOS DE ONDAS Y ESPECTROS UTILIZADOS EN EL ANALISIS.
PARA EL CALCULO DEL PERIODO PREDOMINANTE

PROYECTO : MICROZONIFICACION SISMICA DE LA CIUDAD DE LIMA		PUNTO DEFINIDO : PARQUE DE LA RESERVA	
FECHA : 06/01/90	EQUIPO MICROTREMOR : NO 3	CASSETTE : N°	OPERADOR : C.H.E.
COUNTER CALIBRACION : MEDICION : MODOS : ☐ P		HORA Hora Min Seg 05 40 00 CLIMA : Templado OTROS : Sensores sobre una vereda de concreto, a 1 cuadra de la caseta del acelerógrafo.	

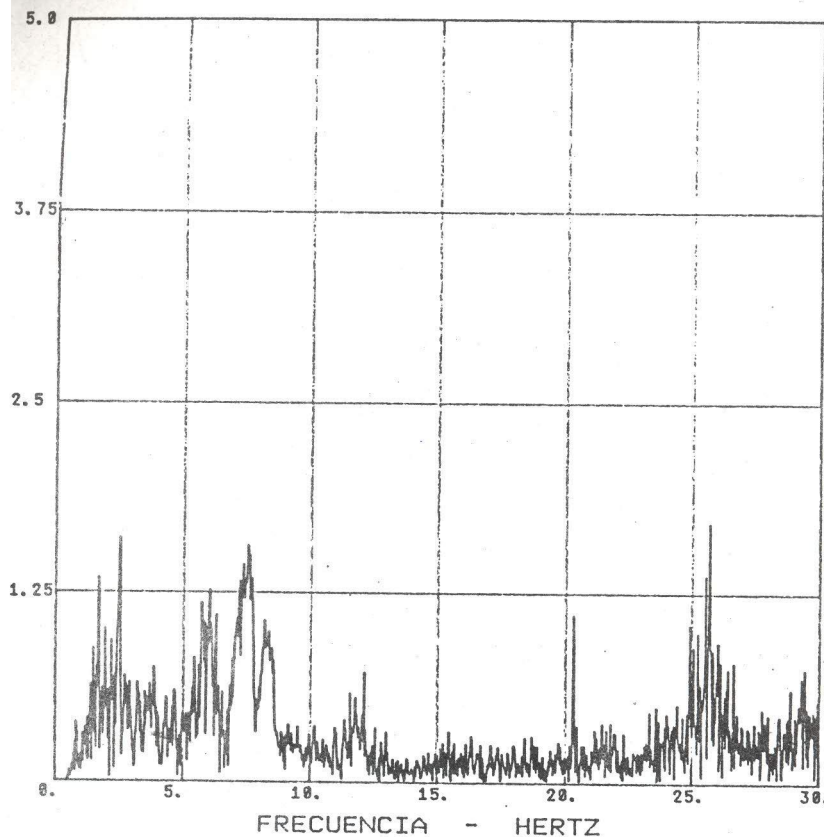
	SEGMENTO DE ONDA	ESPECTRO
NORTE SUR		
ESTE OESTE		
VERTICAL	NO SE MIDIO	NO SE MIDIO

CONCLUSION: El período predominante del suelo es 0.08 seg.

III - 42
ESPECTRO DE FOURIER

ESTACION : CALLAO , 08/10/90 , COMP N-S

ESPECTRO DE FOURIER
CM/SEG

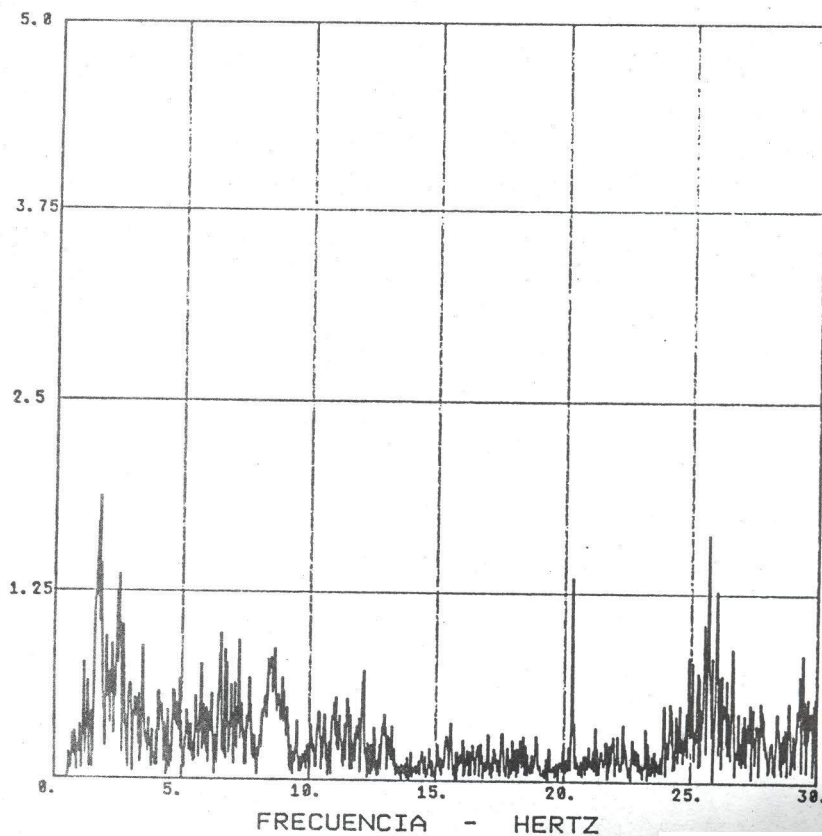


UNI-FIC
CISMID

ESPECTRO DE FOURIER

ESTACION : CALLAO , 08/10/90 , COMP E-O

ESPECTRO DE FOURIER
CM/SEG



UNI-FIC
CISMID



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL

FICHA DE MEDICION DE MICROTREPIDACIONES

CENTRO PERUANO-JAPONES
DE INVESTIGACIONES SISMICAS
Y MITIGACION DE DESASTRES

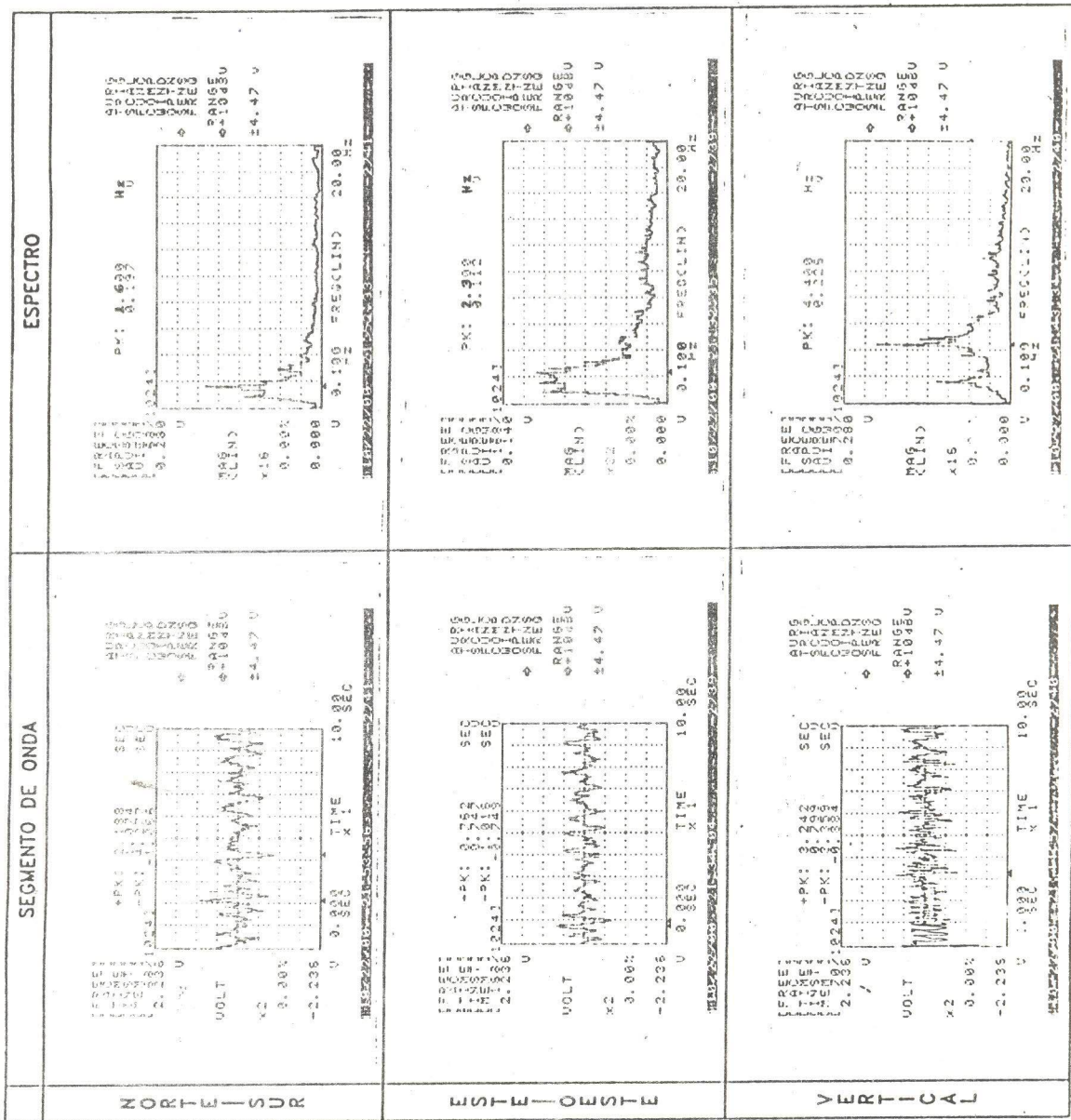
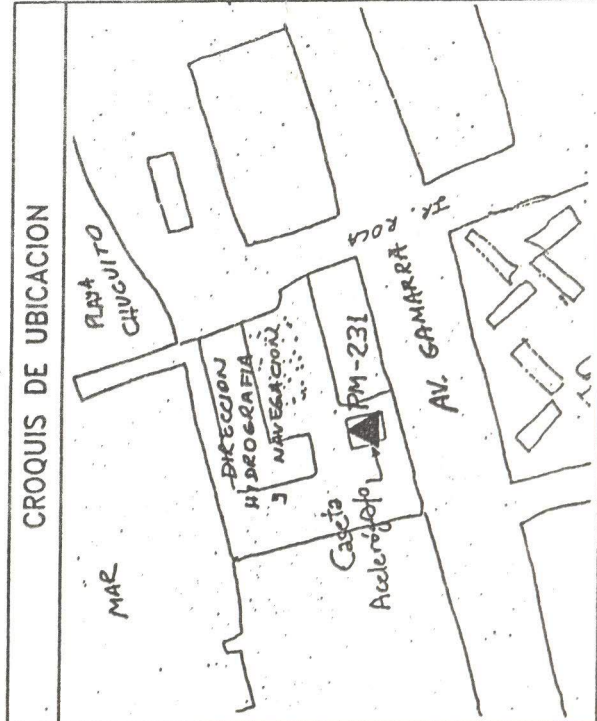


CAL
Callao

SEGMENTOS DE ONDA Y ESPECTROS
UTILIZADOS EN EL ANALISIS PARA EL
CALCULO DEL PERIODO PREDOMINANTE

Proyecto: MICROZONIFICACION SISMICA DE LA PUNTA Y EL CALLAO			
Fecha: 27/8/90	Operador: C.R.H.E.	Punto def.: PM-231	
Ubicación: Caseta del Acelerógrafo - Chucuito - Callao			
MEDICION		ATENUACION	
Cassette N°	IX-55	Componente	dB
Hora	14:25	N-S	0
Tiempo grabado	6'30"	E-O	0
Tiempo útil	2'15"	V	0

Observaciones: Sensores sobre el bloque de concreto del acelerógrafo. Perturbación del tráfico a 10 m.



CONCLUSIONES: $T_s = 0.53$ seg.
 $A_{max} = 0.23 \mu$

ANEXO IV

ANEXO IV.1

**Resultados del Análisis Dinámico de Perfiles de Suelo
utilizando el programa FRF.**

UNI - FIC - CISMID

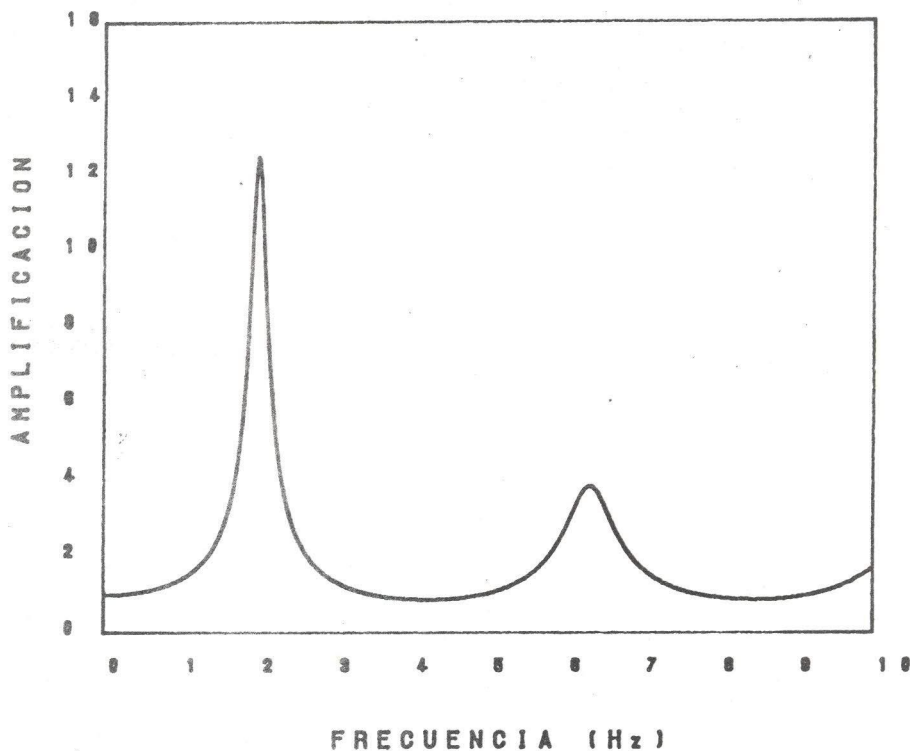
PROYECTO : MICROZONIF. SISMICA DE LA PUNTA Y EL CALILAO
 SONDAGE 1 : ESCUELA NAVAL.
 UBICACION : LA PUNTA
 No. DE ESTRATOS : 2

DATOS DE ENTRADA

No.	P.F. (g/cm ³)	ESPESOR (m)	VS. (m/sec)	Amortig (%)
1	2.20	11.00	250.00	5.0
2	1.80	20.00	265.00	5.0
3	2.20	0.00	600.00	0.0

FRECUENCIA PICO (Hz) = 2.00
 PERIODO (SEG) = 0.50
 AMPLIFICACION MAX. = 12.46

ESPECTRO DE AMPLIFICACION ONDAS-S



PERIODO FUNDAMENTAL = 0.50 seg.

UNI - FIC - CISMID

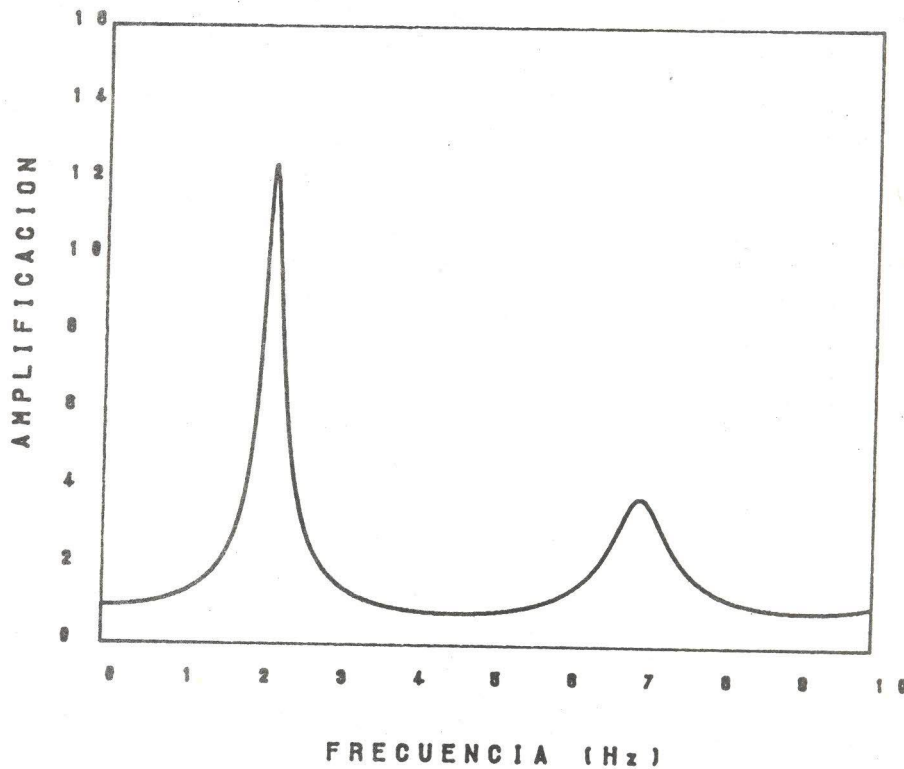
PROYECTO : MICROZON. SISMICA DE LA PUNTA Y EL CALILAO
 SONDAGE 2 : CPV
 UBICACION : CALILAO
 No. DE ESTRATOS : 2

DATOS DE ENTRADA

No.	P.E. (g/cm ³)	ESPESOR (m)	VS. (m/sec)	Amortig (%)
1	1.90	13.00	250.00	5.0
2	1.80	13.00	226.00	5.0
3	2.20	0.00	600.00	0.0

FRECUENCIA PICO (Hz) = 2.18
 PERIODO (SEG) = 0.46
 AMPLIFICACION MAX. = 12.41

ESPECTRO DE AMPLIFICACION ONDAS-S



PERIODO FUNDAMENTAL = 0.46 Seg.

UNI - FIC - CISMID

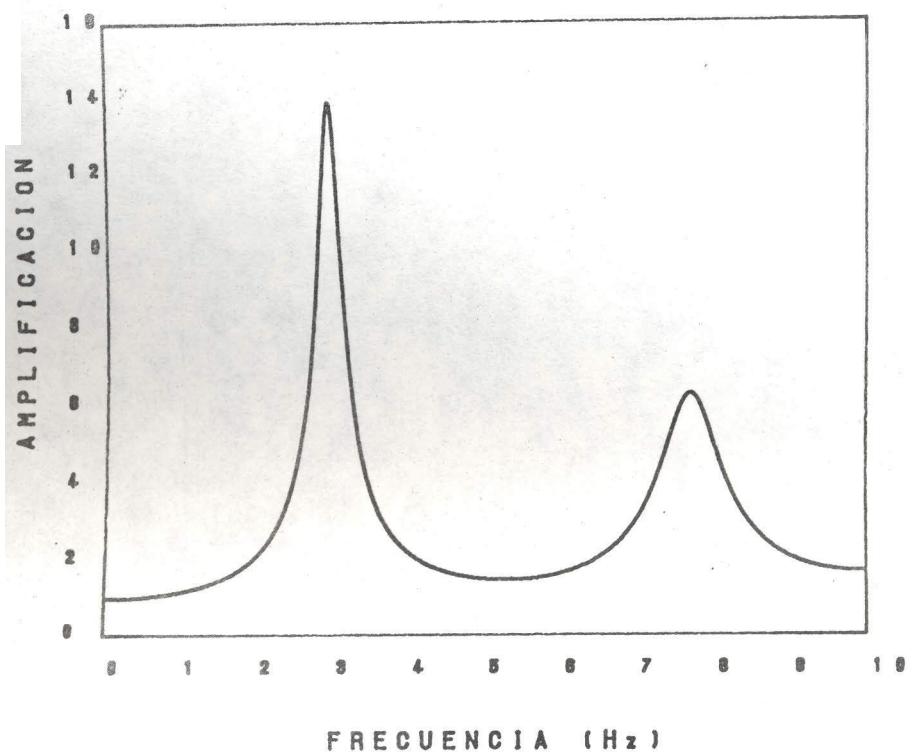
PROYECTO : MICROZON. SISMICA DE LA PUNTA Y EL CALLAO
 SONDAGE 3 : OFICINA PRINCIPAL ENAPU
 UBICACION : CALLAO
 No. DE ESTRATOS : 3

DATOS DE ENTRADA

No.	P.E. (g/cm^3)	ESPEJOR (m)	VS. (m/sec)	Amortig (%)
1	1.80	1.50	268.00	5.0
2	1.70	7.50	126.00	5.0
3	1.80	9.00	300.00	5.0
4	2.20	0.00	600.00	0.0

FRECUENCIA PICO (Hz) = 2.94
 PERIODO (SEG) = 0.34
 AMPLIFICACION MAX. = 13.90

ESPECTRO DE AMPLIFICACION ONDAS-S



PERIODO FUNDAMENTAL = 0.34 seg.

UNI - FIC - CISMID

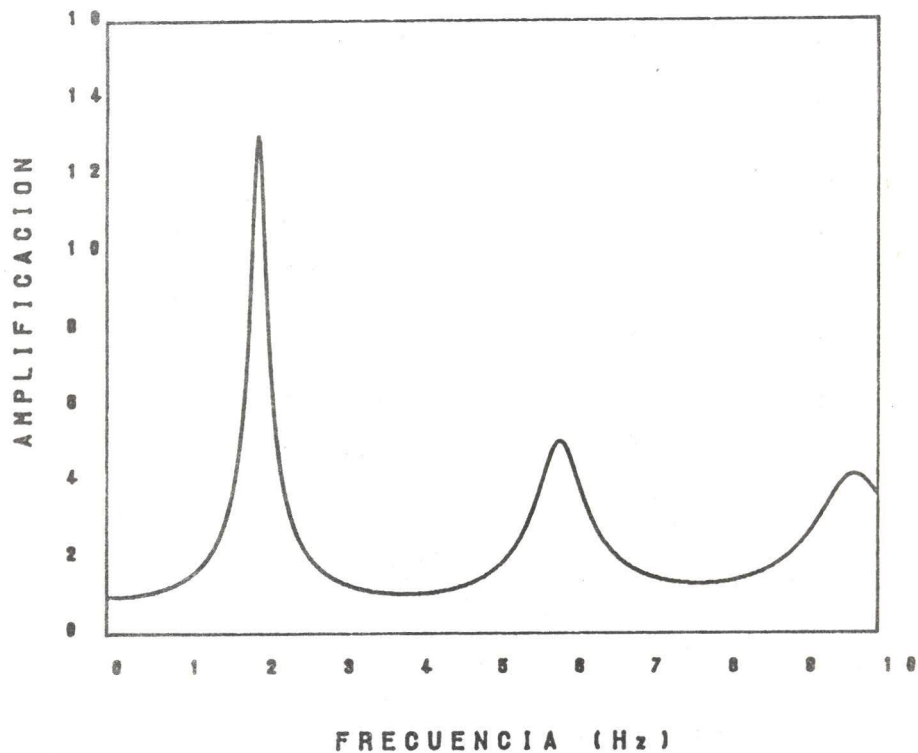
PROYECTO : MICROZON. SISMICA DE LA PUNTA Y EL CALILAO
 SONDAGE 4 : AREA DE LOS SILOS
 UBICACION : TERMINAL MARITIMO-CALILAO
 No. DE ESTRATOS : 2

DATOS DE ENTRADA

No.	P.F. (g/cm ³)	ESPESOR (m)	VS. (m/sec)	Amortig (%)
1	1.60	10.00	81.00	5.0
2	1.80	5.00	300.00	5.0
3	2.20	0.00	600.00	0.0

FRECUENCIA PICO (Hz) = 1.96
 PERIODO (SEG) = 0.51
 AMPLIFICACION MAX. = 13.00

ESPECTRO DE AMPLIFICACION ONDAS-S



PERIODO FUNDAMENTAL = 0.51 seg.

UNI - FIC - CISMID

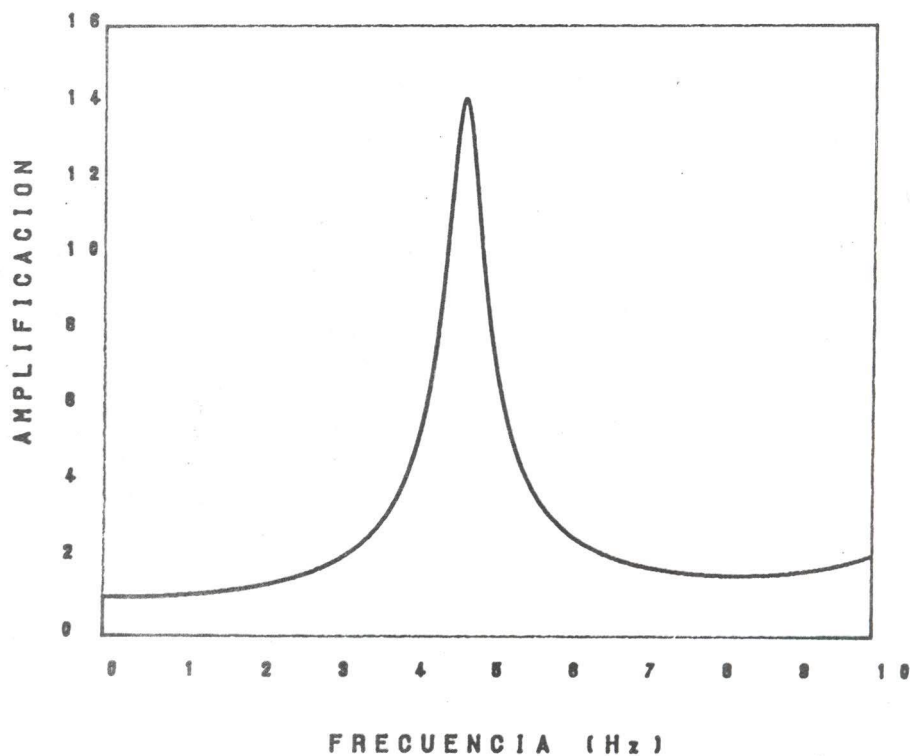
PROYECTO : MICROZON. SISMICA DE LA PUNTA Y EL CALILAO
 SONDAGE 5 : DEPOSITO CERRO DE PASCO CORPORATION
 UBICACION : AV. GUARDIA CHALACA-CALILAO
 No. DE ESTRATOS : 3

DATOS DE ENTRADA

No.	P.E. (g/cm ³)	ESPESOR (m)	VS. (m/sec)	Amortig (%)
1	1.70	10.00	257.00	5.0
2	1.70	2.00	361.00	5.0
3	1.80	9.00	483.00	5.0
4	2.20	0.00	600.00	0.0

FRECUENCIA PICO (Hz) = 4.68
 PERIODO (SEG) = 0.21
 AMPLIFICACION MAX. = 14.11

ESPECTRO DE AMPLIFICACION ONDAS-S



PERIODO FUNDAMENTAL = 0.21 seg.

UNI - FIC - CISMID

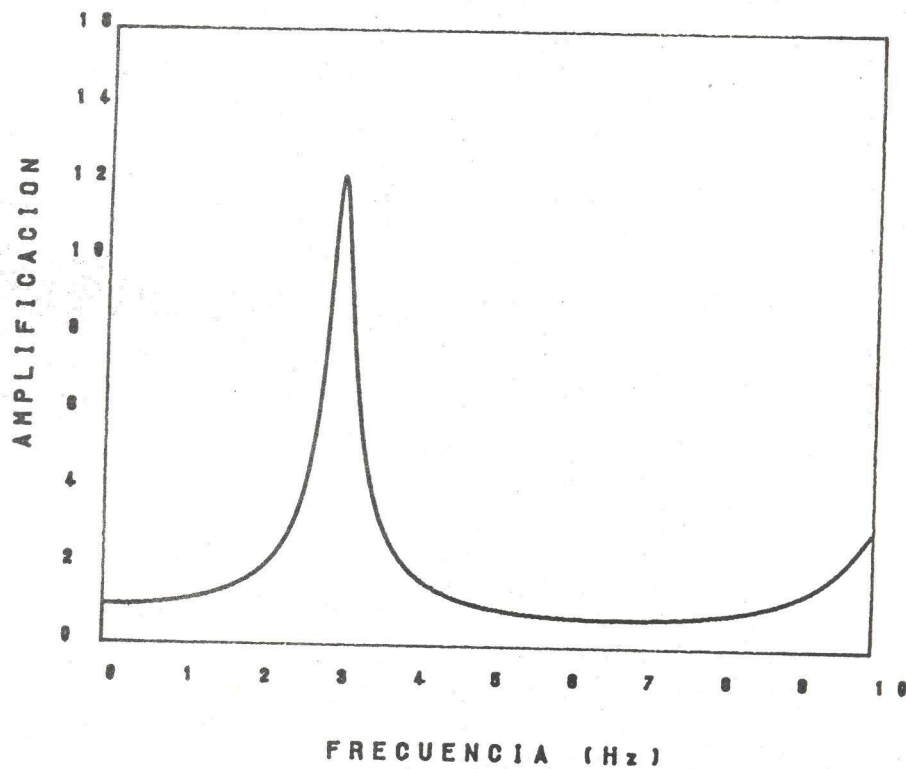
PROYECTO : MICROZON. SISMICA DE LA PUNTA Y EL CALILAO
 SONDAGE 6 : ESCUELA DE SUBMARINOS
 UBICACION : BASE NAVAL DEL CALILAO
 No. DE ESTRATOS : 3

DATOS DE ENTRADA

No	P.E. (g/cm ³)	ESPESESOR (m)	VS. (m/sec)	Amortig (%)
1	2.00	7.00	219.00	5.0
2	1.90	7.00	170.00	5.0
3	2.00	1.00	307.00	5.0
4	2.20	0.00	600.00	0.0

FRECUENCIA PICO (Hz) = 3.02
 PERIODO (SEG) = 0.33
 AMPLIFICACION MAX. = 12.17

ESPECTRO DE AMPLIFICACION ONDAS-S



PERIODO FUNDAMENTAL = 0.33 seg.

UNI - FIC - CISMID

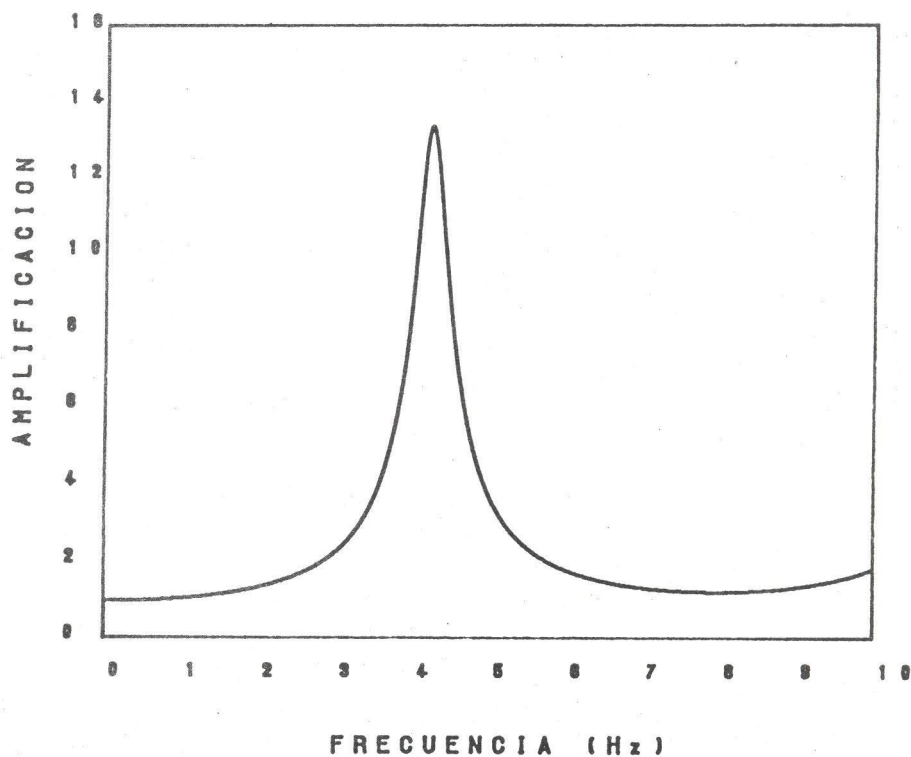
PROYECTO : MICROZON. SISMICA DE LA PUNTA Y EL CALILAO
 SONDaje 7 : AV. GUARDIA CHALACA
 UBICACION : CALILAO
 No. DE ESTRATOS : 3

DATOS DE ENTRADA

Nº.	P.F. (g/cm ³)	ESPEJOR (m)	VS. (m/sec)	Amortig (%)
1	1.70	5.00	268.00	5.0
2	1.70	5.00	315.00	5.0
3	1.80	10.00	339.00	5.0
4	2.20	0.00	600.00	0.0

FRECUENCIA PICO (Hz) = 4.24
 PERIODO (SEG) = 0.24
 AMPLIFICACION MAX. = 13.35

ESPECTRO DE AMPLIFICACION ONDAS-S



PERIODO FUNDAMENTAL = 0.24 seg.

UNI - FIC - CISMID

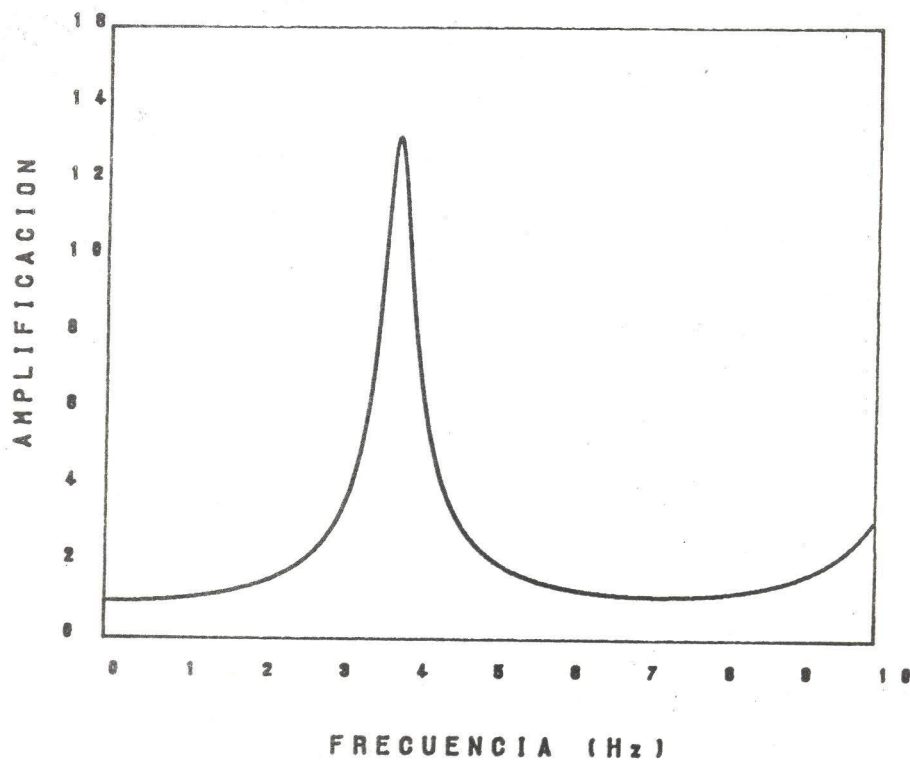
PROYECTO : MICROZON. SISMICA DE LA PUNTA Y EL CALIAO
 SONDAGE 8 : CASTROL DEL PERU
 UBICACION : CALIAO
 No. DE ESTRATOS : 2

DATOS DE ENTRADA

No.	P.E. (g/cm^3)	ESPESOR (m)	VS. (m/sec)	Amortig (%)
1	1.70	8.00	268.00	5.0
2	1.80	12.00	300.00	5.0
3	2.20	0.00	600.00	0.0

FRECUENCIA PICO (Hz) = 3.78
 PERIODO (SEG) = 0.26
 AMPLIFICACION MAX. = 13.15

ESPECTRO DE AMPLIFICACION ONDAS-S



PERIODO FUNDAMENTAL = 0.26 seg.

UNI - FIC - CISMID

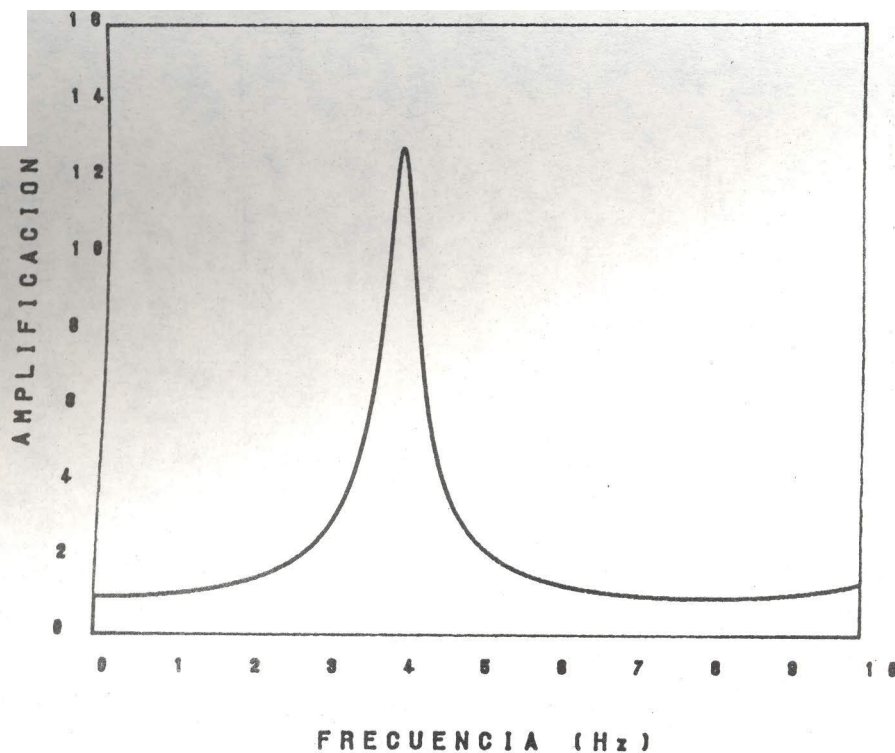
PROYECTO : MICROZON. SISMICA DE LA PUNTA Y EL CALILAO
 SONDAGE 9 : IGLESIA J.S.U.D.
 UBICACION : CALILAO
 No. DE ESTRATOS : 3

DATOS DE ENTRADA

No.	P.E. (g/cm ³)	ESPESOR (m)	VS. (m/sec)	Amortig (%)
1	1.70	4.00	280.00	5.0
2	1.70	4.00	390.00	5.0
3	1.90	12.00	300.00	5.0
4	2.20	0.00	600.00	0.0

FRECUENCIA PICO (Hz) = 3.94
 PERIODO (SEG) = 0.25
 AMPLIFICACION MAX. = 12.78

ESPECTRO DE AMPLIFICACION ONDAS-S



PERIODO FUNDAMENTAL = 0.25 seg.

UNI - FIC - CISMID

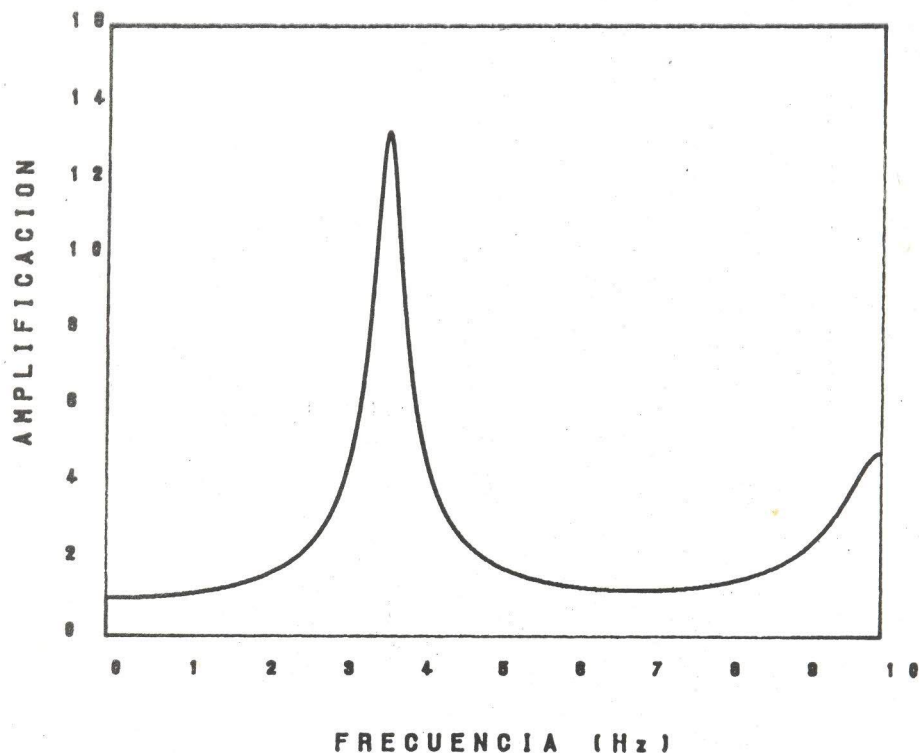
PROYECTO : MICROZON. SISMICA DE LA PUNTA Y EL CALILAO
 SONDAGE 10 : URBANIZACION ALTAMAR
 UBICACION : LA PERLA
 No. DE ESTRATOS : 2

DATOS DE ENTRADA

No.	P.R. (g/cm ³)	ESPESOR (m)	VS. (m/sec)	Amortig (%)
1	1.85	10.00	250.00	5.0
2	1.90	10.00	298.00	5.0
3	2.20	0.00	600.00	0.0

FRECUENCIA PICO (Hz) = 3.62
 PERIODO (SEG) = 0.28
 AMPLIFICACION MAX. = 13.26

ESPECTRO DE AMPLIFICACION ONDAS-S



PERIODO FUNDAMENTAL = 0.28 seg.

UNI - FIC - CISMID

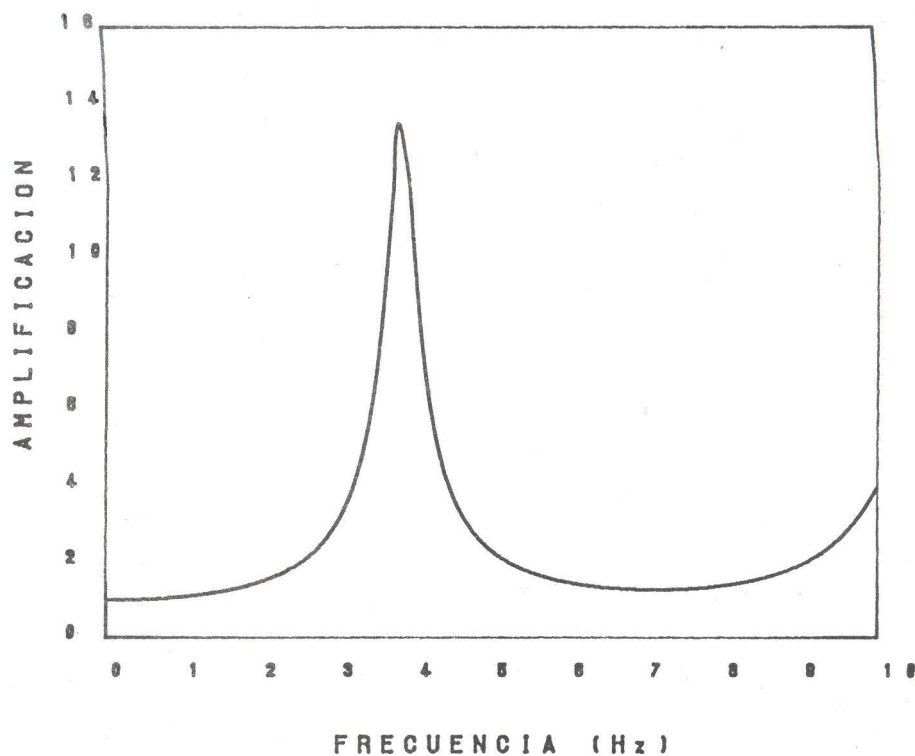
PROYECTO : MICROZON. SISMICA DE LA PUNTA Y EL CALILAO
 SONDAGE 11 : EDIFICACIONES AV. COLINA
 UBICACION : BELLAVISTA
 No. DE ESTRATOS : 3

DATOS DE ENTRADA

No.	P.E. (g/cm ³)	ESPEJOR (m)	VS. (m/sec)	Amortig (%)
1	1.60	4.00	220.00	5.0
2	1.70	6.00	284.00	5.0
3	1.80	10.00	300.00	5.0
4	2.20	0.00	600.00	0.0

FRECUENCIA PICO (Hz) = 3.80
 PERIODO (SEG) = 0.26
 AMPLIFICACION MAX. = 13.44

ESPECTRO DE AMPLIFICACION ONDAS-S



PERIODO FUNDAMENTAL = 0.26 seg.

UNI - FIC - CISMID

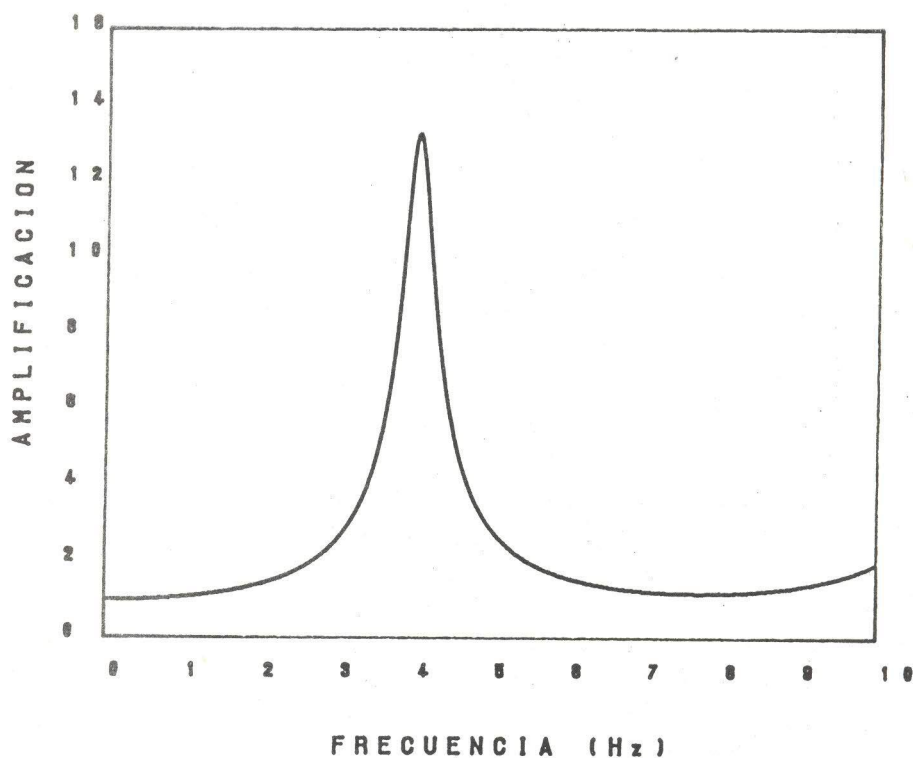
PROYECTO : MICROZON. SISMICA DE LA PUNTA Y RI. CALILAO
 SONDAGE 12 : UNIVERSIDAD TECNICA DEL CALILAO
 UBICACION : BELLAVISTA
 No. DE ESTRATOS : 4

DATOS DE ENTRADA

No.	P.E. (g/cm ³)	ESPESOR (m)	VS. (m/sec)	Amortig (%)
1	1.80	3.00	226.00	5.0
2	1.80	2.00	354.00	5.0
3	1.80	8.00	279.00	5.0
4	1.90	7.00	350.00	5.0
5	2.20	0.00	600.00	0.0

FRECUENCIA PICO (Hz) = 4.04
 PERIODO (SEG) = 0.25
 AMPLIFICACION MAX. = 13.25

ESPECTRO DE AMPLIFICACION ONDAS-S



PERIODO FUNDAMENTAL = 0.25 seg.

UNI - FIC - CISMID

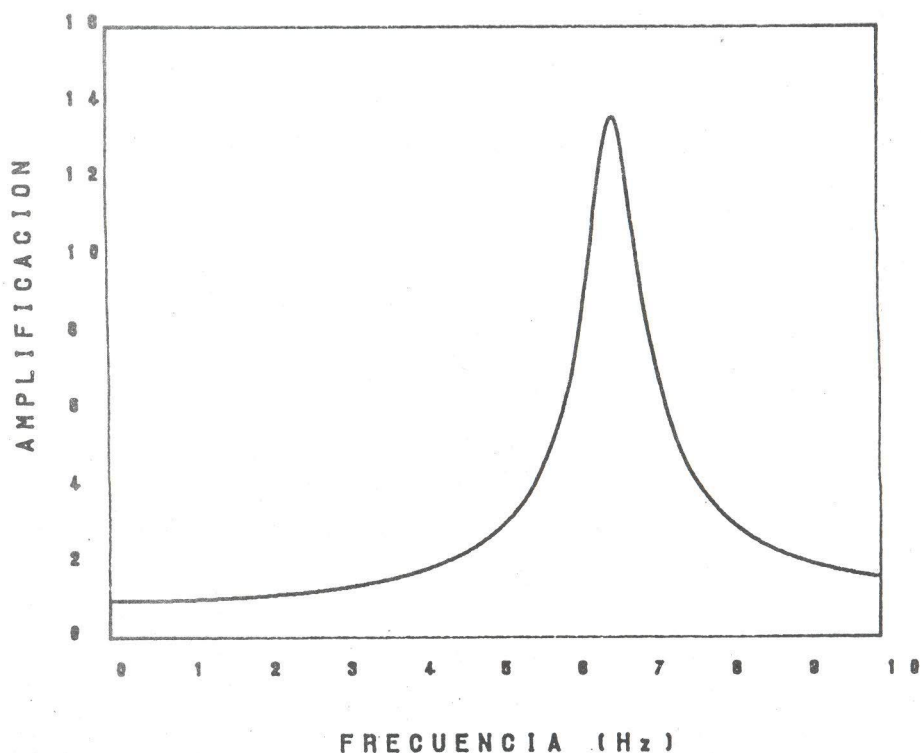
PROYECTO : MICROZON. SISMICA DE LA PUNTA Y EL CALIAO
 SONDAGE 13 : MOLINOS NICOLINI
 UBICACION : CALIAO
 No. DE ESTRATOS : 3

DATOS DE ENTRADA

No.	P.E. (g/cm ³)	ESPESOR (m)	VS. (m/sec)	Amortig (%)
1	1.60	6.00	290.00	5.0
2	1.70	4.00	430.00	5.0
3	1.80	4.00	340.00	5.0
4	2.20	0.00	600.00	0.0

FRECUENCIA PICO (Hz) = 6.56
 PERIODO (SEG) = 0.15
 AMPLIFICACION MAX. = 13.63

ESPECTRO DE AMPLIFICACION ONDAS-S



PERIODO FUNDAMENTAL = 0.15 Seg.

UNI - FIC - CISMID

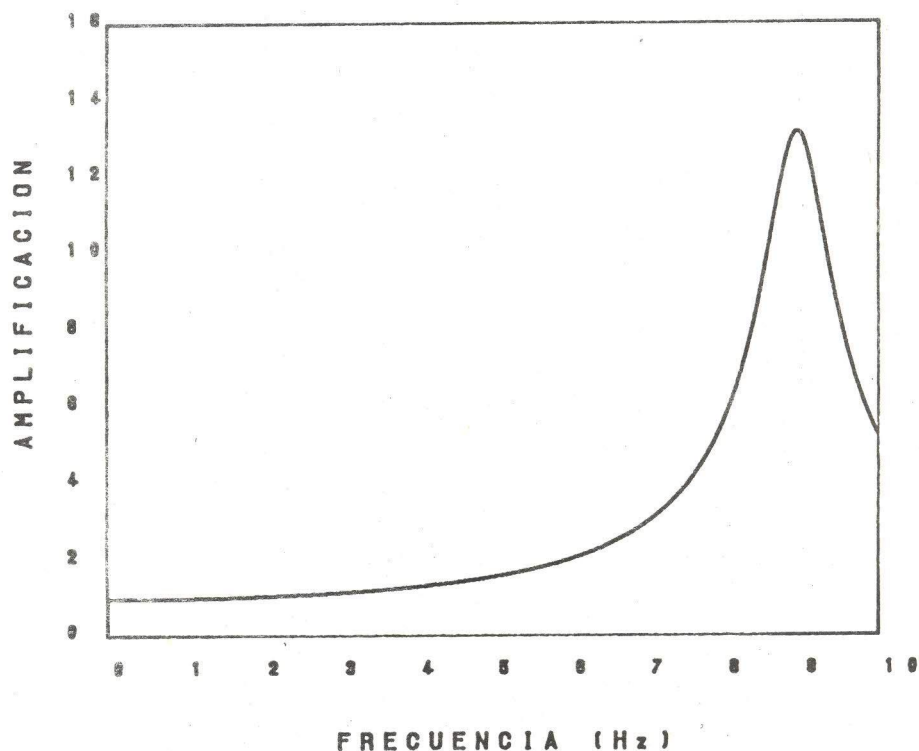
PROYECTO : MICROZON. SISMICA DE LA PUNTA Y EL CALILAO.
 SONDAGE 14 : KOMFORT
 UBICACION : CALILAO
 No. DE ESTRATOS : 3

DATOS DE ENTRADA

No.	P.R. (g/cm ³)	ESPESOR (m)	VS. (m/sec)	Amortig (%)
1	1.70	3.80	219.00	5.0
2	1.50	2.20	257.00	5.0
3	1.90	2.00	417.00	5.0
4	2.20	0.00	600.00	0.0

FRECUENCIA PICO (Hz) = 8.94
 PERIODO (SEG) = 0.11
 AMPLIFICACION MAX. = 13.16

ESPECTRO DE AMPLIFICACION ONDAS-S



PERIODO FUNDAMENTAL = 0.11 seg.

ANEXO IV.2

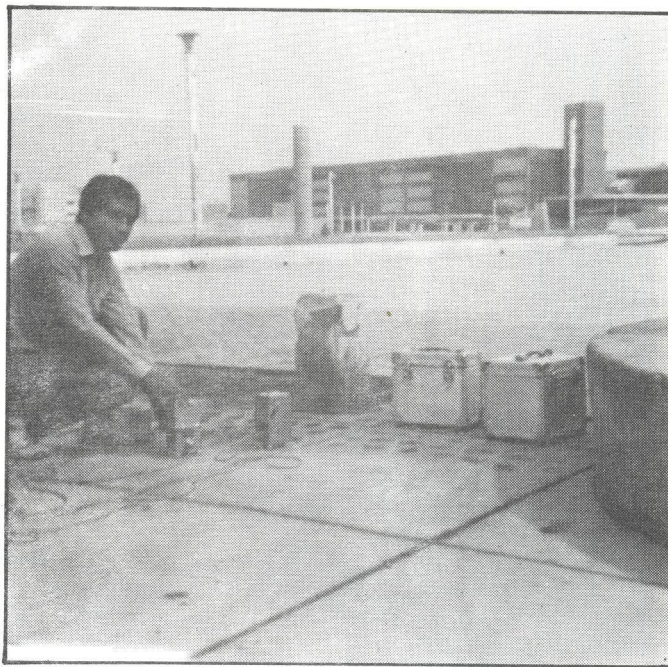
Archivo de Datos MODDAMP para el Programa PCSHAKE.

ARCHIVO MODDAMP PARA CURVAS DE VARIACION DEL MODULO
CORTANTE Y FACTOR DE AMORTIGUAMIENTO EN ARCILLAS Y
ARENAS.

3							
11 'shear modulus clay may 24-1972'							
.0001	.000316	.001	.00316	.01	.0316	.1	.316
1.	3.16	10.					
2300.	2100.	1750.	1300.	920.	600.	350.	175.
84.	30.	10.					
10 'damping clay may 24-1972'							
.0001	.001	.00316	.01	.0316	.1	.316	1.
3.16	10.						
2.0	2.5	3.5	4.75	6.5	9.25	13.75	20.0
26.	29.						
11 'shear modulus sand sq.root may 24-1972 '							
.0001	.000316	.001	.00316	.01	.0316	.1	.316
1.	3.16	10.					
61.	60.	57.	50.4	40.	27.	15.	7.
3.	3.	3.					
9 'damping sand february 1971'							
.0001	.001	.003	.01	.03	.1	.3	1.
10.							
1.	1.6	3.12	5.8	9.5	15.4	20.9	25.
25.5							
8 'attenuation of rock average april 1971'							
.0001	.0003	.001	.003	.01	.03	.1	1.
2000.	2000.	1975.	1905.	1800.	1620.	1450.	1100.
5 'damping in rock average 9/4 1971'							
.0001	.001	.01	.1	1.			
.4	.8	1.5	3.	4.6			

ANEXO V

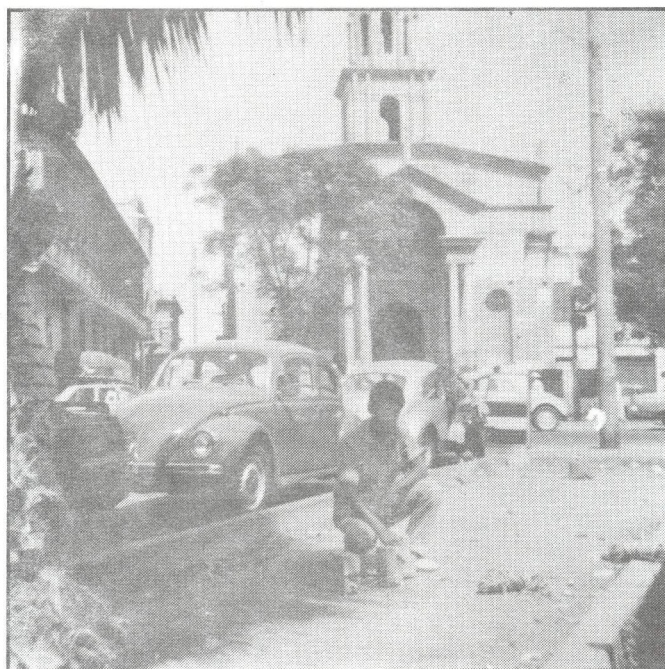
FOTOGRAFIAS



FOTOGRAFIA N° 1: MEDICION DEL PERIODO DEL SUELO EN LA PUNTA. AL FONDO SE OBSERVAN LOS NUEVOS EDIFICIOS DE LA ESCUELA NAVAL DEL PERU, RECONSTRUIDA TRAS EL SISMO DE 1974.
 $T_s = 0.56 \text{ seg.}$



FOTOGRAFIA N° 2: MEDICION DEL PERIODO DEL SUELO AL SUR DE LA PUNTA. AL FONDO SE OBSERVA UN ESPIGON DE DEFENSA.
 $T_s = 0.52 \text{ seg.}$



FOTOGRAFIA Nº 3: MEDICION DEL PERIODO DEL SUELO FRENTE A LA IGLESIA
MATRIZ DEL CALLAO, RECONSTRUIDA TRAS COLAPSAR
DURANTE EL SISMO DE 1966.
 $T_s = 0.29 \text{ seg.}$



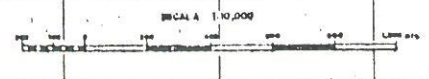
FOTOGRAFIA Nº 4: MEDICION DEL PERIODO DEL SUELO EN LA AV. COLONIAL.
AL FONDO LA CERVECERIA PILSEN CALLAO.
 $T_s = 0.16 \text{ seg.}$

PLANOS



LEYENDA

- ▲ MEDICION DE MICROTREMOR
- SONDAJE O CALICATA DE UN ESTUDIO RECONSTRUCCION
- POZO DE AGUA SUBTERRANEA



PLANO N°1

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL
CISMO - LABORATORIO GEOTECNICO

MICROZONIFICACION SISMICA DE LA PUNTA Y EL GALLAO

PLANO UBICACION DE SONDAJES, POZOS Y ENSAYOS DE MICROTREMOR

HECHO Callejón de la Unión	REVISADO Jorge E. Pardo	DISEÑO P. E. G.	FECHA ABRIL 1981
-------------------------------	----------------------------	--------------------	---------------------

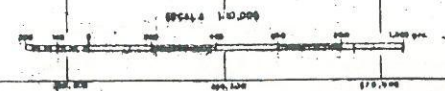


TERMINAL
MARITIMO
DEL CALLAO

O
C
E
A
N
O

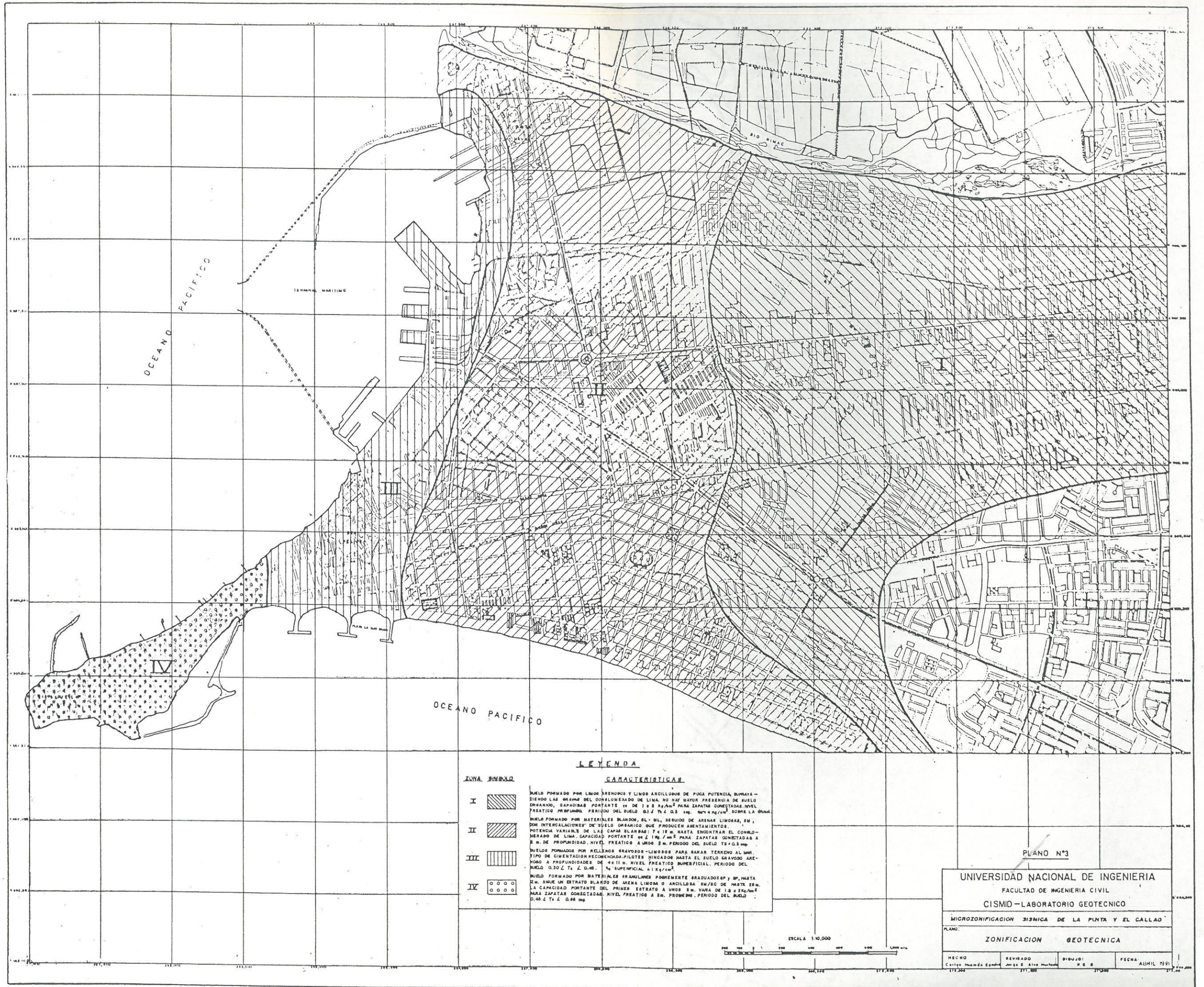
P
A
C
I
F
I
C
O

LEYENDA
● - Nº DE PUNTO
(0.30) - PERIODO PREDOMINANTE
HORIZONTAL DEL BUKLO (en seg.)
○ - ESTACION ACCELEROGRAFICA



PLANO N°2

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL
CISMID-LABORATORIO GEOTECNICO
MICROZONIFICACION SISMICA DE LA PUNTA Y EL CALLAO
PLANO: CURVAS ISOPERIODO
HECHO: Carlos Huamán Espino
REVISADO: Jorge E. Alva Huamán
DIBUJÓ: D. C. B.
FECHA: ABRIL 68



OCEANO PACIFICO

TERMINAL MARITIMO

OCEANO PACIFICO

LEYENDA

ZONA SISMICA

- I [diagonal lines]
- II [horizontal lines]
- III [vertical lines]
- IV [dots]

CARACTERISTICAS

SUELO FORMADO POR LIMOS ARENOSOS Y LIMOS ARCILLOSOS DE Poca POTENCIA, SUMATA -
DIENDO LAS BRUNAS DEL CONJUNTO DE LIMA NO HAY PRESENCIA DE SUELO
ORANCO, CAPACIDAD PORTANTE q_u DE 1.0 A 2.0 kg/cm² PARA ZAPATAS CONECTADAS, NIVEL
PREFATIGO PROFUNDO, PERIODO DEL SUELO 0.12 A 0.3 seg. q_{u0} 4 kg/cm² SOBRE LA BRUNA

SUELO FORMADO POR MATERIALES BLANDOS, SL - ML, RESIDUO DE ARENAS LIMOSAS, SM,
CON INTERCALACIONES DE SUELO ORANCO QUE PRODUCEN ABENTAMIENTOS.
POTENCIA VARIABLE DE LAS CAPAS BLANCAS: 7 A 15 m. HASTA ENCONTRAR EL CONJUNTO
MERADO DE LIMA. CAPACIDAD PORTANTE q_u 1.00 A 1.50 kg/cm² PARA ZAPATAS CONECTADAS A
8 m. DE PROFUNDIDAD, NIVEL PREFATIGO A UNOS 8 m. PERIODO DEL SUELO 0.3 A 0.5 seg.

SUELOS FORMADOS POR RELLENOS GRAVOSOS-LIMOSOS PARA SANAR TERRENO AL MAR,
TIPO DE CIMENTACION RECOMENDADA PILOTES RINCADOS HASTA EL SUELO GRAVOSO ARE-
NOSO A PROFUNDIDADES DE 4 A 11 m. NIVEL PREFATIGO SUPERFICIAL, PERIODO DEL
SUELO 0.30 A 0.45 seg. q_{u0} SUPERFICIAL 1.00 kg/cm²

SUELO FORMADO POR MATERIALES GRANULARES PORMENTE GRADUADOS SP Y SM, HASTA
25 m. SIGUE UN ESTRATO BLANDO DE ARENA LIMOSA O ARCILLOSA SM/SC DE HASTA 25 m.
LA CAPACIDAD PORTANTE DEL PRIMER ESTRATO A UNOS 8 m. VANA DE 1.5 A 2.0 kg/cm²
PARA ZAPATAS CONECTADAS, NIVEL PREFATIGO A 8 m. PROBLEMA, PERIODO DEL SUELO
0.45 A 0.60 seg.

PLANO N°3

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA			
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL			
CISMID-LABORATORIO GEOTECNICO			
MICROZONIFICACION SISMICA DE LA PUNTA Y EL CALLAO			
PLANO:			
ZONIFICACION GEOTECNICA			
HECHO	REVISADO	DIBUJO	FECHA
Carlos Morales Espino	Art. 21	Art. 21	21/1/80
17/1/80	21/1/80	21/1/80	21/1/80

