

# **UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA**

Programa Académico de Ingeniería Civil



## **ESTUDIO DE LA VULNERABILIDAD SISMICA DE LA CIUDAD DE CHIMBOTE**

**T E S I S**

Para optar el Título Profesional de  
Ingeniero Civil

**HUGO JUAN ALBERTO BARRON SALAS**

**PROMOCION 1982 - II**

Lima - Perú

1984

## TABLA DE CONTENIDO

Pág.

INTRODUCCION

RESUMEN

CAPITULO I: REVISION DE LA INFORMACION EXISTENTE

1.1	INTRODUCCION	2
1.2	SISMO DEL 31 DE MAYO DE 1970.	3
1.3	SISMOLOGIA DE LA ZONA AFECTADA	6
1.4	GEOLOGIA DE CHIMBOTE	10
1.5	CONDICIONES DEL SUBSUELO	20
1.6	HIDROGEOLOGIA DE CHIMBOTE	23
1.7	CONCLUSIONES	26

CAPITULO II: RIESGO SISMICO

2.1	INTRODUCCION	32
2.2	SISMICIDAD REGIONAL	33
2.2.1	SISMICIDAD HISTORICA	34
2.2.2	SISMICIDAD INSTRUMENTAL Y CATALOGO DE SISMOS	35
2.2.3	REVISION DE LA INFORMACION MACRO TECTONICA Y GEOLOGICA	36
2.3	ANALISIS DE RIESGO SISMICO	40
2.3.1	FUNDAMENTOS DEL ANALISIS DEL RIES- GO SISMICO	40

	Pág.
2.3.2 EVALUACION DE FUENTES SISMOGENICAS	42
2.3.3 ANALISIS ESTADISTICO DE RECURREN- CIA	43
2.3.4 LEYES DE ATENUACION	45
2.3.5 EVALUACION DEL RIESGO SISMICO	47
CAPITULO III: CONDICIONES LOCALES DE LA CIUDAD DE CHIMBOTE	
3.1. INTRODUCCION	50
3.2 CARACTERISTICAS DEL SUBSUELO DE CHIMBOTE	51
3.2.1 ZONA NORTE	52
3.2.2 ZONA CENTRAL	54
3.2.3 ZONA SUR	56
3.3 ZONAS DE EXPANSION	58
3.4 LICUACION DE ARENAS EN CHIMBOTE •	61
3.5 ENSAYO DE MICROTREPIDACIONES	65
3.6 MICROZONIFICACION DE CHIMBOTE	68
3.7 CONCLUSIONES	74
CAPITULO IV: VULNERABILIDAD SISMICA	
4.1 INTRODUCCION	77
4.2 CARACTERISTICAS DE LAS CONSTRUCCIONES	79
4.3 DAÑOS OCURRIDOS EN EL SISMO	83
4.4 MATRIZ DE VULNERABILIDAD SISMICA	91
4.5 PROBABILIDAD DE DAÑOS SISMICOS	104

4.5.1	PROBABILIDADES DE OCURRENCIA DE SISMOS DE INTENSIDAD DADA	105
4.5.2	RAZON DE DAÑO VS. INTENSIDAD MMI	106
4.5.3	ESTIMACION DE DAÑO ESPERADO	108
4.5.4	PROBABLE POTENCIAL DE PERDIDAS	109
4.6	PROBLEMATICA ACTUAL DE LA VIVIENDA	110
4.7	CONCLUSIONES	113
CAPITULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES FINALES		
5.1	CONCLUSIONES	118
5.2	RECOMENDACIONES	129

### BIBLIOGRAFIA

Anexo 2.1	Sismos Notables ocurridos en el Perú
Anexo 3.1	Clasificación de Suelos del Código de Construcción del Japón
Anexo 4.1	Tipos de estructuras
Anexo 4.2	Clasificación de los daños. Escala M.S.K.
Anexo 4.3	Investigación Urbana
Anexo 4.4	Evaluación de las Construcciones en Chim- bote.
Anexo 4.5	Evaluación de daños
Anexo 4.6	Resumen de relaciones adoptadas de daño promedio (R.D.) Vs. intensidad (M.M.I.)

### Lista de Planos

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

Como es sabido por todos, las consecuencias destructivas de los movimientos sísmicos se reflejan en - pérdidas humanas, y daños a las construcciones en diferentes grados. Desde el punto de vista ingenieril, los trabajos realizados anteriormente han enfocado el problema hacia resultados porcentuales de los niveles de daños ocasionados por el sismo en estudio.

El Centro Regional de Sismología para América del Sur (CERESIS), recogiendo una inquietud dirigida hacia el aspecto económico de la destrucción que ocasiona los movimientos sísmicos, es que decide estudiarlos en el Proyecto ECOSIS; proyecto cuyo objetivo, como se dijo anteriormente, es analizar los efectos económicos producidos por los terremotos, para proveer a las decisiones futuras la posibilidad de aplicar sus resultados.

En el citado proyecto propuesto por el CERESIS, son tres los países participantes, cada uno de ellos estudiaría el sismo más destructor y del cual se tuviesen mayores datos, con la observación, de que dichos estudios estarían limitados y orientados a la información disponible.

Venezuela con su sismo Caracas 1977; Argentina con San Juan 1977; y Perú con Chimbote-Huaraz 1970; serían los países participantes en el proyecto. Para conseguir los objetivos perseguidos, tres serían las ciencias básicas utilizadas; la sismología, la ingeniería estructural y la ingeniería económica. El trabajo a ser desarrollado, consistiría de tres fases; la primera sería establecer la metodología a seguir para el análisis que incluiría tareas como determinación del tipo de información, uso de conceptos de costos de reposición para el daño estimado; la fase siguiente sería desarrollada por la sismología y la ingeniería estructural, para obtener y sistematizar la información necesaria para estimar el grado de riesgo sísmico y vulnerabilidad de la infraestructura para finalmente en la tercera fase desarrollar un modelo probabilístico con el propósito de determinar el daño probable y el efecto económico de los terremotos.

La participación del Perú le fue encomendada al Dr. J. Alva, profesor asociado del departamento Académico de estructuras y construcciones de la Universidad Nacional de Ingeniería, como Jefe del Proyecto, Ing. W. Taniwangsa y los bachilleres en ingeniería civil E. Ordóñez, O. Chávez y el que suscribe, para el estudio indicado en las ciudades de Chimbote y Huaraz.

En el presente trabajo "Estudio de la Vulnerabili

dad Sísmica de la ciudad de Chimbote", con la limitación de la información disponible, se cubren las fases disciplinarias de sismología e ingeniería estructural en forma amplia, para dar enfoques generales al aspecto económico por ser esta disciplina de diferente especialidad.

## R E S U M E N

La participación del Perú en el proyecto ECOSIS del Centro Regional de Sismología para América del Sur - (CERESIS), sería mediante el estudio del sismo del 31 de Mayo de 1970, movimiento sísmico que por sus características destructivas lo hacen el más destructor de toda la historia sísmica peruana. Fue debido a esa peculiaridad que muchos investigadores lo estudiaron desde muchos puntos de vista y es así que en la ciudad de Chimbote se realizaron estudios de geología, resistencia de suelos, - evaluación de daños, ensayos de microtrepidaciones y análisis de movimiento de suelo, situación que ha ayudado para con toda la información disponible, plantear - una metodología de evaluación de los daños y cumplir con los fines expuestos en la introducción.

Para conseguir los propósitos referentes al presente "Estudio de la Vulnerabilidad Sísmica de la Ciudad de Chimbote" se ha pensado conveniente distinguir los siguientes capítulos que a continuación se resumen.

En el capítulo I, revisión de la información existente, se exponen las características sismológicas del



sismo del 31 de Mayo de 1970, así como una breve descripción de los daños producidos por el mismo; también se describe la geología de la ciudad y las condiciones del subsuelo, esta última en forma resumida por ser tratada ampliamente en un capítulo posterior. Finalmente se trata sobre la hidrogeología de Chimbote por ser de interés para el análisis de las condiciones de cimentación de las estructuras.

En el capítulo II, en base a la historia sísmica regional y siguiendo la metodología propuesta por Cornell se evalúa el riesgo sísmico, en base a fuentes sísmogénicas propuestas por Casaverde y Vargas, usando el programa RISK que determina aceleraciones esperadas. En dicho capítulo la evaluación se ha realizado para las ciudades de Chimbote y Huaraz.

Las condiciones locales del suelo se describen en el capítulo III, en él se exponen las características del subsuelo en forma detallada separando por comodidad las zonas analizadas en zonas norte, centro y sur, para definirse como zona de expansión las áreas ocupadas en los últimos años. También se presentan los ensayos de microtrepidaciones realizadas en la ciudad, así como la evaluación del potencial de licuación del terreno; finalmente, en base al análisis de los aspectos anteriores se verifica la microzonificación sísmica planteada por otros investigadores.

En el capítulo IV, Vulnerabilidad Sísmica, se plantea una metodología de evaluación de daños, donde se definen rangos de construcciones dañadas para diferentes grados de daño en la estructura y considerando las condiciones del suelo como factor determinante; también se desarrolla una metodología que evalúa el potencial de pérdidas probables en construcciones para diferentes intensidades sísmicas en base al análisis probabilístico de riesgo sísmico desarrollado en el capítulo II y a curvas de relaciones de daño con intensidad presentadas en la literatura.

Por último, las conclusiones y recomendaciones básicas del tema se incluyen en el Capítulo V, en donde se les ha dado una organización simple y ordenada de manera que sea más eficiente su consulta y aplicación para otras ciudades del Perú.

# C A P I T U L O I

## REVISION DE LA INFORMACION EXISTENTE

- 1.1 INTRODUCCION
- 1.2 SISMO DEL 31 de MAYO DE 1970
- 1.3 SISMOLOGIA DE LA ZONA AFECTADA
- 1.4 GEOLOGIA DE CHIMBOTE
- 1.5 CONDICIONES DEL SUBSUELO EN CHIMBOTE
- 1.6 HIDROGEOLOGIA DE CHIMBOTE
- 1.7 CONCLUSIONES

## 1.1 INTRODUCCION

Todo estudio de vulnerabilidad, como su nombre lo indica, trata de hacer un análisis sobre las partes que podrían resultar afectadas ante sollicitaciones externas de algo que se está estudiando.

En el caso en estudio se trata de determinar la Vulnerabilidad Sísmica de la ciudad de Chimbote y por lo tanto la o las sollicitaciones externas vendrían a ser los movimientos sísmicos que en dicha ciudad podrían presentarse y las partes afectadas que se analizarán, serían las viviendas, las escuelas, hospitales, etc. es decir toda construcción cuya falla parcial o total, además de ya no poder cumplir en forma eficiente con la función a la que fue encomendada, llevaría consigo un peligro potencial de pérdidas humanas.

El sismo del 31 de Mayo de 1970 fue el movimiento tectónico que dejó más destrucción que ningún otro fenómeno de esta naturaleza en la ciudad de Chimbote; es por este motivo que las fallas que se observaron en las construcciones, carreteras, puentes, comunicaciones, sistema portuario, topografía, etc. fueron estudiadas por muchos profesionales especialistas en la materia y como resultados de estos estudios se llegaron a muchas conclusiones, enseñanzas y planes con la finalidad de mitigar los daños que podrían dejar futuros movimientos sísmicos.

El presente capítulo tiene por finalidad exponer as

pectos de sismicidad, sismológicos, geológicos e hidrogeológicos de la ciudad de Chimbote que se tienen hasta el momento, para conocer mejor la realidad que se está estudiando y poder establecer finalmente la relación íntima que existe entre estos tópicos y el análisis de Vulnerabilidad que se persigue.

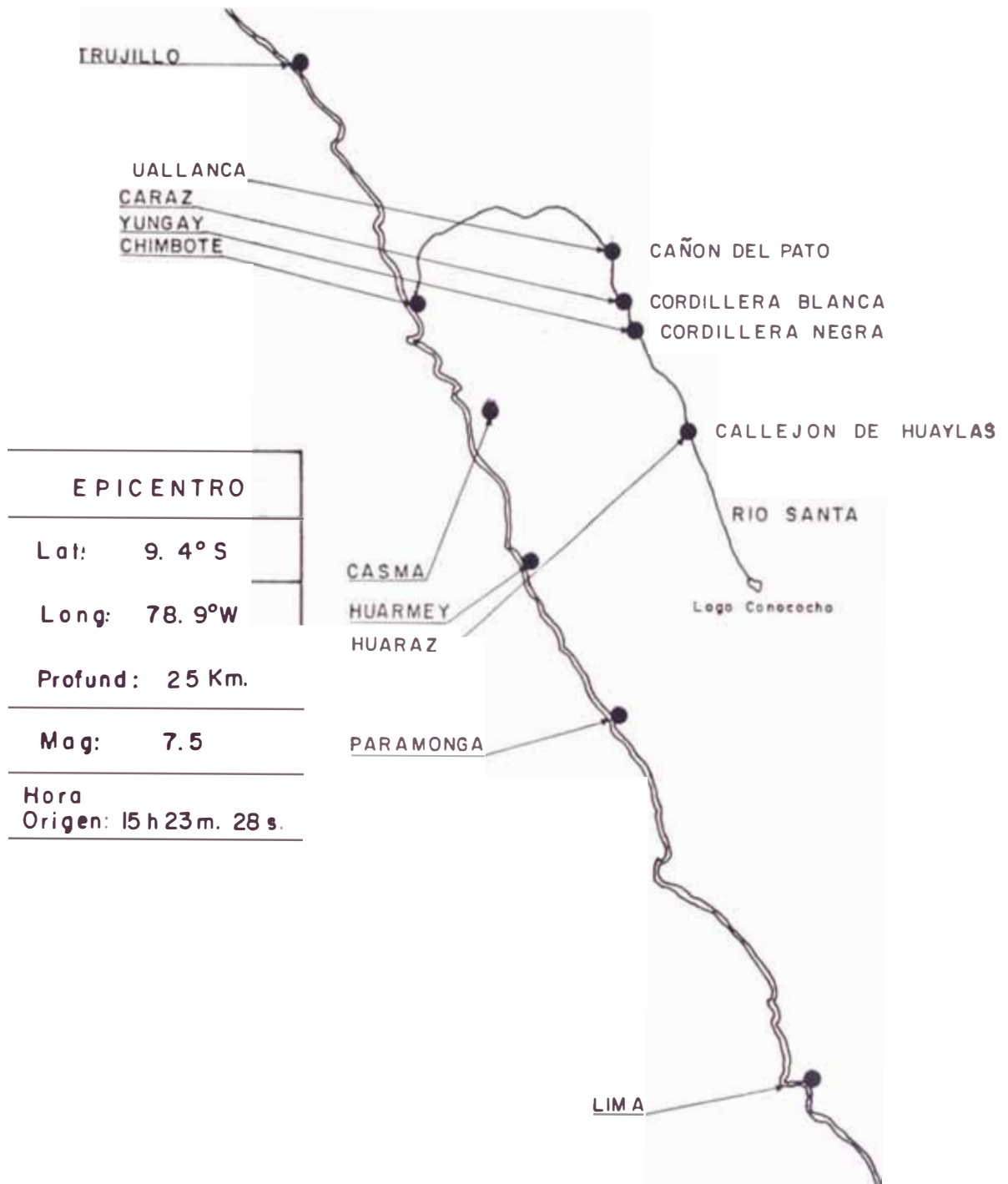
## 1.2 SISMO DEL 31 DE MAYO DE 1970

A las 3:23 p.m. (hora local) del 31 de Mayo de 1970 ocurrió un terremoto de 7.5 grados en la escala de Richter, con epicentro a 70 km. de la Costa del Perú al Oeste de la ciudad de Chimbote (Unesco, Ceresis, 1970).

La zona afectada por el sismo, cuyo epicentro se determinó a 9.4° de latitud Sur y 78.9° de longitud Oeste, con una profundidad de 25 kms. abarcó el departamento de Ancash, gran parte del departamento de La Libertad y algunas provincias de los departamentos de Lima, Huánuco y Cerro de Pasco. El conjunto un área de 80 a 85 mil Kms<sup>2</sup> con numerosas aldeas, centros poblados y ciudades fueron destruídas o dañadas cuya población alcanzaba aproximadamente la cifra de 1'800,000 habitantes (Cryrza PNUD, 1975).

A manera de ilustración se presenta la figura 1.1 que muestra algunas de las principales ciudades afectadas por el sismo en estudio, así como su localización y magnitud.

Fig. 1.1 EL EPICENTRO SUBMARINO DEL TERREMOTO DEL 31 DE MAYO ( CERESIS , 1971 )



0 25 50 75 100  
MEDIDA EN MILLAS

Para tener una idea más exacta de la distribución poblacional al momento del sismo, en el área afectada, se presenta la tabla 1.1 que muestra las poblaciones en las diferentes provincias agrupadas según los diferentes niveles relativos de desarrollo alcanzado (CAEM 1970).

En el terremoto ciudades enteras, como Chimbote, Casma, Huarney en la Costa, Caraz, Huaraz y Yungay en la Sierra, así como otras ciudades y pueblos fueron destruidos o dañados en gran parte. Se perdieron unas 50,000 vidas y 20,000 personas desaparecieron. El número de heridos fue de 150,000 y más de 500,000 personas quedaron sin techo. Como manera general de descripción de daños por el sismo se puede afirmar que (Silgado, 1978):

60,000 viviendas necesitan reconstruirse.

De 38 poblaciones, 15 quedaron con las viviendas destruidas en más del 80%. El resto sufrió daños de consideración.

En 18 ciudades con un total de 309,000 habitantes y en 81 pueblos con una población de 59,400 personas, los alcantarillados quedaron inhabilitados.

6,730 aulas quedaron destruidas.

La capacidad de energía eléctrica de Ancash y -

T A B L A    1.1

POBLACION EN LA ZONA AFECTADA POR EL SISMO  
DEL 31 DE MAYO 1970

---

(CAEM, 1970)

AREA 1: De mayor desarrollo relativo

Trujillo	331,338	habitantes
Santa	174,650	"
Casma	38,969	"
Chancay	230,899	"

AREA 2: De mediano desarrollo relativo

Otuzco	104,924	habitantes
Stgo. de Chuco	78,687	"
Huamachuco	82,184	"
Pallasca	30,504	"
Corongo	10,961	"
Huaylas	39,642	"
Yungay	41,756	"
Carhuaz	31,478	"
Huaraz	93,865	"
Recuay	23,472	"
Aija	18,652	"
Bolognesi	38,410	"
Canta	36,590	"

AREA 3: De menor desarrollo relativo

Sihua	30,513	habitantes
Antonio Raymondi	24,336	"
Mcal Luzuriaga	30,776	"
Pomabamba	25,012	"
Huari	91,702	"
Cajatambo	32,690	"
Dos de Mayo	97,542	"



La Libertad quedó reducida a un 10%, por los se-  
veros daños causados a la Central Hidroeléctrica  
de Huallanca.

Quedaron dañadas facilidades para irrigar 110,000  
Has.

El 77% de los caminos de La Libertad y Ancash, se  
interrumpieron así como el 40% de los existentes  
en Chancay y Cajatambo.

Específicamente la ciudad de Chimbote, presentó da-  
ños materiales menores que Huarmey o Casma y algunas otras  
ciudades del Callejón de Huaylas, sin embargo sufrió una  
pérdida económica mayor que las otras ciudades. En esta  
ciudad se registraron 750 personas muertas, 490 perdidas  
y aproximadamente 20,000 heridos, para una población de  
alrededor de 170,000. personas (CRYRZA-PNUD, 1975).

Los daños en el aspecto económico para la Zona Afec-  
tada y para la provincia del Santa, en la cual Chimbote  
está ubicada, se presentan en la tabla 1.2 extraída del  
primer volumen del Plan Director para la Reconstrucción  
de Chimbote, preparado por CRYRZA-PNUD,(1975).

Es importante hacer notar que los daños encontra-  
dos en la ciudad de Chimbote y en otras ciudades, en los  
diversos aspectos en que se evaluaron, fueron no sólo  
por las diferencias en grados de desarrollo alcanzado, -  
sino también principalmente por las distintas intensida-  
des registradas en cada ciudad, debido a las diferentes

T A B L A     1.2

DAÑOS ECONOMICOS EN LA ZONA AFECTADA  
Y EN LA PROVINCIA  
DEL SANTA

(CRYRZA - PNUD 1975)

SECTORES DE LA ECONOMIA	MAGNITUD DE LAS PERDIDAS EN MILLONES DE SOLES (1970)		
	Zona afectada	Prov. del Santa	%
Industria, Energía Pesquería y Comercio	4,784.8	516.2	11
Agricultura	1,709.2	91.1	5
Transportes y Comunicaciones	5,426.8	451.2	8
Vivienda	11,287.5	3,292.5	29
Educación-Edific.	1,288.3	1,123.5	87
Salud-Edificios	394.8	121.5	31
TOTAL	24,891.5	5,596.0	22

distancias de las misma al epicentro del sismo. Según - el mapa de Isosistas preparado después del sismo, las intensidades en la escala de Mercalli Modificada en las principales ciudades afectadas se distribuyó de la siguiente manera (Unesco, 1970):

Chimbote	VIII	Huallanca	VI
Casma	VIII	Chiclayo	VI
Huaraz	VII <sup>+</sup>	Piura	V
Trujillo	VII	Lima	IV
Huarmey	VII		

Se presenta (la figura 1.2) de Isosistas, preparado por Silgado (1978) del sismo del 31 de Mayo de 1970.

### 1.3 SISMOLOGIA DE LA ZONA AFECTADA

El objeto de la Sismología, en una primera etapa - es obtener información y recopilación de datos y para - ello se basa en instrumentos como los sismógrafos y otros visuales como la evaluación de daños, todo esto para estudiar las características de las ondas sísmicas; como una segunda etapa sería la de verificación, haciendo uso de estadísticas para luego hacer inferencias y formular alguna expresión matemática que rija a dicho fenómeno.

Como se sabe las características de un terremoto son

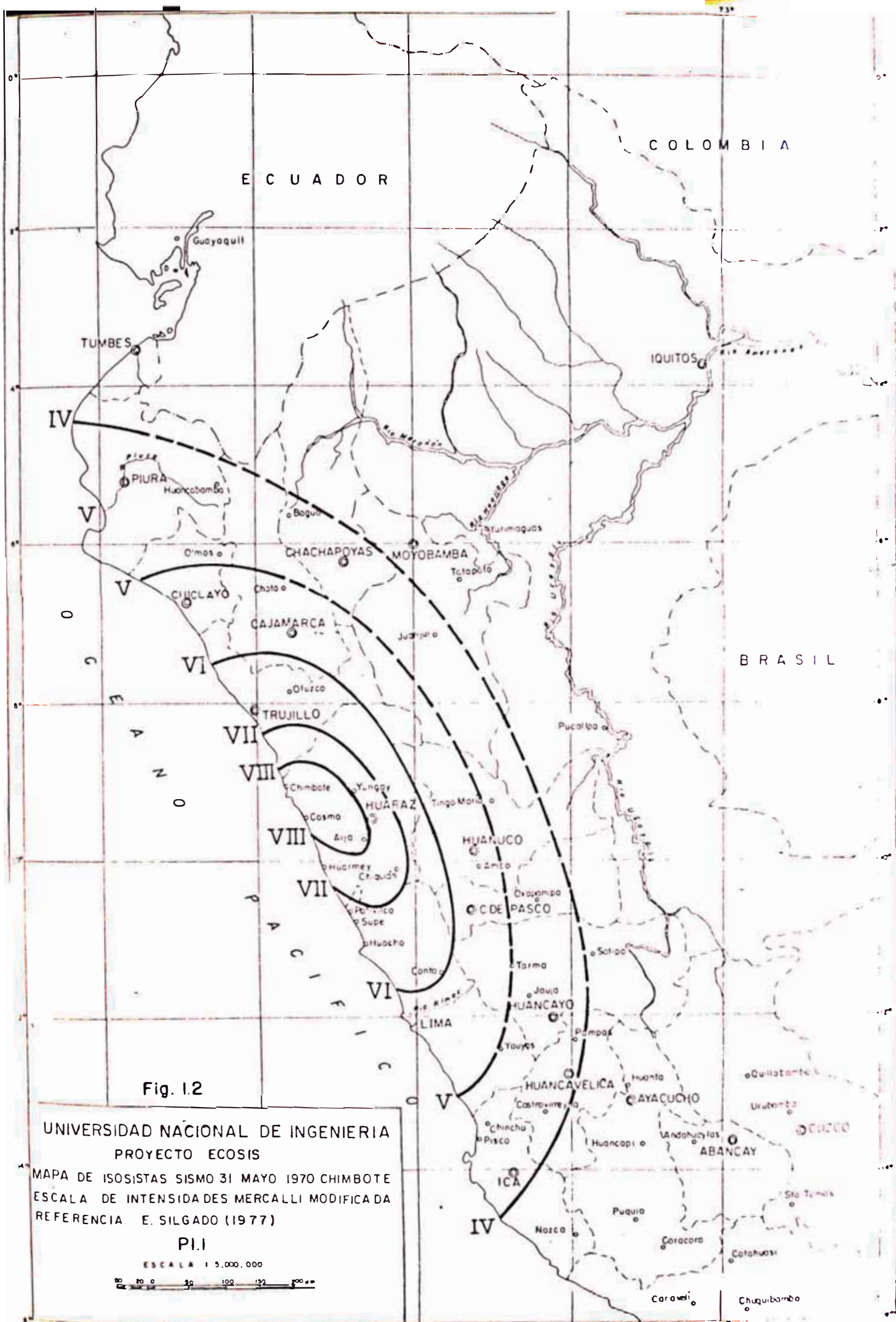


Fig. 1.2

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA  
 PROYECTO ECOSIS

MAPA DE ISOSISTAS SISMO 31 MAYO 1970 CHIMBOTE  
 ESCALA DE INTENSIDADES MERCALLI MODIFICADA  
 REFERENCIA E. SILGADO (1977)

PI.1

ESCALA 1:5,000,000



de dos clases, unas son las características propias de los registros, como son la obtención de la máxima aceleración, velocidad instrumental, contenido de frecuencia y duración del sismo, y las otras se refieren a las características sismológicas y geológicas como son la longitud de ruptura de falla, mecanismo, profundidad del foco, la forma de transmisión de las ondas sísmicas y la obtención de zonas sismogénicas.

Para cumplir con los objetivos anteriores la sismología se sirve de la instrumentación, consistente en la instalación apropiada de acelerógrafos y sismógrafos para hacer una regionalización sísmica. Es importante hacer notar que tanto la amplitud como el período de un sismo es más grande y más largo respectivamente cuanto mayor sea la magnitud del terremoto y que si el período natural de un sismógrafo es mucho menor que el de la vibración de la tierra, el desplazamiento del sismógrafo es proporcional a la aceleración del sismo y el instrumento funciona como acelerógrafo; si los dos períodos son aproximadamente iguales, la lectura del instrumento será proporcional a la velocidad del movimiento de la tierra, mientras que si el período es mucho mayor que el período de vibración de la tierra, las lecturas resultarán proporcionales al actuar registrador de desplazamientos.

A manera de ilustración será importante presentar una tabla en donde se ha determinado la relación entre

las escalas de intensidades de Mercalli Modificado con las aceleraciones registradas (Berrocal et. al. 1975),

Intensidad M.M.	Aceleración máxima	
III	4	cm/seg <sup>2</sup>
IV	8	"
V	25	"
VI	140	"
VII	460	"

donde las aceleraciones máximas han sido siempre registradas en una de las componentes horizontales y generalmente de 0.1 y 0.2 de segundo.

El aspecto sismológico en el Perú es importante, ya que como se sabe geográficamente está ubicado en una región de gran actividad sísmica por estar sus costas emplazadas dentro del Cinturón Sísmico del Pacífico, zona donde históricamente se han registrado el mayor número de eventos sísmicos, llegando a más del 80% de los terremotos destructivos registrados hasta la fecha.

De las observaciones sismológicas y del análisis de los registros obtenidos en diferentes estaciones locales, permiten confirmar el modelo de mecanismo de fallas geológicas sustentado por la Teoría de Espaciamiento del Fondo Marino. Según teorías recientes sobre Tectónica de Placas la costa peruana - chilena corresponde a una región de desaparición de la corteza en la fosa del Pacífico, donde están en contacto dos grandes placas terrestres,

La Placa Nazca y la Placa Americana, fenómeno que se visualiza en las fig. 1.3 y 1.4.

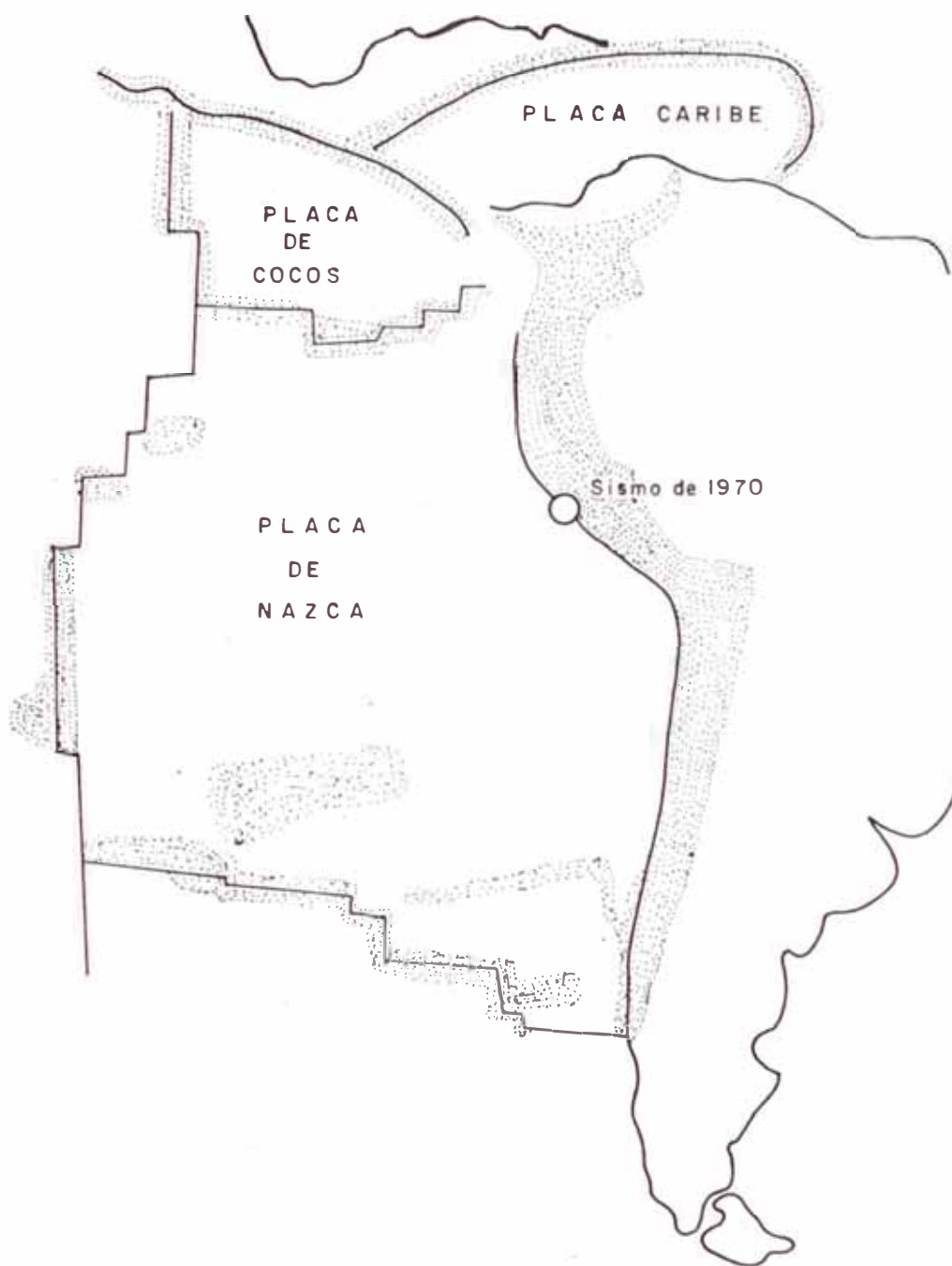
Es el constante movimiento de estas dos placas la que ocasiona la gran actividad sísmica de la región y este fenómeno es el que origina que la gran mayoría de los terremotos sean de origen tectónico y no de origen volcánico.

Las características sismológicas del sismo del 31 de Mayo de 1970 según diferentes fuentes se presentan en la tabla 1.3, y se describe el mecanismo focal, como un movimiento inicial de la fase P pequeño, correspondiente a una magnitud "m" aparente de 5.5 a 6.

La fase siguiente fue registrada con gran amplitud con respecto al movimiento inicial. La demora de esta fase varió entre 3 segundos (Huancayo, La Paz) hasta 10 segundos (Bogotá, Trinidad). Después de considerar la posibilidad de un sismo múltiple (el registro de Bogotá aparenta tres llegadas sucesivas a las 3, 7 y 10) se decidió finalmente que la fase de gran amplitud registrada en los instrumentos de largo período, corresponde a la fase pP, reflejada en la superficie terrestre cerca del epicentro.

Las réplicas del sismo que se presentan en la fig. 1.5 ocurrieron en la zona indicada en el mar y fueron localizadas gracias al establecimiento de estaciones sísmicas auxiliares en Casma, Chimbote, Huaraz, Trujillo y

Fig. 1.3 RELACION ENTRE LA PLACA NAZCA Y SU RELACION CON EL EPICENTRO DEL SISMO DEL 31 DE MAYO DE 1971 (LOMNITZ 1971)





T A B L A      1.3

CARACTERISTICAS SISMOLOGICAS DEL TERREMOTO 31-5-70

CARACTERISTICAS	NOAA	CERESIS
Hora Origen	20:23:27.3 GMT	15:23:28 (local)
Epicentro latitud	9.176° S	9.4° S
Epicentro longi- tud	78.823° W	78.9° W
Magnitud Richter	6.60 MB	7.5 Richter
Profundidad del foco	43 Km.	25 Km.



Santiago de Chuco y sus características sismológicas se presentan en la tabla 1.4 extraído del Catálogo de la NOAA.-

#### 1.4 GEOLOGIA DE CHIMBOTE

La ciudad de Chimbote ubicada en la Costa Norte del Perú a 400 Km. de Lima, formando con el Océano Pacífico - la bahía del mismo nombre, presenta geológicamente tres tipos de afloramientos que son representados principalmente por depósitos de origen volcánico y por rocas intrusivas (Pérez Verástegui, 1970).

Volcánico Casma: Pérez Verástegui (1970) describe una secuencia mixta volcánica - sedimentaria (derrames andesíticos y riolíticos) que afloran en las localidades de Casma y Chimbote. En esta última ciudad, el volcánico se encuentra expuesto principalmente en el extremo Norte por los cerros Chimbote y Tambo Real, por otro lado se observa la misma formación en los cerros Península y División ubicados en el extremo Sur-Este de la ciudad. La edad de los depósitos anteriores han sido ubicados a fines del Período Jurásico y Cretácico Superior.

El Intrusivo: Este segundo tipo de afloramiento existente en la zona se encuentra representado por formaciones de granodiorita, cuya coloración oscila entre gris oscuro a gris claro, su grano varía entre medio y grueso; teniendo su mejor exposición en el lado Este de Chim

TABLA 1.4

CARACTERISTICAS SISMOLOGICAS DE LAS REPLICAS DEL SISMO DEL 31 DE MAYO DE 1970

Fuente	Año	Mes	Día	HR	MI	SEGS	LATITUD	LONGITUD	PROF (KM)	MB	MS	MAGNITUD OTRA	ML
CGS	1970	5	31	20	23	27.3	9.176S	78.823W	43	6.60MB	7.8MS	7.60PAS	0.0
CGS	1970	5	31	20	45	52.7	9.793S	78.587W	55	6.00MB	0.0	0.0	0.0
CGS	1970	5	31	21	3	45.0	9.852S	78.814W	33	5.60MB	0.0	0.0	0.0
CGS	1970	5	31	21	23	40.3	10.003S	78.736W	45	5.00MB	0.0	0.0	0.0
CGS	1970	5	31	21	48	4.4	10.222S	78.601W	51	5.60MB	0.0	4.75BRK	0.0
CGS	1970	5	31	23	19	32.1	10.011S	78.725W	46	4.80MB	0.0	0.0	0.0
CGS	1970	6	1	0	41	10.5	9.767S	78.631W	55	4.90MB	0.0	0.0	0.0
CGS	1970	6	1	0	56	40.8	9.820S	78.910W	45	5.10MB	0.0	0.0	0.0
CGS	1970	6	1	1	12	29.6	10.184S	78.696W	45	5.10MB	0.0	0.0	0.0
CGS	1970	6	1	1	36	10.2	9.296S	79.000W	49	6.00MB	5.5MS	5.40BRK	0.0
CGS	1970	6	1	2	21	38.9	10.163S	78.720W	55	5.00MB	0.0	0.0	0.0
CGS	1970	6	1	2	45	21.5	10.152S	78.731W	66	5.80MB	0.0	5.25BRK	0.0
CGS	1970	6	1	4	44	46.1	10.247S	78.690W	46	5.60MB	0.0	5.10BRK	0.0
CGS	1970	6	1	5	15	29.2	10.191S	78.615W	45	5.20MB	0.0	0.0	0.0
CGS	1970	6	1	6	19	21.6	9.672S	78.857W	55	4.80MB	0.0	0.0	0.0
CGS	1970	6	1	9	45	33.5	10.126S	78.606W	48	4.80MB	0.0	0.0	0.0
CGS	1970	6	1	16	37	8.2	9.957S	79.053W	45	4.50MB	0.0	0.0	0.0
CGS	1970	6	1	17	59	27.1	9.985S	78.749W	49	5.10MB	0.0	0.0	0.0
CGS	1970	6	1	19	15	5.9	9.788S	78.815W	55	5.20MB	0.0	4.75BRK	0.0
CGS	1970	6	2	1	37	22.7	9.763S	78.802W	58	5.70MB	0.0	5.38BRK	0.0
CGS	1970	6	2	1	53	33.4	10.046S	78.740W	47	4.60MB	0.0	0.0	0.0
CGS	1970	6	2	2	32	10.7	10.366S	78.735W	42	4.30MB	0.0	0.0	0.0
CGS	1970	6	2	3	39	26.9	10.145S	78.773W	55	4.80MB	0.0	0.0	0.0
CGS	1970	6	2	4	39	55.1	10.238S	78.572W	62	4.60MB	0.0	0.0	0.0
CGS	1970	6	2	10	35	46.0	10.193S	78.747W	58	5.00MB	0.0	0.0	0.0
CGS	1970	6	2	18	22	38.4	10.230S	78.679W	44	5.30MB	0.0	0.0	0.0
CGS	1970	6	2	18	52	16.4	10.209S	78.766W	33	4.80MB	0.0	0.0	0.0
CGS	1970	6	3	2	2	17.5	10.216S	78.662W	45	5.00MB	0.0	0.0	0.0
CGS	1970	6	3	11	9	16.5	9.938S	78.844W	50	4.70MB	0.0	0.0	0.0
CGS	1970	6	4	2	41	21.4	10.027S	78.524W	33	4.70MB	0.0	0.0	0.0
CGS	1970	6	4	4	9	26.3	9.802S	78.626W	57	5.80MB	0.0	6.20PAS	0.0
CGS	1970	6	4	16	48	22.6	9.812S	78.751W	48	5.20MB	0.0	0.0	0.0
CGS	1970	6	4	22	59	51.9	9.522S	79.186W	55	5.30MB	0.0	0.0	0.0
CGS	1970	6	5	5	56	38.1	9.777S	78.555W	62	5.00MB	0.0	0.0	0.0
CGS	1970	6	6	9	10	6.8	10.921S	79.084W	56	4.10MB	0.0	0.0	0.0
CGS	1970	6	7	9	0	3.4	9.791S	78.854W	64	4.70MB	0.0	0.0	0.0
CGS	1970	6	7	11	36	7.4	9.635S	78.717W	65	4.70MB	0.0	0.0	0.0
CGS	1970	6	8	11	31	88.4	9.742S	78.576W	60	4.90MB	0.0	0.0	0.0

bote, dando origen a las colinas de las Pampas de Chimbo te, donde tienen los canales de la irrigadora del mismo nombre.

El Cuaternario: Esta última acumulación geológica se presenta por extensos depósitos de arena eólica, formando muchas veces colinas de poca elevación. Se observa la presencia de materiales aluviales y fluviales formando depósitos a lo largo del lecho antiguo del río Lacramarca, así como en el extremo Norte de la zona en estudio, conocidos como El Cascajal, La Mora, etc.

De lo anteriormente descrito se deduce que la ciudad de Chimbote se encuentra ubicada principalmente en una planicie aluvional formada por el río Lacramarca y limitada por el Norte por cerros de origen volcánico cubiertos por arenas, mientras que en la parte Sur se observa la presencia de zonas planas cubiertas de material eólico. La geología superficial del área de Chimbote se puede clasificar de la siguiente manera: (Morimoto et al 1971).

A: Roca Basal

A1: Roca Basal Volcánica, roca sedimentaria, granitos de edad Cretácea.

A2: Roca Basal cubierta con antiguos depósitos de arenas eólicas.

B: Depósitos Aluviales

B1: Depósitos aluviales del río Lacramarca  
B2: Remanentes de depósitos aluviales antiguos del río Lacramarca.

C: Líneas de Playa

C1: Líneas de playa recientes

C2: Líneas de playa antiguas

D: Arenas Eólicas

D1: Arenas eólicas recientes

D2: Arenas eólicas antiguas

E: Pantanos

F: Terreno de bajo nivel dividiendo el aluvión.

A: Roca Basal o Lecho Rocoso

Está compuesta principalmente por andesitas volcánicas del Cretáceo con lutitas y areniscas y rocas graníticas intruyéndolas. Las rocas volcánicas de la Formación Casma han sido metamorfoseadas por las rocas graníticas intruídas. Estas se encuentran en los cerros del Norte de la ciudad (Tambo Real), mientras que los cerros que se encuentran al Sur Este, están formados de rocas de granito.

B: Depósitos Aluviales

Existen algunos depósitos o planicies aluvionales como son:

B1: Depósitos aluviales del río Lacramarca:

Se desarrollan rellenado el valle del río Lacra marca, de 10 Kms. de largo por 5 Kms. de ancho en la Costa.

La corriente del agua del río Lacramarca desaparece cerca de la cúspide del abanico fluvial, por debajo de la superficie del suelo. La margen marina de la planicie aluvial está truncada oblicuamente por las líneas de la Costa de la parte Norte, donde tiene de tres a cinco metros de alto sobre el nivel del mar y está enmarcada por una loma de playa. Por otro lado, en la parte Sur del abanico aluvial, el depósito gradualmente desciende llegando a pantanos y lagunas. El depósito aluvial tiene zonas de suelos útiles para el cultivo en su superficie.

En términos generales los depósitos aluviales consisten de varias clases de arena, entremezcladas con capas delgadas de arcilla y grava. Las capas de gravas más superficiales se encuentran entre 10 a 20 metros en la parte de tierra adentro del área, haciéndose más delgadas y profundas hacia el nivel del mar.

En las localidades cercanas al mar no se encuentran depósitos importantes de grava hasta los 20 metros de la superficie. Por lo contrario arenas marinas con fragmentos de conchuelas en capas de 5 a 7 metros están intermezcladas en un estrato entre 7 y 15 metros por debajo de la superficie del terreno. Las arcillas y li -

mos no son significativos en el perfil geológico en los primeros 25 metros, aunque hay algunas capas menores de 3 metros de grosor.

Es importante anotar los dos siguientes hechos que son probablemente favorables para la licuación del sub-suelo; el primero es que la arena de la parte superior del perfil es pobremente graduada, probablemente por los efectos del aire, y el segundo es que el nivel del agua freática está bastante cercano a la superficie de 1 a 2 metros de profundidad y algunas veces hasta bajo presión.

B2: Remanentes de Depósitos Aluviales Antiguos del río Lacramarca.

Es una terraza parecida a una banqueta angosta que se apoya en la parte baja de los taludes de las colinas, a lo largo de la margen Norte de la planicie aluvial del río Lacramarca.

La terraza tiene un ancho de 10 a 50 metros y cerca de 20 metros de alto sobre la planicie aluvial. El ángulo inferior de la terraza está cubierta con arena eólica. El canto extremo consiste de un barranco donde se exponen en su parte más alta un lodo gris pobremente consolidado y arenas sucias muy finas de 2 metros de espesor. Los depósitos contienen numerosos residuos de plantas y no tienen indicación de una deposición marina. Son considerados remanentes de la vieja planicie aluvial



escapados de la erosión subsecuente.

B3: Depósitos de llanura de Inundación alrededor del Cerro de Chimbote y Pampa de Irrigación de Chimbote

Las montañas rocosas en la región tienen pendientes suaves y amplias planicies alrededor de ellas. Estas planicies consisten en depósitos de gran espesor de arena gruesa y grava con cantos sub-angulares.

La más grande planicie fluvial típica se extiende al lado Oeste hacia la Costa, desde la Pampa de irrigación de Chimbote, en la que la Urbanización Buenos Aires está presente.

La planicie aluvional debe haber sido formada por inundación por ausencia definitiva de valles en esta planicie. Una similar a la anterior es la del Sur de las colinas de Chimbote, en la que está asentada la planta de acero. Como se muestra en los datos de calicatas pre-existentes, la planicie consiste en una alteración de debris angulares derivados de las montañas adyacentes y arena escogida, probablemente debido al re-trabajo eólico. La planicie aluvional al Norte del Puerto de la Siderúrgica, consiste mayormente en arena retrabajada por el viento y estratificada con debris de rocas. La napa de agua es relativamente profunda, su profundidad es de 16 metros, según calicatas realizadas en la Urbaniza-

ción Buenos Aires.

C: Líneas de Playa

C1: Líneas de Playa recientes.

La cual se encuentra desarrollada a lo largo de la Bahía de Chimbote. Mide generalmente de 20 a 100 metros de ancho y de 3 a 5 metros de altura sobre el nivel del mar. Consiste de capas de arena gruesa laminada con fragmentos de conchuelas. La arena de la playa se entremezcla parcialmente con la arcilla aluvional en los niveles posteriores de la parte central de Chimbote.

C2 C 3 - C4 : Líneas de Playa antiguas

Las cuales se encuentran situadas al Norte de Chimbote. Consisten geológicamente de tres líneas de playa; dos de las cuales tierras adentro son contornos de la línea de la Costa de Tiempos antiguos, cuando el mar llegó allí. Otra línea de playa antigua más notoria y hacia tierra se encuentra a 7 metros por encima del nivel actual y en su superficie se encuentra la actual avenida José Olaya. Otra línea de playa antigua se localiza en el centro del área de las lagunas de la parte Sur de Chimbote que limita con la extremidad Este del barrio Villa María y que se encuentra a un metro sobre la superficie de los mismos.

D: Arenas Eólicas

Los frecuentes vientos prevalecientes del Océano

transportan arenas finas Costa adentro en la dirección - Norte-Noreste y forman dunas en la parte Sur del área de Chimbote. La fuente principal de las arenas eólicas es la Costa Sur de la Bahía de Chimbote y la Costa Norte de la Bahía de Samanco. Junto a estas arenas que forman dunas móviles, en la parte Norte del área de Chimbote existen arenas eólicas antiguas (D2).

Capas bastante gruesas de arenas eólicas recientes cubren la parte Sur de las llanuras aluvionales del río Lacramarca (D1). Las dunas de arena tienen una altura de 10 a 20 metros y están colocadas en dirección paralelas a los vientos predominantes. Las dunas consisten en arena fina uniforme con granos de cuarzo.

La pendiente Sur del Cerro Tambo Real al Norte de Chimbote está cubierta de arena eólica antigua. El barrio San Pedro, El Cementerio y el Reservorio se encuentran en esta pendiente arenosa.

La arena, compuesta de granos finos a gruesos, con tiene pequeños fragmentos de conchuelas. Se estima que el grosor de la arena es de pocos metros. Estas arenas se han formado cuando la Costa marina estaba más cerca del pie de estos cerros.

E: Pantanos

Los pantanos se han formado en las partes bajas que se encuentran cercadas de las llanuras aluvionales.

Están ubicadas en áreas donde las aguas son superficiales, y no pueden drenarse por impedírselo la presencia de alturas circundantes, como por ejemplo los depósitos costeros.

El pantano más extenso del área de Chimbote se encuentra en la parte Sur-Este de la ciudad. Está ubicado en la parte más baja de la planicie aluvional del río Lacramarca. Este pantano se divide en parte externa e interna separadas parcialmente por una línea de playa antigua, cerca de la Carretera Panamericana. El agua de este pantano proveniente de gran número de fuentes en su parte interna y fluye hacia el mar, pasando a través de las dunas y de los depósitos costeros. La fuente de las aguas freáticas es el río Lacramarca, que fluye bajo la superficie del suelo al comienzo mismo del abanico aluvional.

El perfil geológico de este pantano contiene principalmente, arenas medias a gruesas hasta 25 metros de profundidad aunque capas de grava arcillo-limosos se encuentran en algunos niveles. Cabe subrayar que no se ha encontrado sedimentos de fangos al fondo del pantano.

Existe otro pantano en la parte baja al Norte de la ciudad. Está rodeado por el Norte por el cerro Chimbote, por el Este por el cerro Tambo Real, por el Sur por el río Lacramarca y por el Oeste por los depósitos costeros. En términos generales, la parte Norte de este pantano

contiene arena suelta del abanico aluvial que se extiende desde los cerros del Norte, mientras que la parte Sur está formada por arena aluvial y grava del abanico aluvial del río Lacramarca.

F: Terreno de bajo nivel dividiendo el Aluvión

En el valle que cortan y separan los terrenos aluviales, el abanico aluvial del río Lacramarca está recortado en su parte Norte por pequeños valles recientes. Estos valles se desarrollan interiormente con una erosión superficial de los acantilados marinos de 2 a 3 metros de altura sobre el nivel del mar. El término de estos valles llega generalmente a 1 km. o menos de la Costa marina.

El valle más largo, inmediatamente al Sur del centro de Chimbote es de alrededor de 2 km. de longitud. El terreno contiene en su superficie arenas finas licuosas o arenas fangosas con o sin restos orgánicos. No se conoce el espesor de estos depósitos; sin embargo se estima que no pasa de algunos metros.

Se presenta el plano P1.1 ilustrativo de la geología de Chimbote en escala 1: 25000, cuya fuente principal de información es el informe presentado por Morimoto et al (1971).

### 1.5 CONDICIONES DEL SUBSUELO EN CHIMBOTE

Es importante resaltar los estudios realizados, por la Misión Japonesa en el año 1971, los cuales se expondrán en forma resumida, para en un capítulo posterior tratar el tema con mayor amplitud.

La Misión Japonesa revisó los sondeos y las perforaciones de pozos de agua existentes, asimismo realizaron 16 sondeos distribuidos en la ciudad hasta los 25 m. de profundidad para determinar la clasificación del material y determinar valores de penetración estándar (Morimoto et al, 1971).

El subsuelo de Chimbote consiste principalmente de un depósito arenoso potente. En la mayor parte del área, arena media a densa con valores de N de 10 a 30, superyace arena muy densa ( $N > 50$ ) y/o grava hasta la roca basal. La capa de arena superior aumenta de espesor hacia el mar, con espesores de 0 - 5 metros tierra adentro y de 10 - 20 en el área costera. La arena inferior muy densa tiene en algunas áreas capas de arena fina suelta y arcilla dura. El basamento rocoso se localiza a 60 m. en la zona sur, cerca de la costa.

En una parte del puerto norte se ha rellenado con arena suelta. Las áreas entre las líneas de playa antiguas y otras áreas limitadas en la ciudad se supone que han sido rellenados con arena.

La profundidad del nivel freático en la ciudad tiene la tendencia a ser más superficial hacia el mar, teniendo una profundidad de 1 a 2 m. en el área costera y terreno bajo.

En general, las arenas tienden a contraerse bajo vibración, en el terremoto se produjo subsidencia del terreno debido a la compactación de las arenas en una gran área. La subsidencia será mayor si la arena es suelta y de espesor potente. La compactación de las arenas por debajo del nivel freático resultará en expulsión de agua. Esto resultará en la elevación del nivel freático y un flujo de agua hacia arriba. Debido al terremoto, la arena suelta saturada tiene tendencia a decrecer de volumen por lo que la presión de poros aumentará, resultando en un decremento de esfuerzos efectivos y por consiguiente licuación (Alva Hurtado, 1982).

Se cree que una capa de arena fina suelta de 2 m., de espesor en la zona costera, se licuó durante el terremoto de 1970. Sin embargo, debido a que dicha capa está por debajo de la superficie, no se produjeron asentamientos apreciables en Chimbote. En las otras áreas donde se efectuó relleno con arenas sueltas, se produjo licuación superficial y muchos edificios se asentaron. Se cree que el flujo de agua de abajo hacia arriba fue el causante de este tipo de licuación.

Uno de los principales aportes que realizó la Mi -

si3n Japonesa en base al estudio de la geolog3a, condiciones del subsuelo, hidrogeolog3a, microtrepidaciones, instrumentaci3n s3smica y evaluaci3n de da3os, fue la microzonificaci3n s3smica de Chimbote en la cual se distinguen cuatro zonas que a continuaci3n se describen en forma resumida:

Zona I: Subsuelo de grava o roca, con agua subterr3nea a cerca de 10 mts. de profundidad. Pocas posibilidades de asentamientos. Mayor efecto s3smico debido a interacci3n suelo-estructura.

Zona II: Zona cubierta por arena suelta a semi-densa de varios metros de espesor. En la mayor parte el agua se encuentra a 5 mts. de profundidad. S3lo se esperan asentamientos en los bordes de las dunas. Deber3n usarse pilotes para edificaciones de m3s de dos pisos.

Zona III: Suelo arenoso cubierto por delgada capa de tierra agr3cola. Gravas por debajo de 10 mts. Nivel fre3tico a poca profundidad. Posible licuaci3n de arena fina a cierta profundidad. Se tomar3n precauciones especiales en la cimentaci3n.

Zona IV: Zona con nivel fre3tico muy alto, frecuentes zonas pantanosas. El subsuelo es de arenas cubiertas por capa delgada de limo org3nico. Con sistemas los asentamientos son inevitables.



Se presenta el plano P 1.2 que nos muestra las cuatro zonas descritas anteriormente, extraído del Informe de la Misión Japonesa (Morimoto et al, 1971)

#### 1.6 HIDROGEOLOGIA

La ciudad de Chimbote se encuentra abastecida en una fuerte proporción por aguas provenientes del subsuelo y en escala menor por aguas del río Santa, conducidos por los canales de la Irrigadora Chimbote.

Según estudios realizados por Pérez Verástegui (1970) y mediante observaciones de 25 perfiles estatigráficos (8 perforaciones, 17 sondajes mecánicos) y el desarrollo de dos pruebas de bombeo (pozos A-1, N° 6), se determina que existe un acuífero permeable con una napa libre.

El origen de la napa, cuyo sentido de desplazamiento del flujo obedece una orientación Norte-Este, se puede establecer debido a tres fuentes de alimentación:

Del río Santa: Existe un paso natural entre Cambio de Puente y el lecho del río Santa. La presencia de material fluvial en esta zona está indicando que en el pasado un brazo del río discurrió por este lecho. La alimentación actual en profundidad debe producirse desde la parte conocida como "El Gallinazo".

De la Quebrada Lacramarca: Esta cuenca presenta - una precipitación pluvial de 450 Km<sup>2</sup> de alimentación de la napa. Lamentablemente no se tienen verdaderas observaciones de la intensidad de las precipitaciones pluviales que se registran en esta cuenca. De acuerdo a las referencias obtenidas en el lugar, las precipitaciones pluviales son muy irregulares y de baja intensidad.

De las filtraciones en los canales de Irrigación y las zonas de cultivo: Es evidente los importantes escurrimientos que se producen en los canales Tambo del Sol y de la Irrigadora Chimbote. Estos canales captan las aguas del río Santa y a través de muchos kilómetros de desarrollo provocan importantes filtraciones que recargan a la napa. A lo largo de 39 km. del canal de la Irrigadora Chimbote (partiendo a la altura de la ciudad), sólo en una extensión de 2 km. se encuentra impermeabilizada (revestido). Asimismo, en las zonas regadas por estas aguas se producen fuertes filtraciones que incrementan el volumen de la napa.

La napa presente en la zona de Chimbote es del tipo libre, radial, a filetes divergentes. A la altura de Santa Clemencia la napa presenta un ancho de 2 km. y en la bahía, este frente es de 8 km. comprendido entre el barrio El Acero y Villa María Baja.

Un aspecto importante, aunque de él se tiene muy pocas referencias es lo que respecta a la potencia de la napa freática. Una de las perforaciones realizadas por la Empresa Petrolera Fiscal en el lugar denominado el Trapecio, el basamento fue determinado a los 169 mts. De la misma manera, en los trabajos efectuados por la pesquera "Pescamar", a 1000 mts. al Sur-Este del Trapecio y 200 mts. del borde del mar, el basamento fue encontrado a los 92 mts. de profundidad al haberse atravesado una columna freática de 91.20 metros.

Es interesante indicar que la napa freática presenta diferentes gradientes hidráulicos ya que entre los fundos San José y el Pozo N°4 cuya separación es de 3 km. se encontró una gradiente de 8/1000; mientras que entre los pozos N°4 y N°6 distantes 1.5 km. fue de 6/1000. Finalmente, 2 km. antes de alcanzar el borde del mar la gradiente hidráulica se reduce a su mínimo valor con  $i = 1.4/1000$  y  $2/1000$  produciéndose el afloramiento de la napa en extensas zonas por falta de suficiente drenaje.

Luego de pruebas en diferentes pozos se ha podido determinar que la transmisividad media del acuífero es  $T = 2 \times 10^{-2} \text{ m}^2/\text{seg.}$  y como permeabilidad media  $K = 8 \times 10^{-4} \text{ m/s.}$  Se concluye que en todos los perfiles el acuífero se encuentra representado por materiales muy permeables, que garantizan un buen rendimiento de la napa acuífera.

Se presenta la tabla 1.5 que describe las principales características de los pozos tubulares de Chimbote, cuya ubicación se muestra en el mapa P 1.3 de Hidrogeología de Chimbote extraído del "Estudio hidrogeológico de Chimbote" realizado por Pérez Verástegui, 1970. Así también se muestran los perfiles estratigráficos de los pozos anteriormente descritos en la fig. 1.6 extraído del mismo estudio.

## 1.6 CONCLUSIONES

### a) Referente al Sismo del 31 de Mayo de 1970

Fue un sismo destructor de 7.5 grados en la escala de Richter, cuyo epicentro estuvo a 70 km. de la Costa del Perú a 25 km. de profundidad con  $9.4^{\circ}\text{S}$  de latitud y  $78.9^{\circ}\text{W}$  de latitud.

Chimbote al momento del sismo era una de las ciudades de mayor desarrollo relativo con aproximadamente 170,000 habitantes.

Los daños fueron cuantiosos tanto en vidas (50,000 muertos) como en viviendas (60,000 casas) en la zona afectada y tan sólo en Chimbote la pérdida económica al año 1970 fue de 5,500 millones de soles aproximadamente.

### b) Aspectos Sismológicos

## POZOS TUBULARES DE CHIMBOTE

(Pérez Verástegui, 1970)

Pozo N°	Profundidad (mts.)	Diám. del forro	Costas (mts.)		Utilización	Gasto l/s	Observación
			Tapa	Niv. Est.			
C	30.00	12"			Rest. Los Pinos y La Caleta	15	
3	28.30	18"	14.40	13.11	Abast. de la - ciudad	50	Se está ori- ginando asen- tamientos - del acuífero
4	31.00	18"	23.33	20.88	Abandonado	40	A causa del terremoto que dó inutiliza- do.
6	67.00	18"	14.55	11.98	Abast. a la ciudad	30	Inicialmente se obtenía - 60 l/s
7	66.00	18"			Abast. a la ciudad	70	
Pesca- mar	50.00	18"			Abast. a la Harinera - Pescamar	40	Inaug.30/9/ 70 reemp. a otro inut. por el te- rremoto

T A B L A 1.5

(Continuación)

POZOS TUBULARES DE CHIMBOTE

Pozo N°	Profundidad (mts.)	Diám. del forro	Costas (mts)		Utilización	Gasto l/s	Observación
			Tapa	Niv. Est.			
Pesca-mar A	94.00		3.06	2.00	Perforación de Incesg. Propiedad de Pesca - mar		Se trató de - encontrar una napa en recarga y se llegó al basamento
Pet. Fiscal	169.00				Perforación para Investigación		Se llegó al - basamento
23	60.00	18"			Abast. a los muelles 1960	20	Fue perforado en el año de 1960

La causa del sismo fue la interacción de la Placa Nazca con la Sudamericana, produciendo un movimiento sísmico de origen tectónico.

Es recomendable implementar mayor cantidad - de acelerógrafos y sismógrafos, para cumplir con una regionalización sísmica cada vez más detallada y conocer mejor las reglas que rigen a dichos fenómenos.

Se infiere que las aceleraciones producidas por el sismo del 31 de Mayo de 1970 fueron - del orden de  $460 \text{ cm/seg}^2$ .

El sismo de todas las réplicas se localizaron en el mar y este hecho descarta la hipótesis sobre la ocurrencia de dos sismos casi simultáneos con epicentros en el mar y en el Callejón de Huaylas. Como hecho importante sobre esta observación es el hecho de que el sismógrafo portátil instalado en Huaraz no registró réplicas de carácter local.

Las réplicas registradas por el sismo fueron 37 y ocurrieron hasta Junio 8, con magnitudes entre 4 y  $6 \frac{1}{4}$  y profundidades epicéntricas en el orden de 45 a 66 kms.

c) Sobre la Geología de la zona

Chimbote está representado por tres tipos de afloramientos, como son el Volcánico Casma - (derrames andesíticos y riolíticos), el Intrusivo (granodiorita) y el Cuaternario (depósitos de arena eólica), siendo estos afloramientos de origen volcánico y de rocas intrusivas.

Desde el punto de vista de la Geología Superficial, Chimbote es una zona compuesta principalmente por Roca Básica (Cerros Tambo Real), Depósitos Aluvionales formados por el río Lacramarca en una longitud de 10 Kms. y de ancho 5 kms. en la Costa, dejando a su paso depósitos de arcilla y grava, Arenas Eólicas compuesta de granos finos sueltos que cubren barrios como San Pedro, El Cementerio y el Reservorio, así como partes sureñas en la Bahía de Samanco formando dunas.

Finalmente los Pantanos existentes en las partes bajas de las llanuras aluvionales, es otra de las representaciones geológicas importantes de la zona, siendo el ubicado en la parte Sur-Este de la ciudad el más extenso, cuyo perfil contiene principalmente arenas medianamente sueltas, gravas y capas arcilloso-limosas.



d) Sobre las condiciones del subsuelo

El subsuelo de Chimbote consiste principalmente de un depósito arenoso potente. Mayoritariamente la arena es media a densa con valores de N entre 10 a 30, para encontrar arena más densa con valores de  $N > 50$  hasta la roca basal.

Muchas zonas de la ciudad de Chimbote, sufrieron el fenómeno de licuación de arenas debido a la existencia de depósitos poco consolidados y niveles freáticos altos.

Chimbote, desde el punto de vista de las condiciones del subsuelo y niveles freáticos se puede clasificar en cuatro zonas descritas resumidamente en el acápite 1.5 y que se discutirán ampliamente en un capítulo posterior.

e) Referente a la Hidrogeología

Las principales fuentes de alimentación de la napa la conforman el río Santa, las precipitaciones provenientes de la Quebrada Lacramarca y las filtraciones de los canales de Irrigación y las zonas de cultivo.

La napa presente es del tipo radial, libre y a filetes divergentes, con gradientes hi -

dráulicos entre 2 y 8 por mil, con afloramiento de la misma, en extensas zonas cercanas al mar, por falta de suficiente drenaje.

En la mayoría de los perfiles del acuífero se encuentra representado por materiales muy permeables del orden de  $K = 8 \times 10^{-4}$  m/seg. garantizando un buen rendimiento.

## C A P I T U L O    I I

### RIESGO SISMICO

- 2.1 INTRODUCCION
- 2.2 SISMICIDAD REGIONAL
  - 2.2.1 SISMICIDAD HISTORICA
  - 2.2.2 SISMICIDAD INSTRUMENTAL Y CATALOGO DE SISMOS
  - 2.2.3 REVISION DE LA INFORMACION MACROTEC TONICA Y GEOLOGICA
- 2.3 ANALISIS DE RIESGO SISMICO
  - 2.3.1 FUNDAMENTOS DEL ANALISIS DEL RIESGO SISMICO
  - 2.3.2 EVALUACION DE FUENTES SISMOGENICAS
  - 2.3.3 ANALISIS ESTADISTICO DE RECURRENCIA
  - 2.3.4 LEYES DE ATENUACION
  - 2.3.5 EVALUACION DEL RIESGO SISMICO

## 2.1 INTRODUCCION

El presente estudio tiene por objeto evaluar el riesgo sísmico de la zona afectada por el sismo del 31 de Mayo de 1970, para lo cual se tomarán como representativas a las ciudades de Chimbote y Huaraz, que fueron las más castigadas en las regiones Costa y Sierra respectivamente.

El trabajo en su primera parte comprende una revisión de la actividad sísmica ocurrida en el pasado, presentándose la información de datos históricos de los sismos más severos que afectaron la región. Las características de terremotos ocurridos en la zona en los últimos años no se presenta, por escapar al objetivo principal del capítulo, pero se puede consultar la información disponible según referencias al final, Torres y Alva (1982). La revisión de la información macrotectónica y geológica es también resumida, por cuanto se trató extensamente en el capítulo anterior.

El análisis del riesgo sísmico se ha realizado aplicando la metodología desarrollada por A. Cornell (1968) y modificada por R. Mc Guire (1976), ésta es una metodología mixta desarrollada parte en forma estadística como se verá más adelante. Los cálculos fueron efectuados usando su programa de cómputo RISK.

En el proceso de evaluación del riesgo, se ha estu-

diado las fuentes sismogénicas considerando la actividad sísmica y características tectónicas.

En base al análisis estadístico, se plantea la expresión que gobierna la recurrencia de terremotos, determinando los parámetros, a y b, de la fórmula de Richter (1958):

$$\text{Log } N = a - b M$$

De la revisión de trabajos realizados sobre leyes de atenuación, se han determinado expresiones para las ecuaciones de atenuación de aceleraciones, velocidades y desplazamientos, en función de la magnitud y la distancia hipocentral.

Finalmente, considerando la influencia de las fuentes sismogénicas, el estudio de recurrencia y las leyes de atenuación, se evalúa el riesgo sísmico de las ciudades de Chimbote y Huaraz. Para cada lugar, se ha determinado y trazado una curva representativa de las probabilidades (riesgo) que en períodos de diez, cincuenta, cien o más años ocurran sismos cuya aceleración máxima para igual o mayor que un valor esperado.

## 2.2 SISMICIDAD REGIONAL

El estudio cubre la zona donde se localizan las ciudades de Chimbote y Huaraz, que se encuentran ubicadas en el Departamento de Ancash de la Costa hacia la Cordillera de los Andes.

La zona en estudio se encuentra comprendida entre - las franjas sismogénicas del litoral y la subandina. Se ha estudiado el área macrosísmica entre las coordenadas 0° y 15° Latitud Sur y las coordenadas 73° y 83° Longitud Oeste. Se considera dicha área en el estudio de riesgo sísmico de las ciudades de Chimbote y Huaraz.

La sismicidad regional involucra el estudio de la sismicidad histórica e instrumental, así como la información macrotectónica y geológica, para lograr una adecuada caracterización de la actividad sísmica de la zona en estudio.

#### 2.2.1 SISMICIDAD HISTORICA:

Esta información comprende la actividad ocurrida en el pasado, de la cual no se posee datos instrumentales.

Los sismos históricos presentados en el Anexo 2.1 están basados en el trabajo presentado por Silgado (1969, 1973, 1975 y 1978). Sin embargo, estos sismos son solamente los destructores y no denotan toda la actividad sísmica de la zona. Durante el presente siglo son 17 los sismos que de aquella naturaleza han ocurrido en el área de influencia.

De acuerdo a la información en un período de aproximadamente 400 años, se concluye que se han producido intensidades altas y que por atenuación se estima co-

mo mínimo, intensidades de VII a VIII en la escala de Mercalli Modificada, la gran mayoría han tenido lugar en la Costa.

### 2.2.2 SISMICIDAD INSTRUMENTAL Y CATALOGO DE SISMOS

El desarrollo de la Sismología en los últimos tiempos así como la mayor cantidad de instrumental registrado res de sismos en Sudamérica y la sofisticación de éstos, permiten ubicar con mayor exactitud los hipocentros sísmicos y poder medir la magnitud.

Así considerando el mejoramiento de los registros instrumentales, la obtención de datos sismológicos se divide en 3 períodos bien definidos:

- 1) Antes de 1900                      datos históricos descriptivos de sismos destructores
- 2) De 1900 a 1962                    datos instrumentales con determinaciones aproximadas de localización e hipocentros. Las magnitudes están en función de las ondas superficiales.
- 3) De 1962 a 1981                    datos instrumentales con determinaciones precisas de localización e hipocentros. Las magnitudes están en función de las ondas corpóreas.

Los datos utilizados para la elaboración del catálogo instrumental han sido tomadas del catálogo sísmico de la National Oceanic and Atmospheric Administration de los Estados Unidos.

Una copia en cinta magnética de dicho catálogo lá - posee la Universidad Nacional de Ingeniería. Para mayor información referente a los sismos grandes destructores que han afectado la zona en referencia, que tienen registro instrumental, se puede recurrir a (Silgado, 1978).

### 2.2.3 REVISION DE LA INFORMACION MACROTECTONICA Y GEOLOGIA

El Perú forma parte de una de las regiones de más alta actividad sísmica en el mundo, cual es el cinturón circumpacífico. Los rasgos tectónicos más importantes de la región occidental Sudamericana, la Cordillera de los Andes y la fosa oceánica Perú-Chile están relacionadas a la generación de sismos en esta zona como consecuencia de la interacción de dos placas convergentes la Placa Nazca y la Sudamericana. Esta es la teoría de placas propuesta por Isacks et al, (1968).

La idea básica de la teoría es que la envoltura más superficial de la tierra, la Litósfera, se halla dividida en varias placas rígidas que crecen a lo largo de estrechas cadenas meso-oceánicas casi lineales; dichas placas son transportadas en otra envoltura menos rígida



la Astenósfera y son comprimidas o destruídas en los límites compresionales de interacción, donde la corteza terrestre es comprimida en cadenas de montañas, o donde existen fosas marinas (Berrocal et al, 1975).

El mecanismo básico que causa el movimiento de placas no se conoce, pero se dice que es debido a corrientes de convección o movimientos de manto plástico y caliente de la tierra y también a los efectos gravitacionales y de rotación de la tierra.

Los límites o bordes de las placas raramente coinciden con los márgenes continentales, pudiendo ser de 3 tipos:

- 1) Según cordilleras axiales, donde las placas divergen una de otra y en donde se genera un nuevo suelo oceánico.
- 2) Según fallas de transformación a lo largo de las cuales las placas se deslizan una respecto a la otra.
- 3) Según zonas de subducción, en donde las placas convergen y una de ellas se sumerge bajo el borde delantero de la suprayacente.

Se ha observado que la mayor parte de actividad tectónica en el mundo se concentra a lo largo de los bordes de las placas. El frotamiento mutuo de estas placas es lo que produce los terremotos, por lo que la localización de éstos delimitará los bordes de las mismas.

La placa Sudamericana crece de la cadena meso-oceánica del Atlántico, avanzando hacia el noreste con una velocidad de 2 a 3 cm. por año y se encuentra con la Placa Nazca en su extremo occidental, constituido por la costa sudamericana del Pacífico. Por otro lado, la Placa Nazca crece de la cadena meso-oceánica del Pacífico oriental y avanzando hacia el este a una velocidad de 5 a 10 cm. por año, subyaciendo debajo de la Placa Sudamericana con una velocidad de convergencia de 7 a 12 cms. por año (Berrocal et al, 1975).

Como resultado del encuentro de las dos placas y la subducción de la Placa de Nazca, han sido formadas la Cadena Andina y la fosa Perú-Chile en diferentes etapas evolutivas. El continuo interaccionar de estas dos placas da origen a la mayor proporción de actividad sísmica en nuestro continente. La Placa Nazca se sumerge por debajo de la Sudamericana hasta una profundidad de 650 kms. por debajo de la frontera Perú-Brasil y Noreste de Argentina. La distribución espacial de los hipocentros confirma la subducción de la Placa Nazca, aún cuando existe controversia debido a la ausencia de actividad sísmica entre los 300 - 550 Kms. de profundidad (Berrocal et al, - 1975).

Se han señalado además ciertas discontinuidades de carácter regional que dividen el área de provincias tectónicas separadas por zonas de transición sismotectónicas (Deza y Carbonel, 1978).

Los rasgos tectónicos superficiales más importantes en el área de estudio son (Berrocal et al, 1975):

Fosa Oceánica Perú - Chile

Dorsal de Nazca

Porción hundida de la costa al norte de la península de Paracas.

Cadena de los Andes

Unidades de deformación y sus intrusiones magmáticas.

Sistemas regionales de fallas normales, inversas y de sobreescurrecimientos.

La Dorsal de Nazca tiene una influencia decisiva en la constitución tectónica de la parte occidental, donde se nota un marcado cambio en la continuidad de los otros rasgos tectónicos en la parte oceánica la dorsal de Nazca divide la fosa oceánica en la fosa de Lima y la fosa de Arica.

La Cadena Andina es el rasgo tectónico más evidente. Su orogénesis es un producto de la interacción de las placas litosféricas, cuyo desarrollo está todavía vigente.

La parte occidental del área de estudio está constituido por varias unidades tectónicas de diferente grado de deformabilidad, debido a su diferente litología y época de formación. La unidad de deformación Precambiana

no presenta actividad sísmica, mientras que la unidad de deformación Paleozoica presenta actividad sísmica de profundidades superficiales e intermedias, tal como en la zona de Huaytapallana cerca de Huancayo, en Cuzco y en Abancay.

El contacto de la unidad de deformación Supra-Terciaria con las unidades más antiguas, está asociado con sistema de fallas normales e inversas. Otro rasgo importante de esta unidad lo constituye las deposiciones volcánicas que son antiguas hacia el norte de la zona de transición y modernas y antiguas hacia el Sur (Deza y Carbonell, 1978).

### 2.3 ANALISIS DE RIESGO SISMICO

#### 2.3.1 FUNDAMENTOS DEL ANALISIS DEL RIESGO SISMICO

El riesgo sísmico se define por la probabilidad que en un lugar determinado ocurra un movimiento sísmico de una intensidad igual o mayor que un cierto valor fijado. En general, se hace extensivo el término - intensidad a cualquier otra característica de un sismo tal como su magnitud, la aceleración máxima, el valor espectral de la velocidad, el valor espectral del desplazamiento del suelo, el valor medio de la intensidad en la escala Mercalli Modificada u otro parámetro.

La ocurrencia de un evento sísmico es de carácter

aleatorio y la teoría de las probabilidades es aplicable en el análisis de riesgo de su ocurrencia. Aplicando esta teoría se puede demostrar que si la ocurrencia de un evento A depende de la ocurrencia de otros eventos:  $E_1, E_2, \dots, E_n$ , mutuamente excluyentes y colectivamente exhaustivos; entonces de acuerdo al teorema de la "probabilidad total" se tiene para la probabilidad de ocurrencia de A:

$$P(A) = \sum_i^n P(A/E_i) \cdot P(E_i)$$

Donde  $P(A/E_i)$  es la probabilidad condicional que ocurra, dado que  $E_i$  ocurra.

La intensidad generalizada (I) de un sismo en el lugar fijado puede considerarse dependiente del tamaño del sismo ( la magnitud o intensidad epicentral) y de la distancia del lugar de interés. Si el tamaño del sismo (S) y su localización (R) son considerados como variables aleatorias continuas y definidas por sus funciones de densidad de probabilidad  $f_S(s)$  y  $f_R(r)$  respectivamente; entonces el riesgo sísmico definido por la probabilidad que la intensidad I sea igual o mayor que una intensidad dada será:  $P(I \geq i)$  y está dada por:

$$P(I > i) = \iint P[I/(s,r)] \cdot f_S(s) \cdot f_R(r) \, ds \cdot dr$$

Esta es la expresión que resume la teoría desarrollada por Cornell en 1968, 1971; Merz y Cornell 1973 para analizar el riesgo sísmico.

La evaluación de esta integral es efectuada por el programa RISK desarrollado por R. Mc Guire (1976) en el cálculo del riesgo sísmico.

### 2.3.2 EVALUACION DE FUENTES SISMOGENICAS

Se han utilizado las fuentes sismogénicas establecidas en el trabajo de Zonificación Sísmica del Perú de Casaverde y Vargas (1980).

Se ha mantenido la misma nomenclatura de las zonas sismogénicas utilizando sólo aquellas que tienen influencia en las ciudades de Chimbote y Huaraz. La figura 2.1 presenta las fuentes sismogénicas utilizadas. El área de influencia está limitada por Latitud  $0.05^{\circ}$  S y  $14.90^{\circ}$ S; y Longitud  $73^{\circ}$ W y  $83.05^{\circ}$ W.

La determinación de las fuentes sismogénicas se ha basado en el mapa de distribución de epicentros, así como las características tectónicas del área de influencia. Se han representado las fuentes como áreas, ya que no existen suficientes datos como para modelar fallas como fuentes lineales.

La mayor parte de los sismos ocurridos en el área considerada es producto de la interacción de las Placas

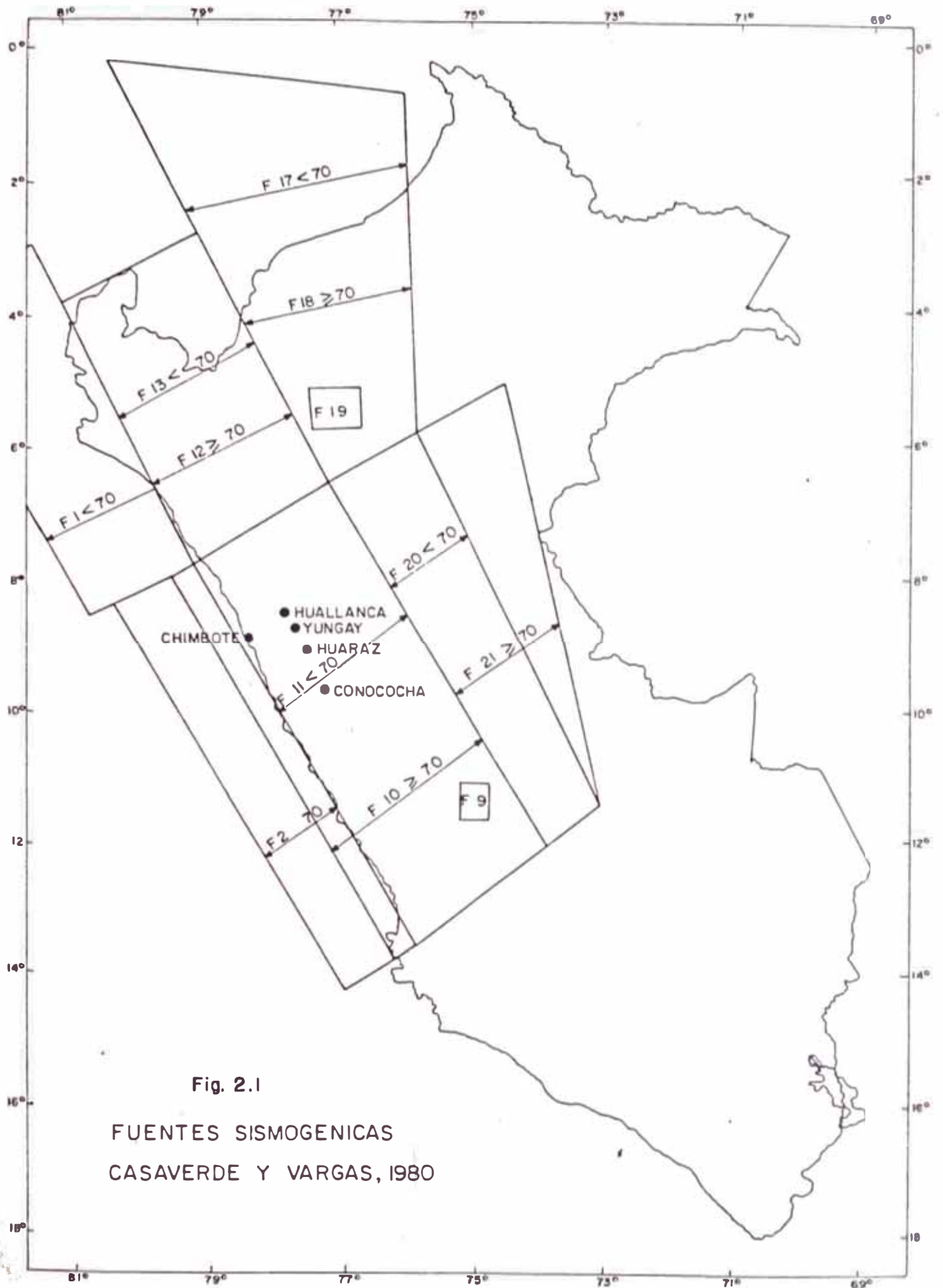


Fig. 2.1

FUENTES SIMOGENICAS  
 CASAVARDE Y VARGAS, 1980

de Nazca y Sudamérica.

La Placa de Nazca penetra debajo de la Sudamérica a ángulos variables. A medida que avanza hacia el Continente, la placa de Nazca se profundiza, por lo que pueden distinguirse fuentes del litoral que representan los sismos superficiales de la zona de Benioff como las fuentes 1 y 2 (0-70 kms), también las hay superficiales asociadas a la actividad sísmica regional Andina 0-70 kms. representadas por las fuentes 11, 13, 17 y 20. Por otro lado las fuentes 10,12, 18 y 21 corresponden a sismos de profundidad intermedia (70-110- Kms.) relacionados con la superficie de Benioff.

Las fuentes 9 y 19 finalmente están asociados a la falla de Huaytapallana y a una falla aún no definida, respectivamente.

La tabla 2.1 presenta las coordenadas de las fuentes sismogénicas utilizadas (Casaverde y Vargas, 1980).

### 2.3.3 ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE RECURRENCIA

La información dada por el catálogo instrumental - hasta el año 1963 es incompleta en cuanto a informaciones de magnitud y profundidad focal, utilizándose la información a partir de 1963 para la realización del análisis estadístico de la recurrencia sísmica para las zonas sismogénicas ubicadas anteriormente.



T A B L A      2.1

COORDENADAS DE LAS FUENTES SISMOGENICAS

Fuente	1		2		3		4	
	Lat°S	Long°W	Lat°S	Long°W	Lat°S	Long°W	Lat°S	Long°W
F <sub>1</sub>	4.35	83.05	3.50	81.45	8.80	80.90	8.00	79.25
F <sub>2</sub>	8.60	80.50	8.00	79.25	14.90	77.10	14.08	76.00
F <sub>9</sub>	11.40	75.30	11.40	74.80	12.00	75.30	12.00	74.80
F <sub>10</sub>	8.20	79.65	6.80	77.20	14.30	76.30	12.45	73.80
F <sub>11</sub>	8.00	79.25	6.80	77.20	14.08	76.00	12.45	73.80
F <sub>12</sub>	3.90	81.25	2.80	79.20	8.00	79.25	6.80	77.20
F <sub>13</sub>	3.90	81.25	2.80	79.20	8.00	79.25	6.80	77.20
F <sub>17</sub>	0.05	80.60	0.55	76.00	6.80	77.20	5.90	75.80
F <sub>18</sub>	0.05	80.60	0.55	76.00	6.80	77.20	5.90	75.80
F <sub>19</sub>	5.25	77.50	5.25	76.75	5.85	77.50	5.85	76.75
F <sub>20</sub>	6.80	77.20	5.90	75.80	12.45	73.80	11.90	73.00
F <sub>21</sub>	6.80	77.20	5.10	74.50	12.45	73.80	11.90	73.00

La ocurrencia de terremotos se determina de acuerdo a la expresión de Richter (1958):

$$\log N = a - bM$$

donde:

N = Número de sismos de magnitud M o mayor por unidad de tiempo

a, b = Parámetros que dependen de la sismicidad de la región.

La expresión anterior se puede escribir como:

$$N = \gamma_0 e^{-\beta M}$$

donde:

$\gamma_0 = 10^a$  es el número de sismos por unidad de tiempo con  $M > 0$ .

$$\beta = b \ln 10$$

En el caso de tener un nivel inferior de magnitud  $M_0$ , en lugar de magnitud igual a cero, las expresiones de recurrencia se convierten en:

$$\log N_{M_0} = a_{M_0} - b(M - M_0)$$

$$N_{M_0} = \gamma_{M_0} e^{-\beta(M - M_0)} \quad M \geq M_0$$

Los parámetros estadísticos de recurrencia para cada una de las fuentes sismogénicas se ha calculado utilizando los valores de magnitudes de ondas de cuerpo, para luego convertirlos a valores de magnitudes de ondas de superficie mediante la expresión de Richter (1958):

$$m_b = 2.50 + 0.63 M_s$$

El valor de  $Q_{M_0}$  es la tasa de actividad sísmica para el límite inferior de magnitud determinada a partir del catálogo y  $b_{M_s} = 0.63 b_{mb}$  determinado a partir de las curvas de recurrencia de la Figura 2.2.

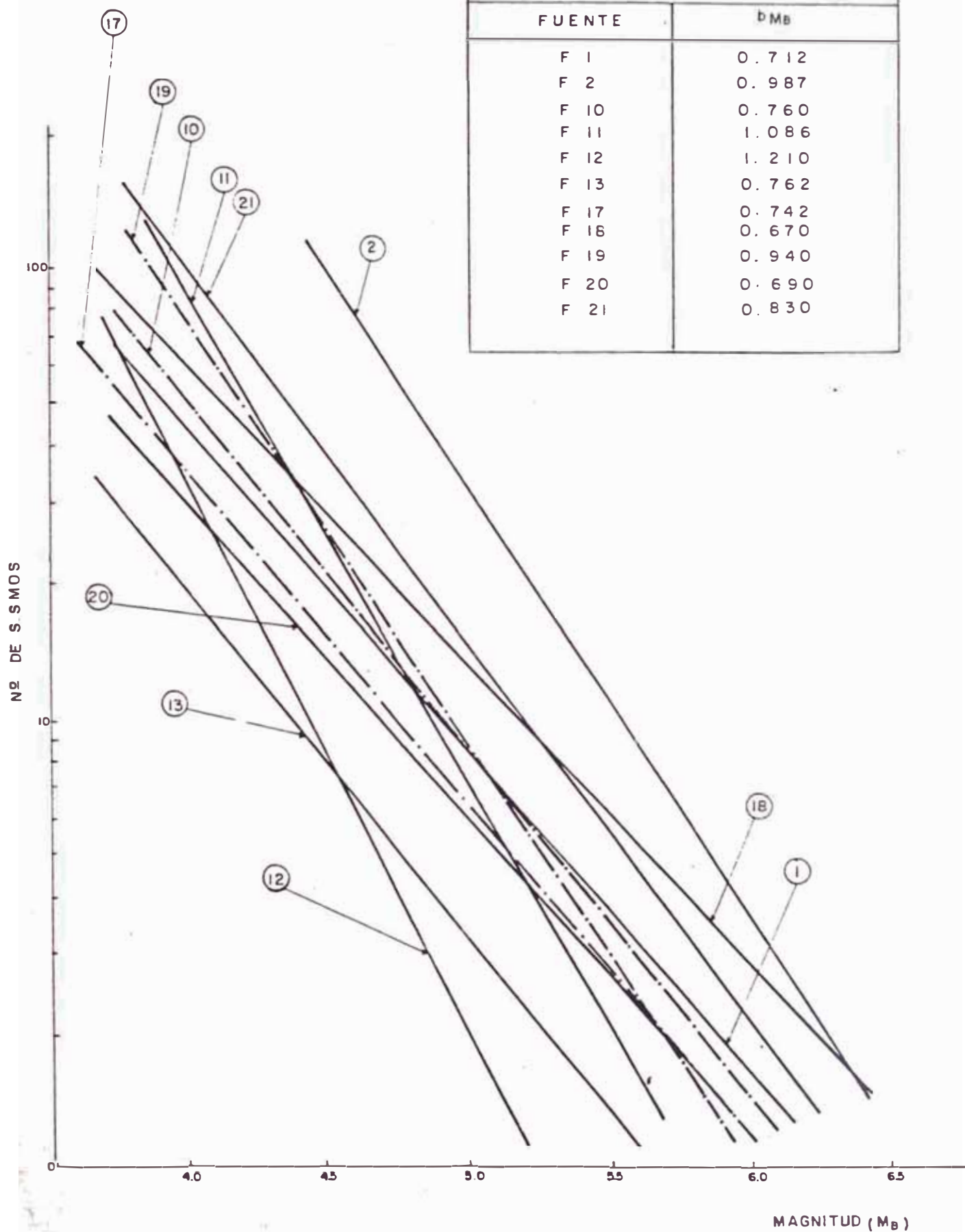
El análisis estadístico de los parámetros de recurrencia se realizó considerando los datos de 1963-1981. La tabla 2.2 presenta los parámetros de recurrencia utilizados.

#### 2.3.4 LEYES DE ATENUACION

Se han utilizado en este trabajo las leyes de atenuación de aceleraciones, velocidades y desplazamientos propuestas por Vargas (1979) y Casaverde y Vargas (1980). Estas leyes están basadas en los registros de acelerógrafos de las componentes horizontales de diez sismos peruanos (Brady y Pérez, 1977, Alva Hurtado y Chang, 1978) - registrados en Lima y alrededores. Es notoria la menor atenuación de los sismos en otras partes del mundo (Cloud y Pérez, 1971). Los sismos fueron registrados en el local del Instituto Geológico en la Plaza Habich, el Instituto Geofísico en la Avenida Arequipa, en Zárate, en la casa del Dr. Huaco en las Gardenias y en La Molina.

Fig. 2.2 CURVAS DE RECURRENCIA POR FUENTE  
L.CASAVARDE y J.VARGAS N.(1982)

RELACIONES DE RECURRENCIA	
FUENTE	b Mb
F 1	0.712
F 2	0.987
F 10	0.760
F 11	1.086
F 12	1.210
F 13	0.762
F 17	0.742
F 18	0.670
F 19	0.940
F 20	0.690
F 21	0.830



MAGNITUD (Mb)

T A B L A 2.2

PARAMETROS DE RECURRENCIA

(Casaverde y Vargas, 1982)

Fuente	Mag. Inf.	Mag. Máx.	1963		1981		Profundidad Km.
			$\beta$		Tasa		
F <sub>1</sub>	5	7.38	1.033		0.503		25
F <sub>2</sub>	5	7.60	1.432		0.969		10-20-30-40-50
F <sub>9</sub>	5	5.60	1.364		0.150		5
F <sub>10</sub>	5	7.00	1.103		0.421		70-100
F <sub>11</sub>	5	7.25	1.575		0.150		25-35-45
F <sub>12</sub>	5	6.50	1.755		0.027		70
F <sub>13</sub>	5	7.00	1.105		0.100		25
F <sub>17</sub>	5	7.30	1.076		0.374		25
F <sub>18</sub>	5	7.90	0.972		0.887		70
F <sub>19</sub>	5	7.50	1.364		0.211		5
F <sub>20</sub>	5	7.30	1.000		0.256		25
F <sub>21</sub>	5	6.75	1.204		0.615		70

Las leyes son:

Atenuación de aceleraciones:

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

Atenuación de Velocidades:

$$v = 13 e^{1.0 M_s} (R + 25)^{-1.5}$$

Atenuación de desplazamientos:

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

donde:

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

$v$  , es la velocidad en  $\text{cm/seg}$

$d$  , es el desplazamiento en  $\text{cm}$

$M_s$  , es la magnitud de las ondas superficiales

$R$  , es la distancia hipocentral en  $\text{Kms}$ .

Es evidente que existe escasez de datos de registros de aceleraciones en el Perú. La mayoría de los registros existentes son para la ciudad de Lima y alrededores. Sin embargo, debe notarse que existe bastante dispersión de los datos de atenuación de energía sísmica con distancia hipocentral. La figura 2.3 presenta la ley de atenuación de aceleraciones utilizada.

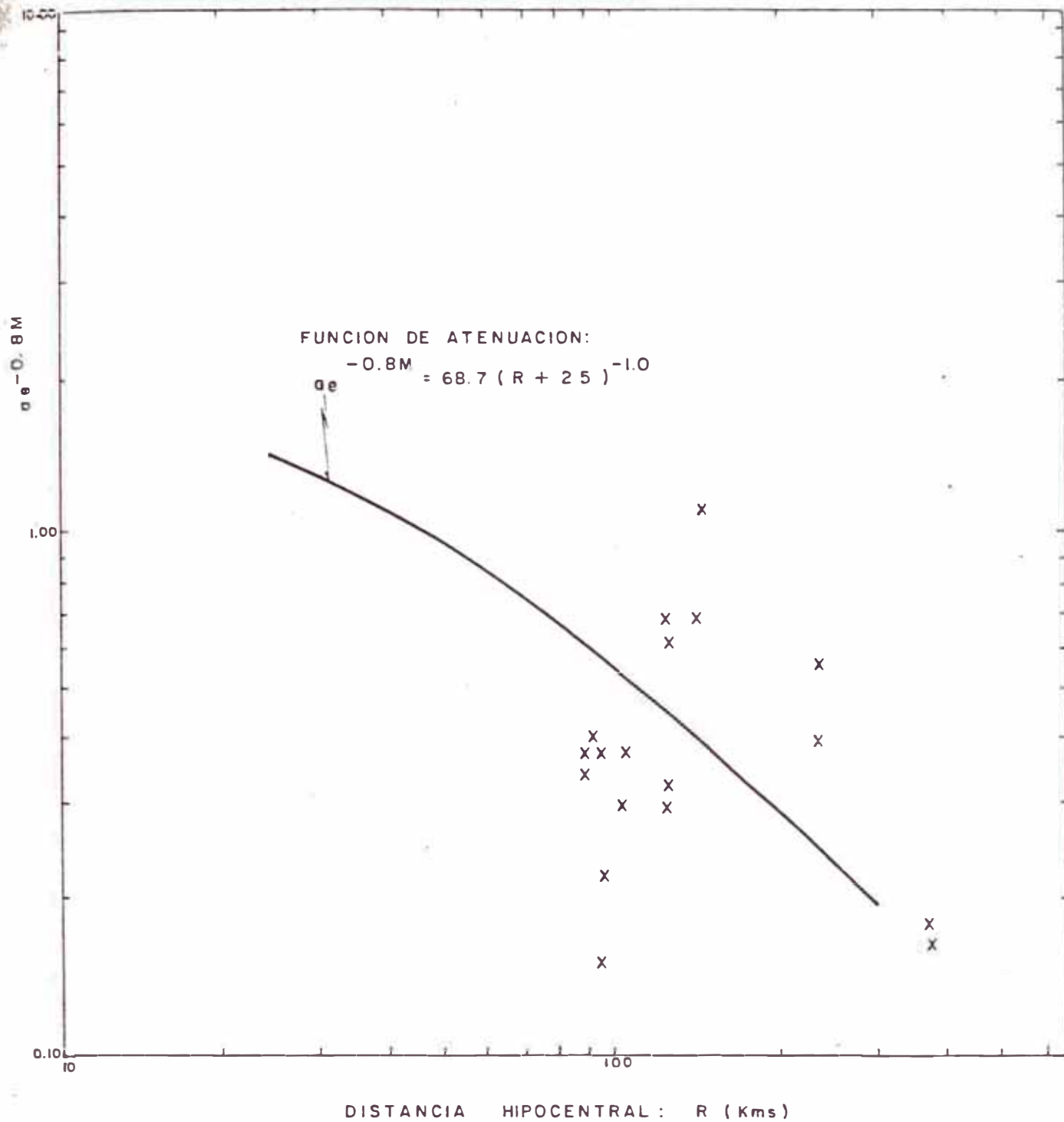


Fig. 2.3

Variación de la Aceleración Máxima con la Distancia Hipocentral

L.CASAVARDE y J. VARGAS N. 1982

### 2.3.5 EVALUACION DEL RIESGO SISMICO

El riesgo sísmico para las dos ciudades escogidas es evaluado usando el programa de cómputo RISK desarrollado para este análisis por R. Mc Guire. Se determina las probabilidades de ocurrencia de un sismo cuya aceleración máxima sea igual o mayor que ciertos valores esperados. Estas probabilidades (riesgos) se calculan para lapsos especificados: diez, veinte, treinta, cincuenta, cien, doscientos, quinientos y mil años.

Los lugares representativos son:

- Chimbote : 78.67° W , 9.08° S
- Huaraz : 77.57° W , 9.53° S

Los resultados del análisis para aceleraciones se presentan en la tabla 2.3, 2.4 y 2.5.

De estos resultados se observa que la ciudad de Chimbote espera fuertes movimientos sísmicos, mayores que los que se registrarían en la ciudad de Huaraz, como valores resaltantes es bueno nombrar las aceleraciones esperadas dentro de 50 años tanto para Chimbote como para Huaraz, siendo de  $240 \text{ cm/seg}^2$  y  $185 \text{ cm/seg}^2$  respectivamente.

Con los valores obtenidos en el cómputo se han trazado curvas de riesgo (probabilidades de ocurrencia) versus aceleraciones máximas para las dos ciudades. Estas gráficas se ilustran en las Figuras 2.4 y 2.5.



T A B L A      2.5

ACELERACIONES    MAXIMAS    ESPERADAS

P E L I G R O    S I S M I C O			
RECURRENCIA  SISMICA	PELIGRO SISMICO  ANUAL	ACELERACION	
		Chimbote (cm/seg <sup>2</sup> )	Huaraz <sup>2</sup> (cm/seg <sup>2</sup> )
0.1000	10	122.13	107.21
0.0500	20	165.27	135.86
0.0333	30	197.36	156.11
0.0200	50	240.95	185.82
0.0100	100	314.16	232.92
0.0050	200	403.27	290.50
0.0020	500	548.91	379.51
0.0010	1000	684.48	458.85

Fig. 2.4

RIESGO SISMICO DE CHIMBOTE.

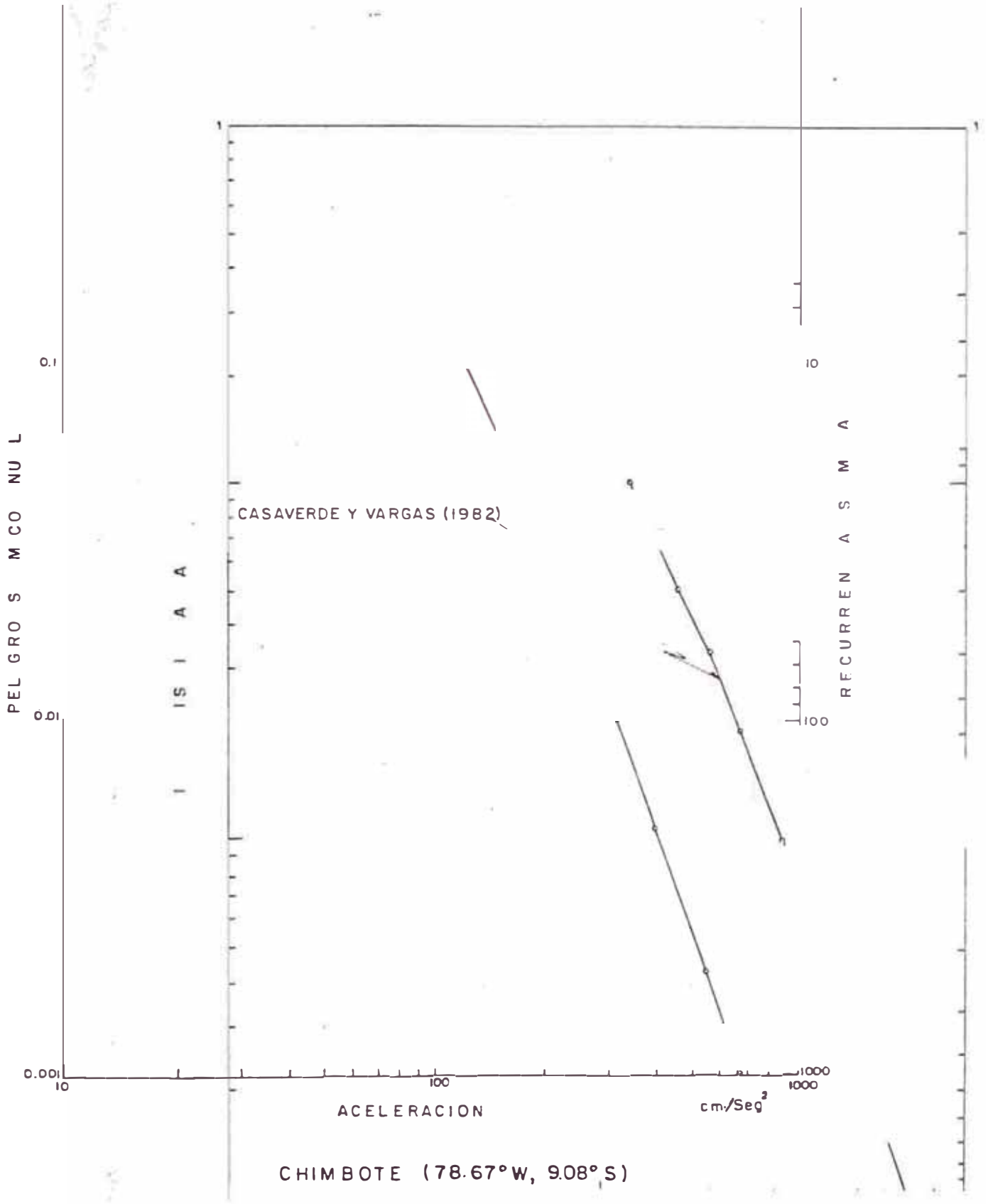
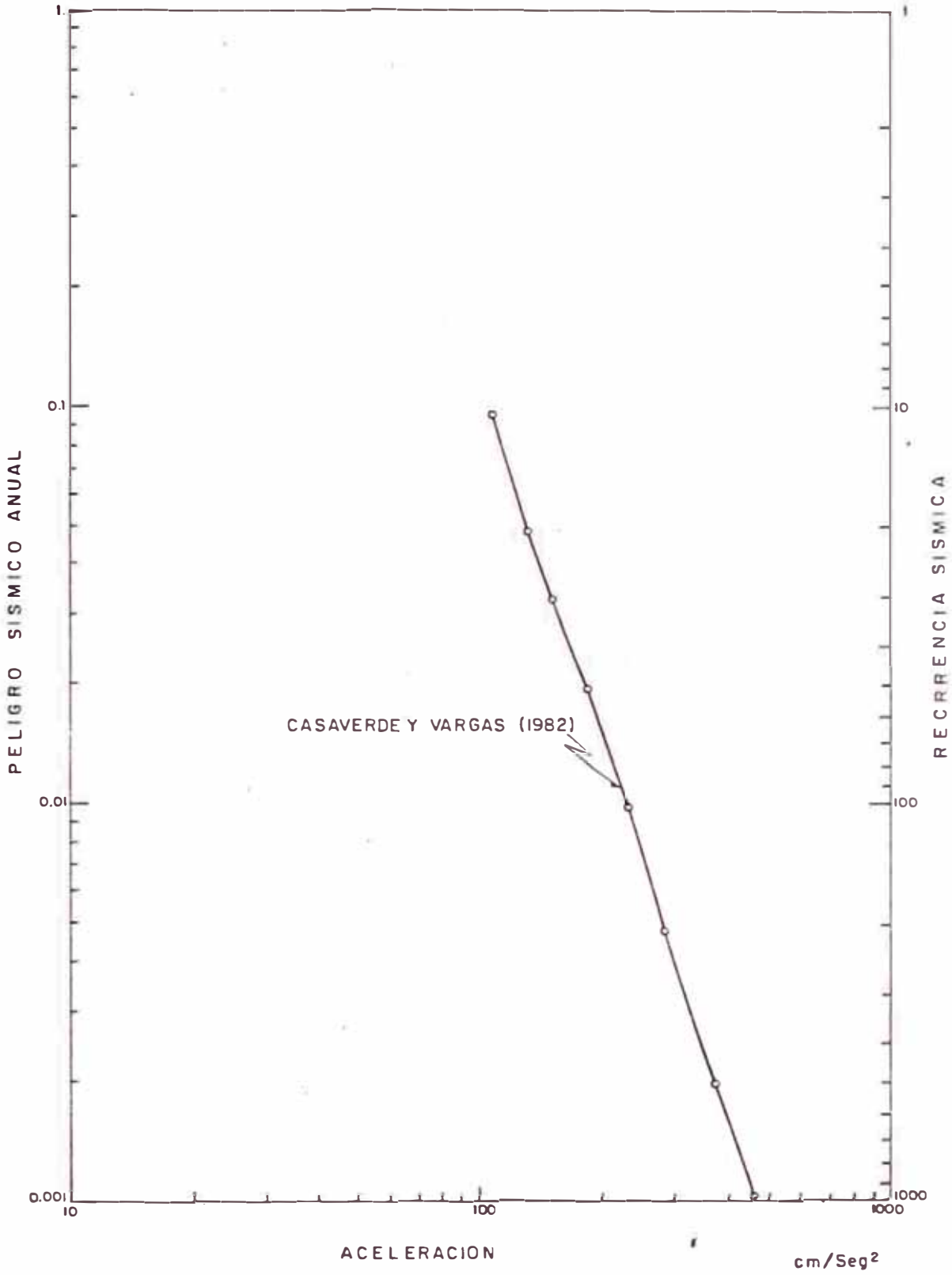


Fig. 2.5

RIESGO SISMICO DE HUARAZ



HUARAZ ( 77.57°W, 9.53° S )

Se ha evaluado probabilísticamente el riesgo sísmico de las ciudades de Chimbote y Huaraz empleando metodologías y parámetros existentes en la literatura del País. El nivel de confianza utilizado en la determinación de los valores propuestos es de 63%, a mayor nivel de confianza y mayor tiempo de exposición corresponde una mayor aceleración utilizando la metodología indicada. También se ha podido evaluar velocidades, desplazamientos o intensidades sísmicas.

## C A P I T U L O   I I I

- 3.1    INTRODUCCION
- 3.2    CARACTERISTICAS DEL SUBSUELO DE CHIMBOTE
  - 3.2.1    ZONA NORTE
  - 3.2.2    ZONA CENTRAL
  - 3.2.3    ZONA SUR
- 3.3    ZONAS DE EXPANSION
- 3.4    LICUACION DE ARENAS EN CHIMBOTE
- 3.5    ENSAYOS DE MICROTREPIDACIONES
- 3.6    MICROZONIFICACION DE CHIMBOTE
- 3.7    CONCLUSIONES

### 3.1 INTRODUCCION

La influencia del suelo sobre los daños que en una estructura podrían ocurrir en presencia de movimientos sísmicos es muy importante, por ejemplo en suelos con alta tendencia a sufrir fenómenos como licuación o densificación provocando asentamientos diferenciales muy peligrosos en la cimentación.

Chimbote es una ciudad cimentada sobre un tipo de suelo cuya característica predominante es la presencia de depósitos de suelos granulares por excelencia y esta condición asociada al hecho de existencia de niveles freáticos altos, hacen de estos suelos susceptibles de amplificaciones de las ondas sísmicas y ocurrencia del fenómeno de licuación de suelos.

Con motivo del terremoto del 31 de Mayo de 1970, muchas misiones de investigadores llegaron al Perú para estudiar los efectos del sismo, los cuales abarcaron aspectos geológicos, condiciones de suelo, evaluación de daños etc. Una de las misiones cuyas investigaciones abarcó además de los aspectos anteriores, estudios de microtrepidaciones, análisis del movimiento del terreno y microzonificación fue la Misión Japonesa, cuyas recomendaciones se exponen en el presente capítulo por ser un aporte muy importante para el estudio de la Vulnerabilidad Sísmica de la ciudad de Chimbote.

Una de las maneras para **microzonificar sísmicamente** un área es mediante ensayos de microtrepidaciones, las cuales tratan de establecer el período predominante del suelo en base a las respuestas dinámicas a la acción de cualquier perturbación externa. Con motivo de los estudios de Vulnerabilidad y gracias a la ocasión de contar con un aparato de Microtremor se realizaron ensayos de microtrepidaciones en algunos puntos de la ciudad de Chimbote, cuyos resultados se muestran en el presente capítulo.

### 3.2 CARACTERISTICAS DEL SUBSUELO DE CHIMBOTE

Debido a que el comportamiento sísmico de los suelos ha originado efectos poco conocidos por la incidencia de terremotos severos y dado que actualmente es muy importante tomar en cuenta la influencia de las condiciones locales del suelo en los daños producidos por los sacudimientos sísmicos, en el área de Chimbote se han efectuado estudios e investigaciones tendientes a lograr correlaciones válidas para establecer los parámetros necesarios para estimar las fuerzas y efectos que sobre las estructuras ingenieriles desplantadas sobre el terreno donde pueden ocurrir en las diferentes zonas de desarrollo urbano de la ciudad de Chimbote; ahora bien, debido a la compacidad y humedad del suelo de la ciudad y sus alrededores, puede ocurrir que en depósitos relativamente

compactos las vibraciones sísmicas se transmitan con un grado de amplificación o amortiguamiento sin pérdida de resistencia o deformaciones locales significativas y se originan efectos sobre las estructuras pero sin daños directos en su cimentación. Por el contrario en depósitos de suelos en estado suelto, parcial o totalmente saturados de agua puede ocurrir que las vibraciones sísmicas originen una pérdida de resistencia al cortante del suelo o susciten importantes densificaciones como se observó en las partes altas de Chimbote en el sismo de Mayo de 1970 que se manifiesta con asentamientos diferenciales importantes, acompañados de corrimientos, fisuramientos y surgencia de agua, que hace al suelo inestable y por lo tanto muy peligroso para apoyar estructuras, tanto urbanas como industriales que se proyectan para el futuro en el área de Chimbote.

En el presente acápite se tiene la intención de exponer los principales rasgos estratigráficos del subsuelo de Chimbote en base a estudios realizados en la zona por diferentes investigadores.

A manera de introducción se presenta el mapa P3.1 que nos muestra la ubicación de los sondeos realizados en la ciudad de Chimbote y cuyas características se describen a continuación.

### 3.2.1 Zona Norte

Esta área constará para el estudio de los barrios de San Pedro, Pensacola, Casco Urbano, La Caleta



y la Siderúrgica de Chimbote. San Pedro está en una zona cubierta de arena suelta a parcialmente densa cuyos niveles freáticos oscilan de 4.50 a 5.00 metros de profundidad (Morimoto, 1971) como lo demuestran los sondajes N° 15 y N° 16 realizados en dicha zona.

En la Siderúrgica de Chimbote se han realizado varios estudios (Michelena y Assoc., 1974; Jacobs, 1979, Carrillo, 1974) y todos coinciden en indicar la presencia de agua superficial con N.F. entre 0.5 y 1.00 metros y cubierta por una capa de material orgánico de relleno; en las capas inferiores se detectan depósitos de arena fina a media con lentes de limo y gravilla en pequeño porcentaje (Morimoto, 1971).

Se ha determinado que el coeficiente de uniformidad  $C_u$  de la arena de la zona se encuentra entre 2.0 y 8.97, mientras que su  $D_{10}$  (10% que pasa) está comprendido entre 0.010 m.m. a 0.15 m.m. (Carrillo, 1975), propiedades muy importantes de cuantificar para análisis de licuación como se verá más adelante; finalmente la zona presenta resistencias a la penetración estándar de 7 a 12 golpes/pie a 1.0 m. de profundidad y de más de 20 golpes/pie a mayores profundidades que 2.0 mts., se estima que la roca basal se encuentra entre 10 y 15 mts. de profundidad.

El área del Casco Urbano presenta niveles freáticos en promedio de 1.50 mts. superficialmente hay arena limosa con un espesor entre 0.15 y 0.30 mts. siguiendo un po

tente estrato de arena fina a semigruesa con lentes de caliche y gravas subangulosas donde a partir de los 10.0 mts. consiste principalmente de arena fina a media, con escaso porcentaje de Limo (Alva Hurtado, 1982 Carrillo, 1980), entre las propiedades de esta zona se puede indicar que presenta un Cu de 2.08 a 10 y diámetro  $D_{10}$  entre 0.011 m.m. a 0.18 m.m. y que su resistencia a la Penetración Estándar alcanzan valores menores de 15 golpes/pie en la mayoría de los casos (Carrillo, 1975), aumentando con la profundidad hasta llegar a ser mayores de 50 a los 5.0 mts., en general la capacidad portante es de  $1.5 \text{ Kg/cm}^2$ .

Finalmente la zona de La Caleta y el Puerto está formado por suelo limo-arenoso fino suelto con restos de materiales orgánicos y marinos con potencias de 1.5 m cerca de la playa a más de 4 m. lejos de la playa, en toda el área el estrato inferior está compuesto de arena fina a media de densidad medianamente compacta que descansa sobre un estrato profundo de grava media de variable espesor como lo demuestran los estudios de Tudor, 1962; Carrillo, 1972; y Livesey & Henderson, 1972.

### 3.2.2 Zona Central

Para el análisis **estratigráfico** de esta zona se ha considerado como tal el área comprendida entre la urbanización 21 de abril y el barrio Pueblo Libre hasta la zona de Villa María baja, pasando por barrios como

Miraflores 1ra. zona, Miraflores 2da. zona, Miramar Alto y Bajo, Florida Baja y Alta, La Libertad y Trapecio principalmente.

En la zona de Miramar Bajo se ha encontrado una capa de material orgánico que cubre superficialmente la zona como lo demuestran los sondajes 13 y 7 realizados por Morimoto, 1971 que describen un subsuelo predominantemente arenoso de granos finos a medios extendiéndose hasta cerca de los 10.0 mts. de profundidad a partir de los cuales se observan arenas limosas hasta toparse a los 20 mts. con presencia de grava. En esta zona se observan niveles freáticos oscilantes entre 0.70 mts. a 1.40 mts. detectados en diversos sondajes. Por los barrios de Miraflores cerca a la carretera se han observado resistencias de 8 a 12 golpes/pie a 2.00 mts. de profundidad, superando los 40 golpes por pie a 4.00 mts. debajo de la superficie.

El barrio del trapecio ha sido un área investigada con fines portuarios como lo comprueban los estudios realizados por Tudor, 1962; Carrillo, 1972 y Livesey & Henderson 1972, los cuales coinciden en afirmar que en las costas el lecho del mar está compuesta de 4.0 a 6.0 mts. de arena fina y arena limosa con presencia de conchuelas, el cual cubre un estrato denso a muy denso de arena fina con presencia de lentes de arcilla y grava fina. Para cimentaciones superficiales comunes se prevee

una capacidad de carga admisible para el suelo de  $1.15 \text{ kg/cm}^2$  considerándose que la zona presenta características potenciales importantes para sufrir licuación y densificación por efectos de movimientos sísmicos severos, debiendo considerarse para las obras portuarias importantes o de gran magnitud, cimentación profunda calculada para resistir los efectos previstos. Más al Sur por el barrio de 27 de Octubre se observa que la zona es predominantemente arenosa pobremente graduada, ubicados los niveles freáticos por el metro de profundidad, a diferencia de lo encontrado por el barrio de Villa María Baja, donde el nivel freático es más superficial y cubierto por material muy fino de relleno; en general presenta suelos sueltos a medianamente compactos (Carrillo, 1972).

### 3.2.3 Zona Sur

La parte Sur de Chimbote incluye a barrios como Villa María Alta y urbanizaciones como Buenos Aires, Nuevo Chimbote, Casuarinas y Canalones. Estudios realizados en esta zona, indican que la característica predominante son los niveles freáticos profundos muchos de los cuales se encuentran después de los 16 mts.

La mayor parte de esta zona es arena gruesa a fina, con presencia en algunas partes de grava, caracterizándose la urbanización Buenos Aires por estar cimentada en un estrato potente de arena gruesa a fina pobremente graduada a 20 mts. de espesor, mientras que en la

urbanización Nuevo Chimbote la potencia del estrato anterior alcanza valores de 3.5 a 4.0 mts. debajo de los cuales se observan arenas finas y medias con regulares porcentajes de arcilla hasta profundidades mayores de 16.0 mts., como lo demuestran los estudios realizados por Morimoto, 1971.

La capacidad portante en esta área varía entre  $1.4 \text{ kg/cm}^2$  cerca a la Carretera Panamericana, hasta valores de  $2.0 \text{ kg/cm}^2$  en las zonas más alejadas y pruebas de resistencia a la penetración estándar arrojan valores mayores de 12 golpes/pie a partir de los 0.60 mts. de profundidad, creciendo rápidamente a mayores profundidades (Michelena y Asociados, 1971).

Mayormente se ha observado que en esta área, según investigaciones hechas por Carrillo, 1972, la arena presenta un  $C_u$  comprendido entre 2.5 y 8.0 mientras que en igual sentido su  $D_{10}$  varía de 0.05 m.m. a 0.25 m.m.. El suelo tiene una capacidad portante de 1.0 a  $2.0 \text{ Kg/cm}^2$  para cimentaciones superficiales.

Luego de la descripción anterior de las condiciones del suelo de la ciudad de Chimbote, se presentan las características de los sondajes realizados por Morimoto et al, 1971 en la tabla 3.1, así como las fig. 3.1 - que nos muestra los perfiles estratigráficos de los sondajes anteriores.

**T A B L A 3.1**

S O N D A J E S P O R M O R I M O T O et. al 1971		Clasif. hasta (1M)	Clas. Predo			
Zona	Ensayo	UBICACION	Profundidad de sondaje (Mts)	Nivel Freático (Mts)	Clasif. hasta (1M)	Clas. Predo
Norte	1	Av. Industrial	27.00	0.00	ML	SP-CL
Norte	2	Calle Inca Garcilazo de la Vega 6ta cdra.	25.00	3.25	ML	SP
Centro	3	Zona Alto Perú	25.00	0.70	ML	SP-CL
Sur	4	Carretera Panamericana Sur	26.00	0.65	ML	SP-SM
Sur	5	Zona Buenos Aires - Frente calle Huaraz	20.00	16.15	GP	SP
Centro	7	Zona Miramar Bajo - Frente inst. Industrial	22.65	4.25	SM	SP-ML
Norte	8	Zona "La Caleta" Marítima Pesquera	25.80	1.67	SP	SP-SM
Centro	10	Miraflores 2da. zona Esq. Jr. Callao y Av. Pardo	15.86	1.40	SM	SP-ML
Sur	11	Zona 27 de Octubre Av. Los Pescadores	16.41	1.00	SP	SP
Sur	12	Zona Alta "Buenos Aires"	16.25	16.0	SP	SP-SC
Centro	13	Zona Miramar Bajo- Esc. República de Francia	25.45	0.70	SP	SP-ML
Norte	15	Urb. Pensacola. Calle Pallascas	10.40	4.60	ML	SP-SM
Centro	17	Zona Miraflores Alto. Av. Pardo	10.34	0.80	SP	SP

SP: Arena fina a media pobremente graduada

CL: Arcilla con arena fina, bien plástica

SM: Arena fina a media con regular porcentaje de Limo

ML: Suelo Limo-arenoso muy compresible

### 3.3 ZONAS DE EXPANSION

La ciudad de Chimbote al igual que otras en el Perú es una ciudad que por su carácter pesquero y siderúrgico, está en proceso de crecimiento demográfico, circunstancia que obliga a la población habitar zonas que antes no lo estaban.

Es la intención de este acápite exponer la situación actual de Chimbote observada y discutida también en el "Forum Chimbote Año 2000" así como indicar propiedades de suelos en algunas zonas especialmente sureñas, donde en un futuro no muy lejano serán pobladas.

Algunas situaciones referentes a lo anteriormente nombrado que causan preocupación en Chimbote, se pueden sintetizar en lo siguiente (Hermoza, 1982):

Autorización de construcciones (en especial vivienda industrial) en zona no conforme (PP.JJ. San Juan - Zona de Totorales) Zonificación en área pantanosa, recomendada para zonas recreacionales.

Falta total de control urbano, existiendo diversas construcciones clandestinas sin técnica adecuada (mala calidad de ladrillo, preparación en su mayor parte en "Situ", falta de criterio en el diseño de anclaje y empalme de armadura de vigas-columnas-muros).

Autorización de licencia de construcciones que no se complementa con una adecuada supervisión de obra, el que se limita por la falta de implementación técnica del respectivo Consejo. Esto incluye el certificado de uso conforme a construcciones con mayores coeficientes de áreas construídas y altura de edificación sin ningún sustento técnico.

En lo que respecta a zonas todavía no habitadas, en las cuales se han realizado estudios de suelos se pueden citar:

Carrillo, 1972; en el cual se da una descripción del tipo de estratigrafía existente del suelo desde la zona de Buenos Aires hasta cerca de 14 km. al sur de la ciudad, distinguiéndose áreas de arena fina en estado suelto cuya forma es la de dunas que son transportadas por el viento, en las cuales se esperan problemas de densificación ubicadas principalmente al pie de las quebradas San Antonio y Río Seco.

Estudios realizados por P. y V. ingenieros, 1980 para el parque industrial "San Antonio" en Chimbote, en base a cerca de 200 pozos exploratorios a una profundidad promedio de 2.00 mts., indican que la superficie está cubierta de arenas finas de origen eólico, bastante sueltas. Debajo de las arenas, a pro



fundidad variable se encuentra el basamento constituido por rocas ígneas de tipo **granodioríticas**. La capacidad portante de la zona en estudio para un ancho de zapata de 1.00 mts. varía con la profundidad siendo de  $0.5 \text{ kg/cm}^2$  para una profundidad de cimentación de 1.00 mts. mientras que valores de  $1.05 \text{ kg/cm}^2$  se pueden considerar para profundidades de 2.00 mts.

El área de Buenos Aires principalmente representado por un subsuelo de arena pobremente graduada mezclado con limo y gravilla en estado seco y medianamente compacto es una estratigrafía característica que se presenta también en una franja de aproximadamente 4 km. de ancho en la que la Carretera Panamericana la secciona longitudinalmente en su centro a lo largo de 8 km. hacia el Sur.

Finalmente es importante describir el subsuelo del área que divide a la Bahía de Chimbote con la de Samanco gracias a los estudios realizados por Michelena, 1974 entre las playas Alconsillo y Lancón para el proyecto **Astillerero Sima** - Chimbote al Sur Oeste de la ciudad, en la que la estratigrafía predominante es arena fina a media con ligeros porcentajes de limo y superficialmente presencia de conchuelas que hace de este suelo SP - SM, encontrándose cantos rodados en ciertas partes a partir de los 30.0 mts.

La fig. 3.2 extraída del estudio de Carrillo, 1972

expone las principales características de las condiciones del suelo de la zona de expansión de la ciudad de -  
Chimbote.

### 3.4 LICUACION DE ARENAS EN CHIMBOTE

El cambio de suelo firme a un fluido denso con la -  
ocurrencia de un sismo, se denomina licuación. El suelo  
pierde su resistencia cortante, las estructuras se hunden  
en el suelo y ocurren grandes flujos de tierra.

Este fenómeno ocurre en arenas saturadas (Alva Hurta  
do, 1982).

Las principales manifestaciones de dicho fenómeno  
son:

- 1) El suelo pierde su capacidad portante, con el hundimiento de estructuras.
- 2) Los taludes y terraplenes pierden su resistencia y se generan flujos de suelo y lodo.
- 3) Aparecen conos o volcanes de arena
- 4) Los pilotes y cajones de cimentación flotan o pierden su resistencia lateral.

Para que ocurra una licuación, la resistencia del -  
suelo debe ser nula o muy pequeña. Como la resistencia  
de los suelos friccionantes depende del esfuerzo efectivo, éste debe ser disminuído por el incremento del exce-

so de presión de poros, debido a la ocurrencia de un sismo. Basado en las experiencias de licuación en el Japón Kishida (1969, 1970) presenta las siguientes reglas prácticas para determinar la posibilidad de licuación en un suelo granular:

- 1) Que el suelo sea una arena fina con el diámetro promedio  $D_{50}$  comprendido entre 0.07 m.m. y 0.4 m.m.
- 2) Que el suelo sea uniforme con un coeficiente de uniformidad menor de 2.
- 3) Que el suelo sea suelto con una densidad relativa menor de 75%.
- 4) Que el esfuerzo efectivo vertical sea menor de  $2.0 \text{ kg/cm}^2$ , es decir a una profundidad inferior a 20 mts. por debajo de la superficie.
- 5) Que el valor de la penetración estándar sea menor que el doble de la profundidad, en metros.
- 6) Que exista un nivel freático alto y que exista en la zona la posibilidad de ocurrencia de un terremoto severo.

Existen metodologías simplificadas para determinar la posibilidad de ocurrencia de licuación en un sitio específico, entre las cuales destacan el método simplificado basado en el comportamiento del suelo en terremotos pasados, el método simplificado basado en procedimientos

de estimación de ciclos uniformes equivalentes y el método analítico utilizando esfuerzos de corte por medio de análisis de respuesta del terreno, expuestas en el IV Congreso de Ing. Civil (Alva Hurtado, Orihuela, 1982).

Estudios al respecto se han realizado en Chimbote de terminando que para la zona de la Siderúrgica para una aceleración de 0.15 g. correspondiente a un sismo promedio, el fenómeno no se produciría y para un sismo de mayor aceleración, esto es 0.20 g es probable que ocurra hasta los 1.50 mts. de profundidad (Carrillo, 1974).

En el Casco Urbano se ha determinado que para distintas aceleraciones como 0.15 g. el fenómeno se produciría hasta los 3.50 mts. de profundidad y para aceleraciones de 0.20 g. y 0.30 g y de 30 ciclos se produciría hasta los 5.0 a 6.0 mts. de profundidad respectivamente expuestas en los estudios de Carrillo, 1980 y Alva Hurtado, 1982.

En forma general para toda el área de Chimbote se puede afirmar que:

De presentarse un sismo de grado VII a VIII en la escala de Mercalli Modificada, la ciudad de Chimbote presentaría problemas de licuación hasta los 12.0 mts. para terrenos cuyo N.F. esté comprendido entre los 0.0 mts. a 0.60 mts. y profundidad hasta de 10.0 mts. en zonas cuyo nivel freático esté comprendido entre 2.60 mts. y 3.50 mts. de

profundidad.

- Debajo de los 12.0 mts. no se producirá licuación.
- Para terrenos cuyo nivel freático esté a más de 3.50 mts. de profundidad no se producirá licuación si es que el sismo tiene una aceleración menor o igual de 0.15 g.
- Para suelos que tengan N.F. a profundidades de 0.60 mts. los primeros 5.0 mts. deberían compactarse a valores iguales o superiores a 25 golpes/pie; y los siguientes 5.0 mts. a valores iguales o superiores a 35 golpes por pie.
- Para suelos que presentan N.F. comprendido entre 2.60 y 3.50 mts. deberían compactarse a valores de 20 golpes/pie los primeros 10 mts. y los siguientes metros no tendrían problemas ya que su compactación aumenta considerablemente.

Conclusiones a las que se llega gracias al trabajo realizado por Hernández, 1978. A manera de ilustración se presenta el mapa P3.2 donde se especifica las zonas donde ocurrió licuación de arenas en el último terremoto del 31 de mayo de 1971 extraído del informe de la Misión Japonesa (Morimoto 1971), así como la tabla 3.2 extraída de la misma fuente, que nos describe los daños ocurridos en la ciudad en las diferentes condiciones geológicas existentes.

Tabla 3.2

Naturaleza de los daños en relación a la geología  
Morimoto et al. 1971

Geología de Chimbote	Asentamiento en la cimentación de las construcciones		Asentamiento del terreno		Ascenso /o sumergencia del nivel de agua	Arenas volcánicas	Naturaleza de grietas en el Terreno	Zonificación del área	Causa de mayor daño en el terreno	Características de los daños en las construcciones
	Asentamiento	Asentamiento	Asentamiento	Asentamiento						
A Area Rocosa	○	○	○	○	○	○	No agrietado	Zona - I		Daño debido a la vibración sísmica
B3 Planicie aluvial	△	●	○	○	○	○	Asentamiento gravitacional	Zona - II	Colapso de las dunas arenosas	Asentamiento diferencial y corrimiento lateral de la cimentación
B1 Planicie aluvial del río Lacramarca	△	○	○	○	○	●	Grietas con volcanes de arena	Zona - III	Debido a licuación	Daños en la cimentación de las construcciones
E Pantanos	●	○	●	○	○	○	Grietas debido a la compactación diferencial de los depósitos	Zona - IV	Licuación general	Asentamiento de la cimentación y ascenso del nivel de agua

● Notable

△ Insignificante

○ No existe

### **3.5 ENSAYOS DE MICROTREPIDACIONES**

Uno de los aspectos que se trataron con el propósito de llegar a las metas propuestas sobre el alcance de los estudios de vulnerabilidad sísmica de Chimbote, fue respecto a los ensayos de microtrepidaciones realizados en la ciudad, los cuales ayudarían a conocer las propiedades dinámicas del suelo y así dar recomendaciones y aportes al logro de una zonificación más detallada por ser éste, otro de los objetivos de las investigaciones realizadas.

Antes de nombrar los lugares en la ciudad donde se efectuaron estos ensayos, es importante a manera de introducción explicar lo que se entiende por mediciones de microtrepidaciones así como el estado de conocimiento que del suelo de la ciudad de Chimbote se tenía con respecto a estos estudios.

Se define como microtrepidaciones a la respuesta dinámica del suelo a la acción de cualquier perturbación externa y su objetivo es encontrar el período predominante del suelo. Se sabe que el suelo está permanentemente vibrando debido al tráfico ya sea éste originado por el paso de vehículos, personas, etc. (Villanueva, 1975).

La importancia de las mediciones de microtrepidaciones estriba en que en base a ellas se puede hacer una micro-zonificación del suelo desde el punto de vista de las propiedades dinámicas. Cabe indicar que la principal limitación de la aplicación del método para una micro-zoni

ficación sísmica es el hecho de que el suelo vibra, en carencia de sismo, en un rango lineal ya que las micro-trepidaciones son pequeñas amplitudes, mientras que al momento de un movimiento sísmico, las amplitudes superan el rango elástico, pero es un aporte importante que al conjugarse con otros aspectos, nombrados en otro capítulo, se consigue el objetivo prioritario de microzonificación sísmica.

Uno de los precursores en este tipo de trabajo en el Perú fue Morimoto et al 1971, quienes conformaron la Misión Japonesa, y al respecto realizaron ensayos de microtrepidaciones en cerca de 15 puntos. El equipo que usaron para lograr tal fin fue el "Micro-tremor", que es un aparato de alta sensibilidad que mide las vibraciones de muy pequeña amplitud del suelo, básicamente consiste en tres partes, para cumplir con su objetivo, cuyas funciones son grabar, amplificar y registrar las vibraciones existentes.

La Universidad Nacional de Ingeniería, como parte del proyecto SISRAECOSIS patrocinado por el Centro Regional de Sismología para América del Sur, complementando los ensayos realizados por la Misión Japonesa en 1970, realizó ensayos de microtrepidaciones (Chávez et al, 1983). Ambos estudios se presentan en las tablas 3.3 y 3.4 que nos muestran los períodos predominantes, medio y mayor de cada ensayo realizado, así como la clasifica-



## RESULTADOS DE MICROTREPIDACIONES EN CHIMBOTE - MISION JAPONESA (MORIMOTO et. al, 1971)

PUNTO	UBICACION	PERIODOS (segs.)			TIPO DE SUELO (KANAI)
		Predominante (To)	Medio (Tm)	Mayor (Tl)	
1	Plaza de Armas	0.24		0.66	
3	Urb. La Caleta	0.09		0.41	
4	Urb. La Caleta	0.09		0.84	
5	Urb. La Caleta	0.15		1.06	
6	Cerca de Sogesa	0.15	0.227	0.96	II-III
7	Cerca antena TV	0.28/0.9		1.71	
10	Villa María	0.18/0.60		3.56	
		0.93/1.35			
13	San Pedro	0.09	0.2	1.20	III-IV
15	Jr. Unión cdra. 6	0.33	0.43	1.23	III-IV
16	Jr. Unión cdra. 1	0.27	0.40	1.53	IV
19	Panamericana Sur (Pozo 4)	0.27	0.32	1.26	III-IV
20	Jr. Ica Alto Perú (Pozo 3)	0.28	0.35	1.20	III-IV
21	G.UE. San Pedro Miramar Baja	1 0.28 2 0.33	0.43 0.32	2.00 1.16	IV III
24	Villa María	0.22	0.491	2.10	IV

## RESULTADOS DE MICROTREPIDACIONES EN CHIMBOTE - ECOSIS - UNI (1983)

PUNTO	UBICACION	PERIODOS (segs.)			Amplitud mayor (u)	TIPO DE SUELO (KANAI)	
		Predominante (To)	Medio (Tm)	Mayor (Tl)		Diagrama I	Diagrama II
1 - E-0	Hospital Regional (Este)	0.680	0.985	2.250	0.090	IV	II
N-S	"	0.8201.0	0.954	2.250	0.130	IV	II
2 - E-0	Buenos Aires - Panameri-	0.090	0.130	0.675	0.050	I-II	I
N-S	"	0.090	0.150	0.825	0.050	II	I
3 - E-0	Villa María	0.3000.36	0.394	2.250	0.185	IV	II
N-S	"	0.245	0.226	1.450	0.125	IV	I-II
4 - E-0	27 de Octubre	0.090	0.154	0.450	0.350	I-II	II
N-S	"	0.090	0.140	0.550	0.330	I-II	II
5 - E-0	Zona pantano	0.110	0.127	0.450	0.200	I	I-II
N-S	"	0.250	0.210	0.550	0.150	I-II	II

ción del tipo de suelo planteada por Kanai, la misma que se presenta en el Anexo 3.1.

La ubicación de las mediciones de microtrepidaciones se muestran en el plano P3.1 de clasificación de suelos por microtrepidaciones de Kanai. Los puntos ejecutados por ECOSIS-UNI, como se observa fueron ensayados en las partes sureñas de la ciudad de Chimbote, los espectros de distribución frecuencia - período se muestran en las fig. 3.3 a 3.7.

De acuerdo con los estudios realizados por Morimoto et al 1971, así como por ECOSIS-UNI se puede concluir que desde el punto de vista de los ensayos de microtrepidaciones la ciudad de Chimbote se puede clasificar en tres zonas:

#### Parte Norte

Esta área incluye barrios como San Pedro, Sogesa y partes costeñas con los cerros. Los períodos predominantes en esta área son aproximadamente de 0.1 seg., esto muestra que la base del terreno parece ser dura y densa.

#### Parte Central:

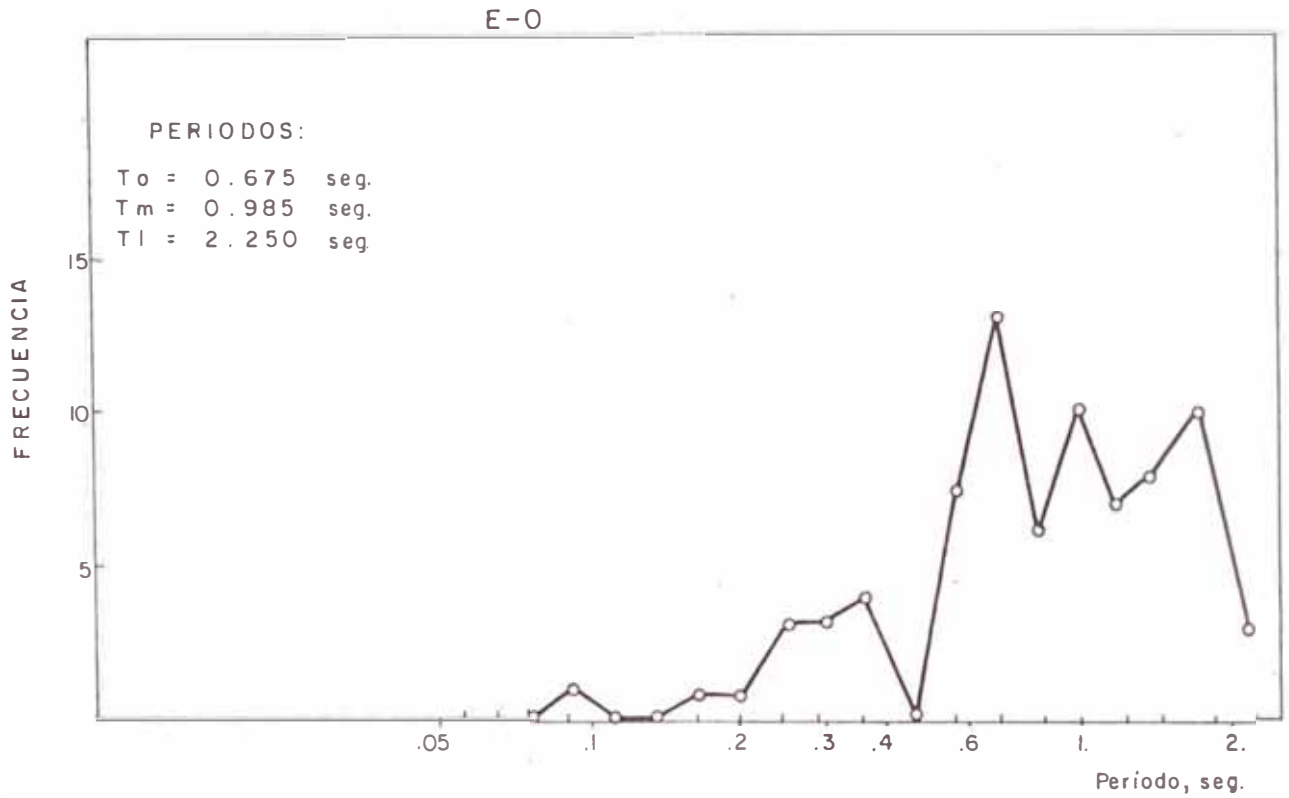
Los períodos predominantes de esta área dentro del rango de 0.2 - 0.3 seg. y la zona que comprende es toda la planicie de inundación del río La Cramarca. Este hecho parece mostrar que la superfi-

Fig. 3.3

ESPECTRO DE DISTRIBUCION FRECUENCIA-PERIODO

Chavez et. al. 1983

Nº 1- CHIMBOTE - HOSPITAL REGIONAL COSTADO ESTE



Nº 1- CHIMBOTE - HOSPITAL REGIONAL COSTADO ESTE

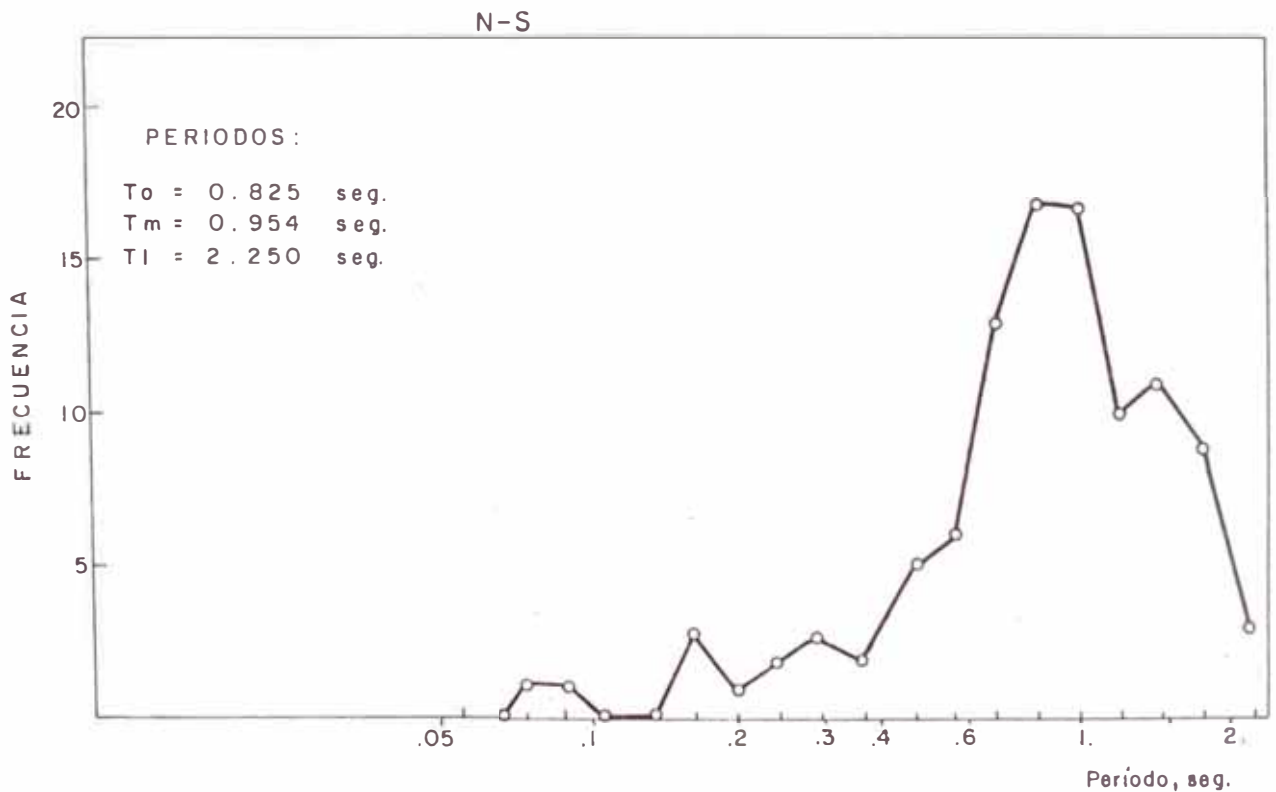
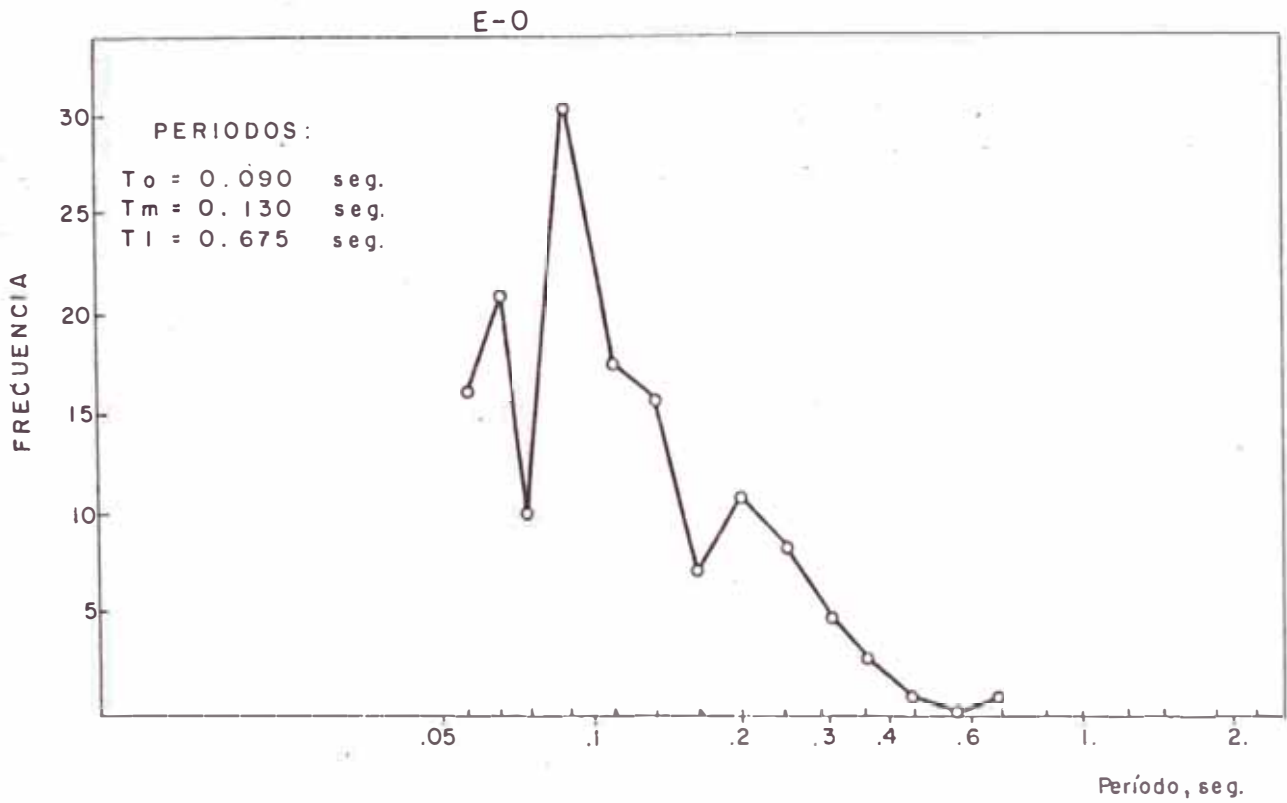


Fig. 3.4 ESPECTRO DE DISTRIBUCION FRECUENCIA - PERIODO  
 Chavez et. al. 1983

Nº 2 - CHIMBOTE - BUENOS AIRES PANAMERICANA Y HUARAZ



Nº 2 - CHIMBOTE - BUENOS AIRES PANAMERICANA Y HUARAZ

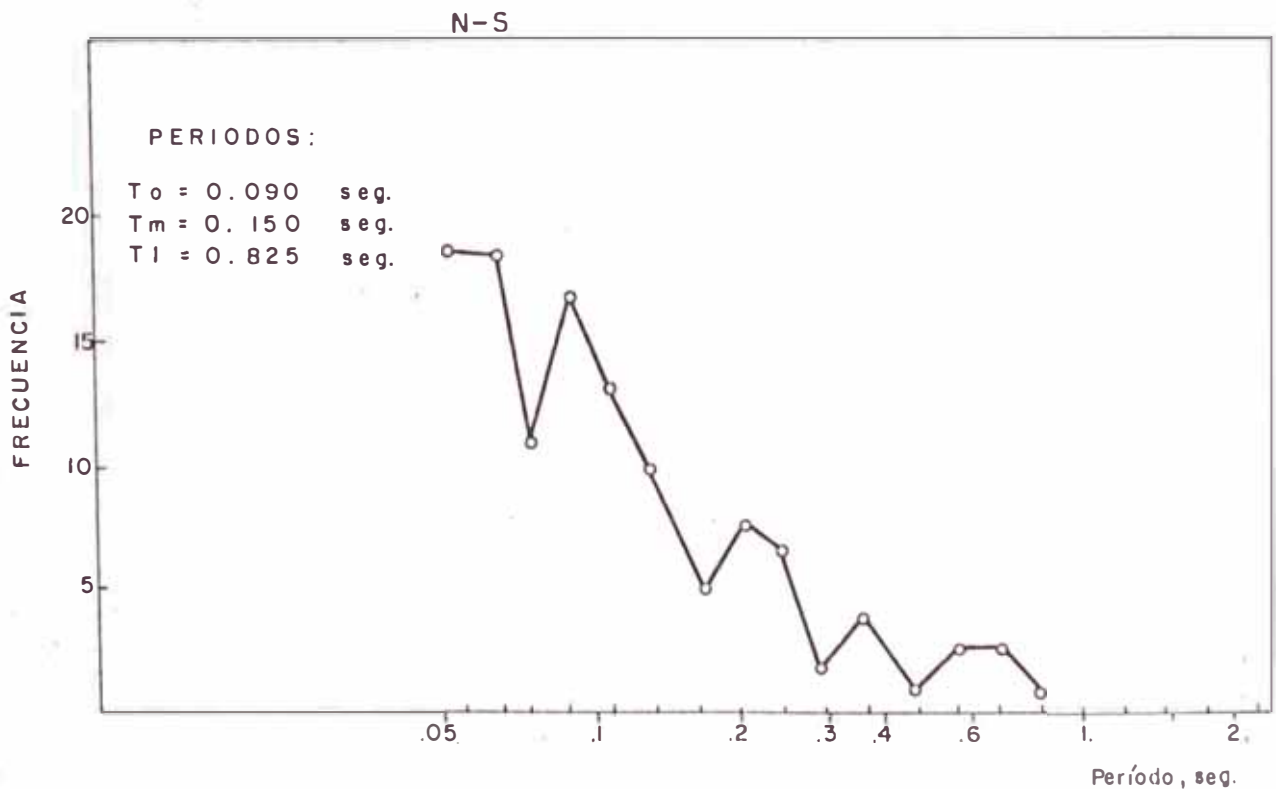
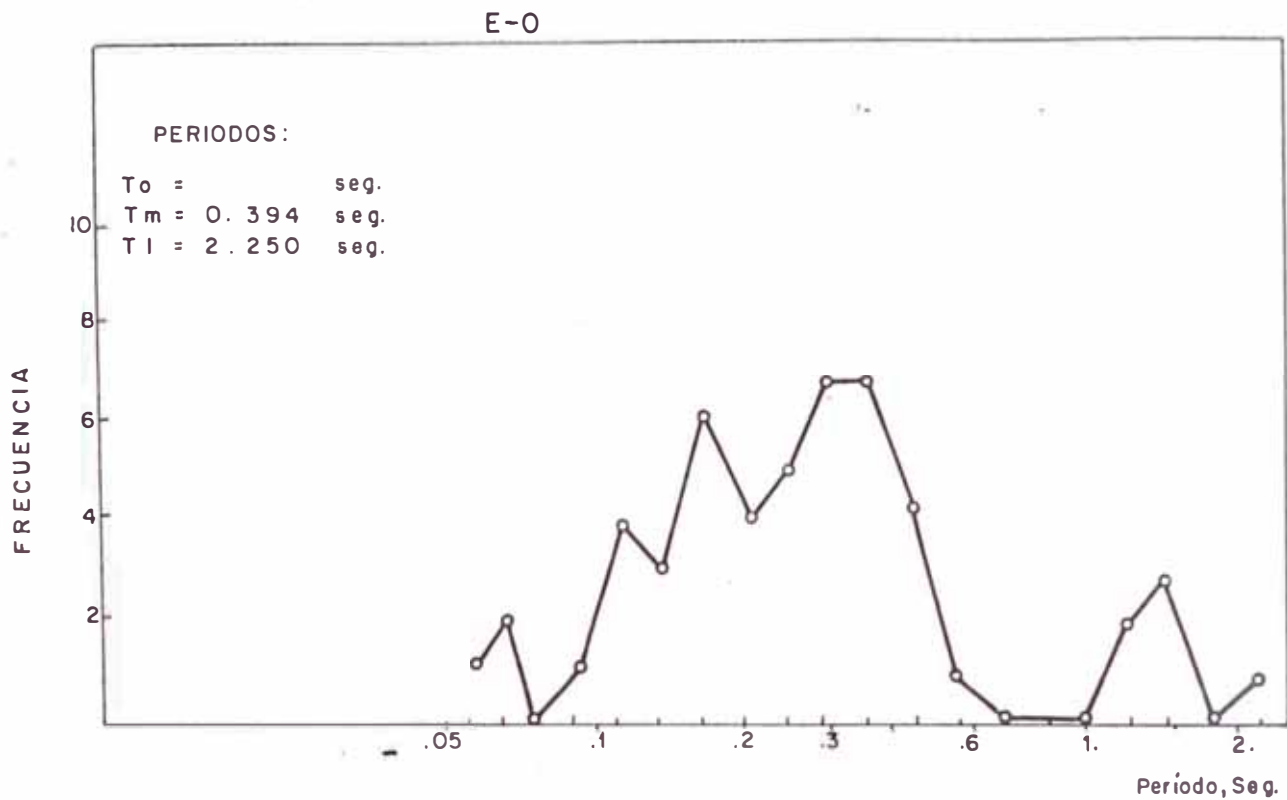


Fig. 3.5 ESPECTRO DE DISTRIBUCION FRECUENCIA-PERIODO  
Chavez et. al. 1983

Nº 3-CHIMBOTE-VILLA MARIA 28 JULIO Y OLAYA



Nº 3-CHIMBOTE-VILLA MARIA 28 JULIO Y OLAYA

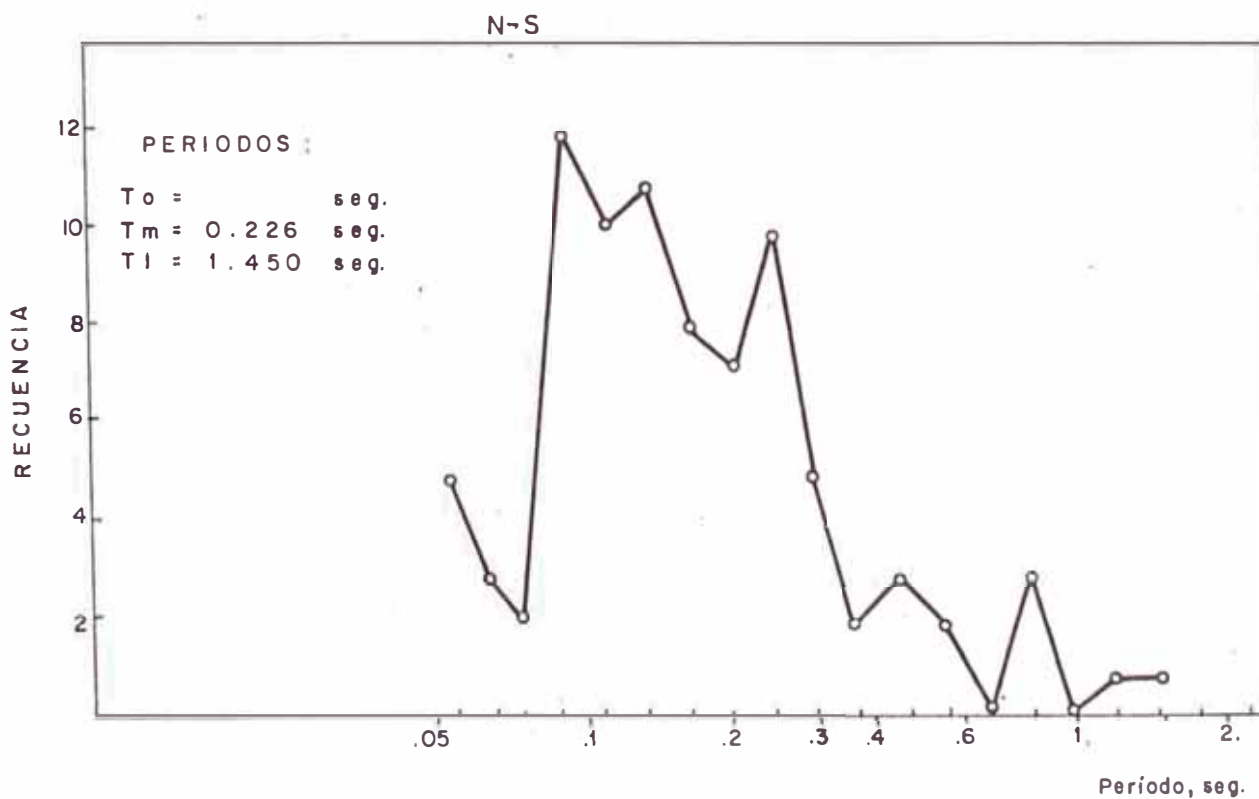
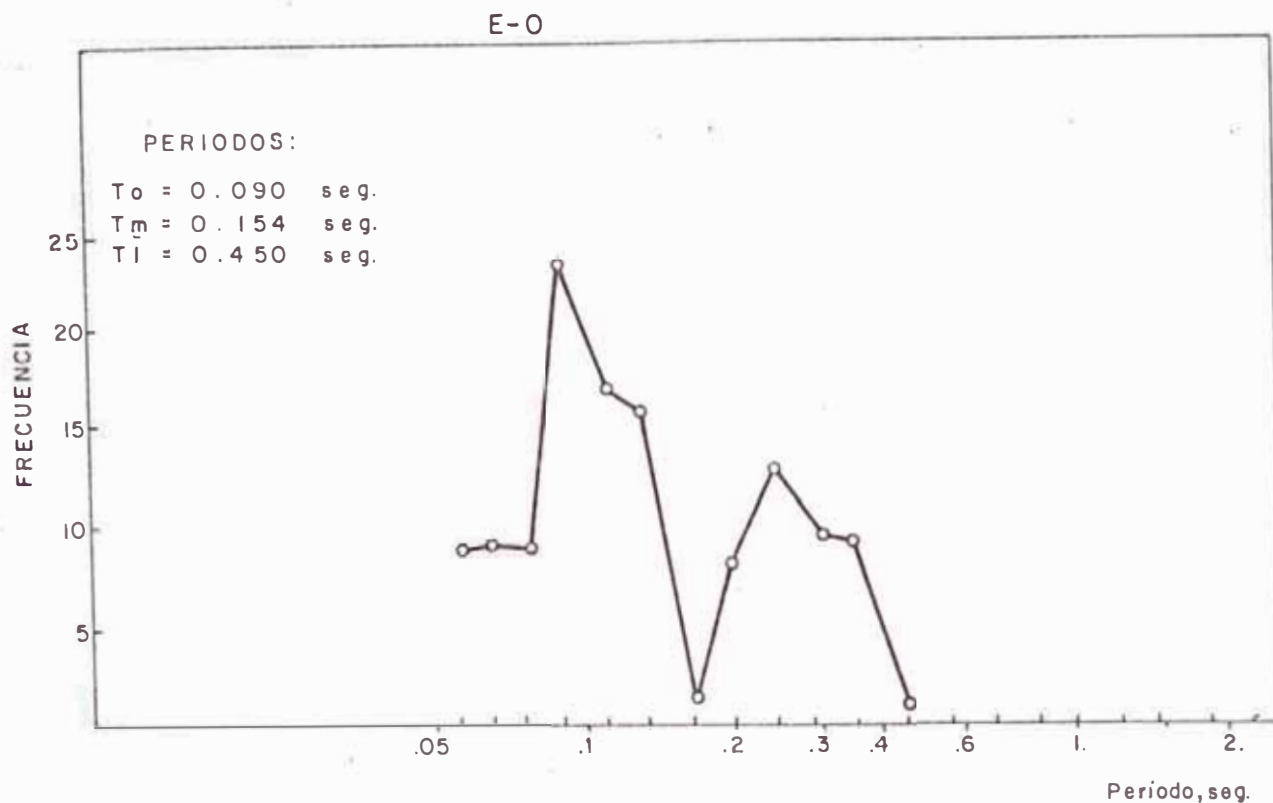


Fig. 3.6

ESPECTRO DE DISTRIBUCION FRECUENCIA - PERIODO  
Chavez et. al. 1983

Nº 4- CHIMBOTE-27 DE OCTUBRE "EL MILAGRO"



Nº 4- CHIMBOTE-27 DE OCTUBRE "EL MILAGRO"

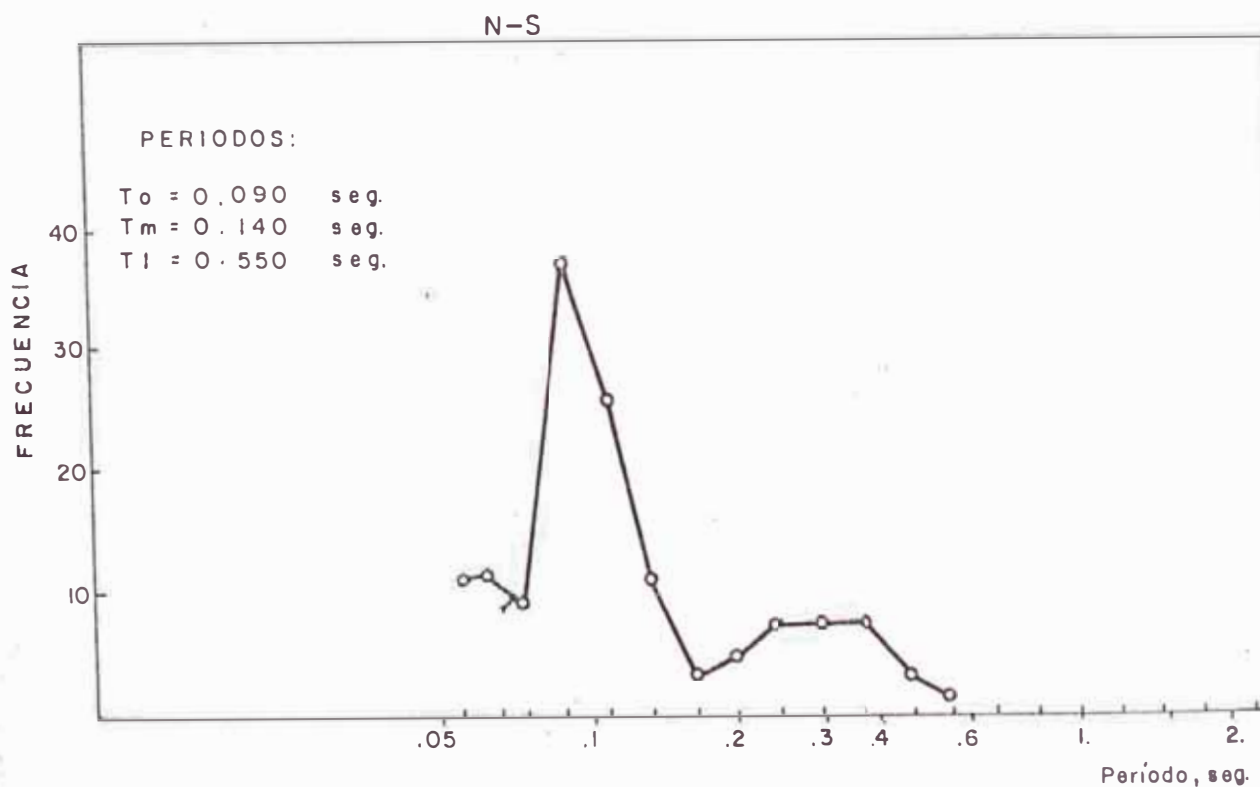
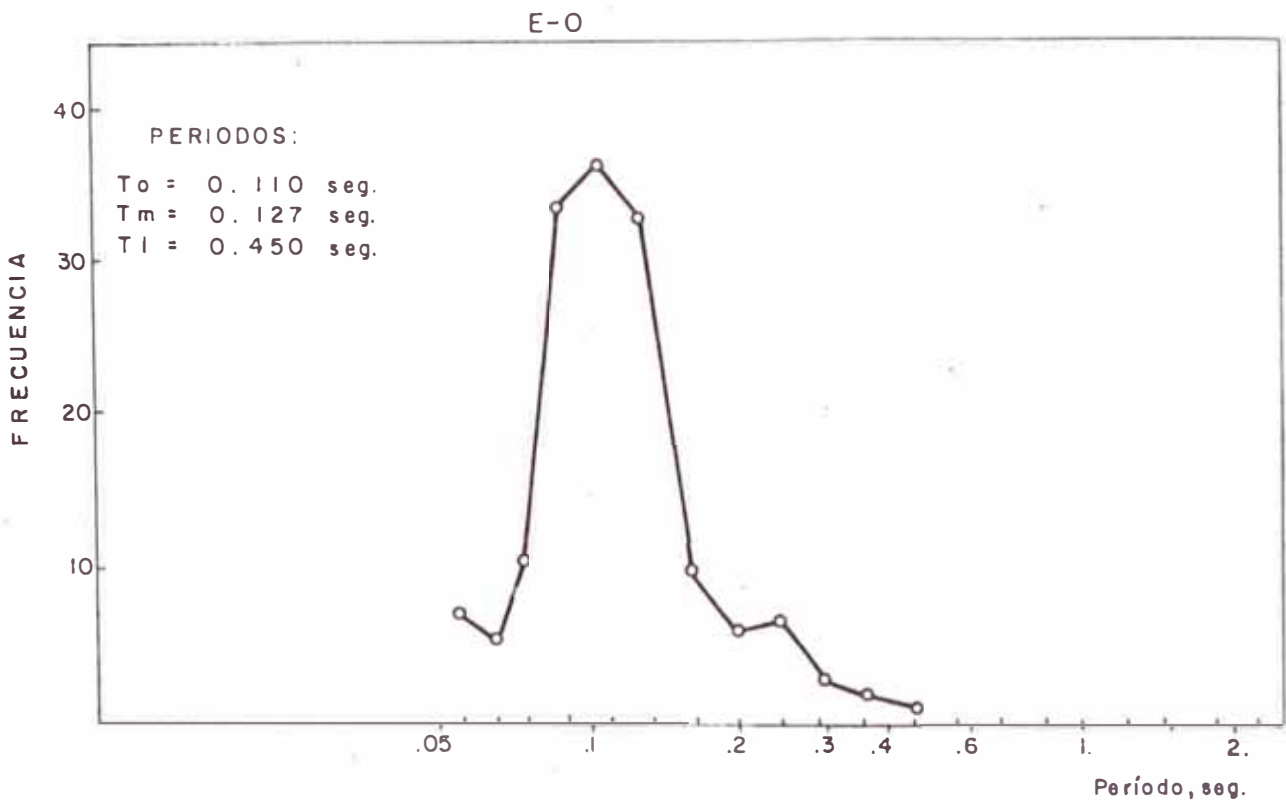


Fig. 3.7

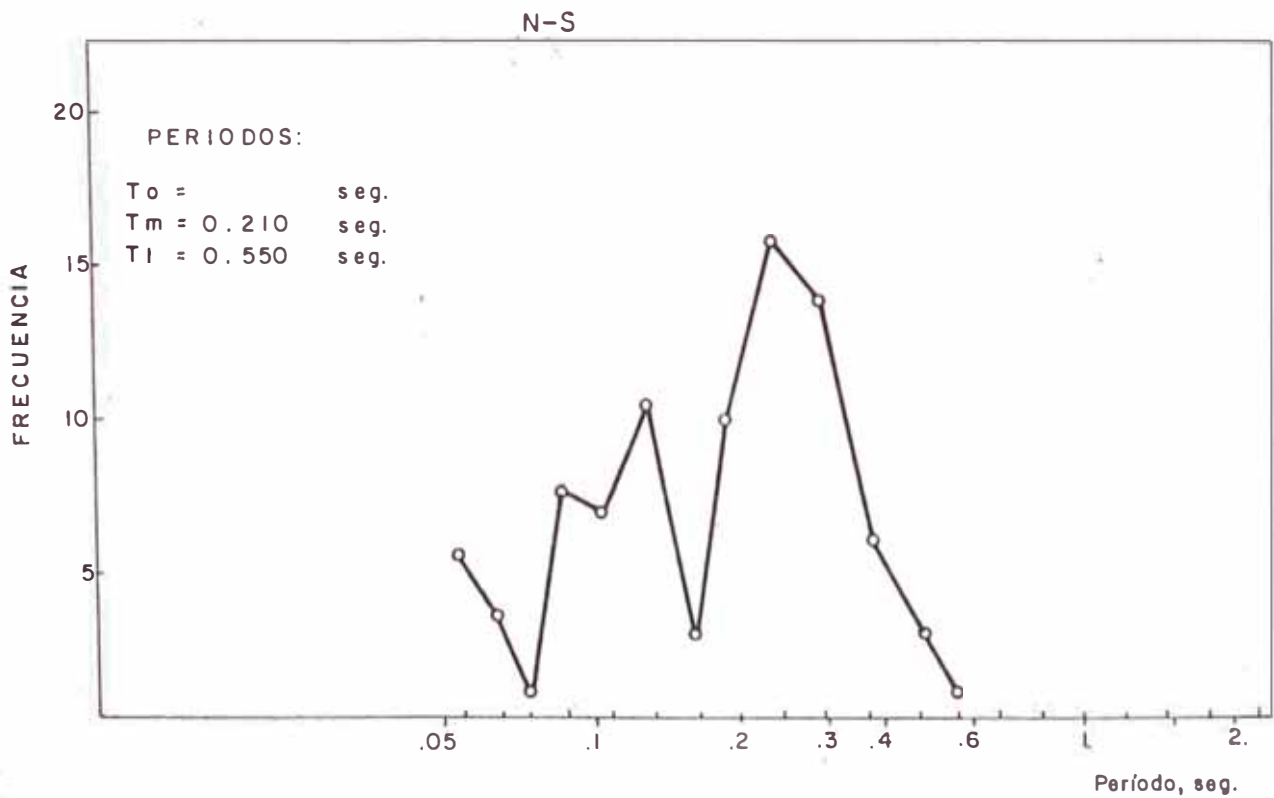
ESPECTRO DE DISTRIBUCION FRECUENCIA - PERIODO

Chavez et. al. 1983

Nº 5 - CHIMBOTE - ANTENA RADIO "EL MUNDO"



Nº 5 - CHIMBOTE - ANTENA RADIO "EL MUNDO"





cie del terreno en esta área es ligeramente más -  
blanda desde el punto de vista dinámico.

Parte Sur:

Esta área incluye la región de Buenos Aires y conecta lugares planos arenosos separados por la carretera Panamericana, continuando en la Costa. Los períodos predominantes en esta área son muestra de que la zona consiste de múltiples estratos superficiales, por la obtención de varios períodos en la zona.

### 3.6 MICROZONIFICACION DE CHIMBOTE

Debido a la ocurrencia del sismo del 31 de Mayo de 1970, la ciudad de Chimbote sufrió grandes daños en sus construcciones, ya sean éstas de concreto armado, albañilería y estructuras de acero, por lo tanto se sintió la urgencia de trabajar en una planificación urbana de la ciudad para lo cual, fue requerido una serie de estudios los cuales concluyeran en la ejecución de la Microzonificación Sísmica de Chimbote, tarea de la que se encargó una misión de investigadores enviados por el Gobierno Japonés al Perú.

Como se sabe la historia sísmica del Perú lo señala como país sísmico y por lo tanto toda estructura cimentada en regiones de esa característica, debería ser cons-

truída para soportar y protegerse de daños ante sismos y es para cumplir con este propósito que se crea una Zonificación Sísmica.

El Perú sísmicamente está diferenciado en tres regiones sísmicas, las cuales se caracterizan por presentar un factor sísmico regional para cada zona, sirviéndonos éstos para la determinación de las fuerzas sísmicas básicas de diseño, sin embargo, para la determinación de este factor sísmico ponderamos dos aspectos, el primero es concerniente a la actividad sísmica y el segundo a la condición del suelo.

El factor referente a la actividad sísmica puede ser determinado estadísticamente, basada en la historia sísmica pasada de la región en estudio. En el Perú para la determinación de las regiones sísmicas se ha recurrido más que todo a la ubicación de sismos destructores pasados, pero cada una de estas regiones abarcan extensiones con visibles variaciones topográficas, razón por la cual es necesario tener en consideración el segundo factor referente a la condición de suelo en el lugar.

Por lo tanto, si el efecto de la condición de suelo va a ser tomado en cuenta, se debe considerar un mapa de zonificación más detallado, para lo cual deberá ser hecho en base a inspecciones geológicas, exploraciones precisas del suelo, observaciones de microtemblores y de la evaluación de daños por sismos (Morimoto, 1971).

Una de las conclusiones a que se llegó en los estudios realizados por la Misión Japonesa, fue que las edificaciones que serían construídas en esta ciudad en futuros cercanos podrían ser estructuras bajas de adobe o albañilería cuyo período natural es muy corto, menor de 0.4 seg. y una estructura de este tipo se puede considerar rígidamente estable ante un movimiento sísmico.

Debido a la presencia de estructuras de períodos naturales bajos, es que desde el punto de vista de daños a construcciones de adobe y albañilería, la principal causa sería la intensa fuerza sísmica aplicada a la superestructura y los daños a las estructuras sobre suelo blando es causado principalmente por el establecimiento de edificaciones sobre suelos propensos a sufrir densificaciones o fenómenos de licuación, produciéndose peligrosos asentamientos diferenciales, por lo tanto se descartó cualquier tipo de daño cuya causa tuviese relación con la ocurrencia de resonancia, entendiéndose así la coincidencia de períodos de la onda incidente y el cuerpo sobre la que actúa, en este caso el suelo y la estructura respectivamente.

El análisis anterior es que condujo que para una zonificación sísmica en Chimbote se debería tener en cuenta principalmente los resultados de la inspección geológica, examen de penetración estándar y las inspecciones de daños en edificaciones, vías y fallas de tierra, mientras que el aporte de prueba como observaciones de "After shoks", observaciones de microtremor sobre la superficie

del suelo, inspecciones geofísicas de velocidad de ondas S en cada estrato, análisis del movimiento del suelo por computadora serían aportes de segunda prioridad ante el hecho de la existencia de estructuras no muy defectables (Morimoto, 1971) en la ciudad de Chimbote.

Haciendo un análisis de los estudios de suelos realizados en la ciudad, expuestos en acápite anteriores del presente capítulo, se puede observar la coincidencia de ellos en la descripción de la estratigrafía en las diferentes zonas de Chimbote, razón por la cual se puede concluir que la microzonificación planteada por Morimoto et al, 1971 en su Informe Report on Seismic Microzoning of Chimbote Area-Peru es sumamente valiosa para las condiciones del suelo existente. La Microzonificación contempla cuatro zonas, que han sido presentadas en el mapa P1.3 del capítulo I.

Zona I:

El subsuelo consiste en gravas densas o rocas y el nivel freático está por lo menos de 10 m., por debajo de la superficie. Las elevaciones topográficas son mayores de 10 m.s.n.m.

En esta zona no existe la posibilidad de asentamientos en edificios o subsidencia del terreno. Sin embargo, la fuerza sísmica puede ser mayor que en otras debido a la iteracción suelo-estructura.

Zona II:

Esta zona está cubierta por arena suelta o

semi-densa con varios metros de potencia. Debajo de esta capa existen formaciones de arena densa o arena densa cementada y compacta. En la mayor parte el nivel freático se encuentra a 5 m. por debajo de la superficie. No se esperan asentamientos apreciables para edificios de hasta dos pisos, excepto en los bordes exteriores de las dunas. Se prefiere que los edificios mayores de dos pisos se cimenten por pilotes hasta la arena densa. Si se quiere construir en las dunas, la arena de relleno debe compactarse por vibroflotación.

#### Zona III:

El subsuelo consiste principalmente de suelo arenoso cubierto por una capa delgada de suelo agrícola. Las capas de grava se encuentran por debajo de los 10.0 mts. El nivel freático tiene una profundidad de pocos metros.

La arena fina suelta que se localiza a ciertas profundidades se licuará durante la ocurrencia de terremotos. Desde que dicha licuación de arenas se producirá a cierta profundidad de la superficie, no ocurrirá apreciable asentamiento de edificios, con algunas excepciones. Sin embargo, deben tomarse algunas consideraciones para el diseño de la cimentación.

Zona IV:

Esta zona se caracteriza por un nivel freático muy alto, cuyo nivel es casi el mismo que la superficie del terreno, por consiguiente la mayor parte del área está cubierta por agua o pantanos. La elevación promedio de la zona es menor de 5 m.s. n.m. El subsuelo consiste principalmente de arenas cubiertas parcialmente con una capa delgada de limo orgánico.

El daño a las edificaciones en esta zona se deberá principalmente por asentamiento y parcialmente por fuerza sísmica. Existen algunos sitios en donde la arena se licuará hasta la superficie del terreno con la ocurrencia de un terremoto severo. Los edificios a construir en esta zona deberán cimentarse por pilotes hasta la arena densa, o el terreno de cimentación deberá mejorarse, hasta cierta profundidad por el método de vibroflotación.

### 3.7 CONCLUSIONES

- En forma genérica se puede afirmar que Chimbote está desplantada sobre suelos granulares arenosos, con niveles de agua superficiales, susceptibles de sufrir densificación y licuación, produciendo asentamientos diferenciales peligrosos ante la ocurrencia de sismos.
- En la parte Norte de Chimbote, la zona de San Pedro está cubierta por arenas sueltas o parcialmente densas, mientras que la Siderúrgica mayormente está cimentada sobre estratos de arena fina o media, con superficies de material orgánico y niveles freáticos poco profundos.
- El Casco Urbano presenta una estratigrafía predominante de arena fina o semigruesa con presencia de niveles freáticos en promedio de 1.50 mts. mientras que la característica del Puerto es un suelo limo-arenoso con restos de materiales orgánicos.
- La zona central de Chimbote principalmente es arenosa de granos finos a medios, con la existencia de una capa superficial de tierra agrícola y niveles freáticos de poca profundidad.
- La zona sur de Chimbote consta de arena gruesa a fina con presencia de grava, pequeños porcentajes

de arcilla y con niveles freáticos a profundidades de más de 16.0 mts., en general como lo muestran los ensayos de microtrepidaciones es una estratigrafía heterogénea.

En la ciudad de Chimbote de presentarse un sismo como del 31 de Mayo de 1970, sufriría el fenómeno de licuación de arenas hasta diferentes profundidades, dependiendo de los niveles freáticos existentes, por lo que se recomienda lo indicado en el acápite 3.4 o cimentar en zonas muy desfavorables con pilotes hasta alcanzar los mantos más densos.

Finalmente se puede concluir que tanto los estudios realizados por Morimoto , 1971, como los efectuados por Carrillo, 1972 1974; Alva Hurtado 1982; Michelena 1974 y otros, son coincidentes en la descripción estratigráfica del subsuelo de Chimbote, como lo demuestran los sondajes y microtrepidaciones realizados en la ciudad, razón por la cual se diferencian cuatro zonas para una Microzonificación Sísmica que van desde suelos con pocas posibilidades de hundimientos con niveles freáticos mayores de 10 m. de profundidad, hasta zonas pantanosas con niveles de agua superficiales en donde los hundimientos son inevitables como se indicó en el acápite 3.6 donde se expone con más detalle las características particulares de cada zona.



## C A P I T U L O    I V

### VULNERABILIDAD    SISMICA

- 4.1 INTRODUCCION
- 4.2 CARACTERISTICAS DE LAS CONSTRUCCIONES
- 4.3 DAÑOS OCURRIDOS EN EL SISMO
- 4.4 MATRIZ DE VULNERABILIDAD SISMICA
- 4.5 PROBABILIDAD DE DAÑOS SISMICOS
  - 4.5.1 PROBABILIDADES DE OCURRENCIA DE SISMOS DE INTENSIDAD DADA
  - 4.5.2 RAZON DE DAÑO VS. INTENSIDAD M.M.I.
  - 4.5.3 ESTIMACION DE DAÑO ESPERADO
  - 4.5.4 PROBABLE POTENCIAL DE PERDIDAS
- 4.6 PROBLEMATICA ACTUAL DE LA VIVIENDA
- 4.7 CONCLUSIONES

#### 4.1 INTRODUCCION

En el presente capítulo sobre la Vulnerabilidad sísmica de la ciudad de Chimbote, se trata de establecer una metodología la cual tenga por finalidad plantear una matriz de probabilidades de daños, en la cual a diferencia de trabajos anteriores, los cuales en su mayoría se limitaban a proporcionarnos valores puntuales de daños. Considerando este estado como aquel en el cual la construcción quedaría prácticamente destruída y en cuyo resultado se estaría admitiendo implícitamente una probabilidad unitaria de ocurrencia, se presenta un estudio estadístico completo, realizado en base a la existencia de fichas y láminas de evaluación de daños de la ciudad de Chimbote, ejecutados por CRYRZA-PNUD para el Plan Director de Chimbote (1971), en los cuales se distingue tres rangos de daños que se denominan leve, moderado y grave y cuyos valores porcentuales de grados de destrucción se presentan en el presente capítulo.

Como se indicó anteriormente, en el presente estudio, los valores de daños que se proporcionan, en vista de los variados parámetros existentes para su evaluación como son; tipo de construcción, antigüedad de la misma, proceso constructivo empleado, características de los materiales, condiciones locales del suelo, etc. hacen pensar que dichos valores no deberían ser puntuales, sino más bien estar enmarcados dentro de un rango probabilís

tico con cierto grado de confianza.

Para llegar al enfoque expuesto anteriormente se realiza una descripción preliminar de las principales características de los diferentes tipos de construcciones existentes en la ciudad de Chimbote antes del sismo, así como una descripción cualitativa de los daños ocurridos en los diferentes barrios y urbanizaciones de la ciudad.

Uno de los aspectos importantes que se tratará en el presente capítulo es la relación que hay entre los daños asociados a los movimientos sísmicos y las probabilidades de ocurrencia de los mismos. Como se verá este tipo de análisis es sumamente importante ya que gracias a él se establece una metodología cuyo objetivo es evaluar el potencial de pérdidas que podríamos tener en tiempos de exposición prefijados.

Finalmente se presenta la situación actual de Chimbote donde se describen las principales características de las construcciones existentes, así como la tendencia de los materiales usados, información indispensable con la cual se puede establecer en un futuro una matriz de daños ante un siniestro de magnitud similar al ocurrido el 31 de Mayo de 1970.

#### 4.2 CARACTERISTICAS DE LAS CONSTRUCCIONES

La ciudad de Chimbote, dentro de la zona afectada por el sismo de 1970, fue una de las ciudades que mayor desarrollo presentaba y con una población de cerca de 200,000 habitantes tenía como principales fuentes de trabajo la Industria Pesquera y la Siderúrgica, motivo por el cual presentaba una población con una marcada heterogeneidad económica, situación que se reflejaba en la diversidad de las construcciones existentes las cuales variaban desde la simple vivienda provisional constituida de esteras y/o madera hasta la presencia de complejas estructuras (Sider-Perú); todas las cuales tuvieron comportamientos distintos y grados de daño acorde con las características estructurales de cada construcción.

Desde un punto de vista general, las construcciones existentes al momento del sismo se pueden agrupar en cinco tipos de edificaciones: (Hermoza, 1972).

##### TIPO A: Construcciones Provisionales

Dentro de este tipo de construcciones estarían enmarcadas todas aquellas, cuyo material utilizado fuese la madera, esteras, eternit, quincha, todas las cuales no cumplían con ninguna norma sismo-resistente, ni obedecían a un proceso constructivo técnico; sino que eran construidas por personas empíricas y materiales de muy baja calidad.

En algunos barrios como San Pedro, presentaban por-

centajes bastante elevados de este tipo de construcción.

TIPO B: Construcciones de Adobe

Este tipo de construcción era bastante común en la ciudad de Chimbote, la cual se caracterizaba por estar cimentada sobre piedra asentada en barro, con muros de adobe de 40 cms. de espesor, con alturas superiores a los tres metros y techos de maderas labradas a mano (eucaliptos y pinos) con cubierta de caña, barro y tejas de arcilla.

Es importante en este tipo de construcción, describir el adobe utilizado, el mismo que tenía dimensiones de 20x20x40 cms. y presentaba el inconveniente de que para su secado total necesitaba mucho tiempo, así como una traba inadecuada en las esquinas. Se utilizaban elementos estabilizadores en los adobes, como presencia de paja, fibra, áridos, que les dan una resistencia mecánica suficiente y no permiten fallas mayores por esta causa. La madera, caña y teja empleada en las viviendas de adobe son de calidad normal. Los maderos se unían con cordeles trenzados a mano.

TIPO C: Estructuras de material noble

Este tipo de construcciones era predominante en establecimientos comerciales, departamentos y residencias, los cuales se caracterizaban por la ausencia

de columnas y vigas de amarre, como se observó en la Urbanización Buenos Aires al Sur de la ciudad; - mientras otras construcciones del mismo tipo sí presentaban columnas de confinamiento con vigas collar que cubrían todo el muro y daban mayor rigidez. El techo utilizado era aligerado, aunque en ciertas zonas de Pueblos Jóvenes el techo consistía de vigas de madera sobre los cuales se colocaban cañas y se revestían con barro. La cimentación era de concreto ciclópeo para muros y de zapatas aisladas de concreto armado para las columnas.

Los materiales utilizados en estas estructuras de muro portante, como son el cemento y varillas de acero no presentaban defectos que resaltar, no así el concreto usado que era de baja calidad por la presencia de un hormigón sin la necesaria separación por medio de cribas y la presencia de áridos con impurezas.

La unidad de albañilería utilizada fue de dos tipos: el cerámico y el calcáreo, siendo el primero de mayor aceptación por su resistencia mecánica y dimensiones, cualidades descuidadas en el segundo tipo de ladrillo.

#### TIPO D: Construcciones Aporticadas

Este tipo de construcciones eran de concreto armado con muros de ladrillo como elemento de relleno,

cumpliendo el rol de tabiquería. Estas construcciones cumplían fines comerciales, como oficinas de negocio, departamentos y escuelas y alcanzaban alturas de 5 pisos.

TIPO E: Estructuras Especiales

Las construcciones de este tipo eran comunmente industriales (Fábricas de harina de pescado y SIDER - PERU) que representaban los más importantes que se encontraban en la zona afectada por el sismo. Son estructuras especiales aperticadas de acero, arriostradas como correas de acero y vigas de perfiles, predominando el techo de calaminas.

A manera de ilustración se presenta un plano P4.1 de "Porcentajes de tipos de construcción en Chimbote", que nos muestra los porcentajes de construcciones de material Provisional, Adobe y Noble que presentaba la ciudad de Chimbote al momento del sismo del 31 de Mayo de 1970, para los principales barrios y urbanizaciones de la Ciudad, valores a los que se llega luego de una evaluación de los datos obtenidos de los planos de "Investigación Urbana Acelerada" realizados por CRYRZA-PNUD Plan Chimbote y cuya estadística se muestra en el Anexo

#### 4.3 DAÑOS OCURRIDOS EN EL SISMO

Es la intención de este acápite exponer en forma cualitativa algunos daños ocurridos en barrios, urbanizaciones y construcciones importantes que describan la magnitud de los daños, para en un acápite posterior enfocar el problema desde un punto de vista cuantitativo y plantear la matriz de daños.

Dos de los informes más detallados que se realizaron sobre los daños ocurridos en Chimbote, fueron los - ejecutados por el Ceresis, 1970 y el CAEM, Promoción XX 1970, fuentes principales que se utilizó para la descripción del presente acápite.

Chimbote fue una de las ciudades que mayor pérdida económica presentó, a pesar de no ser la más destruída materialmente, ya que hubieron ciudades tales como Huarney y Casma en la Costa y Huaraz, Yungay en la Sierra - cuya destrucción fue casi total.

Muchos de los edificios de adobe fueron reducidos a escombros y algunos barrios como San Pedro presentaron - destrucción del orden del 100%.

Una de las estructuras más importantes cuya destrucción fue motivo de análisis, fueron las escuelas, estructuras aporticadas de concreto armado, de dos pisos, con paredes de albañilería transversales que se extendían - desde el piso hasta el techo en pórticos alternados, para formar las salas de clases. Vigas de hormigón armado



al nivel del piso o techo fueron incluídas longitudinalmente en algunos edificios y estaban ausentes en otros. Las paredes longitudinales en la parte delantera de la sala de clase eran altas con pequeñas ventanas justo debajo del techo, mientras que en la parte posterior las paredes eran de poca altura y con ventanas grandes. Debido a la diferencia de alturas de los muros anterior y posterior, es que las columnas delanteras resultaron más rígidias que las posteriores, para un movimiento en la dirección longitudinal, razón por la cual se presentó la falla típica de "columna corta". Esto fue observado en la Gran Unidad Escolar "San Pedro", en el Colegio Regional y en la Escuela Normal "Las Américas".

En la urbanización de Buenos Aires, en Chimbote, existía una nueva urbanización de casas con muros portantes de ladrillo o albañilería con pisos de concreto y techo de losas. No se usaron columnas de concreto ni vigas de amarre y esto produjo que las casas fuesen destruídas casi totalmente.

El convento de las Madres Dominicanas de Ohio, era un edificio de concreto armado de dos pisos con muros de albañilería. Sólo presentaba pórticos en la dirección transversal y esto hizo que el edificio colapsara completamente.

El Hospital Obrero, era un complejo de estructuras con paredes portantes de albañilería, de dos pisos, cu -

yos pisos y techos consistían en losas de hormigón armado.

El Politécnico Nacional del Santa comprende un grupo de edificios de albañilería, con techos de calamina en dientes de sierra, apoyados sobre cerchas de madera. Este conjunto presentó algunas paredes exteriores agrietadas horizontalmente a un metro sobre el piso aproximadamente y con ligera inclinación hacia afuera mientras que la mayor parte de la albañilería en las secciones dentadas cayó hacia afuera.

Algunos edificios con paredes portantes de albañilería resistieron con poco daño como fue el caso del Hotel Chimú, un edificio grande de tres pisos en forma de U y edificaciones de tres pisos ubicados en la calle Enrique Palacios 530 y 536, así como presencia de pequeñas grietas en muros de relleno de albañilería de un edificio de departamentos de concreto armado ubicado en Enrique Palacios 411.

Una edificación importante constituída de concreto armado era el Banco Nor-Perú, en Bolognesi 723, de cuatro pisos, este edificio es soportado por grandes columnas y con presencia de un piso mezzanine que proporciona soporte lateral a las columnas posteriores a media altura. La falla ocurrió en los elementos rígidos como la pared trasera y columnas posteriores.

Un edificio de almacenamiento de concreto armado en la Planta Siderúrgica, resultó con varias columnas rotas. Los galpones de la Planta Siderúrgica resultaron sin daños estructurales, pero sí hubo presencia de asentamientos diferenciales que alcanzaron hasta 25 cms. en la parte norte de esta estructura. Una zona residencial al Este del principal barrio comercial, se hundió alrededor de 30 cms. y toda el área se encontró inundada.

En los alrededores de la Planta Siderúrgica se encontraba el colegio Mundo Mejor, que consistía la unidad principal de tres cuerpos de concreto armado de dos pisos distribuidos en forma de U, con un patio de piso de cemento entre los cuerpos de los edificios. El problema que ocurrió en este colegio fue licuación del terreno y esta provocó que los edificios se asentaran bastante uniformemente, casi sin ningún daño sobre el nivel del terreno y las losas de las aulas así como el piso del patio, sufrieron empujes ascendentes que hicieron que las losas se elevaran entre 28 y 40 cms.

Una parte del muelle de pescadores Spalding y Sabogal, se asentó aproximadamente medio metro, era la zona más cercana a la playa y estaba apoyada sobre pilotes, mientras que el muelle de descarga de minerales de la Corporación del Santa, utilizado por la Planta Siderúrgica, se desplazó lateralmente debido al asentamiento del relleno hidráulico adyacente al lado Este del muelle.

El asentamiento del relleno fue del orden de 2 metros y el centro del muelle se desplazó lateralmente alrededor de 1 metro.

La descripción anterior ha sido enfocada hacia un punto de vista de la evaluación de daños de las edificaciones más importantes de la ciudad de Chimbote, sin embargo no nos muestra la magnitud de los daños acontecidos en el resto de la Ciudad referente al gran porcentaje de viviendas de adobe y material noble agrupadas y analizadas en conjunto por barrios y urbanizaciones; uno de los pioneros en presentar una evaluación de esta naturaleza en forma global fue Morimoto et al 1971, que proporciona una tabla con los porcentajes de daños en los principales barrios y urbanizaciones de Chimbote, tabla 4.1.

Al observar detenidamente la tabla anterior se observa algunas limitaciones de la misma, en primer lugar no se define el rango de magnitud de daños, es decir se llega a un porcentaje de daño que nos indica, cierta cantidad de viviendas afectadas con respecto al total existentes, pero no define el estado y grado de dicho daño; porque es evidente que dentro de una misma zona analizada hay construcciones que han sido dañadas desde rangos leves hasta graves, por lo que es importante hacer estas distinciones, otra limitación es el hecho de proporcionarnos daños porcentuales puntuales, situación que hace pen-

TABLA 4.1

PORCENTAJES DE DAÑOS EN LA CIUDAD DE CHIMBOTE

(MORIMOTO ET, AL 1971)

BARRIO	ADOBE	L. C. C.	L. S. C.
Son Pedro	100%	—	—
U. los Pinos	—	30%	—
U. Laderos del Norte	—	20	70%
Pensocolo	80	20	—
U. EL Cormen	—	20	—
Progreso y Buenos Aires	80	20	—
Bolivar	90	15	—
U. Antúnez de Moyolo	—	10	—
U. EL Acero	100	10	—
U. Lo Coleto	—	10	—
Cosco Urbano	90	20	—
U. 21 de Abril	—	15	—
Pueblo Libre	90	20	70
Miroflores 1 <sup>ra</sup> Zona	90	10	70
Miroflores 2 <sup>da</sup> Zona	90	10	70
Miroflores Alto	90	10	70
Miroflores Bojo	95	10	60
Florido Bojo	100	10	60
Florido Alto	—	10	70
Lo Libertad	—	10	60
U. EL Trapecio	—	15	—
Villa Mario Bojo	—	90	—
Villa Mario Alto	—	30	—
1 <sup>ro</sup> de Moyo	—	15	60
U. Buenos Aires	—	30	85

L. C. C. = CONSTRUCCION DE LADRILLO CON COLUMNA

L. S. C = CONSTRUCCION DE LADRILLO SIN COLUMNA

sar que sería más apropiado definir para un nivel de daño, un cierto rango de porcentaje de construcciones dañadas con cierto grado de confianza.

Finalmente, la limitación más fuerte, es quizás que al proporcionarnos una descripción de daños en base a una distribución por barrios y urbanizaciones se están evaluando desde una misma óptica, construcciones que a pesar de estar enmarcadas dentro de un mismo barrio no presentan condiciones de suelo semejantes, como se estudió en el capítulo anterior, por lo que no estaría observando el comportamiento suelo-estructura ni apreciando los diferentes daños ocurridos según los diferentes tipos de suelo.

En el acápite posterior se discutirá con detalle la evaluación de los daños, desde la base de un distinto comportamiento del suelo y una cierta descripción de niveles de daño, para plantear una tabla que llamaremos "Matriz de daños", como finalidad de una metodología de estudio de la vulnerabilidad sísmica que se persigue.

Muchos de los daños ocurridos en Chimbote, pudieron haber sido menores, de haberse prevenido ciertas fallas de orden técnico-constructivo. A continuación se expondrán algunas causas que provocaron fallas en viviendas y edificios y que han sido investigadas por Morimoto et al, 1971; Ceresis-Unesco, 1970; Meli, 1970; Hermoza, 1972; Chávez (1979) y otros que se presentan en la bibliografía.

a.- Fallas en viviendas de adobe

- Dimensionamiento inadecuado de los adobes 20x20x40 cms. que producía planos de falla de fuerte inclinación y uniones verticales deficientes.

- La calidad de los adobes era muy baja tanto a la abrasión como a la resistencia mecánica.

La cimentación era deficiente y consistía de piedras grandes asentadas con barro.

- El alto de los muros era exagerado, así como su longitud, provocando fallas por esbeltez.

- Ausencia total de una cadena de coronamiento y presencia de dinteles con escaso grado de empotramiento.

b.- Fallas en viviendas de material noble

- Debido a la carencia de apoyo técnico, se han observado en las construcciones fallas muy comunes como, falta de sujeción adecuada de la armadura vertical, carencia de estribos en las columnas y vigas y longitudes de desarrollo insuficientes.

- El concreto era de baja calidad, debido a la mala dosificación del hormigón natural y al excesivo tiempo de almacenamiento del cemento.

- Juntas de espesor excesivo entre las unidades de albañilería, debido a las irregularidades que pre

sentaban los ladrillos.

- Falta de arriostramiento lateral.
- Uso de muros de ladrillo de soga como muros portantes.
- Instalaciones eléctricas y sanitarias mal realizadas comprometiendo la estabilidad de los muros.
- Excesiva cantidad de vanos y mal ubicados especialmente en la fachada.

c.- Fallas en construcciones de concreto armado

- Forma inadecuada en el diseño estructural antisísmico, especialmente en la distribución de masas y rigideces.
- Presencia de muros de relleno que rigidizaban la estructura y ocasionaban que muchas columnas tuviesen la falla típica de "columna corta".
- Fallas por impacto debido al poco dimensionamiento de las juntas de separación, al tener las estructuras diferentes modos de vibración debido a la diferente distribución de masas y rigideces.
- Uso inadecuado de juntas de construcción, especialmente en el contacto viga-columna.



#### 4.4 MATRIZ DE VULNERABILIDAD SISMICA

El presente acápite, tiene como finalidad plantear una matriz, que nos relacione ciertos daños estructurales ocasionados por un movimiento sísmico, con las propiedades del suelo donde dichas construcciones analizadas están cimentadas, de tal forma que indirectamente se pueda relacionar las propiedades del suelo y daños ocasionados, con diferentes intensidades producidas en la zona analizada por el sismo en cuestión.

A manera de introducción se expondrán la metodología usada en otros trabajos, cuya finalidad era dar frecuencia de daños en las viviendas para diferentes grados de daños (Orihuela, 1981; Kuroiwa, 1982), dentro de una misma clasificación de construcción.

Una de las clasificaciones más usadas, para una distinción del tipo de construcciones, es la escala M.S.K., que distingue tres tipos de estructuras, que en forma resumida se pueden describir como aquellas construídas de bloques de piedra, construcciones de ladrillo y edificios reforzados con elementos dúctiles, planteada por Mendeleev y otros en 1968; la distinción detallada la presenta en el anexo 4.1.

Para llegar a una frecuencia de distribución de daños, una vez distinguida la diferente tipificación de las construcciones, el paso a seguir es definir explícitamente los diferentes grados de daños; para conseguir -

tal fin una de las escalas más convenientes es la M.S.K. que define cinco grados de daños cuya denominación y características se presenta en el anexo 4.2.

Es conveniente, la adaptación de las dos clasificaciones anteriores, tanto la referente a las construcciones, como a los daños según sean las características de las zonas por investigar. El procedimiento consiste en evaluar los porcentajes correspondientes de las construcciones que han tenido daños del mismo grado, de tal manera que la suma de dichos porcentajes, en los cinco grados analizados resulte 100%, estos datos que se ejecutan para cada tipo de estructura, dentro de la clasificación M.S.K. antes definida, se representan mediante histogramas, en cuyo eje de abscisas en escala aritmética se colocan los grados de daño (5 en la escala M.S.K.) y en el eje de ordenadas, también en escala aritmética, los porcentajes de viviendas dañadas.

En base a la metodología anterior, es que se han orientado las investigaciones referentes a la implementación de la matriz de daños en la ciudad de Chimbote, producida por los efectos del sismo del 31 de Mayo de 1970.

La manera más óptima de realizar una evaluación de daños es aquella que se realiza mediante la ayuda de "Fichas de evaluación de daños", operación que fue realizada en su momento por especialistas tanto de CRYRZA-PNUD,

como por miembros de la Universidad Nacional de Ingeniería.

El presente trabajo, se ha basado en la información rescatada en el Ministerio de Vivienda de Chimbote, entidad estatal, que proporcionó las fichas de evaluación realizadas por CRYRZA-PNUD, referente a los daños ocurridos en las 42 manzanas pertenecientes al Casco Urbano, fichas que ascienden a cerca de 2,000 y cuyo modelo a manera de ilustración, se presenta en el anexo 4.3. Mientras que para el resto de la ciudad se efectuó un trabajo que consistió en el replanteo de las manzanas en escala 1:5000, en donde se representó mediante el auxilio de una nomenclatura apropiada, los tipos de construcciones existentes en la Ciudad y el estado de las mismas luego del sismo, estudio que se llamó "Investigación Urbana Acelerada" y que mostraba el inventario del estado de desarrollo existente, realizado en 1971 por CRYRZA-PNUD.

Debido a la única información disponible, es que el presente trabajo, ha tenido que adaptarse y por cierto - que presenta algunas limitaciones que a continuación se exponen:

Los tipos de estructuras evaluados son agrupados en tres: de material noble, de adobe y material provisional, incluyéndose en este último los de madera, esteras y eternit. La distinción anterior desde el punto de vista de los tipos de

construcciones existentes en la Ciudad, estudiados en el acápite 4.2, sería suficiente ya que representarían el volumen mayoritario, pues es sabido que las estructuras aporticadas y metálicas, son en número muy reducidas y sus daños en muchos casos fueron mínimos.

Cabe resaltar que en esta distinción de los tipos de construcciones evaluadas, existía una limitación importante y es debida a la imposibilidad dentro de la clasificación de construcciones de material noble, el distinguir aquellas que tenían columnas y vigas, es decir elementos estructurales de confinamiento y arriostre, de aquellas que carecían de estos elementos, limitación impuesta por el tipo de información disponible.

Referente a los niveles de daños, se han distinguido tres en la literatura existente, que representan rangos de porcentajes de daños en la construcción evaluada y son:

Daño Leve	Del 0% al 15% de destrucción
Daño Moderado	Del 16% al 50% de destrucción
Daño Grave	Del 51% al 100% de destrucción.

Esta distinción, al momento de la evaluación fue realizada en base a la apreciación personal del encuestador, más que en una clasificación detallada de niveles de daños que homogenizara crite

rios. En la tabla de matriz de daños, los niveles de los mismos, están representados por las letras mayúsculas L, M y G, nomenclatura que será utilizada en adelante.

El primer paso realizado, fue establecer una estadística que sirva de base tanto para calcular los porcentajes de los diferentes tipos de construcciones existentes, como de los niveles de daños alcanzados, de todas las construcciones y evaluadas por manzanas, información que se presenta en el anexo 4.4. Cabe resaltar que en las columnas referentes al "Número de Construcciones", se han incluido las viviendas en construcción y en construcción paralizada, no así en las pertenecientes a la evaluación de los estados de las construcciones.

Con la información disponible presentada en el anexo 4.4, se calcularon los porcentajes de los tipos de construcciones, evaluados por barrios y urbanizaciones y cuyo resultado se vio en el mapa al que se hizo referencia en el acápite 4.2.

Para formular la matriz de daños, a diferencia de trabajos anteriores, se consideró el tipo de suelo donde estaban cimentadas las construcciones, en base a la zonificación planteada en el capítulo anterior, y que se presenta en el mapa P4.2 "Evaluación de las construcciones en Chimbote" a escala 1:10000, donde todas las manzanas de los diferentes barrios y urbanizaciones de la ciu

dad están numeradas y corresponden exactamente a la in -  
formación presentada en el anexo 4.4.

Como se observa, se ha diferenciado los cuatro ti -  
pos de suelos planteados en la Microzonificación, a sa -  
ber Suelos I,II,III y IV, nombrándolos Zonas A, B, C y  
D respectivamente, nomenclatura cambiada por ser finali -  
dades distintas las que se persigue y para visualizar -  
mejor los cambios que eventualmente podrían ocurrir.

Una vez construído el mapa anterior, se empezó a  
contabilizar todas las construcciones, pertenecientes a  
cada una de las cuatro zonas planteadas, prestando espe -  
cial atención en los barrios cuya extensión abarcaba más  
de una zona. Los resultados de dicho análisis se mues -  
tran en el anexo 4.5, en donde en la columna referente a  
las zonas, se han colocado los nombres de los barrios y  
urbanizaciones que pertenecen a dicha zona, en algunos -  
casos al lado del nombre aparecen entreparéntesis unos  
números, que representan las manzanas que han sido incluí  
das en dicha zona, u otras veces aparece la palabra "No"  
para designar así las que han sido excluídas.

Las columnas L, M y G, para cada uno de los tres -  
tipos de construcciones analizadas, indican las cantida -  
des de construcciones, en cada barrio, que han tenido  
como grados de daño el leve, moderado y grave respecti -  
vamente.

Con los datos del anexo 4.5, se confeccionó la esta

dística de daños, para cada uno de los tipos de construcciones, esta vez trabajando con los porcentajes que correspondían a cada grado de daño, como se aprecia en la tabla 4.2, cuyo contenido es el siguiente:

- En la columna "Barrio" se han colocado, como su nombre lo indica el nombre del barrio y urbanización respectivo al análisis.
- En la columna "N°", se colocan las cantidades de construcciones, de cada barrio que pertenecen a cada una de las cuatro zonas analizadas y por otro lado en las columnas "X" van los porcentajes de dichas construcciones que tuvieron daños leves, moderados y graves para cada zona, información que se consigue a partir del anexo 4.5.

Al observar las columnas "X" de la tabla 4.2 se ve que existe la necesidad de definir un valor medio porcentual de las construcciones que presentaron cada uno de los tres grados de daños en las cuatro zonas.

Este valor medio porcentual está definido por:

$$\bar{X} = \frac{\sum_i N_i \cdot X_i}{\sum_i N_i}$$

a este valor medio que se muestra en la parte inferior de la tabla 4.2, era necesario encontrarle una desviación standar, ya que como se observa la dispersión de los por

centajes es notoria y se aprecia mejor en la tabla 4.3 donde se ha contabilizado la frecuencia de los valores porcentuales para cada una de las cuatro zonas en los tres grados de daños.

La desviación standar está definida como:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum N_i (\bar{X} - X_i)^2}{\sum N_i}}$$

Luego esto obliga a definir, no porcentajes de construcciones dañadas para un nivel de daño dado y para un tipo de suelo, sino que de esta manera se define un rango más o menos confiable de porcentaje de construcciones para el grado de daño analizado.

Debido a la naturaleza de los datos, en adelante se pondrá especial atención con los análisis efectuados para las construcciones de material noble.

Los rangos de daños obtenidos para las cuatro zonas se visualizan en la tabla 4.4, cuya matriz de daños es la mostrada en la tabla 4.5. Como se observa, los rangos de daño son muy parecidos para las zonas B, C y D debido a los valores altos de la desviación standar; esto se debe a la presencia de valores porcentuales, en ciertas zonas y para ciertos niveles de daño, que se alejan demasiado de la agrupación de los datos como se observó en la tabla 4.3.

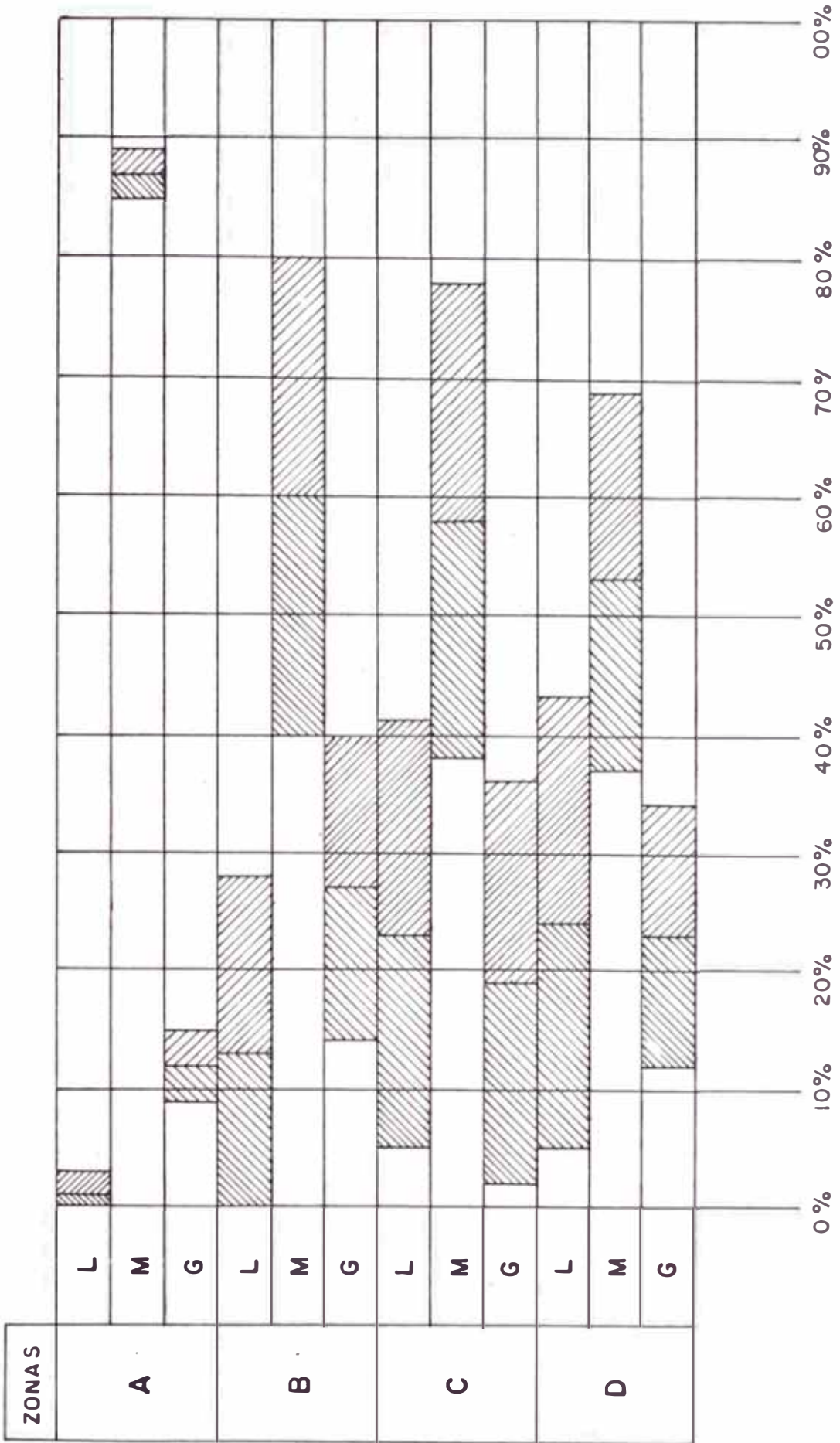
Es importante indicar las siguientes observaciones:





TABLA 4.4

RANGOS DE DAÑOS PARA LAS CUATRO ZONAS



**TABLA 4.5**

**MATRIZ DE DAÑOS**  
**— MATERIAL NOBLE —**

PORCENTAJES DE CONSTRUCCIONES DAÑADAS			
DAÑO ZONA	LEVE 0-15 %	MODERADO 15% - 50%	GRAVE 50% - 100%
<b>A</b>	0% + 2 %	86% ± 2 %	13% ± 3 %
<b>B</b>	13% + 15%'	60% + 20%	27% ± 13%
<b>C</b>	23% + 18%	58% + 20%	18% + 17%
<b>D</b>	22% + 18%	53% + 16%	24% + 11%

- Para la zona A, la distribución de los datos es bastante homogénea, por lo tanto no habrían cambios.
- Para la zona B, la parte correspondiente a Antúnez de Mayolo presenta un valor porcentual alto de daño leve, esto indica que tuvo un buen comportamiento, muy diferente al resto. En la misma zona los resultados obtenidos para Miraflores 2da. zona no son representativos ya que sólo han sido hallados en base sólo a 5 construcciones.

Los valores obtenidos para el barrio El Trapecio se ajustan notoriamente a los obtenidos en la zona A, por cuanto el cambio es muy conveniente no sólo por los daños obtenidos, sino también en base a los datos geológicos y de zonificación que no correspondían en esta zona.

- Para la zona C, en base a la distribución de frecuencias se observa que los barrios El Carmen y Pensacola, han sido las zonas más dañadas de todo Chimbote, indistintamente del tipo de construcción existente. Además sus daños no se ajustan a ninguna de las cuatro zonas propuestas, por cuanto se concluye que se podría estar hablando de una quinta zona, la más desfavorable por cierto.

La Caleta y Antúnez de Mayolo, han presentado si milar comportamiento, indistintamente de la zona desde donde se analice y sus daños han sido mínimos, por lo tanto y en base también a los perío dos de microtrepidaciones obtenidos, se concluye que se estaría analizando una zona diferente a las restantes y de buen comportamiento de las construcciones.

Finalmente, los barrios de Miraflores 3ra. zona y Alto Perú han tenido un comportamiento similar al presentado en la zona A, por cuanto desde el punto de vista de daños a las construcciones, este cambio sería favorable, teniendo en cuenta además que la desviación standar disminuiría y - esto daría como consecuencia tener rangos de daños más precisos para los diferentes grados de - daño analizados.

En la zona D, los cambios en base a las razones expuestas anteriormente serían para Antúnez de - Mayolo, La Caleta, Miraflores 3ra. zona y El Trapecio.

Los cambios anteriores se observan en la tabla 4.6 que nos muestra la estadística de daños del material noble para las seis zonas propuestas.

En forma general se puede apreciar que la dis - tribución de frecuencias de los daños porcentua-

les ha sido mejorada notablemente como se aprecia en la tabla 4.7 y estos resultados se traducen en la disminución de las desviaciones estándar de los valores medios porcentuales de las construcciones dañadas para los diferentes grados de daño, dando por consiguiente rangos de daños más precisos como se observa en la tabla 4.8. Finalmente la matriz de daños propuesta para las construcciones de material noble en Chimbote por efecto del sismo es la que se presenta en la tabla 4.9. En lo que sigue sería importante describir algunas diferencias observadas con la matriz planteada en la tabla 4.5; como se aprecia debido a los cambios efectuados se puede concluir que:

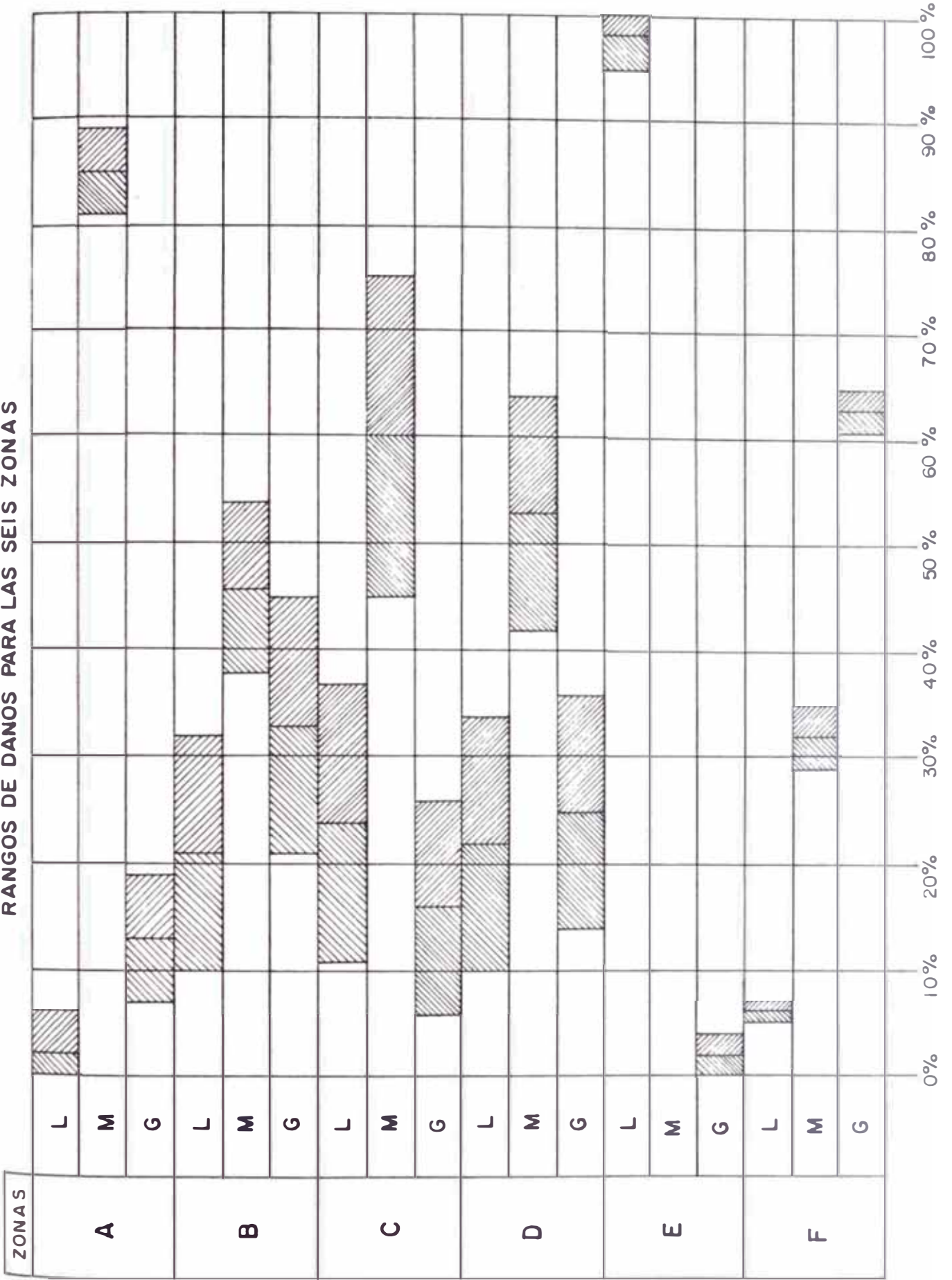
Para la zona A, los daños fueron mayoritariamente moderados es decir, las construcciones en un 85% presentaron daños entre 15% y 50%, las desviaciones estándar han aumentado muy ligeramente, a pesar de que las construcciones evaluadas superan el doble que las propuestas inicialmente para las cuatro zonas.

En la zona B, se observa que el rango de daños al realizar el cambio de cuatro a seis zonas, los porcentajes de construcciones dañadas, presentan mayor confiabilidad, ya que en cuanto a

**TABLA 4.7**  
**FRECUENCIA DE LOS RESULTADOS**  
**PARA SEIS ZONAS**

ZONA	0 -10%	11%-20%	21%-30%	31%-40%	41%-50%	51%-60%	61%-70%	71%-80%	81%-90%	91%-100%
A	L	///	/							
	M							///	///	///
	G	///	///							
B	L	/	///	/	///					
	M			/	///	///	/			
	G	/	///	///	/					
C	L	/	////	////	///	/	/			
	M			///	///	///	////	///	/	
	G	////	////	///	///	/				
D	L	///	///	/	///	///				
	M			///	///	///	///	///		
	G	/	///	///	///	/				
E	L									///
	M	///								
	G	///	///	///						
F	L	///								
	M			/						
	G						///			

**TABLA 48**  
**RANGOS DE DAÑOS PARA LAS SEIS ZONAS**





**TABLA 4.9**  
**MATRIZ DE DAÑOS**  
 – MATERIAL NOBLE –

PORCENTAJES DE CONSTRUCCIONES DAÑADAS			
DAÑO ZONA	LEVE 0 – 15 %	MODERADO 15 % – 50 %	GRAVE 50 % – 100 %
A	2% ± 4%	85% ± 4%	13% ± 6%
B	21% ± 11%	46% ± 8%	33% ± 12%
C	24% ± 13%	60% ± 15%	16% ± 11%
D	22% ± 12%	53% ± 11%	25% ± 11%
E	98% ± 3%	—	2% ± 2%
F	6% ± 1%	32% ± 3%	63% ± 2%

daños moderados de un valor  $60\% \pm 20\%$  que nos demuestra un valor relativamente alto de incertidumbre, llega al valor  $46\% \pm 8\%$ , lo que nos demuestra que aproximadamente el 45% de las construcciones mostraron daños entre 15% y 50%.

A pesar de los cambios efectuados se puede observar que desde el punto de vista de los daños, las zonas C y D han tenido casi igual grado de destrucción, por lo que se hace la observación de que las zonas indicadas como tierras bajas dividiendo el aluvión, en el mapa de Geología, correspondiente al capítulo II y que pertenecen a la zona IV planteada por Morimoto et. al. 1971 en su microzonificación sísmica para la ciudad de Chimbote, no serían necesarias para efecto de una distinción de zonas sísmicas, sin embargo a tal conclusión se debe llegar además de los datos anteriores, con el apoyo de ensayos de microtrepidaciones y de estudios de suelos localizados en estas zonas.

La zona E, que comprende el barrio de Antúnez de Mayolo y la urbanización La Caleta, se presenta como la zona menos dañada de la ciudad de Chimbote, ya que el 98% de sus construcciones sólo sufrieron daños entre 5% y 15%, por otro lado estudios de microtrepidaciones (Morimoto et. al, 1971) indican períodos cortos para esta zona,

por lo que se concluye la necesidad de indicar a ésta, como diferente a las anteriores.

Por otro lado, los barrios de El Carmen y Pensacola, estarían conformando la zona más desfavorable de la ciudad de Chimbote, por cuanto los daños que sufrieron sus construcciones (483 evaluadas) en un 63%, fueron graves, es decir cada construcción presentó más del 50% de daño en su estructura. Mientras que por otro lado, sólo el 5% de las construcciones, aproximadamente, presentaron destrucción leve.

Las anteriores conclusiones han sido extraídas en base a los análisis de evaluación de daños efectuados para las construcciones de material noble, sin embargo se ha efectuado una estadística de igual finalidad, dirigida a las construcciones de adobe y provisional como se observa en las tablas 4.10 y 4.11 que nos muestran, resultados muy similares, en donde hay que resaltar la gran destrucción presentada en ambos tipos de construcciones, indiferente de la zona donde estuviesen ubicadas.

Las construcciones de adobe han presentado daños casi totales, ya que los porcentajes en las cuatro zonas prácticamente superan el 90% en el nivel de daño grave. De la misma manera se puede concluir para las construcciones provisionales en donde los daños para más del 50%

de la construcción, ha sido presentado en más del 80% de las construcciones en cada zona. Estas dos situaciones indican que tanto las construcciones de adobe como las de material provisional constituídas de madera, esteras, eternit, etc. se comportaron de una manera muy frágil y sufrieron prácticamente daños totales.

Se presenta un plano P4.3 "Mapa de Vulnerabilidad sísmica de Chimbote", donde se representan las seis zonas anteriormente definidas con marcada diferencia de destrucción, siendo la más favorable la E y la más desfavorable la F, como se discutió anteriormente.

#### **4.5 PROBABILIDAD DE DAÑOS SISMICOS**

En el capítulo II, como se vio, se evaluó el riesgo sísmico de la ciudad de Chimbote en base a una metodología que consistía en un análisis riguroso de la historia sísmica y en la utilización de fuentes sismogénicas, leyes de atenuación y parámetros sísmicos que nos condujeran a dicha evaluación.

Los resultados del análisis se dieron en términos de la aceleración del terreno, ver tabla 2.3, pero es conocido que la aceleración y la intensidad sísmica están íntimamente relacionadas, de tal manera que ingresando intensidades sísmicas, por ejemplo en la escala Mercalli Modificada, nos arroje el programa de cómputo RISK, el -

riesgo sísmico anual respectivo; este análisis se ha efectuado y es el que se muestra en la tabla 4.12.

El presente acápite, expone una metodología que tiene por finalidad relacionar las probabilidades de ocurrencia de sismos con diferentes intensidades sísmicas (Mercalli Modificada en nuestro caso) y los daños que potencialmente nos dejarían en tiempos de exposición prefijados.

#### 4.5.1 Probabilidades de ocurrencia de sismos de intensidad dada

En la tabla 4.12 se mostró las probabilidades de ocurrencia o excedencia de un movimiento sísmico de intensidades M.M. IV a X en un período de 1 año. Sin embargo es importante conocer cuáles serían las probabilidades de ocurrencia de esos sismos para períodos de exposición mayores, por ejemplo para 25 años y 50 años; tal resultado se puede obtener aplicando la siguiente relación:

$$R = \left[ 1 - (1 - R_a)^n \right]$$

donde:

$R_n$  = riesgo para N años de exposición

$R_a$  = riesgo anual

Para efectos significativos se ha considerado intensidades sísmicas en la ciudad de Chimbote entre IV y X en

la escala MM y aplicando la relación anterior para tiempos de exposición de 25 a 50 años se obtiene los resultados mostrados en la tabla 4.13, los mismos que han sido graficados en escala semilogarítmica como se observa en la figura 4.1.

#### **4.5.2 Razón de daño Vs. Intensidad M.M.I.**

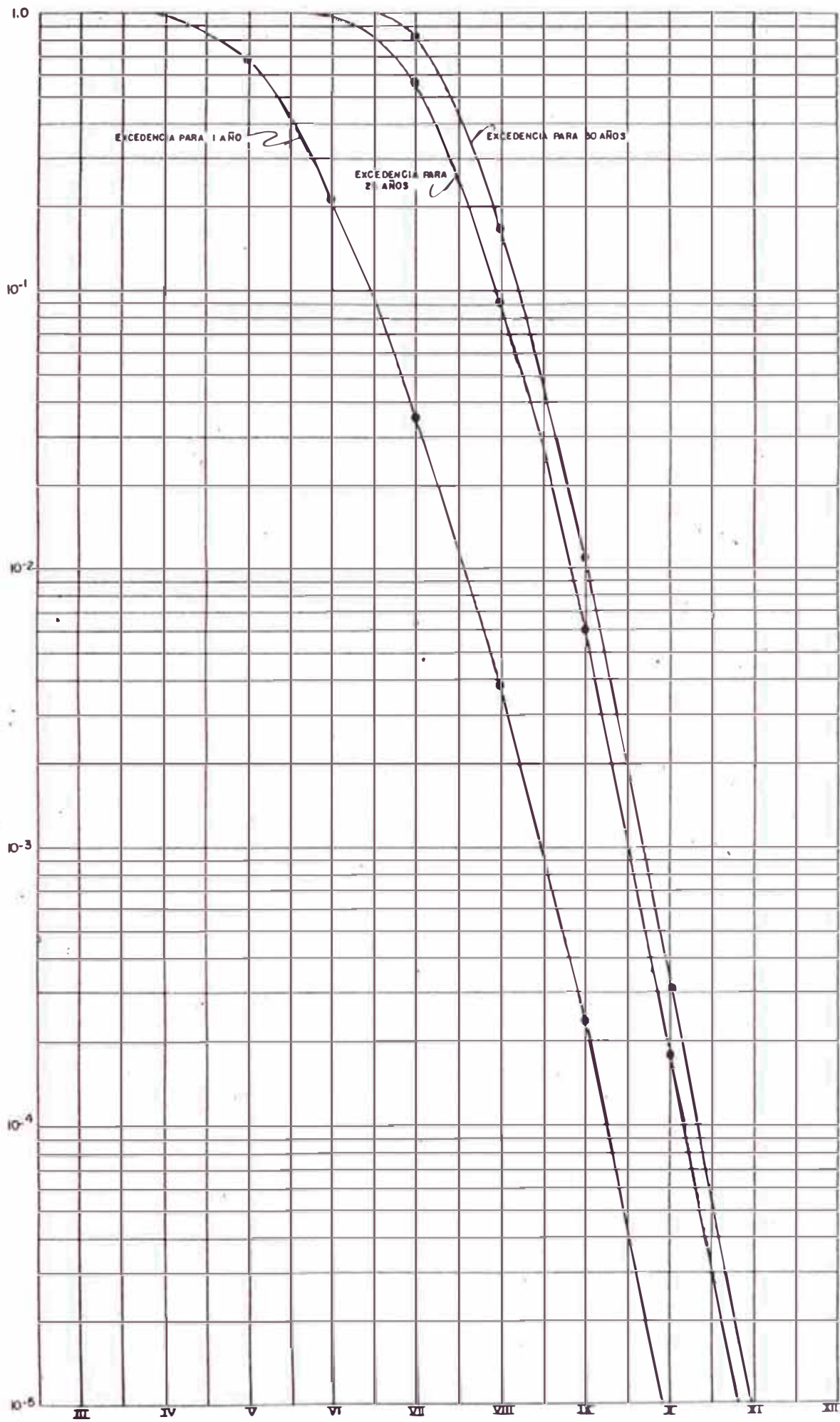
En forma cualitativa, se puede afirmar que a medida que la intensidad sísmica aumenta, los daños en las construcciones sometidas a dichos efectos, también aumentarán. Es esta relación la que a dado origen a que muchos investigadores en base a datos estadísticos e información disponible sobre los daños causados por Terremotos traten de relacionar estas dos características, y es así por ejemplo que Sauter et. al (1978) define curvas representativas para diferentes tipos de construcción como adobe, manpostería sin reforzar, marcos de acero, estructuras a base de muros de corte, etc. en las cuales para diferentes intensidades sísmicas en la escala de Mercalli Modificada se pueden obtener los porcentajes de daños que ocurrirían.

Debido a la poca información disponible sobre los daños obtenidos en sismos pasados, es que no se dispone para las estructuras desplantadas en la ciudad de Chimbote gráficas de porcentaje de daño Vs. intensidad M.M. por lo que en el análisis que a continuación se expone,

TABLA 4.13

PROBABILIDAD DE EXCEDENCIA SISMICA

INTENSIDAD (I)	ANUAL	25 años	50 años
IV	0.995000	1.000000	1.000000
V	0.716000	1.000000	1.000000
VI	0.217000	0.997792	0.999995
VII	0.035500	0.594906	0.835899
VIII	0.003850	0.091932	0.175412
IX	0.000240	0.005983	0.011929
X	0.000007	0.000175	0.000350





se usarán las propuestas por Sauter et al (1978), ajustándose las estructuras estudiadas a las propuestas en la gráfica como:

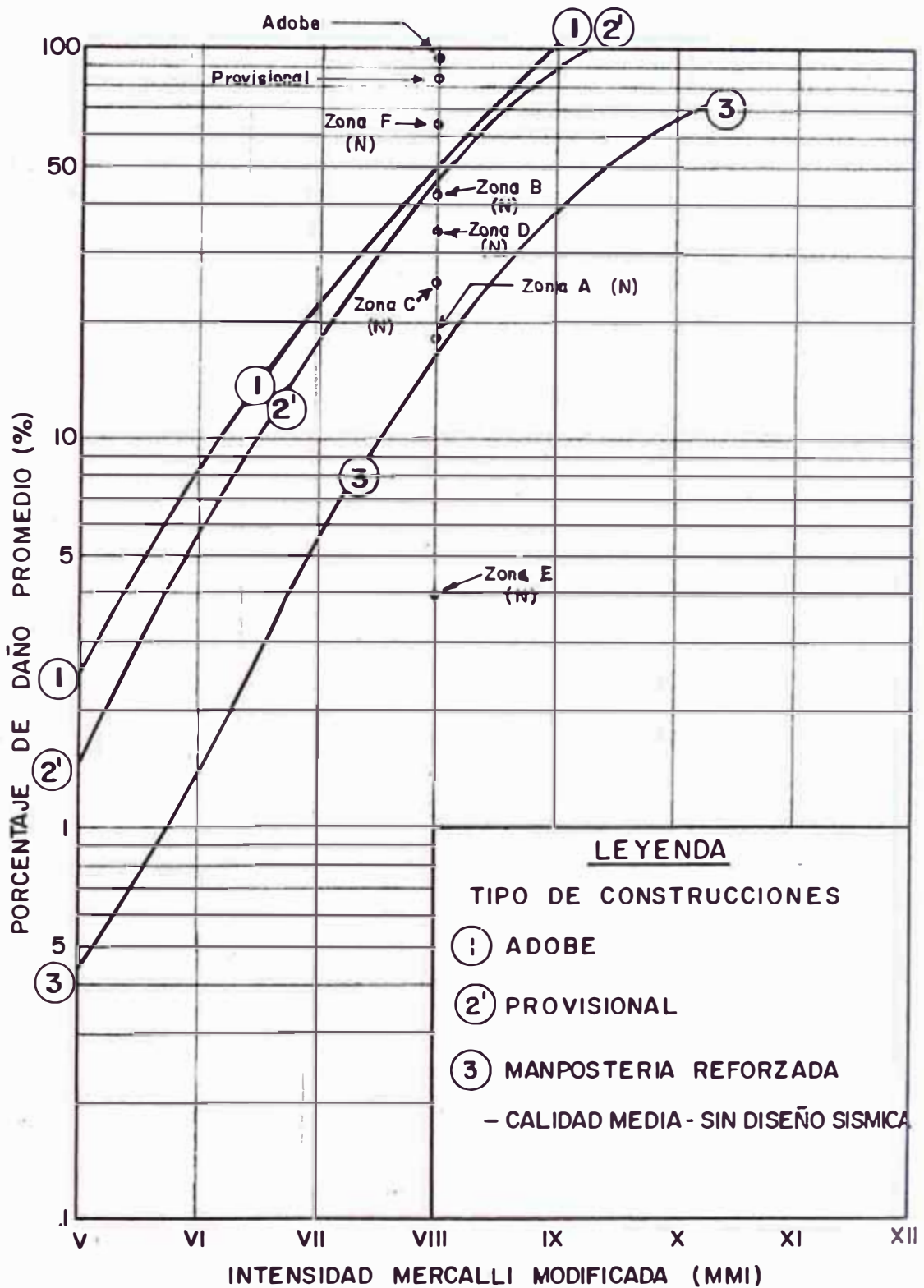
Material Adobe	curva N° 1
Material Provisional:	valores entre curvas N°1 y N°2
Material Noble	curva N° 5.

En el acápite anterior se observó que las construcciones provisionales presentaron daños ligeramente menores a los encontrados para el adobe, por lo que se ha visto conveniente construir una curva que las represente, cuya ubicación estaría entre las curvas 1 y 2 propuestas por Sauter y que se presentan en el anexo 4.6, dicha curva es la 2' en la fig. 4.2. Para el material noble se ha considerado la curva 5 como la más representativa. Los resultados obtenidos para los daños en las construcciones de material noble han sido planteados en la figura anterior diferenciando las zonas de análisis indicadas en la figura para una intensidad de VIII como fue la registrada para el sismo del 31 de Mayo de 1970. Como se observa la curva 3 representativa del material noble, no refleja exactamente los daños que se esperarían para las construcciones de dicha característica en la ciudad de Chimbote.

De las curvas presentadas en la fig. 4.2 se pue -

Fig. 4.2

PORCENTAJES DE DAÑO VS. INTENSIDAD SISMICA  
Sauter et al. (1978)



NOTA SE DEFINE DAÑO PARA MAYOR DE 50%. EL PLOTEO SE HA REALIZADO PARA VALORES DE  $X + \sigma$  CONSERVADORAMENTE.

N : MATERIAL NOBLE

den extraer los porcentajes de daño promedio (razón de -  
daño) para los tres tipos de construcciones analizadas  
y para diferentes intensidades sísmicas M.M., resulta-  
dos que se muestran en la tabla 4.14, y que servirán pa-  
ra estimar los daños probables para sismos posteriores.

#### 4.5.3 Estimación de daño esperado

En el acápite anterior, se observó cómo para  
diferentes intensidades sísmicas se pueden obtener por -  
centajes de daño para diversos tipos de construcciones.  
El daño esperado es un porcentaje de daño a las cons -  
trucciones definido en base a las probabilidades de ocu-  
rrencia de sismos de diferentes intensidades sísmicas -  
M.M. y de las propiedades del suelo, relación definida  
por Zamarbide et al (1983) como:

$$D.E. = \sum_i P(MMI = i) \cdot RD \cdot f_s$$

donde:

D.E. = daño esperado expresado porcentual-  
mente

$P(MMI = i)$  = son las probabilidades de ocurrencia  
de sismos de magnitud  $i$  en M.M.

$R D$  = razón de daño, obtenida de la fig. -  
4.2 y presentada en la tabla 4.14.

$f_s$  = es un factor de suelo, que el autor -  
lo relaciona al potencial de licua -  
ción y que toma valores 1.0; 1.1 y  
1.2

TABLA 4.14

RAZON DE DAÑO

INTENSIDAD SISMICA M.M.I.	PORCENTAJES DE DAÑO EN LAS CONSTRUC.		
	ADOBE	PROVISIONAL	NOBLE
V	2.6	1.4	0.4
VI	8.0	5.2	1.6
VII	21.5	17.0	5.5
VIII	50.0	44.0	16.0
IX	100.0	90.0	36.0
X	100.0	100.0	64.0

Aplicando la relación anterior, apartir de la intensidad sísmica de MM igual a V hasta X, con los datos presentados en las tablas 4.13 y 4.14, para tiempos de exposición anual, de 25 años y 50 años, se obtienen los resultados presentados en la tabla 4.15 de porcentajes de daño esperado. Es importante hacer notar que los valores del factor suelo, se han aplicado en base a la observación de los daños presentada en la matriz respectiva para las seis zonas propuestas en el acápite 4.4, ver tabla 4.9, así como de las condiciones locales y geológicas analizadas en capítulos anteriores para cada una de las zonas.

#### 4.5.4 Probable potencial de pérdidas

Hasta el momento, los resultados obtenidos se han circunscrito a la obtención de valores porcentuales de daño a las construcciones, para las probables ocurrencias de diferentes sismos en un lapso de tiempo definido.

Zamarbide et al (1983) define a la probable potencial de pérdidas P.P.P. (probable potential losses) como:

$$P.P.P. = \sum_j B_j \cdot DE_j \cdot C_j$$

donde:

P.P.P. = es el probable potencial de pérdidas en las construcciones existentes analizadas.

$B_j$  = Número de construcciones de la zona analizada.

TABLA 4.15

PORCENTAJES DE DAÑO ESPERADO

ZONA	FACTOR SUELO	TIPO DE CONSTRUCCIONES																	
		ADOBE				PROVISIONAL				NOBLE									
		Anual	25 Años	50 Años	Anual	25 Años	50 Años	Anual	25 Años	50 Años	Anual	25 Años	50 Años						
A	1.2	5.5	34.3	46.3	3.5	25.6	35.5	1.1	8.0	11.9	5.0	31.4	42.4	3.2	23.4	32.6	1.0	7.4	10.9
B	1.1	5.0	31.4	42.4	3.2	23.4	32.6	1.0	7.4	10.9	5.0	31.4	42.4	3.2	23.4	32.6	1.0	7.4	10.9
C	1.1	5.0	31.4	42.4	3.2	23.4	32.6	1.0	7.4	10.9	5.0	31.4	42.4	3.2	23.4	32.6	1.0	7.4	10.9
D	1.1	5.0	31.4	42.4	3.2	23.4	32.6	1.0	7.4	10.9	5.0	31.4	42.4	3.2	23.4	32.6	1.0	7.4	10.9
E	1.0	4.6	28.6	38.6	2.9	21.3	29.6	0.9	6.7	9.9	4.6	28.6	38.6	2.9	21.3	29.6	0.9	6.7	9.9
F	1.2	5.5	34.3	46.3	3.5	25.6	35.5	1.1	8.0	11.9	5.5	34.3	46.3	3.5	25.6	35.5	1.1	8.0	11.9

- $DE_j$  = daño esperado para el tipo de construcción  $j$  analizada.
- $C_j$  = es un factor de costo económico con respecto a una construcción patrón, del tipo de construcción  $j$  analizada.

En el presente trabajo el factor económico no se ha considerado, por cuanto dicho análisis escapa a los objetivos del trabajo, el cual es mostrar una metodología de análisis probabilístico de daño a las construcciones, sin embargo dicho factor serviría para llegar a resultados referidos a un tipo único de construcción, es decir en vez de afirmar que las construcciones dañadas serían p. ej. 10 en adobe, 15 de material provisional y 20 de material noble, se concluiría que las construcciones dañadas equivaldrían económicamente a 35 de material noble.

La aplicación de la relación anteriormente definida para el probable potencial de pérdidas, para las construcciones existentes en la ciudad de Chimbote, presentadas en el anexo 4.4 y diferenciadas según las seis zonas sísmicas propuestas se presenta en la tabla 4.16 para tiempos de exposición de 1, 25 y 50 años.

#### 4.6 PROBLEMATICA ACTUAL DE LA VIVIENDA

En este acápite, se tratará de enfocar algunos aspectos relacionados con la vivienda en la ciudad de Chimbote.

TABLA 4.16

PROBABLE POTENCIAL DE PERDIDAS (P.P.P)

ZONA	TIPO DE CONSTRUCCIONES																				
	ADOBE						PROVISIONAL						NOBLE								
	Nº	DAÑO ESPERADO			P.P.P.	Nº	DAÑO ESPERADO			P.P.P.	Nº	DAÑO ESPERADO			P.P.P.						
		1 AÑO	25 AÑOS	50 AÑOS			1 AÑO	25 AÑOS	50 AÑOS			1 AÑO	25 AÑOS	50 AÑOS							
A	10	5.5	34.3	46.3	1	3	5	2240	3.5	25.6	35.3	78	573	795	2185	1.1	8.0	11.9	24	175	260
B	305	5.0	31.4	42.4	15	96	129	4246	3.2	23.4	32.6	136	994	1384	906	1.0	7.4	10.9	9	67	99
C	575	5.0	31.4	42.4	29	181	244	2984	3.2	23.4	32.6	95	698	973	5375	1.0	7.4	10.9	54	398	586
D	582	5.0	31.4	42.4	19	120	162	1759	3.2	23.4	32.6	56	412	573	1774	1.0	7.4	10.9	18	131	193
E	-	4.6	28.6	38.6	-	-	-	15	2.9	21.3	29.6	-	-	-	221	0.9	6.7	9.9	2	15	22
F	99	5.5	34.3	46.3	5	34	46	28	3.5	25.6	35.5	1	7	10	483	1.1	8.0	11.9	5	39	57
TOTAL	1371				69	434	586	11212				366	2687	3739	10944				112	825	1217



bote. Como se sabe, esta Ciudad, con motivo de los daños sufridos por el sismo del 31 de Mayo de 1970, fue sometida a un estudio detallado de Planificación realizada por CRYRZA-PNUD, en la que se visualizaban aspectos de desarrollo de la Microregión, fundamentados en una preparación del esquema general de desarrollo de Chimbote así como preparación del Plan Director y planes detallados para tres áreas escogidas que fueron el Casco Urbano, un distrito residencial y una zona industrial.

Por la ubicación de la ciudad, el Plan Director señaló la zona Sur, como la zona para realizar la expansión urbana. Dicho Plan, para el mediano plazo, señaló un área urbanizable de 1,000 has., que comprendía cuatro distritos para una población, aproximada de 150,000 habitantes.

Los distritos proyectados eran "Villa María" con 260 has; "La Marina" con 320 has; "3 de Octubre" con 240 has. y "Buenos Aires" con 260 has. Es decir se presumía que Chimbote tendría posibilidades expansivas para albergar hasta 600,000 habitantes en una extensión de 2000 has. (CRYRZA-PNUD 1972).

Sin embargo, estudios recientes (Muñoz, 1982) establecen que entre los años 1972-1982, se han construido aproximadamente 5,000 viviendas, es decir un promedio anual de 500 viviendas, manteniéndose un déficit del 60.9% en la construcción y mejoramiento de la vivienda.

Se muestran las tablas 4.17, 4.18 y 4.19, que señalan el déficit de vivienda en Chimbote, las viviendas - construídas, así como la construcción de viviendas necesarias anualmente hasta el año 2,000.

En forma general la problemática actual de la vivienda en Chimbote, que cuenta según el último Censo de 1981, con 216,406 habitantes considerada dentro del área Urbana y de 6,907 para la rural, tiene un área neta de 2,118 Has. incluyendo el Casco Urbano, Pueblos Jóvenes y Zonas de Expansión, según fuente proporcionada por el Area de Programación y Estadística SDSV - Ordenor Centro, cuenta con 33,700 lotes para uso de vivienda, considerando las recientes Habilitaciones Urbanas con fines de vivienda en la zona Sur, de las cuales 23,627 unidades corresponden a los asentamientos urbanos denominados Pueblos Jóvenes, la cifra restante 10,073 lotes está dirigida a Urbanizaciones Residenciales, Populares y los Programas de Viviendas de Interés Social.

Tanto las viviendas antiguas, como las que se van creando día a día, según el estado actual en que se encuentran pueden tipificarse de la siguiente manera:

(Dionisio, 1982).

Bueno	Viviendas acabadas con material recomendable de acuerdo a las normas técnicas, constituyen aproximadamente un 28% (9,436 Unidades)
Regular	Con reparos técnicos y/o semi-terminados, la cantidad aproximada es de

TABLA 4.17

CONSTRUCCION DE VIVIENDAS NECESARIAS ANUALMENTE HASTA  
EL AÑO 2000

---

Déficit total de u.v.	12,800	45,680 (A) 51,347 (B)
Construcción de nuevas viviendas	5,000	
Promedio anual construído	500	
Promedio anual necesario para absorver déficit	1,280	2,537 (A) 2,853 (B)
Déficit en la construcción y mejoramiento	60.9%	

Fuente: "Plan Chimbote" y estimaciones del INDES.

TABLA 4.18

VIVIENDAS CONSTRUIDAS

Zona	Total Lotes	Viviendas construidas	Por Construir
Buenos Aires I y II Etapa	1,020	417	598
Casuarinas	178	175	
Zonas 1 y 2 N.CH	1,434	1,430	
Zona 3 N.CH	1,764	1,764	
Zona 4 N.CH	606		
Zona 5 N.CH	1,842	642	1,190
Bella Mar	2,232	510	1,722
TOTAL	9,076	4,900	3,510

Fuente: Cifras preliminares M.V.C. 1982.

TABLA 4.19

DEFICIT DE VIVIENDA EN CHIMBOTE

	1972	1982	2000
Población Urbana	159,000	216,406	412,800
Familias	25,000	40,000*	75,000
Familias sin casa	1,800	10,680	
Familias nuevas en relación a 1972 y 1982		15,000	35,000
Casas para reconstrucción o mejoramiento	12,800	5,667**	
Necesidad total de casas	14,600	16,347	45,680 (A) 51,347 (B)

Fuente .Plan Chimbote  
 .Cifras preliminares de las Sub-dirección Zonal Costa del M.V.C.  
 .Proyecciones de Indes.

Notas:

\* Se refiere a familias en los Pueblos Jóvenes

\*\* Se refiere a viviendas en los Pueblos Jóvenes en estado precario y ruinoso.

(A) Se refiere sólo a las familias nuevas para 1982 y al año 2,000

(B) Incluye además de las familias nuevas de los años 1982 y 2000, las viviendas precarias consideradas para 1982.

16,513 unidades, representando un 49%.

Malo-Ruinoso  
o Precario

Viviendas construídas con material recuperable (esteras, quincha etc.) o los que se encuentran en condiciones ruinosas: 11,121 unidades representando un 33%.

Lo anterior ha sido una descripción resumida de la situación actual de Chimbote, en lo que sigue se presenten algunas fotos ilustrativas de los tipos y estados de construcciones existentes, así como información referente a algunos defectos constructivos.

#### 4.7 CONCLUSIONES

Chimbote es una ciudad que presenta diversidad en los tipos de construcciones existentes, que van desde construcciones provisionales, hasta estructuras especiales, en cuyo rango se encuentran también construcciones de adobe, construcciones de material noble y estructuras aporticadas.

Los daños producidos por el sismo del 31 de Mayo de 1970, como se describió en el acápite 5.3 fueron cuantiosos, sin embargo se insiste en dar un enfoque estadístico al evaluar los daños, que nos defina porcentajes de construcciones dañadas.

das para diferentes grados de daño, siendo la escala M.S.K. la más recomendable para el logro de tales fines.

Muchas de las causas de las fallas observadas en las construcciones han sido analizadas en el acápite 5.3, y se ha observado que dichos errores además de ser siempre repetitivos inclusive hasta en la actualidad, se deben básicamente a dos razones, la primera es una carencia de apoyo técnico y la segunda un uso inadecuado de materiales de baja calidad.

Se ha tratado de establecer una metodología de evaluación de daños, en donde se aprecia en función de la calidad del suelo, los diferentes porcentajes de destrucción de las construcciones para diferentes grados de daño, esto con la finalidad de enfocar una matriz que nos proporcione una probabilidad de daño, con la cual nos podamos basar para dar una estimación económica de los efectos posibles de un sismo y poder plantearnos alternativas de prevención.

Uno de los aportes más significativos del estudio de los daños mediante matrices, es que se visualiza los diferentes comportamientos de las construcciones en condiciones de cimentación diferente, y esto es de suma importancia para la -

determinación de una zonificación sísmica. De estos estudios se desprende que los barrios de El Carmen y Pensacola fueron los más castigados mientras que por otro lado Antúnez de Mayolo y La Caleta presentaron daños mínimos, razón por la cual se plantea una zonificación con seis zonas sísmicas.

Como se observó en el contenido del capítulo, la relación entre las pérdidas potenciales en las construcciones debido a los movimientos sísmicos y la probabilidad e intensidad de ocurrencia de los mismos es íntima. La metodología propuesta, en el presente trabajo, más que perseguir resultados se ha pretendido dar una secuencia lógica de los parámetros a usar para llegar a los resultados esperados. En esta oportunidad, al aspecto económico no se le ha dado un enfoque directo ya que el sentimiento de análisis fue orientado principalmente a los parámetros sísmicos y probabilísticos. Sin embargo se ha visto la necesidad de implantar en base a una estadística bien orientada, curvas que nos definan daños porcentuales para diferentes tipos de construcciones versus intensidades sísmicas M.M., por ser esta relación de fundamental ponderación para los resultados que se quieren obtener.



Estudios actuales demuestran la existencia de -  
construcciones cuyo estado de conservación se  
pueden clasificar en tres tipos:

Bueno con técnicas constructivas asísmi -  
cas y en un 28%.

Regular con reparos técnicos y/o semitermi-  
nados en un 49%

Malo que comprenden las viviendas de ma-  
teriales provisionales y correspon-  
den al 33% restante.

## C A P I T U L O   V

---

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES FINALES

---

- 5.1    CONCLUSIONES
- 5.2    RECOMENDACIONES

## 5.1 CONCLUSIONES

El sismo del 31 de Mayo de 1970, fue uno de los más destructores en el Perú, sus características sismológicas lo describen con una magnitud de 7.5 grados en la escala de Richter y un epicentro a 70 kms. de la Costa del Perú ubicado a  $9.4^{\circ}$  de latitud Sur y  $78.9^{\circ}$  de longitud Oeste.

La causa del sismo se explica mediante el mecanismo de fallas geológicas sustentado por la teoría de Espaciamiento del Fondo Marino y la tectónica de placas. Teorías que explican las causas del movimiento sísmico debido a la fricción entre la Placa Nazca y la Placa Americana, como se explicó detalladamente en el capítulo correspondiente.

El sismo cuyo epicentro principal se registró frente a la Costa de la ciudad de Chimbote, presentó réplicas hasta el 8 de Junio de 1970 en 37 ocasiones y con magnitudes entre 4 y  $6 \frac{1}{4}$ , con profundidades epicéntricas en el orden de 45 a 66 kms.

Geológicamente, la ciudad de Chimbote consta de tres afloramientos, representados por el Volcánico Casma, el Intrusivo y el Cuaternario. La zona está compuesta principalmente por Roca Básica

Hidrogeológicamente, Chimbote está alimentada por una Napa, cuyo sentido de desplazamiento tiene una orientación Norte-Este y sus fuentes provienen del río Santa, de la Quebrada Lacramarca y de las filtraciones en los canales de Irrigación y las zonas de cultivo. Esta Napa es del tipo libre, radial y a filetes divergentes y presenta diferentes gradientes hidráulicos variables entre 2 y 8 por mil, siendo caracterizadas las zonas cercanas al mar por presentar afloramientos de la Napa en extensas zonas por falta de suficiente drenaje, por lo que el problema de la licuación de suelos y amplificación sísmica es importante.

Para el cálculo del riesgo sísmico de las ciudades de Chimbote y Huaraz se ha estudiado el área macrosísmica entre las coordenadas  $0^{\circ}$  y  $15^{\circ}$  de latitud Sur y las coordenadas  $73^{\circ}$  y  $83^{\circ}$  de Longitud Oeste.

La evaluación del riesgo sísmico se realiza mediante el programa de cómputo RISK desarrollado por R. Mc Guire (1976) mediante el cual se calcula la probabilidad de ocurrencia de un sismo de intensidad I igual o mayor que una intensidad dada, resultado al que se llega mediante el estudio de la sismicidad histórica e instrumental.

En base a la distribución de epicentros, así como las características tectónicas del área de influencia, se han utilizado las fuentes sísmogénicas establecidas en el trabajo de Zonificación Sísmica del Perú de Casaverde y Vargas (1980), las mismas que son las F1, F2, F9, F10, F11, F12, F13, F17, F18, F19, F20 y F21; definidas a diferentes profundidades focales y tasas de actividad sísmica que han sido utilizadas para evaluar el riesgo sísmico en aceleraciones e intensidades.

La ley de atenuación utilizada en base a diez sismos peruanos es menor que la correspondiente en otras partes del mundo. La evaluación del riesgo sísmico, nos define aceleraciones esperadas mayores en la ciudad de Chimbote que en la ciudad de Huaraz, como se vio en el capítulo correspondiente, con un nivel de confianza de 63% en la determinación de los valores propuestos.

La ciudad de Chimbote, como lo demuestran los estudios realizados en ella, está desplantada sobre suelos granulares arenosos, con niveles freáticos superficiales, razón por la cual hacen de este suelo susceptible de sufrir densificación y licuación, manifestándose este fenómeno en asen

tamientos diferenciales peligrosos para las estructuras.

El barrio de San Pedro, ubicado al Norte de la ciudad, está cubierta por arenas sueltas o parcialmente sueltas, mientras que en la Siderúrgica se localizan depósitos de arena fina a media con lentes de limo y gravilla, cubiertos superficialmente por material orgánico de relleno, con niveles freáticos entre 0.5 y 1.00 mts.

El área del Casco Urbano, con una capacidad portante de aproximadamente  $1.5 \text{ kg/cm}^2$ , está con formado principalmente de un potente estrato de arena fina a semigruesa con lentes de caliche y gravas subangulosas, cubierto superficialmente de arena limosa. El nivel freático en promedio es de 1.50 mts.; generalmente la resistencia a la penetración estándar es menor de 15 gol/pie.

La zona central de Chimbote, abarcando el área comprendida entre los barrios 21 de Abril al Norte y Villa María baja al Sur, está constituida principalmente por un subsuelo arenoso de granos finos a medios. En general, los niveles freáticos detectados han sido bastante superficiales, entre 0.70 y 1.40 mts. Por otro lado, la capacidad portante en promedio es de aproximadamente  $1.20 \text{ kg/cm}^2$ .

La zona Sur de Chimbote, consta de arena gruesa a fina con presencia de grava, pequeños porcentajes de arcilla y con niveles freáticos a profundidades de más de 15.0 mts. En general la capacidad portante varía entre  $1.4 \text{ kg/cm}^2$  a  $2.0 \text{ Kg./cm}^2$  y extensas zonas al Sur y al Este están cubiertas por arenas en forma de dunas de origen eólico.

Como se afirmó anteriormente, el suelo de la ciudad de Chimbote por su constitución granular y niveles freáticos superficiales tiene un alto potencial de licuación, razón por la cual investigaciones realizadas, indican que para un sismo de grado VII a VIII en la escala de Mercalli Modificada, en terrenos con niveles freáticos superficiales de licuación se extendería hasta los 12.0 mts. de profundidad.

Observando las curvas frecuencia-período de los ensayos de microtrepidaciones realizados se puede concluir la existencia de una buena similitud entre el primer pico de dichas curvas con el período predominante obtenido. Puede interpretarse que la existencia de varios picos en dichas curvas se debe a que las rigideces de los estratos del terreno son irregulares.

En base a los resultados de los ensayos de microtrepidaciones la ciudad de Chimbote puede dividirse en tres zonas: la zona norte donde el período predominante tiene un rango de 0.1 a 0.2 segundo; la zona centro que cubre una gran área con períodos predominantes de 0.3 segs. y la zona sur donde existe una variación irregular de los períodos predominantes.

Estudios realizados en la ciudad de Chimbote, por diferentes investigadores y a los análisis y resultados obtenidos de los ensayos de microtrepidaciones se puede reafirmar que desde el punto de vista de las características del suelo éste se puede dividir en cuatro zonas, descritas detalladamente en el capítulo correspondiente.

La ciudad de Chimbote se caracteriza por presentar diversidad en los tipos de construcciones existentes, pudiendose clasificar en construcciones provisionales, construcciones de adobe, de material noble, estructuras aporticadas y estructuras metálicas.

Cualitativamente, los daños pueden ser descritos como fallas típicas, correspondientes al tipo de construcción analizada, como es en:

Adobe                    Dimensionamiento inadecuado de los



adobes que con medidas de 20x20x40 cms. producía planos de falla de fuerte pendiente. La calidad de los adobes era muy baja tanto a la abrasión como a la resistencia mecánica. La cimentación era deficiente y consistía de piedras grandes asentadas con barro. Los muros fueron construídos con esbeltez marcada, así como carencia total de una cadena de coronamiento.

Material  
Noble

Carencia de apoyo técnico que produjo fallas muy comunes en las construcciones, como uso de concretos de baja calidad, debido a la mala dosificación del hormigón natural y excesivo tiempo de almacenamiento del cemento. Juntas de espesor excesivo entre las unidades de albañilería. Uso de muros de sogá como muros portantes. Instalaciones eléctricas y sanitarias inadecuadas que comprometían la estabilidad de los muros, además de excesiva cantidad de vanos y mala ubicación de los mismos.

### Estructuras

Aporticadas: Concepción inadecuada en el diseño estructural antisísmico, especialmente en la distribución de masas y rigideces. Presencia de muros de relleno que rigidizaban la estructura, originando fallas por "columna corta". Juntas de separación sumamente angostas que originaban fallas por impacto así como uso inadecuado de juntas de construcción especialmente en el contacto viga-columna.

Se ha planteado una metodología de evaluación de daños, en donde en base a una clasificación de suelos previamente estudiada y una distribución de grados de daño (tres en nuestro caso) se llega a presentar una "matriz de daños" donde cuantificamos los porcentajes de construcciones dañadas para los diferentes niveles de daño, con cierto rango de confianza. La importancia de una evaluación de daños planteada de la forma anterior, consiste en la facilidad de estimar pérdidas económicas así como mapas de vulnerabilidad que nos faciliten alternativas de prevención de desastres.

Desde el punto de vista de los resultados obtenidos en base a la estadística de daños desarrollada, se puede concluir como se observa en la tabla 4.9 y el mapa de Vulnerabilidad Sísmica correspondiente presentando, que la Zonificación Sísmica de la ciudad de Chimbote puede ser determinada en base a seis zonas, caracterizándose los barrios de Antúnez de Mayolo y La Caleta como la mejor zona, ya que los daños en más del 95% de las construcciones fueron leves, mientras que por otro lado los barrios de Pensacola y El Carmen presentaron daños graves en más del 60% de sus construcciones de material noble.

Las matrices de daños planteadas para las construcciones provisionales y para las de adobe, nos demuestran que los mismos fueron graves en la mayoría de las construcciones, superando en casi todos los casos el 85%, indiferente de las condiciones de cimentación existentes.

En el presente trabajo se ha planteado una metodología de evaluación de daños sísmicos en base a la ocurrencia probabilística de movimientos sísmicos de intensidades en la escala Mercalli modificada en períodos de exposición prefijados. Es importante hacer notar que los valores de razón de daño expuestos en su oportunidad

son los de mayor incertidumbre, por cuanto en base a la información disponible que sobre los daños en las construcciones se tiene, no nos ha permitido confeccionar gráficas de daño porcentual promedio vs. intensidad sísmica M.M., teniendo que usar las propuestas por Shah et al , (1982), las mismas que al tratar de ajustarlas a los daños evaluados y a los tipos de construcciones analizadas no son muy representativas. El análisis de probable potencial de pérdidas se ha efectuado en base a las seis zonas sísmicas propuestas; sin considerar el factor económico - que nos permitiría referir las pérdidas a un tipo de construcción patrón no se ha usado en esta oportunidad cuantitativamente, sin embargo se ha explicado en forma detallada el uso de este parámetro por ser muy importante para decisiones de protección y mitigación sísmica.

Estudios actuales realizados con motivo del Forum "Chimbote año 2000", demuestran la existencia de construcciones cuyo estado de conservación se pueden clasificar en tres tipos:

Bueno representando un 28% de las construcciones existentes y abarcando aquellas que cumplen las técnicas antisísmicas.

Regular	son aquellas con reparos y/o semiterminadas y corresponden al 49% de las construcciones.
Malo	que comprenden las viviendas de materiales provisionales y corresponden al 33% restante.

## 5.2 RECOMENDACIONES

### De la Geología:

Una de las mayores inquietudes que se presentó en este aspecto fue la determinación exacta de la configuración geológica denominada tierras bajas dividiendo el aluvión, por cuanto el suelo de esta área es de una característica diferente y catalogado como muy desfavorable, por cuanto se recomienda hacer fotointerpretación a escalas reducidas de la zona así como sondajes para la delimitación exacta de dicha configuración geológica.

### Del riesgo sísmico:

Se recomienda implementar mayor cantidad de instrumentos sismológicos en Chimbote como sismógrafos, acelerógrafos etc. para tener mayor confiabilidad en la obtención de catálogos sísmicos, así como espectros de aceleración, velocidad y desplazamientos.

Para el análisis del riesgo sísmico, en este trabajo se han usado las fuentes sismogénicas establecidas - por Casaverde y Vargas (1980), las mismas que son determinadas en base a la distribución de epicentros, así como las características tectónicas del área de influencia, se recomienda revisar toda la información disponible para la comparación de los resultados del riesgo sísmico al modelar otras fuentes. Cabe indicar que no se ha incluido la influencia local que la presencia de la falla del Santa representa, razón por la cual se recomienda también incluir la información existente o aumentarla con el fin de actualizar el Catálogo sísmico disponible. En el presente trabajo se ha evaluado el riesgo sísmico de las ciudades de Chimbote y Huaraz, empleando la tasa de actividad sísmica y la ley de atenuación definidas por Casaverde y Vargas; estos dos parámetros son fundamentales para la evaluación del riesgo sísmico, por cuanto se recomienda incidir en la investigación de dichos parámetros para la evaluación del riesgo sísmico con un mayor grado de confianza.

De las condiciones del suelo:

La ciudad de Chimbote, como se describió en el capítulo correspondiente, está cimentada sobre un suelo granular de compacidad media a suelta y los niveles freáticos en gran parte son muy poco profun-

dos, situación que hace de este suelo susceptible de sufrir licuación, razón por la cual se recomienda hacer estudios de potencial de licuación para toda la zona así como ensayos de sondajes para conocer directamente la estratigrafía del suelo, indispensable para conocer las condiciones de cimentación de cualquier estructura importante.

Los alcances de la investigación realizada, contemplaron ensayos de microtrepidaciones, en el caso en estudio se recomienda llevar a cabo, especialmente en la zona sur de Chimbote, estudios complementarios para determinar una microzonificación más precisa. Estos estudios son: mayor número de ensayos de microtrepidaciones, ensayos geosísmicos de refracción y estudios de localización de la roca base.

Una de las tareas que nos ocupó bastante tiempo fue la recopilación de estudios geotécnicos para la confección del presente estudio, razón por la cual se recomienda la creación de un archivo de información geotécnica en el área, así como mayores investigaciones que tengan como objetivo actualizar constantemente los mapas presentados.

De la vulnerabilidad sísmica:

Los estudios realizados en el capítulo correspon -

diente, fueron enfocados al planteamiento de una metodología que nos proporcione el potencial de pérdida de las construcciones, razón por la cual en la evaluación de daños se recomienda hacer una distinción en los grados de daño así como una evaluación de los mismos teniendo en cuenta las condiciones del suelo, condiciones básicas para el planteamiento de la matriz de daños.

Como se observó en el análisis planteado, una de las necesidades urgentes es confeccionar gráficas propias, que nos relacionen los daños porcentuales para diversos tipos de construcciones vs. intensidades sísmicas M.M., razón por la cual se recomienda desplegar esfuerzos en la confección de estadísticas de daños, las cuales nos permitan construir dichas curvas que son de fundamental importancia para que los resultados sobre el probable potencial de pérdidas sea de confiabilidad razonable.



## B I B L I O G R A F I A

- 1.- Algermisen S.T. y Perkins D.M. (1972)  
"A technique for Seismic Zoning: General considerations and parameters"  
Proceedings International conference on Microzonation. Seattle, Washington, November.
- 2.- Algermisen S.T. y Perkins D.M. (1976)  
"A probabistic estimate of maximun acceleration in rock in the contiguous United States"  
Open - file report 76 - 416, United States Department of the interior, Geological Surrey.
- 3.- Alva Hurtado J.E. (1975)  
"Geological aspects of the May 31, 1970 Peru earthquake"  
Unpublished term project for the engineering geology course, Civil Engineering department, Massachusetts Institute of Technology, April.
- 4.- Alva Hurtado J.E. y Chang C.S. (1978)  
"Características de los terremotos peruanos en Lima y alrededores"  
III Congreso Nacional de Mecánica de Suelos e Ingeniería de Cimentaciones. Lima, Perú.

- 5.- Alva Hurtado J.E. (1981)  
"Bibliografía sobre los terremotos peruanos: Aspectos ingenieriles".  
I reunión técnica de Ingeniería Geológica, Colegio de Ingenieros del Perú, 25-27 de Junio. Lima, Perú.
- 6.- Alva Hurtado J.E. (1982)  
"Estudio Geotécnico de cimentación".  
Caja de ahorros de Chimbote. Estudio solicitado por la Caja de Ahorros de Lima.
- 7.- Alva Hurtado J.E. y Orihuela P. (1982)  
"Estudio de licuación y amplificación sísmica en Chimbote"  
IV Congreso Nacional de Ingeniería Civil, Chiclayo, Perú.
- 8.- Arce Helberg J. (1973)  
"Estudio de refracción sísmica"  
Siderperú, Chimbote, Perú.
- 9.- Asociación Consultores Recreta (1982)  
"Informe de sismicidad I"  
Proyecto Recreta, Electroperú.
- 10.- Berg G. and Husid R. (1971)  
"Structural behavior in the 1970 Peru earthquake".  
5<sup>th</sup> World Conference on Earthquake Engineering, Rome.
- 11 Berrocal J., Deza E., Shikiya J. (1975)  
"Estudio de sismicidad para el proyecto de deri-

vación del río Mantaro a Lima"

Instituto Geofísico del Perú.

12.- Boissonnade A., Shah H. (1982)

"Earthquake damage and loss estimation review of available methods"

This research is supported by the National Science Foundation.

Grant N° PFR-8017533, June 1983.

13.- Brady A.G. y Pérez V. (1977)

"Strong - motion earthquake accelerograms, digitization and analysis, records from Lima, Peru: 1951 to 1974".

Open file report N° 77-587, U.S. Geological Survey.

14.- C.A.E.M. (1970)

"Lineamientos básicos para la reconstrucción de la zona afectada por el sismo del 31 de Mayo de 1970". Estudio realizado por la promoción XX del C.A.E.M.

15.- Carrillo Gil A. (1970)

"Algunas apreciaciones acerca del comportamiento del suelo en el sismo de Ancash 1970".

II Congreso Nacional de Mecánica de suelos e ingeniería de Cimentaciones. Lima, Perú.

16.- Carrillo Gil A. (1970)

"Comparativ studies of soil liquefaction potencial

during the 1970 Peru, earthquake".

International conference on recent advances in geotechnical engineering and soil dynamics, University of Missouri Rolla, Saint Louis.

17.- Carrillo Gil A. (1972)

"Estudio de suelos para cimentación y pavimentación"

Plan director de desarrollo de Chimbote - PNUD, Chimbote, Perú.

18.- Carrillo Gil A. (1974)

"Estudio de suelos para cimentación. Ampliación complejo Siderúrgico. Zona Este - Azul".

Chimbote, Perú.

19.- Carrillo Gil A. (1974).

"Estudio de dinámica de suelos para cimentación de máquinas y efectos de sismo"

Empresa Siderúrgica del Perú. Chimbote, Perú.

20.- Carrillo Gil A. (1975)

"Influencia del suelo en los daños por sismo: Evaluación del potencial de licuación de un suelo".

Reunión Andina de Seguridad Sísmica, Pontificia - Universidad Católica del Perú. Lima, Perú.

21.- Carrillo Gil A. y Hernández R. (1978)

"Licuación en suelos arenosos saturados de las a-

reas de Chimbote y Perú"

III Congreso Nacional de Mecánica de Suelos e Ingeniería de Cimentaciones, Lima - Perú.

22.- Carrillo Gil A. (1979).

"Estudio de suelos para cimentación. Banco de la Nación".

Edificio para sucursal Chimbote, Perú.

23.- Carrillo Gil A. (1980).

"Estudio de suelos para cimentación edificio para sucursales del Banco Chimbote"

Banco Industrial del Perú. Chimbote, Perú.

24.- Carrillo Gil A. (1982)

"Influencia de las condiciones sísmicas del suelo en el desarrollo urbano de Chimbote"

Colegio de Ingenieros del Perú.

25.- Casaverde L. y Vargas J. (1980)

"Zonificación sísmica del Perú"

II Seminario Latinoamericano de Ingeniería Sismo-Resistente,, Organización de Estados Americanos y Pontificia Universidad Católica del Perú.

Lima, Perú.

26.- Casaverde L. y Vargas J. (1982)

"Mapa de distribución probabilística de intensidades del Perú"

IV Congreso Nacional de Ingeniería Civil.  
Chiclayo - Perú.

- 27.- Ceresis (1983)  
"Evaluación de pérdidas. Formulación de la metodología" Caracas - Venezuela.
- 28.- Chávez A. (1972)  
"Estudio sísmico de Casma"  
Tesis de Grado. Universidad Nacional de Ingeniería.
- 29.- Chávez J. (1979).  
"Estudio sísmico en el planeamiento sísmico de la ciudad de Chimbote"  
Tesis de Grado, Universidad Nacional de Ingeniería Lima, Perú.
- 30.- Chávez O., Taniwangsa W. y Alva Hurtado J. (1982)  
"Estudio de microtrepidaciones en Chimbote".  
Estudio presentado por la Universidad Nacional de Ingeniería al Forum "Recursos hídricos del río Santa". 18-20 de Noviembre 1983.
- 31.- Cloud W.K. y Pérez V.(1971)  
"Unusual accelerograms recorded at Lima, Perú"  
Bulletin of the Seismological Society of America,  
Vol 61, Nº 3, pp 633-640, June.
- 32.- Cornell C.A. (1968)

"Engineering Seismic Risk Analysis".

Bulletin of the Seismological Society of America

Vol 58 pp. 1503 - 1606.

33.- Cornell C.A. (1971)

"Probabilistic analysis of damage to structures under seismic loads in Dynamic Waves in Civil Engineering edited by Howells D.A. Haigh J.P. and Taylor C., Wiley- Interscience. Proceedings of conference organized by the Society for Earthquake and Civil Engineering Dynamics held at University College of Swansea on 7-9, July 1970.

34.- CRYRZA- PNUD (1975)

"Plan de desarrollo de Chimbote"

Volumen I, primera parte.

35.- Deacon R.J., Couch R.W. and Repetto P.C. (1979)

"Preliminary Tectonic Seismic and Geologic considerations for earthquake design for Lima, Perú"

VI Congreso Panamericano de Mecánica de Suelos e Ingeniería de Fundaciones. Lima, Perú.

36.- Del Solar C. (1970)

"Informe sobre el estudio preliminar del subsuelo de Chimbote"

Boletín del cuerpo de Ingenieros de Minas.

Pags. 155 - 161.

- 37.- Deza E. y Carbonel C. (1978)  
"Regionalización sismotectónica preliminar del Perú"  
IV Congreso Peruano de Geología. Lima, Perú.
- 38.- Dionisio R., Palma R. Medina N. (1982)  
"Chimbote su situación urbana y el problema de la vivienda al año 2000"  
Trabajo presentado por el Colegio de Arquitectos del Perú, con motivo del "Forum Año 2000".  
Chimbote, Perú.
- 39.- Engineering - Science, Inc. (1974)  
"Estudio del drenaje de Chimbote y encausamiento de la quebrada Lacramarca"  
Chimbote, Perú.
- 40.- Enkeboll W. (1971)  
"Soil behavior and related effects in the Peru earthquake of May 31, 1970."  
Bulletin of the Seismological Society of America.  
Vol 61, N° 3, pp. 579 - 590, June, 1971.
- 41.- Ericksen E. Plafker G. y Fernández J. (1971)  
"Geological Aspects of the May 31, 1970, Peru earthquake"  
Bulletin of the Seismological Society of America.  
Vol. 61, N° 3 pp. 543 - 578. June, 1971.



- 42.- Erickson G., Plafker G. y La Cruz J. (1974)  
"Case study: Engineering geology and siting problems related to the Peru earthquake of May 31 1970.  
U.S. National Bureau of Standards, Building Science series 48, pp 38-74.
- 43.- Fujita Nogushi A. (1974)  
"Estudio de amplificación de ondas sísmicas de los suelos en la ciudad de Casma".  
Tesis de grado. Universidad Nacional de Ingeniería. Lima, Perú
- 44.- Hermoza Conde M. (1972)  
"Estudio sobre el sismo del 31 de Mayo de 1970, ciudad de Chimbote"  
Tesis de Grado Universidad Nacional de Ingeniería. Lima, Perú.
- 45.- Hermoza Conde M. (1982)  
"El terremoto del 31 de Mayo de 1970 - Microzonificación sísmica, experiencias y logros obtenidos"  
Colegio de Ingenieros del Perú. Filial Chimbote  
Forum "Chimbote año 2000".
- 46.- Hernández Aquije R. (1978)  
"Condiciones locales del suelo y su correlación con los efectos del sismo"

Tesis de grado. Universidad Nacional de Ingeniería. Lima, Perú.

47.- Huaco D. (1973)

"El mecanismo focal del sismo del 31 de Mayo de 1970 y sus principales réplicas".

Extraído, XVII asamblea del IASPEI, Instituto Geofísico del Perú. Lima, Perú.

48.- Husid R. y Gajardo E. (1970)

"Aspectos sismológicos y estructurales en el terremoto del Perú del 31 de Mayo de 1970"

Simposium Panamericano de estructuras, Octubre. Buenos Aires, Argentina.

49.- Ingemmet (1970)

"Catástrofe sísmica de Mayo de 1970"

Instituto Geológico Minero y Metalúrgico del Perú

50.- Isacks B., Oliver J. y Sykes L.R. (1968)

"Seismology and the New Global Tectonics"

Journal of Geophysical Research, Vol 73, N° 18, pp 5855 - 5899.

51.- Jacobs Pflucker O. (1974)

"Investigaciones geotécnicas para la ampliación de la planta Siderúrgica de Chimbote - Zona Verde"  
Chimbote, Perú.

- 52.- Kuroiwa J. (1977)  
"Protección de Lima Metropolitana ante sismos destructivos"  
Publicación personal. Auspiciado por la secretaría ejecutiva del Comité Nacional de Defensa Civil.
- 53.- Kuroiwa J. (1982)  
"Simplified microzonation method for urban planning"  
Third International earthquake microzonation Conference. Seattle, U.S.A.  
June 28 - July 1, 1982.
- 54.- Lagesa (1974)  
"Estudio de suelos para el Mercado Mayorista"  
Estudio solicitado por el Concejo Provincial del Santa.  
Chimbote, Perú.
- 55.- Livesey and Henderson (1973)  
"Estudio del sistema portuario de Chimbote, investigaciones de suelos"  
CRYRZA, Dirección del Plan de Desarrollo de Chimbote.  
Lima, Perú.
- 56.- Lliboutoy L. et al. (1970)  
"Informe preliminar sobre los fenómenos glaciológicos"

cos que acompañaron el terremoto y sobre los peligros presentes",

57.- Lloyd S. Cluff (1971)

"Peru earthquake of May 31, 1970, engineering geology observations"

Bulletin of the Seismological Society of America.  
Vol 61, Nº 3 pp. 511 - 534 , June.

58.- Lomnitz C. (1971)

"The Peru earthquake of May 31, 1970: Some preliminary seismological results"

Bulletin of the seismological society of America.  
Vol 61, Nº 3 pp 535-542, June.

59.- Mc. Guire R.K. (1976)

"Fortran computer program for Seismic Risk Analysis"

Open file report 76-067, U.S. Geological Survey.

60.- Mertz H.A. and Cornell C.A. (1978)

"Seismic Risk Analysis based on a Quadratic Magnitude Frequency Law"

Bulletin of the Seismological Society of America,  
Vol 63, Nº 6 pt 1, pp 1999 - 2006.

61.- Michelena R. y Asociados (1971)

"Estudio de suelos definitivo Urbanización Buenos Aires"

CRYRZA. Buenos Aires. Ministerio de Vivienda.

Chimbote, Perú.

62.- Michelena R, y Asociados (1974)

"Investigaciones geotécnicas para la ampliación de la Planta Siderúrgica de Chimbote. Zona Marrón".  
Chimbote, Perú

63.- Michelena R. y Asociados (1974)

"Estudio de suelos para el astillero Sima, Chimbote".  
Chimbote , Perú.

64.- Ministerio de Transportes y Comunicaciones(1971)

"Estudio de suelos para el Aeródromo de Chimbote"  
Dirección general de Aeronáutica Civil.

65.- Morimoto R., Koizumi Y., Matsuda T. y Hakuno M.  
(1971)

"Seismic Microzoning of Chimbote Area, Peru"  
Overseas Technical cooperation agency, government  
of Japan March.

66.- Muñoz Cabrera T. (1982).

"Algunos aspectos del problema de la vivienda en  
Chimbote"

Trabajo presentado por el Instituto Nor Peruano de  
Desarrollo Económico Social, INDES, con motivo  
del Forum "Chimbote año 2000"  
Chimbote, Perú.

- 67.- Pérez Verástegui G. (1970)  
"Estudio hidrogeológico de Chimbote"  
Primer congreso latinoamericano de geología 22-29  
de Noviembre de 1970. Tomo IV, pp 49-81  
Lima, Perú
- 68.- Plafker G. Ericksen G. y Fernández Concha J.  
(1971).  
"Geological aspects of the May 31, 1970, Peru earth-  
quake"  
Bulletin of the seismological society of America.  
Vol 61, N°3, pp 543-578 June.
- 69.- PNUD - CRYRZA (1972)  
"Proyecto de planificación para la reconstrucción  
y desarrollo de Chimbote"  
Chimbote, Perú.
- 70.- P. Y V. Ingenieros S.A. (1980)  
"Estudio de suelos y canteras. Parque Industrial  
"San Antonio, Chimbote".  
Estudio solicitado para Ordenor-Centro  
Chimbote, Perú.
- 71.- Repetto P., Zegarra L. (1980)  
"Evaluación de edificaciones dañadas en Lima Metro  
politana en el sismo de Octubre de 1974"  
Publicación realizada por la Pontificia Universidad

Católica del Perú - Departamento de Ingeniería.

- 72.- Reyes L. (1969)  
"Sinopsis de la geología del departamento de Ancash"  
Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico del Perú.
- 73.- Richter C.F. (1958)  
"Elementary Seismology"  
W.H. Freeman and Co., San Francisco U.S.A.
- 74.- Román F. (1975)  
"Interacción de suelos y estructuras en el terremoto del 31 de Mayo de 1970"  
Reunión Andina de Seguridad Sísmica, Pontificia Universidad Católica del Perú. Lima, Perú.
- 75.- Sauter F. y Shah H. (1978)  
"Estudio de seguro contra terremoto"  
Instituto Nacional de Seguros, San José, Costa Rica.
- 76.- Sauter F., Mc Cann M., and Shah H. (1980)  
"Determination of damage ratios and insurance risks for seismic regions".  
From: Proceedings of the 7ma. WCEE 1980 Istanbul Turkey Vol. 9.
- 77.- Silgado E. (1969)  
"Sismicidad de la Región Occidental de la América

del Sur entre los paralelos 2°y 18°Latitud Sur".  
Primer Congreso Nacional de Sismología e Ingeniería  
Antisísmica pp 33-44. Lima, Perú.

78.- Silgado E. (1973)

"Historia de los sismos más notables ocurridos  
en el Perú 1955-1970"

Geofísica Panamericana, Vol 2, pp. 179 - 243.

79.- Silgado E. (1975)

"Magnitud, frecuencia, período de retorno de terremotos  
y riesgo sísmico en la Costa del Perú, entre  
9°a 13.8°de latitud Sur".

Boletín de la Sociedad Geográfica de Lima, Perú.

Tomo XCIV, pp. 20=23.

80.- Silgado E. (1978)

"Historia de los sismos más notables ocurridos en  
el Perú (1513 - 1974)".

Instituto de Geología y Minería, Boletín N° 3. Serie  
C, Geodinámica e Ingeniería Geológica, Lima  
Perú.

81.- Torres Cabrejos R. y Alva Hurtado J.E. (1982)

"Estudio de Reiso Sísmico: Autopista Lima-Ricardo  
Lima"

Consultores de Ingeniería estructural y Geotécnia.

Informe presentado a P y V Ingenieros.



- 82.- Unesco - Ceresis (1970)  
"Informe preliminar de la misión de reconocimiento  
sismológico, terremoto del Perú del 31 de Mayo de  
1970".  
Centro Regional de Sismología para América del  
Sur.
- 83.- UNDRO (1976)  
"Análisis de Vulnerabilidad combinada. Metodología  
y estudio de la Zona Metropolitana de Manila"  
Trabajo realizado por la Oficina del Coordinador  
de las Naciones Unidas para el Socorro en Ca -  
sos de Desastres.  
Manila, Filipinas.
- 84.- UNDRO (1979)  
"Natural Disasters and Vulnerability Analysis"  
Office of the United Nations Disasters relief Co-  
ordinator.
- 85.- Vargas J. (1979).  
"Monumentos históricos y riesgo sísmico para la  
zona de Lima"  
Seminario sobre protección de monumentos de áreas  
sísmicas. Antigua Guatemala, C.A.
- 86.- Villanueva (1975)  
"Estudio de la propagación y amplificación de on-  
das sísmicas"

Tesis de Grado. Universidad Nacional de Ingeniería.  
ría.

Lima - Perú.

- 87.- Zamarbide J., Castano J., Giuliano A. (1983)  
"Potencial damageability due to earthquakes in the  
Tulum valley, San Juan, Argentina.