

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA  
PROGRAMA ACADEMICO DE INGENIERIA CIVIL



ESTUDIO SOBRE EL SISMO DE 3 DE OCTUBRE  
DE 1974 EN LIMA METROLITANA

**TESIS**

**para optar el Título de :**

**Ingeniero Civil**

FELIX GILBERTO FERNANDEZ FLORES

PROMOCION 1974-2

# INDICE

	Pag.
RESUMEN	
CAPITULO I : INTRODUCCION.	
1.1. Objetivos y Alcances ,.....	1
1.2. Ubicación y extensión del área.....	3
1.3. Método de Investigación....	4
CAPITULO II : ASPECTOS GENERALES.	
2.1. Breve historia de Lima.....	6
2.2. Rol de Lima Metropolitana dentro de la Nación Peruana	7
2.3. Zonas de mayor población y densidades actuales.....	9
2.4. El problema de tugurios en Lima Metropolitana.....	11
2.5. Urbanismo.....	14
2.6. Clima.....	20
2.7. Estadística sísmica de Lima	20
CAPITULO III : ASPECTOS GEOLOGICOS Y DE SUELO	
3.1. Geomorfología y Geología de la zona.....	24
3.2. Tectónica del área.....	29
3.3. Influencia de la Napa Freática.....	31
3.4. Suelo-Cimentación.....	32
CAPITULO IV : ASPECTOS SISMOLOGICOS	
4.1. Ubicación, epicentro e hipocentro.....	39

	Pag
4.2. Magnitud.....	44
4.3. Intensidad e isosistas....	45
4.4. Aceleraciones y espectro..	49
4.5. Réplicas del Sismo.....	53
4.6. Evaluación de daños.....	56
CAPITULO V : ASPECTOS INGENIERILES DEL SISMO EN LA ZONA DE LIMA METROPOLITANA	
5.1. Generalidades.....	62
5.2. Areas críticas sísmicas de Lima.....	63
5.3. Breve evaluación del material de construcción empleados en las edificaciones de Lima.....	73
5.4. Análisis de fallas en viviendas de adobe y quincha	75
5.5. Análisis de fallas en estructuras de concreto armado.....	79
a. Por una deficiente estructuración.....	79
b. En la tabiquería.....	87
c. Juntas de construcción.	89
d. Deficiente aplicación del Reglamento Nacional de Construcciones.....	91
e. Por un deficiente estudio del suelo de cimentación.....	96
5.6. Análisis específico de daños.....	97
CAPITULO VI : EVALUACION DE DAÑOS EN EDIFICACIONES	
6.1. Generalidades.....	107
6.2. Universidad Nacional Agraria.....	108

	Pag.
6.3. Colegio Reyna de los Angeles	111
6.4. Colegio la Recoleta.....	112
6.5. Colegio Roosevelt.....	114
6.6. Escuela de la Policaia (Guardia Civil).....	115
6.7. Banco Industrial.....	117
6.8. Construcciones en Chorrillos	118
6.9. Construcciones en el Callao.	119
6.10. Otros daños.....	119

## CAPITULO VII : CONCLUSIONES

## CAPITULO VIII: RECOMENDACIONES

- ANEXOS:
- A. Algunas características de los suelos de Lima
  - B. Escala de Intensidades "Mercalli"
  - C. Fichas de Encuestas
  - D. Propuestas de normas de diseño estructural para Construcciones de Adobe y Bloque estabilizado. (29)
  - E. Metodología para la reparación de un edificio dañado por un sismo. (30)

## DOCUMENTACION DE PLANOS

## DOCUMENTACION FOTOGRAFICA

## RESUMEN

El día 3 de Octubre de 1974 a las 9 horas 21 minutos, hora local, un violento fenómeno sísmico afectó la ciudad de Lima y alrededores ocasionando importantes daños en las construcciones y produciendo numerosas víctimas en la Capital del Perú y alrededores. Las pérdidas materiales se estimaron en más de 10 mil millones de soles, mientras que las víctimas alcanzaron 78 muertos y el número de heridos superó los dos millares.

Dentro del área de Lima Metropolitana existen zonas que por sus características particulares de Geología y Geotécnica, están propensas a sufrir mayores daños que otras, tal como lo demuestran los últimos sismos y sobre todo éste último del 3-10-74.

Entre estas zonas están: La Molina, Chorrillos, zona de la Costanera (Costa Verde) y Callao. En estas zonas se producen amplificaciones de ondas sísmicas debido a que en ellas existen suelos blandos, zonas de contacto y/o napa freática a poca profundidad. Estas condiciones desfavorables hacen que se les consideren zonas críticas ante sismos.

Precisamente, en las zonas anteriormente mencionadas, se produjeron los mayores daños en edificaciones, debido, en la mayoría de los casos, a que no se tuvo en cuenta las fuerzas sísmicas en el diseño de los mismos y en otros a defectos constructivos.

En otras zonas de Lima Metropolitana, los da

ños se debieron a defectos de diseño (mala estructuración, falta de elementos de arriostre, defectos de anclaje, etc.) y de construcción, incrementándose con la antigüedad de dichas edificaciones.

Las edificaciones mayormente dañadas, construídos hace pocos años y de concreto armado, fueron: Universidad Nacional Agraria; Centro de Instrucción de la Benemérita Guardia Civil del Perú; Escuela Naval; Banco Industrial; Estadio Nacional; Silos del Callao; numerosos colegios como Reyna de los Angeles, La Recolecta, Roosevelt, etc. La falla típica en los colegios fue la conocida como "columna Corta".

Otros daños se produjeron en diversos servicios públicos, como la rotura de tuberías de agua y desague en diversas arterias de Lima y Callao. Del mismo modo se produjo cortes de la energía eléctrica, en los medios de comunicacion, como la radio y el teléfono.

En conclusión se puede decir que las zonas mayormente afectadas por el sismo fueron: La Molina, Chorrillos y Callao; sin dejar de lado las zonas antiguas como Rímac, Barrios Altos, Cercado de Lima, etc., en donde las numerosas casas de adobe y quincha han sido seriamente afectadas

Por la cantidad de daños producidos recomendamos llevar a cabo la microzonificación sísmica de Lima Metropolitana, de tal manera que los parámetros sísmicos que se determinen para las zonas o micro-zonas se ajusten a la realidad. Este es una necesidad impostergable, dado la importancia que adquiere Lima Metropolitana, con respecto a otras ciudades del país, debido a la concentración del Gobierno Central; del mayor porcentaje de centros de actividad económica, educacionales, sociales y culturales; que hacen que se concentre en ella el 25% del total de población

de todo el país y a las cuales debemos proteger.

Finalmente, se indican algunas sugerencias que deberían tomarse en cuenta en la planificación de futuras construcciones y en la educación de los habitantes frente a los fenómenos telúricos, a fin de minimizar o anular en el mejor de los casos los daños sísmicos; con lo cual creo, a satisfacción personal, haber contribuído en algo en la toma de conciencia de nuestra realidad.

# CAPITULO I

## INTRODUCCION

### 1.1. OBJETIVOS Y ALCANCES.

El presente trabajo, tiene por objetivo, evaluar los efectos causados por el terremoto del 3 de Octubre de 1,974 en el área de Lima Metropolitana.

El estudio de los daños principalmente está orientado a las edificaciones (de viviendas y edificios públicos) existentes, sin dejar de lado los daños materiales producidos en los servicios esenciales como son el agua potable, desagüe, energía eléctrica, comunicaciones y otros.

Dentro de la gran variedad de efectos originado por un sismo severo como el que motiva nuestro estudio, no sólo se refleja en los daños indicados; sino, que también produce transtornos en las actividades socioeconómicas (industria, comercio, agricultura, minería, etc.), administrativas y otras.

Las pérdidas económicas según estimado realizado por el Comité de Defensa Civil y las Compañías de Seguros son del orden de unos 3,000'000,000 de soles oro(1975). Otros investigadores <sup>(1)\*</sup>, estiman las pérdidas económicas entre S/. 7,500'000,000 y S/. 11,500'000,000 de soles oro.

El valor "exacto" de las pérdidas económicas es imposible de calcular ya que las evaluaciones e investigaciones realizadas, después del terremoto, no logran copar

---

(\*) Los números entre paréntesis significan referencias indicadas al final de la Tesis.



la totalidad de los daños producidos; especialmente los daños menores son omitidos y otros no son percibidos a simple vista.

Para que una evaluación pueda aproximarse a la realidad, será necesario seguir una política adecuada de educación en la comunidad, en la cual, la totalidad de sus integrantes deben ser concientes de los peligros sísmicos a que están expuestos; y así participar activamente en la información de los daños producidos en sus propiedades, por efectos de un sismo; para luego recibir las recomendaciones técnicas y tácticas pertinentes, de parte de los organismos encargados, para la reparación de los daños y a fin de minimizar o anular si es posible, los efectos destructores de futuros terremotos, en las próximas obras de Ingeniería Civil a realizarse.

Para las personas directamente vinculadas con la ocurrencia de los terremotos y sus efectos producidos, en especial para los Ingenieros Civiles, el suceso de un sismo, siempre deja lecciones para el futuro. Podemos llenar algunos vacíos en nuestro conocimiento de la mecánica de los terremotos y de las reacciones estructurales cuando ocurren tales fenómenos. Los datos obtenidos guiarán los pasos de la reconstrucción, y brindarán así mismo antecedentes básicos para nuestros estudios científicos y de ingeniería. Los estudios también ayudarán a definir otras zonas activas de fallas que ahora no se advierten.

Es de desear que la información recogida ofrecerá nuevos caminos a una técnica de predicción, quizá dentro de un decenio.

Por lo importante que es una evaluación de daños, tanto para la reparación y muy en especial para la prevención de los mismos en futuros sismos, es que este trabajo trata de dar a conocer los daños observados y las pautas

para futuros estudios de este tipo. Claro está que este trabajo no pretende ser el más completo, por las limitaciones inherentes a este tipo de estudio, así como las limitaciones de recursos económicos y técnicos.

Por lo tanto, este estudio puede ser mejorado en dinámica de grupo, es decir en coordinación de los diferentes especialistas, de tal manera que constituya un documento de gran valor que redundará en las mejoras de futuras edificaciones. Más aún, este trabajo debe ser complementado con otros similares, dedicados exclusivamente a determinados campos como por ejemplo los servicios de agua potable, desagüe, energía eléctrica, comunicaciones, etc.; ya que en el área de estudio se concentra todos los poderes públicos del país; los grandes y más adelantados centros industriales, comerciales, y la mayor parte de los centros superiores de educación; constituyéndose de esta manera en una ciudad con un gran volumen de habitantes a los cuales hay que proteger.

## **1.2 UBICACION Y EXTENSION DEL AREA:**

El área de estudio, Lima Metropolitana, está situada en la Provincia de Lima. Cabe indicar que la idea de metrópoli se refiere al área comprendida por una ciudad y su crecimiento superficial, generalmente a lo largo de las riberas de las vías de comunicación. En muchos casos estos crecimientos llegan a unir dos ciudades, formando lo que se llama una "conurbación", tal como sucedió entre Lima y Callao. Actualmente la ciudad de Lima crece a lo largo de las carreteras hacia el centro y las Panamericanas sur y norte. Por esta razón, el concepto de Lima Metropolitana, en lo que se refiere a extensión, no está bien definido.

Para fines estadísticos y censales, el "Área Metropolitana de la Capital de la República", queda integrada por los distritos que conforman las provincias de Lima y Callao, según sus respectivos límites distritales y provin-

ciales (Decreto Supremo N°011-72-PM del 25 de Abril de 1.972).

Para objetivos del presente estudio, nuestra área se circunscribirá a los distritos que forman una "conurbación" alrededor del de Lima, es decir aquellos que están separados uno del otro por solamente una avenida, calle, o jirón.

Por lo tanto quedará delimitada de la siguiente manera: Por el Norte hasta el distrito de San Martín de Porres, por el Sur hasta el distrito de Chorrillos y por el Centro hasta parte del distrito de Ate. Comprenden los distritos de Lima, Barranco, Breña, La Victoria, Lince, Jesús María, Magdalena del Mar, Miraflores, Pueblo Libre, Rímac, San Miguel, San Luis, San Isidro, Surco y Surquillo; correspondientes a la Provincia de Lima y todos los distritos de la Provincia Constitucional del Callao. Parte de los distritos de Ate, El Agustino, Chorrillos, La Molina y San Martín de Porres (ver Fig.1).

Las coordenadas geográficas del área de estudios son:  $12^{\circ}00'00''$  -  $12^{\circ}10'57''$  Latitud Sur.  $76^{\circ}55'55''$  -  $77^{\circ}10'45''$  Longitud Oeste.

### **1.3 METODO DE INVESTIGACION.**

Los daños causados por el sismo en Lima Metropolitana, difícilmente podrá ser conocido en su totalidad debido a que este trabajo de investigación se inició al año de la ocurrencia del sismo en estudio y para entonces muchos daños fueron reparados o disimulados para mejorar la apariencia estética de la edificación. Aceptamos que en la evaluación de daños efectuados para su estudio no se ha tomado en cuenta todas las edificaciones.

Sin embargo, a pesar de considerar que lo ideal sería encuestar los daños en todas y cada una de las

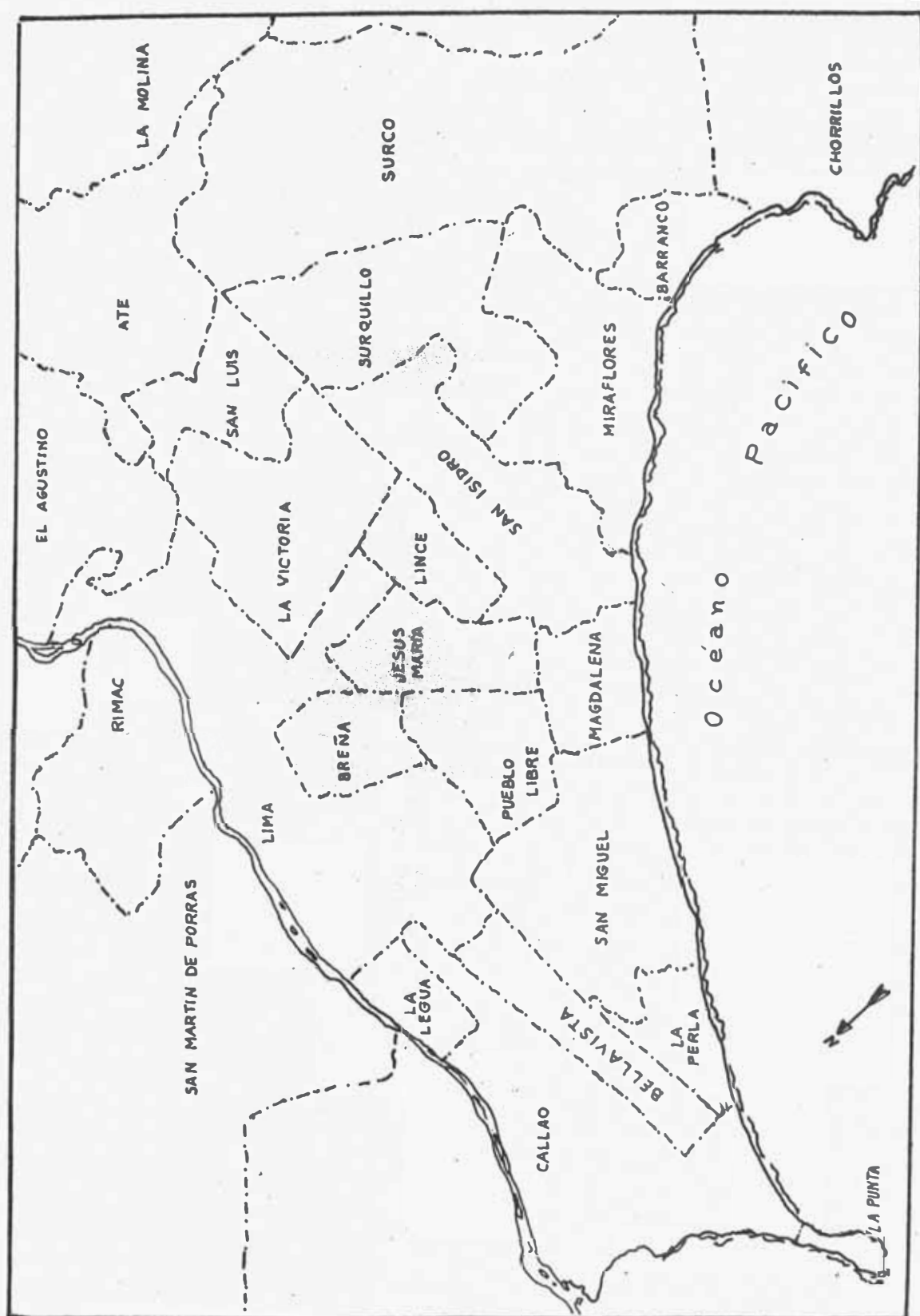


FIGURA N° 1  
AREA DE ESTUDIO

edificaciones afectadas de la zona y teniendo presente que el área de estudio es muy grande para poder ser evaluada (incluso por brigadas de estudio) y no contando con los medios necesarios y suficientes para realizarlo con la calidad técnica que se requiere; es que este trabajo es enfocado a analizar los daños de mayor importancia observados en la zona. Para ello fue necesario visitar las edificaciones severamente dañadas (especialmente las públicas) distribuidas en toda el área de estudio (de manera especial en las zonas de alta sismicidad local) contando con la ayuda de valiosos informes proporcionados por diferentes comisiones técnicas e instituciones públicas y privadas (nacionales e internacionales) que estudiaron los efectos mayores originados por el terremoto del 3 de Octubre de 1,974. También se ha tomado muy en cuenta los datos proporcionados mediante fichas de evaluación elaboradas y encuestadas por diferentes instituciones públicas, entre los que destaca la Universidad Nacional de Ingeniería. En cuanto a la encuesta realizada por los alumnos de la UNI (en el curso de Ingeniería Antisísmica) se puede decir que el método seguido, fue el estadístico, vale decir el de muestreo, de tal manera que los resultados obtenidos serán representativos de la zona que le haya tocado a cada equipo de investigación.

## CAPITULO II

### ASPECTOS GENERALES

#### 2.1 BREVE HISTORIA DE LIMA.

Lima fue fundada el 18 de Enero de 1,535 por el conquistador Francisco Pizarro, como "Capital de todas las posesiones españolas en este continente". En 1.542 al establecerse en ella la sede del virreynato se convirtió en el centro administrativo, comercial y cultural de una vasta región que en su mayor extensión permanecía virgen a la colonización española. Cabe señalar que la colonización no constituyó un movimiento poblacional de gran escala. Así en 1,614, al cabo de casi un siglo de fundación, la población de Lima sólo llegaba a los 25,000 habitantes. El crecimiento fue lento, y así es que a fines del siglo XVIII, la población llegó a 52,000. Durante esa época la única función económica que adquirió cierto significado, fue la "exportación" de metales preciosos, a través del Puerto del Callao.

Con la fundación del Virreynato del Río de la Plata, se acentuó la decadencia de Lima como centro político administrativo, ya que las mercancías llegaban a Buenos Aires por vía del Atlántico.

Con la apertura del Canal de Panamá, en la segunda década de este siglo, el Perú se incorporó definitivamente al sistema de comercio internacional y sólo entonces cobró plena vigencia el modelo tradicional de desarrollo. A partir de ese momento tomaron impulso los monocultivos de exportación de la costa, principalmente azúcar y algodón, y la minería comenzó a desarrollarse a gran escala.

Después de 1,920 el crecimiento de Lima en su totalidad se hizo evidente. Así partiendo del índice 100 para 1,857, se llegó en 1,920 al índice 200 para Lima y el país; pero mientras en 1,940 Lima presentó un índice de 869, el país alcanzó un índice de 249, para alcanzar el Area Metropolitana un índice de 2,489 en 1,961 en relación al índice nacional de 440. (Ver gráfico N°1) (2).

## **2.2 ROL DE LIMA METROPOLITANA DENTRO DE LA NACION PERUANA.**

Lima, capital de la República del Perú, es la ciudad más grande e importante del país. En ella se concentra alrededor del 25% del total de la población peruana, representando también el centro de las actividades políticas, administrativas, económicas, financieras y sociales de la nación. Cabe no obstante señalar, que las áreas productivas de la nación no se encuentran principalmente en la región metropolitana, así en la costa norte (Piura, Chiclayo, Trujillo) se desarrollan los más importantes centros azucareros, algodoneros y petroleros, y en la sierra central sur, se encuentran los principales centros mineros. Sin embargo, las transacciones económicas y financieras se realizan en Lima.

En el espacio industrial, en el Area Metropolitana se produce el 82% de los bienes de consumo y el 92% de los bienes de consumo duradero y de capital. Esto pone de manifiesto que Lima "exporta" manufactura al resto del país.

En el aspecto ocupacional, el Area Metropolitana, concentra el 55% de los empleos gubernamentales y en el sector servicios el 50% del total nacional, significando de esta manera, el único centro político-administrativo significativo a escala nacional.

En el sector económico, el 98% de las finanzas del país se lleva a cabo en el Area Metropolitana y la

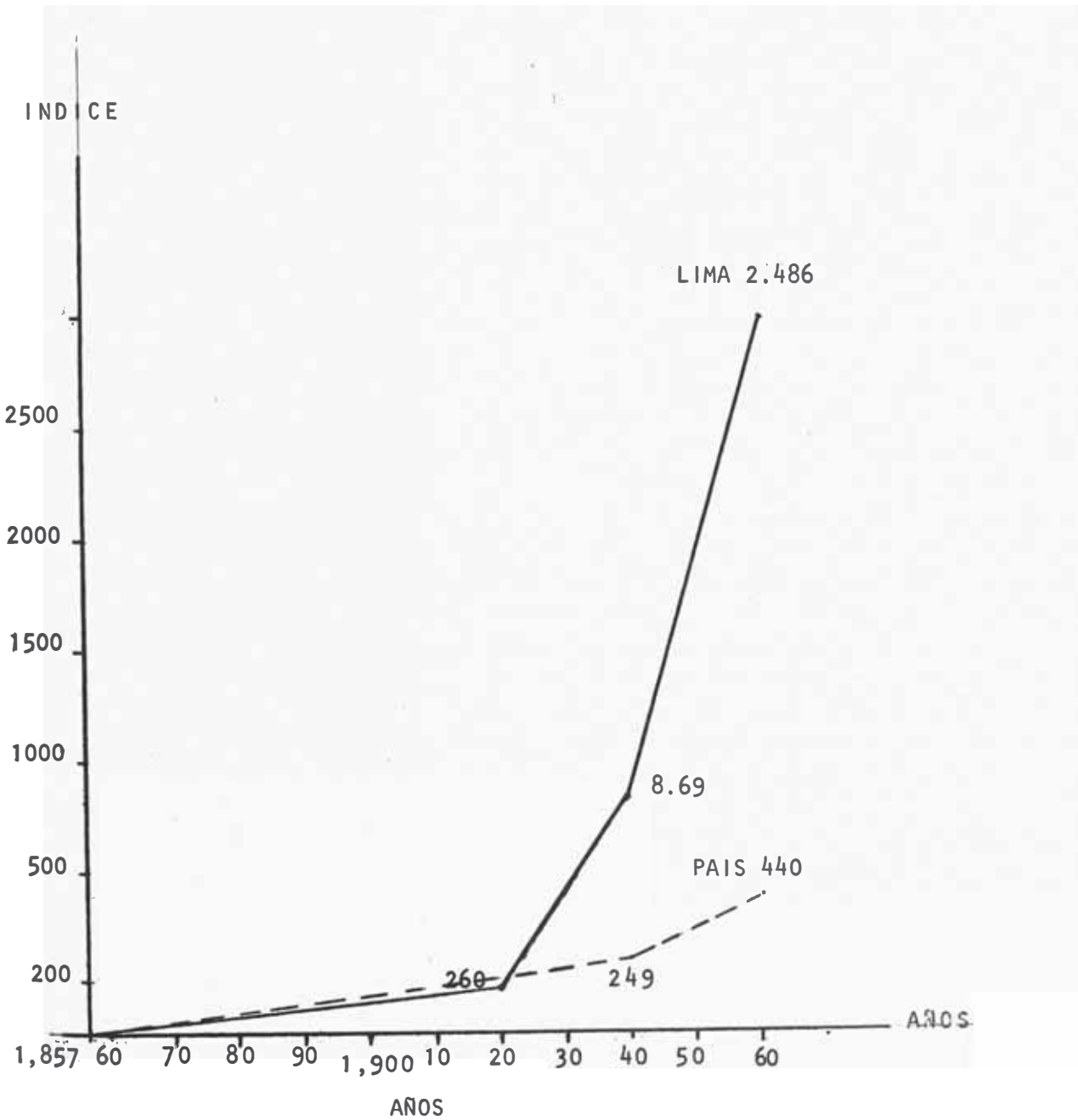
GRAFICO N° 1

CRECIMIENTO DE LIMA Y TOTAL NACIONAL

AÑO BASE: 1,857

Población del Perú en 1,857: 2'227,907 = indice 100

Población de Lima en 1,857 : 74,195 = indice 100





ocupación en el área comercial, representa el 53% del total nacional.

Por otro lado, en lo referente al movimiento marítimo, el vecino puerto del Callao es el principal puerto exportador del país a tal punto que más del 80% de las importaciones ingresan por él.

En el aspecto social, Lima Metropolitana, asiento del Gobierno Central, concentra los principales organismos de todos los poderes estatales, lo cual convierte a Lima en el núcleo del sistema burocrático nacional.

Como consecuencia de esta extremada concentración del poder económico, político y administrativo, en el Area Metropolitana se concentran las mayores facilidades educacionales y los más selectos servicios de tipo cultural y al mismo tiempo cuenta con el más importante centro de comunicaciones del Perú, lo que hace de Lima no solo el núcleo de la vida intelectual cultural y artística del país sino que lo convierte en el más amplio mercado de trabajo y constituye el campo de posibilidades más rico en el área de la cultura en general.

A continuación se presenta un cuadro, de resumen en la cual se puede apreciar el Rol de Lima Metropolitana dentro de la Nación Peruana.

**CUADRO N°1**

**ROL DE LIMA METROPOLITANA DENTRO DE LA NACION PERUANA**

POLITICO	Núcleo del sistema gubernamental del país
EDUCATIVO	Concentra la mayor parte de los centros educativos secundarios y superiores.

(continua.....)

(.....continua)

POBLACIONAL	Posee el 25% del total poblacional
CAMPO OCUPACIONAL	1) 55% de los empleos gubernamentales, 2) 50% de los empleos en el sector servicio 3) 53% de los empleos en el área comercial
ACTIVIDAD ECONOMICA	1) Se lleva a cabo el 98% de las finanzas 2) Se produce el 82% de los bienes de consumo 3) Se produce el 92% de los bienes de consumo duradero. 4) Se realiza más del 80% de las importaciones a través del puerto del Callao.

### 2.3 ZONAS DE MAYOR POBLACION Y DENSIDADES ACTUALES.

Como consecuencia de lo que representa Lima, en relación al resto del país y por lo anteriormente expuesto, es que se produce la migración en gran masa de la población de provincias hacia la Capital, dando lugar a la gran concentración de población y a densidades altas de acuerdo al área que ocupan en diferentes distritos y zonas de Lima Metropolitana.

Según el último censo, VII de Población y II de Vivienda, llevado a cabo el 4 de Junio de 1,972, los distritos más poblados son los que aparecen en el Cuadro N° 2 en el que también se incluyen su extensión en Hectáreas (HA) Y sus densidades respectivas.

**CUADRO N°2**

DISTRITOS	POBLACION (3)	EXTENSION(4) (Ha)	DENSIDAD Por Ha
LIMA	354,292	2,280.0	155.3

(continua.....)

(.....continua)

LA VICTORIA	265,636	1,325.2	200.4
SAN MARTIN DE PORRES	230,813	5,746.6	40.2
CALLAO	198,573	4,938.8	40.2
VILLA MARIA DEL TRIUNFO	180,959	14,657.6	12.4
COMAS	173,101	7,270.4	23.8
RIMAC	172,564	2,504.0	68.9
BREÑA	112,202	325.6	344.6

Cabe señalar, que el cuadro anterior se ha hecho dando prioridad a los distritos más poblados, de acuerdo al último censo; pero, en la referente a la extensión, en la actualidad pueden haber variaciones ya que muchos distritos del área de Lima Metropolitana se han dividido para dar paso a otros nuevos y en algunos casos para incrementar otros.

Del cuadro se puede observar que no todos los distritos que tienen numerosa población, tienen también densidades altas, esto se debe, como se puede apreciar, a que algunas de ellas ocupan gran extensión de terreno para albergar dicha población, sin embargo dichas densidades no representan la realidad, ya que existe una considerable área que no es utilizada para extensión urbana y corresponden a zonas de cerros, instalaciones militares, instalaciones privadas, complejos deportivos, etc. Por lo tanto las densidades reales serían más altas. De otro lado también hay den-

sidades altas en distritos de menor población, pero también de un área de habitabilidad reducida; tal es el caso de los distritos de Magdalena del Mar, Lince, Miraflores, Pueblo Libre, etc.

Las densidades altas de población generalmente dan origen al problema del TUGURIO, cuyas características pasamos a estudiar para tener una idea de ellas y luego ver las consecuencias o problemas que se puedan presentar durante y después de la ocurrencia de un sismo de fuerte intensidad, como el del 3 de Octubre de 1,974.

#### **2.4 EL PROBLEMA DE LOS TUGURIOS EN LIMA METROPOLITANA.**

Consideramos TUGURIO a la vivienda urbana cuyas condiciones habitacionales son deficientes en algunos de estos aspectos:

- 1.- Capacidad de albergue de acuerdo al grupo familiar cobijado, que puede devenir en hacinamiento;
- 2.- Capacidad de servicio como función, dentro de las actividades domésticas de vivienda, que puede generar promiscuidad; y
- 3.- Capacidad de atención de los servicios básicos de la vivienda como son las de agua, desagüe, iluminación natural, alumbrado eléctrico, ventilación, etc., lo que puede determinar condiciones de insalubridad.

Tugurio es la vivienda precaria, caracterizada por sus habitaciones reducidas o mezquinas; carente o deficiente en -servicios agua, desagüe y alumbrado eléctrico-, con problemas de iluminación natural, asolamiento y ventilación, edificada en materiales deficientes e inestables o que han devenido en ineficientes por el deterioro. Por estas características físicas se generan hacinamiento, promiscuidad e insalubridad.

Como se dijo inicialmente, a nivel de Lima

Metropolitana, la tugurización es uno de los problemas más graves en el sector vivienda. En el año de 1,967, como resultado de un estudio realizado en diecisiete de los más populosos distritos del Area Metropolitana, se encontró que el 36% de la población encuestada vivía en tugurios y ocupaban a su vez el 5% del área bruta urbanizada de los distritos. Se encontró así mismo, que los distritos que tienen mayores porcentajes de población que habita en tugurios son los siguientes: Cercado de Lima 36.0%; Surquillo 34.4%; Breña 31.7%; Rímac 29.5%; San Miguel 28.5%; La Victoria 28.3%<sup>(2)</sup>

Los tugurios, no sólo resultan inadecuados desde el punto de vista social porque albergan casos de patología social como la indigencia, la enfermedad, la ignorancia y la delincuencia, sino que representan un serio peligro desde el punto de vista sísmico porque constituyen grandes conglomerados humanos que habitan en locales antiguos, estrechos y totalmente inseguros.

**CUADRO N°3**  
**TIPOS DE TUGURIO (2)**

<p>CASA SUBDIVIDIDA</p>	<p>Casa unifamiliar que ha sido dividida internamente, para alojar a varias familias, sobrecargando su capacidad de habitabilidad y servicios. Se conserva el ingreso original y generalmente esta construída con materiales estables que se han deteriorado rápidamente debido al uso intensivo.</p>
<p>QUINTA DETERIORADA</p>	<p>Edificación multifamiliar constituída por un conjunto de pequeños departamentos muy hacinados, agrupados en torno a una entrada común o pasaje. Por lo general tienen servicios domiciliarios y están construídos con materiales estables. El estado de</p>

(continua.....)

(.....continua)

	<p>la construcción es precaria. Las instalaciones sanitarias y eléctricas están muy deterioradas o mal equipadas.</p>
<p>CALLEJON</p>	<p>Conjunto de cuartos ubicados en un solo predio, alineados en ambos frentes de un pasaje central que cuentan con un ingreso común, eventualmente este pasaje se combina con otras laterales. Cada vivienda está constituida por uno o dos cuartos muy reducidos, mal iluminados y con ventilación deficiente, los servicios higiénicos son colectivos y generalmente se reducen a un caño y botadero. Son edificaciones de un piso, de paredes de adobe o ladrillo, techo de madera y piso de tierra, se encuentran en mal estado de conservación.</p>
<p>CORRALON</p>	<p>Constituido por un agrupamiento desordenado de cuartos en torno a un patio central y una entrada común. Estos cuartos han sido habilitados con materiales inestables y precarios. Hay malas condiciones de habitabilidad, los servicios higiénicos y de alumbrado son colectivos y muy deficientes o no existen. El mal estado de la construcción es característico en estas edificaciones de un piso, paredes de adobe, techo de estera o madera y piso de tierra.</p>
<p>TUGURIO EN AZOTEA</p>	<p>Se presenta en las terrazas y techos de los edificios de departamentos, como una de las modalidades más recientes, consisten en agrupamientos de cuartos pequeños,</p>

(continua.....)

(.....continua)

	mal iluminados, con ventilación deficiente y generalmente con servicios higiénicos y alumbrado colectivos. esta habitación se da clandestinamente, contraviniendo los reglamentos de construcción. Se cobran alquileres muy elevados o se ofrecen en venta a precios prohibidos.
SOLAR	Edificación antigua, generalmente de dos pisos con viviendas hacia la calle y balcón corrido que da acceso a las viviendas del segundo piso. Internamente se dan varios departamentos a ambos lados de un pasaje central y profundo por el que se ingresa, esta disposición se repite en la segunda planta con igual número de viviendas. El solar está edificado con paredes de adobe y quincha, y techos de madera y torta de barro, con servicios higiénicos y alumbrado colectivos y domiciliarios simultáneamente.

## 2.5 URBANISMO.

La zona Lima-Callao, por sus características de grandes metrópolis; influyen directamente sobre una región que escapa a los límites de su actual desarrollo urbano; dicha influencia no sólo se da en términos de aprovisionamiento de recursos, sino también en términos de una influencia de tipo netamente urbano que se puede definir por tres características principales:

- a) Intercomunicación diaria de personas por relaciones del tipo vivienda-trabajo o vivienda-servicio.
- b) Proceso de la urbanización de la tierra con ritmo y ca-

racterísticas que lo distinguen netamente del proceso normal que ocurre en otras zonas del país.

- c) Presencia estacional (principalmente los fines de semana) de la población metropolitana en busca de lugares de recreación expansiva.

#### 2.5.1 Las Edificaciones:

El rápido crecimiento demográfico de Lima Metropolitana, por razones anteriormente expuestas, crea problemas habitacionales que se ve claramente en la gran existencia de tugurios y Pueblos Jóvenes, para los habitantes de escasos recursos económicos y las urbanizaciones para los más pudientes. Este hecho ha ocasionado que la Metrópoli extienda su área en forma horizontal, ya que los Pueblos Jóvenes generalmente se desarrollan en la falda de los cerros y en terrenos eriazos; y las urbanizaciones en los terrenos de cultivo. Estos últimos, han ocasionado problemas de escasez de recursos alimenticios al reducirse las áreas de cultivo y de desocupación al cerrarse la fuente de trabajo de personas que laboran en ella. Es por este motivo que el gobierno ha dado recientemente una ley que prohíbe la creación de nuevas urbanizaciones, evitando de esta manera el crecimiento horizontal y propiciando al mismo tiempo el crecimiento vertical de Lima Metropolitana.

En cuanto a las edificaciones altas, éstas son relativamente escasas en el área, y ellas generalmente constituyen edificaciones públicas (Ministerios, Hospitales, etc.) o privadas; donde todos sus compartimientos son usados para oficinas, salvo en algunos casos, el primer piso, que es usado como establecimiento comercial.

#### 2.5.2 Uso del Suelo Industrial:

La industria da origen a un gran número de actividades y plantea diversos requisitos de localización:



1. Industrias distribuídas en el área urbana.

Los establecimientos periodísticos y de imprenta en general, se localizan particularmente en la zona central según una distribución más o menos uniforme u homogéneas. Igualmente, gran cantidad de fábricas de productos alimenticios-especialmente panificación-así como también talleres dedicados a la confección de ropa de vestir, los que se localizan en la periferia del Distrito Comercial Central. Así mismo a lo largo de la Av. República de Panamá y Paseo de la República, por ejemplo, se ubican muchos talleres de reparación de automóviles.

2. Industrias agrupadas por zonas intermedias.

Este patrón está definido por la ubicación de establecimientos industriales en las zonas de Breña, La Victoria, Pueblo Libre y el Rímac, entre otras. Estos núcleos industriales, los más antiguos en el área y que inicialmente tuvieron una localización periférica, en la actualidad han quedado incorporados en el casco urbano como consecuencia de la expansión del área urbanizada. Ello ha determinado que tales establecimientos están hoy mal ubicados y resultan molestos y hasta peligrosos para las áreas residenciales colindantes.

3. Industrias nucleadas en bandas periféricas.

Aquí se encuentran los complejos industriales más significativos del desarrollo industrial metropolitano. La zona industrial ubicada en la Av. Argentina, la del Terminal Marítimo del Callao, los nuevos asentamientos en la carretera Panamericana Norte y los de la Carretera Central, muestran la particularidad de estar ubicados sobre la infraestructura vial primaria que conecta directamente con la región extra-urbana.

#### 4. Industrias aisladas fuera de la periferia.

Como ejemplo típico se pueden mencionar las refineries de petróleo. Conchan al sur y La Pampilla al Norte. Otro ejemplo constituye la fábrica de ladrillos calcáreos sobre la autopista a Pucusana.

#### 2.5.3 Localización Comercial.

En general se distinguen tres grandes grupos:

- a) Los grandes centros comerciales, todos ellos se caracterizan en poseer establecimientos especializados con demanda poca frecuente del consumidor individual (lo cual es un índice de su gran radio de acción) tales como: Miraflores, Mercado Mayorista, Mercado Central y Av. Manco Cápac.
- b) Los Centros intermedios, que al no tener negocios especializados, sirven a más de un distrito, tales como Moncerrate y Lince, y
- c) Centros pequeños, cuya influencia es de carácter netamente distrital, como Rímac, Surquillo, Jesús María, Barranco y Magdalena.

#### 2.5.4 Servicios Públicos.

La influencia del sistema de servicios públicos frente a la demanda de la ciudad es de esperarse en una Metrópoli que, como Lima-Callao, presenta muy altos índices de crecimientos. No por ello el problema deja de ser grave ni de requerir urgente atención, sobre todo si se consideran que las condiciones geográficas de la región metropolitana determinan un tope previsible a la utilización de los recursos naturales que explotan para suministrarlo de servicios públicos.

- a) Energía Eléctrica.- Con las actuales centrales de producción de energía eléctrica, se logra abastecer la de-

manda y si se considera la central del Mantaro, se puede afirmar que no existirán problemas de abastecimiento de energía ni a corto ni a mediano plazo.

- b) Agua y Desague.- El problema de abastecimiento de agua y evacuación de aguas servidas es grave en el área de Lima Metropolitana.

La expansión urbana a corto plazo plantea el problema de que ella se llevará a cabo en zonas que no han sido cubiertas por las nuevas redes de agua y desague actualmente en servicio y ejecutadas en 1,971 (2).

Esto significa que la provisión de agua en estas zonas deberá lograrse por el sistema de pozos, en tanto que el servicio de desague deberá proveerse en base a plantas o lagunas de tratamiento.

En este sentido, en la actualidad se advierte que la construcción indiscriminada de nuevos pozos de agua está motivando un peligroso descenso de la napa freática (2). Por lo tanto, esta situación debe ser evitada mediante un estricto control en la construcción de nuevos pozos.

Las aguas del río Rímac, principal fuente de agua, está alcanzando actualmente niveles críticos de insalubridad debido a que el desarrollo industrial y residencial del valle no va aparejado a la existencia de un sistema troncal de desague para dicha zona; esto ha hecho inevitable que las aguas servidas se viertan al río. Ante esta crítica situación la única medida preventiva parece ser un drástico control en el otorgamiento de licencias para urbanizaciones y plantas industriales.

#### 2.5.5 El Transporte.

El Area Metropolitana presenta, a simple vis

ta, síntomas de padecer graves problemas de transporte, y no es extraño que así sea, ya que esta es una característica general de las áreas metropolitanas.

Situación Actual: La información recopilada (2), ha permitido detectar las características del sistema vial, de los flujos de tránsito y de los movimientos principales de personas especialmente en la jornada de trabajo, y sobre movimientos de personas en fines de semana en busca de recreación (en busca de rayos solares en invierno y a las playas en verano).

Característica del Sistema Vial: La parte antigua de la ciudad, y núcleo principal, está situada a lado sur de la ribera del río Rímac y su estructura vial está conformada por calles estrechas. Dos vías paralelas de 40m. de ancho cruza el núcleo y han permitido mejorar la accesibilidad al área desde el Sur y Norte. La vía de circunvalación, está conformada por, la Av. Alfonso Ugarte y por la Av. Grau, ambas de 40m. de ancho, sirven para distribución de tránsito urbano tanto de vehículos de transporte de pasajeros como de carga.

Desde el núcleo central y siguiendo principalmente un esquema vital radial, se ha desarrollado las diversas áreas urbanas.

El esquema radial de vías no ha sido complementado por un sistema homogéneo de vías laterales de distribución. En consecuencia, puede decirse que la jerarquización de vías no fue establecida de acuerdo con una definida concepción estructural. Siendo la Av. Javier Prado, con 40m. de ancho y cuatro canales, en conexión con la Av. La Marina y Faucett, sirve actualmente para la distribución a nivel metropolitano del tránsito exterior al núcleo. Recién en los últimos años se ha orientado la política vial hacia el objetivo de conformar un eficiente sistema transversal de

vías principales, complementario del sistema radial. Lógicamente, los niveles de accesibilidad irán mejorando (entre los distintos sectores) a medida que se mejore este sistema. Un ejemplo muy claro lo constituye la Vía Expresa del Paseo de la República, que logra descongestionar el tránsito del Centro de Lima hacia los distritos del Sur y viceversa, a la vez que se emplea un menor tiempo en cubrir estas distancias.

## **2.6 CLIMA.**

El clima en la zona de Lima Metropolitana, muestra dos fases bien definidas. De Diciembre a Marzo, verano marcado, calor soportable; de Abril a Diciembre, cielo cubierto por un manto perenne de nubes, lloviznas no persistentes, hay frío, la temperatura baja en algunos inviernos hasta los 11°C. Este fenómeno es común en casi toda la costa peruana y se sabe que es consecuencia de la influencia de las aguas frías de la Corriente de Humboldt; sin embargo, se puede decir que prácticamente no llueve en Lima (16mm por año). Presenta una considerable evaporación, pues alcanza de 100-200 mm. por mes, en superficie de agua libre. El ambiente está casi saturado de humedad, pues por los meses de Julio y Agosto es frecuente encontrar humedades relativas que van hasta un 98%.

## **2.7 ESTADISTICA SISMICA DE LIMA.**

La ciudad de Lima desde tiempos inmemoriales ha sido sacudida por movimientos sísmicos que han desiquilibrado su normal desenvolvimiento socio-económico.

La razón de la intensa actividad sísmica, es que, el Perú, según su geografía, se encuentra ubicada en el Círculo Circum-Pacífico, que es la zona sísmicamente más activa de la tierra.

Según análisis sismo-tectónicos, existen en

el globo terráqueo dos zonas bien marcadas de actividad sísmica, ellas son: el Círculo Alpino-Himalayo y el Círculo más importante llamado Circum-Pacífico; en ambas zonas la actividad sísmica es sumamente intensa, principalmente en esta última, donde han ocurrido el 80% de los eventos sísmicos, quedando el 15% restante para el Círculo Alpino-Himalayo y el 5% restante se reparte en el resto del mundo.

Las noticias del terremoto que acaecieron en el Antiguo Perú data prácticamente desde la conquista Española; es el relato de los efectos por ellos causados, de las pérdidas de vidas humanas, junto con otras observaciones, lo dilatado y agreste del territorio, la escasa densidad de población, la falta de medios de comunicación, la preocupación de los conquistadores por su afianzamiento en estas nuevas tierras, sus luchas intestinas, todo ello unido a lo rudimentario de los conocimientos científicos de la época, no permitieron llevar información ni confeccionar lo que hoy podríamos llamar un catálogo sismo-gráfico. Los datos de que se dispone son incompletos y se encuentran esparcidos en diversas obras inéditas o poco conocidas, en las crónicas de los religiosos, o en las narraciones de los viajeros ilustres que visitaron esta parte del continente.

Los daños materiales fueron cuantiosos debido a que las construcciones eran inadecuadas para resistir los violentos movimientos del suelo. Se construía aprovechando los materiales de la región y de acuerdo a las condiciones climáticas, primando las construcciones de adobe y quincha.

A mediados del siglo XVII, Lima principal metrópoli de la América del Sur, había desarrollado y adquirido una fisonomía peculiar; sus calles rectas, sus edificaciones de ladrillo y adobe con balconería de madera, y sus 70 templos y campanarios eran motivo de orgullo. El terremoto de 1,687 destruyó toda esa magnificencia arquitectóni

ca y aunque reconstruída por el Virrey y Don Melchor de Navarra y Rocafull, Duque de la Palata, volvió a ser íntegramente destruída por el gran sismo del 28 de Octubre de 1,746 que fue del grado X en Lima y de grado IX en el Callao al que acompaño un tsunami que arrasó el puerto del Callao (la intensidad se ha estimado de acuerdo a los daños consignados en las crónicas de entonces). Este terremoto causó prácticamente la destrucción total de la ciudad de Lima, causando la muerte de más de 8,000 personas. LLano y Zapata (1,748), pesimista decía "Se acabó lo que se había trabajado en 211 años, para construir magníficos templos y suntuosos edificios; pérdida tan grande que en otros dos siglos y docientos millones, dudo con fundamento puede sea tiempo bastante para su reedificación, ni cantidad suficiente para sus costos". El Virrey Don Manso de Velasco, acometió con éxito la tarea de la reconstrucción según los planos del célebre cosmógrafo francés Luis Godin <sup>(5)</sup>.

Estas catástrofes de origen sísmico se rememoran con gran fervor religioso en Lima (Señor de los Milagros), Callao (Señor del Mar) y Cuzco (Señor de los Temblores)

En el presente siglo, el terremoto más destructor ocurrido en Lima, fue el 24 de Mayo de 1,940 que originó intensidades del grado VIII en la escala de Mercalli Modificada. Otros sismos que han ocasionado daños moderados en la ciudad de Lima, son los del 17 de Octubre de 1,966 que originó intensidades del grado VIII, y el del 3 de Octubre de 1,974 que tuvo una intensidad de VIII-IX y que es materia de estudio en el presente trabajo.

Para mayor información sobre los sismos ocurridos en Lima, presentamos el Cuadro N°4, preparado por Rosa Torres, a sugerencia del Ing° Elmer Evangelista y a partir de la publicación hecha por el Dr. Enrique Silgado de la Historia de los Sismos más notables ocurridos en Lima. Se in-





cluye este cuadro, en vez del original, por considerarlo práctico para el estudio de los sismos.

A continuación se presenta un cuadro en el cual constan, el número de movimientos sísmicos con epicentros a distancias inferiores a los 300 Km. desde Lima; con intensidades iguales o mayores que el grado III en la escala de Mercalli Modificada; en el período comprendido desde Enero de 1,973 hasta Setiembre de 1,974 (6).

### CUADRO N°5

#### MOVIMIENTOS SISMICOS CON EPICENTROS INFERIORES

#### A LOS 300 Km. DESDE LIMA. (6).

MES AÑO	NUMERO DE MOVIMIENTOS SISMICOS			
	AL NORTE DE LIMA	AL SUR DE LIMA	NO DE FINIDA	TOTAL
ENERO 1,973	0	0	1	1
FEBRERO	3	0	0	3
MARZO	2	0	0	2
ABRIL	1	2	0	3
MAYO	0	0	0	0
JUNIO	2	1	1	4
JULIO	0	0	0	0
AGOSTO	2	0	0	2
SETIEMBRE	2	0	0	2
OCTUBRE	1	2	0	3
NOVIEMBRE	2	1	0	3
DICIEMBRE	0	0	0	0
ENERO 1,974	1	1	0	2
FEBRERO	0	5	0	5
MARZO	3	4	0	7
ABRIL	3	6	0	9
MAYO	0	0	0	0
JUNIO	2	1	0	3
JULIO	1	1	0	2
AGOSTO	0	2	0	2
SETIEMBRE	0	1	0	1
TOTAL	25	27	2	54

## C A P I T U L O    I I I

### ASPECTOS GEOLOGICOS Y DE SUELOS

#### 3.1 GEOMORFOLOGIA Y GEOLOGIA DE LA ZONA.

La ciudad de Lima, se encuentra edificada sobre el cono aluvial del río Rímac. El abanico de yectivo del valle del Rímac, empieza por el centro en Chosica (vértice) y se extiende por el Sur hasta Chorrillos (Morro Solar) y por el Norte hasta las vecindades del río Chillón, cerca del Aeropuerto Internacional Jorge Chávez.

El cono de yectivo del Rímac, está formado por una abundante acumulación de sedimentos fluviales y fluvio-aluvionales, los mismos que en sectores logran pasar de los 500 metros de potencia, según recientes estudios geológicos <sup>(7)</sup>.

El conglomerado del valle del Rímac es pués poderoso y también continuo; sin embargo la distribución de los lentes de arcilla, arena canturrales, etc., es muy heterogénea. Este conglomerado se propaga transversalmente en todo el valle constituyendo el cuerpo principal de los sedimentos, lo que se evidencia en los cortes naturales de los acantilados existentes desde el Callao hasta Chorrillos, formando en la región sur, los acantilados casi verticales mayores de 60 metros de altura sobre la misma playa.

Se han originado en algunos lugares de la margen del río, terrazas del tipo fluvio-aluvional, como en Santa Clara, Vitarte y Ate.

No obstante la predominancia del conglomerado

do en el área de Lima Metropolitana, existe una heterogénea distribución de lentes de arcilla y arena. Se tiene por ejemplo que en el Area del Callao, el subsuelo está conformado por depósitos lenticulares de arcilla que descansan sobre un lecho de cascajo que presenta una inclinación suave y continua hacia mayores profundidades. Estos lentes de arcilla aumentan su potencia en la parte occidental, debido a la inclinación que tuvo el fondo de Océano en el período de crecimiento del cono; así los sondeos realizados a 300 metros de la Costa indican un espesor de 15 metros de ancho encima del cascaje y a 290 metros solo se encontró un espesor de 1 metro. Un análisis de la superficie submarina del Callao, ha revelado que el fondo de la bahía está constituido por un lecho arcillo-arenoso compresible, con la excepción de La Punta y el Camotal, donde se encuentra conglomerado; también existe una planicie de arena en el extremo sur de la isla San Lorenzo y frente a la isla El Frontón, extendiéndose hasta encontrarse con los canturrales de la prolongación submarina del Camotal. La arcilla penetra con una potencia máxima variable de 7 metros, disminuyendo a la altura del Nor-este del muelle Darsena, a medida que se va acercando al litoral, conservando un espesor máximo de 2.5 metros.

Los sondeos han demostrado que a 1,0 metro de profundidad, la arcilla se encuentra completamente saturada en su estado de plasticidad. Prospecciones a partir de los 20 metros indicaron que el suelo va aumentando su resistencia. El conglomerado superficial en el Camotal, está constituido por cantos rodados de dimensiones variables, que van desde unos pocos milímetros hasta 30 centímetros. Este estudio confirma que el fondo de la bahía no es sino la proyección del cono de deyección del Rímac. Los perfiles del suelo de esta zona, concuerdan con los diferentes sondeos efectuados, deduciéndose de ellos, que la arcilla desciende sobre un lecho de conglomerado y que éste lecho presenta una inclinación suave y continua.

Investigaciones efectuadas han demostrado que el conglomerado sufre desplazamientos relativos debido a la acción del mar, que en tiempos anteriores han atacado el cono deyectivo, socavando y formando el barranco que se extiende desde el Morro Solar hasta el Callao. Los materiales caídos al mar, y sujetos a su acción son arrastrados hacia la zona de las islas San Lorenzo y Frontón, este hecho explica la formación de la Punta y su prolongación submarina como también su tendencia de aumentar de espesor.

El Morro Solar, en la parte Sur-oeste, está constituido por rocas sedimentarias, areniscas, lutitas, cuarcitas. En este sector los acantilados alcanzan mayores alturas y en el terreno se infiere que la erosión marina ha sido favorecida por las estructuras geológicas. Los acantilados coinciden frecuentemente con planos de falla que determinan la morfología del litoral. En muchos casos las fracturas que han sido rellenadas por diques de andesitas hoy se encuentran como canales, debido a la erosión sobre la roca andesítica.

Al Este de la ciudad de Lima se registra la presencia de cadenas de cerros de mediana altura de roca ignea y metamórfica tales como El Agustino, San Cristobal, Amancaes, Arrastre, etc.

En la zona Norte el área se encuentra cortada por dos sistemas de fallas, una longitudinal y otra transversal. El sistema longitudinal de falla, es paralelo y sigue una orientación N-S y buza al Este con un plano de falla de ángulo alto. Entre las fallas de este sistema tenemos:

Falla de Ventanilla.- Situada en la parte occidental, sobre ella está construída la carretera al balneario de Ventanilla y separa a dos cadenas de cerros. Es una falla cubierta que se evidencia por la repetición de la formación Puente Inga.

Falla Puente Piedra.- Esta localizado en la parte oriental al Este del cerro Punta Baja, donde el bloque de éste ha cambiado el rumbo o buzamiento de los estratos. Por este punto pasa un eje del anticlinal de Lima. Cabe anotar que el terreno de esta zona ha sido pantanoso hasta hace más o menos 30 años, luego el nivel freático ha ido descendiendo, y actualmente se hallan en promedio de unos 7.0 metros, según informe del Instituto Nacional de Investigación y Fomento Minero; el suelo es permeable y consta de depósitos cuaternarios y fluvial y eólico.

El sistema transversal de falla, tiene rumbo NO-SE, siendo el bloque SE el levantado. Son visibles por presentar fallas cruzadas.

Como se anotó anteriormente, no obstante la predominancia del conglomerado en el área de Lima Metropolitana, existe heterogénea distribución, como por ejemplo los suelos de Villa están constituidos por arenas finas, arenas limosas finas y limos. Los citados materiales están mezclados en profundidad con conchuelas y fósiles cuaternarios. Las arenas son marinas o de playa muy finas.

En la Campiña, en las proximidades de los edificios de Centro de Instrucción de la Benemérita Guardia Civil del Perú, se observa cerros de arena estratificados que fueron eólicas, luego se hundieron bajo el mar para después levantarse con los movimientos de reajuste, antes una zona verde que marca la dirección N-S que corresponde a una franja de gravas aluviales densas; luego los cerros de lutitas cubiertas por arena que limitan el local citado. En el área de CIBGC, en el extremo N-E se aprecian en la superficie gravas arcillosas y gravas en profundidad similares a las gravas de Lima Central.

El río Surco, que era el que originó al Rímac, corría en dirección general N-S erosionando las lutitas (Ju

rásico Superior - Cretácico Inferior) y deposita la grava; luego, con los movimientos de reajuste, vira y deposita sus sedimentos en Chorrillos, como todos los ríos de la costa, va virando hacia el N-0 entre períodos de calma y actividad tectónica<sup>(8)</sup>. Esta zona fue pantanosa hasta no hace muchos años y con el proceso urbanizadorio y bombeos de todos los alrededores, el nivel freático se deprimió.<sup>(8)</sup>

Las zonas de La Rinconada Alta y La Planicie quedan en una zona de contacto a la margen derecha de la quebrada de Pampa Grande, a lo largo de la cual hay una falla de dirección E-0 con buzamiento de aproximadamente 70° a 75° hacia el norte<sup>(8)</sup>; la quebrada de Pampa Grande es parte de otra falla más importante a lo largo del río Lurín en la zona de Cieneguilla. De allí procede la mayor parte del agua subterránea en el área del Sol de La Molina y la misma La Molina.

La Rinconada Alta, está constituida por depósitos eólicos que se sumergieron en el mar y luego emergieron<sup>(8)</sup>. También hay depósitos eólicos modernos; éstos llegaron a las playas a través del Portachuelo de Manchay y del Abra de acceso de Monterrico a La Molina, arrastradas por vientos de dirección S-N.

En la Planicie, los suelos se encuentran de 30 a 70 metros sobre la roca. Esta roca está constituida por granitos relativamente blandos, que contienen altos porcentajes de mica (moscovita y biotita). Los suelos superyacentes al basamento son suelos residuales o suelos aluviales y de poco transporte.

Para complementar este estudio se incluyen los planos Geológico y Geomorfológico de Lima, obtenida por Martínez y colaboradores (Ver Figs. 2 y 3).

# PLANO GEOMORFOLOGICO DE LIMA<sup>(9)</sup>

(Según Martínez y col. 1975)

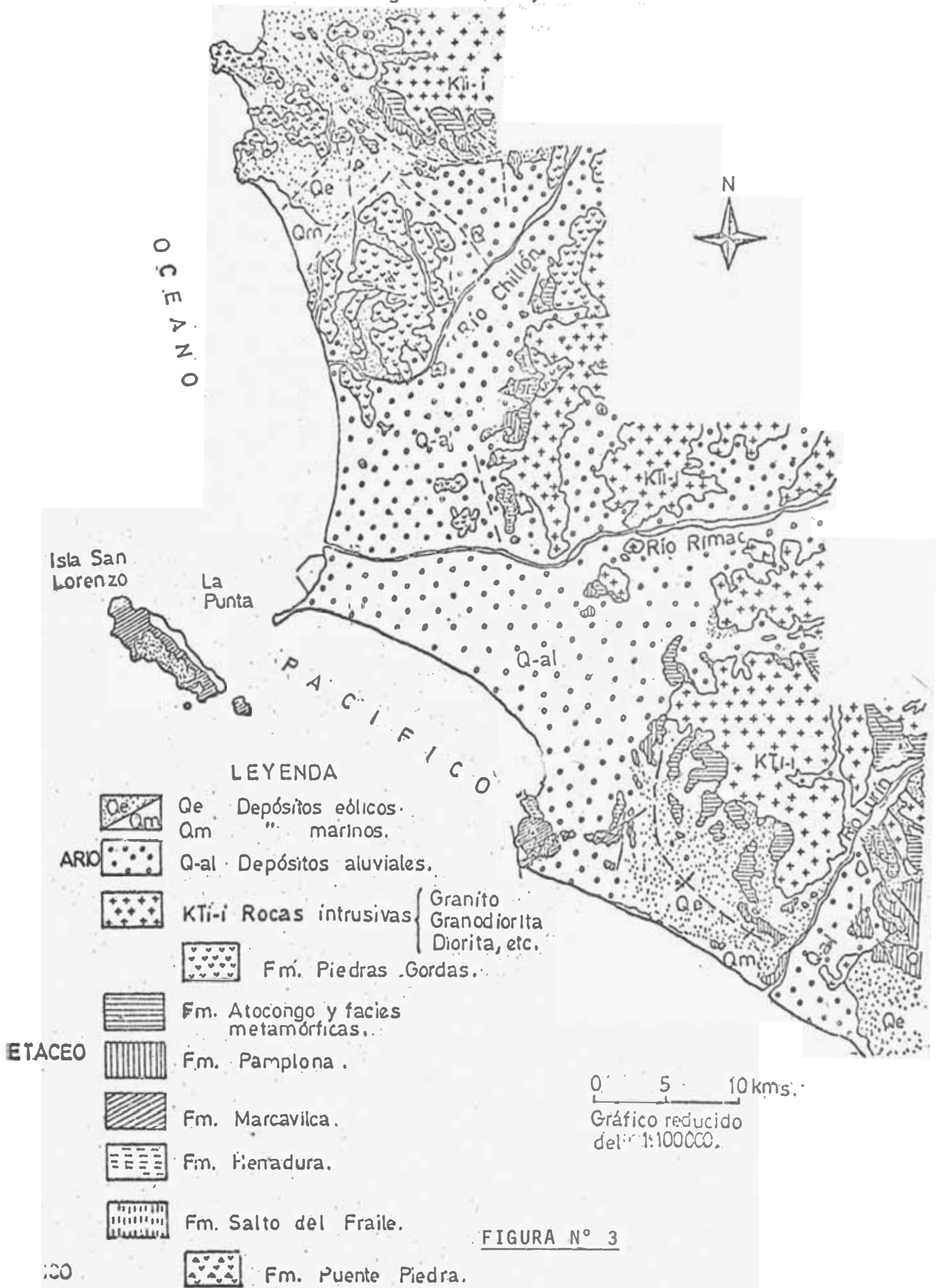


FIGURA N° 2

Gráfico reducido

# PLANO GEOLOGICO DE LIMA<sup>(9)</sup>

(Según Martínez y col. 1975)





### 3.2 TECTONICA DEL AREA. (9)

Al presente la literatura especializada en escasa, sobre la tectónica de Lima y sus relaciones con las áreas de influencia de los epicentros ubicados al Norte y Sur de Lima. Por lo que se considera que la franja de volcánico - sedimentario en los bordes del batolito presentan zonas de interés. En Pucusana se encuentra una fase del plegamiento producido a fines del Jurásico que marca la orogénesis Laramiense a fines del Cretáceo, éstas sedimentarias son falladas solamente en dos direcciones NNW - SSE y NNS-SSW. En la isla San Lorenzo, las capas buzán de 6° a 15° SW y las fallas NS son normales. En el Morro Solar, las fallas son numerosas y cuadrilladas en bloques, siguiendo solo dos direcciones: una NNE-SSW y la otra WE al sur de la gran falla de Conchán, presenta un bloque levantado en Lomas de Corvina.

Según Lissón, el Morro Solar y San Lorenzo constituyen los flancos occidentales de un supuesto domo de Lima (anticlinal), sin embargo una revisión de los buzamientos alrededor de Lima, no confirma esta hipótesis, así las capas cerca al océano muestran inclinaciones localmente, las series sedimentarias al Norte o al Este de la Capital como la Universidad Nacional de Ingeniería buzán al 30° y 40°SE, no cabe duda que éstas pendientes son perturbadas por accidentes a lo largo del eje NNE-SSW.

En general el volumen granítico y los sedimentos volcánicos al borde del pacífico están fracturados y fisurados, formando escarpas de fallas que constituyen elementos importantes del relieve a diferencia de la costa meridional del Perú. Estas fracturaciones son líneas de tensión longitudinal y de desplazamiento horizontal entre bloques.

Un análisis del esquema tectónico de la Costa

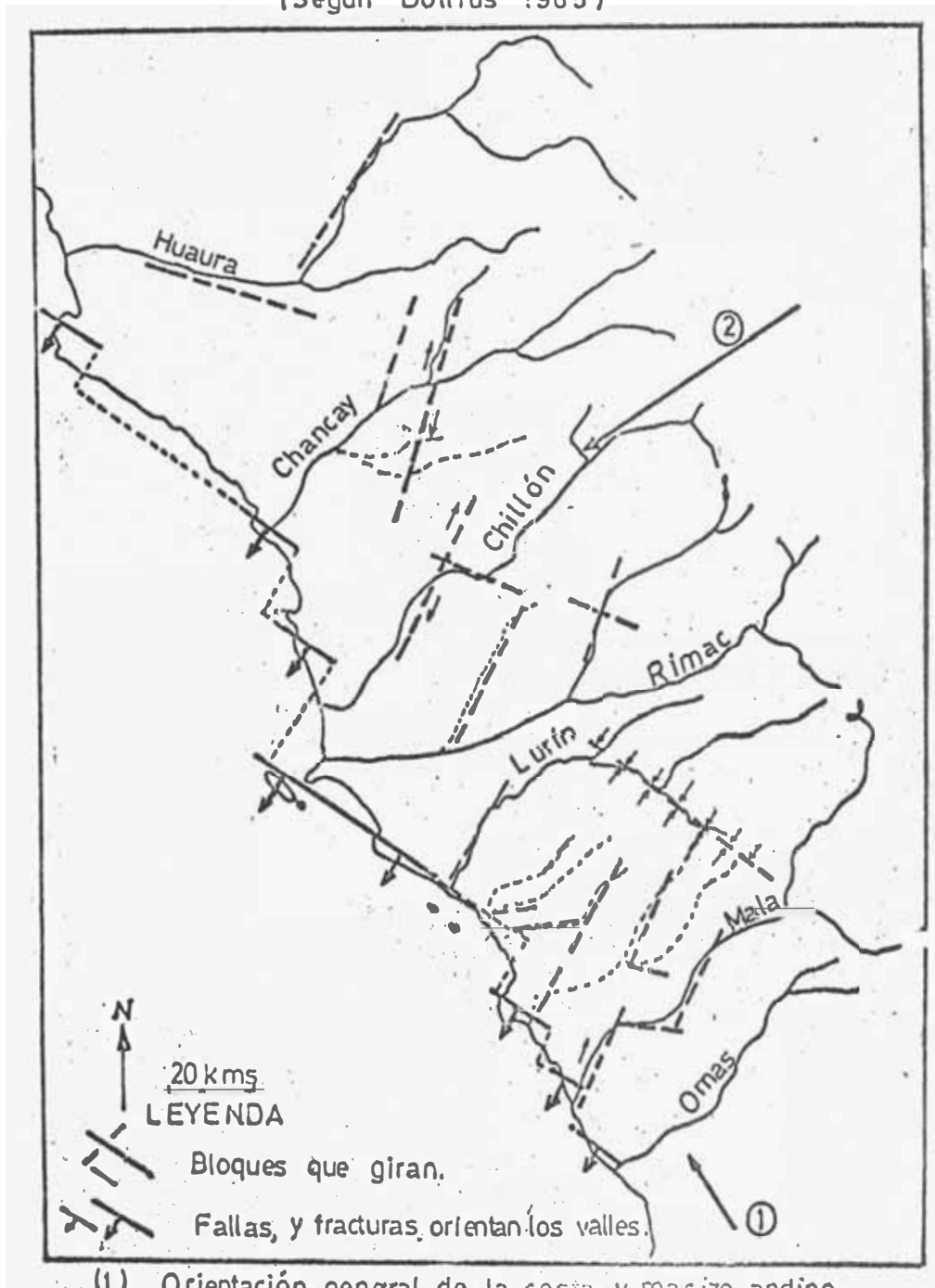
central de Dollfus (Ver Fig. 4). permiten visualizar dos hechos importantes, en primer lugar sugiere una hipótesis de un juego de fallas que descuelga y recortan grandes volúmenes de roca en forma de rombos, es decir que al sur de la costa los bloques de rocas forman una serie de capas de dirección NW, que tienen un ángulo de  $20^\circ$  con relación a la dirección general del alineamiento andino en las bases de los valles que se orientan como los valles entre Lurín y Mala, del Chillón, del Chancay. Los ejes que siguen al río Huaytará y la quebrada Miraflores no se orientan perpendicularmente a la ribera pero siguen una dirección SSW.

En segundo lugar parece que la tectónica en este sector guía las trazas de los valles, molidos en profundidad cuyas rocas favorece las filtraciones para las napas acuíferas en su escurrimiento a través de las masas fracturadas, así las aguas de Ventanilla provienen posiblemente del Chillón que se infiltra en el batolito a la altura de Trapiche, como en el Valle del Rímac en Villa atraviesan por fracturas en la formación Morro Solar y La Herradura.

Es cierto que no existen evidencias de activación de fallas recientes y en consideración de que algunos terremotos en el mundo han producido cortes y escarpes en el pleistoceno, esto indica que un modelo tectónico es cambiado en espacios cortos de 100.000 años lo que nos hace ver que para discernir y poder tomar decisiones se necesita en geología tectónica de un modelo original de por lo menos una era que resta interés al estudio tectónico por lo que actualmente se está orientando a buscar información más concreta en la teoría de las placas tectónicas como propone Lomnitz, y explica que al presente se muestra con mayor solidez, ya que los movimientos diferenciales entre las placas es la causa de la actividad sísmica, por tal razón consideramos que la presencia de la placa Nazca es de gran interés que correlacionada con la tectónica de la Costa, las fosas marinas, la moderna cordillera de los Andes, las variacio-

# PLANO TECTÓNICO DE LIMA<sup>(9)</sup>

(Según Dollfus 1965)



- (1) Orientación general de la costa y macizo andino.
- (2) Inclinación general del plegamiento.

FIGURA N° 4

nes de gravedad y magnéticas abren un camino en la predicción de los sismos para la seguridad del futuro.

### 3.3 INFLUENCIA DE LA NAPA FREÁTICA.

La posición del nivel freático (N.F.) en un terreno influye en el grado de Intensidad Sísmica. Medvedev ha demostrado que cuando los suelos presentan un alto contenido de humedad la intensidad sísmica aumenta, y este incremento puede calcularse por la siguiente ecuación empírica:

$$I = e^{-0.04 h^2} \dots\dots\dots ( 3.1 )$$

donde:

h profundidad del nivel freático medido desde la superficie (en metros)

Siendo el incremento de intensidad menor a medida que la profundidad aumenta. De acuerdo a esto y usando la escala MSK, presentamos la siguiente tabla <sup>(10)</sup>

**TABLA N° 1**  
**INFLUENCIA DEL NIVEL FREÁTICO EN EL AUMENTO**  
**DE INTENSIDAD SISMICA**

PROFUNDIDAD DEL N.F, MEDIDA DESDE LA SUPERFICIE (mts.)	AUMENTO DE INTENSIDAD ( MSK )
0 - 1	1.0
1 - 4	0.5
4 - 10	0.0

Analizando el plano de Hidroisohipsas (Ver Fig. 5) <sup>(11)</sup> y referencias de investigaciones realizadas en el área de estudio nos permite establecer que hay zonas con posible potencial de riesgo sísmico por el nivel freático. Estas zonas son Callao, Chorrillos y La Molina, siendo esta una de las razones para considerarlas zonas críticas an-

PROFUNDIDADES DE LA NAPA FREATICA

EN 1969<sup>(11)</sup>

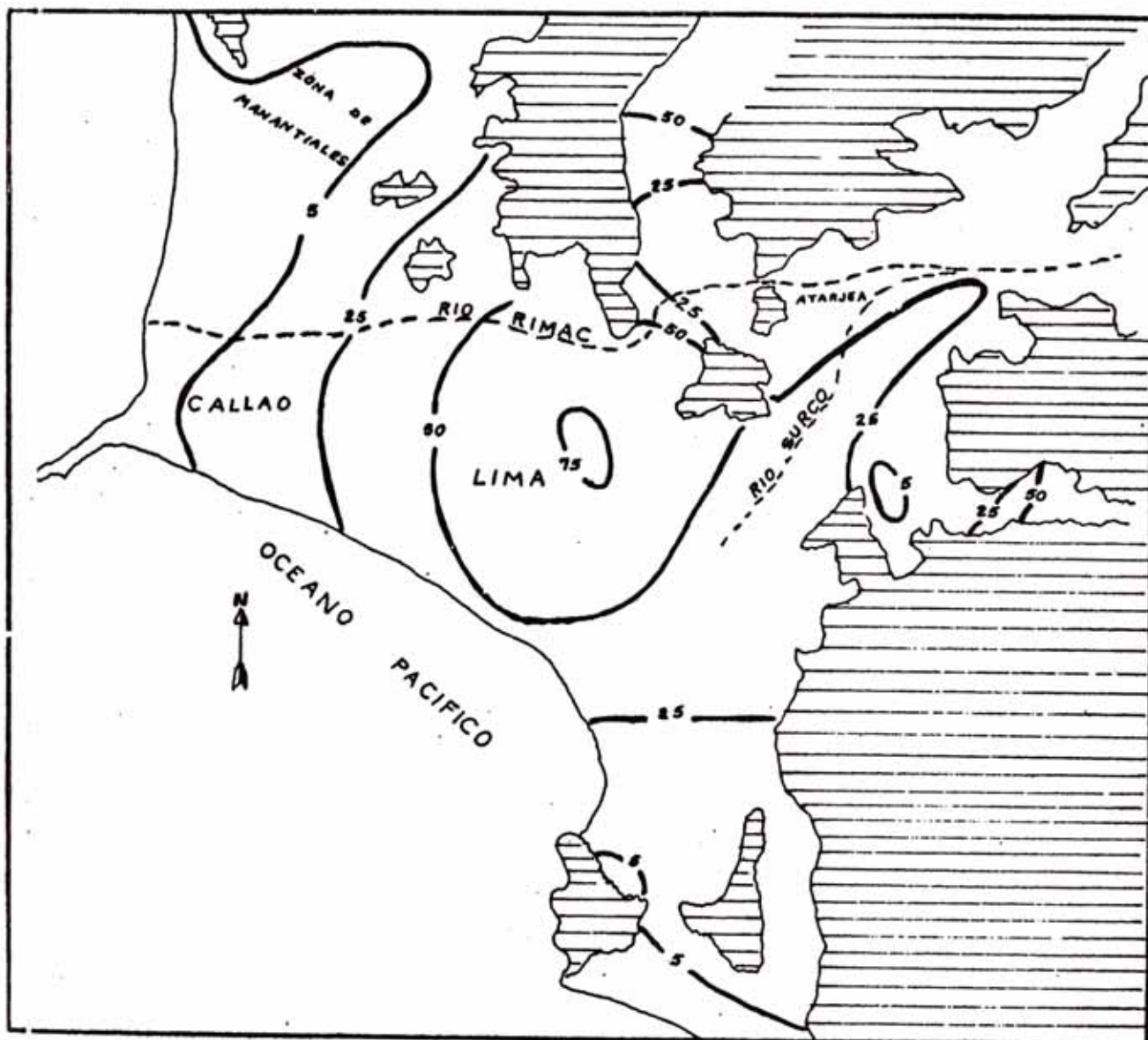


FIGURA N° 5

te la ocurrencia de sismos. Naturalmente para un estudio más detallado se requiere de mayores datos e informaciones.

Aunque no aparece en el plano de Hidroisohipsas, otra zona con napa freática alta lo constituye las riberas del río Rímac. En estas zonas la napa freática se encuentra en profundidades de alrededor de un metro, por lo tanto se recomienda no cimentar en dichas áreas; más aún, en ellas existe el peligro potencial de las inundaciones durante el período de avenidas.

### **3.4 SUELO - CIMENTACION.**

De las experiencias recogidas en el estudio de los daños, ocasionados por sismos pasados, se concluye que la influencia del suelo de cimentación en el daño producido a las estructuras es fundamental. Según el suelo de cimentación, un sismo produce diferentes efectos en las estructuras.

Se puede explicar este comportamiento mediante dos grupos de fenómenos:

- a) La amplificación del movimiento sísmico debido a las diferencias de rigidez de los estratos y a la reflexión múltiple en las fronteras de dichos estratos.
- b) Los efectos que producen los sismos sobre los suelos blandos, sensibles o sueltos, sobre todo cuando la napa freática se encuentra cerca de la superficie. Estos efectos se refieren a asentamientos, licuefacción, agrietamientos, deslizamientos, etc.

A continuación presentamos el comportamiento de los diferentes estratos ante un movimiento sísmico.

**Roca Basal.**- La roca cristalina y porque no la sedimentaria, es en general un buen asiento para la cimenta-

ción, por su gran resistencia y la probabilidad mínima de que ocurran asentamientos (salvo en el caso de una falla activa o buzamiento desfavorable), ya que esta clase de suelo tiene un período corto (desde el punto de vista sísmico), por lo tanto será aconsejable edificar, sobre este tipo de suelo, estructuras flexibles de período largo (estructuras de acero por ejemplo) y de esta manera evitar el efecto de resonancia.

Suelo incoherente (suelto). - Este tipo de suelo comprenden las gravas, cantos rodados y las arenas.

Las gravas y los cantos rodados, al ser suelos transportados tienen generalmente buen acomodo natural y por lo tanto son buenos para cimentar. Las características de éstos son: alta fricción interna (debido fundamentalmente al acomodo natural), son elásticos, permeables, sin capilaridad. Son poco seguros para cimentar si contienen cantidades considerables de limos o arcillas que pueden causar lixiviación cuando la napa freática es alta.

La arena gruesa, es bueno para cimentar cuando tienen capas compactas sin saturar y de potencia mayor de tres metros. La resistencia de este tipo de suelos aumenta con la profundidad; tiene rozamiento interno, pequeña capilaridad y alguna cohesión cuando están húmedas.

La arena fina, es muy sensible al grado de compactación que presenta, así como a su contenido de humedad, del cual depende principalmente su estabilidad. Tiene una resistencia bastante adecuada cuando está seca; mientras que representan serios inconvenientes cuando está saturada, ya que las vibraciones producidas por un sismo la convierten en arena fluída (licuefacción de la arena).

Suelo Cohesivo - En este tipo de suelos se encuentran las ar

cillas y los limos.

La arcilla, está compuesta de partículas menores a 0.002 mm., no presenta rozamiento interno, poseen alta cohesión, capilaridad pronunciada, pueden ser expansibles y son algo elásticas. En presencia de agua se debilita la cohesión lo que puede ocasionar el deslizamiento. Cuando el agua esta presente en gran cantidad, la arcilla la absorbe, aumentando su volumen considerablemente, luego al secarse se contrae y agrieta.

Cuando se le somete a la acción de cargas, expulsa lentamente el agua que contiene, proceso que puede durar mucho tiempo, dada la poca permeabilidad de este suelo; si existe arena mezclada o lentes de arenas el proceso mencionado se acelera.

El limo, es la arcilla sin cal y hasta con un 70% de arena, tiene gran capilaridad, poca fricción interna, pequeña cohesión y conserva las propiedades de compresión y expansión de la arcilla.

El limo-arcilloso, mezclado con arena y grava presenta un asentamiento limitado, constituyendo un suelo poco plástico y bastante estable.

3.4.1 Características generales de los suelos: En el trabajo práctico, el Ingeniero Civil se encuentra frecuentemente con muy diversos e importantes problemas provenientes del terreno de fundación, ya que las características de éstos es muy variada en un espacio relativamente pequeño, y sobre la cual las estructuras deben cimentarse.

En el proyecto de cualquier tipo de cimentación, el problema fundamental es evitar que se produzcan asentamientos diferenciales suficientemente grandes como para



dañar la estructura.

Casi todos los problemas que plantean los suelos son, en alto grado, estáticamente indeterminados. Dentro de las características, que originan complicaciones en los depósitos naturales de los suelos, se pueden considerar los siguientes:

- 1.- Prácticamente, el suelo es diferente en cada lugar.
- 2.- El comportamiento del suelo depende de la presión, tiempo y del medio físico.
- 3.- Un suelo no posee una relación lineal de esfuerzo deformación.
- 4.- En casi todos los casos, la masa del suelo que interviene en un problema está bajo la superficie y no puede observarse en su totalidad y solamente se le puede "estudiar" a partir de pequeñas muestras obtenidas en puntos determinados.
- 5.- La mayoría de los suelos son susceptibles a alterarse con la toma de muestras, por lo que el comportamiento medido en pruebas de laboratorio puede ser diferente al del suelo "in situ".

Estos factores se combinan entre sí, haciendo que cada problema de suelos sea particular, y para todos los efectos prácticos, imposible de darle una solución exacta.

Los métodos de laboratorio para determinar las propiedades esfuerzo-deformación de un suelo son los siguientes: compresión no confinada o simple, compresión confinada o edométrica, compresión triaxial y corte directo. Estos métodos permiten evaluar el comportamiento resistente de los suelos, sobre todo respecto al esfuerzo cortante.

Terzaghi <sup>(12)</sup>, planteó la siguiente ecuación de resistencia al corte de un suelo:

$$S = c + (\sigma - u) \tag{\phi} \quad (3.2)$$

donde:

S = resistencia al corte en el plano de falla

c = cohesión del suelo

$\phi$  = ángulo de fricción interna o ángulo de resistencia al corte

$\sigma$  = presión (esfuerzo) normal, en el plano de falla, y

u = presión neutra o de poros.

La cohesión a su vez puede ser evaluada por la siguiente ecuación:

$$c = 1/2 q_u \quad (3.3)$$

donde:

$q_u$  = resistencia a la compresión simple

El ángulo  $\phi$  es obtenido a partir de las pruebas de corte directo o pruebas in-situ. Cabe señalar que el ensayo de compresión triaxial permite, también, obtener el ángulo de fricción interna  $\phi$  y la cohesión c.

Algunas de las características de los suelos de Lima es incluido en el Anexo "A", obtenidos de los estudios de "Ensayos de Corte Directo In-situ para los Estudios de Factibilidad del Transporte Rápido Masivo de la Gran Lima", hecho por De La Rosa A. F..

**3.4.2 Interacción suelo-estructura.**- La interacción suelo - estructura, durante la ocurrencia de un sismo, es el fenómeno a través del cual los científicos de hoy explican la gran cantidad de daños que se pueden observar en las estructuras, después de un evento sísmico.

Esto es evidente, ya que los daños que pueden

presentar dos estructuras, asentadas sobre diferentes tipos de suelos, es de diferente porcentaje, estando ambas a la misma distancia epicentral.

La constitución del subsuelo definirá una serie de propiedades y características del movimiento sísmico en la superficie de la tierra, cuando ocurre una vibración en la roca base. Esta modificación de las características vibratorias se aprecia en términos de intensidad y de períodos predominantes durante los sismos.

Las ondas sísmicas, al arribar a la superficie, actúan sobre la estructura conforme sea las características del suelo, o sea las aceleraciones que sufrirán no dependerá de la magnitud del sismo y de la distancia al epicentro únicamente.

Las diferencias locales de geología, topografía y condición del subsuelo son determinantes en las aceleraciones a las que se verán sometidas las estructuras. Considerando esta estrecha relación entre el efecto sísmico y el tipo de suelo sería posible prevenir la magnitud de los daños, si desde el principio fueran tomados en cuenta, así como usar coeficientes sísmicos más cercanos a la realidad para que el riesgo sísmico no sea sobreestimado y las edificaciones sismoresistentes no sean antieconómicas.

Las ondas sísmicas son amplificadas, respecto a la intensidad en la roca basal, cuando sobre ella hay un estrato de material más blando. Se ha encontrado que durante un sismo, los estratos que descansan sobre roca son excitados de manera tal que sus vibraciones libres adquieren gran importancia. Hay un período predominante (período natural del terreno), para el que se producen las mayores amplificaciones de las ondas sísmicas, y si el período de la estructura coincide con el mencionado (o por lo menos están próximos) se puede obtener gran aceleración por resonancia, el cual debemos evitar.

La disipación de la energía vibratoria es importante, para que el daño sobre la estructura sea minimizado. El suelo transmite ondas sísmicas a una estructura, viajando ésta hasta lo alto de ella. De allí son reflejadas y, al llegar a la cimentación, parte es transmitida al suelo.

La parte transmitida dependerá del grado de acoplamiento (rigidez) entre el suelo y la cimentación (suelo-estructura). Si ésta es más rígida que el suelo, impondrá sus vibraciones y se producirá la disipación de energía. Así para estructura muy rígida sobre un suelo blando, es importante la cantidad de energía disipada de esa manera.

Cuando el período de vibración del edificio es menor que el natural del suelo, aquél debe disipar la energía, recibida del suelo, en toda su altura, antes de que se vea sujeto a un nuevo impacto. En este caso, la falla ocurriría en la cimentación. (Ver fig. 6).

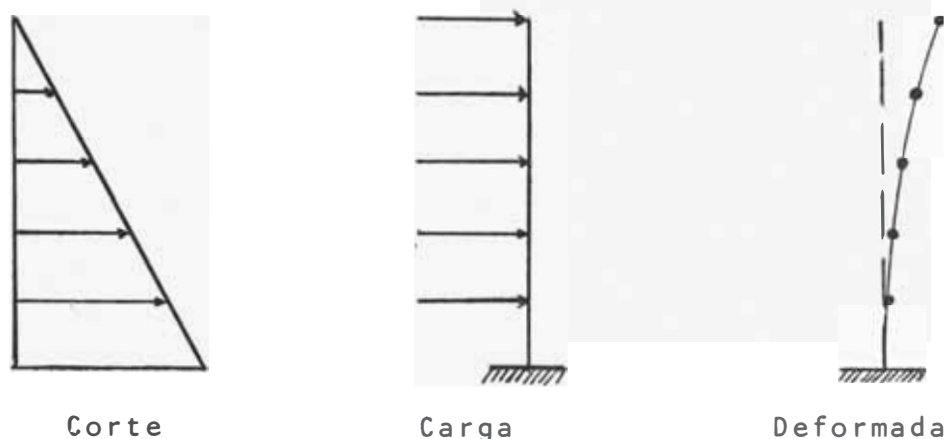


Figura N° 6

Si el edificio tiene un período natural más largo que el del suelo, el nuevo impacto llegará cuando los esfuerzos sísmicos no han acabado de distribuirse en toda la altura, produciéndose "chicotes", y la falla sería en un cierto entrepiso. (Ver Fig. 7).

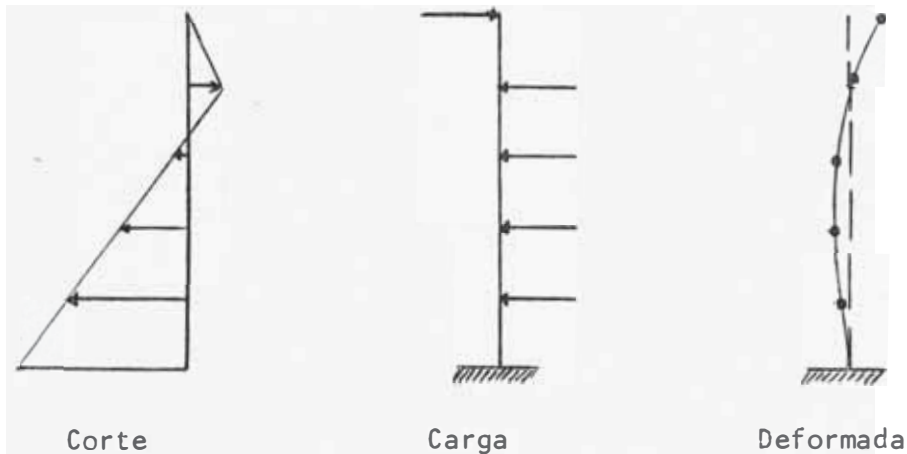


Figura N° 7.

3.4.3 El fenómeno de licuefacción.- Se define como licuefacción de un suelo, al fenómeno según el cual un suelo granular no-cohesivo saturado, pierde resistencia durante un sismo severo y adquiere un grado de movilidad muy elevada que puede alcanzar desde un metro a cientos de mts.<sup>(13)</sup>

En los últimos años se han observado, como consecuencia de este fenómeno, grandes corrimientos de tierra (Seed, 1968), movimientos laterales y descenso de rellenos en apoyos de puentes (Fukuoka, 1966; Carrillo, 1971), asentamientos e inclinación de edificios (Ohsaki, 1966; - Seed e Idriss, 1967)<sup>(13)</sup>.

Tanto los estudios de laboratorio como las observaciones en el campo, han demostrado que el potencial de licuefacción de un suelo durante un sismo depende de las características del terreno, de las tensiones iniciales que actúan sobre el mismo y de las características del sismo de que se trate. Estos factores característicos son:

1. El tipo de suelo.-La forma más fácil de caracterizar un suelo sin cohesión es, quizás, mediante su granulometría. Existen pruebas que demuestran que los suelos de granulometría uniforme son más susceptibles a la licuefacción que los suelos bien graduados; y que en-

tre los suelos de granulometría uniforme, las arenas finas tienden a licuefactar más fácilmente que las arenas gruesas o gravas.

2. La densidad relativa o compacidad.- El fenómeno de licuefacción también dependerá de la compacidad o densidad relativa de los suelos. Así puede afirmarse que, durante el suceso sísmico, una arena suelta puede sufrir licuefacción, mientras que el mismo material, pero con mayor densidad, puede no sufrir dicho fenómeno.

3. La presión inicial de confinamiento.- Existen diversas pruebas, que demuestran que ante la sollicitación sísmica, el potencial de licuefacción de un suelo se reduce al aumentar la presión de confinamiento. Ensayos de laboratorio, han demostrado a su vez, que para una densidad inicial dada, la tensión necesaria para iniciar la licuefacción bajo carga cíclica aumenta con la presión lateral inicial.

4. La intensidad del sismo.- Las tensiones o deformaciones inducidas en el suelo, por un sismo y que causan la licuefacción, están relacionados con la intensidad de las sacudidas.

5. La duración del movimiento sísmico.- Es importante por que determina, en forma general, el número de ciclos significativos de tensión o deformación a que esta sometido el suelo, durante la ocurrencia de un sismo.

#### 3.4.4 Influencia del tipo de suelo en el comportamiento Sísmico.

El tipo de suelo aumenta los grados de intensidad de la escala Mercalli Modificada (M.M.), de acuerdo

al siguiente cuadro. (14)

CUADRO N°6

**TIPOS DE SUELOS Y AUMENTO DE GRADOS DE  
INTENSIDAD M. M.**

SUELOS	GRADO DE PELIGROSIDAD	AUMENTO DE GRADO M.M.
<u>Sueltos y fangosos</u>		
I.- Sedimentos, cantos rodados, arena, turba.	-Crece al aumentar el contenido de humedad.	1 a 3
II.- Arcillas, margas, loess, limo.	-Secos en capas cerradas no son peligrosos -Muy secos resultan quebrado. Muy húmedos forman fangos	1 a 3
III.- Rellenos naturales o artificiales.	-Peligroso, aumenta con el aumento de tamaño y angulosidad de las partículas (y/o con el aumento del contenido de agua).	2 a 3
IV.- Pantanos y lagos secos	-Máximo peligro	3 a 4
<u>Suelos formados por la descomposición de la roca</u>		
V. Cuarzos, pizarra mármoles, dolomitas	-No son peligrosas	0
VI.- Arenisca, brechas, conglomerado de arena y grava.	-Peligrosa, crece con el aumento del espesor del estrato sedimentario, así como la angulosidad de las partículas. -Cuando el estrato tiene un espesor muy grande el peligro disminuye.	1 a 2

(continua.....)

(.....continua)

<p>VII.- Granitos, porfidos de cuarzo, traquitas, daritas, gneis, suelos (hasta limosos) fragmento de granito.</p>		<p>1 a 2</p>
<p>VIII.- Basalto, fonolitas, grauvacas, pizarras arcillosas, tobas, limos y arcillas muy profundas cuando provienen de la pizarra arcillosas y tobas.</p>		<p>1 a 3</p>

En referencia al aumento del grado de intensidad en la escala M.M., por la variación del tipo de suelo se tiene por ejemplo, cada vez que ocurre un sismo cercano y/o de regular intensidad (como el que motiva nuestro estudio) en la zona de Lima, se aprecia que entre el centro de la ciudad, el Callao, Chorrillos, La Molina, Rímac y otras zonas, se produce intensidades diferentes, en razón fundamental al tipo de suelo que existen en cada una de estas zonas. Este es una de las razones fundamentales, para que en ellas se apreciaran daños mayores en las construcciones (incluso las más recientes y modernas), sobre todo en las zonas de Chorrillos, La Molina y el Callao, donde los suelos son malos para llevar a cabo una cimentación normal, requiriendo de estudios y sistemas especiales para realizarlo.

Se incluye, por considerarlo de interés, el plano de suelos de Lima, preparado por Martínez, obtenido como un avance preliminar que trata de materializar la información útil en geotécnia, que se recomienda perfeccionarlo y actualizarlo (ver Fig. 8).



# PLANO DE SUELOS DE LIMA<sup>(9)</sup>

(Según Martínez, 1975)



FIGURA N° 8

# CAPITULO IV

## ASPECTOS SISMOLOGICOS

### 4.1 UBICACION, EPICENTRO E HIPOCENTRO.

La República del Perú, situada en la parte Central Occidental de América del Sur, se encuentra en el Cinturón Circum-Pacífico que es la zona sísmicamente más activa de la tierra (80% de sismicidad) y por tal razón se halla sometida a frecuentes fenómenos telúricos tales como sismos, erupciones volcánicas, etc., que son muestras de la actividad tectónica que se sucede ininterrumpidamente en nuestro planeta.

Si consideramos los últimos sismos ocurridos en nuestro país nos daremos cuenta que sus epicentros se hallan ubicados en las profundidades del mar a distancias relativamente cercanas a la Costa Peruana o en la Costa misma y el origen de los mismos se debe a la actividad de la "Placa de Nazca" establecida en el fondo del Océano Pacífico, y que se está desplazando hacia la base de los Andes o "Placa Sudamericana", sobre el que se encuentra asentado el suelo costero peruano. Ambas placas tectónicas litosféricas son de 50 a 100 Km, de espesor,

La Placa Sudamericana nace en la cordillera meso-oceánica del Atlántico y avanza hacia el nor-oeste; y la Placa Nazca nace en la Cordillera del Pacífico Oriental y avanza hacia el Este. El encuentro de estas dos placas ha originado la Cordillera de los Andes y la continua interacción de ambas ha dado origen a la mayoría de los fenómenos sísmicos que ocurren en esta región.

El sismo del 3 de Octubre de 1,974, es pues, una consecuencia de la acción de estas placas, por cuanto su epicentro fue ubicado por el NEIS (National Earthquake Information Service) del United States Geological Survey (USGS), en los  $12.3^{\circ}$  Latitud Sur y  $77,8^{\circ}$  Longitud Oeste, a unos 80 Km. en la dirección Sur Oeste de Lima.

La profundidad de foco (hipocentro) no pudo determinarse con los registros de los sismógrafos ubicados en las estaciones Geofísicas del País, porque las agujas "volaron" al registrar el fuerte sismo por la cercanía del epicentro; pero con datos proporcionados por otras estaciones de otros países como Chile, Colombia o Estados Unidos, se pudo determinar la profundidad del foco, tal como lo hizo el NEIS que fijó en 13 Km.

#### **4.2 MAGNITUD.**

Una forma de medir los sismos; de manera aproximada; en función de la cantidad de energía almacenada, por acción del movimiento diferencial, entre las dos placas anteriormente descritas, y liberada durante la ocurrencia de un sismo; constituye la MAGNITUD SISMICA.

Referente a la magnitud del sismo del 3 de Octubre de 1,974, ha existido cierta controversia. El Instituto Geofísico del Perú, según el sismógrafo local, computó para el  $M_b$  (magnitud corpórea o volumétrica) un valor de 5.6 en la escala de Richter; sin embargo, datos telesísmicos de estaciones más lejanas ubicadas en el mundo, dan valores al rededor de 7.8 para  $M_s$  (magnitud de onda superficial),

Esta discrepancia puede ser explicada por la multiplicidad del evento principal (Spence, 1,975; Berrocal, Shikiya 1975, Huaco 1,975). El valor del  $M_s$  correspondería a la superposición de varias de las sacudidas múltiples (por lo menos tres en los primeros 25 segundos) del sismo prin-

cipal, en tanto que el valor  $m_b$  corresponde solamente a la sacudida más intensa <sup>(15)</sup>. Siendo así, es probable que las observaciones telesísmicas en las componentes de período largo hayan sido afectadas por multiplicidad del evento, dando como resultado magnitudes anormalmente altas.

El valor final del sismo del 3 de Octubre de 1.974 adoptado por el USGS es  $m_b = 6.6$  y  $M_s = 7.6$ . Estos valores no guardan correspondencia conforme a la relación sugerida por Gutenberg y Richter (1,954), en la cual  $M_s$  es igual a  $1.59 m_b - 3.97$ ; ya que para el valor  $m_b = 6.6$ , le corresponde un  $M_s = 6.6$  y para el valor  $M_s = 7.6$  le corresponde  $m_b = 7.3$ . La posible multiplicidad, en algunos casos, de los sismos de gran magnitud podría ser responsable de este fenómeno.

El valor  $m_b = 6.6$  aparentemente es el más apropiado para representar la magnitud del sismo del tres de Octubre de 1,974. Este valor resulta de una energía liberada de  $43.65 \times 10^{20}$  ergios de acuerdo a la fórmula de conversión de Gutenberg y Richter.

#### 4.3 INTENSIDAD E ISOSISTAS.

La INTENSIDAD sísmica o grado de violencia de las vibraciones causadas por un sismo, se determina por la forma como son percibidas por el hombre, por el grado de destrucción que causan sobre las estructuras hechas por él y por el efecto que tiene sobre la naturaleza.

Todos estos parámetros hacen ardua la tarea de interpretar los datos de intensidad recogidos luego de la ocurrencia de un evento sísmico importante.

También es necesario anotar que la máxima intensidad se produce en el epicentro y disminuye con la distancia epicentral. Una forma de medir estos efectos, es me

diante la escala de intensidades, estando esta escala basada en los efectos causados en las personas, en las construcciones y en el paisaje natural.

Existen varios tipos de escalas de intensidades, siendo la más utilizada, el de Mercalli (1,928), el cual fue modificada por Richter en 1,956. Esta escala trata de establecer una relación entre las aceleraciones y los efectos del sismo. La escala en mención considera XII grados, tomando en cuenta sismos casi imperceptibles hasta los que ocasionan grandes daños, tal como se puede ver en el Anexo N° "B".

De las diferentes evaluaciones realizadas por diferentes instituciones, tanto nacionales como extranjeras y de observaciones directas de campo, se llega a la conclusión de que, el sismo del 3 de Octubre de 1,974, produjo en el área de estudio intensidades que varían desde V hasta IX en la escala de Mercalli Modificada (M.M.).

Es de notar en cualquier área determinada la presencia de diversos grados de intensidades; por lo tanto, al asignarle una intensidad definida, se ha tomado en consideración el grado predominante que puede observarse en ella.

La variación de los valores asignados a las intensidades se debe, en parte, a lo subjetivo de la escala y a su carácter esencialmente cualitativo.

De acuerdo a lo anteriormente dicho, la distribución de intensidades es como sigue: <sup>(15)</sup>

- 1) Intensidad V. -Se encuentra distribuída principalmente en grandes áreas en el Sector sur de la ciudad, incluyendo parte de los distritos de Miraflores, San Isidro y sur, así como un pequeño sector del distrito de Lima y un área más pequeña en el distrito de San Miguel

2) Intensidad VI.- Esta intensidad corresponde a muchas áreas grandes en distintas partes de la ciudad, El total del área del grado VI cubre un área mayor que cualquier otra intensidad.

3) Intensidad VII.- Esta intensidad se observa distribuída en forma más definida, abarcando un area regular en la parte central de Lima, de forma elongada con su eje mayor aproximadamente perpendicular a la línea de costa e incluye parte de los distritos de Lima (Cercado) y de Jesús María, en este caso, esta área seguirá aparentemente un antiguo curso del rio Rímac.

Esta intensidad también se observa en áreas apreciables al borde sur-este de la ciudad, abarcando parte de los distritos de Surco, La Molina, Ate, de igual modo que en La Punta y en un área pequeña de San Miguel.

4) Intensidad VIII.- Se observa en áreas del borde sur y sureste de la ciudad, fundamentalmente en el área de Chorrillos, próximo al Océano; y en un área de La Molina.

5) Intensidad IX.- Esta intensidad se observa en forma muy restringida en el área de Chorrillos al borde de Océano.

En general las intensidades observadas tienen una distribución tal que puede ser explicada sobre la base de las condiciones del subsuelo de Lima, la distancia epicentral, el estado de las viviendas y edificios antes del sismo.

Para visualizar mejor la distribución de intensidades, incluimos el plano de isosistas, en el área de estudio (Ver fig N° 9).

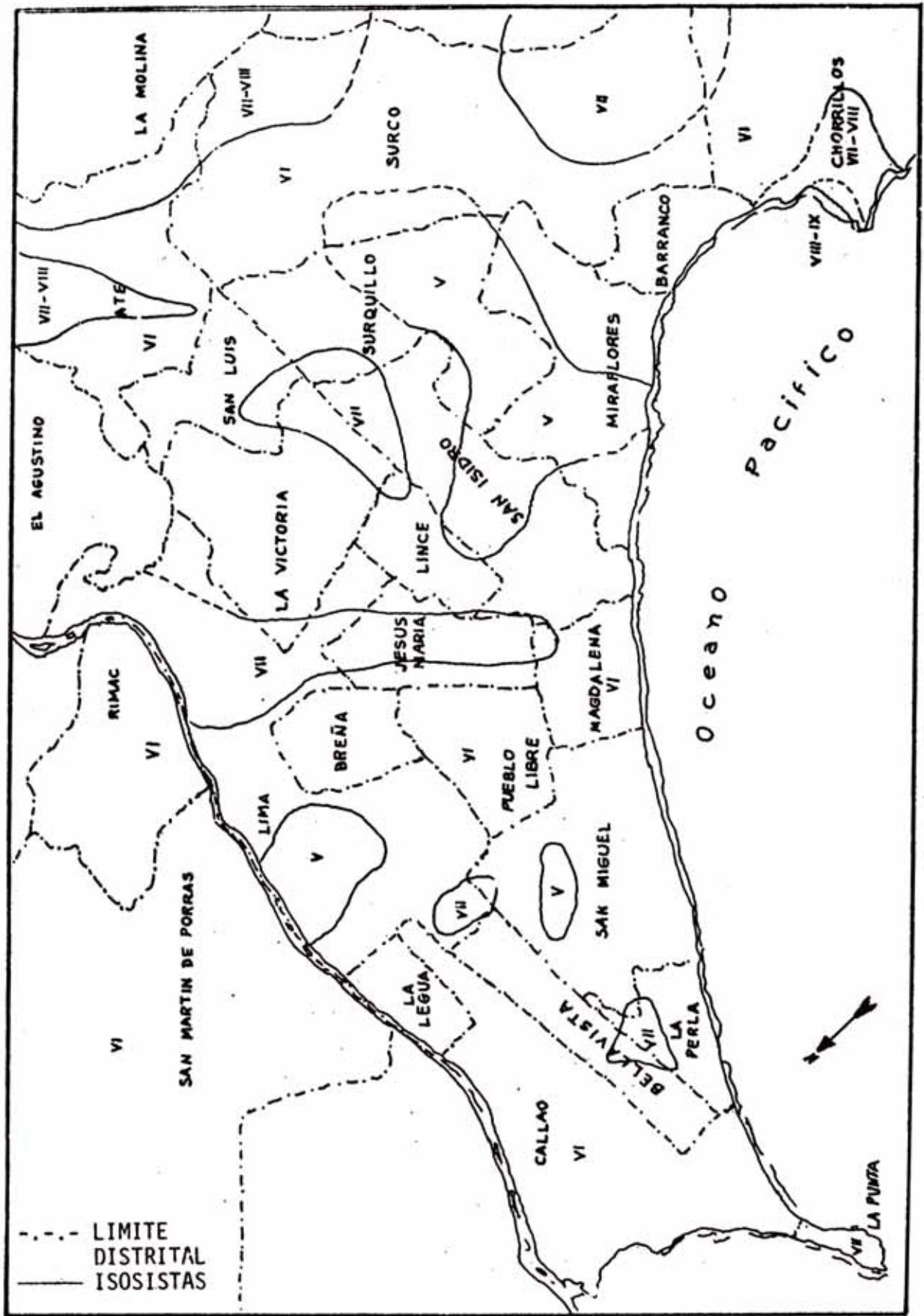


FIGURA N°9

PLANO DE ISOSISTAS SEGUN I.G.P.

A manera de comparación también presentamos, el plano de isosistas elaborado por el Dr. Husid y colaboradores (16) (Ver fig. N° 10). Haciendo la comparación respectiva, se puede ver que mayormente no coinciden en el grado asignado a cada sector, en algunas la variación es mínima; y esto es explicable dado el carácter subjetivo de la escala de Mercalli Modificada.

También incluimos, el mapa de isosistas, proporcionado por el I.G.P., de acuerdo a la distancia epicentral. Las curvas isosistas se aproximan a elipses de mucha excentricidad con el eje mayor paralelo a la costa (Ver fig. N° 11),



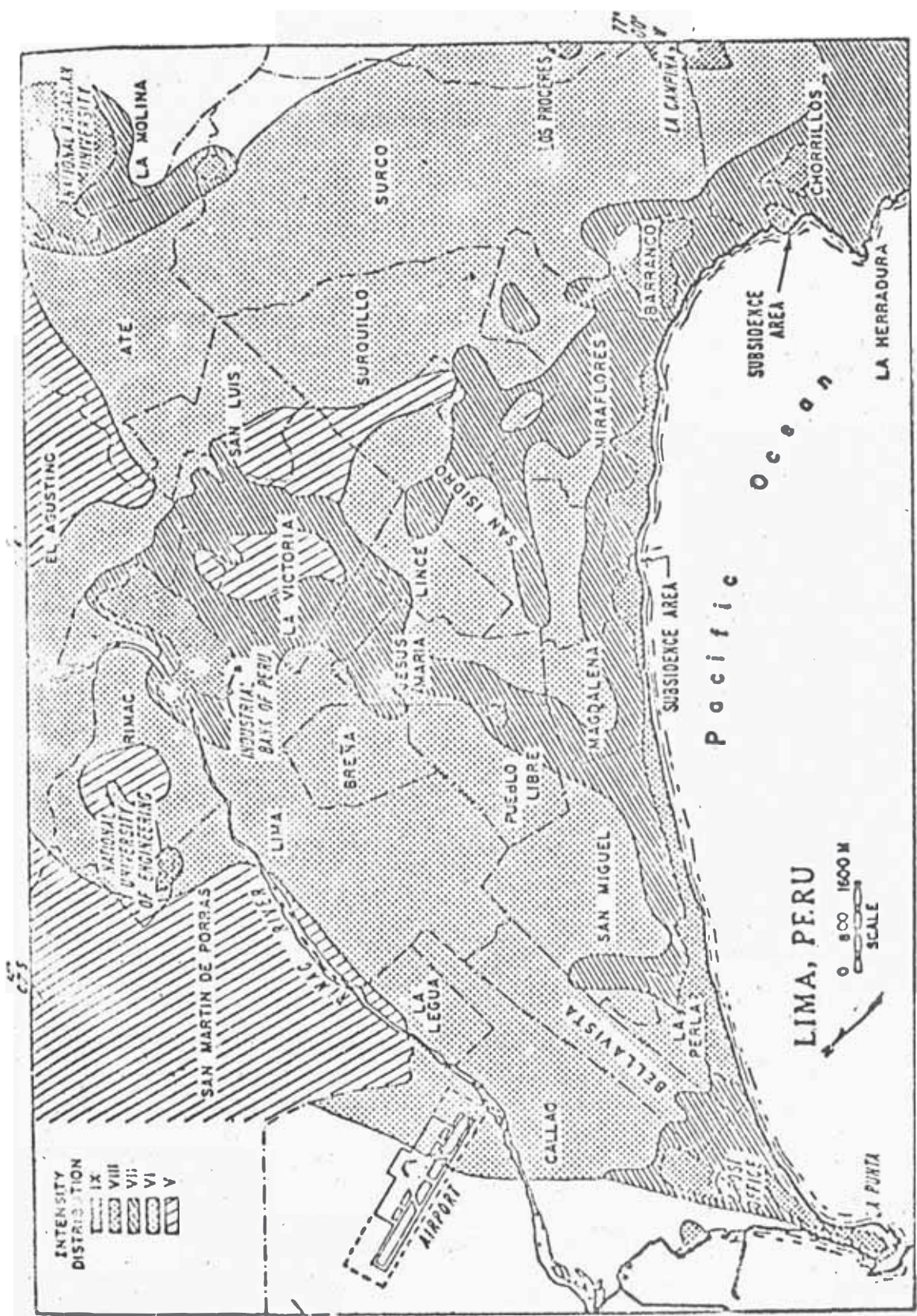
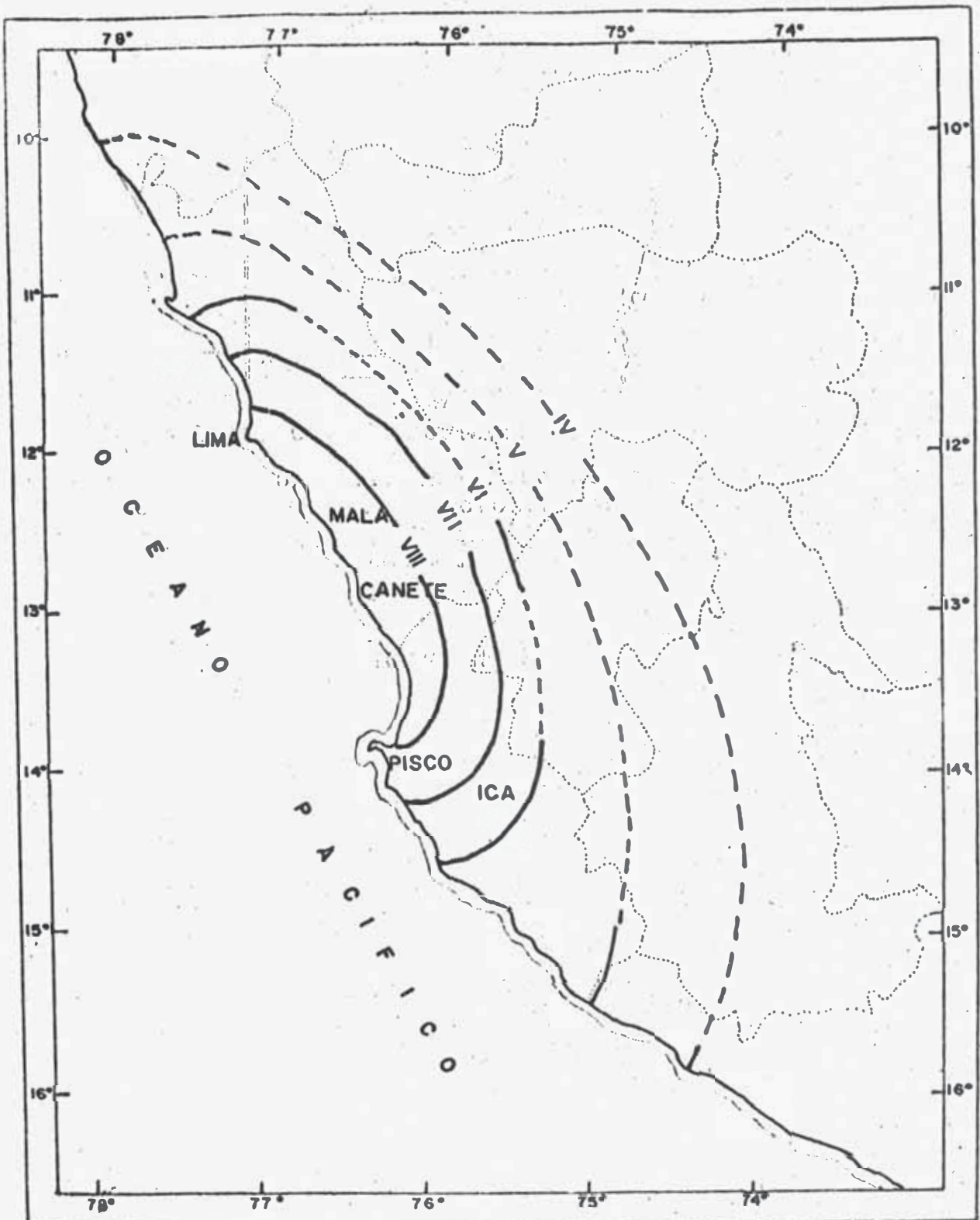


FIGURA N° 10

ISOSISTAS SEGUN HUSID Y COLABORADORES



ISOSISTAS DEL TERREMOTO DEL 3 DE OCTUBRE DE 1974.  
(I.G.P.)

FIGURA N° 11

#### 4.4 ACELERACIONES Y ESPECTRO.

Los componentes de la aceleración del suelo, provocados por un sismo, están constituidos por ondas de diferentes períodos y amplitudes, de tal manera que no pueden ser definidos por estos parámetros solamente, como se podría por ejemplo, en el caso de una vibración armónica que tiene períodos y amplitudes constantes.

Las vibraciones sísmicas, que son arbitrarias, se definen por el efecto máximo que producen sobre modelos mecánicos standards, de un grado de libertad (una sola masa concentrada que vibra en un plano), que tiene valores de amortiguamiento y períodos naturales de vibración que están dentro del rango de las correspondientes estructuras reales.

A la curva continua, para un amortiguamiento dado, que representa la respuesta máxima del modelo a la excitación, teniendo como variable el período natural de vibración se llama "ESPECTRO", el que puede ser ya sea de aceleración, velocidad o desplazamiento, según la naturaleza de la respuesta máxima que se mide en el modelo. Es fácil comprender que resulta sumamente laborioso el cálculo del espectro de un sismo dado y solo es posible determinarlo con ayuda de computadoras.

Los espectros, además de definir las características del sismo (y por lo tanto las características dinámicas del suelo en el lugar del registro), promediados, se utiliza en el diseño de estructuras por el método llamado "Respuesta Espectral". En este método de análisis están basadas las normas antisísmicas modernas del mundo.

Para la Ingeniería es importante la obtención de registros del movimiento sísmico destructivo que permitan cuantificar y conocer las particularidades de la acción sísmica sobre las construcciones.

El instrumental más adecuado para obtener estos registros son los sismocópios y los acelerómetros de terremotos. Los primeros miden el efecto del movimiento telúrico en un edificio al que simulan; mientras que los segundos dan a conocer la evolución de la acción sísmica en los sucesivos instantes.

Con ocasión del sismo del 3 de Octubre de 1,974, el I.G.P. obtuvo dos acelerogramas en Lima, uno del acelerógrafo Montana instalado en la oficina del I.G.P. de la Av. Arequipa 701 y el otro SMA-1, en la Urbanización Las Gardenias, Surco. Ambas estaciones se encuentran en una distancia epicentral de 81 Km.

Estos registros muestran un conjunto de características interesantes:

- 1°) La larga duración del sacudimiento, con un tiempo total de 99 segundos.
- 2°) Altas aceleraciones (mayores que 2% y)
- 3°) Gran cantidad de períodos cortos (menores de 0.1 seg.)

El máximo de aceleración alcanzó a 0.228g en la componente N82 W (Ver fig. 12), mientras que para los componentes N8E y vertical fue de 0.22 y 0.14g respectivamente.

El período predominante, T, determinado del espectro de respuesta con cero de amortiguamiento, es alrededor de 0,35 seg. Por comparación, el período predominante espectral en Lima, medido a causa de los terremotos del 17-X-66, 31-V-70 y 5-VI-74 estaba en el rango de 0,1 a 0.16 segundos (16) ..

En un estudio (26) realizado con el objeto de apreciar el desarrollo de las sollicitaciones en los distintos vibradores lineales amortiguados con que se simula en

N 82° W

REGISTRO ACELEROGRAMA LIMA

SISMO 3-X-74



FIGURA N° 12

(I.G.P.)

primera aproximación a las construcciones, se han determinado los espectros correspondientes a distintas duraciones del citado registro obtenido en Lima el 3-10-74, utilizándose - su componente N82W, la que alcanzó un máximo de 22.8% de g. a los 19.8 segundos de iniciado el registro.

Se han determinado las curvas espectrales en tre períodos 0.1y1.0 segundos para amortiguación 2 y 10% con duración del sismo de los primeros 5,10,15,20 y 30 segundos (Ver Fig. N°13).

Otro estudio realizado por Ríos R. (27) acerca de la amplificación de sismos por causa del suelo de Lima a partir de los acelerogramas del sismo del 3-10-74, nos hace ver importantes observaciones.

Este trabajo enfoca el problema de la amplificación debida al suelo a través de un análisis comparativo entre las zonas cuestionadas y la zona de comportamiento definido de Lima. Para cada uno de los sitios de estudio (La Molina y el Callao, ver Fig. N°14) se ha usado un perfil estratigráfico determinado por ingenieros especialistas en Mecánica de Suelos. Se ha escogido los perfiles más representativos desde el punto de vista geológico, de manera que las conclusiones a que se llegue puedan ser generales para la zona. Se ha considerado tres sitios para La Molina (A, B y C) y uno solo para el Callao (D).

Los acelerogramas se han enumerado de la siguiente manera:

Registro en el Instituto Geofísico.

1. Componente E-W.
2. Componente N-S.

Registro en la casa del Dr. Huaco.

3. Componente E-W.

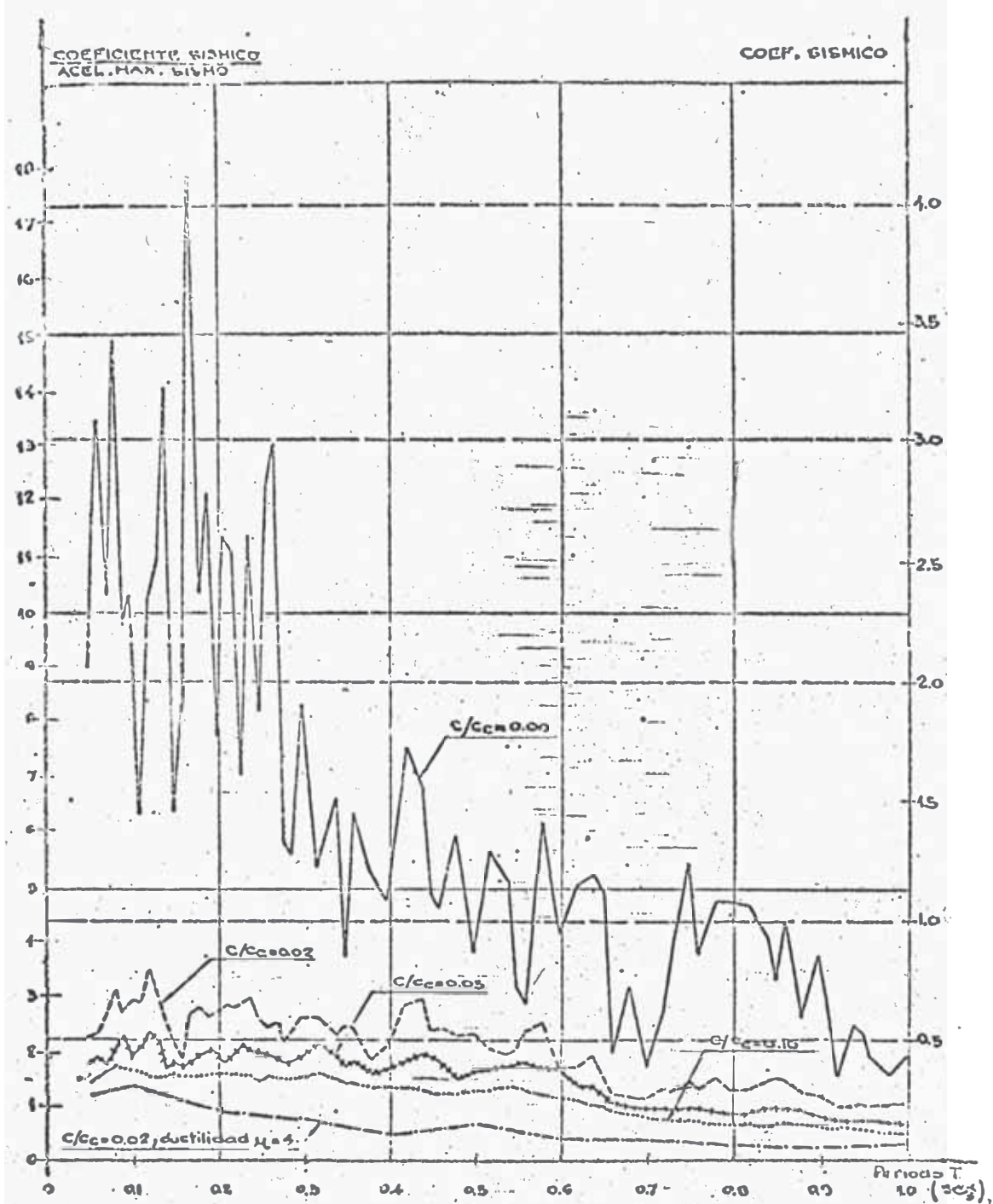
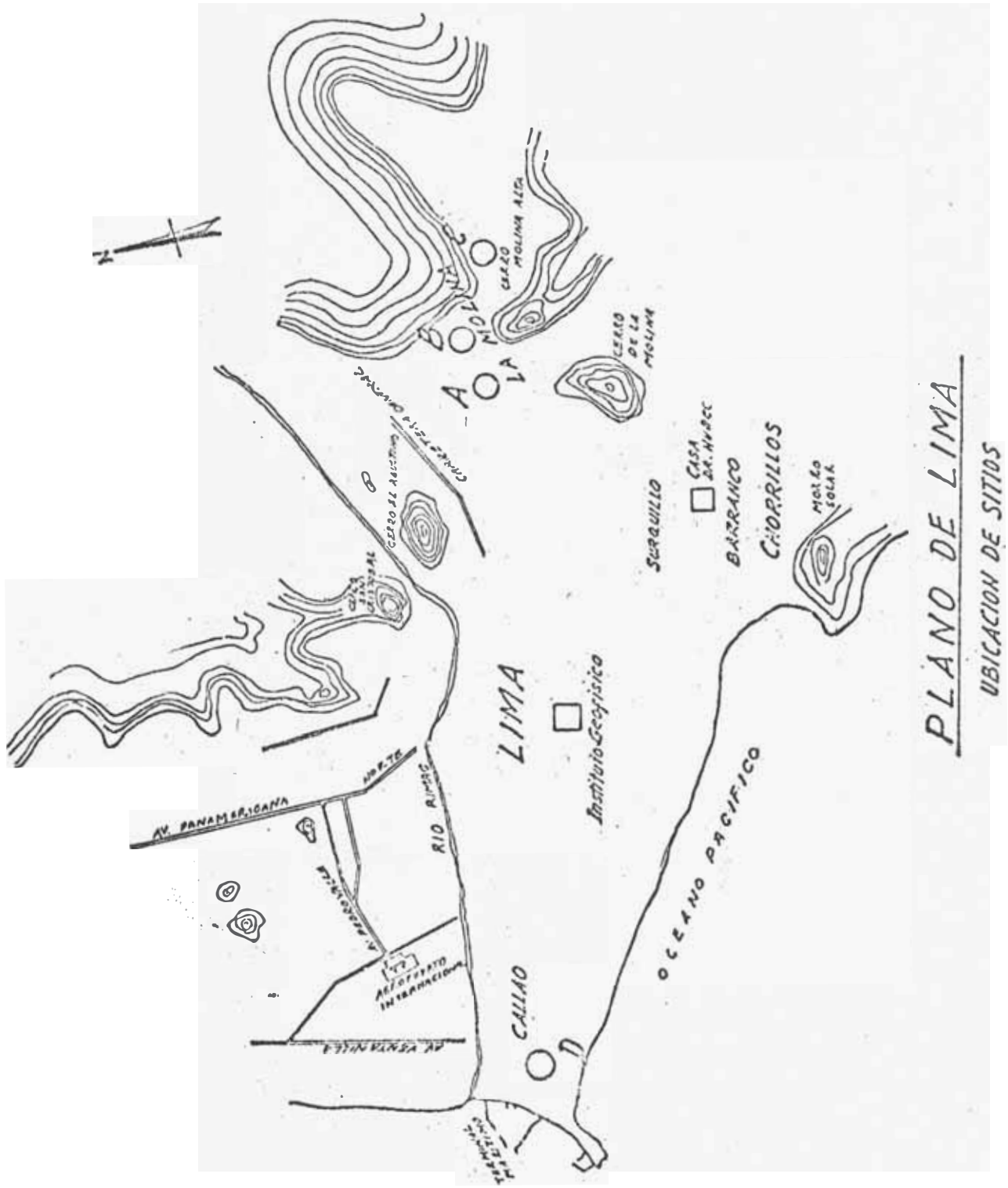


Figura 2: ESPECTROS COEFICIENTES SISMICOS  
 SISTEMA ELASTICO  
 ACELEROGRAMA: SISMO LIMA 3-X-74  
 Componente: N82W- Acel. máx. = 0.228 G



**PLANO DE LIMA**

UBICACION DE SITIOS

FIGURA N° 14



#### 4.- Componente N-S

De la combinación de los sitios (A,B,C y D) y de los diferentes acelerogramas (1 al 4) se obtuvo un total de 16 acelerogramas modificados por las condiciones del suelo. Para cada uno de ellos se calculó el espectro de aceleraciones para amortiguamientos de 0, 1, 5, y 10% del amortiguamiento crítico. Igualmente se calculó los espectros para los acelerogramas originales correspondientes a la zona central de Lima, que como se ha indicado anteriormente tienen valor comparativo.

De los gráficos y tabulaciones se puede hacer las siguientes observaciones:

I) Amplificación de las aceleraciones máximas de los acelerogramas:

1. Las amplificaciones máximas se presentan con un valor de 2,75 para el caso 1C,
2. Se observa amplificaciones máximas de 2.48 y 2,31 para los casos 2D y 1D.

II) Amplificación de las aceleraciones máximas de los espectros:

Zona de La Molina

1. Los valores máximos corresponden al caso 3A y son 5.23, 4.40, 3.12 y 2.89 para amortiguamientos de 0, 1, 5 y 10 % respectivamente.
2. Para los sitios C y B se presentan condiciones de amplificaciones similares.
3. Las máximas aceleraciones se desplazan a períodos de 0.2 a 0.6 seg.

Zona del Callao

4. La máxima amplificación se presenta para el caso 2D, su

valor es 2.48,

5. Las máximas aceleraciones se desplazan a períodos de 0.1 a 0.3 seg.

En general la magnitud de las aceleraciones de los espectros disminuye de manera muy importante al considerar el amortiguamiento y la ductilidad de las estructuras. Se observa el efecto del amortiguamiento en los espectros, por la forma en que decrecen las aceleraciones conforme él aumenta; es particularmente notorio este efecto para los picos de aceleración o zonas críticas.

#### **4.5 REPLICAS DEL SISMO.**

Después del movimiento que causó la onda principal del sismo, se han sucedido numerosas réplicas que se han ido reduciendo en sus ocurrencias según el tiempo, así como en magnitud e intensidad.

Inmediatamente después de ocurrido el sismo principal, que estremeció Lima a las 09h 21 min. 45 segundos (hora local), del 03-10-74, el Instituto Geofísico del Perú (IGP) movilizó dos sismógrafos portátiles que fueron instalados en Guadalupe y Cañete. Posteriormente el IGP instaló un sismógrafo en Chilca y reinstaló otro en Ancón. Toda esta actividad fue para el estudio de las réplicas. A los pocos días de ocurrido el sismo principal, llegó a Lima un grupo de sismólogos del Servicio Geológico de los Estados Unidos (United States Geological Survey, USGS), quienes trajeron cinco sismógrafos portátiles para el estudio de las réplicas los cuales fueron instalados en Paracas, Miraflores (Pensión Miramar-Lima), Chilca-Lima, Huacho y Minas Condor-Ica (Ver Tabla N° 2).

A parte de los datos registrados por los sismógrafos mencionados anteriormente, se contaba también con los datos de las estaciones permanentes operadas por el IGP

en Magdalena, Ñaña y Huancayo; así como de la estación de Arequipa operada por el Instituto Geofísico de la Universidad Nacional de San Agustín (IGA),

De acuerdo a los datos proporcionados por estas estaciones sismológicas, se pudo apreciar que en menos de una hora se produjeron 25 réplicas; hasta la medianoche de ese día se produjeron 64 réplicas, de las cuales las personas sólo sintieron aproximadamente 12. Durante el día 4 de Octubre, ocurrieron 21 réplicas de las que sólo fueron sentidas desde un primer piso un temblor cada dos horas aproximadamente. Esta frecuencia disminuyó considerablemente el día 5, en que sólo se percibieron a nivel sensorial un temblor cada 6 horas.

De manera general se puede decir que más de 500 réplicas se han producido durante las primeras 36 horas luego del sismo principal, y más de 1,300 en el curso de la primera semana, llegándose a observar más de 2,000 hasta el 31 de Diciembre de 1,974.

Las réplicas más saltantes fueron las que se sucedieron el 09/10/74 a las 16h 54 minutos 32 segundos, siendo su magnitud 4.9 en la escala de Richter; y especialmente la que tuvo lugar el 09/11/74 a las 09h 00 minutos 00 segundos, con una magnitud de 6.0 ( $M_s = 7.2$ ) en la misma escala.

El sismo principal y sus réplicas tuvieron lugar en el área que Kelleher (1,972) señalaba como la más probable para la ocurrencia de un sismo destructor (15).

El área epicentral de las réplicas ocupan un rectángulo de 190 Km.x 100 Km. aproxim. como se observa en la Fig. N° 15, en su lado mayor orientado en NW y SE, en la cual se distingue dos núcleos de epicentros, que uniendo sus puntos centrales, se obtiene una recta con una orientación parecida al rumbo del fracturamiento ocasionado por el sismo

## T A B L A N°2

PARAMETROS DE LAS ESTACIONES DE LA RED SISMOGRAFICA.  
 LOCAL PARA EL ESTUDIO DE LAS REPLICAS DEL SISMO DEL  
 3 DE OCTUBRE DE 1974

ESTACION	ALTITUD (mts)	LAT. (SUR)	LONG. (OESTE)
Arequipa (ARE) *	2,452	16° 27.7 m.	71° 29.5 m.
Ñaña (NNA) *	575	11 59.3	76 50.5
Huancayo (HUA) *	3,313	12 02.3	75 19.4
Magdalena (SP-2) *	70	12 05.1	77 03.6
Cañete-Hotel (CA-1)	31	13 04.4	76 23.3
Cañete-Fundo (CA-2)	32	13 04.0	76 23.8
Chilca (CL-1)	90	12 31.1	76 47.6
Huacho (HU-1)	75	11 05.5	77 34.3
Paracas-Hotel (PA-1)	2	13 50.0	76 15.3
Paracas-Museo (PA-2)	2	13 51.6	76 16.1
Guadalupe (GU-1) *	550	14 00.3	75 47.5
Pensión Miramar (MAR)	68	12 07.1	77 02.3
Canta (CT-1)	2,837	11 27.7	76 37.4
Condor-Ica (CON)	1,550	13 32.9	75 32.0
Ancón (ANC)	50	11 46.4	77 09.0

\* Estaciones Permanentes del I.G.P.

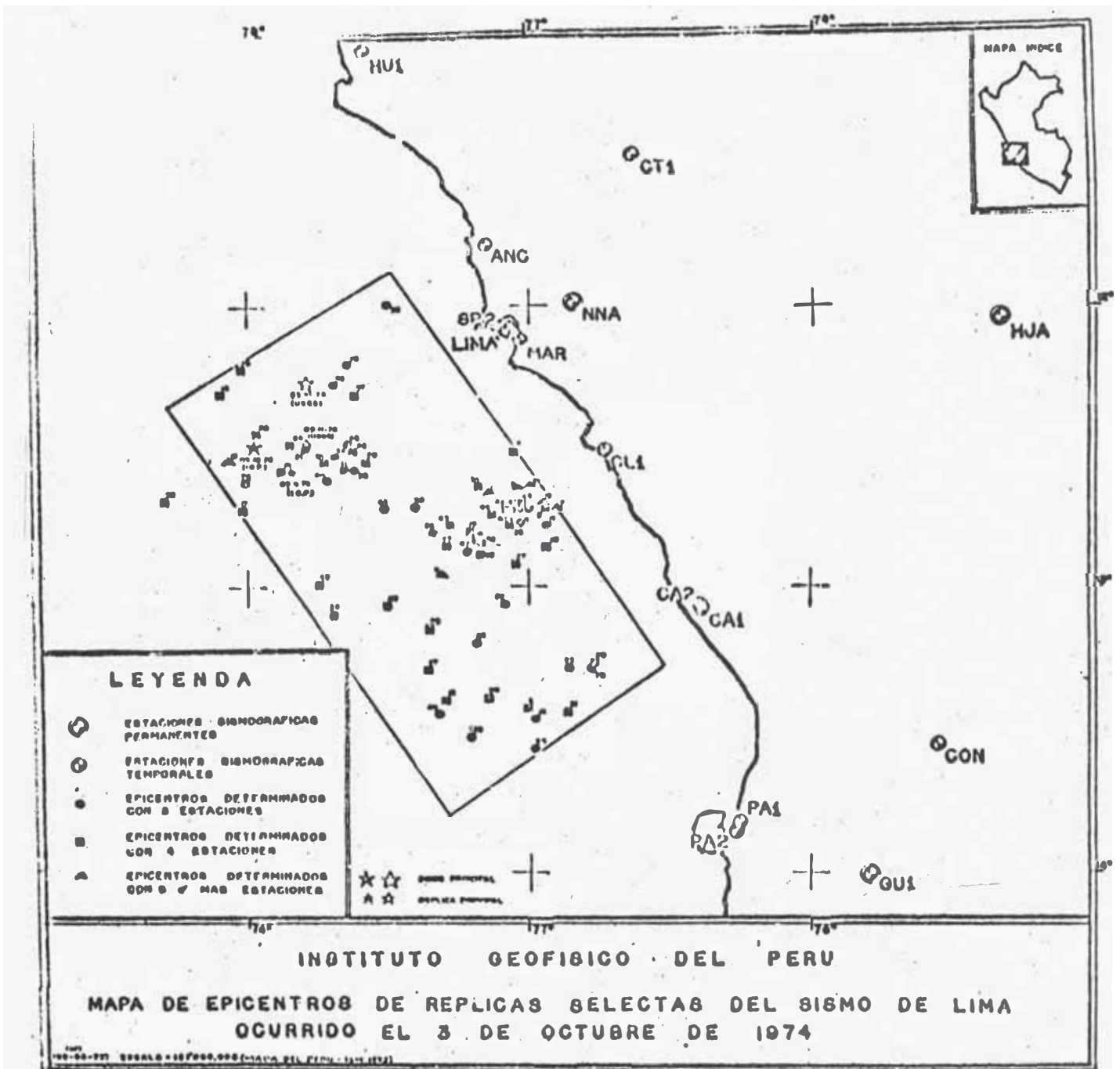


FIGURA N° 8

FIGURA N° 15

principal. El sismo y las réplicas principales se hallan en la parte central de uno de dichos núcleos,

El sismo del 3 de Octubre y sus réplicas asociadas son una consecuencia evidente de la interacción de las placas Sudamericanas y Nazca.

La extensión del área activa, dentro del cual se encuentran los epicentros de las réplicas, tenía dimensiones normales y la disminución progresiva de ellas cada día concordaba con la experiencia peruana del pasado y de las otras partes del mundo,

#### **4.6 EVALUACION DE DAÑOS.**

Después de ocurrido un sismo, se debe proceder inmediatamente a la evaluación de daños causados a las edificaciones, para proseguir a la clasificación de las mismas y de esta manera someterlos a estudios minuciosos y así poder adoptar conclusiones y recomendaciones para su reparación, cambio de uso o demolición de dichas edificaciones. De igual forma se debería también recabar información sobre el cambio en el paisaje natural o artificial, si lo hubiera; así como de las sensaciones particulares que puedan experimentar las personas.

El realizar una eficiente evaluación de daños es una tarea que debe reunir una gama de requisitos mutuamente relacionados entre sí de tal manera que se debe llegar a determinar la naturaleza de cada falla. Es necesario hacer resaltar, que al analizar una falla (cualquiera sea su naturaleza) debe hacerse con un espíritu crítico amplio y constructivo, tratando de obtener en lo posible, el máximo de enseñanzas de ella; de tal manera que la experiencia adquirida redundará en beneficio de las próximas edificaciones a realizar.

Al realizar la evaluación de daños no debemos olvidar el considerar los factores o causas que pudieron haberles causado, independientemente de la causa sísmica, y que éste solamente le propinó el golpe de gracia. Dentro de estos factores se encuentra la antigüedad de la edificación, razón por la cual el meteorismo y el uso continuo han disminuído su resistencia inicial (tomando en consideración los métodos y procesos constructivos antiguos) para dejarlo a merced de cualquier fenómeno telúrico. Otro factor que merece tomarlo en cuenta es el aspecto socio-económico de sus habitantes, por la existencia de gran cantidad de tugurios existentes en Lima Metropolitana, tal como se ha visto en 2.4.

Estos tugurios generalmente provocados por los propietarios, al colocar muros o tabiques (en edificaciones ya terminadas de acuerdo a un cálculo estructural) sin ninguna consulta técnica de un especialista, y con tal de tener un mayor número de habitaciones que le proporcionen mayores entradas, son también las que se encuentran a merced del sismo y de paso provocan mayores daños en la estructura original.

Al hacer la encuesta de daños, los habitantes de estos tugurios, se muestran generalmente poco cooperativos, principalmente los que pagan exiguos arriendos por estas viviendas precarias y que cualquier organismo o comisión las declararían inhabitables. Y es esta la razón por la cual estos habitantes se comportan de este modo y que es peligroso a la vez, porque en cualquier momento estas viviendas colapsarán, tal como está ocurriendo en las zonas antiguas de la Gran Lima.

#### 4.6.1 Fichas de Evaluación.

Teniendo presente que el área que comprende la zona de Lima Metropolitana es muy grande para poder ser

evaluada por una persona y considerando además que los daños de mayor importancia se han producido solamente en diferentes sectores de esta área; es que esta investigación se llevó a cabo, tomando los informes proporcionados por diferentes comisiones e instituciones públicas y privadas (nacionales e internacionales) que se interesaron en los daños importantes producidos con ocasión del sismo del 3/10/74 y los datos proporcionados mediante fichas de evaluación elaboradas y encuestadas por diferentes instituciones públicas, entre las que destacan la Universidad Nacional de Ingeniería y el Ministerio de Vivienda y Construcción, los cuales pasaremos a analizar.

Con respecto a este último sismo, la Universidad Nacional de Ingeniería, mediante su Departamento de Estructura y Construcción, en el curso de Ingeniería Antisísmica, elaboró hojas de encuesta de daños a fin de que constituyan un modelo para la clasificación de daños. El formato de dicha ficha se puede ver en el Anexo C.

Evidentemente la evaluación es de corte técnico, y los encargados de la encuesta fueron los alumnos de dicho curso del ciclo 1,974-2, quienes divididos en grupos de 4 ó 5 componentes y según la extensión del sector asignado, revisaron y encuestaron mediante el método estadístico, que es el del muestreo, a la mayoría de los distritos y sectores de la Gran Lima,

En cuanto se refiere a las fichas elaboradas por el Ministerio de Vivienda y Construcción, el carácter evaluativo de estas son de índole económico y en este caso los encuestadores lo constituyeron los mismos damnificados, ya que dicho Ministerio hizo un llamado a los propietarios de las edificaciones que sufrieron daños, a que acudan a ese portafolio a informar sobre el estado de su vivienda. Los interesados llenaron la ficha con los datos que se les pedía, una vez completa las fichas fueron calificadas de acuer



do al distrito en que está ubicada la vivienda.

Luego un equipo de profesionales se dirigía a la zona y efectuaba la inspección correspondiente. El formato de la ficha en cuestión también se puede ver en el Anexo "C".

También se tomo en consideración, para la evaluación de daños, aunque en menor proporción (zona de La Molina) las fichas elaboradas por el Comité Técnico Municipal Metropolitano. Esta ficha es técnicamente más completa que las anteriores y también se puede ver en el Anexo "C".

Se comprenderá que el estudio de la evaluación de daños seguidos no es lo bastante amplio como para obtener toda la información posible y es por eso que con un criterio ingenieril antisísmico, se incluyen otras informaciones que se consideran necesarias; tales como fotografías y sus respectivas descripciones de daños, que describirán mejor un conjunto, que simplemente palabras. Para describir los daños se pueden usar la escala Mercalli Modificada (1,931) o la escala MSK.

#### 4.6.2 Simbología de daños.

Para poder llevar a cabo una evaluación de daños satisfactoria, además de contar con una adecuada ficha de encuesta, es imprescindible el uso de una simbología de daños apropiado que evite tener la duplicidad de datos y sea a la vez de fácil entendimiento. Todo esto redundará en una mejor interpretación y comprensión, de los daños observados, por las personas encargadas del trabajo de gabinete y posteriormente en las informaciones o publicaciones editadas en beneficio del público interesado en la materia.

Es con este criterio que en la clasificación de daños de las edificaciones, se ha tenido en cuenta dos

factores: la intensidad del daño y el tipo de estructura.

En lo referente a la intensidad del daño se han considerado cinco clases, que se describen luego y que se han adoptado de la escala MSK,

Clase 1: Daños Leves.- Grietas finas en el revestimiento y caída de pequeños trozos de revestimiento.

Clase 2: Daños Moderados.- Grietas pequeñas en muros, caída de trozos mayores de revestimiento, corrimiento de tejas, grietas en chimeneas, caen partes de chimeneas.

Clase 3: Daños Severos.- Grietas grandes y profundas en muros, caída de chimeneas.

Clase 4: Daños Destruidores.- Separaciones en muros, partes de los edificios pueden derrumbarse, elementos estructurales separados, pierden cohesión, derrumbe de rellenos de entramados y nudos internos.

Clase 5: Daño Total.- Colapso total del edificio.

Respecto al tipo de estructura, factor que complementa la clasificación de daños, se tiene en cuenta la calidad de la albañilería y el proceso constructivo así como el diseño del edificio. Se han considerado cuatro tipos provenientes de la agrupación de la escala de Mercalli Modificada, las que se han adoptado en este estudio:

Tipo A.- Materiales débiles, como adobe, quincha, morteros pobres. Mala mano de obra. Sin resistencia para

fuerzas horizontales:

Tipo B.- Mano de obra y mortero corrientes. No demasiado débiles por falta de amarre en las esquinas; pero no reforzadas ni proyectadas para resistir fuerzas horizontales.

Tipo C.- Buena mano de obra y buen mortero, reforzada, pero no proyectada para resistir fuerzas laterales.

Tipo D.- Construída con buenos materiales, buena mano de obra y buen proyecto. Reforzada con armaduras de acero, proyectada para resistir fuerzas laterales (antisísmico). Estructuras especiales: cascarones, tanques elevados, etc.

De acuerdo a estas dos clasificaciones, por ejemplo en el caso de una estructura de adobe, que es usual en el Perú, que haya sufrido daños destructores según la clasificación adoptada, se le asigna como A-4.

Las estructuras clasificadas según lo expuesto anteriormente se llevaran a un plano guía de la ciudad de Lima utilizando la siguiente nomenclatura (7).

		INTENSIDAD DEL SISMO				
		1	2	3	4	5
TIPO DE ESTRUCTURA	A					
	B					
	C					
	D					

## CAPITULO V

### ASPECTOS INGENIERILES DEL SISMO EN LA ZONA DE LIMA METROPOLITANA

#### 5.1 GENERALIDADES.

El tratamiento de los problemas estructurales, originados por los sismos, ha ido evolucionando en nuestra patria, en la medida en que el tiempo, la tecnología y los recursos humanos así lo permiten.

Bueno es anotar, que este desarrollo ha sido lento en comparación con la casi totalidad de los países que por su ubicación geográfica, están obligados a darle suma importancia a esta disciplina. En consecuencia hemos estado relegados a la posición de receptores, más que contribuidores en el avance de la Ingeniería Antisísmica. Tal posición, aceptable en ciertos aspectos generales de las ciencias, puede venirse a menos cuando se adoptan a ciegas medidas y códigos extranjeros a problemas peruanos. Sin embargo, es de justicia relieves investigaciones sísmicas precedentes.

En este sentido, la ocurrencia de un evento sísmico destructor, es para la Ingeniería Antisísmica motivo de profundo análisis, gracias al cual veremos dentro del avance de la misma, que criterios e hipótesis adoptados son los correctos, cuales serán necesarios revisar y modificarlos, y que nuevas ideas, criterios e hipótesis se deben tomar en consideración. Como esta disciplina científica es todavía relativamente joven, estará sujeto a un continuo y fructífero desarrollo; tal es así que hoy en día los científicos y especialistas se hallan abocados en encontrar la manera de predecir los sismos, en el cual, si bien se ha pro-

gresado sustancialmente algo, todavía se encuentran lejos de su objetivo final.

Después de ocurrido este último sismo, en el campo de la edificación en general, donde se nos presenta un laboratorio a escala natural por la diversidad de fallas que podemos observar; cada una de ellas serán analizadas e interpretadas desde el punto de vista ingenieril, para que en base a las enseñanzas recogidas se obtenga conclusiones y posteriormente se darán recomendaciones en beneficio de construcciones futuras.

Los sismos destructores ponen en evidencia los defectos y deficiencias tanto en los cálculos estructurales así como en el proceso constructivo de una edificación; y estos debemos tenerlo en cuenta en las edificaciones posteriores a realizar, más aún si recordamos que el Perú se encuentra ubicada sobre una zona eminentemente sísmica por lo cual se le debe dar la importancia y seriedad necesaria.

Es en base a las enseñanzas obtenidas, que en el futuro debemos construir edificaciones sismo-resistentes utilizando los mismos materiales que se usaron en edificaciones que no tuvieron el mismo cuidado con referencia al sismo; pero dispuestos de tal forma que sus elementos estructurales tomen las cargas sísmicas adecuadamente.

## **5.2 AREAS CRITICAS SISMICAS DE LIMA.**

En la zona central del valle de Lima, el suelo es propicio para resistir los sismos, porque está formado por un conglomerado de grava, canto rodado, arena y arcilla, que lo hace más compacto y con una capacidad de carga de  $5.0 \text{ Kg/cm}^2$ , constituyendo de esta manera un buen suelo de fundación. Dentro de esta zona se encuentran los distritos de Lince, La Victoria, Jesús María, San Martín de Porras, San Isidro, Miraflores, parte del Cercado de Lima, entre otros

En cambio, existen zonas que se deben considerar áreas críticas sísmicas de Lima Metropolitana, en razón de las condiciones desfavorables que sus terrenos de fundación ofrecen; vale decir, terrenos blandos o sueltos, áreas de rellenos, napa freática elevada, existencia de zonas de contacto y fallas geológicas en dichas áreas. Estas zonas lo constituyen principalmente el Callao, Chorrillos, Villa, La Molina, Las Casuarinas y la zona de La Costanera (Costa Verde) en ciertos tramos; sin ignorar a los pueblos en formación en la riberas del río Rímac.

En estas áreas críticas sísmicas, es donde se debe tener un mayor conocimiento de las características del suelo sobre el cual se piensa construir una edificación o cualquier estructura de Ingeniería Civil, para tenerlas en cuenta y utilizarlos en el diseño, cálculos y construcción de la obra.

Con ocasión del sismo del 3 de Octubre de 1974, estas áreas críticas, fueron las que presentaron los daños más espectaculares y cuantiosos, causando de esta manera las mayores pérdidas económicas en relación a otras zonas menos dañadas. A continuación veremos las características de cada una de ellas.

Zona del Callao.- Los mayores daños producidos en esta zona son las que presentaron modernas estructuras de concreto armado, como la Escuela Naval, la Oficina de Correos y los Silos; también sufrieron numerosos daños las estructuras de adobe y quincha que allí existen.

Una de las razones que han contribuido en la destrucción, es que este distrito tiene un gran volumen lleno de tierra y sedimentos saturados de agua, constituyéndose de esta manera en un suelo desfavorable ante sismos, porque al presentarse ellos, pueden cambiar sus características iniciales y sufrir asentamientos diferenciales o totales.

Tal es el caso que se presentó en los Silos, cuya estructura estaba cimentado en pilotes.

En el área de la Escuela Naval, el nivel de agua (napa freática) se encuentra a menos de 5.0 metros de profundidad debajo de los rellenos heterogéneos entre enrocados <sup>(8)</sup>. El perfil del terreno es: debajo de los rellenos, de 0 a 20 metros, cascajos rodados flojos (grava chica y arcilla); de 20 a 30 metros, arena limo-arcillosa, compacidad media a densa; de 30 a 56 metros, estrato cementando (impermeable) mal denominado caliche.

Durante el mes de Setiembre de 1968 se efectuaron mediciones de microtrepidaciones en el depósito de la Cerro de Pasco Corporation, en el Callao, y se obtuvo un período de  $T = 0.32$  segundos que es característica de los suelos blandos. Según los estudios realizados por el laboratorio de Mecánica de Suelos de la UNI, el suelo contiene restos de plantas marinas, turba, arcilla limosa orgánica. El nivel de agua (napa) está a 3.50 metros de profundidad y el terreno firme está a 10.50 metros aproximadamente. <sup>(17)</sup> Esto explica el largo período determinado.

Zona de la Campiña-Chorrillos.- La litología del área es muy poco conocida, pero se puede afirmar que la napa freática se encuentra a menos de 10 metros de profundidad. Sin embargo, esta zona puede quedar fielmente representada por las observaciones realizadas <sup>(8)</sup>, tanto dentro del local del Centro de Instrucción de la Benemérita Guardia Civil (CIBGC), como en proximidades de ésta,

Aproximándonos al citado local por la carretera de acceso, se muestran cerros de arena estratificados; luego cerros de lutitas cubiertas por arena que limitan el local citado. En el área del CIBGC se aprecian en la superficie gravas arcillosas y gravas. El río Surco, que era el que originó al Rímac, corría en dirección general N-S erosio

nando las lutitas. La superficie del terreno está formada en su mayor parte por gravas, superyaciendo a las lutitas. Esta zona era pantanosa hasta no hace muchos años y con el proceso urbanizadorio y bombeos el nivel de agua (napa freática) se deprimió. El área que comprende el edificio colapsado corresponde al desague final de la parte pantanosa, el drenaje final del pantano es hacia el sur-este.

Cuando estuvieron construyendo el CIBGC, se encontraron con terrenos malos el que empeoraba de Este a Oeste, aquí se mostraba un material de pésima calidad, prácticamente de densidad menor que el agua (turboso gris)<sup>(8)</sup>.

Maggiolo<sup>(8)</sup>, sugiere que, además en el área hubo amplificación de ondas sísmicas, lo mismo que se presentaron asentamientos diferenciales y totales por la densificación de las arenas naturales, lo cual se comprobaría por las altas densidades obtenidas en los ensayos realizados después del sismo.

Además en la zona puede presentarse la reflexión y/o refracción de ondas sísmicas por la presencia del Morro Solar, presentándose de esta manera una zona de contacto

Zona de La Molina.- La Molina está situado en un valle aluvial formado semi-elípticamente, y los suelos son menos adecuados, que en otras partes de Lima para llevar a cabo una buena cimentación.

Los suelos de este sector están compuestos de arcillas, arcillas blandas, y suelos arenosos flojos<sup>(16)</sup>. Esto puede explicar el incremento de intensidad observada en esta zona, motivado por la interferencia de ondas sísmicas, debido a la geometría del valle.

Con respecto al sector de la Universidad Na



cional Agraria y las construcciones del Ministerio de Agricultura, podemos decir que, existen problemas graves desde el punto de vista geotécnico (Geológico y de Mecánica de Suelos). Cabe citar a las edificaciones de un piso de Agro-Industriales, que previamente fallaron antes del sismo debido a la cercanía de un pozo para agua con filtro inadecuado y excesivo bombeo, que fué succionando y erosionando la arena fina de un estrato intercalado. El sismo de nuestro estudio ya encontró asentada y debilitada a esta edificación y produjo el hundimiento<sup>(8)</sup>.

Uno de los aspectos importantes en La Molina es el período natural del suelo; Kuroiwa en un estudio de Micro-Trepidaciones para lo que iba a ser el complejo administrativo del sector Agrario (el que originalmente planteaba edificaciones hasta de 13 pisos); ha determinado los períodos fundamentales y complementarios que varían entre 0.3 y 0.5 seg.

Otro problema es el nivel freático elevado ( 6 a 8 metros de la superficie ), cuyo flujo subterráneo procede del rio Lurín (Cieneguilla) y que se ha incrementado por las lagunas artificiales ejecutadas.

La heterogeneidad de los suelos de La Molina, el basamento relativamente poco profundo, con zonas de amplificación por varias razones, merece un trabajo aparte y más detallado.

Zona de la Costanera. - Se extiende desde el Morro Solar hasta el Callao; la acción erosiva del mar que arrastra los materiales hacia la zona de las islas San Lorenzo y Frontón, hace que los acantilados formados alcanzen mayores alturas cerca del Morro para luego ir disminuyendo paulatinamente hasta llegar a la Punta (Callao) donde prácticamente es plano.

Esta zona se considera crítica, por los diferentes materiales que lo conforman y por la acción erosiva del agua (del mar y de los manantiales que existen en la parte vertical de los acantilados; aparte de los numerosos emisores de desagües que tienen descargas apreciables) y del intemperismo sobre todo desde San Miguel hasta el Morro Solar.

La dinámica marina es muy intensa en La Punta y la Zona de la Mar Brava, hasta más o menos la altura del Colegio Leoncio Prado en La Perla. Luego decrece hasta la altura de la Av. Bertolotto, donde nuevamente es activa hasta empezar el Puericultorio Pérez Aranibar. Desde este punto hasta pasar los Baños de Miraflores disminuye su acción, aumentando su intensidad hasta la Quebrada de Armendariz. En Barranco y Chorrillos la erosión marina es débil y se vuelve otra vez intensa en el Morro Solar.

Los taludes de la Costanera, son altamente estables desde Magdalena hasta Miraflores, con excepción de algunos sectores que necesitan "desquinche" y especialmente la zona de rellenos dispuestos entre "cárcavas" o pequeñas quebradas, así como los dispuestos en los techos de los acantilados, que ante la presencia de sismos evidentemente causarían deslizamientos. Estos rellenos han ido pre-colapsando antes de los sismos por efecto del incremento de peso debido a los riesgos excesivos y a la lubricación de la zona de contacto.

La estabilidad de los taludes de los acantilados de la Costanera, depende de los siguientes factores: <sup>(18)</sup>

- Características físicas y químicas de los sedimentos que los constituyen.
- Circulación de aguas subterráneas
- Descarga de los emisores de desagüe y regadío.

- Acción erosiva del mar.
- Influencia de vibraciones del terreno (circulación de vehículos pesados, efectos de aceleración sísmica, etc).

Se puede señalar que nuestra faja costanera es un macizo heterogéneo que presenta estratos horizontales de granulometría diferente, resultantes de las crecidas sucesivas del río Rímac. Se ha reconocido zonas regularmente graduadas y mal graduadas, que se presentan con intercalaciones de lentes de arcilla, limo y arena, los que forman en la mayoría de los casos taludes casi verticales (60-90%). Algunos taludes son compuestos de doble pendiente, generalmente verticales en la parte inferior y de 30 - 60% en el tope.

Describimos a continuación 5 sectores representativos de la faja costanera, con sus características geotécnicas<sup>(18)</sup>:

1.- La Perla (Altura de la Av. Santa Rosa)

Cota: 22 m. snm.

Predominancia de los sedimentos finos (arcillas, limos) abigarrados, con pequeñas intercalaciones de cantos de 3-4 cm. de largo. En superficie se presentan húmedos debido a la neblina y su proximidad al mar.

El talud es casi vertical.

2.- Magdalena (Av. Brasil)

Cota: 56 m. snm.

Predominan los sedimentos gruesos (cantos, gravas) de 2 a 20 cm. de largo y pocos bloques de 20-40 cm.; el material cementante es limoarenoso, existiendo pocos horizontes arcillolimosos. En conjunto estos sedimentos se presentan incoherentes y en superficie se aprecian parcialmente secos, haciéndose hincapié que en este sector se ha formado un entrante en el que el mar muchas veces llega hasta el acantilado.

El talud es vertical.

3.- San Isidro (Av. del Ejercito, cuadra 12)

Cota: 66 m. snm.

Predominan los sedimentos gruesos de 2 a 20 cm. de largo y pocos bloques, el material cementante es limo-arenoso. En conjunto los sedimentos se presentan incoherentes y secos, constituyendo cárcavas y barrancos incipientes. Los taludes son compuestos o de doble pendiente, 30-60° arriba y 60-90° en la parte inferior con mayor magnitud.

4.- Chorrillos (Agua Dulce)

Cota: 45 m. snm.

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

5.- Chorrillos (Morro Solar)

Cota: 80 m. snm.

Está constituido por el macizo sedimentario (areniscas, lutitas, etc.) cuyas capas presentan un buzamiento promedio de S 12° W.

Los taludes son verticales.

Las zonas inestables en los acantilados son numerosos; en muchos lugares se producen desmoronamientos y derrumbes debido a las características físicas de los sedimentos o tipo de material que constituyen los acantilados, a la circulación de aguas, vibraciones del suelo, sobrecarga y erosión eólica.

Otro tipo de problema lo constituyen los frentes asentamientos, debido en la mayoría de los casos a malos rellenos o a circulación de aguas, como ocurre a lo

largo de toda la Costanera, extremo norte del Puericultorio Pérez Aranibar, diversos sectores próximos al litoral de San Isidro y Miraflores y en el Malecón de Chorrillos.

Los rellenos en todo el litoral se extienden a partir de La Perla hasta la Quebrada de Armendariz de una manera discontinua. Se advierte mayor concentración en los siguientes sectores (18).

- Inicio de los acantilados, hasta 100 metros al nortede la Av. Santa Rosa (La Perla).
- En diversos tramos erosionados de la Av. Costanera (San Miguel)
- Alrededores de la Av. Brasil y Puericultorio Pérez Aranibar (Magdalena).
- Mercado de Productores y el Cuartel de San Martín (San Isidro)
- Malecón Cisneros y Parque Salazar (Miraflores).

Estos rellenos están constituidos por materiales de desmontes provenientes de construcciones, de la Vía Expresa (Zanjón) y otras veces por basurales. Se han considerado rellenos buenos y malos, es decir, aquellos en los que no ha habido ningún criterio técnico en su deposición, por lo que deberá tenerse cuidado en cualquier obra que se proyecte sobre ellas.

Dadas las características geológicas e ingenieriles de los acantilados de la Gran Lima, en los que se señala que los constituyentes son depósitos fluvio-aluviales antiguos del río Rímac y cuyo principal rasgo es su heterogeneidad, debemos suponer variaciones en su comportamiento dinámico según los diversos factores tales como: calidad de sus sedimentos, presencia de napas freáticas cerca de la superficie, así como alturas críticas de los acantilados. Por

lo tanto es conveniente efectuar una microregionalización sísmica de esta banda costera para determinar áreas de mayor sensibilidad a las ondas sísmicas y evitar al máximo posible la destrucción y colapso de las obras.

De una manera general los sectores de mayor peligro son:

- Av. Costanera, Zona de San Miguel
- Alrededores de la Av. Brasil, Magdalena.
- Rellenos inestables de San Isidro y Miraflores.
- Límite entre Barranco y Chorrillos, Zona de Colegio Chalet.
- Malecón de Chorrillos.
- Areniscas disturbadas del Morro Solar.

Con ocasión del sismo materia de nuestro estudio, se produjeron pequeños deslizamientos y derrumbes de los bordes de los acantilados del circuito de playas entre Magdalena y Chorrillos. Se pudo observar deslizamientos en San Isidro (Mercado de Productores) hasta cerca de la Av. del Ejército, a unos 100 metros del borde; el desplazamiento vertical es de 15 cm. Otro deslizamiento visible, de unos 5 cm., se pudo apreciar en los acantilados de Miraflores, afectando la pista de la Av. Costanera<sup>(15)</sup>.

En general en diferentes partes del circuito Costa Verde, se produjeron rodamiento de cascajos en pequeña escala sin llegar a producirse derrumbes mayores que hubieran paralizado el tránsito. Solamente en Barranco se derrumbó un talud artificial.

Zona de la Rinconada Alta y la Planicie. - En la Rinconada Alta, los suelos están constituidos por arenas eólicas limosas, que tienen densidades secas comprendidas entre 1,1 y 1.6 gr/cm<sup>3</sup>, el grado de saturación está entre 6 y 15 %; las proporciones de vacíos entre 0.8 y 1.7; los límites líquidos entre 18 y 20 %.

Las densidades para la condición de límite líquido son del orden de  $1.7 \text{ gr/cm}^3$  y la proporción de vacíos es de 0.61; de tal forma que las relaciones entre densidades secas naturales y densidades al límite líquido, están comprendidas entre 0.65 a 0.85 de tal manera que cumplen con las características de colapsibilidad por efecto del agua de Danilov (1964), como los de Gibbs y Bara (1967), ya que son menores que 1.0 ó 1.1<sup>(8)</sup>.

De acuerdo a estas características, los suelos de esta zona sufrirán asentamientos ante la presencia de sismos, del mismo modo que motivarán amplificaciones de ondas.

En la Planicie, los problemas pueden ser representados por los suelos del Colegio Villa María, que se encuentra asentada entre 30 y 70 metros sobre la roca; estando cercanos cerros que reflejan y refractan ondas sísmicas. Los suelos tienen densidades secas del orden de  $1.5 \text{ gr/cm}^3$  y densidades relativas 40 y 70 %; pero son estructuralmente inestables bajo la acción del agua (similar a la Rinconada Alta); y los problemas son mayores por el alto contenido de mica que, con el agua, se va degradando. También tienen el problema de la amplificación por estar los suelos en alturas críticas encima del basamento y por los problemas de refracción y reflexión local y la general que dá el valle de Pampa Grande<sup>(8)</sup>.

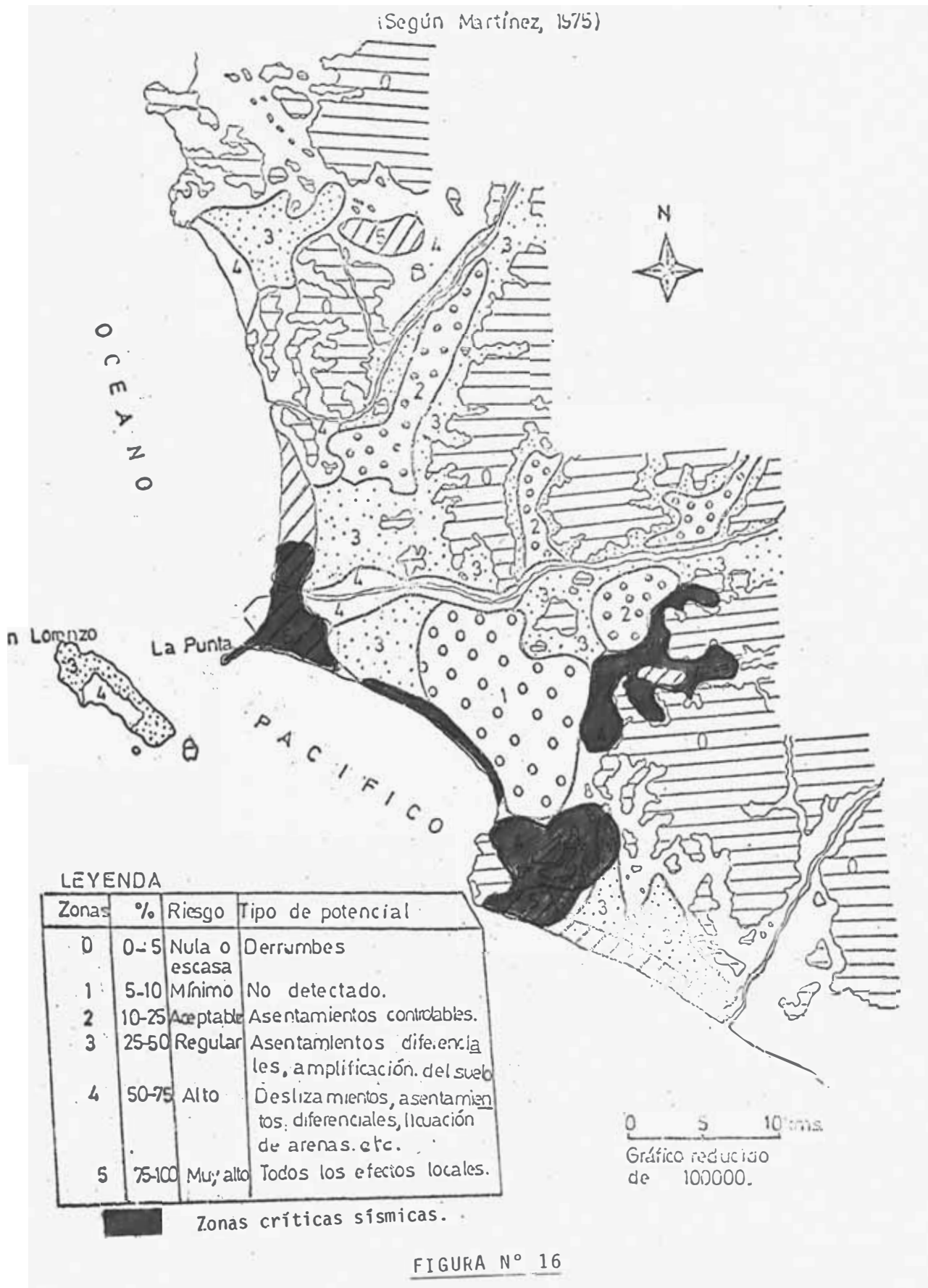
Para completar este estudio de zonas críticas se incluye el "Plano de Potencial de Riesgo Sísmico de Lima", preparado por Martinez, el cual es solo una información técnica preliminar y que se recomienda perfeccionarlo y actualizarlo (ver Fig. N° 16).

### **5.3 BREVE EVALUACION ESTADISTICA DE MATERIALES DE CONSTRUCCION EMPLEADAS EN LAS EDIFICACIONES DE LIMA.**

De acuerdo a los datos obtenidos en el II Cen

# PLANO DEL POTENCIAL DE RIESGO SISMICO DE LIMA<sup>(9)</sup>

(Según Martínez, 1975)





so de vivienda, en 1972, por la Oficina Nacional de Estadística y Censos (ONEC), se pudo preparar el siguiente gráfico en relación a los materiales mayormente empleados en las construcciones de viviendas de las provincias de Lima y Callao.

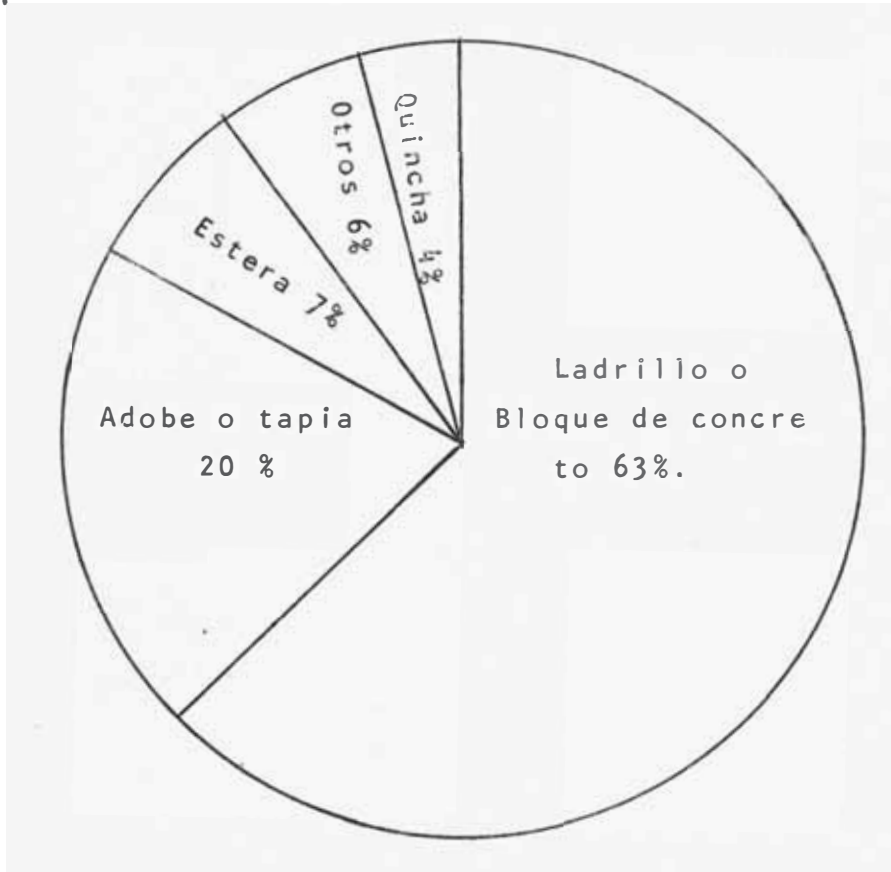


Gráfico N° 2

En este gráfico se puede apreciar que el mayor porcentaje de material empleado es el ladrillo y/o bloque de concreto, siguiéndole en importancia las construcciones de adobe o tapia; luego tenemos estera, quincha y otros. Es en base a esto que en los siguientes puntos se analizarán las fallas producidas, en viviendas de estos tipos de materiales (con ocasión del sismo del 3 de Octubre de 1974), especialmente en los de adobe y quincha, como en las de ladrillo o bloques de concreto, por ser los que en mayor porcentaje existen y pueden causar daños.

Cabe anotar que era el deseo preparar el grá

fico anterior dividiéndolo por distritos y de esta manera hacer una evaluación más representativa de cada una de ellas (de acuerdo al material empleado en la construcción) y sobre todo para posteriormente indicar el riesgo sísmico a que están expuestos. No se hizo por carecer de información necesaria, por lo que se recomienda a los organismos pertinentes, llevar a cabo este tipo de censo,

#### **5.4 ANALISIS DE FALLAS EN VIVIENDAS DE ADOBE Y QUINCHA.**

Para hacer más práctico el análisis será necesario conocer antes, las características de cada uno de estos materiales y sus sistemas constructivos,

El adobe consiste en un block rectangular hecho de barro y paja, moldeado en cajones de madera y puestos a secar al Sol.

El adobe utilizado en las construcciones del area de estudio, tiene dimensiones de 10 x 20 x 40 cm. aproximadamente y, colocado de cabeza (eje longitudinal del adobe transversal al eje de la pared), forma muros de 40 cm. de espesor que alcanza una altura de 3 a 4 metros. Los techos son planos y están formados por tirantes o rollizos de madera sobre los que se colocan cañas o tablas recubierta por una o más capas de barro. Los dinteles son comunmente de madera y ocasionalmente de hormigón,

En las construcciones de quincha, la pared está formada de postes verticales colocados a una distancia de 1 a 2 metros entre sí, generalmente arriostrados en la parte inferior, en el plano de la pared, con un poste horizontal unido a los postes verticales, de igual manera se coloca poste de arriostamiento en la parte superior. Dos o tres postes horizontales igualmente espaciados se agregan a los verticales para completar la estructura principal. Luego se colocan cañas verticales, bastantes próximas una de o

tra y entrelazadas con cañas horizontales en un tejido de canasta. Finalmente la pared se reviste de barro por ambos lados. El techo generalmente se construye con vigas de madera o viguetas, cubiertas de torta o con calamina.

Existen también edificaciones mixtas de adobe-quincha, en este caso las edificaciones son generalmente de dos pisos, donde el primer piso es con muros de adobe colocados de cabeza (40 cm. de espesor) con una altura entre 3 y 4 metros. El piso de la segunda planta está formada por vigas de madera que sostienen las tablas de madera que son colocados transversalmente sobre las vigas formando un entarimado. La segunda planta de estas edificaciones son generalmente de quincha.

Las viviendas de adobe, quincha y adobe-quincha constituyen las edificaciones más antiguas que se pueden ver en diferentes zonas, también antiguas, del área de Lima Metropolitana. En efecto, estos materiales han sido utilizados desde la época colonial. Hasta hace algunos años atrás todavía se construía con estos materiales, sobre todo en las zonas de menores recursos económicos de sus habitantes.

Las zonas antiguas de Lima y las de menores recursos económicos, mencionados anteriormente, lo constituyen: el Cercado de Lima, Barranco, Chorrillos, Rímac, Barrios Altos y Callao. Estas zonas fueron las que resultaron más dañadas por el sismo del 3 de Octubre, y que al presentarse éste, las edificaciones de adobe-quincha no ofrecieron mayor resistencia, ya que por una parte tuvieron que soportar el embate de la intemperie y por otra tuvieron un deficiente proceso constructivo, amén de la calidad de los materiales.

Muchas de estas edificaciones habían sido afectadas por sismos de gran magnitud anteriores al 3 de Oc-

tubre y luego fueron reparadas sin haberse incluido ningún tipo de previsión antisísmica. Las construcciones de adobe en Chorrillos por ejemplo, han ido "rompiéndose" progresivamente de tal forma que su rigidez ha disminuído considerablemente y su período ha ido incrementándose. Cabe señalar que el período natural de una buena casa de adobe es ligeramente superior a los 0.1 seg. y con las rupturas progresivas puede haber aumentado hasta valores entre 0.2 y 0.25<sup>(8)</sup>, para completar la idea, las construcciones de adobe bien ejecutadas, con una buena cimentación de concreto en los cerros de roca sana (períodos menores que 0.1 seg.) se ha observado que no han tenido problemas con los sismos.

En La Molina, cabe citar la casa de los estudiantes, que es de adobe pero con aligerados de concreto armado, reparada después del sismo de 1940 y que no tuvo problemas ni en el sismo de 1966, ni en el de 1970; durante el sismo de 1974 se produjo el colapso, probablemente por el período de vibración largo del sismo, el movimiento de inercia de la losa y probablemente el incremento de período de degradación progresiva de las construcciones de adobe por efecto de los sismos anteriores.

En cuanto al proceso constructivo de las edificaciones de adobe, se puede observar una serie de defectos, especialmente después de ocurrido un sismo de magnitud como el de nuestro estudio, que se encargan de mostrar en toda su amplitud estas deficiencias. En los muros, el aparejo es deficiente, y esto se deriva de un inadecuado dimensionamiento de los adobes. Las uniones de los mismos están mal realizadas, razón por la que no puede trabajar en forma adecuada a compresión; en las uniones verticales el llenado es deficiente haciendo casi nula la resistencia al corte que deben tener los muros de adobe.

La excesiva altura de los muros no concuerda con su espesor y largo, originó fallas por esbeltez, lle

gando hasta el colapso. En todas las edificaciones de este tipo de material es notoria la poca densidad de muros en los dos sentidos. En cuanto al arriostramiento en las esquinas también es deficiente, al que colabora en forma negativa el inadecuado dimensionamiento de los adobes que no permiten hacer un engranaje lo suficientemente resistente.

Las fallas producidas en los dinteles de puertas y ventanas, se debe a un reducido empotramiento, falta de viga collar y finalmente por tener un ancho excesivo de vano.

Cabe anotar que las casas de adobe del suburbio de Miraflores no soportaron muchos daños en el sismo del 03-10-74 como tuvieron en sismos anteriores. Cerca de Miraflores en los suburbios de Barranco y Chorrillos, hubo extensivos daños en construcción de adobe. La calidad de los materiales usados en construcción en estas tres áreas es similar, pero, la calidad de la construcción en Miraflores y Barranco es en alto grado superior al de Chorrillos. Esto indica que algunos de los daños ocurridos en los distritos de Barranco y Chorrillos es debido en parte a un efecto de amplificación en tierra de ondas sísmicas en estos distritos y no a la calidad de la construcción<sup>(19)</sup>. Efectos similares como el descrito anteriormente, fueron observados en La Molina y en algunas partes del Callao.

También es notable destacar que las construcciones de adobe con techos pesados soportaron más daños que las que tuvieron techos ligeros. Cuando el adobe fue hecho de una combinación de paja y barro, o fibras sueltas con barro, éstas resistieron mejor los daños que cuando el adobe fue hecho con barro solo.

Uno de los problemas que plantean las construcciones de adobe, y probablemente el más importante, es su poca resistencia a la tracción; por este motivo cuando

un sismo les somete a los esfuerzos de tracción son más susceptibles de colapsar con el consiguiente grave peligro para las personas que las habitan. Otras fallas provocadas por la acción sísmica en las construcciones de adobe son las ocasionadas por esfuerzos de flexión y de corte,

En cuanto a las construcciones de quincha y adobe-quincha, por lo general han resistido bien a la acción del sismo cuando son solo de una planta; pero, en edificaciones de más de una planta se han producido fallas considerables cuando la primera planta fué de adobe. En las construcciones de quincha, el grado de daños en muchos casos fue influenciado por la edad (vejez) y el mantenimiento (conservación) de la quincha. En la mayoría de los casos los daños constituyeron la caída de revestimiento (torta de barro) de ambos lados de las paredes.

En general, las casas de quincha y de adobe-quincha han resultado con menores daños que las de adobe.

## **5.5 ANALISIS DE FALLAS EN ESTRUCTURAS DE CONCRETO ARMADO.**

### **a) Por una deficiente estructuración.**

La falla parcial o total de una construcción a consecuencia de un sismo, no sólo se origina por el diseño insuficiente de algunos de sus elementos, sino también por error en las consideraciones propias a la estructuración general (asimetrías, falta de rigidez lateral o torsional, incompatibilidad de deformaciones entre las partes, concentraciones de esfuerzos en puntos específicos, etc). Es por eso que los distintos profesionales que integran el equipo realizador deben conocer estos nuevos aspectos, que intervienen desde el nacimiento del proyecto. Así, el arquitecto tendrá en cuenta criterios que le permitan concebir formas o estructuras de buen comportamiento dinámico, desde el planteamiento de la planta de conjunto o la integración de los diferentes volúmenes que él idee, hasta la

versatilidad que debe ofrecer primero al calculista y luego al constructor, para ampear las técnicas más adecuadas. El calculista, sin ánimo de propiciar un movimiento arquitectónico estructuralista, deberá maniobrar entre la sugerencia y aceptación de las formas plásticas en la medida en que de entre estas formas, las esenciales corresponden a las necesidades dinámicas de la obra.

El último sismo, ha dejado enseñanzas que deben de servir para el futuro, y que ningún ingeniero estructural debe disimular su preocupación pues, todavía se puede ver en el campo estrictamente estructural que los errores son generales y que parecen normales, como en los diseños de pórticos en un solo sentido; o que los mayores daños se producen por modificaciones ajenas al análisis estructural concebido inicialmente, donde elementos secundarios no son calculados para participar en el comportamiento dinámico de la estructura tales como muros, tabiques, etc., y son responsables de la estabilidad de la obra, por la que tal situación deberá ser prevista y corregida de inmediato.

Antes de proseguir nuestro análisis, cabe señalar que las Normas Peruanas de Diseño Antisísmico refrenda en su artículo 1.03, lo siguiente: "DEBE CONSIDERARSE QUE LA BUENA CONCEPCION DE LA ESTRUCTURA, DONDE SE OBSERVEN CONDICIONES DE SIMETRIA, DISTRIBUCION UNIFORME DE MASAS Y RIGIDECES; PESO MINIMO EN LOS PISOS ALTOS; LA ADECUADA SELECCION DE LOS MATERIALES UTILIZADOS Y UNA BUENA PRACTICA CONSTRUCTIVA MEJORAN NOTABLEMENTE EL COMPORTAMIENTO DE UNA ESTRUCTURA EN EL CASO DE UN SISMO".

Al observar las diferentes viviendas que han fallado con el sismo del 03-10-74; gran número de ellas se ha debido a la deficiente estructuración de las mismas e inclusive a la disparidad entre la estructuración de un piso y el siguiente. Este tipo de fallas se han observado en las Unidades Vecinales que existen en Lima Metropolitana y sobre

todo en los Blocks de la Unidad Vecinal del Rímac.

Una adecuada estructuración será lograda reuniendo una gama de recomendaciones y tendiendo al cumplimiento de los objetivos siguientes:

1) Seguridad frente a sismos severos.-La seguridad al colapso o falla de una estructura se funda primordialmente en dotarla de una ductilidad necesaria para absorber la energía sísmica. La ductilidad, que para efectos de este trabajo podría definirse como la capacidad para deformarse plásticamente (lo cual implica gran consumo de energía de deformación, a diferencia de la deformación elástica que solo almacena energía mecánica), se alcanza por un lado con la utilización de materiales adecuados, pero principalmente con una concepción estructural de conjunto. Por este motivo las estructuras aporricadas (constituídas por vigas y columnas) serán preferibles a las basadas en muros o placas de corte.

Una estructura que se desea tenga un buen comportamiento frente a un sismo, es necesario que tenga la ductilidad necesaria para enfrentar el amplio rango de deformaciones tanto de estructuras elásticas como inelásticas. Como una razón primordial de que una estructura sea dúctil se puede anotar aquella de que los sismos son de naturaleza impredecible de intensidades y la característica fluctuante de las ondas sísmicas; es más, al no poder establecer un límite superior para la máxima intensidad sísmica posible, se requiere dotar a la estructura de una ductilidad adecuada, para que ante la ocurrencia de un sismo, fuera de lo común (intensidades mayores de VI), la estructura no sufra mayores daños.

La ductilidad se puede lograr con diversos materiales siempre y cuando se observen determinadas recomendaciones que indicaremos a grandes rasgos:



- Construcciones metálicas: diseño especial de nudos, de manera tal de permitir la formación de rótulas plásticas\* que logren rotaciones con gran disipación de energía.
- Construcciones de concreto armado: mientras el acero es un material dúctil, el concreto no lo es y por lo tanto requiere, para mejorar su comportamiento frente a acciones externas (sismos), que se aumente su capacidad de deformación (sin falla), lo que se logra disponiendo armaduras de acero en cantidad y ubicación adecuadas. Así por ejemplo las concentraciones de estribos en los extremos de vigas y columnas (Ver Fig. 17), logran al confinar el concreto, aumentar la ductilidad del elemento permitiendo fuertes deformaciones en fluencia plástica (formación de rótulas plásticas). Muchas de las fallas ocurridas durante el sismo del 03-10-74 se debe a un deficiente o nulo estribaje en los nudos de las estructuras.

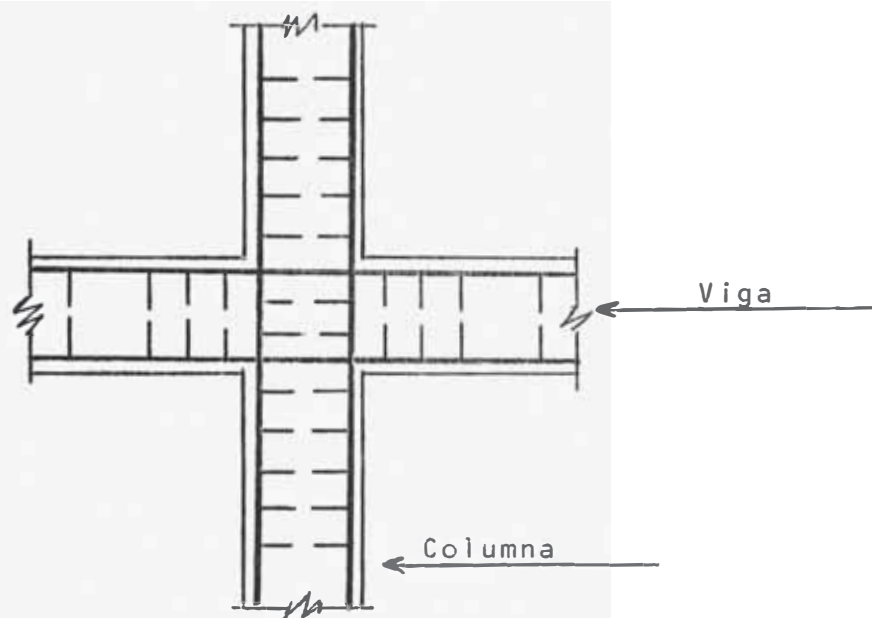


Figura N° 17

\* Rótula Plástica.- Zona de una viga o columna, que debido a la fluencia del material, se comporta como una articulación, cuando actúa el momento flector límite.

- Construcciones de albañilería: siendo el ladrillo un material frágil es necesario confinarlo con la ayuda de elementos dúctiles de concreto armado o de asentarlo armado con varillas de acero. Se ha comprobado que el comportamiento de la albañilería confinada o reforzada es bastante satisfactorio por la ductilidad que adquiere el conjunto. Un estudio experimental ejecutado por Luis Jorquera (Instituto de Investigaciones y Ensayos de Materiales - Chile) demuestra que la energía necesaria para originar el colapso de un muro es veinte veces mayor para las albañilerías reforzadas, que para las simples (20)

Independientemente de las consideraciones expuestas y, como las fuerzas de inercia son proporcionales a las masas o pesos que conforman un edificio, obviamente trataremos de que éstos sean mínimos. Para eso habrá que optar por formas estructurales más esbeltas y materiales más ligeros.

La hiperestaticidad de la estructura es otro factor muy importante durante la acción de un sismo severo. Si hemos aceptado en estos casos un comportamiento inelástico por tratarse de situaciones instantáneas, concluiremos en que una estructura mientras más hiperestática sea tiene posibilidades de formar un mayor número de rótulas plásticas (que como se sabe absorben mucha energía) antes de "colapsar" o fallar al convertirse en un mecanismo inestable.

Aclarando más este punto, conviene destacar que una estructura que resiste bien los terremotos, no es necesariamente la que soporta mayores cargas horizontales, sino las que en base a ductilidad e hiperestaticidad disipa más energía. Al respecto se reproduce un texto de G.V. Berg y S.S. Thomaide, presentado con ocasión de la II Conferencia Mundial de Ingeniería Antisísmica (20): "Hace tiempo que los ingenieros han reconocido que la disipación de energía

es el factor clave para explicar el comportamiento que observan las estructuras durante los grandes terremotos. El terremoto entrega energía a la estructura y, para sobrevivir sin excesivo daño la estructura debe consumir toda la energía que se le ha entregado. Parte de esa energía es almacenada momentáneamente en ella en forma de energía elástica y cinética, pero en definitiva toda la energía debe ser disipada por fricción interna y deformación plástica, tanto en la parte estructural del edificio como en la parte no estructural".

## II) Control de la excesiva deformabilidad en las construcciones.-

Cuando se trate de diseñar edificaciones, especialmente si han de albergar un número elevado de personas, conviene tomar previsiones para evitar que durante la ocurrencia de un sismo se alcancen fuertes deformaciones, porque éstas con frecuencia producen reacciones de pánico cuyos resultados pueden ser nefastos; tal como ocurrió con el sismo del 03-10-74, en que el pánico encontró su clímax en los rascacielos limeños. Allí sorprendió el terremoto a miles de personas que, en su loca carrera por ganar la calle, se atropellaban y rodaban por las escaleras, en un pandemium indescriptible. Estas mismas reacciones han ido observadas en sismos anteriores.

La tranquilidad de los ocupantes se puede lograr limitando la deformabilidad de las estructuras en base a un aumento de rigidez lateral (fuerza necesaria para producir una deformación unitaria de las mismas). Este será entonces otro factor a tener en cuenta al momento de enfrentar la alternativa de usar una estructura rígida o flexible. Siendo inconveniente definir recomendaciones concretas, es pertinente limitarse solo a fijar criterios que puedan orientar a los proyectistas.

Por el motivo expuesto y también para evitar daños en los elementos secundarios de relleno, ventanas y otros, ocasionados por las deformaciones que les impone la estructura, es conveniente limitar el desplazamiento relativo entre pisos consecutivos a un determinado porcentaje de la altura de antepiso.

III) Estructuración uniforme y simétrica.- Resulta primordial que el estudio arquitectónico-estructural de un edificio derive en esquemas de uniformidad y simetría. Tanto mayor es esta exigencia conforme se trate de edificios más altos.

La forma más sencilla de lograr la uniformidad de estructuración es disponer los elementos soportantes considerando la existencia y aplicación de una retícula estructural de diseño, con variaciones suaves de un piso a otro. Debe procurarse que la distribución de masas y rigideces sea lo más regular posible.

La uniformidad de la estructuración es necesaria para hacer una vivienda asísmica y, el empleo de claros muy desiguales en un mismo marco estructural ocasiona fuerzas cortantes y momentos flexionantes elevados en los travesaños de claros más cortos.

La simetría de la estructura es necesaria para minimizar los efectos torsionales de las fuerzas sísmicas. La innumerable cantidad de casos de colapsos y fallas graves que han ocurrido, por falta de simetría estructural, en Lima Metropolitana durante el último sismo del 3 de Octubre nos obliga a no aceptar (ni siquiera considerar) diseños arquitectónicos asimétricos en el caso de edificios altos (más de 15 pisos).

Sin embargo, no debe exagerarse esta limitación; en construcciones de poca altura se puede aceptar dis



tribuciones de elementos en planta con cierta asimetría, siempre y cuando el centro de masas y el centro de rigideces se encuentran muy próximos. Estos últimos se puede obtener variando la rigidez de distintos elementos estructurales (ya sea modificando sus dimensiones, formas o el material de que están constituidos) o separando adecuadamente las diferentes partes del edificio. No obstante, las combinaciones estructurales con diferentes materiales, no son la mejor solución y deben ser evitados en lo posible.

Como aclaración se puede mencionar que los elementos rígidos "atraen" el centro de rigidez y por lo tanto la ubicación de los mismos (muros, placas de concreto armado, escaleras, núcleos de ascensores, etc), será de crucial importancia, para optimizar o equilibrar la estructuración.

Un ejemplo frecuente de daño ocasionados por la irregularidad de rigideces en planta y que es interesante mencionar, es el de los edificios que constan de dos o más volúmenes unido por un sector angosto y en los cuales, uno de dichos volúmenes es más rígido que el otro.

IV) Rigidez Torsional en Planta.- Si se tiene en cuenta que el efecto torsional de las fuerzas sísmicas es siempre importante, no solo por la naturaleza misma de la sollicitación (componentes torsionales de un terremoto), sino por asimetrías constructivas, de distribución de sobre cargas, etc., aún en edificios que tengan planta simétrica, deberá disponerse de elementos resistentes de modo que por su forma y ubicación proporcionen una rigidez torsional adecuada. (Rigidez Torsional: Fuerza necesaria para producir un giro unitario en la planta considerada del edificio).

V) Adecuado Anclaje de Revestimientos.- Para una adecuada protección de los transeuntes se debe considerar anclajes de revestimientos y

otros elementos decorativos en fachadas. Durante la ocurrencia del último sismo del 3-X-74, se ha visto que una gran cantidad de personas han sido víctimas de estos elementos en el momento que estaban ganando las calles o eran transeuntes de las mismas. Dentro de este rango también podríamos considerar sobre la holgura que deben tener los vidrios con los marcos de las ventanas, los tipos adecuados de la liga de estos marcos con la estructura y el empleo acertado de marquesinas.

Estos elementos que si bien no intervienen directamente en velar por la estabilidad de la edificación, deben conservarse razonablemente bien durante un mismo. Puede aceptarse daños de estos en terremotos severos, pero no en el caso de temblores moderados.

Por otro lado es importante recordar que el diseño debe tender a impedir el daño de las personas dentro y fuera del edificio, ocasionado por desprendimientos o vaciamiento de las partes no estructurales; nos referimos a las particiones, ventanas, cornisas, revestimientos, etc.

Lo corriente es que los elementos no estructurales carezcan de estabilidad propia y por lo tanto el problema se reduce a especificar adecuadamente los detalles de éstos, para que sustentándose en la estructura puedan además seguirla en sus movimientos sin coaccionar su libre vibración y sin destruirse ellos mismos.

b) En la Tabiquería.- En las estructuras aporticadas es la tabiquería la que completa la estructura, formando los diversos ambientes y limitando el espacio interior del exterior, resistiendo como carga su propio peso. Son generalmente construídas con ladrillos huecos denominados "panderetas" o tabiques, donde proviene su nombre, con el propósito de aligerar su peso y por consiguiente las cargas del edificio.



Estas por un deficiente procedimiento constructivo no tienen el suficiente amarre con los elementos estructurales razón por la cual tienden a separarse fácilmente a la pequeña vibración ocasionada por un sismo; esta falla es notoria por las grietas y fracturas que se presentan al contorno de todo el marco estructural. También se puede anotar que cuando el amarre es deficiente, esta falla origina otras de igual o mayor cuantía; es decir que el tabique se resquebraja en forma diagonal o de un aspa en la parte central, con ramificaciones hacia los extremos (vértices), situación en la que el tabique está al borde del colapso. Estas fallas anotadas se han podido observar en diferentes edificaciones de la Gran Lima por acción del sismo materia de este estudio.

La observación y estudio de las construcciones destruidas durante el terremoto del 3-10-74 y los anteriores, revelan numerosos casos de colapso ocasionados por efectos de la interferencia de elementos no estructurales en la estructura primaria. Un caso bastante común es el de tabiques que no habiendo sido considerados en el cálculo salvo como cargas gravitacionales, han destruido las hipótesis del diseño, cumpliendo un rol estructural para el cual no solo estaban preparados, sino que además (y esto es lo más importante) variaron la rigidez y comportamiento general esperado de la estructura tal como había sido concebida y diseñada originalmente.

Un error muy frecuente es construir tabiquería secundaria de ladrillo (material frágil) en edificios aporticados flexibles, sin que exista un estudio especial de su participación en el comportamiento general del edificio. Debe definirse previamente si se desea que estos tabiques sean o no estructurales, en caso de serlos habrá que considerarlos en el cálculo a sabiendas a que tendrán que rigidizar el edificio, en caso contrario independizarlos de tal forma que queden flotantes sin impedir las deformaciones de

la estructura,

En cuanto a los parapetos o muros de cerco de una azotea o de algún voladizo en algún piso intermedio debe tenerse cuidado en arriostrarlo debidamente para que cuando ocurra un sismo no colapse fácilmente y evitar de esa manera daños a las personas o estructuras que se encuentran en un nivel inferior. Tal es el caso que ocurrió durante el sismo del 3-10-74 en el edificio del Banco Industrial, en el cual un parapeto de 1.50 metros de altura y 0.30 metros de espesor, cayó a una altura de 15 m. aprox. sobre un voladizo construído arquitectónicamente, haciéndolo fallar.

Debe evitarse la construcción de este tipo de parapetos por ser a veces difícil de arriostrar; en caso de que fuera inevitable, debe procurarse ubicarlo a una distancia prudencial del borde libre de acuerdo a la altura del parapeto. Así por ej. si tenemos un parapeto de 0.90 metros este debe estar ubicado a uno 1.50 metros del borde libre; evitando así que el colapsar este parapeto caiga en niveles inferiores.

c) Juntas de Construcción.- El máximo aprovechamiento del área del terreno sobre el que se construye un edificio por un lado, y la normal descordinación cronológica, estructural e incluso de materiales utilizados, por otro lado, derivan en construcciones vecinas que teniendo períodos y formas de vibrar diferentes puedan chocar durante un terremoto (Ver Foto N° 10).

En las diferentes edificaciones, principalmente en las más altas, la separación entre las mismas no tienen el espaciamiento adecuado, tal es así que por la presencia del último sismo éstas han colisionado entre ellas.

La manera de evitar este problema es estudiar la separación que deben tener dos edificaciones vecinas en



base a sus comportamientos dinámicos. Esta junta de separación deberá contemplar la suma de las deformaciones posibles de las estructuras contiguas bajo efectos sísmicos, teniendo en cuenta además la posibilidad de giros de las fundaciones.

En edificaciones de poca altura, caso común de las viviendas unifamiliares donde existen razones para construirlas una a lado de otra, y sabiendo que las deformaciones son de menor importancia, pues incluso normalmente se trata de estructuras rígidas, se puede pensar en la utilización de algún material que minimice el efecto del choque, actuando como amortiguador del mismo (madera, productos sintéticos, etc).

Se ha observado que muchas veces a pesar de que se ha dejado un adecuado espaciamiento para la junta de separación sísmica este no se encontraba limpio, sino que se habían introducido por descuido seguramente pedazos de materiales rígidos (rebasas, escombros, etc.) evitando de esta manera desempeñar a la junta la función encomendada.

Nuestras Normas de Diseño Antisísmico estipula la separación mínima que deben conservar las edificaciones adyacentes; específicamente, esta separación mínima es de 3.00 cms. para edificaciones menores de 50 metros de altura; para una altura mayor se dejará la que indique el análisis, pero no menor que la obtenida por la fórmula:

$$S = 3 + 0.4 ( h - 5 ) \text{ en cm.}$$

Sin embargo, la no aplicabilidad de la norma en este punto es alarmante, como es sencillo comprobar en las construcciones existentes y más aún en edificaciones que colisionaron por acción del sismo del 3-10-74. Cada edificación deberá mantener la separación mencionada respecto a su límite de propiedad, independientemente de si hay o no conb

trucciones, vecinas. Para las juntas de separación sísmica dentro de una edificación, se efectuará en aquella sección donde el esfuerzo del corte es nulo; no interesando cualquiera sea el valor del momento flector.

d) Deficiente Aplicación del Reglamento Nacional de Construcciones,-

El reglamento Nacional de Construcciones vigente señala expresamente en sus diferentes artículos, un conjunto de normas, disposiciones y requisitos mínimos que se deben tener en cuenta durante el diseño, cálculo estructural, proceso constructivo y usos de una edificación por realizar,

Durante el sismo del 3-10-74, cuantos daños se hubieran evitado si se cumplieran en la práctica las disposiciones emanadas de dicho reglamento, específicamente en lo que ha seguridad sísmica se refiere; el quebrantamiento a las especificaciones de dicho reglamento son múltiples y entre las principales podemos citar las siguientes:

- 1.- Habiendo en la zona de Lima Metropolitana un gran número de construcciones sin columnas de amarre, es obvio que en éstas las fallas no se hicieron esperar en gran número, dependiendo en cada caso de la densidad de muros de las mismas. Es conveniente anotar aquí que la inspección por parte del Ministerio de Vivienda o el Concejo Distrital de la zona respectiva, sea muy rigurosa o imparcial para hacer cumplir el reglamento; ya que en el último de los casos es el Ingeniero Inspector el que da el visto bueno de la obra durante el proceso constructivo, así como antes de que entre en servicio la edificación.
- 2.- Otra deficiente práctica constructiva que ha facilitado la ocurrencia de gran cantidad de daños, debido a la pre

sencia de ondas sísmicas, es la falta de adherencia entre los ladrillos y el mortero en la construcción de un muro o tabique, Las causas de esta falta de adherencia pueden ser las siguientes:

- A.- Porque el ladrillo no es embebido en agua adecuadamente antes de sentarlos; según estadísticas solo el 63% lo hacen en forma adecuada. <sup>(21)</sup>
- B.- Por un amarre defectuoso de los ladrillos. De las observaciones realizadas se puede expresar que un 65% tiene buen amarre, regular 31% y deficiente 4%. Las fallas se han producido en dirección de las juntas verticales ya que se encontraban muy próximas entre una hilada de ladrillos y la inmediata superior, aunándose a esto el deficiente llenado de estas juntas.
- C.- Por falta de presión sobre los ladrillos al asentarlo sobre la cama de mortero. Muchas veces el albañil en el apresuramiento que tiene (por diferentes motivos) por avanzar la obra y otras en la falta de voluntad para realizarlo no le dan al ladrillo la presión necesaria para obtener un mayor área de contacto entre el ladrillo y el mortero, limitándose solamente a colocar el ladrillo y ejercer una débil presión con la mano; sin darle los golpes con el mango del badilejo o plancha con el cual se lograría darle un mayor área de contacto y el cual lógicamente redundaría una mayor adherencia.
- D.- Por la mala calidad del mortero utilizado en las juntas. Generalmente la dosificación de este mortero se hace en forma empírica y por tal motivo las razones de su deficiencia se incrementa. Entre estas razones podemos anotar que la medición de las cantidades de materiales se hacen al tanteo, incumplándose de esta manera la relación que se quiere obtener y más aún si las mediciones se hacen en grandes cantidades; otras de las razones es

que no se tiene en cuenta el grado de humedad de los materiales, específicamente de la arena, ya que en el momento de la mezcla puede absorber o aportar agua alterando de esta manera la relación agua-cemento óptima y por ende la resistencia requerida del mortero.

3.- Muchos vanos no son convenientemente reforzados con dinteles y/o columnas; en otros casos el empotramiento de los mismos es muy reducido haciendo que las cargas no se repartan uniformemente, sino que actúan como cargas puntuales, facilitando de esta manera el colapso o agrietamiento de la columna o muro que lo sostenga durante la ocurrencia de un sismo, tal es el caso de muchas edificaciones que sufrieron este tipo de daños con el sismo de 3-10-74.

4.- El Reglamento Nacional de Construcciones señala expresamente que los acabados de fachadas tales como cornisas, enchapes, cielorrazos elementos decorativos y otros revestimientos, deben estar adecuadamente adheridos y anclados a la estructura del edificio, a fin de evitar desprendimientos durante o después de un movimiento sísmico.

Durante el sismo del 3-10-74 ocurrido en Lima, se observó la caída de estos adornos de fachada (macetas, enchapes, cielorrazos y similares) debido a que no estaban debidamente reforzados y aseguradas a los edificios. Luego de muchos días de ocurrido el sismo, muchos propietarios no habían retirado aún las cornisas que estaban por desprenderse totalmente y lo que es peor aún algunos han reemplazado sus macetas caídas con otros similares sin tener el mayor cuidado en asegurarlas a la estructura del edificio.

Sin embargo la mayoría de edificios y casonas de Lima que presentan estos elementos decorativos en sus fachadas han sido construídas mucho antes de la da

ción del presente reglamento y en la mayoría de los casos (según se observó en el mismo 3-10-74) las cornisas, enchapes y otros adornos cayeron causando muchos destrozos materiales y algunas desgracias personales. En las que los daños han sido menores o no se han producido habrá que asegurarlo adecuadamente o en el mejor de los casos quitarlos definitivamente, ya que es seguro que no están adheridos y anclados suficientemente como para resistir próximos sismos. También se observó que a raíz del último sismo, en el centro de Lima y algunos distritos como Chorrillos, Barranco, Surco, La Victoria, entre otros, en varios edificios se desprendieron enchapes y materiales pesados. Al respecto el reglamento de construcciones dice claramente que se tendrá particular cuidado con los enchapes de mármol y materiales pesados similares, los que deberán estar anclados al material matriz con alambres gruesos de fierro con anclaje y resistencia adecuada.

5.- La carpintería metálica o de madera que enmarque vidrios o materiales frágiles o similares, en la mayoría de los casos no están bien diseñados, la construcción y colocación tampoco son hechos correctamente: aún cuando poseen una buena fijación de los vidrios, carece de flexibilidad suficientemente para permitir que la deformación impuesta a los vanos por las vibraciones y empujes laterales (sismo) no sea transmitida a los vidrios por encima de su límite de resistencia a la deformación, esta es la razón para que con el sismo materia de nuestro estudio, los vidrios colapsaron en grandes cantidades especialmente en edificaciones altas (más de 5 pisos) y al caer causaron daños y desgracias personales, salvo en el caso en que el vidrio tenía armadura que asegura que al romperse queda fracturado en su vano sin hacer peligrar la seguridad de los transeuntes en pisos o calles inferiores, tal como indica el reglamento en cuestión, pero estos tipos de construcciones son muy raros en Lima Metropolitana, incumpliendo de esta manera las disposicion

nes pertinentes.

6.- También es necesario anotar el incumplimiento de las disposiciones del reglamento en lo que a anchos de escaleras y pasadizos se refiere. Al respecto dicho reglamento especifica, anchos mínimos de acuerdo al tipo y uso de las edificaciones. Lo cual en la práctica generalmente no se cumplen, así por ejemplo para viviendas multifamiliares, el reglamento especifica un ancho de 1.20 metros y usualmente se puede ver en las edificaciones existentes que apenas llegan a 1.00 metro. El incumplimiento de estas especificaciones mínimas, hacen que al producirse un sismo, la evacuación sea muy penosa tal como ocurrió en el sismo que estudiamos. Cabe recordar al mismo tiempo, que las escaleras son el medio de evacuación más seguro, si se produce un sismo más severo que dejara inutilizado los ascensores y numerosos heridos no podrían salvar sus vidas, si este medio de evacuación fueran muy estrechas, incrementándose de esta manera el número de víctimas.

Este somero análisis de las disposiciones del Reglamento Nacional de Construcciones, en lo que a seguridad sísmica se refiere, y su relación con los daños observados, con ocasión del sismo del 03-10-74 muestra que, como en otros terremotos, la casi totalidad de los daños se podría haber evitado o reducido si se hubieran aplicado razonablemente bien las recomendaciones que establece dicho Reglamento, vigente en la zona afectada. Esto nos señala una vez más la necesidad de que exista una eficiente política edilicia en áreas de importante actividad sísmica, la que debe verificar la correcta aplicación de los requisitos que el poder público ha establecido como mínimo para adecuar las construcciones con el objeto de evitar las pérdidas de vida a niveles económicos reducir los daños materiales ante la ocurrencia de sismos destructivos.

e) Por un deficiente estudio del suelo de cimentación.-

Los daños existentes por esta razón, producidos con ocasión del sismo del 03-10-74, son numerosos en el área de Lima Metropolitana. Esto es debido precisamente a que no se ha tenido en consideración en el diseño, al momento de proyectar la estructura,

Generalmente se toma al suelo de Lima igual al de la zona central, es decir, como un suelo bueno de cimentación; esto naturalmente constituye un error muy grave, ya que se puede apreciar, en una misma zona, suelos de diferentes características.

En nuestro medio, la Mecánica de Suelos está interviniendo en los estudios de diferentes obras de importancia, con mayor solicitud que hace veinte años; pero su contribución es sólo a nivel estático, dando informaciones como capacidad portante, densidad, estabilidad, etc. Con estos datos naturalmente se logra proyectar una estructura más adecuada de acuerdo al suelo en el que va a ser cimentada; pero no se consigue evitar o minimizar las fallas al producirse un sismo, al no haber tenido información en el momento del diseño, del comportamiento dinámico del suelo de cimentación.

Actualmente los estudios de mecánica de suelos son solicitados por ingenieros como respaldo a la seguridad de la obra y en especial a su prestigio personal, lo que resulta peligroso, pues, esta información tiene limitación al no ser adecuada en dinámica de suelo.

Como se sabe, el suelo como elemento de cimentación es muy variable en su composición y naturalmente en su comportamiento; así se tiene suelos con diferentes estados no homogéneos, pasando en cortas distancias de roca a relleno aluvial, a suelo blando o viscoso, a su vez la disposición del suelo es por capas las cuales no son necesaria

mente horizontales, presentando características diferentes en caso de ser exitadas por un sismo. Estas características se aprecia en términos de intensidad de los sismos y de períodos predominantes durante los mismos.

Por las observaciones hechas, por sus antecedentes histórico sísmico, por la existencia de diferentes condiciones geotécnicas y de tipos de suelo y, dada la procedencia de las características como del reciente sismo, son motivos suficientes para solicitar se concrete la microregionalización sísmica de Lima Metropolitana, y de este modo permita contar con normas locales de diseño y construcción, si pretendemos proteger las inversiones y la seguridad del pueblo

Esta microregionalización nos sugerirá, que suelos son buenos o malos para la construcción, planteando soluciones en cada caso; pero un estudio de dinámica de suelos será el que en definitiva nos permitirá proyectar la estructura más conveniente. Cabe anotar que la falta de referencia y experiencia nacional en dinámica de suelo, es una realidad triste; a pesar de que los últimos terremotos ofrecieron casos singulares que no se han aprovechado, más aún, se carece en la formación del Ingeniero Civil de una asignatura en Dinámica de Suelo, aún en las universidades de mayor prestigio. Este es la situación real en nuestro medio a pesar de estar convencido de la dinámica de suelo en el riesgo sísmico.

## **5.6 ANALISIS ESPECIFICO DE DAÑOS.**

Varias son las formas principales, que se pueden considerar típicas, del comportamiento de las estructuras con la ocurrencia de un sismo, de características como el apreciado el 03-10-74. En nuestro caso son dignas de mención (por la elevada cantidad de los daños observados) los referentes a columnas "cortas", flexibilidad excesiva, pro



blemas debidos a detalle de conexiones y anclaje, fallas de los elementos no estructurales y deficiencia de anclajes en parapetos flotantes.

A pesar de que en general la calidad de la ejecución de la obra, en nuestro país es buena; sin embargo, se presentan daños sistemáticos de detalles de refuerzos, de los cuales los que se observa con mayor frecuencia y tuvieron influencia predominante en los daños ocasionados, es la ausencia de estribos en columnas, en las cercanías y dentro de los mismos nudos formados por la unión viga-columna; la falta de anclaje entre varillas de refuerzo de vigas y columnas, principalmente en nudos extremos (esquina).

5.6.1 Columna Corta. - Explicando el concepto de columna "corta", diremos que es aquella columna que ha sido reducida a una fracción del tamaño original, comportándose de este modo, de una manera diferente a su concepción original. Esta reducción en su tamaño es debido al empotramiento que sufre la columna original, por la construcción de muros y tabiques adyacentes a la columna y que por razones arquitectónicas no llegan hasta el nivel superior de la misma.

Veamos analíticamente lo que sucede:

Originalmente se tiene (Ver fig. N° 18)

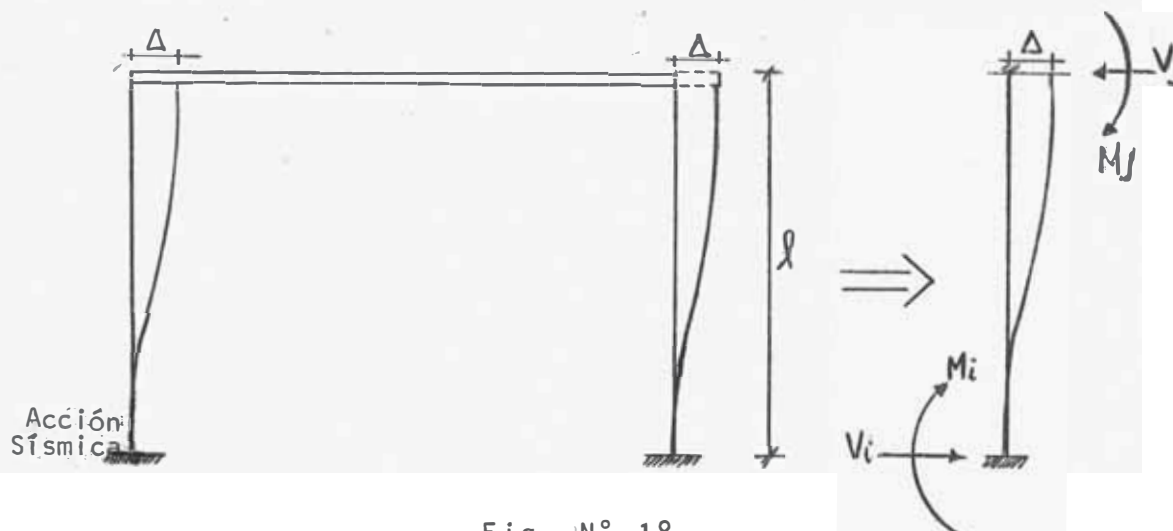


Fig. N° 18

Los momentos de empotramiento en las columnas, debidos al desplazamiento relativo de su extremo, tienen los siguientes valores:

$$M_i = M_j = \frac{6EI\Delta}{l^2} \quad (5.1)$$

y los cortantes

$$V_i = V_j = \frac{12EI\Delta}{l^3} \quad (5.2)$$

Ahora supongamos que esta columna, originalmente calculada para una longitud "l", ha sufrido un empotramiento hasta sus 3/4 partes; entonces la forma de trabajo y los esfuerzos que debe soportar realmente son: (Ver fig. N° 19)

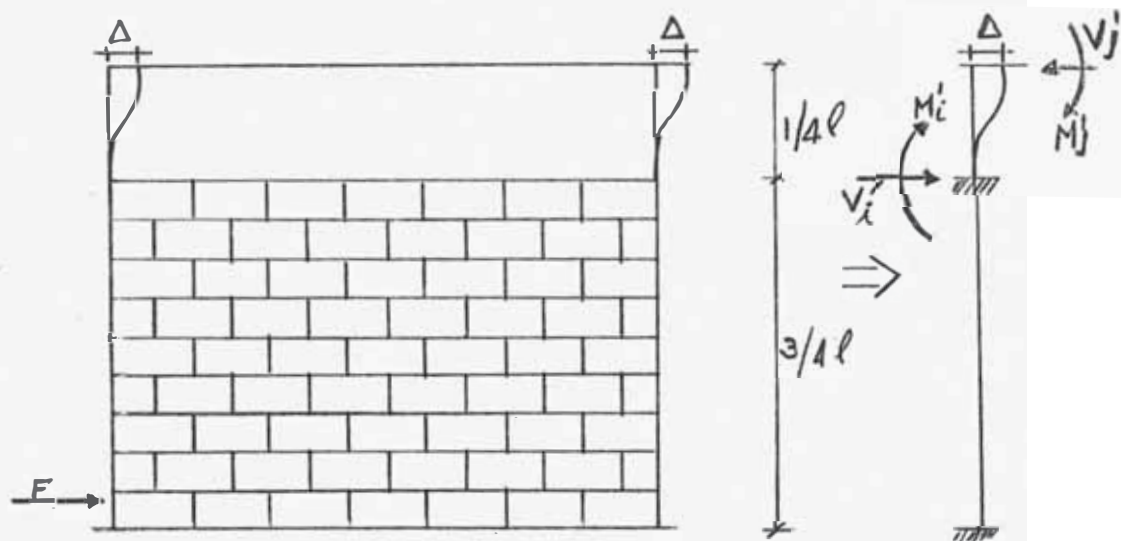


Figura N° 19

Considerando que los desplazamientos son iguales, los nuevos momentos y cortantes serán:

$$M'_i = M'_j = \frac{6EI\Delta}{(1/4)^2} = 16 \frac{(6EI\Delta)}{l^2} = 16 M_i = 16 M_j \quad (5.3)$$

$$V'_i = V'_j = \frac{12EI\Delta}{(1/4)^3} = 64 \left( \frac{12EI\Delta}{l^3} \right) = 64 V_i = 64 V_j \quad (5.4)$$

Vemos que los esfuerzos se han incrementado considerablemente, especialmente los esfuerzos de corte; y éstos son los que finalmente harán colapsar a dicha columna.

En general al ocurrir un sismo, éste produce esfuerzos horizontales de corte, los cuales se considera que son tomados uniformemente por la columnas de un pórtico, de acuerdo a sus rigideces. Pero las rigideces son inversamente proporcionales a las longitudes de dichas columnas, mediante la siguiente relación:

$$K = \frac{12 E I}{l^3} \approx \frac{1}{l^3} \quad (5.5)$$

Ahora supongamos que un pórtico está constituido por tres columnas, cuyas longitudes son como: 1, 1/4 y 1/2, y que todas sus demás características iguales; entonces sus rigideces serán como: 1, 64 y 8 respectivamente. Se puede concluir que la columna de menor longitud (columna corta), será la que resistirá un esfuerzo mayor que las otras dos; lo cual nos indica claramente que si es diseñada en forma análoga a la primera, fallará ostensiblemente, colapsando en forma parcial o total.

Las columnas cortas generalmente se originan en los vanos dejados por puertas y ventanas, de igual modo que en la construcción de los tanques elevados. Con respecto a las primeras, se puede decir, de las observaciones realizadas y los daños producidos, que éstos se presentan comúnmente en locales escolares, principalmente en las aporticadas, pues para dar mayor iluminación natural a un aula se han dejado vanos inmensos para las ventanas, que se extienden desde una columna a otra (Ver Fig, N° 20). Este tipo de edificación y fallas también se observa en los diferentes locales industriales (fábricas) y edificios públicos (hospitales, universidades, etc.).

Con respecto a los tanques elevados, se pue-

den decir que en Lima Metropolitana, los hay de diferentes tamaños, de acuerdo al tipo de edificación y al número de habitantes que puede albergar. Las fallas producidas en estos tanques también han sido, en forma general, por corte (esfuerzo cortante puro o esfuerzo de corte por torsión); siendo la causa de esta falla un deficiente cálculo estructural o una mala concepción estructural de la misma, amén de los construídos empíricamente sin ningún tipo de cálculo. Las fallas por corte puro se han producido en aquellos tanques colocados sobre cuatro columnas de reducidas dimensiones (uso muy común) y los cuales han fallado en la parte superior e inferior. Las fallas por corte de torsión se ha producido en aquellos tanques en los cuales dos de sus columnas han sido empotrados íntegramente por un muro de ladrillos y las otras dos (que son las que han fallado) se han encontrado sin ninguna clase de empotramiento.

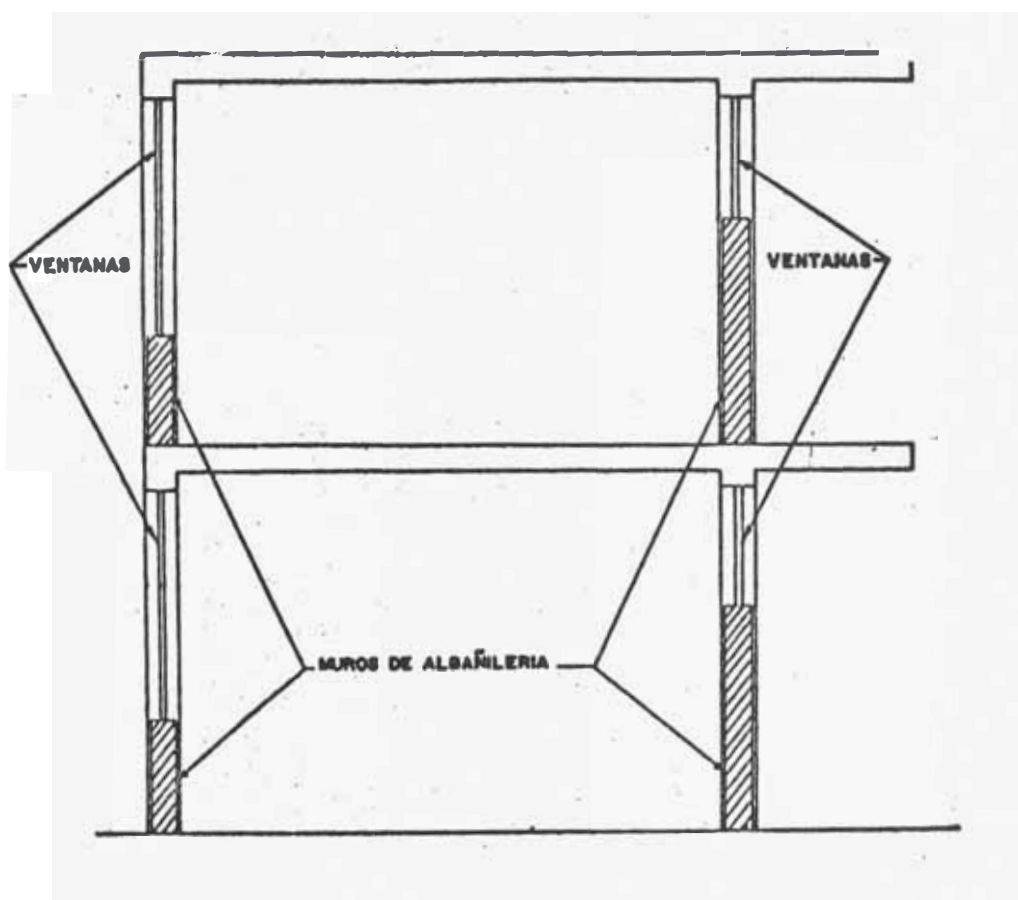


Fig. N°20: SECCION TRANSVERSAL DE ESTRUCTURA TIPICA DE ESCUELA.

Las columnas cortas que se han presentado en los tanques elevados por un empotramiento de las columnas hasta la parte media o dos terceras partes de la misma, han originado fallas más graves que las anteriores, ya que por acción de las ondas sísmicas la fuerza cortante se ha incrementado grandemente.

5.6.2 Flexibilidad excesiva.- El hecho de que se ignore los efectos del sismo en el diseño de estructuras de 3 ó más pisos, así como la concepción estructural que se preocupa dar resistencia lateral en una sola dirección (eje de construcción), pueden propiciar la ocurrencia de dos tipos principales de daños asociados a la flexibilidad excesiva de las estructuras:

- Deformaciones excesivas de las estructuras, incluyendo en algunos casos el colapso por inestabilidad.
- Falla de elementos no estructurales (tabiquería de relleno)

Debe tenerse en cuenta que no se debe sobrestimar la ductilidad como remedio para asegurar la estabilidad de las estructuras sujetas a sismos. En efecto, a pesar de las amplias deformaciones de columnas sin fracturarse, la acción de cargas verticales, en este caso, puede ocasionar colapso por inestabilidad. Esto puede agravarse por la influencia de deficiencias de diseño de columnas; como pésimo detalle de anclaje en el nudo entre acero y concreto, al igual que en la cimentación.

Por lo que respecta al comportamiento de elementos no estructurales, los problemas se derivan de la flexibilidad estructural excesiva, agravándose por el tipo de materiales que se utiliza en la construcción de muros de relleno. Cuando se utiliza bloques con huecos horizontales y paredes con espesores pequeños, usados especialmente en edificios para oficinas y/o habitación, éstas fallarán explosivamente (fisu

ras o grietas diagonales o en aspa), cuando se producen de formaciones angulares pequeñas. A esto se debe la abundancia de daños en muros de tabiquería.

En los casos en los que se emplean bloques más compactos, cuando se presenta la falla (agrietamientos o fisuras), éste se presenta a través de las juntas, sin producir la desintegración de la tabiquería como en el caso anterior y en muchos casos se produce la separación del marco estructural.

5.6.3 Problemas debidos a conexión y anclaje.- Una típica falla de este tipo, es la que se produce en la intersección entre viga y columna, como consecuencia de omitir los estribos de las columnas en dicha intersección; sobre todo en los nudos extremos (esquinas), donde los refuerzos de vigas en algunos casos no poseían ningún anclaje y al producirse el movimiento sísmico, se desintegraban, adquiriendo un movimiento independiente cada elemento.

Otros problemas presentados son los traslapes muy cortos de los refuerzos (acero) en la continuación de columnas, colocadas todas en la misma sección, y la falta de estribos para darle mayor adherencia.

5.6.4 Deficiencia de anclajes en parapetos "flotantes".

Una característica común en las edificaciones de ladrillo y concreto armado, es la ubicación de parapetos en las azoteas. Estos parapetos tienen de 0.20 a 1.00 metros de altura, para un ancho de calzada de 10.00 metros y están ubicados perimetralmente. En estos parapetos se ha presentado una falla generalizada por el deficiente amarrado con los muros portantes de los pisos inferiores. Las fallas que se han presentado son grietas en unos, fracturas en otros y el desplome en muchos casos. Este último ti

po de falla es además el más peligroso, ya que puede ocasionar otros daños en la estructura (sobre todo en volados), y más aún pueden ocasionar víctimas que lamentar, al caer sobre las personas que se encuentren en la calzada.

Una falla de este tipo, que por su espectacularidad y la gravedad de los daños que causó lo constituye el que se presentó en el Banco Industrial del Perú, en el Centro de Lima, el cual fué extensivamente dañado, debido al desplome de un alto parapeto no reforzado. (Ver foto N° 26).

#### 5.6.5 Observaciones en los diferentes tipos de Construcciones.

##### CONSTRUCCIONES DE MAMPOSTERIA DE LADRILLO SIN REFUERZO

En este tipo de estructuras, los elementos resistentes lo constituyen los ladrillos colocados de cabeza, con mano de obra y mortero ordinario, carecen de columna de amarre, su altura es pequeña, los dinteles son de hormigón armado y no están vinculados a arriostramientos, tienen como techo una losa aligerada con un espesor promedio de 20 cm. y una luz máxima de 6.00 metros.

Este tipo de edificación fué extensivamente dañado y muchas casas sufrieron colapso parcial o total, sobre todo en aquellas edificaciones que se encontraban ubicadas en las áreas sísmicamente críticas de Lima Metropolitana. También existen este tipo de construcciones en las laderas de algunos cerros de Lima (Pueblos Jovenes) y se emplean en reemplazo del adobe; pero en este caso no se observaron colapsos, pero sí daños menores.

##### CONSTRUCCIONES DE MAMPOSTERIA DE LADRILLO CON REFUERZO.

Existen construcciones de mampostería de ladrillo, de una o dos plantas, que han sido ejecutadas con algunas previsiones sismo-resistentes, como columnas de amarre, un encadenado inferior y otro superior de hormigón a

mado y una cuidadosa traba de los ladrillos en los encuentros de muros. (Ver Fig. N° 21).

Este tipo de edificación soportó los daños mucho mejor que aquellas sin reforzar o adobe, especialmente cuando el momento torsional fueron tomados en consideración en el diseño de estructuras no simétricas. Este tipo de viviendas construídas sobre las laderas de los cerros, con buen terreno de fundación, prácticamente no presentaron daños. En lugares donde el terreno de fundación es más blando, como son los que se presentaron en las zonas críticas antes citadas y en las riberas del rio Rímac, se han presentado algunos daños menores.

#### CONSTRUCCIONES DE ESTRUCTURAS APORTICADAS.

En este tipo de construcciones, la estructura principal (armazón), lo constituyen los pórticos de concreto reforzado. En algunas construcciones de este tipo, considerando el momento resistente, no fueron eficientes porque las estructuras no fueron proveídas de suficiente ductilidad. (Ver Fig. N° 22).

Estructuras de concreto reforzado de edificios con muros de albañilería de relleno, fueron moderadamente dañados, especialmente en edificaciones de colegios. En la parte delantera de las aulas de clase, los muros fueron altos con pequeños ventanales en la parte superior. En la parte posterior, los muros fueron usualmente cortos (poco elevados) con grandes ventanas. Debido a los altos muros delanteros, la longitud libre de las columnas delanteras, para movimientos del edificio en la dirección longitudinal, es corta, y de este modo, las columnas delanteras mucho más rígidas que las columnas posteriores. De este modo no es sorprendente observar que las columnas cortas fallaron en la mayor parte de los casos. Esto fue debido a la negligencia de los proyectistas, quienes no tomaron en cuenta, al momento



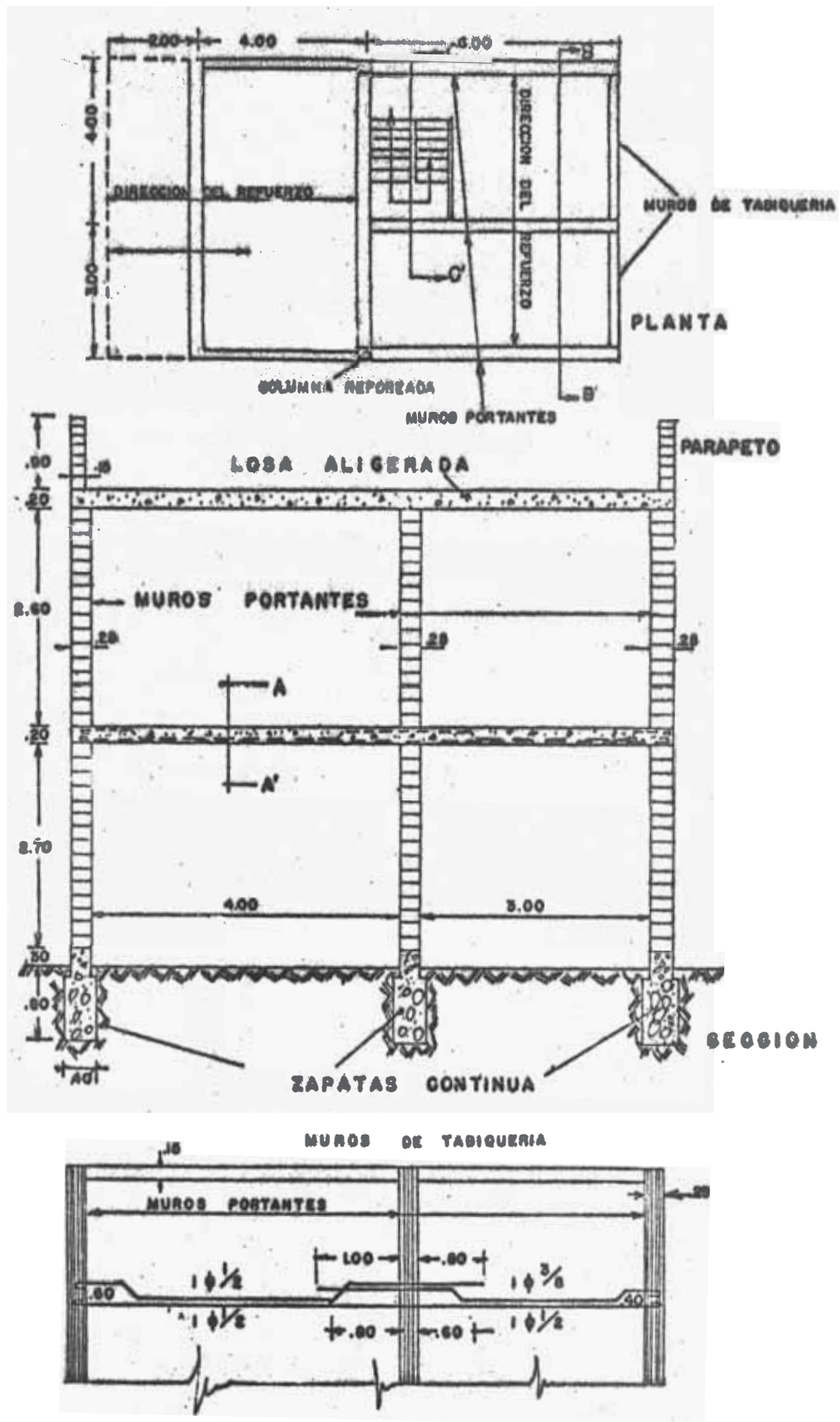


FIGURA N° 21

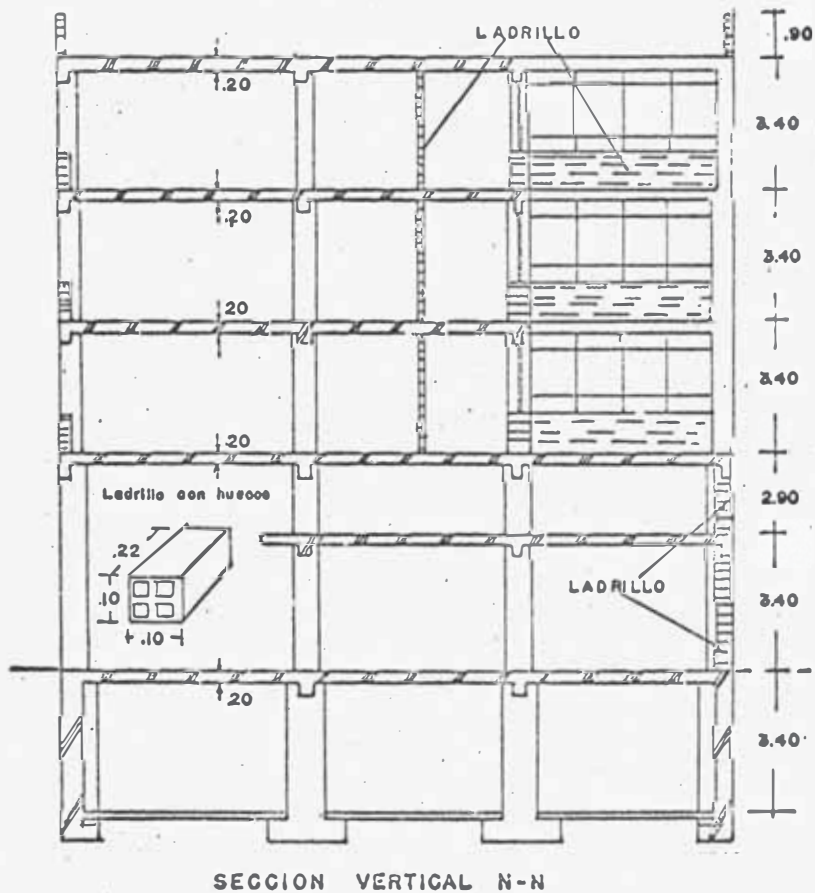
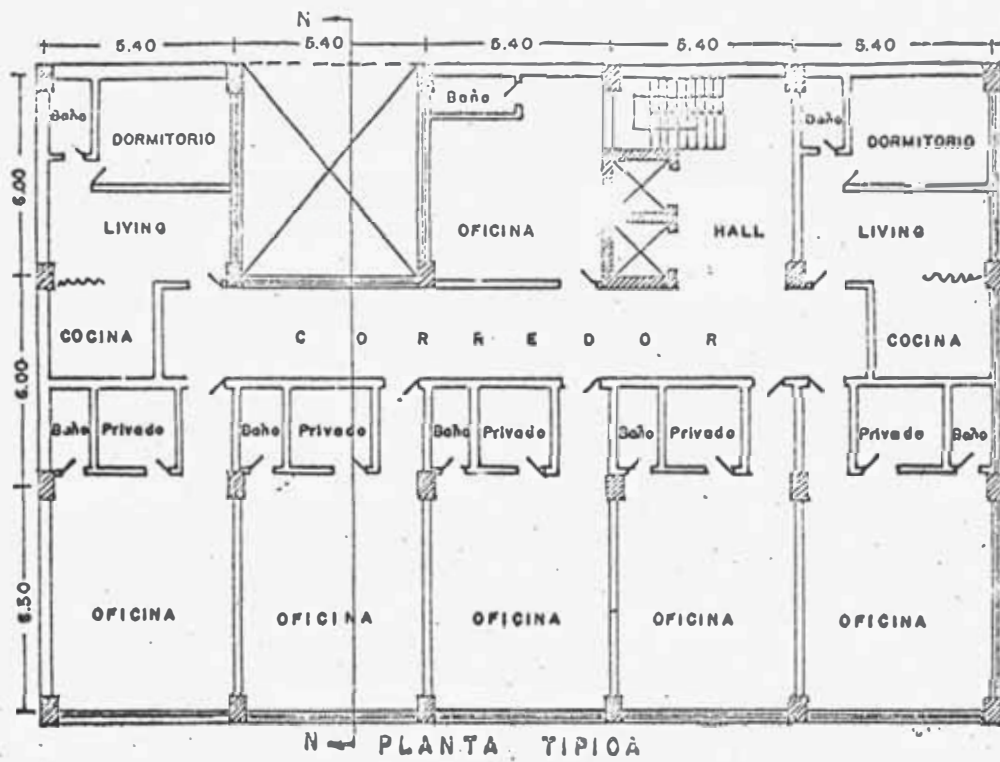


FIGURA Nº 22

to de hacer los cálculos, éstos parámetros en el diseño original y que son especificados en el Reglamento Nacional de Construcciones, en el acápite de seguridad sísmica; aunque hay que hacer la salvedad de que muchos se construyeron antes de aprobarse el Código Sísmico.

Otros tipos de daños observados en estas edificaciones, son la separación de la tabiquería de las columnas y vigas, esta falla se presenta por el deficiente amarre del pórtico con el tabique; en otros casos se presentaron fisuras o grietas en la tabiquería y esta falla es en forma diagonal o en aspa, partiendo de la parte superior hacia la inferior hasta llegar al piso de la planta. Esto se debe a que el amarre pórtico-tabique es bueno y el pórtico ha sido rigidizado en grado sumo y ocasiona la tracción diagonal; esta falla tiende a agravarse en las plantas inferiores, donde se llega a la fractura y en muchos casos acompañado de desprendimiento de revestimiento.

También se pueden ver en Lima Metropolitana, construcciones cuyas estructuras son de concreto armado con muros de adobe de relleno. En otros, se empleó en forma desordenada diferentes tipos de materiales, tales como: ladrillo, concreto reforzado, junto con adobe y quincha. En estas construcciones los daños fueron extensivos; las fallas principalmente se presentaron en las juntas de construcción de dos materiales diferentes.

# CAPITULO VI

## EVALUACION DE DAÑOS EN EDIFICACIONES

### 6.1 GENERALIDADES.

A continuación presentamos un conjunto de edificaciones importantes, los cuales han soportado diversos daños al presentarse el sismo 03-10-74.

Estos daños diversos se deben primeramente a la ubicación de cada una de las edificaciones en el área de nuestro estudio y en las cuales hemos indicado las zonas desfavorables ante sismos.

En segundo lugar, las fallas se deben a defectos de diseño (tipo de cimentación, asimetría, columnas cortas, etc.) y malos procesos constructivos agravándose al no cumplirse las especificaciones de los planos de diseño y en algunos casos cambiándolos.

Se han escogido estas edificaciones, por la gravedad de los daños que ellas presentan y que, en algunos casos, estos daños pueden ser típicos (como las columnas cortas en Colegios).

Se hace notar a la vez, que estas edificaciones, a excepción del Banco Industrial, se ubican en las zonas que hemos definido como críticas ante sismos, constituyéndose de esta manera en ejemplos para lo que puede acontecer en futuras edificaciones que se puedan llevar a cabo, si no se toman las precauciones del caso; vale decir, el tener cuidado en el diseño, tomando al sismo como parámetro principal, y haciendo cumplir las especificaciones en el mo

mento de la ejecución de la obra.

El caso del Banco Industrial se incluye, porque, a pesar de tener un buen terreno de fundación, el daño observado en él puede darse en cualquier edificación que tenga este defecto constructivo (Parapeto alto no reforzado, ni arriostrado) dentro de toda el área de estudio, agravándose en las zonas críticas sísmicas.

## **6.2 UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA.**

Esta universidad está situada en La Molina, zona que la hemos considerado crítica sísmicamente hablando (Ver 5.2), porque allí existen graves problemas desde el punto de vista geotécnico (Geológico y de Mecánica de Suelos), napa freática alta, etc.; que hacen, al producirse un sismo, que las ondas se amplifiquen y cambien las condiciones iniciales del terreno (asentamientos, levantamientos, desplazamientos, etc.), aumentando de esta manera el riesgo sísmico sobre las estructuras que allí se edifiquen. Es por esto que al presentarse el sismo que motiva nuestro estudio y sus características antes descritas, se produjeron cuantiosos daños en estructuras de concreto armado y más aún en las de adobe; estimándose las pérdidas en S/. 100'000,000.00 soles oro, según opinión de sus autoridades.

Las construcciones de este complejo universitario son muy variados y tienen distintas fechas de realización: en él coexisten los viejos edificios construídos con adobe hace varias décadas; las oficinas, laboratorios, biblioteca y depósitos fueron construídos en 1965 y los modernos cuerpos de aulas habilitados en 1972.

Las viejas construcciones de adobe resultaron con severos daños que incluyen el derrumbe de muros y techos. Cabe citar entre éstos, a la casa de estudiantes, que es de adobe pero con techo de aligerado de concreto; repara

da después del sismo de 1940 y que no tuvo problemas ni en el sismo de 1966, ni en el de 1970, durante el sismo de 1974 se produjo el colapso, probablemente por el período de vibración largo del sismo, el movimiento de inercia de la losa y probablemente el incremento de período de degradación progresiva de las construcciones de adobe por efecto de los sismos anteriores<sup>(8)</sup>.

En cuanto a las edificaciones de concreto armado, previamente podemos anotar que después de experiencias con resultados insatisfactorios con muros de albañilería de relleno entre columnas, durante sismos previos, algunos ingenieros decidieron separar los muros usando 3 cm. de un material blando de relleno. Pero ninguna previsión fué tomada a mantener los muros para movimiento perpendicular a su plano<sup>(19)</sup>. Esto se puede observar en el edificio de laboratorios.

El edificio de biblioteca, una estructura de concreto armado de 4 pisos, fué averiado por el sismo de 1970, y algunos trabajos de reparación fueron hechos. Los cambios y reforzamientos no fueron lo suficientemente fuertes para impedir futuros daños, y la mayor parte de los viejos daños estructurales reaparecieron junto con los nuevos daños, debido al sismo de 1974.

En medida de reducir al mínimo futuros daños, es recomendable bajar al nivel inferior la mayor parte de los libros, de este modo disminuir las fuerzas laterales generadas por el sismo en la estructura, ya que dicha fuerza está en razón directa a la masa que hay en cada nivel. Puede también ser necesario verificar el nuevo diseño en medida de cumplir la prescripción de momento torsional contenido en el Código Peruano de Construcción<sup>(19)</sup>

El edificio de oficinas, también resultó con daños severos en la planta baja, en especial algunas colum-

nas. Este edificio, ya había sufrido en el sismo de 1966. En su reparación se colocaron algunos muros de hormigón armado en reemplazo de mampostería que llenaba los vanos de pórticos.

Los locales destinados a laboratorios de la Universidad, que es una estructura de concreto armado de un piso y cuyo techo es un cascarón paraboloidal-hiperbólico, tipo sombrilla; sufrieron daños en sus muros de albañilería de relleno. En uno de los laboratorios las columnas de apoyo (de las sombrillas) eran cuadradas de aproximadamente 18 cm que parecen de escasa dimensión para el área que cubre cada unidad, más o menos  $30 \text{ m}^2$ , y sus estribos estaban al parecer demasiado espaciados; este puede ser la razón para que algunas de las columnas presentaran daños en la parte superior.

Según el diseño estructural original de los edificios, principalmente como un resultado de los estudios de suelos, todas las estructuras fueron supuestas a tener una placa de cimentación. Sin embargo, una revisión de la versión final de los planos del edificio mostró que se había hecho un cambio de diseño, al llevarse a cabo la construcción de las estructuras, éstas fueron hechas sobre pilotes en lugar de placas <sup>(19)</sup>.

Particular atención merece el estudio de los daños sufridos por dos pabellones de aulas. Las estructuras de estos pabellones son de concreto armado, de un piso y recientemente construidos (1972). Su techo de concreto armado es plano, con altas vigas invertidas (especie de canales invertidos) en ambas direcciones; las columnas de apoyo no parecían estar dispuestas para recibir las importantes fuerzas sísmicas originadas por las masas intervinientes, por lo que resultaron dañados en capiteles y bases (Ver fotos N°1, 2, 3, 4), y fallaron, comprometiendo a que el techo se desplomara, especialmente en las esquinas del edi

ficio. En las columnas dañadas se apreció que el hormigón era de regular calidad y se notó la ausencia de un buen es-  
tribado. Los pilotes fueron colocados usando la geometría  
especificada en el diseño original. Sin embargo, una dis-  
tribución de columnas diferente de el diseño original fué  
utilizado en la actual construcción, con el resultado de  
que pilote y columna (eje) no lograban coincidir<sup>(19)</sup>. Cimen-  
tación con vigas de amarre han sido introducidas en los ex-  
tremos de las estructuras en un intento de resolver este pro-  
blema. Este nuevo diseño incrementó las fuerzas laterales  
recibidas por los extremos de las estructuras. El período  
fundamental de vibración para estas estructuras de aulas de  
clase fueron determinadas entre 0.38 y 0.34 seg. por inge-  
nieros peruanos con la ayuda de un computador digital<sup>(19)</sup>.

El edificio de la unión de estudiantes (come-  
dor) es una estructura de 2 pisos, diseñado a tener una al-  
tura final de 4 pisos, con un ascensor cercado por dos mu-  
ros permanentes y dos flotantes de concreto armado<sup>(19)</sup>. Dos  
de los muros fallaron y después del sismo la caja de ascen-  
sor se inclinó peligrosamente (Ver fotos N°7 y 8). Durante  
el temblor de 9 de noviembre de 1974, esta caja de ascensor  
colapsó.

Las columnas del segundo piso mostraron seve-  
ros daños en su parte central. Un análisis de los planos  
de la estructura averiada reveló que en el segundo piso fue-  
ron usadas simples ataduras (amarres), de este modo no per-  
mitieron, a la columna, portarse satisfactoriamente. El pro-  
yecto original, fué diseñado para dos juntas de construcción.  
Después de una inspección de los elementos, los cuales su-  
frieron la mayor parte de daños, fue notado que algunas ata-  
duras los cuales aparecían en los planos, no fueron coloca-  
dos durante la construcción.<sup>(19)</sup>

### **6.3 COLEGIO REYNA DE LOS ANGELES.**

Este colegio esta ubicado en el distrito de



La Molina. Por lo tanto, presenta alto grado de riesgo sísmico, por motivos ya explicados, como basamento rocoso poco profundo y los suelos blandos (suelos), como arenas limosas, encima de él, que producen amplificación de ondas sísmicas. Tal es así que en los últimos sismos importantes, sufrieron daños considerables, especialmente en el ocurrido en 1966.

Este edificio constaba de dos cuerpos iguales de dos pisos. El sismo del 03-10-74, ocasionó daños graves en la estructura de concreto armado y en los muros de albañilería de relleno, dejando a la construcción en estado de colapso casi total.

Estos daños graves son consecuencia de una estructura inadecuada, de escasa dimensión de los elementos resistentes y de defectos constructivos tales como insuficiencia de anclaje de los fierros de la columna en las vigas y la falta de estribos en los nudos de la estructura. Como en otros casos la mampostería de ladrillo no tenía ninguna vinculación con la estructura<sup>(22)</sup>.

Este edificio, como se dijo anteriormente, sufrió los efectos de los últimos sismos y especialmente el de 1966 y parece que una reparación no cuidadosa, que resolviera los graves defectos con que fue construido, fue ejecutado después de cada sismo. En ocasión de la visita realizada se estaba en proceso de demolición ya que los daños sufridos hacían antieconómica su reparación<sup>(22)</sup>.

#### **6.4 COLEGIO LA RECOLECTA.**

Este colegio está ubicado en la jurisdicción del distrito de Ate, en la frontera con el distrito de La Molina. El suelo en general es material transportado de origen fluvio-aluvial; al efectuar la cimentación se encontró el estrato superficial de 0.70 a 1.00m. tierra vegetal, in-

mediatamente después un estrato de conglomerado suelto de 2.30 a 2.60 m. de espesor.

De la carta topográfica del Instituto Geográfico Militar del año 1966, se puede advertir afloramientos de puquiales a una distancia aproximada de 200 m. del terreno de cimentación; existe también a unos 100 m. una acequia de riego. La napa freática se encuentra aproximadamente a 15 m. de la superficie (23).

Este edificio consta de dos pabellones perpendiculares entre sí, uno de ellos está en dirección N-S (pabellón B) y el otro E-O (pabellón A). Constan de dos pisos donde funcionaban aulas y oficinas. Su estructura es de concreto armado con muros de mampostería de ladrillos.

El pabellón "A" fué el que sufrió mayores daños. La posible estructura resistente a fuerzas horizontales está formada por los pórticos ubicados en un solo sentido, orientados según N-S. En la dirección E-O, existían muros exteriores de mampostería de ladrillo sin ningún tipo de encajenamiento y con ventanas corridas en su parte superior. Los muros de la planta alta también carecían de vinculaciones. La columna de pórtico ubicada en estos muros resultaba así trabajando en dirección E-O como "columna corta" en su trozo superior. En estas columnas y ese lugar aparecieron los daños observados, además de insuficiencia de cantidad de estribos (c/ 35 cm.) (22). Los muros resultaron con importantes daños; inclusive varios colapsos. En las juntas de separación entre los distintos cuerpos se observaron daños importantes debido al choque entre los bloques.

En general en los pabellones "A" y "B" se han observado fisuras y grietas, en algunos casos con el refuerzo a la vista, en las columnas y vigas, tanto en el primer piso como en el segundo. Los muros de albañilería de relleno también sufrieron fisuras diagonales y en otros ca-

sos en forma de aspa, a partir de los vértices de las ventanas y puertas. Grietas también se observaron, pero en menor grado. Fisuras y grietas se pudo apreciar longitudinalmente cerca a las columnas y vigas, produciéndose de esta manera la separación del pórtico y el muro. Pequeños desprendimientos de tarrajeo se pudo apreciar también en columnas, vigas y muros de relleno.

Para mayor información ver (23).

### **6.5 COLEGIO FRANKLIN D. ROOSEVELT.**

Se encuentra ubicado en el distrito de Ate, cerca del distrito de La Molina. El suelo en general es material transportado de origen fluvio-aluvial. Se puede advertir, de la carta topográfica del Instituto Geográfico Militar (1966), afloramientos de manantiales, lo que nos indica áreas pantanosas cercanas al terreno de cimentación de la estructura del Gimnasio de dicho colegio; existe también a unos 200m. del colegio una acequia sin canalizar. La napa freática se halla a 23.0 m. de la superficie (23).

La edificación de este colegio consta de dos pabellones de aulas y de administración; diversas instalaciones de servicios y el gimnasio, éste último fué el que presentó fallas ocasionadas por el sismo del 03-10-74.

El gimnasio fallado estaba constituido por cuatro columnas (formando pórticos) de 0.60 x 1.60 m.; dos vigas principales de 1.80 x 0.60 y 14 vigas secundarias el techo de losas plegadas. Los daños estructurales más importantes se observaron en las cuatro columnas y en las dos vigas principales. En el pórtico N° 1, se observaron los siguientes daños: gran cantidad de fisuras diagonales en las vigas y columnas en ambas caras. También se observaron grietas diagonales de grandes dimensiones en las columnas. En el pórtico N° 2, se observó el mismo tipo de daños que el

N° 1, con el agravante de que en una de las columnas se presento fractura.

Para mayores datos revisar (23)

## **6.6 ESCUELA DE LA POLICIA - GUARDIA CIVIL.**

El Centro de Instrucción de la Benémerita - Guardia Civil del Perú (CIBGC), se encuentra ubicado en la zona de La Campiña, distrito de Chorrillos, que como ya hemos explicado, es una zona crítica sísmica (Ver 5.2).

En el área del CIBGC, en el extremo N-E se aprecian en la superficie gravas arcillosas; el río Surco corría en dirección N-S erosionando las lutitas y depositaba la grava. La superficie del terreno está formada, en su mayor parte, por gravas superyaciendo a las lutitas. Esta zona era pantanosa hasta no hace muchos años y con el proceso urbanizadorio y los bombeos de los alrededores, el nivel freático se deprimió<sup>(8)</sup>

Al presentarse el sismo motivo de nuestro estudio, las diferentes edificaciones que comprenden dicho Centro de Instrucción, sufrieron graves daños estructurales, especialmente el pabellón de oficiales (de tres pisos), que colapsó parcialmente, de tal manera que parte de ella tuvo que ser demolida.

El área del edificio colapsado corresponde al desagüe final de la parte pantanosa y en especial el extremo sur, el drenaje final del pantano es hacia el S-E<sup>(8)</sup>. Este edificio ha tenido problemas de estructuras, independientemente de los problemas combinados de estructuras-suelos; estos son: asimetría, zonas más rígidas que otras, etc. Los problemas de colapso de esta estructura, además de lo anteriormente citado, se deben en términos generales al terreno de cimentación. Cuando estuvieron construyendo se encontra

ron con terrenos malos, el que empeoraba de Este hacia Oeste; de tal manera que las cimentaciones (las independientes y no las arriostrados o conectados), seguramente previa consulta, fueron modificando las profundidades, de manera que se puede resumir que los pórticos transversales al eje mayor del extremo Este fueron cimentados a 1.50 m. de profundidad, los pórticos del centro a 2.00 m. y los del extremo Oeste cercanos a profundidades del orden de los 3.00 a 3.20 m. En el sector que hemos definido como malo se encuentra un material de pésima calidad, prácticamente de densidad menor que el agua (turboso gris)<sup>(8)</sup>.

El comportamiento dinámico del conjunto ha sido tal que la mitad Este prácticamente no se asentó o fué pequeña y que la mitad Oeste ha tenido asentamientos importantes por la densificación de la arenas naturales. En definitiva, ha habido asentamientos totales y diferenciales, tal como se comprobaría por las altas densidades relativas obtenidas en Ensayos realizados después del sismo<sup>(8)</sup>. El daño observado sugiere la presencia de efectos de amplificación de suelos.

El edificio de viviendas de guardias (de tres pisos) también sufrió daños considerables. En los ejes transversales se presentan fisuras, grietas (en algunos casos con el refuerzo al descubierto) y caída de revestimiento se apreciaron en columnas, vigas, nudos y muros en los tres niveles. En algunos casos hay fracturas de muros en forma diagonal. En los ejes longitudinales hay fisuras en vigas, grietas en nudos y pequeñas caídas de revestimientos. En las escaleras, se observó grietas en descansos y pasos, en algunos casos con aparición de refuerzos.

En el edificio de aulas se presentaron grietas en muros, fisuras en vigas y columnas (en forma diagonal o transversal). También hay fisuras en algunos nudos. En otros casos se produjo la separación muro-pórtico.

El edificio de viviendas de cadetes (3 pisos) y cocina comedor (2 pisos), se presentaron en general fisuras en vigas y columnas, de igual modo que las grietas. En la vivienda de cadetes el mayor daño se observó en los dos pisos superiores, fisuras en los muros de ladrillos en forma diagonal y en aspa. También hay fracturas en columnas, diversos muros del primer, segundo y tercer piso.

### **6.7 BANCO INDUSTRIAL.**

Esta edificación está ubicada en el distrito de Lima, en parte central (a la espalda del Ministerio de Economía y Finanzas) donde el terreno es bueno para la cimentación. La zona donde se encuentra levantada la construcción no la hemos considerado crítica sísmica; pero, merece estudiar su caso por constituir uno de los daños más espectaculares presentados con ocasión del sismo del 03-10-74.

Esta edificación fué extensivamente dañado debido al desplome de un parapeto alto no reforzado, ubicada sobre el último piso a lo largo de la fachada. Este parapeto fué colocado sobre el octavo piso y con el movimiento sísmico cayó sobre las sobresalidas vigas cantilever de concreto reforzado, los cuales resistían las losas del techo del segundo nivel.

Este parapeto tenía 1,50 m. de alto y 30 cm. de ancho. Cuando este parapeto falló y cayó sobre las vigas y losas en cantilever, éste produjo colapso parcial de las vigas y destruyó las losas (Ver foto N° 26).

Este parapeto no fúe afectado por los sismos de 1966, 1970 y Junio de 1974. Un grande parapeto similar sobre el otro lado del edificio, estaba al borde del colapso

## 6.8 CONSTRUCCIONES EN CHORRILLOS.

Por considerarlo de interés, se incluye algunos efectos del sismo, observadas en la zona de Chorrillos, especialmente al borde de los acantilados, que, como hemos anotado anteriormente, es una zona crítica sísmica (Ver 5.2)

Observaciones importantes constituyen los realizados en el Colegio Chalet, ubicado en el suburbio de Chorrillos, donde tuvieron lugar pequeños desprendimientos de tierras, y un conjunto de estructuras de concreto armado tuvieron extensos daños.

Este colegio está localizado en el borde de un acantilado en Chorrillos. Esta terraza (acantilado) está casi 45 metros encima de la playa y está bordeado por un escarpado excesivo.

Hubo también un área grande en el cual ocurrió un hundimiento de 15 cm. <sup>(16)</sup> En el patio del colegio, una estatua de mármol de 180 cm. de alto y 90 cm. de ancho, fué desplazado lateralmente 3,5 cm. fuera de la costa. La estatua pesaba 1,000 Kg. Otra estatua, de 22 cm. de diámetro y 110 cm. de altura, pesando aproximadamente 180 Kg. el cual fue puesto en un nicho alrededor de 300 cm. encima del suelo, fué volcado y derribado hasta el suelo. Los sismos de 1966 y 1970 no movieron o volcaron estas estatuas <sup>(16)</sup>. La aceleración mínima para deslizar un objeto pesando 1,000 Kg. es de 0.7 g. Este valor fué computado bajo condiciones estáticas (Krishna, 1973) <sup>(16)</sup>. Esta aceleración es alrededor de tres veces la aceleración horizontal registrada en el centro de Lima. De este modo, parece haber habido una amplificación de alrededor tres veces en el colegio.

Cabe anotar que la litología del área no es muy conocida; sin embargo, unos cuantos sondajes muestra que la profundidad de la napa freática está a menos de 10.0 m. <sup>(16)</sup>.

También vale la pena anotar la presencia de manantiales sobre el lado vertical de los acantilados de este distrito.

## **6.9 CONSTRUCCIONES EN EL CALLAO.**

En la zona del Callao, se sabe que se produjeron graves daños en la Escuela Naval del Perú, pero que no se dan a conocer aduciendo seguridad interna, la edificación es de concreto armado. La oficina de Correos del Callao, en la calle Dos de Mayo, un edificio de concreto reforzado, quedó cuarteada y sus lunas destruidas. También quedó ligeramente afectada la Torre de Control del Aeropuerto Internacional "Jorge Chávez", así como su quinto piso. En los depósitos de cerveza Pilsen Callao, ubicado entre las calles Castilla y Sucre, cayeron grandes paredes. Uno de los silos el más antiguo de los que tiene construido ENAPU - PERU en el Terminal marítimo, colapsó y perdió 20m. de los 60m. de altura que tenía originalmente; los silos nuevos y que estaban en construcción, soportaron bien el sismo. Otros daños se registraron en diversas calles del Callao, como Apurímac, algunas cuadras de Sáenz Peña, Colón, Ancash, Venezuela y otras, igualmente en La Perla y Bellavista donde han caído tramos de paredes o cercos, además de cornisas y parapetos elevados.

En la zona sur del Callao, donde las casas son en su mayoría de adobe y materiales rústicos, cedieron y cayeron.

Las cañerías de agua y colectores de desagüe, que en gran parte del Callao se encuentran deterioradas por su antigüedad, sufrieron roturas, ocasionando de esta manera aniegos en diversas arterias chalacas.

## **6.10 OTROS DAÑOS.**

Numerosos edificios públicos sufrieron daños; como por ejemplo se puede citar a la UNI, donde se observó



gran cantidad de fisuras, grietas y fracturas en los muros exteriores e interiores del pabellón central, que es la construcción más antigua de dicha universidad, de tal modo que las oficinas que allí funcionaban tuvieron que ser evacuadas, por el peligro a que estaban expuestos y luego para la reparación de los daños. También se observó daños en los pabellones de Mecánica y Cíviles, este último ya había sufrido daños en sismos anteriores y algunas reparaciones no fueron bien hechas, por lo que volvieron a fallar.

El Estadio Nacional, situada en el distrito de Lima, y que es una estructura de concreto armado; su techo en voladizo fué severamente dañado por el sismo. El esfuerzo en el techo en voladizo de 15 m. por fuerza vertical, fué excesiva y grandes rajaduras aparecieron.

Gran cantidad de colegios sufrieron daños, especialmente las antiguas y las ubicadas en zonas desfavorables ante sismos.

Numerosas iglesias fueron dañadas, sobre todo las de construcción antigua que son a base de adobe y quincha. Entre las dañadas tenemos; San Alonso y San Lázaro en el Rímac; San Pedro de Chorrillos; Santa María Magdalena de Pueblo Libre; Santa Rosa en el Callao; Santa Ana y Del Carmen en Barrios Altos; etc.

El sismo también causó daños en servicios públicos.

Las tuberías de agua y colectores de desague reventaron con la onda sísmica, causando aniegos, especialmente en Barrios Altos y Balnearios.

Los cables de alta tensión al desplomarse, dejaron sin fluído eléctrico a varias zonas de la Gran Lima. En los subsiguientes minutos al sismo, todos los servicios

que emplea esta energía, se paralizaron, aumentando la confusión reinante y muchas personas se quedaron atrapadas en ascensores.

Los servicios de comunicación también quedaron interrumpidas. Las zonas afectadas quedaron incomunicadas entre sí; las emisoras radiales enmudecieron y las pocas líneas telefónicas que no sufrieron desperfectos, se congestionaron con las miles de llamadas que se intentaba hacer en el mismo lapso, ocasionando en muchos casos el cruce de líneas.

# CAPITULO VII

## CONCLUSIONES

### PRIMERO:

Respecto de las características del sismo de Lima Metropolitana del 03-10-74:

La magnitud fuè de  $m_b = 6,6$  ( $M_s = 7,6$ ) en la escala de Richter.

Las intensidades observadas en el área de estudio, estuvieron comprendidas entre V a IX en la escala de Mercalli Modificada. Las intensidades más altas, VIII y IX, se registraron en las zonas críticas sísmicas que hemos determinado: La Molina, Chorrillos y Callao. Evidentemente estas altas intensidades observadas en estas zonas, se debena la amplificación de la onda sísmica incidente, por la condición de los suelos superficiales locales, la presencia de estratos blandos sobre el basamento rocoso y la napa freática alta de estas zonas y las condiciones geológicas.

En general las intensidades observadas tienen una distribución tal que puede ser explicada sobre la base de las condiciones locales del suelo de Lima, la distancia epicentral, el estado de las viviendas y edificios antes del sismo,

La aceleración determinada mediante las estaciones sísmicas del Instituto Geofísico del Perú, I.G.P. fue de 0.228 g.

- El período predominante, T, obtenido

pectro de respuesta con cero de amortiguamiento, es alrededor de 0,35 seg.

## SEGUNDO:

Las zonas más afectadas han resultado precisamente las que hemos señalado como zonas críticas (Ver 5.2) y las más antiguas, como Barrios Altos y Rímac.

En las zonas críticas sísmicamente, los daños se han podido observar en todo tipo de construcciones (de acuerdo al material y sistema constructivo empleado), como las aperticadas, en las de mampostería de ladrillo con o sin refuerzo y agravándose en las de adobe.

En cuanto a las zonas antiguas, la mayoría de los daños se presentó en construcciones de adobe. Las edificaciones con este material, generalmente lo constituyen la gran cantidad de tugurios (tipo callejón, corralón y solar); éstos, como sabemos, tienen grandes deficiencias constructivas que no logran conseguir las condiciones necesarias de habitabilidad. Por otro lado, estas construcciones han soportado el embate del tiempo y se han deteriorado rápidamente debido al uso intensivo. Al presentarse el sismo materia de nuestro estudio, estas edificaciones se desplomaron, causando daños materiales y personales; en algunos casos se obstruyeron el acceso a dichas viviendas, dificultando de esta manera la fuga de sus habitantes y posteriormente la evacuación de los heridos.

Las construcciones de estas zonas, se edifican con un escaso conocimiento urbanístico y ningún criterio de diseño sísmo resistente, no se tuvo en cuenta la relación ancho de calzada con la altura de la edificación, es por esta razón que se pueden observar calles estrechas y al desplomarse, estas edificaciones con el sismo, también causaron daños personales y materiales, a parte de obstaculizar

lizar el tránsito, que dificultó que la ayuda llegara rápidamente a los moradores de esos lugares.

### **TERCERO:**

El sismo ha confirmado una vez mas, que las construcciones tradicionales de adobe no son capaces de resistir los sismos severos; sus muros han fallado al no poder resistir los esfuerzos de tracción, de corte y de flexión inducidas por la acción sísmica.

Las construcciones de adobe han sido hechas sin tomar en cuenta los criterios técnicos elementales, encontrándose muchos defectos constructivos, como los apreciados en 5.4. Estos factores negativos, acentuados por la gran actividad sísmica de nuestro país, hacen imperiosa la necesidad de mejorar las construcciones de adobe. Las construcciones tradicionales de adobe no puede resistir eficientemente las fuerzas laterales, como las que ocasionan los sismos; asimismo, es imposible prescindir de las viviendas de este material, dado el déficit habitacional que aqueja nuestro país, y que por su bajo costo las hacen accesibles a la economía de las personas de menores recursos; por lo tanto, las características de este material deben ser mejorados.

### **CUARTO:**

La falla típica, que puede ser el común denominador de los observados en los colegios del área de estudio, lo constituye el debido a "columna corta". Las estructuras de estos colegios son de concreto armado (aportricados) y la tabiquería de relleno que se utiliza no llega hasta la parte superior, para dejar paso a las ventanas, dando lugar a que la longitud libre de las columnas sea "corta" y, por ende, más rígidas durante un movimiento sísmico; esta enorme rigidez de las columnas atrae grandes fuerzas de corte

siendo esta la causa de que fallen, especialmente a las del primer piso. Este error de diseño asociado a otros, a la construcción deficiente y a la falta de supervisión rigurosa durante la ejecución de aquella, suscitaron los daños en las estructuras en referencia.

#### **QUINTO:**

La ocurrencia de los últimos sismos, que han causado grandes daños, y en especial este último del 03-10-74, constituyen una evidencia de la gran actividad tectónica a que se halla sometido nuestro país, esto significa que en el futuro ocurrirán fenómenos similares que perturbarán el desarrollo normal de nuestro país. Por tal motivo debemos estar preparados para enfrentarnos satisfactoriamente a dichos fenómenos telúricos, a fin de minimizar, o anular en el mejor de los casos, los daños ocasionados por ellos. Para ello será necesario, mediante la sismología, conocer y evaluar los parámetros sísmicos que pueden experimentarse durante la ocurrencia de sismos destructores futuros.

Los parámetros sísmicos servirán para que los ingenieros estructurales lo tomen en consideración en sus diseños antisísmicos, de tal manera que respondan satisfactoriamente a los esfuerzos originados por los sismos.

Un aspecto que ayudará indudablemente en la obtención de dichos parámetros, es la microzonificación sísmica, por tal razón debe concretarse inmediatamente los numerosos estudios (elaborados por comisiones u organismos en cargados) llevados a cabo para estos fines y que hasta la actualidad no se conocen sus resultados.

#### **SEXTO:**

En general, es necesario que una asignatura de Dinámica de Suelos sea introducida en la formación del Ingeniero Civil, ya que en la actualidad en ninguna universidad

del país, que forman estos especialistas, se dictan estos cursos. Esto naturalmente redundará en beneficio de la seguridad de futuras edificaciones, que realicen estos profesionales, al llevar a cabo adecuados estudios de suelo para establecer cimentaciones estables, tanto a las solicitaciones de cargas estáticas como dinámicas.

Se llega a esta conclusión, después de observar los numerosos daños en edificaciones importantes, en los cuales no se ha considerado, en el diseño, el comportamiento dinámico del suelo (al ocurrir un sismo por ejemplo), sino tan solo el estático.

## CAPITULO VIII

### RECOMENDACIONES

#### PRIMERO:

Puesto que no es económicamente posible eliminar las construcciones de adobe; es necesario entonces mejorar la resistencia sísmica de las edificaciones hechas con este material; para lo cual se recomienda llevar a cabo investigaciones para mejorar la calidad del adobe y seguir algunas indicaciones fundamentales en el proceso constructivo, como:

- a) Edificar con cimientos corridos apropiados que puedan protegerlas de la humedad y que imposibiliten los asentamientos diferenciales. Estos cimientos se deben hacer de preferencia de concreto ciclópeo, al igual que el recubrimiento.
- b) Deben emplearse adobes de buena calidad, de preferencia los estabilizados; el mortero usado en las uniones tanto horizontales como verticales, se deben hacer del mismo barro del adobe y su espesor debe ser de 2,00 cm.
- c) Mejorar el proceso constructivo, haciendo que todos los adobes deben quedar trabados con un traslape de medio adobe; colocando las hiladas horizontales, siguiendo el contorno total que tendrá la vivienda, de tal modo que la construcción quede pareja; evitar el aplastamiento de muro por su propio peso, haciendo que su altura levantada por día no exeda de un metro; hacer que los adobes queden perfectamente trabados en todas las situaciones de encuentros, etc.



- d) Debe procurarse una adecuada simetría en la disposición de los muros respecto a los dos ejes principales y una densidad de muros en la dirección paralela a la fachada.
- e) En los muros se deben tener en cuenta las siguientes normas básicas:
- No es recomendable hacer esquina en chavo (en redondo).
  - La longitud de un muro, tomada entre dos muros perpendiculares a él, no debe ser mayor que diez veces su espesor.
  - La altura máxima de los muros de adobe no debe ser mayor que ocho veces su espesor.
  - El ancho de un vano no debe ser mayor que 1.20 m.; la suma de los anchos de vanos en una pared no debe ser mayor que la tercera parte de su longitud.
  - El empotramiento de un dintel aislado no debe ser inferior a 0,50 m.
- f) No deben construirse sobre suelos blandos o sueltos, dado la amplificación de ondas sísmicas que se observan en ellas, con el consecuente perjuicio de las construcciones de este material. Tampoco deben construirse en suelos de capacidad portante inferior de  $2.0 \text{ Kg/cm}^2$ .

En el Anexo D se presenta la propuesta de Normas de Diseño Estructural para Construcciones de Adobe y Bloques estabilizados, elaborado por el Comité de Ingeniería Antisísmica de la UNI, que compendia una investigación detallada sobre el mejoramiento de las construcciones de adobe.

## **SEGUNDO:**

Debido a que la gran mayoría de los colegios de Lima presentaron graves daños, en especial los conocidos

como "columna corta", se recomienda la revisión de todos estos edificios, y en caso necesario estos deben ser modificados o reforzados en medida de resistir cualquier terremoto severo y de esta manera no solo evitar daños materiales sino sobre todo daños personales en la población escolar, si este fenómeno tuviese lugar en horas de clase. Felizmente esto no ocurrió en este último sino por encontrarse los alumnos de vacaciones.

### **TERCERO:**

Dada la importancia y el rol que cumple el área de Lima Metropolitana dentro de la Nación Peruana; y si queremos garantizar el desarrollo normal de las actividades y las inversiones del pueblo, recomendamos a los organismos encargados, elaborar la microzonificación sísmica de dicha área, por ser de necesidad urgente para minimizar los daños en futuros sismos.

Para llevar a cabo una microzonificación sísmica, de tal forma que los datos o parámetros sísmicos que se determinan para las zonas o micro-zonas que comprenden Lima Metropolitana, se ajusten a la realidad, de acuerdo a las características geotécnicas de cada una de ellas, será necesario la instalación de una red de acelerógrafos en todo el área metropolitana. Pero dado el elevado costo que esto significaría, por lo menos, estos acelerógrafos deben ser ubicados en las zonas críticas sísmicas que hemos considerado y en sitios estratégicos en la zona restante. También deben ser colocados acelerógrafos en edificios de altura considerable, uno en contacto con el suelo y otro en el nivel superior, y uno o dos en niveles intermedios, llevándose a cabo luego la comparación de los registros obtenidos y de esta manera recomendar el tipo de edificación a construirse en las cercanías del edificio estudiado.

Para la elaboración de la microzonificación

sísmica también se debe tomar en consideración los estudios de evaluación de daños de sismos anteriores, realizadas por las instituciones interesadas en estos estudios y las tesis elaboradas en las diferentes Universidades. Tal es el objetivo del presente trabajo y que el esfuerzo desplegado sea aprovechado en bien de la comunidad.

#### **CUARTO:**

Referente a la reparación de edificaciones:

Es necesario e imprescindible desarrollar métodos y sistemas adecuados, en la reparación de estructuras dañadas por sismos, de tal manera de garantizar que la resistencia de la reparación sea igual o mayor que el del elemento dañado.

En la reparación de daños de sismos anteriores se trataba más que nada de mejorar la apariencia estética sin prestar mucho cuidado en dotarla de una resistencia suficiente como para soportar un esfuerzo semejante o superior al que le causó el daño. Esta es la razón para que con el sismo de 1974, muchas de estas reparaciones volvieron a fallar, advirtiendo de esta manera que se le debe dar la importancia debida cuando se ejecuta la reparación y no tratar los errores de diseño o de construcción de la edificación dañada.

Es importante antes de ejecutar la reparación en sí llevar a cabo una metodología que permita conocer el grado del daño y de esta manera tomar las precauciones del caso para asegurarnos que la reparación será bien hecha. Al respecto incluimos el Anexo E que nos puede dar una idea a los pasos previos a la reparación en sí.

También es importante desarrollar pruebas y experimentos de reparación de daños, para verificar el grado de reparación alcanzado. Estos deben tener lugar más que

nada en los laboratorios de ensayo de materiales que posean las universidades incrementando de esta manera los conocimientos de los alumnos que allí se forman. Para desarrollar estos experimentos sería necesario llevar a cabo convenios con organismos internacionales, a fin de conseguir la ayuda técnica y financiera requerida.

#### **QUINTO:**

La historia nos demuestra que en cualquier momento podemos sufrir un sismo destructor en el área de Lima.

No podemos quedarnos nuevamente en la espera de otro desastre sin tomar las previsiones necesarias para minimizar las pérdidas de vidas y material que hemos experimentado en épocas pasadas. No podemos postergar por más tiempo la aplicación de conocimientos que la ciencia y la tecnología nos proporcionan.

En consecuencia, las construcciones de lo que llamamos material noble deben tener una estructura acorde con el número de pisos, la naturaleza del suelo y la sismicidad local.

Las autoridades del Ministerio de Vivienda, las Municipalidades, SINAMOS y otras entidades deben prestar todo su apoyo para realizar estudios y proporcionar la información técnica necesaria sobre los diferentes tipos de estructuras que deben adoptarse en cada localidad.

Las obras de infraestructuras de Ingeniería: represas, puentes, canales de irrigación, instalaciones de cables de alta tensión, etc. deberán tomar en cuenta los riesgos sísmicos a los que inexorablemente están sometidos.

**SEXTO:**

Es necesario recalcar que debe respetarse el cumplimiento de las disposiciones emanadas del Reglamento Nacional de Construcciones, sobre todo en el acápite de seguridad sísmica dado que el gran número de daños observados se debe al no acotamiento de los requisitos mínimos que fija dicho reglamento. Para tal efecto el Ministerio de Vivienda y Construcción debe ejercer un control riguroso en el momento de la ejecución de la obra, de tal forma que se cumplan las especificaciones indicadas en el diseño (el cual lógicamente tuvo que ser aprobado por dicho Ministerio) evitando así que la negligencia involuntaria o por intereses creados de los constructores hagan mella en las edificaciones al producirse el sismo.

También es necesario anotar, que las Normas Peruanas de diseño Sismo-resistentes debe estar sujeto a una constante actualización de acuerdo al avance de las investigaciones en ese campo en los últimos años.

Un trabajo importante en este sentido <sup>(25)</sup>, elaborado por el Comité de Ingeniería Antisísmica de la UNI, bajo el título de "Propuesta de Normas Básicas de Diseño Sismo-resistente y sus Comentarios" fue presentado en su versión preliminar al Ministerio de Vivienda en Agosto de 1974, sin que hasta la actualidad hayan sido aceptadas y difundidas dichas sugerencias en su totalidad. Este trabajo constituye un análisis crítico del Capítulo IV, Título V del Reglamento Nacional de Construcciones que se concreta en una propuesta de normas de diseño sismo-resistentes para el país, los comentarios respectivos, en los que se aclaran los conceptos, y se da una sustentación de las normas y finalmente un apéndice en el que se hace un análisis de los principales factores que afectan la respuesta sísmica de las edificaciones.

**SEPTIMO:**

Siendo las áreas de refugio los lugares que desempeñan un papel importante durante y después del sismo; albergando a los habitantes que hayan perdido su vivienda, u bicándose en ellos carpas-hospital de emergencia y carpas personales, y no existiendo estas áreas actualmente en la zo na de estudio y aún más en todo el país, se recomienda que en el futuro deben edificarse dichas áreas en el desarrollo de expansión urbana, equipándolas fundamentalmente de primer os auxilios, pozo de agua, grifos contra incendios, víver es, abrigos, generador de energía eléctrica, etc.

En forma inmediata se propone que los grandes PARQUES ZONALES con que contamos actualmente, así como las áreas verdes que podrían servir de refugios provisionales y los que se construyan, sean equipados en lo indispensable para atender un caso de emergencia. Los parques zona les cuentan con grandes áreas donde se podrían instalar car pas de emergencia o viviendas provisionales. Esto debe es tudiarse profundamente por tratarse de una necesidad muy ur gente.

**OCTAVO:**

La educación de los habitantes en materia sís mica es un factor esencial que no debe prescindirse al pla nificar la prevención de los desastres sísmicos. Al respec to es conveniente explicarles a través de exposiciones y pu blicaciones adecuadas, las causas de las destrucciones de las viviendas por efecto de los sismos destacando los peli gros que representan las construcciones no aptas para sopor tar los efectos sísmicos. Es indispensable a través de es tos medios, crear conciencia entre los propietarios y usua rios de viviendas, sobre la responsabilidad que le corres ponde en el comportamiento de la construcción frente a un sismo haciéndoles comprender que su negligencia contribuye a aumentar la magnitud del desastre.

Por otro lado, esta educación también debe ser orientado a que tomen conciencia de los cambios enormes en el medio físico a causa de un sismo que pueden determinar un cambio en las tradiciones y en la cultura de la gente evitando de esta manera que puedan dejar profundos e incluso permanentes huellas psicológicas en los sobrevivientes. Al respecto se reproduce la opinión del Dr. Frederick Ahearn, profesor de planificación social, durante una reunión del Congreso Internacional de Psicología<sup>(24)</sup>: en un estudio de los sobrevivientes del terremoto de 1972 en Managua, Nicaragua, en el que murieron unas 10,000 personas, muestra que hubo un incremento del 27% en las enfermedades mentales luego de la catástrofe. Agrega que el estudio muestra un ostensible aumento de la depresión, la ansiedad las histerias y los desórdenes nerviosos de tipo epiléptico. Expresó que hubo casos en los cuales reaparecieron brotes psicóticos en aquellos que los habían experimentado previamente en su vida. Una conclusión significativa del estudio indica que el aumento en las enfermedades mentales no era un problema a corto plazo que habría de desaparecer poco después del terremoto. El surgimiento de las enfermedades mentales continuó durante 1973 y no mostró síntomas de desaparecer para fines de año, agregó, la depresión mental, en realidad comenzó a aumentar rápidamente en la segunda mitad del año, gran parte de ese aumento afirma Ahearn, puede ser atribuido a los cambios sufridos por Managua en su aspecto exterior y en su estilo de vida luego del terremoto. Sostiene Ahearn que aunque el corazón de la ciudad resultó destruido, la mayor parte de la reconstrucción se efectuó en las zonas marginales, a varios kilómetros del centro "Esto significa que la gente que solía ir caminando a su trabajo en pocos minutos, ahora debe ir en automóvil o viajar una hora y media en autobús". "Muchos de ellos no pueden regresar a sus casas para almorzar y hacer siesta junto con sus familiares y eso es una modificación radical de sus costumbres".

Esto debe constituirse una alarma y adverten

cia a las autoridades responsables, para que se planifiquen y se lleven a cabo sistemas educativos, a fin de preparar a la gente ante cualquier desastre que pudiese ocurrir, protegiendo de esta manera la salud del pueblo. Dicho sea de paso que esta educación debe divulgarse más que nada en los centros escolares y los medios de radiodifusión.



## BIBLIOGRAFIA

- 1.- ESPINOSA A. F. ; HUSID R. ; ALGERMISSEN S. T.,- "Seismological and Engineering features of the October 3, 1974, Lima Perú Earthquake".- U. S. Geological Survey, 1975.  
(Análisis de los Terremotos Peruanos, publicación UNI 1976)
- 2.- MINISTERIO DE VIVIENDA Y CONSTRUCCION, CONCEJO PROVINCIAL DE LIMA,- "Plan de desarrollo Metropolitano Lima-Callao a 1980".- Vólumen 1, Dirección General de Desarrollo Urbano 1969.
- 3.- OFICINA NACIONAL DE ESTADISTICA Y CENSOS.-"Censos Nacionales: VII de Población; II de Vivienda" Depto. de Lima, 1972.
- 4.- MINISTERIO DE VIVIENDA Y CONSTRUCCION.- "Catastro de Lima Metropolitana" .- Oficina de Desarrollo Urbano, 1969.
- 5.- SILGADO ENRIQUE.-"Historia de los sismos más notables oucurridos en Lima (1555 - 1974), 1975.
- 6.- RIVERA CHICATA J.L. .- "Estudio sobre el sismo del 3 de Octubre - Distrito del Rímac".- Tesis de Grado UNI, 1975.
- 7.- ESPINOZA R.G. ; FUKUDA S.R. .- "Estudio sobre el sismo del 17 de octubre de 1966".- Tesis de Grado UNI, 1967.
- 8.- MAGGIOLO OSCAR.- "Algunos aspectos de Mecánica de Suelos y Comportamiento de Construcciones durante el sismo del 3 de octubre de 1974" - Reunión Andina de Seguridad Sísmica, Lima Agosto 1975.

- 9.- MARTINEZ A. ; PORTURAS F. .- "Planos Geotécnicos para Lima Perú. Análisis y visión en Ingeniería Sísmica" - Reunión Andina de Seguridad Sísmica, Lima, Agosto 1975.
- 10.- MANCO CESPEDES J. M. .- "Estudio Sísmico de los distritos de San Antonio y Mala"- Tesis de Grado UNI, 1976.
- 11.- MINISTERIO DE AGRICULTURA.- "Estudio de los recursos de aguas subterráneas de la Gran Lima"- Dirección de Aguas subterráneas, 1969.
- 12.- TERZAGHI K. y PECK R. .- "Mecánica de Suelos en la Ingeniería Práctica" - Tercera edición, Editorial Ateneo,
- 13.- CARRILLO ARNALDO.- "Influencia de los suelos en los daños por sismos. Evaluación del Potencial de Licuefacción de un suelo" - Reunión Andina de Seguridad Sísmica , Lima, Agosto 1975.
- 14.- PEÑA DE LA CRUZ J. .- "Estudio Sísmico y Proyecto de Reparación de las viviendas afectadas - chincha" - Tesis de Grado, UNI 1975.
- 15.- GIESECKE A. ; OCOLA L. ; SILGADO E. .- "Sismo del 3 de octubre de 1974 Lima-Perú"- CERESIS, Informe a UNESCO,
- 16.- ESPINOSA A. ; HUSID R. ; ALGERMISSEN S. and DE LAS CASAS J. "The Lima Earthquake of October 3, 1974. Intensity Distribution" - U. S. Geological Survey (Análisis de los Terremotos Peruanos, publicación UNI 1976).
- 17.- KUROIWA JULIO.- "Características Dinámicas del Conglomerado de Lima" - Boletín de la Sociedad Geológica del Perú, 1973.
- 18.- EVANGELISTA E. ; TEVES N. .- "Geología - Geomorfología y Consideraciones Geotécnicas de la Costa Verde "(Acanuilados)" CORPEI S.A.
- 19.- HUSID R. ; ESPINOSA A. ; DE LAS CASAS J. .- "The Lima earthquake of October 3, 1974. Damage Distribution" -

U.S. Geological Survey 1975 (Análisis de los Terremotos Peruanos, publicación UNI 1976)

- 20.- VARGAS JULIO.- "Generalidades y Conceptos Básicos de la Construcción Antisísmica" - Universidad Católica del Perú 1974.
- 21.- CHIRIBOGA CARLOS.- "Construcciones con ladrillos"-Tesis de Grado, UNI 1972.
- 22.- HERRERA C.J. ; GIULIANI H. .- "El terremoto de Lima-Perú del 3 de Octubre de 1974"- Instituto de Investigación Antisísmica "Ing° Aldo Bruschi" Argentina 1975.
- 23.- TORRES ROSA.- "El sismo de Octubre 3, 1974 y sus efectos en Monterrico - Lima"- Tesis de Grado UNI 1976.
- 24.- EL COMERCIO.- "Los terremotos y otros desastres pueden ocasionar graves problemas psicológicos en los sobrevivientes" Diciembre 15, 1976, pag. 17.
- 25.- COMITE DE INGENIERIA ANTISISMICA DE LA UNI.- "Propuestas de Normas Básicas de Diseño Sismo-resistente y sus comentarios" UNI 1974.
- 26.- CARMONA J. ; GIULIANI H. Y HERRERA J. .- "Evaluación del espectro de aceleración de la componente N82W del Acelerograma de Lima 3-10-74"- Reunión Andina de Seguridad Sísmica, Lima Agosto 1975.
- 27.- RIOS RAUL.- "Amplificación de sismos por causa del suelo de Lima"- Reunión Andina de Seguridad Sísmica, Lima Agosto 1975.
- 28.- DE LA ROSA A.F. .- "Ensayos de Corte Directo In-situ para los Estudios de Factibilidad del Transporte Rápido Masivo de la Gran Lima"- Tesis de Grado, UNI 1975.
- 29.- COMITE DE INGENIERIA ANTISISMICA DE LA UNI.- " Propuestas de Normas de diseño estructural para construcciones de adobe y bloque estabilizado" UNI.

30.- INFANTE H. ; SALAH J. .- "Metodología para la reparación de un edificio dañado por un sismo"- Reunión Andina de Seguridad Sísmica, Lima Agosto 1975.