

**Universidad Nacional de Ingeniería**

**PROGRAMA ACADÉMICO DE INGENIERÍA CIVIL**



“EL SISMO DE OCTUBRE 3, 1974 Y SUS  
EFECTOS EN MONTECRICO — LIMA

**TESIS**

Para optar el Título Profesional de Ingeniero Civil

**Rosa Alicia Torres Vega**

**Lima — Perú — 1976**

## I N D I C E

	Pag.
RESUMEN	
CAPITULO I : INTRODUCCION.	
I.1    Objetivos y Alcances.....	1
I.2    Ubicación y Extensión del área Investigada.....	6
I.3    Historia Sísmica de la Zona....	6
I.4    Metodología de la Investigación.	7
CAPITULO II : ASPECTOS GEOLOGICOS Y SE SUELOS.	
II.1    Reilieve Topográfico.....	13
II.2    Geomorfología.....	13
II.3    Geología del Area.....	14
II.4    Geología Estructural.....	21
II.5    Aguas Subterráneas.....	22
II.6    Perfiles Estratigráficos .....	30
II.7    Suelos .....	30
II.8    Comentarios .....	47
CAPITULO III : EL SISMO DEL 3 DE OCTUBRE DE 1974	
III.1    Características del Sismo.....	54
III.2    Acelerograma .....	55
III.3    Parámetros del Sismo Principal..	55
III.4    Réplicas del Sismo.....	65
III.5    Comentarios .....	68

	Pag
CAPITULO IV : EVALUACION DE DAÑOS EN MONTE- RRICO.	
IV.1 Generalidades.....	74
IV.2 Comportamiento Estructural...	75
IV.3 Análisis de Daños.....	83
IV.4 Distribución General de Daños	91
IV.5 Comentarios .....	92
 CAPITULO V : DAÑOS ESTRUCTURALES EN MONTE- RRICO.	
V.1 Generalidades.....	
V.2 Colegio Franklin D.Roosevelt.	
V.3 Colegio Pío XII .....	
V.4 Colegio SS.CC de la Recoleta.	
V.5 Vivienda en "Las Casuarinas".	
 CAPITULO VI : CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	
VI.1 Aspectos Geotécnicos de la zona	121
VI.2 Recomendaciones .....	126
 BIBLIOGRAFIA	
 A N E X O S	
I GRAFICOS	
II FOTOGRAFIAS	
III PLANOS	

## R E S U M E N

El presente trabajo pretende formar parte de la información básica preliminar para la zonificación sísmica a nivel local en el área de Monterrico, que a su vez forma parte de un estudio más extenso que abarca Lima Metropolitana.

Se presentan las características generales de la sismicidad pasada que ha efectuado el área investigada, ya que si se dispone de una historia sísmica suficiente en una zona o lugar, se podrá estimar el espectro elástico de respuesta para un conjunto representativo de sismos que han ocurrido.

En el segundo capítulo se han estudiado los aspectos geológicos y de suelos así como las aguas subterráneas de la zona, considerando que estas condiciones locales influyen en la intensidad de un sismo y cuyo efecto ha sido considerado en los códigos de diseño antisísmico tales como los de Japón, La Unión Soviética y Distrito Federal de Mexico.

Las características del sismo del 03 de Octubre de 1974, sus parámetros y réplicas son presentadas en el capítulo N°3, se intenta presentar el área epicentral de las réplicas y del sismo principal,

así como asociarlas a una consecuencia de la interacción de las Placas Sud-Americanas y Nazca.

Las ciudades que como Lima, han tenido que sufrir continuos sismos por estar en zonas activamente sísmicas, tienen al menos la ventaja de que ese "ensayo" a escala natural deja un rastro bien nítido en las construcciones, el cual es rico en información si se llega a interpretar adecuadamente. Es por ello que en el cuarto capítulo se presenta la distribución general de daños en Monterrico a causa del sismo del 03.10.74.

El capítulo quinto muestra cuatro casos de estructuras que presentaron graves daños a consecuencia del sismo, estos son tres locales escolares y una vivienda; este capítulo pretende mostrar que la distribución de daños no coincide necesariamente con las isosistas de una zona ya que las fallas observadas en algunos casos no obedecen sólo a la intensidad de la sollicitación sísmica sino a defectos de diseño arquitectónico, concepción estructural o de proceso constructivo.

Del estudio realizado se obtiene que las cotas en la zona varían entre 116.70 m.s.n.m. a

470.50 m.s.n.m.; que geomorfológicamente Monterrico presenta dos rasgos bien marcados: aproximadamente un 70% de terrazas fluvio-aluviales del cuaternario y un 30% de cerros moderadamente conspicuos; geológicamente se han identificado dos pisos de la secuencia sedimentaria del cretáceo inferior de la columna estratigráfica de Lima (formaciones Pamplona y Atocongo); la profundidad de la Napa freática varía desde 14.68 m. hasta 64.60 m. y que los suelos de la franja Oeste de Monterrico tiende a estar formada por un material fino superficial continuando con el denominado cascajo mientras que en la parte Este se han detectado zonas en cuya formación estratigráfica predomina el suelo fino hasta profundidades que verdaderamente afectan a la cimentación.

Respecto al sismo del 03.10.74 podemos decir que la fase intensa superó los 100 seg. tiempo durante el cual los sucesivos máximos superaron el 2% de g. Una duración de este orden de pulsos con aceleraciones intensas puede ocasionar un problema de fatiga plástica, lo que hace particularmente interesante el estudio de los efectos de este sismo.

En Monterrico se han registrado intensidades que varían entre VIII y VI MM. habiéndose observado las primeras en la zona de contacto.

Los tipos de fallas registrados se pueden agrupar en fallas de miembros de comportamiento frágil, tensión diagonal en muros, problemas debidos a detalles de conexiones y anclaje. Entre los defectos de diseño y construcción que contribuyeron a la ocurrencia de los daños observados, es necesario anotar la insuficiencia en el porcentaje de refuerzo transversal en elementos de concreto, la falta de control de resistencia del concreto y fallas derivadas de un vaciado defectuoso.

Con el objeto de fijar los coeficientes sísmicos apropiados, en el área estudiada, es necesario contar con una microregionalización de Monterrico, para lo que se requiere la instalación de un número suficiente de sismoscópios distribuidos en sitios estratégicos de la zona, así como algunos acelerógrafos sobre diferentes tipos de suelo; la identificación de los suelos y sus propiedades tanto estáticas como dinámicas, estudio de las fluctuaciones de la Napa freática, observaciones de daños y estimaciones de grados de intensidad.

# CAPITULO I

## INTRODUCCION



## I.1 OBJETIVOS Y ALCANCES

De las catástrofes que afectan al Perú, los movimientos sísmicos adquieren la máxima importancia debido, no solo al alto costo que implican los daños personales y materiales, sino también a la universalidad de sus efectos. Desde el punto de vista de costos se puede citar las ocasionadas por el último sismo (3 de Octubre de 1974) que se estimaron en S/. 1,826'698,592, según Defensa Civil.

En cuanto a la universalidad de sus efectos, es preciso destacar que una catástrofe sísmica se proyecta a todos los rubros vitales de una región amagada : vida y salud de las personas, viviendas, servicios esenciales de agua potable, alcantarillado, energía, etc., actividades productivas (agricultura, industria, minería y comercio), organización administrativa, etc. lo que compromete la acción efectiva de todos los sectores de la comunidad.

Un fenómeno se transforma en desastre en la medida en que sus efectos, considerados en términos de pérdidas, tienen una incidencia notable en el desarrollo de las actividades de una región o país. En consecuencia, aceptando que los movimientos sísmi-

cos son parte de nuestras condiciones naturales, es posible minimizar una catástrofe, si se establece orgánicamente un sistema preventivo que disminuya las causas directas que ocasionan los daños.

Una situación de catástrofe involucra tres etapas bien definidas: ANTES DE, DURANTE y DESPUES DE la catástrofe, que corresponden en esencia a medidas preventivas, de emergencia y de recuperación respectivamente.

Se observa que la emergencia osea el DURANTE, se desarrolla en un transcurso breve, mientras que la etapa de recuperación ocupa un espacio de tiempo mayor: el requerido para normalizar en definitiva las actividades de la zona o región afectada, este lapso depende de los daños producidos como consecuencia del movimiento telúrico.

El período preventivo en el que se puede considerar ubicado el presente trabajo, es el ANTES DE, creemos debiera ser continuo en el tiempo, siendo interrumpido solo por la emergencia, para de esa forma cumplir con el objetivo de prepararse convenientemente para ella y la recuperación.

La inter-relación entre las distin--

tas etapas muestra como el período preventivo tiene -- por finalidad prepararse para enfrentar el próximo fenómeno sísmico. Sus efectos podrían implicar o no un desastre dependiendo, en primera instancia, de la intensidad del movimiento, pero principalmente de toda la acción preventiva anterior. La catástrofe y sus consecuencias, así como las actividades de recuperación, -- aportan antecedentes valiosos para revisar las políticas y acciones preventivas correspondientes al nuevo período ANTES DE, que preceden a un futuro sismo. Son pues las consecuencias del último terremoto las que nos darán parte de la información que necesitamos para hacer una primera aproximación de la probable prioridad de los diferentes aspectos (condiciones locales, arquitectura, concepción estructural, procedimiento constructivo, etc.) que influirían en el comportamiento de las edificaciones ante un futuro sismo.

Todos los esfuerzos que realice la comunidad, ANTES DE un próximo sismo, en prepararse para la eventualidad, tendrán una gravitación de consideración en disminuir los daños. Por este motivo en el presente trabajo, se le atribuye a esta etapa la máxima importancia.

Creemos que es preciso realizar, en primera instancia, una planificación general que permí

ta definir los campos de actividades y lineamientos generales de la organización del país en relación con cada una de las etapas que involucra una situación de desastre; para ello es necesario reunir una información básica preliminar que permita realizar posteriormente trabajos completos en este sentido y en nuestro caso - en lo referente a la optimización del comportamiento - de una estructura.

La Universalidad, dentro de sus limitaciones, sobre todo de orden económico, tiene la responsabilidad de desarrollar estudios técnico-científico, con miras a la aplicación directa de los resulta--dos de su trabajo, por cuanto el problema es de urgen--cia permanente y la disponibilidad de recursos escasa. Conviene identificar cinco aspectos preferenciales de investigación :

- Zonificación sísmica, a nivel regional o local.
- Sistemas y detalles constructivos relevantes a las - condiciones nacionales.
- Métodos o procedimientos de diseño.
- Sistemas de servicio esenciales de agua potable, energía, alcantarillado, etc. que se adecúen a la eventualidad, en todos los aspectos que inciden en una si--tuación de emergencia.
- Desarrollo de proyectos y estudios específicos en cam

pos tan prioritarios como: Normas y Códigos de Construcción, cuantificación del fenómeno y sus efectos, evaluación de la seguridad de construcciones e instalaciones existentes; material informativo sobre construcción y reparaciones sismo-resistentes.

El presente trabajo pretende formar parte de la información básica preliminar del primer aspecto mencionado, para la zona investigada.

Creemos que es necesario notar que la elección de esta zona para ser investigada obedece a que consideramos que era interesante hacerlo por tratarse de un área urbana en plena expansión y crecimiento poblacional, además de la población flotante que soporta por estar en ella concentrados aproximadamente diez centros escolares y una Universidad, dato que se confirma con los resultados del último censo del 4 de Junio de 1972, que da las siguientes cifras: (1)

- Viviendas particulares y colectivas :

Total : 970

Urbana : 970

Rural : 0

- Hogares en viviendas particulares : 919

- Población Censada :

Total : 4941  
Urbana : 4941  
Rural : 0

## I.2 UBICACION Y EXTENSION DEL AREA INVESTIGADA

El área de estudio, Monterrico, está situada en el Departamento y Provincia de Lima y forma parte de los distritos de Santiago de Surco y Ate-Vitarte. Se encuentra al Sur-Este del distrito de Lima y aproximadamente a unos 30 mn. de él. (Ver Anexo I. Graf. 1)

Las coordenadas geográficas de la zona son :

12° 04' 45" - 12° 07' 50" Latitud Sur.  
76° 57' 48" - 76° 59' 15" Longitud Oeste.

## I.3 HISTORIA SISMICA DE LA ZONA

El conocimiento de los terremotos que ocurrieron en el Perú, data prácticamente desde la conquista española, es el relato de los efectos por ellos causados, de las pérdidas de vidas, junto con otras observaciones. Los datos de que se dispone son incompletos y se encuentran esparcidas en diversas obras inéditas o poco conocidas, en las crónicas de los reli

CIUDAD DE LIMA — DISTRITO DE SURCO

# MONTERRICO

ZONA NORTE DE SURCO

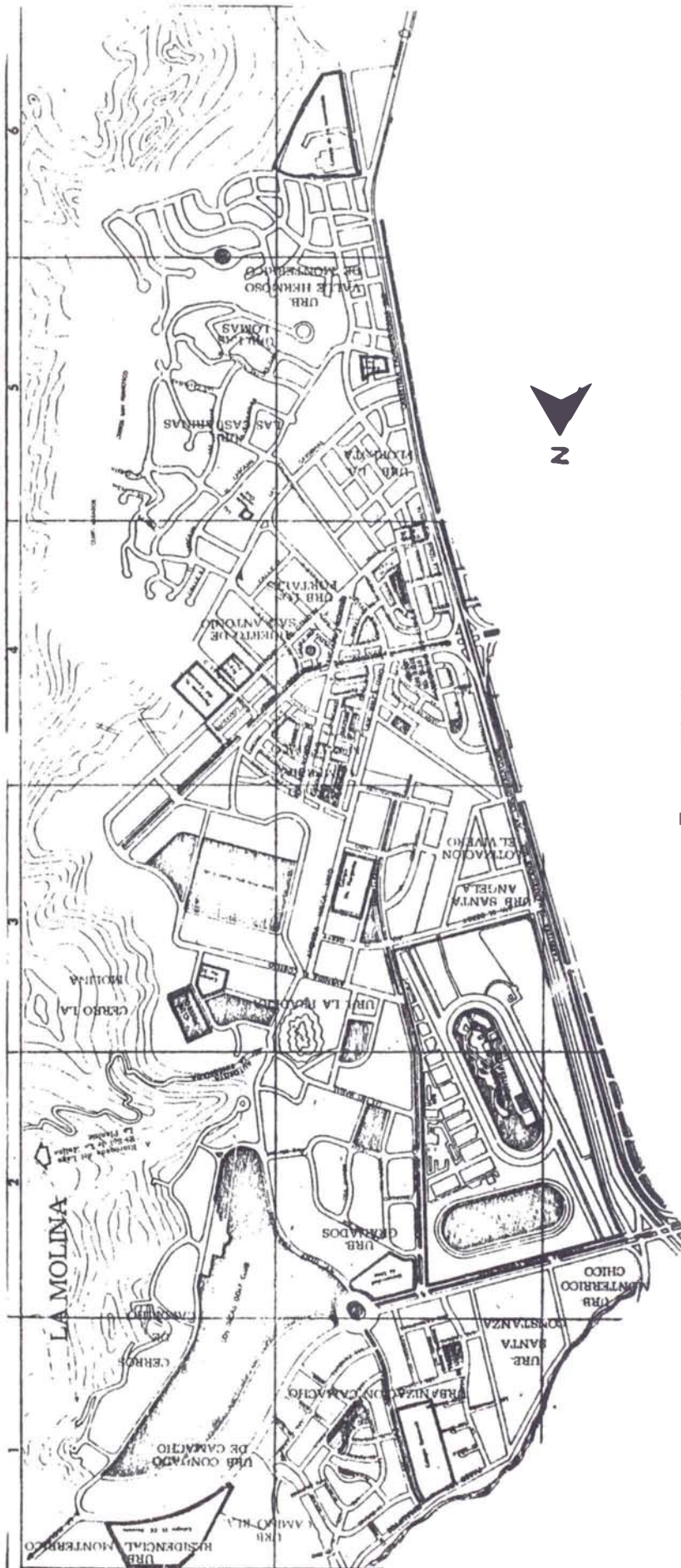
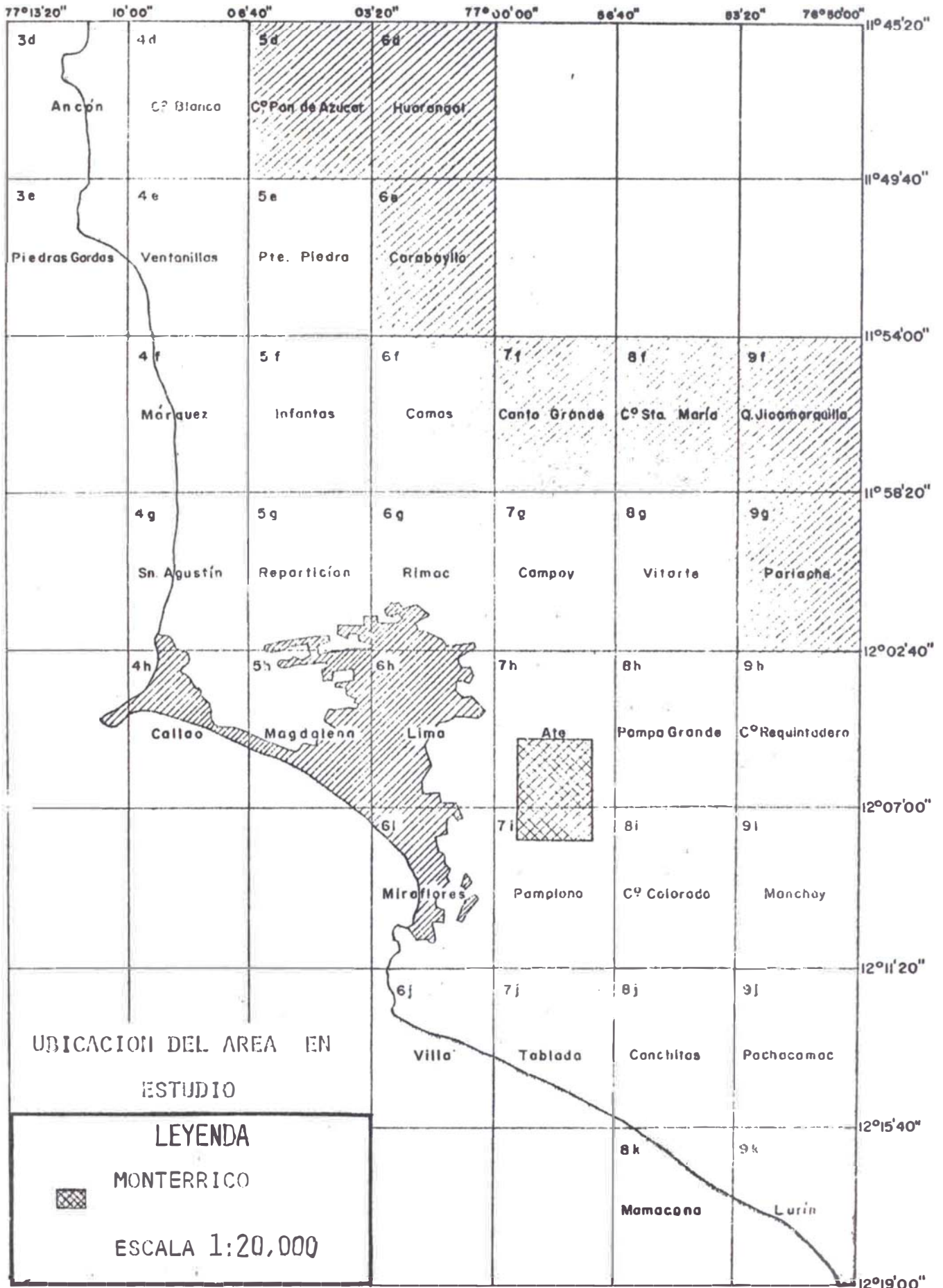


Foto No 1







VISTA PANORAMICA DE LA ZONA EN ESTUDIO : MONTERRICO

giosos o en las narraciones de los viajeros ilustres - que visitaron esta parte del continente.

A partir de 1930, cuando se instalaron los primeros sismógrafos en el Perú, es cuando se han podido conseguir datos más exactos de las características de los sismos ocurridos en Lima. Desde el punto de vista de las eras geológicas, que son dimensiones concordantes con los movimientos tectónicos que -- originan los sismos, el lapso del que disponemos información es muy reciente; con esto queremos decir que -- las fuentes históricas y las observaciones e informes completan y aclaran la sismicidad de Lima y de los probables daños que pueden ocurrir en el área de estudio por efecto de los sismos.

A continuación presentamos un cuadro resumen (Cuadro N° 1) de la sismicidad de Lima y las características más saltantes de los movimientos telúricos comprendidos entre los años 1,555 - 1974.<sup>(2)</sup>

#### I.4 METODOLOGIA DE LA INVESTIGACION

Las ciudades que como Lima, han tenido la desgraciada suerte de sufrir continuos sismos -- por estar ubicadas en zonas activamente sísmicas, tie-



ne al menos la ventaja de que ese "ensayo" a escala natural deja un rastro bien nítido en las construcciones, el cual es rico en informaciones si se llega a interpretar adecuadamente.

El rastro dejado por el sismo en Monterrico, difícilmente podrá ser conocido en su totalidad y menos aún en la investigación que se llevó a cabo para realizar este trabajo, ya que fue iniciado algunos meses después de haber ocurrido el movimiento tectónico. Sin embargo, a pesar de considerar que lo ideal era encuestar los daños en todas y cada una de las edificaciones afectadas de la zona y luego para el aprovechamiento total de esta información sería preciso conocer adicionalmente el número total de construcciones - en el área reportada, así como su distribución en alturas, lo que no me fue posible realizar y obtener este tipo de información por no contar con los medios necesarios y suficientes para realizarlo con la calidad técnica que se requiere. Lo que se procedió a hacer -- fue un muestreo en las edificaciones de Monterrico y determinar el tipo de daño que habían sufrido en caso de haber sido afectadas. Las edificaciones para centros escolares del área sí fueron investigadas en su totalidad, porque el número de ellos permiten cumplir en parte con el ideal de encuestar la totalidad de la muestra.

Al hacer las observaciones de los -- efectos del terremoto del 3.10.74 en la localidad de Monterrico, así como las estimaciones de su intensidad, se vió claramente, tanto por los resultados de nuestras observaciones como por los del examen de los cuestionarios, que no era posible definir intensidades que es-- tuvieran de acuerdo con las definiciones de la Escala Modificada de Mercalli (versión de 1956) ni con las de la Escala M.S.K.

Casi todos los interrogados en la -- zona informaron que habían sentido el terremoto y la -- mayoría afirmó que fueron varios los "remesones" sentidos, varios de los interrogados conducían coches en el momento del terremoto y comentaron que la conducción -- se había visto afectada por el fenómeno; la mayoría de las viviendas situadas en las proximidades de los con-- ductores no habían sido dañadas por el sismo.

Apreciamos dificultades cuando se -- trataba de asignar intensidades, utilizando las esca-- las de Mercalli o M.S.K. en donde edificaciones de conocreto armado de varios pisos estaban gravemente dañados y edificios de una planta, en algunos casos sin refuerzo, no habían sufrido daños. De aquí podemos deducir -- que no es generalmente cierto que cuando un sismo daña gravemente una estructura de concreto armado, las edi-

ficaciones construídas con materiales más débiles, deberán ser dañadas más gravemente, según viene implicado en las escalas Mercalli o M.S.K. aunque probablemente esto pueda ser generalmente cierto cuando se trate solo de edificios de una planta o de muy pocos pisos.

Orillando las incongruencias descritas más arriba mediante la adopción de la clasificación propuesta por G.R. Robson y L. Canales<sup>(3)</sup> proponen una definición de intensidad sísmica que es similar a las de las escalas Mercalli o M.S.K., pero que difiere de ellas porque define la intensidad simplemente en función de los daños ocasionados en edificios de una o dos plantas.

El cuadro que a continuación presentamos (Cuadro N°2) considera a la intensidad sísmica definida en función de los daños ocasionados en edificios de uno o dos pisos.

El daño es "grado 4" cuando se ha cuarteado paredes, suelos o techos o se han hundido parcialmente paredes, suelos o techos.

El daño es "grado 3" cuando hay grandes grietas en paredes, suelos o techos.

C U A D R O N°2

DAÑOS	EDIFICIOS DE HORMIGON ARMADO	EDIFICIOS DE LADRILLO SIN REFUERZOS	EDIFICIOS DE ADOBE
Grado 4	X	IX	VIII
Grado 3	IX	VIII	VII
Grado 2	VIII	VII	VI
Grado 1	VII	VI	V
Nulo	VII	VI	V

El daño es "grado 2" cuando hay pequeñas grietas en paredes, suelos o techos.

El daño es de "grado 1" cuando hay fisuras en paredes, suelos o techos.

Hemos elegido este método para definir las intensidades sísmicas porque hace constar precisamente los efectos del sismo en los edificios, que son los que normalmente interesan a los sismólogos y a los Ingenieros Civiles y por ende a las finalidades de este trabajo. Es posible objetar que esta escala no tiene consistencia interna ya que por ejemplo, una intensidad de VI calculada por los edificios de concreto armado no es equivalente a una intensidad de VI calculada por los daños en los edificios de adobe. En el --

supuesto que así sea tal inconsistencia no ha aparecido en el curso del presente trabajo.

Respecto al procedimiento seguido para el muestreo de las edificaciones a encuestar, se realizó, de acuerdo al método propuesto por el Dr. Husid,<sup>(4)</sup> de la siguiente manera:

- En una lámina transparente se cuadrículó, a escala -- igual a la del plano del área investigada, líneas -- distantes entre sí cada 200 mts.
- La lámina anterior se superpone sobre el plano de la zona encuestada y se hace coincidir con alguna esquina de manzana la esquina del cuadrículado.
- De esta esquina se tomaron dos puntos en cada sentido del cuadrículado y la edificación que determine ca da uno de estos puntos, ya sea casa o edificio será encuestada.
- Este proceso se repite hasta "barrer" toda la zona - en estudio.
- En caso de que los puntos coincidieran con lotes no construídos se procedía a encuestar la edificación - más próxima en el sentido de que la lámina transpa-- rente determinaba y a partir de allí se reubicaban las siguientes construcciones a encuestar.



## CAPITULO II

### ASPECTOS GEOTECNICOS Y DE SUELOS

## II.1 RELIEVE TOPOGRAFICO

La zona de Monterrico presenta dos - áreas bien diferenciadas: la primera la constituyen te rrazas fluvio-aluviales y la segunda cerros moderada-- mente elevados.

Las cotas fluctuan de 116.7 m.s.n.m. La cota inferior se encuentra en las inmediaciones del colegio "La Inmaculada" y la cota superior en el cerro Centinela.

Monterrico se caracteriza por presen tar en la parte Este una secuencia de cerros moderada-- mente elevados, entre los principales cerros se consi-- deran:

- Cerro la Molina Alta: 362.1 m.s.n.m.
- Cerro la Gallinacera: 358.8 m.s.n.m.
- Cerro la Molina : 275.0 m.s.n.m.
- Cerro Centinela : 470.5 m.s.n.m.
- Falderías de San Francisco : 428.1 m.s.n.m.  
(Ver Lamina N°1. Anexo III)

## II.2 GEOMORFOLOGIA

El área investigada presenta dos ras gos bien marcados: la primera es una zona plana que --

representa terrazas fluvio-aluviales del Cuaternario, siendo interesante advertir que están localizadas en la parte occidental (Oeste) y representa el 70% del área en estudio.

El otro rasgo lo constituyen cerros moderadamente conspicuos.

Como rasgo fisiográfico se puede advertir el río Surco que constituye el límite norte del área de estudio. La característica del citado río es que está canalizado y tiene una orientación Sur-Oeste.

Es importante señalar, por diversas razones técnicas y geológicas, al Cerro La Molina que esta constituido por la formación Pamplona del Cretácico Inferior, que sus estratos presentan un buzamiento hacia el NW lo que incide en la inestabilidad de los taludes o faldas de los cerros y asimismo en las construcciones adyacentes al producirse un movimiento telúrico.

### II.3 GEOLOGIA DEL AREA

En el área de estudio afloran formaciones geológicas del Cretáceo Inferior (K-inf) al Cuaternario Reciente (Q-r).

Se advierte la presencia de los 3 tipos de rocas: Igneas, Sedimentarias y Metamórficas.<sup>(7)</sup>

Los depósitos sedimentarios (fluvio-aluviales-coluviales y eólicos) del cuaternario constituyen el 70% de extensión del área y sobre las cuales gran parte de las urbanizaciones se han levantado.

Las formaciones rocosas (fm Pamplona-Atocongo y parte del batolito de la costa) del Cretácico Inferior - Terciario Inferior, constituyen el 30% del área y están emplazados en la parte oriental; pudiéndose apreciar que el Neo-Urbanismo y Empresas Constructoras están situando áreas urbanas en los cerros por ejemplo tenemos la Urbanización "El Alamo" y "Las Casuarinas". y las Lomas. (Ver Lamina N°2. Anexo III)

Formación Pamplona.- El nombre de esta formación geológica le fue asignado por tener sus mejores afloramientos (exposiciones) en el área de Pamplona, tomándose como característica principal los afloramientos de los Cerros Pamplona.

La formación Pamplona es originaria del Cretácico Inferior. Regionalmente abarca por el Norte hasta Pasamayo y por el Sur hasta Chilca, aflo--

rando también en Repartición Pachacamac.

Localmente afloran en los siguientes cerros: Cerro La Gallinacera, Cerro La Molina y Cerro Cascajal.

La formación Pamplona esta constituida por una secuencia de estratos o capas de lutitas, margas y calizas intercaladas con una ritmicidad característica por lo cual las capas tienen estratificación delgada en forma de lajas, en las que se tiene un predominio de margas (caliza arcillosa).

La función del predominio del tipo de litología, a la variación en la alternación de los estratos, la presencia de fósiles ha servido para su subdivisión en miembros.

La formación Pamplona se divide en:

a) Miembro Conchan : Es el miembro inferior de la formación Pamplona, sobreyace en forma concordante transicional, siendo la capa base un estrato de caliza con láminas de lutita. El miembro presenta como principal característica la estratificación rítmica entre calizas y lutitas, encontrándose las calizas en capas que varían de 30 a 80 cms. de es-

pesor separadas por láminas de lutita color rojizo de 1 a 4 cms. de espesor.

b) Miembro Cascajal : Se considera su base un paquete de marga de color gris lajeado y hojoso que sobreyace a la capa de lutita rojizas, tope del miembro inferior. Su mejor afloramiento lo tiene en los Cerros Cascajal de donde se ha tomado el nombre para el miembro. La litología predominante es la marga, con estratificación delgada en forma de lajas y muy hojosa debido al fracturamiento coloidal, separada por pequeñas láminas de arcilla o yeso. Se encuentran también tres capas de lutitas de 1 mt. de espesor, de color rojizo predominante que sirven como capas guías.

El espesor medio de dicho miembro es de 280 mt., su tope se ha considerado un paquete de marga de 22 mts., con capas de distinta compactación, debajo de una lutita fosilífera.

c) Miembro Casuarinas : Es el miembro superior de la formación, su base es una lutita fosilífera abigarrada, pero con predominio rojizo, donde se encuentran restos de fósiles de peces e impresiones de ammonites y plantas.

Toda la parte inferior de este miem-

bro consta de estratos de marga intercalados con lutitas, lo que le da un relieve característico, con mayor o menor pendiente debido al diferente comportamiento al intemperismo. Se observan dos capas de caliza de 2 mts. de espesor que sirven como capas guías. En la parte central existe margas y se repite una secuencia de estratificación rítmica de marga lutita y marga caliza. El tope es un banco de lutitas rojizas laminares y muy fracturadas, digeridas en parte por un sill de composición andesítica, el contacto es concordante y se le ubica en la parte alta de "Las Casuarinas".

Formación Atocongo.- Es la secuencia sedimentaria más alta del piso Lima, esta constituida por calizas marinas del Cretácico Inferior. Mayormente afloran al SE de Lima en los Cerros Cantera, Mina y Centinela.

En el área de estudio se ubican en los C°s. Mina-Capilla-del Puquio-Sn. Fco.-La Cantera y en el C°Falderías de San Francisco, en el área próxima al fundo Santa Teresa.

El contacto con la formación Pamplona es concordante, sus primeros estratos son capas de 50-cms. de espesor, luego los estratos son de mayor espesor llegando este a alcanzar los 2 mts.

Las calizas son de color gris oscuro algo silicificadas y recristalizadas, por efecto del metamorfismo.

Rocas Igneas.- Las rocas Igneas aflorantes en el área pertenecen al batolito de la costa que se emplazaron a fines del Cretácico Superior, Terciario Inferior (K-Ti).

En la comarca existen en el Cerro "La Molina Alta", Falderías de "San Francisco", Cerro "San Francisco", Cerro "Monterrico" chico y Cerro Capilla.

Las rocas Igneas Intrusivas existentes son granito, adamelita, granodiorita, diorita y gabbro, siendo su emplazamiento por "Stoping Magnético". Asimismo se ha observado diques y sills constituidos de andesitas y andesitas porfiríticas las cuales son más persistentes en las "Casuarinas".

Depósitos Cuaternarios.- Los depósitos cuaternarios existentes en la zona son los de mayor extensión (70%) y están constituidos por abanicos aluviales, coluviales y eólicos.

A lo largo de la base de los afloramientos, especialmente los ubicados en la zona de Mon



terrigo y aledaños a la Molina se encuentran depósitos de material reciente sueltos, constituidos por clastos y bloques angulosos, subangulosos y subredondeados, -- los que a veces se encuentran cubiertos por pequeños -- lechos de arena y limo, conformando pequeñas pampas.

Dichos clastos corresponden a rocas metasedimentarias (angulosas y subangulosas) y a rocas graníticas y dioríticas (bloques subredondeados), éstos últimos se encuentran en proceso de arenización de bido al intemperismo reinante en la zona, también se - observan en estos bloques algunas alteraciones secunda rias, originadas por acción del agua (limonitización).

Particularmente el abanico coluvial de "Las Casuarinas" está constituido por arena eólica de grano fino, intercalada con capas delgadas de 10 a 30 cms. de grosor de fragmentos angulosos cementados - con arena algo más arcillosa que representan ocasionales derrames de barro posiblemente producidos por lluvias torrenciales ocasionales similares a las que han podido observarse en época contemporánea.(8)

Por el grosor y extensión de las capas de grava puede deducirse que las lluvias de épocas pretéritas deben haber tenido intensidades muy superio res a las observadas en nuestro tiempo.

Estas lluvias deben haber contribuido a modelar el abanico coluvial que originalmente debe haber tenido formas diferentes, pues el material "arena eólica" indica que fue depositado en forma de médanos provenientes del lado Sur de la cadena de cerros - de San Francisco, desde las Pampas de San Juan y Tabla da de Lurín situadas al SE de "Las Casuarinas".

#### II.4 GEOLOGIA ESTRUCTURAL

Las características tectónicas del - área son peculiares y es factible que han incidido en la destrucción de casas al acontecer los movimientos - telúricos en Lima, especialmente de aquellas que están adyacentes a los cerros.

Los afloramientos se encuentran ubicados en el flanco Este del Anticlinal de Lima. Los es tratos por lo general tienen un rumbo promedio de N 30° W y su buzamiento presenta variación; así tenemos que en el Cerro "La Gallinacera" es de 70°NW y en el Cerro "La Molina" 58° NE, próximo a las falderías de "San -- Francisco" tenemos 25° NE. <sup>(7)</sup>

Existen sistemas de fallamiento menor originado por el emplazamiento de diques y sills y

además por la diferente competencia de las rocas, donde la lutita por ser más plástica no se fractura rompiéndose sino amoldándose al desplazamiento mientras las -- otras rocas se rompen. Las fracturas están rellenas con yeso y calcita.

Los diques tienen diferentes direcciones, algunos de ellos tienen el mismo alineamiento con la topografía (zona de "Las Casuarinas") en general tienen gran inclinación y están formando redes junto con los sills. En la parte de los Cerros de San Francisco se encuentra el batolito de la costa que ha metamorfizado la caliza dando origen a la presencia de granates y otros minerales metasomáticos.

Localmente el fallamiento y plegamiento son inactivos y los cuerpos del batolito no presentan huellas de manifestaciones diastróficas (según -- Nakashima 1974).

## II.5 \* AGUAS SUBTERRANEAS

La zona de Monterrico se abastece -- principalmente del agua subterránea o subsuperficial -- aproximadamente en un 90% del consumo total y el resto proviene de las aguas de la Atarjea.

En base a las informaciones del Ministerio de Agricultura, División de Aguas Subterráneas, se sabe que han sido perforados 29 pozos con un rendimiento máximo de 85 lt/seg y mínimo de 24 lt/seg. (hasta 1975).

La máxima profundidad de los pozos se ha efectuado hasta los 110 mts. de profundidad, sin alcanzar al basamento que corresponde a la realizada en los pozos N°13, 5, 6 del Mapa de Ate y los pozos N° 18, 24 y 55 del Mapa de Pamplona. La mínima profundidad de los pozos ha sido de 20.80 mts. que corresponde al pozo N° 2 del Mapa de Ate; los pozos mencionados llevan los números del catastro de la Sub-Dirección de Aguas Subterráneas.

II.5.1 Pozos de la zona.- Hasta el año 1975, la Sub-Dirección de Aguas Subterráneas del Ministerio de Agricultura tenía registrada 29 pozos perforados en la zona. Para el presente trabajo solo han sido considerados aquellos que ofrecían mayor información para un mejor sistema de intercolación de datos técnicos. (Lámina N°3-Anexo III).

Con la finalidad de estudiar la ubicación de un nuevo pozo para servir a la comunidad la Asociación Casuarinas de Monterrico otorgo al Ing. Jaime Fernandez Concha para que efectue un estudio de los

pozos de las zonas aledañas comprendidas en una Figura irregular de 200 Hectáreas. (8)

Los pozos estudiados llevan los números del catastro de la Sub-Dirección de Aguas Subterráneas y su ubicación es la siguiente:

- N° 12 Urbanización Las Flores.
- N° 4 Centro Comercial Monterrico (parte N).
- N° 90 Inmobiliaria La Mar (Polo Club)
- N° 3 Centro Comercial Monterrico, sobre la Av. Primavera.
- N° 54 Propiedad particular del General Sarmiento y Huertos de San Antonio.
- N° 14 Dentro del Museo de Oro del Sr. Miguel Mujica Gallo.
- N° 15 Dentro del Museo de Oro (N°1 Asociación Casuarinas).
- N° 24 Prolongación Av. Casuarinas y calle (N°3 Asociación Casuarinas).
- N° 18 Urbanización San Demetrio.
- N° 17 Urbanización La Floresta (abandonado).
- N° 23 (N°2 Asociación Casuarinas) unión de calles Cascajal y Cucardas.

Las características técnicas de es--

tos pozos obtenidos de los archivos de la Sub-Dirección de Aguas Subterráneas como cota de la boca, profundidad, nivel freático y producción se presenta en el Cuadro siguiente (Cuadro N°3).

C U A D R O N° 3

Pozo	Año Perforación	Cota	Profund.	Nivel Freático		Producción	Depresión Napa
				Profund.	Cota		
12	1960	166	72	48.50	117.64	60 l/seg	19.50
4	1962	172	90	47.00	125.30	28 "	10.00
90	1969	174	110	65.00	109.00	64 "	10.00
3	1962	162	95.50	50.19	112.16	49 "	4.16
54	1959	161	47.40	44.20	116.80		
14	1956	164	62	38.10	125.90	30 "	4.11
15	1962	164	65	37.00	127.00	24 "	18.00
24	1968	145	110	35.00	110.00	85 "	27.50
18	1967	140	110	37.88	102.42	79 "	24.00
17	1967	142	50	34.21	105.14	45 "	
23	1956	152	50	27.00	125.00	60 "	12.60
2	1956	221	20.80	16.00	205.00		
145	1974	211		23.30	187.70		

Estas informaciones y las medidas efectuadas por el Ing° Fernandez Concha, les permitió confeccionar un plano actualizado de curvas hidroisohipsas de la zona. Esta información fue completada también con la existente en la Carta Hidrogeológica de la Gran Lima, preparado por la Sub-Dirección de Aguas Subterráneas -

en cooperación con el Service de la Carte Geologique - D'Alsace et de Lorraine (1971). Ver Lamina N°3 (Anexo III).

Las profundidades de la superficie freática y sus respectivas cotas son las siguientes:

Pozo N°	Cota	Profundidad Napa	Cota Napa
90	174	64.6	109.40
15	164	51.2	112.80
54	161	50.0	111.00
23	152	42.6	109.40
24	145		

No se ha podido obtener datos del nivel estático de los otros pozos por estar en servicio.

Con los datos obtenidos se encuentra que la napa se ha deprimido entre :

1956 y 1972	Pozo N°23	15.6 mt.en	16 años
1962 y 1972	Pozo N°15	14.2 mt.en	10 años
1969 y 1972	Pozo N°90	0.4 mt.en	3 años

El último dato del pozo N° 90 indica una ligera mejoría de las condiciones freáticas y un ligero reabastecimiento de la napa.

De este plano se deduce que la dirección local del flujo subterráneo posiblemente influenciado por el espolon de Monterrico chico tiene una dirección de NW a SE.

II.5.2 Napa Freática.- Se han preparado dos perfiles longitudinales (Ver gráficos - N° 2 y 3 ) a base de la información contenida en la Sub Dirección de Aguas Subterráneas en el grupo de pozos - que fueron tomados como referencia en la zona. En el primer perfil A-A que es el más cercano a la zona de los cerros, la napa freática se encontraba aproximadamente alrededor de 35 mts. debajo de la superficie en la época en que fueron perforados, es decir entre 1962 y 1968. Este primer perfil comprende los pozos 15, 54, 24, 17 y 18 pero como en la actualidad los cuatro últimos están en servicio no se hicieron medidas del nivel estático, en cambio en el pozo N°15 que se encuentra dentro del Museo de Oro y paralizado desde hace mucho tiempo, el nivel de la superficie freática es de 51.50 mts. en la actualidad, es decir está en la cota 112.8 m.s.n.m.

En el perfil más alejado de los cerros, el perfil B-B que comprende los pozos N°s: 3,4 y 90 el nivel de la Napa Freática es más profunda siendo



ésta entre 48 y 50 m. En el pozo N°90 se ha indicado -- que la Napa Freática se encuentra a 65 m. de profundidad. En la actualidad, de los tres pozos los N° 3 y 4 están en servicio y el N°90 ubicado en la zona del pozo aún está inactivo no habiéndose instalado la bomba correspondiente. Cuando fue medida la profundidad de la superficie freática se encontró que ésta se halla a 64.60 m. lo que indica que la napa ha subido 0.4 m. en 3 años.

II.5.3 El Acuífero .- Todos los pozos de referencia -- con excepción del N°23 , han sido perforados dentro de la zona aluvial del valle del Rimac, en consecuencia consisten principalmente en capas de cantos rodados, cascajo, arena y arcilla en diversas proporciones. Lo que puede observarse de los perfiles que se presentan, es que a una profundidad entre 50 y 55mt., es el caso del perfil B-B, se inicia una - capa con mayor contenido de arcilla, la que juzgamos - debe ser algo más impermeable que la capa superficial, desgraciadamente la masa de agua se encuentra ya bastante profunda o sea dentro de esta zona con mayor proporción de arcilla. En el primer perfil solo 2 de los pozos han alcanzado esta zona con más arcilla, la que parece encontrarse a 70m. en el pozo N°24 y mucho más superficial en el pozo N°18, la que estaría aproximada

mente a solo 45 mt. de profundidad, los otros 3 pozos no habrían penetrado hasta esta zona impermeable.

En el caso del pozo N°23 a juzgar -- por la descripción litológica de la perforación, las - capas aluviales se han alcanzado a partir de los 37.45 m. de profundidad donde recién aparece arena gruesa y algo más abajo cascajo. Las capas superficiales son de arena fina característica del abanico coluvial de las casuarinas.

Se ha encontrado que han mejorado las condiciones descritas en la prueba del bombeo inicial de 1968.

El nivel estático que en esa época - fue de 35.2 mt. ha descendido actualmente a 46.17 m.

El nivel dinámico se indicaba en 1968 que bajó a 62.00 m. en tres días de bombeo, en la ac-- tualidad con 90 lt/seg, pero solamente con 2 horas de - bombeo el nivel dinámico bajó inicialmente a 51.00 mt., durante la primera hora descendió hasta 52.08 m. Pero durante la segunda hora en vez de continuar descendiendo el nivel subió ligeramente y se mantuvo en 51.50 m.

Como no existen pozos de control cerca

canos solamente se ha hecho una estimación del coeficiente de almacenamiento, el que fue estimado en  $2 \times 10^{-3}$

## II.6 PERFILES ESTRATIGRAFICOS

Para una mejor visualización y comprensión de los afloramientos de superficie y la secuencia litológica del subsuelo del área se anexan los respectivos Perfiles Estratigráficos. (Ver graf. N°4. Anexo I)

## II.7 SUELOS

Luego de haber realizado la investigación de las características geológicas generales del lugar, toca ahora tratar acerca de las características del suelo, ya que éste es el aspecto que tiene mayor influencia en el orden de sucesión, forma y continuidad de los estratos.

Los métodos superficiales de reconocimiento nos proporcionan solamente indicios aproximados de las probables condiciones del suelo, por lo que sólo es posible basar en ellos investigaciones preliminares, aunque desde luego nos dan información muy valiosa, sobre todo cuando se desea plantear de un modo racional, la necesidad del reconocimiento del subsuelo.

Para proyectar una estructura es, necesario poseer datos suficientes de la naturaleza del terreno de cimentación; esta información sólo es posible conseguirla - mediante métodos apropiados de perforación y toma de muestras de suelos, además de los ensayos respectivos.

Podemos considerar que los propósitos de un estudio de suelos se reducen a la obtención de la información siguiente:

a) Para Estructuras Nuevas :

- Determinación del tipo y profundidad de la cimentación.
- Determinación de la capacidad resistente del suelo de cimentación.
- Inferir los posibles asentamientos de la cimentación elegida.
- Cuantificar las presiones de tierras en los muros límites.

b) Para Estructuras Existentes :

- Analizar la seguridad de la estructura.
- Predecir los asentamientos.
- Determinar de las medidas que remedien una estructura que no es segura o que va a sufrir asentamientos muy peligrosos

### II.7.1 Características Físicas de los Suelos :

a) Suelos Friccionantes : En este tipo de suelos están comprendidas las gravas y las arenas, ambas son de grano grueso y tienen esencialmente las mismas propiedades físicas, diferenciándose tan sólo en el tamaño. Se considera grava al material retenido en la malla N°4 (4.76 mm.) y arena al material que pasa esta malla y es retenida en la malla N°200, esta división es arbitraria y no corresponde a ningún cambio brusco en sus propiedades. Las gravas y las arenas bien graduadas y compactadas son materiales estables. Tanto las gravas como las arenas cuando están desprovistas de finos son permeables, las afecta poco la humedad, son fáciles de compactar y no las afecta la helada.

Las gravas tienen generalmente un buen acomodamiento natural. Sus principales características son su alta fricción interna (debida esencialmente a la trabazón mecánica), permeabilidad y no poseen cohesión.

La arena gruesa presenta aumento de su resistencia con la profundidad, tiene rozamiento interno, capilaridad y alguna cohesión cuando están húmedas. La arena fina es muy sensible al grado de compac-

tación que presenta, así como a su contenido de humedad, del cual depende su estabilidad. Al hacerse una arena más fina y más uniforme se aproximan sus características a las del limo, con la consiguiente disminución de la permeabilidad y reducción de estabilidad en presencia del agua. Se puede observar que la forma, distribución granulométrica y tamaño de las partículas forman las características generales de los suelos friccionantes.

b) Suelos Cohesivos : En este tipo de suelos están comprendidos los limos y las arcillas.

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

La arcilla está compuesta por partículas muy pequeñas (menores a 0.002 mm.), poseen alta cohesión, no presentan rozamiento interno, su capilaridad es pronunciada, pueden ser expansibles y son algo elásticas. En presencia del agua su cohesión se debilita, lo que puede ocasionar deslizamientos.

Cuando el suelo presenta grandes cantidades de limo y arcilla (finos) presentan generalmente problemas en la cimentación. Estos materiales manifiestan cambios notables en las propiedades físicas - cuando es variada la proporción de agua. Cuando hay presencia de agua, la arcilla experimenta cambios de volumen ocasionando rajaduras o agrietamientos en las estructuras que estén cimentadas en ellas.

Se puede identificar fácilmente el limo y la arcilla de acuerdo a su comportamiento en presencia del agua, ya que secos y pulverizados se confunden.

II.7.2 Interacción Suelo-Estructura : Se ha comprobado que el comportamiento de estructuras esencialmente iguales, ante un mismo sismo, es diferente dependiendo de las características del suelo en que estas estructuras están cimentadas.

Las diferencias locales en geología, topografía y condición del subsuelo son determinantes para las aceleraciones a las que se verán sometidas las estructuras; considerando esta estrecha relación - entre el efecto sísmico y el tipo de suelo sería posi-

ble prevenir la magnitud de los daños, si desde el principio fueran tomados en cuenta así como también usar coeficientes sísmicos más cercanos a la realidad para que el riesgo sísmico no sea sobrestimado y las edificaciones no resulten antieconómicas.

Cuando se realizan investigaciones - para determinar la relación entre el daño a las estructuras por efecto de sismos y el tipo de suelo, se consideran principalmente la influencia del tipo de suelo en la intensidad y forma de onda del movimiento sísmico, respecto a las condiciones locales; la influencia del tipo de suelo en las propiedades de amortiguamiento de la vibración de las estructuras; y la disminución de la resistencia del suelo cuando está sujeto a vibración.

Los daños causados por sismos en las estructuras, comprenden agrietamiento, volcamiento, asentamiento, colapsos, etc. y una o más de estas fallas pueden presentarse a consecuencia de un sismo en una determinada estructura. Es posible considerar 2 grupos de fallas cuyas características están estrechamente relacionadas con el tipo de suelo y el tipo de estructura. Cuando el suelo es blando y la estructura es flexible, el daño principal consistirá en asentamiento, de-



rumbe y volcamiento; mientras que cuando el suelo es duro y la estructura es rígida, se producirá una dislocación horizontal en la parte que se conecta con el suelo o el agrietamiento de una parte principal del cuerpo de la estructura.

a) Sismo en Terreno Aluvial : El terreno aluvial geológicamente, generalmente está compuesto de arena y grava, que fueron depositadas en una edad relativamente reciente sobre un suelo formado en una edad anterior. De aquí que la capa depositada sobre la superficie es más suave e incoherente que el terreno en el que se halla depositada. Una característica interesante de señalar en terrenos aluviales es que tipos de suelos de propiedades mecánicas medianamente diferentes se hallan en capas (estratos) y en movimientos sísmicos, presentan una influencia significativa, especialmente en la capa superficial.

EL PERIODO PREDOMINANTE es una de las características de frecuencia del movimiento sísmico. Cuando ocurre un sismo, liberando repentinamente una gran cantidad de energía, ésta se irradia tridimensionalmente, los movimientos principales de ondas que se transmiten cerca de la superficie de la tierra son ondas superficiales y ondas transversales. Considerando

que en áreas aluviales, la velocidad de las ondas sísmicas generalmente es más lenta en la porción superficial que en la porción muy por debajo de la superficie, las ondas transversales viajarán casi perpendicularmente a la superficie del terreno en la porción superficial de éste y ocurrirá un fenómeno de multiflexión en la capa superficial. En consecuencia el suelo vibrará enormemente con la aparición de vibraciones dominantes de ciertos períodos específicos. Estos períodos son determinados por la estructura de la capa superficial y se denominan Período Predominante.

Otra de las características de frecuencia del movimiento sísmico es la INTENSIDAD; en terreno aluvial, la impedancia es pequeña en comparación con la de la roca; y más aún, existiendo los períodos predominantes hay la posibilidad de que ocurran particularmente vibraciones grandes cuando ocurre un terremoto. Son valores característicos los valores máximos de aceleración, velocidad y desplazamiento del movimiento telúrico, y es necesario conocer en que medida pueden estos valores sufrir amplificación por la presencia de la capa superficial. Estos valores se registran a través de acelerógrafos y se representan mediante espectros.

El espectro es una curva continua para un amortiguamiento dado, y representa la respuesta máxima del modelo a la excitación, teniendo como variable el período natural de vibración. Existen espectros de aceleración, velocidad y desplazamiento, que dependen de la naturaleza de la respuesta máxima que se mide en el modelo. Los espectros además de definir las características del sismo (y por consiguiente las características dinámicas del suelo en el lugar del registro), promediados, se utilizan en el diseño de estructuras por el método llamado RESPUESTA ESPECTRAL.

En los estratos superficiales aluviales las vibraciones se amplifican debido al fenómeno de reflexión múltiple. Para encontrar el grado de amplificación cuantitativamente, es necesario buscar las correspondientes vibraciones componentes de la onda sísmica incidente al suelo base y la forma de onda en la superficie del terreno y obtener la amplificación de la última sobre la primera. La amplificación que sufren las ondas sísmicas en los lechos más superficiales de la corteza terrestre, es un parámetro que juega un papel importante en la microzonación sísmica y en los estudios sobre riesgo sísmico.

De acuerdo a los resultados de las

observaciones de sismos secundarios del terremoto de Fukui y Nankai, Japón en 19 , se observa que los desplazamientos en áreas aluviales son considerablemente mayores que los desplazamientos en áreas rocosas; no se puede afirmar que el máximo desplazamiento y la máxima aceleración tienen características similares.<sup>(16)</sup>

b) Sismo en Terreno Rocoso : El efecto de los sismos en zonas rocosas a las estructuras consiste principalmente en rajaduras de estructuras livianas y colapso debido a tales rajaduras. Las observaciones de terremotos como Imaichi y Kanto (Japón 19..), sugieren que el movimiento telúrico en suelo rocoso, ocasiona un desplazamiento generalmente pequeño, comparado al que ocurre en áreas aluviales, siendo la aceleración razonablemente alta en el orden del período corto. En el suelo duro, la porción superficial se encuentra intemperizada en comparación con las porciones interiores, habiendo además la posibilidad de existencia de grietas, fallas, fracturas, etc. En estos casos, las propiedades de la parte superficial diferirán de las propiedades de las partes interiores.<sup>(16)</sup>

Las variaciones de la topografía tales como protuberancias del lado montañoso u hondondas profundamente conectadas, crean la posibilidad de

que la masa montañosa actúe como si fuera una estructura resultando vibraciones especiales. Cuando hay algunas variaciones repentinas y no existe una capa intemperizada, se cree que la onda sísmica incidente en el suelo base alcanza la capa superficial, y allí es reflejada de regreso hacia el suelo.

II.7.3 Propiedades Dinámicas de los Suelos : Las variaciones en densidad y resistencia al corte de un suelo, y la variación en la presión de poros debido a la vibración son las propiedades que se consideran más estrechamente relacionadas al asentamiento de las cimentaciones y a la destrucción de las estructuras de tierra.

Generalmente se expresa la resistencia estática al corte de un suelo por:

$$\tau = (\alpha - \mu) \operatorname{tg} \phi + c$$

Donde :

$\tau$  = Resistencia al corte en el plano de falla.

$\alpha$  = Esfuerzo normal en el plano de falla.

$\mu$  = Presión de poros.

$\phi$  = Angulo de resistencia al corte.

$c$  = Esfuerzo de cohesión.

Al primer miembro de la ecuación se le ha denominado Fricción y al 2do. miembro cohesión. La fricción gobierna principalmente la resistencia de la arena y la cohesión la resistencia de la arcilla natural saturada; de allí que es recomendable considerar los dos en forma separada, pues existe una diferencia amplia considerable entre las propiedades mecánicas del suelo arenoso y del suelo arcilloso.

a) Suelo Arenoso : La suavidad de la superficie de las partículas de arena no tienen mucha relación con la resistencia al corte, dependiendo esencialmente de la cantidad de vacíos y del contenido de humedad. La relación de vacíos de la arena es variable y depende principalmente de la forma como ha sido depositada; cuanto más pequeña es la relación de vacíos, más grande será el ángulo de resistencia al corte. El ángulo de resistencia al corte puede aumentar también cuando aumenta el tamaño de las partículas aunque la relación de vacíos permanezca constante.

Si la arena presenta una deformación por corte esta deformación será irreversible y el volumen habrá cambiado. El contenido de humedad de una arena puede deberse al agua absorvida y al agua de los poros; la influencia de ambos sobre las propiedades de

la arena son muy diferentes. La hinchazón de la arena es un fenómeno que se produce cuando el agua absorvida forma películas de agua sobre las superficies de las partículas de arena, haciendo que se agranden los vacíos entre éstas; este hinchamiento no produce la separación espontánea de las partículas. Una parte o todos los vacíos entre las partículas de arena pueden ser llenados por el agua de poro y su principal característica es su capacidad para mantener la presión. Cuando las partículas de arena se saturan con agua, la presión de poros es igual a la carga de agua del nivel de agua subterránea. La presencia del agua de poros hace variar el ángulo de resistencia al corte en uno o dos grados más pequeña para la arena saturada, esto cuando el cortante es lento, pero cuando el cortante es rápido la relación de vacíos tiende a disminuir y esto está asociado con una presión hidrostática excesiva en el agua de poros, en este caso la arena fallará cuando esté sometida a un esfuerzo cortante menor que una arena similar sometida a cortante rápido.

b) Suelo Cohesivo : La arcilla presenta dentro de sus elementos componentes partículas de cristal de materia inorgánica y agua. Es posible distinguir fases de sólidos, semisólidos, plásticos o estados fluidos, condicionándose de acuerdo a las propie

dades mecánicas y electroquímicas de los componentes . Las propiedades de la arcilla en cada una de estas fases así como de la transición entre ellas se consideran que están determinadas por la forma de las partículas de cristal, por la alineación de éstas bajo fuerzas electroquímicas, por las propiedades de la película de agua afectadas por el agua absorbida, y también por la presión del agua de poros y la tensión superficial.

Existe una estructuración natural de los componentes de la arcilla; cuando éste es roto por fuerzas de impacto esta estructuración cambia a un arreglo diferente. Si esto ocurre existe una tendencia general a que se reduzca la resistencia al corte y que el material se torne rápidamente compresible.

#### II.7.4 Características de los Suelos encontrados en la Zona :

a) Generalidades : La formación del suelo del área de Monterrico es el producto del trabajo de erosión, trasporte y deposición realizada a través de miles de años por las aguas de los ríos Rímac y Surco; a esto se suman los desprendimientos y deslizamientos de tierra como consecuencia de la acción del



agua de lluvia, la gravedad, etc., proceso que colabora con la meteorización en el ensanchamiento del valle. Es importante también anotar el papel que desempeña el intemperismo de las rocas en la formación de los suelos; en la zona es posible apreciar la acción que el meteorismo y erosión ha dejado en las rocas aflorantes. Las rocas han sufrido una alteración o fragmentación más o menos profunda que las ha reducido a pequeños bloques gravas, cantos, arena y polvo; este fenómeno se origina a causa de la descomposición química y disgregación mecánica.

b) Reconocimiento de la Zona : Respecto a la influencia de la descomposición química se observa en el área estudiada hacia el extremo Norte, en las faldas del Cerro Gallinacera la formación de arcilla residual muy plástica, que alcanza más de tres metros de profundidad; ella se ha originado posiblemente por la descomposición de las margas que constituyen la formación Pamplona. En este mismo lugar se han hallado productos de la disgregación mecánica de las rocas, apreciándose que forman parte del suelo pequeños bloques angulosos.

En el área en que se encuentra enclavada la Urbanización "El Alamo" (parte central hacia

el Este), se observa por simple inspección la presencia de arcilla residual producto de la descomposición de la corteza que contienen los granitos y granodioritas y que constituyen el "Cerro Falderías de San Francisco" y en la zona de contacto con la formación Atocongo, no teniendo mayores informaciones en cuanto a la potencia de este estrato arcilloso.

Del análisis de los perfiles litológicos se tiene que tres son los elementos que predominan mayoritariamente en el subsuelo de Monterrico: El conglomerado, las arenas y las arcillas limosas. El elemento de mayor predominancia es el conglomerado (cascajo, grava, cantos). Analizando de Sur a Norte, se puede notar que los elementos limo-arcillosos son más abundantes en la parte Nor-Este de la localidad.

De la figura N°5 a la figura N°14 (Anexo I) se presentan datos aislados de las características del terreno en diversas áreas de la zona investigada. Estos datos han sido proporcionados por el Ingeniero Arnaldo Carrillo Gil que ha realizado estudios de suelos con fines de cimentación y pavimentos en la parte Norte (Universidad Femenina del Sagrado Corazón) y Sur (Cooperativa de Vivienda del Colegio de Ingenieros) del Area de Monterrico. De la parte central de -

esta área no ha sido posible presentar datos específicos de estudios de suelos; sólo se ha conseguido información de perfiles de pozos realizados por la Subdirección de aguas Subterráneas del Ministerio de Agricultura y estudios de suelos para el edificio del Ministerio de Guerra que se encuentra a unos 150 m. del límite Oeste del área estudiada.<sup>(17)</sup>

c) Estratificación : Solamente ha sido posible obtener perfiles de pozos más no perfiles estratigráficos ya que los sondajes proporcionados están en su mayoría a distancias mayores de 100 m. y para zonas aisladas no contándose con información de perforaciones para zonas intermedias del Area de Monterrico.

Como se puede apreciar de los estudios realizados, se observa que el subsuelo está constituido por suelos granulares de origen fluvioaluvial encontrándose mezclas de suelos limo-arcillosos y arenosos hasta profundidades de 2.50 m. y a partir de esta profundidad se ha observado que el suelo tipo es una grava bien graduada con una matriz arenosa ( GW/SP ) y que continúa hasta la profundidad estudiada de 5 m.

Se incluye también, además de los perfiles de pozos, datos de la prueba de Penetración Stan

dard. De comparar las diversas curvas de dichas figuras es posible decir que existen variaciones de las características del terreno en áreas más o menos próximas, pero no se señalan cambios sistemáticos en las propiedades del suelo.

No ha sido posible disponer de mayor cantidad de datos cuantitativos de las características del terreno en esta zona como para formular una aseveración más precisa. Tampoco se han observado problemas de fallas de cimentación, cuando menos, en ninguna estructura encuestada que presentaba daños a simple vista.

## II.8 COMENTARIOS

### GEOLOGIA :

- La influencia de las condiciones geológicas locales en el grado de intensidad de un sismo ha sido señalada por diversos investigadores de allí la necesidad de estudiar las características geológicas y geomorfológicas locales para evaluar su incidencia en el potencial de riesgo sísmico. El efecto geológico en la respuesta de la estructura, ha sido considerada en los códigos de diseño antisísmico tales como los de Japón, la Unión Soviética y Distrito Federal de México siendo expresados a través de coeficientes que

afectan el cálculo de las fuerzas sísmicas de diseño.

- Para desarrollar el estudio geológico del área inves  
tigada se ha tenido en consideración la abundancia y  
tipos de rocas-sedimento-suelo que predominan en el  
área y las características morfoestructurales de és-  
ta. En función de lo señalado se determinó que los  
depósitos fluvioaluviales cuaternarios son los que  
cubren mayor extensión del área, los que pertenecen  
al cono de deyección del Río Rímac.
- Haciéndose un análisis de interpretación de los per-  
files de pozos del subsuelo, en la parte Sur predomi-  
nan horizontes conglomerádicos a diferencia de lo que  
se aprecia en la parte Norte en la que predominan ho-  
rizontes superiores limo-arcillosos.
- En el área estudiada se han identificado dos pisos  
de la secuencia sedimentaria del cretáceo inferior -  
de la columna estratigráfica de Lima y que correspon-  
den respectivamente a las formaciones Pamplona y Ato-  
cngo. Existe además un reducido afloramiento de los  
plutones del área, permitiendo conocer mejor las di-  
ferentes variaciones de las rocas que los constituyen  
y que vienen a representar el extremo más occidental  
del batolito de la Costa. Este emplazamiento ha moti-  
vado un proceso de metamorfismo de contacto con las

rocas sedimentarias existentes,. Las formaciones geológicas que afloran en el área pertenecen a eras comprendidas entre el Cretácico inferior y el Cuaternario reciente.

- Las fallas geológicas de la zona son inactivas por lo que no ofrecen motivo de un estudio especial.
- La Napa Freática cercana a los cerros ha presentado en el lapso de 10 años una depresión de aproximadamente 15 m., mientras que la napa en sentido perpendicular presenta una subida de 0.40 m. en aproximadamente el mismo tiempo. Las aguas subterráneas aumentan en profundidad de Norte a Sur así como de Oeste a Este.
- En consecuencia las condiciones geológicas locales de Monterrico son de interés en cuanto se refiere a la clase de depósitos fluvio-aluviales y meteórico que lo constituyen aunado a la depresión de la Napa Freática como se puede apreciar en el Anexo III(Plano N°1) ya que el descenso de ésta al suprimir el empuje de Arquímedes aumenta la densidad del suelo y por lo tanto las tensiones en el terreno, y en zona de contacto geológico indican un potencial de riesgo sísmico por determinar.

- Con el propósito de conocer el comportamiento de las edificaciones durante los movimientos telúricos, es necesario conocer las propiedades mecánicas de los suelos sujetos a fuerzas vibratorias.
- Cuando ocurre un movimiento sísmico, de acuerdo a experiencias sobre daños sísmicos anteriores, generalmente ocurre que la capacidad resistente del suelo disminuye de acuerdo a la vibración sísmica.
- Es posible determinar la capacidad resistente de un suelo durante un sismo a partir de la teoría de la capacidad resistente bajo condiciones normales. De acuerdo a esto el aspecto que se reduce mayormente con el aumento de la relación de la aceleración máxima del movimiento terrestre con la aceleración sobre el centro de gravedad de la edificación, es la capacidad resistente del suelo debido a la resistencia friccional del mismo, seguido por la capacidad resistente de la parte que se introduce en el terreno, mientras que es mínima la reducción en la capacidad resistente basada en la cohesión.
- La zona central de Lima está ubicada sobre el conglomerado compacto del lecho formado por el Rio Rímac. Esta zona tiene un comportamiento razonablemente definitivo ante sismos, confirmado por registros ins-

trumentales y por la respuesta, satisfactoria de edificaciones diseñadas con normas que asumen un determinado comportamiento del suelo de cimentación. No ha ocurrido lo mismo con edificaciones ubicadas en la zona de contacto del área de Monterrico, especialmente con estructuras que están situadas en las faldas del Cerro "Gallinacera" o muy cercanas a él, en donde se han presentado daños estructurales excesivos en edificios diseñados con la misma concepción estructural que otros ubicados en otras zonas de Lima y que presentaron daños menores o ninguno. Esto abre la posibilidad de que la intensidad en algunas áreas de Monterrico haya sido más alta que en el centro de Lima y que las variaciones de la topografía así como la presencia de la zona de contacto hayan contribuido a formar una sumatoria de vibraciones que puedan haber provocado una amplificación del movimiento. Tampoco es remoto que existan depósitos granulares más o menos sueltos, usuales en depósitos del litoral, y que hayan contribuido a amplificar el movimiento. Como ya se ha expresado no se tienen datos cuantitativos de las características del terreno en esta zona como para formar una observación más precisa en cuanto a su estratigrafía, capacidad resistente y comportamiento dinámico. Solamente se han podido conocer datos ais-



lados de los suelos de Monterrico.

- De las informaciones obtenidas se observa que en la franja Oeste del área estudiada la conformación estratigráfica tiende a estar formada de un material fino superficial continuando con el denominado cascajo (material de cantos rodados y material fino generalmente arenoso). Este último material tiene una capacidad de resistencia bastante alta por lo que no implica problemas en la cimentación, si se considera su comportamiento dinámico y su configuración topográfica.

En cambio, hacia la parte Este del área de Monterrico, se han detectado zonas en cuya conformación estratigráfica predomina el suelo fino (materiales arcillosos generalmente) hasta profundidades que verdaderamente afectan a la cimentación, como por ejemplo la zona ubicada al extremo Norte del Cerro "Gallinacera".

- En términos generales, es importante tener en consideración la amplificación que sufre las ondas sísmicas en el estrato superficial, la resonancia del terreno con la estructura y la disipación de la energía vibratoria. Hay pocos casos donde el terreno de

cimentación ha cedido excesivamente por acción sísmica y las fallas del suelo de cimentación ocurren generalmente cuando la dimensión del cuerpo de cimentación es corta y el suelo es poco resistente. Se ha podido observar en las zonas inspeccionadas del área de Monterrico que no se han presentado fallas de cimentación.

**C A P I T U L O   I I I**

**EL SISMO DEL 3 DE OCTUBRE  
DE 1974**

### III.1 CARACTERISTICAS DEL SISMO

A las 09.21 horas del 3 de Octubre de 1974, Lima fue sacudida por un violento sismo de magnitud 6.6, cuyo epicentro fue determinado por el Instituto Geofísico del Perú en 12°5 Sur y 77°98 Oeste con su foco localizado a profundidad normal (25 Km.). Este sismo se caracterizó por una duración anormalmente grande que sobrepasó los 90 seg. de sacudidas perceptibles en la costa central de nuestro país.

El sismo principal fue un evento múltiple con por lo menos 4 sacudidas principales en los primeros 40 segs. de iniciado el evento. Este hecho fue el responsable de la gran duración y posiblemente de la magnitud Ms 7.6 asignada a este evento. La solución más probable del mecanismo focal de la primera sacudida, señala un fracturamiento con rumbo NW con un deslizamiento de fallas de 21° hacia el NE. Apparentemente dicho fracturamiento se extendió hasta el continente, causándose en los alrededores de San Luis, movimientos diferenciales en la superficie, de dimensiones considerables. Presumiblemente las sacudidas múltiples del sismo principal se han originado a lo largo de dicha fractura.

### III.2 ACELEROGRAMA

En la Fig.N°5 se muestra el registro acelerograma del sismo del 3 de Octubre de 1974. Este acelerograma muestra los registros hasta 75 seg. y la aceleración máxima ha sido de 0.228 g. Asimismo se incluye el sismograma registrado en el tenómetro de Ñaña (Fig.N°16) y el evento principal y la réplica del 4 de Noviembre (Fig.N°17) .

### III.3 PARAMETROS DEL SISMO PRINCIPAL

La metodología seguida por el Instituto Geofísico del Perú, para la determinación gráfica de los parámetros sísmicos, es la siguiente :

- a) Se toma uno de los valores S-P en segundos, de las lecturas existentes, donde halla confianza en la identificación de dichas fases, luego se busca en su curva correspondiente la distancia en Km. que corresponde a dicho valor (S-P).
- b) Se busca que el valor P-H en segundos, corresponda a la distancia encontrada, lo cual nos permite calcular la hora de origen (H).
- c) Con la hora de origen así obtenida y a partir de las lecturas disponibles (Fase P) se obtienen los valores de P-H para cada estación.
- d) Con los valores de P-H y la curva correspondiente, se calculan las posibles distancias epicentrales pa

ra cada estación.

- e) Finalmente, se trazan circunferencias centradas en cada estación y con radios correspondientes a cada distancia epicentral, escogiéndose como probable -- epicentro al punto próximo al área donde halla mayor número de intersecciones de las circunferencias.

Este proceso se repite para cada profundidad probable, en cada valor disponible de S-P, -- del cual se tenga confianza. El resultado final será -- escogido por el tamaño del área donde se intersectan -- las circunferencias, siendo el resultado que brinde la menor área de intersecciones, el escogido.

Originalmente el Instituto Geofísico del Perú determinó en forma provisional el epicentro -- del terremoto del 3 de Octubre de 1974 con las siguientes coordenadas :

Latitud            12.8° Sur

Longitud          77.3° Oeste.

Esta determinación fue hecha usando el método gráfico y en base a las lecturas del tiempo de llegada de la onda "P", en las estaciones de Huan--cayo, Ñaña y Magdalena (N°2). Este epicentro suponía --

que el foco se encontraba a una profundidad de 25 Km., con una hora de origen de 14h 21m 28s GMT (09h 21m 28s hora local). La ubicación del epicentro en las coordenadas mencionadas, osea a 75 Km. frente a Mala, es la que mejor satisfacía las posibles distancias calculadas para las estaciones consideradas en base a las tablas sísmicas de Gutenberg y Richter (1939) y además satisfacía la distribución de daños causados de acuerdo a las primeras noticias que se recibió al respecto. El dato facilitado por la estación de Arequipa, sugería un epicentro desplazado más hacia el Norte o Nor-Oeste que el mencionado.

Posteriormente, después de la determinación epicentral del sismo del 09.11.74 ocurrido a las 12h 59m GMT, de otras réplicas selectas y de los resultados preliminares obtenidos por el United States Geological Survey (USGS), se vió por conveniente revisar la localización del epicentro provisional del sismo principal del 03.10.74, determinado gráficamente -- por el IGP con datos de estaciones locales.

El Instituto Geofísico del Perú para determinar gráficamente el epicentro del sismo del 09.11.74 contó con los datos de las estaciones de Magdalena (N°2), Ñaña, Huancayo, Arequipa y Guadalupe (N°1).

Durante la determinación epicentral gráfica de algunas réplicas selectas, se observó que los tiempos proveídos por Huancayo y Arequipa estaban afectados por una notoria atenuación de modo que siempre se presentaban retrazados en varios segundos. Un fenómeno contrario - al anterior se observó en las lecturas de Ñaña, aunque de menor magnitud y restringido a una pequeña área epicentral. El epicentro del sismo del 09.11.74 estaba -- fuera de esta área, por lo tanto fue posible usar el - dato de Ñaña sin aplicarle ninguna corrección, que jun\_tamente con las lecturas del SP-2 y GU-1 dió el siguien\_te epicentro y hora de origen :

Latitud	12.60° Sur
Longitud	77.85° Oeste
Hora de origen	12h 59m 50.2s (GMT)
Profundidad	40 Kms.

Comparando los tiempos de llegada de los primeros impulsos en las estaciones locales, que registraron los sismos del 03.10.74 y el 09.11.74, J.Be rrocal - J.Shikiya, observaron que las diferencias de tiempo de llegada con respecto a la estación de Magdalena (N°2), para ambos sismos son muy parecidas, lo -- cual indica que sus epicentros deberían estar próximos.

Luego de hacer un minucioso estudio



y análisis comparativo de los tiempos de llegada de los sismos del 03.10.74 y del 09.11.74, así como de las diferencias entre las distancias epicentrales a cada estación, menos la distancia epicentral a la estación de referencia, Berrocal y Shikiya supusieron que uno de los epicentros debía estar mal ubicado; continuando -- con este estudio y con la información adicional de las réplicas próximas a la ocurrida el 09.11.74 los resultados les sugirieron que el epicentro del sismo del -- 03.10.74 debería ser localizado en los alrededores de la réplica del 09.11.74. Tomando como referencia el -- epicentro de la réplica del 09.11.74 determinado por - el IGP con datos de estaciones locales y considerando la comparación de los tiempos de llegada de los sismos del 03.10.74 y del 09.11.74, así como la pendiente de la curva distancia-tiempo (Herrin 1968) para  $h=40$ , el nuevo hipocentro para el sismo del 03 de Octubre de -- 1974 sería :

Latitud	12.50° Sur
Longitud	77.98° Oeste
Hora de origen	14h 21m 27.3s
Profundidad	40 Kms.

En consecuencia, se decidió tomar la profundidad de 40 Kms. en base a la profundidad determinada gráficamente para el foco de la réplica del --

09.11.74, que es la que brindó la mejor solución.

El United States Geological Survey - (USGS) determinó los siguientes parámetros focales para el sismo y réplica principal :

	<u>Sismo Principal</u> <u>(03.10.74)</u>	<u>Replica</u> <u>(09.11.74)</u>
Latitud Sur	12.265° <sup>±</sup> 2.2 Km.	12.500° <sup>±</sup> 2.4 Km.
Longitud Oeste	77.795° <sup>±</sup> 3.1 Km.	77.786° <sup>±</sup> 3.0 Km.
Profundidad	13 Km <sup>±</sup> 7.1 Km.	6 Km <sup>±</sup> 8.3 Km.
Hora de origen	14h 21m 29.1s	12h 59m 49.8s

Los epicentros del sismo principal y de la réplica del 9 de Noviembre de 1974, determinados por el USGS y por el IGP, aparecen en Fig. N°18.

Se hicieron observaciones de las diferencias de tiempo de llegada con respecto a la estación de referencia y de las diferencias de las distancias epicentrales para los epicentros de los sismos -- del 3 de Octubre y del 9 de Noviembre determinados por USGS e IGP y se observó que en ambas determinaciones hay concordancia, es decir, que cambian en la misma dirección y proporción, por lo tanto y con este criterio, ambas determinaciones para los dos eventos fue-

ron considerados correctos dentro de los límites de la aproximación para el cálculo hecho por el USGS y considerando las limitaciones de la determinación gráfica - hecha por el IGP. Según el análisis hecho, el epicentro determinado por el USGS para este sismo estaría ligeramente desviado hacia el NE. Si este argumento es - valedero se supone que el epicentro del sismo del 03.10.74 calculado por el USGS, posiblemente esté afectado en la misma forma que en el caso de la réplica del 09.11.74. Este efecto de desviación de los epicentros calculados con datos telesísmicos hacia el continente, ya había sido antes notado por Lomnitz (1971). Todo esto ~~les~~ permite dar validez a los epicentros por el sismo del 03.10.74 y réplicas del 09.11.74 determinados por el IGP.

III.3.1. Magnitud del sismo.- Referente a la magnitud del sismo del 03.10.74 - ha existido desde el inicio cierta controversia. Debido al gran tamaño del sismo es evidente que no es posible calcular la magnitud de este evento con datos locales, ya que los sismógrafos de las estaciones locales fueron saturados. Datos telesísmicos, especialmente de algunas estaciones norteamericanas, indican una magnitud  $M_s = 7.5$ , valor que contrasta con valores de  $m_b = 6.5$ , brindado por estaciones sudamericanas tal como --

NAT, CAR, etc. y contrasta también con la proporción de daños causados por el terremoto.

Hay algunos indicios (Berrocal y Shikiya 1975) de que el fenómeno sísmico del 03.10.74 fue un evento múltiple con por lo menos 3 sacudidas principales en los primeros 25 segs. Siendo así, es probable que las observaciones telesísmicas en las componentes de período largo hallan sido afectadas por la multiplicidad del evento, dando como resultado magnitudes anormalmente grandes.

Analizado los sismogramas del sistema WWSS de la Estación Sismográfica de Brasilia (BRL), los máximos impulsos de la onda P y la ecuación de Gutenberg and Richter (1956) para  $m_b$  indican un valor de 6.5 en las componentes de período corto (impulso máximo a 15 seg. del primer impulso) y de 6.7 en las de período largo. Las ondas de este último período sugieren una magnitud  $M_s = 6.7$ , sin embargo no hay seguridad de estar considerando el impulso de máxima amplitud.

El valor final del sismo del 03.10.74 adoptado por el USGS es  $m_b = 6.6$  y  $M_s = 7.6$ . De acuerdo al relacionamiento entre  $m_b$  y  $M_s$ , sugerido por Gutenberg and Richter (1954),  $M_s$  es igual a  $1.59 m_b - 3.97$ ,

se tiene que para el valor de  $m_b=6.6$ , le corresponde uno de  $M_s=6.5$  y que para el valor de  $M_s=7.6$  le corresponde uno de  $m_b=7.3$ , luego observan que dicho relacionamiento no se cumple con los valores adoptados por el USGS. Esto mismo puede observarse que sucedió en el sismo del 31.05.70 y en otros sismos de gran magnitud ocurridos en diferentes lugares de la tierra. Un nuevo relacionamiento entre  $M_s$  y  $m_b$  podría ser requerido por lo menos en caso de sismos mayores. La posible multiplicidad en algunos casos de los sismos de gran magnitud podría ser responsable por este fenómeno.

El valor de  $m_b=6.6$  aparentemente es el más apropiado para representar la magnitud del sismo del 03.10.74. Este valor resulta de una energía liberada de  $43.65 \times 10^{20}$  ergios de acuerdo a la fórmula de conversión de Gutenberg and Richter.

III.3.2 Intensidades.- Según los efectos macrosísmicos del 03.10.74, las intensidades registradas varían entre VIII, y IV M.M. De acuerdo a la distribución de intensidades el Instituto Geofísico Peruano preparó un mapa de isositas, Fig. N° 19 (Anexo I), que da una impresión general del decremento de la intensidad con la distancia. Las curvas isosis-

tas se aproximan a eclipses de mucha excentricidad con el eje mayor paralelo a la Costa.

El grado VIII se registró entre Lima y Cañete en una zona que abarca aproximadamente 7,000 Km<sup>2</sup>., donde ocurrieron la mayoría de las pérdidas materiales.

Se sintió el grado VII en la Costa - desde Chancay hasta Paracas; hacia el interior la intensidad disminuye más rápidamente que en dirección paralela a la Costa; a esta atenuación de intensidad contribuyen probablemente dos factores : La extensión de la zona epicentral y la atenuación de las ondas sísmicas en dirección perpendicular a la Cordillera de los Andes (Comprobada por la expedición Carnegie de 1957).

En el área estudiada, Monterrico, la Fig. N°20 (Anexo I) muestra la distribución probable de intensidades. La intensidad en las partes más afectadas y más cercanas a los cerros está comprendida entre los grados VII - VIII M.M. e intensidades de VI - VII fueron observadas en áreas algo alejadas de los cerros y cuyo suelo presentaba conglomerado a poca profundidad. Los isosistas trazados son aproximados ya que la localización de los daños es irregular y en varios

casos la causa no ha sido precisamente la intensidad, - sino defectos de concepción estructural y procedimien- to constructivo.

#### III.4 REPLICAS DEL SISMO

Inmediatamente después de ocurrido - el sismo principal, que estremeció Lima a las 09h 21m (hora local), del 03.10.74, el Instituto Geofísico del Perú (IGP) movilizó dos sismógrafos portátiles que fue- ron instalados en Guadalupe y Cañete. Posteriormente - el IGP instaló otro sismógrafo en Chilca y reinstaló - uno de esos sismógrafos en Ancón.

A los pocos días de ocurrido el sís- mo principal, llegó a Lima un grupo de sismólogos del Servicio Geológico de los Estados Unidos - United Sta- tes Geological Survey (USGS) quienes trajeron 5 sismó- grafos portátiles para el estudio de las réplicas. Es- tos instrumentos fueron instalados en Paracas, Miraflo- res (Pensión Miramar), Chilca, Huacho y Minas Condor.

Aparte 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 (Gua

dalupe reinstalada en esta oportunidad es una de las - estaciones permanentes del IGP) y de la estación de Are quipa operada por el Instituto Geofísico de la Univer- sidad Nacional de San Agustín. (IGA)

Una apreciable cantidad de réplicas siguieron al sismo principal, contándose hasta 400 movimientos en las primeras 35 horas luego de dicho sismo, y más de 1,300 en los primeros 7 días, que siguieron al evento principal. Muchas de estas réplicas fueron sentidas en Lima, siendo la más importante la ocurrida el 9 de Noviembre de 1974, cuyos parámetros focales e hipocentrales son bien parecidos a los del sismo principal.

El área epicentral de las réplicas - ocupan un rectángulo de 190 x 100 Km. aproximadamente, como se observa en la Fig. N°21 (Anexo I), con su lado mayor orientado en NW y SE, en la cual se distinguen 2 núcleos de epicentros, que uniendo sus puntos centrales, se obtiene una recta con una orientación parecida al rumbo del fracturamiento ocasionado por el sismo - principal. El sismo y las réplicas principales se hallan en la parte central de uno de dichos núcleos. Los residuos en tiempo de algunas réplicas selectas corres pondientes a Huancayo y Ñaña brindan la posibilidad de



utilizar dichos parámetros para, determinar las características internas de la corteza terrestre en el litoral de la región central del Perú.

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

El área epicentral de la actividad - asociada a este evento se encuentra próxima al límite de dos regiones con características tectónicas diferentes, las cuales están separadas por una "zona de transición" ubicada alrededor de los 13° de latitud Sur. Las características peculiares observadas en el sismo del 3 de Octubre de 1974 y su actividad asociada en lo que concierne a las soluciones de mecanismo focal de los eventos principales y a la distribución espacial de las réplicas, podrían ser explicadas como una consecuencia de la "zona de transición" sismotectónica y de un posible giro que está sufriendo la porción subyacente de la placa Nazca, por acción del desplazamiento hacia el NW que actualmente estaría experimentando la placa sudamericana. Dicho giro es corroborado por un aumento de la actividad sísmica en el Sur del Perú, en la prolongación del fracturamiento del sismo principal, y contemporánea a las réplicas de dicho sismo.

III.4.1 Red Sismológica.- En el cuadro N°4 se presentan las coordenadas geográficas de los puntos ocupados temporalmente con los sísmógrafos portátiles del Instituto Geofísico del Perú y USGS, así como de las estaciones fijas. En el cuadro N°5 se presentan los detalles técnicos de los equipos usados en las estaciones temporales y fijas.

### III.5 COMENTARIOS

Los epicentros de las réplicas que fueron seleccionadas, exceptuando la réplica N°36, están comprendidas en un área rectangular, de aproximadamente 190 - 100 Km, cuyo eje mayor está orientado en la dirección N35°W, como se puede ver en el gráfico N° 18 (Anexo I). No obstante haber considerado un número muy reducido de réplicas, se piensa que en el área epicentral señalada ocurrieron la mayor parte de las réplicas del sismo de 03.10.74.

Dentro de esta área epicentral se puede observar que existen dos pequeñas áreas con una gran densidad de epicentros. Una de estas áreas pequeñas se encuentra entre 70 a 90 Km al Sur-Oeste de Lima, y es donde también están ubicados los epicentros del sismo principal y la réplica del 09 de Noviembre 74 de

terminados por el IGP.

La otra pequeña área de concentración de epicentros, se encuentra entre 60 a 80 Km al Sur de Lima. Uniendo la parte central de estas áreas, obtenemos una línea que está orientada  $N35^{\circ}W$ , que coincide con la orientación del plano de falla, obtenida en la solución preliminar del mecanismo focal del sismo del 03.10.74, hecha por el USGS. El epicentro del sismo principal se halla ubicado cerca de la esquina Nor-Oeste del área rectangular que engloba a los epicentros de las réplicas. Por consiguiente la actividad sísmica que siguió al sismo del 3 de Octubre, se extendió principalmente hacia el Sur-Este del sismo principal, incluyendo la réplica de gran magnitud ocurrida el 09 de Noviembre de 1974.

Durante la determinación de los epicentros de las réplicas, los autores del informe ya mencionado, observaron que los tiempos leídos en Ñaña y Huancayo presentaban residuos considerables, calculados en base al epicentro determinado por las estaciones de la red local, ubicadas en la costa.

Encontraron también que la distribución de los residuos para Ñaña, resultaba en una con -

## T A B L A N°5

## ALGUNOS DATOS TECNICOS DE LA RED SISMOGRAFICA

## LOCAL

ESTACION	SISTEMA	COMPONENTES	REGISTROS (60mm/mn)
ARE	WSSS	PC(Z,NS,EW),PL(Z,NS,EW.)	Fotográfico
NNA	WSSS	PC(Z,NS,EW),PL(Z,NS,EW).	Fotográfico
HUA	Semejante a WWSSS.	PC (Z),PL(Z,NS,EW).	Fotográfico
SP2	Sprengnether,MEQ 800.	PC (Z)	Papel térmico.
CA1	Sprengnether,MEQ 800.	PC (Z)	Tinta.
CA2	Sprengnether,MEQ 800.	PC (Z)	Tinta.
CL1	Sprengnether,MEQ 800.	PC (Z)	Papel ahumado.Reg. s/n 34.
CL1-a	Sprengnether,MEQ 300.	PC (Z)	Papel ahumado Reg. s/n 171.
CL1-b	Sprengnether,MEQ 600.	PC (Z)	Papel ahumado Reg. s/n 4388/4389
CL1-c	Sprengnether,MEQ 800.	PC (Z)	Papel ahumado Reg. s/n 171.
HU1	Sprengnether,MEQ 300.	PC (Z)	Papel ahumado Reg. s/n 36.
PA1	Sprengnether,MEQ 800.	PC (Z)	Papel ahumada Reg. s/n 32.
PA2	Sprengnether,MEQ 800.	PC (Z)	Papel ahumado Reg. s/n 32.
GU1	Sprengnether,MEQ 600.	PC (Z)	Papel ahumado
MAR	Sprengnether.	PC (Z)	Papel ahumado.
CT1	Sprengnether,MEQ 800.	PC (Z)	Papel ahumado Reg. s/n 35.
CON	Sprengnether,MEQ 800.	PC (Z)	Papel ahumado Reg. s/n 33.
ANC	Sprengnether,MEQ 600.	PC (Z)	Papel ahumado.

PC = Período corto

PL = Período largo.

La estación CL1, operó en un mismo punto, pero con diferentes sísmógrafos en períodos diferentes a esto se deben los subfijos a,b,c.

## T A B L A N°4

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 (ÑNA)*	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 23.3
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.

centración de valores negativos, en la pequeña área descrita anteriormente que queda entre 60 y 80 Km. al Sur de Lima. En esta área los residuos alcanzan valores hasta de 2.7 segundos, con un promedio de 1.8 segundos. Fuera de dicha área, los residuos para Ñaña son muy próximos a cero. Los residuos negativos nos indican tiempos de recorrido más cortos que los calculados en base a los epicentros determinados y a las curvas utilizadas.

Para la distribución de los residuos obtenidos con las lecturas de Huancayo, se utilizaron todas las réplicas en estudio, las que fueron registradas en dicha estación.

Cuando observaron la distribución de dichos residuos notaron que hay una tendencia marcada de concentración diferencial de los residuos, cuyos valores oscilan entre - 3.6 y + 10.4 segundos. En este caso se tiene que los residuos negativos y positivos próximos a cero (entre  $\pm$  3.9 segundos) se hallan mayormente concentrados en la misma área donde se concentran los residuos negativos para Ñaña. Hacia el Oeste y hacia el Sur de dicha área de residuos pequeños, se encuentran sísmos con residuos positivos entre + 6.0 y + 10.4 segundos. En la esquina Nor-Oeste, en la peque-

ña área donde hay otra concentración de epicentros y donde se encuentran los epicentros del sismo principal y réplica del 09.11.74, determinados por el IGP, los residuos tienen mayormente sus valores entre - 4.0 y - 5.9 segundos. La mayoría de los residuos para Huancayo son positivos, indicando una atenuación del tiempo de recorrido. Atenuación de las ondas sísmicas para Huancayo y otras estaciones andinas, han sido observadas en otras oportunidades (Sacks et al, 1969 y Volponi, 1970), sin embargo no se han observado hasta ahora atenuaciones tan grandes para sismos locales.<sup>(25)</sup>

## CAPITULO IV

### EVALUACION DE DAÑOS EN MONTERRICO



#### IV.1.0 GENERALIDADES

La mayor parte de los daños ocurrieron en edificios de centros escolares. Las estructuras unifamiliares de uno o dos pisos, caracterizadas por la variedad de procedimientos constructivos y de materiales, no presentaron en general daños importantes, salvo algunas construcciones antiguas en la zona de Camacho y edificaciones ubicadas en las faldas de los cerros. Por lo que respecta a los daños en los colegios es interesante observar la uniformidad en el tipo de ellos, a pesar de su variación en el grado. Esto es razonable pensando en que los colegios son también bastante uniformes en cuanto a materiales, calidad de ejecución y concepto estructural.

Varias son las formas principales que se pueden considerar típicas del comportamiento de las estructuras durante el temblor. Son dignas de mención, en nuestro caso, la elevada cantidad de pérdidas materiales ocurridas como consecuencia de la falla por columna "corta" y tensión diagonal en vigas y columnas; también se han observado con menor frecuencia problemas debidos a detalle de conexiones y anclaje, fallas de elementos no estructurales, tensión diagonal en muros y deficiencia o ausencia de anclajes en tabiques -

flotantes.

No ocurrieron prácticamente daños ocasionados por torsión de planta, dada la simetría de la mayor parte de los edificios; tampoco se han observado fallas por momento de volteo, así mismo no hay evidencias de daños por efecto del chicoteo.

#### IV.2.0 COMPORTAMIENTO ESTRUCTURAL

A pesar de la debilidad general de conjunto que caracteriza a las estructuras, la calidad de ejecución en nuestro país es en general buena, por lo que respecta al control del concreto y a la precisión en la colocación del refuerzo. Sin embargo se presentan defectos sistemáticos de detalle del refuerzo, de los cuales los que se observan con mayor frecuencia y que tuvieron influencia preponderante en los daños observados es la ausencia de estribos en las columnas, en la zona de intersección con las vigas, la falta de anclaje entre las varillas de refuerzo de vigas y columnas, principalmente en los nudos de esquina, donde concurren únicamente dos miembros o el anclaje inadecuado de las viguetas sobre los pórticos principales.

Varias son las formas principales que se pueden considerar típicas del comportamiento de las

estructuras durante el temblor. Son dignas de mención principalmente la gran cantidad de pérdidas materiales ocurridas como consecuencia de la flexibilidad excesiva de las estructuras, aunada al empleo de los muros - constituidos como bloques huecos de comportamiento muy frágil y la escasez de elementos reforzados de amarre; la falla de columnas en tensión o compresión, asociada a la ocurrencia de momentos de volteo, daños ocasionados por torsión de la planta cuando no existe la simetría en el edificio y también daños en los elementos no estructurales por el descuido de ligarlos únicamente con mortero a los muros ocasionando el desprendimiento de fragmentos de muro, o de placas de muros de mármol.

A continuación se describen detalladamente algunos problemas especiales.

IV.2.1 Momento de Volteo.- El problema se presenta como fallas debidas al momento de volteo en las columnas de esquina, principalmente, hay varias razones que constituyen a este hecho. La primera es que estas columnas suelen estar menos reforzadas o ser de menor sección debido a que los efectos de carga vertical son menores en ellas, tanto por su menor área tributaria como por las reducciones adicionales

les debidas a continuidad en las ,dos direcciones de anál lisis. En el análisis se suele subestimar la fuerza axial por carga vertical en vista de la práctica usual de suponer vigas continuas, despreciando la continuidad con las columnas. Además, el comportamiento no lineal del concreto tiende a emparejar las cargas en las columnas de esquina con las interiores. La tendencia de falla por momento de volteo en las columnas de plan ta baja se acentúa en edificios donde los pórticos extremos contienen tableros de muro, lo cual aumenta la porción de las fuerzas sísmicas que se trasmite a ellos y por lo tanto los momentos de volteo que dichos pórti cos toman; en relación con los que actúan sobre los pór ticos interiores.

También son frecuentes las fallas se cundarias de columnas interiores que se ven sometidas a solicitaciones excesivas después de que han fallado las columnas exteriores y tienen que contribuir a resistir una mayor parte de las cargas verticales.

Los edificios altos son los que gene ralmente ofrecen la probabilidad de este tipo de falla.

IV.2.2 Columna Corta.- Es familiar en la literatura el caso de columnas que sobresa-

len de los muros una parte pequeña de la altura total del entrepiso, y que trabajan como si estuvieran empotradas en el nivel directamente superior y en el tramo de muro inferior. Si se considera este tramo libre, la relación entre el peralte y la longitud de su eje ocasionan comportamiento frágil. Esto se debe a que si dicha columna se somete a carga lateral creciente se alcanzará la capacidad en tensión diagonal antes de que llegue a la capacidad de flexión, la cual ocasionaría una falla de tipo más dúctil.

Hay casos en que la escasez de estribos se constituye en un factor adicional que se suma a las características intrínsecas de la forma del miembro estructural en cuestión.

IV.2.3 Flexibilidad Excesiva.- La escasa carga lateral para la que se diseña, la falta de especificaciones que limitan las deformaciones tolerables, el hecho de que se ignore los efectos del sismo en el diseño de estructuras de menos de 3 pisos, así como la concepción estructural que se preocupa por dar resistencia lateral en una sola dirección, 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.

Debe tenerse en cuenta de que no debe sobre estimarse la ductibilidad como remedio para asegurar la estabilidad de estructuras sujetas a temblores. En efecto a pesar de las amplias columnas sin fracturarse, la acción de las cargas verticales en este caso puede ocasionar colapso por inestabilidad. Esto puede agravarse por la influencia de fallas en columnas debido al pésimo detalle que en algunos casos se pueden presentar en el anclaje en el nudo entre acero y concreto, así como en la cimentación.

Por lo que respecta al comportamiento de elementos no estructurales, los problemas que se derivan de la flexibilidad estructural excesiva se agravan por el tipo de elementos que se utilizan en la construcción de muros. Cuando se utiliza bloques con huecos horizontales y paredes con espesores pequeños usados especialmente en edificios para oficinas y/o habitación estos fallan explosivamente cuando se producen deformaciones angulares pequeñas. A eso se debe la abundancia de daños en muros de tabiquería. Para menguar en algo este tipo de daños debe construirse elementos de amarré en las esquinas e intersección entre muros ya que limitaría las deformaciones estructurales como se ha podido apreciar en sismos pasados.

En los casos en los que se emplean bloques más compactos, cuando se presenta el agrietamiento, este se presenta a través de las juntas, sin producir la desintegración total del muro como en el caso anterior. Hay casos evidentes en los que los muros exteriores de este material, confinados por elementos de concreto reforzado, sobrevivieron al sismo sin una sola grieta y evitaron además todo daño a los muros interiores construidos con el tipo más frágil de ladrillo.

IV.2.4 Torsión en Vigas.- La consecuencia obvia de la estructuración mediante el sistema de pórticos según una dirección y losas aligeradas en la otra es que la resistencia lateral en ésta última implica el desarrollo de continuidad con las columnas, y para lograr ésta con un ancho suficiente de losa se necesita transmitir torsión a las vigas de los marcos principales.

Es práctica común en el diseño de vigas secundarias, que se apoyan sobre vigas principales que concurren a las columnas la de despreciar la interacción de ambas vigas, que consiste en torsiones en las vigas principales y flexiones en los supuestamente libres de las secundarias. Esta práctica puede justifi-

carse en vigas principales de secciones con poca rigidez en torsión.

IV.2.5 Tensión Diagonal en vigas.- Este tipo de falla puede achacarse generalmente a las proporciones del miembro pero hay casos en los que se observa que la grieta se inicia en el punto de corte de refuerzo longitudinal, y que estas características no se muestran en fallas de tensión diagonal en las que este fenómeno no ocurre. Otra causa que constituye es la escasez de adherencia entre refuerzo y concreto.

IV.2.6 Conexión y Anclaje.- Una típica falla de este tipo es el que se produce en la intersección entre viga y columna a consecuencia de omitir los estribos de las columnas en su intersección con las vigas. Una complicación adicional es la que proviene de emplear en la estructuración, pórticos en una sola dirección. De ello se deriva que para el trabajo de la estructura en la dirección perpendicular a los pórticos principales, la intersección entre viga y columna es además la sección crítica de la columna - por tensión diagonal.

Las losas aligeradas sin estribos en las viguetas producen deterioro en la adherencia bajo



la acción de cargas repetidas, aunque esto puede ser aceptado bajo ciertas limitaciones en estructuras sujetas a carga vertical, la falla se puede observar en el comportamiento de las losas donde se puede observar el debilitamiento de su capacidad en flexión y por tanto de la resistencia lateral del edificio en dicha dirección.

El detalle de las intersecciones de esquinas entre vigas y columnas en el último nivel de construcciones no ha recibido la atención que merece a pesar de los estudios y observaciones de daños en estructuras sujetas a temblores.

Otros problemas que se presentan son los traslapes muy cortos en continuación de columnas - colocados todos en la misma sección y la falta de estribos. En la misma forma la construcción de juntas inadecuadas para resistir las tensiones y flexiones producidas por sismos.

IV.2.7 Elementos no Estructurales.- No dándole al sísmo una consideración importante en diseño estructural, mucho menos se cuidan los detalles y las conexiones de elementos no estructurales. Ya se han mencionado algunos problemas li

gados a las características de los muros de relleno. Vale la pena mencionar explícitamente las consecuencias de elementos pétreos de recubrimiento, como algunos bloques de marmol, solamente ligados con mortero a los muros. La caída de alguno de estos elementos puede causar la muerte. El problema no es nuevo ya ha sido reportado - en muchos informes, pero no parece haber recibido atención suficiente por los constructores.

#### IV.3 ANALISIS DE DAÑOS

IV.3.1. Ficha de Evaluación.- Habiendo empezado el reconocimiento de la zona varios meses después de ocurrido el sismo, solamente algunas edificaciones ofrecían la posibilidad de hacer una evaluación en forma detallada, las otras, que generalmente habían presentado daños menores, ya estaban reparadas; es por esta razón que fue necesario emplear dos tipos de fichas de evaluación, una para el caso en que se podía realizar una inspección más detallada y la otra para el caso en que solamente era posible apreciar la reparación que se estaba llevando a cabo o para recoger la información de los daños sufridos cuando éstos ya no podían ser observados.

Ambas fichas se muestran a continua-

ción y se refieren solamente a edificaciones de ladrillo con o sin columna y a estructuras aporricadas. Se elaboró este tipo de fichas teniendo en cuenta que son excepción de la "Casa Hacienda de Camacho, del Colegio "Libertador San Martín" y de dos pequeñas construcciones más, que son de adobe, todas las demás son de los materiales antes mencionados.

#### IV.3.2 Daños en Locales Escolares.-

##### COLEGIO SANTA MARGARITA

Ubicación : Av. Monterrico 961  
Urb. "El Derby" Monterrico. Mz. "C", Lotes 10, 11, 12 y 13.  
Distrito de Surco.

Tipo de Construcción : Albañilería y Concreto Armado.

Area Construída : 2,235 m<sup>2</sup>. Ampliación 150 m<sup>2</sup> = 2,385m<sup>2</sup>

Año de Construcción : 1957

Cosntructora : Inmobiliaria Locales y Equipos S.A.

Descripción de la Construcción : Consta de 3 pabellones

- 1 pabellón de 1 Piso, en dirección aproximadamente N - S (Administrativo)
- 2 pabellones de 2 Pisos cuya dirección aproximada es E - W (Aulas).





DIRECCION DE INMUEBLE AFECTADO

PARROQUIA	URBANIZACION
-----------	--------------

EDIFICIOS DE APARTAMENTOS :

PISOS :

CASA UNIFAMILIAR :

PLANTAS :

DAÑOS QUE PRESENTA :

GRIETAS :

PAREDES :

COLUMNAS :

CIMIENOS :

NOMBRE DE LA PERSONA QUE DA LA INFORMACION .....

TELEFONO .....

a) Forma : Los tres pabellones son de planta rectangular.

b) Sistema Estructural : Aporticado.

c) Muros : Tabiquería de Ladrillo.

Daños Estructurales : Falla por columna corta en los - pabellones de aulas.

Tabiques : Fisuras y grietas (tensión diagonal)

Lunas : Aproximadamente un 40% rotas.

Observaciones : Pabellón de un piso no presentó daños.

#### COLEGIO SAN MARCOS

Ubicación : Cristóbal de Peralta s/n.  
Urb. Valle Hermoso de Monterrico.  
Distrito de Surco.

Tipo de Construcción : Albañilería y concreto armado.

Daños : Fisuras en tarrajeo.

#### COLEGIO REGINA PACIS

Ubicación : Av. Alonso de Molina, entre Atagupo y Antisuyo.  
Urb. Huertos de San Antonio Monterrico.  
Distrito de Surco.

Tipo de Construcción : Aporticado y albañilería.

Año de Construcción : 1971.

Descripción del Local : Consta de 3 pabellones :

- Pab. Administrativo de 2 Pisos
- Gimnasio y oficinas.
- Pabellón de aulas de 3 pisos.

Daños : El único pabellón que presentó daños fue el de aulas.

Este edificio consta de tres pisos, siendo su orientación Este-Oeste.

La estructura consta de nueve pórticos de 8 m. de luz, espaciados entre si a 4 m. Fue el primer nivel el que sufrió mayores daños; estos fueron del tipo "columna corta", casi todas las columnas (de este nivel) fueron dañadas. Las columnas del segundo piso también presentan daños del mismo tipo pero en menor intensidad. En el tercer nivel sólo se observó la rotura de algunas lunas.

#### COLEGIO SAN JORGE DE MONTEERRICO

Ubicación : Atagupo 355

Urb. Huertos de San Antonio de Monterrico  
Distrito de Santiago de Surco.

Tipo de Construcción : Albañilería y concreto armado.



Daños : Los efectos del sismo se manifiestan en el pabellón de aulas, que consta de dos pisos, las fallas se observaron únicamente en las columnas "cortas" que se habían creado para los baños de ambos niveles.

COLEGIO MONTE MARIA

Ubicación : Las Gardenias s/n.  
Urb. La Floresta Monterrico  
Distrito de Surco,

Tipo de Construcción : Albañilería y concreto armado.

Año de Construcción : 1968 - 69.

Descripción de la Construcción : Pabellón del piso, de base rectangular.

Daños : - Estructurales : No hay.  
- Muros : Fisuras en tarrajeo.

Observaciones : Fisuras

COLEGIO LIBERTADOR SAN MARTIN

Ubicación : Av. El Cortijo s/n.  
Urb. El Cortijo Monterrico  
Distrito de Surco.

Tipo de Construcción : Adobe y estructura de madera.

Daños : Ninguno.

Observaciones : Posee enchapes de azulejos que no sufrieron daños.

#### COLEGIO INMACULADA

Edad : Fue construido en 1966.

Constructores : Alfredo Bambaren.

Nºde Pisos : 1 - 5 pisos.

Varios pabellones.

Daños : - Fisuras en tabiques, en uniones con vigas y columnas.

- Escalera de 2 tramos falló.

Reparaciones : - Ing. Altuna.

- Rasantes de fisuras.

- Escalera que falló, fue demolida y se construyó nuevamente.

#### COLEGIO H.C. ANDERSEN

Ubicación : Alonso de Molina s/n. entre Cristobal de Peralta y Diego Aguero.

Urb. La Floresta Monterrico.

Distrito de Surco.

Tipo de Construcción : Albañilería y concreto armado.

Descripción de la Construcción : - Consta de 3 pabellones de 1 piso.

- Tabiquería de ladrillo calcáreo.

Edad : 5 años.

Daños : Fisuras en uniones de tabiques y vigas, colocadas.

Observaciones : - No se rompieron lunas.

- Ya fueron resanadas las fisuras.

IV.3.3 Daños en Viviendas.- Las densidades poblacionales de la zona investigada son R1, R2, y R1s, lo que nos da lotes mínimos de 300 m<sup>2</sup> de área; el promedio del área construída por lote, sin considerar R1s, es de 250 m<sup>2</sup>. Cuando se trata de viviendas. Estas viviendas unifamiliares de uno o dos pisos, mayormente no presentaron daños. Ellas son edificaciones nuevas, ubicadas en un área de expansión urbana reciente (<sup>±</sup> 20 años de antigüedad), y construídas de acuerdo al Reglamento actual de construcción.

La mayoría de las viviendas son de mampostería de ladrillo con refuerzo y pequeño porcentaje son de albañilería de ladrillo sin reforzar o en algunos casos tienen columnas de amarre pero sin vigas soleras que le confieran ductilidad y trabajo de conjunto a

la estructura cuando es sometida a carga horizontal.

Durante la Encuesta se observaron edificaciones con grietas diagonales, en los muros divisorios y en algunos casos de fachada, producidos por la tensión diagonal que estos sufrieron; varias de estas observaciones fueron hechas en muros que se habían agrietado a causa de sismos anteriores y que se habían vuelto a abrir. ( Ver Foto N°2. Anexo II).

En la zona de "Las Casuarinas" la mayoría de las viviendas son aporticadas y en algunos casos el diseño arquitectónico caprichoso, que evidencian la falta de criterio sísmico en la estructuración y diseño. Existen estructuras cuyos planos de planta tienen forma de T, L, además de otras estructuras cuyos planos son más complejos y que presentaron daños serios ante la sollicitación sísmica.

Las Fotos N°2 y 3 (Anexo II) , muestran claramente que el diseño estructural ha pasado por alto los detalles de anclaje de tabiques no estructurales (flotantes); los anclajes de estos tabiques pueden ser generalmente costosos pero este sobre-precio puede considerarse compensado por la seguridad que ofrecen y la economía que representa una edificación -

flexible frente a una rígida. La vivienda citada como ejemplo se encuentra en la Manzana B, lote 7. También se han presentado el caso de columnas cortas en viviendas, podemos citar por ejemplo la residencia de la Manzana C, lote 7 y la de la Manzana H, lote 4 en ambos casos se ha creado el problema por la diferencia de longitud de las columnas debido a la diferencia de niveles con ambientes vecinos (tipo mezzanine) que implicaban en sus límites columnas de menor longitud; estas columnas presentan los mismos defectos que se mencionan en relación de las columnas cortas de las estructuras escolares.

#### IV.4.0 DISTRIBUCION GENERAL DE DAÑOS

Para la Ingeniería Civil, las intensidades observadas en Monterrico y la excepcional duración del sismo ofreció enseñanzas de interés por sus características especiales. Los efectos destructivos del temblor fueron importantes casi exclusivamente en locales escolares y en estructuras que adolecían de defectos obvios de diseño o construcción.

Se ha preparado un plano (Ver Lam. N° 2. Anexo III) en el que se han ubicado las estructuras dañadas y de acuerdo a la escala descrita en el Capítu

lo I, se ha aproximado la intensidad que soportaron dichas estructuras. Recordemos que las intensidades asignadas son en función de los daños ocasionados en edificios de una o de dos plantas. La subestimación de daños se compensa en parte con la sobreestimación de la capacidad resistente, por lo que considero que el procedimiento seguido sea suficiente para el objeto de este trabajo.

Localización de los daños es irregular y en muchos casos la causa no ha sido precisamente la intensidad, sino defectos de concepto estructural y procedimiento constructivo.

#### IV.5 COMENTARIOS

El número de edificaciones importantes, la buena calidad de los materiales y la ejecución, así como la escasa ocurrencia de daños directamente atribuibles a detalles constructivos efectuados hacen las observaciones de los efectos de este sismo una magnífica oportunidad para obtener conclusiones sobre comportamiento general.

La importancia de la naturaleza del terreno de cimentación se hace patente si se tiene en

cuenta la distribución de daños en varias zonas localizadas de Lima y si se piensa en estos daños en relación con las máximas aceleraciones del terreno observadas - en el IGP.

Cabe aquí comentar la frecuente afirmación de que tratándose de estructuras de pórticos - basta diseñar por sísmo, dar la continuidad adecuada, cuidar los detalles y en general diseñar pensando que puede haber temblores, para reducir radicalmente los - daños y la probabilidad de colapso, a pesar de que se adopten coeficientes sísmicos relativamente bajos. Tal afirmación es aceptable y es consecuencia del comportamiento dúctil de las estructuras, pero no puede extrapolarse para valores muy bajos de la resistencia lateral. En efecto, los estudios analíticos sobre el comportamiento de estructuras elastoplásticas ante temblores señalan que mientras no haya que esperar factores de - ductilidad superiores a aproximadamente 10, las deformaciones máximas de estructuras elastoplásticas coinciden con las que ocurren en estructuras de igual período natural y comportamiento lineal. En cambio si se desarrollan factores de ductilidad mayores las deformaciones de la estructura elastoplástica resultan en general superiores a las de la estructura elástica co-

rrespondiente. Si las fuerzas materiales de diseño son muy bajas, y si la flexibilidad es excesiva, además del fenómeno mencionado ocurre que la estructura no se comporta siguiendo una ley elastoplástica, sino que presenta reducciones importantes de su capacidad al aumentar las deformaciones, como consecuencia de los efectos de esbeltez. Esto aumenta notablemente la esperanza de los desplazamientos máximos y la probabilidad de colapso. Por ello es conveniente imponer una cota inferior al valor del coeficiente sísmico que se adopte en edificios de períodos largos construídos en zonas de sísmicidad moderada o baja. Toda medida de resistencia lateral deberá ir complementada por otra relativa a desplazamientos máximos admisibles. Esta cumple dos funciones : limitar daños en elementos no estructurales y conservar curvas esfuerzo-deformación sensiblemente elastoplásticas para las deformaciones tolerables.

Es frecuente que no basten las limitaciones impuestas a la deformación lateral máxima para evitar daños en algunos elementos no estructurales muy frágiles o que las limitaciones que había que imponer resultarían excesivamente caras en vista de la fragilidad de los elementos mencionados, y hay que recurrir a diversas medidas, entre las cuales pueden men-



cionarse la adopción de materiales diferentes o su unión a la estructura mediante sistemas que permitan su funcionamiento independiente.

# **C A P I T U L O V**

## **DAÑOS ESTRUCTURALES EN MONTERRICO**

#### V.1.0 GENERALIDADES

Se ha realizado el análisis sísmico de cuatro estructuras, que presentaron daños a causa del sismo del 03.10.74, en la zona de Monterrico. Se trata de tres centros escolares y una vivienda.

Se han elegido estas edificaciones por las características peculiares que presentaban cada una, así dos de los locales escolares pueden considerarse representativos del tipo de estructuraciones, los cuales han sufrido graves daños ante solicitaciones sísmicas.

Estos colegios son: El Pio XII y La Recoleta. El otro local escolar es el Franklin D. Roosevelt, en esta edificación la falla no se presentó en los pabellones de aulas, como en los otros colegios, sino en el gimnasio.

Se ha efectuado el análisis cualitativo de uno de los locales escolares, efectuándose un análisis cualitativo tan solo de los otros dos.

V.1.1 Sistemática seguida.- Después de ocurrido el sismo, realizamos una inspección al área de estudio con el fin de tener una visión

del efecto que el movimiento telúrico había causado en las diferentes obras civiles, con el objeto de tener un juicio preliminar de su estado.

Del diagnóstico preliminar obtuvimos una primera idea de las obras que a nuestro criterio ofrecían un interés mayor para realizar un estudio más detallado del comportamiento estructural de la edificación.

De la evaluación preliminar se tomó la decisión de efectuar un estudio más detallado de estos edificios, para observar o efectuar los proyectos de reparación respectivos. Para este efecto recopilamos la mayor cantidad de información posible sobre ellos, trabajo bastante laborioso pero necesario para prede-terminar las probables causas que originaron las fallas.

La recopilación de datos se efectuó en forma ordenada siguiendo las siguientes pautas :

- Antecedentes de la zona : Sismológicos, geológicos y climáticos.
- Antecedentes de la localidad : Mecánica de suelos y topográficos.

- Antecedentes del Proyecto original : Cálculo y diseño del proyecto original, construcción del proyecto, métodos de construcción, materiales, instalaciones y revestimientos.
- Antecedentes de uso : Modificaciones del proyecto original.

En base a los antecedentes recopilados, se procedió a la predeterminación de las causas de las fallas observadas a través de un proceso eliminatorio según la probabilidad de relación, las que presentó en forma detallada en los acápites siguientes.

V.1.2 Detección de las Fallas.- Existen fallas que a simple vista no se observan y que por lo tanto permanecen ocultas en la estructura del edificio, estas debieran ser detectadas instrumentalmente explorando las condiciones de la estructura del edificio y/o los materiales que la componen, con la utilización de equipos y/o instrumentos. Este tipo de estudio no es incluido en el trabajo ya que los medios disponibles no me permiten efectuarlos.

Para determinar las probables causas de las fallas existentes sabemos que es necesario realizar un análisis de ellos, por lo que se procedió a de

terminar las probables causas que originaron los esquemas básicos de falla y detectamos la falla primaria en la estructura del edificio. Al hacer este estudio se presentan dificultades que radican en que no siempre es posible determinar una causa única y directa de las fallas existentes, ya que en la mayoría de los casos han sido originadas por la acción simultánea de dos o más causas.

Existe una falla primaria de la estructura del edificio, que es aquella que se produce en éste y a consecuencia de la cual se origina una sucesión de fallas. La necesidad de detectar la falla primaria radica en que su presencia origina, durante el sismo, solicitaciones y deformaciones que no estaban revistas en el diseño de la estructura del edificio.

El diagnóstico consiste en determinar la/o las probables causas que originaron las fallas en la estructura del edificio. Las causas en estudio fueron previamente determinadas en base a los antecedentes recopilados sobre la zona, la localidad y sobre el edificio mismo. Par poder diagnosticar si las fallas que presenta la estructura del edificio fueron originadas por la acción individual de estas causas, en primer lugar, es necesario la probable relación de cada -

una de las causas predeterminadas con la secuencia en que se originaron las fallas. Si los restantes edificios de la zona o la localidad presentan fallas similares a las detectadas en el edificio en estudio, se estará en presencia de una probable causa que compromete a la localidad o a la zona según sea el caso.

Una vez realizado el estudio de la acción individual de cada una de las causas predeterminadas y no habiendo obtenido relación alguna con las fallas que presenta la estructura del edificio, será necesario reiniciar el mismo estudio propuesto anteriormente, pero considerando la posibilidad que las fallas pudiesen haber sido originadas por la acción simultánea de dos o más causas predeterminadas. Dada la complejidad de este estudio, solo se justifica realizarlo en la medida en que éste sea necesario, no existiendo la probabilidad de recursos para realizarlos e incrementar la calidad de este trabajo nos limitamos a presentar la posibilidad sin haberlo realizado.

Proyecto de Reparación.- Las estructuras en estudio han sido evaluadas en su estabilidad y resistencia sísmica, determinándose que necesariamente deben ser reparadas y reforzadas, para lo cual ha contado con la ayuda eficaz de mis asesores quienes co-

laboraron en la mejor aplicación de las técnicas de reparación.

La selección de una determinada técnica de reparación depende de varios factores, principalmente económicos, de compatibilidad, de confiabilidad y prácticos. Para elegir los métodos de reparación es necesario considerar la técnica de reparación elegida previamente y los métodos que se han utilizado en el país o en el extranjero, en la reparación de las fallas similares a las detalladas y en edificios con una estructura semejante a la en estudio.

Una vez elegida las técnicas y los métodos de reparación, es conveniente realizar una primera estimación de los costos del estudio y de la ejecución de las obras de reparación del edificio, con la finalidad de analizar posteriormente su factibilidad económica y social.

El proyecto de reparación consiste en calcular los métodos de reparación para cada una de los esquemas básicos de falla detectados, verificando en lo posible algunas por medio de ensayos de laboratorio con probetas o modelos similares a los elementos fallados.



Las reparaciones, se presentan a través de planos y especificaciones detalladas.

#### V.2.0 COLEGIO FRANKLIN DELANO ROOSEVELT

- Ubicación : Este edificio está situado en la Avenida Las Palmeras en los terrenos de la que fue la Hacienda "Piedra", perteneciente al Distrito de Ate-Vitarte, parte norte del área investigada.
- Información disponible :
  - a) Planos de replanteo de Daños.
  - b) Fotografías.
- Planta y Elevación : Véase Fig. N°22.
- Cimentación : En el momento de efectuar las observaciones, las informaciones disponibles señalaban cimentaciones directas a una profundizada de 1 m. La base de apoyo era rectangular, cuyo lado mayor era de 3.45 m. y el menor de 2.45 m.

Breve Descripción : Esta edificación consta de dos pabellones de aulas, de administración, diversas instalaciones de servicios y el Gimnasio, que fue el que presentó fallas ocasionadas por el sismo del 03.10.74.

El gimnasio fallado estaba constituido por 4 columnas de 1.60 x 0.60; dos vigas principales de 1.80 x .60; y 14 vigas secundarias y el techo de losas plegados. Esta rodeado de pabellones de 1 piso - que no fueron dañados; tampoco fueron afectados los demás pabellones y no se advirtieron lunas rotas. (Foto N°5)

V.2.1 Estratigrafía y Napa Freática. - Efectuando una inspección de campo, este terreno fisiográficamente se encuentra a aproximadamente 300 m. del Rio Surco. Se puede advertir, de la carta topográfica del Instituto Geográfico Militar del año 1966, afloramientos de Puquiales lo que nos indican áreas pantanosas cercanas al terreno de cimentación de la estructura fallada; existe también a unos 200m. del colegio una acequia sin canalizar. El suelo en general es material transportado de origen fluvio-aluvial.

De acuerdo a la información que nos proporciona el pozo N°145 del mapa de Ate del archivo de las Sub-dirección de Aguas Subterráneas la cota del agua era de 187.70 m.s.n.m. y se hallaba a una profundidad de 23.30 m. en Enero de 1974.

El perfil de pozos es el que se muestra de la Fig. 23 a la 25 (Anexo I). Se han tomado como fuente de información los pozos N°5 y N°6 del Mapa

de Ate. Que son los más cercanos.

V.2.2 Comportamiento durante el Sismo.- Este edificio falló, a causa del sismo del 03.10.74, en dirección marcadamente - Nor-Oeste. En base a la inspección en sitio, los daños estructurales más importantes se observaron en las 4 columnas y en las 2 vigas principales.

Se han podido observar en el pórtico N°1 grietas diagonales, fisuras, tarrajeo y locetas caídas en ambas columnas; la viga solo presenta fisuras diagonales. (Ver Fotos N°7 y 8. Anexo II).

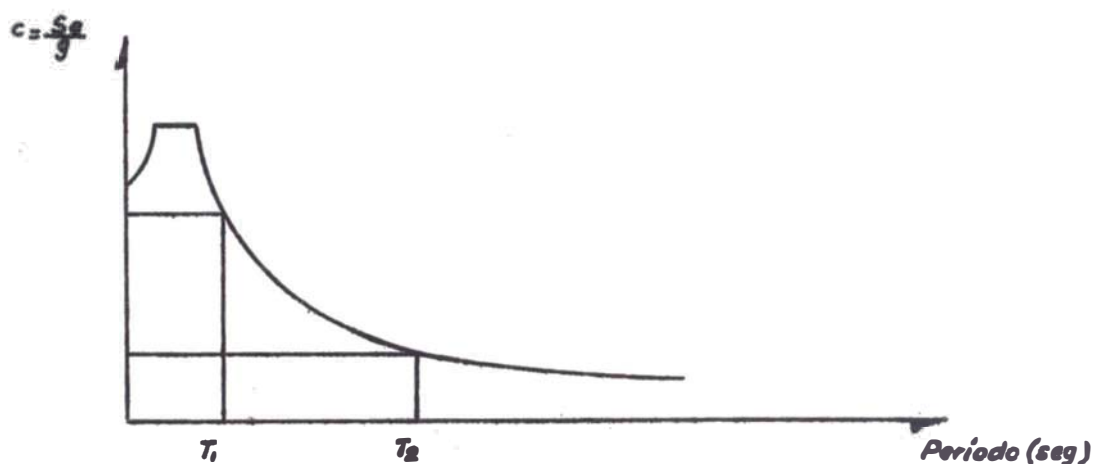
En el pórtico N°2 se observaron las mismas fallas del pórtico N°1 pero además presentó fractura en la columna del extremo Norte.

De acuerdo a lo observado es de suponer que la falla primaria en las vigas se debió a la tensión diagonal, se advirtió que las grietas se iniciaban en el punto de corte de refuerzo longitudinal el cual a su vez resultó escaso en esta cara de la viga; también resultaron escasos los estribos.

Las fallas en las columnas también -

fueron por excesiva tensión diagonal.

Si sabemos que el Espectro teórico - de las Normas Peruanas, normalizado al 15% G, es el que se muestra en la Fig.Nº26 (Anexo I) y que es validero cuando se trata de suelos duros, podemos asumir que esta curva obedecerá también a las condiciones del suelo en el que se halla enclavada la edificación analizada. De aquí se desprende que esta sería una de las causas por las que la estructura falló en la dirección antes indicada; así :



ESPECTRO DE ACELERACION

$T_1$  = Período en la dirección del lado mayor de la sección de la columna.

$T_2$  = Período en la dirección del lado menor de la sección de las columnas.

Por lo que se puede observar del gráfico la estructura soportó mayor fuerza sísmica en la dirección del lado mayor de la sección de la columna o sea, la dirección Nor-Oeste.

También se puede apreciar que en la otra dirección la estructura estaba rigidizada por las 14 vigas secundarias y que las grietas horizontales que presentan se deben probablemente al aplastamiento.

#### V.3.0 COLEGIO PIO XII

##### - Ubicación :

Este edificio está ubicado en la Avenida Pio XII en los terrenos de la que fue la hacienda "Monterrico Chico" Lote N°11, sección N°3, parcela B, perteneciente al Distrito de Surco, correspondiente a la parte central del área investigada.

##### - Información :

a) Planos de Arquitectura y de Replanteo de Daños.

b) Fotografías.

##### - Planta y Elevación.

Véase Figs.N°27,28 y 29 (Anexo I) y 30.

##### - Cimentación :

De acuerdo a las informaciones dispo

nibles en el momento de realizar las observaciones se pudo saber que la cimentación era directa y se hallaba a una profundidad de 0.80 m. Apoyándose sobre Conglomerado. (Ver Foto N°15. Anexo II).

- Materiales :

De acuerdo a las pruebas que se realizaron posteriormente a la falla de esta edificación a consecuencia del Sismo del 03.10.74, los informes revelaron que la calidad del concreto era inferior a la especificada en los planos de diseño estructural.

Breve Descripción :

Esta edificación consta de 2 pabellones, el pabellón "A" y el pabellón "B", ambos son exactamente iguales pero invertidos y están ubicados uno enfrente del otro a una distancia de 30 m. Tanto los planos de Arquitectura como los planos de Estructura son los mismos para ambos pabellones. En las Figs. N°27 y 28 se muestran la planta típica, pórtico típico de la sección transversal y elevaciones de la estructura. Las columnas son de .40 x .25 m. y las vigas de .50 x .25 m. (Ver Fotos N°13,14,15,16,17 y 18-Anexo II).

Cada pabellón consta de 2 cuerpos, cada uno de 10 pórticos transversales típicos.

El pabellón "B" fue construido en el

año 1963 y el pabellón "A" en los años 1964 y 1965. Los dos pabellones no fueron construídos por la misma compañía constructora sino por diferentes Empresas.

V.3.1 Estratigrafía y Napa Freática.- Durante la inspección ocular se ha podido observar que este terreno fisiográficamente se encuentra entre los cerros "Monterrico Chico" y "Centinela". Se puede advertir de la carta topográfica del Inst. Geofísico del Perú que los depósitos eólicos de arena, lo que se ha confirmado durante la inspección de la zona; se encuentran en las faldas del Cerro "Centinela" a unos 250 m. de donde está ubicado el colegio.

No es posible presentar una estratigrafía local en este caso, por lo que se toma en consideración la descripción de la Formación Pamplona del Segundo Capítulo.

El suelo en el que se apoya la cimentación es conglomerado (para ambos pabellones); se aprecia en las inmediaciones, suelo de cultivo hasta una profundidad de 0.25 m.

el nivel de la Napa freática se encuentra aproximadamente a una profundidad de 30 m., donde

la cota del nivel del agua en metros sobre el nivel del mar es de aproximadamente 150.

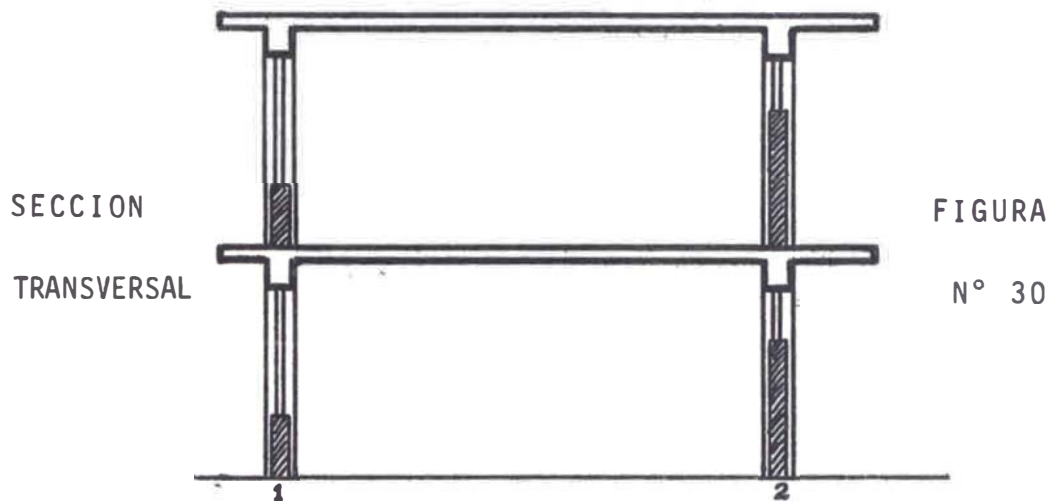
V.3.2 Comportamiento durante el sismo.- El pabellón "B" de este colegio fue el que presentó fallas a consecuencia del sismo del 03.10.74.

Los daños que presenta este pabellón son los mismos que se han apreciado con frecuencia en construcciones escolares en temblores ocurridos en otros lugares. Se conjugan en este caso la gran disparidad en rigidez en la dirección longitudinal de los cuerpos de aulas, en los pórticos que se muestran esquemáticamente en la Fig. N° 30, las columnas del eje 1, abarcan 1.80 m. de altura total (2.80) del entrepiso, mientras que las del eje 2 están restringidas para deformación lateral por un muro que se interrumpe 60 cm. antes de la viga, dejando lugar para el sistema de ventanas alargadas superiores.

Recordando que la rigidez en cortante de las columnas es inversamente proporcional al cubo de su longitud, resulta que las columnas del eje 2 resultan alrededor de 27 veces más rígidas que las del eje 1. A esto hay que añadir el problema fundamental -



de que, dada la corta altura de las columnas del eje 2 la relación entre cortante y momento en sus extremos es muy elevada. Por otra parte el porcentaje.



de estribos ha sido deficiente por lo que el factor de seguridad en tensión diagonal ha sido bastante inferior al de flexión. Esto está en contradicción con los criterios de diseño que señalan la necesidad de construir estructuras dúctiles si se quieren adoptar los coeficientes tradicionales de diseño.

En la estructura que se menciona es interesante notar que la falla frágil del piso inferior debe haber ocurrido al principio del movimiento, pues logró evitar la falla del piso superior impidiendo la transmisión de aceleraciones sísmicas importantes. La Fig. N° 33 - Anexo I el tipo de daños ocurridos en las columnas cortas, poco dúctiles que se acaban de descubrir.

El pabellón "B", adolecía también de defectos en el proceso constructivo, tanto en lo, que se refiere a mala calidad de la mano de obra y de los materiales, control inadecuado de calidad, así como en la ejecución de los detalles constructivos, principalmente en lo que concierne al concreto reforzado. La junta de construcción de los 2 cuerpos también presenta daños a causa de la interferencia de la ubicación de cada uno.

El pabellón "A" solo presentó fisuras en el enlucido y algunas lunas rotas.

#### V. 4.0 COLEGIO SS. CC. DE LA RECOLETA

- Ubicación :

Este edificio está ubicado en la Avenida Golf los Incas, en los terrenos que pertenecieron a la Hacienda "Monterrico", en la Jurisdicción del Distrito de Ate-Vitarte parte Norte del área investigada. (Ver Foto N°21-Anexo II)

- Información disponible :

- a) Esquema Estructural.
- b) Fotografías.

- Planta :

Véase gráficos correspondientes.

- Cimentación :

Durante la inspección realizada se pudo apreciar que la profundidad de cimentación era de más o menos 2.0 m. que por lo general se apoyaba en hormigón pero que en algunos casos la profundidad a la que se encontraba este tipo de suelo era de más o menos 7.0 m.

- Materiales :

Antes de proceder a su reparación se hicieron pruebas de laboratorio de las muestras del concreto empleado y este resultó ser de calidad adecuada.

- Breve Descripción :

Este local escolar consta de edificios destinados a la "comunidad", aulas, administración y servicios.

Las columnas del edificio administrativo y de la comunidad son de .75 x .35 m., las de las aulas de secundaria de .50 x .30 m. y las de las aulas de primaria de .60 x .25 m.

V.4.1 Estratigrafía y Napa freática.- De acuerdo a la inspección de campo, este terreno fisiográficamente se encuentra a aproximadamente 700 m. del Río Surco. De la carta topográfica del Instituto Geográfico Militar del año 1966,

se puede, advertir afloramientos de puquiales a una distancia aproximadamente de 200 m. del terreno de cimentación de esta edificación; existe también a unos 100 metros del colegio una acequia de riego. El suelo en general es material transportado de origen fluvio-aluvial. Es interesante anotar que a unos 300 m. del colegio se han realizado excavaciones hasta una profundidad de 3.00 m. y el material hallado ha sido arcilla del tipo C H (arcilla de alta plasticidad).

Información que nos proporciona el pozo N°1 del Mapa de Ate del Archivo de la Sub-dirección de aguas subterráneas del Ministerio de Agricultura.

Cota del pto.de referencia m.s.n.m.	Fecha	Nivel del agua (en metros)	Cota del agua m.s.n.m.
231.00	Julio 1959	18.00	213.00
231.00	20.04.1972	13.86	217.14
231.00	02.02.1973	14.68	216.32

V.2.2 Comportamiento durante el sismo. - El edificio administrativo y de aulas así como el edificio de la comunidad fueron los que presentaron fallas a consecuencia del sismo el 03.10.74. Los daños que presentan estos edificios son aproximadamente los mismos que se apreciaron en el colegio Pio

XII ya que la concepción estructural es muy semejante; las columnas sobresalen de los muros una pequeña parte de la altura total del entrepiso, y trabajan como si estuvieran empotradas en el nivel directamente superior y en el tramo de muro inferior.

Si se considera este tramo libre, la relación entre el peralte y la longitud de su eje ocasiona comportamiento frágil. Esto es debido a que cuando la columna fue sometida a la sollicitación sísmica, sufrió una carga lateral creciente que alcanzó la tensión diagonal antes de llegar a su capacidad en flexión, lo cual ocasionó una falla de tipo más dúctil. Las Fotos N°22 y 23 (Anexo I) son una repetición de lo que ya se ha visto en el caso anterior. Aquí la escasez de estribos fue un factor adicional que se sumó a las características intrínsecas de la forma del miembro estructural en cuestión, así como la acción destructora propia de la libre vibración del voladizo. (Véase Fotos N°23. Anexo II).

El edificio de la "Comunidad (Ver Fotos 24,25,26 y 27. Anexo II), consta de 2 pabellones perpendiculares entre sí, formando ángulo; uno de ellos esta en dirección Norte-Este y el otro en dirección Oeste-Este; el primero es el pabellón "B" y el segundo es el pabellón "A". El pabellón "A" es el que presentó mayores daños, aparte de la falla por columna "corta" ya descrita ocurrió el desprendi-

miento de recubrimiento, agrietamiento de muros por ten  
sión diagonal y en general el recubrimiento de las co-  
lumnas que estaban en contacto con las tabiquerías que  
dó aplastado. Es interesante advertir que una de las -  
características de las rajaduras que pasan el recubri-  
miento y que son notorios es que se producen con una in  
clinación de Oeste a Este, en la zona donde no estaba  
confinada la columna por tabiquería; conservando su di-  
rección esta rajadura algunas veces continua en la vi  
ga respectiva. en el Segundo piso solo se observan pe-  
queñas fisuras en el recubrimiento de las columnas; en  
la zona de las escaleras la tabiquería se ha separado  
de sus vigas de apoyo.

En el pabellón "B" del edificio de la  
comunidad ha sufrido bastante menos daños que el "A";  
se aprecian fisuras en los recubrimientos, grietas en  
la unión de viga y tabiquería. En el segundo piso se ha  
podido observar que las columnas solo han sufrido da -  
ños en su recubrimiento; el recubrimiento en la unión  
columna tabiquería se encuentra rajado en toda su lon-  
gitud, esto es notorio en los ejes 9, 10, 11, 12, 13,  
en esta zona también las vigas han perdido su recubri-  
miento parcialmente; la unión con el aligerado se en-  
cuentra agrietada.

El edificio de aulas y administrativo consta de tres cuerpos la dirección longitudinal de ellos coincide con la del pabellón "A" del edificio de la comunidad; el cuerpo del extremo Oeste es el más cercano al edificio ya mencionado y es el que ha presentado mayores daños. Las fallas observadas son las ya descritas, solo cabe anotar que los pórticos 1 y 2 no presentaron daños y que los pórticos 3, 4 y 5 presentaron daños tanto en vigas como en columnas. La numeración de los pórticos es de oeste a este, el primer cuerpo consta de 8 pórticos, el segundo del 9 al 20 y el tercero del 21 al 31. La separación entre ejes de estos pórticos transversales es de 5.00 m.

A parte de los daños ya descritos se pudo advertir la rotura de vidrios y el desplome de 700 m.l. de cerco.

En general los edificios de aulas de un piso no presentaron daños en cambio los edificios de 2 pisos (comunidad y administrativo), fueron los más afectados por este sismo.

En el perfil de pozo que se ha presentado se observa que el material fino es abundante hasta la profundidad de 8 m. predominando en los primeros

4 m. la arcilla limosa. De acuerdo, a ello es posible - suponer que siendo los suelos blandos malos transmisores, la energía sísmica se haya manifestado causando vibraciones con la amplitud aumentada; esto aunado a la existencia de la zona de contacto y cercanía a los cerros, pueden haber aumentado notablemente las vibraciones, produciéndose mayores aceleraciones, debidas a la superposición en fase de las ondas sísmicas.

#### V.5.0 VIVIENDA EN "LAS CASUARINAS"

- Ubicación :

Esta edificación está ubicada en la esquina de "Cascajal" y Av. "Las Casuarinas" en el lote N°4 de la manzana H de "Las Casuarinas" en la Jurisdicción del Distrito de Santiago de Surco para Sur-Este del área investigada.

- Información Disponible :

a) Planos de Arquitectura y de Estructuras.

b) Fotografías.

- Planta y cortes :

Vease anexo N°III (plano N°4)

- Cimentación :

La cimentación de esta casa-habita -



ción es directa y se hallaba a una profundidad de 0.60 m. La base de apoyo es cuadrada y su lado del orden de 1.20 m.

- Breve Descripción :

Esta edificación consta de 4 niveles: 1.90, -0.60, + .50 y + 2.00 m.

La estructuración original era simétrica solamente a un eje que pasa por su centro, pero durante el proceso constructivo el diseño original fue cambiado, anulándose esta simetría.

El último techo presenta 3 pendientes y una parte plana, apoyándose en columnas interiores verticales y en dos "patas" laterales.

V.5.1 Estratigrafía y Napa Freática.-`Durante la inspección de campo se ha podido observar que esta vivienda fisiográficamente se encuentra enclavada en las faldas del cerro San Francisco, en la ladera izquierda del Valle del Rimac, (Rio Rimac) aproximadamente en la cota 160 m.s.n. m. en un abanico colubial formado principalmente por arena eólica proveniente de la deposición combinada de arenas procedentes de las Pampas de San Juan y Tablada de Lurín.

Considerando la información que nos proporciona el Pozo N° 24 y 23 del Mapa de Pamplona y teniendo en cuenta el dato más reciente que nos proporciona el Pozo N°24 (Set. 2, 1968) la cota de la Napa freática era de 110.00 m.s.n.m. y se hallaba a una profundidad de 35 m.

Los perfiles de pozos son los que se presentan en las Figuras N°32 y 33.(Anexo I).

V.5.2 Comportamiento durante el Sismo.- Dada la asimetría de la estructura, durante la sollicitación sísmica ocurrieron concentración de esfuerzos en la parte de las uniones, produciéndose en estos puntos fallas notables.

Como ya se ha mencionado durante el proceso constructivo se varió el diseño estructural original, creándose el problema del comportamiento frágil en dos columnas luego la excesiva fuerza de gravedad hizo fallar el conjunto produciéndose agrietamiento de muros, desprendimiento de enchapes y rotura de lunas.

Las cargas verticales no fluyeron hacia el suelo a través de cada parte de la estructura co

mo una fuerza de línea armónica, encontrándose esta fuera del límite de los esfuerzos unitarios.

También se ha observado la presencia de tabiques que carecían de columnas de amarre y que - por lo tanto sufrieron desprendimientos.

## **C A P I T U L O   V I**

### **CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

#### VI.1.0 ASPECTOS GEOTECNICOS DE LA ZONA

En el área estudiada se han identificado dos pisos de la secuencia sedimentada del cretácico inferior de la columna estratigráfica de Lima y que corresponden respectivamente a las formaciones Pampolina y Atocongo. Monterrico presenta aproximadamente un 70% de terrazas fluvio-aluviales del cuaternario y un 30% de cerros moderadamente conspicuos hacia el límite Este de la zona.

Las condiciones geológicas de Monterrico son de interés en cuanto se refiere a la clase de depósitos fluvio-aluviales y material eólico que lo constituyen aunado a la depresión de la Napa freática, debido al consumo doméstico, la que al descender suprime el empuje de Arquímedes aumenta la densidad del suelo y por lo tanto las tensiones en el terreno, y en zona de contacto geológico indica un potencial de riesgo sísmico por determinar.

Se ha observado que el subsuelo está constituido por suelos granulares encontrándose mezclas de suelos limo-arcillosos y arenosos hasta profundidades de 2.50 m. y a partir de esta profundidad se ha observado que el suelo tipo es una grava bien graduada -

con una matriz arenosa (GW/SP) y que continúa hasta la profundidad estudiada de 5m.

El aspecto de comportamiento de los suelos durante un sismo destructivo, señalado por muchos como uno de los problemas más importantes en Ingeniería Antisísmica para la evaluación de los parámetros que inciden en el diseño estructural, es uno de los más complejos. De ahí la necesidad de realizar un estudio minucioso de este aspecto.

VI.1.1 Interacción Suelo - Estructura.- Cuando ocurre un sismo las ondas transversales inciden en la capa superficial en forma perpendicular al estrato y ocurre el fenómeno de multireflexión en dicho estrato dando como resultado la aparición de los "Períodos predominantes del suelo". Es posible realizar una clasificación de los suelos en base a los períodos predominantes los que pueden ser asociados a los diferentes tipos de construcciones.

Se sabe que las ondas P y S se transmiten de acuerdo a la teoría elástica si el medio a través del cual viajan es homogéneo; pero en el área existen zonas de contacto geológico, que implican medios de diferentes propiedades, por lo que suponemos que la

transmisión de ondas ha sido alterada y cuando éstas - han incidido sobre este límite, parte de la energía ha sido reflejada y el resto se ha refractado. Este fenómeno es interesante porque la superposición en fase de las ondas sísmicas pueden haber aumentado notablemente las vibraciones, produciéndose mayores aceleraciones.

El registro del acelerograma muestra que la fase intensa del sismo superó los 100 segundos, tiempo durante el cual los sucesivos máximos superaron el 2% de g. de allí que su acelerograma sea de gran longitud en su fase intensa. Una duración de este orden - de pulsos originan consecuencias referente al número - de ciclos en que se alcanzan deformaciones importantes y que están dentro de la fase plástica del material por lo que genera un problema de fatiga plástica.

De las observaciones de daños a causa de sismos se aprecia que el mayor porcentaje de fallas ocurre en áreas de suelo blando y con estructuras muy flexibles cimentadas en ella.

#### VI.1.2 Aspectos Sismo-Resistentes de las Edificaciones

El sismo del 03.10.74 de Lima puso - de manifiesto como la presencia de la tabiquería modi-

fica la respuesta dinámica de una estructura aporticada calculada sin considerar la influencia de la tabiquería (por ejemplo locales escolares). "..... la cuantificación de su aporte resistente y de su rigidización amerita atención especial, por cuanto su presencia o ausencia afectiva puede modificar substancialmente la respuesta estructural a una solicitud de naturaleza dinámica". (27)

Se ha observado también que en general la causa principal de los daños en las edificaciones inspeccionadas se deben a la concepción de su estructuración, en la mayoría de ellos hubo concentración de esfuerzos que no eran necesarios inducir. En forma natural el sismo descubre inexorablemente estos puntos sísmicamente débiles de una estructura.

En las construcciones de ladrillo con columnas bien ubicadas, éstas producen los confinamientos necesarios de los muros, de tal manera que estos resistan sismos de mediana intensidad; los daños en este tipo de edificaciones son escasos y los que se han presentado se deben generalmente a defectos de estructuración.



## VI.2.0 RECOMENDACIONES

1. Se sugiere que para la zona investigada se realice un plano de expansión urbana y se consideren las condiciones geomorfológicas, geológicas e hidrogeológicas de la zona para evitar posibles destrucciones de edificaciones que ya los sismos nos las han demostrado .

El presente trabajo pretende servir como punto de partida para los estudios que deberán realizarse a este fin.

2. Los proyectos arquitectónicos audaces, deben ser cuidadosamente analizados por el Ingeniero estructural, quien a su vez debe transmitir su opinión franca sobre el comportamiento dinámico y el riesgo a que estaría espuesta la estructura.
3. En vista de que en algunos lugares de la zona la falla ha sido por suelo, la falta de instrumentación y consecuentemente de registros así como la escasa experiencia acerca del comportamiento de construcciones representativas ante sismos considerables, llevan a no suponer de manera cercana a la realidad la interacción suelo-estructura; para la cual se recomienda estimar el riesgo sísmico y expresarlo co-

mo una forma de microregionalización sísmica, que interprete el comportamiento de suelos y rocas, así como de la respuesta de la estructura.


4. A partir del panorama de daños se infiere que la intensidad del sismo no es igual en áreas de la zona estudiada relativamente próximas, lo cual permite - que la influencia de las características del subsuelo es importante lo cual señala la necesidad de un estudio detenido, para correlacionar la intensidad sísmica local y las características del subsuelo; las profundidades del lecho rocoso y las velocidades de propagación de las ondas transversales son datos fundamentales que actualmente no se conocen con un grado suficiente de confiabilidad. La falta de instrumentación y consecuentemente de registros así como la escasa experiencia acerca del comportamiento de construcciones representativas ante sismos considerables llevan a no suponer de manera cercana a la realidad la interacción suelo-estructura. Para lo cual se recomienda estimar el riesgo sísmico y expresarlo como forma de la microregionalización sísmica, que interprete el comportamiento de suelos y rocas, así como de la respuesta de la estructura.
5. Se sugiere establecer un sistema de documentación -

técnica que tenga como función el tratamiento y reducción de los datos que se colecten, así como de un archivo de datos, de uso público, de sismos peruanos y de otros países, y de una biblioteca de referencia de las publicaciones mundiales sobre Ingeniería Antisísmica.

6. Se ha puesto de manifiesto la necesidad de estudiar la coparticipación de la tabiquería a partir de estudios analíticos y experimentales.
7. Por ser este un sismo particularmente largo ofrece la posibilidad de estudio del comportamiento de estructuras sometidas a vibraciones durante un lapso excepcionalmente largo, lo que haría posible se haga presente el fenómeno de fatiga. Por lo tanto sería de interés el estudio de incluir la duración del sismo en los procedimientos de diseño.
8. Los estudios de distribución de intensidades han de ser correlacionados con los estudios del subsuelo y de las aguas subterráneas así como profundidad del basamento, y otros parámetros geológicos que permitan tener un cuadro bastante completo y una explicación valedera de porque determinadas áreas sufren más repetidamente en cada terremoto, no obstante que

el mecanismo focal, profundidad, focal, azimut y las magnitudes varían de terremoto a terremoto. Para ello sería necesario obtener primeramente la distribución de intensidades en base a la relación distancia epicentral-basamento, para luego corregir estos resultados en base a las características locales del subsuelo.

## BIBLIOGRAFIA

1. II CENSO NACIONAL DE VIVIENDA-1972 :(4 Junio 1972).
2. SILGADO F., Enrique; "Historia de los Sismos más nota  
bles ocurridos en el Perú(1513-1970)".
3. UNESCO, Mayo de 1968; "El Sismo de Caracas del 29 de  
Julio de 1967".
4. HUSID, Raúl; "Características de los Terremotos Peruanos"  
Conferencia en Reunión Andina de Seguridad Sísmica.
5. INSTITUTO PANAMERICANO DE GEOGRAFIA E HISTORIA; "Geo-  
física Panamericana"-Comisión de Geofísica, Vol.2,   
Año 2, OEA.
6. SILGADO F., Enrique; "Sismicidad de la Región Occiden  
tal de la América del Sur entre los Parámetros 2° y  
13° Latitud Sur"; 1er. CNSEIA; Lima, 1969.
7. NAKASHIMA N., Eyzi; "Geología del Area de Ate"-Tesis  
UNMSM.
8. FERNANDEZ CONCHA, Jaime; "Estudio de las Aguas Subte-  
rráneas de la Zona de Casuarinas-Monterrico"-1972.
9. VALLEJO C., Carlos; "Geología del Area de Pamplona"  
Tesis UNI.
10. LISSON C.; "Contribución a la Geología de Lima y sus  
Alrededores", 1907.
11. CASTRO L.; "Geología de los Alrededores de Lima".

(1959).

12. EVANGELISTA, Elmer; "Geología del Area de Pampa Grande"-1968, Tesis UNMSM.
13. MARTINEZ, Alberto; "Geotecnia y Riesgo Sísmico"
14. JUAREZ BADILLO-RICO RODRIGUEZ; "Mecánica de Suelos"
15. TERZAGHI KARL-RALPH B. PECK; "Mecánica de Suelos en la Ingeniería Práctica"
16. SHUNZO OKAMOTO; "Introduction to Earthquake Engineering"
17. CARRILLO GIL, A; "Estudios de Suelos para la UNIFE y Cooperativa del Colegio de Ingenieros"
18. LAGESA; "Estudio de Suelos para el Ministerio de Guerra".
19. CARRILLO GIL, Arnaldo; "Influencia de los Suelos en los Daños por Sismo" - CINDA.
20. RIOS, Raúl; "Amplificación de Sismos por Causa del Suelo de Lima" - CINDA.
21. BERROCAL, J.; "Aspectos Sismotectónicos Relacionados con el Sismo del 03.10.74"
22. ESPEJO, Gerardo; "Las Isosistas del Sismo del 03.10.74"-Reunión Andina de Seguridad Sísmica.
23. BERROCAL y J. SHIKIYA; "Datos Sísmicos Relacionados con los Eventos ocurridos el 17.10.66, 31.5.70, y

- 03.10.74", Informe IGP en Preparación.-1975.
24. CARMONA, Juan - HERRERA, Hugo Giuliani José; "Evaluación del Espectro de Aceleración de la Componente N°82 W del Acelerograma de Lima 03.10.74"
  25. BERROCAL J.- SHIKIYA J.; "Parámetros del Sismo del 03.10.74 y de algunas de sus Réplicas"-Informe - IGP en Revisión, Abril 1975.
  26. CARNEGIE INSTITUTION OF WASHINGTON YEAR BOOK 57, (1958); "The Earth's Crust".
  27. BOLETIN DEL "INSTITUTO DE MATERIALES Y MODELOS ES TRUCTURALES" - Caracas.