

**Universidad Nacional de Ingeniería**

**PROGRAMA ACADEMICO DE INGENIERIA CIVIL**



**ESTUDIO DE AMPLIFICACION DE ONDAS SISMICAS  
EN LOS SUELOS DE CHORRILLOS**

**T E S I S**

**PARA OPTAR EL TITULO PROFESIONAL DE INGENIERO CIVIL**

**ANTONIO JAVIER VILLANUEVA MERINO**

**PROMOCION 1973 - 2**

**LIMA ★ PERU ★ 1975**

# I N D I C E

	Pág.
INTRODUCCION -----	1
CAPITULO I	
1.00 GENERALIDADES -----	6
1.10 UBICACION Y EXTENSION DEL AREA DE ESTUDIO -----	6
1.20 TOPOGRAFIA DEL AREA -----	6
1.30 SISMICIDAD REGIONAL -----	7
1.40 ANTECEDENTES SISMOLOGICOS DE LA REGION -----	13
CAPITULO II	
2.00 GEOMORFOLOGIA Y GEOLOGIA -----	19
2.10 CARACTERISTICAS GEOMORFOLOGICAS Y GEOLOGICAS DE LA REGION -----	19
2.20 GEOLOGIA DEL AREA DE ESTUDIO -----	21
2.30 HIDROGEOLOGIA Y DRENAJE -----	33
CAPITULO III	
3.00 ESTUDIO DE LOS SUELOS DE CHORRILLOS -----	35
3.10 INTRODUCCION -----	35
3.20 EFECTOS DE LAS CONDICIONES DEL SUELO DURANTE LOS MOVIMIENTOS SISMICOS -----	38

3.30	CARACTERISTICAS DE LOS SUELOS -----	40
3.40	INFLUENCIA DE LA NAPA FREATICA EN EL COMPORTAMIENT TO DEL SUELO -----	45
3.50	PERFILES ESTRATIGRAFICOS E HIPOTESIS DE TRABAJO --	48

CAPITULO IV

4.00	MICROTREPIDACIONES -----	51
4.10	INTRODUCCION -----	51
4.20	CARACTERISTICAS DE LAS CURVAS DE DISTRIBUCION DE PERIODOS DE MICROTREPIDACIONES -----	53
4.30	VIBRACIONES PREDOMINANTES Y LA DISTRIBUCION DE PERIODOS -----	54
4.40	SISMOS Y MICROTREPIDACIONES -----	56
4.50	CLASIFICACION DEL SUELO POR MEDIO DE MICROTREPI DACIONES -----	57
4.60	MEDIDAS DE MICROTREPIDACIONES EN CHORRILLOS -----	60
4.80	CLASIFICACION DE SUELOS -----	63
4.90	CONCLUSIONES -----	65

CAPITULO V

5.00	MODELOS DE COMPORTAMIENTO DINAMICO DE LOS SUELOS DE CHORRILLOS -----	70
5.10	INTRODUCCION A LOS METODOS ANALITICOS -----	70
5.20	DETERMINACION DE LOS MODELOS DE SUELO Y SUS CARAC- TERISTICAS -----	81

5.30	FORMULA SEMI-EMPIRICA DE KANAI PARA LA DETERMINACION DE LA RESPUESTA ESPECTRAL DE MOVIMIENTOS SISMICOS FUERTES -----	90
5.40	CALCULO DE LA RESPUESTA ESPECTRAL DEL SUELO EN SU SUPERFICIE PARA LOS PERFILES SECCIONALES DE CHORRILLOS -----	98
5.50	METODO DE SEED Y SCHNABEL PARA LA OBTENCION DE LA RESPUESTA DEL SUELO EN SUPERFICIE -----	101
5.60	CALCULO DE LAS AMPLIFICACIONES EN SUPERFICIE PARA LOS SUELOS DE CHORRILLOS, MEDIANTE LOS MODELOS COMPUTACIONALES DE H.B. SEED -----	111
5.70	CONCLUSIONES -----	118

APENDICE A

A1.00	EFFECTOS DEL SISMO DEL 03-10-74 EN EL DISTRITO DE CHORRILLOS -----	121
A1.10	INTRODUCCION -----	122
A1.20	CARACTERISTICAS DE LA ENCUESTA -----	122
A1.30	OBSERVACION DE DAÑOS EN LAS EDIFICACIONES -----	123
A1.40	DISTRIBUCION DE DAÑOS E INTENSIDADES SISMICAS -----	125

CAPITULO VI

6.00	CONCLUSIONES, GENERALIDADES Y RECOMENDACIONES -----	128
------	---	-----

APENDICE B

BIBLIOGRAFIA Y REFERENCIAS.

## I N T R O D U C C I O N

*El alto índice, de sismicidad, que presenta el Perú, está asociado con su ubicación en el llamado Cinturón Circumpacífico.*

*Dentro del activo panorama, sísmico tectónico, que presenta el país es la costa central donde se observa un incremento de la sismicidad en años recientes.*

*La experiencia sísmica mundial, evidencia una relación entre el daño producido por un terremoto y las condiciones locales tanto geológicas como de suelos.*

*En un principio se trató de evidencias inferidas por observación de daños, pero recientemente, a fines de la última década, un mejor conocimiento de las propiedades y características de los suelos, así como el desarrollo de las teorías de amplificación dinámica han proveído de una base para la evaluación del comportamiento de los depósitos de suelos durante un sismo; permitiendo anticipar dicho comportamiento con la siguiente disminución del riesgo sísmico, mediante la adecuada toma de medidas tendientes a lograr un diseño sísmo-resistente adecuado para las edificaciones y obras civiles.*

Estas diferencias de comportamiento durante la ocurrencia de un terremoto, son claramente observables, de la historia sísmica de Lima, y la relación de daños durante terremotos destructivos; notándose una mayor concentración de estos daños en zonas tales como, La Molina, El Callao y Chorrillos.

Este último distrito situado al sur-oeste de la capital es el área donde se localiza el presente Estudio; él cual tiende a la obtención de información pertinente a la amplificación de ondas sísmicas por los depósitos de suelos; como una contribución al Proyecto de Microzonación de Lima Metropolitana que lleva a cabo el Instituto Geofísico del Perú; habiéndose contado con el asesoramiento y colaboración de esta institución mediante un acuerdo con el departamento de Estructuras y Construcción del PAIC.

Los tres primeros capítulos, desarrollados en esta tesis, tienen como fin el establecer las características del área en estudio, tanto en el aspecto geológico, como en lo referente a los depósitos de suelos de un modo más bien-descriptivo; tomando como referencias las informaciones recopiladas de diversos estudios, que aunque realizados con fines y orientaciones diferentes a los de esta tesis, permiten, de un modo preliminar establecer las características de la zona.

A partir del cuarto capítulo, se ingresa al estudio del comportamiento dinámico de los suelos de Chorrillos, mediante el registro de microtrepidaciones, análisis de estos registros, determinación de los períodos predominantes y clasificación de los depósitos de suelo, desde el punto de vista de su comportamiento dinámico, siguiendo para ello las teorías de K. Kanai.

Los depósitos del suelo de Chorrillos, se representaron mediante cuatro modelos o columnas estratigráficas, tomados de los registros de microtrepidaciones en la ubicación de estos perfiles. La clasificación de estos modelos de suelo, mediante las técnicas propuestas por K. Kanai, proporcionó un primer indicativo del comportamiento dinámico del suelo.

En el capítulo quinto, se emplean procedimientos analíticos para la evaluación de la respuesta del suelo a la excitación dinámica. El primer procedimiento aplicado fue el de la Fórmula Semi-empírica de Kanai, a fin de calcular las aceleraciones espectrales en superficie, incorporando en el cálculo de estas las condiciones de los modelos en forma de una impedancia promedio y los períodos predominantes registrados, para un sismo de diseño de magnitud de Richter igual a 7 y distancia epicentral de 100 Km; de esta forma se obtuvo una envolvente de aceleracio-

nes y un coeficiente de diseño para la zona a partir del espectro envolvente normalizado; utilizándose para el cálculo un programa computacional en lenguaje FORTRAN.

El segundo método utilizado, se basa también en una ecuación de ondas ascendentes, pero en multiestratos, y este es el método de los modelos computacionales de Seed; mediante el cual se calculó para cada columna estratigráfica o modelo su función de transferencia o espectro de amplificaciones; utilizándose para el cálculo un programa computacional que cumpliera con tales fines.

Este último método, incluye las propiedades características de los estratos tales como espesores, densidades y velocidades de propagación de ondas de corte en los mismos, los cuales se asignaron de acuerdo a publicaciones y otras fuentes de consulta.

El objetivo final de este estudio, es pues, presentar una metodología de anticipación de los efectos sísmicos, debidos a las condiciones de suelo; de modo de determinar las áreas críticas y disponer las medidas de seguridad para las construcciones ya existentes en dichas áreas o elaborar espectros de diseño para tales áreas, utilizables en las futuras estructuras a erigirse en la zona.

En este sentido es el segundo método el que incorpora de

modo mas completo los valores característicos de los depósitos de suelo y permite obtener los espectro respuesta - de aceleración, velocidad ó desplazamiento, válidos para el diseño de estructuras.

Es el deseo del autor, haber logrado contribuir de alguna manera a la futura seguridad de las edificaciones en esta zona motivo de esta tesis.

EL AUTOR.

# C A P I T U L O I

## 1.00 GENERALIDADES

### 1.10 UBICACION Y EXTENSION DEL AREA EN ESTUDIO

*El presente estudio se concentra en el distrito de Chorrillos; situado al Sureste de la ciudad de Lima, en uno de los límites del cono deyectivo del R $\dot{L}$ o R $\dot{L}$ mac y cimentado en la zona de contacto con las estratificaciones pertenecientes al grupo Morro Solar.*

*Las coordenadas geográficas de la zona de estudio son las siguientes:*

*Latitud Sur: 12° 11' 20"      12° 10' 30"*

*Longitud Oeste de Grenwich: 77° 00' 00" - 77° 02' 54"*

*Cubriendo una extensión de 14.00 km<sup>2</sup>, aproximadamente.*

### 1.20 TOPOGRAFIA DEL AREA

*La planicie fluvio-aluvional formada por depósitos del R $\dot{L}$ o R $\dot{L}$ mac constituye la zona urbana y por urbanizarse, con algunas tierras dedicadas al cultivo y terrenos eriazos presentando cotas que van desde los 34 metros s.n.m. hasta los 57 mts. s.n.m.*

Un segundo aspecto lo presenta la interrupción de esta planicie por el Macizo Morro Solar y Cerro La Virgen (con alturas de hasta 287 mts. s.n.m.), también es necesario mencionar la brusca variación de la llanura aluvional, en acantilados de fuertes pendientes a cuyo pie se hallan playas bajas y arenosas o el inmediato contacto marino

### 1.30 SISMICIDAD REGIONAL

El Perú se halla situado en una zona de alto índice de sismicidad que forma parte del cinturón circumpacífico, el cual se caracteriza por la abundancia de fenómenos telúricos, tales como sismos, erupciones, etc.

Los conceptos de la Deriva de Continentes, Expansión de fondos oceánicos y Placas Tectónicas han sido aceptados muy recientemente por los geólogos, dejando gradualmente atrás las nociones de una tierra rígida.

La rigidez de los pisos oceánicos, motiva que los conocimientos de la litósfera estén confinados a las fronteras, entre seis gigantescas placas y cerca de una docena de otras más pequeñas.

Estas placas crecen y se mueven independientemente a lo largo de las cordilleras oceánicas, viniendo a for

SITUACION CONTINENTAL DE LA  
PLACA DE NAZCA.

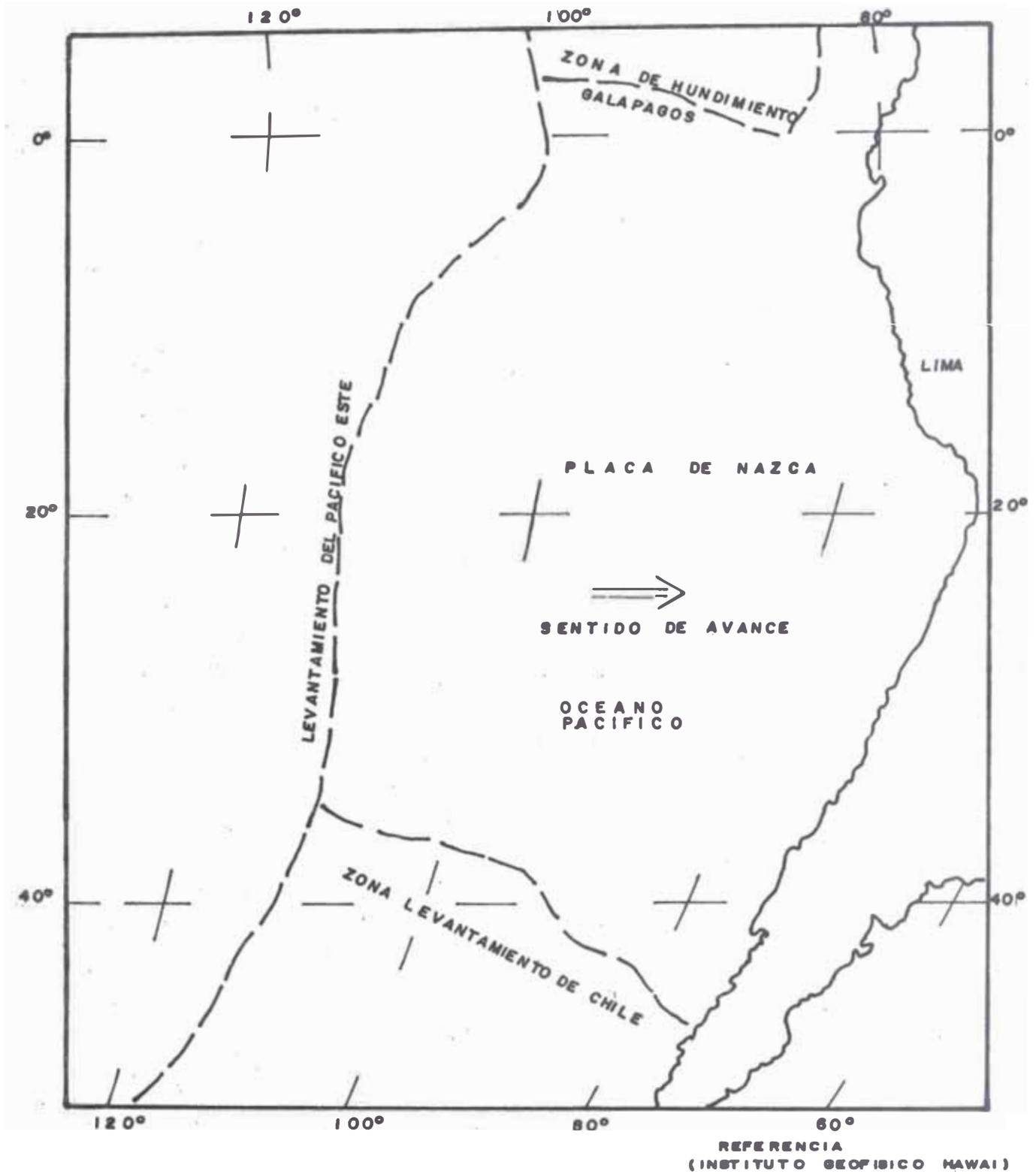


FIG. 1.1

mar zonas de subducción, donde una de ellas se introduce bajo otra, a lo largo de fosas y jóvenes montañas.

En los lugares donde las placas se deslizan una bajo otra se forman grandes sistemas de fallas. Es el mecanismo de interacción entre ambas el que produce los terremotos. (T, Wilson 1971)

Dentro de este panorama tectónico, el litoral Occidental de América del Sur se caracteriza por ser la zona de encuentro, entre dos de las mencionadas placas tectónicas litosféricas cuyos espesores varían de 100 a 50 Kms.

La placa Sudamericana, que nace en la Cordillera Meso-oceánica del Atlántico y avanza hacia el Nor-Oeste y la Placa de Nazca que nace, en la Cordillera del Pacífico Oriental y avanza hacia el Este. El encuentro de dichas placas ha originado la Cordillera de los Andes y la continua interacción entre ellas, es considerada como la causante de la mayoría de fenómenos sísmicos en la región. Fig (1.1)

La energía liberada durante la ocurrencia de un sismo se almacena por acción del movimiento diferencial entre ambas placas.

Como consecuencia de esta acción, durante los últimos 100 millones de años la parte subyacente de la placa de Nazca se halla sumergida hasta unos 700 Kms. por debajo de los Andes con buzamiento de aproximadamente 35°. (T, Wilson 1971)

Un cuadro más localizado de la sismicidad del litoral central peruano, se presenta en base a los estudios de E. Deza y J. Oblitas del I.G.P., (1974) en su esquema sísmo tectónico de la Costa Central del Perú, cubriendo el área tratada desde los 8° grados de latitud Norte hasta los 16° Latitud Sur y 150 Kms. hacia el Este y Oeste de la ciudad de Lima, respectivamente, tomados perpendicularmente a la línea de costa. Fig (1.2)

Se considera pertinente la elección del área antes mencionada como indicativa de la sismicidad de nuestra zona de estudio, debido a la evidente asociación del riesgo sísmico para esta última con la sismicidad de la Costa Central, en base a los siguientes criterios:

- Análisis evaluativos de los sismos que por su magnitud produjeron daños significativos en personas y construcciones, todos ellos registrados en catálogos y estimados, de acuerdo a consideraciones

actuales.

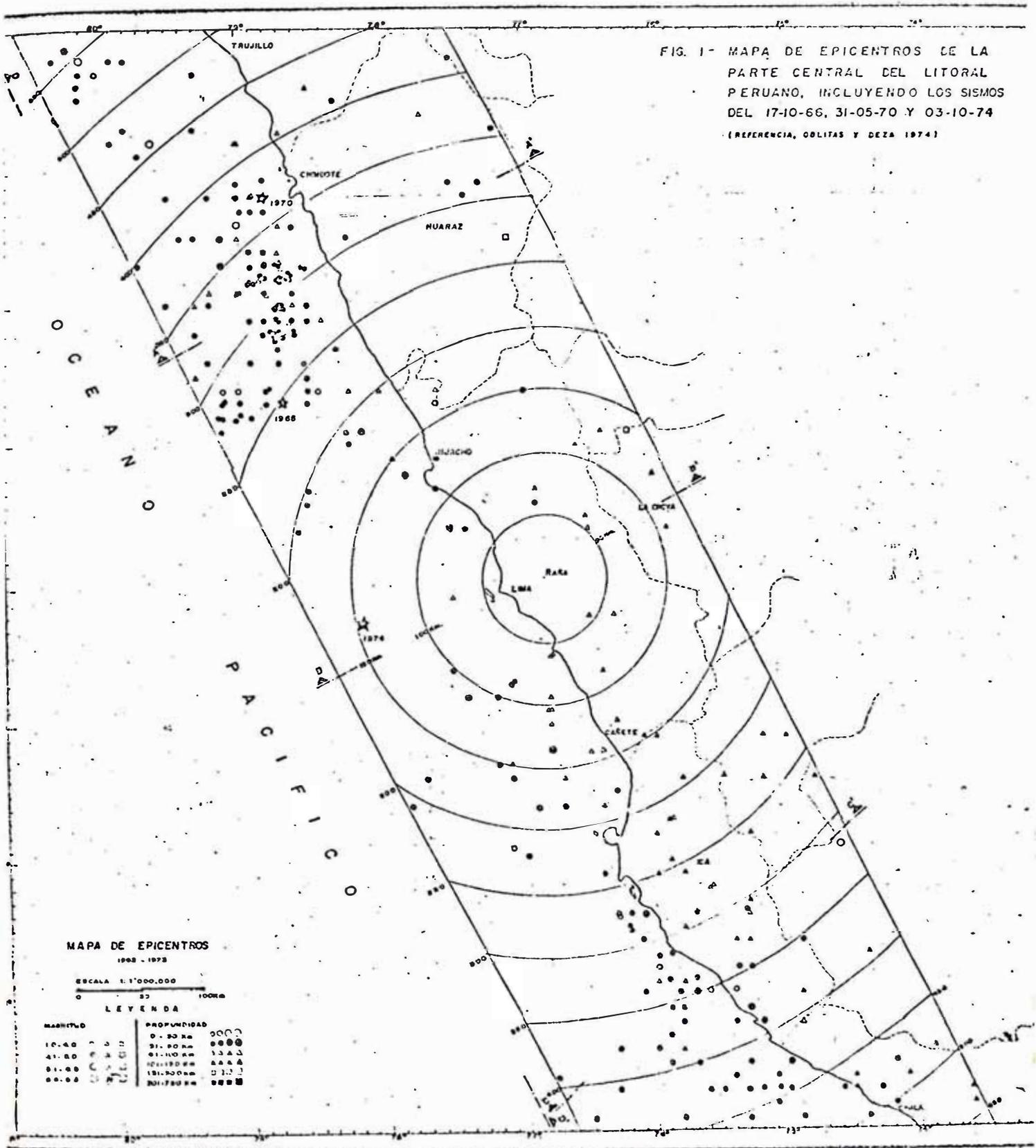
- Estudio de mapas isosistas que comprometen el área tratada en los que se observa que para los sismos ocurridos en la Costa la distribución de las líneas isosistas presentan una elongación paralela a la dirección general de los rasgos estructurales mayores.
- Dirección general de fallamientos, influencia de las fosas oceánicas, ejes anticlinales y sinclinales a la cordillera andina, presencia de cuerpos intrusivos, etc.

Presentan un rumbo predominado NW-SE,

Asociación de un evento sísmico con fallas causales basadas en la relación de terremotos con el fallamiento superficial.

- Según estudios geofísicos, geológicos y estructurales llevados a cabo por E. Deza (1970) se considera que el Perú se halla ubicado en dos regiones sismotectónicas que estarían inter-actuando en una probable falla de dirección E-W que se ubica entre los paralelos  $13^{\circ}5$  y  $15^{\circ}5$ , abarcando una de las dos regiones el Norte y Centro peruanos.

FIG. 1- MAPA DE EPICENTROS DE LA PARTE CENTRAL DEL LITORAL PERUANO, INCLUYENDO LOS SISMOS DEL 17-10-66, 31-05-70 Y 03-10-74 (REFERENCIA, OBLITAS Y DEZA 1974)



MAPA DE EPICENTROS  
1968 - 1972

ESCALA 1:1'000,000



LEYENDA

MAGNITUD	PROFUNDIDAD
10-6.0	0-20 km
41-6.0	21-50 km
51-6.0	51-100 km
61-6.0	101-150 km
66-6.0	151-200 km
71-6.0	201-250 km

La mayor actividad sísmica ocurrida en el período 1962-1974 se localiza en dos zonas.

En el Norte frente a la línea de costa entre Huacho y Chimbote y en el Sur entre Paracas y Chala.

La parte central, comprendida entre Huacho y Paracas presenta un claro notable frente a Lima y balnearios adyacentes; pese a que el sismo del 3 de Octubre de 1974 y sus innumerables réplicas han variado este panorama, es aún notable la baja sismicidad en los alrededores de Lima entre los 50 a 80 Kms. de distancia, lo cual está relacionado con sistemas de fallamientos uniformes y en menor cantidad que en las otras dos zonas de actividad de la costa central (J. Berrocal, IGP 1974).

Para el núcleo de actividad Norte se observa que la dirección de los ejes de plegamiento así como la dirección del mismo sufre una distorsión hacia el Oeste lo cual es indicativo del cambio de dirección de esfuerzos en dicha área; este cambio es indicativo de que la actividad tectónica aún en nuestros tiempos no ha cesado, estando corroborado por la ocurrencia de terremotos muy superficiales en la zona del Callejon de Huaylas. (E. Deza, J. Oblitas 1974).

El comportamiento de los Hipocentros en el núcleo Sur parece deberse a la presencia de la Dorsal de Nazca que divide a la fosa oceánica Perú-Chile en las sub-fosas de Lima al Norte y la de América del Sur, que se encuentran casi pegadas al Continente en dicha zona. (E. Deza, 1974)

Siendo el rasgo de la dorsal de Nazca su carácter antiguo y su compensación isostática se le puede considerar como un elemento perturbador que estaría frenando el avance de la Placa Continental en esa región y por esta circunstancia el ángulo de subducción estará más empinado.

Además la variación del ángulo de Subducción hace suponer la existencia de una corteza más gruesa para la placa continental en esta área que se iría adelgazando hacia el Norte.

Por la distribución espacial de los Hipocentros en esta zona, se infiere la posibilidad de que en los flancos de la Dorsal de Nazca esté comenzando a generarse un proceso de ruptura, muestra de lo cual es la ubicación de epicentros a ambos lados pero mayoritarios en el flanco sur de la Dorsal.

Existe la posibilidad de que el frente de la Dorsal de Nazca esté sub-duccionado por fallamiento de blo-

ques.

1.40 ANTECEDENTES SISMOLOGICOS DE LA REGION TOMADO DEL  
CATALOGO DE SISMOS FUERTES I.G.P.

1552	2 Junio	Lima	Daños considerables.
1553		Lima	Mayor movimiento desde su
1578	17 Junio	Lima	Destrucción de Iglesias, residencias, Palacio del Virrey.
1586	9 Junio	Lima	Gran parte de Lima destruí da. Intensidad VIII, mare- moto posterior subiendo el mar 14 brazas destruyendo 300 mts. tierra adentro en el Callao, caída de torres de la Catedral.
1609	19 Oct.	Lima	Destructivo, daños conside rables, destrucción de la Catedral.
1630	27 Nov.	Lima	Aproximadamente de intensi dad VII M.M. destrucción - moderada.
1655	13 Nov.	Lima	Destrucción grave de Lima, caída de edificaciones principales, rajaduras en el suelo del Callao, senti

- do 100 leguas al Norte y -  
Sur y 50 leguas tierra a-  
dentro.
- 1678 17 Junio Lima Destrucción de muchos edi-  
ficios. Intensidad VIII M.  
M.
- 1687 20 Oct. Lima Destrucción de la ciudad,  
la mayor parte en ruinas ,  
intensidad IX M.M. Más de  
5,000 muertos en el terri-  
torio Tsunami Callao.
- 1709 24 Oct. Lima Grado VII M.M.
- 1746 28 Oct. Lima A las 22.1/2 horas. Inten-  
sidad calculada para Lima  
X. Ola sísmica en el Callao  
Muerte de 5,000 habitantes,  
200 sobrevivientes, formán-  
dose una nueva bahía.
- 1806 Diciembre 1 Lima Fuerte movimiento, leves da-  
ños, ola sísmica, olas de 6  
metros, varan embarcaciones  
en tierra, destrucción de e-  
dificios en el litoral.

- 1828 Marzo 30 Lima 7.30 a.m. Grado VIII, se producen desprendimientos en peñas en San Mateo; 30 muertos en Lima. Ola Sísmica.
- 1904 Marzo 4 Lima Intensidad VIII. hora 5.15 a.m. sentido a lo largo de 1200 Kms., posible epicentro al Norte, fue más sentido en Chorrillos donde causó muchos muertos y caída de peñas de las faldas de los cerros.
- 1915 Agost. 21 Lima 14.27 horas. Epicentro 83 Kms. de Lima.
- 1940 Mayo 24 Lima 11.34 a.m. Numerosas construcciones en escombros, intensidad calculada para el Callao y Chorrillos VII M.M., Rimac y zonas cercanas a la Molina VII-VIII, zona antigua de Lima VII, Miraflores, Orrantia, San Isidro VI.
- 1963 Set. 24 Lima 11.30, sentido en la parte Sur del departamento de An

cash y parte Norte del Departamento de Lima. Intensidad VI M.M. daños en zonas rurales, mayormente; altamente destructivo en cuanto a daños en construcciones de adobe, canales, caminos, etc.

1966 Oct. 17 Lima 16 horas, 41 minutos 56.3 segundos hora local foco a  $10^{\circ}7$  Sur,  $78^{\circ}7$  Oeste, profundidad 38 Kms. Magnitud 7.5; diferentes intensidades en Lima, zonas, Callao, Chorrillos, Rimac y Cercado VII M.S.K. Miraflores, San Isidro, Lima, Magdalena VI M.S.K.; VIII en zona epicentral.

1970 Mayo 31 Lima 15.23.29 (T.L)  $10.9^{\circ}5$ ,  $78^{\circ}$  SW. Profundidad 47 Km. magnitud 7.5. 70,000 muertos en Zona Norte, 120 muertos en Lima. IMM. VI-VII En Lima. Daños materiales muy seve-

ros en Lima.

1974 (Ene 5) 5 hrs. 03' T. Local 12.3 Sur Profundidad 98 Km. 76.4 W Magnitud (6.3) Pasadena 6.6

10 muertos en distintos puntos distrito Lima daños materiales mayores entre Lima y Yauyos Intensidad Lima V M.M.

1974 Oct. 3

09.21.09 T. Local 12.3 Sur - 77.8 W Profundidad 13 Km. MB = 6.6 MS. = 7.6 Este sismo ocasionó Fuertes daños en todo el Dpto De Lima, 78 muertos y 2414 heridos (Ver Mapa IMM) Imáx VIII-IX Chorrillos y La Molina, Sismo principal tuvo un total de 1219 replicas de las cuales 125 fueron sentidas con regular intensidad en Lima y Provincias, Mayores Daños Materiales en la Molina, Chorrillos y Callao.

Altura olas por Tsunami

1.83 Mts. en el Callao, 31 mts. en Hawai en Samoa.

Daños en edificios por componentes de Periodo Largo; en Cañete, Licuefacción de arenas y agrietamientos.

TABLA (1)

TERREMOTOS Y DATOS INSTRUMENTALES  
TOMADOS DEL INFORME DE K.CLOUD Y V PEREZ  
PARA EL BOLETIN DE LA SEISMOLOGICAL  
SOCIETY OF AMERICA (1970)

TERREMOTO	EPICENTRO KM	DIREC- CION	ACELEROGRAFO			MAX. ACELERACION	
			COMPO- NENTE	PERIO- DOS	AMORTIC. DO	PERIO- SEG	AMPLITUD (G)
LIMA ENE 31 1951 12°5' 78°W M 6	105	N 86°W	V	.064	6	0.1	0.03
			L	.064	8	0.1	0.07
			T	.064	4	0.1	0.06
LIMA AGOSTO 3 1952 12°5' S, 78°W, M = 5.3	115	S 66°W	V	.065	9	0.2	0.01
			L	.063	8	0.2	0.02
			T	.064	10	0.2	0.02
LIMA FER, 15, 1953 12°W, 77°5' W, M = 4.9	50	N 81°W	V	.064	8	0.1	0.01
			L	.063	8	0.1	0.03
			T	.063	9	0.1	0.02
LIMA ABR. 29 1954 13°5', 77°W, M = 5.7	105	S 02°W	V	.065	7	0.1	0.02
			L	.064	7	0.1	0.03
			T	.064	8	0.1	0.02
LIMA OCT, 17 1966 10°9' S 78°5' W 4 = 7.5	370	N 51°W	V	.065	7	0.1	0.13
			L	.064	8	0.1	0.26
			T	.064	10	0.1	0.40
LIMA MAYO 31 1970 9°2' S, 78.8°W, M 7.6-7.8	60	N 32°W	V	.065	8	0.1	0.10
			L	.065	11	0.1	0.12
			T	.066	8	0.1	0.13

## C A P I T U L O   I I

### 2.00 GEOMORFOLOGIA Y GEOLOGIA

#### 2.10 CARACTERISTICAS GEOMORFOLOGICAS Y GEOLOGICAS DE LA REGION

*La formación del Valle del Rímac es la resultante del trabajo de erosión y deposición realizado durante miles de años por las aguas del Rio Rímac y en menor medida del rio Chillón, actualmente y con menor ímpetu sigue socavando su propio cauce y mediante el arrastre de arenas y cantos rodados, facilitando riberas el arranque de los materiales que transporta, desmenuzándolos y redondeándolos con la finalidad del alargamiento y ahondamiento del valle tratando de alcanzar su perfil de equilibrio.*

*En el curso superior del rio, el canal de transporte varía entre el 12%-15% de pendiente y el valle en este sector, alcanza una expansión considerable, en cambio las quebradas son estrechas y muchas veces encañonadas, notándose laderas casi verticales por donde las aguas bajan con fuerte velocidad; en cambio en el curso medio del rio, se observan expansamientos hasta 200 mts. donde se pueden apreciar -*

pequeñas terrazas aluviales o fluvio-aluviales retiradas la mayoría, del actual curso del río hacia la margen del valle; dichas terrazas están compuestas de agregados no consolidados, especialmente de cascajo, gravas, arenas y arcillas.

En el curso inferior, el valle se ensancha progresivamente, presentando un cono de acumulación cuyos límites son, por el centro. Vitarte, por el norte Hda Bocanegra y por el Sur Villa; teniendo un ancho promedio de 26 Km. y rellenando un área de 625 Km<sup>2</sup>, de los cuales la mayor parte son terrenos de cultivo.

Los sedimentos gruesos del Valle, alcanzando unos 400 mts. de potencia según sondajes geofísicos realizados para el Ministerio de Agricultura (Aguirre Morales, Vancon, 1971).

Existe una abundante deposición de sedimentos fluviales y fluvio-aluvionales en todo el abanico deyectivo, sin embargo la distribución de sedimentos finos y gruesos es muy heterogénea, (Estudio del Consorcio Metro - Lima), esto puede apreciarse en los cortes naturales de los acantilados costeros desde la Perla hasta Chorrillos.



MAPA GEOMORFOLOGICO DE LA GRAN LIMA

FIG. 2.2

<b>MAPA GEOMORFOLOGICO DE LA GRAN LIMA</b>	
Escala: 1:100,000	Fecha: 1970

Estos Barrancos, deben su formación a la acción erosiva marina ha producido desplazamientos relativos del conglomerado al atacar el cono deyectivo (N, Teves, E Evangelista, Estudio Costa Verde) y presentan cotas que van desde los 10 a los 66 mts. en algunos sectores.

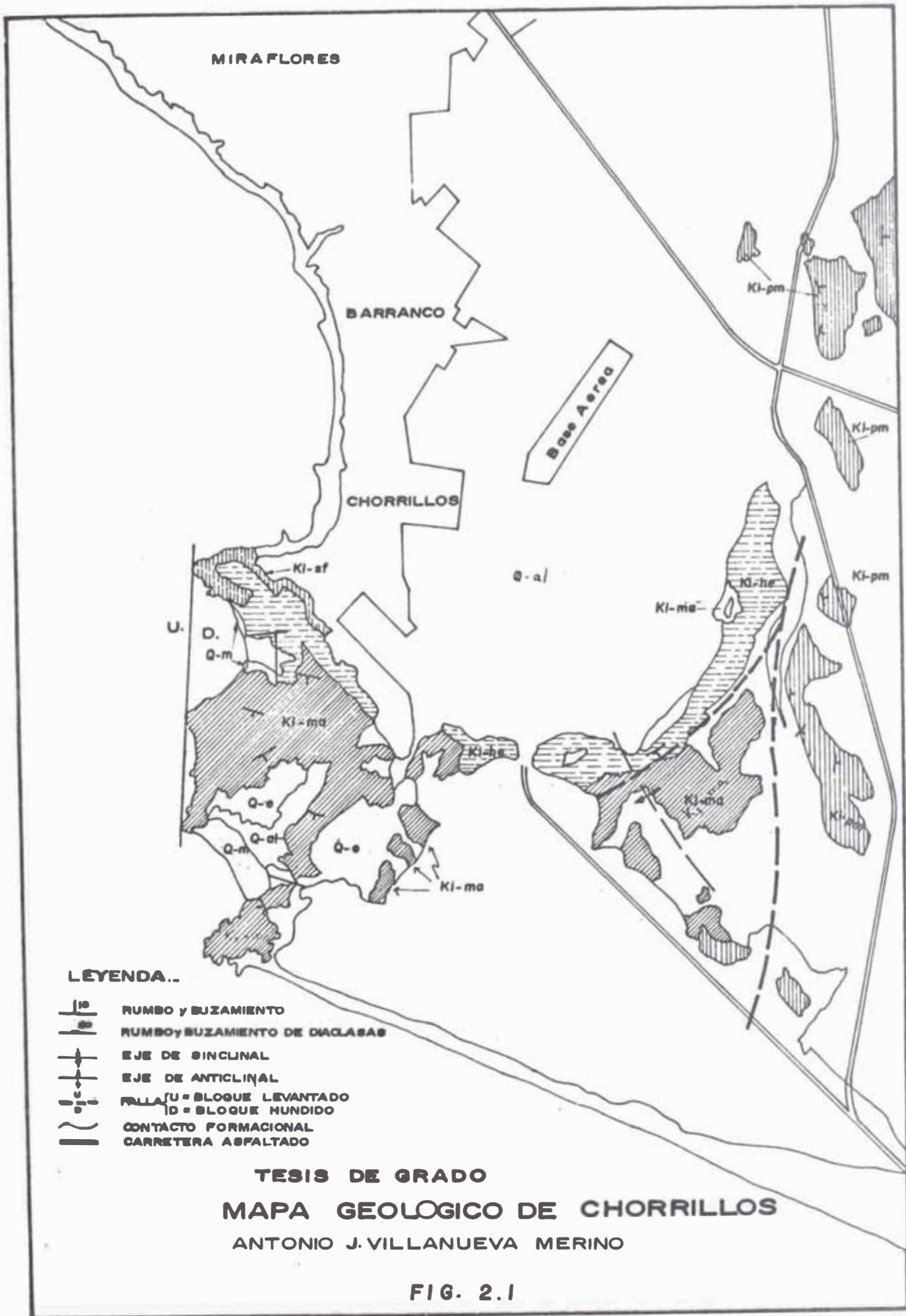
De acuerdo a estudios geológicos anteriormente realizados y tal como se aprecia en el plano geológico de Lima Metropolitana (Min. Agricultura), afloran en los alrededores de Lima, rocas sedimentarias, intrusivas, volcánicas y metamórficas que pertenecen al Mesozoico, al Terciario y al Cuaternario.

Las rocas pre-cuaternarias forman las cadenas de cerros y colinas que son parte del Batorito Costero y de la Cordillera Occidental de los Andes peruanos. Se ubican en la parte sureste de la ciudad, las rocas cuaternarias forman la planicie aluvial costera y el recubrimiento eólico de las colinas y cerros mencionados (L. Castro 1969).

## 2.20 GEOLOGIA DEL AREA DE ESTUDIO

### 2.21 CARACTERISTICAS GEOMORFOLOGICAS

Geomorfológicamente el área de estudio al ubicarse en el límite sur del cono deyectivo del Río Rímac



**LEYENDA..**

- RUMBO y BUZAMIENTO
- RUMBO y BUZAMIENTO DE DIACLASAS
- EJE DE SINCLINAL
- EJE DE ANTICLINAL
- FALLA  
 U = BLOQUE LEVANTADO  
 D = BLOQUE MUNDIDO
- CONTACTO FORMACIONAL
- CARRETERA ASFALTADO

**TESIS DE GRADO**  
**MAPA GEOLOGICO DE CHORRILLOS**  
 ANTONIO J. VILLANUEVA MERINO

**FIG. 2.1**

presenta tres rasgos característicos.

- Planicie aluvional.
- Flanco del Valle (Macizo Morro Solar)
- Acantilados costeros.

## 2.22 GEOLOGIA URBANA

La planicie aluvional, donde se levanta la zona urbana, posee las características propias del cono de yectivo en la región, con sedimentos fluviales y fluvioaluvionales más finos que en otras zonas, constituidos por cantos rodados en una matriz arenolimo-arcillosa; hacia el litoral disminuye la granulometría de los cantos rodados, formándose lentes que alternan con los materiales más finos (arcillas y limos), en la heterogénea distribución de los materiales conformantes del manto, con las características de perfiles erráticos que se encuentran en todo el valle.

La potencia del aluvional es variable dando las prospecciones profundidades del orden los 200 mts. (Tamashiro, 1973) en la zona norte del área de estudio y disminuyendo al acercarse al contacto con el macizo rocoso que conforma el flanco del valle.

## 2.23 MACIZO MORRO SOLAR

El Macizo Morro Solar interrumpe la planicie aluvio

nal, levantandose desde cotas de 50 mts. hasta alcanzar los 287 mts s.n.m. y constituyendo el flanco sur del valle así como también el límite S-SO del área de estudio. Está constituido geológicamente por una secuencia sedimentaria de 450 mts. de potencia, (Fernandez Concha, 1958) En este promontorio afloran las sgtes unidades estratigráficas (E. Bellido, 1958)

a) Formación Salto del Fraile.-

Esta ubicada al norte del macizo y se caracteriza por la presencia de cuarcitas que han sido falladas e intrusionadas por rocas ígneas, estas cuarcitas son de color blanco grisáceo a parduzco, de grano fino, una potencia de 40 mts (Fernandez Concha, 1958).

Esta formación aflora en la parte inferior del Morro Solar, que infrayace a la formación Herradura. La formación Salto del Fraile pertenece al piso Valanginiano Inferior.

b) Formación La Herradura.-

Esta formación suprayace transicionalmente a la formación Salto del Fraile.

Está constituida en su parte inferior por lutitas -

limonitizadas de color brunáceo albigarradas, y - en su parte superior presenta bancos de areniscas de grano fino de color gris claro; así mismo en la parte superior, se ha notado intercalaciones de lutitas calcáreas con calizas, localmente se encuentran fracturadas y falladas. (Fernandez Concha 1950 y R. Rivera)

Esta formación desde el punto de vista de su constitución por miembros presenta los sgtes miembros:

- miembro La Herradura Norte y Este del Macizo
- miembro La Virgen Nor-Oeste del Morro Solar.

Esta formación presenta una potencia aproximada de 100 mts. y pertenece al piso Valanginiano Medio.

#### c) Formación Marcavilca.-

La formación Marcavilca suprayace transicionalmente a la formación Herradura.

Está constituida por bancos de areniscas intercaladas por lutitas y lechos de cuarcitas en forma de bancos de color gris claro, estas rocas afloran en la parte superior del Morro Solar zona Este y en el cerro Marcavilca.

Estos estratos presentan una potencia de 200 mts. y pertenecen al piso Valanginiano medio superior (Fernandez Concha 1958, R, Rivera 1951).

Presenta tres miembros que son

- 1.) Miembro La Chira.
- 2.) " Marcavilca
- 3.) " Morro Solar.

#### 2.24 ACANTILADOS

El tercer rasgo geomorfológico distintivo del área de estudio está constituido por los acantilados de la línea de costa pertenecientes a la terraza "mas-antigua en la región y que tiene como límite Norte las proximidades del Parque Guardia Chalaca en el Callao extendiéndose ininterrumpidamente hasta el Morro Solar. Para los efectos del estudio, este acápite se referirá al sector comprendido desde San Isidro hasta el límite de la zona.

A la altura del Mercado de Productores (San Isidro) los sedimentos tienen una graduación de mala a regular, predominando en la parte alta los tamaños de 8 a 12 cm.; siendo algo más gruesos en la zona central donde se aprecian intercalaciones de lentes limo arenosos y limo arcillosos en horizontes algo continuos y localizados, pero de poco espesor, 30 cm. generalmente hasta 1 mt. pero que no llega al 10% en total. (Estudio Costa Verde, Teves, Evangelista)

En la parte inferior se observan costras calcáreas con taludes casi verticales y algunos conos de escombros constituidos por los cantos que caen de las laderas de cárcavas y barrancos en formación. La dirección del terreno en esta zona es por lo tanto muy marcada, habiéndose tratado de rellenar empíricamente y originando depósitos inestables sobre el acantilado.

Hasta la bajada a los Baños de Miraflores, los acantilados continúan casi verticales con fuerte abarrancamiento y topografía característica. Se observan costras calcáreas que llegan hasta los 25 a 30 mts. de altura con un promedio de 1 mt. de ancho (Teves, Evangelista). Los sedimentos son cantos rodados de regular graduación y con matriz arenosa. En la base de los calcáreos se observan con frecuencia oquedadas y conos de escombros.

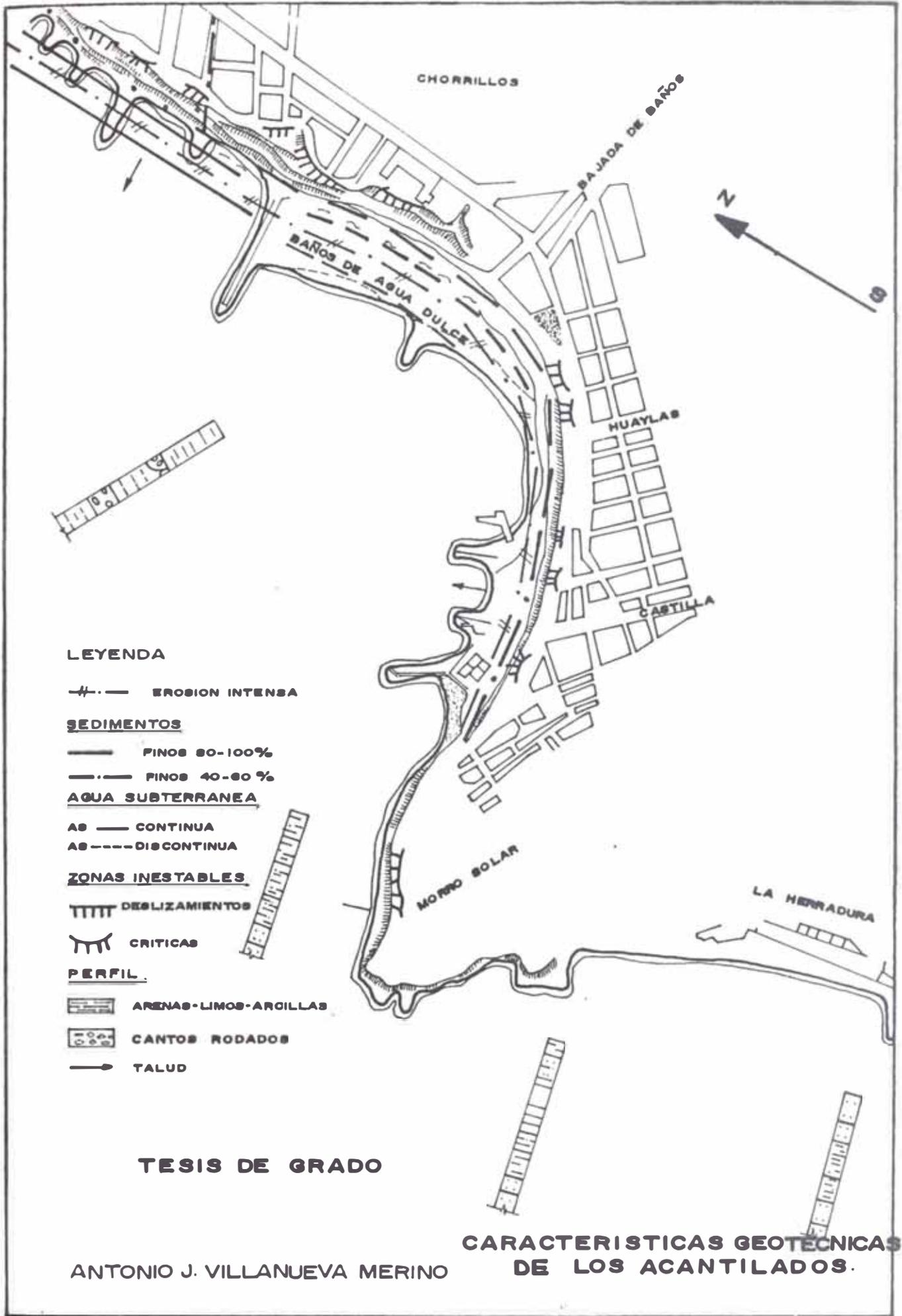
Se presentan también en esta zona rellenos de características especiales, es decir rellenos consolidados y rellenos sueltos o medianamente consolidados.

Pasando los Baños de Miraflores, se halla vegetación sobre las costas calcáreas que alcanzan 10 a 15 mts. de altura, continuando las oquedades en el sector de Barranco.

Los filetes de agua o chorrillos empiezan a mitad de camino entre los Baños de Miraflores y la Quebrada de Armendariz y afloran casi continuo hasta el sector de Agua Dulce en (Chorrillos). Los taludes son casi verticales en todo este sector. A 200 mts. de la quebrada de Armendariz aumentan los lentes arenos limo arcillosos aunque sin alcanzar el 20%. En el sector del Colegio Chalet de Chorrillos los sedimentos finos alcanzan 40 a 60% disminuyendo en las proximidades del Club Regatas el porcentaje de finos. (Teves, Evangelista).

Se puede señalar que nuestra faja costanera es un macizo heterogéneo que presenta lechos horizontales de granulometría diferente, resultante de las sucesivas crecidas del río Rimac, reconociéndose zonas regularmente graduadas y mal graduadas que se presentan con intercalaciones de lentes de arcilla, limo y arena. Taludes casi verticales 60 a 90% de pendiente.

A continuación se describen tres sectores representativos del área de estudio y de las zonas vecinas, tratadas en este acápite.



**LEYENDA**

—#— EROSION INTENSA

**SEDIMENTOS**

— Pinos 80-100%

— Pinos 40-60%

**AGUA SUBTERRANEA**

AS — CONTINUA

AS - - - - DISCONTINUA

**ZONAS INESTABLES**

TTTT DESLIZAMIENTOS

⌒ CRITICAS

**PERFIL.**

▨ ARENAS-LIMOS-ARCILLAS

▨ CANTOS RODADOS

→ TALUD

**TESIS DE GRADO**

ANTONIO J. VILLANUEVA MERINO

**CARACTERISTICAS GEOTECNICAS DE LOS ACANTILADOS.**

1.- SAN ISIDRO.- (Av. del Ejército Cdra. 12):

Cota 66 m.s.n.m.

Predominan los sedimentos gruesos de 2 a 20 cms. de largo y pocos bloques, el material cementante es limo arenoso encontrándose pocos lechos horizontales - limo-arcillosos. En conjunto los sedimentos se presentan incoherentes y secos constituyendo cárcavas y barrancos incipientes, con costras calcáreas en la parte inferior. Los taludes son compuestos o de doble pendiente,  $30^{\circ}$  a  $60^{\circ}$  en la parte superior y  $60^{\circ}$  a  $90^{\circ}$  en la parte inferior. (Teves, Evangelista).

2.- CHORRILLOS (Agua Dulce):

Cotas: 45 m.s.n.m.

Predominan los sedimentos finos a manera de horizontes en que se encuentran intercalados con lentes de cantos rodados. En superficie se encuentran secos, aunque ya en la base, afloran aguas subterráneas y costras calcáreas.

Los taludes son casi verticales.

3.- CHORRILLOS (Morro Solar):

Cota 80 m.s.n.m.

Constituido por el Macizo sedimentario (areniscas, -

pizarras, lutitas, etc.) cuyas capas presentan un buzamiento promedio de  $51^{\circ}$  W

Taludes casi verticales.

#### ESTABILIDAD DE TALUDES.-

La estabilidad de los taludes dependen de los factores siguientes:

- Características físico-químicas de los sedimentos que los constituyen.
- Circulación de aguas subterráneas.
- Descarga de emisiones de desague
- Acción erosiva del mar.
- Influencia de las vibraciones en el terreno ya sea por el peso de vehículos pesados o por efectos de aceleración sísmica.

## 2.25 CARACTERISTICAS ESTRUCTURALES

### PLIEGUES:

La zona de estudio queda encerrada por el ramal occidental del anticlinal de Lima, buzando sus estratos al Sur Suroeste con derivación al Oeste comprendiendo en el Continente el Macizo Morro Solar.

### FALLAS:

En cuanto a las fallas estas abundan en el Macizo

mencionado presentando saltos variables, pero cortos. Agrupando dos sistemas de orientación casi perpendiculares entre sí, los cuales se denominan como sigue: (F. Concha, 1958).

*Sistema Norte-Sur*

*Sistema Este-Oeste.*

Determinándose de esta manera las diferencias de nivel tectónico.

Por los estratos que afloran en el Cerro Conchán se deduce una falla del Sistema Norte-Sur que pasa al Oeste del Cerro mencionado y Santa Teresa, presentando un salto de aproximadamente 100 mts. observado por el levantamiento del bloque situado al Oeste del dique de falla: teniendo como elemento adicional para localizarla los cambios de rumbo y buzamiento los siguientes:

De rumbo N.  $55^{\circ} 0$  a N  $33^{\circ} 0$

De buzamiento  $10^{\circ} SO$  a  $20^{\circ} SE$

Otra falla perteneciente a este sistema es la falla de Villa que se encuentra cubierta por material aluvional, teniendo un salto de 40 mts. y tiene su rama occidental a mayor nivel. Las principales fallas del

sistema Este-Oeste son:

Falla de Chorrillos.- Se encuentra ubicada al Norte del Cerro La Virgen con un buzamiento de  $65^{\circ}$ N siendo el bloque Norte el de menor nivel. Esta falla presenta un espejo visible a pocos metros de Chorrillos en el corte de la carretera a La Herradura mostrando una brecha de 10 metros de espesor.

Falla Salto del Fraile.- Aflora en las proximidades de la explanada del Salto del Fraile con un buzamiento de  $25^{\circ}$ , presentando un salto vertical de 21 mts. y un corrimiento horizontal de 19 mts. En el corte de la pista a La Herradura se observan las cuarcitas de este miembro y las lutitas del miembro La Virgen Hacia el Norte y presentando su menor nivel al lado norte. La gubia que se encuentra en la brecha de la falla es un material formado por detritus de cuarcita y lutitas cementados en una matriz arcillosa con óxido de hierro rojo que permite trazar su recorrido a través del cerro la Virgen y reconociéndolo también en la zona en que ambos están formados por cuarcitas. (F. Concha, 1958).

Falla del tunel: Corre en el lado norte del túnel con desplazamiento del bloque norte hacia abajo, presenta un salto de 32 mts., el panizo o gubia de

la brecha contiene abundante limonita roja que permite el trazo de su recorrido.

Falla de la Cruz: Localizada en el cuello de la Chira su existencia queda establecida por la ausencia en el cerro La Chira de los estratos propios en este miembro.

En el Macizo Morro Solar se presentan fallas que siguen los planos de estratificación; siguiendo la línea de buzamiento que se aprecia por el desplazamiento de diques; producidos por lo general en lutitas respecto a contactos de areniscas o cuarcitas. La falla más visible de este tipo se tiene en el miembro La Virgen y las cuarcitas de la formación Salto del Fraile presentando un desplazamiento de 15 mts. (falla inferior) y 4 mts. falla superior.

Respecto a los planos de estratificación, este corrimiento se aprecia a una distancia de 1000 mts. lo que determina su extensión en toda la zona. En el miembro La Herradura tenemos otra falla que está a 70 mts. más alto que las anteriormente descritas. (F. Concha 1958). Es de notar que no existen evidencias de activación de fallas recientes.

## 2.30 HIDROGEOLOGIA Y DRENAJE

### LITOLOGIA DEL ACUIFERO:

El acuífero pertenece al cuaternario reciente y está formado por depósitos fluvio aluvionales de antiguos lechos del río Rimac y limita lateralmente con el relleno aluvional del río Lurín.

El espesor del material acuífero es variado como se ha indicado, dando las prospecciones geofísicas hasta 200 mts. (Tamashiro, 1973) de potencia para la profundidad del lecho rocoso, mientras que las proporcionadas por la Dirección de Aguas Subterráneas, dan hasta 80 mts. sin encontrar el basamento.

Los materiales que representan el acuífero está determinado por arenas de granulometría de fina a gruesa, arcillas, limos y gravas en heterogénea disposición y tamaños variables como indican los reportes del archivo de litología de la Dirección de Aguas Subterráneas del Ministerio de Agricultura.

El paquete sedimentario litificado por sus mínimas posibilidades de escurrimiento en comparación con los materiales sólidos aluvionales puede considerarse como impermeable.

La influencia de la tectónica en la hidrogeología de la zona parece ser las actividades de ciertas fallas que se han prolongado hasta el cuaternario provocando la acumulación de material aluvional, como evidencia de ello se tiene restos de los antiguos pasajes del Rio Rimac hacia la zona sur (Villa) curso que ha ido cambiando hasta su desembocadura actual en el Callao. (Tamashiro, 1973).

#### ALIMENTACION DE LA NAPA

El recargue de la napa se realiza por filtraciones del río Rimac, canales de regadío y acequias en menor grado; el rápido cambio topográfico hacia la zona de Villa favorece el afloramiento de la napa en este sector. El sector de Chorrillos presenta una gradiente hidráulica de 0.8%, presentando mantos de tipo libre e hilos divergentes, en abanico; con superficies hiperbólicas características de las zonas llanas y aluvionales.

Mediante las medidas de las profundidades de nivel de agua en reposo de los pozos, efectuados para la red de control piezométrico de la Gran Lima Sector Chorrillos, se han podido conocer las diferentes profundidades de la napa, la cual varía de 1.50 a 25 mts. como se muestra en el respectivo reporte

del archivo de piezometría; lo cual tiene especial importancia dada la relación de incremento de intensidad sísmica con la impedancia (relación entre rigidez sísmica de dos estratos) y la posición de la napa para profundidades hasta de 10 mts. (Medvedev).

Observando el reporte piezométrico relativo entre recarga y explotación se observa que se va haciendo mas precaria la recarga, al urbanizarse y desaparecer por consiguiente acequias y canales de riego; mientras aumenta la explotación de aguas subterráneas con fin de dotar de ese servicio, a las nuevas urbanizaciones

La napa se recarga en los meses de Junio a Julio pese a que las avenidas del río Rímac ocurren de Enero a Febrero lo cual indica un desfase entre el ciclo superficial y la recarga de agua subterránea. (Tamashiro, 1973).

Las napas drenan al Océano Pacífico, su nivel de base, siendo el sentido de escurrimiento de Norte a Sur presentando un régimen uniforme lo cual hace que el perfil de depresión sea lineal. Tomando una dirección Norte a Sur-Oeste cerca del Océano.

GRAN LIMA-CHORRILLOS

REPORTE DEL ARCHIVO DE PIEZOMETRIA  
CHORRILLOS

AGUAS SUBTERRANEAS (POZOS)  
CHORRILLOS

POZO	FECHA	PR/S	PROF	POR	SCOTAP	OB	FECHA	PR/S	PROF	PER	SCOTAP	OB	FECHA	PR/S	PROF	PER	SCOTAP	OB
D M A	(CM)	(M)	(M)	(M)	MSM	MSM	D M A	(CM)	(M)	(M)	MSM	MSM	D M A	(CM)	(M)	(M)	MSM	MSM
15-6-7-18-1	22/2/58	0	7.00	AS	37.82	TS	14/1/59	0	8.24	AS	36.54	TS	1/4/69	0	7.27	AS	37.53	TS
	10/6/59	0	7.74	TS	37.02	TS	16/6/59	0	7.69	AS	35.52	TS	23/6/59	0	8.91	AS	36.19	TS
	30/6/55	0	8.01	TS	36.79	TS	7/7/59	0	8.07	AS	36.53	TS	14/7/59	0	7.87	AS	36.02	TS
	21/7/69	0	7.86	TS	36.94	TS	0/8/59	0	8.24	AS	36.56	TS	16/3/59	0	8.44	AS	36.16	TS
	1/9/59	0	8.05	TS	36.35	TS	15/9/69	0	8.37	AS	36.23	TS	29/9/59	0	9.23	AS	36.17	TS
	13/10/69	0	8.12	TS	36.60	TS	29/12/59	0	8.21	AS	35.93	TS	17/1/59	0	7.93	AS	36.52	TS
	12/12/69	0	8.71	TS	36.89	TS	30/12/59	0	8.67	AS	35.83	TS	3/2/72	0	8.41	AS	36.14	TS
	25/2/70	0	8.93	TS	35.27	TS	1/4/70	0	8.55	AS	36.35	TS	29/6/70	0	8.39	AS	36.41	TS
	9/6/70	0	8.52	TS	35.92	TS	25/6/70	0	9.28	AS	35.72	TS	24/7/70	0	9.12	AS	36.42	TS
	21/6/70	0	9.33	TS	35.07	TS	5/12/70	0	8.28	AS	35.42	TS	6/11/70	0	7.02	AS	36.70	TS
	3/12/70	0	9.65	TS	35.15	TS	30/12/70	0	8.92	AS	35.93	TS	28/1/71	0	8.97	AS	35.23	TS
	1/4/71	0	9.24	AS	35.73	TS	30/4/71	0	9.42	AS	35.30	TS	26/5/71	0	9.20	AS	35.60	TS
	1/7/71	0	9.45	AS	35.13	TS	6/7/71	0	9.80	AS	35.00	TS	31/8/71	0	9.95	AS	35.75	TS
	7/10/71	0	9.64	AS	35.14	TS	12/11/71	0	9.76	AS	35.24	TS	3/12/71	0	9.37	AS	35.23	TS
	12/1/72	0	9.29	AS	35.51	TS	9/2/72	0	9.35	AS	35.44	TS	25/2/72	0	9.05	AS	35.75	TS
	6/4/72	0	9.92	AS	34.80	TS	10/3/72	0	10.29	AS	34.71	TS	8/6/72	0	10.17	AS	34.43	TS
	13/7/72	0	10.16	AS	34.64	TS	4/8/72	0	10.16	AS	34.54	TS	31/8/72	0	12.15	AS	34.63	TS
	7/10/72	0	10.20	AS	34.72	TS	0/11/72	0	10.18	AS	34.65	TS	7/10/72	0	12.27	AS	34.57	TS
	29/1/73	0	10.21	AS	34.59	TS	2/3/73	0	9.54	AS	34.35	TS	18/4/73	0	11.17	AS	35.33	TS
	30/5/73	0	9.87	AS	35.13	TS												
15-6-7-19-1	14/1/59	0	9.50	AS	40.00	TS												
15-6-7-20-1	5/9/72	0	9.97	AS	38.53	TS												
15-6-7-21-1	14/1/69	0	1.25	AS	35.45	TS	11/6/69	0	1.90	AS	33.80	TS	5/9/72	0	1.09	AS	34.90	TS
15-6-7-22-1	15/12/68	0	1.50	AS	45.52	TS	1/4/71	0	3.37	AS	43.53	TS						
15-6-7-24-1	7/6/58	0	1.90	PE	53.62	TS	1/3/69	0	2.30	AS	52.60	TS	31/3/71	0	4.38	AS	51.22	TS
	9/9/72	0	9.22	AS	46.22	TS												
15-6-7-25-1	15/1/69	0	1.28	AS	3.95	TS	1/4/57	0	3.73	AS	3.45	TS	10/6/69	0	0.73	AS	3.49	TS
	10/4/71	0	0.56	AS	3.59	TS	0/12/71	0	0.05	AS	3.20	TS						
15-6-7-26-1	15/4/71	0	2.93	AS	3.15	TS	0/12/71	0	1.07	AS	3.24	TS	7/7/72	0	1.12	AS	3.55	TS

AGUAS SUBTERRANEAS (POZOS)

REPORTE DEL ARCHIVO DE PIETOMETRIA  
de CHORRILLOS

GRAN LIMA-CHORRILLOS

11-DEC-75  
PAG. 1

DECLAVE	FECHA D M A	PROF (M)	PR/S (CM)	MSM	FECHA D M A	PROF (M)	PR/S (CM)	MSM	FECHA D M A	PROF (M)	PR/S (CM)	MSM		
12-6-7- 1-	8/ 8/51	322	9.43	X	12/ 8/50	335	17.62	AS	34.53	TS				
12-6-7- 2-	2/ 9/53	308	12.50	PE	21.52	TS								
12-6-7- 3-	3/ 8/58	2	7.90		47.02	TS			15/ 1/68	3	29.33	AS	34.25	TS
12-6-7- 4-	8/10/60	6	19.06		39.82	TS			14/11/60	6	12.28	AS	24.2	TS
12-6-7- 5-	2/ 7/56	22	7.00	PE	31.73	TS			14/11/59	22	7.45	AS	31.2	TS
12-6-7- 7-	25/ 2/65	29	5.25	AS	12.53	TS			14/ 3/77	29	5.55	AS	12.25	TS
12-6-7- 8-	10/11/65	23	7.45	AS	2.99	TS			11/ 3/75	23	8.27	AS	7.47	TS
12-6-7- 9-	2/12/71	23	8.30	AS	7.16	TS			4/ 7/79	23	11.00	AS	3.65	TS
12-6-7- 9-	15/ 2/51	25	1.52	PE	41.52	TS								
12-6-7- 11-	15/11/68	31	2.00	AS	8.22	TS			4/ 3/71	31	1.72	AS	1.12	TS
12-6-7- 12-	15/11/68	29	1.80	AS	1.32	TS			14/ 4/71	29	1.50	AS	1.60	TS
12-6-7- 13-	13/12/66	27	8.75	PE	1.73	TS								
12-6-7- 14-	23/ 7/59	45	2.44	AS	2.63	S			8/12/71	77	2.27	AS	2.81	S
12-6-7- 15-	15/11/60	3	2.20	AS	1.64	S			23/ 3/59	3	1.98	AS	2.25	S
	19/ 6/59	3	2.11	AS	1.93	S			16/ 5/59	3	2.25	AS	1.79	S
	7/ 7/69	3	1.97	AS	2.27	S			16/ 7/69	3	2.22	AS	2.24	S
	4/ 6/69	3	2.15	AS	1.89	S			18/ 5/59	3	2.27	AS	1.97	S
	15/ 9/60	3	2.25	AS	1.99	S			29/ 7/69	3	2.22	AS	2.22	S
	29/10/69	3	2.13	AS	1.91	S			17/11/59	3	2.04	AS	2.00	S
	30/12/69	3	2.36	AS	1.68	S			3/ 2/70	3	2.15	AS	1.99	S
	1/ 3/70	3	2.10	AS	1.94	S			29/ 4/70	3	2.97	AS	2.81	S
	25/ 6/70	3	1.95	AS	2.05	S			24/ 7/70	3	1.96	AS	2.10	S
	5/12/70	3	2.06	AS	1.98	S			6/11/70	3	2.13	AS	1.91	S
	32/12/70	3	2.09	AS	1.95	S			28/ 1/71	3	2.13	AS	1.91	S
	1/ 3/71	3	2.10	AS	1.94	S			30/ 4/71	3	2.06	AS	1.72	S
	1/ 7/71	3	2.00	AS	2.04	S			4/ 8/71	3	2.26	AS	1.90	S
	7/12/71	3	2.04	AS	2.20	S			10/11/71	3	2.12	AS	1.91	S
	12/ 1/72	3	2.18	AS	1.86	S			9/ 2/72	3	2.18	AS	1.86	S
	6/ 4/72	3	2.15	AS	1.59	S			10/ 5/72	3	2.14	AS	1.80	S
	13/ 7/72	3	2.13	AS	1.89	S			4/ 8/72	3	2.00	AS	2.00	S
	7/10/72	3	1.97	AS	2.67	S			3/11/72	3	2.10	AS	1.96	S
12-6-7- 16-	26/ 5/66	29	3.02	AS	36.30	TS			14/ 1/59	29	3.30	AS	36.20	TS
12-6-7- 17-	14/ 1/69	0	8.12	AS	34.30	TS			26/ 2/69	0	6.00	AS	34.20	TS

## C A P I T U L O    I I I

### 3.00 ESTUDIO DE LOS SUELOS DE CHORRILLOS

#### 3.10 INTRODUCCION

*El estudio de las condiciones físicas de los depósitos de suelo, dentro de áreas de similar formación geológica, tiene singular importancia para las edificaciones, debido, a que, estas condiciones, pueden ser responsables, de marcadas diferencias de comportamiento durante movimientos sísmicos. En este capítulo, se emprenden, una descripción de los suelos del área, con miras a determinar de un modo preliminar un cuadro general de las condiciones de los depósitos de suelos, que unido a las consideraciones geológicas ya descritas, permitan una mejor comprensión, del comportamiento dinámico del suelo que puedan incidir en un mayor daño sísmico dentro del área tratada. Para lo cual, se analizan de un modo global las características mas marcadas de los depósitos de suelo, desde el punto de vista de comportamiento bajo el efecto de Sismo; sin emprenderla discusión de la respuesta a excitaciones dinámicas que son materia de capítulos posteriores.*

De esta manera, a modo de un programa de exploración del suelo, se ha llevado a cabo una recopilación de datos e informaciones de los suelos del Sector, que tratados bajo las condiciones mencionadas, cumplen los propósitos descritos.

No existiendo estudios específicos sobre los suelos de Lima Metropolitana, ha sido necesario recurrir a informaciones indirectas que, aunque fragmentarias y un tanto dispersas han sido suficientes para formar un cuadro de aceptable aproximación para los efectos de esta tesis.

Para ello, se ha recopilado la información de Registros Litológicos de la Dirección de Aguas Subterráneas del Ministerio de Agricultura, para el Sector de Chorrillos, Fig (3.1 a 3.9).

Del mismo modo se ha utilizado los datos de los Estudios del Proyecto "Costa Verde"; así como también los informes de suelos preparados por el Consorcio Metro Lima y otros informes concernientes a proyectos de cimentación de obras de importancia en la zona; que aunque realizadas a las profundidades (no mayores de 10. metros) requeridas para este tipo de estudios, proporcionan algunas propiedades índices del suelo en esos sectores, permitiendo una mejor des-

*cripción de los depósitos de suelo.*

### 3.20 EFECTOS DE LAS CONDICIONES DEL SUELOS DURANTE LOS MOVIMIENTOS SISMICOS

### 3.21 INFLUENCIA DEL TIPO DE SUELO DURANTE LOS MOVIMIENTOS SISMICOS

*La influencia del tipo de suelo en la extensión, clase y cantidad de daño durante un sismo ha sido claramente demostrada en base a múltiples estudios y evidencias presentada por gran número de investigadores.*

*Pueden identificarse al menos tres formas en que el tipo de suelo contribuye el daño sísmico (Gaus, 1972)*

*- Licuefacción - Representada por el fenómeno físico por el cual, las presiones hidrostáticas causadas por excitaciones dinámicas artificiales o naturales, alcanzan un nivel determinado en la masa del suelo, causando separación entre las partículas del suelo.*

*Esto es función de muchos factores como son:*

*$P_c$  = presión de confinamiento*

*$h_t$  = posición de nivel freático*

$k$  = permeabilidad  
 $h$  = angulosidad  
 $\rho$  = densidad del suelo

ha sido demostrado por muchos investigadores (H.B. Seed, Finn y otros) que la licuefacción potencial del suelo decrece con el incremento de la presión de confinamiento y la densidad.

## 2.- Pérdida de Resistencia.

Junto con la licuefacción, la mayoría de los suelos cohesivos sufren pérdidas de resistencia cuando están sujetos a la acción repetitiva de altas cargas dinámicas

De acuerdo a las investigaciones de la Universidad de Washington, las pérdidas de resistencia parecen ser mayores en el caso de consolidación normal y sobre consolidación de los suelos. La implicancia práctica, de esto, es que los depósitos que se extienden de la superficie, a niveles poco profundos, son más propensos a pérdidas de resistencia durante movimientos sísmicos.

## 3.- Densificación.

Está normalmente asociada, con los suelos granulares,

cuyas densidades naturales están por debajo de la densidad crítica, la cual está asociada con la relación crítica de vacíos.

Este estado se define, como aquél donde el suelo sujeto a perturbaciones naturales o artificiales no experimenta cambios volumétricos.

En suma, la densidad relativa, forma del suelo, tamaño de las partículas y angulosidad juegan un papel importante en la densificación; de modo que ésta es obviamente función de la profundidad geológica de la columna de suelo considerada.

Pudiendo esperarse que la densificación potencial del suelo decrezca, con el incremento de la profundidad del depósito de suelo o con el incremento de la presión de confinamiento.

Esto implica que los suelos superficiales están mayormente relacionados a los problemas de densificación.

### 3.30 CARACTERISTICAS DE LOS SUELOS

Tratándose de la obtención de las características de los perfiles de suelo, en un área de proporciones relativamente grandes; cuyo proceso de formación geológica se ha explicado anteriormente y que

corresponde a depósitos fluviales y de inundación - se encuentra una distribución irregular de los estratos, interrumpidos por motivo de que sedimentos distintos, rellenan cauces y depresiones antiguas.

Para los efectos de utilizar convenientemente las informaciones se ha adaptado la clasificación de suelos dada por la Dirección de Aguas Sub-terráneas a la clasificación unificada de suelos.

En el Sector Este (Urbanización la Campiña, se encuentran arenas gravosas (SP) y gravas arenosas (GM) intercaladas con materiales arcillo arenosas y arcillo limosos (CL) aumentando el predominio de estos, conforme se profundiza en la exploración, como puede apreciarse en los perfiles litológicos que se presentan (Fig. 3.10)

El nivel de la napa freatica varía entre los 1.50 y 5.00 mts.

Hacia la zona Sur-Este la granulometría de los estratos superficiales disminuye hallándose arenas limosas (SM) de color pardo con un porcentaje de finos no plásticos, en un 25% como promedio, ligeramente húmedos, arcillas limosas (CL), color plomo-oscuro con alto porcentaje de finos (75%) de mediana a baja plasticidad, medianamente densas y húme -

das; limos arenosos (ML) con alto porcentaje de finos en distribución variable (pozos 6-16, estudio de cimentación del Instituto Nacional de Salud).

Predominando los dos primeros tipos de materiales cuyo contenido de humedad se incrementa hasta llegar al nivel freático que varía entre los (3.00 - 7.00 mts). Bajo estos niveles aumenta el predominio de estos materiales, acentuándose un mayor porcentaje de finos para las arcillas (CL) las cuales se hacen menos comprensibles y más compactas, las arenas limosas presentan un aumento en cuanto al porcentaje de finos y su grado de saturación.

Es de notar que en esta zona, por haberse dedicado los suelos a la agricultura, hasta hace poco; que se presentan restos de materia orgánica en los estratos más superficiales.

En la Zona de la urbanización Los Laureles, próximo al contacto con el Morro Solar, la estratificación se presenta bastante errática, como se desprende de la comparación de estatigrafía para pozos de perforaciones cercanos, predominando los estratos de arcillas arenosas (CL) y limos arenosos para los estratos más superficiales; conforme se profundiza en la exploración se nota una alternación de arcillas-

arenosas bastante compactas, con materiales de mayor granulometría, como gravas arcillosas a materiales tales presentándose una alterancia en materiales finos y de mayor granulometría, el nivel de la napa se sitúa entre los 5.00 y 7.00 mts.

Conforme se avanza hacia la zona central, cerca de las ruinas de Armatambo los estratos de arcillas arenosas (CL) se presentan en paquetes de hasta 20.00 mts. de potencia, intercalados con estratos de gravas arcillosas y arenosas. En este Sector pese a la proximidad del afloramiento rocoso las perforaciones dan hasta 80.00 mts. bajo la superficie en estas profundidades los materiales arcillosos se presentan intercalados con bolones de roca lo que hace presumir un cercano contacto con el nivel de roca basal. Se sitúa el nivel freático entre los 10 - 12 mts.

De acuerdo a las informaciones de proyectos de cimentación y la litología presentada, en el Sector de la Escuela Militar y Urbanización Matellini, se encuentra limos arenosos suprayacentes a un manto potente de arcillas duras color pardo. El nivel freático entre 8.00 - 10.00 mts. de profundidad.

En la zona correspondiente a la bajada de agua Dul-

ce y el límite Sur del Club Regatas, se observa potentes estratos de arcillas preconsolidadas de color amarillento.

Estas arcillas se encuentran fisuradas y subyacen a arenas limosas o arcillas limosas en espesores de 5.00 mts. como promedio; tal como se ha descrito en el estudio de acantilados. (R. Maggiolo)

En general, se tiene como características principales los suelos del Sector:

- La potencia de los estratos de arcilla (CL) preconsolidada, lo cual se debe, al efecto de sucesivas inundaciones y deposiciones del Rlo Rimac, habiéndose desecado por efecto de las exposiciones, de las superficies de los estratos a la evaporación; siendo característica de los procesos de formación de suelos por sedimentación (4) dando por resultado una disminución de la sobrepresión hacia los niveles mas profundos.

La compresibilidad de estos estratos es despreciable.

- Esto se avala con los resultados de ensayos de penetración y resistencia al corte para algunos de los proyectos de cimentación consultados, los cua

les dan; número de golpes N 15. hasta un máximo de N = 50 y N = 70 golpes (pozos Instituto Nacional de Salud).

- Preliminarmente se clasifica las arenas de densas a medianamente densas de acuerdo a los valores asignados para capacidades admisibles de carga en los proyectos de cimentación para la zona. de estudio (0.7 - 2.5) Kg/cm<sup>2</sup> y de acuerdo a la bibliografía consultada. (Ver referencias)
- Los ensayos de penetración dan para estas arenas valores que fluctúan entre los 19 - 40 golpes.

### 3.40 INFLUENCIA DE LA NAPA FREÁTICA EN EL COMPORTAMIENTO DEL SUELO

La influencia del nivel de la napa freática en la intensidad sísmica, fue primeramente reconocida por el investigador ruso S.V. Medvedev.

De acuerdo a Medvedev el incremento de la intensidad sísmica de una región dada se relaciona con la elevación de la napa, de la siguiente manera:

$$n = e^{-0.004 h}$$

donde  $n$  = incremento en intensidad sísmica I MKS

$e$  = base del logaritmo natural

$h$  = profundidad en mts. de la napa freatica.

Sobre la base de la ecuación anterior, Medvedev propone la anterior relación, que muestra los incrementos de intensidad sísmica con la profundidad a que se encuentra el nivel freatico para arenas arcillosas y arenas finas.

Distancia a la napa Freatica	Incremento de intensidad de [IMM] MKS Unidades
---------------------------------	---

Mts.

0 - 1

1

4

0.5

10

0

En atención a esto, y teniendo en cuenta las cotas piezométricas del área de estudio, tomadas del archivo de piezometría de la Dirección de Aguas Subterráneas. Encontramos que para las variaciones de la napa desde un nivel de - 1.50 mts. en la Campiña, hasta valores cercanos a los 10.00 mts. o mayores en la zona central de los Laureles. La mayor influencia del nivel de la napa freatica en el incremento de las intensidades sísmicas se dará en las zonas situadas al Este del área de estudio, donde

por razones de ubicación del abanico de descarga, - la masa de agua se encuentra mas cercana a la superficie.

Medvedev utiliza además la impedancia sísmica, para calcular el incremento de intensidad tomando en cuenta la velocidades de propagación de ondas longitudinales en el suelo y en roca, así como sus densidades.

$$n = 1.67 \log \frac{V_0 \rho_0}{V_n \rho_n}$$

según esta fórmula y considerando el factor

$$\log \frac{V_0 \rho_0}{V_n \rho_n}$$

comprendido entre 0.72 - 1.21

Los incrementos de intensidades para suelos arcillo arenosos serlan de 1 - 2 unidades IMM

### 3.50 PERFILES ESTRATIGRAFICOS E-HIPOTESIS DE TRABAJO

Con la finalidad de obtener un perfil del sub-suelo de Chorrillos, utilizable en los capítulos a desarrollar, en la medición de microtemblores del suelo del área de estudio.

Se elaboró un perfil estratigráfico, contando exclusivamente para ello con las informaciones de los pozos del registro litológico de Chorrillos. Fig. (3.10)

Eligiéndose la dirección  $N 60^{\circ} 0$  para el eje del perfil de modo de captar en dicho eje el máximo número de pozos, proyectándose sobre el mencionado eje, las secciones litológicas individuales. Adaptándose la clasificación de suelos del registro litológico del Ministerio de Agricultura a la clasificación unificada de suelos, de corriente uso en ingeniería civil.

El nivel del basamento rocoso, tomado de la carta Hidrogeológica de la Gran Lima, resultó incongruente con la profundidad de los pozos; asumiéndose por lo tanto la profundidad de basamento de un nivel de 100 mts. en forma ideal para todo tipo de perfil y considerando un nivel de 4.00 mts. de roca meteorizada su praxacente a dicho nivel.

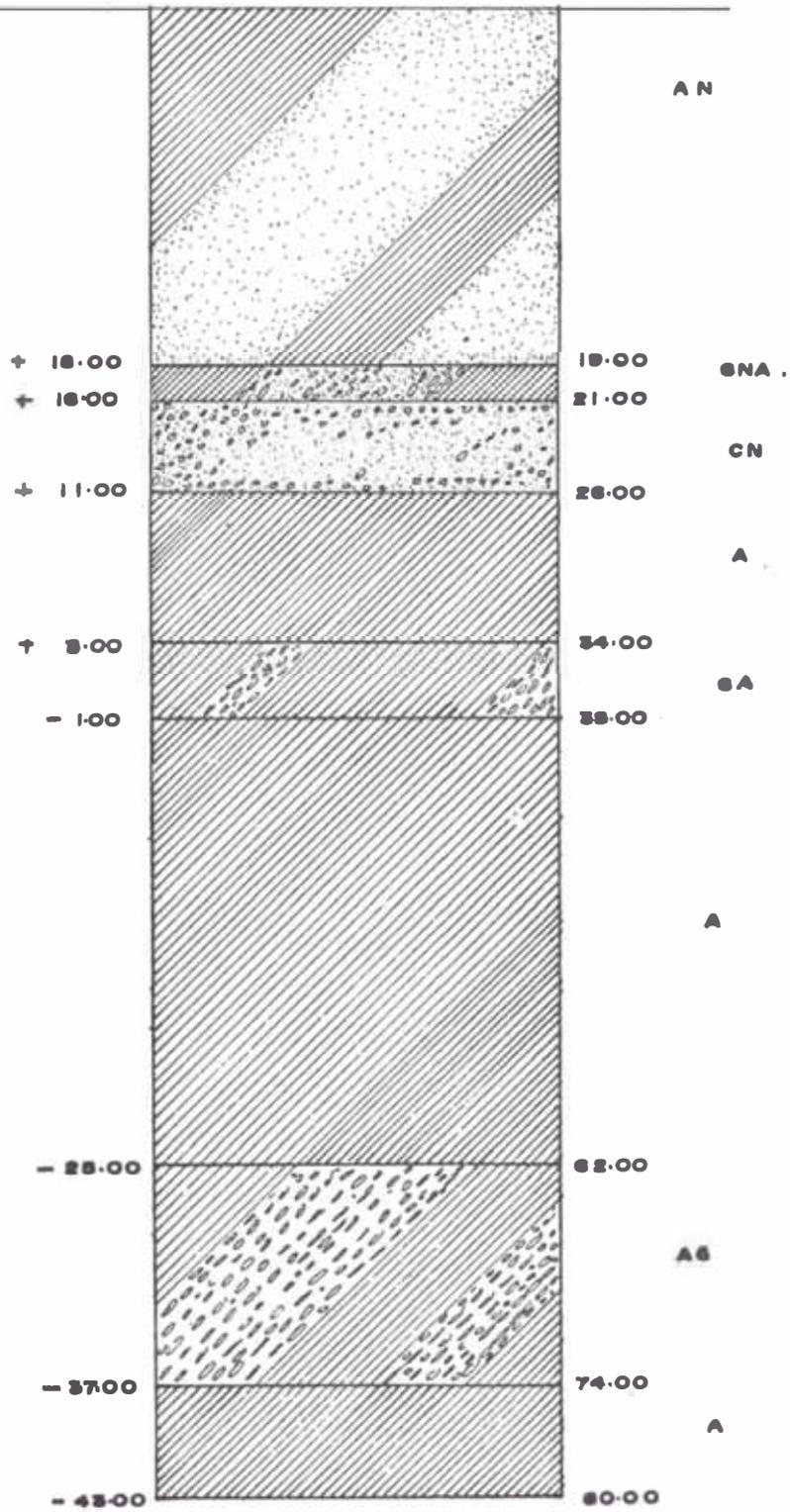
Los valores referentes a densidades naturales para estos pozos, se han asumido en base a los estudios - en referencia, consultas y bibliografía utilizada del mismo modo la identificación de suelos, se ha realizado, con la ayuda de la correlación entre la estratigrafía de los pozos mencionados y los estu

*dios de consulta.*

*Teniendo una validez meramente referencial.*

COTA \* S.N.M.

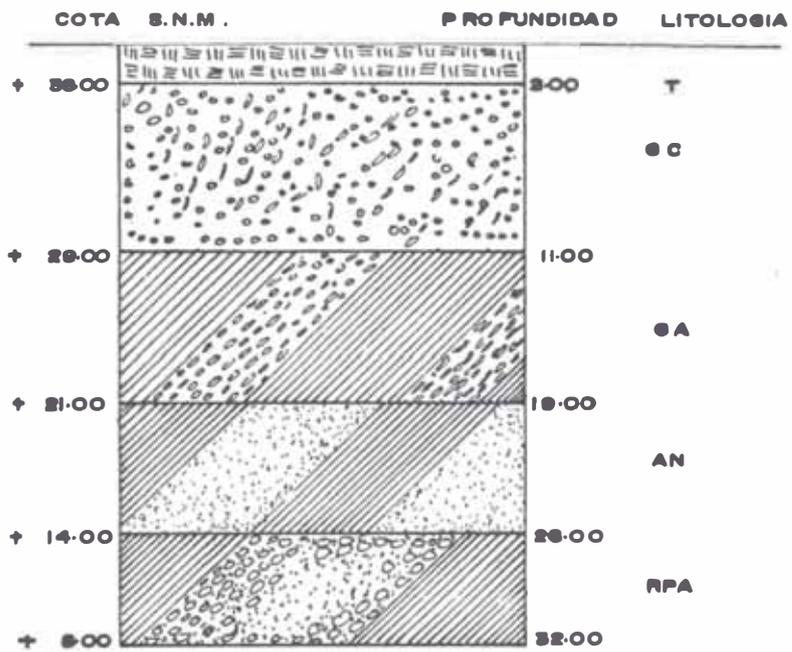
PROFUNDIDAD (MTS.)



POZO 15-6-7-2

PERFIL LITOLOGICO

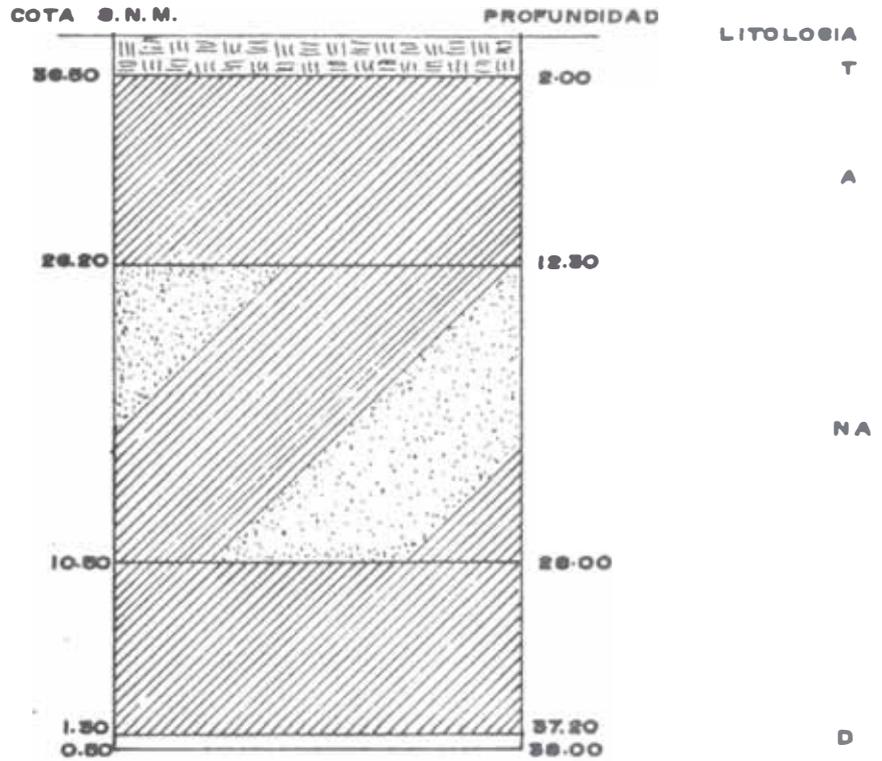
FIG. 3.11



POZO 15-6-7-4

PERFIL LITOLÓGICO

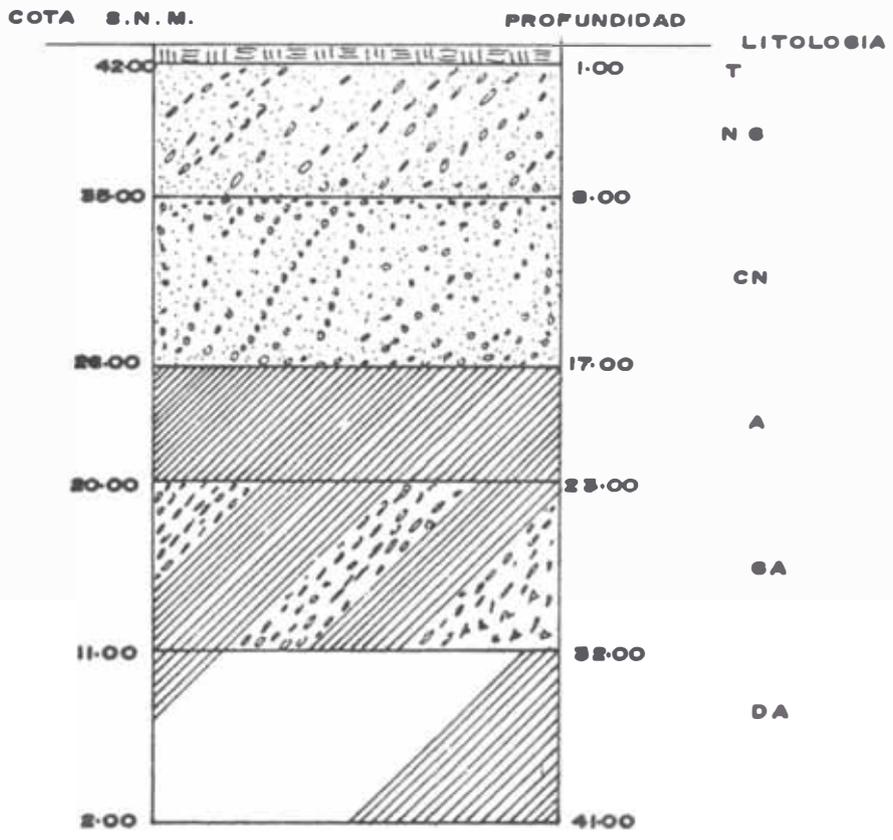
FIG 3.2



POZO 15-6-7-6

PERFIL LITOLOGICO

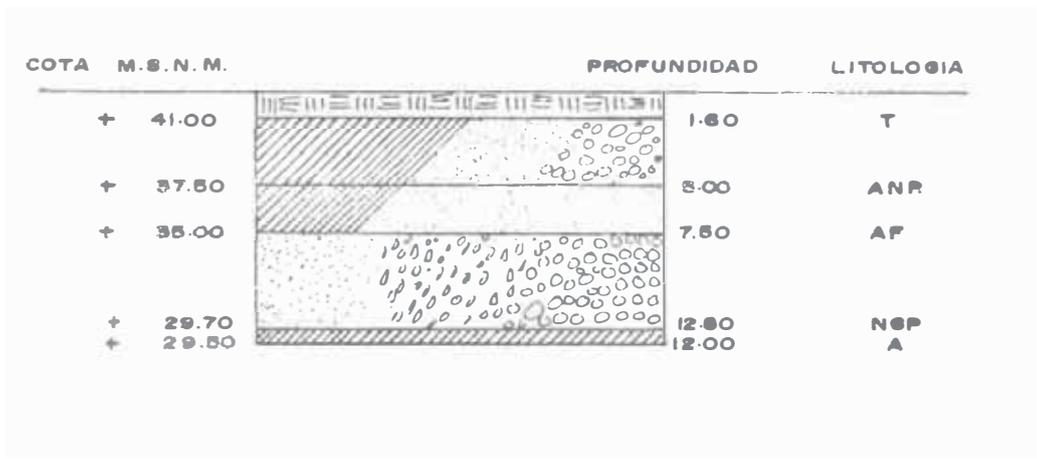
FIG. 3.3



**POZO 15-6-7-9-**

**PERFIL LITOLOGICO**

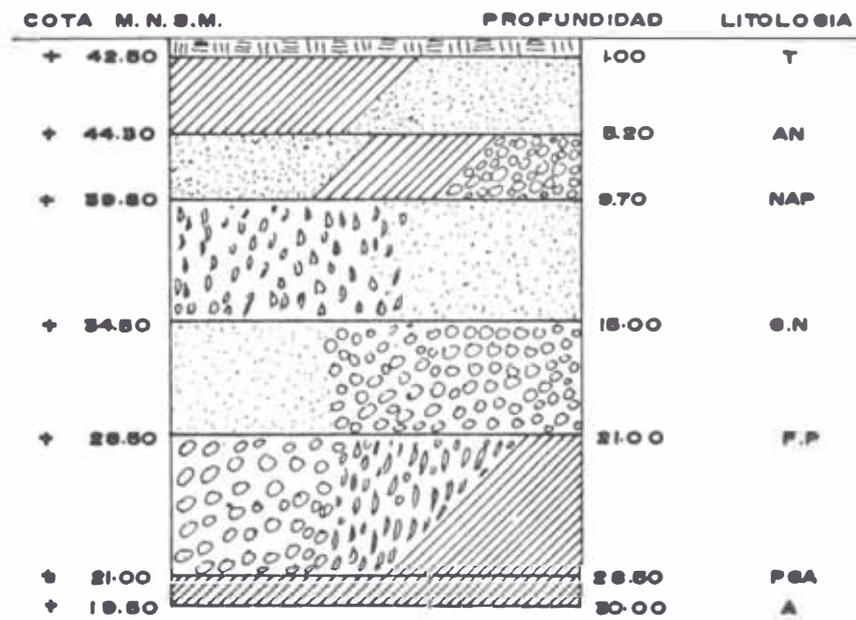
**FIG. 3.4**



POZO 15-6-7-17

PERFIL LITOLÓGICO

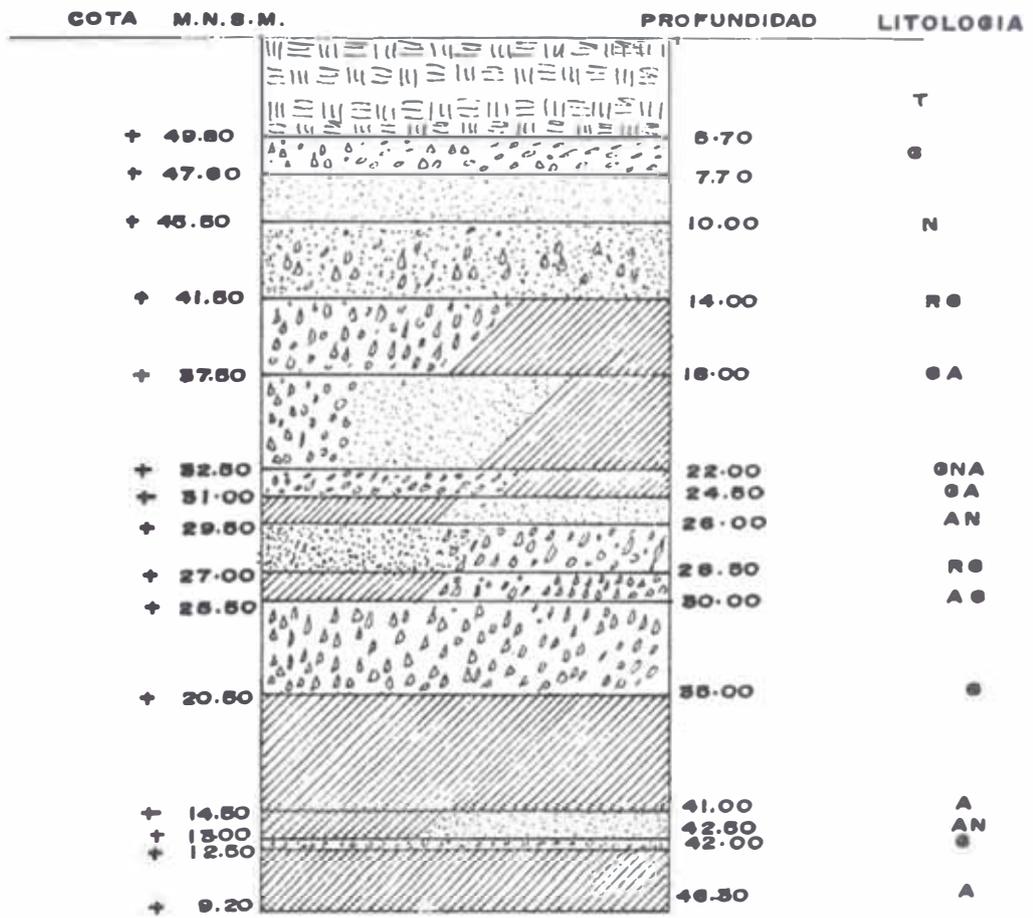
FIG. 3.5



**POZO 15-6-7-19**

**PERFIL LITOLÓGICO**

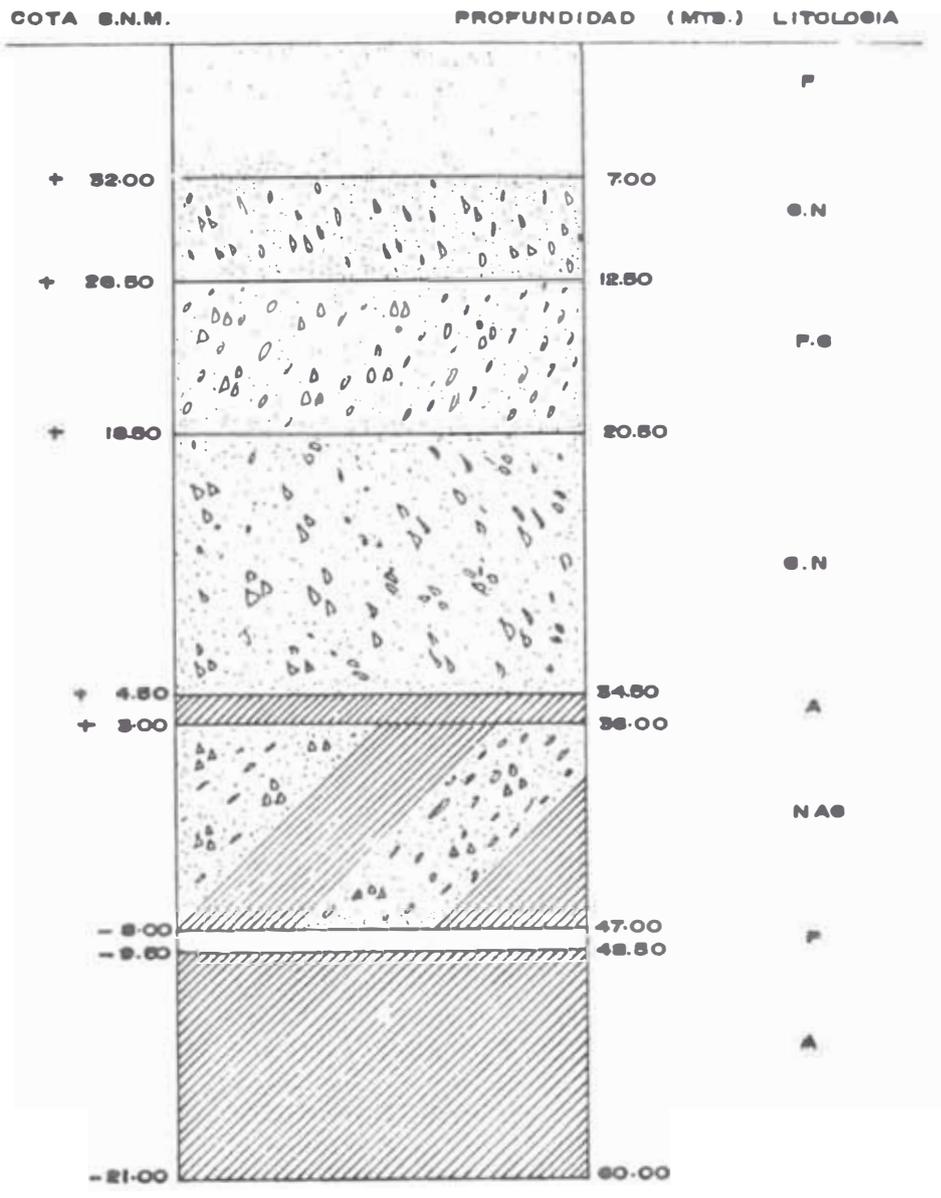
**FIG. 3.6**



POZO 15-6-7-24

PERFIL LITOLOGICO

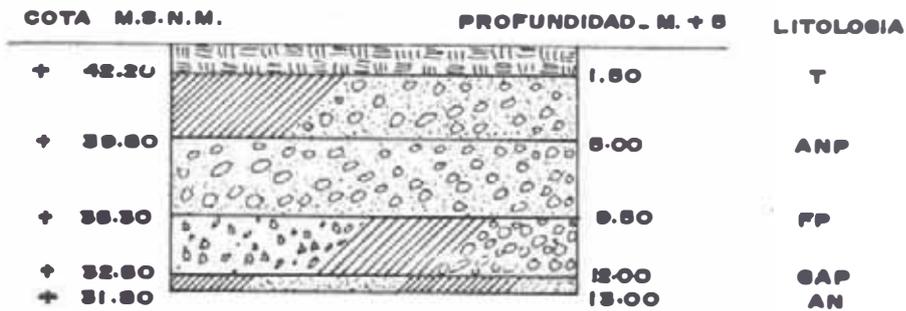
FIG. 3.7



**POZO 15-6-7-16**

**PERFIL LITOLOGICO**

**FIG. 3.8**



## POZO 15-6-7-18

### CLAVE.

- T. = TIERRA
- P. = PIEDRA GRANDE
- C. = PIEDRA CHICA
- G. = GRAVA
- R. = ARENA GRUESA
- F. = ARENA FINA
- N. = ARENA
- M. = CONGLOMERADO
- A. = ARCILLA

## PERFIL LITOLOGICO

ESC. VERT. 1/400

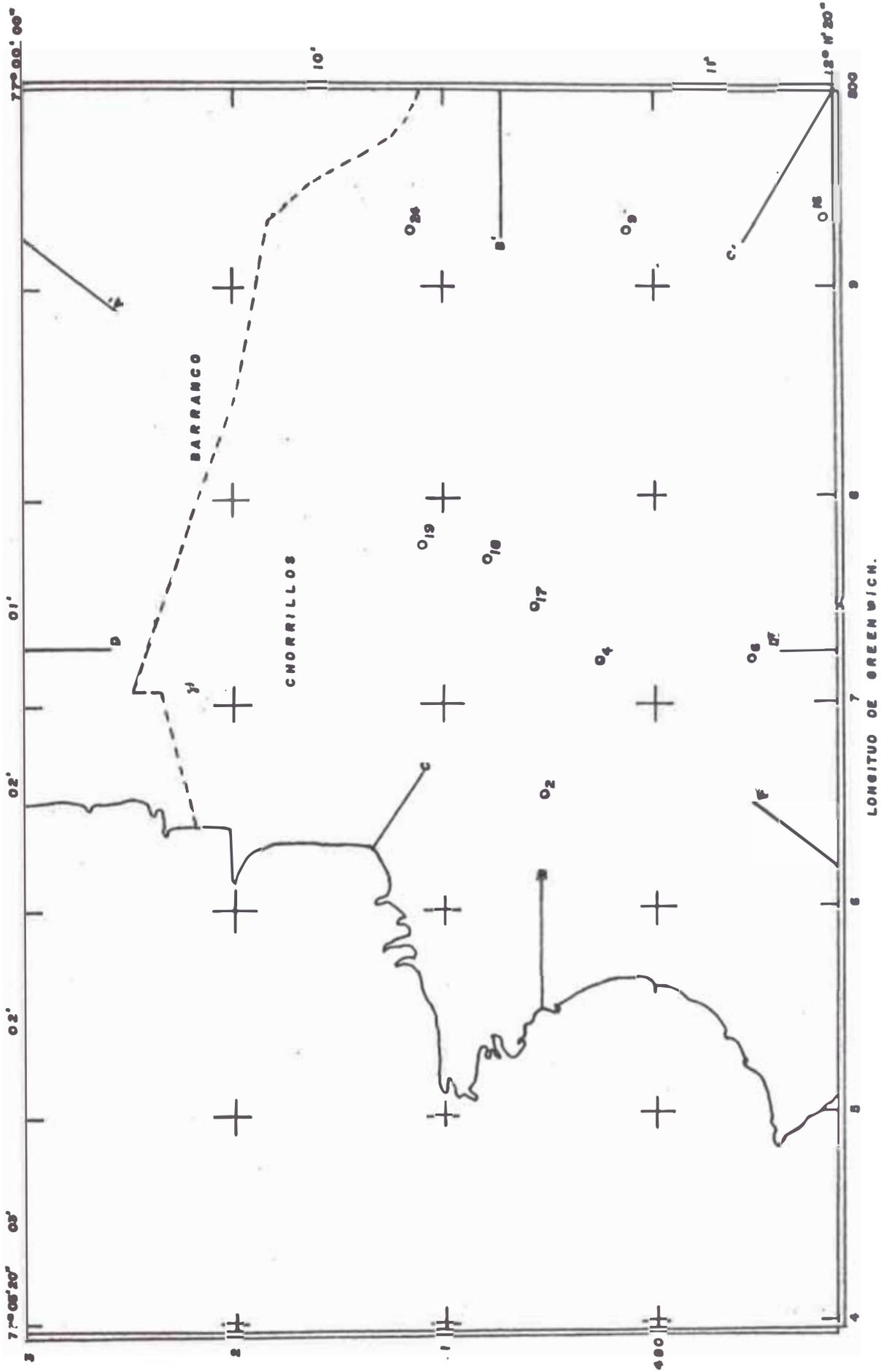
### TESIS DE GRADO

ANTONIO J. VILLANUEVA MERINO

TABLA DE CORRELACION 3.1

PARA LA CLASIFICACION DE SUELOS

CLASIFICACION DE SUELOS MIN. AGRICULTURA D. AGUAS. SUBT.	CLASIFICACION UNIFICADA DE SUELOS C.U.S.
P	FRAGMENTOS DE ROCA
GC	GP
GN	GP
GNA	GC
GA	GC
GN	GM
NG	SP
NGP	SP
FG	SC
NAG	SC
F	SM
A	CL
AN	CL
ANP	CL
PA	CL
T	T.S



UBICACION DE POZOS REGISTRO LITOLOGICO  
 CHORRILLOS ARCHIVO DE LA DIRECCION DE AGUAS  
 SUBTERRANEAS MINISTERIO DE AGRICULTURA.  
 MOJA 01 DE LA CARTA GEOGRAFICA DE LIMA  
 INSTITUTO GEOGRAFICO MILITAR.

FIG. 3.11

## C A P I T U L O   I V

### 4.00 MICROTREPIDACIONES

#### 4.10 INTRODUCCION

El suelo vibra permanentemente, debido a perturbaciones de orden natural o artificial, tales como lluvia, viento, tráfico, máquinas industriales etc.

Estas vibraciones, se denominan microtrepidaciones, o ruido sísmico. Usualmente las amplitudes del movimiento van de 0.1 a 1 micrones, en un rango amplio de períodos.

Los investigadores, K Kanai, T. Tanaka y K Osada realizaron un gran número de medidas sistemáticas de microtrepidaciones en diversos tipos de suelos, de variadas características.

Como resultado de estas investigaciones, se encontró que :

- La distribución de los períodos de microtemblores en un diagrama de frecuencia o histograma, presenta formas definidas y caracteriza a los distintos tipos de suelos.

- La forma de dichos histogramas, o curvas de distribución de períodos, son similares a las que representan los histogramas de frecuencia de sismo o microvibraciones registradas en el mismo lugar. Debido a esto, la medición de microtemblores, constituye una rápida, económica y efectiva técnica de microzonación mediante una aplicación fundamental como es :

La clasificación del suelo de fundación, a partir de las propiedades inferidas de las características de microvibraciones y de su distribución de períodos (VEIGA y NORAMBUENA, 1969).

Posteriormente otros investigadores, utilizando el registro en microtemblores como equivalente a un registro de desplazamiento de un sismo en la superficie del suelo, mediante el espectro de amplitudes de Fourier y el espectro en potencia han desarrollado técnicas de elaboración de espectros de aceleraciones, utilizables directamente en el diseño de estructuras.

Este tipo de extrapolaciones, están abiertos a la crítica debido a los resultados obtenidos hasta el momento.

En este capítulo, se desarrollará en cierta medida los antecedentes experimentales y fundamento de la técnica desarrollada por Kanai; como también las aplicaciones realizadas en el área de estudio.

#### 4.20 CARACTERISTICAS DE LAS CURVAS DE DISTRIBUCION DE PERIODOS DE MICROTREPIDACIONES.

Las curvas de distribución de períodos de microtrepidaciones muestran en forma definida el tipo de subsuelo, de modo que cuando la formación relacionada a la vibración característica presentan un solo estrato, aparece un pico predominante en la distribución de períodos de microtrepidaciones, mientras que cuando la formación del suelo presenta un sistema de multiestratos aparecen varios picos sobre la curva antes mencionada.

Cuando más rígido es el subsuelo, más empinada es la forma de la distribución de frecuencias del período de microtrepidaciones y más corto será el período predominante.

En el caso de suelos sueltos la curva de distribución de períodos es casi horizontal variando en un rango de períodos de 0.2 seg. - 1.0 seg.

En un afloramiento rocoso (roca sana) la distribu -

ción de frecuencias del período de microtemblores es una curva poco empinada no presentando un pico - característico.

A partir de estos hechos se considera que la curva de distribución del período de microtrépida - ciones llegados a la base rocosa, será de forma poco empinada, concluyéndose en este aspecto que las amplitudes de vibración en la superficie, serán relativamente grandes en los períodos coincidentes con el período natural del estrato.

#### 4.30 VIBRACIONES PREDOMINANTES Y LA DISTRIBUCION DE PERI - ODOS

Las curvas de distribución de períodos o relación - entre períodos y número de ondas, son influenciadas, en la mayoría de los casos por las propiedades del estratos mas superficial, coincidiendo por lo tanto, el período predominante del suelo, con el período - natural del estrato mencionado.

Sin embargo, todas las propiedades del suelo entre la superficie libre y el lecho rocoso, juegan una parte importante, en la aparición de las vibracio - nes predominantes y la decisión del período corres - pondiente; en forma de las impedancias vibraciona -

les de estratos vecinos y el espesor de estos últimos (5). (K. Kanai)

El estudio de los requisitos para la aparición de las vibraciones predominantes fue desarrollado por K. Kanai en base a estudios teóricos, considerando ondas de tipo plano sinusoidal de propagación vertical, ascendente; desde el caso más simple, de un sistema de un solo estrato, hasta un sistema multiestratificado de cuatro medios diferentes. Los resultados de esta investigación teórica, fueron comprobados con espectrogramas de movimientos sísmicos y observación de microtemblores en muchos sitios, lográndose aproximaciones bastantes cercanas.

El período que gobierna cada estrato, se expresa mediante la siguiente relación:

$$T = \frac{4H}{V}$$

donde:  $T$  = período del estrato  
 $H$  = espesor " "  
 $V$  = velocidad de propagación de ondas de corte en el estrato.

y la aparición de período predominante depende, como se ha indicado, de la relación de impedancias de los estratos que forman el sistema.

Es probable, que la vibración predominante aparezca en la superficie libre, de existir uno o más medios rígidos entre ésta y el último estrato, (K. Kanai)

El análisis de sistemas multiestratificados y la aparición de las vibraciones predominantes, se hace más complicado, conforme aumenta el número de estratos, incrementándose las condiciones requisito del problema.

De este modo, se deduce que las características de las microtrepidaciones dependen, no solo de las actividades disturbadoras naturales o artificiales, sino también, de las condiciones del suelo, representadas por sus constantes físicas y las disposiciones de los materiales que conforman los depósitos del suelo.

#### 4.40 SISMOS Y MICROTREPIDACIONES

El período predominante de un movimiento sísmico tiene una relación muy cercana con la curva de distribución de períodos de microtrepidaciones, tomados en los mismos lugares, como lo demuestran las confrontaciones de estas curvas en San José California, Seattle Washington, Aoyama Tokyo y diversas ciudades del Japon.

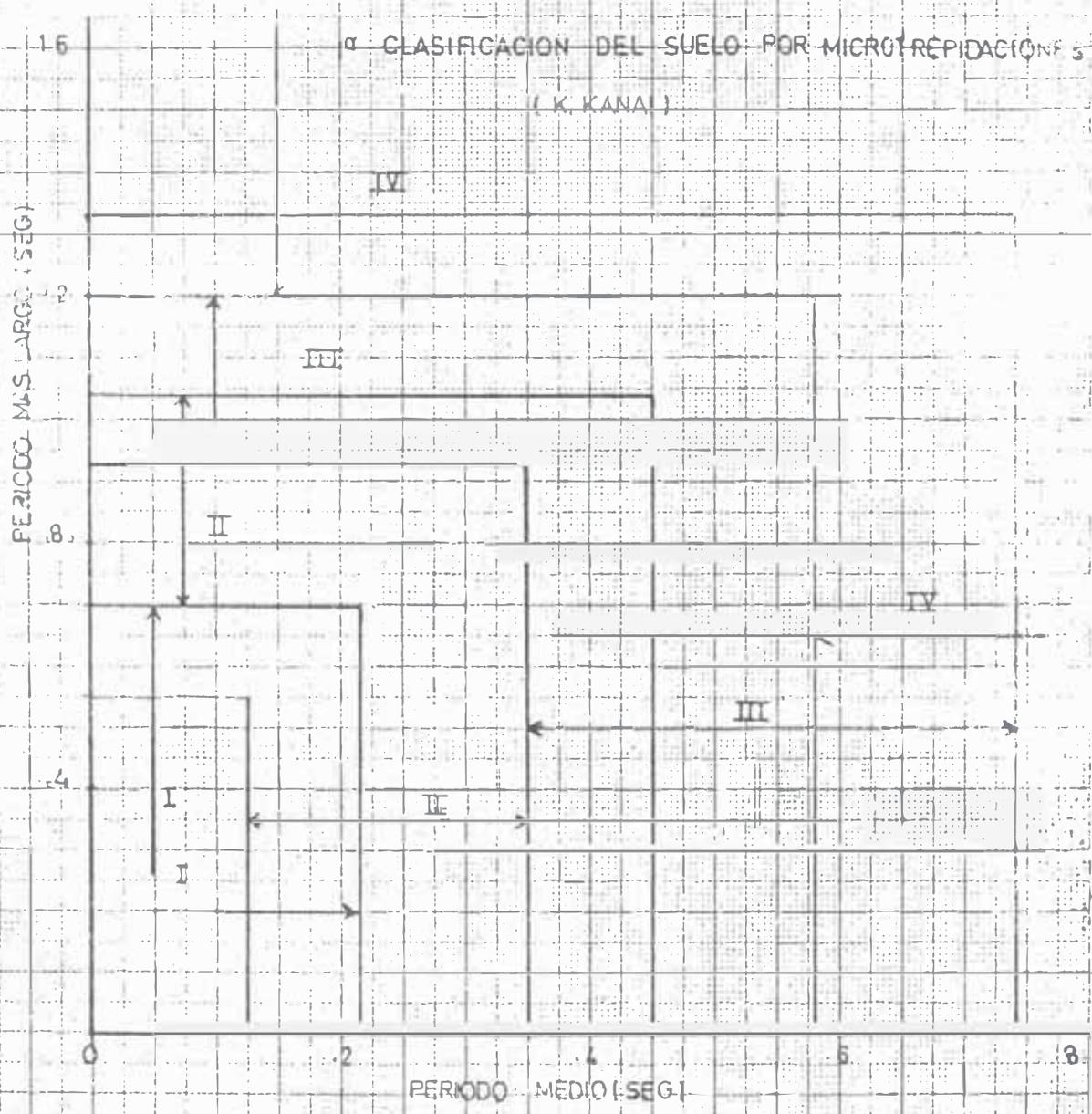
Así mismo en un lugar en que la curva periodo - frecuencia de microtrepidaciones tiene un solo pico, el periodo del pico coincide claramente con el periodo predominante del movimiento sísmico. Por otro lado en un lugar donde la curva periodo - frecuencia de microtrepidaciones presenta varios picos, el periodo predominante de un movimiento sísmico toma usualmente uno de ellos o algunas veces muchos de ellos.

#### 4.50 CLASIFICACION DEL SUELO POR MEDIO DE MICROTEMBLORES

De lo expuesto anteriormente, se tiene que la forma de la curva periodo - frecuencia de microtrepidaciones, caracteriza los distintos tipos de suelos y tiene una cercana correlación con las curvas correspondientes a sismos fuertes para los mismos lugares.

A partir de estos hechos K. Kanai propuso 2 métodos de clasificación de suelos, con fines de determinar zonas de diferente riesgo sísmico. Estos métodos fueron acogidos en el Código de Edificaciones del Japón. (Ohsaki, 1972)

Habiéndose efectuado en los primeros años de la pasada década, varias microzonificaciones de ciudades japonesas, mediante un extensivo uso de medidas de



microtrepidaciones y clasificación de suelos por este método los cuales se compararon con los mapas de daños sísmico a edificaciones durante los terremotos de Tonankai 1944, Nankaido 1946, encontrándose una buena correlación entre % de daño a edificaciones y tipo de suelo. (Ohsaki, 1972)

Extensivas evidencias han confirmado que el período predominante de un depósito de suelo tiene una cercana relación con el daño a las estructuras e rígidas sobre él.

El primero de los métodos propuesto por Kanai se basa en la medición de los períodos medio y mas largo de microtrepidaciones, a partir de las curvas período frecuencia.

El otro método está basado en las mayores amplitudes y el período predominante de microtrepidaciones.

El código Japonés determina, cuatro clases de suelos de acuerdo a la forma de las curvas período frecuencia y los métodos propuestos.

CLASE I: Suelo consistente en roca, grava arenosa dura etc. clasificados como terciarios o estratos antiguos sobre arena, considerable alrededor de la estructura.

CLASE II: Suelo consistente de grava arenosa, arcilla arenosa, dura, marga (mezclas no adhesivas de arcilla y arena) etc., clasificados como diluviales o aluviones gravosos, de alrededor de 5 mts. o más en espesor sobre un área considerable alrededor de la estructura.

CLASE III: Suelos consistentes de aluviones de 5 mts. o más de espesor los cuales pueden ser distinguidos de los suelos clase II por su formación escarpada (colinas inmediatas al mar).

CLASE IV: Aluviales consistentes de depósitos suaves de deltas, rellenos limos, barro, turba (incluyendo cualquier amontonamiento superior) cuya profundidad es alrededor de 30 mts. o más.

Tierras ganadas al mar, o por restauración de pantanos o ciénagas en los cuales el relleno tenga una profundidad de 3 mts. o más.

Para efectuar la clasificación del suelo mediante estos métodos se hará uso del abaco correspondiente que marca en el eje vertical el período medio en se

gundos y en el horizontal el período mas largo en segundos.

Estos valores y el período predominante, se toman de las curvas período frecuencia de microtrepidaciones, auxiliariamente se adopta el segundo método entrando al diagrama de mayores amplitudes (en micro-nes) VS períodos predominantes (seg.).

Se utiliza este último método en forma auxiliar debido a la variaciones de las amplitudes respecto al tiempo por circunstancias artificiales.

Posteriormente a la adopción de estos métodos se establecieron las relaciones entre daño sísmico y tipo de suelo, llegándose a la adopción de coeficientes de diseño. (Ohsaki, 1972)

#### 4.60 MEDIDAS DE MICROTREPIDACIONES EN CHORRILLOS

A través de los acápites anteriores, se ha expuesto la importancia de las medidas de microtrepidaciones y la utilidad de las curvas período - frecuencia, para la determinación de los períodos, predominante, medio y mas largo del suelo con el fin de efectuar una clasificación del suelo, que relacionada a los daños sísmicos presentado en distintas estructuras,

permita la obtención de coeficiente de diseño y parámetros comparativos de comportamiento de una zona a otra.

Por otro lado, conociendo el período predominante - de vibración del suelo y los valores característicos de los materiales que lo componen, como los pesos unitarios y velocidades de propagación de ondas en dichos medios, se puede aplicar las fórmulas semi - empíricas de Kanai para la obtención de la respuesta espectral del suelo; y efectuar el chequeo - de métodos analíticos, como el de los modelos computacionales de H.B. Seed para la obtención de funciones de transferencia en el estudio de amplificación de ondas sísmicas, como es el objetivo de esta Tesis.

Por las razones anteriormente expuestas, y como parte de las investigaciones previas al Proyecto de Micronización de Lima Metropolitana (1975-1976) que lleva a cabo al Instituto Geofísico del Perú, se realizaron las medidas de microtrepidaciones en el distrito de Chorrillos con la colaboración y asesoría de la citada institución'.

Debido a los reducidos datos, en cuanto se refiere a la estratigrafía de la zona, se procedió a la e-

lección de un perfil del suelo, que reuniese, el mayor número de pozos (capítulo III) de estratigrafía conocida, pertenecientes al registro de control piezométrico de la Dirección de Aguas Sub-terráneas del Ministerio de Agricultura y que a la vez pudieran usarse como modelos de comportamiento dinámico de los suelos, del área, (como se verá en el Capítulo lo sgte.)

Estos puntos de medición se muestran en los planos correspondientes. Es de notar que se ubican sobre las zonas de mas reciente urbanización, lo cual presenta el inconveniente de no permitir una efectiva comparación con el daño sísmico, ya sea por la carencia de edificaciones en el sitio o la poca variedad en cuanto a tipo de edificación.

El equipo utilizado, para efectuar las medidas de microtrepidaciones fue facilitado por la Inspecto-ra general del Ministerio de Vivienda. Las caracteristicas del mismo son las siguientes:

Un reglstrador PEN-WRITING RA-101 de 3 canales, para sismómetros y el otro para control de tiempo, 2 agujas registradoras en las componentes horizontal y vertical y otra de registro de tiempo. 2 amplificadores diseñados y construldos en la Universid-

de Tokyo. Dos sismómetros HOSAKA MICROTROMOMETER, O GAWA SEIKI MTKHIC de frecuencia natural de 1 Hz y frecuencia medible 1 - 70 Hz, amplitudes medibles - 0.0005 - 3,000 u.

Las fuentes de energía del registrador proviene de un motor que abastece los 110 v. (AC) necesarios.

Los amplificadores se conectan a una batería de 12v. y trabajan con una ganancia variable de acuerdo al lugar.

La velocidad de registro fue de 50 mm/segundo. En las mediciones efectuadas en Chorrillos las medidas de microtrepidaciones se efectuaron de noche de modo de evitar en lo posible las perturbaciones cercanas, debidas al tránsito vehicular, peatonal y los provenientes de fábricas, etc. que dan mayores amplitudes de registro.

#### 4.70 CURVAS PERIODO FRECUENCIA

Tomando 1.20 minutos de registro en la cinta de microtrepidaciones y considerando el período de la onda equivalente a dos pasos sucesivos a la línea de ceros trazada a lo largo de la cinta de registro (método manual de T. Tanaka) se obtuvieron directa-

CURVAS DE DISTRIBUCION PERIODO-FRECUENCIA  
 DE MICROTREMBORES  
 POZO - 2  
 $T_0 = 0.2 \text{ SEG.}$

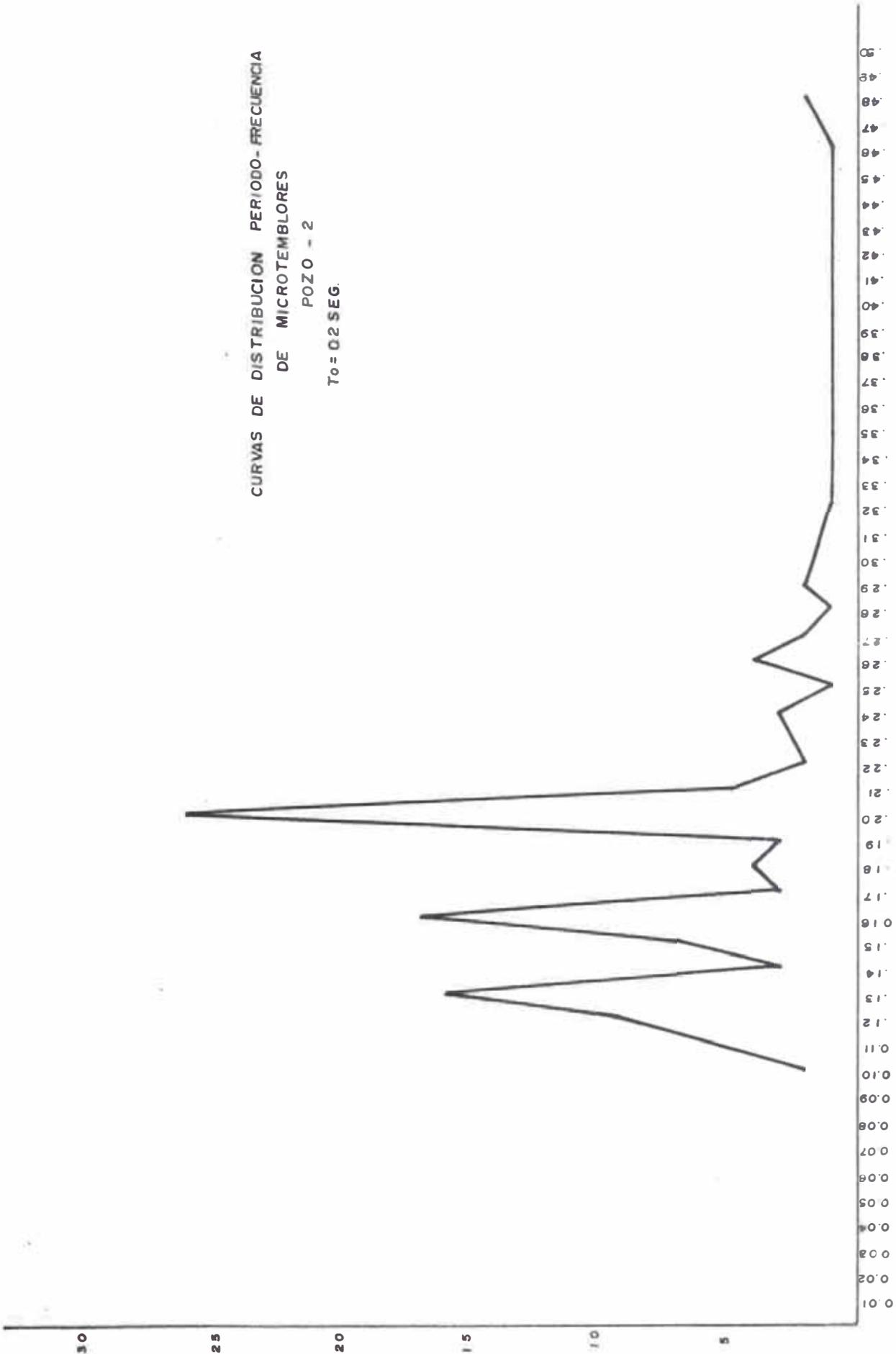
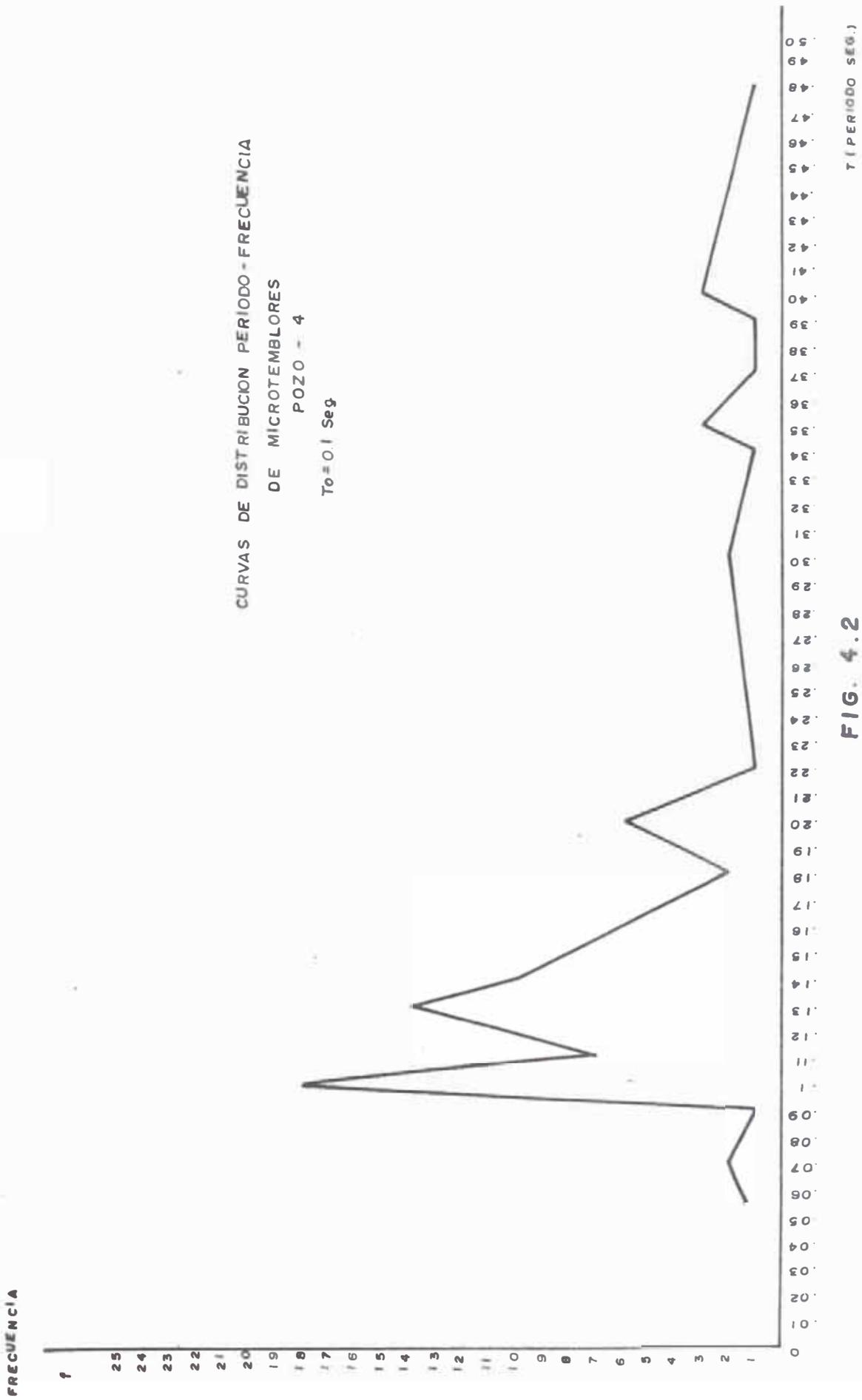


FIG. 4.1



**FIG. 4.2**

CURVAS DE DISTRIBUCION PERIODO-FRECUENCIA  
DE MICROTREMBORES

POZO - 9

$T_0 = 0.09 \text{ SEG}$

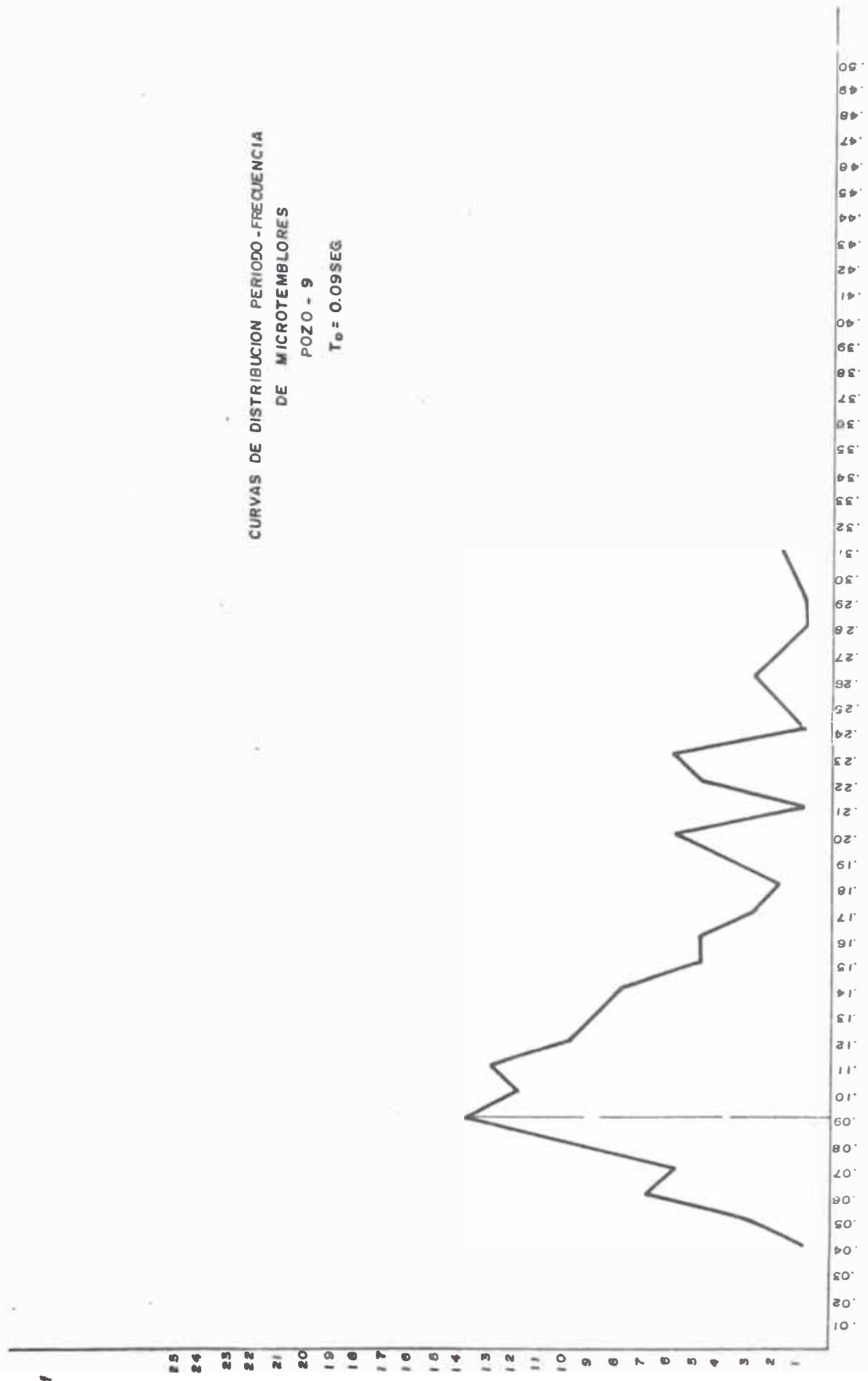


FIG. 4.3

25  
 24  
 23  
 22  
 21  
 20  
 19  
 18  
 17  
 16  
 15  
 14  
 13  
 12  
 11  
 10  
 9  
 8  
 7  
 6  
 5  
 4  
 3  
 2

**CURBAS DE DISTRIBUCIÓN PERIODO - FRECUENCIA**  
**DE MICROTEMBLORES**  
 POZO - 17  
 $T_0 = 0.12 \text{ SEG.}$

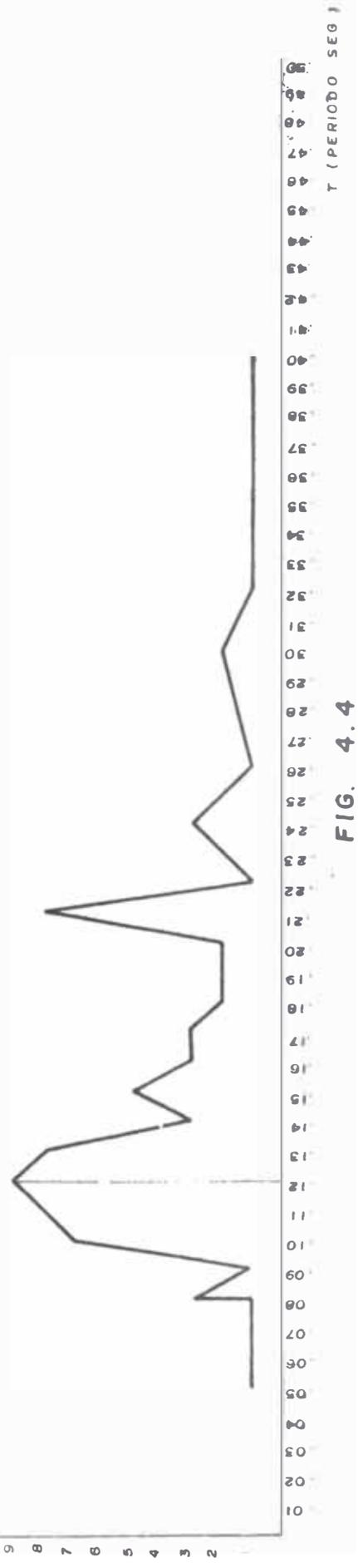


FIG. 4.4

mente por método del análisis analógico desarrollado por E. Deza; las curvas período frecuencia, las abscisas señalan los períodos y las ordenadas las frecuencias. Figs. (4.1, 4.2, 4.3, 4.4). Los períodos registrados se hallan en un rango que va desde 0.06 a 0.48 segundos.

La forma de las curvas, presentan en todos los casos varios picos lo cual es indicativo de la formación del suelo en dichos sitios en un sistema de multiestratos ó un sistema que se comporta como tal.

Esto se verifica claramente al tratarse de pozo de estratigrafía conocida.

Los períodos predominantes obtenidos de las curvas período frecuencia de microtrepidaciones se hallan en un rango de 0.09 - 0.20 seg. tal como puede apreciarse en las figuras correspondientes a los puntos de medición.

Este rango de períodos cortos, es bastante aproximado a los obtenidos para estas zonas de Lima Metropolitana, por el Instituto Geofísico del Perú (Avda. Arequipa cuadra 7, y Parque de la Exposición) mediante análisis de los registros de microtrepidaciones del lugar. En este punto cabe anotar, que en re

lación a la similaridad de las curvas "período-frecuencia" de microtrepidaciones, con las correspondientes, de sismos fuertes; no puede desestimarse el hecho, mencionado por K. Cloud y V. Pérez en el estudio de Acelerogramas registrados en Lima (de 1951-1970) en cuanto, el período predominante obtenido a partir de los registros de acelerogramas de los sismos del 17-10-66 y 31-5-70, es en promedio - (0.1 + 0.03 seg.), esta evidencia, aún cuando pueda ser calificada como aislada, en comparación con otros registros de acelerogramas de sismos fuertes (El Centro, Calif. Ferndle Cal.) que presentaron un rango más amplio de períodos predominantes, no debe desatenderse en cuanto corrobora a nivel local los enunciados de las teorías de Kanai.

#### 4.80 CLASIFICACION DE SUELOS

Utilizando el método de clasificación de suelos del Código Japonés de Edificaciones, mediante el empleo del primer método indicativo, esto es el referente a el uso de los períodos medio y más largo en el gráfico correspondiente; se procedió a la clasificación de los suelos, de los pozos, a partir de los valores mencionados y obtenidos de sus correspondientes curvas de distribución de períodos de micro

trepidaciones.

Estos valores son los siguientes:

Clasif.	Pozo 2 (I-II)	Pozo 4 (I)	Pozo 9 (I)	Pozo 17 (I)
To	0.20 seg.	0.10 seg.	0.09 seg.	0.12 seg.
Tm	0.19 seg.	0.13 seg.	0.12 seg.	0.16 seg.
Tl	0.48 seg.	0.48 seg.	0.31 seg.	0.40 seg.

donde To = período predominante en seg.

Tm = período medio en seg.

Tl = período más largo en seg.

De acuerdo a estos valores se pueden clasificar los suelos de la siguiente manera:

a) Suelos de período corto - Tipo I

b) Suelos de período medio o suelos transicionales tipo I-II

A) Suelos Tipo I

Los pozos 4, 9 y 17 pertenecen a este tipo de suelos cuyos períodos fundamentales de vibraciones son 0.10 y 0.09 seg. y 0.12 seg respectivamente.

B) Suelos Tipo I-II

El pozo 2 presenta un período fundamental de vibración de 0.20 seg.

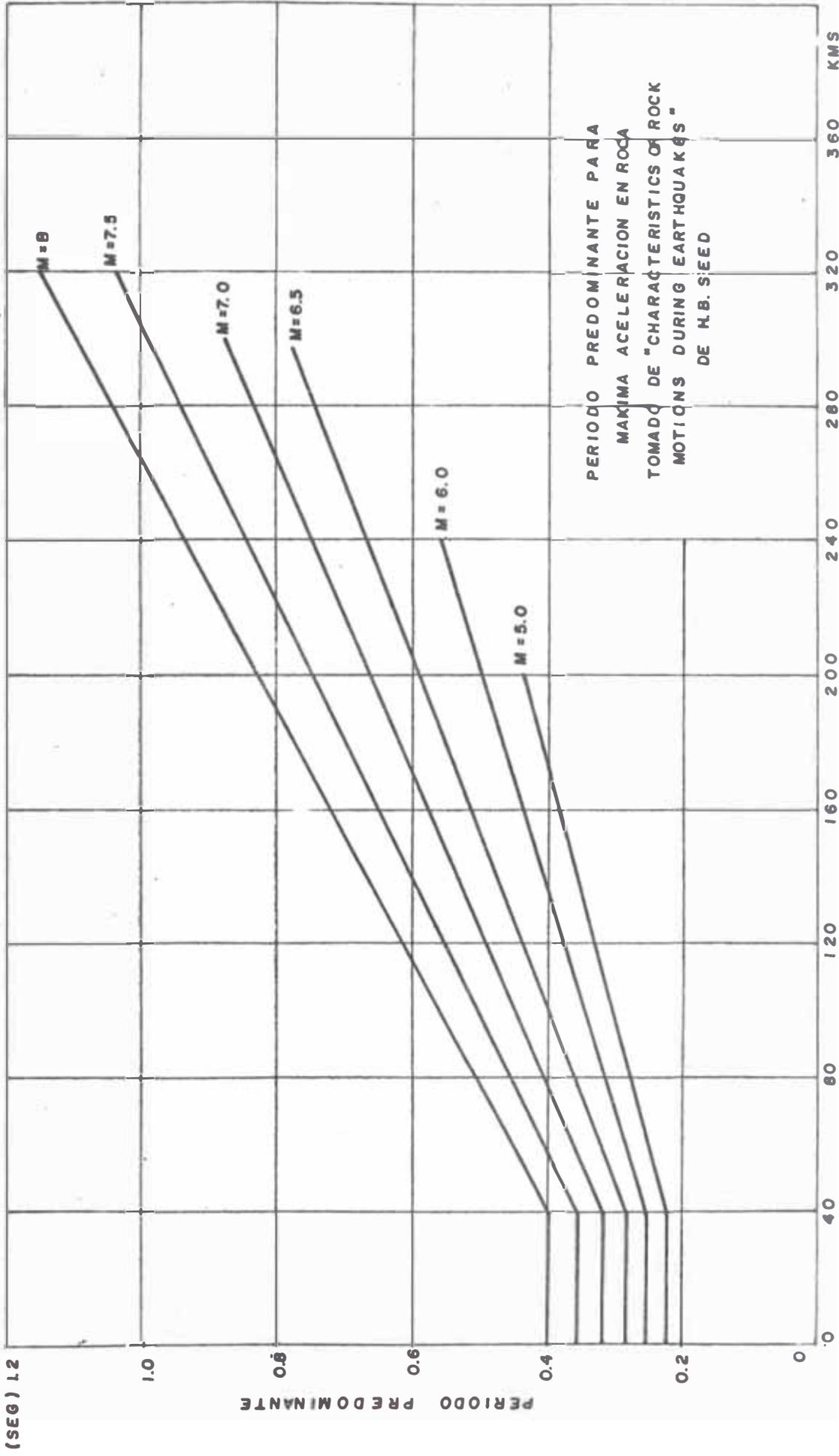
Ambos tipos se consideran de buena calidad, desde el punto de vista sísmico, esperándose en el segundo tipo, mayores amplificaciones que en el primero.

De la figura (4.5) se tiene que para un sismo de magnitud 6 el período predominante de la onda es de 0.25 seg. para una distancia a la falla causal de 40 Km.

Por lo que se puede afirmar que los suelos cuyos períodos fundamentales de vibración estén más alejados del período predominante de la onda sísmica serán de mejor calidad que los cercanos a esta.

A medida que la magnitud y la distancia epicentral aumentan, también aumenta el período de la onda sísmica.

La correspondencia entre los materiales que definen el suelo dentro de la clasificación del Código Japonés de edificaciones y los que se presentan en la estratigrafía de los pozos, es poco cercana por motivo de las variaciones, existentes entre las propiedades de los suelos y que dependen tanto de los procesos geológicos de formación como de las condiciones locales a que se encuentran y que inciden en sus propiedades mecánicas y dinámicas.



DISTANCIA A LA FALLA CAUSANTE

FIG. 4.5

#### 4.90 CONCLUSIONES

A partir de las medidas de microtrepidaciones y las correspondientes curvas de distribución de períodos, complementadas con los estudios de capítulos anteriores se ha realizado la clasificación de los suelos de los puntos de medición como un primer indicativo de las condiciones sísmicas del área; encontrándose dos tipos de suelos.

TIPO I Bien definido, con períodos cortos de 0.09 - 0.10 que corresponden a los pozos 4, 9 y 17 ubicados en el límite de la urbanización Los Laureles La Campiña y en la Campiña respectivamente.

Este suelo se considera de buena calidad desde el punto de vista de comportamiento sísmico por estar alejado de los períodos predominantes de las ondas sísmicas, siendo mínima su capacidad de amplificación dinámica dentro de su rango de frecuencia predominantes.

Este tipo de suelos es bastante compacto.

TIPO I - II Este tipo de suelo presenta un período fundamental de 0.20 seg. clasificado entre corto a medio y corresponde al pozo 2 ubicado en el extremo Sur de la Urbanización Los Laureles bastante cerca-

no al contacto con el Morro Solar.

Este tipo de suelo menos compacto que el anterior , se considera de buena calidad pero susceptible de dar mayores amplificaciones dinámicas al estar sus períodos predominantes mas cercanos a los períodos-predominantes de las ondas sísmicas.

El método de clasificación de suelos presentado, es conveniente utilizarlo, en atención a una clasificación práctica del suelo principalmente cuando sus características físicas no han sido establecidas claramente.

Se considera los resultados de microtemblores así como el conocimiento de las condiciones del sub-suelo; como un primer indicativo de comportamiento sísmico.

La zona que se considera de mayor peligro sísmico en atención a lo anteriormente expuesto es la cercana al pozo 2 en el sector sur de la Urbanización Los Laureles. Tanto por su mayor período fundamental de vibración mas cercano a los períodos de ondas sísmicas como por su cercanía al macizo del Morro Solar y la zona de contacto.

## C A P I T U L O V

### 5.00 MODELOS DE COMPORTAMIENTO DINAMICO DE LOS SUELOS DE CHORRILLOS

#### 5.10 INTRODUCCION A LOS METODOS ANALITICOS.

La variación de las condiciones de los depósitos de suelo, en áreas de similar formación geológica, puede ser responsable de marcadas diferencias de comportamiento, durante movimientos sísmicos; se comprobó inicialmente en base al previo estudio de sísmos, que la distribución de daños debidos a un terremoto, varía con las condiciones locales, y estas, no son igualmente uniformes, aunque tengan las mismas distancias epicentrales. (Kobayashi, 1972).

Posteriormente, datos más definitivos, han proveído de las razones, de este comportamiento local, demostrándose, que los movimientos en la base rocosa, son modificados al transmitirse a través de diferentes depósitos de suelo, hasta llegar a la superficie.

Las condiciones locales de suelo, pueden modificar los movimientos en superficie de dos maneras:

Mediante, el cambio de las amplitudes de los movimientos y también de la frecuencia contenida en estos.

En muchos casos los cambios en las frecuencias características, pueden tener mayor efecto en el comportamiento de estructuras, que los correspondientes cambios en niveles de máxima aceleración. (Seed-1972)

La amplificación del movimiento, depende por otro lado de los niveles de energía del mismo, debido a las características de comportamiento no lineal, para niveles de alta energía en los suelos conformantes del depósito.

Teniendo en cuenta, que es clara la influencia de las propiedades locales de suelo, es necesario tomarlas en cuenta, al definir movimientos sísmicos de diseño para un área en particular, como una función de las propiedades del sub-suelo cerca o bajo esta área.

#### 5.11 METODOS PARA LA DETERMINACION DE LOS EFECTOS DE LAS CONDICIONES DE SUELO EN LAS CARACTERISTICAS DEL MOVIMIENTO SISMICO

Existen tres métodos principales por los cuales puede predecirse aproximadamente los efectos de las

condiciones de suelo, sobre los movimientos sísmicos en superficie.

- Por acumulación de registros de sismos fuertes. Mediante la acumulación de datos suficientes relacionados con la respuesta del suelo; para diversas magnitudes y distancias epicentrales de terremotos, podría ultimadamente ser posible la predicción del probable comportamiento, en un nuevo sitio, por comparación directa de las condiciones apropiadas con datos precisos.
- Mediante el uso de datos de microtrepidaciones. Aplicando los métodos expuestos en el capítulo anterior, con el inconveniente ya señalado, de que al tratarse de movimientos de baja energía, no puede anticiparse un comportamiento similar para sismos fuertes y debe tomarse este método, como un primer indicativo, del comportamiento probable del suelo bajo efectos sísmicos.

#### 5.12 METODO DE LOS PROCEDIMIENTOS ANALITICOS

En muchos casos, los movimientos desarrollados cerca a la superficie de un depósito de suelo, durante un terremoto, pueden ser atribuidos, principalmente a la propagación ascendiente de ondas, desde una

formación rocosa subyacente. Y en años recientes, se han desarrollado procedimientos analíticos para determinar la respuesta del suelo bajo estas condiciones. Los métodos de análisis dependen de la configuración de los depósitos de suelos.

a) Depósitos de suelos con límites esencialmente horizontales.-

Para casos, donde todos los límites de una estratificación o depósito homogéneo, son esencialmente horizontales, el suelo puede ser tratado, como una serie de estratos semi-infinitos y el análisis se reduce a un problema unidimensional.

Se utilizan dos métodos para analizar la respuesta del suelo bajo estas condiciones:

1.- Un análisis, basado en el uso de la ecuación de onda (Kanai 1951; Matthiesen 1964; Herrera y Rosenblueth 1965; Kobayashi y Kagami 1966; Lysmer 1971).

En esta forma de aproximación, el suelo comprendido en cada estrato se considera con propiedades viscoelásticas uniformes y el movimiento en la base rocosa subyacente, como consistente de una serie de movimientos vibratorios sinusoidales, de diferentes frecuencias.

La respuesta en la superficie del depósito, se calcula entonces para un rango de las frecuencias de la base rocosa, proveyendo de un espectro respuesta de amplificaciones en superficie.

Los movimientos superficiales en un sitio dado, resultantes de un movimiento en el basamento, pueden ser entonces evaluados, multiplicando el espectro de Fourier del movimiento en la base por el espectro de amplificación, e invirtiendo el espectro de Fourier resultante se podría determinar los movimientos en la superficie del suelo.

2.- Un análisis, en el cual los depósitos de suelo están representados por una serie de masas compactas conectadas por resortes, cuyas características, son determinadas por las relaciones esfuerzo-deformación de los suelos en los variados estratos, Similarmente las características de amortiguamiento del sistema, son determinadas por las propiedades de los suelos. La respuesta del sistema a un movimiento generado en la base, puede realizarse entonces por los métodos convencionales de análisis dinámico (Penzien 1964; Idriss y Seed 1970)

Ambos métodos, probabilístico y determinístico, pueden usarse en conjunción con otro método de análisis.

Sea, que el análisis se realice por el método de la propagación de ondas o de las masas conectadas: se obtendrá únicamente resultados significativos si las características de los suelos están correctamente representadas.

En este aspecto es importante reconocer que los suelos no tienen características lineales de esfuerzo-deformación las cuales para propósitos de análisis-pueden representarse por relaciones bi-lineales (Penzien) o multilineales (Valera 1968).

Sin embargo se ha encontrado (Seed y otros) que resultados esencialmente similares, pueden obtenerse usando un análisis lineal visco-elástico equivalente, en el cual el módulo dinámico del suelo y el amortiguamiento son seleccionados de modo que sean compatibles con los esfuerzos desarrollados en el depósito de suelos. De esta manera los módulos de corte y las características de amortiguamiento de los suelos son tratados como propiedades de deformación dependientes y sus valores para movimientos de alta intensidad son significativamente diferentes de aquellos aplicables a movimientos de baja intensidad.

Para análisis de sitios específicos, los módulos de

corte, usualmente son determinados de mejor modo, a niveles bajos de deformación, mediante la medida de las velocidades de propagación de ondas a través de los suelos, estas medidas deben realizarse in-situ, y luego reducir los valores obtenidos para condiciones de respuesta, involucrando los niveles altos de deformación.

Las razones de amortiguamiento, se determinan de mejor modo, mediante ensayos de laboratorio, o medida de la relación esfuerzo-deformación de los suelos por ensayos de ciclos de carga.

Los análisis de perfiles simples de suelos con las mismas características en los estratos han mostrado que se obtiene similares resultados utilizando los métodos de la ecuación de propagación de ondas ó el de las masas conectadas por resortes.

Además ambos métodos, han sido aplicados a perfiles de suelo, en localidades donde los registros de movimientos de suelo desarrollados durante terremotos son aprovechables y muestran resultados en razonable concordancia con los valores registrados (Idris s y Seed 1968; 1969, 1970, Esteva 1969, Espinoza - 1967)

Al realizar el análisis de respuesta dinámica del suelo, debe tenerse en cuenta que las características del movimiento en la base rocosa deben ser determinadas con razonable aproximación en conexión con la amplitud y frecuencias características. Es de notar que las amplitudes desarrolladas en el basamento subyacente a un depósito de suelo son algo menores que las que se tienen en un afloramiento rocoso adyacente. Sin embargo tales diferencias son a menudo pequeñas y debido a las características de auto-compensación en un depósito de suelo sujeto a una excitación, las variaciones sustanciales de amplitudes del movimiento basal estimado, tienen solo un mínimo efecto en la amplitud de los movimientos calculados en superficie (Lysmer 1971, Seed 1969).

En muchos casos variaciones del orden de + 50% en los movimientos basales, llevan a desviaciones del 5 al 25% del valor principal de los movimientos de suelo calculados. Luego, aunque es necesario tener una razonable seguridad al asignar los movimientos basales, no se requiere una aproximación excesiva, especialmente al proceder con sismos fuertes, los cuales son de mayor interés para la ingeniería.

Similarmente las variaciones en la profundidad de

un depósito que excede los 60 mts. tienen frecuentemente, pequeña influencia sobre las características en los movimientos superficiales.

Por otro lado, la buena evaluación de las propiedades del suelo en los 60 mts. superiores del depósito frecuentemente es esencial para una acertada obtención de la respuesta del suelo (Seed, 1972).

b) Depósitos de suelos con límites irregulares entre estratos.

Si un depósito, tiene límites irregulares ó en pendiente no podría ser tratado con acierto, si fuera analizado como un medio semi-infinito y se requeriría de procedimientos de análisis mas complejos, los cuales toman en cuenta los aspectos bi-dimensionales del problema.

Para este propósito, el método de análisis de elementos finitos provee, de un adecuado medio de evaluación de la respuesta dinámica de los suelos. Al aplicar este método a un problema de campo, específico, es necesario tomar en cuenta la relación no lineal de esfuerzo-deformación y las características de amortiguamiento de los suelos comprendidos en un depósito. Esto se realiza, mediante el uso de

representaciones multi-lineales de las propiedades de esfuerzo de formación de los suelos.

Desafortunadamente, no ha existido oportunidad para comparar los datos de respuesta dinámica calculada por estos métodos con los observados en campo. Sin embargo las comparaciones con el comportamiento de depósitos de ensayo, en mesas vibratorias dan una buena aproximación entre la respuesta computada y la registrada. Frecuentemente el método de elementos finitos da resultados en excelente concordancia con los obtenidos por el método de estratos semi-in finitos para depósitos de límites horizontales y este se encuentra en perfecta concordancia con las respuesta observadas. (Seed, 1972)

En vista, del hecho de que los procedimientos multi dimensionales más sofisticados no han llegado a un punto de rápida aplicación a los problemas prácticos, la única base que se tiene actualmente para la predicción de la respuesta dinámica del suelo es la aproximación uni-dimensional, lo cual debe suplemen tarse, con el uso de datos de registros actuales de sismos fuertes, (N. M. Newmark, 1972).

### 5.13 APLICACIONES AL DISEÑO Y MICROZONACION

El desarrollo de un buen entendimiento, de la influencia de las condiciones geológicas y de suelo sobre las características de movimientos sísmicos del suelo puede ser utilizado, para establecer modelos y razones de daño en pasados terremotos o predecir daños potenciales en futuros terremotos y de este modo proveer de una base para la microzonación de efectos sísmicos.

La comparación de la relación de daño a edificaciones y profundidad de suelo en el terremoto de Caracas 1967, por ejemplo, muestra en forma general una buena concordancia con los resultados de predicción a partir de los análisis de respuesta dinámica en los suelos (Espinoza; Seed).

Para edificaciones de varios pisos, se ha encontrado que índices tales como  $S_a/c$  y  $S_v/c$  (donde  $S_a$  es la aceleración espectral,  $S_v$  es la velocidad espectral y  $C$  es el coeficiente sísmico de diseño para fuerza lateral); pueden proveer de una base para la microzonación, de potenciales efectos de daño a edificaciones y para un diseño que prevenga tales efectos

En este capítulo, se presentan, dos de los métodos de evaluación de la respuesta dinámica de los suelos, aplicados a la zona en estudio

- Método de la respuesta espectral en superficie de K. Kanai.
- Método de los modelos computacionales de H.B.Seed.

Ambos se enmarcan dentro del análisis unidimensional de respuesta del suelo; el cual presenta la ventaja ya expuesta, de su rápida aplicabilidad a los problemas prácticos frente a métodos más sofisticados de cálculo, que aún no han alcanzado dicho punto de practicidad.

Previamente, se asignan los parámetros que definen cada perfil seccional de suelo, de modo de incluir las características locales, en el cálculo de la respuesta del suelo a las excitaciones sísmicas, mediante los métodos presentados.

## 5.20 DETERMINACION DE LOS MODELOS DE SUELO Y SUS CARACTERISTICAS

Con el fin de aplicar los métodos de evaluación de la respuesta dinámica del suelo en Chorrillos, se realizó la determinación en modelos o perfiles seccionados de suelo para los que se habla de calcu -

*lar la respuesta dinámica.*

Para ello, siguiendo las consideraciones expuestas en el capítulo III y atendiendo a la escasez en información, se eligió como modelos de trabajo, los pozos de las perforaciones de explotación de aguas subterráneas del sector comprendidos en el perfil C-C', el cual posee una orientación tal, que cubriendo una longitud de 4 Km, atraviesa la mayor extensión de la zona urbana o por urbanizarse.

Dentro de este perfil, se tomaron como modelos los pozos 2,4,9,17, para los cuales se hablan realizado registros de microtrepidaciones (Cap IV), a fin de establecer un límite de su comportamiento dinámico.

Luego, siendo de necesidad, el establecer las propiedades de los estratos conformantes de cada modelo a utilizarse y estando representadas dichas propiedades por, la densidad, velocidad de ondas de corte y el espesor de los estratos, se procedió a determinarlas en base a las siguientes consideraciones e hipótesis.

**5.21 CONSIDERACIONES E HIPÓTESIS EN LA ASIGNACION DE LAS PROPIEDADES DE LOS MODELOS DE SUELO**

*- Se clasificó los perfiles seccionales de los po -*

zos de explotación de aguas subterráneas, según el sistema unificado de suelos, correlacionando la clasificación litológica del Ministerio de Agricultura, con la que es de corriente uso en los estudios de suelos en Ingeniería Civil.

- Esta correlación se llevó a cabo, contando con la información de estudios de suelos realizados en el distrito (Ver referencias) tanto para proyectos de cimentación de urbanizaciones y obras de importancia, como de los datos del Estudio de Costa Verde sector Chorrillos (R. Maggiolo, Teves, Evangelista).

- Al no conocerse los límites del manto acuífero en profundidad, se asumió que existe saturación en los estratos por debajo de la napa freática.

- La incidencia de la saturación o del humedecimiento de los estratos en las propiedades en los suelos se asume de acuerdo al tipo de material de cada estrato y en conformidad con las propiedades básicas bajo esta situación; según bibliografía y consultas realizadas.

- Las arcillas del sector se consideran, según estudios en referencia (R. Maggiolo y otros) como pre-disecadas, lo cual concuerda con los procesos de

formación de dichos suelos en el sector (K. Terzaghi pp87)

- De acuerdo a esto las arcillas se encuentran pre-consolidadas por desecación siendo su compresibilidad despreciable y su resistencia a la penetración considerable, según estudios, (Instituto Nacional de Salud; PLANISA, etc.) que dan un número de golpes superior a 15 en todos los casos; según esto se las puede considerar desde medianamente compactas a compactas y duras inclusive (K. Terzaghi pp360 Tablall).

- Las arenas del sector se pueden clasificar de densas a medianamente densas, de acuerdo a los valores asignados para capacidades admisibles de carga (0.7-2.5)Kg/cm<sup>2</sup> y para ensayos de penetración fluctuantes entre 10 y 40 golpes. Según los estudios consultados. K Tezaghi pp543 table 23).

- Se considera así mismo que en arenas intermedias el valor del número de golpes para ensayos de penetración no varía en forma significativa por arriba y por debajo de la napa freática (K. Terzaghi; pp-353).

Y si es densa aumentaría N considerablemente por de

bajo de la napa freática.

Esta consideración será de importancia en la asignación de velocidades de ondas de corte según la fórmula empírica  $V_s = 76N^{0.36}$

- Estas consideraciones se encuentran en concordancia con la clasificación de suelos por microtremedaciones realizadas en el Cap. V.

- Al no contarse con un reporte preciso en la profundidad de basamento rocoso y no existiendo concordancia entre la profundidad asignada por la carta hidrogeológica de Lima y la existente para algunas perforaciones (pozo 2, 16) se procedió a asumir esta profundidad en 100 mts, bajo terreno natural como se muestra en el perfil correspondiente.

## 5.22 DETERMINACION DE LAS PROPIEDADES DE LOS ESTRATOS

De acuerdo, a las consideraciones expuestas en el capítulo anterior, se han asignado los valores correspondientes a las densidades de los materiales conformantes de los estratos, espesores y velocidades de ondas de corte, de la siguiente manera.

Densidades en los estratos.-

Las densidades en los estratos se asignaron de acuerdo a las referencias anotadas y las consideraciones anteriores notandose que dadas las condiciones en consistencia de las arcillas y resistencia a la penetración de las arenas, los valores de las densidades son altos como corresponde a tales estados.

#### Espesor de los estratos.-

Los espesores de los estratos son los proporcionados por el reporte litológico de pozo de explotación de aguas subterráneas.

Considerandose un estrato adicional que repite los materiales del último asignado en el reporte litológico, hasta llegar al basamento rocoso; en este último estrato las propiedades tales como densidad y velocidad de propagación de ondas se modifican de acuerdo a la profundidad mayor a que se encuentra.

#### - ASIGNACION DE VELOCIDADES DE ONDAS DE CORTE.-

La medición de velocidades de propagación de ondas de corte puede realizarse, mediante un sismógrafo de refracción (Terra Scout, UNI) aplicando las técnicas de refracción de ondas para prospecciones geofísicas (Musgrave, Seismic Refraction Prospecting,-

1967], lo cual presenta la ventaja de una medida directa de la velocidad de onda P.

Este método envuelve la medida del tiempo que toma una onda o grupo de ondas en viajar desde un punto de origen a un punto donde se sitúa el detector.

La medida del tiempo se realiza en milisegundos y entre distancias del orden de decenas o cientos de pies. Con distancias conocidas entre los puntos de detección los valores de velocidad se determinan rápidamente.

La fuente de excitación, que genera la propagación de ondas, puede ser dada por un martillo que al golpear el suelo genera una onda sonora, esta onda es recibida por un geófono y registrada en el instrumento en una pantalla de rayos catódicos, lo que posibilita la medida del tiempo de trayectoria de la onda entre el martillo y el geófono (Terra-Scout).

La profundidad de exploración depende grandemente de la fuente de excitación (del orden de los 30 mts. con martillo) para profundidades grandes es conveniente el uso de explosivos como fuente de excitación, pero esto presenta la desventaja de no poder utilizarse en áreas urbanas. (V, J, murphy 1972).

Lo deseable es realizar estas medidas sobre perfiles de suelo conocidos a fin de facilitar la identificación e interpretación de resultados.

Ultimamente toda publicación o estudio concerniente a la dinámica de suelos (V, J, Murphy, 1972,) relaciona los módulos elástico y de corte del suelo a los valores de velocidades de propagación de ondas.

$$E = V_p^2 \frac{d(1 - 2\sigma) + (1 + \sigma)}{1 - \sigma}$$

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

$V_p$  = Velocidad de onda P

$V_s$  = Velocidad de onda S

$E$  = Módulo de Young

$d$  = peso unitario

$\sigma$  = razón de Poisson

$$\sigma = \frac{1/2 - (V_s/V_p)^2}{1 - (V_s/V_p)^2}$$

De esto se desprende, que obtenida la velocidad de onda P mediante el método de prospección sísmica es dable obtener la velocidad de onda de corte; mediante las relaciones arriba expuestas.

En nuestro caso, no fue posible realizar la medición de velocidades por las técnicas descritas debi

do al mal funcionamiento de los sismógrafos de refracción Terra Scout (UNI, Min Agricultura).

Al no tenerse por otro lado valores para los módulos de corte en los modelos; y otros valores dinámicos característicos de los suelos se procedió a la asignación de las velocidades de ondas de corte, contando para ello con la significativa contribución de recientes publicaciones que proporcionan un notable volumen de valores característicos de estudios de dinámica de suelos, estudio de medición de velocidades en campo (Newmark, Rosenblueth 1971, Robert W, Cunny 1973). y valores medidos durante proyecciones geofísicas en Lima Metropolitana. (Deza-1974)

Estos valores se controlaron con los obtenidos a partir de la fórmula empírica.

$$V_s = 76 N^{0.36}$$

donde:  $V_s$  = velocidad en ondas de corte

$N$  = número de golpes del ensayo de penetración standart tomado de ensayos realizados en el área (A Carrillo Inst. Nac de Salud, R. Michelena Coop J. Olaya, Min. de Vivienda etc.)

MODELOS COMPUTACIONALES METODO SEED  
 MODELO 2



MATERIAL C.U.S.	PESO UNITARIO (GR/CM <sup>3</sup> )	ESPEJOR (H) MTS	VELOCIDADES "S" MTS/SEG.
CL	1.9	12.50	200
CL	2.1	6.50	300
GL	2.2	2.0	5.50
GP	2.2	5.0	700
CL	2.1	54.00	248
CL	2.1	16	400
ROCA FRACT.	2.3	4	1154
ROCA BASAL	2.4	0.0	2300

MODELO 4

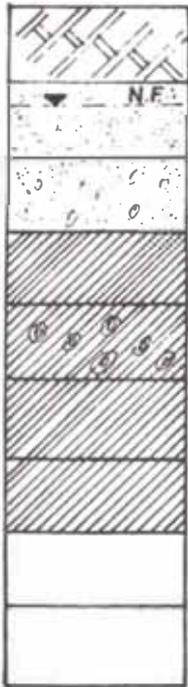


MATERIAL C.U.S.	PESO UNITARIO (GR/CM <sup>3</sup> )	ESPEJOR (H) MTS	VELOCIDADES "S" MTS/SEG.
T.S	1.5	2.00	170
GP	2.2	9.00	400
GC	2.2	8.00	540
CL	2.0	7.00	360
SC	2.15	6.00	480
SC	2.10	58.00	480
ROCA FRACT.	2.3	4.00	1154
ROCA BASAL	2.4	0.0	23.00

FIG. 5.1

MODELOS COMPUTACIONALES METODO SEED

MODELO 9



MATERIAL C.U.S.	PESO UNITARIO (GR/CM <sup>3</sup> )	ESPESOR (H) MTS.	VELOCIDADES "S" MTS/SEG
T.S	1.5	1.0	170
SP	2.2	7.0	260
GP	2.2	9.0	400
CL	2.1	6.0	350
GC	2.2	9.0	550
CL	2.2	9.0	700
CL	2.2	56.0	700
ROCA FRACT.	2.3	4	1150
ROCA BASAL	2.4	00	2300

MODELO 17



MATERIAL C.U.S.	PESO UNITARIO (GR/CM <sup>3</sup> )	ESPESOR(H) ( MTS )	VELOCIDADES "S" MTS/SEG
T.S	1.5	1.5	170
CL	2.1	3.5	340
CL	1.99	2.5	240
SP	2.05	5.3	460
CL	2.1	73.0	550
ROCA FRACT.	2.3	4.0	1154
ROCA BASAL	2.4	00	2300

FIG. 5.2

Los valores asignados se encuentran en un límite razonable de acuerdo a las consideraciones expuestas sobre las características de los modelos y la sgte. tabla de correlación.

TABLA 5.1

CORRELACION DE VELOCIDADES DE ONDAS "S"

NEWMARK

SUELOS SUELTOS	$V_s < 600\text{m/seg}$
SUELOS FIRMES	$V_s \geq 600\text{m/seg.}$
ROCA	$V_s < 1800\text{m/seg.}$

Los valores característicos de los modelos se encuentran en la figuras.

5.30 FORMULA SEMI EMPIRICA DE KANAI PARA DETERMINACION DE LA RESPUESTA ESPECTRAL DE MOVIMIENTOS SISMICOS FUERTES.

5.31 INTRODUCCION

El significado usual, del término "movimiento sísmico" se refiere generalmente, al movimiento de la onda en la superficie del suelo, transmitido desde el origen sísmico a través de la corteza terrestre. Si

$O(t)$ ,  $Q(T,q)$  y  $G(T,q)$  representan respectivamente:-  
Las características de vibración del origen sísmico, de la corteza terrestre y del suelo en la estación de observación; la forma de la onda del movimiento sísmico en la estación puede escribirse de la siguiente manera:

$$u(T,q) = f(O(T), Q(T,q), G(T,q)) \quad (5.1)$$

En la cual  $T$  y  $q$  representan respectivamente, período y atenuación de la onda sísmica.

$O(T)$  depende de la magnitud sísmica y de los mecanismos de generación de ondas sísmicas; mientras  $Q(T,q)$  está determinada por la reflexión, refracción, dispersión y absorción de ondas en la corteza terrestre.  $G(T,q)$  es análoga a  $Q(T,q)$  con la diferencia de que esta determinada por los mismos fenómenos pero, en el suelo. Considerando el suelo desde el basamento rocoso hasta la superficie.

### 5.32 LA RESPUESTA A PROFUNDIDAD

El movimiento sísmico en la superficie y en las capas o estratos cercanos a ella está influenciando por las condiciones geológicas superficiales, generalmente complejas.

Por este motivo el estudio analítico de las ondas incidentes en cuanto a sus características, se realiza de mejor manera en base a sismogramas obtenidos en profundidad, de modo que los efectos geológicos superficiales sean despreciables.

Las mediciones efectuadas, en la mina Hitachi a 300 mts de profundidad, por un período de mas de 10 años, fueron adoptadas para este propósito.

Se encontró que todas las curvas de período-desplazamiento obtenidas por análisis espectral de estos sismogramas, mostraban un pico en un período predominante.

Por otro lado, el análisis estadístico de registro sísmico ha demostrado, que conforme se incrementa la distancia epicentral, el máximo desplazamiento de la curva período-desplazamiento decrece, mientras el correspondiente período cambia muy lentamente. De esto, se infiere que el máximo desplazamiento con el período correspondiente se incrementa para una distancia epicentral dada.

K. Kanai y Yoshikawa, han obtenido una fórmula empírica que relaciona el máximo desplazamiento al período correspondiente en profundidad.

$$Am_s = 53 T_m^{2.56} \quad (5.2)$$

En la que,  $Am_s$  se expresa en micrones y  $T_m$  en segundos y representan respectivamente el desplazamiento y periodo del pico de desplazamiento espectral para una estación epicentral de 100 Km.

Excepción hecha para periodos mucho mayores o mucho menores que el anteriormente expresado, el espectro de ondas sísmicas a profundidades puede expresarse como:

$$\frac{u}{T} = \left( \frac{\text{Velocidad}}{2\pi} \right) = \text{cte} \quad (5.3)$$

En la cual  $u$  y  $T$  representan respectivamente,  $\bar{u}$ ps desplazamientos y periodos de puntos individuales del espectro. Esta relación implica la compatibilidad de distribución de energía entre las componentes de la onda sísmica a profundidad sobre un considerable rango en periodos.

### 5.33 RELACIONES ENTRE AMPLITUD, PERIODO, MAGNITUD Y DISTANCIA EPICENTRAL

Entre las muchas fórmulas propuestas para relacionar la distancia epicentral, magnitud y máximas am-

plitudes K. Kanai utilizó la presentada por C. Tsu-  
boi, expresando mediante esta fórmula lo sgte:

$$\log A_m = M - 1.73 \log \Delta + 0.83 \quad (5.4)$$

Donde:

M = Magnitud de Richter

$\Delta$  = Distancia epicentral en Km.

$A_m$  = Es la máxima amplitud del desplazamiento  
to en micrones.

Considerando, el caso especial de la fórmula de Tsu-  
boi para una distancia epicentral de 100 Km, la ex-  
presión se reduce a:

$$\log A_m = M - 2.63 \quad (6.4)a$$

tomando logaritmos a la expresión (6.2)

$$\log A_m = \log 53 + 2.56 \log T_m \quad (6.2)a$$

de donde:

$$M - 2.63 = \log 53 + 2.56 \log T_m$$

simplificando esta expresión tenemos:

$$\log T_m = 0.39 M - 1.70$$

Restando ordenadamente (6.5) de (6.4) se tiene:

$$\log \frac{A_m}{T_m} = 0.61M - 1.73 \log \Delta + 2.53 \quad (5.6)$$

Considerando aplicable la relación de periodos-amplitudes se obtiene:

$$u = T \cdot 10^{0.61M - 1.73 \log \Delta - 1.47} \quad (5.7)$$

la cual expresa la amplitud del desplazamiento  $u$  en cms. como función, del periodo de la onda sísmica en el basamento

Luego de (6.7) se obtiene:

$$V = 2\pi \cdot 10^{0.61M - 1.73 \log \Delta - 1.47} \quad (5.8)$$

$$a = \frac{(2\pi)^2}{T} 10^{0.61M - 1.73 \log \Delta - 1.47} \quad (5.9)$$

donde  $V$  es velocidad espectral en cm /seg.

$a$  es aceleración espectral en  $\text{cm}/\text{seg}^2$

#### 5.34 CARACTERISTICAS VIBRACIONALES DEL SUELO

El conocimiento de las características sísmicas de superficie del suelo, fue clarificado por K. Kanai como un resultado de la investigación de observaciones de terremotos, análisis estadísticos de daño sísmico y estudios teóricos de ondas sísmicas.

Basandose, en estas investigaciones, obtuvo una fórmula semi-empírica, para la determinación de las características sísmicas de un suelo, considerado como un estrato viscoelástico, que descansa sobre un medio semi-infinito.

$$G(T, q) = 1 + \left[ \frac{1+c}{1-c} \left( 1 - \left( \frac{T}{T_0} \right)^2 \right)^2 + \left( \frac{0.3}{T_0} \left( \frac{T}{T_0} \right) \right)^2 \right]^{-1/2} \quad (5.91)$$

En la cual  $T$  y  $T_0$  representan, respectivamente, el período de la onda sísmica y el período predominante del suelo, en segundos

$$c = \left( \frac{\rho_1 v_1}{\rho_2 v_2} \right)^{1/2} \quad \equiv \quad \left( \frac{\rho_1 v_1}{\rho_2 v_2} \right)$$

Siendo la densidad, la constante elástica y la velocidad de corte del estrato y del medio subyacente, respectivamente.

Los siguientes casos especiales de la ecuación [5.91] se presentan a continuación; como ilustración de dicha ecuación.

- Caso de un estrato no superficial y una onda sísmica de período muy largo.

$$T_0 \rightarrow 0 \quad (T \rightarrow \infty) \quad \text{y} \quad G(T, q) \rightarrow 1$$

- Caso de un estrato superficial potente y un periodo de onda muy corto

$$T_0 \rightarrow \infty (T \rightarrow 0) \text{ y } G(T, q) \rightarrow \frac{2}{1+c}$$

- Caso de resonancia

$$T = T_0 \text{ y } G(T, q) = \frac{1 + (T_0)^{1/2}}{0.3}$$

Combinando las ecuaciones (6.7) (6.8) (6.9) con (6.91) se tienen las siguientes fórmulas para movimiento espectral de la superficie del suelo.

$$u = 10^{0.61M - 1.73 \log \Delta - 1.47} \cdot T \cdot \left[ 1 + \frac{1}{\left[ \left[ \frac{1+c}{1-c} \left( 1 - \left( \frac{T}{T_0} \right)^2 \right) \right]^2 + \left( \frac{0.3}{\sqrt{T_0}} \left( \frac{T}{T_0} \right) \right)^2 \right]^{1/2}} \right]$$

$$v = 10^{0.61M - 1.73 \log \Delta - 0.67} \left[ 1 + \frac{1}{\left[ \left[ \frac{1+c}{1-c} \left( 1 - \left( \frac{T}{T_0} \right)^2 \right) \right]^2 + \left( \frac{0.3}{\sqrt{T_0}} \left( \frac{T}{T_0} \right) \right)^2 \right]^{1/2}} \right]$$

$$a = \frac{10^{0.61M - 1.73 \log \Delta + 0.13}}{T} \left[ 1 + \frac{1}{\left[ \left[ \frac{1+c}{1-c} \left( 1 - \left( \frac{T}{T_0} \right)^2 \right) \right]^2 + \left( \frac{0.3}{\sqrt{T_0}} \left( \frac{T}{T_0} \right) \right)^2 \right]^{1/2}} \right]$$

Donde  $u$ ,  $v$  y  $a$  son respectivamente el desplazamiento espectral en  $\text{cm}_2$  la velocidad espectral en  $\text{cm}/\text{seg}$  y la aceleración espectral en  $\text{cm}/\text{seg}^2$ , en la superfi-

cie del suelo debido a un movimiento sísmico.

#### 5.40 CALCULO DE LA RESPUESTA ESPECTRAL DEL SUELO EN SU - PERFICIE PARA LOS PERFILES SECCIONALES DE CHORRI LLOS

Para el cálculo de la respuesta espectral, usando el método de la fórmula semi-empírica de Kanai, se elaboró un programa en lenguaje FORTRAN que cumple con este objetivo y que se incluye en el apéndice B. dando como datos de entrada, los límites inferior y superior de los periodos predominantes de los modelos, obtenidos en el capítulo anterior por registros de microtrepidaciones; así como también la impedancia promedio en estos 4 modelos. Procesado el programa, se obtuvo, dentro del rango mencionado de periodos predominantes, los valores correspondientes a los desplazamientos, velocidades y aceleraciones espectrales (en cm, cm/seg y  $\text{cm/seg}^2$ ); para diversos pares de valores de distancia epicentral y magnitud en un rango de periodos para el suelo de 0.10 - 2.0 seg.

Para la determinación de los valores de entrada, se tomaron un periodo predominante de 0.10 seg como límite inferior y de 0.20 seg como límite superior-

(ver Cap. IV)

Seguidamente se cálculo una impedancia promedio para cada modelo obteniendose.

$$C_2 = 0.31 , \quad C_4 = 0.24 , \quad C_9 = 0.28 \quad C_{17} = 0.24$$

de la expresión

$$V_s \text{ promedio} = \frac{V_1 + V_2 + \dots + V_n}{n}$$

$$P \text{ promedio} = \frac{P_1 + P_2 + \dots + P_n}{n}$$

$$C \text{ promedio} = \frac{V_s \text{ promedio} \times P \text{ promedio}}{V_s (\text{Roca}) \times P (\text{Roca})}$$

Utilizando impedancia promedio de los modelos considerados con miras a obtener una respuesta espectral para la zona se calculo.

$$C_{\text{zona}} = 0.26$$

Los valores obtenidos con los datos de entrada mencionados, dan para cada período predominante, considerado, dentro del rango a que se ha hecho referencia, una curva de espectro respuesta en superficie de desplazamiento, velocidad y aceleración en (cm,

cm/seg y  $\text{cm/seg}^2$ ) para cada par de valores de Magnitud y distancia epicentral.

#### 5.41 COEFICIENTE SISMICO DE DISEÑO PARA CORTANTE EN LA BASE

De la historia sísmica, se tomó como sismo destructivo más probable, un sismo de Magnitud de Richter  $M=7$  y distancia a la falla causal 100 Km. Plotándose las curvas periodo-aceleración, de acuerdo a los valores obtenidos. Seguidamente se encontró la envolvente de estas curvas, tal como se muestra en la figura, normalizándose dicha envolvente para un valor máximo de 0.20g y un límite inferior de 0.05g.

A partir de esta curva y de los valores límites mencionados se determinaron las expresiones tendientes a cumplir con estos requerimientos.

La línea continua de la figura 5.3... muestra la envolvente y la línea interrumpida, el gráfico de la expresión  $C = \frac{0.1}{T}$  que proporcionó resultados satisfactorios.

De donde, el coeficiente sísmico de diseño "C" para cortante en la base, para un valor máximo normalizado de 0.20g será.

RESPUESTA ESPECTRAL DE ACELERACIONES  
SEGUN FORMULA SEMIEMPIRICA  
KANAI

- I M = 7 Δ = 100 Km.
- II M = 6 Δ = 50 Km.
- III M = 7 Δ = 50 Km.

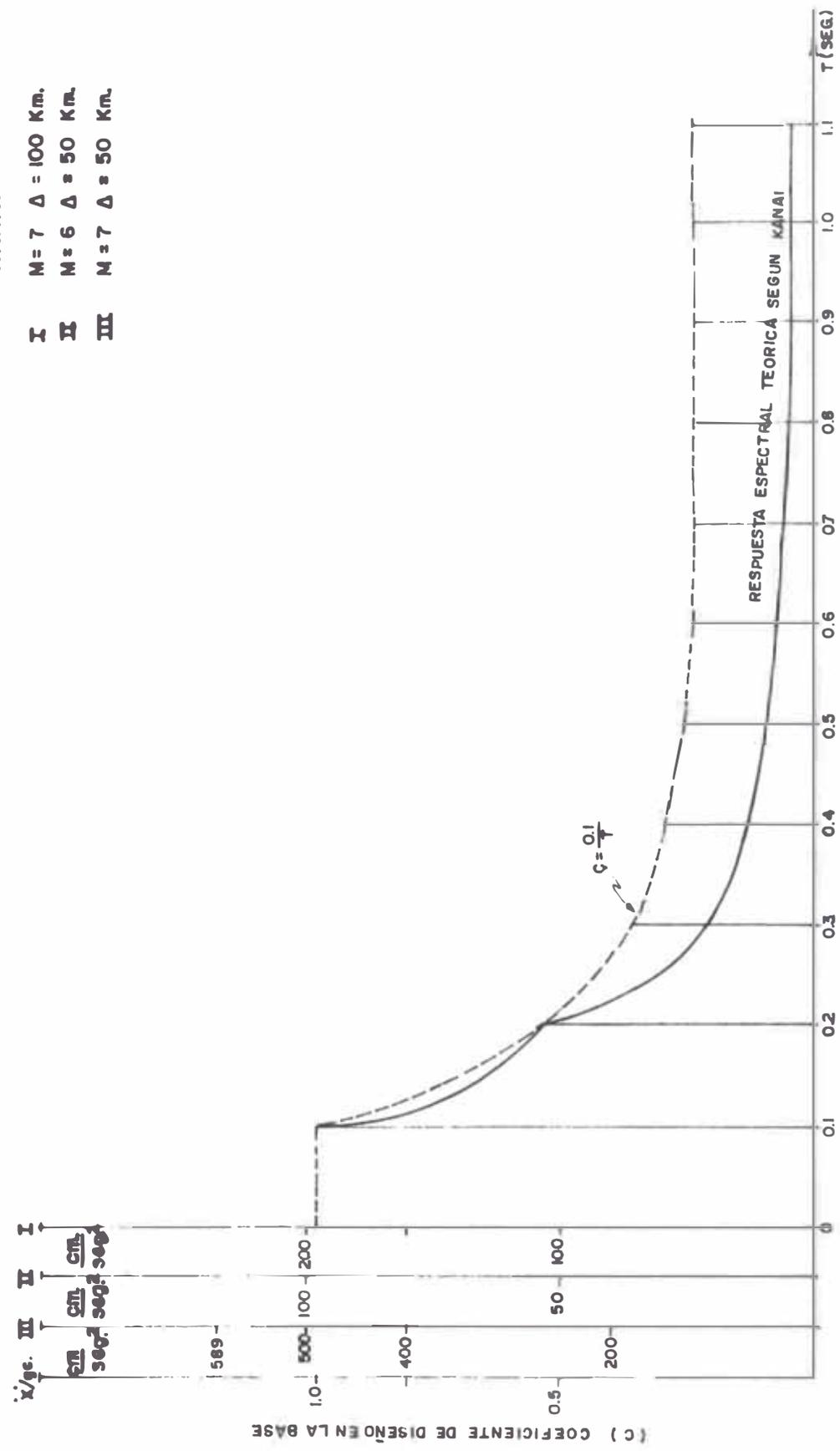


FIG. 5.3

$$C = \left(\frac{0.1}{T}\right)^{0.2}$$

$$C = \left(\frac{0.02}{T}\right)$$

Siendo  $T$ , el período fundamental de vibración de la estructura, el cual está normalizado por el reglamento peruano de diseño antisísmico.

#### 5.50 METODO DE SEED Y SCHNABEL PARA LA OBTENCION DE LA RESPUESTA DEL SUELO EN SUPERFICIE

#### 5.51 INTRODUCCION

Siguiendo, la sugerencia inicial de Kanai, de que los movimientos de la superficie debidos a un movimiento sísmico, son el resultado primario de la propagación ascendente, de ondas de corte, desde formaciones rocosas subyacentes, se han desarrollado los análisis de respuesta del suelo.

Sin embargo se presenta una dificultad práctica en el desarrollo de los datos aprovechables, en lo que concierne a movimientos de roca, desarrollados durante terremotos fuertes.

La mayoría de instalaciones sismográficas, que han-

registrado fuertes movimientos, se han localizado, - en depósitos de suelo de características variadas, - de modo, que, los únicos movimientos fuertes registrados en roca que pueden considerarse aprovechables, con anterioridad al terremoto de San Fernando (California, E.U.), en febrero de 1971; fueron registrados en Helena, durante el terremoto de Helena (E.U.) en 1935, Taft durante el terremoto de Kern Country (E.U.) 1952 y el de Golden Gate Park, durante el terremoto de San Francisco (Cal, E.U.) 1957. Registros obtenidos en otros varios países durante terremotos pequeños, han proveído de una base para evaluar las características generales de movimientos en roca.

Ante esta situación, que dificulta el análisis de respuesta del suelo, los autores de este método, ofrecen una solución, mediante la utilización, de los abundantes registros superficiales en suelo, por instrumentos instalados en este tipo de depósitos, para determinar los movimientos de roca, a partir, de los cuales fueron generados.

Tales determinaciones, además de incrementar los registros de movimientos en roca, permiten dos aplicaciones adicionales.

- Comparación de los movimientos en roca, calculados, sobre la base de que los movimientos superficiales han sido generados por propagación ascendente de ondas de corte; con movimientos de roca registrados, ofreciendo una base para la evaluación de la validez del procedimiento analítico.

- Modificación de los registros sismográficos originales por los efectos locales de suelo, utilizando los movimientos calculados en roca para determinar movimientos superficiales para diferentes condiciones de suelo.

El procedimiento involucrado, en esta última aplicación permite, que un registro de aceleraciones superficiales de suelo obtenido en un sitio determinado, sea utilizado, en conjunción con los procedimientos de propagación de ondas y los conocimientos de suelo y roca subyacentes, para computar los movimientos de roca basal, bajo el sitio y el afloramiento rocoso adyacente.

Para un afloramiento rocoso, en la misma localidad, las amplitudes de los movimientos pueden ser un tanto mayores o menores que los cercanos al primer sitio, dependiendo de la distancia relativa de los 2 afloramientos, a la zona de liberación de energía.

*Sin embargo, pueden esperarse cambios no significativos. De este modo, modificando las amplitudes computadas de los movimientos en los afloramientos rocosos, por un adecuado factor de atenuación; los movimientos modificados, de un afloramiento rocoso adyacente, a un segundo sitio, pueden determinarse y usarse, con un conocimiento de las condiciones del suelo en este último sitio, para computar los movimientos en la roca basal subyacente y los movimientos superficiales de suelo en el segundo lugar.*

*De este modo la influencia de las condiciones de suelo, durante movimientos sísmicos de suelo, pueden evaluarse, sin la necesidad de tener un registro aprovechable, de movimiento en roca para el análisis de la respuesta.*

## **5.52 FUNDAMENTO TEORICO**

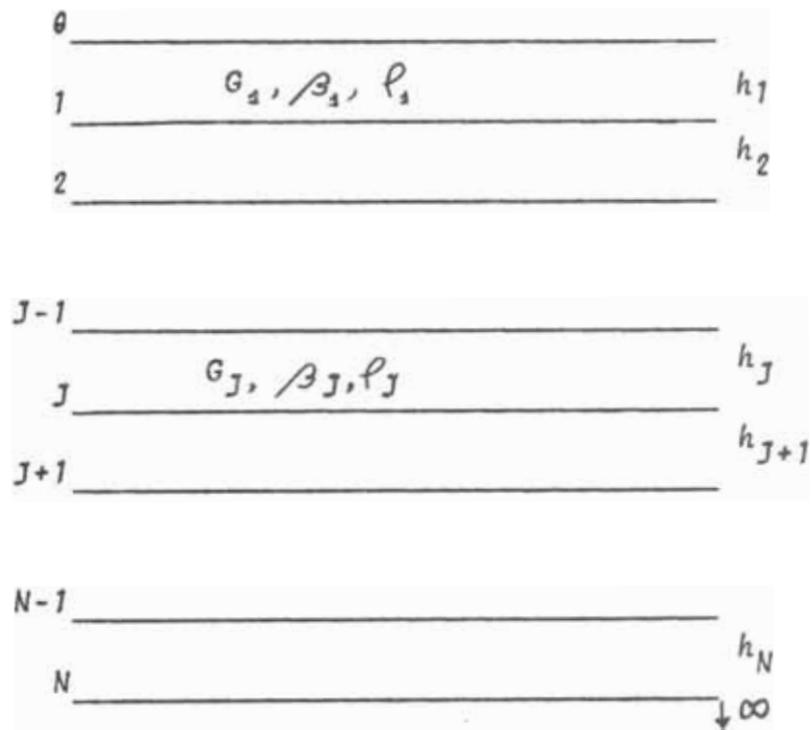
*El modelo computacional usado, en cierta aproximación es mostrado en la figura siguiente, consistente en estratos de materiales viscoelásticos, suprayacentes a un medio espacio perfectamente elástico.*

*El asumir, que todos los movimientos son causados por ondas de corte, las cuales se propagan verticalmente a través de la estructura del suelo, implica,*

que todos los desplazamientos son horizontales y que entre cada estrato se satisface la ecuación de amortiguamiento.

$$\rho_j \frac{\partial^2 u}{\partial t^2} = G_j \frac{\partial^2}{\partial z^2} + N_j \frac{\partial^3 u}{\partial z^2 \partial t} \quad (1)$$

SUPERFICIE LIBRE



MEDIO ESPACIO ELASTICO

$$G_{n+1}, \quad \beta_{n+1}, \quad \rho_{n+1}$$

MODELO COMPUTACIONAL PARA UNA ESTRUCTURA ESTRATIFICADA VISCOELASTICA SOBRE UN MEDIO ESPACIO ELASTICO

En la ecuación (1) se tiene:

$u = u(t, z)$ , que es el desplazamiento horizontal

$t =$  tiempo

$Z =$  profundidad hasta el  $J$ ésimo estrato

$\rho_j =$  densidad masiva del  $J$ ésimo estrato

$G_j =$  módulo de corte de  $J$ ésimo estrato

$N_j =$  viscosidad del  $J$ ésimo estrato.

La solución de estado estacionario a la ecuación (1)

es:

$$u = U_j(Z) \cdot \exp(i \omega t) \quad (2)$$

$$\text{donde } U_j(Z) = E_j \exp(i K_j Z) + F_j \exp(-i K_j Z) \quad (3)$$

$$K_j = \omega / V_j \quad (4)$$

La variable  $V_j$ , que aparece en la ecuación (4) es la compleja de la velocidad de onda de corte, para el  $j$ ésimo estrato.

Esta velocidad se relaciona a  $\rho_j$ ,  $G_j$  y  $N_j$  a través de la expresión

$$V_j^2 = \frac{(G_j + iw \cdot N_j)}{\rho_j} \quad (5)$$

Datos experimentales, han mostrado que para muchos suelos  $G_j$ , y el producto  $w \cdot n$  varían solo ligeramente, con frecuencia, entre los rangos de interés. Consecuentemente, la compleja de la velocidad de onda de corte  $V_j$  fue asumida como independiente en todos los análisis presentados mas abajo.

Asumiendo esto, es conveniente exponer de modo mas adecuado la ecuación (5).

$$V_j^2 = \frac{G_j - (1+i2\beta_j)}{\rho_j} \quad (6)$$

Donde  $\beta_j$ , es la fracción de amortiguamiento critico para el material del jésimo estrato.

El primer término de la ecuación (3), refiere la onda de corte, la cual se propaga en la dirección negativa de  $Z$  (ascendente en la figura) con la amplitud compleja  $E_j$ , y el segundo término refiere a la onda que se propaga en la dirección positiva de  $Z$  (descendente en la figura) con la amplitud compleja  $F_j$ .

Las amplitudes  $E_j$  y  $F_j$ ,  $j=1,2,\dots,(n+1)$ , Varían de estrato a estrato, pero están relacionadas a través de las fórmulas.

$$(7) E_{(j+1)} = \frac{1}{2} E_j [(1+\alpha_j) \exp(i K_j h_j) + (1-\alpha_j) \exp(-i K_j h_j)]$$

$$(8) F_{(j+1)} = \frac{1}{2} E_j [(1-\alpha_j) \exp(i K_j h_j) + (1+\alpha_j) \exp(-i K_j h_j)]$$

en las cuales  $\alpha_j$ ,  $j=1,\dots,n$  son las razones de impedancia

$$\alpha_j = \frac{(P_j V_j)}{P_{(j+1)} V_{(j+1)}} \quad (9)$$

Las fórmulas, en las ecuaciones (7) y (8) aseguran la continuidad de tensiones y desplazamientos en los estratos y ello implica, una superficie libre de tensiones, en la parte superior del primer estrato, para el cual tenemos.

$$E_1 = F_1 = (1/2) A_0 \quad (10)$$

Las ecuaciones (7) y (10) son suficientes, para determinar el total de amplitudes,  $E_j$ ,  $F_j$   $j=1,\dots,n+1$ , en términos de la amplitud superficial  $A_0$ ,  $\sigma$ -

cualquier otra amplitud entre el sistema amplificado. En particular es posible calcular la razón:

$$\frac{A(n+1)}{A_0} = \frac{E(n+1) + F(n+1)}{2E_1} \quad (11)$$

Entre las amplitudes, en la parte superior del basamiento rocoso y la de la superficie libre.

Similarmente, si las amplitudes  $E_{(n+1)}$  de la onda de llegada, se asumen independientemente, de la presencia de los sobre estratos de suelo puede calcularse la razón:

$$\frac{B_0}{A_0} = \frac{E(n+1)}{2E_1} \quad (12)$$

Donde  $A_0$ , es la amplitud superficial, cuando los estratos de suelo, están presentes y  $B_0$   $2E_{(n-1)}$  es la amplitud en un afloramiento de la roca basal;  $\delta$  en el basamiento rocoso.

Las fórmulas precedentes, se aplican a movimientos de estado estacionarios de Fourier; si existe un sísmograma digitizado con  $n$  valores de aceleraciones equidistantes

$$y_j; j = 0, \dots, n-1$$

para el movimiento superficial, podemos representar este movimiento por las series finitas de Fourier.

$$y(t) = \frac{1}{n} \sum_{s=1}^{n-1} a_s \cdot \exp(i\omega_s t) \quad (13)$$

donde  $\omega_s$  ( $s = 0, \dots, n-1$ ) son las frecuencias

$$\omega_s = \frac{2\pi \cdot s}{n \cdot t} \quad (14)$$

En estas fórmulas,  $t$ , es el intervalo de tiempo, entre los datos de puntos y los valores de  $a_s$  ( $s=0, \dots, n-1$ ) son los coeficientes de Fourier

$$a_s = \sum_{j=0}^{n-1} y_j \cdot \exp(-2\pi i j s/n); \quad s=0, \dots, n-1 \quad (15)$$

Estos coeficientes, se calculan de modo mas conveniente, por la transformada rápida de Fourier, algoritmo desarrollado por Cooley and Tukey (1965). Este algoritmo es  $[n/\log n]$  mas rápido que el calculado por la ecuación (15).

Cada uno, de los términos de la ecuación (13) es un movimiento armónico y una serie finita de Fourier.

Puede entonces obtenerse las aceleraciones en la ro

ca basal, o en el afloramiento rocoso, mediante la multiplicación de los términos de la ecuación (13) por apropiados factores de amplificación, definidos por las ecuaciones (11) o (12).

O, calcularse, invirtiendo el procedimiento, las aceleraciones en superficie, multiplicando los términos de la ecuación (13), cuando representa un registro de aceleraciones en el basamento por la función de transferencia definida por las ecuaciones (11) o (12)

#### 5.60 CALCULO DE LAS AMPLIFICACIONES EN SUPERFICIE PARA LOS SUELOS DE CHORRILLOS, MEDIANTE LOS MODELOS COMPUTACIONALES DE H.B. SEED.

Para el cálculo, de la respuesta dinámica de los suelos, de Chorrillos, se utilizaron como modelos computacionales, los perfiles seccionales de suelo correspondientes a los pozos 2,4,9,17 cuyas propiedades se definieron en el acápite (5.22) y cuyos valores característicos se muestran en las figuras 5.1 y 5.2

Para la evaluación del comportamiento dinámico, se elaboró un programa en lenguaje Fortran, el cual se incluye en el apéndice B de modo de facilitar la so

lución de las ecuaciones presentadas en el fundamen  
to teórico de este método.

Se utilizó, como excitación dinámica una onda sinusoidal ascendente vertical de amplitud unitaria, de un amplio rango de frecuencias.

Los resultados así obtenidos, luego de procesados los programas en la computadora 360 de la UNI, representan la modificación de las amplitudes del movimiento en la base rocosa durante, el ascenso de las ondas de corte a través de los depósitos de suelo hasta llegar a la superficie.

Esta modificación se da en razones de amplitud obtenidas al dividir la amplitud calculada en superficie entre la amplitud en el basamento para una misma frecuencia.

Los factores o razones de amplificación en superficie, se obtuvieron para un amplio rango de frecuencias correspondiente a periodos entre los 0.02-2.00 segundos.

#### 5.61 CARACTERISTICAS DE LAS RESPUESTAS DINAMICAS DE LOS-MODELOS A PARTIR DE LOS ESPECTROS RESPUESTA DE AMPLIFICACIONES EN SUPERFICIE

Al plotear, los valores de ampliaciones vs los periodos correspondientes a estas razones de amplitud, se obtienen las curvas de espectros respuesta de ampliación en superficie, para cada modelo; tal como se muestra en las figuras (6.4) a (6.7) siendo las características de las respuestas dinámicas las sgtes.

##### MODELO 2 FIG (5.4)

La forma de la respuesta dinámica de este modelo, presenta un pico prominente, con un valor de  $A/A_0$  de ampliación máxima de 4.53, para un periodo de 0.18 seg, en muy cercana concordancia con el periodo predominante del modelo  $T_0 = 0.20$  seg. (Cap. V).

Para periodos mayores, la curva declina en fuerte pendiente hasta valores de 1.6 veces la amplitud en el basamento; en un periodo de 0.50 seg, luego de lo cual los valores de ampliación disminuyen hasta valores cercanos a la unidad.

La forma del espectro es puesta con un pico único, - es indicativa de la gran influencia de un potente

*estrato superficial.*

MODELO 4 FIG (5.5)

*El espectro respuesta, presenta en este caso varios picos en un rango de periodos cortos, con una amplificación en periodos cortos con un máximo de 3.60 para un periodo de 0.10 seg; también en concordancia con el periodo predominante del modelo*

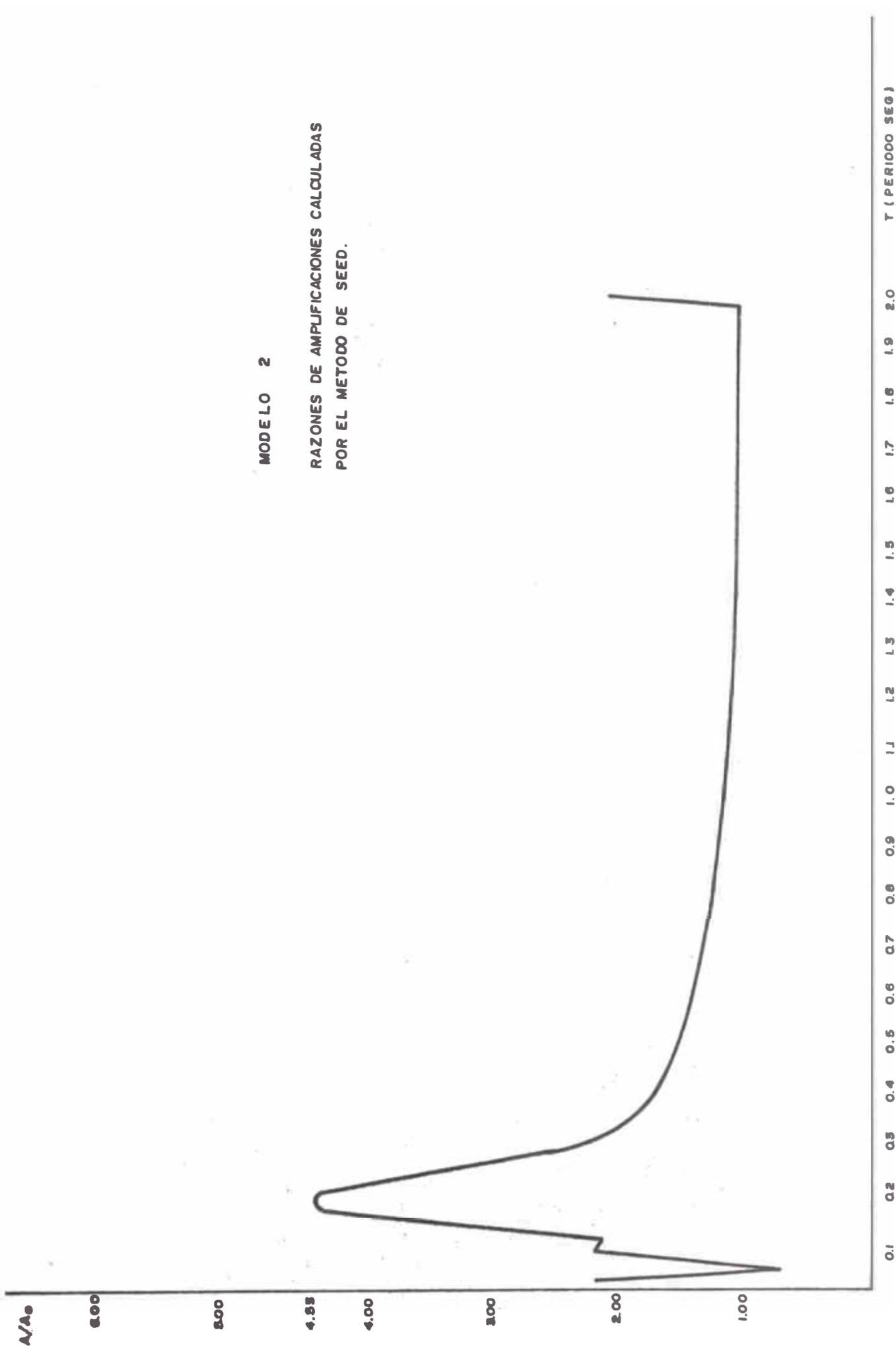
*$T_0 = 0.10$  seg. (Cap. V).*

*La presencia de los varios picos, manifiesta la influencia de los varios estratos del modelo, en el comportamiento del depósito de suelo.*

MODELO 9 Fig (5.6).

*Se observa que la forma de el espectro respuesta en amplificaciones en este modelo, presenta las máximas razones de amplificación en periodos cortos con un máximo de 3.60 para un periodo de 0.10 seg; también en concordancia con el periodo predominante del modelo*

*$T_0 = 0.09$  seg (Cap IV). el rango en que se dan los picos máximos de amplificación, se encuentra entre periodos de 0.06 - 0.30 seg.*



MODELO 2

RAZONES DE AMPLIFICACIONES CALCULADAS  
 POR EL METODO DE SEED.

FIG. 5.4

MODELO 4

RAZONES DE AMPLIFICACIONES CALCULADAS  
POR EL METODO DE SEED.

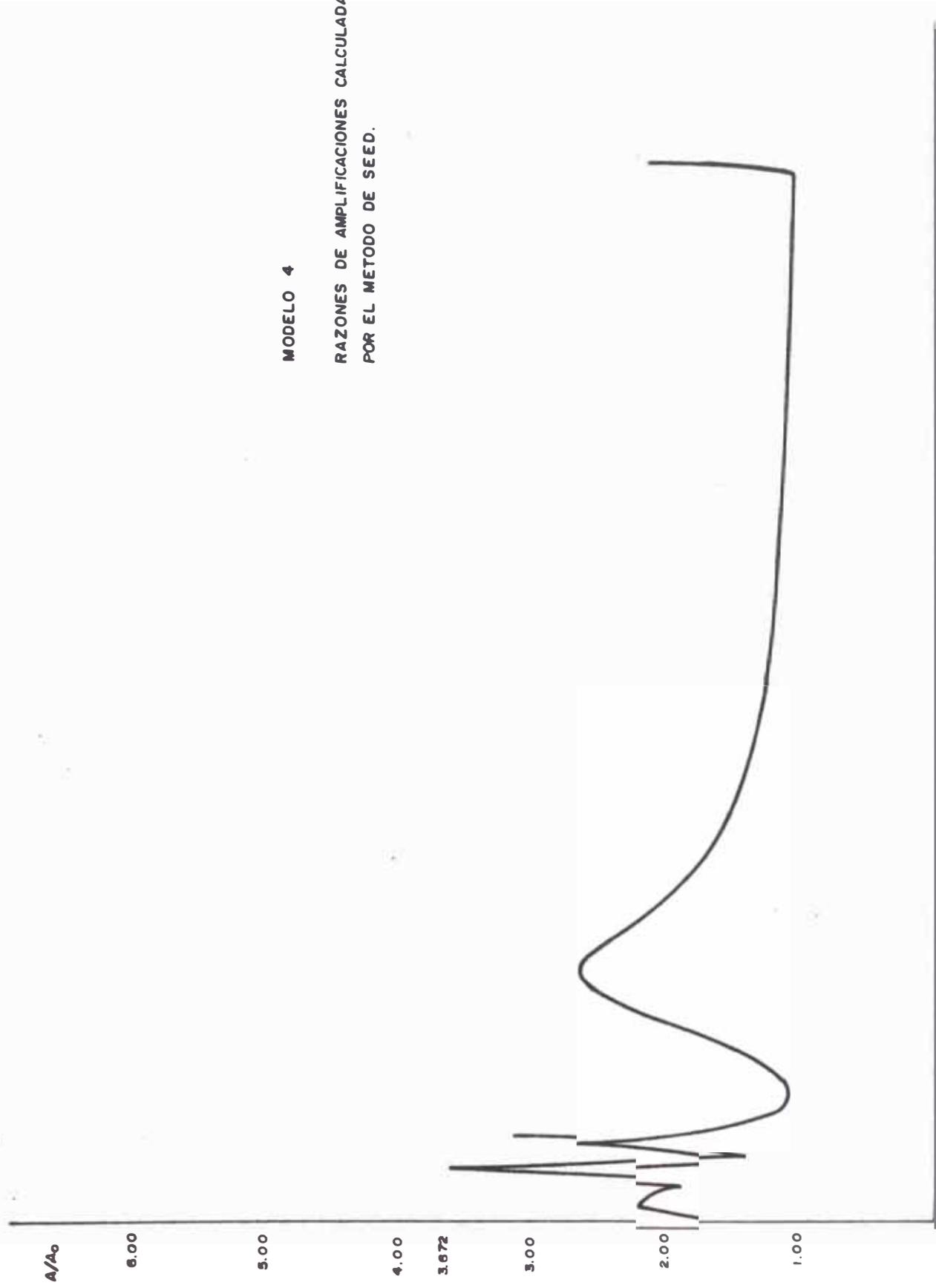


FIG. 5.5

A/A<sub>0</sub>

6.00

5.00

4.00

3.606

3.00

2.00

1.00

MODELO 9

RAZONES DE AMPLIFICACIONES CALCULADAS  
POR EL METODO DE SEED.

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

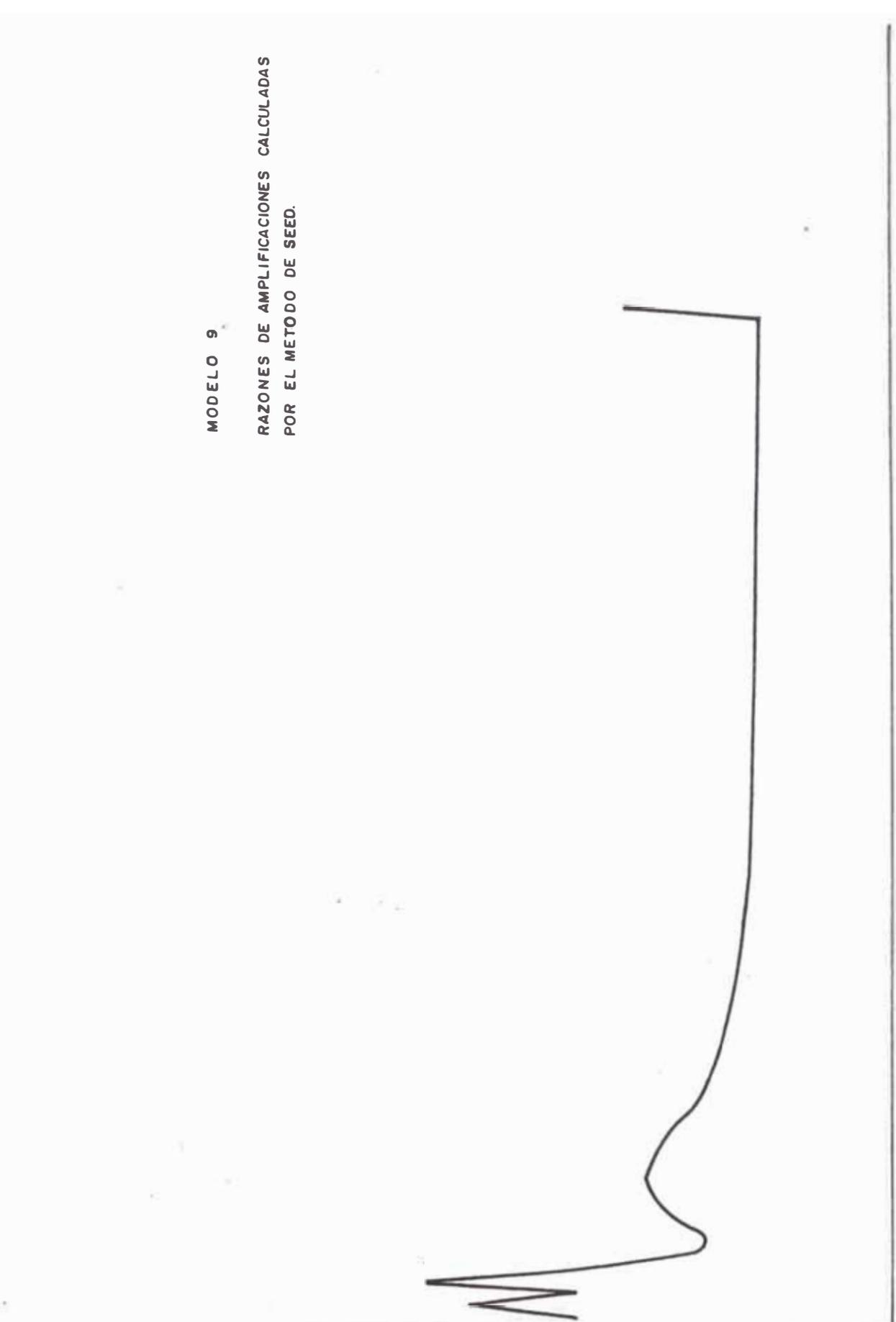
1.8

1.9

2.0

T (PERIODO SEG.)

FIG. 5.6



MODELO 17  
RAZONES DE AMPLIFICACION CALCULADAS  
POR EL METODO DE SEED.

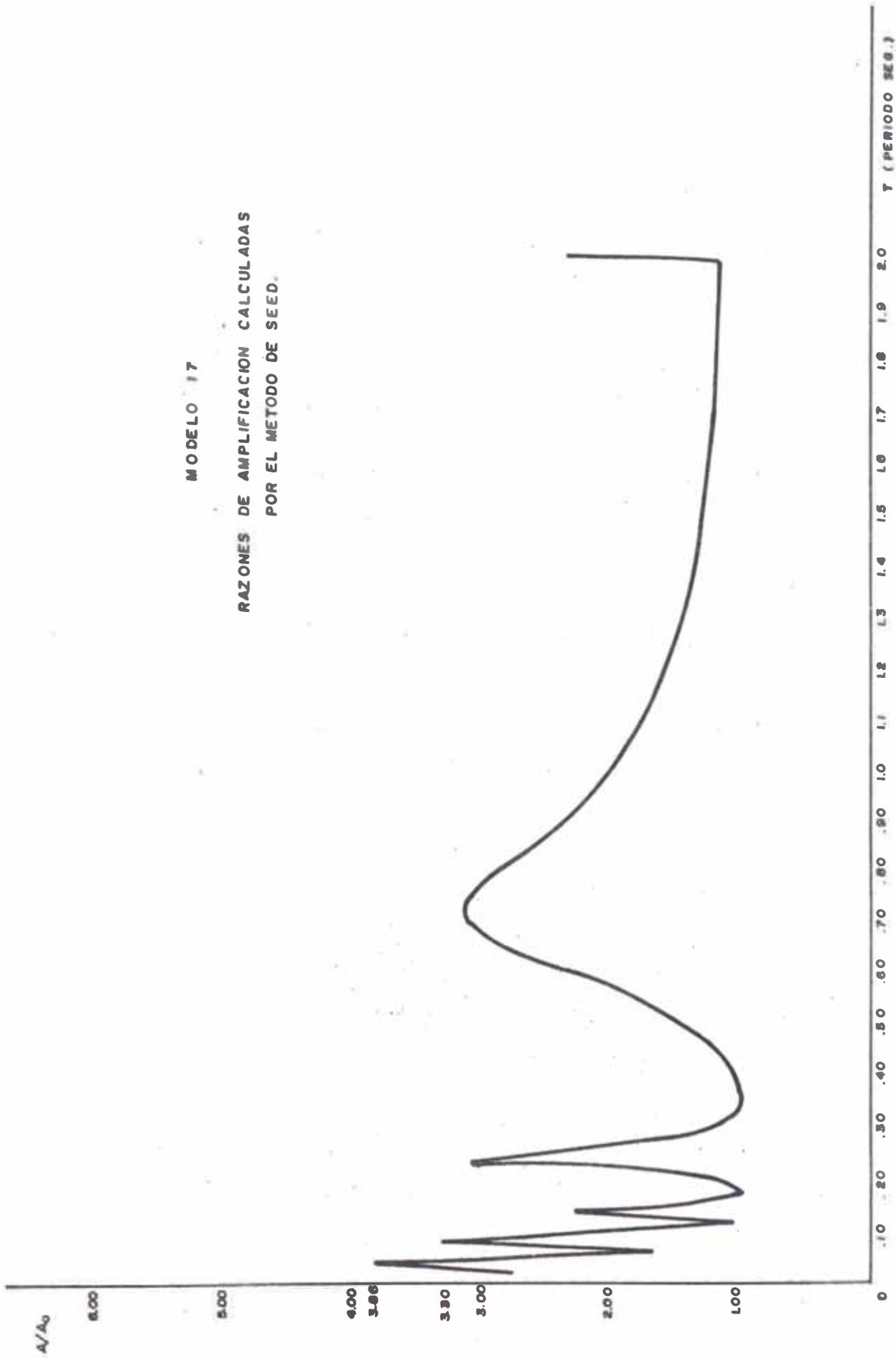


FIG 5.7

MODELO 17 - Fig (5.7).

Este modelo, presenta un espectro respuesta de amplificaciones con varios picos en periodos pertenecientes a un rango de 0.06 - 0.24 seg.

La amplificación máxima se da en un periodo de 0.06 con valor de  $A/A_0 = 3.86$

En este caso es evidente la contribución de todos los estratos en la modificación del movimiento basal. Notándose que los estratos mas superficiales y menos potentes guían las amplificaciones hacia los periodos cortos, mientras que el estrato mas potente considerado como el mas profundo influye con una amplificación alta en periodo largo.

#### 5.62 ANALISIS DE LA RESPUESTA DE AMPLIFICACIONES EN SUPERFICIE OBTENIDA POR EL METODO DE SEED

De las características de la respuesta dinámica de los modelos expuestas en el acápite anterior, cabe anotar que las máximas amplificaciones, obtenidas para los modelos computacionales, se dan en periodos cortos, lo cual si se considera, los valores predominantes de aceleraciones en sismos fuertes según Fig (5.5) H.B.Seed, sería un indicativo de que

bajo esta sollicitación, las amplificaciones para estos períodos predominantes, serían considerablemente más bajas, en los modelos cuyos espectros de amplificaciones presentan los picos en períodos cortos; no así en el caso del modelo 17 que presenta un pico de amplificación  $A/A_0 = 3.05$  en un período de 0.70 seg, cercano a los períodos largos, en que se darían las aceleraciones según Seed.

Idéntica situación presentarla el modelo 4 debido a un pico de amplificación 2.60 para un período de 0.48 seg.

Sin embargo, atendiendo a datos de comportamiento local (K.CLOUD y V. Perez Cap 1-IV) en que se ha observado que las máximas aceleraciones se presentan predominantemente para períodos cortos de 0.10-0.20 seg. es dable prestar atención a las amplificaciones altas que se dan en períodos cortos.

Lo cual estaría a su vez avalado por la intensidad de daño sísmico, presentada en el sismo del 03-10-74 (Ver apéndice A).

Por otro lado, se observa en cuanto a las incidencias, de las condiciones del suelo, en la forma de respuesta, que si bien los parámetros físicos de

Los estratos influyen en los valores de amplificación es de mayor incidencia la potencia o espesor de los estratos superficiales notándose, que un estrato superficial potente desvía las máximas ampli-ficaciones hacia períodos largos.

Sucediendo lo inverso cuando los estratos superfi-ciales son de poca potencia, en este caso las ampli-ficaciones se desvían hacia los períodos cortos.

La existencia de varios estratos de propiedades se-mejantes y de poca potencia da como resultado, la incidencia de estos estratos en la forma de respues-ta, con picos cercanos a los períodos naturales de los estratos.

En general se considera en buena concordancia con la respuesta del suelo en superficie calculada por el método de Seed, las teorías de K. Kanai de micro-trepidaciones, pues se observa que las máximas am-plificaciones se dan en períodos coincidentes o cer-canos al período predominante del depósito (Cap IV)

TABLA 5.2

MODELO	To	A/Ao MAX	T MAX AMPLIFICACION DE SEED.
MODELO 2	0.20 seg	4.53	0.18 seg.
MODELO 4	0.10 seg	3.67	0.10 seg.
MODELO 9	0.09 seg	3.60	0.10 seg.
MODELO17	0.12 seg	3.86	0.06 seg.

#### 5.70 CONCLUSIONES

- La aplicación de los métodos analíticos de evaluación de la respuesta del suelo, permite anticipar - eK aproximadamente comportamiento de los depósitos de suelo durante terremotos y determinar la incidencia de las condiciones del suelo en dicho comportamiento.

- De la aplicación del método de K. Kanai, para encontrar la respuesta espectral de aceleraciones en superficie, se obtuvo la envolvente de dichos espectros, haciendo intervenir las condiciones locales, hallándose un coeficiente de diseño en la base de

$$C = \frac{0.02}{T}$$

donde T es el período de la estructura, normalizado por el Reglamento peruano de diseño Antisísmico.

Este coeficiente es mayor que el asignado por dicho reglamento en la forma  $C = \frac{0.05}{\sqrt[3]{T}}$

- Los valores de amplificación de los modelos de suelo en Chorrillos, evaluados por método de Seed, alcanzan un valor de 4.53 como máximo, correspondiente al modelo 2 para un período de 0.18 seg.

- Este valor calculado para el modelo, le asigna la condición de ser sísmicamente mas desfavorable, lo cual coincide, con los datos sísmológicos locales (K. Cloud y V. Perez), la historia de daño sísmico local y la clasificación de suelo de microtrepidaciones según la cual se le considera como un suelo de menor calidad que el de los otros modelos.

- Así mismo, la situación de este modelo en la Urb. Los Laureles, en la zona de contacto con el macizo del Morro Solar, lo ubica en un área sísmicamente desfavorable.

- Los valores alcanzados por las amplificaciones son controlados por los parámetros físicos de los modelos, dependiendo principalmente del espesor de los estratos y las velocidades de ondas de corte.

- Las amplificaciones en superficie para un determin

nado período, pueden alcanzar mas de 4 veces el valor de la amplitud en basamento para dicho período.

- La potencia de los estratos, incide en los períodos en que se dan las máximas amplificaciones, notándose que para el caso de varios estratos poco potentes cercanos a la superficie, los picos de las amplificaciones, coinciden con los períodos naturales de los estratos.

- Y la forma de la respuesta presenta dichos picos cuando el sistema está conformado por varios estratos de propiedades físicas semejantes.

- La respuesta del suelo, cuando no se considera en el modelo un nivel de roca fracturada subyacente al depósito, muestra una desviación hacia los períodos cortos, de las amplificaciones máximas.

- En general se encuentra una buena concordancia con la teoría de microtrepidaciones, pues las máximas amplificaciones se dan en períodos cercanos o coincidentes con el período predominante del deposito.

Sin embargo es aconsejable utilizar los valores provenientes de estos registros solo como un límite del comportamiento dinámico del suelo.

## C A P I T U L O VI

### 6.00 CONCLUSIONES GENERALES Y RECOMENDACIONES

La aplicación de los métodos analíticos de evaluación de la respuesta del suelo a la excitación sísmica, permite la determinación del comportamiento potencial de los depósitos de suelo ante futuros sismos; utilizable en la asignación de zonas de mayor riesgo o microzonación, y la asignación de coeficientes de diseño mediante el uso de las curvas de respuesta como funciones de transferencia que permitan encontrar espectros respuesta de amplitudes de aceleración en superficie a partir de espectros de amplitudes de aceleración en roca.

- El Método de Kanai de la respuesta espectral en superficie se ha utilizado, para hallar un coeficiente sísmico de diseño para cortante en la base para la zona obteniéndose un valor de  $C = (0.02/T)$  donde  $T$  es el período natural de la estructura normalizado por el Reglamento-Peruano de Diseño Antisísmico.
- Este coeficiente incluye las condiciones locales, en forma de las impedancias sísmicas y de los períodos predominantes de los suelos.
- Se observa que es mayor que el asignado por el citado

reglamento y que se expresa por  $C = \frac{(0.05)}{\sqrt[3]{T}}$

- Para la determinación de este coeficiente se consideró un sismo de mayor probabilidad de ocurrencia de MAGNITUD RICHTER = 7 y Distancia epicentral 100 Km.

- Mediante el Método de H.B. Seed y Schnabel se encontraron los espectros respuesta del suelo para cada modelo de suelo.

Encontrándose en superficie una amplificación máxima de 4.53 veces la amplitud en el basamento rocoso; este valor corresponde al pozo 2 situado en la zona de contacto con el Morro Solar.

- Las amplificaciones máximas, calculadas, se dan en períodos cercanos o coincidentes con los períodos predominantes obtenidos de las medidas de microtrepidaciones.

Por tanto se considera en forma general, un buen indicativo de los límites de comportamiento dinámico, la utilización del método de medida de microtrepidaciones.

Siendo la ventaja principal, sus rápidos y económicos resultados.

- La incidencia de las condiciones del suelo, en la forma de respuesta, depende claramente de los parámetros  $f_x$

sicos de los estratos y principalmente de la potencia de los lechos superficiales.

- Haciendose presente en la forma de respuesta, varios picos cuando los estratos superficiales poseen propiedades semejantes; y son de poca potencia.

Estos picos se dan en períodos cercanos ó coincidentes a los períodos naturales de los estratos.

- Los sectores de mayor riesgo sísmico se presentan en aquellos cercanos a las zonas de contacto de acuerdo a las máximas amplificaciones calculadas para los modelos y las intensidades observadas en el último sismo 03-10-74.

- Así mismo se observan altas amplificaciones y razones de daño considerable en zonas de nivel freático alto, caso del pozo 9: y daños en el tanque elevado adyacente y en edificaciones cercanas.

- Gran parte de los daños a edificaciones se han debido a diseños y estructuraciones en desacuerdo con un criterio antisísmico, como existencia de columnas cortas, falta de elementos estructurales de conexión, interacción entre bloques de edificaciones etc; así mismo la mala ejecución de las edificaciones y la pobre calidad de materiales es responsable de las cuantiosas pérdidas materia

les es responsable de las cuantiosas pérdidas materiales.

Sin embargo, se puede observar claramente que la distribución de daños no es uniforme, considerando tipos similares de edificación y obras civiles en zonas diferentes dentro del distrito.

- Es recomendable, realizar una microzonación del distrito, asignando las zonas potenciales de mayor daño mediante estudios más completos de las condiciones del suelo, propiedades físicas y la respuesta de los depósitos a las sollicitudes dinámicas.

- Así mismo debe, asignarse coeficientes de diseño sísmico para las microzonas.

- Por otro lado, se recomienda la instalación de acelerógrafos en el Morro Solar, cercanías del Malecón y la zona aluvial; de modo de contar con datos instrumentales, que proporcionaran un buen índice del comportamiento de las áreas más representativas del distrito.

- Es recomendable, desechar el adobe como material constructivo, a menos que se normalice un diseño que garantice un buen comportamiento sísmico; con elementos de refuerzo y conexión; dándose adecuadas especificaciones.

- Se recomienda una remodelación urbana en la parte anti-

gua del distrito, adecuados anchos de calle y altura de edificaciones. Como también áreas de seguridad.

- Deben, así mismo revisarse los diseños y modificar la estructuración de edificaciones tales como locales escolares, que poseen un diseño repetitivo que ha demostrado reiteradas fallas en todos los últimos sismos (66-70-74).

Tal como puede desprenderse de los informes sobre daños a locales escolares durante los sismos de 1966-1970 (R. Husid) y las observaciones del último sismo.

- Se recomienda, la revisión de los adpites del actual-reglamento de diseño antisísmico, de modo de incluir las condiciones locales de suelo en el diseño; dado que el mismo propone solamente recomendaciones generales en este aspecto.

## BIBLIOGRAFIA Y REFERENCIAS

- 1.- AGUIRRE MORALES Y VANCON CARTA HIDROGEOLOGICA DE LIMA MINISTERIO DE AGRICULTURA D. G. AGUAS. - CENTRO NAC. DE INVESTIGACION CIENTIFICA FRANCIA 1971
- 2.- BELLIDO ELEODORO SINOPSIS DE LA GEOLOGIA DEL PERU BOLETIN N° 2 SOC. GEOLOGICA DEL PERU 1974
- 3.- BERROCAL J, Y SHIKIYA J. DATOS SISMICOS RELACIONADOS CON LOS EVENTOS OCURRIDOS EN LOS DIAS 17-10-66 31- 5-70 3-10-74 IGP 1974
- 4.- BURULET Y R.S. BYRAMJEE REFLEXIONS SUR LA TECTONIQUE GLOBALE 1974
- 5.- CASTRO BASTOS L. GEOLOGIA DE LOS ALREDEDORES DE LIMA 1959
- 6.- CARRILLO GIL. ARNALDO ALGUNAS PROPIEDADES ELASTICAS DE LOS SUELOS DE LIMA Y ALREDEDORES (I.C.N.S.I.S.) 1969
- 7.- CLOUDK, V. PEREZ UNUSUAL ACCELEROGRAMS RECORDED IN LIMA-PERU (1952-1970) BULL.S.S.A VOL 61#3 1971
- 8.- CUNNY. R. W; Z. B. FRY VIBRATORY IN SITU AND LABORATORY SOIL MODULI COMPARED JOURNAL OF THE SOILS MECHANICS AND FOUNDATION DIVISION 1973

- 9.- DEZA.M. ERNESTO THE PARIAHUANCA EARTHQUAKE 1969 BULL.OF THE ROYAL SOCIETY OF SCIENCIES NEW-ZELAND 1970
- DEZA M.E. Y OBLITAS J ESQUEMA SISMOTECTONICO DE LA COSTA CENTRAL DEL PERU II CONGRESO PERUANO DE GEOLOGIA 1970
- 10.- ESPINOSA A.F;S.T. ALGERMISSEN A STUDY OF SOIL AMPLIFICATIONS FACTORES IN EARTHQUAKE DAMAGE AREA CARACAS-VENEZUELA NOAA. T.R. ERL 280 1972
- 11.- FERNANDEZ CONCHA J. GEOLOGIA DEL MORRO SOLAR BOL.- 33 SOC.GEOLÓGICA DEL PERU 1958
- 12.- FINN. W.D.L SOIL DYNAMICS.- LIQUEFACTION OF SANDS. PROCEEDINGS THE INTERNATIONAL CONFERENCE ON MICROZONATION FOR SAFER CONSTRUCTION RESEARCH AND APPLICATION 1972
- 13.- GAUS. M. P. AND SHERIF. M.A. ZONATION AND MICROZONATION " " "
- 14.- GUTENBERG.B;C.F. RICHTER EARTHQUAKE MAGNITUDE, ENERGY INTENSITY AND ACCELERATION BULL. SEISMOLOGICAL SOCIETY OF AMERICA VOL. 32 1942
- 15.- HUSID RAUL, GLENN, V. BERG STRUCTURAL EFFECTS OF THE PERUVIAN EARTHQUAKE Bull. SEISMOLOGICAL SOCIETY OF AMERICA VOL 61 N° 3 1971
- " " PERFORMANCE OF THE SCHOOL BUILDINGS IN THE PERUVIAN EARTHQUAKE " 1971

- |      |                                  |   |   |              |
|------|----------------------------------|---|---|--------------|
| 16.- | IDRISS I.M. AND<br>H. B SEED     | SEISMIC RESPONSE OF<br>HORIZONTAL SOIL<br>LAYERS  | JOURNAL OF THE<br>SOIL MECHANICS<br>AND FOUNDATION<br>DIVISION VOL.<br>94 | 1968<br>(a)  |
| 17.- | " "                              | AN ANALYSIS OF GROUND<br>MOTION DURING 1957<br>SAN FCO. EARTHQUAKE                                    | BULL. S.S.A<br>VOL 58 N°6   | 1968<br>(b)  |
| 18.- | KANAI. R; TANAKA.<br>T. OSADA K. | MEASUREMENTS OF MI-<br>CROTREMORS   | Bull. ERI<br>VOL 32<br>PARTE 2  | 1954         |
|      | KANAI                            | RELATION BETWEEN THE<br>PROPERTY OF BUILDINGS<br>AND THE NATURE OF THE<br>GROUND                      | Bull. ERI<br>VOL 34   | 1956         |
|      | KANAI. K.                        | THE REQUISITE CONDI-<br>TIONS FOR THE PREDO-<br>MINANT VIBRATION OF<br>THE GROUND                     | "<br>VOL 35   | 1957         |
|      | KANAI. K.                        | SEMI-EMPIRICAL FORMU-<br>LA FOR THE SEISMIC -<br>CHARACTERISTICS OF<br>THE GROUND                     | Bull ERI<br>VOL 35<br>PARTE 2   | 1957         |
|      | KANAI. K.                        | UNA FORMULA EMPIRICA<br>PARA EL ESPECTRO DE<br>TERREMOTOS FUERTES                                     | Bull. ERI   | 1960<br>DIC. |
|      | KANAI. K.<br>TANAKA T.           | ON MICROTREMORS VIII  | Bull ERI<br>VOL 39  | 1961         |
| 19.- | KOBYASHI. H.<br>KAGAMI. H.       | A METHOD FOR LOCAL<br>SEISMIC INTENSITY ZO-<br>NING MAPS ON THE BA-<br>SIS OF SUBSOIL CONDI-<br>TIONS | PROCEEDINGS<br>I.M.C.O.M.S.C<br>R.A.A<br>UNESCO                           | 1972         |

20.- MIN. AGRICULTURA	CONSULTAS DE ARCHIVO REPORTES LITOLÓGICOS Y PIEZOMÉTRICOS CHORRILLOS	1974
21.- MAGGIOLO R.O	ESTUDIO ACANTILADOS COSTEROS	PROYECTO FACT. 1971 COSTA-VERDE
22.- MICHELENA R. Y ASOCIADOS	ESTUDIOS DE CIMENTA- CIONES EN CHORRILLOS	PROYECTOS CONSULTA- DOS.
23.- MIN. VIVIENDA	ESTUDIOS DE SUELOS SECTOR CHORRILLOS	DPTO DE MECANI CA DE SUELOS = 1974 CONSULTAS
24.- MIN. VIVIENDA	ESTUDIO COSTA VERDE	1974
25.- MUSGRAVE. A.W.	SEISMIC REFRACTION PROSPECTING	SOCIETY OF EX- PLORATIONS GEO 1967 PHYSICISTS.
26.- NOGUCHI. F.A.	ESTUDIO AMPLIFICA - CION ONDAS SISMICAS EN LA CIUDAD DE CASMA	TESIS DE GRADO 1974 UNI PAIC
27.- NEWMARK. N.M. ROSENBLUETH.	FUNDAMENTALS OF EARTH QUAKE ENGINEERING	1971
28.- OHSAKI. Y.	JAPANESE MICROZONA TION METHODS.	- PROCEEDINGS OF THE I.M.C.O.M. 1972 S.C.R.A.A. UNESCO
29.- SAN LUCAS FRAN- CISCO	DETERMINACION DE LA RESPUESTA ESPECTRAL DEL SUELO DE GUAYA- QUIL	TESIS MAGISTER UNI 1972

- |      |   |  |  |              |
|------|---|--|--|--------------|
| 30.- | SEED. H.B.<br>IDRISS I.M.<br>KIEFER. F.W. | CHARACTERISTICS OF<br>ROCK MOTION DURING<br>ESRTHQUAKE           | E.R.C.E.<br>UNIVERSIDAD<br>DE BERKELEY       |              |
| 31.- | SEED. H.B.<br>SCHNAREL. P.<br>LYSMER. J.  | MODIFICACION DE REGIS<br>TROS SISMOGRAFICOS<br>POR COND. LOCALES | Bull. S.S.A.<br>VOL. 62                      | 1972         |
| 32.- | TAMASHIRO M.J.                            | EXPLOTACION DE AGUAS<br>SUBTERRANEAS EN EL<br>SECTOR SUR DE LIMA | TESIS<br>BACHILLER<br>U.N.M.S.N.<br>P.A.I.G. | 1973         |
| 33.- | TEVES. N.<br>EVANGELISTA. E.              | ESTUDIO<br>GEOTECNICO DE LOS<br>ACANTILADOS.                     | CORPEI                                       | 1970         |
| 34.- | WILSON. T.                                | CONTINENTAL DRIFT SEA<br>FLOOR SPREADING AND<br>PLATE TECTONICS  | SCIENTIFIC<br>AMERICAN                       | DIC.<br>1971 |

#### OTRAS CONSULTAS

E. DEZA. CONSULTAS PERSONALES

E. EVANGELISTA S. ---- CONSULTAS PERSONALES

V.J. MURPHY ---- MICROZONATION CONF. 1972  
UNESCO VOL. I

C. NORAMBUENA, VEIGA -- MICROREGIONALIZACION DE 1969  
LA CIUDAD DE VALDIVIA.