



Centro Regional de Sismología para América del Sur

**EVALUACION DE LOS EFECTOS
ECONOMICOS DE LOS
TERREMOTOS**

**EVALUATION OF THE ECONOMIC
EFFECTS OF EARTHQUAKES**

(ECOSIS)

VOLUMEN 13B

**PROGRAMA PARA LA MITIGACION DE LOS EFECTOS DE
LOS TERREMOTOS EN LA REGION ANDINA
(PROYECTO SISRA)**

**EARTHQUAKE MITIGATION PROGRAM IN THE ANDEAN REGION
(PROJECT SISRA)**

1985

ESTUDIO DE CASOS CASE STUDIES



Autores (Authors) :

Cap. 1 : José Grases G. (Coordinador)

Cap. 2 :

2.1 : *Ernesto Deza*, Porfirio Huaco, Tomás Anconeira, Roque Canaviri, María Hinaya, Víctor Tolentino.

2.2 : *Jorge Alva H.*, Edwin Ordóñez H., Hugo Barrón S.

2.3 : *Jorge Alva H.*, Wendy Taniwangsa de Chávez, Omar Chávez F.

Cap. 3 : *Juan Carlos Castano*, Alejandro P. Giuliano, José L. Zamarbide.

ESTUDIO DE CASOS CASE STUDIES



Autores (Authors):

Cap. 1 :

Cap. 2 :

2.1 :

2.2 :

2.3 :

Cap. 3 :

José Graz G. (Co

Ernesto Diaz, Porfirio Huaco, Tomás Anconina, Rogue Casaviri, María Hirsya,
Victor Tortorino,

Jorge Alva H., Edwin Ordóñez H., Hugo Barrón S.

Jorge Alva H., Wendy Tamayo de Chávez, Omar Chávez F.

Juan Carlos Castro, Alejandro P. Gutiérrez, José L. Zambrada.

ESTUDIOS DE CASOS
CASE STUDIES

PRESENTACION

Los estudios de los sismos que aquí se presentan, forman parte del Programa para la Mitigación de los Efectos de los Terremotos en la Región Andina (Proyecto SISRA) y se identifican bajo las siglas ECOSIS. En esta parte del proyecto se llevó a cabo un análisis de tres terremotos destructores ocurridos en Sudamérica: Caracas, Venezuela, en julio de 1967; Ancash, Perú, en mayo de 1970; y San Juan, Argentina, en noviembre de 1977. Para ello se consiguieron evaluaciones bastante completas que incorporan estadísticas y análisis de los efectos reales para cada uno de los tres sismos citados. Las características de los eventos estudiados hicieron necesario utilizar diferentes metodologías en función de las particularidades regionales y de las edificaciones predominantes.

En efecto, para el análisis de pérdidas en centros urbanos modernos con edificaciones de gran altura, es preciso el empleo de métodos de análisis más refinados que los comúnmente empleados a base de matrices de probabilidad de daños. Este último procedimiento es el que se ha aplicado en el estudio del terremoto de Ancash y en el de San Juan, a diferencia del estudio del terremoto de Caracas, en cuyo caso se hizo uso del método descrito en el Volumen 13 A.

En el capítulo 1 de este Volumen (13B) se presenta el estudio referente al terremoto de Caracas (1967), coordinado por José Grases que, como acabamos de mencionar, aplica la metodología que originalmente se había propuesto para todos los estudios de casos. En el capítulo 2 se presentan un conjunto de trabajos preparados en relación con el terremoto de Ancash (1970). El primero de ellos se refiere estrictamente a los aspectos sismológicos y ha sido coordinado por Ernesto Deza; por otra parte se presentan dos trabajos, el primero sobre la Vulnerabilidad Sísmica de las ciudades principalmente afectadas y otro sobre Microtrepidaciones en las mismas ciudades, ambos coordinados por Jorge Alva; finalmente aparecen resúmenes de cuatro trabajos de tesis preparados en la Universidad Nacional de Ingeniería, sobre aspectos relacionados con la vulnerabilidad, la amplificación y el riesgo sísmico en la zona, todas dirigidas por el mismo Jorge Alva. Por último en el capítulo 3 se presenta el estudio realizado bajo la coordinación de J.C. Castano acerca de los efectos del terremoto de San Juan (1977).

PRESENTATION

The earthquake studies here presented are part of the Program for the Mitigation of Earthquake Effects in the Andean Region (Project SISRA) and are identified by the code name ECOSIS. In this section, an analysis of three destructive earthquakes which have occurred in South America, are presented: Caracas, Venezuela in July, 1967; Ancash, Peru, in May, 1970, and San Juan, Argentina, in November, 1977. For this, fairly complete evaluations were obtained, based on statistics and analysis of real effect for each of the three events. Their characteristics made it necessary to use different methodologies compatible with the respective regional conditions and environment and the predominant building types.

In effect, for the analysis of losses in modern urban centers with high-rise buildings, more refined methods of analysis are required than those commonly used on the basis of loss probability. The latter method was applied in the case of the Ancash and the San Juan earthquakes, but not for Caracas, which made use of the method described in Volume 13A.

In chapter 1 of this volume (13 B) the study of the Caracas earthquake (1967) is presented by the Coordinator José Grases who, as has been mentioned, applies the methodology originally proposed for all three cases. Chapter 2 presents a number of papers related to the Ancash earthquake (1970). The first of these refers solely to the seismological aspects and was prepared under the coordination of Ernesto Deza; two other papers, coordinated by Jorge Alva, deal with the Seismic Vulnerability of the cities more seriously affected and with results from microtremor observations in the same localities; finally, summaries of four theses prepared by Universidad Nacional de Ingeniería engineers on aspects related to vulnerability, soil amplification and seismic risk in the area, are presented - all of them under the supervision of Jorge Alva. Chapter 3 presents the study carried out under the coordination of Juan C. Castano, concerning the effects of the San Juan earthquake (1977).



ESTUDIO DE CASOS
CASE STUDIES

INDICE - CONTENTS

CAPITULO 1: EVALUACION DE LAS PERDIDAS DIRECTAS DEBIDAS AL TERREMOTO DE CARACAS DEL 29-07-1967. APLICACION DE UN ALGORITMO.	130
CHAPTER 1: EVALUATION OF DIRECT LOSSES DUE TO THE CARACAS EARTHQUAKE OF 07-29-1967.	
INTRODUCCION - INTRODUCTION	130
1.1 ACTIVIDAD SISMICA EN LA REGION DE CARACAS SEISMIC ACTIVITY IN THE REGION OF CARACAS	130
1.1.1 Antecedentes de terremotos históricos Background of historic earthquakes	130
1.1.2 Revisión sobre evaluaciones de la amenaza sísmica en Caracas Revision of evaluations of the seismic hazard in Caracas	132
1.1.3 Tasa media anual de ocurrencia de sismos de intensidad mayor o igual que I para la región de Caracas Mean annual rate of occurrence of earthquakes of intensity greater or equal than I for the region of Caracas	140
1.2 EDIFICACIONES EXISTENTES EN EL AREA DE CARACAS Y PARAMETROS QUE DEPENDEN DE LA NORMATIVA DE DISEÑO EXISTING CONSTRUCTIONS IN THE AREA OF CARACAS AND PARAMETERS WHICH DEPEND ON THE NORM FOR DESIGN	144
1.2.1 Desarrollo urbano de Caracas Urban development of Caracas	144
1.2.2 Consumo de cemento Consumption of cement	148
1.2.3 Número de edificaciones en la fecha del sismo Number of buildings on the day of the earthquake	148
1.2.4 Distribución de los diferentes tipos de edificaciones para la fecha del terremoto de Caracas Distribution of different types of buildings on the day of the earthquake of Caracas	159
1.2.5 Distribución de los diferentes tipos de edificaciones desde el año 1938 hasta el año 1967 Distribution of the different types of buildings from 1938 to 1967	162
1.2.6 Síntesis de los parámetros que dependen de la normativa antisísmica Synthesis of the parameters which depend on the seismic resistance code	165
1.2.6.1 Altura media - Mean Height	165

1.2.6.2	Coefficiente INS x v/m - INS x w/m coefficient	165
1.2.6.3	Cálculo del factor de reconciliación Calculation of the reconciliation factor	166
1.2.6.4	Valores de CD_c , D_m y D_u - Values of CD_c , D_m and D_u	167
1.2.7	Valor de reemplazo Replacement value	174
1.3	INFORMACION SOBRE EL TERREMOTO DE CARACAS DEL 29 DE JULIO DE 1967 INFORMATION ON THE EARTHQUAKE OF CARACAS OF JULY 29th, 1967	177
1.3.1	Intensidad y aceleraciones Intensity and accelerations	177
1.3.2	Criterios de tipificación de daños utilizados en informes sobre el terremoto de Caracas Criteria for the typification of damages used in the reports on the earthquake of Caracas	179
1.3.3	Estadística sobre las edificaciones dañadas Statistics on the damaged buildings	185
1.3.4	Influencia de las condiciones del subsuelo local en los daños constatados Influence of the conditions of the local subsoil on proven damages	192
1.3.5	Pisos más propensos a ser dañados Floors more likely to be damaged	201
1.3.6	Cuantificación de vectores y matrices de daño Quantification of vectors and matrices of damage	205
1.4	CALCULO DE LAS PERDIDAS ESPERADAS Y DISCUSION SOBRE LA VALIDACION CALCULATION OF THE EXPECTED LOSSES AND DISCUSION ON VALIDATION	210
1.4.1	Sensibilidad de las funciones adoptadas para el cálculo de las pérdidas probables Sensibility of the adopted functions for the calculation of expected losses	210
1.4.2	Resultados del cálculo de pérdidas y de probabilidades de colapso Results of the calculation of losses and probabilities of collapse	217
1.4.3	Discusión sobre la validación Discussion on validation	226
	REFERENCIAS - REFERENCES	232
	ANEXOS - ANNEXES	
I	Estadísticas de daños Statistics of damages	238
II	Descripción sintetizada de daños en una muestra de 13 edificaciones de los Palos Grandes, afectadas por el terremoto del 29 de julio de 1967	250

Synthesized description of damage in a sample of 13 buildings in Palos
Grandes affected by the earthquake of July 29th, 1967.

CAPITULO 2:	EL TERREMOTO DEL 31 DE MAYO DE 1970 EN ANCASH-PERU Y SUS EFECTOS	254
CHAPTER 2:	THE EARTHQUAKE OF MAY 31st., 1970 IN ANCASH, PERU AND ITS EFFECTS	
2.1	ASPECTOS SISMOLOGICOS, SISMOTECTONICOS Y GEOLOGICOS	254
	SEISMOLOGICAL, SEISMOTECTONICS AND GEOLOGICAL ASPECTS OF THE EARTHQUAKE OF MAY 31 1970	
2.1.1	Introducción Introduction	254
2.1.2	Ubicación del área afectada Location of the affected area	256
2.1.3	Geología del área afectada Geology of the affected area	256
2.1.4	Condiciones geodinámicas del área macrosísmica del terremoto del 31 de mayo de 1970 Geodynamics conditions of the macroseismic area of the earthquake of May 31st, 1970	258
2.1.4.1	Aspectos sismológicos - Seismological aspects	258
2.1.4.2	Aspectos sismotectónicos - Seismotectonic aspects	271
2.1.4.3	Aspectos generales de geodinámica externa en el área General aspects of external geodynamics in the area	277
2.1.5	Características del terremoto del 31 de mayo de 1970 Characteristics of the earthquake of May 31st, 1970	285
2.1.5.1	El sismo principal y sus réplicas The main event and its aftershocks	285
2.1.5.2	Frecuencia, magnitud y energía de las réplicas Frequency, magnitude and energy of the aftershocks	289
2.1.5.3	Distribución en tiempo y espacio de las réplicas Distribution in time and space of the aftershocks	289
2.1.6	Efectos del sismo y sus réplicas Effects of the earthquake and its aftershocks	294
	REFERENCIAS - REFERENCES	298
2.2	VULNERABILIDAD SISMICA DE CHIMBOTE Y HUARAZ	300
	SEISMIC VULNERABILITY OF CHIMBOTE AND HUARAZ	
	RESUMEN - ABSTRACT	300
2.2.1	Introducción Introduction	300

2.2.2	Descripción de los daños y pérdidas económicas Description of damage and economic losses	301
2.2.3	Estudio del peligro sísmico Study of the seismic hazard	306
2.2.4	Estimación de daños en edificaciones Estimates of damage to buildings	306
2.2.4.1	Estudio de Chimbote - Estudy in Chimbote	310
2.2.4.2	Estudio de Huaraz - Estudy in Huaraz	322
2.2.5	Conclusiones y recomendaciones Conclusions and recommendations	333
	REFERENCIAS - REFERENCES	335
2.3	ESTUDIO DE MICROTREPIDACIONES EN CHIMBOTE Y HUARAZ STUDY OF MICROTREMORS IN CHIMBOTE AND HUARAZ	337
	RESUMEN - SUMMARY	337
2.3.1	Introducción Introduction	338
2.3.2	Microtrepidaciones Microtremors	339
2.3.2.1	Determinación del período predominante por microtrepidaciones Determination of the predominant periods by microtremors	339
2.3.2.2	Determinación del período predominante por amplificación sísmica Determination of the predominant period by seismic amplification	341
2.3.3	Estudio en Chimbote Study in Chimbote	343
2.3.4	Estudio en Huaraz Study in Huaraz	348
2.3.5	Conclusiones y recomendaciones Conclusions and recommendations	358
	REFERENCIAS - REFERENCES	359
	APENDICES - APENDIX	361
I	- Amplificación sísmica en algunas ciudades del Perú Seismic amplification in some cities of Peru	361
II	- Estudio de la Vulnerabilidad sísmica de Huaraz Study of the seismic vulnerability of Huaraz	363

III - Estudio de la vulnerabilidad sísmica de la ciudad de Chimbote	365
Study of the seismic vulnerability of the city of Chimbote	
IV - Riesgo sísmico del departamento de Ancash	667
Seismic risk of the department of Ancash	
CAPITULO 3: EVALUACION DE LOS EFECTOS DEL TERREMOTO DEL 23 DE NOVIEMBRE DE 1977 EN SAN JUAN, ARGENTINA	369
CHAPTER 3: EVALUATION OF THE EFFECTS OF THE NOVEMBER 23th, 1967 EARTHQUAKE IN SAN JUAN, ARGENTINA	
3.1 INTRODUCCION	369
INTRODUCTION	
3.2 METODOLOGIA	369
METHODOLOGY	
3.3 RESULTADOS PRELIMINARES	372
PRELIMINARY RESULTS	
3.4 RELEVAMIENTO DE LAS PERDIDAS REALES	384
STATISTICS OF LOSSES	
3.4.1 Introducción	384
Introduction	
3.4.2 Efectos sobre la estructura productiva provincial	384
Effects on the productive structure of the province	
3.4.2.1 Vías de comunicación - Roads	384
3.4.2.2 Red de riego y drenaje - Irrigation and drainage system	390
3.4.2.3 Red de energía eléctrica - Energy supply	393
3.4.2.4 Cultivos - Crops	394
3.4.2.5 Establecimientos industriales - Industrial establishments	396
3.4.2.6 Establecimientos comerciales - Commercial establishments	396
3.4.2.7 Establecimientos mineros - Mining establishments	396
3.4.3 Efectos sobre la estructura social provincial	397
The effects on the social structure of the province	
3.4.3.1 Edificios públicos - Public buildings	397
3.4.3.2 Vivienda - Housing	397
3.4.3.3 Redes distribuidoras de agua potable -	401
System for the supply of drinking water	
3.4.3.4 Asistencia social - Social assistance	405
3.4.4 Efectos sobre la producción provincial 1977/78	405
Effects on Provincial Production 1977/78	

3.4.4.1	Agricultura - Agriculture	408
3.4.4.2	Industria - Industry	408
3.4.4.3	Minería - Mining	408
3.4.4.4	Comercio - Commerce	410
3.4.5	Efectos sobre la recaudación fiscal Effects on the fiscal income	410
REFERENCIAS - REFERENCES		410

EVALUACION DE LAS PERDIDAS DIRECTAS DEBIDAS AL TERREMOTO DE CARACAS DEL 29-07-1967. APLICACION DE UN ALGORITMO

INTRODUCCION

La metodología descrita en el Volumen 13 A se ha aplicado al conjunto de edificios existentes en el valle de Caracas para el momento de la ocurrencia del terremoto de 1967. En el presente capítulo se ofrece una descripción de los efectos de este movimiento así como una estimación del riesgo sísmico en la parte central y norte del país; se incorpora el número estimado de edificios de diferente tipo estructural y su costo de reemplazo. La caracterización del comportamiento se fundamenta en la normativa vigente.

Se presentan igualmente las funciones de distribución de probabilidades de las pérdidas individuales esperadas y de la confiabilidad. Por último se hace una comparación de las pérdidas efectivamente reportadas con el valor esperado de las pérdidas calculadas.

1.1 ACTIVIDAD SISMICA EN LA REGION DE CARACAS

1.1.1 Antecedentes de Terremotos Históricos

A lo largo de su historia, la región de Caracas ha sido afectada por sismos con focos tanto cercanos como lejanos. Al igual que en muchas otras ciudades y regiones sísmicas de la Tierra, hasta hace sólo unos 15 o 20 años la amenaza sísmica quedaba descrita en base a la historia de los temblores y terremotos destructores conocidos. En la cuantificación de esta amenaza era, por tanto, muy importante la evaluación de la descripción de testigos presenciales y de los efectos conocidos como consecuencia de determinados eventos. Estas evaluaciones están encaminadas a definir las coordenadas epicentrales, la magnitud y profundidad focal en base a la intensidad y la extensión de daños expresados por las curvas isosistas.

La asignación de intensidades es altamente subjetiva, lo cual hace difícil mantener criterios uniformes en relación a la severidad de las sacudidas que han afectado una determinada área durante varios siglos. Sin embargo, durante largos periodos de tiempo este es el único rastro conocido sobre los movimientos telúricos que han afectado una cierta región y son por tanto de capital importancia.

En la Tabla No. 1 se hace una lista de los eventos sísmicos más severos de la región de caracas.

EVALUATION OF DIRECT LOSSES DUE TO THE CARACAS' EARTHQUAKE OF 07-29-1967.

INTRODUCTION

The methodology described in Volume 13 A has been applied to the existing building population of the Caracas Valley by the time of the 1967 earthquake. A summary of the effects of this quake as well as the seismic hazard in the north central part of the country, is presented together with the statistical estimate of the number of buildings, percentage of structural types, code evolution with time and replacement costs.

The probability distribution functions of expected individual losses and reliabilities are given. The actual reported loss is compared with the global expectation.

1.1 SEISMIC ACTIVITY IN THE REGION OF CARACAS

1.1.1 Background of historic earthquakes

Throughout its history the region of Caracas has been affected by earthquakes with both near and distant epicenters. Like in many other seismic regions of the earth, until about 15 or 20 years ago the seismic hazard was described through the historical data of its tremors and destructive earthquakes. In order to quantify this hazard it was therefore of great importance to evaluate the description of personal witnesses and of the known effects as a cosequence of specific events. These evaluations are aimed at defining the epicentral coordinates, magnitude, and focal depth on the basis of intensity and the extension of damages expressed by the Isoseismal curves.

The assignment of intensities which is highly subjective makes it difficult to maintain a uniform criteria in relation to the severity of the shakings which have affected a given area during many centuries. Nevertheless, during this long period of time this has been the only known trail concerning telluric movements which have affected a certain region and are, therefore, of capital importance.

Table No. 1 lists the most severe seismic events in the region of Caracas.

TABLA No. 1
TABLE No. 1

Fecha Date	Hora Local Local Time	Intensidad MM Intensity NN		Magnitud Estimada Estimated Magnitude	Observaciones Observations
		Area de Caracas Area of Caracas	Area del epicentro (Coord. Aprox.) Epicentrum Area (Approx. Coord.)		
1641-06-11	08:15:	VI-VII	VII 1/2 (10.9N-66.7W)	6.0	200 muertos 200 deaths
1703	-	VI	-	-	Se sintió en Cumaná Felt in Cumaná
1766-10-21	04:10:	VI-VII	IX (10.3N-63.5W)	7.5	
1812-03-26	16:07:	VIII - VIII 1/2	+ IX (10.8N-66.9W)	7.1	13,000 muertos 13,000 deaths
1812-04-04	15:30:	+ V	+ VI (10.8N-66.9W)	5.2	Réplica Aftershock
1837-09-10	14:	V-VI	VII (10.3N-66.6W)	5.6	
1878-04-12	20:41:	VI - VI 1/2	VII 1/2 - VIII (10.2N-66.9W)	6.1	Más de 400 víctimas More than 400 victims
1878-04-14	23:	+ V	-	5.1	Réplica Aftershock
1900-10-29	04:42:	+ VII	+ VIII (10.9N-66.8W)	6.3	40 muertos 40 deaths
1915-12-12	22:	+ V	+ VI	5.1	
1967-07-29	20:01:	+ VII-VIII	+ VIII (11.0N-66.3W)	6.3	Alrededor de 280 muertos Approximately 280 deaths

La tabla anterior se elaboró de acuerdo a los siguientes criterios:

- a) se respetan las asignaciones de intensidad y de otros parámetros de interés ya publicados;
- b) se incluyen aquellos eventos cuya intensidad asignada es mayor que V en la escala modificada de Mercalli (MM); por tanto escapan, un elevado número de sismos sentidos, cuya fuente es desconocida en gran parte de los casos;
- c) se entiende bajo la denominación de área de Caracas, el área Metropolitana actual, la cual incluye poblaciones que en épocas pasadas eran citadas separadamente tales como Petare, Antimano, La Guayra, etc.;
- d) Se respeta la hora local para la fecha de ocurrencia del sismo.

1.1.2 Revisión sobre evaluaciones de la amenaza sísmica en Caracas

Al estudiar las tasas medias de ocurrencia de eventos sísmicos severos en la región de Caracas, surge el problema de que la velocidad de adquisición de información referente a movimientos fuertes del terreno, es relativamente lenta. A raíz del sismo de 1967, diversos autores estudiaron la ocurrencia de sismos en la región de Caracas adelantando estimaciones cuantitativas de los movimientos más desfavorables que cabe esperar. En la Tabla No. 2 se sintetizan resultados relevantes publicados entre 1968 y 1982.

Sin entrar a discutir la bondad de las distintas opiniones anotadas, es fácil constatar una marcada disparidad de criterios propia de las numerosas incertidumbres en la localización de epicentros y zonas epicentrales, así como en la asignación de magnitudes para los diferentes eventos históricos. El autor que ha estudiado con más detalle e información instrumental el problema anterior es FIEDLER (1968), quien presentó resultados de un análisis estadístico de las relaciones de recurrencia de la región. El encontró que los eventos de severidad extrema tienen períodos de retorno de varios siglos; según su análisis, un sólo evento supera la magnitud igual a 7.0 (terremoto de 1812 con $M = 7.1$). SARDI (1968) asigna a este evento, también máximo en su listado, la magnitud 7.0 con período de retorno de 166 años. En ninguno de los dos trabajos citados se contempla de un modo explícito la posibilidad de sismos de mayor magnitud. BERGERET (1969) estudia la sismicidad en base a la escala de intensidades,

The above table was elaborated on in accordance with the following criteria:

- a) The assignments of intensity are respected along with other parameters of interest already published;
- b) Events whose intensity assigned is greater than V in the modified Mercalli (MM) scale are included; therefore, a large number of felt earthquake are omitted because of not knowing the source, in many of the cases;
- c) Caracas, the present Metropolitan area, includes segments which in the past were considered separate localities, such as Petare, Antimano, La Guaira, etc.;
- d) The local time is respected for the date of occurrence of the earthquake.

1.1.2 Revision of Evaluations of the Seismic Hazard in Caracas

In analyzing the mean of occurrence of severe seismic events in the region of Caracas, arises the problem that the velocity of acquisition of information with reference to strong movements of the ground is relatively slow. As a consequence of the earthquake of 1967 several authors studied the occurrence of earthquakes in the region of Caracas forwarding quantitative estimates of the most unfavorable movements that could be expected. In Table No. 2 the relevant results published between 1968 and 1982 are synthesized.

Without discussing the virtues of the different opinions indicated, it is easy to show a marked disparity of criteria which is normal because of the numerous uncertainties in the location of epicenters and epicentral zones as well as in the assignment of magnitudes for the different historical events. The author who has studied in greater detail, and with instrumental information about this problem is FIEDLER (1968), who presented the results in a statistical analysis of the relations of recurrence in the region. He found that the events of extreme severity have returned within periods of several centuries; according to his analysis one single event exceeds the magnitude equal to 7.0 (earthquake of 1812 with $M = 7.1$). SARDI (1968) assigns to this event, which is also the maximum in his listing, the magnitude 7.0 with a return period of 166 years. In neither of the two papers cited is it contemplated in an explicit manner as to the possibility of earthquake of greater magnitude.

TABLA No. 2
TABLE No. 2

RESUMEN DE LAS EVALUACIONES DE RIESGO SISMICO EN LA REGION DE CARACAS
SUMMARY OF EVALUATIONS OF SEISMIC RISK IN THE REGION OF CARACAS

AUTOR (AÑO)	Sismos máximos y probabilidad de ocurrencia Maximum earthquake and probability of occurrence				Movimientos máximos del terreno Maximum movements of the ground		
AUTHOR (YEAR)	Magnitud Richter Richter Magnitude	Intensidad MM MM Intensity	Período de Retorno Return Period	Probabilidad de excedencia (%) Probability of exceedance (%)	$(\ddot{u}_g)_{\text{máx}}$ (g)	$(\ddot{u}_g)_{\text{máx}}$ cm/seg	$(\ddot{u}_g)_{\text{máx}}$ cm.
SARDI (1968)	7.0	-	165	26 *	-	-	-
ESTEVA (1968)	-	> VII	-	-	0.12	-	-
FIEDLER (1968)	7.8	-	-	-	-	-	-
ABENANTE-BRASES (1969)	7.0	-	-	-	0.167 0.116	21,0	47.4
BERBERET (1969)	-	VII IX	89 174	43 * 25 *	-	-	-
SEED ET AL. (1970)	7.0 (a 25km) 8.0 (a 160km)	-	-	-	0.12 (roca) 0.45 (rock)	-	-
FIEDLER (1972)	-	IX	-	-	-	-	-
ATSIKIS - REDEL (1972)	8.25	-	-	-	0.33	-	-
FIEDLER (1974 a)	7.5 (Z1) 7.1 (Z3)	-	-	-	-	-	-
BRASES (1975 a)	7.3	-	50 50	63 * 39 *	0.13 0.20	-	-
BERZ (1977)	7.5	VII-IX	-	-	-	-	-
HOLINA (1977)	-	-	504	18 **	-	60	-
ALONSO-LAROTTA (1977)	7.2	IX-XI	25 75	63 63	0.18 0.20	74 74	-
RIAL (1977)	~8,0	-	-	-	-	-	-
NORMA COVENIN 1756 (1982)	-	-	300-400	10 a 15 *	0,30	-	-

* Considerado un período de 50 años (A period of 50 years is considered)

** Considerado un período de 100 años (A period of 100, years is considered)

utilizando la estadística Bayesiana. Los resultados hallados por él se reproducen en la Figura No. 1, en la cual debe destacarse que el evento más severo corresponde también al del año de 1812 ($M = 7,1$); la probabilidad que ocurra por lo menos un sismo en un período de 100 años es igual a 0.41 (la probabilidad de que ocurra exactamente un sismo es igual a 0.27, siendo de 0.10 la probabilidad de que ocurran exactamente dos sismos). No se discute en ese trabajo la posibilidad de sismos de mayor intensidad. JAKUBOWICZ y LAROTTA (1974) en base a los daños conocidos del terremoto de 1900* y utilizando relaciones empíricas publicadas por diversos autores, le asignan a este sismo una magnitud igual a 7,2.

Con el fin de establecer un modelo regional de generación de sismos, (véase Vol. 13A) interesa disponer de una expresión que relacione el número N de eventos de magnitud por lo menos igual a M , para lo cual se han seguido los tres criterios siguientes:

- a) El modelo de generación debe ajustarse a la historia sísmica conocida de la región, particularmente en lo referente a los eventos de mayor severidad de que se tiene conocimiento.
- b) Las magnitudes asignadas por diferentes autores a los eventos históricos están asociadas a incertidumbres de por lo menos ± 0.5 unidades en la escala de Richter.
- c) En el caso de Caracas, el valor de $b = 0.906$ dado por FIEDLER (1968), se acepta como valor medio de un parámetro que no es necesariamente constante.

Los sismos más severos conocidos en el lapso 1641-1982, el cual cubre 341 años, han sido dados en la Tabla No. 1; si se admite como más confiable el período 1812-1912, de 170 años de duración, y se respetan los tres criterios antes anotados, se llega a la relación:

$$\log_{10} N = 4.0g - 0.906 M$$

a partir de la cual se obtienen las tasas medias de ocurrencia λ y períodos de retorno I que se indican en la Tabla No. 3, en la cual también se comparan los eventos observados.

*En base a registros de la época, RICHTER, 1958 asigna a este sismo la magnitud 8.4.

BERGERET (1969) studies the seismicity on the basis of an intensity scale, using Bayesiana statistics. The results of his work are reproduced in figure No. 1 in which it should be pointed out that the most severe event also corresponds to 1812 ($M = 7,1$); the probability that at least one such event may occur in a period of 100 years is equal to 0.41 (the probability that exactly one such earthquake will occur is equal to 0.27 and the probability that exactly two earthquakes will occur is 0.10). In this paper the possibility of earthquakes of greater intensity is not discussed. JAKUBOWICZ and LAROTTA (1974) on the basis of known damages due to the earthquake of 1900*, and utilizing empirical relationships published by several authors, assigned a magnitude equal to 7.2, to this earthquake.

In order to establish a regional model for the generation of earthquakes, (see Vol. 13A) it is of interest to have an expression that relates the number N of events of magnitude at least equal to M for which the following three criteria have been followed:

- a) The generation model must adjust itself to the known seismic history of the region, particularly as it refers to the events of greater severity of which one has knowledge.
- b) The assigned magnitudes by different authors to the historical events are associated to uncertainties of at least ± 0.5 units in the Richter scale.
- c) In the case of Caracas the value of $b=0.906$ given by FIEDLER (1968), is accepted as a mean value of a parameter which is not necessarily constant.

The most severe known earthquakes in the period 1641-1982, which covers 341 years have been given in Table No.17; accepting as more reliable the period 1812-1912, of 170 years duration, and respecting the three prior criteria, the following relationship is obtained:

from which one obtains the mean rates of occurrence λ and the periods of return I which are indicated in Table No. 3 and which are also compared to the observed events.

* On the basis of records of the epoch, Richter, 1958 assigns this earthquake a magnitude of 8.4.

PROBABILIDADES DE QUE EN LOS INTERVALOS DE TIEMPO INDICADOS OCURRA POR LO MENOS UN SISMO DE LAS INTENSIDADES INDICADAS CORRESPONDIENTES A CARACAS.
 PROBABILITIES THAT IN THE INTERVALS OF TIME INDICATED AT LEAST ONE EARTHQUAKE OF THE INDICATED INTENSITIES WILL OCCUR AND THIS CORRESPONDS TO CARACAS.

FUENTE: J. BERGERET (1969)
 SOURCE:

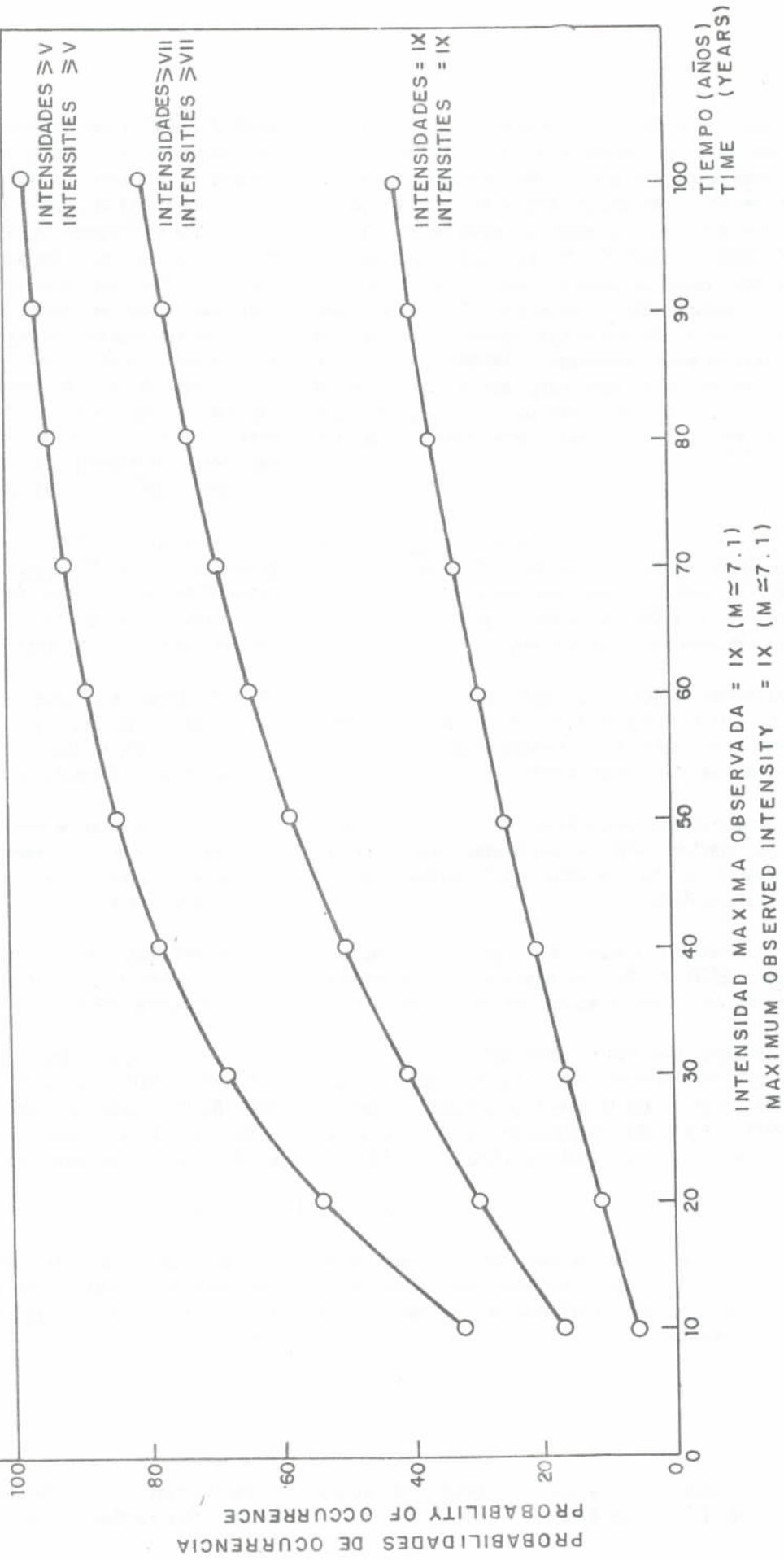


Fig. 1

PROBABILIDADES DE EXCEDENCIA DE LAS MAGNITUDES INDICADAS EN LA REGION DE CARACAS
 PROBABILITY OF EXCEEDANCE OF THE INDICATED MAGNITUDES IN THE REGION OF CARACAS

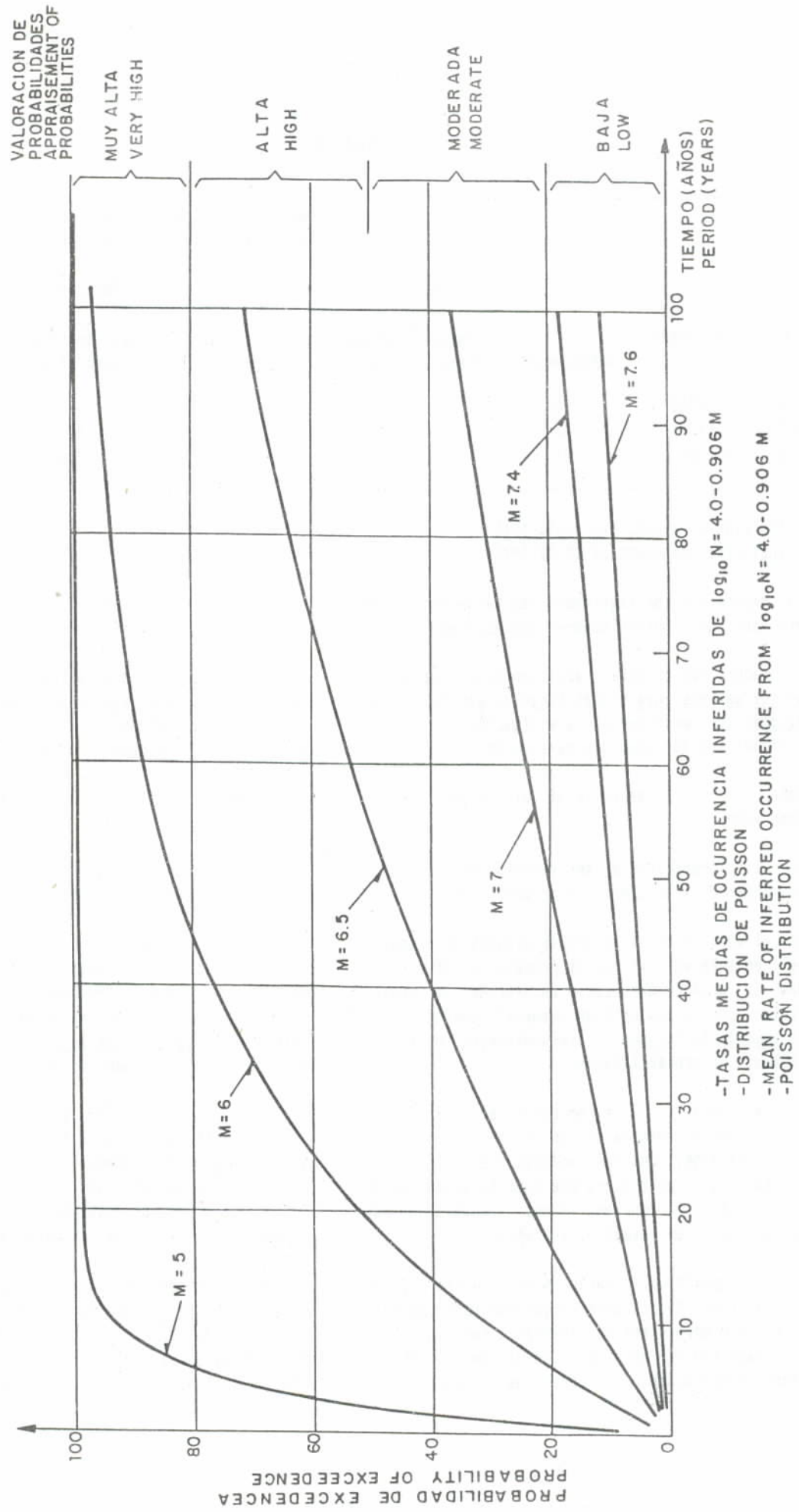


Fig. 2

TABLA No. 3
TABLE No. 3

		Número de eventos en el período Number of events in the period				
		1982-1812 (170 años/years)		1982-1641 (341 años/years)		
M	(1/año-year)	T (años/year)	Relación propuesta Proposed relationship	Observado Observed	Relación propuesta Proposed relationship	Observado Observed
7.0	0.00455	220	0.77	1	1.5	1
6.5	0.0129	77	2.2	2	4.4	3
6.0	0.0366	27	6.2	5(6)*	12.4	7(8)*

* Incluido el evento del 12-12-1915
Including the event of 12-12-1915

La comparación con magnitudes estimadas menores de 6.0 está asociada a incertidumbres aún mayores.

The comparison with estimated magnitudes of less than 6.0 is associated with even greater uncertainties.

La naturaleza de este trabajo conduce a seleccionar eventos máximos cuya probabilidad de excedencia sea muy pequeña; de modo que en la evaluación del riesgo se han fijado las dos condiciones siguientes:

The nature of this work leads us to select maximum events whose probability of exceedence is very small; so that in the evaluation of the risk, the following two conditions have been determined:

- debe ser por lo menos igual al máximo evento observado;
- que la probabilidad de ser excedido en 100 años sea inferior a un cierto valor prefijado.

- It must be at least equal to the maximum event observed;
- That the probability of being exceeded in 100 years be lesser to a certain predetermined value.

En el cálculo de estas probabilidades de excedencia es frecuente admitir que el proceso aleatorio de llegadas al área de Caracas es un proceso de punto, constituido por un conjunto de eventos independientes. La distribución de Poisson es frecuentemente utilizada en el cálculo de probabilidades.

In the calculation of these probabilities of exceedence, it is frequently admitted that a random process of arrivals to the area of Caracas is a point process, constituted by an ensemble of independent events. The Poisson distribution is frequently used in the calculation of probabilities.

En la Figura No. 2 se representa el valor de la probabilidad de excedencia en función del tiempo para los eventos de magnitudes comprendidas entre 5.0 y 7.6. En esa misma Figura se observa que magnitudes del orden de 7.4 a 7.6 están asociadas a una probabilidad de excedencia baja en un tiempo de 100 años.

In Figure No. 2 the value of the exceedence probability is given as a function of time for the events of magnitudes between 5.0 and 7.6. In this same figure it is observed that magnitudes of the order of 7.4 to 7.6 are associated with a low probability of exceedence in a period of a hundred years.

Es interesante la comparación entre esta última figura y la Figura No. 1, pues habiéndose obtenido esta última por procedimientos de inferencia bayesiana, el orden de magnitud de las probabilidades de ocurrencia de sismos comparables, a distintos tiempos, es semejante.

The comparison between this last figure and figure 1 is interesting, because having obtained the latter by processes of Bayesiana infers the order of magnitude of the probabilities of occurrence of comparable earthquakes at different times is similar.

Para el cálculo de los movimientos máximos del terreno, se han comparado los resultados obtenidos con relaciones empíricas propuestas por diversos autores, relaciones éstas basadas en magnitud y distancia focal. Por ejemplo, en la Tabla No. 4 se comparan los valores de la aceleración que se han inferido para un sismo considerado poco probable, de magnitud Richter M = 6.1 y epicentro en el área de Caracas; tal como se puede observar resalta la disparidad de valores de aceleración máxima, lo cual se explica por la naturaleza empírica de las fórmulas propuestas, acentuada en este caso por tratarse de una región epicentral. De las expresiones propuestas, la de McGUIRE (1981) tiene un mejor respaldo en cuanto al número de registros que han servido de base.

For the calculation of the maximum movements of the ground, the results obtained have been compared with (impartial) relationships proposed by several authors, such relationships being based on magnitude and focal distance. For example, in Table No. 4 the values of the acceleration are compared, which have been inferred for an earthquake considered low probability of magnitude, Richter M = 6.1 and whose epicenters is in the area of Caracas. As can be observed, the disparity of values of maximum acceleration is outstanding, which is explained by the empirical nature of the processed formulae, accentuated in this case because it is an epicentral region. On the proposed expressions, that of McGUIRE (1981) has a greater backing with regard to the number of records which served as a basis.

TABLA No. 4
TABLE No. 4

AUTOR AUTHOR	ACELERACIONES MAXIMAS (MAXIMUM ACCELERATIONS)			
	(% g)			
	A una distancia At a distance			
	$\Delta = 0$ (Km)	$\Delta = 5$ (Km)	$\Delta = 10$ (Km)	
CLOUD (1963)	16.9	16.4	15.2	
BLUME (1965)	7.0	6.3	4.8	
HOUSNER (1970)	~ 23.5	-	-	
ESTEVA* (1970)	13.5	10.2	8.9	
SCHNABEL-SEED (1973:0)	-	50	35	
MC GUIRE (1981)	40	37	25	
TRIFUNAC-BRADY (1975)	** p = 0.10 p = 0.50 p = 0.90	28.4 64.9 148.5	22.6 51.6 117.9	17.7 40.5 92.6

* Suelos de dureza intermedia
Soils of intermediate hardness

** p representa el nivel de confianza asociado a la aceleración máxima
p represents the level of reliance associated with the maximum acceleration

Adicionalmente, se han sugerido otras leyes de atenuación válidas para eventos ocurridos a distancias moderadas, en algunas de las cuales se debe considerar la intensidad máxima. Si se seleccionan intensidades comprendidas entre VIII y IX y sismos cercanos a los máximos probables, se obtienen los valores de las columnas 2, 3 y 5 de la Tabla No. 5; en la columna 4 se incluye un tercer evento de magnitud igual a 8.0 supuestamente generado por el sistema de Fallas de Boconó, con una distancia epicentral de unos 120 km.

In addition, several other laws of attenuation have been suggested and are valid for events which have occurred at moderate distances, in some of which the maximum intensity must be considered. If intensities between VIII and IX are selected, and earthquakes near the maximum probable, values in columns 2, 3 and 5 in Table 5 are obtained. In column 4, a third event is included of a magnitude equal to 8.0 supposedly generated by the system of the Boconó fault with an epicentral distance of some 120 km.

TABLA No. 5
TABLE No. 5

AUTOR AUTHOR	ACELERACIONES MAXIMAS (% g) MAXIMUM ACCELERATIONS (% g)			
	M = 7.3 Δ = 50 km	M = 6.8 Δ = 35 km	M = 8.0 Δ = 120 km	-
CLOUD (1963)	1.9	1.5	4.1	-
BLUME (1965)	3.3	3.6	1.2	-
*ESTEVA (1970)	6.9	17.8	5.1	-
SCHNABEL-SEED (1973)	18	17	6	-
TRIFUNAC-BRADY (1975)	** p = 0.10 p = 0.50 p = 0.90	4.9 11.3 25.7	8.4 19.3 44.2	1.1 2.5 5.7
TID	-	-	-	22.4
MSK	-	-	-	15.3
GUTENBERG-RICHTER (1956)	-	-	-	21.9

* Suelos de dureza intermedia
Soil of intermediate hardness

** p representa el nivel de confianza asociado a la aceleración máxima
p represents the level of reliance associated with the maximum acceleration

Las tablas anteriores revelan la gran incertidumbre existente en la predicción empírica de un parámetro importante como lo es la aceleración máxima del terreno. Esta incertidumbre se ha reconocido explícitamente en el modelo que ha servido de base en este trabajo, al añadir al valor medio de la predicción una desviación estándar (del logaritmo neperiano de la aceleración) con lo cual, en término medio cabe esperar una probabilidad de no excedencia del orden de 0,84. Las probabilidades de excedencia anual de las aceleraciones máximas del terreno fueron ajustadas a una distribución de valores extremos tipo II; con el modelo sismotectónico considerado más representativo se obtuvo para α un valor igual a 3,4 y para Y_1 , una aceleración de 39 gal. (GRASES, 1982).

Los resultados más importantes de este acápite pueden sintetizarse en las tres conclusiones siguientes:

- a) A partir de las zonas sísmicamente activas que amenazan el área de Caracas, se definió un modelo regional de generación de sismos.
- b) Las leyes de atenuación del movimiento del terreno fueron seleccionadas en forma tal que los valores obtenidos fuesen compatibles con las observaciones y conclusiones derivadas del terremoto del 29 de julio de 1967.
- c) De acuerdo a ese modelo se calcularon las frecuencias anuales de ocurrencia de aceleraciones máximas del terreno, mayores o iguales a una cierta cantidad, para suelos de dureza intermedia. Los resultados pueden sintetizarse suponiendo que:

$$P [A > A_0 / 1 \text{ año}] = 1 - e^{-\left(\frac{A_0}{46}\right)^{-3}}$$

Aún cuando este resultado no es estrictamente necesario para la fase actualmente en curso, sí deberá utilizarse en próximas fases de ECOSIS.

1.1.3 Tasa media anual de ocurrencia de sismos de intensidad mayor o igual que I para la región de Caracas

En la Sección 1.1.2 se calcularon las tasas medias anuales de aceleración y de velocidades máximas del terreno firme (en aluviones no profundos) mayores o iguales a un cierto valor. Se presentaron resultados relativos a la evaluación del riesgo en el área de

The previous tables reveal the great uncertainty existing in the empirical prediction of an important parameter such as the maximum acceleration of the ground. This uncertainty has been explicitly recognized in the model which has served as a basis for this paper, by adding to the mean value of the prediction a standard deviation (of the neperian logarithm of the acceleration), with which, as an average, a non-exceedence probability of 0.84 can be expected. The probabilities of annual exceedence of the maximum accelerations of the ground were adjusted to a distribution of extreme values, type II; with the seismotectonic model considered more representative, a value for α was obtained equal to 3,4 and for Y_1 , acceleration of 39 gal. (GRASES, 1982).

The most important results of this section can be synthesized in the following three conclusions.

- a) From the seismic active zones which threaten the area of Caracas a regional model for the generation of earthquake was defined.
- b) The attenuation laws of the movement of the ground were selected in such a way that the obtained values were compatible with the observations and conclusions derived from the earthquake of July 29th, 1967.
- c) In accordance with this model the annual frequencies of occurrence of maximum accelerations of the ground were calculated, greater or equal to a certain quantity, for soils of intermediate hardness. The results can be synthesized supposing that;

Even though this result is not strictly necessary for the phase which is ongoing, now, it must be utilized in the following phases of ECOSIS.

1.1.3 Mean Annual Rate of Occurrence of Earthquakes of Intensity Greater or equal than I for the Region of Caracas

In Section 2.1.2 the mean annual rates of acceleration and maximum velocities of firm soil were calculated (in shallow alluvial) greater than or equal to a given value. Relative results were presented for the evaluation of risk in the area of Caracas in terms

Caracas en términos de los sismos más desfavorables a considerar en este estudio.

Los valores encontrados deben ser congruentes con la historia sísmica conocida, ya descrita en las Secciones iniciales 1.1.1 y 1.1.2. Una vía conveniente para su verificación consiste en comparar las tasas medias anuales calculadas, con las observadas para los sismos de Intensidad estimada mayor o igual a I para la misma región, tomando en consideración que las asignaciones discretas de Intensidad cubren rangos de movimientos máximos del terreno, tal como se verá más adelante.

En la literatura, al utilizar la Intensidad I para expresar distintos niveles de sacudidas del terreno, es frecuente el empleo de relaciones del tipo:

$$\lambda_I = A \cdot e^{-B \cdot I}$$

donde λ_I representa la tasa media anual de Intensidades mayores o iguales que I (intensidad modificada de Mercalli), siendo A y B constantes a determinar empíricamente. Estas se han calculado aquí tomando en cuenta que para fines de aplicación práctica resulta más conveniente redondear las asignaciones de Intensidad a valores enteros superiores. Resulta así la siguiente Tabla No. 6.

TABLA No. 6
TABLE No. 6

Intensidad Intensity	Número de ocurrencias en 335 años Number of occurrences in 335 years	Tasa media Anual de: Mean annual rate of:	
		Intensidades iguales a I Intensities equal to I	Intensidades mayores o iguales a I Intensities greater or equal to I
VI	5 (3)*	0.0149	0.0328
VII	3	0.00896	0.0179
VIII	2	0.00597	0.00895
IX	1	0.00298	0.00298
> X	0	0	0

* Asignaciones menos severas. (Less severe assignments).

Para el rango de Intensidades mayores de VII, se obtiene la expresión:

$$\lambda_I = 80 \cdot e^{-1.137 \cdot I}$$

of the most unfavorable earthquakes to be considered in this paper.

The values found must be congruent with the known seismic history already described in the initial sections, 2.1 and 2.2. A convenient method for their verification consists of comparing the calculated mean annual rates with those observed for the earthquakes of estimated intensity greater or equal to I for the same region, taking into consideration that discrete assignment of intensity cover ranges of maximum movements of the ground such as will appear later.

In the literature, in utilizing I to express different levels of ground shaking it is frequent to use relationships of the type:

where λ_I represents the mean annual rate of intensities greater than or equal to I (Modified Mercalli Intensity) where A and B are constants to be determined empirically. These have been calculated by taking into account that for the purposes of practical application, it is more convenient to round of the assignment of intensity to the upper integral values. Thus we get Table No. 6.

For the range of intensities greater than VII we obtain the expression

la cual sobreestima la tasa de ocurrencia observada para las intensidades menores. Dado que el lapso de observación (más de tres siglos) comprende largos períodos con ausencia de información confiable y que en épocas anteriores, tales como la segunda mitad del siglo XIX, el número de eventos sentidos por año fue superior al promedio de las últimas décadas, se puede aceptar esa sobre-estimación hasta sismos de intensidad V. De acuerdo con esa expresión, sismos con intensidades semejantes o superiores al de 1967, (VII a VIII), quedarían asociados con períodos de retorno de unos 63 años, en tanto que sismos con intensidades mayores o iguales que VIII a IX tendrían, de acuerdo a esa expresión, períodos de retorno cercanos a los 200 años, un sismo de intensidad X o más, no observado hasta la fecha en el Valle de Caracas, ocurriría en término medio cada milenio. En la Figura No. 3 se representa gráficamente la expresión anterior.

La correlación entre intensidades y movimientos máximos del terreno sólo es posible en una forma aproximada. En el caso de Caracas, el único caso evaluado corresponde al terremoto del año de 1967, al cual se le asignó una intensidad entre VII y VIII en suelos de dureza intermedia, siendo la aceleración máxima de aproximadamente 0.10 g y la velocidad máxima de unos 20 cm/seg. De acuerdo al modelo de generación de sismos visto en la sección anterior, esa aceleración tiene períodos de retorno de 47 años, el cual es menor que el que se infiere de $80.e^{-1.137.I}$, para la intensidad observada. Dicho en otras palabras, el modelo de generación de movimientos máximos del terreno ha resultado ser algo más severo que la inferencia estadística de las intensidades observadas en el área de Caracas; de modo que para lograr pronósticos congruentes debe ajustarse uno de los dos modelos.

Considerada la naturaleza del problema que aquí se estudia y para el caso en que fuese necesario utilizar la tasa de ocurrencia de intensidades, es preciso modificar el coeficiente A de 80 a 87. Es decir:

$$\lambda_I = 87 e^{-1.137.I}$$

Su congruencia puede mostrarse comparando los valores de la aceleración e intensidad con los propuestos por MSK (1964) en la siguiente Tabla No. 7.

which overestimates the rate of occurrence observed for lesser intensities. Considering that the time of observation (more than three centuries) includes long period with an absence of reliable information and that in previous epochs, such as the second half of the 19th century, the number of events felt per year was greater than the average of the earlier decades, this overestimation through evens of intensity V can be accepted. In accordance with this expression, earthquakes with intensities similar to or higher than the 1967 (VII to VIII), would remain associated to return periods of about 63 years, whereas earthquakes greater than or equal to VIII to IX would have in accordance with this expression, return periods of about 200 years; an earthquake of intensity X or more, not observed till now in the Valley of Caracas, will occur on the average of every one thousand years. Figure No. 3 grafically represents the previous formulae.

The correlation between intensities and maximum movements of the ground is only possible in an approximate form. In the case of Caracas, the only case evaluated, corresponds, to the earthquake of 1967 to which an intensity was assigned of between VII and VIII in soil of intermediate hardness, the maximum acceleration being approximately 0.10 g and the maximum velocity some 20 cm/sec. In accordance with the model of generation of earthquakes seen in the previous section, this acceleration has return periods of 47 years, which are less than that inferred from $80.e^{-1.137.I}$, for the observed intensity. In other words, the generation model of maximum movements of the ground has resulted in being somewhat more severe than the statistical inference from the observed intensities in the area of Caracas; so in order to attain congruent forecasts we must apply one of the two models.

Considering the nature of the problem which is studied here and in the case it were necessary to make use of the rate of occurrence of intensities it is necessary to modify the coefficient A from 80 to 87. That is:

Its congruence can be shown by comparing the values of the acceleration and intensity with those proposed by MSK (1964) in the following Table No. 7.

TASAS MEDIAS DE OCURRENCIA DE INTENSIDADES M M (CARACAS)
 MEAN RATES OF OCCURRENCE OF MM INTENSITIES (CARACAS)

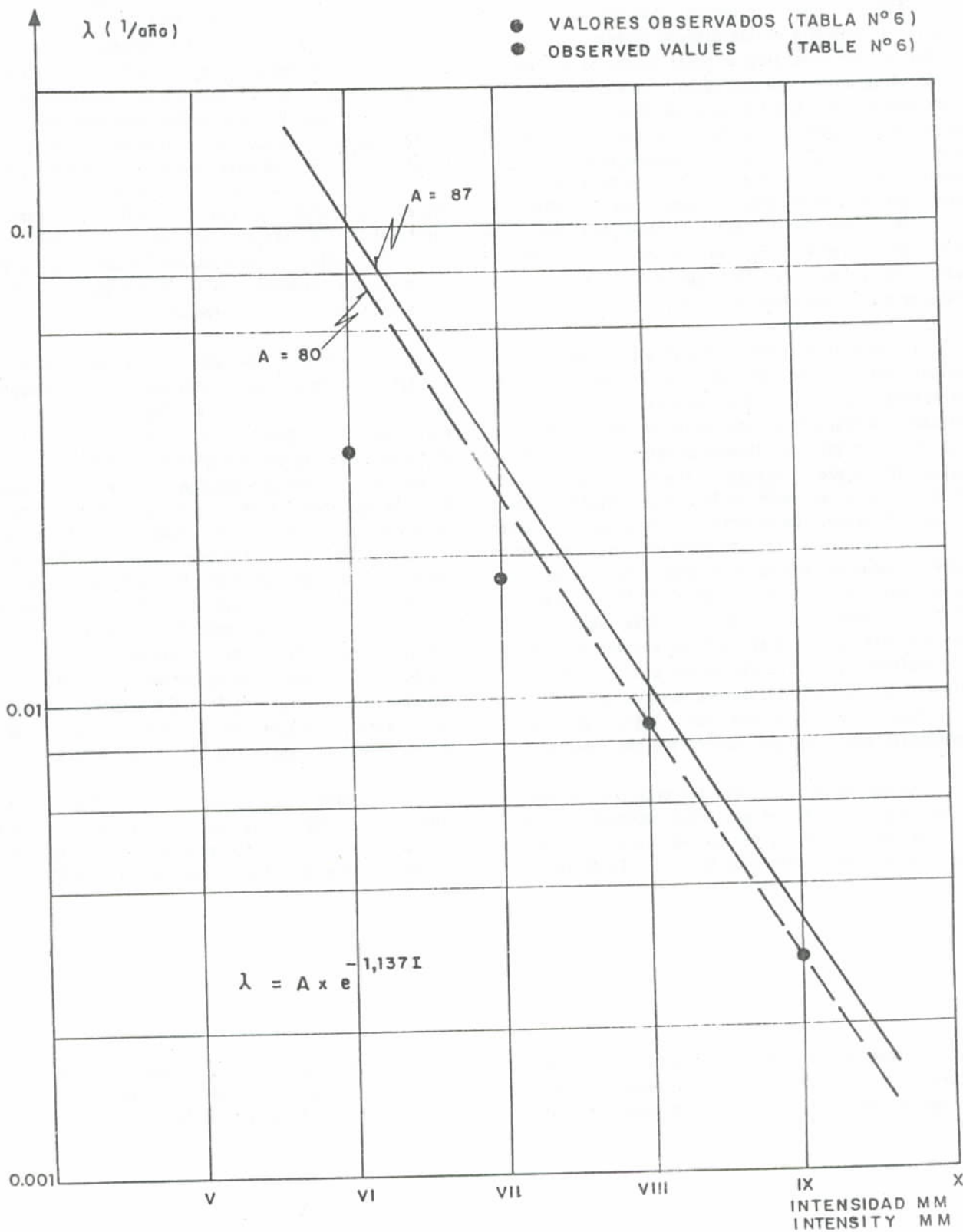


Fig. 3

TABLA No. 7
TABLE No. 7

Intensidad Intensity	Aceleracion (g) Acceleration (g)	
	Calculada Calculated	Segun MSK MSK
V - VI	0.038	0.025
VI - VII	0.065	0.050
VII - VIII	0.112	0.100
VIII - IX	0.194	0.200
IX - X	0.334	0.400

Los valores "calculados" de la tabla provienen simplemente de igualar los valores λ de intensidades con los de aceleraciones.

The "calculated" values of the table are obtained simply by making the values equal in λ of intensities with those of accelerations.

Queda descrita así en forma razonablemente conservadora la tasa media anual de ocurrencia de sismos de intensidad mayor o igual a I, para la región de Caracas y en suelos de dureza intermedia los cuales excluyen taxativamente aluviones profundos no consolidados. Si se compara esta última tabla con la Tabla No. 22, se concluye que los sismos de máxima intensidad MM que deben ser considerados en la región están en el rango de IX a X, no habiéndose asignado estas intensidades a ninguno de los terremotos conocidos a lo largo de los tres siglos y medio de historia sísmica de la ciudad (véase la Tabla No. 1; como consecuencia del terremoto de 1967, en ciertas áreas se llegó a asignar la intensidad IX debido a la presencia de aluviones no consolidados).

Thus we have described in a reasonably, conservative manner, the mean annual rate of occurrence of earthquakes of intensity greater than or equal to I for the region of Caracas and in soils of intermediate hardness which exclude limitedly unconsolidated deep alluvial. Comparing the latter Table with Table No. 22, it can be concluded that earthquakes of maximum intensity MM which must be considered in the region are in the range of IX to X, although these intensities have not been assigned to the known earthquakes during the three and a half centuries of seismic history of the city (see Table No. 1. As a consequence of the earthquake of 1967, in certain areas, intensity IX was assigned due to the presence of non-consolidated alluvial).

1.2 EDIFICACIONES EXISTENTES EN EL AREA DE CARACAS Y PARAMETROS QUE DEPENDEN DE LA NORMATIVA DE DISEÑO

1.2 EXISTING CONSTRUCTIONS IN THE AREA OF CARACAS AND PARAMETERS WHICH DEPEND ON THE NORM FOR DESIGN

1.2.1 Desarrollo urbano de Caracas

1.2.1 Urban Development of Caracas

El desarrollo urbano de Caracas ha estado influenciado por condiciones específicas que han determinado la configuración de la ciudad en distintas etapas de su evolución histórica.

The urban development of Caracas has been influenced by specific conditions which have determined the configuration of the city in several stages of its historic evolution.

En una rápida ojeada de su desarrollo en los últimos 40 años, destaca la ocupación de zonas situadas al este de la ciudad. Los sectores de La Castellana, Las Mercedes, Altamira, El Bosque y El Rosal aparecen a mediados de la década de los cuarenta. Con anterioridad

In a rapid look at its development over the last 40 years one can point to the occupation of areas located to the east of the city. The sectors of La Castellana, Las Mercedes, Altamira, El Bosque and El Rosal appeared in the mid forties. Previously,

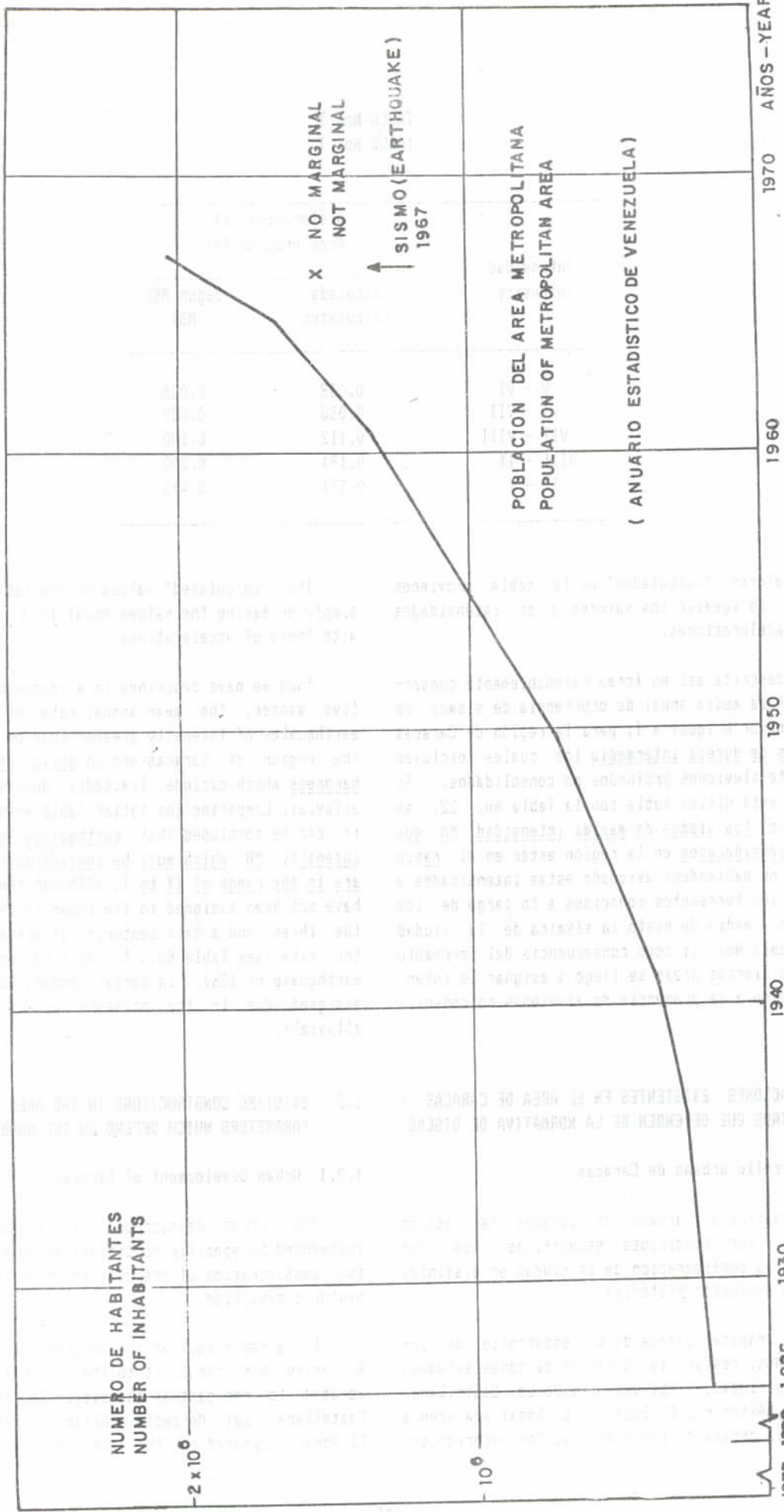


Fig. 4

ya se habían desarrollado urbanizaciones como La Florida, Los Caobos, el Country y por supuesto el viejo casco de la ciudad.

El Silencio es de la época del gobierno del General I. Medina A. Entre 1945 y 1958 la acción del Banco Obrero (hoy INAVI) permite el desarrollo de urbanizaciones como Francisco de Miranda, Ciudad Tablitas, Lomas de Pro-Patria, El Cementerio, Los Castaños, Los Rosales, Carlos Delgado Chabaud, etc.; asimismo, las unidades residenciales de El Valle y El Paraíso y los conjuntos de Cerro Piloto (Urb. Urdaneta), 23 de Enero, Simón Rodríguez, Cútira, Diego de Losada y La Vega.

La Ciudad Universitaria es concluida casi en su totalidad en la década del cincuenta.

El crecimiento progresivo del 41 al 61 (según los respectivos censos*, la población del área Metropolitana se cuadruplica) se debe en parte al éxodo rural y a los inmigrantes de todo tipo, y se refleja en una demanda habitacional creciente y en la construcción de millares de ranchos que constituyen el llamado "cinturón de miseria".

Se estima que allí se localiza el 26 por ciento del número total de casas de habitación del área Metropolitana (Tenreiro, O. "La Vivienda". En: Revista SVA, No. 19, Caracas, Junio de 1965).

En la década de 1950 a 1960, como consecuencia del déficit de vivienda y de la elevación de los precios de los terrenos urbanos, tiene lugar la construcción masiva de edificios de departamentos. En 1961 se produce una crisis en la industria de la construcción, esta actividad resurge pronto y se construyen importantes unidades residenciales destinadas a la venta en propiedad horizontal para sectores de ingresos medios-altos. En la Figura No. 5 se indica el número acumulado de edificaciones que contaron con permiso y/o que fueron construidas en los períodos allí indicados, para una muestra de 47 edificios recabada de diferentes informes relativos al terremoto de 1967. Aún cuando se trata de una muestra sumamente limitada en número, destaca el hecho de que la distribución de alturas tiende a alturas mayores para los períodos más recientes; es decir, para fechas cercanas a 1967 se estaban construyendo edificios más altos que unos 10 ó 15 años antes. Un estudio más detallado de este problema es necesario y puede ser hecho en las Ingenierías Municipales del Distrito Federal y Distrito Sucre (Petare) pero requiere como mínimo dos meses de trabajo continuo.

* véase la Figura No. 4

other urbanizations had been developed such as La Florida, Los Cabobos, El Country, and of course the old center of the city.

El Silencio is from the time of General I. Medina's government. Between 1945 and 1958, the existence of the Banco Obrero (today INAVI) made it possible to develop urbanizations such as Francisco de Miranda, Ciudad Tablitas, Lomas de Pro-Patria, El Cementerio, Los Castaños, Los Rosales, Carlos Delgado Chabaud, etc.; likewise the residential units of El Valle, El Paraíso, and the settlements in Cerro Piloto (Urban. Urdaneta), 23 de Enero, Simón Rodríguez, Cútira, Diego de Losada and La Vega.

The Ciudad Universitaria was almost built in its entirety in the 1950s.

The progressive growth from 1941 to 1961 (according to the respective census*, the population of the Metropolitan area has grown fourfold) is due in part to the rural exodus and to immigrants of all types; and is reflected by the growing demand for housing and construction of thousands of ranchos which constitute what is called the "misery belt" of the city.

It is estimated that 26 per cent of the total number of houses are localized in the Metropolitan area (Tenreiro, I. "La Vivienda". In: Revista SVA, No. 19, Caracas, June 1965).

In the decade of 1950 to 1960 as a consequence of the deficit of housing and the rise in the prices of urban land, massive construction of apartment buildings took place. In 1961 a crisis in the construction industry was produced, but this activity soon recovered and important residential units were constructed, destined for sale as horizontal property for the medium to high income sectors. Fig. No. 5 indicates the number of constructions which were given permit and/or constructed in the periods indicated therein for a sampling of 47 buildings obtained from different reports relative to the earthquake of 1967. Even though it is a very limited sample in number, stands out the fact that the distribution of height tends to greater heights for more recent periods; that is to say as the date neared 1967, buildings which were higher than 10 or 15 years before, were being constructed. A more detailed study of this problem is necessary and can be made in the Municipal Engineering Department of the Federal District and Sucre District (Petare) but requires a minimum of two months of continuous work.

* See Figure No. 4.

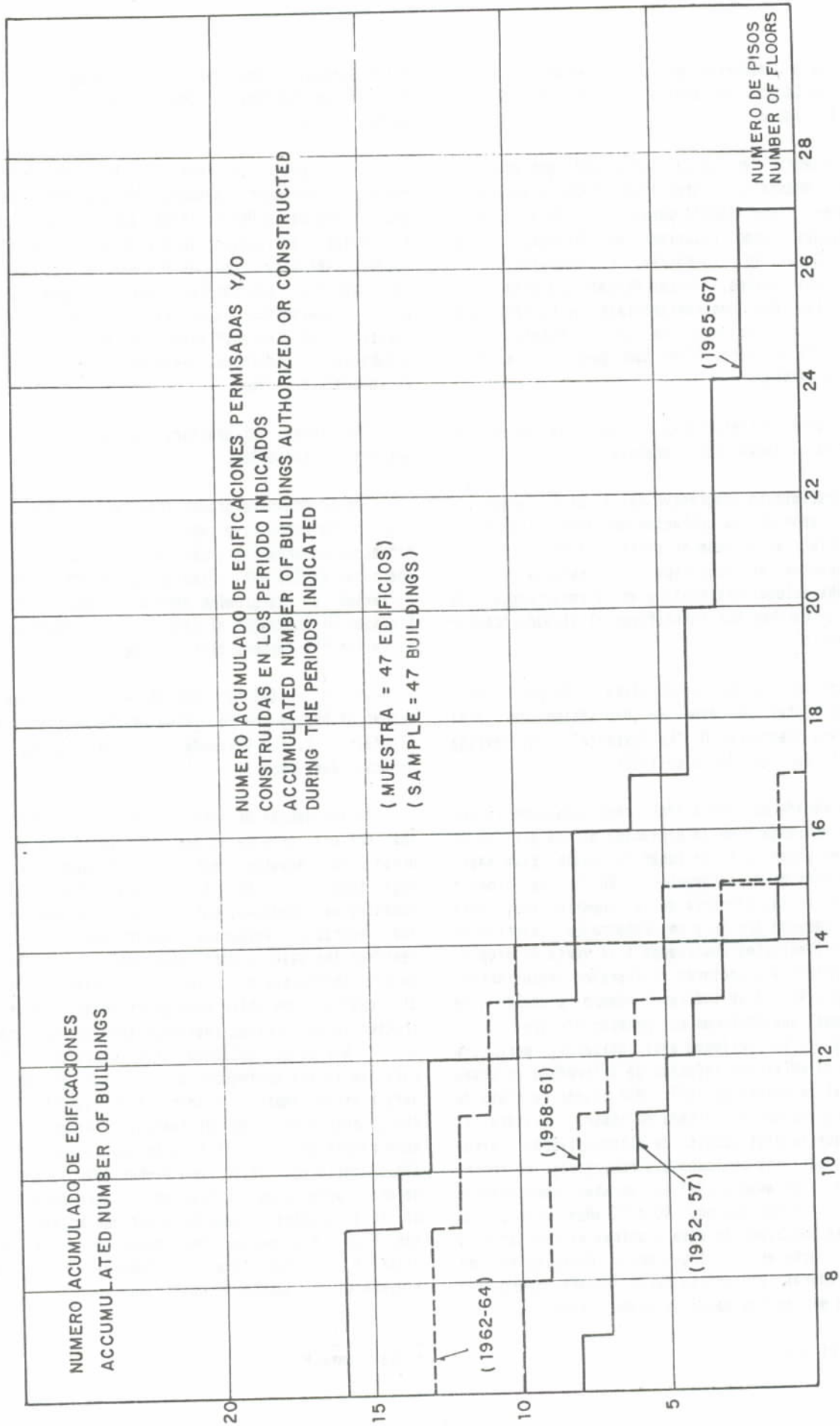


Fig. 5

Se incluye la Figura No. 5, para señalar una posible forma de sintetizar información muy conveniente para el estudio de pérdidas.

En 1965 los acueductos de la zona metropolitana prestaron servicio a una población total de más de millón y medio de habitantes; el consumo de agua alcanzó 133.26 millones de m³.

1.2.2 Consumo de cemento

El consumo de cemento en Venezuela entre el año de 1940 y el año de 1970, se da en la Figura No. 6. Los datos han sido corroborados con estadísticas de la Asociación Venezolana de Productores de Cemento. También se indican los consumos del área metropolitana de Caracas entre los años 1960 y 1970; para ese período estos variaron entre el 22% y el 32%, en forma aproximadamente independiente del consumo total de cemento en el país, como se puede observar en la Figura No. 6.

1.2.3 Número de edificaciones para la fecha del sismo

Para la fecha del terremoto de Caracas no se conoce con exactitud el número de edificaciones existentes. En la Fig. No. 7 se da el número de edificaciones y su distribución en altura para 4,079 edificios permitidos por las Ingenierías Municipales, más los construidos por el Banco Obrero (actual INAVI) (ARCIA, 1970); se indican también allí otras cifras estimativas citadas en informes generales sobre el sismo de 1967.

Estimaciones hechas en base a la población no marginal arrojan un total de alrededor de 60.000 edificaciones, de las cuales se estima que unas 9.000 corresponden a construcciones de 4 o más pisos, predominantemente estructuradas con sistemas aporticados. En la Tabla No. 8 se indica la distribución aproximada de los distintos tipos de construcción para las diferentes condiciones de subsuelo dadas en el Valle de Caracas.

El total de edificios con algún daño en el área de Caracas es un dato que depende de la fuente consultada. Según los 30 planos (escala 1:5.000) elaborados por DMPU, el total de construcciones afectadas por el sismo sería de 2.514, de los cuales el 54.3% correspondería a edificios (según la simbología allí utilizada). En la Tabla No. 9 se presenta una síntesis de los datos que aparecen en diversas fuentes, como ilustración de las divergencias encontradas.

Figure 5 is included in this report to show a possible mode of synthesizing information which is very convenient for the study of laws.

In 1965 the aqueducts of the Metropolitan zone gave service to a total population of more than a million and a half inhabitants; the consumption of water reached 133.26 million cubic meters.

1.2.2 Consumption of Cement

The consumption of cement in Venezuela between the year 1940 and the year 1970 is given in Figure No. 6. The data has been corroborated with statistics from the Asociación Venezolana de Productores de Cemento. The consumption of the Metropolitan area of Caracas between 1960 and 1970 is also indicated; for that period it varied between 22% and 32% in an approximately independent way from the total consumption of cement in the country, as can be seen in Figure No. 6.

1.2.3 Number of Buildings on the day of the Earthquake

The exact number of existing buildings on the day of the earthquake of Caracas is not known. In Fig. No. 7 the number of buildings and the distribution in height for 4,079 buildings given permits by the Municipal Engineering Department, plus those built by the Banco Obrero (now INAVI) (Arcia, 1970) are listed. Other estimated numbers are also given, and these are quoted from general reports on the earthquake of 1967.

Estimates based on non-marginal population show a total of some 60,000 constructions of which it is estimated that some 9,000 corresponds to constructions of 4 or more floors predominantly structured with reinforced concrete. In Table No. 8 the approximate distribution of the different type of constructions is indicated for the different conditions of subsoil in the Valley of Caracas.

The total number of buildings with some damage in the area of Caracas depends on the source consulted. According to the 30 plans (at a scale of 1:5.000) elaborated on by DMPU, the total constructions affected by the earthquake would be 2,514, from which 54.3% corresponds to buildings (according to the symbols used). In Table No. 9 a synthesis of the data which appears in different sources is presented as an illustration of the divergencies found.

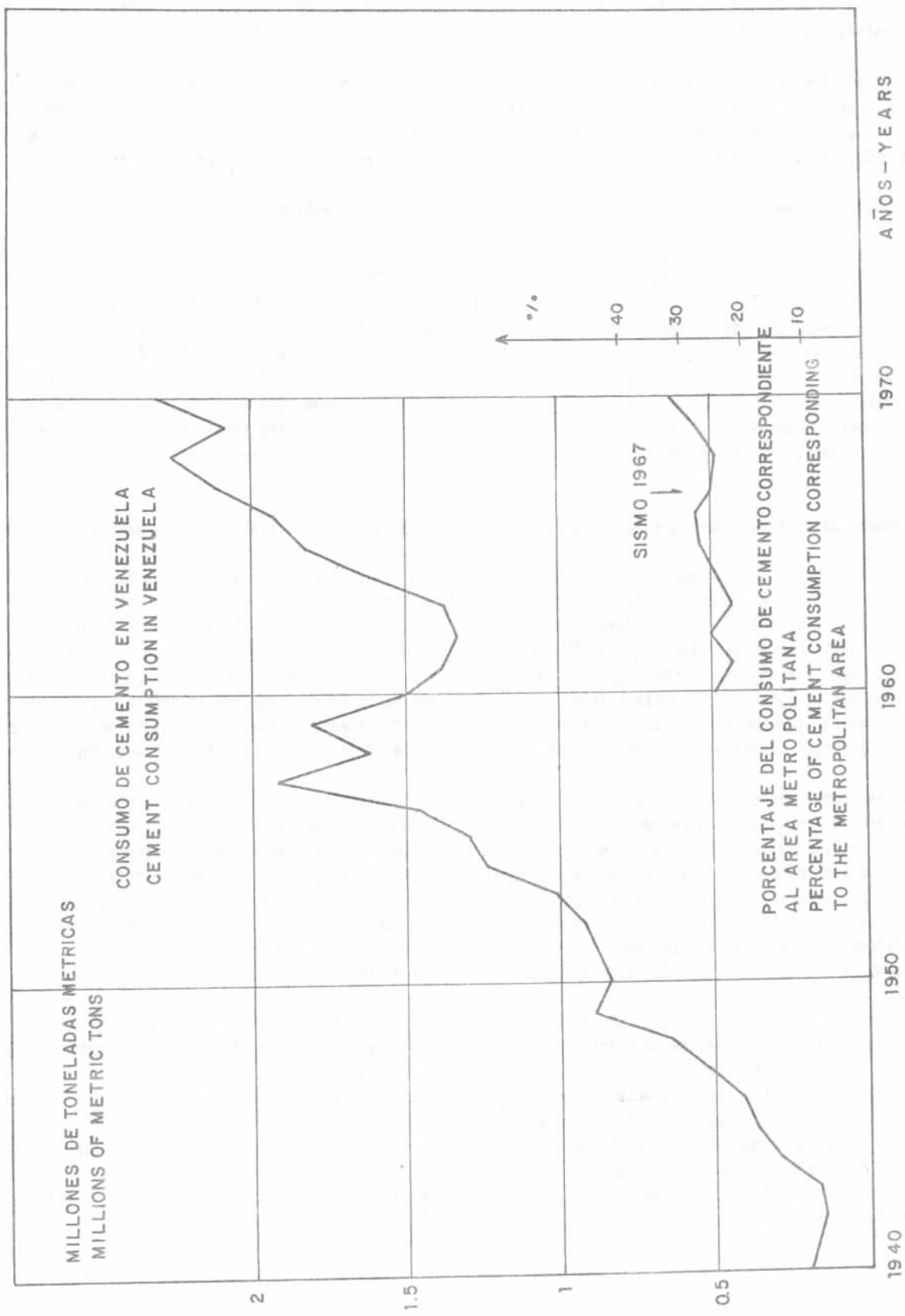


Fig. 6

TABLA No. 8
TABLE No. 8

TIPO DE CONSTRUCCION TYPE OF CONSTRUCTION	NUMERO ESTIMADO DE UNIDADES . FUNDADAS** EN: ESTIMATED NUMBER OF UNITS . WITH ITS FOUNDATIONS ON:			NUMERO TOTAL DE CONSTRUCCIONES
	ROCA ROCK	SUELOS DE DUREZA INTERMEDIA DEPOSITOS ALUVIONALES DE POCA PROFUNDIDAD SOIL OF INTERMEDIATE HARDNESS; ALUVIAL DEPOSITS OF SHALLOW DEPTH	DEPOSITOS ALUVIONALES PROFUNDOS DEEP ALLUVIAL DEPOSITS	TOTAL NUMBER OF CONSTRUCTIONS (60.000)
Adobe; colonial *	10000 (50 %)	9000 (45 %)	1000 (5 %)	20.000
Mamposteria con machones y riostras hasta 3 pisos Masonry with spurs and braces to three stories	9300 (30 %)	18600 (60 %)	3100 (10 %)	31.000
Edificios de 4 o más pisos Buildings of 4 or more stories	2700 (30 %)	5400 (60 %)	900 (10 %)	9.000
Edificios de 10 o más pisos (contenidos en la fila anterior)				
Buildings of 10 or more stories (included in the previous line)	300 (30 %)	500 (50 %)	200 (20 %)	1.000

* Información sobre este tipo es impreciso
Information on this type of building is not precise

** Basado en el conteo sobre 30 mapas del OMPU. Aun cuando incierto, se considera mejor estimador que suponerlos aleatoriamente distribuidos.
Based on an inspection of 30 maps of OMPU. Although uncertain, it is considered a better estimate than suppositions random distribution.

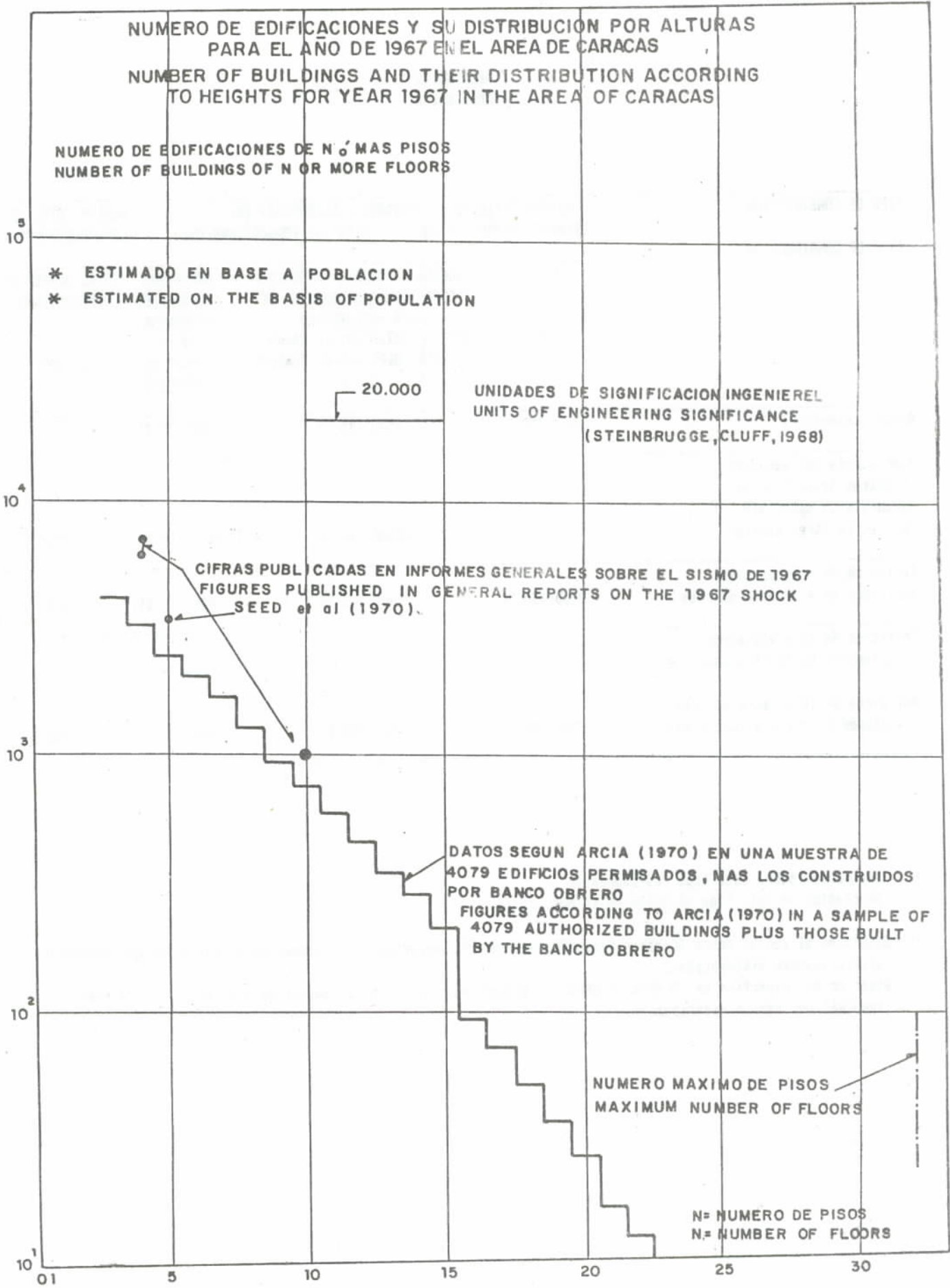


Fig. 7

TABLE No. 9
TABLE No. 9

	En base a poblacion On the basis of population Grases 1978	Arcia (1970)	30 planos del DMPU 30 DMPU plans Grases 1978	Hansen y Degentolb (1969)	Dptos. Sucre y Libertador Sucre and Liberator Departments Arcia (1970)	De 3 o más pisos 3 or more stories Arcia (1970)	Diversos informes sobre el sismo Various earth- quake reports	Comisión Presidencial Presidential Commission (1969 b)	Sozen et. al (1968)	PCA 1967 Sauter 1969 Periodicos locales Local Newspapers
Total de edificaciones Total buildings	60.000									
Total de edificaciones dañadas Total damaged buildings		6.618 informes de daños damage reports	2514*							
Total de casas dañadas Total damaged houses			1149	1280						
Total de casas con daños graves (irreparables o colapsados) Total seriously damaged houses (unrepairable or collapsed)			380 (151)	480 (100)					59 (concreto armado; con algún daño). (reinforced con- crete; with some damage).	
Total de edificios dañados Total buildings damaged		651	1365	1489	563	651	527			
Total de edificios sin daños graves (irreparables o colapsos) Total buildings without serious damage (unrepairable or collapsed)			280	265 (con algún daño estructural). (with some struc- tural damage)	206 (con algún daño estructural). (with some struc- tural damage)	236 (con algún daño estructural). (with some struc- tural damage)	218 con algún daño estructural). (with some struc- tural damage)	228 (con algún daño estructural). (with some struc- tural damage)		180 listados como tem- poralmente inseguros inmediatamente después del sismo 180 listed as tempora- rily unsafe immediat- ely after the earthquake
Total de edificios Total buildings	2.500 de más de 5 pisos of more than 5 stories			10.000	5689	6027	6.000 a 7.000			
Total de iglesias con algún tipo de daño - no hubo colapso Total churches with some type of damage - no collapse								14		

* Según Ferrer y Cluff (1969) esta cifra asciende a 1802 (véase tabla 45).
According to Ferrer and Cluff (1969) this number is 1802 (See table 45).

A falta de mejor información, se decidió adoptar las siguientes premisas para calcular el número y la distribución de edificaciones en Caracas para la fecha del sismo:

- a) el total estimado de edificaciones en base a la población no marginal, incluye construcciones no contempladas en este trabajo (viviendas de tapia, bahareque y similares); el total de edificaciones de este tipo se ha evaluado en 20.000 unidades;
- b) se estima alrededor de 1.500.000 personas la población no marginal que habita edificaciones entre 1 y 30 pisos, con las características de las edificaciones tipificadas en este trabajo;
- c) para edificaciones de más de 10 pisos se puede aceptar la distribución de la Figura No. 8;
- d) la extrapolación de la distribución anterior conduce a los valores indicados en la columna 3 de la Tabla No. 10 y su distribución porcentual se da en la Figura No. 28;
- e) el número medio de unidades de vivienda (departamentos) según la altura es el indicado en la columna 4 de la Tabla No. 10;
- f) el número medio de habitantes por unidad de vivienda es de 6. Se ignoran aquí las diferencias con locales de oficina. En la Figura No. 9 se representa el número acumulado de habitantes que vive en edificaciones de N o más pisos.

Aceptadas las premisas anteriores, el número de unidades de vivienda de esta estimación, se obtiene multiplicando la columna (3) por la columna (4); en la Figura No. 10 se representan los totales obtenidos para cada altura de edificaciones en términos del número de pisos N. El total correspondiente a edificaciones de 1, 2 y 3 pisos es de 71.000 unidades de vivienda; el correspondiente para edificaciones de 4 hasta más de 23 pisos es de 188.284 unidades. De este modo el total de unidades de vivienda obtenidas, excluidos los llamados ranchos es de 259.284 unidades de vivienda.

Este total es comparable con la distribución de unidades de vivienda existentes en el área Metropolitana de Caracas según el IX Censo de Población (1961), de acuerdo al cual había un total de 249.235 unidades de vivienda, incluidos los ranchos distribuidos de acuerdo a la Tabla No. 11.

Because of the lack of better information available it was decided to adapt the following premises to calculate the number and distribution of buildings in Caracas on the day of the earthquake:

- a) the estimated total of buildings on the basis on non marginal population includes constructions not considered in this paper (non wall dwellings, bahareque and similar); the number of buildings of this type has been estimated at 20,000 units;
- b) The non marginal population that inhabits 1 to 30 story buildings with the characteristics of the ones typified in this paper is estimated at approximately 1,500,000 persons;
- c) for buildings of more than 10 stories the distribution in Figure No. 8 can be accepted;
- d) the extrapolation of the previous distribution brings us to the values indicated in column 3 of Table No. 10 and the percentual distribution is given in Figure No. 8;
- e) the mean number of housing units (apartments) according to height, is indicated in column 4 of Table No. 10;
- f) the mean value of inhabitants per housing unit is 6. The differences regarding office buildings have been ignored. Figure No. 9 represents the accumulated number of inhabitants that live in buildings of N or more stories.

Having accepted the previous premises, the number of housing units in this estimate is obtained by multiplying column (3) by column (4); Figure No. 10 represents the totals obtained for the height of buildings in terms of the number of stories N. The total corresponding to buildings of 1, 2 and 3 stories is 71,000 housing units; the corresponding number for buildings of 4 to more than 23 stories is 188,284 units. In this way the total housing units obtained excluding those called the ranchos is 259,284.

This total is comparable to the distribution of housing units existing in the Metropolitan area of Caracas according to the IX Population Census (1961), in which there was a total of 249,235 housing units including the ranchos as shown in Table No. 11.

TABLA No. 10
 TABLE No. 10

Número de pisos = N Number of stories = N	Número de edificaciónes de N o mas pisos Number of buildings N or more stories	Número de edificaciónes de N pisos Number of buildings of N stories	Número medio de viviendas por edificación Average number of housing units per buildings	Número medio de habitantes (x 1000) Average number of inhabitants (x 1000)	Número acumulado Accumulated number (x 1000)
	40.000				
1		15.000	1	90	1555,704
2	25.000	10.000	2	120	1465,704
3	15.000	6.000	6	216	1345,704
4	9.000	3.000	8	144	1129,704
5	6.000	2.000	15	180	985,704
6	4.000	1.300	24	187,2	805,704
7	2.700	700	28	117,6	618,504
8	2.000	500	32	96	500,904
9	1.500	500	36	108	404,904
10	1.000	300	40	72	296,904
11	700	250	44	66	224,904
12	450	100	48	28,8	158,904
13	350	70	52	21,84	130,104
14	280	70	56	23,52	108,264
15	210	80	60	28,8	84,744
16	130	50	64	19,2	55,944
17	80	30	68	12,24	36,744
18	50	13	72	5,616	24,504
19	37	10	76	4,56	18,888
20	27	10	80	4,8	14,328
21	17	4	84	2,016	9,528
22	13	4	88	2,112	7,512
23	9	9	100	5,40	5,400
		Total: 40.000		Total: 1555,704	

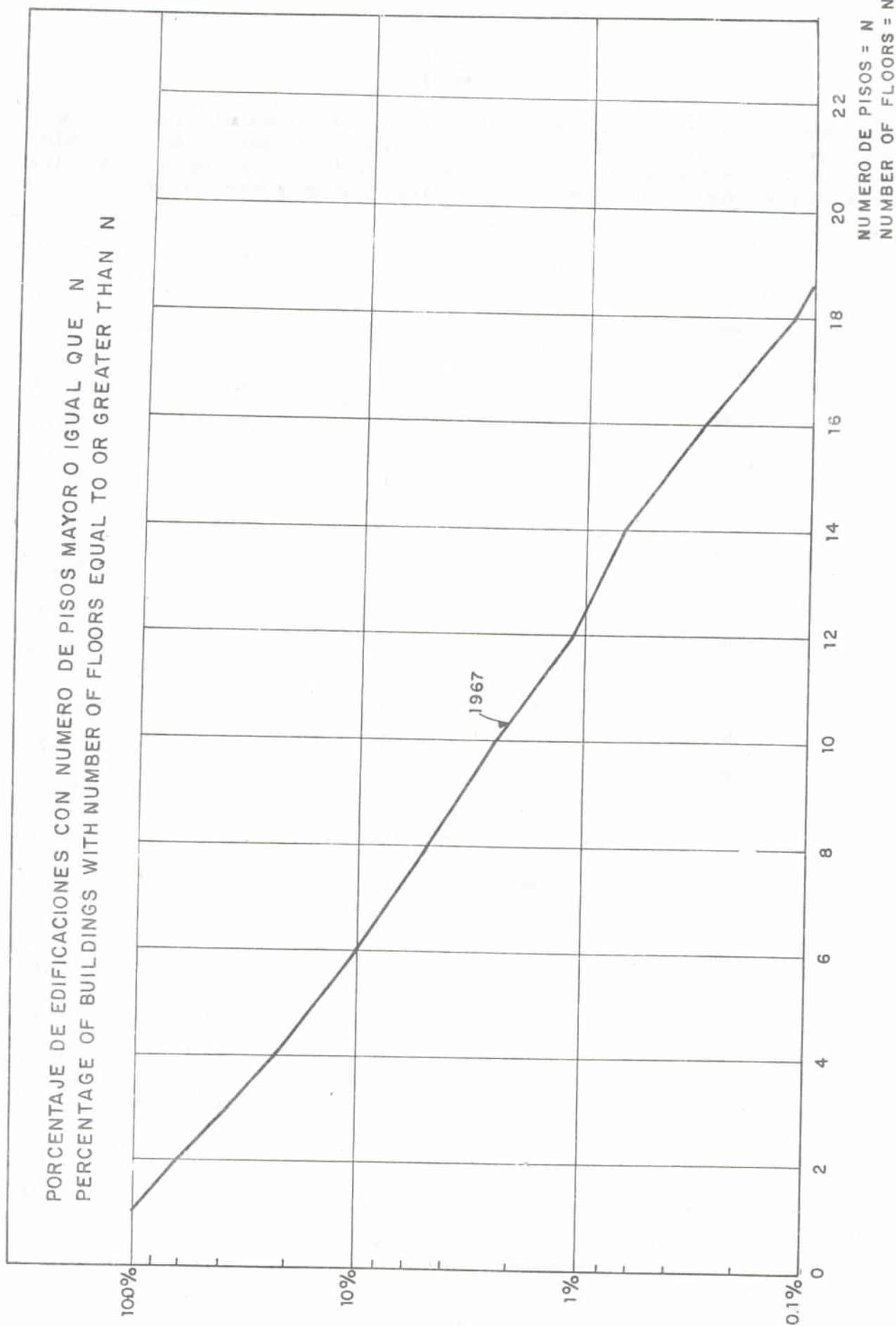


Fig. 8

POBLACION QUE HABITA EN EDIFICACIONES DE N O MAS PISOS
POPULATION LIVING IN BUILDINGS OF N OR MORE FLOORS

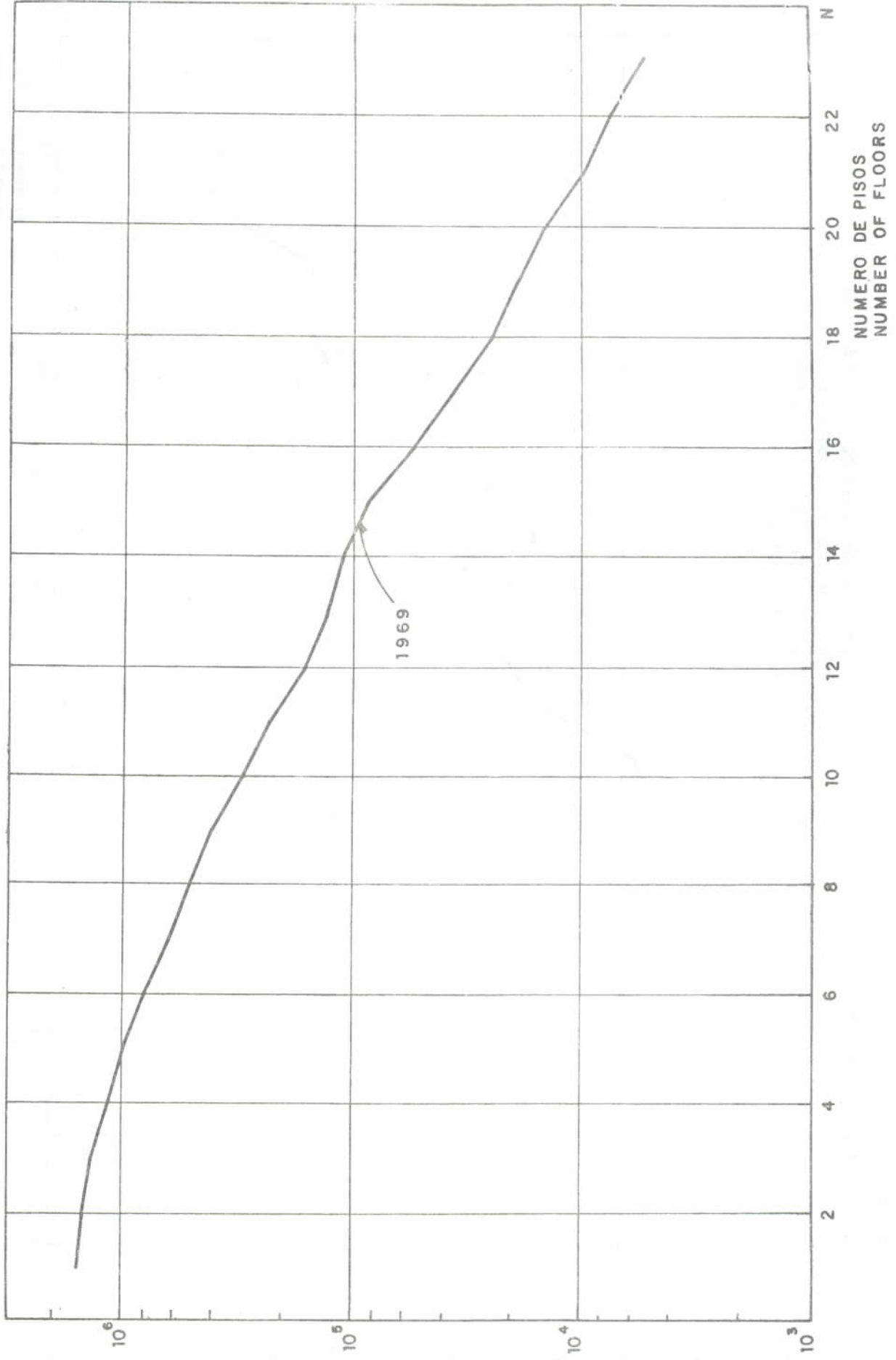


Fig. 9

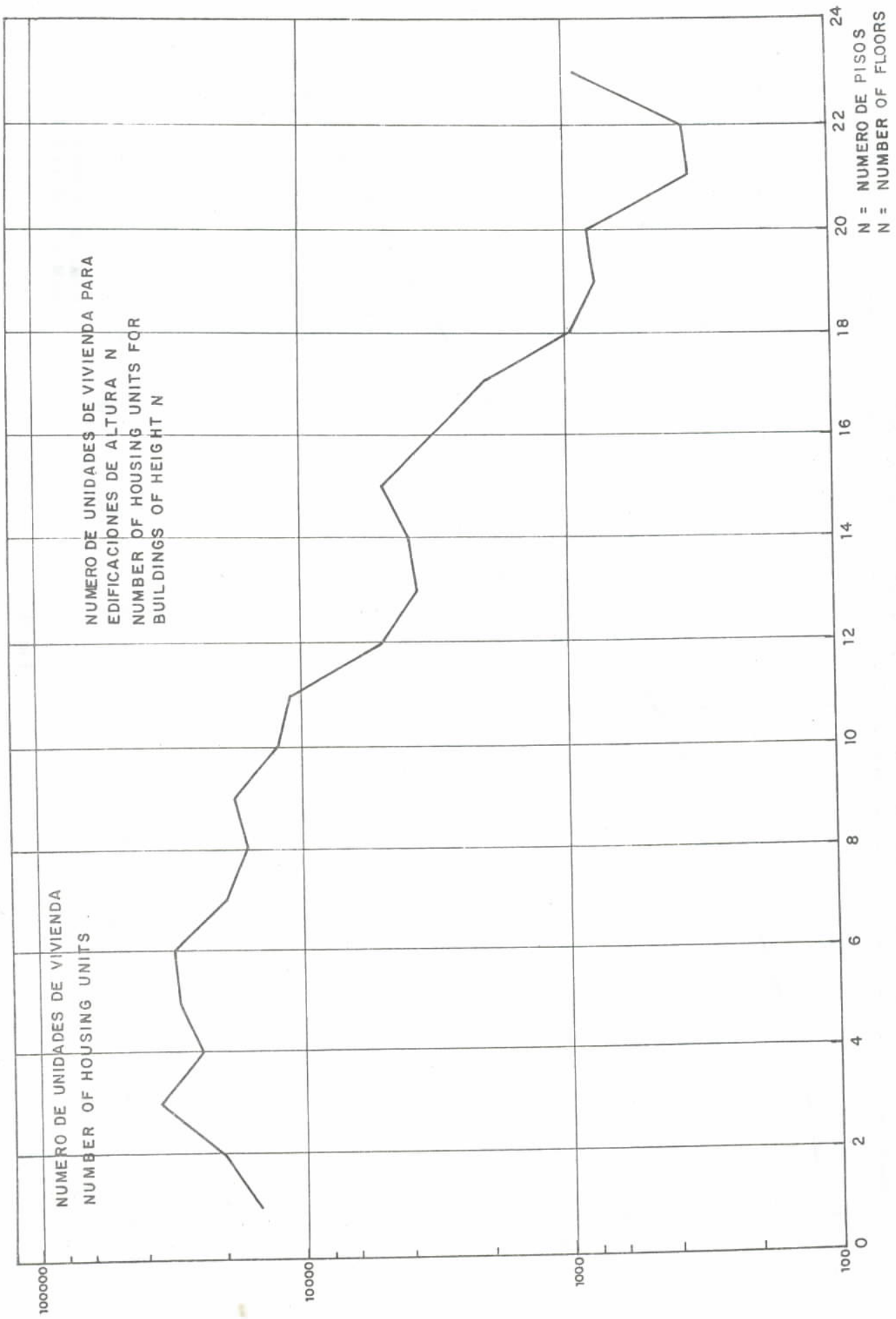


Fig. 10

TABLA No. 11
TABLE No. 11

Tipo de unidad de vivienda Type of housing unit	Número de unidades Number of units	%
Casa o quinta House	83352	33.44 %
Departamento Apartment	83506	33.51 %
Pieza Room	29357	11.78 %
Rancho Rancho	53020	21.27 %
Total:		249235 100.00 %

En la denominación genérica de "casa" dada en la Tabla No. 11 están incluidas viviendas de tapia, bahareque y similares, las cuales de acuerdo a nuestra primera premisa han sido excluidas de nuestra estadística. Por tanto, la cifra de 83.352 unidades de vivienda "casa o quinta" del Censo 1961, una vez deducidas las viviendas antes citadas, puede compararse con las 71.000 unidades de vivienda calculadas que corresponden a edificaciones tipificadas de hasta 3 pisos, para el año de 1967.

La diferencia entre la población del Censo 1961 a 1967 es del orden de 700.000 personas (véase Figura No. 4), de las cuales se puede suponer que de un 30% a 25% son marginales, con lo cual aproximadamente 500.000 nuevos habitantes pueden haber requerido unos 105.000 nuevos departamentos (diferencia con los 83.506 de la Tabla No. 11), lo cual arroja en término medio unos 17.500 departamentos por año, cifra ésta perfectamente posible. De este modo, también parece razonable la cifra de 188.284 unidades de vivienda que corresponden a edificaciones tipificadas de 4 hasta más de 23 pisos, para el año de 1967.

El número de establecimientos de industria manufacturera en el Área Metropolitana de Caracas para diciembre de 1963, según datos preliminares de los III Censos Económicos, Ministerio de Fomento, Dirección General de Estadística, es de 8.473 establecimientos, que ocupan 79.684 personas.

In the generic denomination of "house" given in Table No. 11 are included mudwall housing, bahareque and similar, which in accordance with our first premise have been excluded from our statistics. Therefore, 83,352 units of "casa o quinta" housing in the 1961 Census, once eliminated those houses before described, can be compared to the 71,000 units of housing calculated which corresponds to typified buildings of up to 3 stories for 1967.

The difference between the population of the Census of 1961 to 1967 is on the order of 700,000 people (see Figure No. 4) of which some 25% to 30% are supposedly marginal, for which approximately 500,000 new inhabitants could have required about 105,000 new apartments, (unlikely the 83,506 of Table No. 11) resulting in an average of 17,500 apartments per year, which is perfectly possible. It also seems reasonable that 188,284 housing units are 4 to 23 more than story buildings, this for 1967.

The number of industrial manufacturing establishments in the Metropolitan Area of Caracas as of December 1963 is, according to preliminary data of the III Economic Census, Ministerio de Fomento, Dirección General de Estadísticas, 8,473 establishments which employs 79,684 people.

La distribución por áreas de Caracas es la siguiente:

The distribution by areas of Caracas is as follows:

TABLE No. 12
TABLE No. 12

Porcentaje Percentage	Parroquias Parishes
22.9	al Noroeste (Sucre, La Pastora, Catedral) to the northeast (Sucre, La Pastora, Catedral)
10.7	al Suroeste (Antimano, La Vega, San Juan) to the southeast (Antimano, La Vega, San Juan)
20.7	al Sur (El Valle, Sta. Rosalía, San Agustín) to the south (El Valle, Sta. Rosalía, San Agustín).
26.8	al Centro (San José, Candelaria, Altigracia, El Recreo, Santa Teresa). in the Center (San José, Candelaria, Altigracia, El Recreo, Santa Teresa).
18.9	al Este (Chacao, Leoncio Martínez, Petare, Baruta, El Hatillo). to the east (Chacao, Leoncio Martínez, Petare, Baruta, El Hatillo).

Esta estadística será tomada en cuenta al calcular las pérdidas en edificaciones industriales, cuando sea necesario diferenciar tipos de suelos. Se supondrá que unos 2000 establecimientos son construcciones independientes de construcción tipificada; el resto está representado por edificaciones de 1 a 3 plantas.

1.2.4 Distribución de los diferentes tipos de edificaciones para la fecha del terremoto de Caracas

El número total de edificaciones dado en la Sección 1.2.3, debe ser desglosado en términos de los diferentes tipos constructivos dados en este trabajo y de las diferentes alturas que puedan alcanzar. De este modo es posible caracterizar sus propiedades dinámicas y en consecuencia las pérdidas probables en los términos establecidos en la Metodología descrita en el Vol. 13A.

This statistic is considered by calculating the loss in industrial buildings when it is necessary to differentiate the type of soils. Supposing that some 2000 establishments are typified independent constructions, the rest will be represented by buildings of 1 to 3 stories.

1.2.4 Distribution of Different Types of Buildings on the Date of the Earthquake of Caracas

The total number of buildings given in the previous section must be removed in terms of the different constructive types given in this paper, as well as the different heights they could reach. Thus, it is possible to characterize their dynamic properties and in consequence the probable losses under the terms established in Vol 13A.

TABLA No. 13
TABLE No. 13

1	2	3	4	5	6	7
Edificaciones Edificacions	Tipo Type	N (pisos) (floors)	T (seg) (sec)	Número de unidades Number of Units	Porcentaje (Percentage)	
					del subtotal de edificacions of subtotal of edificacions	del total de edificacions of the total of edificacions
CASAS HOUSES (25,000 unidades (units) (59.5 %)	1	1 y 2 3	0,15 0,30	11.000 2.750	0,44 0,11	0,2619 0,0654
	2	1 y 2 3	0,15 0,30	3.250 500	0,13 0,02	0,0774 0,0119
	3	1 y 2	0,15	7.250	0,29	0,1726
	12	1	0,15	25	0,001	0,0006
	13	1	0,15	225	0,009	0,0054
	3	3 a 5	0,30	750	0,05	0,0178
EDIFICIOS BUILDINGS (15.000 unidades (units) (35.7 %)	4	3 a 6 7 a 8 9 a 15 16 a 24 » 25	0,50 0,60 0,90 1,30 1,60	7.800 950 900 90 8	0,52 0,064 0,06 0,006 0,0005	0,1857 0,0227 0,0214 0,0021 0,0002
	5	3 a 6 y 7 a 8 7 9 a 15	0,50 0,60 0,90	1.200 196 106	0,08 0,013 0,007	0,0286 0,0046 0,0025
	6	3 a 6 7 a 8 9 a 15 16 a 24	0,50 0,60 0,90 1,30	2.100 330 210 60	0,14 0,022 0,014 0,004	0,050 0,0078 0,0050 0,0014
	8	9 a 15 16 a 24	1,30 1,90	70 5	0,0047 0,0003	0,0017 0,0001
	9	10 a 15 16 a 24	0,90 1,15	26 4	0,00172 0,00028	0,0006 0,0001
	13	3 a 4	0,30	195	0,013	0,0046

(cont...)

TALLERES Y NAVES INDUS- TRIALES	8	1 a 3 4 a 8	0,30 0,70	1.000 200	0,50 0,10	0,0238 0,0048
SHOPS AND INDUSTRIAL BUILDINGS	10	1 Y 2	0,15	800	0,40	0,0192
2.000 Unidades (units) (4.8 %)						
TOTAL	-	-	-	42.000	-	1,0000

Basados en toda la información recabada y en trabajos de campo hechos en el Valle de Caracas durante los últimos 15 años se han asignado porcentajes a los diferentes tipos constructivos para edificaciones bajas (casas), para edificaciones altas y/o más esbeltas (edificios) y para naves industriales (talleres). Estos se han resumido en la Tabla No. 13 con indicación de número de pisos N y el período representativo del primer modo de vibración (en segundos); en la columna 5, el número de unidades anotado se puede considerar más confiable para la distribución de edificios altos que para las edificaciones tipo casas. En la columna 7 se anota el porcentaje referido al total de edificaciones (42.000).

Edificaciones de cada una de los 28 grupos diferentes de la tabla anterior pueden quedar ubicadas en cualquier tipo de suelo, generando un total de 84 casos posibles.

En base a las Secciones 1.3.3 y 1.3.4, no es inmediata la distribución del área construida de Caracas para el 29 de Julio de 1967 en los tres tipos de suelos definidos en la Sección 2.1.4 del Vol. 13A.

Hechos algunos promedios ponderados, se ha adoptado la siguiente distribución de suelos de fundación (Tabla No. 14).

Based on all of the information compared and on field work in the Valley of Caracas during the last 15 years, percentages have been assigned to the different constructive types for low buildings (houses), for high and/or thin constructions (buildings) and for industrial constructions (shops). These have been summarized in Table No. 13 with an indication of the number of floors N and the representative period of the first mode of vibration (in seconds); in column 5, the number of units indicated can be considered more reliable for the distribution of tall buildings, than for homes. In column 7 the percentage in reference to the total number of constructions (42,000) is indicated.

Constructions of each of the 28 different groups in the previous table can be located in any type of soil generating a total of 84 possible cases.

On the basis of Sections 1.3.3 and 1.3.4 the distribution of the constructed areas in Caracas is not immediate as of July 29th, 1967 on the three types of soils defined in Section 2.1.4 of Vol. 13A.

After having obtained some averages, the following distribution of foundation soils has been adopted (Table No. 14).

TABLA No. 14
TABLE No. 14

Suelos tipo Type of soil	% del área urbanizada % of urbanized area
S 1	38
S 2	50
S 3	12
	100 %

Se supondrá esta distribución tanto en el cálculo de pérdidas como en cualquier cálculo auxiliar en el cual sea factible ponderar la influencia de los parámetros asociados al subsuelo.

1.2.5 Distribución de los diferentes tipos de edificaciones desde el año 1938 hasta 1967

El análisis de las fotografías aéreas de Caracas en el período 1938-1970 no ha sido posible. En su defecto se ha aproximado la distribución de los diferentes tipos de edificaciones tomando en consideración el desarrollo urbano de Caracas, el incremento de población y la distribución existente para el año de 1967.

En la Figura No. 11 se presenta una idealización del porcentaje de edificaciones con número de pisos mayor o igual que N, ateniéndonos a la distribución encontrada en la Figura No. 9 para el año 1967. Tomando en consideración la figura anterior y la población no marginal que se supone ocupa edificaciones del tipo de las tipificadas en este trabajo, se encontraron los valores de la Tabla No. 15 en la cual se anota el número de edificaciones por año agrupado en la forma allí indicada.

This distribution will be assumed in the calculation of losses, as well as in any other auxiliary calculation in which it would be possible to weigh the influence of the parameters associated with the subsoil.

1.2.5 Distribution of the Different Types of Buildings from 1938 to 1967

An analysis of the aerial photography of Caracas, for the period 1938-1970 has not been possible. Instead, an approximation has been obtained for the distribution of the different types of buildings taking into consideration the urban development of Caracas, the increase in population, and the distribution existing for 1967.

In Figure No. 11 an idealization of the percentage of buildings with a number of stories equal to or greater than N is presented, in view of the distribution found in Figure No. 9 for the year 1967. Taking into consideration the prior figure and the non-marginal population, supposedly occupy buildings of the type typified in this paper; the values in Table No. 15 were found; in which is shown the number of buildings per year grouped in the form therein indicated.

TABLA No. 15
TABLE No. 15

Edificaciones (Buildings)	NUMERO DE EDIFICACIONES (NUMBER OF BUILDINGS)			
	1938	1947	1955	1967
Casas 1 a 3 pisos más edificios hasta 3 pisos Houses 1 to 3 stories plus buildings up to 3 stories.	14450*	21100*	25600*	31000
Edificios de: (Buildings of:)				
4 a (to) 8 pisos (stories)	50	300	1700	7500
9 a (to) 13 pisos (stories)	-	-	180	1220
> 13 pisos (stories)	-	-	20	280
Total:	14500	21400	27500	42000*
Población no marginal Non marginal population	200.000	300.000	600.000	1.555.704
(Total)**	(300.000)	(550.000)	(1.000.000)	(2.000.000)

Notas: (Notes:)

* incluye naves industriales (It includes industrial buildings)

** población total estimada (Total Estimated population)

PORCENTAJE DE EDIFICACIONES CON NUMERO DE PISOS MAYOR O IGUAL QUE N
PERCENTAGE OF BUILDINGS WITH NUMBER OF FLOORS EQUAL TO OR GREATER THAN N

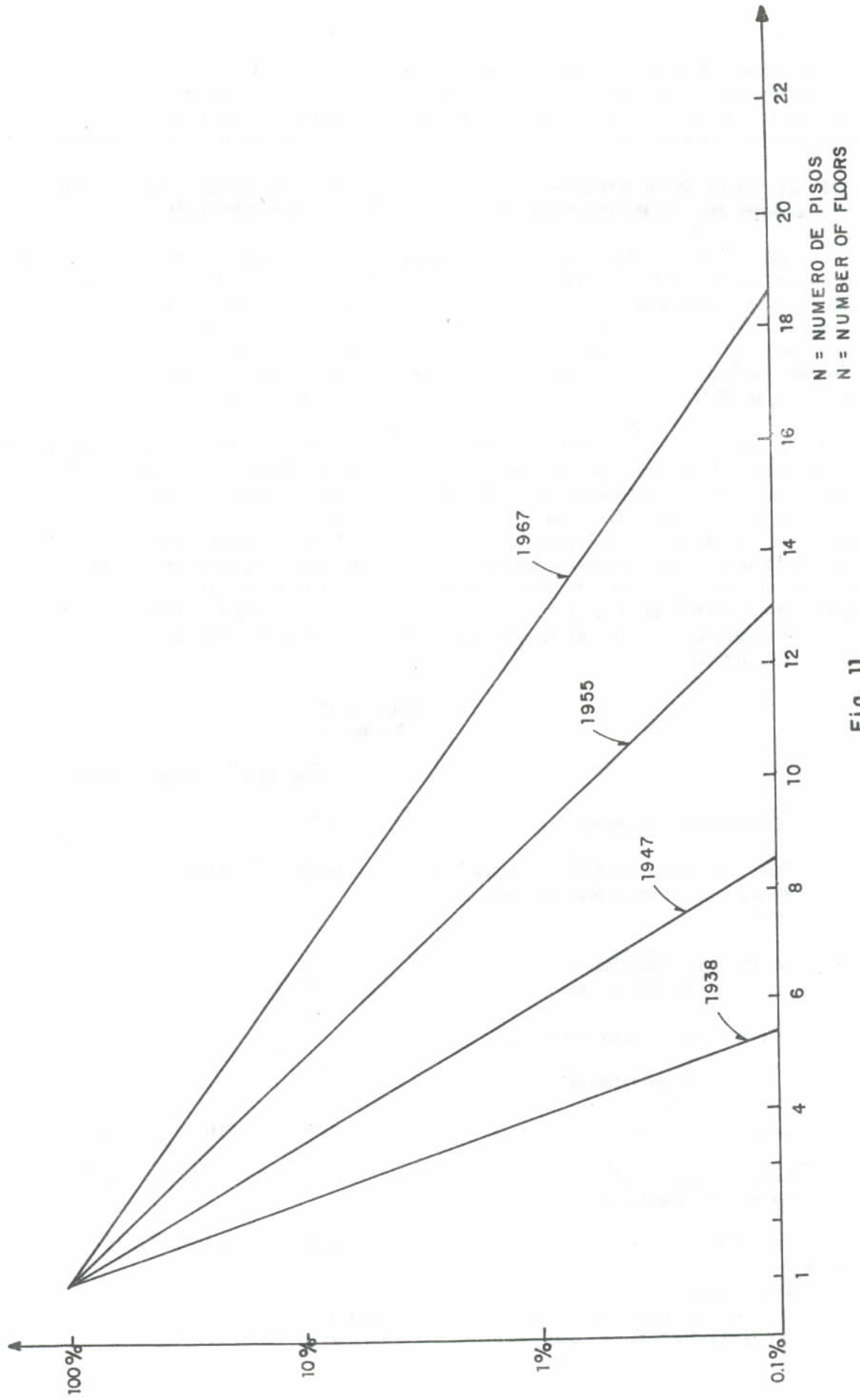


Fig. 11

La distribución de estas edificaciones por tipo o sistema constructivo tipificado se ha fundamentado en la revisión de la normativa vigente y su distribución porcentual sólo puede considerarse aproximada. Esta se da en la Tabla No. 16.

The distribution of these buildings by type or constructive system typified, has been based on the revision of the existing code, and its distribution percentage can only be considered approximate. This is given in Table No. 16.

DISTRIBUCION PORCENTUAL DE TIPOS DE EDIFICACIONES
PERCENTAGE DISTRIBUTION OF TYPES OF BUILDINGS

		AÑO (YEAR)			
Edificaciones Constructions	Tipo Type	1938	1947	1955	1967
Casas: Houses:	1	0,75	0,78	0,52	0,3273
	2	0,20	0,18	0,20	0,0893
	3	0,036	0,10	0,18	0,1726
	12	-	-	-	0,0006
	13	-	-	-	0,0054
Edificios: Buildings:	3	0,014	0,016	0,0169	0,0178
	4	-	0,014	0,0348	0,232
	5	-	-	0,008	0,0178
	6	-	-	0,005	0,0642
	7	-	-	0,005	0,0178
	8	-	-	0,0003	0,0018
	9	-	-	-	0,0007
	13	-	-	-	0,0046
Naves industriales: Industrial buildings:	8	-	0,01	0,020	0,0286
	10	-	-	0,010	0,0190
TOTAL		1,000	1,000	1,000	1,000

TABLA No. 16
TABLE No. 16

La necesidad de esta Tabla No. 16 es evidente para poder discriminar el total de edificaciones existentes en el Valle de Caracas, en el momento del sismo. Nuevamente, no se ha logrado ningún tipo de información que oriente sobre el reemplazo de parcelas, en particular en el casco central de la ciudad donde se sabe que, como consecuencia del elevado valor del terreno ha ocurrido un proceso continuo de sustitución de casas viejas por nuevos edificios desde principios de los años 50. Como ejemplo debe citarse la Av. Urdaneta hecha en el primer lustro de esa década. En la última columna de las Tablas No. 18 a No. 23 se indica la composición porcentual por período de construcción de cada tipo de edificación para el año del terremoto de Caracas (1967).

1.2.6 Síntesis de los parámetros que dependen de la normativa antisísmica

De acuerdo a lo expuesto en la Sección 2.2.2.2 del Vol. 13A, se evaluaron un conjunto de parámetros que dependen de la normativa vigente para los diferentes períodos en los cuales fueron construidas la mayoría de las edificaciones existentes en el área de Caracas para la fecha del sismo. Para ello se han utilizado las fórmulas y los criterios expuestos en la Sección 2 y Sección 3 de este trabajo. Algunos parámetros importantes utilizados en la cuantificación se dan en las Secciones 1.2.6.1. a 1.2.6.4.

1.2.6.1 Altura media

Para la estimación de los períodos en edificaciones de varios pisos, se utilizó una altura media de entrepiso igual a 2,90 metros. Esta proviene de un análisis estadístico de 38 edificios con alturas comprendidas entre 7 pisos (22,35m) y 25 pisos (68,46m). La altura media de entrepiso resultó ser igual a 2,89m y el coeficiente de variación igual a 8,4%.

1.2.6.2 Coeficiente $INS \times w/m$

INS: es un coeficiente de valoración subjetiva que toma en consideración deficiencias en la acción de inspección por parte de los organismos competentes. Cuando ésta es adecuada vale 1 y en este modelo la penalización recae en el valor de CD_c afectándolo proporcionalmente. Un estudio más riguroso de esta cuestión debería evaluar la sensibilidad de los parámetros D_{max} y D_u ya que son frecuentes los casos de daños severos y/o colapsos que se han atribuido a diferencias u omisiones entre lo proyectado y lo construido.

The necessity for Table No. 16 is evident in order to be able to discriminate the total number of buildings existing in the Valley of Caracas at the time of the earthquake. Again no type of information has been obtained on the reemployment of lots, particularly in the central area of the city where it is known that as a consequence of the high cost of land there has been a continuous process of substitution of old homes for new buildings since the beginning of the 1950's. As an example, we can cite Av. Urdaneta, built during the first five years of this decade. In the last column of Table No. 18 to 23 the composition percentage is indicated by periods of construction for each type of building for the earthquake of Caracas (1967).

1.2.6 Synthesis of the parameters which depend on the seismic resistance code

In accordance with what has been expressed in Section 2.2.2.2 of Vol. 13A, a set of parameters was evaluated which is dependent on the existing code for the different periods in which the majority of the existing buildings in the area of Caracas were constructed up to day of the earthquake; using the formulae and the criteria explained in Sections 2 and 3 of this paper. Some important parameters utilized in the quantification are given in sections 1.2.6.1 to 1.2.6.4.

1.2.6.1 Mean Height

For the estimation of periods for buildings of various stories a mean height between floors of 2.90 meters was used. This is forthcoming from a statistical analysis of 38 buildings of 7 (22.35 m) to 25 stories (68.46 m). The mean height between floors is equal to 2.89 m in the coefficient of variation equal to 8.4%.

1.2.6.2 $INS \times w/m$ Coefficient

INS: is a coefficient of subjective valuation which takes into consideration inspection deficiencies on the part of the competent institutions. When this is adequate it is equal to 1 and in this model the penalization falls on the CD_c value, affecting it proportionally. A more rigorous study of this matter should evaluate the sensibility of the parameters D_{max} and D_u since cases of severe damages and/or collapse have frequently been attributed to differences or omissions between what was projected and constructed.

La reducción máxima de CD_C por deficiencia de inspección se limita al 10% y sólo en aquellos períodos de tiempo donde reconocidamente hubo problemas de esta naturaleza.

w : es la relación entre el "peso" total de la estructura de acuerdo a los criterios del período considerado y a los de la norma patrón (1983). Típicamente varía entre 1.0 y 0.95. Este parámetro cuantifica la inclusión o no de la carga viva.

μ : es un factor también adimensional que relaciona las cargas y sobrecargas de servicio especificadas en la norma patrón (1983) con las del período estudiado. Hasta 1967, típicamente vale en el orden de 0.96.

En las Tablas No. 18 a 23 se anotan los correspondientes valores del producto $INS \times w/\mu$.

1.2.6.3 Cálculo del factor de reconciliación

El factor de reconciliación ha sido calculado para los 13 sistemas tipificados y para cada tipo de suelo de acuerdo al criterio expuesto en el algoritmo (véase Vol 13A, Sección 3.2). Estudiada la variación de este parámetro con el número de pisos y/o con la altura de la edificación, se resolvió estudiar rangos del número de pisos en los casos en que esta última es una variable importante (sistemas de concreto armado aperticados o con pantallas y sistemas estructurales de acero, para edificios de varios pisos). Este agrupamiento por rangos es posible en la medida en que no se distorsionen excesivamente los períodos fundamentales ni los valores del factor de reconciliación μ . Se adoptó como altura media de entrepisos 3μ y edificaciones con esbelteces entre 2 y 4, típicas de los edificios de varios niveles en Caracas.

En adición a los criterios anotados en la Sección 3.2.6 (Vol. 13A), para los sistemas Tipo 13 el cálculo del período fundamental se basó en la expresión empírica:

$$T_a = 0.15 \sqrt{N} \quad (\text{seg})$$

donde N es el número de pisos.

En la Tabla No. 17 se presentan los resultados obtenidos, los cuales serán utilizados en la validación del modelo. El total de casos calculados es de 126, equivalente a 42 configuraciones diferentes sobre 3 tipos diferentes de subsuelo; los valores de son coincidentes en algunos tipos y han sido agrupados en la tabla.

The maximum reduction of CD_C due to inspection deficiencies is limited to 10%, and only for those periods in which without a doubt there were problems of this nature.

w : is the relation between the total "weight" of the structure in accordance to the criteria of the period considered and those of the standard code (1983). Typically it varies between 1.0 and 0.95. This parameter quantifies the inclusion or not of the live load.

μ : is also a non-dimensional factor which relates the loads and overloads of service specified in the standard code (1983) with those of the period studied. Until 1967, it typically has a value on the order of 0.96.

In Table No. 18 to 23 are included the correspondent values of the products $INS \times w/\mu$.

1.2.6.3 Calculation of the Reconciliation Factor

The reconciliation factor has been calculated for 13 typified systems and for each type of soil in accordance to the criteria exposed in the algorithm (Vol. 13A, Section 3.2). When the variation of this parameter with the number of floors and/or the height of the building had been studied, it was resolved to study ranges in the number of floors, for examples of which the latter is an important variable (reinforced concrete systems or with screens and structural steel systems for buildings of several floors). This grouping by range is possible only if the fundamental periods or the values of the reconciliation factor μ are not excessively distorted. 3μ was adopted as the average height between floors and the buildings with slenderness between 2 and 4, typical of the several story buildings in Caracas.

In addition to the criteria given in Section 2.2.6 for the systems of type 13 the calculation of the fundamental period was based on the empirical expression.

where N is the number of floors.

In Table No. 17 the results obtained are presented and will be utilized in the validation of the model. The total number of cases calculated is 126, equivalent to 42 different configurations on 3 different types of subsoil; the values of are coincident in certain types and have been grouped in the table.

TABLA No. 17
TABLE No. 17

Sistema Constructivo Constructive System Tipo (Type)	Rango del número de pisos Range of the number of floors	Periodo fundamen- tal promedio (seg) Average fundamen- tal period (sec)	VALORES DE : (VALUES OF :)		
			Perfil de Suelos tipos: (Profile of type of soil:)		
			S 1	S 2	S 3
1 o 2	1 y 2	0,15	0,900	0,900	0,900
	3	0,25	0,857	0,857	0,857
4, 5, 6 o 7	3 a 6	0,50	0,818	0,818	0,818
	7 a 8	0,60	0,825	0,800	0,800
	9 a 15	0,90	0,863	0,825	0,795
	16 a 24	1,30	0,913	0,858	0,815
	> 25	1,60	0,950	0,883	0,830
8	1 a 3	0,30	0,900	0,900	0,900
	4 a 8	0,70	0,838	0,808	0,807
	9 a 15	1,30	0,913	0,858	0,815
	16 a 24	1,90	0,988	0,908	0,845
	> 25	2,20	1,025	0,933	0,860
9	1 a 4	0,30	0,857	0,857	0,857
	5 a 9	0,60	0,825	0,800	0,800
	9 a 15	0,90	0,863	0,825	0,795
	16 a 24	1,15	0,894	0,846	0,808
	> 25	1,30	0,913	0,858	0,815
10	1 y 2	0,15	0,900	0,900	0,900
11 o 12	1	0,15	1,000	1,000	1,000
13	1	0,15	1,000	1,000	1,000
	2	0,21	0,900	0,900	0,900
	3 a 4	0,30	0,857	0,857	0,857

1.2.6.4 Valores de CD_c , D_m y D_u

En las tablas No. 18 a No. 23, se sintetizan los valores adoptados para el coeficiente sísmico de diseño a nivel cedente (CD_c), la ductilidad máxima de diseño (D_m) y la ductilidad última D_u (columnas 3, 4 y 5 de las tablas); en aquellos casos en los cuales las normas no especifican estos valores, se han estimado en forma aproximada. Tal es el caso para los períodos anteriores al año de 1947. En la segunda columna se ha integrado como un solo parámetro el producto $INSxW/m$ visto en la sección 1.2.6.2. En la columna 6 se da el total de edificaciones del tipo correspondiente a la tabla y la distribución porcentual para el año de 1967.

1.2.6.4 Values of CD_c , D_m and D_u

In Table No 18 to 23 the adopted values for the seismic design coefficient are synthesized to the cedent level (CD_c), the maximum ductility of design (D_m) and the final ductility (D_u) (columns 3, 4 and 6 of the tables); in those cases in which the norms do not specify these values, they have been estimated in an approximate manner. Such is the case for the periods before 1947. In the second column the product $INSxW/m$ has been indicated as one single parameter, as seen in section 1.2.6.2. In column 6 appears the total of buildings of the type corresponding to the table and the percentage distribution for 1967.

TABLA 18a
TABLE 18a

Edificaciones Tipo 1
Type 1 Buildings

$r = 2,5$

Distribución para el año 1967
Distribution for 1967

PERIODO PERIOD	INS x x ----- m	CD _C	D _m	D _u	Número de edificaciones Number of buildings	Distribución porcentual (5) Percentage distribution (%)
pre 1938	1,04	0,15	2,0	4,0	3.700	27
1938 - 1947	1,00	0,15	2,0	4,0	4.000	29
1947 - 1955	1,00	0,12	2,5	5,0	2.500	18
1955 - 1967	0,95	0,10	2,5	5,0	3.550	26
TOTAL:	-	-	-	-	13.750	100
Valores ponderados: Weighed values:		0,13	2,2	4,4		

TABLA 18b
TABLE 18b

Edificaciones Tipo 2
Type 2 Buildings

$r = 2,0$

Distribución para el año 1967
Distribution for 1967

PERIODO PERIOD	INS x x ----- m	CD _C	D _m	D _u	Número de edificaciones Number of buildings	Distribución porcentual (5) Percentage distribution (%)
pre 1938	1,04	0,15	2,0	3,0	850	23
1938 - 1947	1,00	0,15	2,0	3,0	900	24
1947 - 1955	1,00	0,12	2,5	4,0	1.500	40
1955 - 1967	0,95	0,10	2,5	4,0	500	13
TOTAL:	-	-	-	-	3.750	100
Valores ponderados: Weighed values:		0,13	2,3	3,1		

TABLA 19a
TABLE 19a

Edificaciones Tipo 3
Type 3 Buildings

$r = 2.0$

Distribución para el año 1967
Distribution for 1967

PERIODO PERIOD	INS x x ----- n	CD _c	D _m	D _u	Número de edificaciones Number of buildings	Distribución porcentual (5) Percentage distribution (%)
pre 1938	1,04	0,15	2,0	4,5	550	7
1938 - 1947	1,00	0,15	2,0	4,5	1.200	15
1947 - 1955	1,00	0,12	2,5	5,0	3.100	39
1955 - 1967	0,95	0,10	3,0	5,5	3.150	39
TOTAL:	-	-	-	-	8.000	100
Valores ponderados: Weighed values:		0,12	2,6	5,1		

TABLA 19b
TABLE 19b

Edificaciones Tipo 4
Type 4 Buildings

$r = 1.5$

Distribución para el año 1967
Distribution for 1967

PERIODO PERIOD	INS x x ----- n	CD _c	D _m	D _u	Número de edificaciones Number of buildings	Distribución porcentual (5) Percentage distribution (%)
pre 1938	-	-	-	-	-	-
1938 - 1947	1,00	*	3,5	5,0	300	3
1947 - 1955	1,00	*	3,5	5,0	960	10
1955 - 1967	0,95	*	3,5	5,5	8.490	87
TOTAL:	-	-	-	-	9.750	100
Valores ponderados: Weighed values:			3,5	5,44		

* Depende de la altura (It depends on the height)

TABLA 20a
TABLE 20a

Edificaciones Tipo 5
Type 5 Buildings

$r = 1,0$

Distribución para el año 1967
Distribution for 1967

PERIODO PERIOD	INS x x ----- m	CD _c	D _m	D _u	Número de edificaciones Number of buildings	Distribución porcentual (5) Percentage distribution (%)
pre 1938	-	-	-	-	-	-
1938 - 1947	-	-	-	-	-	-
1947 - 1955	1,00	*	3,5	4,5	220	30
1955 - 1967	0,95	*	3,5	5,0	528	70
TOTAL:	-	-	-	-	748	100
Valores ponderados: Weighed values:		*	3,5	4,9		

TABLA 20b
TABLE 20b

Edificaciones Tipo 6
Type 6 Buildings

$r = 1,5$

Distribución para el año 1967
Distribution for 1967

PERIODO PERIOD	INS x x ----- m	CD _c	D _m	D _u	Número de edificaciones Number of buildings	Distribución porcentual (5) Percentage distribution (%)
pre 1938	-	-	-	-	-	-
1938 - 1947	-	-	-	-	-	-
1947 - 1955	1,00	*	3,5	5,0	140	5
1955 - 1967	0,95	*	3,5	5,5	2.560	95
TOTAL:	-	-	-	-	2.700	100
Valores ponderados: Weighed values:		*	3,5	5,5		

* Depende de la altura (It depends on the height)

TABLA 21a
TABLE 21a

Edificaciones Tipo 7
Type 7 Buildings

$r \approx 1.0$

Distribución para el año 1967
Distribution for 1967

PERIODO PERIOD	INS x x m	CD _c	D _m	D _u	Número de edificaciones Number of buildings	Distribución porcentual (%) Percentage distribution (%)
pre 1938	-	-	-	-	-	-
1938 - 1947	-	-	-	-	-	-
1947 - 1955	1,00	*	3,0	4,5	140	19
1955 - 1967	0,95	*	3,0	5,0	600	81
TOTAL:	-	-	-	-	740	100
Valores ponderados: Weighed values:		*	3,0	4,9		

TABLA 21b
TABLE 21b

Edificaciones Tipo 8
Type 8 Buildings

$r \approx 2.5$

Distribución para el año 1967
Distribution for 1967

PERIODO PERIOD	INS x x m	CD _c	D _m	D _u	Número de edificaciones Number of buildings	Distribución porcentual (%) Percentage distribution (%)
pre 1938	-	-	-	-	-	-
1938 - 1947	-	-	-	-	-	-
1947 - 1955	1,00	*	5,0	7,0	550	43
1955 - 1967	0,95	*	5,0	7,0	730	57
TOTAL:	-	-	-	-	1.280	100
Valores ponderados: Weighed values:		*	5,0	7,0		

* Depende de la altura (It depends on the height)

TABLA 22a
TABLE 22a

Edificaciones Tipo 9
Type 9 Buildings

$r = 2,8$

Distribución para el año 1967
Distribution for 1967

PERIODO PERIOD	INS x x ----- ■	CD _c	D _m	D _u	Número de edificaciones Number of buildings	Distribución porcentual (5) Percentage distribution (%)
pre 1938	-	-	-	-	-	-
1938 - 1947	-	-	-	-	-	-
1947 - 1955	-	-	-	-	-	-
1955 - 1967	0,95	0,14	3,0	5,0	30	100
TOTAL:	-	-	-	-	30	100
Valores ponderados: Weighed values:		0,14	3,0	5,0		

TABLA 22a
TABLE 22a

Edificaciones Tipo 10
Type 10 Buildings

$r = 1,5$

Distribución para el año 1967
Distribution for 1967

PERIODO PERIOD	INS x x ----- ■	CD _c	D _m	D _u	Número de edificaciones Number of buildings	Distribución Porcentual (5) Percentage distribution (%)
pre 1938	-	-	-	-	-	-
1938 - 1947	-	-	-	-	-	-
1947 - 1955	1,00	0,20	2,0	3,5	275	34
1955 - 1967	0,95	0,20	2,0	3,5	525	66
TOTAL:	-	-	-	-	800	100
Valores ponderados: Weighed values:		0,20	2,0	3,5		

TABLA 23a
TABLE 23a

Edificaciones Tipo 12
Type 12 Buildings

$r = 2,5$

Distribución para el año 1967
Distribution for 1967

PERIODO PERIOD	INS x x ----- m	CD _c	D _m	D _u	Número de edificaciones Number of buildings	Distribución porcentual (S) Percentage distribution (%)
pre 1938	-	-	-	-	-	-
1938 - 1947	-	-	-	-	-	-
1947 - 1955	-	-	-	-	-	-
1955 - 1967	0,95	0,28	2,5	3,5	25	100
TOTAL:	-	-	-	-	25	100
Valores ponderados: Weighed values:		0,28	2,5	3,5		

TABLA 23b
TABLE 23b

Edificaciones Tipo 13
Type 13 Buildings

$r = 3,0$

Distribución para el año 1967
Distribution for 1967

PERIODO PERIOD	INS x x ----- m	CD _c	D _m	D _u	Número de edificaciones Number of buildings	Distribución porcentual (S) Percentage distribution (%)
pre 1938	-	-	-	-	-	-
1938 - 1947	-	-	-	-	-	-
1947 - 1955	-	-	-	-	-	-
1955 - 1967	0,95	0,28	2,5	3,5	420	100
TOTAL:	-	-	-	-	420	100
Valores ponderados: Weighed values:		0,28	2,5	3,5		

1.2.7 Valor de reemplazo

De acuerdo al Boletín Mensual de Estadística de la Dirección General de Estadísticas, el valor medio del terreno y la construcción en el área Metropolitana entre los años 1960 y 1964 tenía los siguientes valores:

1.2.7 Replacement Value

In accordance with the Monthly Bulletin of statistics of the Dirección General de Estadísticas, the mean value for the land and construction in the Metropolitan area between 1960 and 1964 had the following values:

TABLA No. 24
TABLE No. 24

Año Year	Terreno Land (Bs/m ²)	Construcción Construction (Bs/m ²)
1960	151	278
1961	148	281
1962	144	279
1963	142	283
1964	149	289

Algunos valores de reemplazo de edificios altos afectados por el sismo* fueron dados por Steinbrugge (1972) y se reproducen en la Tabla No. 25. Se ignoran aquí fábricas, talleres y otras construcciones.

Some of the replacement values for tall buildings affected by the earthquake* were given by STEINBRUGGE (1972) and are reproduced in Table No. 25. Here factories, workshops and other constructions are ignored.

* En el periódico El Nacional (3 de Agosto de 1967, p. C-5) se dan los siguientes costos de construcción de los cuatro edificios caídos en Caracas: Pálace Corvin, Bs. 1.100.000 (1955); Mijagual, Bs. 856.000 (1963); Neveri, Bs. 710.000 (1965); San José, Bs. 1.500.000 (1965).

* El Nacional newspaper (August 3, 1967, p. C-5) gives the following costs of construction of four buildings which fell in Caracas, Pálace Corvin, Bs. 1.100.00 (1955); Mijagual, Bs. 856.000 (1963); Neveri, Bs. 710.000 (1965); San José, Bs. 1.500.000 (1965).

TABLA No. 25
TABLE No. 25

Nombre del edificio Name of the building	Valor de reemplazo, Bs Replacement value (1967)	Número de pisos Number of stories	Area en planta aproximada Approximate floor area (m ²)	Bs/m ²
Blue Palace	2.430.000	17	288	496
Caromay	2.500.000	18	342	406
Covent Garden	2.490.000	13	508	377
Guipelia x 2	2.200.000	15	139	527
Le Roc	2.400.000	16	592	253
María Luisa	1.800.000	11	371	441
Pasaquire	2.600.000	11	493	479
Petunia II	1.320.000	21	151	416
San Bosco	2.600.000	13	462	433
Unión	8.500.000	16	1123	473
Pez Vela	1.850.000	14	212	623
Bahía del Mar	3.550.000	13	619	441
Laguna Beach	4.150.000	13	621	514
La Pinta	4.400.000	15	647	453
				452 = \bar{x}

En la Figura No. 12 se representan los datos antes anotados. La media del valor de reemplazo en Bs/m² de los 14 edificios de la muestra es de 452 Bs/m² y su coeficiente de variación es igual a 18.5%.

Figure 12 represents the data already given. The average replacement value Bs/m² of the 14 buildings in the sample is 452 B/m² and its coefficient of variation is equal to 18.5%.

Una estimación del valor de reemplazo puede ser hecha a partir del número total de unidades de vivienda y de valores extremos estimados del área de los diferentes tipos de unidad de vivienda, debidamente mayorados por los servicios comunes.

An estimate of the replacement value can be made from the total number of housing units and from extreme values estimated in the area of the different types of housing units duly evaluated by the common services.

TABLA No. 26
TABLE No. 26

Altura de las edificaciones Height of the buildings	Número de unidades de vivienda Number of housing units	Mayoración por servicios comunes Evaluation due to common service	Valor unitario de reemplazo Unit replacement value Bs/m ²	Áreas extremas Extremes areas m ²	Valor de reemplazo Replacement value x 10 ⁹ Bs.
De 1 hasta 3 pisos	71000	1.1	350	120 200	3.28 5.47
De 4 hasta 10 pisos	150800	1.3	450	80 150	7.06 13.23
Más de 10 pisos	37484	1.4	450	100 180	2.36 4.25
Total:	259284				12.7 22.95

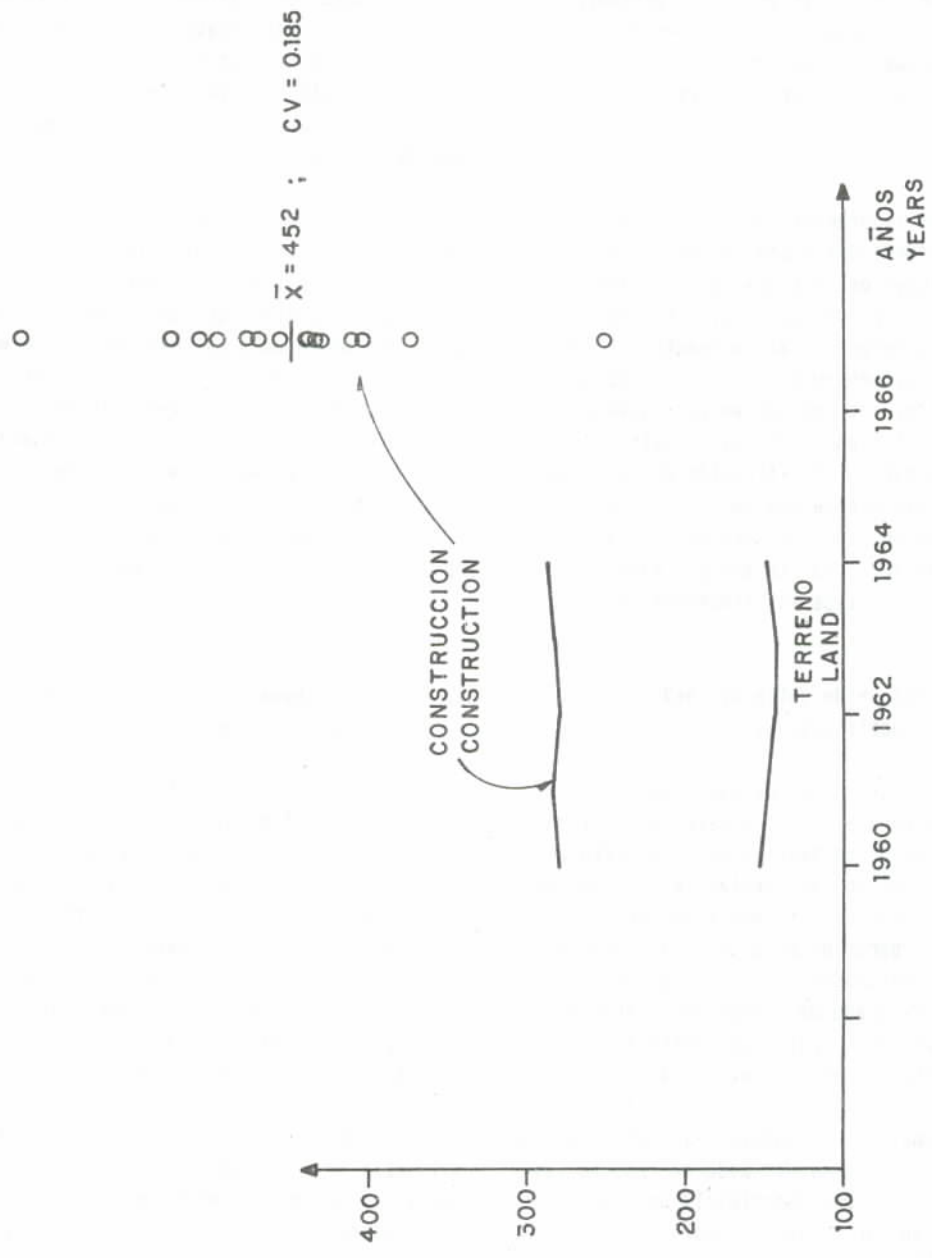


Fig. 12

1.3 INFORMACION SOBRE EL TERREMOTO DE CARACAS

Sobre el terremoto del 29 de julio del año 1967 existe una voluminosa información dispersa en revistas, libros, monografías y en general en informes de acceso abierto pero de circulación restringida. UGAS et al. (1983) presentaron la colección de referencias más completa sobre trabajos relativos al terremoto de Caracas, a la actividad sísmica de la región de Caracas y a las implicaciones que en Ingeniería Civil tuvo este evento en Venezuela y en el exterior. Esa compilación contiene unas 350 entradas.

En esta sección se presenta en forma sintetizada la estadísticas encontradas hasta la fecha sobre el número de edificaciones de la ciudad para la fecha del sismo, su distribución de alturas, su valor de reemplazo y los datos referentes al terremoto del 29 de julio. Sobre este último se presenta una descripción del movimiento sísmico, se reproducen las estadísticas sobre los efectos del terremoto en las construcciones, las estadísticas de daños y tipificación de los mismos así como la influencia constatada de las condiciones del subsuelo. También se incluyen otros datos de interés en este trabajo, como lo son por ejemplo las observaciones sobre los pisos más propensos a sufrir daños.

1.3.1 El Terremoto del 29 de julio de 1967. Intensidades y aceleraciones

Este sismo afecta una ciudad moderna con construcciones de altura y estructuración disímil cuyo comportamiento depende de parámetros mal representados o simplemente ignorados en las escalas de intensidad. De aquí que en los informes de campo y en los trabajos donde se analizan los daños observados, es infrecuente la asignación de intensidades; en otras palabras, el valor absoluto de cada grado de intensidad pierde poder de resolución en este caso específico, destacándose más bien la variación relativa entre áreas adyacentes.

Esta observación, que conduce a pensar que la evaluación de daños en una ciudad moderna resulta ser demasiado compleja como para describirla por un solo parámetro invalidando por tanto la escala de intensidad, tiene una implicación muy útil en el problema que aquí se estudia. Y esto es la necesidad de tipificar construcciones que antes quedaban englobadas dentro de la denominación general de "construcciones de concreto armado" o "construcciones reforzadas". El terremoto de Caracas, demostró claramente que cada sistema constructivo tiene su propio patrón de conducta, el cual es obviamente función de las características del movimien-

1.3 INFORMATION ON THE EARTHQUAKE OF CARACAS

On the earthquake of July 29th, 1967, there exists voluminous information which is dispersed in magazines, journals, books, monographs and in general, in all kinds of reports which are open file but which have restrictive circulation. UGAS et al. (1983) presented the most complete collection of references on work related to the earthquake of Caracas, on the seismic activity in the Caracas region, and on the implications this event had in Venezuela and other parts of the world on civil engineering. That compilation contains some 350 entries.

In this section we present in synthesized and summarized form, the statistics found today concerning the number of buildings in the city on the day of the earthquake, the distribution in height, the replacement value and other data as referred to the earthquake of July 29th. Concerning the latter a description of the seismic movement is presented statistics on the effects of the earthquake on constructions, damage and typification are reproduced, as well as the proven influence of the conditions of the subsoil. Also included is data of interest such as the observations of floors which are most likely to suffer damages.

1.3.1 The Earthquake of July 29th, 1967. Intensities and Accelerations

The earthquake affected a modern city with high constructions but dissimilar organization, the behavior of which depends on parameters badly represented, or simply ignored by intensity scales. Thus, in the field reports and in the papers where the observed damages are analyzed the assignments of intensity are not frequently found; in other words, the absolute value of each grade of intensity loses power of resolution, in this specific case the relative variation being more evident between adjacent areas.

This observation, which leads us to think that the evaluation of damage in a modern city becomes too complex to be described by only one parameter, thus invalidating the intensity scale, has a very useful significance for the problems we are studying here. This is the necessity of typifying constructions which heretofore were circumscribed within the general denomination of "reinforced concrete construction" or "reinforced constructions". The Caracas earthquake showed clearly that this constructive method has its own behavioral pattern, which obviously is a function

to y de la respuesta dinámica de la estructura.

Por tanto, las asignaciones de intensidad estaban condicionadas al sistema estructural observado y a las características geotécnicas locales. Esto se constata en las evaluaciones hechas por diferentes autores, tal como se desprende de la comparación que se da en la Tabla No. 27.

of the characteristics of shaking and of the dynamic response of the structure.

Therefore, the intensity assignments were conditioned to the structural system observed and to the local geotechnical characteristics. This is proven in the evaluations made by different authors, as can be seen from the comparison given in Table 27.

TABLA No. 27
TABLE No. 27

AUTOR AUTHOR	INTENSIDAD EN: INTENSITY IN:			
	Terreno Firme Firm Soil (Caracas)	Palos Grandes- Altamira	Caraballeda	Caracas
Sauter, 1968	VI	VII - VIII		
CIV, 1967		VII - VIII	VII - VIII	
Omote, 1967	VI - VII	VIII -	VIII -	VII - VIII
Esteva, 1968		VII	VII+ - VIII+	VI - VII
Fintel, 1968		VI - VII	X	
Fiedler, 1968	VI	VIII		
Robson - Canales 1968	IV - VI	VII		
Comisión Presidencial, 1969 a.	VI 1/2	VIII		
Fernández y Cluff, 1969		VIII+	VIII+	VI - VII
Lomnitz, 1967		VIII+	IX	VII

Vista la ausencia de registros instrumentales apropiados, las características del movimiento del terreno debidas al sismo de 1967 han sido inferidas del análisis interpretativo de los efectos observados. Los tres parámetros a los cuales se les ha prestado mayor atención son: 1) duración; 2) aceleración máxima del terreno y 3) forma de los espectros de respuesta elástica. Algún autor sugirió la existencia de pulsos de aceleración de larga duración, sin que existan evidencias que los confirmen.

In view of the absence of adequate instrumental records, the characteristics of the movement of the ground, due to the earthquake of 1967 have been inferred from an interpretative analysis of the observed effects. The three parameters to which most attention has been given are: 1) duration; 2) maximum acceleration of the ground; 3) the spectral form of elastic response. Some authors suggested the existence of acceleration pulses of long duration but there is no evidence to confirm this statement.

En cuanto a la duración del sismo, se desprende de las descripciones que el movimiento total, de unos 40 segundos, consistió de dos temblores separados con un intervalo de interrupción de unos 6 segundos. Los dos sismos sucesivos alcanzaron intensidades importantes, siendo el segundo de mayor duración y mayor contenido de frecuencias altas. En cuanto a las aceleraciones máximas del terreno, las distintas estimaciones hechas arrojan aproximadamente los siguientes valores: de 0.03 a 0.04 g en roca; entre 0.06 y 0.10 g en aluviones relativamente consolidados (Caracas); de 0.11 a 0.13g en aluviones blandos (Caraballeda).

La forma de los espectros de respuesta elástica es de especial interés, pues sintetiza información necesaria en la predicción de conducta de estructuras elevadas. Dado que no se obtuvieron acelerogramas del movimiento del terreno, no es posible conocer los correspondientes espectros. Las evaluaciones y apreciaciones hechas, deben dividirse en dos grupos: a) por un lado las apreciaciones de diversos autores basados en la interpretación de registros y de la conducta general de las estructuras y b) las formas espectrales resultantes del análisis dinámico de depósitos aluviales. Esta información se ha sintetizado en la Figura No. 13, únicamente con fines de ilustración. Allí se representan los llamados espectros suavizados de respuesta elástica; esta suavización, necesaria para poder efectuar comparaciones ulteriores, implica la supresión de algunos máximos respetando la forma general del espectro y se justifica en el hecho de que las propiedades dinámicas de las edificaciones no son de hecho invariantes como consecuencia de las diversas fuentes de no linealidad que intervienen durante la respuesta dinámica. Debe observarse que en la figura se ha ignorado la reducción de las aceleraciones espectrales en el rango de períodos muy pequeños.

1.3.2 Criterios de tipificación de daños utilizados en informes sobre el terremoto de Caracas

Con el fin de poder evaluar las estadísticas y observaciones sobre los daños, es importante tener claro los criterios de tipificación que fueron utilizados durante los trabajos de campo y en la presentación sintética de la información recabada.

La Comisión Presidencial (1969 b), basada en los mismos criterios publicados por ARCIA (1970) evaluó los daños tomando en consideración dos aspectos: (1) una clasificación de daños observados en elementos (estructurales o no estructurales) con cuatro niveles de gravedad, desde "ningún daño" hasta "daño grave" y (2) una evaluación global, algo más subjetiva que la primera, del daño total en la edificación con seis niveles de

In regard to the duration of the earthquake, it can be inferred from its descriptions that its total movement of some 40 seconds consisted of two separate events with an interval between them of about 6 seconds. The two successive earthquakes reach substantial intensities, the second one being longer and with a higher content of high frequencies. As regards the maximum accelerations of the ground, the different estimates give the following approximate values: from 0.03 to 0.04 g on rock; between 0.06 and 0.10 g in relatively consolidated alluvia (Caracas); and from 0.11 to 0.13 g in soft alluvia (Caraballeda).

The form of the elastic response spectra is of special interest, since it synthesizes necessary information for the prediction of the conduct of high structures. Since there were no accelerograms obtained of the movement of the ground it is not possible to know the corresponding spectra. The evaluations and appreciations made must be divided in two groups: a) on one side the appreciations of several authors based on the interpretation of records and the general conduct of the structures, b) the spectral forms resulting from the dynamic analysis of alluvial deposits. This information has been synthesized in Figure No. 13 only for the purpose of illustration. Represented here is the so-called soft spectra of elastic response; this softening, necessary in order to make further comparisons implies the suppression of some maximums without changing the general form of the spectrum and is justified by the fact that the dynamic properties of the buildings are not in fact invariable as a consequence of the different sources of non-linearity that intervene during dynamic response. It must be observed that in the figure, the reduction of the spectral accelerations have been reduced in the range of very small periods.

1.3.2 Criteria for the Typification of damages used in the reports on the earthquake of Caracas

In order to be able to evaluate the statistics and observations on damages, it is important to clarify the criteria of typifications that were used during the field work and in the synthetic presentation of the compiled information.

The Presidential Commission (1969 b), based on the same criteria published by ARCIA (1970), evaluated the damages taking into consideration two aspects: (1) a classification of damages observed in elements (structural or non-structural) with four levels of severity from "no damage" to "excessive damage" (2) a total evaluation, the second more subjective than the first, of the total damage in the building with six

ESPECTROS SUAVIZADOS DEL TERREMOTO DE CARACAS (1967)
SMOOTHED SPECTRA OF THE EARTHQUAKE OF CARACAS (1967)

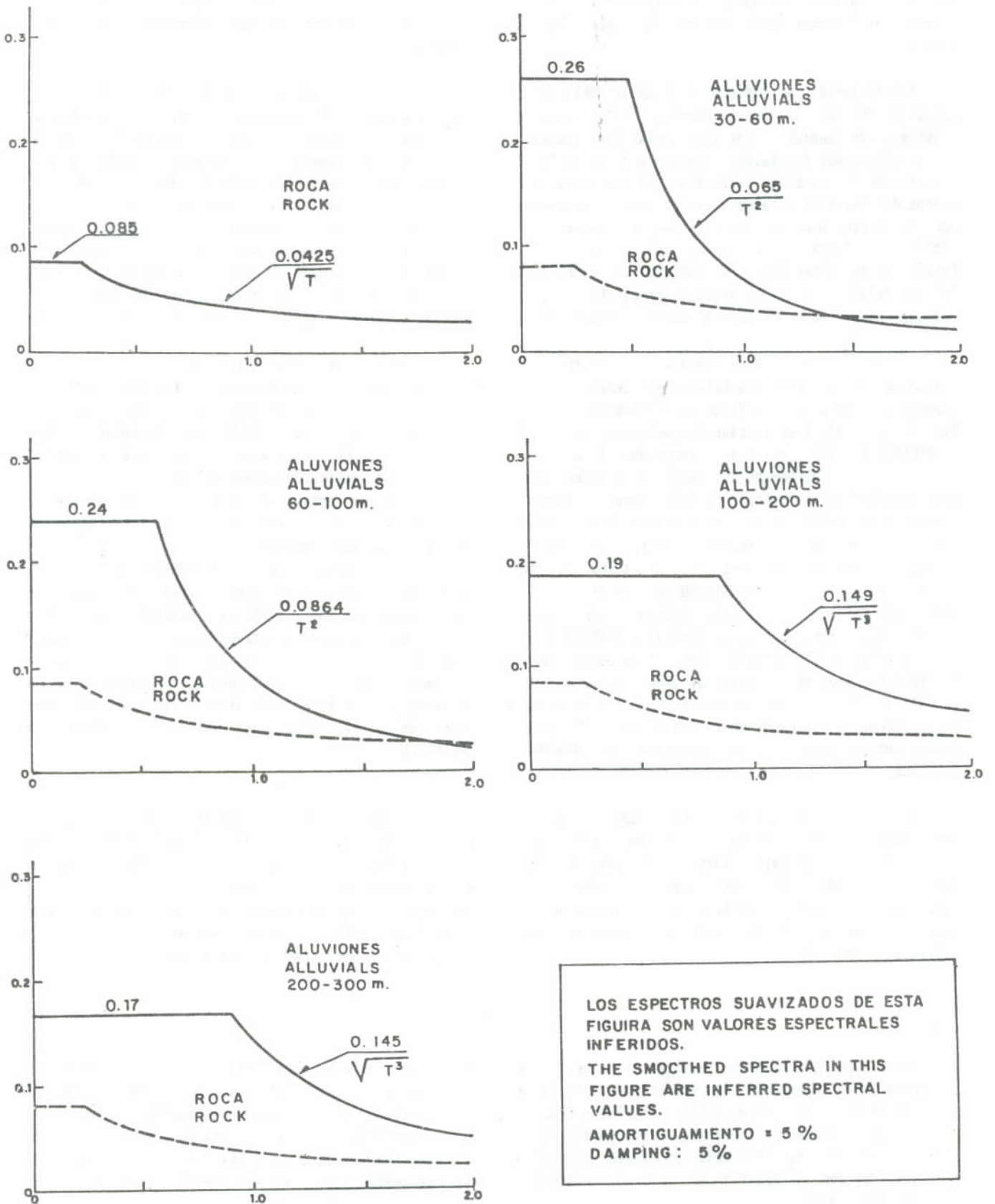


Fig. 13

daño, desde "ningún daño" hasta el "colapso" total o parcial. Tipificó igualmente la extensión y localización de las lesiones observadas en los miembros estructurales.

Por su parte, el Ministerio de Obras Públicas, en colaboración con el Banco Obrero, el Colegio de Ingenieros de Venezuela, las Ingenierías Municipales y otros organismos estatales, preparó una recopilación clasificada de los daños conocidos, en una serie de 30 planos del Valle de Caracas a escala 1:5.000 elaborados por la Oficina Municipal de Planeamiento Urbano (OMPU 1967); los daños fueron clasificados aquí en: (a) leves, no estructurales; (b) daños en la estructura; (c) muy dañados; y (d) colapsos o irreparables, admitiéndose un patrón común de evaluación e inspección.

En la Tabla No. 28 se comparan los criterios de evaluación de las fuentes señaladas más arriba conjuntamente con los criterios dados por STEINBRUGGE (1972). Otro criterio más simplificado fue utilizado por HANSON y DEGENKOLB (1969) quienes hicieron una lista de 157 edificios en, y alrededor de, Los Palos Grandes; según esos autores la calificación de daño "mayor", "menor" o "ningún daño" es subjetiva y está basada en la información que ellos pudieron recabar. En la Figura No. 14 se da una comparación entre la calificación de esta última "escala" y la de STEINBRUGGE (1972) para 42 edificios del área de Los Palos Grandes; por ejemplo, de los 8 casos para los cuales HANSON y DEGENKILB dan el calificativo de "daños menores" en la escala de 0 a 4, seis corresponden al nivel de daño 1 y dos al nivel de daño 2. Sin duda que la escala de 5 niveles de daño en los términos indicados en la Tabla No. 28, ofrece menos ambigüedades que la utilizada por HANSON y DEGENKOLB.

No obstante, persiste una cierta subjetividad en apreciación de daños; basta citar el hecho que la gran mayoría de edificios calificados con un nivel de daño 3 fueron reparados en tanto que el Capri* con calificativo de daño 2 fue demolido, al igual que el Royal y el cuerpo oeste del Palace Corvin que sí fueron calificados con daño 3.

* Puede haber confusión en relación al Capri, pues para la fecha existían dos edificios con el mismo nombre en el área de Altamira - Los Palos Grandes: el que se encuentra en la tra. transversal de Los Palos Grandes fue reforzado con muros perimetrales y el que fue demolido en la Av. J. Félix Sosa de Altamira Sur.

levels of damage from "no damage" through total or partial "collapse". It also typified the extension and localization of the damages observed in structural members.

For its part the Ministerio de Obras Públicas in collaboration with the Banco Obrero, the Colegio de Ingenieros de Venezuela, the Ingenierías Municipales, and other government institutions; prepared a classified compilation of the known damages, in a series of 30 plans of the Valley of Caracas at a scale of 1:5.000 prepared by Oficina Municipal de Planeamiento Urbano (OMPU 1967). The damages were classified here in: a) slight, non structural, b) structural damage, c) very badly damaged, and d) collapsed or non-repairable, admitting a common standard for evaluation and inspection

Table No. 28 compares the criteria for evaluation of the sources indicated before, together with the criteria given by STEINBRUGGE (1972). More simplified criteria was utilized by HANSON and DEGENKOLB (1969) who listed 157 buildings around Palos Grandes; according to these authors the classification of "greater" or "lesser" or "no damage" is subjective, and is based on information which they were able to obtain. Figure No. 14 gives a comparison between the classification of this last "scale" and that of STEINBRUGGE (1972) for 42 buildings in the area of Palos Grandes. For example, of the 8 cases for which HANSON and DEGENKOLB have given the classification of "slight damages" on the scale from 0 to 4, six correspond to damage level 1 and two to damage level 2. Without a doubt, a scale of 5 levels of damage in the terms indicated in Table No. 28 offers less ambiguities than that utilized by HANSON and DEGENKOLB.

Nevertheless, there is still a certain subjectivity in the evaluation of damages; enough to cite the fact that the great majority of buildings classified with a damage level of 3 were repaired whereas the Capri* with a damage classification of 2 was demolished as well as the Royal, and the West wing of the Palace Corvin, which were also classified damage 3.

* There could be some confusion with relation to the Capri, because at that time there were two buildings with the same name in the Altamira - Los Palos Grandes area: the one on the 1st. crossing of Los Palos Grandes which was reinforced with perimeter walls, and the one which was demolished in Av. J. Félix Sosa, Altamira Sur.

TABLA No. 28

CRITERIOS DE IDENTIFICACION SEGUN:			
Nivel de			
Daño	<u>Comisión Presidencial del Sismo (1969 b); Arcia (1970). Criterios de Evaluación global.</u>	<u>Mapas del OMPU (1967)</u>	<u>Steinbrugge (1972) (Versión resumida)</u>
0	(0) Sin ningún daño		Edificio seguro. Daños despreciables.
1	(01) Grietas sólo en paredes (1) Cuando existen fisuras en algunos elementos estructurales en pocas vigas en comparación al total de las del edificio y cuando las paredes tienen fisuras o grietas.	Daños leves no-estructurales	Edificio seguro. Daños leves, no estructurales; sin evidencia de daños estructurales.
2	(2) Cuando existen algunos elementos agrietados o rotos, pero el daño está sólo localizado en una zona del edificio y las demás partes están sin daños graves.	Daños en la estructura	Edificio posiblemente seguro aunque requiere más estudios; daños no estructurales moderados. Daños estructurales leves.
3	(3) Cuando los elementos agrietados o rotos se encuentran en cantidades apreciables respecto al número total de los del edificio y la tabiquería esta muy dañada y/o derrumbada en algunas zonas del edificio.	Muy dañados.	Edificio inseguro y debe ser evacuado. Colapso posible en el caso de repetición del mismo sismo.
4	(4) Cuando el edificio se derrumbó total o parcialmente.	Colapso o daños irreparables.	Edificio colapsado.

TABLE No. 28

IDENTIFICATION CRITERIA ACCORDING TO			
Level of			
Damage	<u>Presidential Commission for the earthquake (1969 b) Arcia (1970). Over all criteria for evaluation.</u>	<u>OMPU Maps (1967)</u>	<u>Steinbrugge (1972) (Summarized version)</u>
0	(0) No damage		Safe building. Insignificant.
1	(01) Cracks only on walls (1) When fissures exist in certain structural elements, or in a few brams in comparison to the total number in the building, or the walls have fissures or cracks.	Slight non-structural damage.	Safe buildings. Slight non-structural damage without evidence of structural damage.
2	(2) When some elements exist which are cracked or broken, but the damage is only localized in a certain part of the building and the rest is without severe damage.	Damage to the structure	Building possibly safe, although it requires further study; moderate non-structural damage. Slight structural damage.
3	(3) When cracked or broken elements are numerous in respect to the total number of those in the building, and partitions are badly damaged and/or have collapsed in some part of the buildings.	Badly damaged.	Unsafe building which must be evacuated, possible collapse in case of a repetition of the same earthquake.
4	(4) When the building collapsed totally or partially.	Collapsed or non-repairable damage.	Collapsed building.

COMPARACION ENTRE DOS ESCALAS SUBJETIVAS DE CALIFICACION DE DAÑOS
 COMPARISON BETWEEN TWO SUBJECTIVE SCALES FOR THE CLASSIFICATION OF DAMAGE

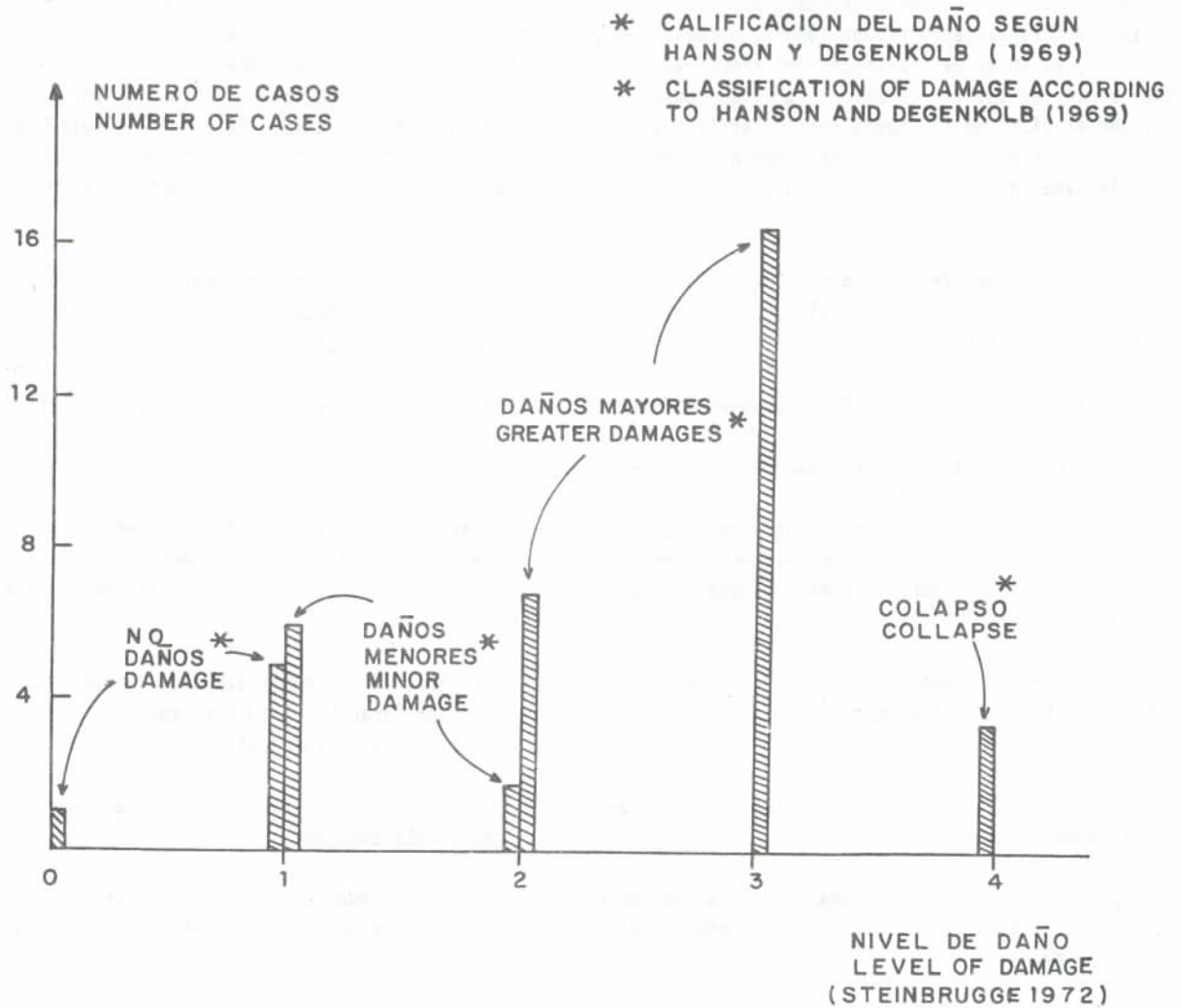


Fig. 14

1.3.3 Estadística sobre la edificaciones dañadas

El total de edificaciones con algún daño en el área de Caracas es un dato que depende de la fuente consultada. Por tal motivo, en esta compilación de información sobre el número de edificaciones afectadas por el terremoto de Caracas del año 1967, se respeta la fuente original.

Se retiene igualmente toda referencia al tipo de subsuelo y/o al área de la ciudad a que se refiere la muestra. Tal como se puede comprobar, se prestó particular interés a las edificaciones de varios niveles.

Según los 30 planos elaborados por la Oficina Municipal de Planeamiento Urbano (OMPU), hechos a escala 1:5.000, el total de construcciones afectadas por el sismo sería de 2514. En base a la simbología allí utilizada el 54.3% de los casos serían "edificios", es decir, el número total de edificaciones de varios niveles afectadas por el sismo se elevó a 1365.

En el informe de la Comisión del Colegio de Ingenieros de Venezuela, (CIV), 1967, se anotan las siguientes estadísticas:

- 4 edificios colapsados en Palos Grandes y Altamira
- 1 edificio parcialmente colapsado en El Litoral
- Unos 80 edificios sufrieron daños reportados como graves y de éstos 43 requieren estudios especiales con el de determinar sus posibilidades de reparación.
- De estos 43 gravemente dañados, 19 corresponden al este de Caracas, 5 al centro, 9 al nor-este y 10 al Suroeste.
- En el Litoral unos 12 edificios fueron reportados gravemente dañados.
- Gran cantidad de casas de una o dos plantas fueron gravemente dañadas en Caracas, Guarenas, Guatire y Los Teques.

Del trabajo de FERNANDEZ (1967) destacan las siguientes cifras:

- de 6.000 edificios revisados solamente 200 están dañados con grietas, asimismo se registró la destrucción de tabiques e instalaciones a domésticas, reduciéndose a 10 o tal vez menos, los edificios que será preciso demoler por presentar daños gra-

1.3.3 Statistics of the damaged buildings

The number of buildings with some damage in the area of Caracas is information dependent on the source consulted. Because of this, in this compilation of information on the number of buildings affected by the earthquake of Caracas in 1967 the original source is respected.

It is also retained all references to the type of subsoil and/or the area of the city to which a sample is referred. Particular interest was given to several story buildings.

According to the 30 plans elaborated on by the Oficina Municipal de Planeamiento Urbano (OMPU), made to a scale of 1:5.000, the number of constructions affected by the earthquake would be 2,514. On the basis of the symbology therein used, 54.3% of the cases would be buildings, that is the total number of buildings of several levels affected by the earthquake increased to 1965.

In the report of the Commission of the Colegio de Ingenieros de Venezuela (CIV), 1967, are noted the following statistics:

- 4 buildings collapsed in Palos Grandes and Altamira
- 1 building partially collapsed in El Litoral
- Some 80 buildings suffered damage reported as serious and of these, 43 need special studies in order to determine the possibilities of repair.
- Of those 43 seriously damaged, 19 correspond to the east of Caracas, 5 to the center, 9 to the north-east and 10 to the southwest.
- In El Litoral some 12 buildings were reported seriously damaged.
- A great number of houses of one or two floors were seriously damaged in Caracas, Guarenas, Guatire and Los Teques.

On the work of FERNANDEZ (1967), the following figures are outstanding:

- out of 6,000 buildings inspected only 200 are damaged with cracks, there were also destroyed partitions and domestic installations; reducing to 10 or perhaps less those which is necessary to demolish because they present serious damage to their

ves en sus estructuras.

- en las construcciones del Banco Obrero no se registraron daños que alcancen a las estructuras. De un total de 50.000 viviendas, solamente 317 departamentos resultaron dañados.
- se estima en 400 las viviendas tipo casas de una y dos plantas que requieran atención inmediata en reparaciones menores.

FERRER y CLUFF (1969) dan la siguiente estadística de daños, según ellos basada en los 30 planos de OMPU:

structures.

- in the constructions of the Banco Obrero none suffered damages of the structures. Out of a total of 50,000 dwellings, only 317 apartments were damaged.
- it is estimated that 400 houses of one or two stories require immediate attention for minor repair.

FERRER and CLUFF (1969) give the following statistical damages based on 30 plans of OMPU:

TABLA No. 29
TABLE No. 29

Nivel de daño Level of damage	Tipo de edificación(*) Type of building					Total
	I	II	III	IV	V	
Menor (Minor)	-	230	29	1040	5	1304
Mayor (Major)	-	65	18	140	4	227
Serio (Serious)	-	31	5	210	5	251
Colapso (Collapse)	-	8	2	10	-	20
Total	-	334	54	1400	14	1802

- (*) I Edificios con estructura metálica
Buildings with metallic structure
- II Edificios con estructura de concreto
Buildings with concrete structure
- III Viviendas modernas que transmiten su carga a la fundación a través de columnas portantes o paredes enmarcadas con miembros de concreto o acero.
Modern buildings which transmit their load to the foundation through varying columns or walls framed with concrete or steel members.
- IV Casas viejas con paredes de barro o adobe, mayoritariamente ubicadas en el centro de la ciudad.
Old homes with mud or adobe walls principally located in the center of the city.
- V Iglesias viejas, capillas, etc.
Old churches, chapels, etc.

ARCIA (1970) publicó estadísticas de daños, de acuerdo a las cuales se conocieron 6.618 informes de algún tipo de daños que comprenden casas, iglesias y edificios, correspondiendo a estos últimos 651 casos.

ARCIA (1970) published statistics of damages according to which there were 6,618 known reports about some type of damage to houses, churches and buildings corresponding to these last 651 cases.

En la Tabla No. 30 se comparan los datos correspondientes a esta última fuente de información con los datos de OMPU, indicándose como Nivel de Daño "0 - I" aquel en el cual sólo se apreciaron grietas en las paredes.

Table No. 30 compares the data corresponding to this last source of information with the data from OMPU, indicating as level of damage "0-I" those in which only cracks appeared in the walls.

TABLA No. 30
TABLE No. 30

Daño Damage	ARCIA (1970)*	30 Planos OMPU 30 OMPU Plans (1967)
0 - 1	Sin daños estructurales; grietas sólo en paredes Without structural damage; cracks only in walls	376 (62.8%)
1	Fisuras en pocos elementos estructurales, algunas paredes agrietadas. Fisures in some structural elements, some walls cracked.	105 (17.5%)
2	Daños estructurales importantes, pero localizados. Important structural damage, but localized.	87 (14.5%)
3	Daños estructurales importantes, generalizados, tabiquería seriamente dañada. Important generalized damage, partitions seriously damaged.	264 (19.3%)
4	Colapso total o parcial Total or partial collapse	4 (0.7%)
		16 (1.1%)
		599
		1365

* del total de 651 edificios dañados, 35 no fueron clasificados; del total de 236 edificios dañados estructuralmente, 13 no fueron clasificados.
Of 651 damaged buildings, 35 were not classified; from the total of 236 structurally damaged buildings, 13 were not classified.

Es interesante observar que aún cuando las diferencias en los valores absolutos son importantes, las cifras porcentuales son sensiblemente iguales. Nótese que se ha omitido el nivel de daño 0, correspondiente a edificios no dañados por no conocer su número.

It is interesting to note that even when the differences in the absolute values are important, the percentage figures are sensibly equal. Note that the damage level 0 has been omitted in reference to building no damaged, because their number is not known.

Estadísticas llevadas a cabo en dos áreas de la Capital: Palos Grandes y sus alrededores, y San José, también fueron presentadas por ARCIA (1970) y arrojan los valores indicados en la Tabla No. 31.

Statistics carried out in two areas of the Capital: Palos Grandes and surroundings, and San José were also presented by ARCIA (1970) and show the values indicated in Table No. 31.

TABLA No. 31
TABLE No. 31

Nivel de Daño Level of Damage	Palos Grandes y alrededores Palos Grandes and surroundings	San José
0	145 (52.0 %)	292 (71.7 %)
0 - 1*	80 (28.7 %)	93 (22.9 %)
1	9 (3.2 %)	15** (3.7 %)
2	22 (7.9 %)	4 (1.0 %)
3	19 (6.8 %)	3 (0.7 %)
4	4 (1.4 %)	0 (0.0 %)
Total:	<u>279</u>	<u>407</u>

* Sin daños estructurales, sólo grietas en las paredes.
Puede sumarse al nivel de daño 1.

Without structural damage, only cracks in the walls.
Can be added to the level of damage 1.

** Diez casos no clasificados, asignados al nivel de daño 1.

Ten cases not classified assigned damage level 1.

Las diferencias observadas entre las dos áreas que se muestran, particularmente para los niveles de daño más graves (2, 3 y 4), han sido generalmente atribuidas a las diferentes condiciones geotécnicas; los espesores de aluvión en San José oscilan en el rango de 50 a 100 metros, en tanto que en Los Palos Grandes y alrededores éstos varían entre 140 y 320 metros.

Adicionalmente al factor subsuelo, también debe tomarse en consideración el hecho que la altura media de los edificios en la muestra de Los Palos Grandes (8,7 pisos) era superior a la del área de San José (6,4 pisos). En la Tabla No. 32, basada en datos de ARCIA (1970), se puede constatar esa influencia de la altura en los daños al revisar la última de las columnas relativa al porcentaje de edificios con daño.

The differences observed between the two areas sampled, particularly for the levels of more serious Damage (2,3 and 4), have been generally attributed to the difference in geotechnic conditions; the alluvial thickness in San José fluctuates within the range of 50 to 100 meters, whereas in Los Palos Grandes and the surrounding area it varies between 140 and 320 meters.

In addition to the subsoil factor, it must also be taken into consideration the fact that the mean height of the buildings in the sample of Los Palos Grandes 8,7 floors) was greater than that of the area of San José (6,4 floors). In Table No. 32, based on data from ARCIA (1970), the influence of height on damage can be verified in the column related to the percentage of buildings with damage.

TABLA No. 32
TABLE No. 32

Número de pisos Number of floors	NUMERO DE EDIFICIOS NUMBER OF BUILDINGS						Acumulado Accumulated		Porcentaje de edificios con daños (%) Percentage of buildings damage (%)
	Palos Grandes y alrededores		San José		Montecristo		Suma Total	Suma *Da.Est.	
	Total	*Da.Est.	Total	*Da.Est.	Total	*Da.Est.			
21	3	1	-	-	-	-	3	1	33,3
20	0	0	-	-	-	-	-	-	
19	1	1	-	-	-	-	1	1	100,0
18	7	7	1	0	1	0	9	7	77,8
17	2	2	2	0	2	0	6	2	33,3
16	4	3	3	0	2	0	9	3	33,3
15	5	2	2	0	1	0	8	2	25,0
14	7	6	6	3	5	2	18	11	61,1
13	7	1	11	1	3	0	21	2	9,5
12	12	5	5	1	1	0	18	6	33,3
11	19	7	20	1	3	0	42	8	19,0
10	41	9	13	0	5	2	59	11	18,6
9	32	2	18	2	2	0	52	4	7,7
8	34	5	38	3	6	2	78	10	12,8
7	19	2	47	1	1	-	67	3	4,5
6	26	1	33	1	2	0	61	2	3,3
5	16	0	72	5	8	0	96	5	5,2
4	31	0	88	2	21	0	140	2	1,4
3	13	0	48	2	14	1	75	3	4,0
Totales (%)	279 (100%)	54 (19,4%)	407 (100%)	22 (5,4%)	77 (100%)	7 (9,1%)	763 (100%)	83 (10,9%)	

* Da. Est. = Daños Estructurales

El aumento en la intensidad de daño estructural con el aumento del número de pisos para edificios localizados sobre depósitos de 160 y más metros de espesor, indica que el daño no se debe necesariamente a una sola característica del movimiento del terreno, tal como podría ser la aceleración máxima, sino que más bien se debe a las características de la respuesta estructural: aceleración espectral, velocidad espectral y/o cambios en los coeficientes de las fuerzas laterales de diseño, para estructuras de diferentes alturas. La influencia de este último parámetro para las estructuras altas, no explica por sí solo la mayor intensidad de daños que se observa en el rango de espesores de aluvión mayores de 160 m.

Los edificios de mayor esbeltez (relación entre altura del edificio y menor dimensión en planta) en el Distrito Sucre de la Capital tuvieron el comportamiento más desfavorable, debido, probablemente, a que sus períodos propios de vibración, estuvieron más cerca de los períodos de vibración del suelo (Comisión Presidencial del Sismo, 1969 b).

Dentro del patrón de daños observados se pudo comprobar el efecto negativo de plantas con formas irregulares, debido a que en su respuesta dinámica pueden ocurrir concentraciones de esfuerzos en zonas de las estructuras, no evidenciadas por los procedimientos usuales de análisis.

En la Tabla No. 33 se dan las cifras correspondientes a viviendas de mampostería reforzada hasta 3 pisos de altura, discriminadas según los cinco niveles de daño descritos más arriba.

The increase in the intensity of structural damage in proportion to the number of stories for buildings localized on deposits of 160 or more meters of thickness, indicates that the damage is not necessarily due to a single characteristic of ground movement, such as the maximum acceleration, but to the characteristics of structural response: spectral acceleration, spectral velocity and/or changes in the coefficients of the lateral forces of design for structures of different heights. The influence of this last parameter for high structures does not explain by itself the greater intensity of damage which is observed in the range of alluvial thickness greater than 160 m.

The more slender buildings (ratio between the height of the building and the least dimension in the plant) in the Sucre District of the Capital had the most unfavorable behaviour, probably due to the fact that their own periods of vibration were probably closer to the periods of vibration of the soil (Comisión Presidencial del Sismo, 1969 b).

Within the pattern of observed damages, it was possible to prove the negative effect of buildings constructed with irregular forms, due to the fact that in their dynamic response, concentrations of forces can occur in parts of the structures which are not evidenced by the usual analytical procedures.

Table No. 33 gives numbers corresponding to reinforced masonry housing, up to 3 stories high, discriminated according to the five levels of damage described above.

TABLA No. 33
TABLE No. 33

Nivel de Daño Level of damage	Mampostería reforzada, hasta 3 pisos Número de casos observados Reinforced masonry up to three stories Number of cases observed
0	?
1	769
2	
3	328
4	52

Para los niveles de daño más moderados (1 y 2), estas estadísticas se consideran poco confiables pues en la realidad probablemente excedieron la cifra allí notada.

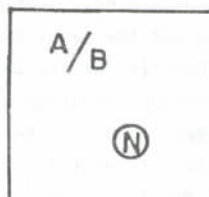
For the level of most moderate damage (1 and 2) the statistics are not considered reliable since in reality they probably exceed the figures indicated therein.

En los análisis de daños sufridos por los edificios de Caracas, SEED et al. (1970) dan los resultados de la distribución de intensidades de daño (véase la Sección 2.3.4) en función de la altura del edificio y de la profundidad del aluvión. (Figura No. 15).

In the analysis of damage suffered by the buildings in Caracas, SEED et al. (1970) give the results of the distribution of intensities of damage (see Section 1.3.4 in relation to the height of the building, and the depth of the alluvium. (Figure No.15).

DISTRIBUCION DE INTENSIDADES DE DAÑO ESTRUCTURAL
DISTRIBUTION OF STRUCTURAL DAMAGE INTENSITIES
 (Ref.: SEED et.al 1970)

CLAVE:
KEY



- A = NUMERO DE EDIFICIOS CON DAÑO ESTRUCTURAL
- A = NUMBER OF BUILDINGS WITH STRUCTURAL DAMAGE
- B = NUMERO TOTAL DE EDIFICIOS
- B = TOTAL NUMBER OF BUILDINGS
- Ⓝ = A/B x 100 POR CIENTO
- Ⓝ = A/B x 100 PERCENT

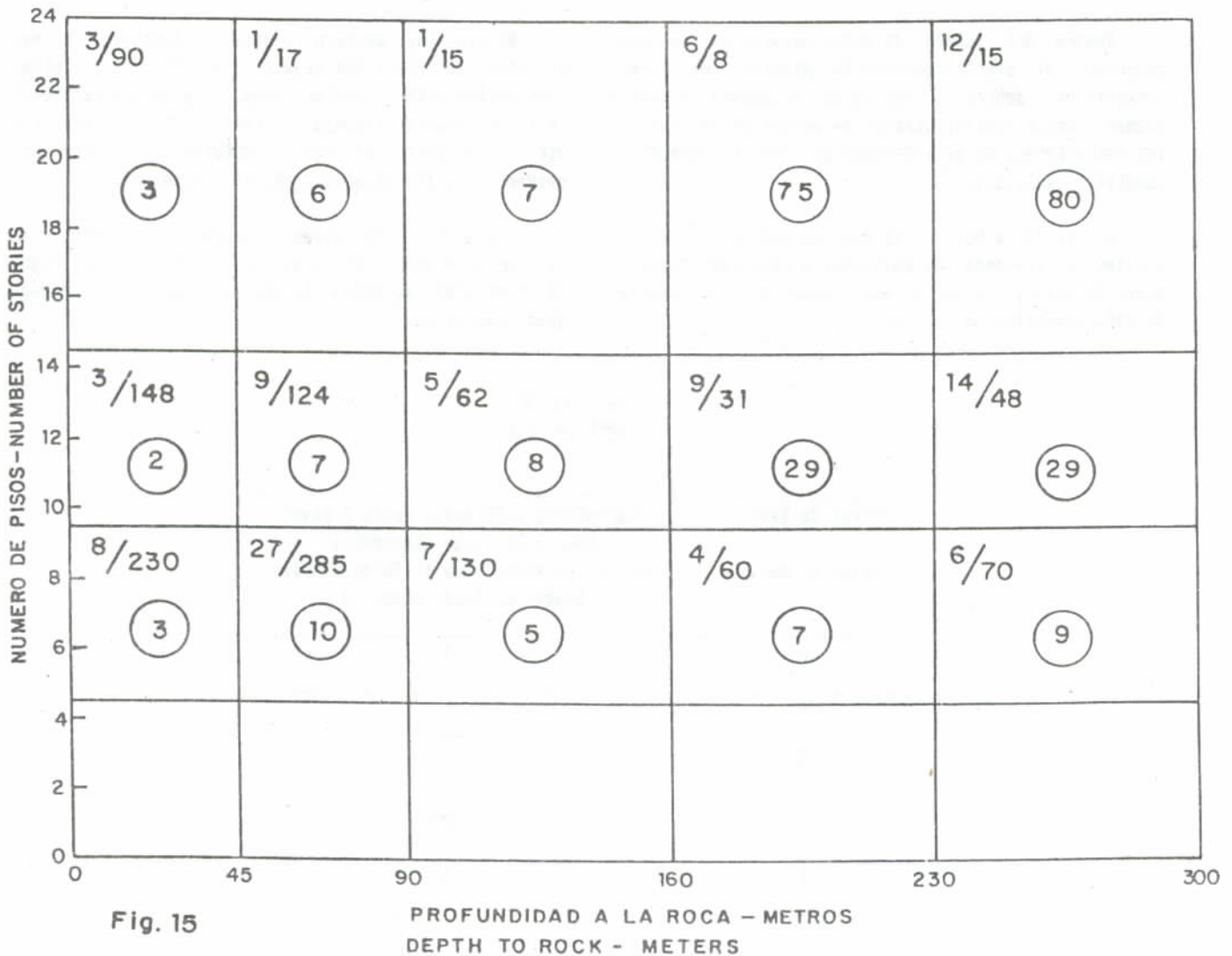


Fig. 15

PROFUNDIDAD A LA ROCA - METROS
DEPTH TO ROCK - METERS

1.3.4 Influencia de las condiciones del subsuelo local en los daños constatados

Las dos fuentes más importantes de información en el análisis de este problema son los siguientes: (a) los 30 mapas de daños del OMPU, escala 1:5,000 (año de 1967) y (b) el mapa de espesores de aluvión preparado por la Weston Geophysical Engineers (año de 1969) escala 1:20,000. Ambos mapas están referidos al mismo origen, facilitándose así la transferencia de los espesores de aluvión dados por la WGE a los planos del OMPU.

Con el fin de llevar a cabo la comparación estadística, se aceptan las siguientes hipótesis:

- a) que los daños han sido calificados de acuerdo a un patrón común de inspección;
- b) que todos los casos fueron reportados;
- c) que los planos disponibles representan las áreas pobladas para el momento del sismo, con excepción de los barrios marginales.
- d) que las áreas urbanas de la ciudad tienen igual densidad de construcciones de cualquier clase por unidad de área;
- e) que la clasificación de "casas" y "edificios" dada por OMPU es representativa de dos grupos de conducta diferenciable, y
- f) que los espesores de aluviones dados por WGE son representativos de los reales, que son de propiedades similares y que su efecto puede ser representado por el espesor.

No existe manera de probar ninguna de las hipótesis anteriores; sólo tratamos de aprovechar la mejor información actualmente disponible sobre ellas.

El número total de casos reportados en las áreas pobladas del valle y urbanizaciones conexas (con excepción de los barrios marginales) es de 2514, (Tablas 9 y 34), divididos en: 1149 casas (45.7%) y 1365 edificios (54.3%)*. Su distribución, en función de las áreas de distinto espesor de aluvión, se da en la Tabla No. 35.

* En GRASES (1968) se dan 2298 casos. La razón de esta diferencia estriba en que de los 30 planos del OMPU, en el análisis hecho hace 15 años, se incluyeron datos de 12 planos, en tanto que en el presente se incorporan los restantes; los porcentajes de casas y edificios no han variado.

1.3.4 Influence of the conditions of the local subsoil on proven damages

The two most important sources of information to analyze this problem are the following: (a) the 30 damage maps from OMPU, at a scale of 1:5,000 (1967), and (b) the map of alluvial thickness prepared by the Weston Geophysical Engineers (1969) at scale of 1:20,000. Both maps refer to the same source, therefore making it easier to transfer the information on alluvial thickness given by WGE to the plans of OMPU.

In order to carry out the statistical comparison we accept the following hypothesis:

- a) that the damages have been qualified in accordance to the common standard of inspection;
- b) that all of the cases were reported;
- c) that the available plans represent the populated area at the moment of the earthquake, excluding the marginal settlements;
- d) that the urban areas of the city have the same density of construction;
- e) that the classification of "houses" and "buildings" given by OMPU is representative of two groups of different conduct, and
- f) that the alluvial thicknesses given by WGE are representative of the real values, that they have similar properties and that their effect can be represented by that thickness.

We have no way of proving any of the previous hypothesis; we are only trying to make better use of the information actually available concerning them.

The total number of cases reported in the populated areas of Valle and surrounding urbanizations (excluding marginal settlements) is 2514, (Tables 9 and 34); divided by: 1149 houses (45.7%) and 1365 buildings (54.3%)*. Their distribution in relation to areas of different alluvial thickness is given in Table

* In GRASES (1968) 2298 cases are given. The reason for this difference in the 30 plans of OMPU of the analysis made 15 years ago information was included only from 12 plans whereas at present all 30 are incorporated; the percentages of houses and buildings have not varied.

TABLA No. 34
TABLE No. 34

NUMERO DE CONSTRUCCIONES DAÑADAS
NUMBER OF DAMAGED CONSTRUCTIONS

Espesor de aluvió Thickness of alluvium (m)	Casas (Houses)			Edificios (Buildings)				Total
	Leves, no estructurales Slight, non-structural	Daños en la Estructura Damages to the structure	Muy dañados, colapsos o irreparables Severe damage, collapse or non-repairable	Leves, no estructurales Slight, non-structural	Daños en la estructura Damages in the structure	Muy dañados, colapsos o irreparables Severe damage, collapse or non-repairable	Casas Houses	
0								
Roca (Rock)	133	22	11	216	19	2	166	237
0 - 40	357	168	32	244	59	0	557	303
40 - 80	142	81	6	360	106	1	229	467
80 - 120	100	48	2	100	29	1	150	130
120 - 160	24	6	1	67	12	1	31	80
160 - 200	3	1	0	30	9	3	4	42
200 - 240	2	2	0	22	15	4	4	41
240 - 280	5	0	0	23	10	3	5	36
280 - 320	3	0	0	23	5	1	3	29
	769	328	52	1085	264	16	1149	1365

En ella se distinguen nueve grupos diferentes de subsuelo: desde "roca" (cero espesor de aluvión), hasta espesores máximos comprendidos entre 280 m y 320 m, con incrementos sucesivos de 40 m; se mantiene la clasificación de construcciones y daños dados en los mapas del OMPU.

Manteniendo el mismo agrupamiento fueron calculados los porcentajes del área total poblada (hipótesis C) asentados en cada uno de ellos. Estos datos se dan en la columna 2 de la Tabla No. 35; en la misma (columnas 3 y 4) se señala igualmente la distribución porcentual de construcciones afectadas, separando los dos grupos: casas y edificios.

No. 35. In the table one can distinguish nine groups of different subsoil: from "rock" (zero alluvial thickness), through maximum thicknesses which are between 280 m and 320 m with successive steps of 40 meters; the classification of constructions and damages given in the OMPU maps is maintained.

Maintaining the same grouping, the percentages of the total populated area settled on each one of them were calculated (hypothesis C). These data is given in column 2 of Table No. 35; in the same table, (columns 3 and 4) is also shown the percentage of distribution for affected constructions in two separate groups: houses and buildings.

TABLA No. 35
TABLE No. 35

(1)	(2)	(3)		(4)
Espesor de depósito aluvial (m) Thickness of alluvial deposit (m)	Porcentaje del área total poblada (%) Percentage of the total populated area	Porcentaje del total de construcciones afectadas (%) Percentage of the total affected constructions		
		Casas (Houses)	Edificios (Buildings)	
0 (Roca) (Rock)	23.6	14.5	17.3	
0 - 40	27.5	48.6	22.2	
40 - 80	28.4	19.9	34.2	
80 - 120	10.7	13.0	9.5	
120 - 160	4.5	2.7	5.9	
160 - 200	2.2	0.3	3.1	
200 - 240	1.1	0.3	3.0	
240 - 280	0.9	0.4	2.6	
280 - 320	1.1	0.3	2.1	
	100.0			

Es fácil observar que el porcentaje del total de construcciones afectadas, no sigue la misma distribución que los porcentajes del área total correspondiente a los distintos rangos de espesores de aluvión

It is easy to see that the percentage of the total number of constructions affected, does not follow the same pattern as the percentage of the total area in reference to the different ranges selected for alluvial

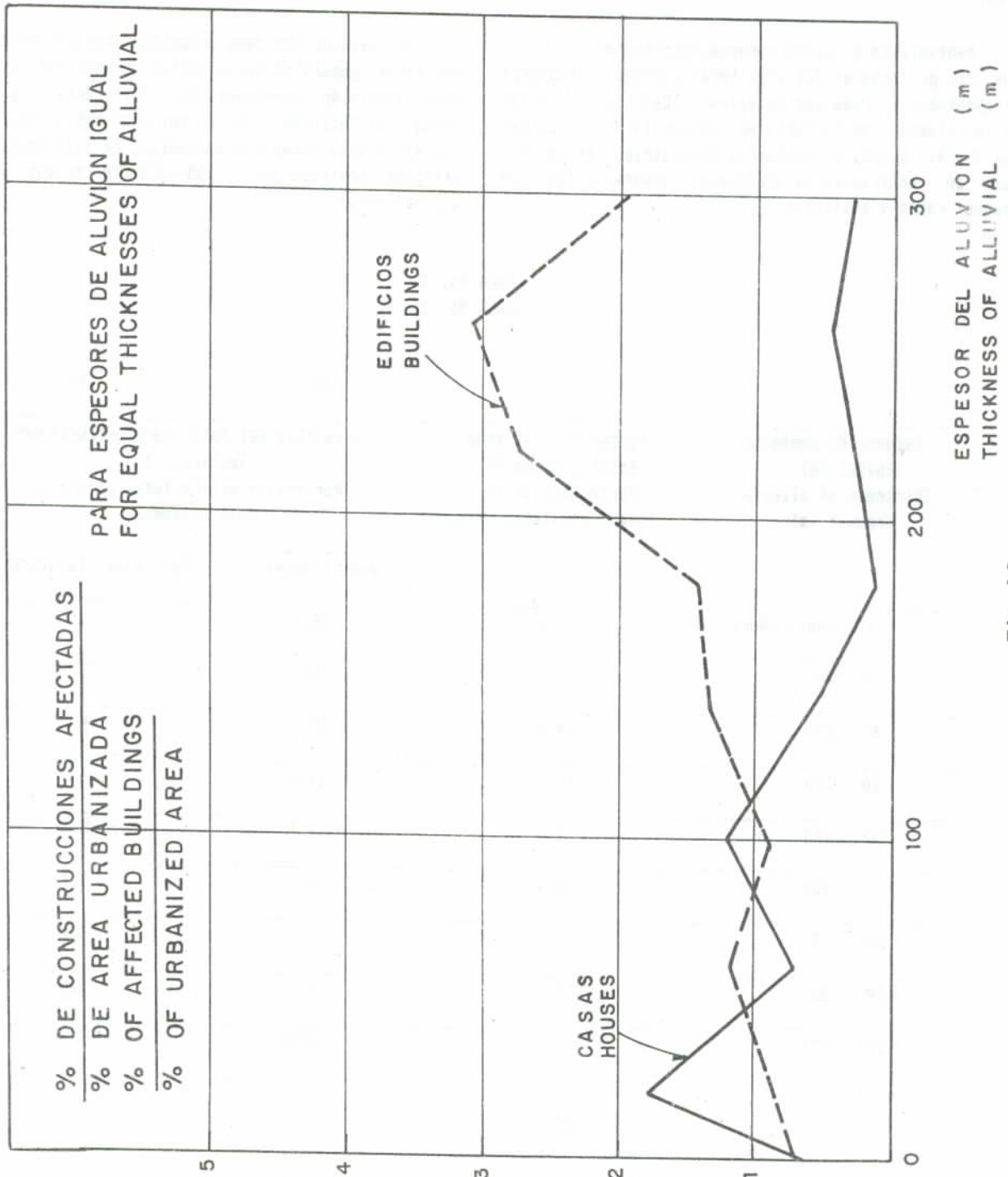


Fig. 16

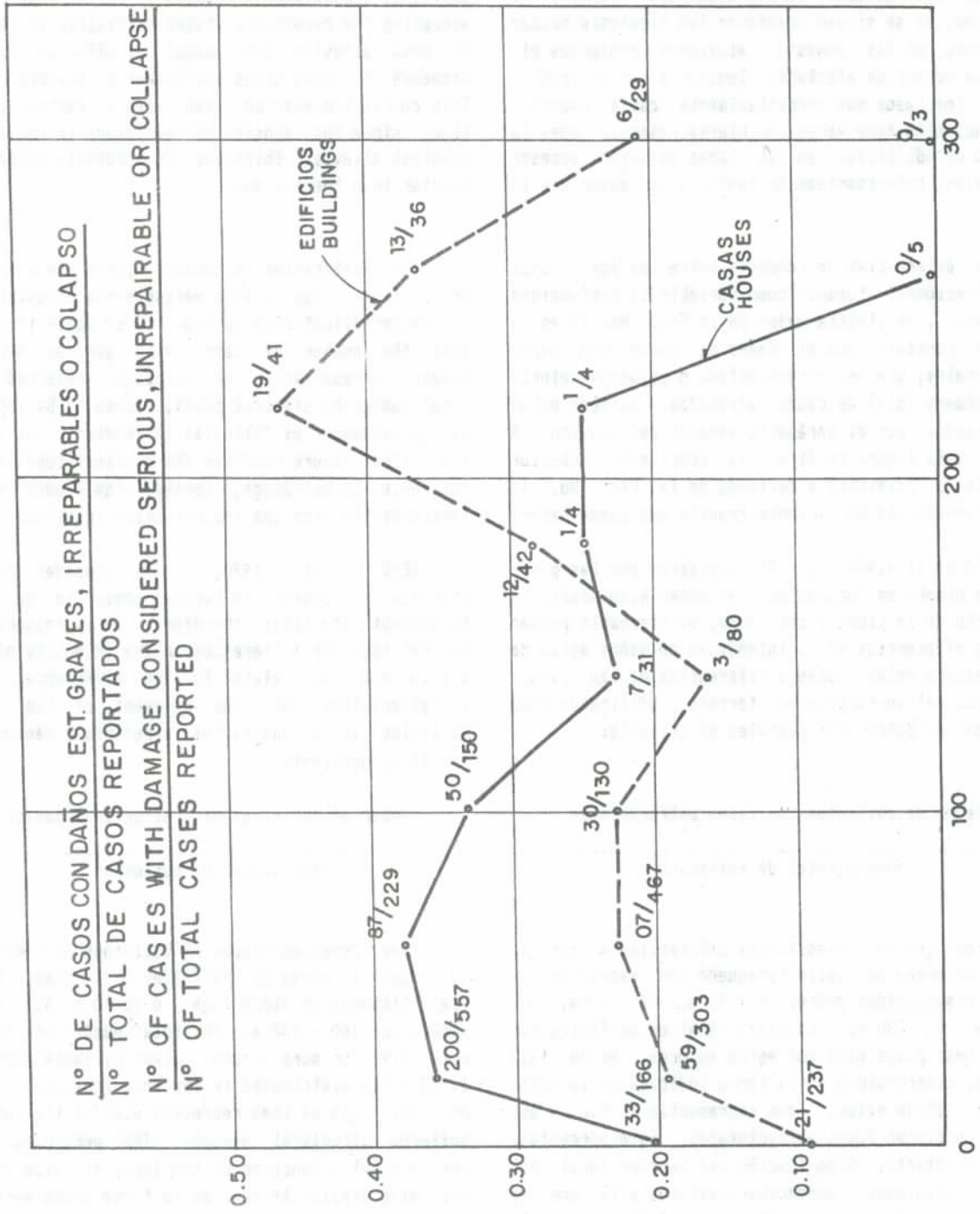


Fig. 17
 ESPOSOR DEL ALUVION (m)
 THICKNESS OF ALLUVIAL (m)

seleccionados; en la Figura 16 se destaca este hecho al representar el cociente de las columnas 3 y 2, y de las columnas 4 y 2 contra el espesor medio del aluvión.

Destaca en esta figura una aparente influencia desfavorable a las zonas de transición (roca - aluvión) para las edificaciones calificadas como "casas"; de igual modo, si se siguen aceptando las hipótesis hechas al comienzo, en las zonas de aluviones profundos el número de edificios afectados llegaron a ser el triple del de los casos que porcentualmente cabía esperar. Esta conclusión debe verse con cierta reserva, pues la densidad de edificios, en las zonas de mayor espesor del aluvión, coincidentemente tendía a ser mayor que la media.

Las diferencias de conducta entre los dos grupos de edificaciones, tomando como variable la profundidad del aluvión, se ilustra mejor en la Fig. No. 17 en la cual se constata que el número de casos con daños estructurales, graves, irreparables, o colapsos referidos al número total de casos afectados, parecen estar influenciados por el parámetro espesor del aluvión. A su vez esta figura confirma la conclusión anterior referente a edificios y derivada de la Fig. No. 16 independientemente de la concentración que puede haber.

SEED et al (1970, p. 7) consideran que las prácticas de diseño en Caracas parecen haber sido similares a lo ancho de la ciudad y por tanto, es razonable pensar que las diferencias en la intensidad de daños están de alguna manera relacionadas a diferencias en las características del movimiento del terreno. Utilizando como intensidad de daños estructurales el cociente:

$$\frac{\text{número de edificios con daños estructurales}}{\text{número total de edificios}}$$

compararon grupos de edificios diferenciados por su altura en áreas del valle caraqueño con espesores de aluvión comprendidos entre: 0 - 45 m, 45 - 90 m, 90 - 160 m y 160 - 230 m. La cifra total de edificios con cinco o más pisos dada por estos autores, es de 1333 unidades, distribuidas en la forma indicada en la Tabla No. 36; 115 de ellos, que representan el 8.6 % del total, sufrieron daños estructurales. Este porcentaje no es constante, sino función del espesor local del aluvión, siguiendo tendencias similares a las que se mostraron en las Figuras No. 16 y 17 tal como lo demuestra la columna 5 de esta última tabla (véase la Fig. 15).

thickness; in figure No. 16, this fact is shown by representing the quotient of columns 3 and 2, and of columns 4 and 2 against the mean alluvial thickness.

In Figure 32, there is an apparent unfavorable influence in the transition zones (alluvial-rock) for buildings classified as "houses"; in the same way, by accepting the hypothesis stated initially, in the areas of deep alluvium the number of affected buildings exceeded by three times the number of expected cases. This conclusion must be seen with a certain reservation, since the density of buildings in the areas of greatest alluvial thickness coincidently tended to be greater than the average.

The differences in conduct within the two groups of buildings, taking as a variable the alluvial depth is better illustrated in Fig. 17 in which it is shown that the number of cases with serious structural damage, unrepairable, or collapsed, referred to the total number of affected cases, seems to be influenced by the parameter of "alluvial thickness". At the same time this figure confirms the previous conclusion in reference to buildings, derived from Figure No. 16; independently from the concentration involved.

SEED et al. (1970, p. 7) consider that the practice of design in Caracas seems to be similar throughout the city; therefore, it is reasonable to believe that the differences in the intensity of damage are in some way related to the differences in the characteristics of the movement of the ground. Utilizing as intensity of structural damages the resulting quotient:

$$\frac{\text{number of buildings with structural damage}}{\text{total number of buildings}}$$

They compared groups of buildings differentiated by height in areas of the Valley in Caracas with alluvial thickness in steps from: 0 to 45 m, 45 - 90 m, 90 - 160 m and 160 - 230 m. The total number of buildings with five or more floors, given by these authors is 1,333 units distributed in the form indicated in Table No. 36; 115 of them represent 8.6% of the total that suffered structural damage. This percentage is not constant but a function of the local alluvium thickness following similar tendencies to those which were shown in Figures No. 16 and No.17 and as is shown in column 5 of the latter table (see Figure 15).

Quedaría confirmada así la influencia desfavorable de la presencia de aluviones en la conducta esperada de edificios, lo anterior se ilustra en las figuras 18 y 19.

Thus, it is demonstrated that there is an unfavorable influence due to the presence of alluvia in the expected behaviour of buildings. This is illustrated in Figures 18 and 19.

TABLA No. 36
TABLE No. 36

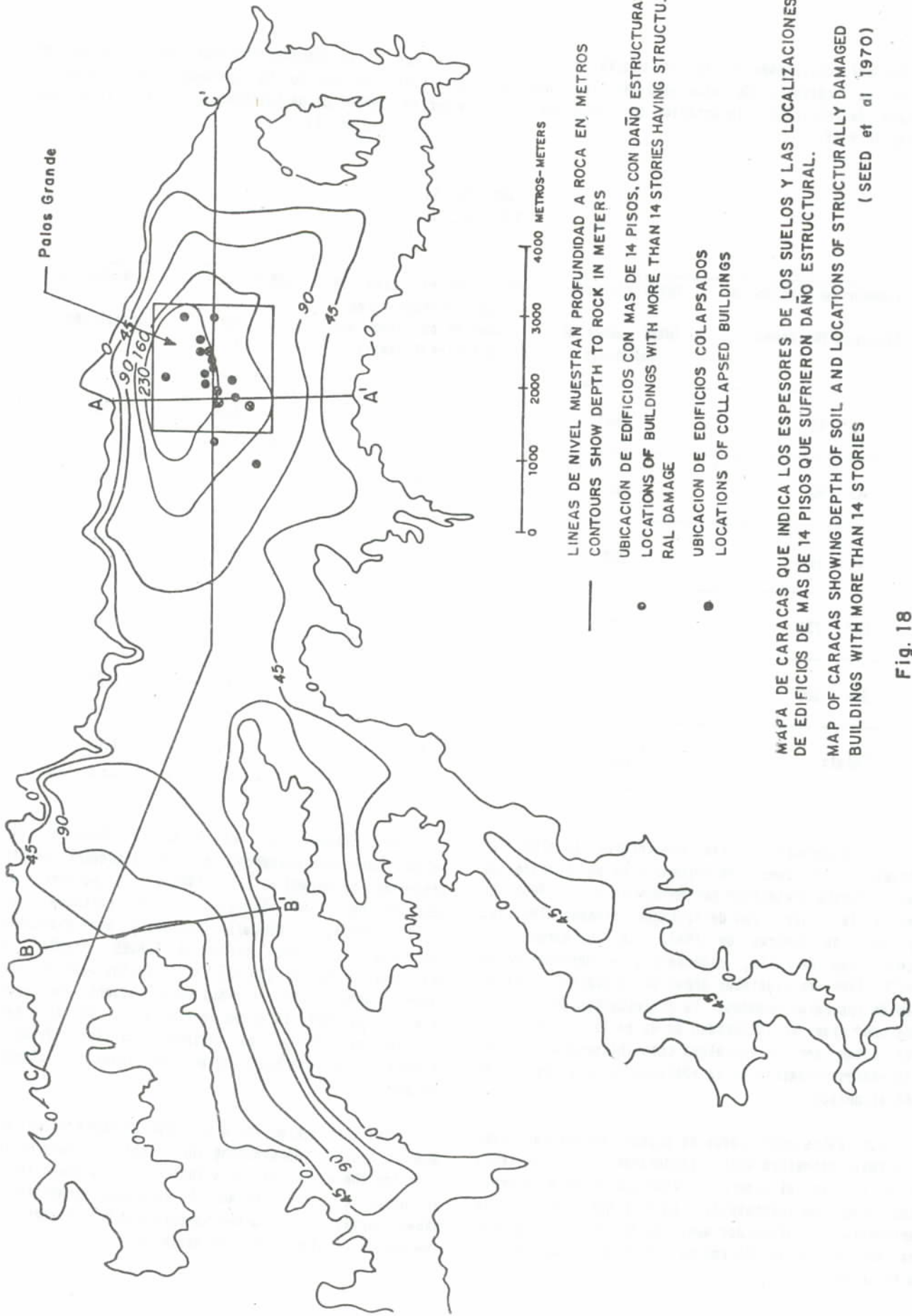
Espesor de Aluvión (m) Alluvium Thickness	Total edificios Total number of buildings	Número de edificios con Daños estructurales Number of buildings with structural damage	IDE = (3) / (2) (%)	Normalizado Normalized
0 - 45	468	14	3.0	0.35
45 - 90	426	37	8.7	1.01
90 - 160	207	13	6.3	0.73
160 - 230	99	19	19.1	2.22
230 - 300	133	32	24.1	2.80
Total:	1333	115	8.6	1.00

La influencia de las condiciones locales del subsuelo se ha puesto en evidencia en un trabajo de campo reciente presentado por MAINDU et al. (1983). En base a la descripción de testigos presenciales del terremoto de Caracas de 1967, se evaluaron las Intensidades Mercalli, citándose a la reordenación de BRAZEE (1980) en distintas áreas de la capital. En el caso de los Palos Grandes, la distribución de alturas para cada nivel de Intensidad se da en la Figura No. 20. Esta puede ser interpretada como influencia de las propiedades dinámicas de la edificación en el nivel de daño alcanzado.

Los datos encontrados se pueden representar también como intensidad media, ponderando para cada altura de edificación el número de casos que alcanzó determinado nivel de intensidad. En la Figura No. 21 se representa esa intensidad media ponderada constatándose una marcada variación con el número de pisos de la edificación.

The influence of the local condition of the subsoil have been evidenced in recent fieldwork results presented by MAINDU et al. (1983). On the basis of descriptions from witnesses of the earthquake of Caracas (1967), the Mercalli intensities were evaluated following the calculations of BRAZEE (1980) in different areas of the capital. In the case of the Palos Grandes the distribution by height for each level of intensity is given in Figure No. 20. This can be interpreted as an influence of the dynamic properties of the building and the level of damage reached.

The information found can also be represented as mean intensity, considering the height. Of each building for the number of cases that reached a given level of intensity. In Figure No. 21 this mean intensity is shown verifying the marked variation with respect to the number of stories in the building.

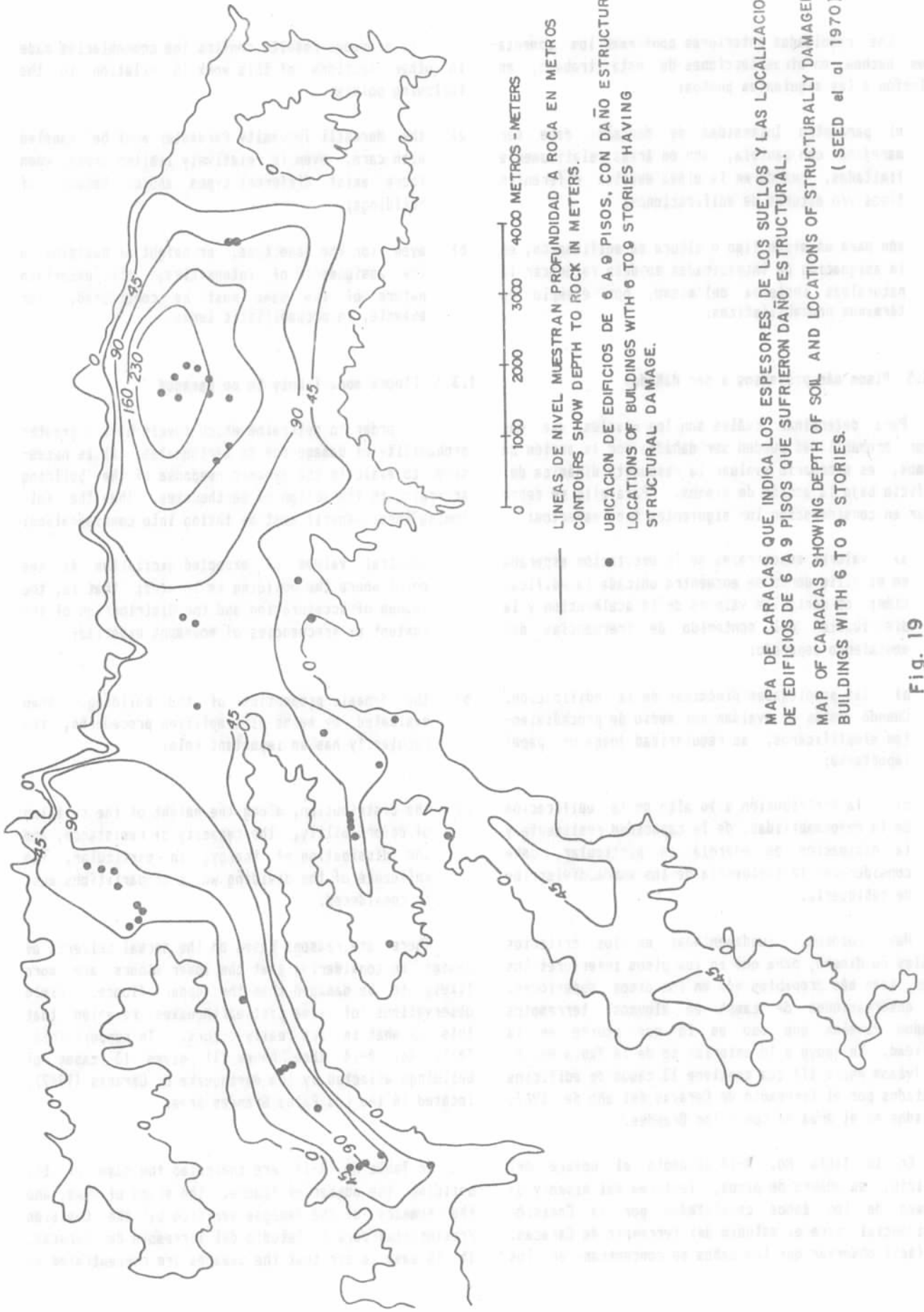


MÁPA DE CARACAS QUE INDICA LOS ESPESORES DE LOS SUELOS Y LAS LOCALIZACIONES DE EDIFICIOS DE MAS DE 14 PISOS QUE SUFRIERON DAÑO ESTRUCTURAL.

MAP OF CARACAS SHOWING DEPTH OF SOIL AND LOCATIONS OF STRUCTURALLY DAMAGED BUILDINGS WITH MORE THAN 14 STORIES

(SEED et al 1970)

Fig. 18



LINEAS DE NIVEL MUESTRAN PROFUNDIDAD A ROCA EN METROS
 CONTOURS SHOW DEPTH TO ROCK IN METERS.

● UBICACION DE EDIFICIOS DE 6 A 9 PISOS, CON DAÑO ESTRUCTURAL
 LOCATIONS OF BUILDINGS WITH 6 TO 9 STORIES HAVING
 STRUCTURAL DAMAGE.

MAPA DE CARACAS QUE INDICA LOS ESPESORES DE LOS SUELOS Y LAS LOCALIZACIONES
 DE EDIFICIOS DE 6 A 9 PISOS QUE SUFRIERON DAÑO ESTRUCTURAL.
 MAP OF CARACAS SHOWING DEPTH OF SOIL AND LOCATIONS OF STRUCTURALLY DAMAGED
 BUILDINGS WITH 6 TO 9 STORIES. (SEED et al 1970)

Fig. 19

Los resultados anteriores confirman los comentarios hechos en otras secciones de este trabajo, en relación a los siguientes puntos:

- a) el parámetro Intensidad de Mercalli debe ser manejado con cautela, aún en áreas relativamente limitadas, cuando en la misma existen diferentes tipos y/o alturas de edificaciones;
- b) aún para un mismo tipo o altura de edificación, en la asignación de intensidades se debe reconocer la naturaleza incierta del mismo, por ejemplo en términos probabilísticos.

1.3.5 Pisos más propensos a ser dañados

Para determinar cuáles son los niveles que con mayor probabilidad pueden ser dañados por la acción de sismos, es necesario evaluar la respuesta dinámica del edificio bajo la acción de sismos. Para ello se deben tomar en consideración los siguientes tres aspectos:

- a) valores espectrales de la excitación esperada en el sitio donde se encuentra ubicada la edificación; es decir los valores de la aceleración y la distribución del contenido de frecuencias del movimiento esperado;
- b) las propiedades dinámicas de la edificación. Cuando estas se evalúan por medio de procedimientos simplificados, su regularidad juega un papel importante;
- c) la distribución a lo alto de la edificación de la deformabilidad, de la capacidad resistente y la disipación de energía en particular, debe considerarse la influencia de los muros divisorios de tabiquería.

Hay razones, fundamentadas en los criterios usuales de diseño, para que en los pisos inferiores los daños sean más probables que en los pisos superiores. Las observaciones de campo en algunos terremotos pasados revelan que eso es lo que ocurre en la realidad. En apoyo a lo anterior se da la Tabla No. A-14 (véase Anexo II) que contiene 13 casos de edificios afectados por el terremoto de Caracas del año de 1967, ubicados en el área de Los Palos Grandes.

En la Tabla No. A-14 se anota el nombre del edificio, su número de pisos, la forma del mismo y un resumen de los daños constatados por la Comisión Presidencial para el estudio del terremoto de Caracas. Es fácil observar que los daños se concentran en los

The previous results confirm the commentaries made in other sections of this work in relation to the following points:

- a) the Mercalli Intensity Parameter must be handled with care, even in relatively limited areas, when there exist different types and/or heights of buildings;
- b) even for the same type, or height of building in the assignment of intensities, the uncertain nature of the same must be considered, for example, in probabilistic terms.

1.3.5 Floors more likely to be damaged

In order to determine which levels have a greater probability of damage due to earthquakes, it is necessary to evaluate the dynamic response of the building according to the action of earthquakes. Then the following three aspects must be taking into consideration:

- a) spectral values of expected excitation at the point where the building is located; that is, the values of acceleration and the distribution of the content of frequencies of movement expected;
- b) the dynamic properties of the building. When evaluated by means of simplified procedures, the regularity has an important role;
- c) the distribution, along the height of the building of deformability, the capacity of resistance, and the dissipation of energy, in particular, the influence of the dividing walls or partitions must be considered.

There are reasons based on the normal criteria of design in considering that the lower floors are more likely to be damaged than the upper floors. Field observations of some past earthquakes revealed that this is what in fact really occurs. To support this, Table No. A-14 (See Annex II) gives 13 cases of buildings affected by the earthquake of Caracas (1967), located in the Los Palos Grandes area.

In Table No. A-14 are indicated the name of the building, the number of floors, the shape of same, and the summary of the damages verified by the Comisión Presidencial para el Estudio del Terremoto de Caracas. It is easy to see that the damages are concentrated on

DISTRIBUCION DE ALTURAS PARA CADA NIVEL DE INTENSIDAD
EN EL AREA DE LOS PALOS GRANDES

DISTRIBUTION OF HEIGHTS FOR EACH LEVEL OF INTENSITY IN
THE PALOS GRANDES AREA

(REF: MAINOU, 1983)

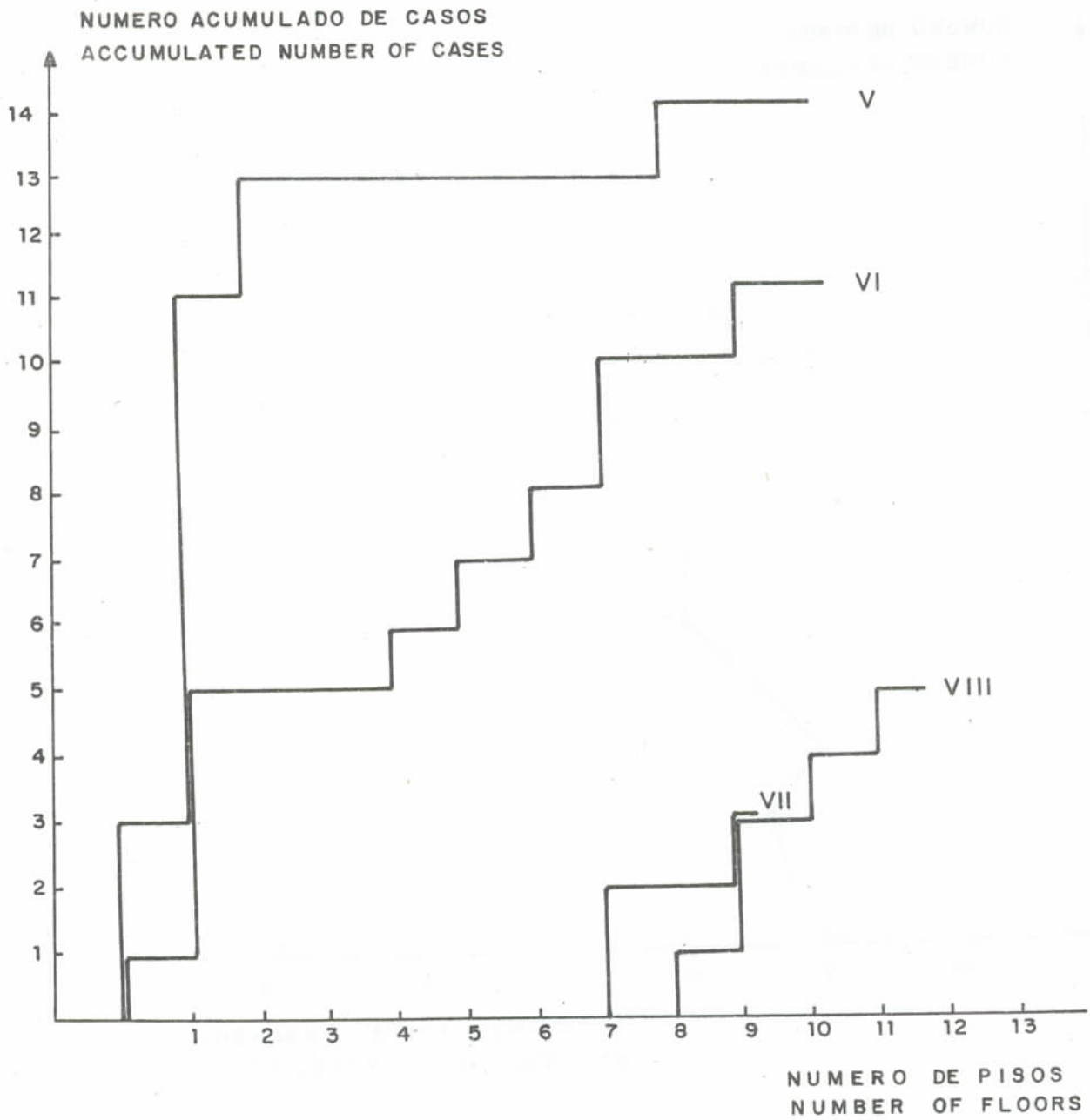


Fig. 20

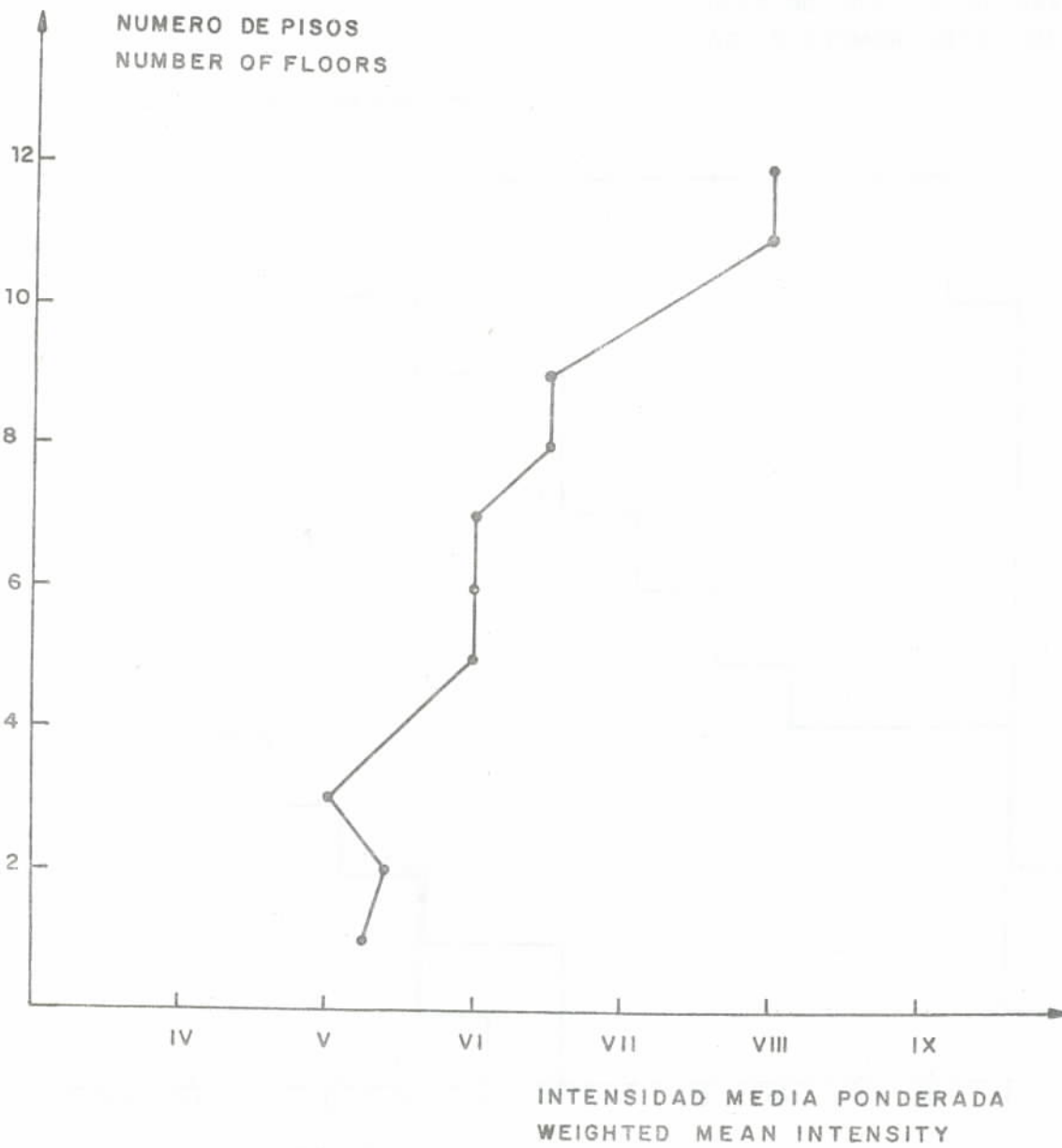


Fig. 21

PORCENTAJE DE LA ALTURA DEL EDIFICIO AFECTADO POR LA ACCION SISMICA
 PERCENTAGE OF BUILDING HEIGHT AFFECTED BY SEISMIC EXCITATION

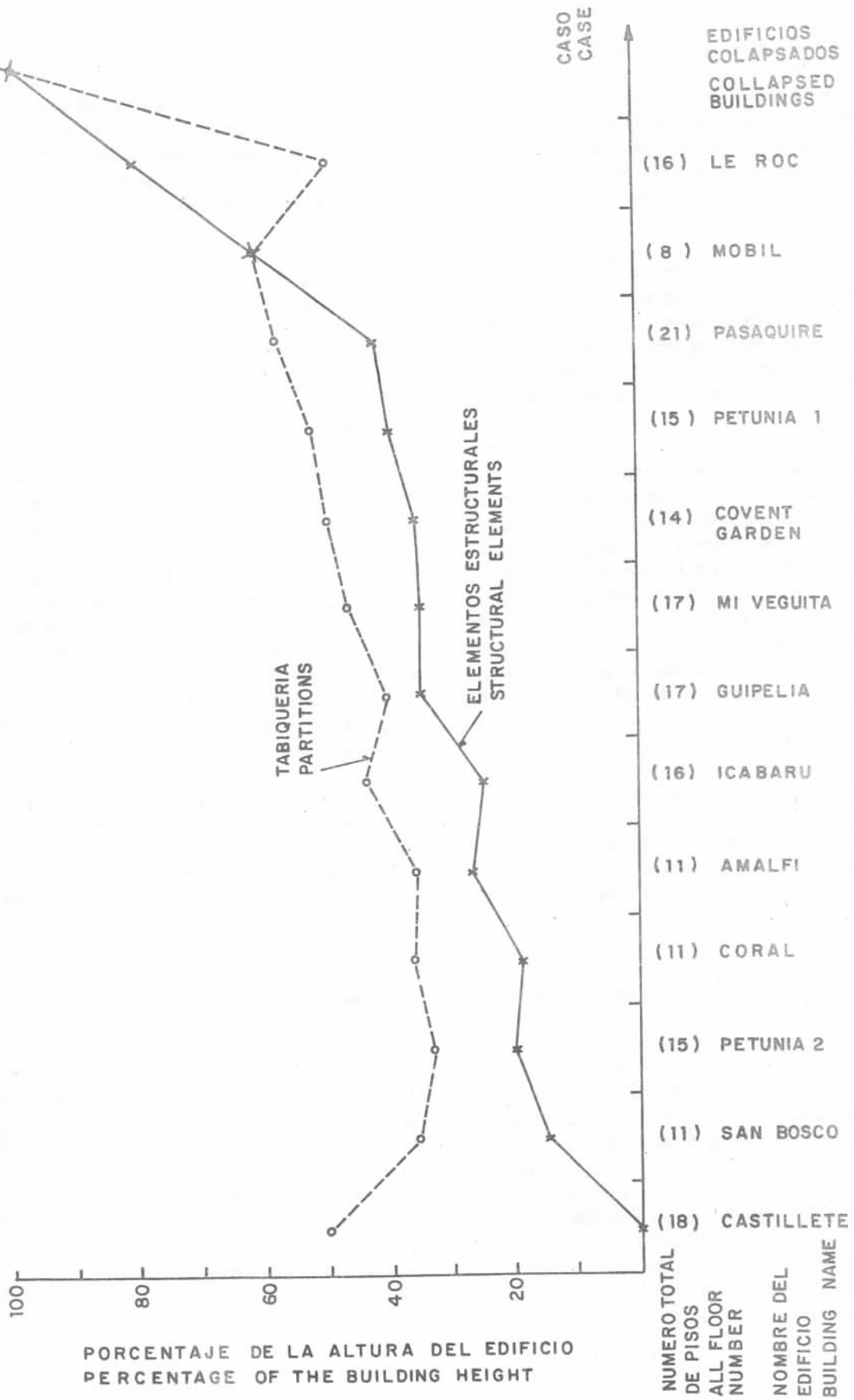


Fig. 22

pisos inferiores, para lo cual se ha preparado la Figura No. 22 en la cual se representa el porcentaje aproximado de la altura del edificio afectado por la acción sísmica; se separan allí los daños en los elementos estructurales de los daños en la tabiquería. Ambos tienen implicaciones diferentes tanto en la seguridad de la edificación como en el costo de reparación.

Dado un edificio, los daños en la tabiquería alcanzan casi en la totalidad de los casos alturas mayores que las correspondientes a los daños en elementos estructurales; esto se debe a que los últimos requieren distorsiones mayores que los primeros. En la Figura No. 22 es fácil constatar la primera observación de este párrafo.

En la Figura No. 23 se presenta, para la misma muestra anterior, la distribución acumulada del porcentaje de la altura del edificio afectado por la acción del sismo. Se constata allí que la dispersión de valores para el caso de elementos estructurales es superior a la correspondiente a tabiquería. En el primer caso, en 10 de los 13 edificios los daños alcanzan alturas entre 14 % y 42 % del total siendo la media igual a 33 %, en tanto que para el segundo caso en 10 de los 13 edificios los daños en tabiquería alcanzan alturas entre 36 % y 53 % de la altura total, siendo la media igual a 46 %.

Se debe tener presente que los valores datos en las figuras 22 y 23 son representativas de un sismo de la intensidad registrada en el de Caracas en 1967. Sismos de menor intensidad, pueden ocasionar daños en la tabiquería sin que se alcancen a dañar los elementos estructurales.

1.3.6 Cuantificación de vectores y matrices de daño

Es evidente que la clasificación de daños dada en la Sección 1.3.2 es subjetiva, aun cuando limitándola a edificios estructurados en forma similar y construidos con materiales similares, permite una cierta homogeneidad. La cuantificación de daños en base a los costos de reparación excluidas las mejoras, referidos al valor de reemplazo actualizado para 1967 (excluido el costo del terreno), fue investigado por STEINBRUGGE (1972) para edificios altos que son típicos de Caracas. Este se basó en un análisis de costos de construcción de una muestra de edificios altos en Caracas, que arrojó los siguientes valores:

the lower floors, for which Figure No. 22 has been prepared in which is represented the approximate percentage of the height of the building affected by the seismic action; damages to structural elements are separated from damages to partitions. Both have different implications in the security of the building as well as in the cost of repair.

In a given building, the damage to partitions reach in almost all of the cases heights greater than those corresponding to structural element damages; this is due to the fact that the latter requires greater distortion than the former. In Figure No. 22 it is easy to verify the first observation of this paragraph.

Figure No. 23 presents for the same sample above, the accumulated distribution of the percentage of height of the building affected by the action of the earthquake. It can be verified that the dispersion of values for the case of structural elements is greater than that corresponding to the partitions. In the first case, in 10 of 13 buildings the damages reach a level of between 14 % to 42 % of the total, being the mean equal to 33 %; whereas, for the second case, in 10 of 13 buildings the damages in partitions reach levels between 36 % and 53 % of the total height, the mean being equal to 46 %.

One must keep in mind that the values given in Figures No. 22 and 23 are representative of an earthquake with an intensity such as the one in Caracas (1967). Earthquake of lesser intensity can cause damage to partitions without damaging structural elements.

1.3.6 Quantification of vectors and matrices of damage

It is evident that the classification of damage given in Section 1.3.2 is subjective, even when limiting it to buildings structured in a similar form and constructed with similar material it is possible to obtain a certain homogeneity. The quantification of damage on the basis of costs of repair, excluding improvements, referred to the replacement value for 1967 (excluding the cost of the land) was investigated by STEINBRUGGE (1972) for tall buildings typical in Caracas. This was based on an analysis of construction costs from a sample of tall buildings in Caracas which show the following values:

DISTRIBUCION ACUMULADA DEL PORCENTAJE DE LA ALTURA DEL EDIFICIO AFECTADO POR LA ACCION SISMICA.
 ACCUMULATED DISTRIBUTION OF THE PERCENTAGE OF THE BUILDING HEIGHT AFFECTED BY SEISMIC EXCITATION

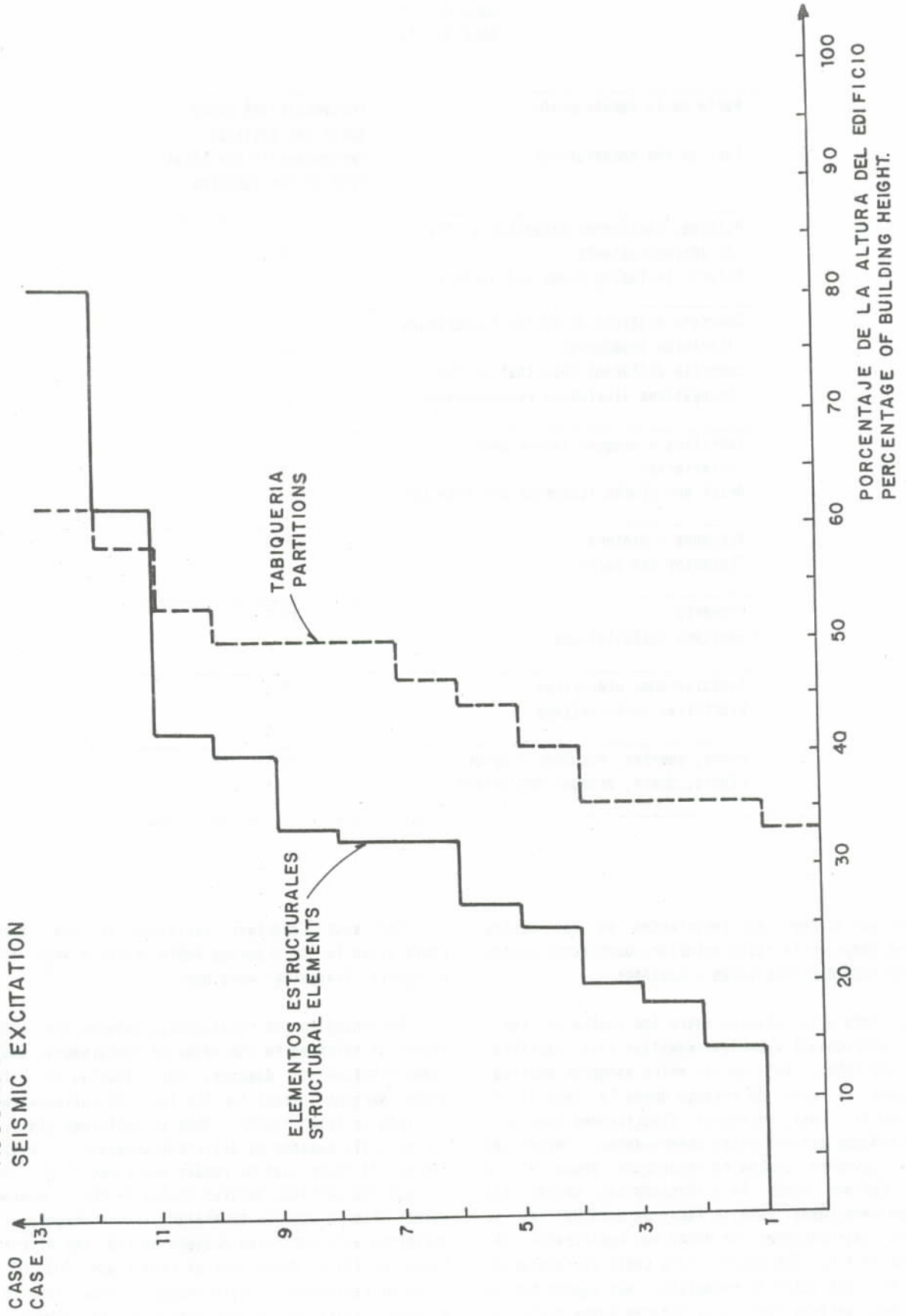


Fig. 23

TABLA No. 37
TABLE No. 37

Parte de la construcción Part of the construction	Porcentaje del costo total del Edificio Percentage of the total cost of the building
Pilotes, incluyendo cabezales y vigas de arriostamiento Pilars, including beams and girders.	5 %
Concreto distinto al de las fundaciones (incluido armaduras). Concrete different than that of the foundations (including reinforcements)	28 %
Ladrillos y bloques (interiores y exteriores) Brick and blocks (interior and exterior)	10 %
Acabados y pintura Finishing and paint	20 %
Plomería Sanitary Installations	10 %
Instalaciones eléctricas Electrical installations	7 %
Pisos, puertas, ventanas y otros Floors, doors, windows and others	20 %

Las variaciones más importantes en los costos relativos dados en la tabla anterior, ocurrieron cuando se usaron acabados especiales y costosos.

Volviendo a la relación entre los costos de reparación referidos al valor de reemplazo y la calificación de los daños, ésta oscila entre márgenes amplios, salvo para el nivel de colapso donde la pérdida es total (100 %). Así, edificios clasificados como gravemente dañados por distintos observadores, (Nivel de Daño 3) tuvieron costos de reparación desde 9.6 % (Covent Garden) hasta 44 % (Residencias Unión) del valor de reemplazo; esto es fácil de entender si se recuerdan edificaciones con daños muy localizados del tipo del edificio San Bosco, cuyo costo de reparación fue del 10 % del valor de reemplazo, aún cuando bordeó los últimos estados límites al dañarse buena parte de

The most important variations in the relative costs given in the previous table occurred when costly or special finishings were used.

Returning to the relationship between the costs of repair as referred to the value of replacement, and the classification of damages, this fluctuates between ample margins except for the level of collapse where the loss is total (100%). Thus in buildings classified as severely damaged by different observers (level of damage 3) their cost of repair was from 9.6% (Covent Garden) to 44% (Residencias Unión) of the replacement value; this is easy to understand if one compares it to buildings with localized damages of the type of the San Bosco building whose cost of repair was 10% of the value of replacement; even though it came close to the maximum limits when a good number of its columns were

SE REPRESENTAN 13 DE LOS 15 CASOS CON NIVEL DE DAÑO 3 AREA DE LOS PALOS GRANDES (TERREMOTO 1967)
 13 OF THE 15 CASES WITH DAMAGE LEVEL 3 ARE REPRESENTED. LOS PALOS GRANDES AREA (1967 SHOCK)

$$\text{DESVIACION STANDARD} \sqrt{\frac{\sum (\bar{X} - X_i)^2}{13}} = 0.1154$$

STANDARD DEVIATION

COEFICIENTE DE VARIACION V = 53.8%

VARIATION COEFFICIENT

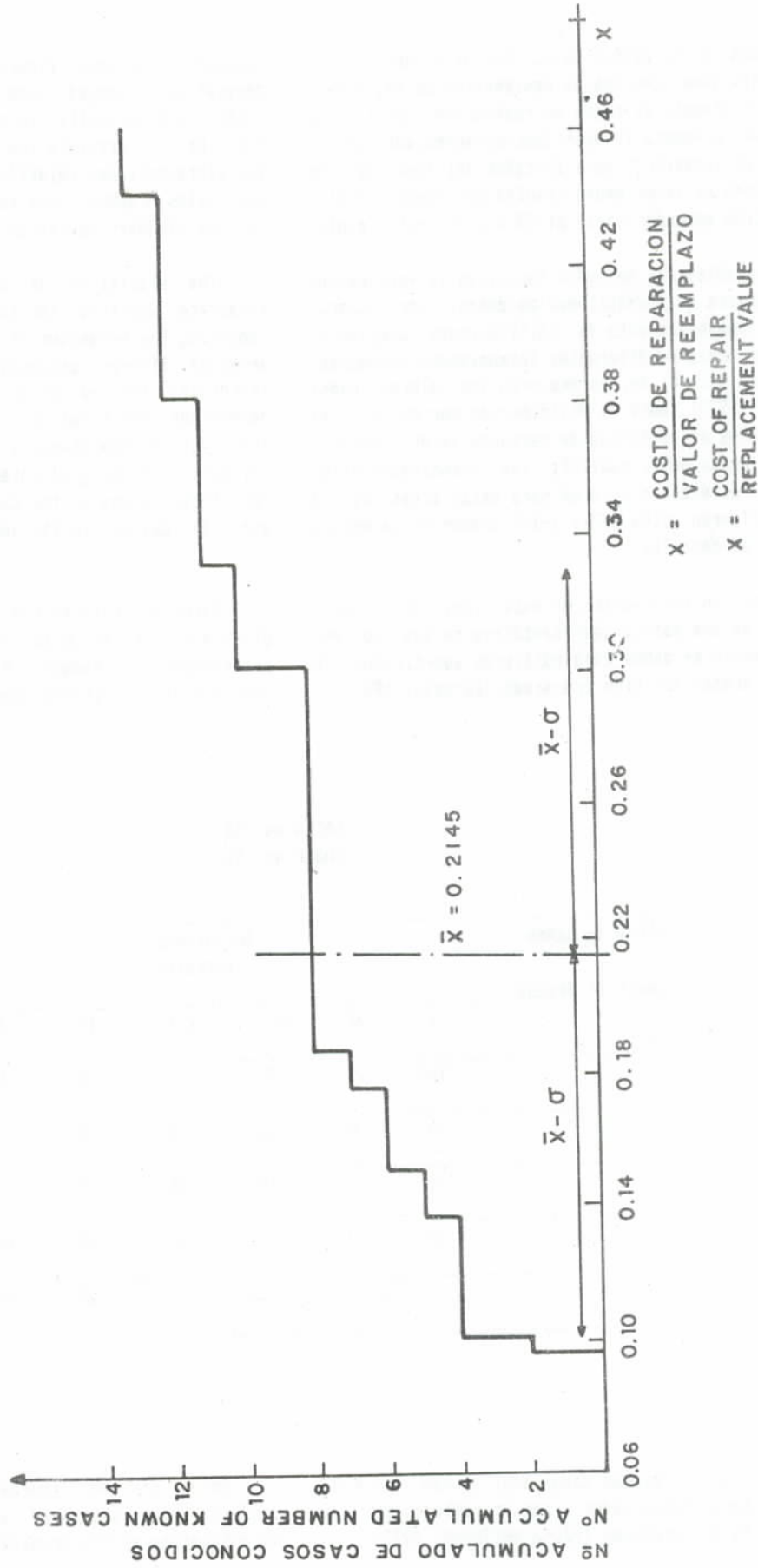


Fig. 24

sus columnas en la planta baja. Por otro lado, daños muy generalizados como los de Residencias Unión, elevaron sustancialmente el costo de reparación. En la Fig. No. 24 se presenta la distribución acumulada de la relación en cuestión, para 13 casos del área de Los Palos Grandes el valor medio resultó ser igual a 0.21 y la desviación estandar igual al 53.8 % del valor medio.

Las estadísticas de daños facilitan la formulación de las matrices de probabilidad de daños, por comparación del comportamiento de edificaciones semejantes ubicadas en áreas de diferentes Intensidades asignadas. En la Tabla No. 31 se reprodujeron los valores dados por ARCIA (1970) sobre la distribución porcentual del nivel de daños en edificios de estructuración comparable en dos áreas de la capital; las Intensidades asignadas por diferentes autores para estas áreas de la capital, difieren entre 1/2 y 1-1/2 grados en la escala modificada de Mercalli.

Basados en información de este tipo, en la Tabla No. 38 se da una matriz representativa de los porcentajes promedio de daños para edificios aperticados de concreto - armado del tipo pre-sismo (Caracas, 1967).

damaged on the lower floors. On the other hand, very generalized damages such as the case of Residencias Unión, substantially increased the cost of repair. Fig. No. 24 presents the accumulated distribution of the aforementioned relation for 13 cases in the area of Los Palos Grandes; the mean value was equal to 0.21 and the standard deviation equal to 53.8%.

The statistics of damage make it easier to formulate matrices for the probability of damage by comparing the behaviour of similar buildings located in areas of different assigned intensities. Table No. 31 reproduces the values given by ARCIA (1970) on the percentage distribution of the level of damage in buildings of comparable structure in two areas of the capital. The assigned intensities by different authors for these areas of the Capital differ by between 1/2 and 1-1/2 degrees in the modified Mercalli scale.

Based on information of this type, Table No. 38 gives a matrix which is representative of the mean percentages of damage to buildings of reinforced concrete of the pre-earthquake type (Caracas, 1967).

TABLA No. 38
TABLE No. 38

Nivel de Daños Level of damage	Intensidad Intensity						
	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI
0	100	90	57	15	0	0	0
1	0	8	23	20	0	0	0
2	0	2	15	45	35	0	0
3	0	0	4.5	15	40	40	20
4	0	0	0.5	5	25	60	80

Algunas de las cifras dadas aquí se han estimado con un criterio conservador y son un reflejo de las incertidumbres del problema (véase WHITMANN, 1972).

Some of the figures given here have been conservatively estimated and are a result of the uncertainties of the problem (see WHITMANN, 1972).

1.4 CALCULO DE LAS PERDIDAS ESPERADAS Y DISCUSION SOBRE LA VALIDACION

1.4.1 Sensibilidad de las funciones adoptadas para el cálculo de las pérdidas probables

El algoritmo adoptado para el cálculo de las pérdidas probables se da en la Sección 2.4 (Vol. 13A). Con el fin de evaluar mejor la sensibilidad del algoritmo y de las funciones propuestas, se ha hecho un estudio paramétrico cuyos resultados se dan en forma gráfica en las Figuras No. 25 a No. 30. En ellas se ha utilizado como variable auxiliar la demanda de ductilidad normalizada:

$$\delta = \frac{D_d}{D_{\text{m\`{a}x}}}$$

De este modo:

$$\bar{\delta} = \frac{\bar{D}_d}{D_{\text{m\`{a}x}}} \quad \text{representa la demanda media de ductilidad normalizada;}$$

$$\delta_c = \frac{1}{D_{\text{m\`{a}x}}} \quad \text{Se puede interpretar como la demanda de ductilidad normalizada a nivel cedente; este parámetro varía típicamente entre 0.25 y 0.50 para los diseños anteriores al terremoto de 1967.}$$

$f(\delta)$ y $\pi(\delta)$ son las funciones de densidad de probabilidades y de pérdidas, respectivamente de las demandas de ductilidad normalizadas δ .

Tomando la notación anterior, la pérdida probable que está representada en las ordenadas de las figuras No. 25 a No. 30, se calcula como:

$$\text{PERDIDA PROBABLE (PROBABLE LOSS)} = \int_0^{\infty} f(\delta) \cdot \pi(\delta) \cdot d\delta$$

En las abscisas se ha variado δ entre 0.1 y 1.4, con lo cual se obtienen pérdidas desde valores inferiores a 10^{-5} hasta valores cercanos a la unidad. Al exponente de la función de pérdidas r se le han asignado los valores 1 y 3.

1.4 CALCULATION OF THE EXPECTED LOSSES AND DISCUSION ON VALIDATION

1.4.1 Sensibility of the adopted functions for the calculation of expected losses

The algorithm adopted for the calculation of expected losses is given in section 2.4.1 (Vol. 13A). In order to better evaluate the sensibility of the algorithm and of the proposed functions, a parametric study has been made, and the results are given in graphic form in Figures No. 25 to 30. In them an auxiliary variable, the demand of the normalized ductility has been used.

Thus:

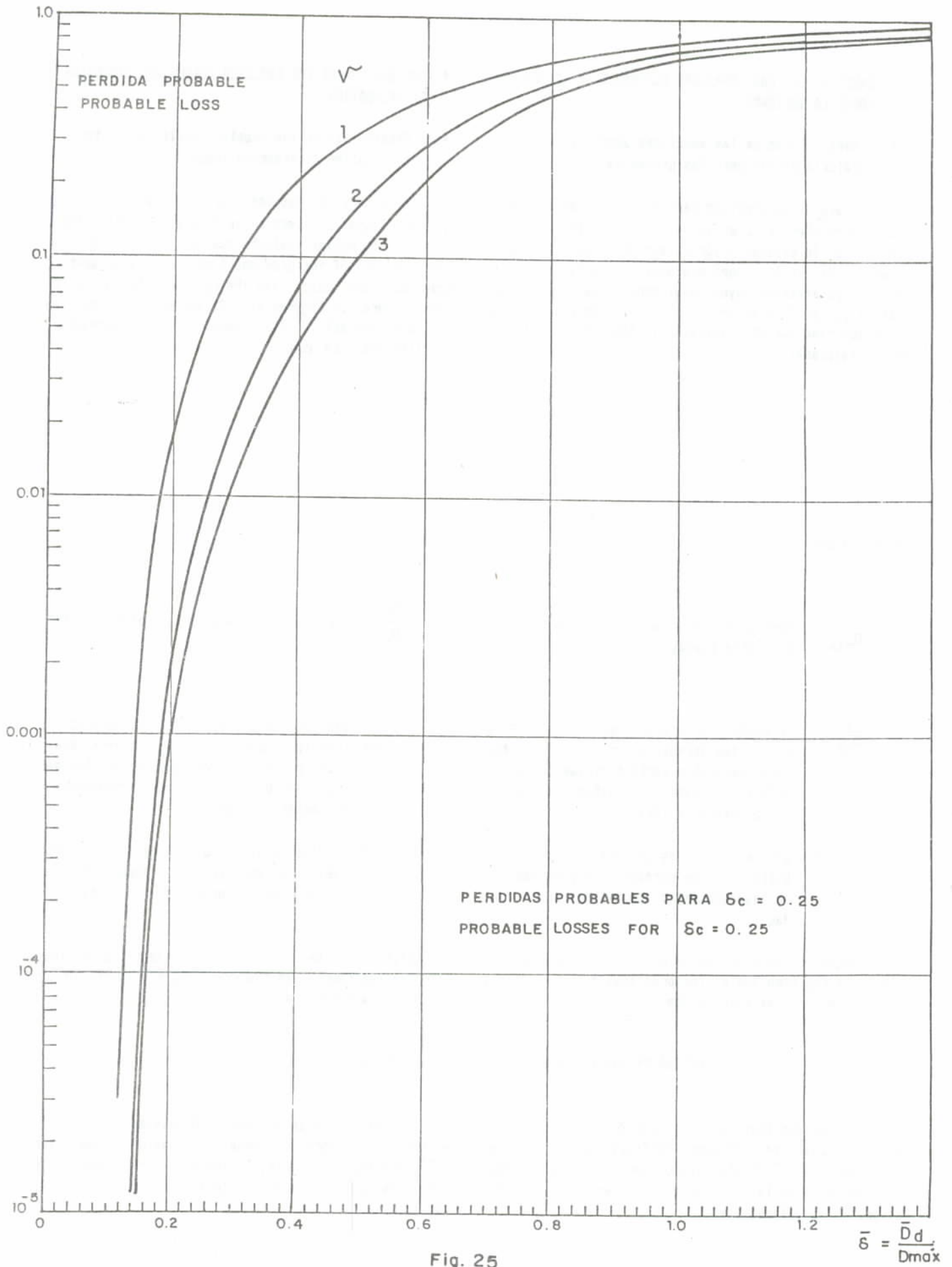
$$\bar{\delta} = \frac{\bar{D}_d}{D_{\text{max}}} \quad \text{represents the mean demand of normalized ductility;}$$

$$\delta_c = \frac{1}{D_{\text{max}}} \quad \text{can be interpreted as the demand of normalized ductility at a cedent level; this parameter typically varies between 0.25 and 0.50 for the design previous to the earthquake of 1967.}$$

$f(\delta)$ and $\pi(\delta)$ are the functions of the density of probabilities and losses, respectively of the demands of normalized ductility δ .

Utilizing the above notation, the probable loss which is represented in the ordinates of Figures No. 25 to 30, is calculated as:

In the abscissas has varied δ between 0.1 and 1.4, with which are obtained losses from values less than 10^{-5} to values near unity. The values of 1 and 3 have been assigned to the exponent of the function of losses.



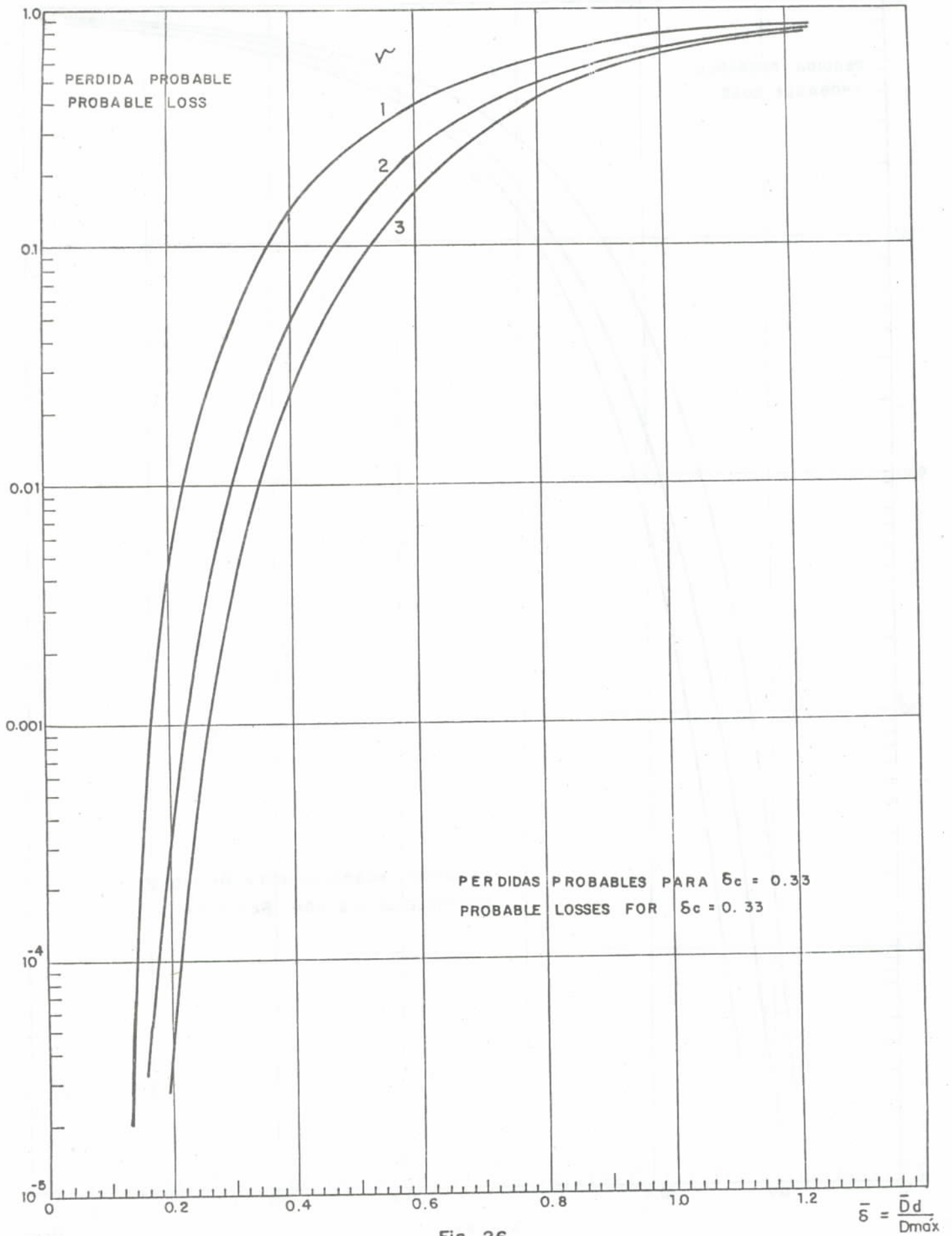


Fig. 26

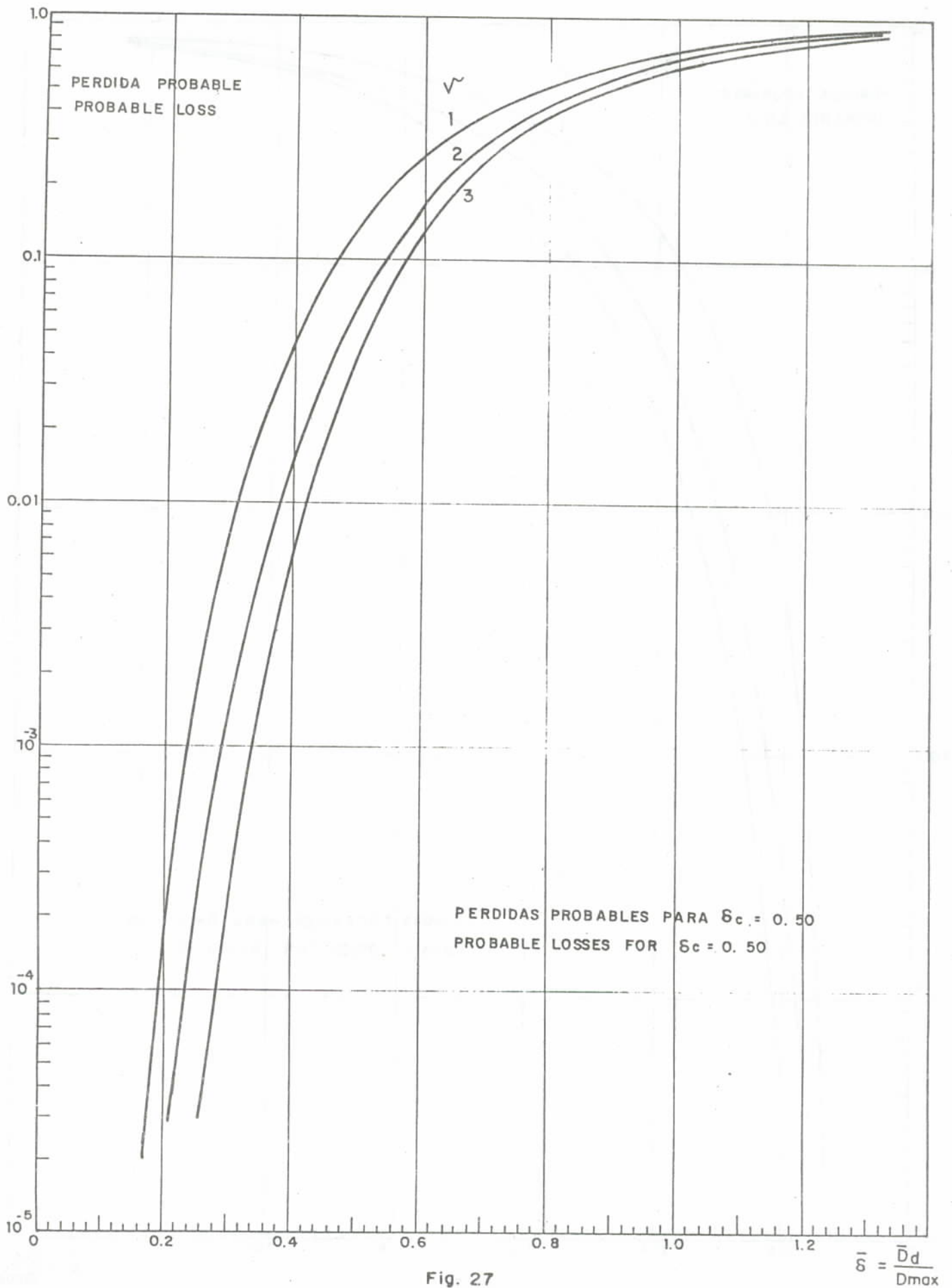


Fig. 27

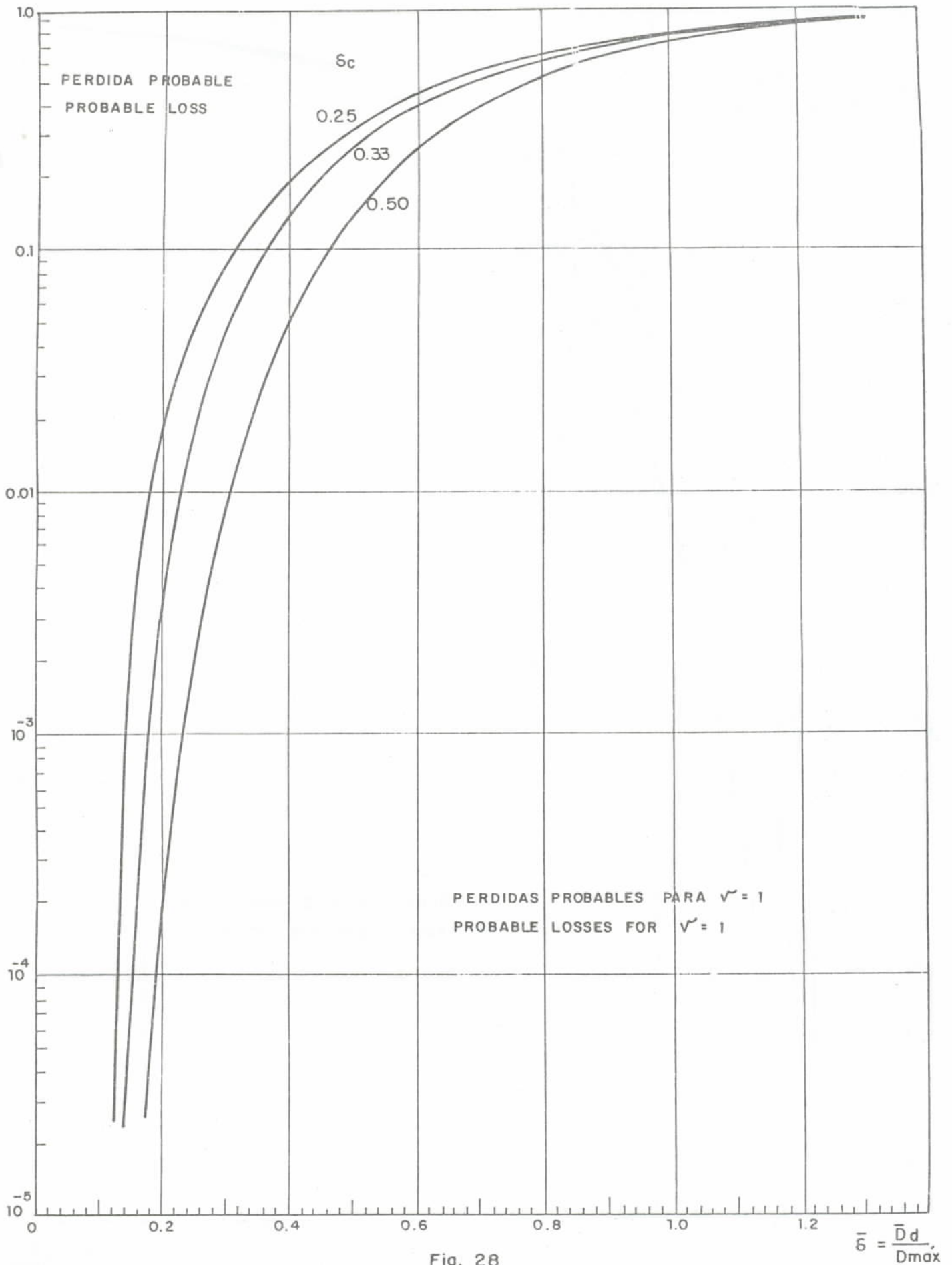


Fig. 28

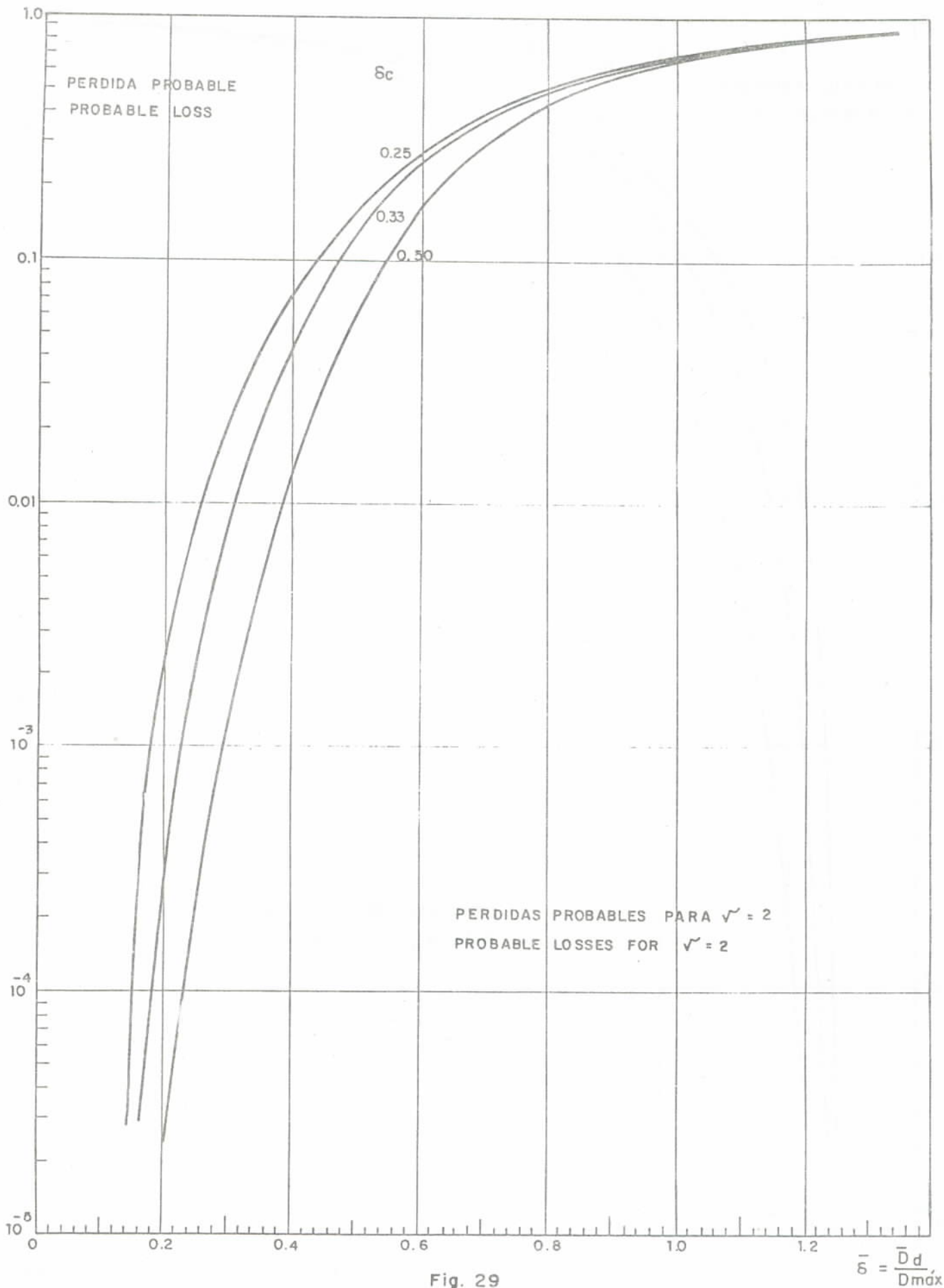


Fig. 29

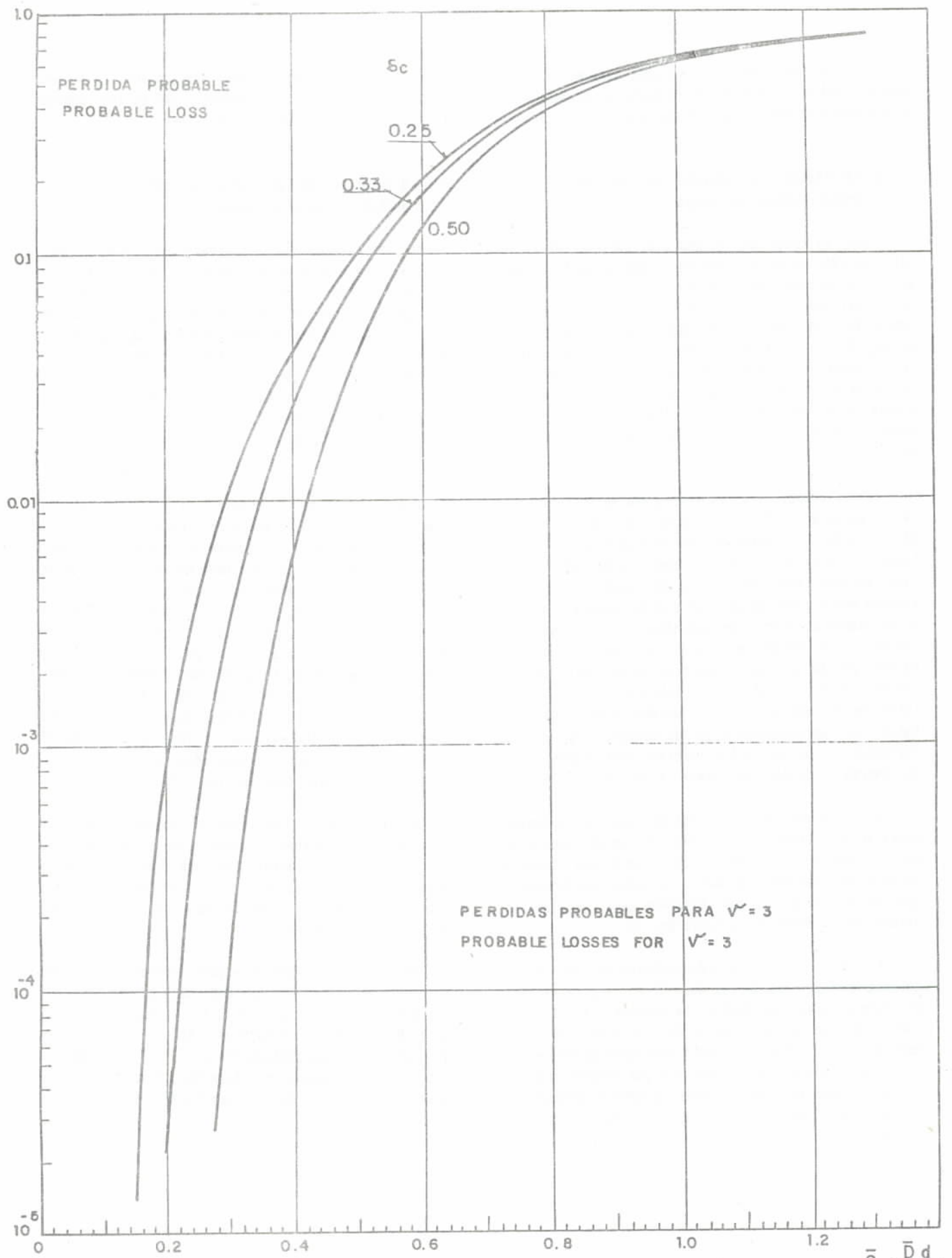


Fig. 30

Se constata en este estudio paramétrico la sensibilidad de la función de pérdidas al exponente r y a la demanda de ductilidad normalizada a nivel cedente,

This parametric study shows the sensibility of the function of losses to the exponent r and to the demand of ductility at a normalized yield level.

1.4.2 Resultados del cálculo de pérdidas y de probabilidades de colapso

1.4.2 Results of the Calculation of losses and probabilities of collapse

Para la fecha del terremoto de Caracas del 29 de julio de 1967 existían todos los tipos de edificaciones aquí tipificados, salvo el No. 11. La distribución porcentual por fecha de construcción se da en las Tablas No. 18 a No. 23; igualmente los valores ponderados CD_c , D_m y D_u (véase la Sección 1.2.6.4). Todos ellos serán utilizados en el cálculo de las pérdidas. La variable "altura" o "número de pisos" fue reducida a grupos bien definidos al calcular los factores de reconciliación μ dados en la Sección 1.2.6.3, Tabla No. 17.

On the date of the earthquake of Caracas, July 29th 1967, there existed all types of buildings here typified, except for No. 11. The percentage distribution by date of construction is given in Tables No. 18 to 23; also the weighed values of CD_c , D_m and D_u (see Section 1.2.6.4). All of them will be utilized in the estimation of losses. The variable "height" or "number of floors" was reduced to well defined groups by calculating the reconciliation factors μ given in Section 1.2.6.3, Table 17.

La información antes mencionada se sintetiza en las columnas No. 1, 2, 3, 5 y 6 de las Tablas No. 39, No. 40 y No. 41 contenidas en esta sección. En la columna #9 se da el valor de reemplazo de cada tipo y cada período medio de edificación (obsérvese que el período medio puede agrupar un cierto rango de alturas o de número de pisos) correspondiente al tipo de suelo indicado en el encabezamiento de cada tabla; la distribución porcentual según cada tipo de subsuelo, es la indicada en la Sección 1.2.4, Tabla No. 14. Los valores de A_0 que se dan en el encabezamiento de cada tabla, son representativos de las aceleraciones máximas estimadas en los diferentes informes presentados a raíz del terremoto de Caracas (véase la Sección 1.3.1).

The above mentioned information is synthesized in columns No. 1, 2, 3, 5 and 6 of Tables No. 39, 40 and 41, in this section. In column No. 9 the replacement value for each type and each mean period of building (take note that the mean period can group a certain range of heights, or a certain number of floors) corresponding to the type of soil indicated in the heading of each table is given; the percentage distribution, according to each type of subsoil is that indicated in Section 1.2.4, Table No. 14. The values of A_0 which are given in the heading of each table are representative of the maximum accelerations estimated in the different reports presented as a result of the earthquake of Caracas (see Section 1.3.1).

En la columna No. 4 se anota el valor de la demanda media de ductilidad \bar{D}_d calculado en los términos dados en la Sección 1.3 (Vol. 13A), para cada tipo de edificación, período fundamental y suelo; evidentemente que en su cálculo se han utilizado cada uno de los valores de μ dados en la Tabla No. 17.

In column No. 4 the value of the mean demand of ductility \bar{D}_d calculated in terms given in Section 1.3 (Vol. 13A) is indicated, for each type of building fundamental period, and soil; it is evident that each one of the values of μ given in Table No. 17 has been used in its calculation.

El valor de la pérdida probable anotado en la columna No. 7 de las Tablas No. 39 a 41, se ha hecho en base al algoritmo dado en la Sección 2.4.1.1 (Vol. 13A), utilizando las Figuras No. 25 a No. 30 de la Sección 1.4.1. Ese valor está expresado en porcentaje (%) y será aplicado directamente a los números anotados en la columna No. 9 para obtener la pérdida probable en 10^6 Bs, para cada tipo de suelo, tipo de edificación y período.

The value of the probable loss indicated in column 7 of Tables No. 39 to 41, has been done on the basis of the algorithm given in Section 2.4.1.1 (Vol. 13A) using Figures No. 25 to 30 of Section 2.4.1. This value is expressed in a percentage (%) and will be applied directly to the numbers in column No. 9 to obtain the probable loss in 10^6 Bs for each type of soil, type of building and period.

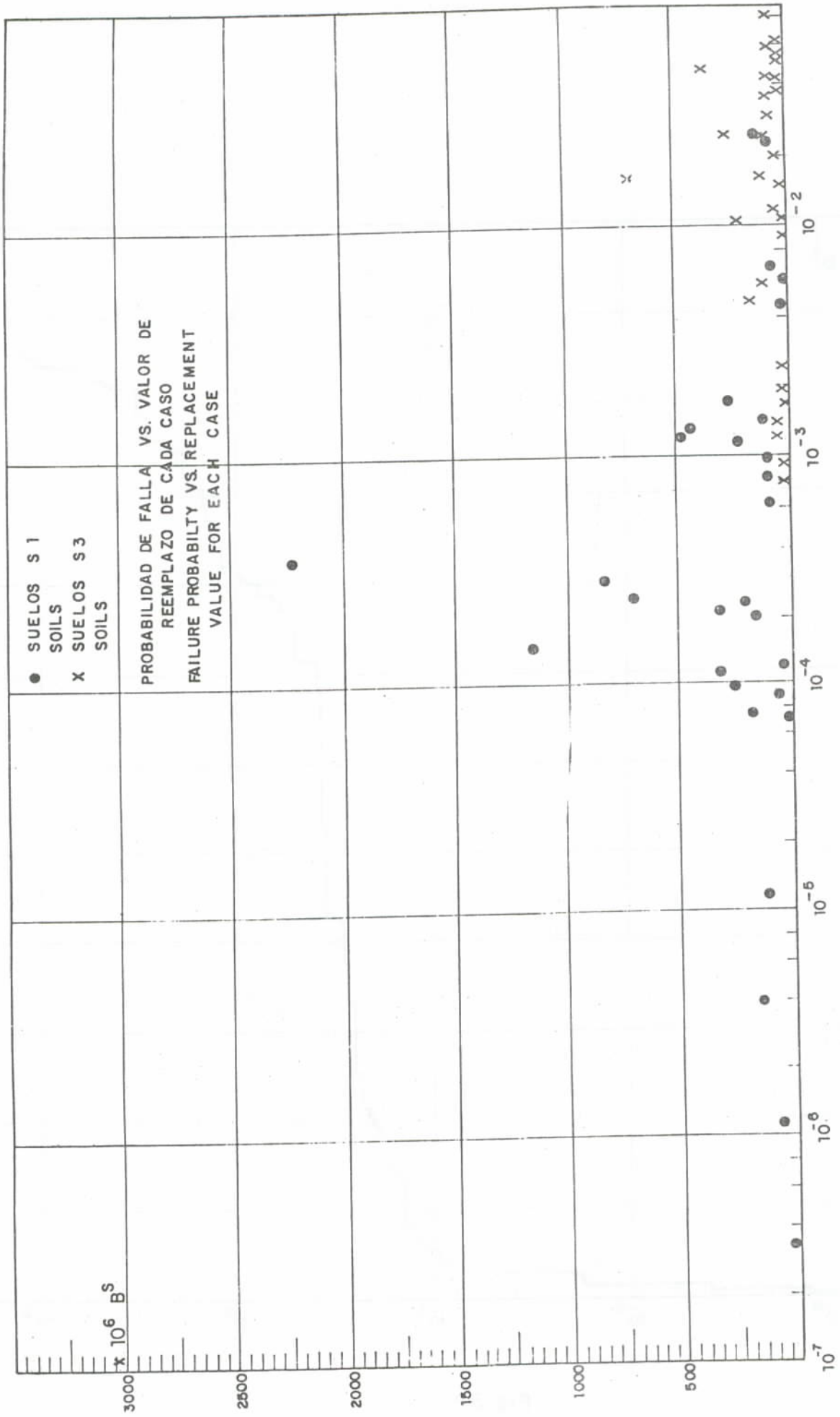


Fig. 31

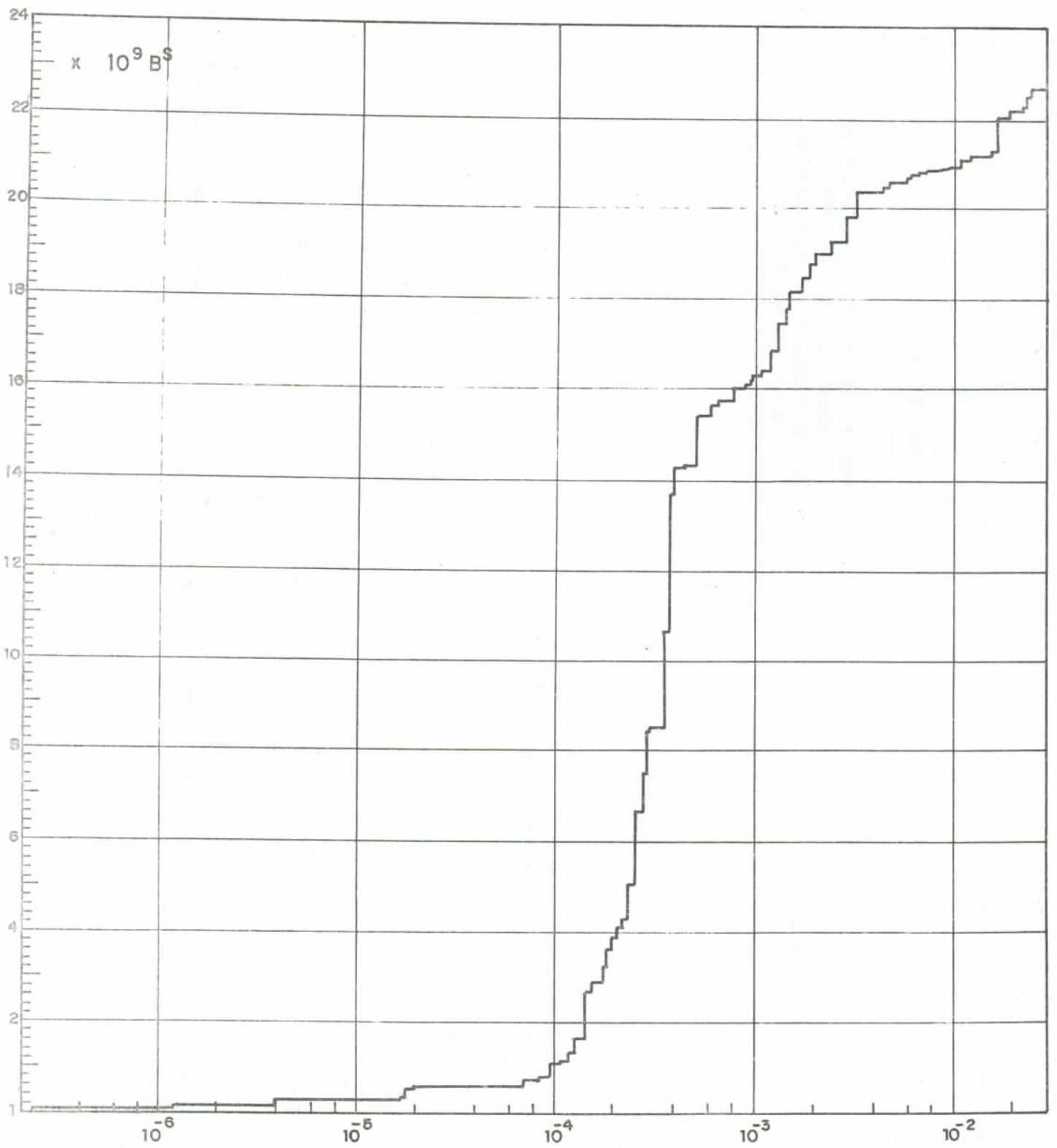


Fig. 32

TABLA No. 39 a
TABLE No. 39 a

Suelo tipo (Type of soil) S 1				$\bar{\beta} = 2,2$	$T \pm = 0,4 \text{ seg}$	$\rho = 0,8$	$A_0 = 0,04 g$	
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Edif. Tipo Type Building	T (seg)	$\bar{C}D_c$	\bar{D}_d	\bar{D}_m	\bar{D}_u	π (%)	P_F 10^{-3}	Valor de reemplazo Value of replacement $10^6 Bs$
1	0,15	0,13	0,59	2,2	4,4	0,02	1,3	444,8
	0,30	0,13	0,56	2,2	4,4	0,01	1,2	482,8
2	0,15	0,13	0,59	2,3	3,1	0,015	24	142,6
	0,30	0,13	0,56	2,3	3,1	0,01	23	87,8
3	0,15	0,12	0,64	2,6	5,1	0,20	0,23	212,1
	0,30	0,12	0,61	2,6	5,1	0,10	0,20	162,0
4	0,50	0,060	1,0	3,5	5,5	2,5	0,36	2.270,9
	0,60	0,055	1,0	3,5	5,5	0,8	0,29	836,3
	0,90	0,050	0,84	3,5	5,5	0,4	0,15	1.168,5
	1,30	0,045	0,73	3,5	5,5	0,15	0,096	250,0
	1,60	0,040	0,72	3,5	5,5	0,1	0,11	32,7
5	0,50	0,06	1,06	3,5	4,9	4,5	1,7	265,0
	0,60	0,055	1,00	3,5	4,9	3,2	1,4	105,6
	0,90	0,05	0,84	3,5	4,9	1,3	0,82	100,5
6	0,50	0,065	0,98	3,5	5,5	0,7	0,24	699,8
	0,60	0,060	0,92	3,5	5,5	0,6	0,21	330,1
	0,90	0,055	0,76	3,5	5,5	0,3	0,11	322,2
	1,30	0,050	0,66	3,5	5,5	0,05	0,073	168,8
7	0,50	0,065	0,98	3,0	4,9	6,0	1,4	227,1
	0,60	0,060	0,92	3,0	4,9	4,5	0,97	105,6
	0,90	0,055	0,76	3,0	4,9	1,9	0,63	100,5
8	0,30	0,06	1,39	5,0	7,0	3,0	0,017	114,0
	0,70	0,055	0,89	5,0	7,0	0,35	0,0012	68,4
	1,30	0,05	0,66	5,0	7,0	0,01	0,00075	144,8
	1,90	0,04	0,66	5,0	7,0	0,01	0,00033	17,2

TABLA No. 39 b
TABLE No. 39 b

Suelo Tipo (Type of soil) S 1				$\bar{\beta} = 2,2$	$T^* = 0,4 \text{ seg}$	$\rho = 0,8$	$A_0 = 0,04 \text{ g}$	
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Edif. Tipo Type Building	T (seg)	$\bar{C}D_c$	\bar{D}_d	\bar{D}_m	\bar{D}_u	π (%)	P_f 10^{-3}	Valor de reemplazo Value of replacement 10^6 Bs
9	0,90	0,14	0,30	3,0	5,0	-	0,089	53,8
	1,15	0,14	0,23	3,0	5,0	-	0,070	13,8
10	0,15	0,20	0,41	2,0	3,5	0,01	6,6	91,2
11	-	-	-	-	-	-	-	-
12	0,15	0,28	0,33	2,5	3,5	-	5,9	0,8
13	0,15	0,28	0,33	2,5	3,5	-	5,9	6,6
	0,30	0,28	0,28	2,5	3,5	-	4,5	39,9
								----- 9.066,4

TABLA No. 40 a
 TABLE No. 40 a

Suelo Tipo (Type of soil) S 2				$\beta = 2,2$	$T_s = 0,6 \text{ seg}$	$p = 0,7$	$A_0 = 0,06 g$	
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Edif. Tipo Type Building	T (seg)	$\bar{C}D_c$	\bar{D}_d	\bar{D}_m	\bar{D}_u	π (%)	P_F 10^{-3}	Valor de reemplazo Value of replacement $10^6 \cdot B_s$
1	0,15	0,13	0,88	2,2	4,4	0,9	3,3	585,3
	0,30	0,13	0,84	2,2	4,4	9,6	2,9	635,3
2	0,15	0,13	0,88	2,3	3,1	0,8	44	187,7
	0,30	0,13	0,84	2,3	3,1	0,5	39	115,5
3	0,15	0,12	0,95	2,6	5,1	1,9	0,71	279,1
	0,30	0,12	0,91	2,6	5,1	1,4	0,62	213,2
4	0,50	0,060	1,08	3,5	5,5	2,2	0,39	2.988,1
	0,60	0,055	1,16	3,5	5,5	3,0	0,53	1.100,4
	0,90	0,050	0,98	3,5	5,5	1,5	0,26	1.537,5
	1,30	0,045	0,88	3,5	5,5	0,65	0,186	329,0
	1,60	0,040	0,88	3,5	5,5	0,6	0,18	43,0
5	0,50	0,06	1,08	3,5	4,9	4,9	1,9	348,8
	0,60	0,055	1,16	3,5	4,9	6,8	2,4	138,9
	0,90	0,05	0,98	3,5	4,9	3,0	1,32	132,3
6	0,50	0,065	1,00	3,5	5,5	0,8	0,29	920,8
	0,60	0,060	1,07	3,5	5,5	2,4	0,39	434,3
	0,90	0,055	0,89	3,5	5,5	0,65	0,18	423,9
	1,30	0,050	0,79	3,5	5,5	0,38	0,123	222,2
7	0,50	0,065	1,00	3,0	4,9	6,5	1,4	298,7
	0,60	0,060	1,07	3,0	4,9	9,0	1,9	138,9
	0,90	0,055	0,89	3,0	4,9	4,0	0,97	132,3
8	0,30	0,06	2,08	5,0	7,0	13,0	0,457	150,0
	0,70	0,055	1,83	5,0	7,0	8,5	0,15	90,0
	1,30	0,05	1,38	5,0	7,0	2,5	0,01775	190,5
	1,90	0,04	1,40	5,0	7,0	3,3	0,01833	22,7

TABLA No. 40 b
TABLE No. 40 b

Suelo Tipo (Type of soil) S 2				$\bar{\beta} = 2,2$	$T* = 0,6 \text{ seg}$	$\rho = 0,7$	$A = 0,06 \text{ g}$	
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Edif. Tipo Type Building	T (seg)	$\bar{C}\bar{D}$	\bar{D}	\bar{D}	\bar{D}	π (%)	P	Valor de reemplazo Value of replacement 10 - Bs
							10	
9	0,90	0,14	0,64	3,0	5,0	0,05	0,30	79,8
	1,15	0,14	0,57	3,0	5,0	0,01	0,24	18,2
10	0,15	0,20	0,62	2,0	3,5	0,50	12	120,0
11	-	-	-	-	-	-	-	-
12	0,15	0,28	0,50	2,5	3,5	-	8,9	1,0
13	0,15	0,28	0,50	2,5	3,5	-	8,9	8,7
	0,30	0,28	0,44	2,5	3,5	-	7,5	52,9
								11.929,4

TABLA No. 41 a
TABLE No. 41 a

Suelo Tipo (Type of soil) S 3				$\bar{\beta} = 2,0$	$T^* = 1,0 \text{ seg}$	$\rho = 0,6$	$A_0 = 0,08 \text{ g}$	
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Edif. Tipo. Type Building	T (seg)	$\bar{C}\bar{D}_c$	\bar{D}_d	\bar{D}_m	\bar{D}_u	π (%)	P_F 10^{-3}	Valor de reemplazo Value of replacement $10^6 \cdot B_s$
1	0,15	0,13	1,08	2,2	4,4	4,5	5,9	140,5
	0,30	0,13	1,02	2,2	4,4	2,8	4,8	152,5
2	0,15	0,13	1,08	2,3	3,1	4,0	63	45,0
	0,30	0,13	1,02	2,3	3,1	2,2	55	27,7
3	0,15	0,12	1,17	2,6	5,1	6,2	1,5	67,0
	0,30	0,12	1,10	2,6	5,1	3,5	1,2	51,2
4	0,50	0,060	2,29	3,5	5,5	31,0	17	717,1
	0,60	0,055	2,45	3,5	5,5	43,0	25	264,1
	0,90	0,050	2,68	3,5	5,5	49,0	39	369,0
	1,30	0,045	2,61	3,5	5,5	46,0	36	79,0
	1,60	0,040	2,63	3,5	5,5	47,0	38	10,3
5	0,50	0,06	2,29	3,5	4,9	45,0	44	83,7
	0,60	0,055	2,45	3,5	4,9	52,0	58	33,3
	0,90	0,05	2,68	3,5	4,9	40,0	84	31,7
6	0,50	0,065	2,11	3,5	5,5	27,0	11	221,0
	0,60	0,060	2,26	3,5	5,5	30,0	16	104,2
	0,90	0,055	2,44	3,5	5,5	42,0	24	101,7
	1,30	0,050	2,35	3,5	5,5	37,0	20	53,3
7	0,50	0,065	2,11	3,0	4,9	50,0	30	71,7
	0,60	0,060	2,26	3,0	4,9	58,0	41	33,3
	0,90	0,055	2,44	3,0	4,9	64,0	59	31,7
8	0,30	0,06	2,53	5,0	7,0	25,0	2,4	36,0
	0,70	0,055	2,47	5,0	7,0	22,0	1,9	21,6
	1,30	0,05	2,34	5,0	7,0	19,0	1,2	45,7
	1,90	0,04	2,42	5,0	7,0	20,0	1,7	5,5

TABLA No. 41 b
TABLE No. 41 b

1	Suelo Tipo (Type of soil) S 3			$\beta = 2,0$	$T^* = 1,0 \text{ seg}$	$\mu = 0,6$	$A_0 = 0,08 \text{ g}$	
	2	3	4	5	6	7	8	9
Edif. Tipo Type Building	T (seg)	$\bar{C}D_c$	\bar{D}_d	\bar{D}_m	\bar{D}_u	π (%)	P_F 10^{-3}	Valor de reemplazo Value of replacement 10^6 Bs
9	0,90	0,14	0,95	3,0	5,0	0,4	0,94	16,9
	1,15	0,14	0,89	3,0	5,0	0,28	0,74	4,4
10	0,15	0,20	0,76	2,0	3,5	1,80	16	28,8
11	-	-	-	-	-	-	-	-
12	0,15	0,28	0,60	2,5	3,5	0,010	11	0,2
13	0,15	0,28	0,60	2,5	3,5	0,010	11	2,1
	0,30	0,28	0,54	2,5	3,5	-	9,1	12,6
								2.863,0

La pérdida ponderada correspondiente a cada tipo de edificación y período se da en la columna #6 de la Tabla 42. Nótese que la ponderación fue hecha de acuerdo a la distribución porcentual de área urbanizada en el valle de Caracas, con lo cual:

$$\pi \text{ ponderada} = 0,38 \pi_{S1} + 0,50 \pi_{S2} + 0,12 \pi_{S3}$$

(weighed)

donde: π_{S1} , π_{S2} , π_{S3} son las pérdidas en cada uno de los tres tipos de suelo.

En la Tabla No. 42 también se anota la probabilidad ponderada de colapso (columna #4) la cual, al igual que para el cálculo de las pérdidas, es la suma ponderada de los valores dados en las Tablas No. 39 a No. 41. Dado que las funciones $F_{Du}(d)$ y $F_{Dd}(d)$ se han supuesto provenientes de una distribución normal y que además son estadísticamente independientes, la probabilidad de falla para cada caso se calculó como:

$$P_f = P [D_d > D_u] = \int_0^{\infty} F_{Du}(d) \times f_{Dd}(d) \cdot dd = F_U(-\beta)$$

donde F_U es la distribución normal estándar y β es el llamado índice de confiabilidad, igual a:

$$\beta = \sqrt{\sigma_{Du}^2 + \sigma_{Dd}^2} / (\bar{D}_u - \bar{D}_d)$$

Para σ_{Du} se ha adoptado un valor constante de la varianza, cercano al estimado de la media e igual a $1,25^2$, en tanto que para σ_{Dd} se ha utilizado el coeficiente de variación de 0,38 indicado en la Sección 3.2.

1.4.3 Discusión sobre la validación

a) pérdidas referidas al valor de reemplazo

La cifra que se da en los informes sobre el terremoto de Caracas como pérdida en edificaciones es del orden de los 500 millones de Bolívares, la cual no ha podido ser descompuesta en subpartidas. De los informes se desprende que la misma cifra totaliza los fondos destinados por el entonces Banco Obrero (hoy INAVI) para la reparación, reforzamiento y reconstrucción de edificaciones afectadas; por tanto, aquí que debe entenderse como una cota inferior. Para alcanzar el total de pérdidas, a la cifra anterior debe sumarse una cifra

The weighed loss corresponding to each type of building and period is given in column No. 6 of Table No. 42. Note that the weighing was done in accordance with the percentage distribution of the urbanized area in the Valley of Caracas with which:

where: π_{S1} , π_{S2} , π_{S3} are the losses in each one of the three types of soil.

Table No. 42 also indicates the weighed probability of collapse (column 4), which as well as for the calculation of losses, is the weighed sum of the values given in Tables No. 39 to 41. Given that the functions $F_{Du}(d)$ y $F_{Dd}(d)$ are supposed to have come from a normal distribution, and furthermore are statistically independent; the probability of failure for each case is calculated:

where F_U is the standard normal distribution and β is the so called index of reliability equal to:

For σ_{Du} a constant value of variance has been adopted close to the estimated mean and equal to 1.25^2 , whereas for σ_{Dd} the coefficient of variation 0.38 as indicated in Section 3.2 has been used.

1.4.3 Discussion on Validation

a) Losses referred to the value of replacement

The figure which is given in the reports of the earthquake of Caracas, as loss in buildings is on the order of 500 million bolívares, a sum which has not been possible to segregate. From the reports, one concludes that the sum is the total amount of funds destined by the then Banco Obrero (today INAVI) for the repair, reinforcement and reconstruction of affected buildings. Therefore, it must be understood that this is a lower limit. In order to reach a total for the losses, a sum which corresponds to the damages repaired

TABLA NO. 42
TABLE No. 42

1	2	3	4	5	6
Tipo Type	T (seg)	Valor absoluto Absolute value (10 ⁶ Bs)	Probabilidad ponderada de colapso 10 ⁻³ Weighted probability for collapse 10 ⁻³	π Ponderado* Weighted %	Perdida ponderada* debido a π (10 ⁶ Bs) Weighted loss due to π (10 ⁶ Bs)
1	0,15	1.170,5	2,851	0,998	11,70
	0,30	1.270,5	2,486	0,640	8,13
2	0,15	375,4	38,685	0,885	3,32
	0,30	231,0	34,839	0,518	1,19
3	0,15	558,3	0,622	1,770	9,88
	0,30	426,4	0,510	1,158	4,94
4	0,5	5.976,2	2,372	5,770	344,81
	0,6	2.200,8	3,375	6,964	153,26
	0,9	3.075,0	4,867	6,782	208,55
	1,3	658,0	4,446	5,880	38,69
	1,6	86,0	4,692	5,967	5,13
5	0,5	697,5	6,876	9,565	66,68
	0,6	277,9	8,692	10,846	30,14
	0,9	264,5	11,116	9,185	24,29
6	0,5	1.841,6	1,561	3,906	71,94
	0,6	868,7	2,195	5,026	43,66
	0,9	847,8	3,012	5,477	46,43
	1,3	444,3	2,488	4,648	20,65
7	0,5	597,5	4,832	11,530	68,89
	0,6	277,9	6,239	13,158	36,57
	0,9	264,5	7,799	10,393	27,49
8	0,3	300,0	0,519	10,640	31,92
	0,7	180,0	0,303	7,023	12,64
	1,3	381,0	0,152	3,533	13,46
	1,9	45,4	0,213	4,076	1,85
9	0,9	141,5	0,297	0,073	0,10
	1,15	36,3	0,235	0,039	0,01
10	0,15	240,0	10,428	0,470	1,13
11	-	-	-	-	-
12	0,15	2,0	8,012	0	0
13	0,15	17,3	8,012	0	0
	0,30	105,1	6,528	0	0
TOTAL		23.858,9			1.292,0

* 0,38 (efectos S1) + 0,50 (efectos S2) + 0,12 (efectos S3)
0,38 (S1 effects) + 0,50 (S2 effects) + 0,12 (S3 effects)

correspondiente a los daños, reparados o no (incluso aquellos que se denominan ocultos), en edificaciones privadas y/o del Estado, sobre la cual no se ha encontrado ningún tipo de estadísticas. Por otra parte, no se han encontrado reportes sobre pérdidas en instalaciones industriales, líneas de vida, servicios, etc. Parece probable que de haber existido, tarde o temprano, hubiesen sido del conocimiento público*.

Como conclusión de lo anterior, se desprende que las pérdidas debidas exclusivamente a daños en edificaciones, deben exceder a los 500×10^6 Bolívares.

El total de pérdidas que por este concepto se obtiene al aplicar la metodología propuesta es de 1.292×10^6 Bolívares, la cual es 2.58 veces mayor que la anterior. Tomando en consideración que el resultado obtenido proviene de la aplicación de un modelo muy desagregado del problema general de pérdidas, con un elevado número de variables y casos posibles, el orden de magnitud de la predicción parece aceptable.

Lo anterior no quiere decir que la metodología esté adecuadamente validada; para ello es necesaria su aplicación a otros casos.

b) probabilidad ponderada de colapso

En el algoritmo propuesto para el cálculo de la probabilidad de colapso (Sección 2.3, Vol. 13A), la desviación estándar de la demanda última de ductilidad D_u se obtiene en función de la diferencia ($D_{ine} - D_{m\acute{a}x}$); cuando esta diferencia es muy pequeña, con la cual la probabilidad de que D_u no exceda a \bar{D}_d tiende a ser minimizada. Por este motivo se decidió suponer que D_u está asociado a una cierta variabilidad caracterizada por una varianza constante (véase la Sección 1.4.2).

En los dos posibles modos de cálculo, resultan diferencias importantes entre las probabilidades de colapso del Tipo 1 y Tipo 2 (véase la Tabla No. 42), lo cual contrasta con las pequeñas diferencias entre las pérdidas ponderadas para esos dos mismos tipos de edificación. Esto es consecuencia de lo anotado anteriormente (compárense los respectivos valores de las columnas #5 y #6 en las Tablas No. 39 a No. 41).

* La experiencia personal del suscrito en instalaciones industriales ubicadas en Los Cortijos de Lourdes, Urbanización Lebrun, Los Chaguaramos, Catia, El Valle, Cutira, Chacao y La Trinidad, confirma la ausencia de daños incluso moderados.

or not (including those which are denominated as hidden) in private buildings and/or of the Government, for which no statistics have been found must be added to the previous amount. On the other hand, no reports have been found on losses in industrial installations, life lines, services, etc. It seems probable that if they had existed it would have been public knowledge.*

In conclusion, the losses due exclusively to damage in buildings must be considered in excess of 500×10^6 bolívares.

The total loss for this concept obtained by applying the proposed methodology is 1.292×10^6 bolívares, which is 2.58 times greater than the previous sum. Taking into consideration that the obtained result is determined from the application of a disaggregated model of the problem of loss in general, with a large number of variables and possible cases, the order of magnitude of the prediction seems acceptable.

The above does not imply that the methodology is adequately validated. It will be necessary to apply it to other cases.

b) Weighed Probability of Collapse

In the algorithm proposed for the calculation of the probability of collapse (Section 2.3., Vol. 13A), the standard deviation of the final demand of ductility D_u is obtained as a function of the difference ($D_{ine} - D_{max}$); when this difference is very small, the standard deviation also becomes very small, with which the probability that D_u does not exceed \bar{D}_d tends to be minimized. For this reason it was decided to assume that D_u is associated to a certain variability characterized by a constant variant (see Section 1.4.2).

In the two possible modes of calculation, there are important differences between the possibilities of collapse of Type 1 and Type 2 (see Table No. 42), which contrast with small differences between the weighed losses for these same two types of buildings. This is a consequence of what has previously been indicated (compare the respective values of columns 5 and 6 of Tables No. 39 to 41).

* The personal experience of the author in industrial installations located in Los Cortijos de Lourdes, Urbanización Lebrun, Los Chaguaramos, Catia, El Valle, Cutira, Chacao and La Trinidad confirms the non occurrence of damages, even moderated.

Destaca no obstante, que dado un cierto tipo de edificación, caracterizado por sus propiedades dinámicas y resistentes, las probabilidades de colapso calculadas son sensibles a los cambios de subsuelo; en particular las edificaciones de los tipos 4, 5 y 7 en suelos S3, con alturas entre 9 y 15 pisos (períodos medios iguales a 0,9 seg) poseen en cada grupo los mayores valores de p_F (véase la columna # 8 de la Tabla 41 a). Estas son, precisamente, situaciones que caracterizaron los únicos derrumbes de edificios y/o las pérdidas más severas como consecuencia del terremoto del 29 de Julio de 1967; ellos se localizaron predominantemente en la zona de los Palos Grandes.

Los resultados de esta última comparación, probablemente poco sensible al algoritmo que se use para calcular p_F , son alentadores. Tal como fue indicado en la Sección 1.2 al considerar los diferentes tipos de edificaciones, alturas y tipos de suelos, ponderando su distribución según los períodos en que fueron construidas, se generan un total de 93 situaciones diferentes, para cada una de las cuales se ha calculado la probabilidad de falla. Los valores de reemplazo de cada "caso" se han anotado en las Tablas No. 39 a No. 41. Estos se han representado en la Figura No. 31 frente a su correspondiente probabilidad de falla calculada, para suelos Tipo S1 y Tipo S3; no se han incluido los suelos Tipo S2 para evitar congestión en la Figura. Hay dos observaciones interesantes en esa Figura: (i) el desplazamiento hacia el rango de mayores probabilidades de falla del conjunto de "casos" ubicados en suelos de Tipo S3; de manera estimativa, las "modas" de esas distribuciones difieren en casi dos ordenes de magnitud; (ii) el menor valor total de reemplazo de las edificaciones ubicadas en suelos Tipo S3, lo cual es consecuencia de las hipótesis hechas en la Sección 1.2.4.

En la Figura No. 32 se ha representado la distribución acumulada del valor de reemplazo de las edificaciones consideradas en este estudio (valle de Caracas del año de 1967), frente a la probabilidad de falla. Por tanto la línea quebrada permite comparar valores de reemplazo asociados a probabilidades de falla menores que las indicadas en abscisas. De este modo se puede inferir que, para las intensidades del movimiento del terreno adoptadas como representativas del terremoto de 1967, inversiones en vivienda de aproximadamente 2000 millones de Bs se encontraban asociadas a una probabilidad de falla mayor que 10^{-2} . Igualmente un 68% del total tenía una probabilidad de falla menor que 10^{-3} . Las pérdidas probables por concepto del colapso únicamente se pueden cifrar en $12 \times 10^9 \times 4 \times 10^{-4} = 48 \times 10^5$ Bs, las cuales se comparan muy bien con el valor de reemplazo de los 4 edificios que colapsaron totalmente

It is outstanding, however, that given a certain type of building characterized by its dynamic properties and resistance, the probabilities of calculated collapse are sensitive to the changes of subsoil; in particular buildings of Types 4, 5 and 7 in soils S3, with heights between 9 and 15 stories (mean periods equal to 0.9 sec.) have in each group the higher values of p_F (see column No. 8 in Table No. 41 a). These are precisely the situations that characterized the only collapsed buildings and or the most severe losses as a consequence of the earthquake of July 29th, 1967; predominantly in the area of Palos Grandes.

The results of this last comparison, probably not sensible to the algorithm used to calculate p_F are encouraging. As was indicated in Section 1.2 with respect to the different types of buildings, height and types of soil, weighing their distribution according to the periods in which they were constructed, a total of 93 different situations are generated for which the probability of failure has been calculated. The values of replacement in each "case" have been indicated in Tables No. 39 to 41. These are represented in Figure No. 31, as against the corresponding probability of failure calculated for Type S1 soil and Type S3; Type S2 soil has not been included to avoid congestion in the figure. There are two interesting observations in this figure: (i) the displacement to a range of higher probabilities of failure for the set of "cases" located on Type S3 soil; in an estimated manner the "modes" of these distributions differ by almost two orders of magnitude; (ii) the lesser total replacement value of the buildings located in Type S3 soil, which is a consequence of the hypothesis made in Section 1.2.4.

Figure No. 32 represents the accumulated distribution of the replacement value of the buildings considered in this study (Valley of Caracas, 1967), as against the probability of failure. Therefore, the broken line allows one to compare replacement values associated to probabilities of lesser failure than those indicated in the abscisas. In this way it can be inferred that for the intensities of the movement of the ground adopted as representatives of the earthquake of 1967, the investments in housing of approximately 2000 million Bs were associated to a probability of failure greater than 10^{-2} . Also, some 68% of the total had a probability of failure lower than 10^{-3} . The probable losses as a consequence of collapse can only be indicated by $12 \times 10^9 \times 4 \times 10^{-4} = 48 \times 10^5$ Bs, which can be compared to the replacement value of the 4 buildings that totally collapsed in the Valley of Caracas. It

en el valle de Caracas. Obsérvese que la función de pérdidas π incluye estas pérdidas y por tanto están incorporadas en el total anotado en la parte (a) de esta misma sección.

En la Figura No. 33 se representa el número acumulado de viviendas frente al valor de la probabilidad de falla. Se infiere de ese gráfico que 11,5% de las viviendas están asociadas a probabilidades de falla en exceso de 10^{-2} . Un 70% tiene probabilidades de falla menores que 10^{-3} . Aún cuando la distribución no es completamente simétrica, es posible estimar que el número probable de viviendas que colapsaron resulta en el orden de:

$$130.000 \times 4 \times 10^{-4} = 52$$

el cual parece ser inferior al valor real, aunque del mismo orden de magnitud. Lo mismo ocurre con el número de víctimas si se admite la hipótesis hecha en el punto (f) de la Sección 1.2.3, donde se supuso en término medio seis (6) habitantes por vivienda; el número esperado de víctimas resultaría ser igual a $52 \times 6 = 312$, el cual es comparable al ocurrido realmente a raíz del terremoto de 1967.

should be observed that the function of losses π includes these losses and, therefore, are incorporated in the total indicated in part (a) of this Section.

Figure No. 33 represents the accumulated number of houses as against the value of the probability of failure. It can be inferred from this figure that 11.5% of the buildings are associated to probabilities of failure in excess of 10^{-2} . Some 70% have failure probabilities of lower than 10^{-3} . Even though the distribution is not completely symmetrical, it is possible to estimate that the probable number of collapsed housing results on the order of:

which seems inferior to the real value, although of the same order of magnitude. The same thing occurs with the number of victims, admitting the hypothesis in point (f) of Section 1.2.3, where an average of six (6) inhabitants per house is assumed; the number of expected victims should be equal to $52 \times 6 = 312$ which is comparable to what really occurred, due to the earthquake of 1967.

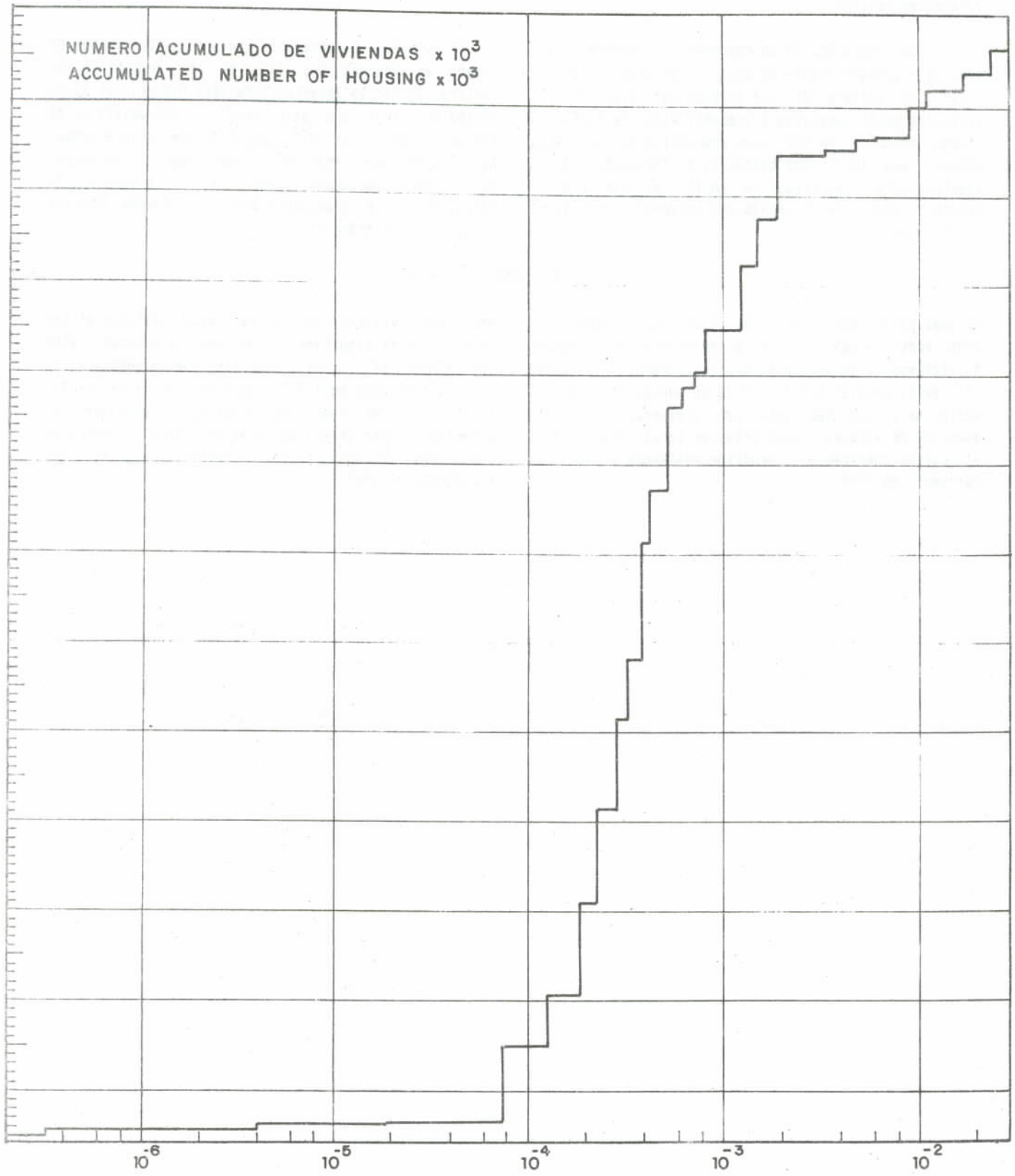


Fig. 33

REFERENCIAS
REFERENCES

- ABENANTE F. y GRASES J. (1969). Contribución al análisis sísmico de estructuras. Caracas, Impresos Acea, 1969 87 p.
- AISKIS, E.B. y REDEL, C. (1972). Consideraciones geológicas y sísmicas sobre el Metro de Caracas. In: Memorias del IV Congreso Geológico Venezolano. Caracas, Ministerio de Minas e Hidrocarburos, 1972. v. 5 : pp. 2913-2936.
- ALONSO G., J.L. y LAROTTA S., J. (1977). Riesgo sísmico y zonación sísmica del Valle de Caracas. In: II Congreso Venezolano de Sismología e Ingeniería Sísmica. Mérida, 1977. 6 p.
- ARCIA, J. (1970). Evaluación de daños-terremoto del 29 de julio de 1967 - Caracas, Venezuela. In: Boletín Técnico IMHE, 8 (31-32): 73 - 137. Jul. Dic. 1970.
- ARCIA, J. (1974). Influencia de la tabiquería en los daños de edificios. Terremoto de Caracas del 29 de julio de 1967. In: I Congreso Venezolano de Sismología e Ingeniería Sísmica. Caracas, 1974. 23 p.
- ASOCIACION VENEZOLANA DE INGENIERIA ESTRUCTURAL (1968). Correspondencia girada con la Comisión de Normas del M.D.F. referentes a la "Norma Provisional para Construcciones Antisísmicas, M.O.P. 1967". En: Boletín de la Asociación Venezolana de Ingeniería Estructural, No. 8, pp. 21-25.
- BERGERET DE COCK, J. (1969). Estudio probabilístico de la frecuencia de ocurrencia sísmica en Caracas. Trabajo especial para reválida del título de Ingeniero Civil. Caracas, Universidad Central de Venezuela, Facultad de Ingeniería, 1969. 46 p.
- BERZ, G. (1977). Venezuela. Riesgo Sísmico; división en zonas de control de cúmulo. Munchener Rückversicherungs-Gesellschaft, 1977. 7 p., anexos.
- BLUME, J.A. (1965) Earthquake Ground Motion and Engineering procedures for important Instalations Near Active Faults", Proceedings, 3rd. World Conf. on Eq. Eng., New Zeland Vol. III, 1965.
- BORGES, J.F. GRASES, J. y RAVARA, A. (1969). Behaviour of tall buildings during the Caracas earthquake of 1967. In: Proceedings of the Fourth world Conference on earthquake Engineering, Santiago de Chile, 1969. V. 3: pp. J-2, 107-123.
- BRAZEE, R.J. (1978). Reevaluation of Modified Mercalli Intensity Scale. NOAA Technical Memorandum EDS-NGSDC-4. Boulder, Colorado, January 1978.
- CLOUD, W.K., (1963). "Maximum accelerations during Earthquakes" proceedings de la Ira. Conferencia sobre Sismología e Ingeniería Sísmica, Santiago de Chile, 1963.
- COLEGIO DE INGENIEROS DE VENEZUELA. (1967). Informe que sobre el sismo presentó la Comisión designada por el Colegio de Ingenieros de Venezuela. En: Boletín de la Sociedad Venezolana de Mecánica del suelo e Ingeniería de Fundaciones. No. 25-26, pp. 38-64. /Reproducido del Boletín del Colegio de Ingenieros de Venezuela, No. 93 - Noviembre-Diciembre, 1967. Caracas, /s.f./
- COMISION PRESIDENCIAL PARA EL ESTUDIO DEL SISMO (1969). Evaluación de los procedimientos y prácticas de construcción en Caracas, su relación con los daños ocasionados por el terremoto del 29 de julio de 1967. En: Boletín de la Asociación Venezolana de Ingeniería Estructural, No. 9: pp. 15-28. / Trabajo presentado en el I Congreso Nacional de Sismología e Ingeniería Antisísmica. Lima, 1969./
- COMISION PRESIDENCIAL PARA EL ESTUDIO DEL SISMO. (1978). Segunda fase del estudio del sismo ocurrido en Caracas, el 29 de julio de 1967. Caracas, FUNVISIS, 1978. 2v.
- ESPINDOSA, A.F. y ALGERMISSEN, S.T. (1972). Soil amplification studies in areas damaged by the Caracas earthquake of

- July, 1967. In: Proceedings of the International Conference on Microzonation, Seattle, Washington, 1972. v. 2: pp. 455-464.
- ESTEVA, L. (1968). El sismo de Caracas del 29 de julio de 1967. Parte 2: Ingeniería Estructural. Informe UNESCO 1968. 18 p., fotografías. (Informe 571 BMS-RD/AVS).
- ESTEVA, L. (1970). "Regionalización sísmica de México para fines de Ingeniería", Instituto de Ingeniería, UNAM, Monografía No. 246, Abril 1970, 18 p.
- FERNANDEZ, E.J. (1967). El terremoto y sus efectos en Caracas. En: El Ingeniero, No. 13: pp. 4-11. Caracas. (Edición Especial).
- FERRER, F.D. y CLUFF, L.S. (1969). Caracas, Venezuela earthquake of July 29TH, 1967.: Soil engineering and engineering geology observations. In: Proceedings of the Fourth World Conference on Earthquake Engineering. Santiago de Chile 1969. pp. J-2 : 151-166.
- FIEDLER B., G. (1968). Estudio Sismológico de la región de Caracas con relación al terremoto del 29 de julio de 1967. En: Boletín Técnico IMME 6 (23-24); 127-222. Jul.-Dic. 1968.
- FIEDLER B., G. (1972). La liberación de la energía sísmica en Venezuela, volúmenes sísmicos y mapa de isosistas. En: Memoria del IV Congreso Geológico Venezolano. Caracas, Ministerio de Energía y Minas 1972. Publicación Especial. Boletín 5, v. 4: pp. 2441-2462.
- FIEDLER B., G. (1974). Local b values related to seismicity. Presentado en el Symposium on Focal processes and the prediction of earthquakes. Lima, IASPEI, 1973. In: Tectonophysics, 3 pp. 277-282.
- FINTEL, M. (1968). Behaviour of structures in the Caracas earthquake. In: Civil Engineering, ASCE, 38 (2): 42-46.
- GRASES G., J. (1968). El sismo de Caracas de 1967 Estudios orientados hacia su interpretación a partir del comportamiento de estructuras. En: Boletín Técnico IMME 6 (23-24): 3-125. Jul.-Set. 1968.
- GRASES G., J. (1975). Acerca de la estimación de aceleraciones máximas del terreno en la región de Caracas. En: XVII Jornadas Sudamericanas de Ingeniería Estructural y V Simposio Panamericano de Estructuras. Caracas, 1975, 7 p.
- GRASES G., J. (1982). Fundamentos para la elaboración del nuevo mapa de zonificación sísmica de Venezuela con fines de Ingeniería. FUNVISIS, Serie Técnica 05-84, Caracas, 1985.
- HANSON, R.D. y DEGENKOLB, H.J. (1969). The Venezuela earthquake, July 29th, 1967. New York, American Iron y Steel Institution, 1969, 176 p.
- HOUSNER, G.W. (1970). Strong ground motion. In: WIEGEL, R., ed. Earthquake Engineering. New Jersey Prentice-1970. Capítulo 4.
- JAKUBOWICZ, E. y LAROTTA S., J. (1974). Terremoto del 29 de octubre de 1900. Presentado en el I Congreso Venezolano de Sismología e Ingeniería Sísmica. Caracas, 1974. En: Boletín Técnico IMME 11 (47): 23-78.
- LOMNITZ, C. (1967). Carta dirigida al Dr. B.A. Bolt- de fecha 2 de agosto de 1967. En: Bulletin of the seismological Society of America, 58 (1): 479-480. Feb., 1968.
- MAINOY M. y col. (1983). Estudio de intensidades del terremoto de Caracas (1967). Colegio Santa Rosa de Lima, Tesis de fin de curso, Caracas.
- Mc GUIRE, R.K. (1981). Recommendations on seismic risk analysis of Uribante-Caparo hydroelectric project. Dames Moore, 1981.

- MINISTERIO DE OBRAS PUBLICAS. VENEZUELA. (1947). Normas para el cálculo de edificios. Caracas, Dirección de Edificios e Instalaciones, 1947.
- MINISTERIO DE OBRAS PUBLICAS. VENEZUELA. (1955). Normas para el cálculo de edificios. Caracas, Dirección de Edificios e Instalaciones, 1955.
- MINISTERIO DE OBRAS PUBLICAS. VENEZUELA. (1967 a). Plano de inmuebles afectados por el sismo del 29-07-67. Información conjunta de diferentes organismos: Ministerio de Obras Públicas, Colegio de Ingenieros de Venezuela, Ingenierías municipales y otras instituciones públicas. Plano base del OMPU, 1: 5.000 Caracas, 1967.
- MINISTERIO DE OBRAS PUBLICAS. VENEZUELA (1967 b). Norma provisional para construcciones antisísmicas Caracas, Dirección de Edificios, 1967. 18 p., mapa.
- MOLINA M., Y. (1977). Velocidades asociadas a movimientos máximos del terreno en Venezuela, Colombia y Panamá. En: II Congreso Venezolano de Sismología e Ingeniería Sísmica. Mérida, 1977. 16 p.
- OMOTE, S.I. (1967). Traducción del Informe preliminar de la Misión Japonesa que investigó el terremoto de Caracas del 29 de julio de 1967. Caracas, 1967. 22 p. /Versión castellana del Informe - original en idioma inglés/.
- RIAL, J.A. (1977). El terremoto de Caracas de 1967. Estudio del proceso focal. En: Boletín Técnico IMME, 15 (57-58): 53-72. Enero-Junio, 1977.
- RICHTER, C. (1958). Elementary Seismology. San Francisco, Freeman, 1958. 768 p.
- ROBSON, G.R. y CANALES, L. (1968). El sismo de Caracas del 29 de julio de 1967. Parte I: Descripción general. Paris, UNESCO, 1968. 24 p., anexos. (serie 571 BMS - RD/AVS).
- SARDI S., V. (1968). Contribución al estudio de la frecuencia de los sismos en Caracas. Caracas, Academia de Ciencias Físicas, Matemáticas y Naturales 1968. 22 p.
- SAUTER, F. (1968). Daños estructurales en el terremoto de Caracas. San José de Costa Rica. Asociación del Hormigón Armado, 1968. 25 p. publicación Especial No. 4.
- SCHANABEL, P.B. & SEED, H.B. (1972). Accelerations in rock for earthquakes in the Western United States Berkeley, California, 1972. (Report No. EERC 72-1).
- SEED, H.B.; IDRIS, I.M. & DEZFULIAN, H. (1970). Relationships between soil conditions and building damage in the Caracas earthquakes of July 29th, 1967. Berkeley, University of California, 1970. (Report No. EERC 70-2) 136 p.
- STEINBRUGGE, K.V. (1972). Comparative building damage. Appendix A. In: ESPINOSA, A.F. & ALGERMISSEN, S.T. a Study of soil amplification factors in earthquake damage areas. Caracas, Venezuela. Boulder, Colorado, Department of Commerce, NOAA. 1972, p. 119.
- STEINBRUGGE, K.V. & CLUFF, S.L. (1968 a). The Caracas, Venezuela earthquake of July 29, 1967. In: Mineral Information Service, California Division of Mines and Geology 21 (1): 3-12. Jan. 1968.
- TRIFUNAC, M.D. & BRADY, A.G. (1975). On the Correlatio of peak acceleration of strong motion with earthquake magnitud, epicentral distance, and site conditions. In: Proceedings of the National Conference on earthquake Engineering, Ann Arbor, 1975. pp. 43-52.
- UGAS, C.T., J. GRASES, y A. VASQUEZ (1983). Referencias relativas al terremoto de Caracas del 29-07-1967. Boletín Técnico IMME No. 72-73, pp. 223-258.

WESTON GEOPHYSICAL ENGINEERS INTERNATIONAL (1969). Seismic Investigations, Valley of Caracas and the Litoral Central. Prepared for Republic of Venezuela. Ministry of Public Works, under planning and supervision of the Presidential Commission for the study of the Caracas earthquake. Weston, Massachusetts, 1969. 22 p., maps.

WHITMAN, R.V. (1972). Seismic risk. In: Proceedings of the International Conference on planning and design of tall Buildings. Lehigh University State of Art. Report No. 6 Technical Committee 6. Earthq. Load. and Resp., ASCE - IABSE.

ANEXOS AL CAPITULO I
ANNEXES TO CHAPTER I



Anexo I : Estadísticas de Daño
Annex I : Statistics of damages.

Anexo II: Descripción sintetizada de daños en una muestra de 13 edificaciones de Los Palos Grandes, afectadas por el terremoto del 29 de julio de 1967.

Synthesized description of damage in a sample of 13 buildings in Palos Grandes affected by the earthquake of July 29th, 1967.



ANEXO I

ESTADISTICAS DE DAÑOS

1. POLIAKOV, S.V. 1973 "Earthquake Resistant Construction", (traducción del ruso 281 p.), presenta algunos datos de interés.
- 1a. p. 61. En el sismo de ASHKHABAD (6 de Octubre de 1948), 9 puntos en la escala rusa, clasificadas las estructuras en:
- Grupo a: un piso, paredes de ladrillo y mortero de barro, techo de madera no conectado a las paredes.
- Grupo b: idem, pero morteros de mejor calidad.
- Grupo c: dos plantas con muros de carga de ladrillo cocido con mortero de cal (a veces cal y cemento). Algunos con machones de concreto armado, exteriores; vigas del piso, de madera sin anclajes. Plantas rectangulares y en L.

arrojó la siguiente estadística de daños:

ANNEX I

STATISTICS OF DAMAGE

1. POLIAKOV, S.V. 1973 "Earthquake Resistant Construction" (translation from russian 281 p.) presents some data of interest:
- 1a. p. 61. For the earthquake of ASHKHABAD (October 6th, 1948), 9 points of the russian scale; classified the structures in:
- Group a: one story, brick walls and mud mortar, and wooden roofs not connected to the walls.
- Group b: the same, but better quality mortar.
- Group c: two stories with walls of baked brick with lime mortar (sometimes lime and cement). Some blocks of reinforced concrete in the exteriors; wooden beams without anchoring. Rectangulars and L-Shaped aereas.

we have the following damage statistics:

Tabla A-1

Grado de daño Degree of damage	Distribución % de daño Distribution % of damage		
	Grupo a Group a	Grupo b Group b	Grupo c Group c
Colapso Collapse	80	30	20
Irreparable Non-repairable	20	60	60
Daños Damaged	0	10	20

- 1b. p.66. En el sismo de México (28 de julio de 1957) da la siguiente estadística de daños en función de altura, sin especificación de tipos de construcción, con intensidad VII - VII-1/2: (MMI escala rusa).

- 1b. p.66. For the earthquake of Mexico (July 28th, 1957) we have the following statistics of damage, in relation to height, without specifications of the type of construction, with intensity VII - VII 1/2: (MMI russian scale).

TABLA A-2

Grado de daño Degree of damage	No. de pisos (No. of stories)																
	1	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	18	23	43
Sin Daños No damaged	0	0	0	0	2	1	3	2	0	1	0	0	0	0	1	1	1
Dañados Damaged	0	0	3	0	1	3	2	2	3	3	5	1	1	2	1	0	0
Colapsados Collapsed	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0

1c. P. 71. Sismo de Chile (mayo de 1960), produjo efectos en Concepción estimados en Intensidad VIII, con una distribución porcentual de daños basado en la observación de una tercera parte de los edificios residenciales, que es la indicada en la Tabla A-3.

1c. p. 71. Earthquake of Chile (May 1960), produced effects in Concepcion estimated at Intensity VIII, with a percentage distribution of damage percentage based on the observation of one third of the residential buildings as indicated in Table A-3.

1d. p. 77. Terremoto de Skopje (26 de julio de 1963), con intensidad estimada en VIII-1/2 los edificios modernos hasta 14 pisos, de concreto armado y tabiquería de ladrillos, carentes de diseño sísmico, pero contra vientos de 100 km/m, se comportaron bastante bien. Sólo se registraron daños menores en acabados y agrietamiento en tabiquería, y en casos aislados, cedencia de secciones de concreto armado.

1d. p. 77. Skopje Earthquake (July 26th, 1963), with estimated intensity of VIII-1/2 Modern buildings up to 14 stories, of reinforced concrete and brick partitions, not designed against earthquakes but against winds of 100 km/m²; withstood it with only minor damage in the finishing and cracks in the partitions, and in some isolated cases collapsing of reinforced concrete sections.

De acuerdo a estadísticas oficiales, el sismo destruyó completamente el 8.5% de las construcciones y daño severamente 33.7% en forma irreparable. La distribución de daños varió de un lugar a otro de la ciudad, presentando la distribución que se da en la Tabla A-4.

In accordance to the official statistics, the earthquake completely destroyed 8.5% of the constructions and severely damaged 33.7% to a non-repairable degree. The distribution of damages varied from place to place within the city as given in Table A-4.

TABLA A-3
TABLE A-3

Tipo de construcción de los muros de soporte. Type of construction of the supporting walls.	Número de edificios Number of buildings	Condiciones después del sismo (%) Conditions after the earthquake (%)			
		destruidos destroyed	Reconstrucción Reconstruction		
			peligrosa dangerous	posible possible	buenas goods
1) Adobe no armado Non reinforced adobe	187	23	52,5	17	7,5
2) Ladrillos no armados Non reinforced brick	1149	11,6	33,6	37,6	17,2
3) Concreto armado relleno de mampostería Reinforced concrete with masonry	1781	0,8	1,4	8,3	89,5
4) Mampostería no reforzada (2) Non-reinforced masonry	6	16,7	33,3	16,7	33,3
5) Concreto armado relleno de bloque (3) Reinforced concrete with blocks	5			20	80
6) Combinaciones de (2) y (3) Combinations of (2) and (3)	1334	3,5	20,8	37,7	38
7) Armazón de madera Wood frame	1516	1,9	8	24,8	65,3
8) Madera rellena de mampostería Wood with masonry	147	3,5	19,7	53	23,8

6125

TABLA A-4
TABLE A-4

Número de edificaciones Number of buildings	Colapso e irreparables Collapse and unrepairable	Reconstrucción posible y reparaciones necesarias Possible reconstruction and necessary reparations				
		Aporticadas Reinforced walls		Muros Portantes Other walls		Sin información No information
		Dañadas Damaged	Daños leves Slight damage	Dañados Damages	Daños leves Slight damage	
16487	9132	219	325	3413	2377	1011
100%	55,4%	1,3%	2,0%	20,7%	14,5%	6,1%

1e. p. 89. En el terremoto de Niigata (1964), la intensidad en esta localidad se estimó en VII-1/2, aunque la destrucción fue importante por las malas condiciones del subsuelo. POLIAKOV da los valores de la Tabla A-5.

1e. p. 89. For the earthquake of Nigata (1984) the intensity was estimated at VII-1/2; although, the destruction was considerable due to the poor soil conditions. Poliakov gives values in Table A-5.

TABLA A-5
TABLE A-5

	Viviendas Housings			Otras Edificaciones Other buildings
	Destrucción total Total Destruction	Destrucción parcial Parcial Destruction	Inundadas Inundated	
Niigata	2104	16.468	11.101	1882
Otros asentamientos Other settlements	1430	83.243	1130	54507
TOTAL	3534	99.711	12.231	56389

2. WHITMAN y col. (1973)

Inclusive se anotan en las Tablas A-6 hasta A-11 las matrices y vectores de daño publicados por WHITMAN y col. para diferentes tipos de edificaciones con y sin diseño anti-sísmico; en este último caso, se anota la zonificación de la Norma UBC. Ocasionalmente se han podido añadir valores comparativos.

2. WITHMAN et al. (1973)

In tables A-6 to A-11 inclusive, are indicated matrices and damaged vectors published by WHITMAN et al. for different types of buildings with and without antiseismic design; in this last case, zonation of the Norm UBC is indicated. Occasionally, it has been possible to add comparative values.

3. En las Tablas A-12 y A-13 se reproducen estadísticas de POLIAKOV.

3. In Tables A-12 and A-13 statistics are reproduced from POLIAKOV.

MATRIZ DE DAÑOS
DAMAGES MATRIX

EDIFICIOS DE ACERO DE MAS DE 5 PISOS (ZONA 2-3, CON DISEÑO ANTISISMICO)
STEEL BUILDINGS OF MORE THAN 5 STORIES (ZONE 2-3, WITH SEISMIC CODE DESIGN)

Nivel de daño Damage level	V	VI	VII	VIII	IX	X
0			33**			20
1			56,3**			
2			10,7**			
3			0			
4			0			
5			0			

** WHITMAN y col. 1973. Según daños en el terremoto de San Fernando 1971, para edificios construidos después de 1947.
WHITMAN et al. 1973. According to damages of the San Fernando Earthquake (1971) for buildings constructed after 1947.

TABLA A-6
TABLE A-6

MATRIZ DE DADOS
DAMAGE MATRIX

EDIFICIOS DE CONCRETO DE MAS DE 5 PISOS (CON DISEÑO PARA ZONA 3)
CONCRETE BUILDINGS HIGHER THAN 5 STORIES (DESIGNED FOR ZONE 3)

Estado de daño State of damage	V	VI	VII	VIII	IX	X	VII 1/2
0	100*	57*	25*	0	0	0	5
		79**	24**	6**			
1	0	43*	50*	25*	0	0	48
		21**	53,5**	56**			
2	0	0	25*	53*	20*	0	41
			22,5**	16**			
3	0	0	0	21*	52*	0	6
			0	17**			
4	0	0	0	1*	23*	80*	0
			0	5*			
5	0	0	0	0	5*	20*	0

* WHITMAN y col. 1975. Zona de Boston, UBC 3; (idem WHITMAN-CORNELL, 1976, mds valores)
WHITMAN et al. 1975. Boston zone UBC 3; (idem WHITMAN-CORNELL, 1978; plus values)

** WHITMAN y col. 1973. Según daños en el terremoto de San Fernando, 1971, edificios posteriores a 1947.
WHITMAN et al. 1973. According to damages of the San Fernando Earthquake; buildings later than 1947.

TABLA A-7
TABLE A-7

MATRIZ DE DAÑOS
DAMAGE MATRIX

EDIFICIOS DE CONCRETO DE MAS DE 5 PISOS (CON DISEÑO PARA ZONA 2)
CONCRETE BUILDINGS HIGHER THAN 5 STORIES (DESIGNED FOR ZONE 2)

Estado de daños State of damage	V	VI	VII	VIII	IX	X	VII 1/2
0	100*	47*	20*	0*	0	0	0
	100*	90**	78**	15**	0**		
1	0	53*	50*	10*	0	0	36
		8**	14,2**	23**	15**		
2	0	0	29*	53*	0	0	52
			5,6**	45**	30**		
3	0	0	1*	31*	0	0	11
			1,7**	15**	40**		
4	0	0	0	5*	80*	60*	1
			0,5**	2**	15**		
5	0	0	0	1*	20*	40*	0

* WHITMAN y col. 1975. Zona de Boston, UBC 2; (idea WHITMAN-CORNELL, 1976, más valores)
WHITMAN et al. 1975. Boston zone UBC 2; (idea WHITMAN-CORNELL, 1978; plus values)

** Valores tentativos usados para los edificios caraqueños pre-sismo 1967.
Tentative values used for the Caracas buildings of pre-earthquake 1967.

MATRIZ DE DAÑOS
DAMAGE MATRIX

EDIFICIOS DE CONCRETO DE MAS DE 5 PISOS (SIN DISEÑO ANTISISMICO)
CONCRETE BUILDINGS HIGHER THAN 5 STORIES (WITHOUT SEISMIC CODE DESIGN)

Estado de daños State of damage	V	VI	VII	VIII	IX	X	VII 1/2
0	100*	27*	15*	0	0	0	0
1	0	73*	48*	0	0	0	29 (4)
2	0	10**	41**				21
3	0	0	33*	20*	0	0	45
4	0	0	33,5**	41*	0	0	64 (4)
5	0	0	9,5**				29
	0	0	0	34*	75*	25*	5
	0	0	0	5*	25*	75*	0
	0	0	0	0	0	0	7 (4)

* WHITMAN y col. 1975. Zona de Boston, UBC 0,1; (idem WHITMAN-CORNELL, 1976, más valores)
WHITMAN et al. 1975. Boston zone UBC 0,1; (idem WHITMAN-CORNELL, 1978; plus values)

** WHITMAN y col. 1973. Según daños en el terremoto de San Fernando, 1971, edificios anteriores a 1933.
WHITMAN et al. 1973. According to damages of the San Fernando's Earthquake; buildings prior to 1933.

(4) POLIAKOV (1973), datos del terremoto de México de 1957, sin especificación de tipo de construcción, para edificios de más de 5 pisos.
POLIAKOV (1973), information of the Mexico earthquake, 1957 without specifications of types of construction for buildings higher than 5 stories.

TABLA A-9
TABLE A-9

MATRIZ DE DAÑOS
DAMAGE MATRIX

EDIFICIOS DE CONCRETO ARMADO DE 5 PISOS (SUPER ZONA DE USA)
BUILDINGS OF REINFORCED CONCRETE OF 5 STORIES (SUPER ZONE, USA)

Estado de daños State of damage	V	VI	VII	VIII	IX	X	VII 1/2
0	100*	67*	30*	0	0	0	10
1	0	33*	49*	40*	10*	0	58
2	0	0	21*	52*	30*	0	29
3	0	0	0	8*	58*	0	3
4	0	0	0	0	2*	90*	0
5	0	0	0	0	0	10*	0

* WHITMAN y col. 1975. Superzona de USA; (idem WHITMAN-CORNELL, 1976, más valores)
WHITMAN et al. 1975. Super zone, USA; (idem WHITMAN-CORNELL, 1976; plus values)

MATRIZ DE DAÑOS
DAMAGES MATRIX

EDIFICIOS DE ACERO DE MAS DE 5 PISOS (SIN DISEÑO ESPECIAL)
STEEL BUILDINGS HIGHER THAN 5 STORIES (WITHOUT SPECIAL DESIGN)

Nivel de daño Damage level	V	VI	VII	VIII	IX	X
0						
1			60,5**			
2			21,5**			
3			4,5**			
4			1,5**			
5			0			

** WHITMAN y col. 1973. Según daños en el terremoto de San Fernando 1971, para edificios construidos antes de 1933.
WHITMAN et al. 1973. According to damages of San Fernando Earthquake (1971) for buildings built before 1933.

TABLA A-11
TABLE A-11

MATRIZ DE DATOS
DAMAGES MATRIX

VIVIENDAS DE CONCRETO ARMADO RELLENAS DE MAMPOSTERIA HASTA 2 O 3 PISOS
REINFORCED CONCRETE HOUSING WITH MASONRY UP TO 3 FLOORS

Nivel de daño Damage level	V	VI	VII	VIII	IX	X
0				89.5 (4)		
1						
2				8.3 (4)		
3				1.4 (4)		
4				0.8 (4)		
5						

** POLIAKOV, (1973), Datos del terremoto de Chile de 1960.
POLIAKOV (1973), Information of the Chilean earthquake of 1960.

TABLA A-12
TABLE A-12

MATRIZ DE DAÑOS
DAMAGES MATRIX

ALBAÑILERIA NO REFORZADA
NON REINFORCED MASONRY

Nivel de daño Damage level	V	VI	VII	VIII	IX	X
0						
1				17,2 (4)		
2				37,6 (4)		
3						
4				33,6 (4)		
5				11,6 (4)		

** POLIAKOV, (1973), datos del terremoto de Chile de 1960.
POLIAKOV, (1973), Chilean earthquake 1960.

TABLA A-13
TABLE A-13

ANEXO II

DESCRIPCION SINTETIZADA DE DAÑOS EN UNA MUESTRA DE 13 EDIFICACIONES DE LOS PALOS GRANDES, AFECTADAS POR EL TERREMOTO DEL 29 DE JULIO DEL AÑO 1967.

Este anexo está constituido por la Tabla No. A-14, en la cual se sintetiza información sobre edificios de varios niveles afectados por el terremoto de Caracas, todos ellos ubicados en la región de Los Palos Grandes. Sirve de fundamento para las figuras dadas en la Sección 1.3.5 de este volumen.

ANNEX II

SYNTHESIZED DESCRIPTION FOR DAMAGES IN A SAMPLE OF 13 BUILDINGS IN PALOS GRANDES AFFECTED BY THE EARTHQUAKE OF JULY 29th, 1967.

This Annex is constituted by Table No. A-14 Information on buildings of various levels affected by the Caracas Earthquake, located in the area of Los Palos Grandes, is synthesized. It serves as a basis for the figures given in Section 1.3.5 of this volume.

T A B L A No. A-14

EDIFICACIONES AFECTADAS DURANTE EL TERREMOTO DEL 29-07-1967
BUILDINGS AFFECTED DURING THE EARTHQUAKE OF JULY 29th, 1967

(MUESTRA DE LOS PALOS GRANDES)
(SAMPLE OF PALOS GRANDES)

NOMBRE NAME	NUMERO DE PISOS NUMBER OF STORIES	FORMA DE LA PLANTA FORM OF THE PLANT	RESUMEN DE LOS DAÑOS CONSTATADOS SUMMARY OF THE PROVEN DAMAGES
AMALFI	PH 9 tipo (type) PB	H	<p>Agrietamiento en las vigas principales de los 3 niveles inferiores. Una columna esquinera dañada. Agrietamiento de la tabiquería en PB y 3 primeras plantas tipo.</p> <p>Cracking in the principal beams of the three lower levels. One corner column damaged. Cracking of the partition on the first 3 floors.</p>
CORAL	PH 9 tipo (type) PB	H	<p>Algunos daños en las losas del primer piso; fisuras en vigas. Desprendimiento de fachadas en los 3 primeros pisos; daños generalizados en los 4 primeros pisos, en la tabiquería interior. Daños menores en pisos superiores.</p> <p>Some damages in the slabs of the first floor, cracking in the beams. Lossening of the facades of the first 3 floors; generalized damages on the first 4 floors, in the interior partition. Minor damages on the upper floors.</p>

(cont. ...)

TABLA No. A-14 (Cont.)

NOMBRE NAME	NUMERO DE PISOS NUMBER OF STORIES	FORMA DE LA PLANTA FORM OF THE PLANT	RESUMEN DE LOS DAÑOS CONSTATADOS SUMMARY OF THE PROVEN DAMAGES
COVENT GARDEN	PH 12 tipo (type) PB	Irregular	<p>Daños importantes en juntas viga-columna. Daños en columnas hasta el piso 3. Daños en vigas y losas hasta piso 5. Los tabiques se dañaron gravemente en los 2 primeros pisos; daños importantes hasta el 6to. y daños leves del 7mo. al 10mo.</p> <p>R.D. = 0.10</p> <p>Important damage in beam column joints. Damages in columns up to the 3rd floor. Damages in beams and slabs up to the 5th floor. The partitions were severely damaged on the two first floors; important damages up to the 6th floor and slight damage from the 7th to the 10th.</p> <p>R.D. = 0.10</p>
CASTILLETE	18 pisos	Rectangular; regular.	<p>Sin daños estructurales. Daños en la tabiquería hasta el 9o piso.</p> <p>No structural damage. Damages in the partitions up to the 9th floor.</p>
GUIPELIA	PH 14 tipo (type) PA PB	Tres cuerpos rectangulares conectados.	<p>Fisuras en vigas del nivel 1 al 6. Una columna a nivel de PB falló. Daños menores en columnas de la planta alta. Agrietamiento de losas hasta el 5to. piso. Daños leves en la tabiquería de los 6 niveles inferiores.</p> <p>R.D. = 0.33</p> <p>Fissures in the beams of levels 1 to 6. A column on the ground floor failed. Smaller damages in the columns on the second floor. Cracking of slabs up to the 5th. floor. Slight damages in partitions on the 6 lower levels.</p> <p>R.D. 0.33</p>
ICABARO	PH 14 tipo PB Sótano	Rectangular	<p>Agrietamiento en losas hasta el nivel 3. Agrietamiento en vigas a nivel de P.B. Agrietamiento en escalera hasta el nivel 7. Columnas sin daños. Los daños en la tabiquería se extienden hasta el 6to. piso.</p> <p>Cracking in slabs to level 3. Cracking in beams on the ground floor. Cracking in the stairs up to the 7th floor. Columns without damage. Damages in partitions up to the 6th floor.</p>

TABLA No. A-14 (Cont.)

NOMBRE NAME	NUMERO DE PISOS NUMBER OF STORIES	FORMA DE LA PLANTA FORM OF THE PLANT	RESUMEN DE LOS DANOS CONSTATADOS SUMMARY OF THE PROVEN DAMAGES
LE ROC	PH 14 tipo (type) PB	Dos bloques rectan- gulares conectados	<p>Agrietamiento en losas de los cuerpos principales hasta el piso 3ro. Agrietamiento en losas de la escalera a todo lo alto. Columnas sin daños. Fisuración en vigas; errática hasta el piso 13. Daños importantes en tabiques hasta el piso 4to; del 5to al 7mo, tabiques agrietados. Del 8avo al 12avo, fisuras menores.</p> <p>R.D. = 0.3</p> <p>Cracking in slabs of the principal bodies up to the third floor. Cracking in slabs of the stairsway throughout. Columns without damages. Fissures in beams; erratic up to the 13th. floor. Important damages in partitions up to the 4th. floor and from the 5th. to the 7th. floor, cracked partitions. Minor fissures from the 8th. to 12th floor.</p> <p>R.D. 0.3</p>
MI VEGUITA	PH 15 tipo PB Sótano	Rectangular	<p>Daños decrecientes en vigas hasta el nivel 6. Grietas en losas de niveles 1, 2 y 3. Columnas sin daños. Tabiquería dañada hasta el nivel 3 y en menor grado hasta el nivel 8.</p> <p>Decreasing damages in beams up to level 6. Cracks in slabs on levels 1, 2 and 3. Columns without damages. Partitions damaged up to level 3 and in lesser degree, up to level 8.</p>
MOBIL	7 piso PB Sótano	Rectangular + saliente	<p>Fisuras de algunas columnas hasta el piso 5to.; fisuras de algunas vigas hasta el piso 5to. Tabiquería dañada hasta el piso 5to.</p> <p>Fissures in some columns up to the 5th floor; fissures in some beams up to the 5th. floor. Partitions damaged up to the 5th. floor.</p>
PETUNIA 1	PH 13 tipo PB	Rectangular	<p>Las vigas sufrieron daños importantes hasta el nivel 6. Lesiones serias de tabiquería hasta el piso 8.</p> <p>Beams suffered important damages up to level 6. Extensive damages to partitions up to the 8th. floor.</p>

TABLA No. A-14 (Cont.)

NOMBRE NAME	NUMERO DE PISOS NUMBER OF STORIES	FORMA DE LA PLANTA FORM OF THE PLANT	RESUMEN DE LOS DANOS CONSTATADOS SUMMARY OF THE PROVEN DAMAGES
PETUNIA 2	PH 2 PH 1 12 Tipo PB	Cuadrada (Irregular)	<p>Daños graves en juntas viga-columna de los niveles 1 y 2. Agrietamiento de losas en varios niveles. Los daños en la tabiquería prácticamente desaparecen del 4to. piso en adelante. R.D. = 0.3</p> <p>Severe damage to beam-column joints on level 1 and 2. Cracking of slabs on several levels. Damage in partitions practically non existent from the 4th. floor on. R.D. = 0.3</p>
PASAQUIRE	PH 10 tipo PB Sótano	H (Muy flexible)	<p>Daños en losas, vigas y escalera, de importancia decreciente hasta el 5to piso. Columnas no se afectaron. Los daños en tabiques se cuantificaron así: PB: 60% seriamente agrietado. 1ro. al 3er: 95% seriamente agrietado. 4to.: 85% seriamente agrietado. 5to.: 60% seriamente agrietado. 6to.: 50% seriamente agrietado. 7mo.: hay algunas grietas. 8vo. al PH: fisuras menores. R.D. = 0.14</p> <p>Damage in slabs, beams and stairways of decreasing importance up to the 5th. floor. Columns not affected. Damages in partitions were quantified as follows: First floor: 60% severely cracked. 1st. through 3rd.: 95% severely cracked. 4th.: 85% severely cracked. 5th.: 60% severely cracked. 6th.: 50% severely cracked. 7th.: some cracks. 8th. to the PH: minor fissures. R.D. = 0.14</p>
SAN BOSCO	PH 12 PB	Rectangular (Menos bocado)	<p>Daños importantes en las columnas de la planta baja y del primer piso. Losas y vigas dañadas hasta el 2do. piso. Tabiquería con daños decrecientes hasta el piso 5to. R.D. = 0.1</p> <p>Important damage in columns on the lower floors. Slabs and beams damaged up to the 2nd floor. Partitions with decreasing damage up to the 5th. floor. R.D. = 0.1</p>

EL TERREMOTO DEL 31 DE MAYO DE 1970 EN ANCASH-PERU
Y SUS EFECTOS2.1 ASPECTOS SISMOLOGICOS, SISMOTECTONICOS Y
GEOLOGICOS

2.1.1 Introducción:

En general, los sismos de gran magnitud ocurren, como es conocido, en zonas más o menos definidas y en lapsos más o menos largos. Como este fenómeno es un proceso de acumulación progresiva de deformación, hasta cierto límite, y luego la liberación de esta deformación en forma súbita o violenta, su generación involucra cierto tiempo que hasta el momento no puede ser definido; sin embargo, se ha observado que mientras más grande sea la magnitud del sismo más largo será el tiempo de generación.

Tomando en consideración lo anteriormente expuesto, una evaluación de la ocurrencia de los sismos destructores en tiempo y espacio, permitirá determinar dentro de una zona sísmica el grado de peligrosidad sísmica conforme aumenta el tiempo, después de la ocurrencia del último sismo destructor dentro de la zona de interés. Por otro lado es necesario mencionar que aunque se tenga conocimiento de la ocurrencia futura de un sismo de gran magnitud, no hay nada que se pueda hacer para evitarlo, de manera que lo único que se debería realizar sería la minimización de posibles daños. Para reducir al máximo los daños es imperativo efectuar una evaluación de los posibles efectos de los sismos tanto de los efectos primarios como de los secundarios; éstos, debidamente parametrados, constituyen al final el posible costo económico y social que un terremoto puede originar en una región de interés.

La evaluación de los efectos económicos está estrechamente conectada al estudio de vulnerabilidad sísmica del área que se piensa puede ser impactada por un terremoto y, por lo tanto, necesariamente debe involucrar un análisis de la situación previa a la ocurrencia de un posible sismo destructor; esta evaluación se debe efectuar para áreas críticas señaladas por algún indicativo tal como una zona de silencio sísmico, por ejemplo.

El presente análisis sobre aspectos sismológicos, sismotectónicos y geológicos del terremoto del 31 de mayo de 1970 trata de abarcar las condiciones previas a la ocurrencia de este terremoto bajo los tres aspectos mencionados; asimismo, se señalan las características del sismo, sus efectos y consecuencias desde el punto

THE EARTHQUAKE OF MAY 31st., 1970 IN ANCASH-PERU
AND ITS EFFECTS2.1 SEISMOLOGICAL, SEISMOTECTONICS AND GEOLOGICAL
ASPECTS OF THE EARTHQUAKE OF 31 MAY 1970

2.1.1 Introduction:

In general the earthquakes of great magnitude occur as is well known, in zones more or less defined and in periods of time more or less long. Since this phenomenon is a process of progressive accumulation of deformation, to a certain limit, followed by the release of this deformation in sudden or violent form, its generation involves a certain time which until this moment can not be defined; nevertheless it has been observed that the greater of the magnitude of earthquake the greater the time of its generation.

Taking into consideration the above statement, an evaluation of the occurrence in time and space of the destructive earthquakes, will allow the determination within the seismic zone of the degree of seismic hazard as time goes on after the occurrence of the last destructive earthquake within the zone of interest. On the other hand it is necessary to mention that although even if one had knowledge of the future occurrence of an earthquake of great magnitude there is nothing that can be done to avoid it so that the only thing that one can do is to try to mitigate the possible damage. In order to reduce to the maximum the damage it is imperative to make an evaluation of the possible effects of the earthquakes in its primary effects as well as the secondary effects; these duly identified constitute finally the possible economic and social cost that an earthquake can originate in a region of interest.

The evaluation of the economic effects is closely connected to the study of the seismic valorability of the area that one could think that one would suppose could be affected by an earthquake and therefore necessarily it must involve an analysis of the situation prior to the occurrence of a possible destructive earthquake; this evaluation must be carried out for critical areas selected by some empirical areas such as seismic For example.

The present analysis on seismological, seismotectonic and geological aspects of the earthquake of May 31st, 1970 tries to enclose the prior conditions to the occurrence of this earthquake under the three aspects mentioned, also are pointed out the characteristics of the earthquakes, its effects and consequences from the

de vista de los tres aspectos señalados.

Es necesario enfatizar que muchas veces los efectos son secundarios más críticos que los primarios (destrucción por vibración), y son los que mayormente contribuyen a desestabilizar toda un área desde el punto de vista socio-económico. Este es el caso del terremoto que nos ocupa, en el que los efectos secundarios incidieron enormemente en la perturbación socio-económica de toda una gran área en el centro del Perú.

Como es conocido, el terremoto del 31 de mayo de 1970 originó alrededor de 70,000 víctimas y afectó en forma crítica un área de aproximadamente 41,000 km², con daños medianamente severos a muy severos. Dentro de esta área, dos localidades fueron las más afectadas: la ciudad de Chimbote-centro industrial en la Costa y la de Huaraz, en la Región Andina (Callejón de Huaylas). En este informe, dentro del esquema expuesto, se pone mucho énfasis en el análisis de la zona andina afectada, tomando la ciudad de Huaraz como la población más importante de esta región.

2.1.2 Ubicación del área afectada

El área afectada se ubica en la región central del Perú, al norte de Lima. Dentro de este territorio, la Cordillera Occidental de los Andes se divide en dos ramales paralelos al eje longitudinal andino; estos ramales son conocidos como la Cordillera Negra (ramal occidental, próximo al océano) y la Cordillera Blanca (ramal oriental) ambos forman el Valle del Río Santa, conocido también como Callejón de Huaylas.

Geomórficamente, el área afectada tiene las siguientes características:

La costa es una faja de relieve ondulado con colinas y contrafuertes andinos.

Las estribaciones andinas, que limitan hacia el este la faja de la costa, al elevarse bruscamente dan lugar a la Cordillera Negra cuyas crestas distan de 70 a 80 km. de las playas. Los picos más altos de esta cordillera tienen un promedio de 4,200 m., aunque existen algunos que llegan a los 5,200 m.

Al este de la Cordillera Negra y paralelo a ella se presenta un valle profundo llamado Callejón de Huaylas o valle del Río Santa; la Cordillera Blanca en el este, constituye el límite de este valle.

La Cordillera Blanca, así denominada por la

point of view of the three aspects already stated.

It is necessary to reiterate that many times the secondary effects are more critical than the primary ones (destruction by shaking), and there are the ones that mostly contribute to destabilized a whole area from a economic point of view. This is the case of the earthquake which we are describing in which the secondary effects were enormously responsible for the social-economic perturbations of a great area in Central Perú.

As is known the earthquake of May 31st, 1970 originated somewhere around 70,000 deaths and affected in very critical way an area of approximately 41,000 km² with damages from medium severe to very severe. Within this area two localities were most affected, the cities of Chimbote an industrial center in the coast and Huaraz in the Andean region (Callejón de Huaylas). In this report within the scuemma that was exposing much emphasis is given to the analysis of the Andean zone affected taking the city of Huaraz as the most important city of this region.

2.1.2 Location of the Affected Area

The affected area is located in the region of Center Peru to the North of Lima. Within this territory the Occidental Cordillera of the Andes is divided in two branches parallels to the longitudinal parallel axis; these branches are known as the Cordillera Negra (this is the occidental branch next to the ocean) and the Cordillera Blanca (eastern branch). The two branches form the Valle of the Santa River also known as the Callejón de Huaylas.

Geomorphologically the area affected has the following characteristics:

The coast is strip of characterized by small hills and Andean spurs.

The Andean spurs which limit for the East the coast of strup, rise abruptly and form the Cordillera Negra the tops of which are some 70 to 80 km from the shore. The highest peaks of this cordillera have an average of 4,200 m. although there are some peaks which reach 5,200 m.

To the east of the Cordillera Negra and parallel to it there is a very deep valley called Callejón de Huaylas or the valley of the Santa river; the Cordillera Blanca to the east constitutes the limit of this valley.

The Cordillera Blanca, thus named to the existance

existencia de glaciares en sus cimas, constituye la divisoria continental de las aguas. Esta cordillera se levanta por encima de los 5,000 m., con picos elevados superiores a los 6,000 m. La cima del Huascarán, la más alta del Perú, tiene 6,809 m.s.n.m.

La Cordillera Negra muestra en sus cimas vestigios de una intensa glaciación pleistocena, con restos de circos glaciares algunos de los cuales son ocupados por lagunas que son usadas como reservorios.

La Cordillera Blanca se encuentra aún con una activa glaciación; por esta acción se presentan un número grande de lagunas en circos glaciares represadas por diques morrénicos que tienen diferente grado de estabilidad. Existen algo más de 423 lagunas de origen glacial en ambas cordilleras (ELECTRO-PERU, U.C. 16 1975).

La longitud de estas cordilleras paralelas no sobrepasa los 180 km.; por el valle que ellas forman discurre el río Santa que para desaguar en el Océano Pacífico corta la Cordillera Negra en el llamado Cañon del Pato, constituyendo una de las gargantas más profundas de la Cordillera Occidental Andina; este río desemboca en el Océano Pacífico cerca de Chimbote.

2.1.3 Geología del área afectada

En general, en el área afectada se presentan mayormente rocas sedimentarias e igneas intrusivas (Fig. 1).

En la costa, las rocas más antiguas están constituidas por rocas del Cretáceo inferior conformadas por areniscas cuarzosas y lutitas carbonosas de la llamada formación Chimú; encima de esta formación se encuentra la formación Santa constituida por Calizas y la formación Carhuaz compuesta por lutitas-areniscas. Suprayaciendo a éstas se ubica la formación Casma, constituida por derrames volcánicos y piroclásticos de naturaleza andecíticas y basálticas intercalada con lutitas, areniscas y alto de calizas. Suprayaciendo al Cretáceo, se encuentra el Terciario inferior constituido por derrames piroclásticos andecíticos y riolíticos, denominados Volcánicos Calipuy. Encima de estos volcánicos, en algunos lugares se encuentra el Cuaternario constituido por depósitos aluviales y eólicos.

En el Callejón de Huaylas, las formaciones rocosas se presentan desde el Jurásico Superior hasta el Cuaternario. Las rocas del Jurásico Superior identificadas como la formación Chicama, están compuestas por lutitas pobremente intercaladas con areniscas, cuarcitas y limonitas; sobre esta formación se ubica la serie del Cretáceo inferior, descrita anteriormente, presentando

of glacials on the tops constitutes the continental derive for the water. This Cordillera rises above 5,000 m. with peaks which exceeds 6,000 m. The top of Huascarán the highest in Perú is 6,809 m. above sea level.

The Cordillera Negra shows in its tops remains of an intense pleistocene glaciacion with some remains of glacial circs of which some are identified by lakes which are used as reservoirs.

The White Cordillera still with active glaciacion; due to this action there is a great number of lakes in glacial circs and also repressed for dump by morrein diques which have different grades of stability. There exist more than 423 lakes of glacial origin in both cordilleras (ELECTROPERU, U.C. 16, 1975).

The long of these parallel cordilleras is not more than 180 km.; along the valley which they formed runs the river Santa which in order to entry into the Pacific cuts the Cordillera Negra in the so called Cañón del Pato this being the one of the more deepest gorgets of the Occidental Cordillera; the river goes into Pacific ocean near Chimbote.

2.1.3 Geology of the Affected Area

In general in the area affected one finds principally sedimentary rocks and igneous intrusives (Fig. 1).

In the Coast, the older rocks are constituted by rocks of the lower Cretaceous made up of quartzous sandstone and carbonaceous lutites of the so called Chimú formation; above this formation one finds the Santa formation constituted by limestones and the Carhuaz formation made up of sandstones lutites. Lying above these one finds the Casma formation constituted by volcanics and pyroclastic overflows of andesities and basaltics nature intercalated with lutites, sandstones and some limestones. Overlaying the Cretaceous one find the lower Tertiary made up of pyroclastic overflows andesites and rhyolitic denominatted Calipuy Volcanics. Above these volcanics, in some places one finds the Quaternary constituted by alluvial and eolic deposits.

In the Callejón de Huaylas the rock formations are presented from the Superior Jurassic through the Quaternary. The superior Jurassic rocks identified as the Chicama formation, are composed by lutites fully intercalated with sandstones, quartzites and limonites; above this formation is located the series of the lower Cretaceous, already described, presenting further the



MAPA GEOLOGICO DEL AREA ANDINA VALLE DEL SANTA

GEOLOGIC MAP OF ANDEAN AREA SANTA VALLEY

LEYENDA LEGEND

ROCAS SEDIMENTARIAS SEDIMENTARY ROCKS

ROCAS INTRUSIVAS INTRUSIVE ROCKS

CUATERNARIO	Q-g, Q-f, Q-e	Depositos aluviales glacial y fluvio-glacial	
TERCIARIO SUPERIOR	TS-yu	Formación Yungay	
TERCIARIO INFERIOR	KT1-vcc	Volcanes Collpuy	Ti-m-gd/m Granodiorita-Diorita
CRETACEO SUPERIOR	KI-ppp	Parítoambo Chules Paríshuasa	KT-i Indiviso
CRETACEO INFERIOR	KI-ccc	Formaciones Santa y Carhuaz	Cretáceo indiviso
CRETACEO INFERIOR	KI-chn	Formación Chimu	
JURASICO SUPERIOR	Jc-chc	Formación Chicoana	
		Deslizamientos, Caída de Rocas y Suelos Slomo 31-05-70 Landslides: Rock and Soil Fall, 31-05-70 Shock	
		Avalanchas y Flujos Lodo Slomo 31-05-70 Avalanches and Mud flows, 31-05-70 Shock.	

SIMBOLOS

	Contacto conocido	Known contact
	Contacto aproximado	Aproximate contact
	Eje de anticlinal	Anticlinal axis
	Eje de sinclinal	Synclinal axis
	Eje de anticlinal invertido	Inverse anticlinal axis
	Sobremovimiento	Thrust faulting
	Agrupamientos	Faulting
	Efusión de lodo	Mud effusion
	Carrteras firmadas	Compacted road
	Capital de Departamentos	Capital of Department
	Capital de Provincias	Capital of Province
	Capital de Distrito	Capital of District

ESCALA : 1:250,000
SCALE : 1:250,000

Tomado de JAEN et al. 1970 y Complementado con información de PLAFKER et al. 1971

From: Jaen et al 1971 and Completed With information from Plafker et al 1971

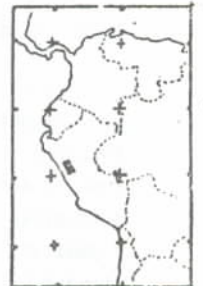


Fig. 1

además la formación Farrat (cuarcitas, areniscas y lutitas), la formación Chulec (calizas intercaladas con lutitas areniscas) y la formación Pariatambo (margas y lutitas intercaladas con calizas). En el Cretáceo Superior se ubican las formaciones Jumasha (calizas y dolomitas), Celendín (lutitas intercaladas con calizas) y la Huaylas (bancos conglomeráticos intercalados con areniscas).

Suprayaciendo el Cretáceo superior se encuentra el volcánico Calipuy del Terciario inferior ya descrito. Encima del Calipuy y con discordancia angular se encuentra la formación Yungay conformada por rocas piroclásticas y tufáceas.

El período Cuaternario se caracteriza por estar constituido por depósitos consolidados de origen glacial y aluvial de edad pleistocénica hasta el reciente. En la actualidad y por la intensa glaciación se continúa depositando material morrénico y aluvial.

En general en esta área las rocas ígneas intrusivas tienen una extensa distribución, conformando lo que se conoce como el batolito de la costa peruana. Este batolito está constituido por un complejo de rocas predominando el granito, granodiorita, diorita, gabro, andesitas y diabases; éstas rocas afloran extensamente a lo largo de ambas cordilleras. La edad de estos intrusivos es Cretácico-Terciaria (JAEN y col. 1970).

2.1.4 Condiciones geodinámicas del área macrosísmica del terremoto del 31 de mayo de 1970

2.1.4.1 Aspectos sismológicos

Dentro de la zona considerada como de influencia para las áreas de Chimbote y Huaraz, se ha escogido un cuadrángulo con las siguientes coordenadas: Latitud 7° a 12° Sur; Longitud 76° a 81° Oeste. Dentro de este cuadrángulo han ocurrido terremotos que han originado destrucción tanto en las áreas costeras como de las áreas Andinas (Callejón de Huaylas). Numerosos son los terremotos que han ocurrido dentro de esta zona de los que sólo se mencionarán los más importantes. Por otro lado y debido a la falta de historia escrita de la cultura incaica no se posee registro histórico de los terremotos ocurridos antes de la llegada de los españoles.

Los conquistadores españoles en el proceso de dominación y colonización del territorio incaico, desarrollaron asentamientos urbanos en lugares donde existía alguna concentración humana. De las 2 poblaciones destruidas por el sismo del 31-05-70

Farrat formation (quartzites, sandstones and lutites), the Chulec formation (limestones intercalated with sandstones lutites) and the Pariatambo formation (marl and lutites intercalated with limestones). In the superior Cretaceous are located the Jumash formations (limestones and dolomites), Celendín (lutites intercalated with limestones) and the Huaylas (conglomerated banks intercalated with sandstones).

Overlaying the superior Cretaceous one finds the volcanic Calipuy of the lower Tertiary already described. Above the Calipuy and with angular disagreement one finds the Yungay formation constituted by pyroclastics and tuffaceous rocks.

The Quaternary period is characterized by being constituted by consolidated deposits of glacial and alluvial origin of pleistocenic through recent ages. In the present and because of the intense glaciation morranic and alluvial material are continuously being deposited.

In general the intrusive igneous rocks, in this area have extensive distribution, constituting what is known as the Batholith Peruvian coast. This batholith is constituted by a complex of rocks predominating the granite, granodiorite, diorite, gabro, andesites and diabases; these rocks outcrop extensively along those cordilleras. The age of these intrusives is Cretaceous-Tertiary (JAEN et al., 1970).

2.1.4 Geodynamics Conditions of the Macro seismic Area of the Earthquake of May 31st, 1970

2.1.4.1 Seismological Aspects

Within the zone considered as influence for the areas of Chimbote and Huaraz we have chosen a quadrangle with the following coordinates: Latitude 7° through 12° south; Longitude 76° through 81° west. Within this quadrangle earthquakes can occur which have originated destruction both in the coastal area as well as in the Andean area (Callejón de Huaylas). There are many earthquakes which have occurred within the zone of which we will only mention the most important ones. On the other hand and due to the lack of written history of the Inca culture there is historic records of earthquakes which occurred before the arrival of the Spaniards.

The Spanish conquistadores in the process of domination and colonization of the Inca territory developed urban settlements in places where there were already some human populations. Of the two populations destroyed by the earthquake of May 31st, 1970 (Chimbote

(Chimbote y Huaraz), sólo Huaraz tenía en los inicios, un desarrollo más o menos importante, mientras que de Chimbote (Villa del Santa) sólo se hace ligera mención (en el presente siglo la denominación Chimbote es la más conocida). Por otro lado, la ciudad de Trujillo que está dentro de la zona de influencia era y es importante núcleo urbano; es por esto que muchas Descripciones de efectos de sismos destructores ocurridos dentro del área, están más relacionados a los daños que hubieran originado en esta ciudad; por inferencias se puede saber las intensidades originadas en las áreas próximas.

A continuación se efectúa una reseña de los terremotos que han ocurrido en la zona de influencia sísmica; los datos usados corresponden a aquellos considerados por SILGADO (1978).

El primer terremoto históricamente documentado, fundamentalmente por su gran destructividad fue el que ocurrió el 19 de febrero de 1619; de acuerdo a los cronistas, el sismo se sintió a lo largo de 2,000 km de la Costa y 300 km hacia el interior. El sismo originó la destrucción de la ciudad de Trujillo y es probable que haya originado daños de consideración en el área del Callejón de Huaylas; lamentablemente no se tiene información al respecto. De acuerdo a las descripciones, la Villa del Santa (Chimbote), fue afectada con agrietamientos del suelo y expulsión de lodo negrozco que dañó la campiña (posiblemente licuefacción de suelos y cambios de nivel freático).

Parece ser que durante casi un siglo, los movimientos sísmicos que se sucedieron en la zona no fueron de consideración, porque la historia no los consigna como muy destructores. Los sismos posteriores al de 1619 que causaron algunos daños, mayormente en Trujillo, ocurrieron el 10 de febrero de 1635 y el 14 de febrero de 1658.

El sismo del 6 de enero de 1725 originó daños diversos en Trujillo; se sabe que en la Cordillera Blanca se originó la rotura de una laguna glacial la cual al desbordarse arrasó un pueblo cercano a Yungay donde murieron 1,500 personas. Parece que este fenómeno secundario fue algo parecido al originado por el terremoto del 31-05-70 en Yungay y Ranrahirca.

El 2 de setiembre de 1759, ocurrió un terremoto que dañó algunos edificios en Trujillo y aunque fue sentido en diversas localidades de las serranías no hay mayores datos con relación a los efectos secundarios, lo que podría significar que éstos no fueron importantes socio-económicamente. Desde el 2 de

and Huaraz), only Huaraz had in its beginning a development of more or less importance whereas of Chimbote (Villa del Santa) there is only slight mention (in the present century the denomination of Chimbote is the better known). On the other hand, the city of Trujillo which is within the zone of influence was and is important as an urban nucleus; it is because of this the many descriptions of the effects of destructive earthquakes which occurred within the area are more related to the damages which have occurred in this city. By inference one can determinate the intensities originated in the surrounding areas.

Next we offer a description of the earthquakes which have occurred in the zone of seismic influences; the data used correspond to those considered by SILGADO (1978).

The first earthquake historically documented fundamentally because of its great damage done was that which occurred in February 19th, 1619; according to the chroniclers the earthquake was felt about 2,000 km of the coast and 300 km to the interior. The earthquake originated the destruction of the city of Trujillo and is quite likely that might have caused considerably damage in the area of the Callejón de Huaylas; unfortunately there is no information concerning this aspect. In accordance with the descriptions the Villa del Santa (Chimbote), was affected by cracking of the ground and blow out of black mud which damage the countryside (possibly liquefaction of soils and changes in the level of the watertable).

It seems that almost during one century the earthquakes which followed in this zone were not of great consideration because the history does not described them as very destructives. The earthquakes which followed the one in 1619 which caused some damages, principally in Trujillo, occurred in February 10th, 1635 and in February 14th, 1658.

The earthquake of January 6th, 1725 originated diverse damages in Trujillo; one knows that in the Cordillera Blanca it caused the rupture of the glacial lake which one overflows inundated a town near Yungay where 1,500 people were killed. It seems this secondary phenomenon was similar to that originated by the earthquake of May 31st, 1970 in Yungay and Ranrahirca.

On September 2nd, 1759 there occurred an earthquake which damage some buildings in Trujillo and although it was felt in various localities of the sierra there is not further information with respect to the secondary damages which would mean that these were not socially or economically important. Since September

setiembre de 1759 hasta el 21 de junio de 1937, no ocurrió ningún terremoto destructor para las localidades de Chimbote y Huaraz. La mayoría de los sismos ocurridos originaron daños leves de los cuales no hay casi datos. Es de suponer que los fenómenos secundarios que estos sismos puedan haber originado, no han causado algún impacto importante en el área.

El sismo del 21 de junio de 1937 ocasionó daños leves en Trujillo, Lambayeque y Salaverry, así como en Cajamarca y Cutervo, asignándole una intensidad de VI MM, mientras que en Chimbote y Casma fue probablemente de intensidad V MM y en el área del Callejón de Huaylas (Huaraz) probablemente fue IV MM; para este sismo, es probable que los efectos secundarios, especialmente en el área de interés no hayan sido de mayor importancia.

El sismo del 24 de mayo de 1940, fue muy destructor para Lima y poblaciones vecinas; se considera, en general, que la intensidad para estas áreas fue de VIII MM. Del mapa de intensidades regionales preparado por SILGADO (1978), se nota que tanto Chimbote como Huaraz están en la isosista que limita la intensidad VI MM; aunque en la zona de Huaraz y el callejón de Huaylas no se indica la ocurrencia de fenómenos de geodinámica externa disparados por este sismo, deben haber ocurrido algunos sin que hayan originado mayores problemas socio-económicos. Sin embargo, en áreas al norte del Callejón de Huaylas, es decir más alejadas del epicentro, se produjeron significativos derrumbes y deslizamientos, que aislaron algunas poblaciones en esas provincias.

El 10 de noviembre de 1946 ocurrió un sismo que afectó las provincias andinas de Pallasca y Pomabamba del departamento de Ancash. El sismo estuvo asociado a un movimiento de fallamiento normal con un desplazamiento vertical máximo de 3.50 m.; ocurrió dentro de una zona fundamentalmente plegada y fallada con sobre-escurrimientos y fallas inversas en rocas mesozoicas que constituyen al límite oeste de macizos Paleozoicos y Prepaleozoicos. Este sismo ocurrió aproximadamente a 100 km. al norte de Huaraz y parece ser muy superficial por el fallamiento asociado. A pesar de tener una magnitud del orden de 7 Ms., no produjo en esta ciudad mayores problemas por efectos primarios ni por secundarios (geodinámica externa), sin embargo, en las áreas próximas al epicentro ocurrieron grandes derrumbes y deslizamientos ocasionando represamiento en las quebradas y sepultando algunas aldeas.

El sismo del 14 de febrero de 1948, fue la réplica de mayor energía del sismo anterior y produjo daños en las áreas próximas sin haber afectado la región del Callejón de Huaylas y Huaraz mismo.

2nd, 1759 until June 21st, 1937 there was no destructive earthquake in the localities of Chimbote and Huaraz. Most of the earthquakes which occurred originated slight damages of which there are fairly any information. One can suppose that the secondary phenomena that these earthquakes could have caused did not produce any important impact in the area.

The earthquake of June 21st, 1937 caused slight damages in Trujillo, Lambayeque and Salaverry, as well as in Cajamarca and Cutervo and it was given an intensity of VI MM whereas in Chimbote and Casma probably the intensity was V MM and in the area of Callejón de Huaylas (Huaraz) probably IV MM; for this earthquake it is probable that the secondary effects specially in the area of our interest were not of any great importance..

The earthquake of May 24th, 1940 was very destructive for Lima and surrounding settlements; it is considered in general that the intensity for these areas was VIII MM; From the regional intensity maps prepared by Silgado (1978), one notes that Chimbote as well as Huaraz are on the isoseism which limit the intensity VI MM; although in the area of Huaraz and the Callejón de Huaylas there is not indication of the occurrence of external geodynamic phenomena caused by this earthquake there must be some which did not really produced any social or economic problems. Nevertheless in the areas to the north of the Callejón de Huaylas that is to say further away from the epicenter there were significant landslides which isolated some of the towns of these provinces.

On November 10th, 1946 there occurred an earthquake which affected the Andean provinces of Pallasca and Pomabamba in the Department of Ancash; the earthquake was associated with a movement of normal faulting with a maximum vertical displacement of 3.50 m., which occurred within a zone fundamentally infolded and faulted with overslipish and inverse faults in mesozoic rocks which constitute the western limit of the paleozoic and prepaleozoic massifs. This earthquake occurred approximately 100 km to the north of Huaraz and seems to be very superficial because of the associated faulting. Notwithstanding that it have the magnitude of the order of 7 Ms it did not produce in this city of Huaraz significant problems due to primary effects nor secondary effects (external geodynamic), nevertheless in the areas near the epicenter there were great landslides causing damming in the galleys and burying some towns.

The earthquake of February 14th, 1948 was the largest aftershock of the previous earthquake and produced damages in nearby areas without affecting the region of the Callejón de Huaylas and Huaraz themselves.

El sismo del 18 de febrero de 1956, fue destructor en el Callejón de Huaylas. En Carhuaz, poblado del Callejón de Huaylas al norte de Huaraz, el sismo originó daños en las viviendas fundamentalmente antiguas y en aquellas ubicadas en pendientes; no se menciona los fenómenos secundarios, lo que parece indicar que si hubieron fueron de poca importancia. Parece ser que este sismo por el área donde ocurrió, podría ser de carácter superficial y estar conectado al sismo de fallamiento activo del flanco oriental de la Cordillera Blanca.

El sismo del 3 de julio de 1961, originó daños leves en Chimbote (VI MM) y gran alarma en Huaraz.

El sismo del 18 de abril de 1962, causó daños leves en las construcciones de adobe en Casma y Huaraz; aparte de los deslizamientos de relaves de Quiruvilca, parece ser que no se produjeron deslizamientos, derrumbes, etc. de mucha importancia.

El 24 de setiembre de 1963, ocurrió un sismo destructor en algunos pueblos de la Cordillera Negra (Cordillera izquierda del Callejón de Huaylas). La mayor parte de las averías ocurrieron en las construcciones de adobe, sin embargo, fueron afectados los canales de regadío y caminos por deslizamientos y derrumbes en algunas áreas de pendientes pronunciadas. En Huaraz varias edificaciones de adobe fueron dañadas; lo mismo pasó en la ciudad de Huarmey situada en la Costa. El epicentro fue ubicado en el mar a 80 km. de Huarmey y a 180 km. de Huaraz; su magnitud fue de 7 Ms y el hipocentro fue ubicado a 80 Km. de profundidad. Obviamente la ubicación no concuerda con las áreas dañadas, especialmente las del Callejón de Huaylas. Después de este sismo no ocurrió otro de importancia hasta el del 31 de mayo de 1970.

En resumen, se puede decir que en el transcurso de 350 años, desde 1619 hasta 1970, sólo han ocurrido dos sismos comparables por su destructividad con el terremoto del 31 de mayo de 1970. Estos sismos tratados anteriormente, son los que ocurrieron el 19 de febrero de 1619 y el 6 de enero de 1725; por su área de percepción y por los daños originados, estos fueron los sismos más importantes ocurridos en la región de interés, en un lapso de 245 años hasta el sismo de 1970. Desde el punto de vista geodinámico la ausencia de sismos destructores por 245 años significaba que toda la zona estaba cada vez más propensa a que ocurriera un terremoto devastador como es el caso que nos ocupa.

La actividad sísmica, dentro del cuadrángulo con-

The earthquake of February 18th, 1956 was destructive in the Callejón de Huaylas. In Carhuaz, city in the Callejón de Huaylas to the north of Huaraz, the earthquake originated damages in the housings specially in the old housing and in those dwellings which were located on slopes; there is no mention of secondary phenomena which seems to indicate that if there were they were of small importance. It seems that this earthquake because of the area where it occurred could have been of superficial characteristics and be connected with the system of active faulting on the eastern slope of the Cordillera Blanca.

The earthquake of July 3th, 1961 originated slight damages in Chimbote (VI MM) and great alarm in Huaraz.

The earthquake of April 18th, 1962 caused slight damages in the adobe constructions of Casma and Huaraz; besides the slides of Quiruvilca it seems that there were no other landslides of importance.

On September 24th, 1963 there was a destructive earthquake in some of the towns of the Cordillera Negra (Left Cordillera of the Callejón de Huaylas). The greater part of the damages occurred in the adobe constructions, but however the irrigation channels and the roads were affected because of slides and subsiding and in some areas where the slopes were highly pronounced. In Huaraz some constructions of adobe were damaged; the same happen in the city of Huarmey located in the coast. The epicenter is located in the sea at 80 km. from Huarmey and 180 km. from Huaraz with a magnitude of 7 Ms and the hypocenter located at a depth of 80 km; obviously the location does not coincide with the areas damaged, specially with the Callejón de Huaylas. After this earthquake there was no other of importance until that of May 31st, 1970.

Summing up we can say that in 350 years from 1619 through 1970 there have been only two earthquakes comparable because of the damages caused with the earthquake May 31st, 1970. These earthquakes described before have occurred in February 19th, 1619 and January 6th, 1725; because of the area where they were felt and the damage caused these were the most important earthquakes which occurred in the region of interest in the period of 245 years until the earthquake of 1970. From geodynamic point of view the absence of destructive events during 245 years means that the whole region was increasingly for damages upon the occurrence of a destructive earthquake such as is the case in which dealt in this paper.

The seismic activity within the quadrangle consid-

siderado, está mayormente circunscrita a sismos que ocurren estrechamente ligados al proceso directo de subducción; estos sismos constituyen los más dañinos para las ciudades costeras y para algunas de la región andina. En general, para esta área se puede considerar 2 procesos distintos de generación de sismos: un proceso de generación por subducción, con sismos interplacas y un proceso indirecto estrechamente vinculado a la subducción con sismos intraplacas, que en este caso está en estrecha conexión a los fallamientos activos superficiales tanto del Callejón de Conchucos (al este del Callejón de Huaylas), como del Callejón de Huaylas. Los sismos costeros interplacas son más abundantes que los del continente. Se puede señalar cuatro núcleos de actividad sísmica: el primero frente a Trujillo, el segundo al frente de Chimbote, el tercero frente a Casma y el cuarto frente a Pativilca, próximo a Lima.

La distribución espacial de estos sismos muestra un agrupamiento paralelo a la línea de costa muy próximo a ella, desde Pisco por el sur hasta Virú por el norte, en donde el agrupamiento se flexiona alejándose de la costa hasta una distancia de 150 km.; esta inflexión parece estar conectada con el cambio de la dirección de esfuerzos tectónicos entre Cajamarca y Trujillo.

A partir de Saña a 150 Km. al norte de Trujillo los sismos ocurren nuevamente muy próximos a la costa, incluso hasta debajo de ella.

Los hipocentros en la zona próxima al comienzo de la interacción de las placas, son de carácter superficial, no mayores de 40 km.; mientras que los más internos pueden ocurrir a profundidades hasta de 170 km.; existe un incremento de profundidad hacia el este.

En las figuras 2, 3 y 4 se muestra la distribución espacial de los sismos con magnitudes superiores a 5.0 Mb, que han ocurrido en la zona de influencia sísmica del área afectada. En la figura 2 se muestra la ubicación y distribución geográfica de los hipocentros, desde 1930 hasta 1970, en donde se puede notar el aparente cambio de dirección de la faja sísmica que se menciona líneas arriba. Es interesante señalar que el terremoto del 31 de mayo de 1970 ocurrió justamente en el comienzo de la flexión hacia el oeste de la faja sísmica oceánica e inmediatamente al sur de la zona de cambio de dirección de esfuerzos tectónicos entre Trujillo y Cajamarca. La figura No. 3, muestra la distribución espacial de los sismos ocurridos durante y después del sismo del 31-05-70 hasta 1980 inclusive, indicando que la actividad sísmica se ha acentuado en el área al sur del epicentro disminuyendo a su vez la

ered is mostly circumscribed to earthquake which occurred closely associated with the direct process of subduction; these seismic events constitute the most damaging for the coastal towns and for some in the Andean region. In general for this area one considers two separate processes of the generation of earthquakes: a process of generation by subduction with interplate events and an indirect process closely associated with subduction with intraplates events which in this case are in close connection with the superficiales active faultings both in the Callejón de Conchucos (to the east of the Callejón de Huaylas), as well as the Callejón de Huaylas. The coastal interplates seismic events are more abundant than those within the continent. We can point to four nucleus of seismic activity: the first in front of Trujillo, the second in front of Chimbote, the third in front of Casma and the fourth in front of Pativilca, near Lima.

The spacial distribution of these events show a grouping parallel to the coastal line very closed to it, from Pisco in the south to Virú in the north where the grouping vents away from the coast to a distance of 150 km; this vent seems to be connected with the change in direction of tectonic forces between Cajamarca and Trujillo.

From Saña at 150 km north of Trujillo, the earthquakes occurred again very closed to the coast including underneath it.

The hypocenters in the zone near the beginning of the interaction of the plates are of shallow character not more than 40 km; where are those that are further inland occurred at depths up to 170 km; there is an increase of depth for the east.

In Figures 2, 3 and 4 are seen the spacial distribution of the earthquakes with magnitudes above 5.0 Mb which have occurred in the zone of seismic influence of the affected area. In figure 2 is shown the location and geographic distribution of the hypocenters from 1930 through 1970 where one can notice the apparent change of direction in the seismic belt that is mentioned some lines above. It is interesting to point out that the earthquake May 31st, 1970 occurred just at the beginning of the bend to the west of the oceanic seismic belt and immediately to the south of the zone where the change of the direction of the tectonic forces between Trujillo and Cajamarca. The figure 3 shows the spacial distribution of the earthquakes which occurred during and after the earthquake of May 31st, 1970 until 1980 inclusive, indicating that the seismic activity has increased in the area to the south of the epicenter

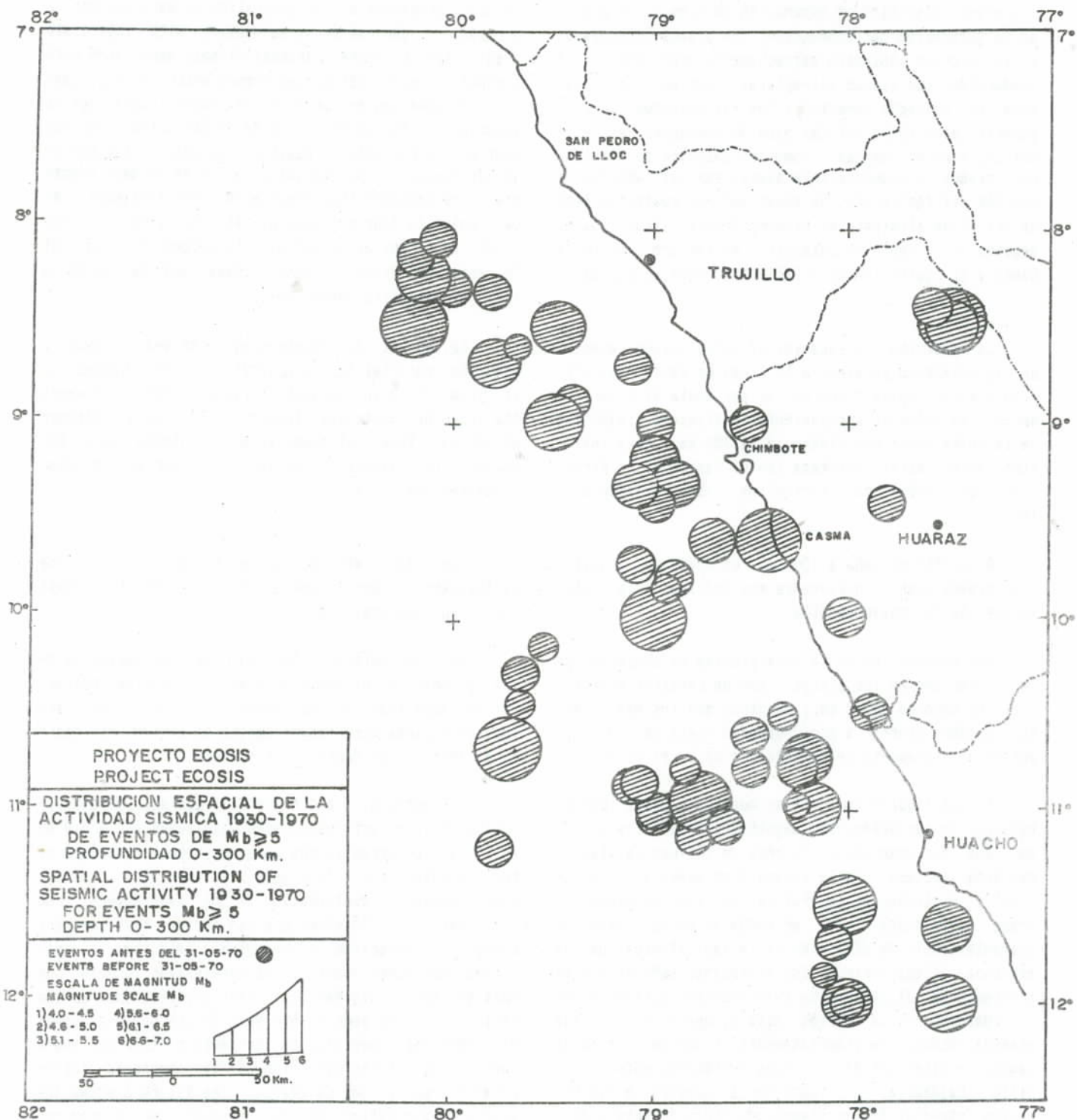


Fig. 2

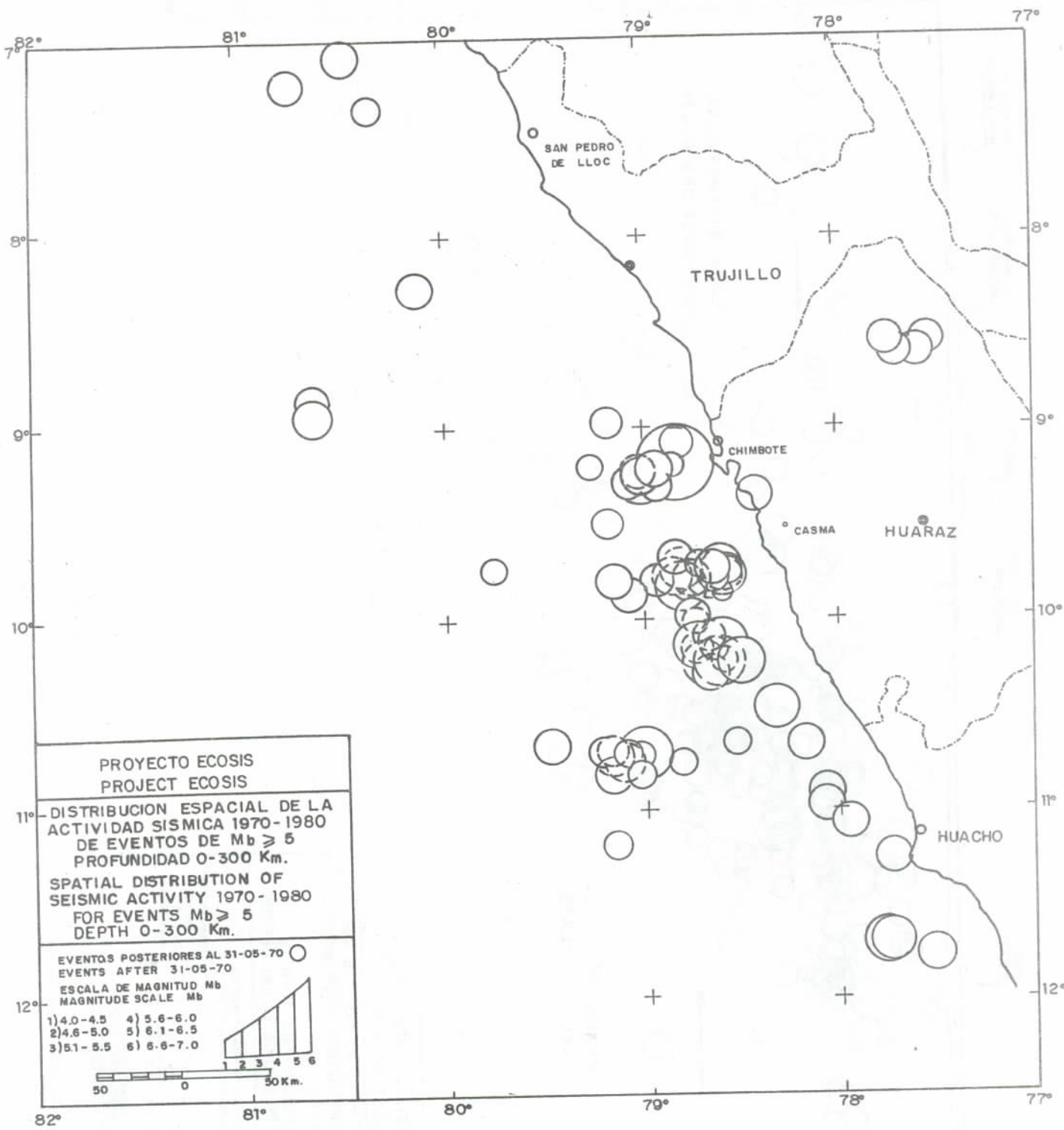


Fig. 3

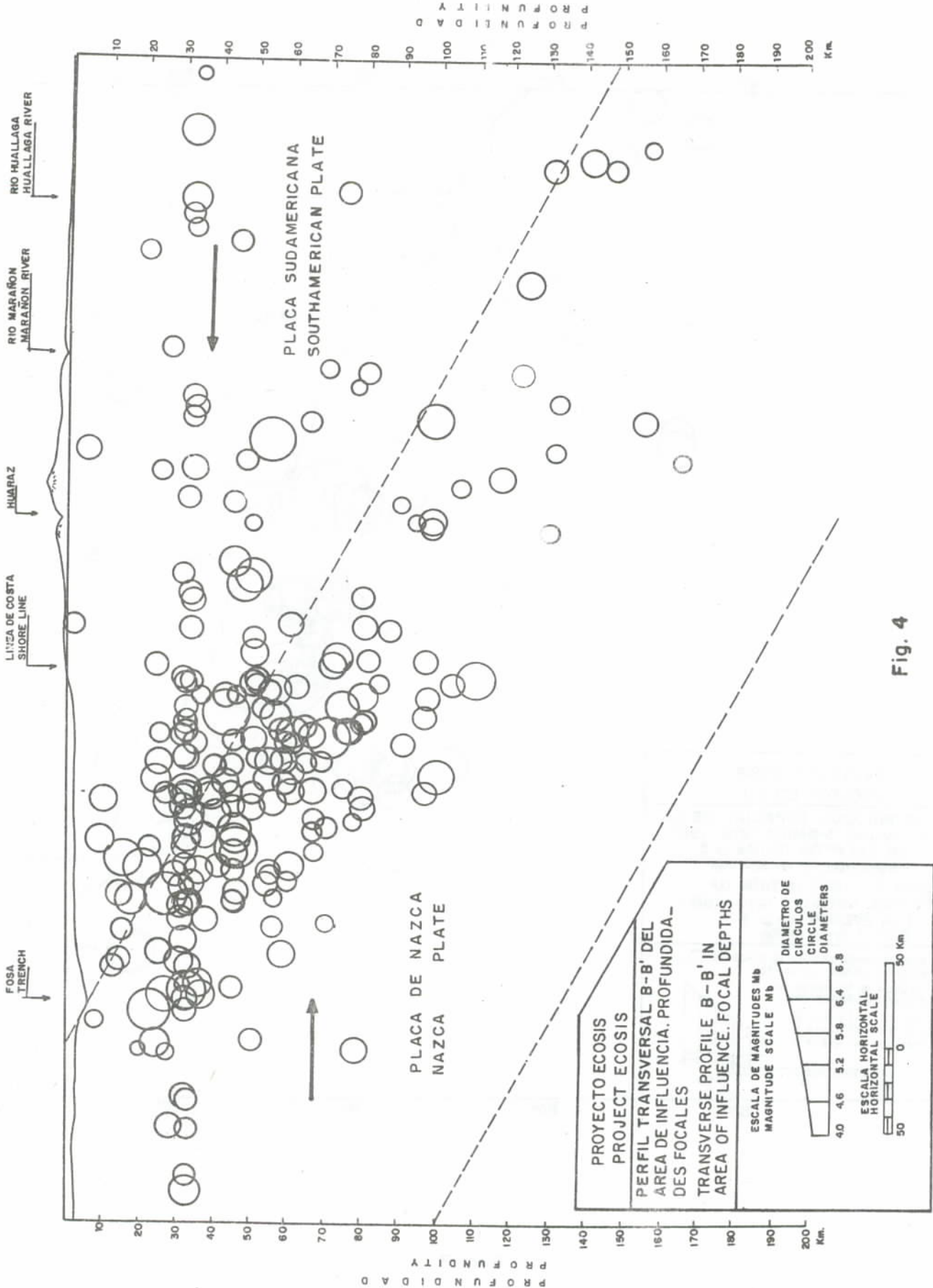


Fig. 4

actividad sísmica al norte de Chimbote (en realidad entre Chimbote y Saña).

La figura No. 4 muestra el perfil transversal de todos los sismos del área de influencia; se puede notar que la distribución en profundidad es normal y la ocurrencia está de acuerdo con el proceso de subducción; Esta se produce con un ángulo suave de aproximadamente 15° , tal como lo postulan otros autores (STAUDER, 1975; SACKS y BARAZANGHI, 1977).

Considerando solamente los sismos de mediana y alta energía, se nota cierta preferencia de ocurrir en zonas definidas dando la impresión de que la actividad sísmica podría estar asociada a bloques tectónicos, en un proceso algo similar a lo que ocurre en el sur del Perú (sur del paralelo 13°) en donde se ha identificado una estructura en bloques (DEZA, 1984).

Conocida la distribución espacial, es conveniente considerar la distribución en el tiempo y en el espacio de la actividad sísmica.

La finalidad de efectuar este análisis es para tener una idea de los intervalos de ocurrencia de los sismos con magnitudes mayores que 5.0 Mb para el área de influencia sísmica de la región afectada; además permite cualitativamente tener una concepción de la migración de los sismos. Para este fin se efectuó la representación gráfica de los epicentros para cuatro niveles de profundidad: de 0 a 33 km., de 34 a 60 km., de 61 a 90 km y de 90 a 300 km., considerando además su ocurrencia en tiempo desde 1930 hasta 1980, lo que se muestra en las figuras 5, 6, 7 y 8.

De primera intención, se nota que la actividad sísmica a partir del nivel de la magnitud mencionada que es de 5.0 Mb, no es muy abundante hasta el año de 1963 (inicio de la Red Mundial WWSSN) para los cuatro niveles de profundidad (hay que tener en cuenta también que la determinación de los hipocentros hasta antes de 1963 tienen menor precisión).

Se puede notar en los cuatro gráficos que aproximadamente entre 7 y 8 años antes, no ha ocurrido ningún sismo en las proximidades del epicentro del 31-05-70, dentro de un área de longitud de 80 a 100 km. paralela a la Costa, lo que llevaría al concepto de silencio sísmico (Seismic gap) para niveles de mediana y alta energía. Por otro lado en las áreas vecinas la ocurrencia de sismos se hace menor, pareciendo que ocurren agrupados en tiempo pero no en posición. Figs. 5, 6, 7 y 8.

También se puede notar en los gráficos que los

decreasing at the same time the seismic activity to the north of Chimbote (in effect between Chimbote and Saña)

Figure No. 4 shows the transverse profile of all of the earthquakes of the area of influence; one can notice that the distribution in depth is normal and that the occurrence is in accordance with the subduction process; this is produced with smooth angle of approximately 15° the same as well is proposed by other authors (STAUDER, 1975; I. SACKS and BARAZANGHI, 1977).

Considering only the earthquakes of median and high energy there is a certain preference that these occur in defined zones given the impression that the seismic activity could be associated with tectonic blocks, in a process someone similar to that which occurred in southern Peru; (south of parallel 13°) where a block structure has been identified (DEZA, 1984).

Knowing the spatial distribution, it is convenient to know seismic activity distribution with respect to time.

The purpose of doing this analysis is to have an idea of the intervals of occurrence of the earthquakes with magnitude greater than 5.0 Mb for the area of seismic influence of the region affected; furthermore it allows qualitatively to have a conception of the migration of the earthquakes. To this end the epicenters were plotted for four levels of depths: from 0 to 33 km., from 34 to 60 km., from 61 to 90 km. and from 90 to 300 km., considering further their occurrence in time since 1930 through 1980; this is shown in figures 5, 6, 7 y 8.

First one notes that the seismic activity from the level of the magnitude mentioned that is 5.0 Mb is not very abundant until the year 1963 (the Worldwide Net WWSSN began) for the four levels of depth (also must be taken into account that the determination of the hypocenters until before 1963 has much less precision).

One can note from the four figures that approximately between 7 and 8 years before there is no earthquake in the proximity of the epicenter of the May 31st, 1970 within an area with a length of 80 to 100 km parallel to the coast which would lead one to the concept of the seismic gap for medium and high energy levels. On the other hand in the surrounding areas the occurrence of earthquakes is less seeming that they occur grouped in time but not in position. Fig. 5, 6 7 and 8.

One can also note in the figures that the earth-

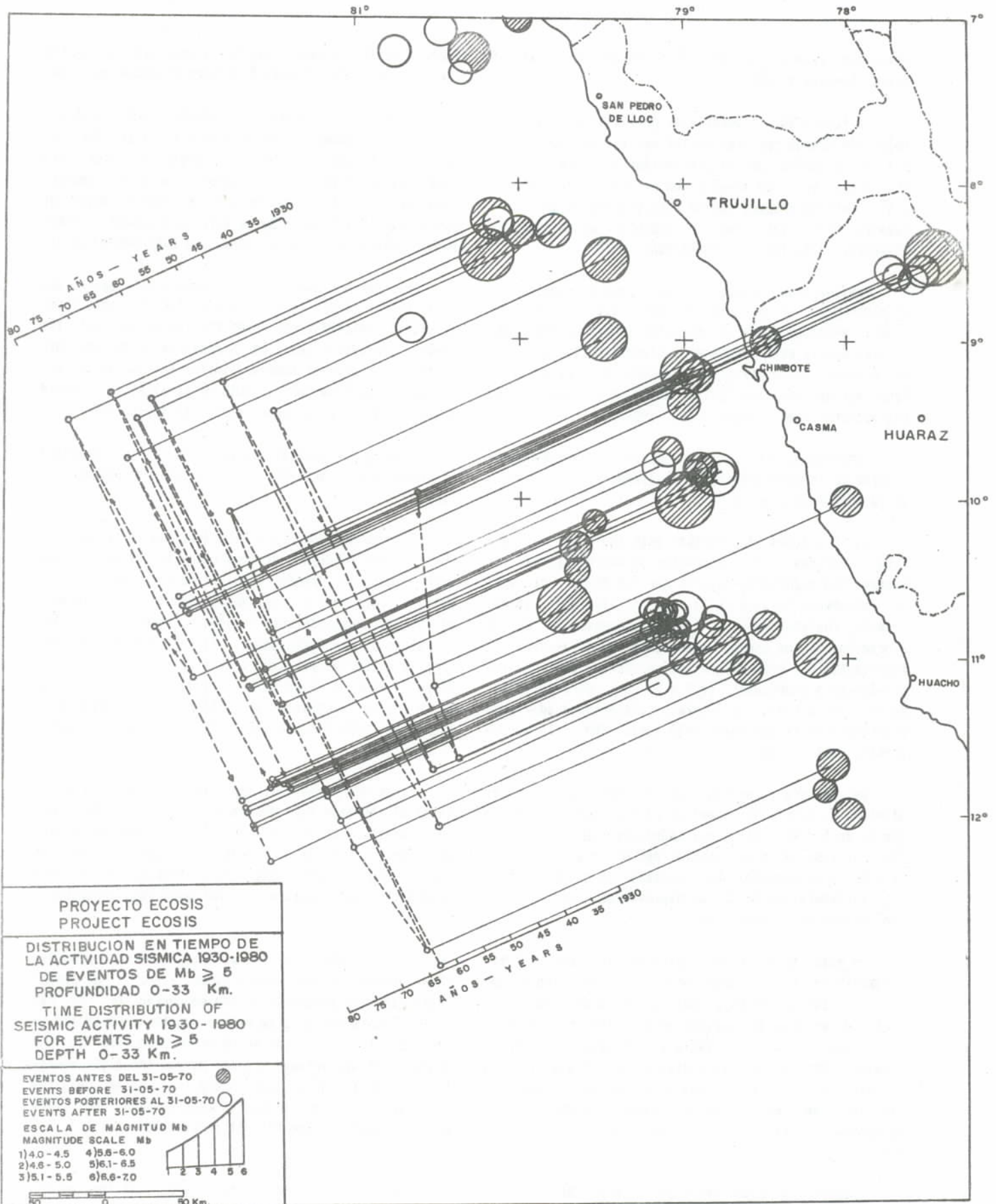


Fig. 5

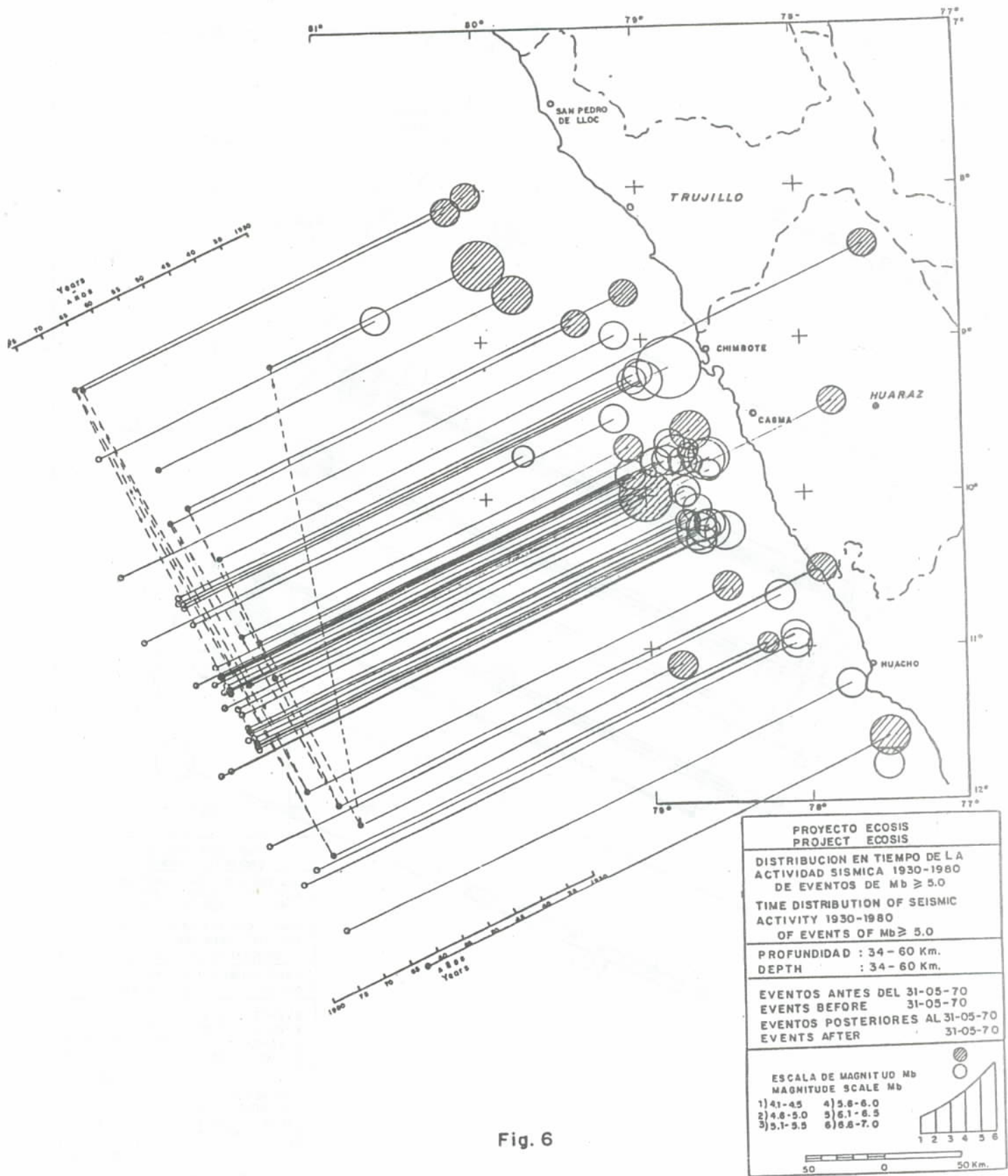
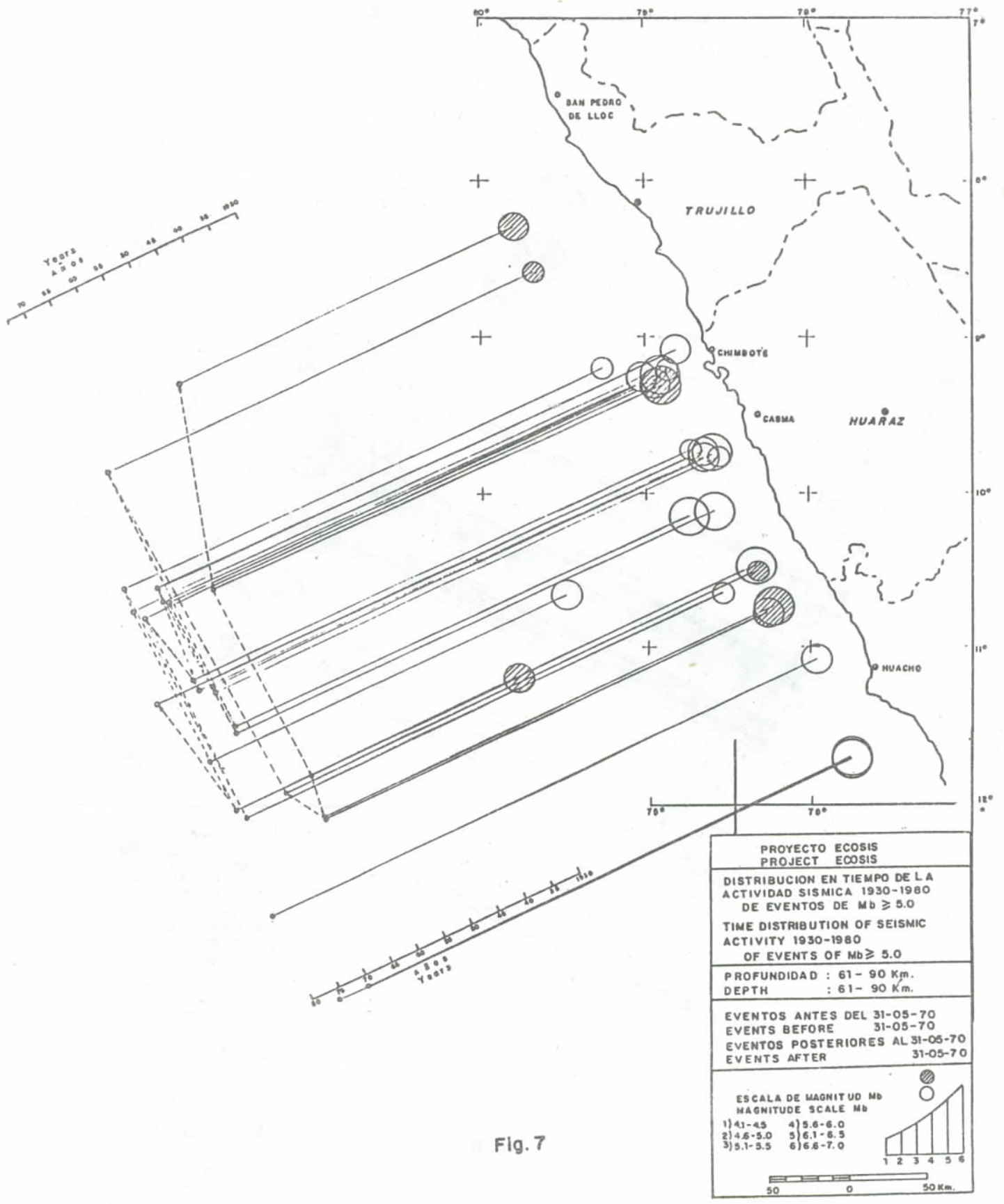


Fig. 6



PROYECTO ECOSIS
PROJECT ECOSIS

DISTRIBUCION EN TIEMPO DE LA
ACTIVIDAD SISMICA 1930-1980
DE EVENTOS DE $M_b \geq 5.0$

TIME DISTRIBUTION OF SEISMIC
ACTIVITY 1930-1980
OF EVENTS OF $M_b \geq 5.0$

PROFUNDIDAD : 61 - 90 Km.
DEPTH : 61 - 90 Km.

EVENTOS ANTES DEL 31-05-70
EVENTS BEFORE 31-05-70

EVENTOS POSTERIORES AL 31-05-70
EVENTS AFTER 31-05-70

ESCALA DE MAGNITUD M_b
MAGNITUDE SCALE M_b

1) 4.1-4.5	4) 5.6-6.0
2) 4.6-5.0	5) 6.1-6.5
3) 5.1-5.5	6) 6.6-7.0

1 2 3 4 5 6

50 0 50 Km.

Fig. 7

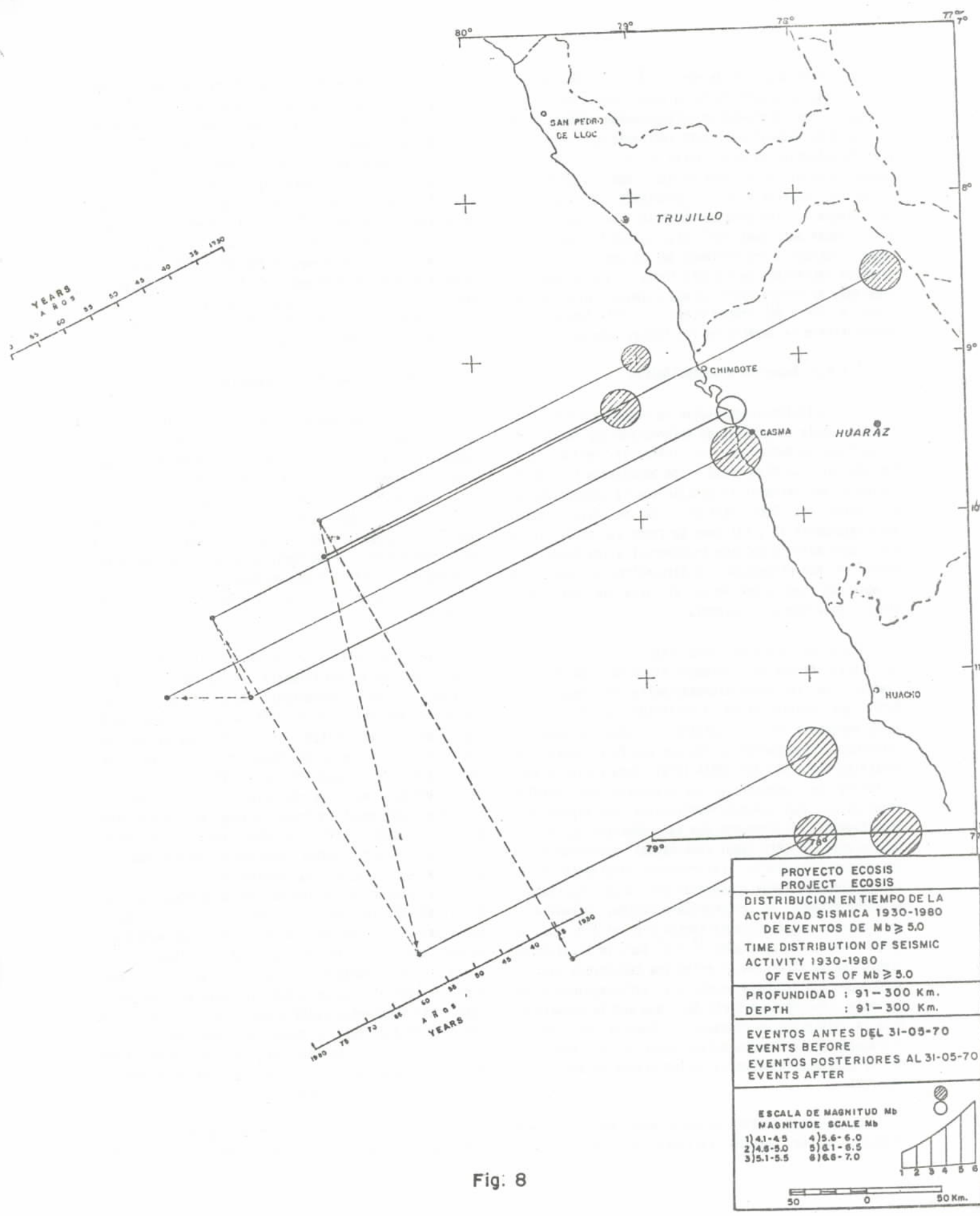


Fig. 8

sismos ocurren migrando de norte a sur y viceversa como si tuvieran un efecto de "ping pong" hasta antes del sismo, sin que se produzcan agrupamientos temporales en alguna área específica. Esto indicaría que la liberación de esfuerzos es algo rápida en la dirección longitudinal paralela a la fosa; es decir que los cambios de esfuerzos implicaría un "basculamiento" u oscilación del bloque o los bloques estarían conformando esta área. Desde este punto de vista, es posible que en las zonas próximas a los extremos del bloque podrían presentarse mecanismos de ruptura normales e inversos considerando el bloque elástico más o menos rígido y que sigue la teoría del rebote elástico. Este fenómeno de basculamiento se observa en las fallas superficiales.

2.1.4.2 Aspectos Sismotectónicos

Por la tectónica de placas se conoce que para esta región, existe un proceso de interacción por subducción de la Placa de Nazca que se introduce debajo de la Continental. La sismicidad y los mecanismos focales de varios sismos peruanos evidencian que la subducción, en la región del Perú central, es de bajo ángulo, aproximadamente 15° , tal como se puede ver en la fig. 4. que representa la sección transversal a los Andes, en donde se han proyectado los hipocentros de todos los sismos que han ocurrido en el área de influencia sísmica para Huaraz y Chimbote.

Desde el punto de vista regional, el área de influencia de Huaraz y Chimbote se ubica sismotectónicamente, en la región sismotectónica del centro del Perú, que abarca desde la deflexión de Huancabamba aproximadamente en la latitud 3, hasta la zona de transición sismotectónica del sur del Perú entre los paralelos 13° y 14° Sur (DEZA 1972). Esta región sismotectónica se caracteriza por presentar dos ramales sísmicos: un ramal oceánico-continental, con hipocentros directamente relacionados con la subducción de sismos interplacas, y otro ramal continental Andino-Amazónico con sismos intraplacas, relacionados mayormente con la interacción del borde occidental del Escudo Brasileño y el borde oriental de la Cordillera Andina. Además dentro de esta región sismotectónica y en el área de la costa y entre las latitudes 7° y 8° sur, se localiza un cambio en la dirección de esfuerzos tectónicos que han deformado las rocas mesozoicas y aproximadamente de nor-este a Sur-Oeste a Norte-Sur, que podría denominarse la "Deflexión de Cajamarca". Como se verá posteriormente esta deflexión parece jugar un rol importante en el estilo de ocurrencia de los sismos de esta área (Fig. 9).

En la faja costera de esta área de influencia sísmica, no se conocen fallamientos observados de

quakes occur migrating from North to South and viceversa although there was a "ping-pong" effect till just before the earthquake without temporary grouping is produced in any specific area. This would indicate that the liberation of stress is somewhat rapid in the longitudinal direction parallel to the trench; that is, that the changes of stress would imply a "basculation" or an oscillation of a block or blocks which constitute this area. From this point of view it is possible that in the zone near extremes of the block both normal or inverse rupture mechanisms could be present considering the elastic block and more or less rigid and which follows the elastic rebound theory. This phenomena of basculation is observed in surface faulting.

2.1.4.2 Seismotectonic aspects

Due to plate tectonic it is known that for this region there exists a process of interaction by subduction of the Nazca Plate which introduces itself under the Continental plate. The seismicity and the focal mechanisms of many Peruvian earthquakes give evidence that subduction in Central Peru is of low angle, approximately 15° , as can be seen in fig. 4 which represents a cross section to the Andes where the hypocenters of all earthquakes occurred in the area of seismic influence for Huaraz and Chimbote have been projected.

From the regional point of view the area of influence of Huaraz and Chimbote is seismotectonically located in the seismotectonic region of Central Peru and which includes from the deflection of Huancabamba, approximately at latitude 3 up to the zone of seismotectonic transition at the Southern part of Perú between parallels 13° and 14° South (DEZA, 1972). This seismotectonic region is characterized by its 2 seismic branches: one ocean-continent branch, with hypocenters directly related with the subduction of interplate earthquakes, and another continental Andean-Amazonic branch with interplates earthquakes related principally with the interaction of the occidental boundary of the Brazilian Shield and the Oriental edge of the Andean Cordillera. Furthermore within this seismotectonic region and in the area of the coast and between latitudes 7° and 8° South is located a change in the direction of tectonic forces which have deformed the mesozoic rocks from approximately northeast to southwest to north-south and could be denominated the "Deflection of Cajamarca". As will be seen later this deflection seems to play an important role in the style of occurrence of the earthquake of this area (Fig. 9).

In the coastal strip of this area of seismic influence no faults of importance have been observed;

importancia; sin embargo, por inferencias geológicas de carácter regional (LISSON, 1925), se indica que la Cordillera de la Costa ha desaparecido por hundimiento de la costa central lo que evidenciaría un fallamiento longitudinal del piso del océano.

En la zona andina existen numerosas fallas de carácter regional y local, con una orientación general norte-sur-este. Dentro de este conjunto de fallas, las más importantes para el área, están constituidas por la llamada falla normal de la Cordillera Blanca que tiene una longitud de aproximadamente 200 km. Una investigación algo detallada de esta falla (YONEKURA, y col. 1979) indica que la falla posee 3 segmentos morfoestructuralmente diferentes a lo largo de su longitud. Esta falla ha ocurrido progresivamente en el cuaternario reciente. De las mediciones de los desplazamientos de los bloques de la falla se reconoce que el intervalo de recurrencia es de 1,000 años, de modo que en el último millón de años transcurridos el desplazamiento vertical oscila entre 2,000 y 3,000 m. Aunque no se conocen sismos destructores asociados a esta falla en tiempos históricos, instrumentalmente, se han detectado sismos de pequeña magnitud que evidencian una actividad actual de esta falla. Por los desplazamientos medidos y la actividad sísmica, esta falla es considerada como un foco futuro de sismos destructores superficiales para esta área. (Fig. 9).

Otro grupo de fallas regionales importantes lo constituye el llamado sistema de fallas del Marañón al este del Callejón de Huaylas, conformado por fallas normales inversas y de sobreescorrimiento que han provocado hundimientos de bloques, denominados por algunos autores, fosas tectónicas del Marañón (JAEN, y col. 1970). Dentro de este grupo y entre el Marañón y el flanco oriental de la Cordillera Blanca, se presenta un complejo de fallas de sobreescorrimiento catalogadas como activas porque en esa área se presentan sismos no solo pequeños sino también destructores, como el 10-11-1946 (7.25 Ms) asociado a fallamiento normal y el de 4-5-71 (4.9 Mb) que originó daños muy localizados, además de efectos secundarios.

Podría considerarse sismotectónicamente que esta área de influencia para Chimbote y especialmente para Huaraz (Callejón de Huaylas), presenta una peligrosidad sísmica doble por los sismos interplacas (océano-costanero) y aquellos sismos intraplacas del fallamiento activo mencionado.

El factor de atenuación es un parámetro importante para determinar los niveles de intensidad y aceleración en lugares alejados del hipocentro. Debido a la escasa información instrumental de aceleración, para estudiar

nevertheless some geological inferences of regional character (LISSON, 1925) indicate that the coastal Cordillera has disappeared due to the sinking of the Central coast which would indicate a longitudinal faulting at the ocean floor.

In the Andean zone there exist numerous faults of regional and local character with a general orientation North-West South-East; within this group of faults the most important for the area is constituted by the so called normal fault of the Cordillera Blanca which has approximately 200 km in length. A somewhat detailed study of this fault (YONEKURA et al. 1979) indicates that the fault has 3 morphostructurally different segments along its length; this fault has occurred progressively in the recent Quaternary. From the measurements of the displacement of the blocks of the faults it is recognized that the interval of recurrence is of above 1,000 years so that in the last million years which have passed the vertical displacement goes from 2,000 to 3,000 meters. Although no destructive earthquakes associated to this fault known, in historical times with is known, small magnitude earthquakes evidencing a present activity of this fault have been instrumentally detected. Because of the measured displacements and seismic activity, this fault is considered as a future focus for the surface destructive earthquakes for this area (Fig. 9).

Another group of important regional faults is constituted by the so called system of faults of the Marañón to the East of the Callejón de Huaylas, constituted by inverse normal faults and oversliding faults which have provoked sinking of blocks denominated by some authors as tectonic trenches of the Marañón (JAEN, et al. 1970). In this group and between the Marañón and the oriental slope of the Cordillera Blanca are present a complex of faults of oversliding, faults catalogued as active because in this area there are earthquakes not only, small but also destructive such as the one 11.10.1946 (7.25 Ms) associated to normal faulting and that of 5.4.71 (4.9 Mb) which originated very localized damages besides some secondary effects.

Seismotectonically could be considered that this area of influence for Chimbote and specially for Huaraz (Callejón de Huaylas) presents a double seismic hazard due to the interplate earthquake (oceanic-coastal) and those intraplates due to the active faulting mentioned.

The factor of attenuation is an important parameter to determine the level of intensity and acceleration at places distant from the hypocenter. Due to the small amount of instrumental information of accelera-

MAPA TECTONICO DE 1982 DEL AREA DE INFLUENCIA TECTONIC MAP FOR 1982 OF AREA OF INFLUENCE

TOMADO DEL MAPA ELABORADO POR INGEMMET
TAKEN FROM MAP OF INGEMMET

CICLO ANDINO ANDEAN CYCLE

- A₁** DEFORMACION P.L.O. CUATERNARIO
- A₂₂** VOLCANICOS PLIO-QUATERNARIO
- A₂₃** DEFORMACION MESOTERTIARIA (Fase Superior 24/4-10, 7-6 MAJ)
- A₂₄** DEPOSITOS MARINOS DE LA COSTA
- A₂₅** VOLCANO-CLASTICOS DE LA REGION CONCHALLERANA
- A₂₆** DEPOSITOS CONTINENTALES CUENCAS SIBIRIANAS
- A₂₇** DEFORMACION EOCENO-OLIGOCENO (Fase inferior 40 MAJ)
- A₂₈** DEFORMACION DEL CRETACEO TERNAL EOCENO MEDIO
- A₂₉** MOLASAS DE MARIANA-PALEOCENO (Fase Peruvia: 80-60 MAJ) / ALCUTITO COSTERO 100-40 MAJ
- A₃₀** DEPOSITOS MARINOS Y CONTINENTALES
- A₃₁** DEFORMACION INTRACRISTALINA (Fase Cuzco 100-80 MAJ)
- A₃₂** DEPOSITOS VOLCANO-CLASTICOS DEL CRETACEO INFERIOR A MEDIO
- A₃₃** MOLASAS DE JURASICO SUPERIOR
- A₃₄** DEFORMACION MALMICA (Fase Mercurio 240 MAJ)
- A₃₅** DEPOSITOS CLASTICOS Y VOLCANO-CLASTICOS TRIASICO JURASICO
- CICLO MERCENICO**
- H₁** DEFORMACION PERMO-TRIASICA (Fase Famborombio 2230 MAJ)
- H₂** MOLASAS Y VOLCANICOS
- H₃** DEFORMACION INTRA-PERMIANA (Fase Tumbucay 200-265 MAJ)
- H₄** DEPOSITOS DEL CARBONIFERO Y PERMIANO INFERIOR
- H₅** DEFORMACION DEVONICO-CARBONIFERO (Fase Eneboloma 350-135 MAJ)
- H₆** DEPOSITOS DEL PALEOZOICO INFERIOR Y MEDIO
- CICLO PRECAMBRIANO**
- P₁** DEFORMACIONES PRECISISOLAS
- P₂** MIGMATITAS GRANES Y ESQUISTOS (1,000-600 MAJ)
- P₃** MIGMATITAS GRANES Y ESQUISTOS (1,200-600 MAJ)

SIMBOLOS LITHOLOGICAL ASSOCIATIONS

- LIMITE DEL DOBINO ANDINO** [Symbol]
- ARTICULACIONES** [Symbol]
- FALLAS NORMALES** [Symbol]
- CABALGAMIENTOS** [Symbol]
- FALLAS DE INFERIDAS** [Symbol]
- FRACTURAS DE ZOCALO** [Symbol]
- VOLCANES PLIO CUATERNARIOS** [Symbol]
- BASE DEL CRETACEO** [Symbol]
- DOMOS DE SAL** [Symbol]
- MOLASAS** [Symbol]
- VOLCANISMO CONTINENTAL** [Symbol]
- VOLCANO CLASTICOS** [Symbol]
- SEDIMENTITAS MARINAS ORIENTES)** [Symbol]
- PLUTONITAS** [Symbol]

ESCALA GRAFICA
GRAPHIC SCALE
1:2,000,000

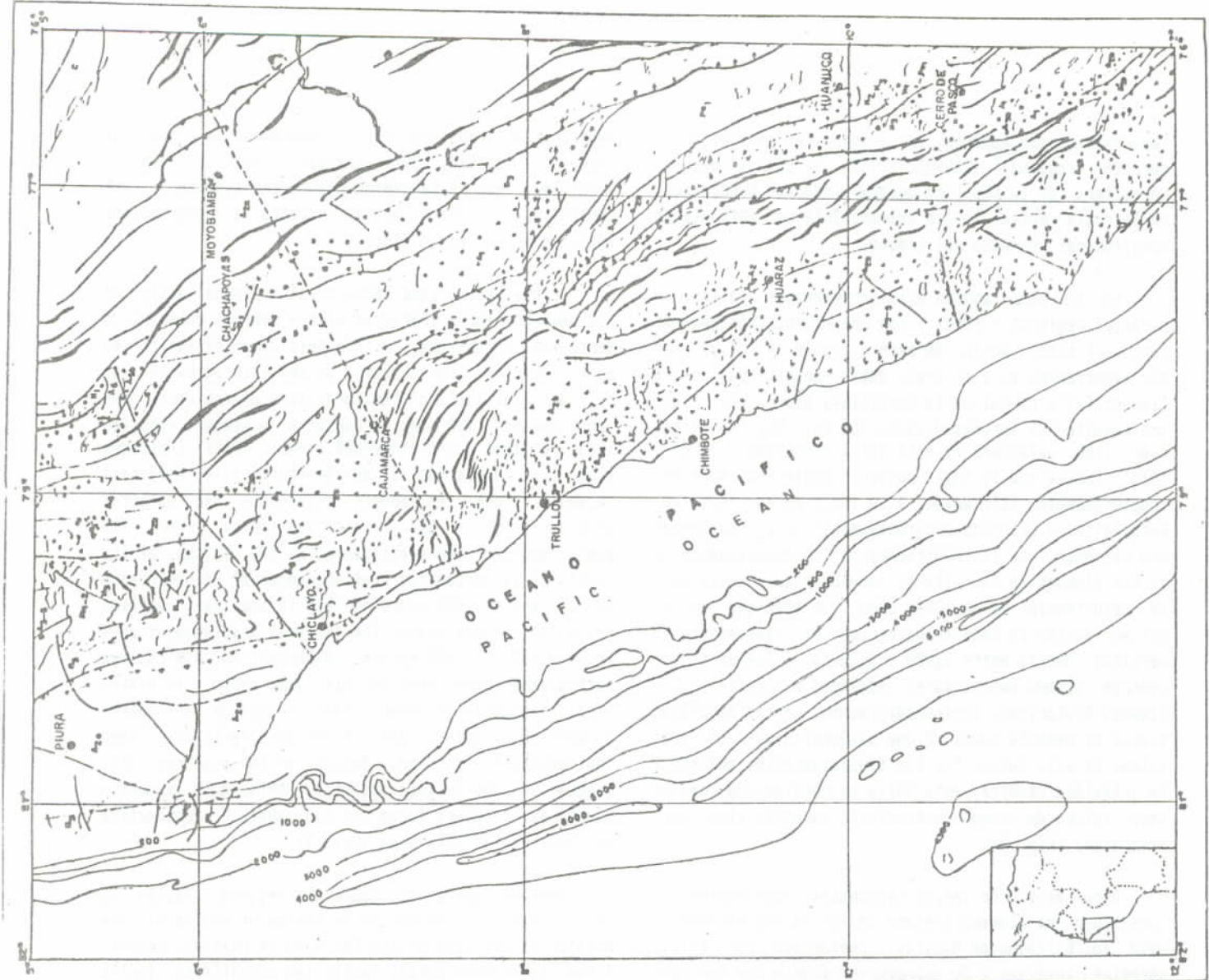


Fig. 9

este factor se ha utilizado los mapas de isosistas más confiables preparados por SILGADO (1978), los que fueron elaborados para terremotos peruanos cuya lista se adjunta en la tabla No. 1.

Se obtuvieron dos familias de curvas de atenuación de intensidad: una de ellas paralela a la costa que muestra una menor atenuación, y la otra perpendicular a la costa y a los Andes que muestra una atenuación mayor como se puede ver en las figuras 10 y 11 en las que además se han colocado los valores obtenidos de los mapas de isosistas para la obtención de las mencionadas curvas.

Las diferencias de atenuación están estrechamente ligadas con la estructura tectónica de los Andes cuyos elementos fundamentales se disponen longitudinalmente a los Andes.

Para estas familias de curvas se han trazado equivalentes representativos de las atenuaciones.

La profundidad de los sismos listados en la tabla No. 1 oscilan entre 25 y 60 km., por lo que las curvas de atenuación no pueden ser aplicadas para los sismos muy superficiales, debido a que para estos casos, como se ha observado para los sismos asociados a fallamientos, (DEZA, 1971; SILGADO 1978), la atenuación es más severa. Por otro lado, en vista que las curvas de atenuación mostradas combinan sismos continentales y oceánicos, estas curvas podrían ser útiles no sólo para la región del Perú, sino también para el área Andina en general, por lo menos como una guía.

tion to study this factor the maps of isoseismal curves more reliable prepared by SILGADO (1978) have been used which were prepared for Peruvian earthquakes whose list is shown in Table No. 1.

Two families of curves of intensity attenuation were obtained: one of them parallel to the coast which shows more attenuation and the other perpendicular to the coast and to the Andes which shows a greater attenuation as can be seen in figures 10 and 11, where furthermore values from the of maps isoseismal curves for drawing of such curves have been placed.

The differences in attenuation are closely linked to the tectonic structure of the Andes whose fundamental elements are longitudinally disposed to the Andes.

For these families of curves representative equivalents for the attenuations have been drawn.

The depth of the earthquakes listed in Table No. 1 are between 25 and 60 km so that the attenuation curves can not be applied to very shallow earthquakes due to in these cases, as has been noted in earthquakes associated to faulting (DEZA, 1971; SILGADO, 1978), the attenuation is more severe. On the other hand in view that the attenuation curves shown combined both oceanic and continental earthquakes, these curves can be useful not only for the region of Peru but also for the Andean region in general, at least as a guide.

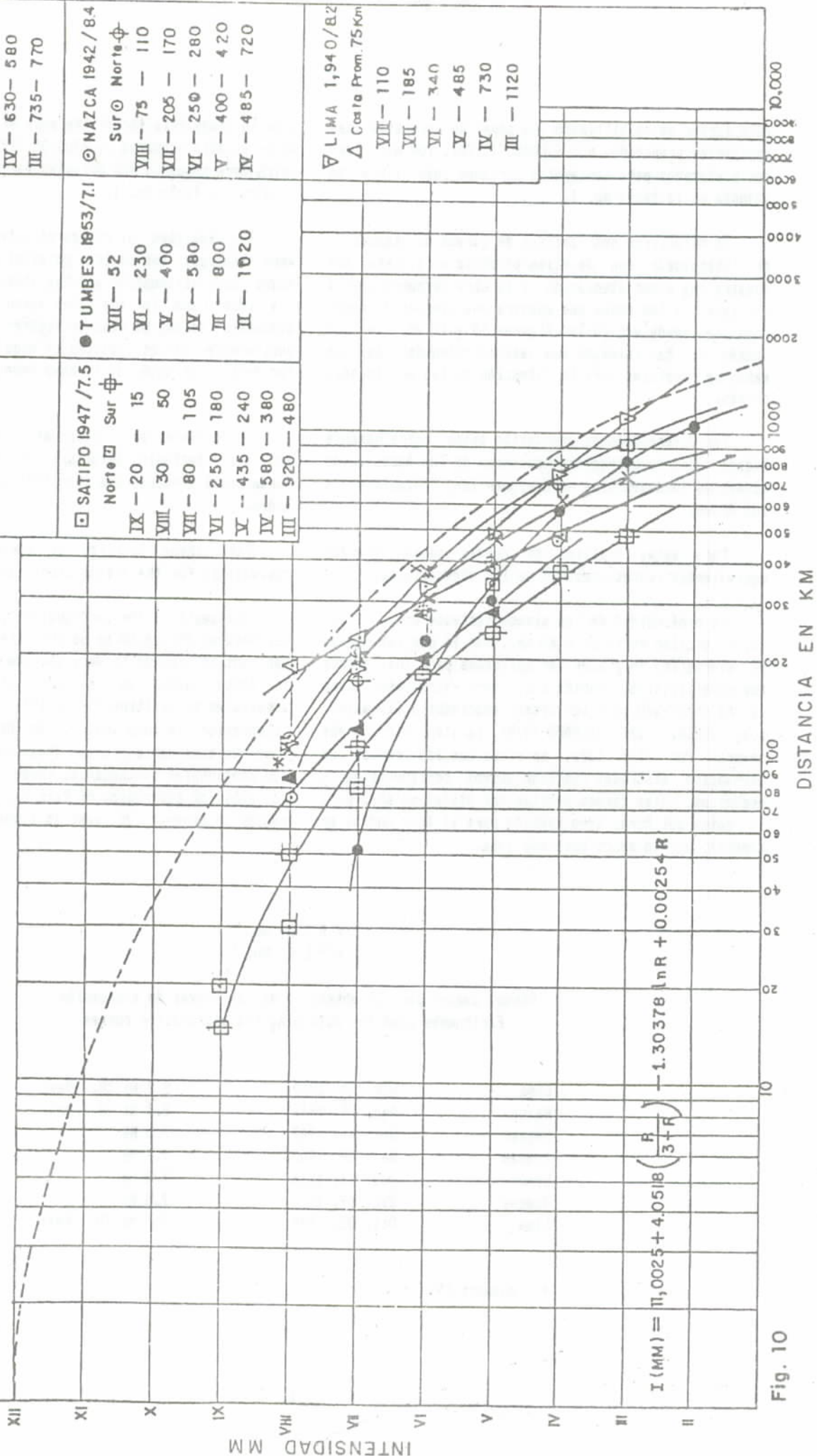
T A B L A No. 1
T A B L E No. 1

Sismos usados para la obtención de las curvas de atenuación
Earthquake used for obtaining the attenuation curves

Lima	Nov. 24, 1940	8.2 Ms (8.2 Mw*)
Nazca	Ago. 24, 1942	8.4 Ms (8.2 Mw*)
Satipo	Nov. 01, 1947	7.5 Ms
Tumbes	Nov. 09, 1953	7.7 Ms
Lima	Nov. 17, 1966	7.5 Ms
Tumbes	Dic. 09, 1970	7.5 Ms
Lima	Oct. 03, 1974	7.6 Ms (8.1 Mw*)

* Kanamori 1977

CURVA DE ATENUACION DE INTENSIDAD - PARALELO A LOS ANDES Y LINEA DE COSTA
 INTENSITY ATTENUATION CURVE PARALLEL TO ANDES AND COASTLINE



$$I (MM) = \pi,0025 + 4,0518 \left(\frac{R}{3+R} \right) - 1.30378 \ln R + 0.00254 R$$

Fig. 10

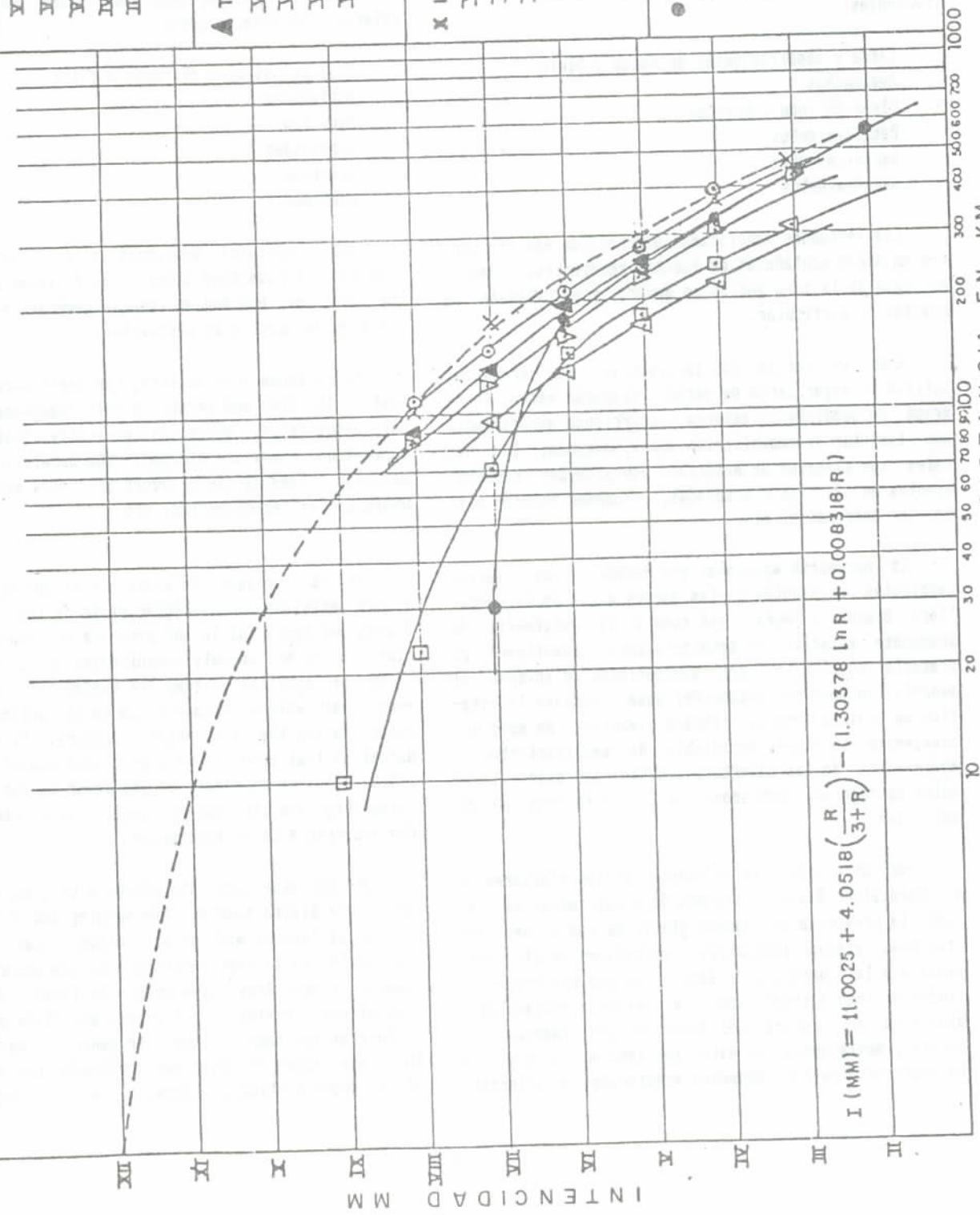
Δ LIMA 1,974/7.5 VIII - 190 VII - 230 VI - 270 V - 380 IV - 490	▲ TUMBES 1970/7.1 VIII - 85 VII - 120 VI - 195 V - 280	X LIMA 1986/7.5 Sur X Norte * VIII - 110 - 100 VII - 190 - 200 VI - 415 - 370 V - 485 - 460 IV - 630 - 580 III - 735 - 770
--	--	---

□ SATIPO 1947/7.5 Norte Sur φ IX - 20 - 15 VIII - 30 - 50 VII - 80 - 105 VI - 250 - 180 V - 435 - 240 IV - 580 - 380 III - 920 - 480	● TUMBES 1953/7.1 VII - 52 VI - 230 V - 400 IV - 580 III - 800 II - 1020	⊙ NAZCA 1942/8.4 Sur ⊙ Norte φ VIII - 75 - 110 VII - 205 - 170 VI - 250 - 280 V - 400 - 420 IV - 485 - 720
--	--	--

▽ LIMA 1,940/8.2 Δ Costa Prom. 75 Km VIII - 110 VII - 185 VI - 340 V - 485 IV - 730 III - 1120

CURVA DE ATENUACION DE INTENSIDAD - PERPENDICULAR A LOS ANDES Y LINEA DE COSTA

INTENSITY ATTENUATION CURVE PERPENDICULAR TO ANDES AND COASTLINE



$$I (MM) = 11.0025 + 4.0518 \left(\frac{R}{3+R} \right) - (1.30378 \ln R + 0.008318 R)$$

- △ LIMA 1,974 / 7.5
- XII - 96
- VII - 130
- V - 170
- IV - 220
- III - 310

- SATIPO 1,947 / 7.5
- IX - 10
- VIII - 23
- VII - 70
- VI - 145
- V - 180
- IV - 245

- ▲ TUMBES 1,970 / 7.1
- VIII - 90
- VII - 130
- VI - 190
- V - 250

- NAZCA 1,942 / 8.4
- VIII - 110
- VII - 150
- VI - 210
- V - 280
- IV - 395

- X LIMA 1,966 / 7.5
- VIII - 105
- VII - 175
- VI - 235
- V - 290
- IV - 365
- III - 445

- ▽ LIMA 1940 / 8.2
- COSTA Prom. 75 Km
- VIII - 85
- VII - 120
- VI - 160
- V - 230
- IV - 310
- III - 435

- TUMBES 1,953 / 7.7
- VII - 30
- VI - 175
- V - 240
- IV - 320
- III - 430
- II - 560

Fig. 11

2.1.4.3 Aspectos generales de geodinámica externa en el área

En forma general dentro de los procesos de geodinámica externa están considerados los deslizamientos, huaycos, flujos de lodo, inundaciones, caídas de rocas, avalanchas, etc.

De acuerdo a la morfología, topografía y geología del área afectada, especialmente la de la zona andina, los siguientes constituyen los principales fenómenos de geodinámica externa de mayor envergadura y más frecuentes:

- Caída y deslizamientos de rocas y hielo
- Avalanchas
- Flujo de lodo y huaycos
- Deslizamientos
- Agrietamientos
- Asentamientos

Los fenómenos mencionados ocurren con más frecuencia en áreas montañosas de fuertes pendientes, como es el caso de la zona andina en general y el Callejón de Huaylas en particular.

Como es conocido por la historia, los terremotos activan la mayor parte de veces, disparan estos fenómenos de geodinámica externa, ocurriendo generalmente que las vías de comunicación son bloqueadas, los canales son llenados de material, se producen represamientos en los ríos y quebradas, ciudades enteras pueden ser enterradas, etc.

Es necesario mencionar que debido a las fuertes pendientes existentes en las partes altas de la Cordillera Blanca y Negra, así como a la existencia de abundante material de cobertura poco consolidado en precario equilibrio, son susceptibles de moverse al aumentar su peso por acción del agua, durante la estación de lluvias (enero, febrero y marzo), de modo que anualmente un número apreciable de deslizamientos y movimientos de las coberturas dañan carreteras, canales de riego, poblados, etc. sin la intervención del sismo.

Por otro lado, la existencia de los glaciares de la Cordillera Blanca, algunos de ellos colgantes así como la presencia de lagunas glaciares con diques morrénicos, algunos inestables, contribuyen en alto porcentaje a la ocurrencia de daños, ya que dan origen a flujos de lodo e inundaciones, a violentas avalanchas y aluviones por rotura del dique de las lagunas. En general, movimientos de este tipo inducen, a su vez, a la ocurrencia de los fenómenos mencionados anteriormente.

2.1.4.3 General Aspects of External Geodynamics in the Area

The general form within the processes of external geodynamics are considered the landslides, huaycos, mud flows, inundations, rock falling, avalanches, etc.

In accordance to morphology, topography and geology of the affected area, specially that of the Andean zone, the following constitute the principle phenomena of greater geodynamics and more frequent external and more frequent:

- Fall and sliding of rocks and ice
- Avalanches
- Mud flow
- Landslides
- Cracking
- Subsidence

The phenomena mentioned occur, with greater frequency in mountainous areas of hard slopes such as is the case of the Andean zone in general and in the Callejón de Huaylas in particular.

As is known from history, the earthquakes activate most of the time and triggered this phenomena of external geodynamics, occurring generally that the communication roads are blocked, the canals are full of material, damming is produced in rivers and ravines, whole cities can be buried, etc.

It is necessary to mention that due to the hard slopes existing in the higher parts of the Cordillera Blanca and Negra and to the presence of abundant material of cover loosely consolidated in a precarious state of equilibrium they are susceptible of moving when their weight increases due to the action of the water during the rainy season (January, February and March) so that annually an appreciable number of landslides and earth movements of the cover of the mountains damage highways, irrigation canals, towns, etc. without the occurrence of an earthquake.

On the other hand the presence of glaciers in the Cordillera Blanca some of them hanging and the presence of glacial lagoons with moraine dikes, some unstable, contribute in an high percentage to the occurrence of damages since they give origin to the mud flows and inundations, to violent avalanches and floods due to the rupture of the lagoon dikes; in general, movements of this type induce on their own previously the occurrence of the above mentioned phenomena i.e., (rock falling,

te (caída de rocas, deslizamientos, etc.) o a aumento de la inestabilidad de la cobertura de las pendientes en las áreas donde se presentan.

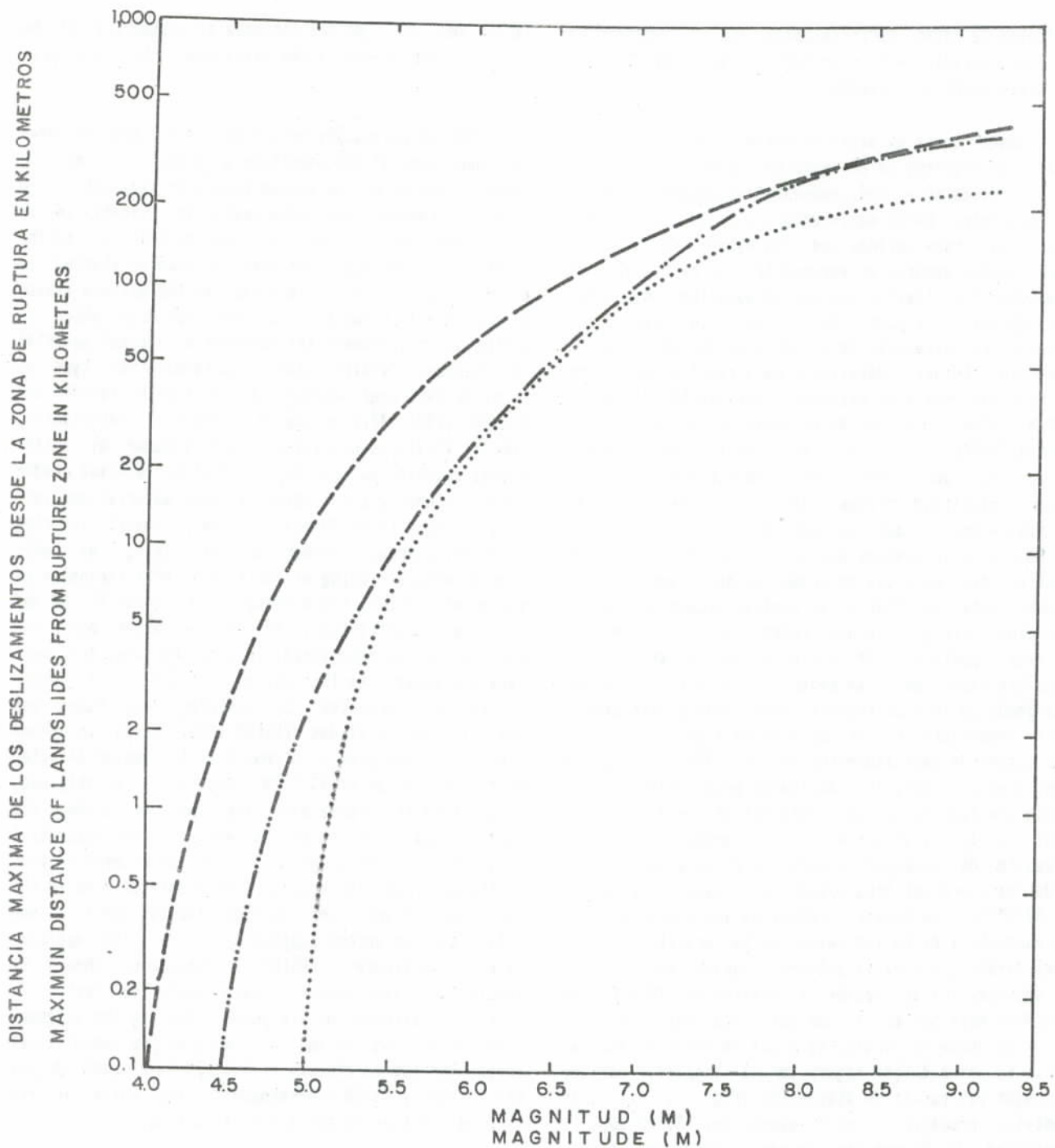
Cuando ocurre un sismo en estas áreas o próximas a ellas, dependiendo de la magnitud, gran parte de las masas inestables en las pendientes se deslizan lenta o violentamente. Estos movimientos, a su vez, desestabilizan las áreas vecinas que con sismos de magnitud menor pueden ponerse en movimiento. Se ha tratado de establecer los límites mínimos de magnitud, intensidad o aceleración, a partir de los cuales un sismo puede disparar el movimiento de un material de cobertura en pendiente. Estudios detallados para resolver este tipo de problemas han sido efectuados por KEEFER (1984) y WILSON (1984). Después de estudiar 40 terremotos históricos (KEEFER (1984) ha clasificado los deslizamientos inducidos por sismos, señalando por ejemplo que la mínima intensidad predominante para que se produzcan deslizamientos de material suelto y caída de rocas es VI MM, y la intensidad más baja reportada es IV MM; mientras que para que se produzcan deslizamientos de material cohesivo, fluidez de suelos, expansión lateral de suelos, etc., la mínima intensidad fue VII MM y la más baja reportada VI MM. Por otro lado, el mismo autor ha determinado, en forma general, las máximas distancias desde la zona de ruptura hasta donde pueden producirse deslizamientos para diferentes magnitudes y varias clases de deslizamientos (KEEFER 1984), lo que se muestra en la Figura 12. Aplicando este resultado a la región afectada por el terremoto del 31-05-70, se obtiene la figura 13 que muestra los probables límites máximos de deslizamiento y caída de rocas a partir del borde costanero del área epicentral, para el terremoto del 31-05-70 y de sismos hipotéticos que puedan ocurrir con magnitud 7 Ms en las fallas de la Cordillera Blanca y del Marañon, activa la primera y supuestamente activa la segunda. La aplicación del gráfico de KEEFER, se considera debe ser modificado para cada región específica, en donde se conozca el o los factores de atenuación. En esta última figura se ha trazado, además, aplicando las curvas de atenuación (Fig. 10 y 11), las isosistas probables para el sismo del 31-05-70; la intensidad VI MM corresponde con la curva del límite máximo de deslizamientos y caída de rocas.

Para una evaluación de posibles efectos de un futuro sismo en una región dada, esta sería la primera aproximación por efectuar. Comparando este diagrama (Fig. 13) con el obtenido por PLAFKER y col. (1971) (Fig. 14), en el que se señala el límite aproximado hasta el cual ocurrieron deslizamientos, caídas de rocas y fisuras en depósitos inconsolidados, se nota una concordancia bastante aceptable.

landslides, etc.) or the increase of instability of the cover of the slopes in the areas where they are present.

When an earthquake occurs in these areas or near them depending of the magnitude a great part of the unstable masses on the slopes slowly or violently are displaced downward and these movements distabilize on their own the surrounding areas so that with earthquakes of lesser magnitude they can also be started in movement. One has tried to establish the minimum limits of magnitude, intensity or acceleration from which an earthquake can provoke the movement of a cover material in the slope. Detailed studies to resolve this type of problems have been carried out by KEEFER (1984) and WILSON (1984). After study 40 historical earthquakes, KEEFER (1984) has classified slides induced by earthquakes pointing out for example that the minimum predominant intensity for sliding of loose material and falling of rocks is VI MM and the lower intensity reported is IV MM; whereas in order that the sliding of cohesive material, flowing of soils or lateral expansion of soils, etc. occur, the minimum intensity was VII MM and the lower reported was VI MM. On the other hand the same author has determined, in a general way, the maximum distances from the zone of rupture up to where slides can be produced for different magnitudes and several kinds of slides (KEEFER 1984), which is shown Figure 12. Applying this result to the region affected by the earthquake of 5.31.70, figure 13 is obtained, which shows the probable maximum limits of slides and fall of rocks from the coastal edge of the epicentral area for the earthquakes of 5.31.70 and of hypothetical earthquakes that could occur with magnitude 7 Ms in the Cordillera Blanca and Marañon faults, the first one active and the second supposedly active. The application of the figure of KEEFER is considered should be modified for each specific region where the factor or factors of attenuation are known. Applying the attenuation curves (Fig. 10 and 11) the probable isoseismical curves for the earthquake of 5.31.70 have been drawn; the intensity VI MM corresponds to the curve of the maximum limit of slides and rock falling.

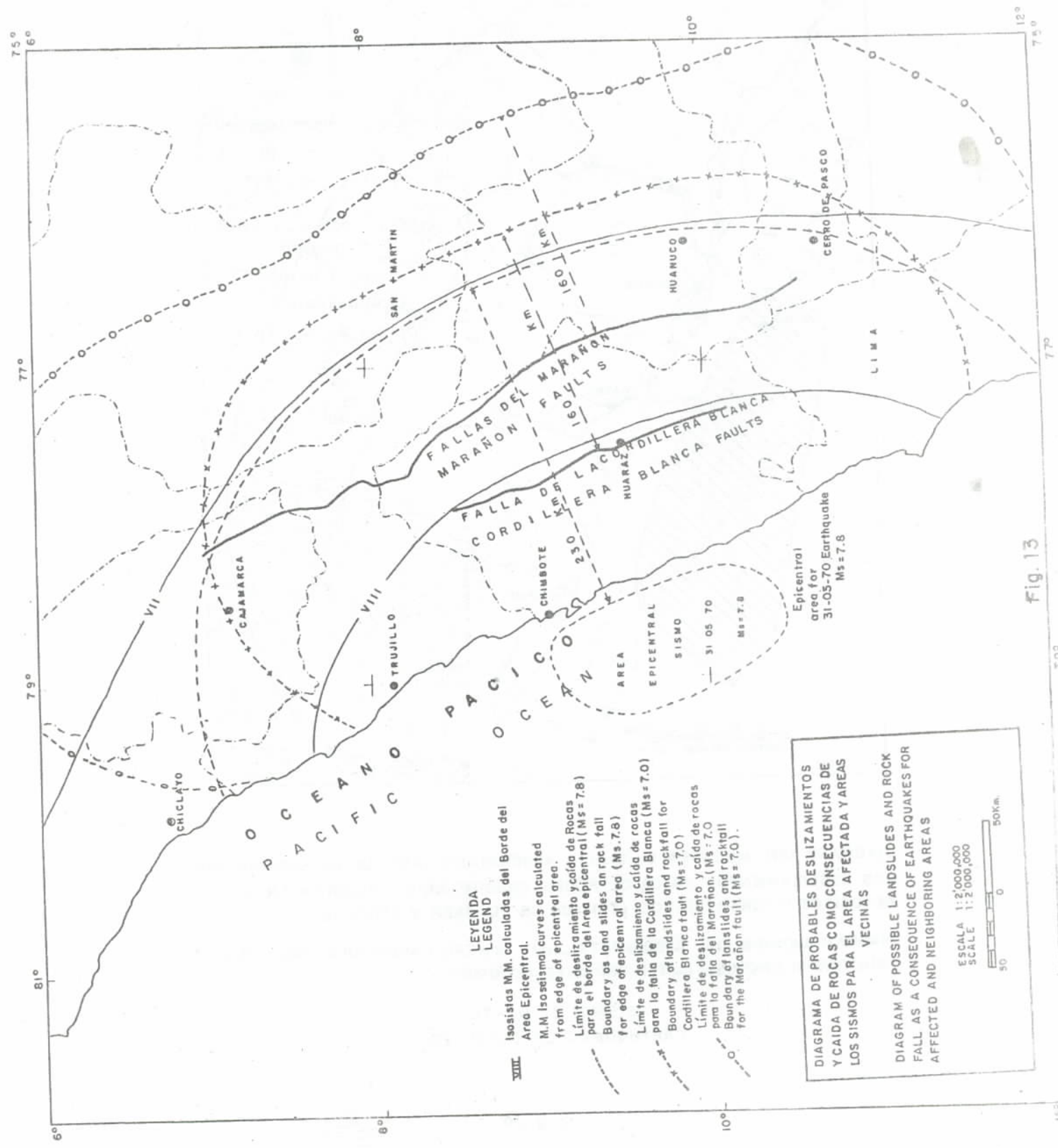
For an evaluation of possible effects of a future earthquake in a given region this will be the first approximation to carry out. Comparing this diagram (Fig. 13) with that obtained by PLAFKER and others (1971) (Fig. 14) in which the approximate limit up to where slides rock fall and figure in unconsolidated deposits occurred the limit is shown and there is a very notable agreement and there is an acceptable agreement.



LIMITE SUPERIOR PARA DISTANCIAS MAXIMAS DESDE LA ZONA DE RUPTURA EN LA QUE PUEDE OCURRIR DIFERENTES TIPOS DE DESLIZAMIENTOS. LINEA DISCONTINUA PARA DESLIZAMIENTOS, CAIDA DE ROCAS, AVALANCHAS, ETC; LA LINEA CON DOBLE PUNTO PARA DESLIZAMIENTOS COHERENTES, HUNDIMIENTO DE ROCAS, DE SUELOS, FLUENCIA LENTA DE SUELOS, ETC, Y LA LINEA DE PUNTOS PARA EXPANSION LATERAL DE SUELOS Y FLUJOS (SEGUN KEEFER, 1984)

UPPER LIMIT FOR MAXIMUM DISTANCES FROM RUPTURE ZONE IN WHICH DIFFERENT TYPES OF LANDSLIDES CAN OCCUR. SPACED LINE FOR LANDSLIDES, ROCKFALL, AVALANCHES, ETC, DOUBLE DOTTED LINE FOR COHERENT LANDSLIDES, ROCK SUBSIDENCE AND SOILS, SOIL DISPLACEMENT, ETC; AND DOTTED LINE FOR LATERAL EXPANSION OF SOILS AND FLOWS (KEEFER, 1984)

Fig. 12



**LEYENDA
LEGEND**

- VIII** Isostatis M.M. calculadas del Borde del Area Epicentral.
- M.M. Isostatis curves calculated from edge of epicentral area.
- Límite de deslizamiento y caída de Rocas para el borde del área epicentral (Ms = 7.8)
- Boundary of land slides and rock fall for edge of epicentral area (Ms = 7.8)
- Límite de deslizamiento y caída de rocas para la falla de la Cordillera Blanca (Ms = 7.0)
- Boundary of landslides and rockfall for Cordillera Blanca fault (Ms = 7.0)
- Límite de deslizamiento y caída de rocas para la falla del Marañon. (Ms = 7.0)
- Boundary of landslides and rockfall for the Marañon fault (Ms = 7.0).

DIAGRAMA DE PROBABLES DESLIZAMIENTOS Y CAIDA DE ROCAS COMO CONSECUENCIAS DE LOS SISMOS PARA EL AREA AFECTADA Y AREAS VECINAS

DIAGRAM OF POSSIBLE LANDSLIDES AND ROCK FALL AS A CONSEQUENCE OF EARTHQUAKES FOR AFFECTED AND NEIGHBORING AREAS

ESCALA 1:2,000,000
SCALE 1:2,000,000

Fig. 13

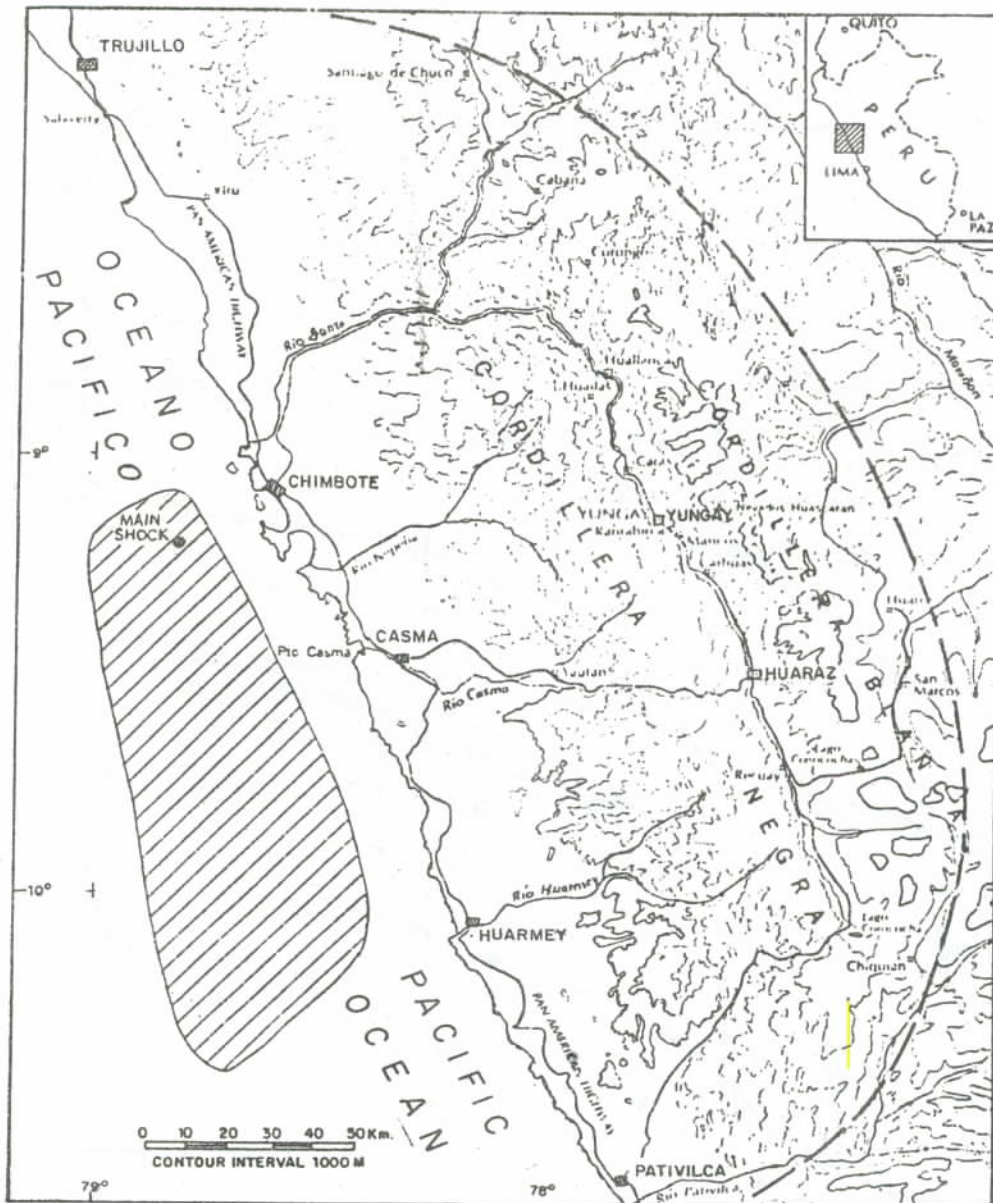


DIAGRAMA QUE MUESTRA EL LIMITE APROXIMADO HASTA DONDE OCURRIERON LOS DESLIZAMIENTOS, CAIDA DE ROCAS, SUBSIDIENCIAS Y FISURAMIENTO EN DEPOSITOS INCONSOLIDADOS (TOMADO DE PLAFKER Y OTROS 1971).

DIAGRAM SHOWING THE APROXIMATE LIMIT WHERE LANDSLIDES, ROCKFALL AND FAULTING IN UNCONSOLIDATED DEPOSITS, OCCURRED.

SISMO 31-05-70
EARTHQUAKE OF 05-31-70

Fig. 14

Una segunda aproximación sería la evaluación del potencial de deslizamientos, en general de carácter cuantitativo, siguiendo por ejemplo las técnicas desarrolladas de GRAFF (1984), combinando con aquellas desarrolladas para evaluar los deslizamientos inducidos por sismos (WILSON, 1984).

Indudablemente que este tipo de evaluación es fundamental, no sólo para conocer el costo socio-económico de los fenómenos de geodinámica externa inducidos por los terremotos, sino también para tomar las medidas adecuadas de minimización que atenuarían el impacto negativo del terremoto.

En el área afectada se ha presentado con anterioridad fenómenos de geodinámica externa, Los mayores han estado conectados generalmente con los sismos destructores, tal como es el caso de Chimbote (Villa del Santa) en el que el terremoto de 1619 que produjo agrietamientos del suelo y expulsión de lodo negrozco que dicen daño la campiña, se considera que debe haber sido extenso el daño en la restringida campiña de entonces, para que haya sido considerado.

El sismo de 1725 originó en la Cordillera Blanca la rotura de una laguna glaciaria que al desaguarse violentamente, arrasó un pueblo próximo a Yungay ocasionando la muerte de 1,500 personas. El terremoto de Lima de 1940, no obstante a pesar de estar alejado del área, produjo derrumbes y deslizamientos al norte del Callejón de Huaylas, que aislaron algunas poblaciones.

El sismo de 1946, produjo aunque en un área más restringida (áreas próximas al epicentro) grandes derrumbes y deslizamientos originando represamientos en las quebradas, destruyendo los caminos y sepultando aldeas enteras.

El sismo de 1963, originó fuertes deslizamientos y derrumbes que dañaron caminos y canales de riego.

Otro de los fenómenos de geodinámica externa a que está sujeta el área andina de la zona afectada y posiblemente el más grave, lo constituye el de origen glaciológico el cual es de carácter prácticamente permanente.

Conforme se indicó anteriormente la región andina del área afectada, especialmente la Cordillera Blanca, presenta glaciares permanentes, geodinámicamente activos, cuyo proceso ha dado lugar a la formación de profundos valles en "U", así como de lagunas; la mayoría de ellas ubicadas en circos glaciares con diques morrénicos con diferente grado de estabilidad.

A second approximation would be the evaluation of the potential of the slides in general of quantitative character, following the example of the techniques developed by GRAFF (1984) combining with those developed to evaluate slides induced by earthquakes (WILSON, 1984).

Undoubtedly that this type of evaluation is fundamental not only to learn the social-economic cost of the external geodynamic phenomena induced by earthquakes but also in order to take the necessary measures to minimize and to attenuate the negative impact of the earthquake.

In the affected area phenomena of external geodynamics have presented themselves before, the largest of which have been generally connected with destructive earthquakes such as is the case of Chimbote (Villa del Santa) in which the earthquake of 1619 that produced cracking of the soil and expulsion of black mud which they said damaged the countryside is considered that must really have been extensive in the restrictive area at time in order that it be considered.

The earthquake of 1725 originated in the Cordillera Blanca a rupture of a glacial lake which it empty violently wiped out a town near Yungay causing the deaths of 1,500 people. The Lima earthquake of 1940 notwithstanding that it was far from the area produced slides and collapse in the north of the Callejón de Huaylas which isolated some populations.

The earthquake of 1946 produced although in a more restrictive area (areas near the epicenter) great slides and collapses originating damming in galleys and revines destroying roads and bearing complete towns.

The earthquake of 1963 originated strong slides and landslides which damaged roads and irrigation channels.

Other of the external geodynamic phenomena to which the andean area of the affected zone is subject and possibly the most serious is constituted from the glaciological point of view which is almost of a permanent character.

As has been already pointed out the Andean Region of the affected area specially the Cordillera Blanca has permanent glaciers, geodynamically active, whose process has given rise to the formation of "U" shaped valleys as well as lakes; most of the latter located in glacial cirque with moraine dikes of different degrees of stability.

Los glaciares por estar ubicados a una gran altitud (encima de los 5,000 m.) y en las cumbres de una cordillera con fuertes pendientes (entre 45° y 90° la mayoría de ellos muestran una estabilidad precaria, existiendo algunas áreas donde ocurren caída de pequeños bloques de hielo con relativa frecuencia. Una de estas áreas lo constituye el pico norte del Nevado Huascarán, de donde en los últimos 45 años se han originado 2 avalanchas con flujo de lodo de grandes dimensiones. La primera, que no estuvo conectada a un sismo, tuvo lugar en 1962 y destruyó el pueblo de Ranrahírca, descrita por algunos autores mencionados por PLAFKER (1971). La segunda fue disparada por el sismo del 31-05-70 que ha sido motivo de estudio por varios autores (LLIBOUTRY, 1970; PLAFKER y col. 1971; FERNANDEZ CONCHA, 1970; WELSCH y col. 1970). En la Fig. 15 (tomado de WELSCH, 1970) se pueden ver las áreas cubiertas por los dos aluviones y flujos de lodo.

En diciembre de 1941 ocurrió un aluvión que afecto aproximadamente un tercio de la ciudad de Huaraz; su ocurrencia no estuvo ligada a sismo alguno (perecieron alrededor de 7,000 personas). A diferencia de los aluviones de Yungay y Ranrahírca, el aluvión de Huaraz fue producido por la caída de un bloque del glaciar en la laguna Palcacocha cuyas aguas rompieron su dique natural y rebalsaron a la laguna inferior Cojup que a su vez rompió y rebalsó su dique constituyendo un flujo de lodo que alcanzó a la ciudad de Huaraz (VELIZ, 1974).

El inventario de glaciares y lagunas de la Cordillera Blanca fue ejecutado por ELECTRO-PERU, Unidad de Construcción No. 16, cuyas memorias publicadas en 1974, indican lo siguiente para la Cordillera Blanca (ELECTRO-PERU, 1975):

- Glaciares de las cuencas del Callejón de Huaylas y Marañón	28
- Lagunas de las cuencas del Callejón de Huaylas y Marañón	267
(Lagunas con más de un millón de m ³ de agua	52)
(La más grande (Parón) tiene aproximadamente 72 millones de m ³)	
- Para la Cordillera Negra: Glaciares	Ninguno
- Lagunas de las cuencas del Callejón de Huaylas y Pacífico y otras cuencas pequeñas	156

The glaciers being located at a great altitude (above 5,000 m) and at the peaks of the cordillera was very deep slopes (between 45° and 90°) show at least most of them a precarious stability existing some areas where there small blocks of ice fall with relative frequency. One of these areas is constituted by the northern peak of the Huascarán mountain, where in the last 45 years two avalanches with mud flow of great dimensions have been taken place. The first which was not connected to an earthquake, occurred in 1962 and destroyed the town of Ranrahírca, described by some authors mentioned by PLAFKER (1971). The second was triggered by the earthquake of 31.05.70 and has been studied by various authors (LLIBOUTRY, 1970; PLAFKER et al. 1971; FERNANDEZ CONCHA, 1970, WELSCH et al. 1970). In Fig. 15 (taken from WELSCH, et al. 1970) one conceive the areas covered by the two avalanches and mud flows.

In December 1941 there occurred an avalanche which affected approximately one third of the city of Huaraz; its occurrence was not associated with any earthquake (about 7,000 people were killed). The avalanche of Huaraz was different from the avalanches of Yungay and Ranrahírca and that it was produced by the fall of a block of ice of a glaciar on to the Palcacocha lake and the waters of this lake broke the nature dike and inundated the lower lake Cojup which also broke its dike and both volumes of water constitted an avalanche which destroyed the city of Huaraz (VELIZ, 1974).

An inventory of the glaciers and lakes of the Cordillera Blanca was carried out by ELECTRO-PERU, Construction Unit No. 16, whose memories are published in 1974 and indicate for the Cordillera Blanca (ELECTRO PERU, 1975):

- Glaciars of the Callejón de Huaylas and Marañón basins	28
- Lakes of the Callejón de Huaylas and Marañón basins	267
(Lakes with more than one million m ³ of water	52)
(The largest -Parón- has approximately 72 millions of m ³)	
- For the Cordillera Negra: Glaciars	None
- Lakes in the Callejón de Huaylas and Pacific basins and other small basins	156

Avalanchas y flujos de lodo
del pico Norte del Huascarán.
Avalanches and mud flows
from North Huascarán peak.

1962 (área con puntos)
dotted area

1970 (área rayada)
Streaked area

(Welsch y Kinzl, 1970)

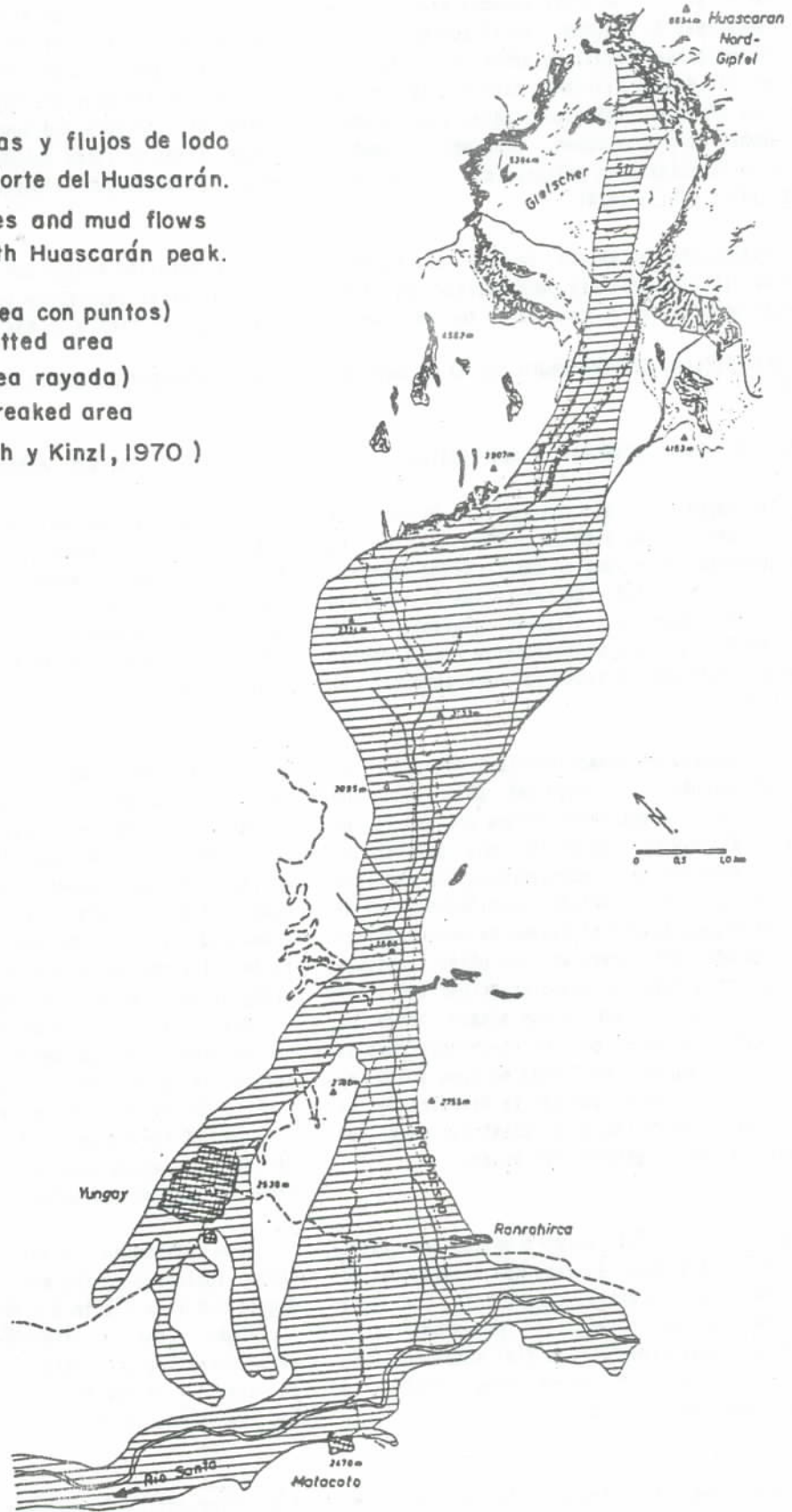


Fig. 15

A pesar de existir un grupo especializado para el control y seguridad de lagunas, no es posible contar con un informe global detallado sobre el estado de seguridad no sólo de los glaciares sino de las lagunas; sin embargo se efectúan controles y obras especialmente en las lagunas de gran volumen, próximos a centros poblados y en aquellos cuya peligrosidad es evidente (LLIBOUTRY, 1970; VELIZ, 1974).

Una evaluación detallada de los glaciares y lagunas es de vital importancia para estimar los daños que se puedan originar en el caso de un futuro sismo.

2.1.5 Características del terremoto del 31 de mayo de 1970

2.1.5.1 El sismo principal y sus réplicas

Como se indica en la sección sobre la historia de la zona de influencia, durante 245 años hasta 1970, ha habido una ausencia de terremotos destructivos comparables con los de 1619 y 1725, de manera que de acuerdo al concepto de silencio sísmico (Seismic gap) (KELLEHER, 1972), la zona de influencia estuvo acumulando energía (deformación elástica) para producir el sismo del 31-05-70.

Como es conocido el sismo principal ocurrió a las 20 horas, 23 minutos, 27 segundos GMT, tuvo una magnitud de 7.8 Ms y su epicentro estuvo ubicado en los 9.17° sur y 78.82° W y el hipocentro a una profundidad de 43 Km.* Durante más de 3 meses produjo una cantidad apreciable de réplicas de variadas magnitudes, que se comenta líneas abajo, aunque el tiempo de ocurrencia de las réplicas es más corto comparado con otras regiones sísmicas. Por otro lado, el sismo principal del 31 de mayo, como es característico de los sismos peruanos, tuvo un apreciable contenido de alta frecuencia como se observa en el acelerograma registrado en Lima a 350 Km. del epicentro, lo que indica que por la dinámica de la ruptura la generación de las ondas elásticas debe ser algo diferente de otras regiones del mundo.

La Red sísmica mundial registró en los tres meses siguientes más de 63 sismos réplicas con magnitudes de 4.2 a 6.0 Mb; como es normal se presentó una alta frecuencia de sismos para los primeros días, disminuyendo progresivamente en los días sucesivos. En un análisis de la distribución de estos eventos se puede ver lo siguiente (Fig. 16).

* Nuevas coordenadas hipocentrales 9.36° S, 78.87° W; h = 64 km.

Although there exists specialize groups for the control and security of the lakes, it is not possible to have a detail global report on the state of safety not only of the glaciars but of the lakes; nevertheless there are controls and some work is done specially in those lakes of large volume near populated centers and where the dangerous is evident (LLIBOUTRY, 1970, VELIZ, 1974).

A detailed evaluation of the glaciars and lakes are of vital importance to estimate the danger that they could originate in the case of a future earthquake

2.1.5 Characteristics of the Earthquake of May 31st, 1970

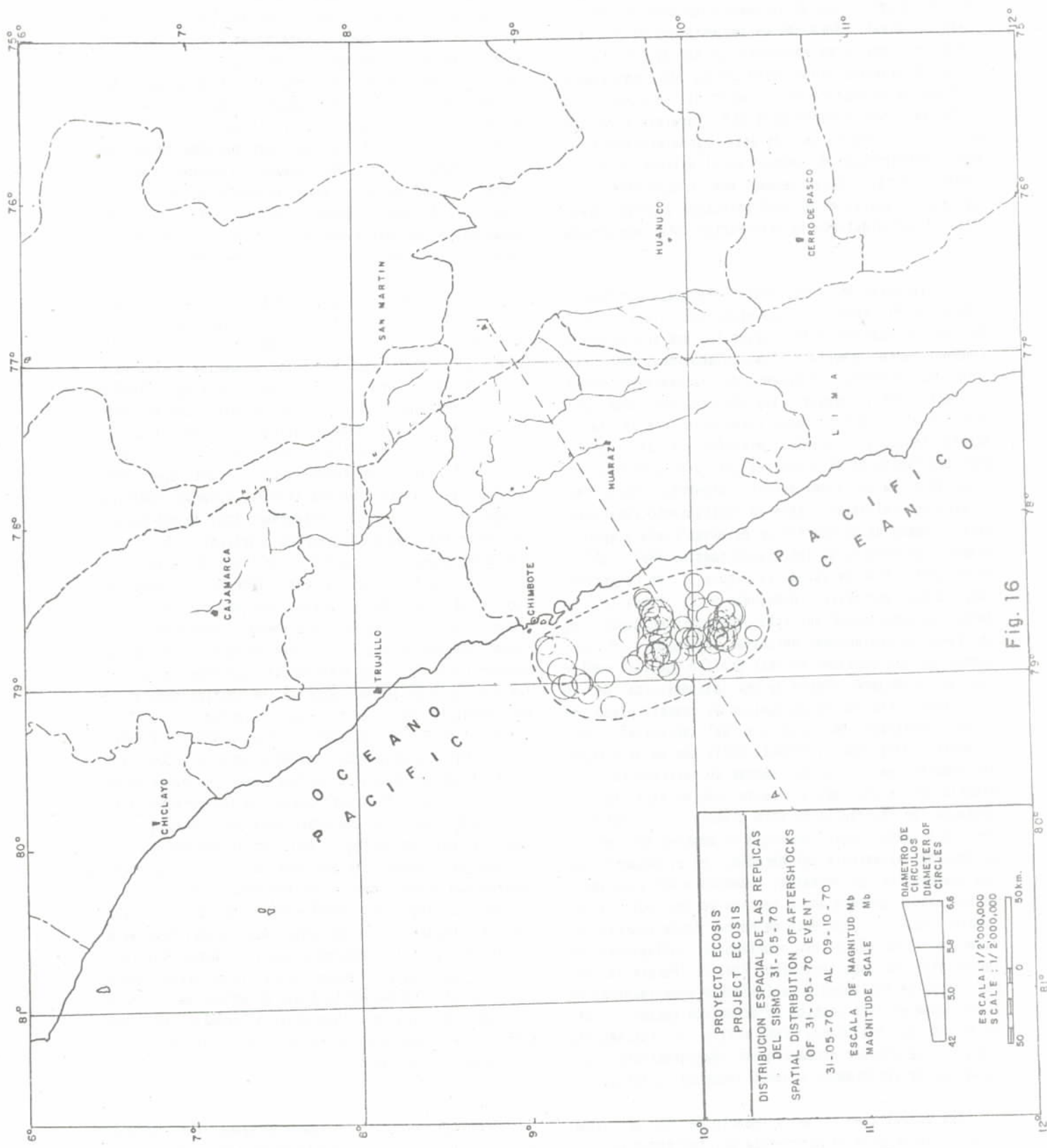
2.1.5.1 The main event and its aftershocks

As is indicated in the section on the history of the zone of influence, during 245 years until 1970 there has been an absence of destructive earthquakes comparable to those of 1619 and 1725 so that in accordance with the concept of the seismic gap (KELLEHER, 1972) the zone of influence was accumulating energy May 31st, 1970.

As is well known the main event occurred at 20 hours 23 minutes, 27 seconds GMT with a magnitude of 7.8 Ms and its epicenter was located at 9.17° South and 78.82° West and the hypocenter at a depth of 43 km.* During more than 3 months this event had an appreciable number of aftershocks of various magnitude, which are commented below, although the period of occurrence of these aftershocks is shorter than that compared with other seismic regions. On the other hand the main event of May 31st, as is characteristic with the peruvian earthquakes, had an appreciable content of high frequency as is observed in the accelerogram recorded in Lima to 350 km from the epicenter which indicates that because of the dynamics of the rupture the generation of elastic waves must be somewhat different than in other regions of the world.

The Worldwide seismic net recorded during the three following months more than 63 aftershocks with magnitudes from 4.2 to 6.0 Mb; as is normal there were a larger number of aftershocks during the first few days decreasing progressively in the following days. In an analysis of the distribution of this event one can see the following (Fig. 16).

* New hypocentral coordinates 9.36° South, 78.87° W; h = 64 km.



PROYECTO ECOSIS
 PROJECT ECOSIS
 DISTRIBUCION ESPACIAL DE LAS REPLICAS
 DEL SISMO 31-05-70
 SPATIAL DISTRIBUTION OF AFTERSHOCKS
 OF 31-05-70 EVENT
 31-05-70 AL 09-10-70
 ESCALA DE MAGNITUD Mb
 MAGNITUDE SCALE Mb
 42 50 5.9 6.6
 DIAMETRO DE
 CIRCULOS
 DIAMETER OF
 CIRCLES
 ESCALA 1/2'000,000
 SCALE : 1/2'000,000
 50 0 50km.

Fig. 16

Las réplicas muestran una distribución epicentral en dos grupos, uno al sur-este y el otro al sur del sismo principal, formando en conjunto una elipse cuyo eje mayor tiene aproximadamente 150 km. de longitud por 70 km. de diámetro menor. Esto indica que probablemente la longitud de ruptura en la región del foco fue de 150 a 200 km., con un rumbo de N 22° paralelo a la línea de Costa y a unos 50 km. de ésta aproximadamente. La mayor concentración de eventos en el extremo opuesto al sismo principal hace pensar que probablemente la ruptura se inició en el foco principal y luego avanzó hacia el sur siguiendo la orientación antes mencionada.

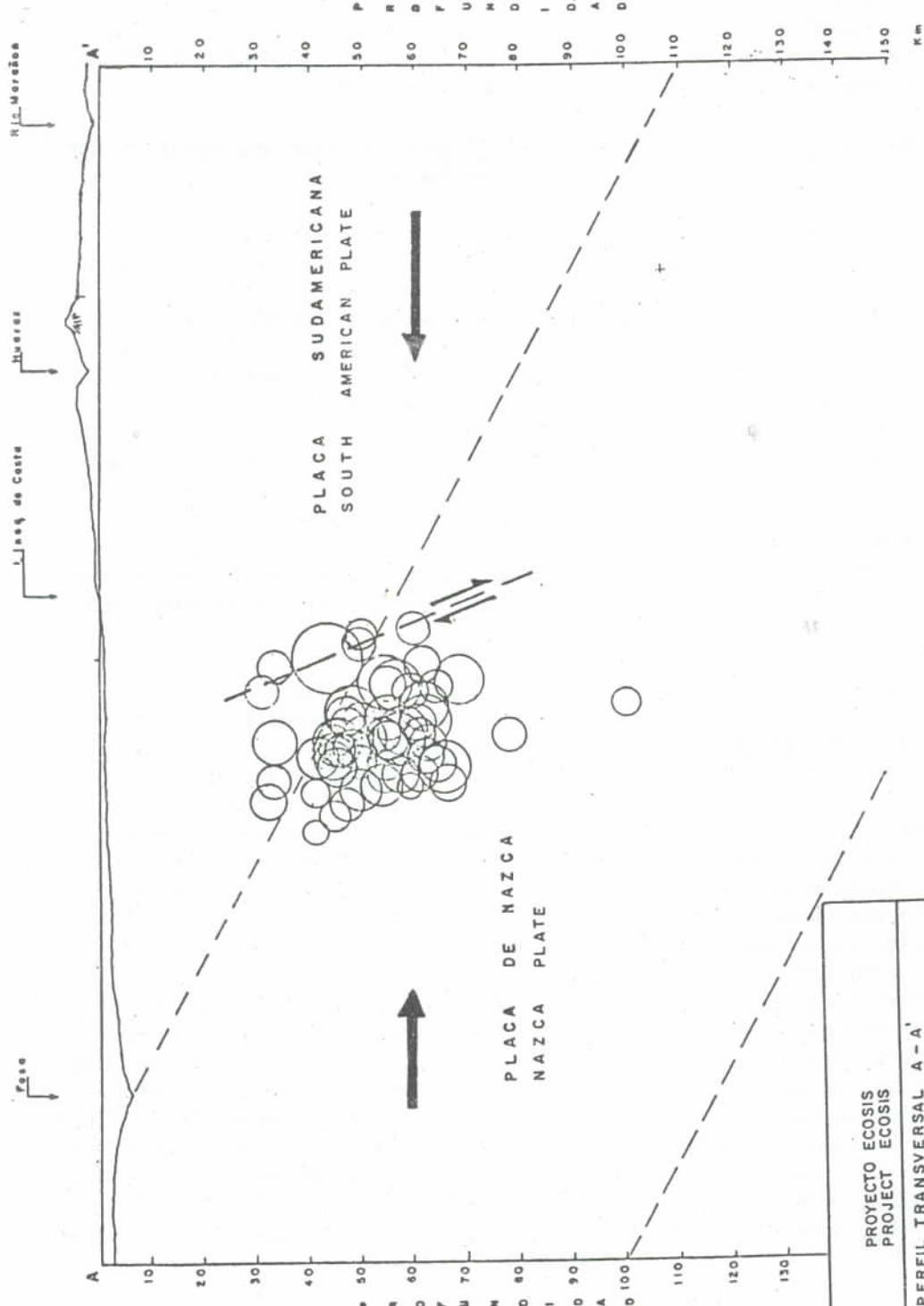
La reubicación de epicentros efectuada por DEWEY y SPENCE (1979), agrupa con más precisión la distribución de las réplicas definiendo mejor los dos grupos que se menciona anteriormente. El mecanismo focal del sismo principal presenta un proceso de fallamiento normal (STAUDER 1975); además, las réplicas que ocurrieron próximas al epicentro tienen características de fallamiento tensional (normal), mientras que las réplicas que ocurrieron en el grupo del sur-este probable terminación de la falla del sureste- presentan mecanismos focales con fallamiento inverso (fallamiento compresional), además de no ocurrir en el mismo rumbo y prácticamente en ninguno de los planos nodales (40° a 50°). En el perfil transversal de la figura 17, se ha proyectado todas las réplicas dibujadas en la figura 16, en donde se puede notar que éstas han ocurrido dentro de un rango de profundidad definida, entre 30 y 70 km.; además se debe destacar en este gráfico que las réplicas se produjeron dentro de una faja definida de 60 km., cuya inclinación es similar al posible plano de falla conseguido del análisis del mecanismo focal (STAUDER, 1975; DEWEY y SPENCE, 1979) que se ha dibujado también en la figura, aunque su posición tal vez debería ser un poco más al oeste. Aún no está claro la dinámica de ocurrencia de este sismo y sus réplicas. Por otro lado, como analogía se observa que en el sistema de fallamiento del Marañón, en el segmento sur los movimientos son normales, pasando a ser inversos y de sobreescorrimiento en la sección norte, del fallamiento activo al nor-este de Huaraz donde ocurrió el sismo de 1946 que estuvo asociado al fallamiento de superficie (ver mapa tectónico, Fig. 9). Parece ser que esta forma de fallamiento es frecuente especialmente en áreas donde existen cambios de dirección tectónica como es el caso que nos ocupa, Este estilo de fallamiento complejo parece ser producido por "basculamiento" (oscilación) de los bloques a ambos lados de la falla.

Del análisis en tiempo y espacio de la actividad sísmica anterior a la ocurrencia del terremoto del 31 de mayo de 1970, que fue mostrado en una sección

The aftershocks show an epicentral distribution in two groups, one to the south-east and the other to the south of the main event, forming as a whole an ellipse with a major axis of approximately 150 kms long by 70 km of the minor axis. This indicates that probably the length of rupture in the region of the focus was of about 150 to 200 km with a direction of N 22° West parallel to the line of the coast and some 50 km off shore approximately. The greater concentration of events in the opposite extreme of where the main shock occurred leads one to suggest that probably the rupture began where the main event and then advance towards the south in the orientation previously mentioned.

The relocation of aftershocks effected by Dewey and Spence (1979) clusters with greater precision the distribution of the aftershocks defining better the two groups above mentioned. The focal mechanism of the main shock shows a process of normal faulting (STAUDER 1975); furthermore the aftershocks that occurred near the epicenter had characteristics of normal faulting whereas the aftershocks which occurred in the group to the south-east -the probable end of the south-east fault-present focal mechanism with inverse faulting (compresional faulting). Furthermore they do not occur with the same direction and practically in none of the nodal plans (40° to 50°). On the transverse profile of figure 17 all of the aftershocks shown on figure 16 have been projected, and one can note that these have occurred within a range of depth well defined between 30 and 70 km; furthermore it should be pointed out that the aftershocks occurred within a definite belt of 60 km. with an inclination similar to the possible plane of the fault from the analysis of the focal mechanism (STAUDER, 1975); DEWEY and SPENCE, 1979) that is also shown in the figure although its position perhaps could be further west. The dynamics of the occurrence of this earthquake and its foreshocks is still not clear. On the other hand as in analogy one observes that the system of faulting of the Marañón, in the southern segment the movements are normal, going to inverse and overslipped in the northern section of the active faulting to the north-east of Huaraz where the 1946 earthquake occurred which was associated with surface faulting (see tectonic map). It seems that this form of faulting is frequent specially in areas where there exist changes of tectonic direction as is the case we are studying. This style of complex faulting seems to be produced by an oscillation of the blocks on both sides of the fault.

From an analysis in time and space the seismic activity prior to the occurrence of May 31st, 1970 which as shown in the precedent section it is pointed



PROYECTO ECOSIS
 PROJECT ECOSIS

PERFIL TRANSVERSAL A-A'
 TRANSVERSE PROFILE A-A'

REPLICAS DEL SISMO 31-05-70
 AFTERSHOCKS OF 05-31-70 EVENT

ESCALA DE MAGNITUDES Mb
 MAGNITUDE SCALE

DIAMETRO DE CIRCULOS
 DIAMETER OF CIRCLES

4.2 5.0 5.8 6.6

ESCALA HORIZONTAL
 HORIZONTAL SCALE

50 0 50 Km

Fig. 17

precedente, se señala que los sismos ocurren como un efecto de "Ping-Pong" con intervalos de tiempo variable que pueden ser incluso años. Si éste es el estilo de la ocurrencia de los sismos, el terremoto del 31-05-70 junto con sus réplicas ha mantenido probablemente el mismo tipo dinámico de movimiento predominante.

2.1.5.2 Frecuencia, magnitud y energía de las réplicas

Para la determinación de la curva de decaimiento de la frecuencia de las réplicas se ha utilizado los registros de la Estación de Huancayo obtenidos en mayo y junio de 1970, habiéndose efectuado una detenida observación e identificación de las réplicas registradas en la referida estación. Se ha encontrado 240 réplicas desde las 20 horas 30 minutos del día 01 hasta las 20 horas del día 30 de junio de 1970. Después de efectuar una distribución y ajuste por mínimos cuadrados según la ecuación $N = a T^{-b}$ (N es frecuencia, y "T" tiempo en días) se ha encontrado que la ecuación $N = 115,992 T^{-1.391}$ es la que mejor se ajusta a los datos, cuyo gráfico (Fig. 18) nos muestra una secuencia de decaimiento aparentemente normal aunque más brusco que para los terremotos superficiales (DEZA, 1971).

Efectuando un análisis de frecuencia y magnitud de las réplicas registradas por la Red Sísmica Mundial y utilizando la ecuación $\log N = a + b Mb$ para cada uno de los tres meses que siguen al sismo principal, se han preparado 3 gráficos (Figs. 19, 20 y 21) en los que se observa que las pendientes se hacen más pronunciadas conforme transcurre el tiempo. Una primera interpretación del comportamiento de la pendiente de los diagramas de frecuencia, indica que el fracturamiento se hace probablemente más intenso, a la vez que la energía de las réplicas de alta energía. Se puede observar que en la figura 21, donde se muestra la secuencia de liberación de deformación de las réplicas, se nota la disminución progresiva de las amplitudes unitarias de la deformación liberada (energía) por las réplicas. En ella se observa también que en el transcurso de los 5 primeros días se produjo la mayor liberación de energía de las réplicas; durante los 20 días siguientes la energía o magnitud de las réplicas disminuyó para incrementar nuevamente durante 5 días, para disminuir otra vez después de este incremento.

2.1.5.3 Distribución en tiempo y espacio de las réplicas

Como se mencionó anteriormente, al ocurrir el sismo del 31-05-70, la ruptura parece iniciarse en el hipocentro del sismo principal y propagarse hacia el sur produciéndose 2 agrupamientos de réplicas, es decir

out that the earthquakes occur as an effect of "ping-pong" with intervals of variable time which could be years; if this is the style of the occurrence of the earthquakes, the earthquake of May 31st, 1970 and its aftershocks has probably maintained the same dynamic type of predominant movement.

2.1.5.2 Frequency, Magnitude and Energy of the Aftershocks

In order to determine that decay curves for the frequency of the aftershocks records of the Huancayo station have been used obtained in May and June 1970 and a detailed analysis and identification of these aftershocks recorded in said station has been carried out. A hundred and forty aftershocks have been found since 20 hours 30 minutes of the day 1 until 20 hours of the day June 30st, 1970. After carrying out the distribution and adjustment by a minimum squares according to the equation $N = a T^{-b}$ (N is frequency and "T" time in days) one finds the equation $N = 115,992 T^{-1.391}$ is the one that best fits the data of figure 18 which shows as a sequence of decay apparently normal although somewhat sharper than for surface earthquakes (DEZA, 1971).

In doing an analysis of frequency and magnitude of the aftershocks recorded by the Worldwide Seismic Net and using the equation $\log N = a + b Mb$ for each one of the three months that followed the main event, we have prepared three figures (Fig. 19, 20 and 21) in which are observed that the slopes are more pronounced as time goes on. A first interpretation of the behaviour of the slopes of the frequency diagrams, indicates that the fracturing is probably more intense with time at the same time that the energy of the aftershocks becomes smaller, decreasing the possibility for an aftershocks of high energy. One can observe that in figure 21 where is shown a sequence of liberation of deformation of the aftershocks, one notes the progressive decrease of the unit amplitudes (energy) liberated by the aftershocks. In it one observes also that during the five first days there was a great liberation of energy of the aftershocks; during the 20 following days the energy or magnitude of the aftershocks decreased and then increased again during 5 days and then finally decrease after this increase.

2.1.5.3 Distribution in Time and Space of the Aftershocks

As was mentioned previously when the earthquake of 05-31-70 occurred a rupture seem to begin at a hypocenter of the main shock and to propagate to the south producing two groups of aftershocks, that is that the

PROYECTO ECOSIS
PROJECT ECOSIS

CURVA DE DECAIMIENTO DE REPLICAS
DECAY CURVE FOR AFTERSHOCKS

ESTACION: HUANCAYO
HUANCAYO STATION

JUNIO 1970
JUNE 1970

$$N = 115.992 T^{-1.391}$$

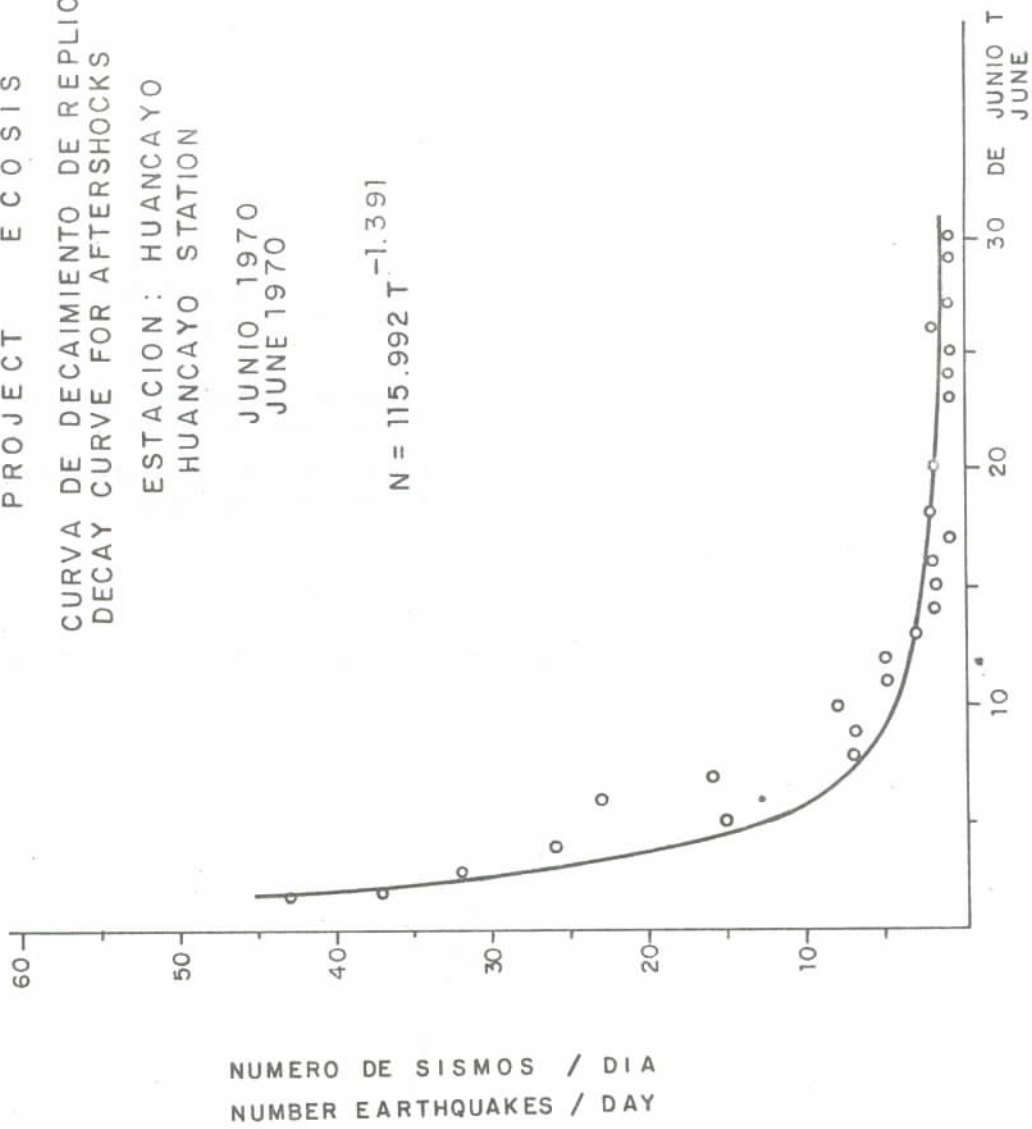


Fig. 18

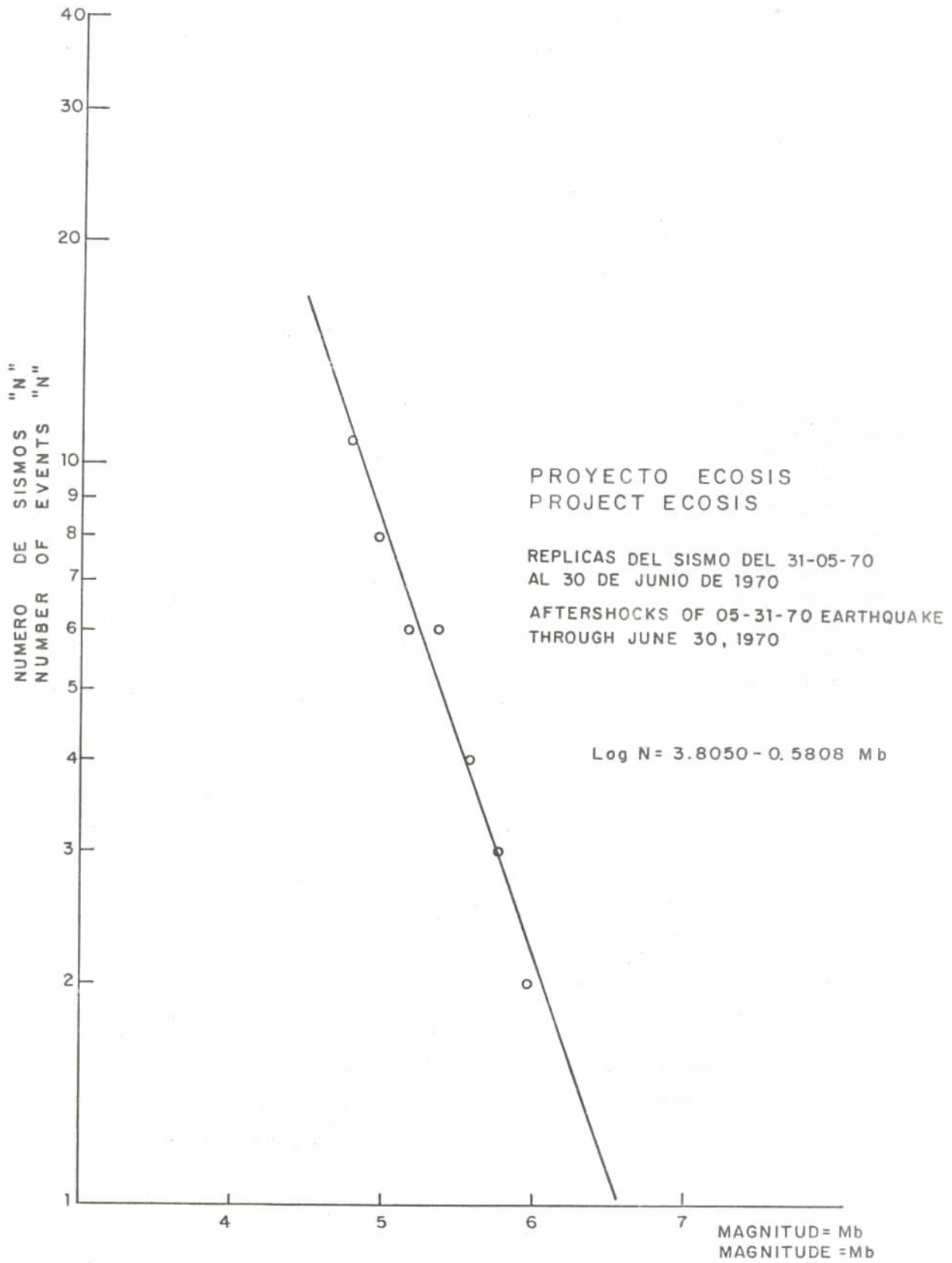


Fig. 19

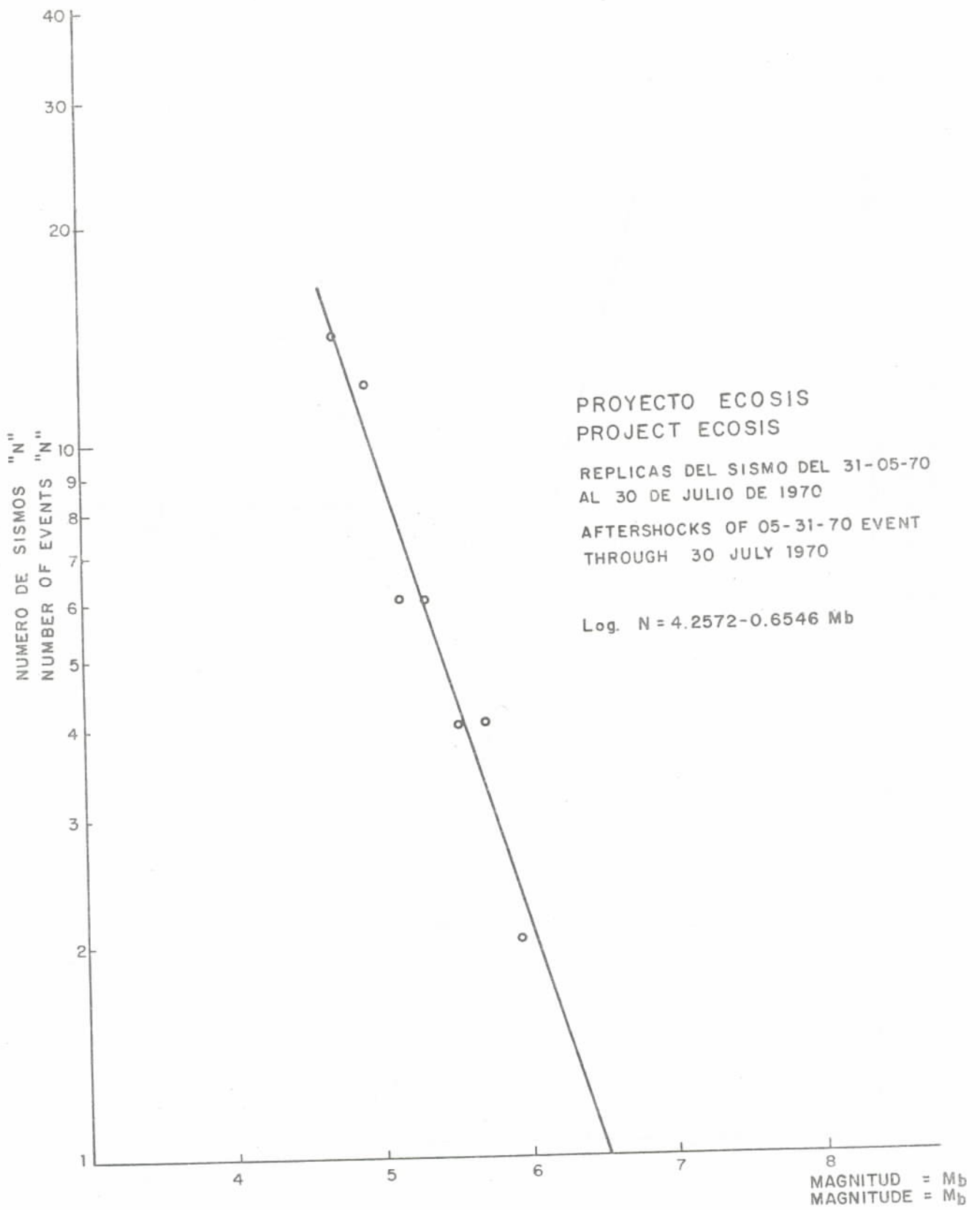


Fig. 20

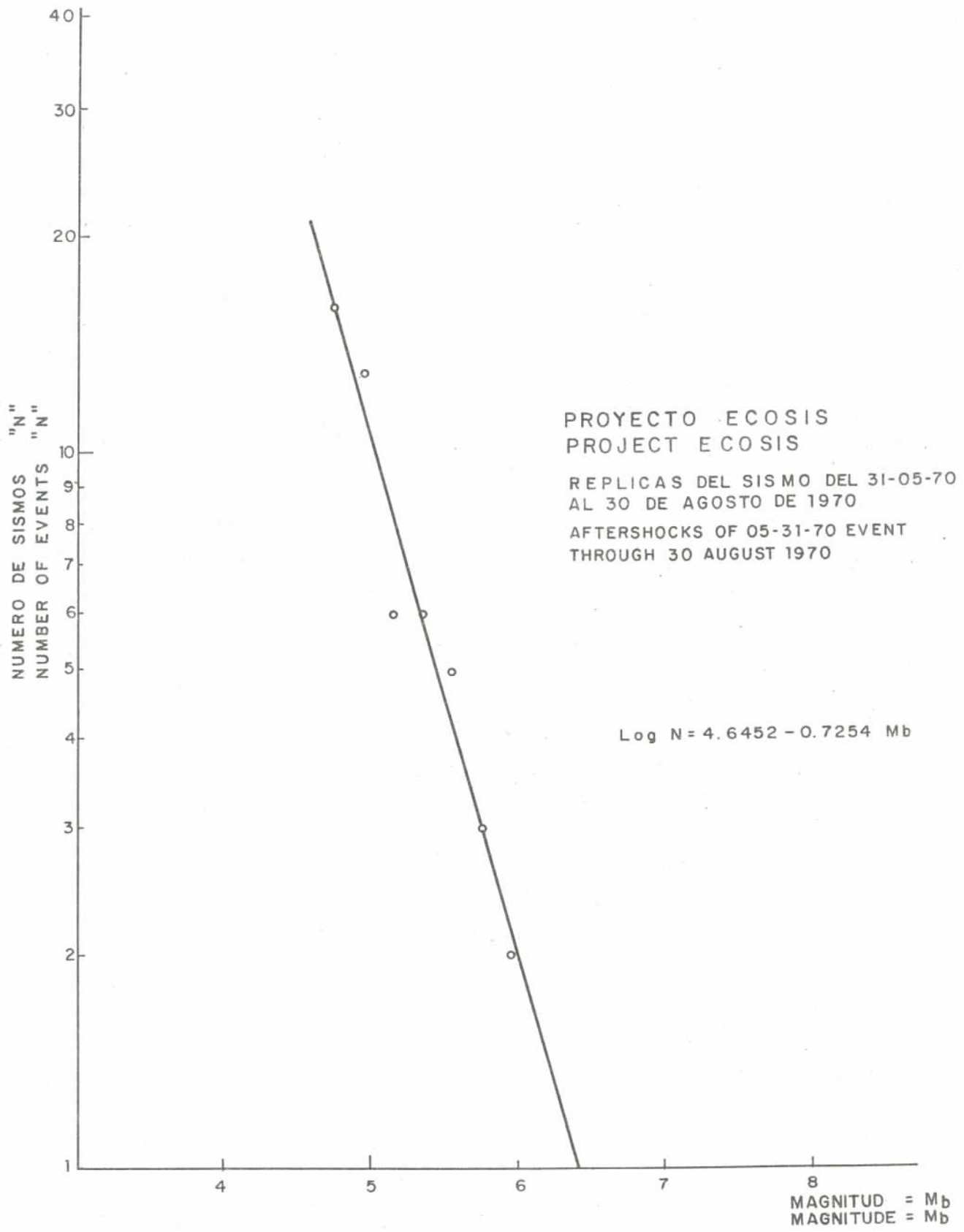


Fig. 21

que todo el volumen de material de esta secuencia se mantenía próxima de la deformación crítica. Un incremento de los esfuerzos en el área hipocentral, inicia la ruptura que se propaga hacia el sur redistribuyendo los esfuerzos que originan la secuencia de réplicas, que se muestran agrupadas constituyendo el grupo de réplicas del sur. En esta área a diferencia de la del epicentro, la actividad sísmica ($M_b > 5.0$) cesó 3 años antes de la ocurrencia del sismo principal (en esta área fue 8 años), lo que indicaría que la fractura permanecería más actualizado que en la otra área, es decir con un grado mayor de fractura activo que al perturbarse con la ruptura principal produjo nuevas rupturas o reajustes que originarían las réplicas agrupadas en esta área.

El análisis preliminar de la secuencia en tiempo de réplicas que se muestra en la figura 23 indica que el proceso de "basculamiento" se circunscribe a esta segunda área, casi en forma exclusiva por espacio de 25 días con excepción de dos réplicas. La primera que se produjo aproximadamente a 5 horas antes del sismo principal (6.0 Mb) y la segunda de menor energía a 3 1/2 días después. Al haber alcanzado el reajuste en esta área cierta estabilidad (la perturbación de la distribución de esfuerzos se aproxima a su estabilización), después de casi 28 días, el conjunto de las dos áreas trata de obtener el "basculamiento" original, produciendo sismos que migran de norte a sur y que involucran a las 2 áreas en conjunto. Un análisis más detallado debería involucrar un análisis del balance de energía liberada o momento sísmico en estos procesos de migración sísmica, lo cual deberá ser tratado próximamente.

2.1.6 Efectos del sismo y sus réplicas

No se intenta detallar en forma extensa los daños originados por el sismo del 31-05-70 y sus réplicas que son tratados por numerosos autores, cuya lista sería largo enumerar aunque han sido mencionados anteriormente.

De los dos tipos de efectos: primarios y secundarios, los segundos estuvieron circunscritos a áreas más extensas cuyo límite de distribución es señalado en la Fig. 1.

Con relación al Callejón de Huaylas y en particular a la ciudad de Huaraz, se puede indicar que los deslizamientos, caídas de rocas y flujos de lodo, cortaron las vías de acceso a las poblaciones de esta área haciendo imposible el ingreso motorizado especialmente a la ciudad de Huaraz (DEZA y otros, 1970; JAEN y

whole volume of the material of this sequence was maintained near the critical deformation. An increase in the forces in the hypocentral area initiate the rupture which propagates to the south redistributing the stress that originated the sequence of the aftershocks, which are shown grouped constituting the group of aftershocks in the south. In this area a different than that of the epicenter the seismic activity ($M_b > 5.0$) ceased three years before the occurrence of the main shock (in this area it was 8 years) which will indicate that the fracture remain more actualized that in the other area that is to say with a greater degree of active fracture which being perturbed with the main rupture produced new ruptures or readjustments that would originate aftershocks grouped in this area.

The preliminary analysis of the sequence in time of the aftershocks which are shown in Fig. 23 indicate that the process of "basculation" is circumscribed to this second area almost exclusively in an space of 25 days with exception of two aftershocks, the first which was produced approximately 5 hours before the main shock (6.0 Mb) and the second of lower energy 3 1/2 days later. The readjustment reached in this area certain stability (the perturbation of the distribution of stress approximates its stabilization), after almost 28 days the whole of the two areas tries to obtain the original oscillation producing earthquakes which migrate from north to south and which involve the two areas as a whole. A more detailed analysis should involve an analysis of the balance of energy liberated or the seismic moment in these processes of seismic migration which should be treated next.

2.1.6 Effects of the Earthquake and its Aftershocks

There is no attempt to detail in an extensive way the damage originated for the earthquake of 05-31-70 and its aftershocks, these have been written about by numerous authors and the list which will be too long to enumerate although they have been mentioned previously.

Of the two types of effects: primary and secondary, the second ones were circumscribed to more extensive areas whose limit of distribution is shown in fig. 1.

With relation to the Callejón de Huaylas and in particular to the city of Huaraz one can indicate that the landslides, rock falls and mud flow cut the roads of access to the towns in this area making it impossible to make use of vehicles to reach the cities specially the city of Huaraz (DEZA and others, 1970;

$X'' \sum \sqrt{E}$

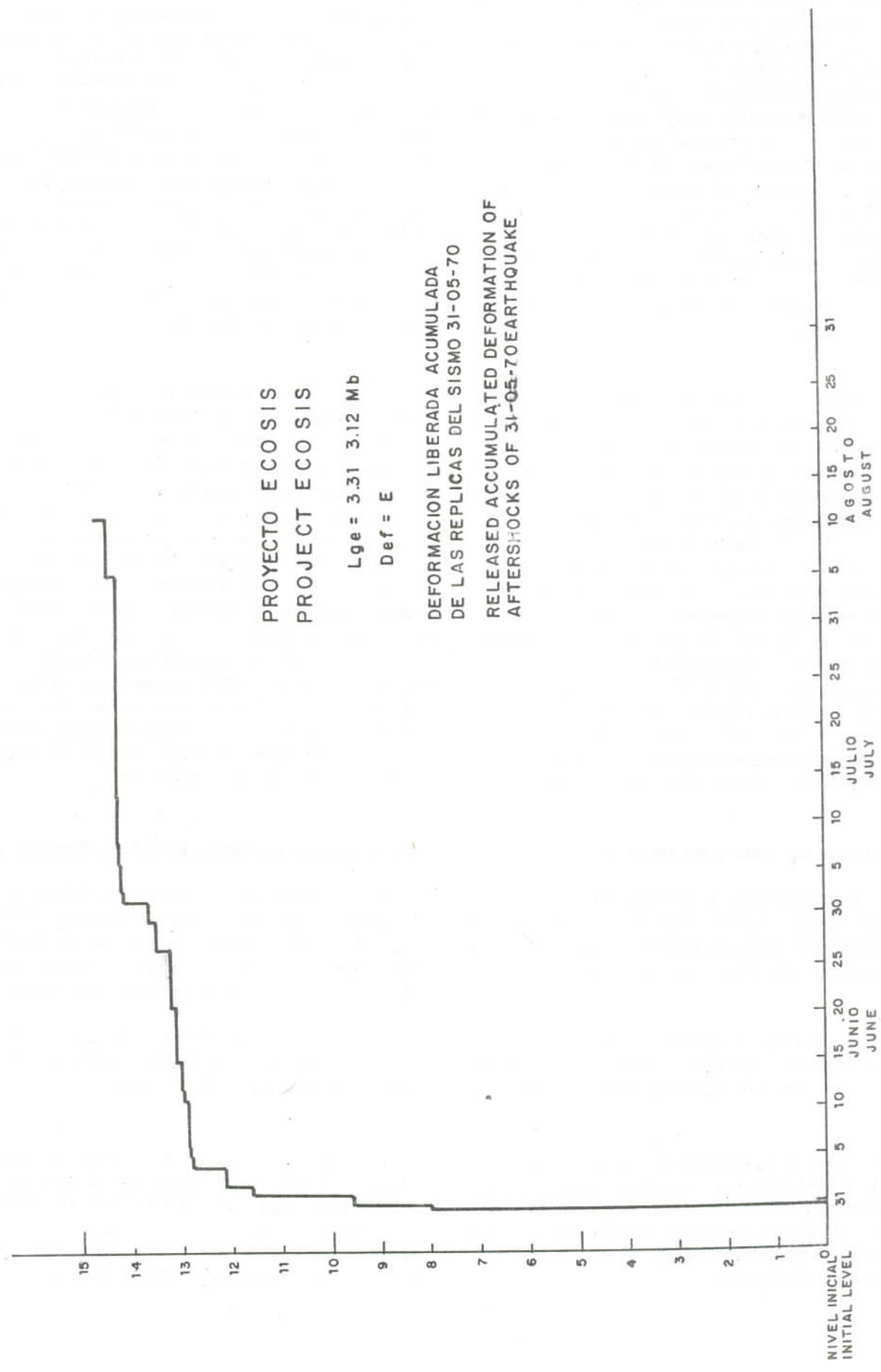


Fig. 22

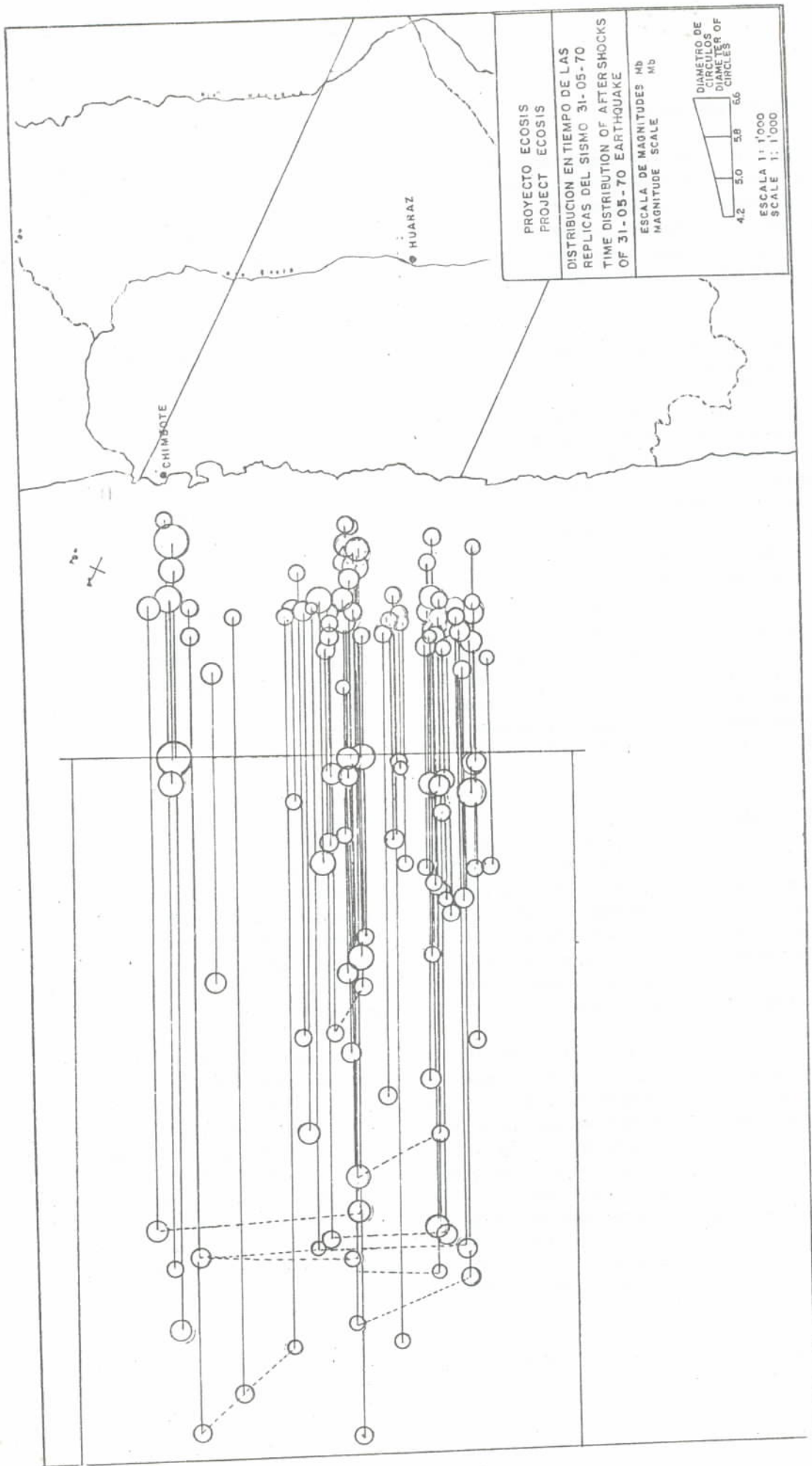


Fig. 23

otros, 1970; PLAFKER, otros 1971).

Debido a lo extenso de los deslizamientos y caídas de rocas, además de la destrucción de las casas de adobe, se produjo una acumulación intensa de polvo en la atmósfera en el Callejón de Huaylas a manera de niebla que impidió la penetración aérea por algo más de un día, retrasando el ingreso de ayuda rápida por esta vía.

En los glaciares y lagunas los efectos fueron diversos pudiendo mencionarse sólo los más importantes (LLIBOUTRY, 1970). Las avalanchas y caída de rocas en las lagunas produjeron oleajes sin que afortunadamente se produzcan rebalses, que de ser violentos hubieran afectado poblaciones tales como Caraz, Huaraz (con antecedentes de 1941) y otros pequeños poblados. Algunos diques han sufrido el efecto de la vibración, asimismo, muchas obras de desagüe de las lagunas han sido parcialmente destruidas. Se ha visto represamiento por avalanchas de hielo y rocas que obturaron los desagües, tal es el caso de la laguna Llanganuco en la que la laguna represada (alimenta a la principal) aumenta cada día 250,000 m³ de agua. Un desagüe violento por rotura del dique produciría incalculables daños en el Valle del Santa; por otro lado grandes masas de hielo pueden haber quedado en equilibrio precario incrementando el peligro de avalanchas futuras.

Próximo a las nacientes del río Santa (Recuay), algunas horas después del sismo principal, se produjo un deslizamiento rotacional de grandes dimensiones que levantó unos 8 m. el piso del río Santa produciendo un represamiento; para disminuir el peligro se efectuaron casi de inmediato, obras de desagüe. Esta área, a pesar de tener una morfología suave, presenta evidencias de ser una zona de deslizamientos antiguos. En la Fig. 1 se señala las áreas más importantes donde se produjeron los fenómenos de geodinámica externa.

El sismo principal, como contribución de sus efectos, aumentó la inestabilidad de algunas masas de suelos que no colapsaron, quedando en condiciones de deslizarse o colapsar con las réplicas que puedan tener energía suficiente sin ser iguales al sismo principal. Este pudo ser el caso del deslizamiento mencionado líneas arriba, pero, solo ocurrieron 3 réplicas principales cuyas magnitudes no fueron superiores a 6 Mb. Para este caso el límite de los deslizamientos estaba circunscrito a la costa, de acuerdo a la Fig. 15; por lo tanto no es muy seguro que alguna de las réplicas inmediatas haya accionado este deslizamiento.

De todo lo anterior se puede resumir que la evaluación socio-económica de un área propensa a la

JAEN and others, 1970; PLAFKER and others, 1971).

Due to the extensive landslides and rock falls besides the destruction of the adobe houses there was an accumulation of intense dust in the atmosphere in the Callejón de Huaylas like a fog which made it impossible to penetrate by air for at least for one day regarding the quick aid and assistance by this means.

In the glaciers and lakes the effects were diverse one can mention the most important (LLIBOUTRY, 1970). The avalanches and rock falls in the lakes produced waves without fortunately any over flow because had this being violent could have affected the populations of Caraz, Huaraz (like in 1941) and other small settlements. Some dikes suffered the effects of the vibration likewise some of the spill over from the lakes were partially destroyed. Some daming by avalanches by ice and rocks was noticed which dammed the spillways such is the case of the Llanganuco lake in which the damed lake which fits the main lake increased it each day by 250,000 m³ of water. A violent rupture of the dam which produced incalculable damages to the Santa Valley; on the other hand great masses of ice could have remain in precarious equilibrium increasing the danger of future avalanches.

Next to the beginnings of the Santa river (Recuay) some hours after the main shock there was a rotational landslides of great dimensions which lifted some 8 meters of Santa river bed producing a damage; in order to diminish the danger almost at one there was carried out to make available spillways. In this area despite its smooth morphology there are evidence that it could have been a zone of former landslides. In figure 1 the most important areas where phenomena of external geodynamic occurred are shown.

The main shock, as a contribution of its effects increased the instability of some masses of soil which did not collapse remaining in condition of sliding or collapsed with the aftershocks that could have sufficient energy without being necessary the same as the main event. This could have been the case of the slide mentioned in the above paragraph; but there were only 3 aftershocks with magnitudes about 6 Mb; for this case the limit of slides was circumscribed to the coast according to Fig. 14; and therefore it is not sure that any of the immediate aftershocks could caused these landslides.

From all the previous material one can summarize that the social-economic evaluation of an area likely

ocurrencia de sismos destructores, debe involucrar, como un factor principal, los posibles efectos secundarios que pueden producirse en el área de interés. Esta evaluación puede realizarse siguiendo procedimientos cualitativos y cuantitativos, pudiendo desarrollarse una matriz de daños por geodinámica externa.

Por otro lado, la evaluación sismológica tal vez algo más detallada de lo que aquí se muestra, puede ayudar a los estudios de vulnerabilidad sísmica que normalmente se efectúan y discriminar áreas más o menos peligrosas.

to be affected by the occurrence of a destructive earthquake must involve as a principal factor the possible secondary effects that can be produced in the area of interest. This evaluation can be carried out following qualitative and quantitative procedures, it being possible to develop a matrix of damages due to external geodynamics.

On the other hand the seismological evaluation perhaps more detailed than it was presented, here can help in the studies of seismic vulnerability that are normally carried out and discriminate more or less dangerous areas.

REFERENCIAS REFERENCES

- DE GRAFF, J. (1984), Qualitative assessment of Landslide Hazards for natural resources management. Course of Hydrologic and Geologic Hazards U.S. Geological Survey, Denver. March, 1984.
- DEWEY J. and W. SPENCE (1979), Seismic gap and source zones of recent large earthquakes in coastal Peru. *Pure and Applied Geophysics*, Vol. 117, No. 6, 1979.
- DEZA, E. (1971), The Pariahuanca Earthquakes, Huancayo, Peru; July - October 1969, Recent Crustal Movements, Royal Society of New Zealand, Bulletin 9, pp. 77-83, 1971.
- DEZA, E. (1972), Zonas de transición sismotectónica en Sudamérica; Estudio preliminar de la zona de transición en el Perú. Conferencia sobre problemas de la tierra sólida. Bs. As. Argentina, 26-31 Octubre 1970. pp. 143-156.
- DEZA, E. (1984), Posible estructura en bloques al sur del Perú.
- DEZA, E.; GIESECKE, A. (1970), Informe interno (IGP) sobre el terremoto del 31 de mayo de 1970.
- DEZA, E.; HUACD; JAEN, (1978), Evaluación del riesgo sísmico de la ciudad de Trujillo.
- ELECTRO-PERU VC. 16, (1975), Memorial Bienal Glaciología y seguridad de lagunas.
- FERNANDEZ CONCHA J. (1970), Informe sobre las consecuencias del sismo del 31 de mayo de 1970. Corporación Peruana del Santa.
- ISACKS B.L. and BARAZANGI M. (1977), Geometry of Benioff zones: lateral segmentation and downward bending of the subducted, Maurice Ewing Series I.99-114.
- JAEN, PERALES, TAYPE (1970), Observaciones geológicas sismo 31-05-70.
- KANAMORI, H. (1977), The energy release in great earthquakes, *J. Geophys. Res.* 82. 2981-2987.
- KEEFER, D. (1984), Landslides caused by earthquakes. *Geological Survey of America Bulletin*, V. 95, No. 4 (en prensa).
- KELLEHER, J. (1972), Rupture zones of large South American earthquake and some predictions, *J. Geophys. Res.* 77.2087-2103.

- LISSON C., (1925), Como se generó el suelo peruano: Geología, Paleogeografía y Geografía, Mins. de Fomento, Direc. Mine y Petrol. Tomo I.
- LLIBOUTRY, L. (1970), Informe preliminar sobre los fenómenos glaciológicos que acompañaron al terremoto del 31-05-70 y sobre los peligros presentes. Informe de la misión de reconocimiento sísmológico UNESCO-CERESIS, terremoto del Perú, 31 de mayo de 1970.
- PLAFKER, G., ERICKSEN, G. y FERNANDEZ CONCHA, J. (1971), Geologic aspects of the May 31st, 1970, Peru's Earthquake. Open file Report U.S. Geological Survey.
- SILGADO E. (1978), Historia de los sismos más notables ocurridos en el Perú.
- STAUDER, W. (1975), Subduction of the Nazca Plate under Peru as evidenced by focal Mechanisms and by seismicity, J. Geophys. Res. 80.1053-1064.
- VELIZ, B.J. (1974), Informe Geológico Glaciológico sobre condiciones de seguridad del cono aluviónico de Huaraz ELECTRO-PERU U.C. 16 Glaciología y seguridad de lagunas.
- WELCH, W. y KINZL, H. (1970) Der Gletschersturz vom Huascarán (Perú) Am Mai. 1970, Die Grosste gletscherkates trophe der geschichte. Zeitschrift fur Gletscherkunde und glazialgeologie, Bd VI. Heft 1 - 2.
- WILSON, R. (1984), Quantitative prediction of earthquake-induced landslides; lecture notes course of Hidrologic and geologic hazards U.S. Geological Survey - Denver, March 1984.
- YONEKURA N., MATSUDA M., NOGAMI, M., KAIZIKA, S., (1979) An Active fault along the western foot of the Cordillera Blanca, Perú, Chigaku Zashi (Jornal de Geografia), Vol. 88, No. 1 (829).

2.2 VULNERABILIDAD SISMICA DE CHIMBOTE Y HUARAZ

RESUMEN

Este trabajo documenta el estudio de la vulnerabilidad sísmica de las ciudades de Chimbote y Huaraz en el departamento de Ancash, Perú.

El Proyecto SISRA-ECOSIS, tiene como objetivo el estudiar los terremotos ocurridos en el área andina, para determinar los efectos económicos que éstos ocasionan e implementar una metodología para el establecimiento de una política contra los desastres naturales en la región andina. El sismo del 31 de mayo de 1970 fue estudiado como caso peruano, con énfasis en las ciudades de Chimbote y Huaraz por ser las de mayor población y las más destruidas en la costa y sierra del Perú durante el sismo.

Para determinar la vulnerabilidad sísmica de Chimbote y Huaraz fue necesario realizar estudios de peligro sísmico, de características del subsuelo y de las edificaciones, y de evaluación de daños durante el sismo de 1970.

Se establecieron curvas por zonas en Chimbote y Huaraz, que relacionan intensidad sísmica con porcentaje de daños en diversos tipos de edificaciones, para las condiciones existentes antes del sismo. Finalmente, se determinaron las pérdidas probables de edificaciones en Chimbote y Huaraz para diversos tiempos de exposición sísmica, tratando de calibrar el modelo con las pérdidas reales en edificaciones durante el sismo del 31 de mayo de 1970 en ambas ciudades.

2.2.1 Introducción

A las 3.23 p.m. (hora local) del 31 de mayo de 1970 ocurrió un terremoto de $M_s = 7.8$, con epicentro aproximadamente a 50 Km de la costa del Perú al oeste de la ciudad de Chimbote. El epicentro, de acuerdo al USGS, tuvo las coordenadas 9.18° S y 78.82° O y una profundidad focal de 45 Km.

El área afectada fue superior a los 83,000 Km², abarcando el departamento de Ancash, gran parte del departamento de La Libertad y algunas provincias de los departamentos de Lima, Huánuco y Cerro de Pasco. En dicha área las ciudades de Chimbote, Casma y Huaraz en la costa, así como Caraz, Huaraz y Yungay en la sierra y otras ciudades y pueblos fueron destruidos o dañados en gran parte. La población en dicha zona era de 1'800,000 habitantes (CRYRZA, PNUD, 1975).

2.2 SEISMIC VULNERABILITY OF CHIMBOTE AND HUARAZ

ABSTRACT

This study presents the research undertaken to evaluate the seismic vulnerability of Chimbote and Huaraz in the Department of Ancash, Peru.

This project has as its objective to study the andean earthquakes to evaluate the economic effects and to implement a methodology to meet natural disasters in the region. The earthquake of May 31st, 1970 has been selected for Peru and the towns of Chimbote and Huaraz have been singled out in terms of large population and as the ones where more damage was experienced along the coast and mountains respectively.

In order to evaluate the seismic vulnerability of Chimbote and Huaraz it was required to study the seismic hazard, the soil and building characteristics and the damages caused by the event of 1970.

Curves have been established for areas of Chimbote and Huaraz relating seismic intensity with percentage of damage to different buildings for conditions existing before the event. Finally the probable losses of building in Chimbote and Huaraz for different periods of seismic exposure have been established aiming to calibrate the model with actual losses for the earthquake of May 31st, 1970.

2.2.1 Introduction

At 3.23 p.m. (local time) on May 31st, 1970 an earthquake of $M_s = 7.8$ occurred with the epicenter approximately 50 km off shore of the Peruvian coast, west of the city of Chimbote. The epicenter, according to the USGS, had as its coordinates 9.18° S and 78.82° W and a focal depth of 45 km.

The affected area was greater than 83,000 km², including the department of Ancash, a significant part of the department of La Libertad and some provinces of the departments of Lima, Huanuco and Cerro de Pasco. In this area, the cities of Chimbote, Casma and Huaraz on the coast as well as Caraz, Huaraz and Yungay in the mountains, and many other towns, were destroyed or damaged to a large extent. The population of this zone was 1'800,000 inhabitants (CRYRZA, PNUD, 1975).

En el sismo se perdieron 50,000 vidas y 20,000 personas desaparecieron. El número de heridos fue de 150,000, y más de 500,000 personas quedaron sin viviendas. Un evento peculiar de este sismo fue la gran avalancha originada desde el Nevado Huascarán a 6,768 m.s.n.m. que destruyó las ciudades de Yungay y Ranrahirca localizadas en el Callejón de Huaylas.

Según el Dr. Enrique Silgado un sismo similar ocurrió en el área el 6 de enero de 1725. En base al estudio de los daños ocurridos en Chimbote y Huaraz durante el sismo de 1970 se presenta una metodología para evaluar el potencial de pérdidas probables en construcciones.

2.2.2 Descripción de los daños y pérdidas económicas

La población estimada en la zona durante el sismo de 1970 se determinó en base a proyecciones de los censos de 1940 y 1961. La Tabla 1 presenta las poblaciones estimadas en las diferentes provincias agrupadas según los diferentes niveles relativos de desarrollo alcanzado (CAEM, 1970)

El número de viviendas estimado en 1970 en la zona afectada se presenta en la Tabla 2. En dicho cálculo se ha considerado un promedio de seis ocupantes por vivienda, y se ha podido dividir el número de viviendas en urbanas y rurales. (CAEM, 1970). La construcción de adobe predomina en el área afectada, teniendo pesados techos en el Callejón de Huaylas. En Chimbote existen edificaciones de albañilería, de adobe y provisionales.

La pérdida de edificaciones en la zona afectada por el sismo de 1970 se presenta en la Tabla 3. Las cantidades presentadas se han calculado aplicando porcentajes promedio de destrucción al número de viviendas en cada área.

Las pérdidas económicas totales de la zona afectada y de la provincia del Santa en particular se presentan en la Tabla 4. Esta información proviene del Plan director para la reconstrucción de Chimbote (CRYRZA-PNUD, 1975).

SILGADO (1978) presentó el mapa de isosistas del sismo del 31 de mayo de 1970 de la Fig. 1. Igualmente, transcribe la descripción de daños del sismo presentado por CRYRZA:

- 60,000 viviendas necesitan reconstruirse.
- De 38 poblaciones, 15 quedaron con las viviendas destruidas en más del 80%. El resto sufrió daños de consideración.

50,000 lives were lost due to the earthquake and 20,000 people disappeared. The number of injured was 150,000 and more than 500,000 people were left without a home. A peculiar event of this earthquake was the great avalanche originated at the Nevado Huascarán, 6,768 meters above sea level, which destroyed the cities of Yungay and Ranrahirca located in the Callejón de Huaylas.

According to Dr. Enrique Silgado a similar earthquake occurred in the area on January 6th, 1725. On the basis of the study of damage which was caused in Chimbote and Huaraz during the earthquake of 1970, a methodology is presented to evaluate the probable losses in constructions.

2.2.2 Description of damage and economic losses

The population estimated in the zone during the earthquake of 1970 was determined on the basis of projections from the census of 1940 and that of 1961. Table 1 presents the estimated population in different provinces grouped according to the different relative levels of development (CAEM, 1970).

The number of house holds estimated in 1970 in the affected zone is given in Table 2. For this calculation, an average of six occupants per house has been considered and the housing has been divided into urban and rural types. (CAEM, 1970). Adobe construction was predominant in the affected area, with heavy roofing in the Callejón de Huaylas. In Chimbote there are masonry buildings as well as adobe and temporary constructions.

The loss of constructions in the affected zone due to the earthquake of 1970 is presented in Table 3. The numbers have been calculated by applying the mean percentage of destruction to the number of houses in each area.

The total economic losses in the affected zone and in the province of Santa in particular are presented in Table 4. This information is from the "Plan director para la reconstrucción de Chimbote" (CRYRZA-PNUD, 1975).

SILGADO (1978) presents a map of isoseismic lines for the earthquake of May 31st, 1970, Fig.1. Below are the damages caused by the earthquake according to CRYRZA.

- 60,000 dwellings to be reconstructed.
- Out of 38 towns, 15 were with more than 80% of destroyed housing. The rest had considerable damage.

TABLA No. 1
TABLE No. 1

POBLACION EXISTENTE EN LA ZONA AFECTADA POR EL SISMO DEL 31 DE MAYO DE 1970 (CAEM, 1970)
EXISTING POPULATION IN THE ZONE AFFECTED BY THE EARTHQUAKE OF MAY 31, 1970 (CAEM, 1970)

AREA 1:	De mayor desarrollo relativo Of Greater relative development	
	Trujillo	331,338
	Santa	174,650
	Casma	38,969
	Chancay	230,899

AREA 2:	De mediano desarrollo relativo Of medium relative development	
	Otuzco	104,924
	Santiago 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 Of minor relative development	
	Sihuas	30,513
	Antonio Raymondi	24,336
	Mariscal Luzuriaga	30,776
	Pomabamba	25,012
	Huari	91,702
	Cajatambo	32,690
	Dos de Mayo	97,542

TABLA No. 2
TABLE No. 2

NUMERO DE VIVIENDAS EN LA ZONA AFECTADA POR EL SISMO DEL 31 DE MAYO DE 1970 (CAEM, 1970)
NUMBER OF HOUSES IN THE ZONE AFFECTED BY THE EARTHQUAKE OF MAY 31, 1970 (CAEM, 1970)

A R E A	No. DE VIVIENDAS No. OF HOUSES		
	URBANAS (URBANS)	RURALES (RURALS)	SUB-TOTAL
AREA 1	72,413	56,896	129,309
AREA 2	26,296	78,891	105,187
AREA 3	11,082	44,329	55,411
T O T A L	109,791	180,116	289,907

TABLA No. 3
TABLE No. 3

DANOS DE EDIFICACIONES EN LA ZONA AFECTADA POR EL SISMO DEL 31 DE MAYO DE 1970 (CAEM, 1970)
DAMAGE TO BUILDINGS IN THE ZONE AFFECTED BY THE EARTHQUAKE OF MAY 31, 1970 (CAEM 1970)

A R E A	No. DE VIVIENDAS DESTRUIDAS No. OF HOUSES DESTROYED		
	URBANAS (URBANS)	RURALES (RURALS)	SUB-TOTAL
AREA 1	32,586	25,603	58,189
AREA 2	15,778	47,334	63,112
AREA 3	3,324	13,299	16,623
T O T A L	51,688	86,236	137,924

TABLA No. 4
TABLE No. 4

DAÑOS ECONÓMICOS EN LA ZONA AFECTADA TOTAL Y EN LA PROVINCIA DEL SANTA (CRYRZA-PNUD, 1975)
ECONOMIC DAMAGE IN THE ENTIRE AFFECTED ZONE AND IN THE PROVINCE OF SANTA (CRYRZA-PNUD, 1975)

SECTORES DE LA ECONOMÍA	MAGNITUD DE LAS PERDIDAS EN MILLONES DE SOLES MAGNITUDE OF LOSSES IN MILLIONS OF SOLES (1970)		
	Zona Afectada	Provincia del Santa	%
Industria, Energía, Pesquería y Comercio Industry, Energy, Fishing and Commerce	4,787.8	516.2	11
Agricultura Agriculture	1,709.2	91.1	5
Transportes y Comunicaciones Transportation and Communications	5,426.8	451.2	8
Vivienda Housing	11,287.5	3,292.5	29
Educación-Edificios Education-Buildings	1,288.3	1,123.5	87
Salud-Edificios Health-Buildings	394.8	121.5	31
T O T A L	24,891.5	5,596.0	22

- 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 fueron destruidas.
- La capacidad de energía eléctrica de Ancash y La Libertad quedó reducida a un 10%, por los severos daños causados a la Central Hidroeléctrica de Huallanca.
- Quedaron dañadas facilidades para irrigar 110,000 Has.
- In 18 cities with a total of 309,000 inhabitants and in 81 towns with a population of 59,400 people, the sewerage was destroyed.
- 6,730 school rooms were destroyed.
- The electric energy capacity of Ancash and La Libertad was reduced to 30% of its former value due to the severe damage caused to the Hydroelectric Plant at Huallanca.
- The facilities to irrigate 110,000 Hectares were damaged.

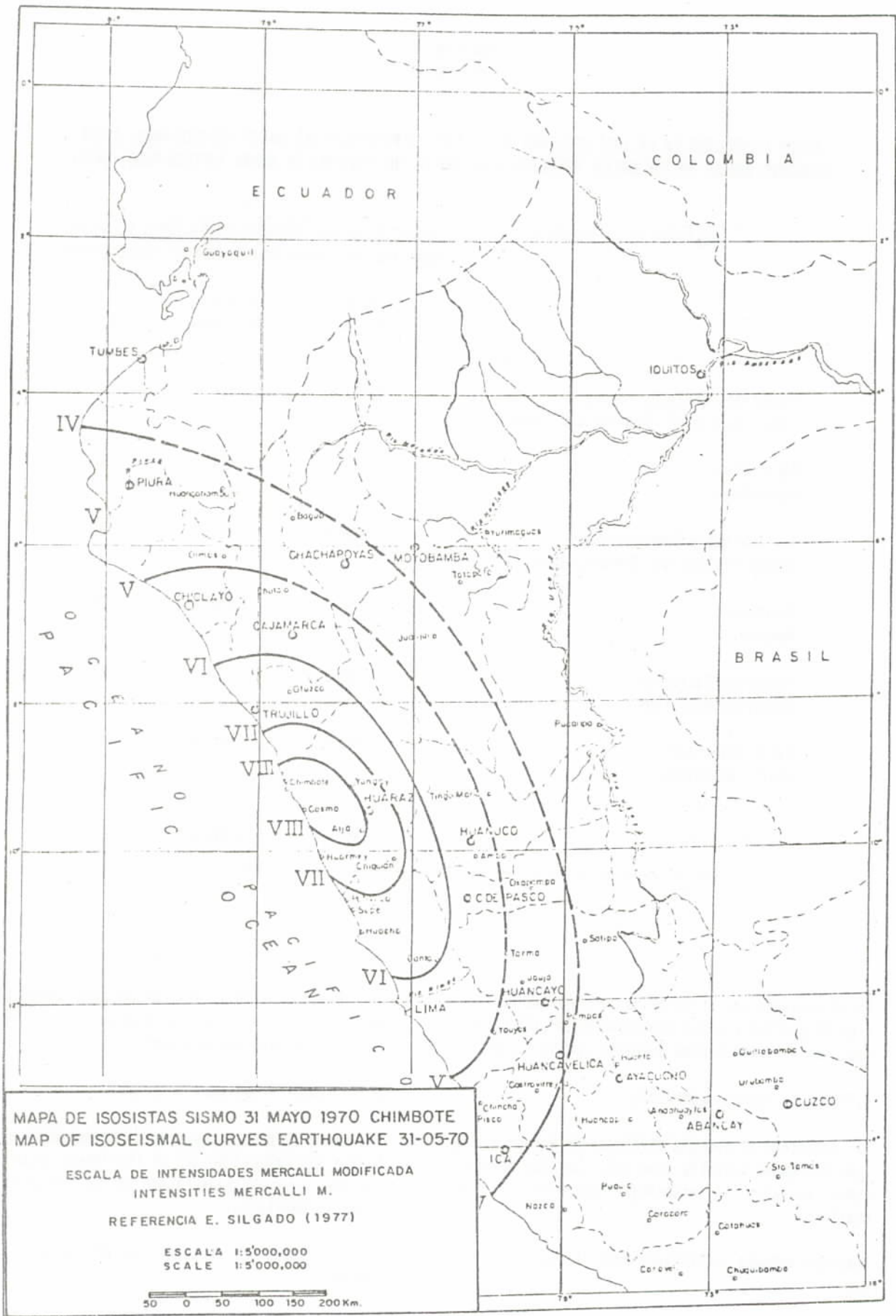


Fig. 1

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

Este estudio se ha concentrado en las poblaciones de Chimbote y Huaraz, por ser éstas las de mayor destrucción y en donde existía la mayor cantidad de información disponible en referencia al sismo de 1970.

2.2.3 Estudio del peligro sísmico

El propósito del estudio es determinar la probabilidad de excedencia de valores de intensidad sísmica en un lugar determinado, considerando los datos de sismos pasados y las características tectónicas asociadas a la actividad sísmica. El análisis se realizó utilizando la metodología desarrollada por CORNELL (1968) e implementada por McGUIRE (1976) en el programa de cómputo RISK.

En este estudio se han utilizado las zonas sismogénicas, recurrencia y atenuación sísmica de intensidades presentadas por CASAVARDE y VARGAS (1982). La ley de atenuación de intensidades es:

$$I = 5.972 + 1.0056 M - 1.26 \ln (R + 25)$$

La recurrencia sísmica fue recalculada en base al catálogo de hipocentros de la NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration) de los EE.UU por los autores, resultando valores ligeramente más elevados que los presentados por CASAVARDE y VARGAS (1982). Las Figs. 2 y 3 presentan los valores de intensidad esperados para las ciudades de Chimbote y Huaraz, utilizando los dos conjuntos de recurrencias sísmicas.

2.2.4 Estimación de daños en edificaciones

En los dos últimos años se han desarrollado metodologías para la estimación de daños en las edificaciones con la ocurrencia de sismos (WHITMAN et al 1973, 1975; SAUTER y SHAH 1978; SAUTER et al 1980), con el objeto de llevar a cabo políticas de prevención, tarifas de seguros, códigos de diseño y optimización del diseño estructural de acuerdo a una adecuada estrategia de seguridad.

Las metodologías de predicción de daños pueden ser empíricas o teóricas. Las empíricas reúnen y correlacionan las informaciones de movimiento del terreno con el daño y se basan en sismos pasados. Usualmente relacionan porcentajes de daños con intensidad sísmica para determinados tipos de sistemas estructurales. Su

- 77% of the roads of La Libertad and Ancash were interrupted, as well as 40% of those in Chancay and Cajatambo.

In this paper, the populations of Chimbote and Huaraz are those more closely studied since they suffered greater destruction and also a greater quantity of information is available, related to the earthquake of 1970.

2.2.3 Study of the Seismic Hazard

The purpose of the study is to determine the probability of exceedence of values of seismic intensity in a given locality, considering past earthquakes and the tectonic characteristics associated with the seismic activity. The analysis was carried out using the methodology developed by CORNELL (1968) and implemented by McGUIRE (1976) in a computer program known as RISK.

In this study the seismogenic zones, the recurrence and seismic attenuation of intensities have been used and presented by CASAVARDE and VARGAS (1982). The law of attenuation of intensities is:

The seismic recurrence was recalculated on the basis of the catalog of hypocenters of NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration) of the United States, the values obtained being slightly higher than those presented by CASAVARDE and VARGAS (1982). Figures 2 and 3 present the values of expected intensity for the cities of Chimbote and Huaraz using both sets of seismic recurrence.

2.2.4 Estimates of Damage to Buildings

On the past two years, methodologies have been developed for the estimate of damage to buildings due to the occurrence of earthquakes (WHITMAN et al 1973, 1975, SAUTER and SHAH 1978, SAUTER et al 1980) for the purpose of implementing policies for prevention, insurance premiums, building codes and the optimization of structural design in accordance with an adequate strategy of safety.

The methodologies for the prediction of damages may be empirical or theoretical. The empirical ones collect and correlate the information of the movement of the ground with the damage, based on past earthquakes. Usually they relate percentages of damage with seismic intensity for specific types of structural

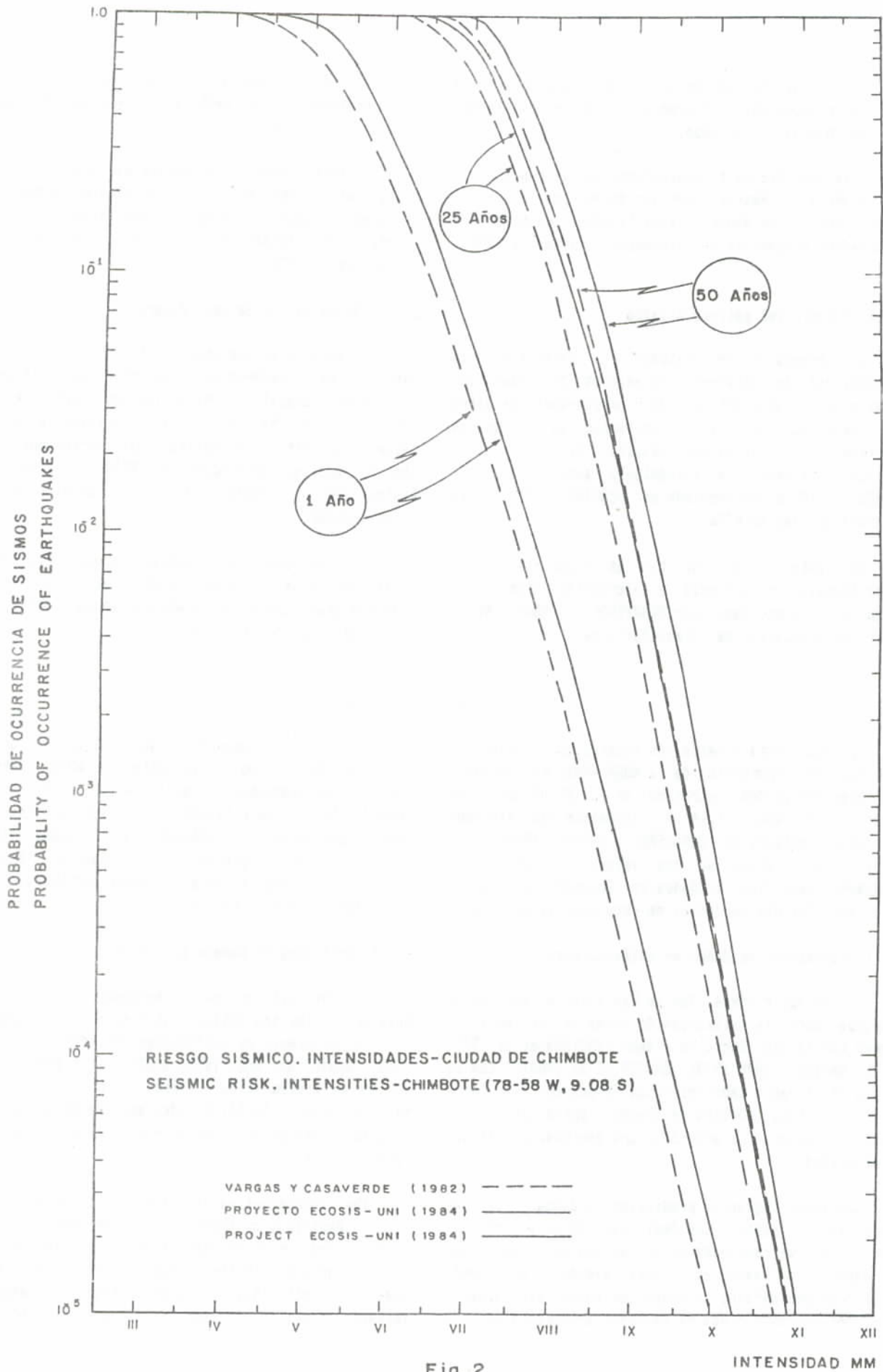


Fig. 2

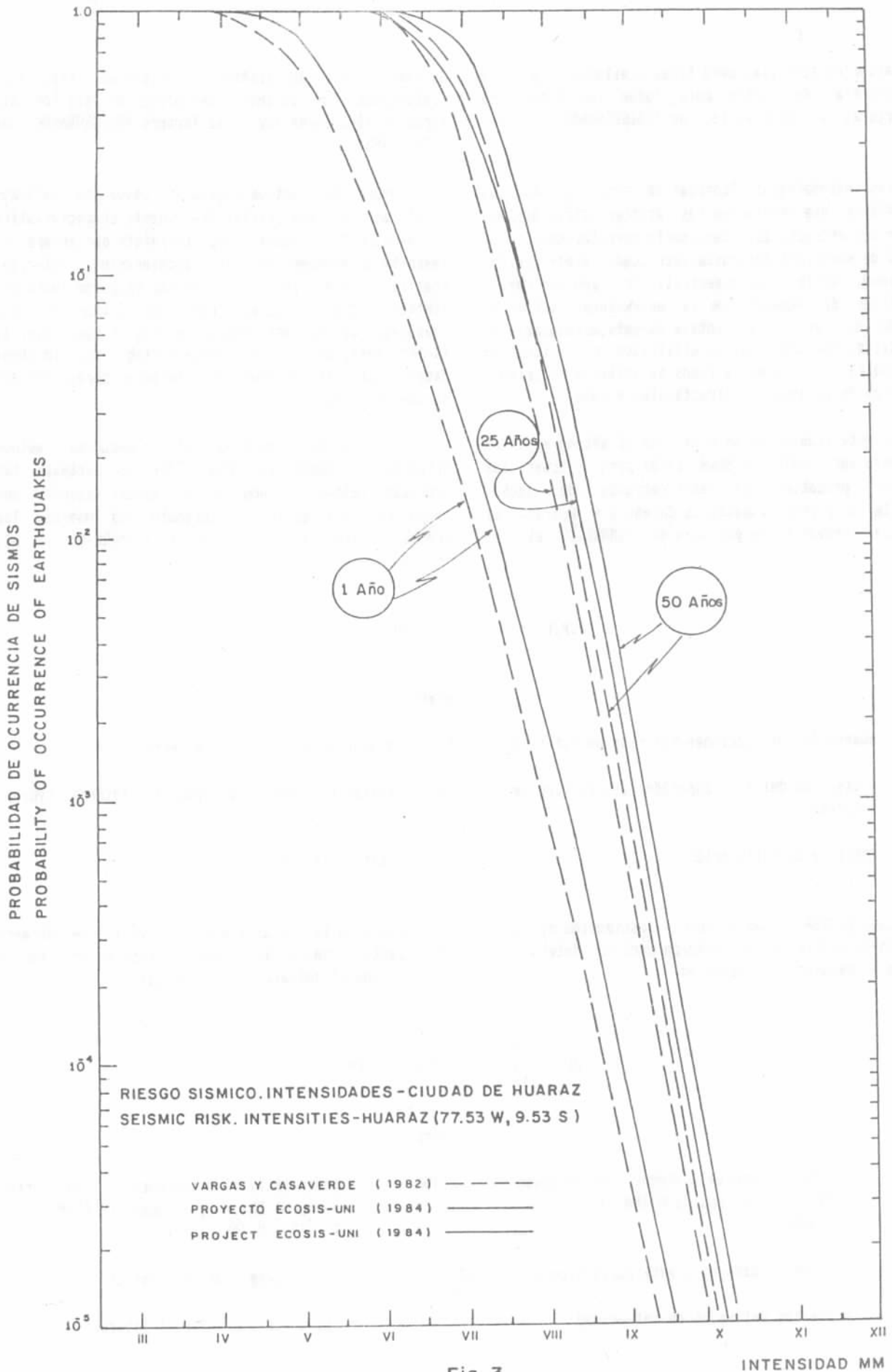


Fig. 3

aplicación es sencilla, pero tiene limitaciones por la inexistencia de datos para todos los tipos de estructuras y factores locales (BOISSONNADE y SHAH, 1982).

Las metodologías teóricas se basan en modelos matemáticos que involucran las características dinámicas de las estructuras. Usualmente correlacionan parámetros de severidad del movimiento como: aceleración, velocidad, aceleración espectral, etc., con las características de respuesta de la estructura: esfuerzo, deformación, etc.; la ventaja de esta metodología es que utiliza factores típicos utilizados en la ingeniería sísmica. Aún en estos casos se utilizan relaciones empíricas de parámetros estructurales y daño.

En este trabajo se ha utilizado el método empírico propuesto por SAUTER y SHAH (1978) para estimar las pérdidas probables de edificaciones de adobe, albañilería y provisionales en Chimbote y Huaraz. El potencial probable de pérdidas es (ZAMARBIDE et al, 1984):

$$P.P.P. = \sum_j B_j \times ED_j \times C_j$$

donde:

B_j = número de edificaciones del tipo de material j

ED_j = estimación del daño esperado para el tipo de material j

C_j = costo de la edificación

Según SAUTER y SHAH (1978), la estimación del daño esperado en un tipo de edificación para un determinado período de exposición sísmica es:

$$ED = \sum_{i=n}^{i=m} P(MMI = i) \times RD_j$$

donde:

$P(MMI = i)$ = probabilidad de ocurrencia de un sismo de $MMI = i$; es igual a $P(MMI > i + 1) - P(MMI > i)$

RD_j = razón de daño para edificación tipo j

n y m = límites del valor de intensidad

systems. Their application is simple but they have limitations due to the inconsistency of data for all types of structures and local factors (BOISSONNADE and SHAH, 1982).

Theoretical methodologies are based on mathematical models which involve the dynamic characteristics of the structure. Usually they correlate parameters of severity of movement such as: acceleration, velocity, spectral acceleration, etc. with the response characteristics of the structure: stress, deformation, etc. The advantage of this methodology is that it uses typical factors familiar to seismic engineering. Even in these cases, empirical relations of structural parameters and damage are used.

In this paper we have used the empirical method proposed by SAUTER and SHAH (1978) to estimate the probable losses of housing of adobe, masonry and temporary construction in Chimbote and Huaraz. The probable potential of losses is (ZAMARBIDE et al, 1984):

where:

B_j = number of buildings of material type j

ED_j = estimate of expected damage for material type j

C_j = cost of the building

According to SAUTER and SHAH (1978), the estimate of expected damage in a type of construction for a given period of seismic exposition is:

where:

$P(MMI = i)$ = probability of occurrence of an earthquake of $MMI = i$; is equal to $P(MMI > i + 1) - P(MMI > i)$

RD_j = rate of damage for edification type j

n and m = limits of the value of intensity

La Fig. 4 presenta relaciones de razón de daño con valores de intensidad Mercalli Modificada para diferentes tipos de construcción, presentadas por SAUTER y SHAH (1978).

2.2.4.1 Estudio de Chimbote

En este estudio se revisó la información existente en MORIMOTO et al (1971) y HERMOZA (1972), así como se ejecutaron estudios de microtrepidaciones (CHAVEZ, 1984) y se evaluaron las características de las construcciones en Chimbote, los daños ocurridos por el sismo y la vulnerabilidad sísmica de la ciudad en función de la probabilidad de ocurrencia de terremotos (BARRON, 1984).

Geología y Geomorfología.- La ciudad de Chimbote se ubica en la costa norte del Perú a 400 Km. de Lima. La geología de Chimbote está representada por tres tipos de afloramientos: el volcánico Casma (derrames andesíticos y riolíticos), el Intrusivo (granodiorita) y el Cuaternario (depósitos de arena eólica).

La ciudad se ubica en una planicie aluvial formada por el río Lacramarca, en una longitud de 10 Km. y 5 Km. de ancho; está limitada por el norte por cerros de origen volcánico que es la roca básica que se expone (Cerro Tambo Real). Por otro lado, en la parte sur del abanico aluvial el depósito gradualmente desciende llegando a pantanos y lagunas.

Las montañas rocosas en la región tienen pendientes suaves y amplias planicies consistentes en depósitos de gran espesor de arena gruesa y grava. En las zonas costeras, el mar ha formado líneas de playa de origen reciente y antiguo, consistentes en capas laminares de arena con fragmentos de conchuelas. Capas bastante gruesas de arena eólica recientes cubren la parte sur de la ciudad.

El abanico aluvial del Río Lacramarca está dividido por pequeños valles consistentes de arenas finas limosas y arenas fangosas con o sin restos orgánicos. La Fig. 5 presenta el mapageológico de Chimbote de MORIMOTO et al (1971).

Hidrogeología.- Las primeras fuentes de alimentación de la napa freática las conforman el río Santa, las precipitaciones provenientes de la Quebrada Lacramarca y las filtraciones de los canales de irrigación y zonas de cultivo.

La napa freática es del tipo radial libre y a filetes divergentes, con gradientes hidráulicos entre 2 y 8 por mil, con afloramiento de la misma en extensas

Figure 4 presents relations of ratio of damage with values of intensity Modified Mercalli for different types of construction, presented by SAUTER and SHAH (1978).

2.2.4.1 Study in Chimbote

Existing information in MORIMOTO et al (1971) and HERMOZA (1972) was revised, studies of microtremors were carried out (CHAVEZ, 1982) and the characteristics of the constructions in Chimbote were evaluated, as well as the damages caused by the earthquake and the seismic vulnerability of the city, as a function of the probability of occurrence of earthquakes (BARRON, 1984).

Geology and Geomorphology.- The city of Chimbote is located on the north coast, 400 km from Lima. The geology of Chimbote is represented by three types of outcropping: the Casma volcanic (andesitic and rhyolitic overflow), the Intrusive (granodiorite) and the Quaternary (deposits of eolic sand).

The city is located on an alluvial plain, formed by the Lacramarca river, 10 km long and 5 km wide; it is limited in the north by hills of volcanic origin which is the basic exposed rock (Cerro Tambo Real). In the southern part of the alluvial fan, the deposit gradually descends toward swamps and lakes.

The rock mountains in the region have smooth slopes and wide plains consisting of deposits of very thick coarse sand and gravel. In the coastal area the sea has formed shore lines of recent and ancient origin consisting of layers of laminar sand with shell fragments. Relatively thick layers of recent eolic sand cover the southern part of the city.

The alluvial fan of the Rio Lacramarca is divided by small valleys consisting of fine limous or swampy sand some with and some without organic remains. Fig. 5 presents the geological map of Chimbote from MORIMOTO et al (1971).

Hydrogeology.- The principal sources of the water table are the Santa River, rain fall on the Quebrada Lacramarca and filtrations from the irrigation canals and cultivated areas.

The water table is of the free radial type with divergent streams, and hydraulic gradients between 2 and 8 per thousand with outcroppings in extensive areas

RESUMEN DE RELACIONES ADOPTADAS DE DAÑO PROMEDIO (R.D)
VS. INTENSIDAD MM

SUMMARY OF ADOPTED RELATIONSHIP BETWEEN AVERAGE
LOSS (R.D) AND MM INTENSITY

TIPOS DE CONSTRUCCIONES (1) a (10)
TYPES OF CONSTRUCTIONS

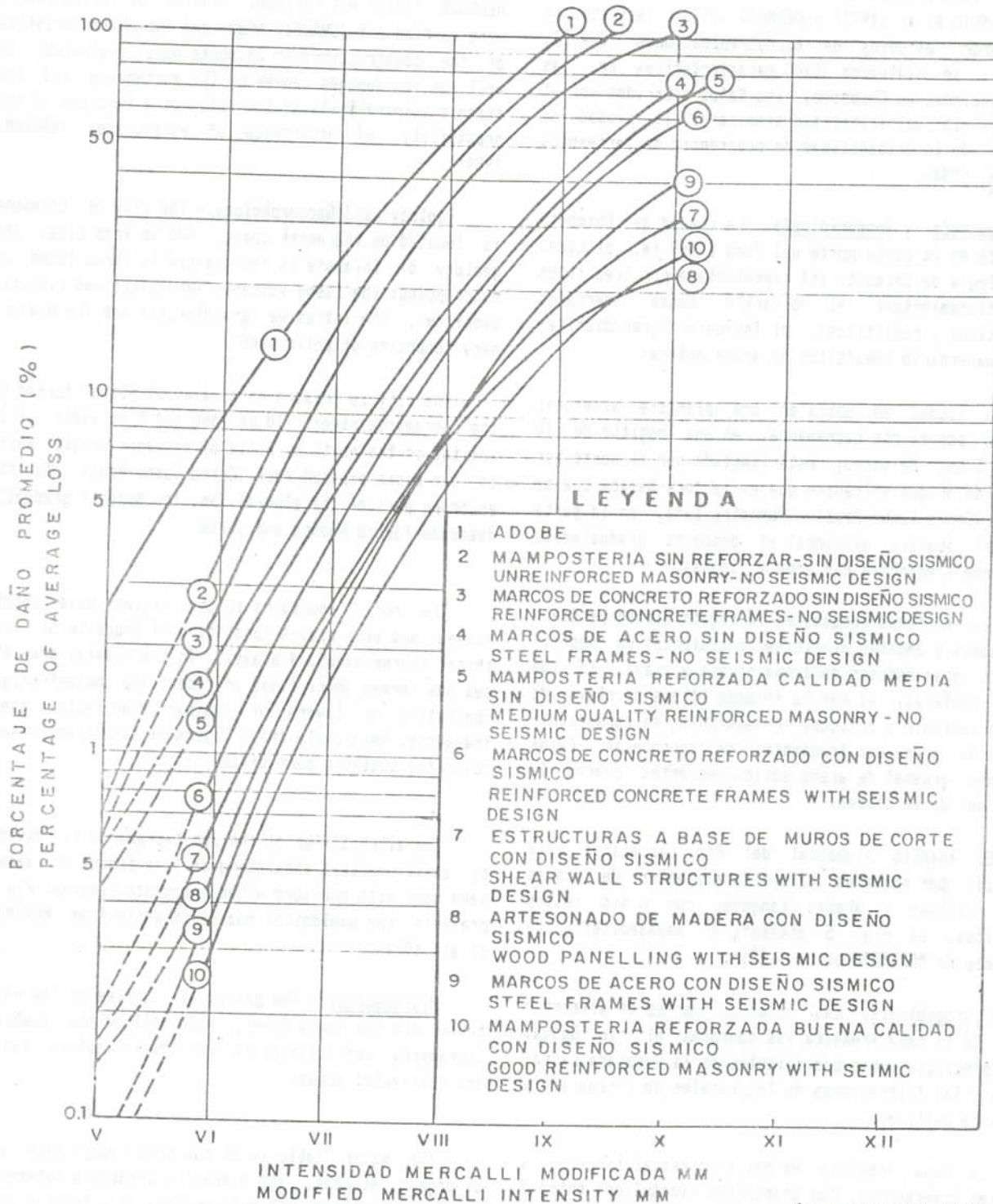


Fig. 4

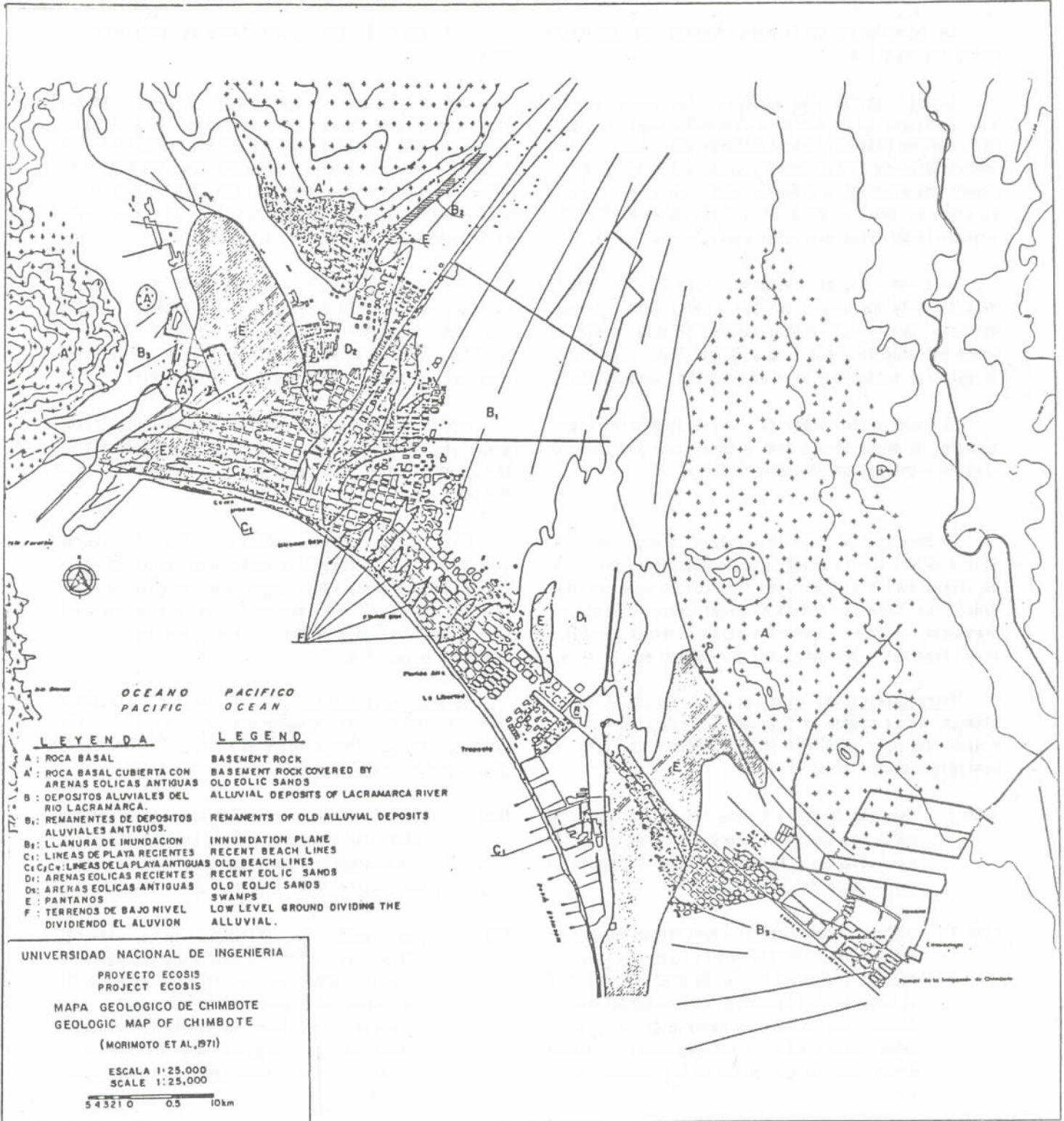


Fig.5

zonas cercanas al mar, por falta de suficiente drenaje.

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

La profundidad de la napa freática se encuentra entre los 20 y 0 m.

Características del subsuelo.- Se puede afirmar que la ciudad de Chimbote se desplanta sobre un depósito arenoso potente, con niveles de agua superficiales susceptibles de sufrir densificación y licuación produciendo asentamientos diferenciales. En su mayor parte la arena es media a densa con valores de N de 10 a 30, suprayaciendo arena más densa hasta la roca basal.

La parte norte de Chimbote, zona de San Pedro, está cubierta por arenas sueltas o parcialmente densas, mientras que la Siderúrgica mayormente está cimentada sobre estratos de arena fina a media, con superficies de material orgánico y niveles freáticos poco profundos

El casco urbano presenta una estratigrafía predominante de arena fina a semi-gruesa, con presencia de niveles freáticos en promedio de 1.5 m.

La zona central principalmente es arenosa de grano fino a medio, con la existencia de una capa superficial de tierra agrícola y niveles freáticos de poca profundidad. La zona sur consta de arena gruesa a fina con presencia de grava, pequeños porcentajes de arcilla y nivel freático a profundidades por debajo de los 16 m.

Microzonificación sísmica.- La microzonificación sísmica de la ciudad de Chimbote fue realizada por la Misión Japonesa (MORIMOTO et al, 1971). En ésta se distinguen cuatro zonas (Fig. 6):

ZONA I Subsuelo de grava o roca con agua subterránea cerca a los 10 m. Pocas posibilidades de asentamientos. Las elevaciones topográficas son mayores de 10 m.s.n.m.

ZONA II Suelo arenoso suelto a semi-denso con varios metros de potencia. En la mayor parte, el agua se encuentra a 5 m. de profundidad. Sólo se esperan asentamientos en los bordes de las dunas. Los edificios mayores de dos pisos deben cimentarse con pilotes hasta la arena densa que existe debajo de las arenas sueltas.

near the sea due to the lack of sufficient drainage.

In most of the profiles the aquifer is represented by very permeable materials, of the order of $K = 8 \times 10^{-4}$ m/sec, guaranteeing good compartment.

The depth of the water table is between 0 and 20 m.

Characteristics of the subsoil.- It can be stated that the city of Chimbote is located on a thick sandy deposit, with levels of surface water susceptible of suffering densification and liquefaction producing differential subsidence. Most of the sand is medium to dense with values of N equal to 10 - 30, overlaying denser sand down to the base rock.

The northern part of Chimbote, zone of San Pedro, is cover of by loose or partially dense sand, whereas the steel plant has its foundation cemented on strata of fine to medium sand, with a surface of organic material and rather shallow water table levels.

The main urban area presents a predominant stratigraphy of fine to semi-thick sand, with the presence of the water table at an average level of 1.5 m below the surface.

The central zone is principally fine to medium sand with the existence of a superficial layer of agricultural earth and a water table level of shallow depth. The southern coast consists of coarse to fine sand and some gravel, a small amount of clay and a water table at depths below 16 m.

Seismic microzonation.- The seismic microzonation of the city of Chimbote was carried out by the Japanese Misión (Morimoto et al, 1971). Four zones (Fig. 6) are distinguished:

ZONE I Subsoil of gravel or rock with subterranean water near 10 mts of depth. Few possibilities of subsidence. The topographical elevations are greater than 10 meters above sea level.

ZONE II Loose sandy to semi-dense soil, several meters thick. For the most part the water is found at a depth of 5 m. Only at the edges of the dunes one can expect subsidence. The buildings higher than two stories should have foundations with supports down to the thick sand which exists underneath the loose sand.

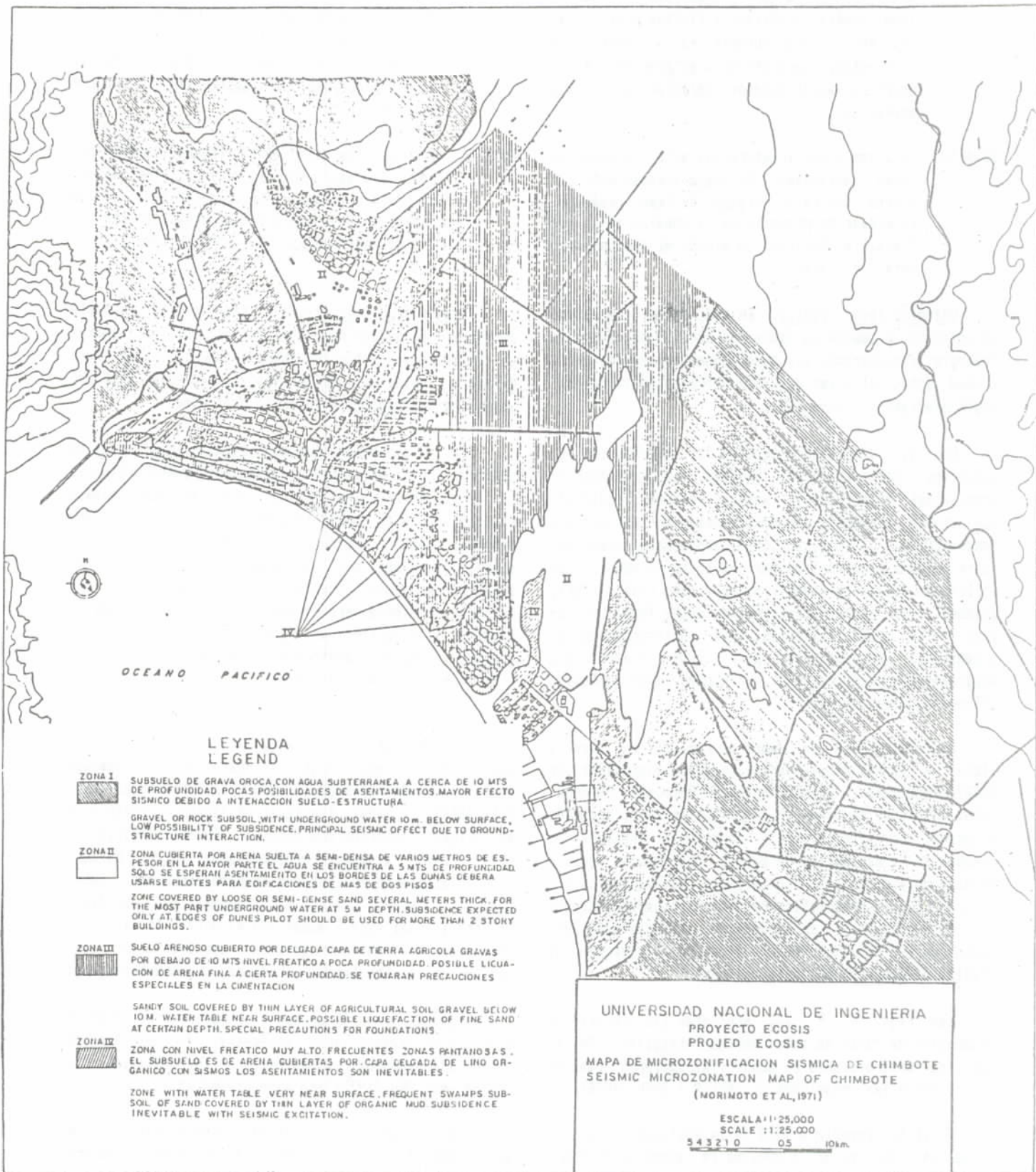


Fig. 6

ZONA III Suelo arenoso cubierto por capa delgada de tierra agrícola. Gravas por debajo de 10 m. Nivel freático a poca profundidad. La arena fina suelta localizada a ciertas profundidades se licuará durante la ocurrencia de terremotos; pero debido a su profundidad, no ocurrirán asentamientos apreciables en los edificios.

ZONA IV Zona con nivel freático muy alto, frecuentes zonas pantanosas. El suelo arenoso está cubierto con capas delgadas de limo orgánico. La elevación promedio de la zona es menos de 5 m.s.n.m. Durante los sismos el asentamiento será inevitable.

Vulnerabilidad sísmica.- En este estudio se estimó el potencial probable de daños por efectos de sismos en Chimbote, considerando las condiciones existentes en la ciudad antes del sismo de 1970 y utilizando la metodología previamente presentada.

La Fig. 7 presenta el mapa de distribución de tipos de construcción en Chimbote. La construcción provisional es de madera, estera, eternit y quinchá, sin diseño sísmico y con deficiencias en el proceso constructivo. La construcción de adobe está cimentada sobre piedra asentada con barro y techo de madera. Se utilizaban elementos estabilizadores como paja, fibra, áridos, etc. Las edificaciones de adobe fueron de un piso y de diseño sencillo. Las construcciones de albañilería predominaban para usos comerciales, departamentos y residencias. En muchos casos no tenían columnas y vigas de amarre.

La estadística de daños se realizó en base a fichas y láminas de evaluación de daños ejecutados por CRYRZA-PNUD para el Plan Director de Chimbote (BARRON, 1984). El nivel de daños se distingue en leve, moderado y grave. En este artículo tan solo se presenta un resumen de la evaluación de daños, que toma en cuenta el mapa de microzonificación sísmica. Las Tablas 5, 6 y 7 presentan la estadística de daños para edificaciones de tipo provisional, de adobe y de albañilería. Debe indicarse que el daño promedio obtenido al ponderar los niveles de daños es bastante uniforme.

Las Figs. 8, 9 y 10, presentan las relaciones propuestas de razón de daños versus intensidad. En el caso de construcciones de adobe y albañilería también se presentan las relaciones de SAUTER y SHAH (1978).

El costo promedio a 1970 de la edificación provisional se asume en S/. 6,000, el de adobe en 45,000 y el de albañilería en S/. 150,000.

ZONE III Sandy soil covered by a thin layer of agricultural earth. Gravel beneath the 10 m level. Subterranean water at a shallow depth. The fine loose sand localized at certain depths will liquefy during the occurrence of earthquakes; but due to its depth there was no appreciable subsidence effect in the buildings.

ZONE IV Very shallow water table; frequent swampy zones. The sandy soil is covered by thin layers of organic limous. The mean elevation of the zone is less than 5 meters above sea level. During earthquakes subsidence is inevitable.

Seismic Vulnerability.- In this paper the probable potential of damage due to the effects of earthquakes in Chimbote was estimated considering the conditions existing in the city before the earthquake of 1970 and using the methodology previously presented.

Fig. 7 presents a map of distribution of types of construction in Chimbote. The temporary construction is of wood, straw, eternit and cane, without seismic design and with deficiencies in the construction process. Adobe construction is on a foundation of stone, bound with mud, and wood roofing. Stabilizing elements are used, such as straw, fiber, etc. The buildings of adobe were of one story and simple design. Masonry constructions were predominant for commercial purposes, for apartments and residences. In many cases they have no columns and beams.

The statistic of damages was carried out on the basis of cards and formats for evaluation of damages designed by CRYRZA-PNUD for the Plan Director of Chimbote (BARRON, 1984). The level of damage is classified as slight, moderate and serious. In this article we only present a summary of the evaluation of damages with reference to the seismic microzonation map. Table 5, 6 and 7 present statistics of damages for buildings of provisional type, adobe and masonry. It must be indicated that the average damage obtained after giving weight to the levels of damage, is rather uniform.

Figs. 8, 9 and 10 present the relation proposed as a ratio of damages versus intensity. In the case of adobe and masonry constructions the relations of SAUTER and SHAH (1978) are also presented.

The average cost in 1970 of a provisional building was assumed to be S/. 6,000, that of adobe S/. 45,000 and masonry S/. 150,000.

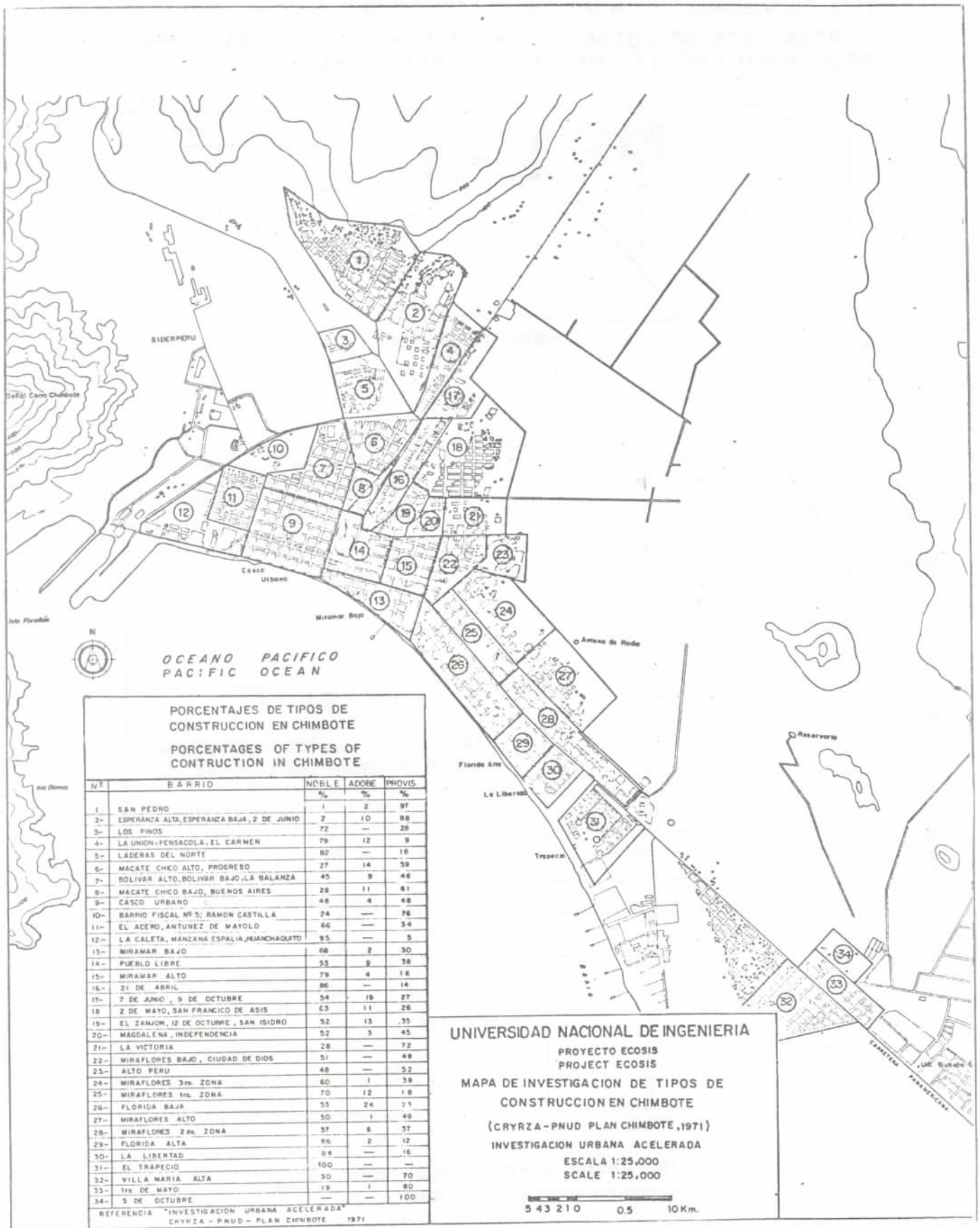


Fig. 7

PORCENTAJES DE DAÑOS VS. INTENSIDAD-MMI PARA EDIFICACIONES TIPO PROVISIONAL (CHIMBOTE, SISMO 1970)
 PERCENTAGES OF LOSSES VS INTENSITY MMI FOR BUILDINGS PROVISIONAL TYPE (CHIMBOTE, 1970 EARTHQUAKE)

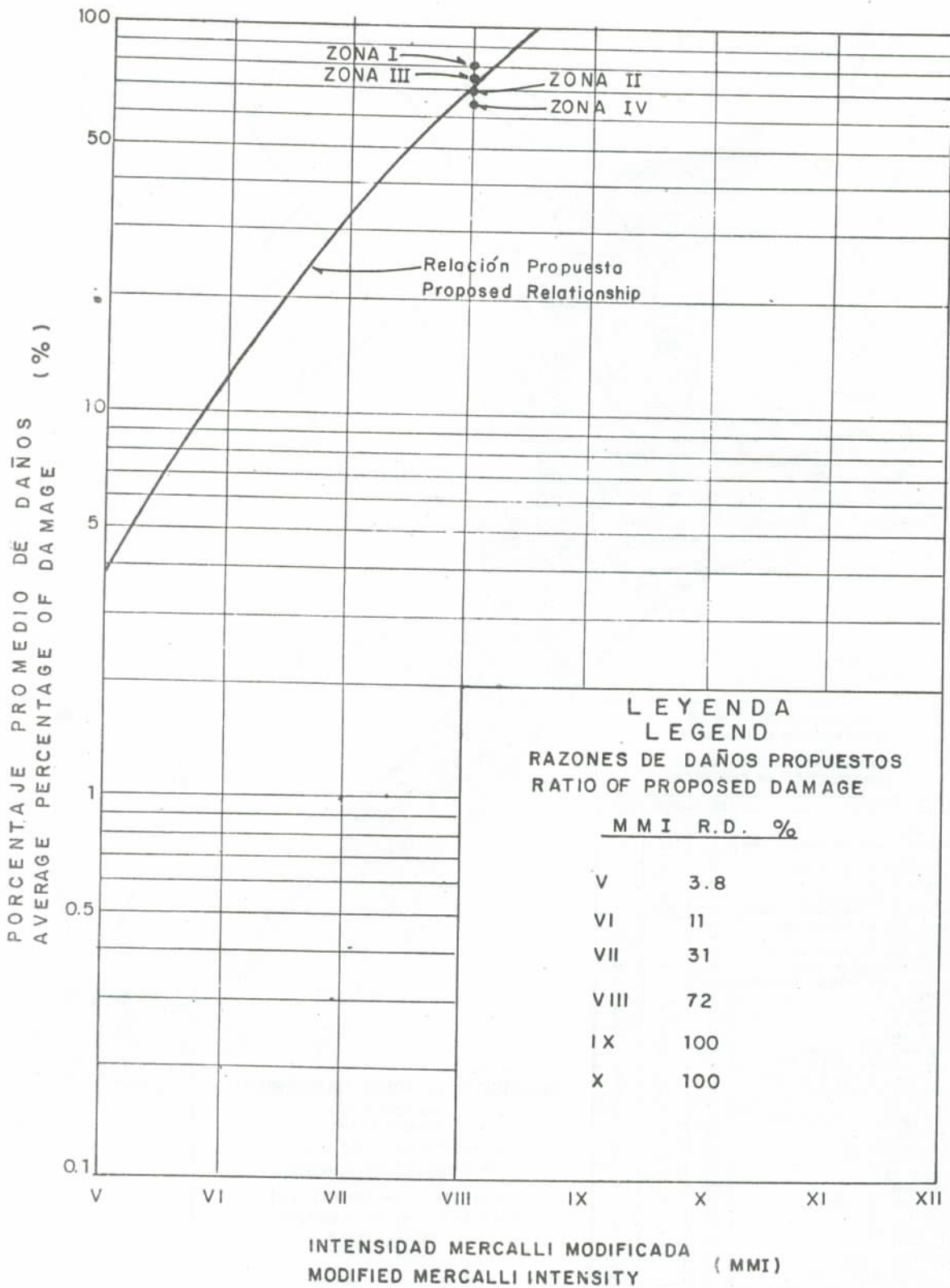


Fig. 8

PORCENTAJES DE DAÑOS VS. INTENSIDAD MMI PARA EDIFICACIONES DE ADOBE - (CHIMBOTE, SISMO 1970)
 PERCENTAGES OF DAMAGE VS. MMI INTENSITY FOR BUILDINGS OF ADOBE - (CHIMBOTE, 1970 EARTHQUAKE)

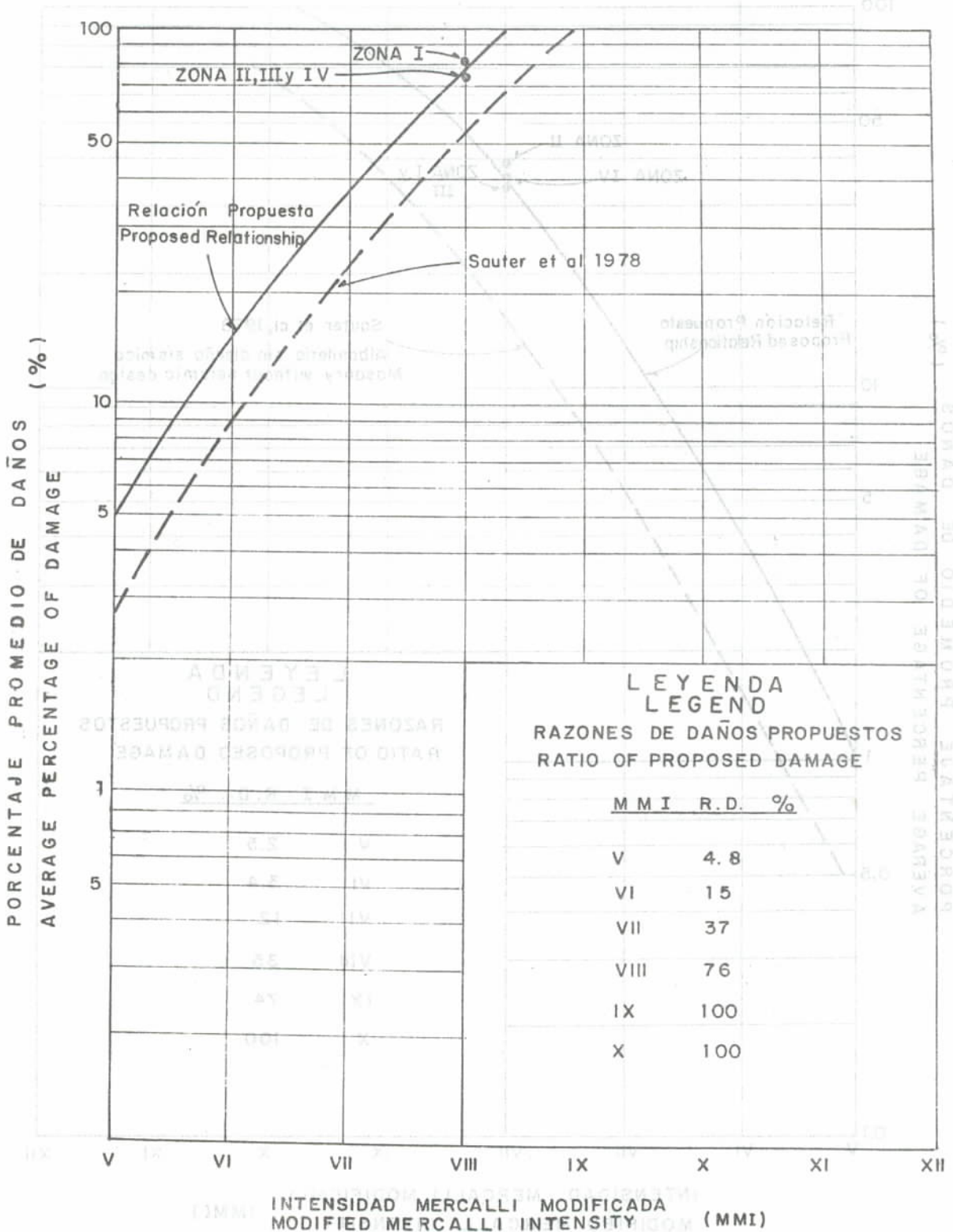


Fig. 9

PORCENTAJES DE DAÑOS VS INTENSIDAD-MMI PARA EDIFICACIONES DE ALBAÑILERIA (CHIMBOTE, SISMO 1970)

PERCENTAGE OF DAMAGE VS MMI INTENSITY FOR MASONRY BUILDINGS (CHIMBOTE, 1970 EARTHQUAKE)

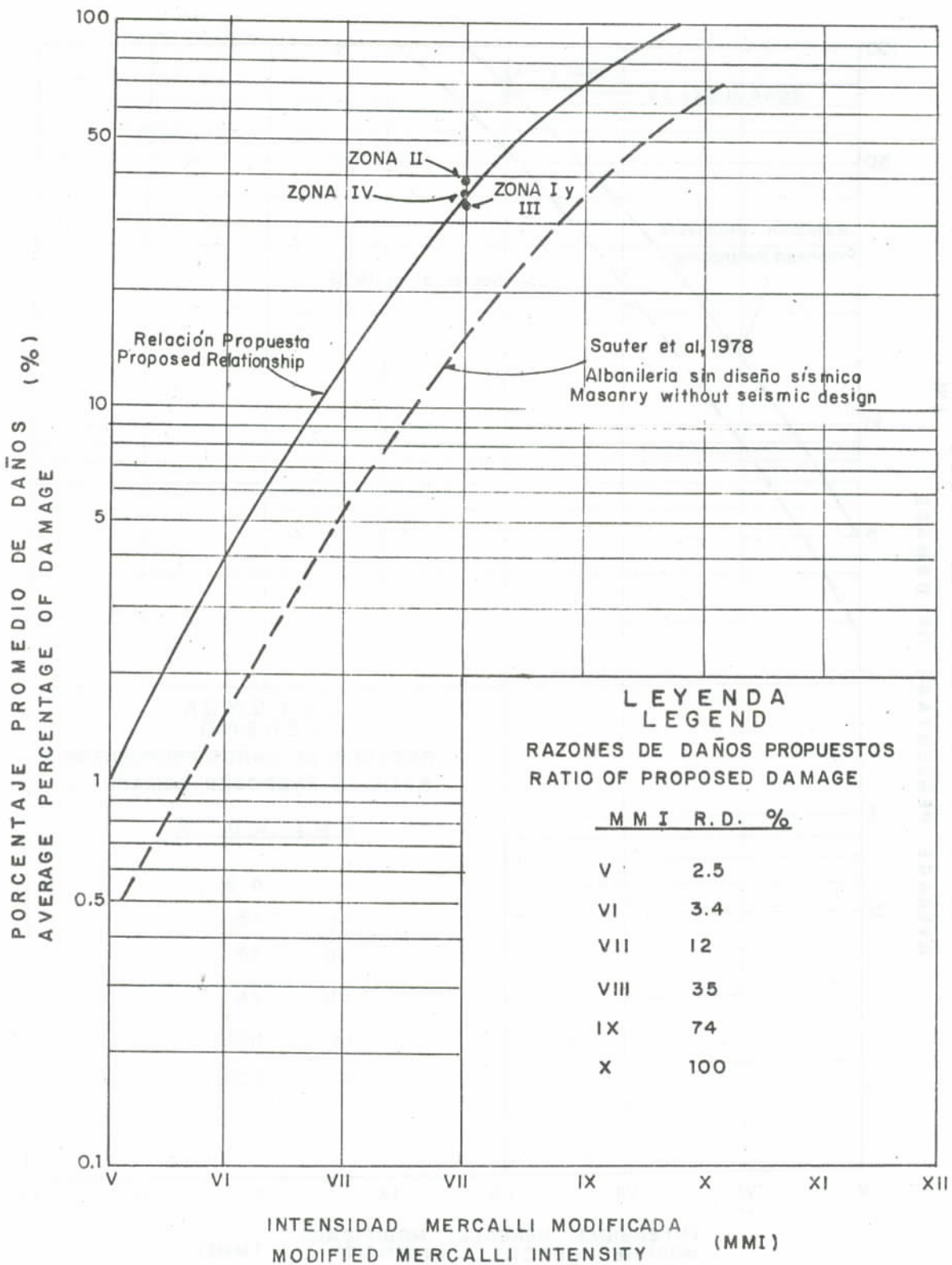


Fig. 10

TABLA No. 5
TABLE No. 5

ESTADISTICA DE DAÑOS EN EDIFICACIONES TIPO PROVISIONAL - CHIMBOTE SISMO 1970
STATISTICS OF DAMAGE TO BUILDINGS OF PROVISIONAL TYPE - CHIMBOTE EARTHQUAKE 1970

Microzonación Sísmica Seismic Microzonation	No. Edificios No. of Buildings	NIVEL DE DAÑO LEVEL OF DAMAGE			
		Leve* Slight*	Moderado* Moderate*	Grave* Serious*	Daño Promedio Mean damage
		%	%	%	%
ZONA I	1882	0	1	99	79
ZONA II	4249	6	2	92	75
ZONA III	3357	10	4	86	71
ZONA IV	1784	16	4	80	66

11,272

* Leve (Slight) : 0-15 % Destrucción
Moderado (Moderate): 16-50 %
Grave (Serious) : 51-100%

TABLA No. 6
TABLE No. 6

ESTADISTICA DE DAÑOS EN EDIFICACIONES DE ADOBE - CHIMBOTE SISMO 1970
STATISTICS OF DAMAGE IN ADOBE BUILDINGS - CHIMBOTE EARTHQUAKE 1970

Microzonación Sísmica Seismic Microzonation	No. Edificios No. of Buildings	NIVEL DE DAÑO LEVEL OF DAMAGE			
		Leve* Slight*	Moderado* Moderate*	Grave* Serious*	Daño Promedio Mean damage
		%	%	%	%
ZONA I	6	0	0	100	80
ZONA II	305	0	11	89	74
ZONA III	678	6	0	94	76
ZONA IV	382	6	0	94	76

1,371

* Leve (Slight) : 0-15 % Destrucción
Moderado (Moderate): 16-50 %
Grave (Serious) : 51-100%

TABLA No. 7

TABLE No. 7

ESTADÍSTICA DE DAÑOS EN EDIFICACIONES DE ALBARILERIA SIN DISEÑO SISMICO - CHIMBOTE SISMO 1970
 STATISTICS OF DAMAGE IN MASONRY BUILDINGS WITHOUT SEISMIC DESIGN - CHIMBOTE EARTHQUAKE 1970

Microzonación Sísmica Seismic Microzonation	No. Edificios No. of Buildings	NIVEL DE DAÑO LEVEL OF DAMAGE			
		Leve* Slight*	Moderado* Moderate*	Grave* Serious*	Daño Promedio Mean damage
		%	%	%	%
ZONA I	975	0	86	13	32
ZONA II	1522	13	60	27	38
ZONA III	6397	23	58	18	32
ZONA IV	2059	22	53	24	35

10,953

* Leve (Slight) : 0-15 % Destrucción
 Moderado (Moderate): 16-50 %
 Grave (Serious) : 51-100%

TABLA No. 8

TABLE No. 8

POTENCIAL PROBABLE DE PERDIDAS (P.P.P.) - CIUDAD DE CHIMBOTE
 PROBABLE POTENTIAL OF LOSSES (P.P.P.) - CITY OF CHIMBOTE

Tipo de Edificación Type of Construction	No. Edificios No. of Buildings	TIEMPO DE EXPOSICION SISMICA TIME OF SEISMIC EXPOSITION			
		1 Año 1 year	25 Años 25 years	50 Años 50 years	100 Años 100 years
Albañilería Masonry	10,952	350	1,468	1971	2,585
Provisional	11,272	823	3,607	4576	5,647
Adobe	1,371	128	510	631	755
P.P.P.	---	57'438,000	264'792,000	351'501,000	455'607,000

En base al estudio de peligro sísmico, a los daños esperados, al número estimado de edificaciones y al costo de las mismas, se puede obtener el potencial probable de pérdida para los distintos tiempos de exposición sísmica de la Tabla 8. Dichos valores están graficados en la Fig. 11.

2.2.4.2 Estudio de Huaraz

En este estudio se revisó la información presentada por CRYRZA (ARMAS, 1973) sobre la microzonificación sísmica y evaluación de daños realizada en Huaraz. También se ejecutaron estudios de microtrepidaciones (CHAVEZ, 1984) y se determinó la vulnerabilidad sísmica de la ciudad en función de la probabilidad de ocurrencia de terremotos (ORDÓÑEZ, 1984).

Geología y Geomorfología.- La ciudad de Huaraz se ubica entre la Cordillera Blanca al Este y la Cordillera Negra al Oeste que corren paralelas de sur a norte en el Departamento de Ancash. La Cordillera Blanca se compone de un núcleo de granodiorita con rocas sedimentarias en sus flancos. La Cordillera Negra consiste en su mayor parte de flujos y rocas volcánicas. Ambas cordilleras superan los 4,500 m.s.n.m. y el pico más alto del Perú, el Huascarán, con 6,768 m.s.n.m. se ubica en la Cordillera Blanca.

El valle del río Santa, donde se ubica la ciudad de Huaraz está parcialmente lleno de sedimentos (de origen glacial, fluvio-glacial o aluvial), que provienen de la erosión de morrenas y extensos mantos fluvio-glaciares.

La zona en estudio se encuentra asentada en terrenos compuestos por terrazas fluviales, sedimentos fluvio-gravitacionales, depósitos de arcilla y arena saturados y depósitos aluviales; todo ello a una altura de 3,050 m.s.n.m. Estos materiales han sido formados por acción torrencial, residuos de avalancha y residuos coluviales provenientes de las áreas más elevadas.

El proceso de erosión, transporte y acumulación combinada con la acción modeladora de los ríos Santa y Quilcay han conferido una geomorfología característica (Fig. 12).

Hidrogeología.- La napa freática es alimentada por filtraciones provenientes de las quebradas circundantes. La napa es libre y convergente con un ancho de 800 m. que atraviesa el centro urbano de la Ciudad de Huaraz. El acuífero es de baja permeabilidad con gradiente hidráulico entre 42/1000 y 34/1000.

On the basis of the study of the seismic hazard, the expected damage, the estimated number of buildings and their cost, it can be obtained the probable potential for loss, for different periods of seismic exposition, from Table 8. Those values are shown in Fig. 11.

2.2.4.2 Study in Huaraz

In this study the information presented by CRYRZA (ARMAS, 1973) on the seismic microzonation and the evaluation of damages carried out in Huaraz was revised. Also, studies of microtremors were executed (CHAVEZ, 1984) and the seismic vulnerability of the city was determined as a function of the probability of occurrence of earthquakes (ORDÓÑEZ, 1984).

Geology and Geomorphology.- The city of Huaraz is located between the Cordillera Blanca to the east and the Cordillera Negra to the west, which run parallel to each other from south to north in the department of Ancash. The Cordillera Blanca is made up of a nucleus of granodiorite with sedimentary rocks on its slopes. The Cordillera Negra consists mostly of volcanic overflow and rock. Both cordilleras are higher than 4,500 meters above sea level and the highest peak in Peru, the Huascarán, at 6,768 meters above sea level is located in the Cordillera Blanca.

The Valley of the Santa river on which the city of Huaraz is located, is partially full of sediments (of glacial origin, fluvio-glacial or alluvial origin), which originated by the erosion of moraines and extensive fluvio-glacial cover.

The zone under study is on land composed of fluvial terraces, fluvio-gravitational sediments, clay deposits and saturated sand and alluvial deposits, at an altitude of 3,050 meters above sea level. These materials have been formed by torrential action, residues of avalanches and colluvial residues originated at higher levels.

The process of erosion, transportation and accumulation combined with the molding action of the Santa and Quilcay rivers have given this a geomorphology characteristic (Fig. 12).

Hydrogeology.- The water table is fed by filtrations from the surrounding valley. The water table is free and convergent with a wide of 800 meters which goes through the urban center of the city of Huaraz. The aquifer is of low permeability with a hydraulic gradient between 42/1000 and 34/1000.

PROBABLE POTENCIAL DE PERDIDAS (PPP) EN EDIFICACIONES
EN LA CIUDAD DE CHIMBOTE ANTES DEL SISMO DE 1970
PROBABLE LOSS POTENTIAL (PLP) FOR BUILDINGS IN CHIMBOTE
BEFORE THE 1970 EARTHQUAKE

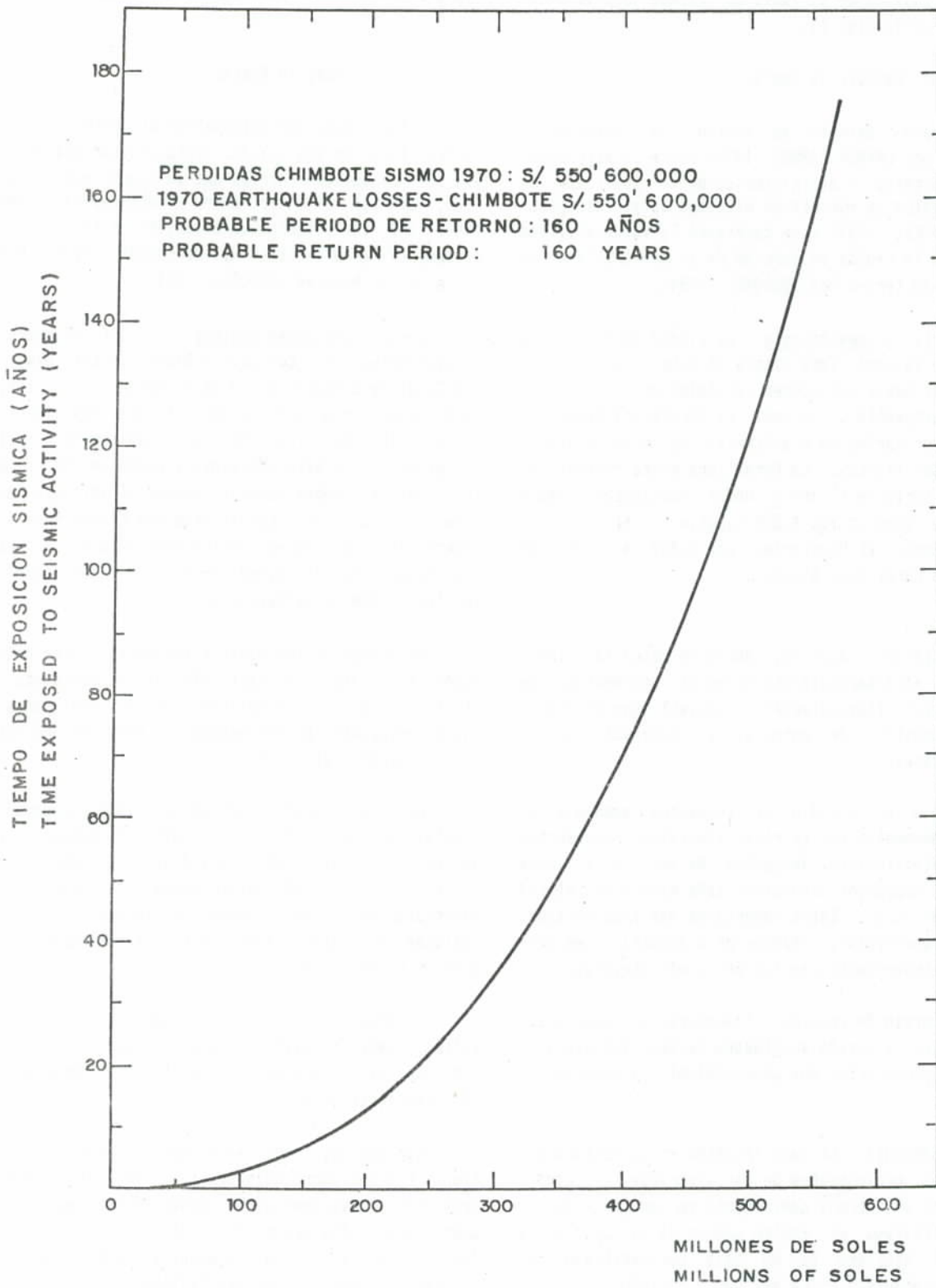
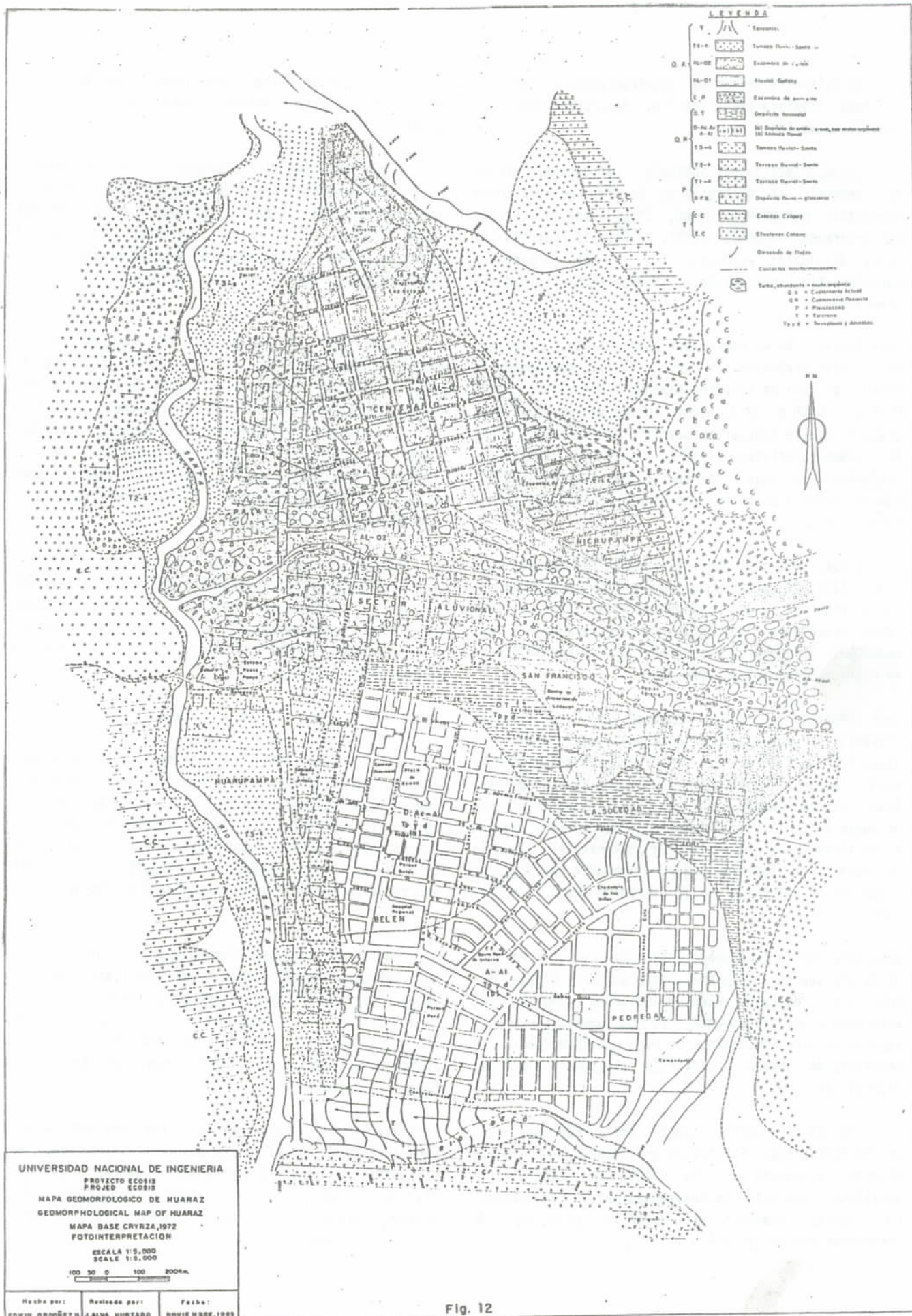


Fig. 11



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA
 PROYECTO ECOSIS
 PROJED ECOSIS
 MAPA GEOMORFOLÓGICO DE HUARAZ
 GEOMORPHOLOGICAL MAP OF HUARAZ
 MAPA BASE CRYRZA, 1972
 FOTOINTERPRETACION
 ESCALA 1:5,000
 SCALE 1:5,000
 100 50 0 100 200m

Hecho por: EDWIN OROÑEZH
 Revisado por: J. ALVA HURTADO
 Fecha: NOVIEMBRE, 1988

Fig. 12

En el centro urbano se registran profundidades de la napa freática sobre los 3 m. de profundidad y en general sobre los 6 m.

Características del subsuelo.- Las características del subsuelo se determinaron de las perforaciones ejecutadas por CRYRZA (ARMAS, 1972) y las realizadas posteriormente (ROMANI, 1975). La Fig. 13 presenta los tipos de suelos en Huaraz. En lo que respecta a características del subsuelo, Huaraz se ha dividido en tres zonas.

Zona Norte: En el sector que abarca la Av. Confraternidad Deste predomina el suelo aluvial, compuesto de trozos de roca de diversos tamaños, mayormente entre 0.15 m. y 0.80 m. de diámetro, en una matriz de arena o grava limosa de regular graduación. No existe presencia de humedad superficial (Tipo I). En la Av. Centenario predomina una capa superficial de tierra vegetal sobreyaciendo a estratos limo-arenosos en estado seco y duro (Tipo II).

Capas poco profundas de arcillas limosas de baja plasticidad en estado duro y compacto se ubican en la parte este de la Av. Centenario (Tipo III). En las zonas aledañas a laderas existen suelos duros y muy compactos, compuestos de bolones de roca esparcidos en matrices limo-arenosas (Tipo I).

Zona Central: En la Av. Raimondi y el Río Quilcay se presenta un suelo aluvial semejante a la zona norte (Tipo I); entre las Avs. Confraternidad Deste, Raimondi, Gamarra y Villón existen suelos finos (sedimentos). Existe humedad superficial que determina el tipo de suelo III, IV y V. Capas sucesivas de arena limosas y arcillosas o arcillas limosas conforman el subsuelo de esta zona; arcillas orgánicas de alta plasticidad (Tipo V) se encuentran en el barrio de Belén y Huarupampa.

Zona Este: Entre la Alameda Grau y la Prol. Av. Raimondi existe una capa de arena limosa o tierra vegetal que sobreyace a estratos sucesivos de arena limosa, limo arcilloso y arcilla arenosa. En los lugares cercanos a laderas existen inclusiones de roca de hasta 0.80 m. La presencia de humedad superficial determina suelos del tipo II, III y IV.

Los barrios Soledad (parte alta), Pedregal y la Av. Confraternidad Sur tienen un subsuelo de gravas de diversa graduación en una matriz de arena limo-arcillosa, con estratos húmedos de mediana compactidad. Los suelos gravosos de diversas granulometrías determinan suelos tipos I y II.

In the urban center the registered depths of the water table is from 3 meters to more than 6 meters, in general.

Characteristics of the subsoil.- The characteristics of the subsoil are determined by the perforations executed by CRYRZA (ARMAS, 1972) and those carried out later (ROMANI, 1975). Fig. 13 presents the types of soil in Huaraz. Concerning the characteristics of the subsoil, Huaraz is divided in three zones.

North Zone: In the sector which includes the Av. Confraternidad Deste the alluvial soil which predominates is composed of pieces of rock of different sizes, mostly between 0.15 m and 0.80 m of diameter, with a matrix of sand or limous gravel of regular gradient. There is no presence of superficial humidity (Type I). In the Av. Centenario area a superficial layer of vegetal earth predominates over a limous-sand strata in a dry and hard state (Type II).

Shallow layers of limous clays of low plasticity in a hard and compact state are located in the eastern part of Av. Centenario (Type III). In the zones near the sides of the mountains, a hard and very compact soil exists, composed of volumes of rock scattered in limous-sandy matrices (Type I).

Central Zone: In the Av. Raimondi and Rio Quilcay area the alluvial soil is similar to the north zone (Type I). Between Avs. Confraternidad Deste, Raimondi, Gamarra and Villon there exists a fine soil (sediments) There is superficial humidity, which determines the types of soils III, IV and V. Successive layers of limous and clayish-sand constitute the subsoil of this zone. Organic clays of high plasticity (Type V) are found in the District of Belen and Huarupampa.

East Zone: Between Alameda Grau and the Prol. of Av. Raimondi there exists a layer of limous sand or vegetal soil which overlays successive strata of limous sand, limous clay and sandy clay. In places near slopes, there exist rock inclusions up to 0.80 m. The presence of superficial humidity determines the soil of types II, III and IV.

The Soledad (higher section), Pedregal and the Av. Confraternidad Sur districts have a gravel subsoil of different gradation in a sand matrix which is limous-clay with humid strata of medium compactness. The gravelly subsoil of different granulometrics determines the soil of types I and II.



Fig. 13

Microzonación Sísmica.- En este estudio se actualizó el mapa de microzonificación de CRVRZA. En esta actualización se utilizaron los resultados de los ensayos de microtrepidaciones (CHAVEZ, 1984), así como 250 perfiles estratigráficos de calicatas con profundidad promedio de 3.5 a 6 m. (Lagesa, 1972).

La microzonificación contempla cuatro zonas que se presentan en la Fig. 14:

- ZONA I Suelo aluvial o gravas en matriz limo-arenosa en estado casi compacto. Nivel freático por debajo de 6 m. Capacidad portante entre 1.5 y 2.5 Kg/cm².
- ZONA II Suelo limo-arenoso de baja plasticidad suprayaciendo una capa de arcilla dura de baja plasticidad. Nivel freático en general por debajo de 1.5 m. y 3 m. Capacidad portante entre 1.0 y 1.5 Kg/cm².
- ZONA III Gravas y arenas poco cementadas, de diversa graduación. Topografía con pendiente pronunciada (15% aprox.). Nivel freático por debajo de 3 m. Capacidad portante entre 1.5 a 2.5 Kg/cm².
- ZONA IV Suelo limo-arcilloso poco consolidado o limo-arenoso de baja plasticidad. Nivel freático sobre los 3 m. en la mayor parte y en algunos sectores sobre los 1.5 m. Se espera asentamientos y grietas en el terreno. Capacidad portante de 0.5 Kg/cm² o menos.

Vulnerabilidad Sísmica.- Se estimó el potencial probable de daños por efectos sísmicos en Huaraz, asumiendo que todas las edificaciones son de adobe para las condiciones existentes antes del sismo de 1970.

La Tabla 9 (ARMAS, 1972) presenta las estadísticas de daños realizada por CRVRZA. Se aprecia que las edificaciones de adobe predominaron en Huaraz. En este estudio se elaboró el mapa de distribución de daños en edificaciones de adobe en Huaraz basado en la foto-interpretación de vistas aéreas tomadas después del sismo (Fig. 15); aquí se relaciona la ubicación de áreas y el grado de daño alcanzado. El nivel de daños solamente distingue a las edificaciones de adobe que colapsaron y a las que sufrieron pequeñas fallas reparables.

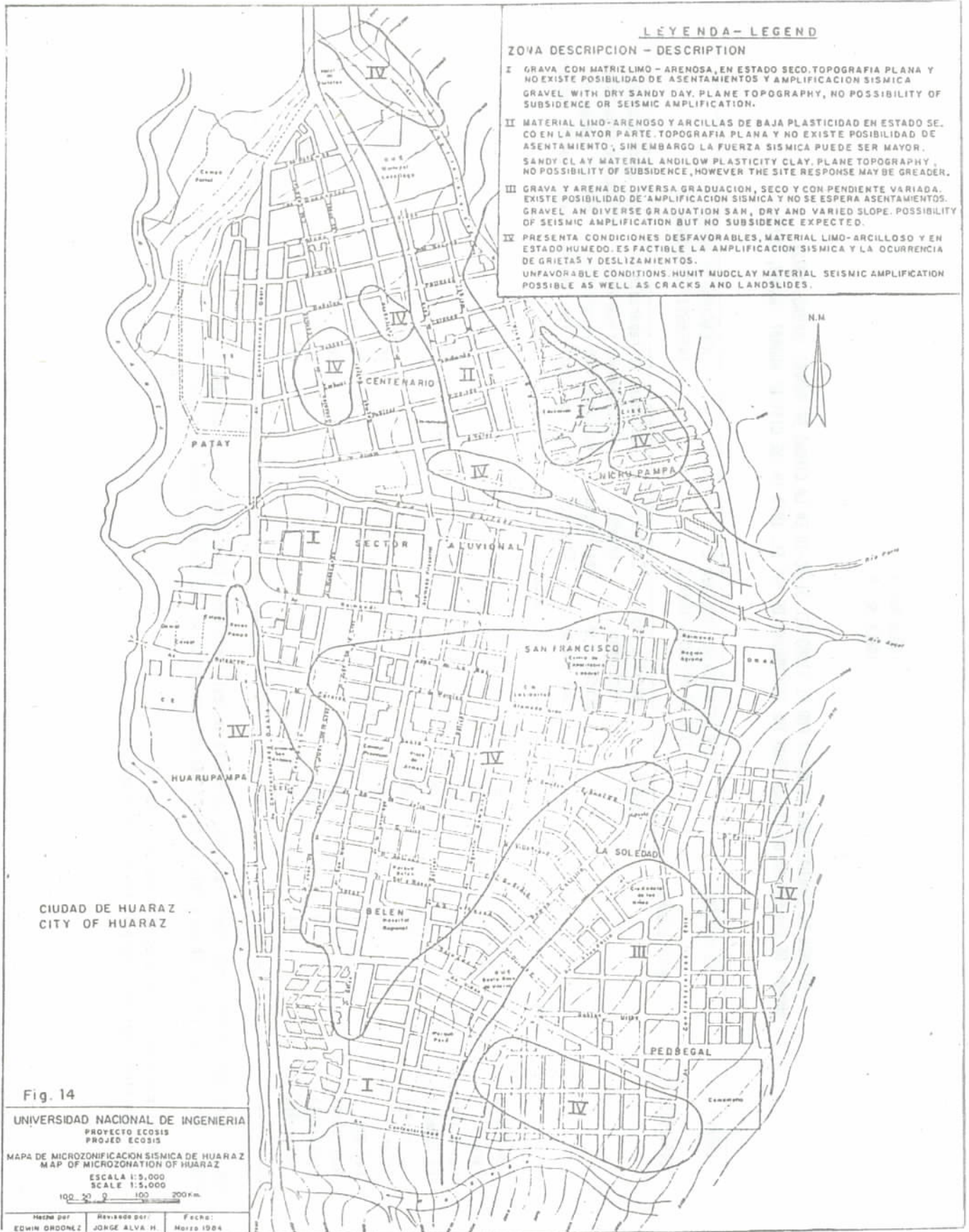
Seismic Microzonation.- In this study the microzonation map of CRVRZA was brought up to date. In the process we utilized the results of the measurements of the microtremors (CHAVEZ, 1984) as well as 250 stratigraphic profiles with a mean depth of 3.5 to 6 meters (LAGESA, 1972).

The microzonation considers four zones, which are presented in Fig. 14:

- ZONE I Alluvial soil or gravel in a limous sandy matrix, in a almost compact state. The water table is below 6 m. The carrying capacity is between 1.5 and 2.5 Kg/cm².
- ZONE II Limous sandy soil of low plasticity overlaying a layer of hard clays of low plasticity. The underground water level is in general, beneath 1.5 to 3 m. The bearing capacity is between 1.0 and 1.5 kg/cm².
- ZONE III Gravel and poorly cemented sand of diverse graduation. The topography is a pronounced slope (15% approximately). The water table is below 3 m. The bearing capacity is between 1.5 to 2.5 kg/cm².
- ZONE IV Limous-clay soil, poorly consolidated or limous sandy soil of low plasticity. The underground water level is below 3 m for the most part and in some sectors below 1.5 meters. Settlement is expected as well as cracking of the ground. Bearing capacity is 0.5 kg/cm² or less.

Seismic vulnerability.- The probable potential of damage in respect to seismic effects in Huaraz was estimated, assuming that all buildings were of adobe before the earthquake of 1970.

Table 9 (ARMAS, 1972) presents the statistics of damage as determined by CRVRZA. It can be appreciated that buildings of adobe predominated in Huaraz. In this study the distribution map of damage in buildings of adobe in Huaraz was elaborated on by the photo-interpretation of aerial photographs taken after the earthquake (Fig. 15); here are related the location of areas and the degree of damage reached. The level of damages only distinguished those buildings of adobe that collapsed and those that suffered repairable damage.



LEYENDA - LEGEND

ZONA DESCRIPCION - DESCRIPTION

- I** GRAVA CON MATRIZ LIMO - ARENOSA, EN ESTADO SECO. TOPOGRAFIA PLANA Y NO EXISTE POSIBILIDAD DE ASENTAMIENTOS Y AMPLIFICACION SISMICA
GRAVEL WITH DRY SANDY CLAY, PLANE TOPOGRAPHY, NO POSSIBILITY OF SUBSIDENCE OR SEISMIC AMPLIFICATION.
- II** MATERIAL LIMO-ARENOSO Y ARCILLAS DE BAJA PLASTICIDAD EN ESTADO SECO EN LA MAYOR PARTE. TOPOGRAFIA PLANA Y NO EXISTE POSIBILIDAD DE ASENTAMIENTO, SIN EMBARGO LA FUERZA SISMICA PUEDE SER MAYOR.
SANDY CLAY MATERIAL AND LOW PLASTICITY CLAY, PLANE TOPOGRAPHY, NO POSSIBILITY OF SUBSIDENCE, HOWEVER THE SITE RESPONSE MAY BE GREATER.
- III** GRAVA Y ARENA DE DIVERSA GRADUACION, SECO Y CON PENDIENTE VARIADA. EXISTE POSIBILIDAD DE AMPLIFICACION SISMICA Y NO SE ESPERA ASENTAMIENTOS.
GRAVEL AND DIVERSE GRADUATION SAND, DRY AND VARIED SLOPE. POSSIBILITY OF SEISMIC AMPLIFICATION BUT NO SUBSIDENCE EXPECTED.
- IV** PRESENTA CONDICIONES DESFAVORABLES, MATERIAL LIMO-ARCILLOSO Y EN ESTADO HUMEDO. ES FACTIBLE LA AMPLIFICACION SISMICA Y LA OCURRENCIA DE GRIETAS Y DESLIZAMIENTOS.
UNFAVORABLE CONDITIONS. HUMID MUDCLAY MATERIAL. SEISMIC AMPLIFICATION POSSIBLE AS WELL AS CRACKS AND LANDSLIDES.

CIUDAD DE HUARAZ
CITY OF HUARAZ

Fig. 14

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA
PROYECTO ECOSIS
PROYECTO ECOSIS

MAPA DE MICROZONIFICACION SISMICA DE HUARAZ
MAP OF MICROZONATION OF HUARAZ

ESCALA 1:5,000
SCALE 1:5,000

100 50 0 100 200m

Hecho por EDWIN GONZALEZ	Revisado por JORGE ALVA H.	Fecha: Marzo 1984
-----------------------------	-------------------------------	----------------------

TABLA No. 9
TABLA No. 9

RESUMEN DE EVALUACIONES DE DAÑOS POR EL SISMO DEL 31-05-70 EN LA CIUDAD DE HUARAZ (ARMAS, 1972)
SUMMARY OF EVALUATION OF DAMAGE FROM THE EARTHQUAKE OF MAY 31, 1970 IN THE CITY OF HUARAZ (ARMAS, 1972)

BARRIO DISTRICT	# DE MANZANAS # OF BLOCKS	TIPO DE MATERIAL EMPLEADO % TYPE OF MATERIAL USED %			INTENSIDAD DE DAÑOS % INTENSITY OF DAMAGE %		
		Adobe	Ladrillo c/s Columnas Bricks with, out columns	Concreto Armado Reinforced Concrete	Colapso. No reparable o costosamente reparable Collapse. Not repairable or too costly for repairs	Sin daños o daños facilmente reparables Without damage or damage easily repaired	
Centenario	54	85	10	5	20	80	
Patay	7	100	--	-	25	75	
San Francisco	25	95	4	1	95	5	
La Soledad	34	95	4.5	0.5	60	40	
Huarupampa	23	85	10	5	50	50	
Belen	36	90	5	5	95	5	
Pedregal	28	97	3	-	80	20	
Micrupampa	*	100	-	-	20	80	
Bellavista	*	100	-	-	80	20	
Sector Aluvial	24	95	5	-	50	50	

Nota.- Para los barrios integramente fallados, solamente se realizaron dos o tres encuestas por manzana.
Note.- For the districts which were totally devastated only two or three samples were taken per block.

- * El manzaneo no figura en el plano de Huaraz
- * The block does not figure in the plan of Huaraz

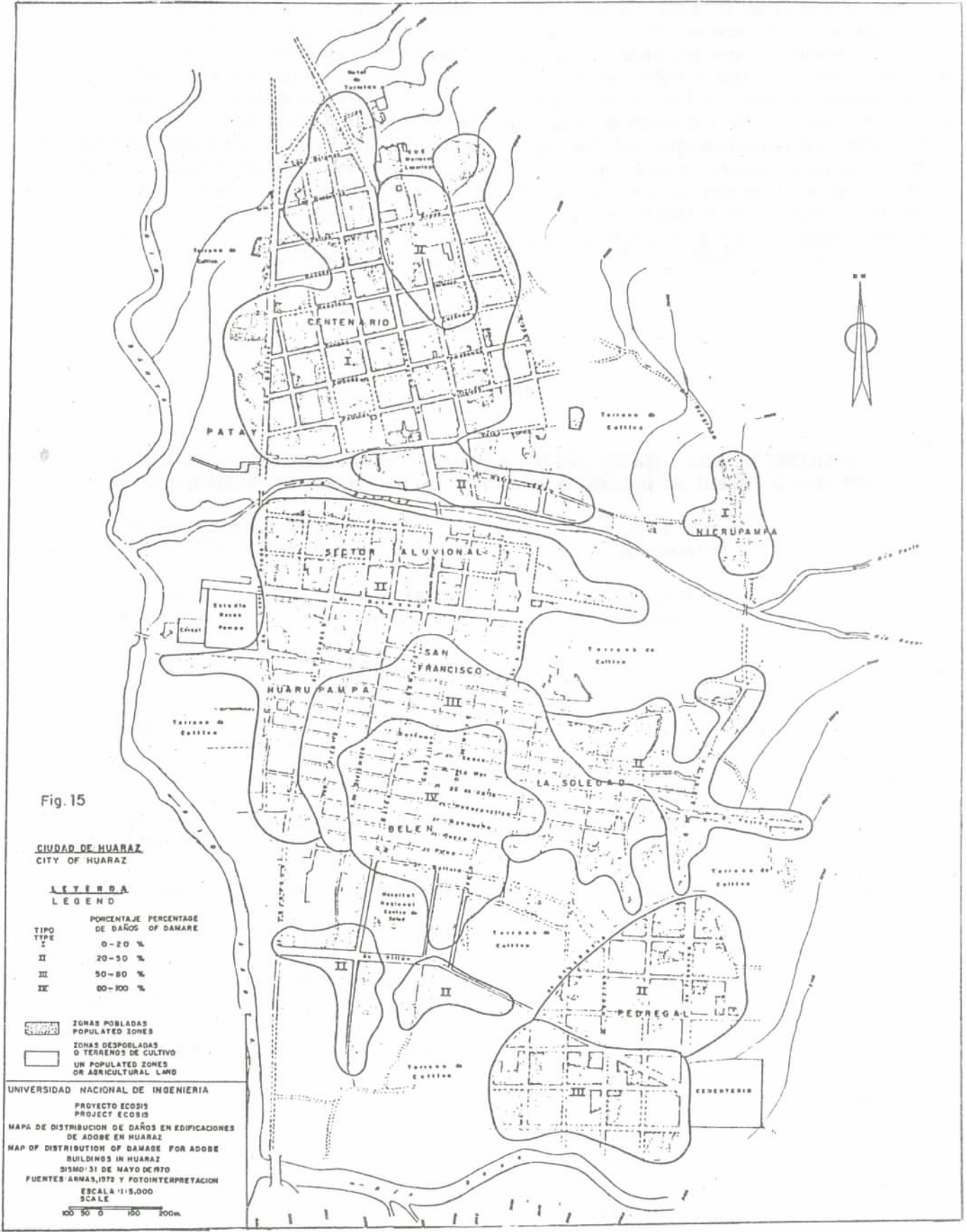


Fig. 15

CIUDAD DE HUARAZ
CITY OF HUARAZ

LEYENDA
LEGEND

TIPO TYPE	PORCENTAJE PERCENTAGE	DE DAÑOS OF DAMAGE
I	0-20 %	
II	20-50 %	
III	50-80 %	
IV	80-100 %	

- ZONAS POBLADAS
POPULATED ZONES
- ZONAS DESPOBLADAS
O TERRENOS DE CULTIVO
UN POPULATED ZONES
OR AGRICULTURAL LAND

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA
PROYECTO ECOSIS
PROJECT ECOSIS
MAPA DE DISTRIBUCION DE DAÑOS EN EDIFICACIONES
DE ADOBE EN HUARAZ
MAP OF DISTRIBUTION OF DAMAGE FOR ADOBE
BUILDINGS IN HUARAZ
SISMO: 31 DE MAYO DE 1970
FUENTES: ARNAS, 1972 Y FOTointerpretacion
ESCALA 1:15,000
SCALE



La información estadística sobre los porcentajes de daños se ha graficado en la Fig. 16 por barrios correspondientes a la intensidad VII MMI asociada a Huaraz. Se aprecia una gran dispersión debido a que intervienen factores del tipo de suelo y del estado de las edificaciones de adobe. La Tabla 10 define el tipo de suelo de la microzonación y el estado de la edificación de adobe. Las condiciones anteriores condujeron a proponer tres tipos diferentes de relaciones de razón de daños versus intensidad para los diferentes barrios de Huaraz. El cálculo sólo se realizó para las construcciones de adobe. En la Fig. 16 también se presenta la relación propuesta por SAUTER y SHAH (1978).

The statistical information on the percentages of damage is shown in Fig. 16 according to district, corresponding to intensity VII MM in Huaraz. A great dispersion is appreciated, due to the fact that the type of soil and the condition of the adobe buildings are factors which must be taken into account. Table 10 defines the type of microzonation, soil and the condition of the adobe building. The previous conditions led us to propose three different types of relations for the ratio of damage versus intensity in the different districts of Huaraz. The calculation was carried out only for adobe constructions. Fig. 16 also shows the relationship proposed by SAUTER and SHAH (1978).

TABLA No. 10
TABLE No. 10

CONDICIONES DEL SUELO Y EDIFICACIONES EN LOS BARRIOS DE HUARAZ DURANTE EL SISMO DEL 31-05-70
CONDITIONS OF THE SOIL AND BUILDINGS IN THE DISTRICT OF HUARAZ DURING THE EARTHQUAKE OF 05-31-70

BARRIO DISTRICT	Tipo de suelo en la Microzonación Type of soil of the Microzonation	ESTADO DE LAS EDIFICACIONES DE ADOBE CONDITIONS OF THE ADOBE CONSTRUCTIONS	
		Antigüedad y Conservación Age and Conservation	Calidad del material y diseño estructural Quality of material and structural design
Centenario	I y II	Buena (Good)	Buena (Good)
Patay	I	Buena (Good)	Regular
San Francisco	IV	Deficiente (Deficient)	Muy deficiente (Very deficient)
La Soledad	I y IV	Deficiente (Deficient)	Regular
Huarupampa	I y IV	Regular	Regular
Belén	IV	Deficiente (Deficient)	Muy deficiente (Very deficient)
Pedregal	III y IV	Regular	Regular
Nicrupampa	II	--	--
Bellavista	--	--	--
S. Aluvial	I	Regular	Regular

PORCENTAJES DE DAÑOS VS INTENSIDAD-MMI PARA EDIFICACIONES DE ADOBE (HUARAZ , SISMO 1970)

PERCENTAGES OF DAMAGE VS. INTENSITY MMI FOR ADOBE BUILDINGS

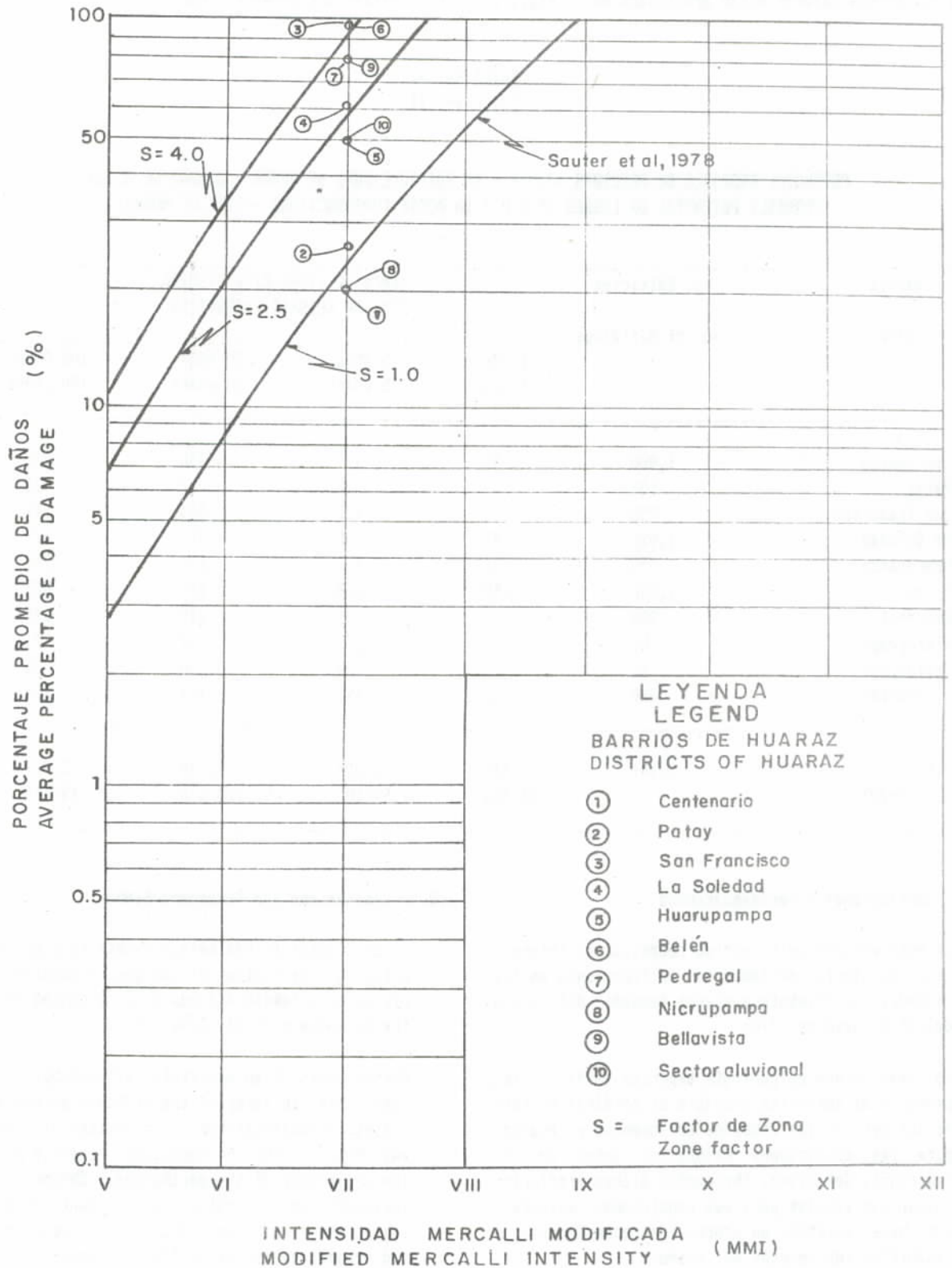


Fig. 16

En base al estudio de peligro sísmico, a los daños esperados, al número estimado de edificaciones y al costo de las mismas, se obtiene el potencial probable de pérdidas en edificaciones de adobe para los distintos tiempos de exposición sísmica presentados en la Tabla 11. Dichos valores están graficados en la Fig. 17.

On the basis of the study of the seismic hazard, the expected damages, estimated number of buildings, and the cost of same, one obtains the probable potential of losses in constructions of adobe for different periods of seismic exposure presented in Table 11. Those values are shown in Fig. 17.

TABLA No. 11
TABLE No. 11

POTENCIAL PROBABLE DE PERDIDAS (P.P.P.) EN EDIFICACIONES DE ADOBE - CIUDAD DE HUARAZ
PROBABLE POTENTIAL OF LOSSES (P.P.P.) IN ADOBE CONSTRUCTIONS - CITY OF HUARAZ

Barrio District	No. Edificios No. of Buildings	TIEMPO DE EXPOSICION SISMICA TIME OF SEISMIC EXPOSITION			
		1 Año 1 year	25 Años 25 years	50 Años 50 years	100 Años 100 years
Centenario	1,080	40	179	230	286
Patay	105	4	17	22	28
San Francisco	750	110	457	563	648
La Soledad	1,020	93	405	512	617
Huarupampa	350	31	137	173	209
Belen	1,080	158	658	810	933
Pedregal	280	41	171	210	242
Nicrupampa	80	3	13	17	21
Bellavista	40	6	24	30	35
S. Aluvial	360	33	143	181	218
P.P.P. S/. (1970)	5,141	519 S/.23'355	2,204 S/.99'180	2,748 S/.123'660	3,237 S/.145'665

2.2.5 Conclusiones y recomendaciones

1. En este estudio se ha podido recopilar la información existente de daños en edificaciones en las ciudades de Chimbote y Huaraz después del sismo del 31 de mayo de 1970.
2. En base a una metodología empírica se ha podido predecir el potencial probable de pérdidas de edificaciones en las ciudades de Chimbote y Huaraz, para las condiciones existentes antes de la ocurrencia del sismo. Obviamente dichas predicciones no son válidas para las condiciones actuales, por haber existido un proceso de reconstrucción y rehabilitación después del sismo.

2.2.5 Conclusions and Recommendations

1. In this study it has been possible to compile the existing information of damages to housing in the cities of Chimbote and Huaraz as a consequence of the earthquake of May 31st, 1970.
2. On the basis of an empirical methodology, one has been able to forecast the probable potential of losses in constructions in the cities of Chimbote and Huaraz, for the conditions existing prior to the occurrence of the earthquake. Obviously those forecast are not valid for present conditions since there has been a process of reconstruction and rehabilitation after the earthquake.

PROBABLE POTENCIAL DE PERDIDAS (P.P.P) EN EDIFICACIONES DE ADOBE. EN LA CIUDAD DE HUARAZ ANTES DEL SISMO DE 1970
 PROBABLE LOSSPOTENTIAL (PLP) FOR ADOBE BUILDINGS IN HUARAZ, BEFORE THE 1970 EARTHQUAKE.

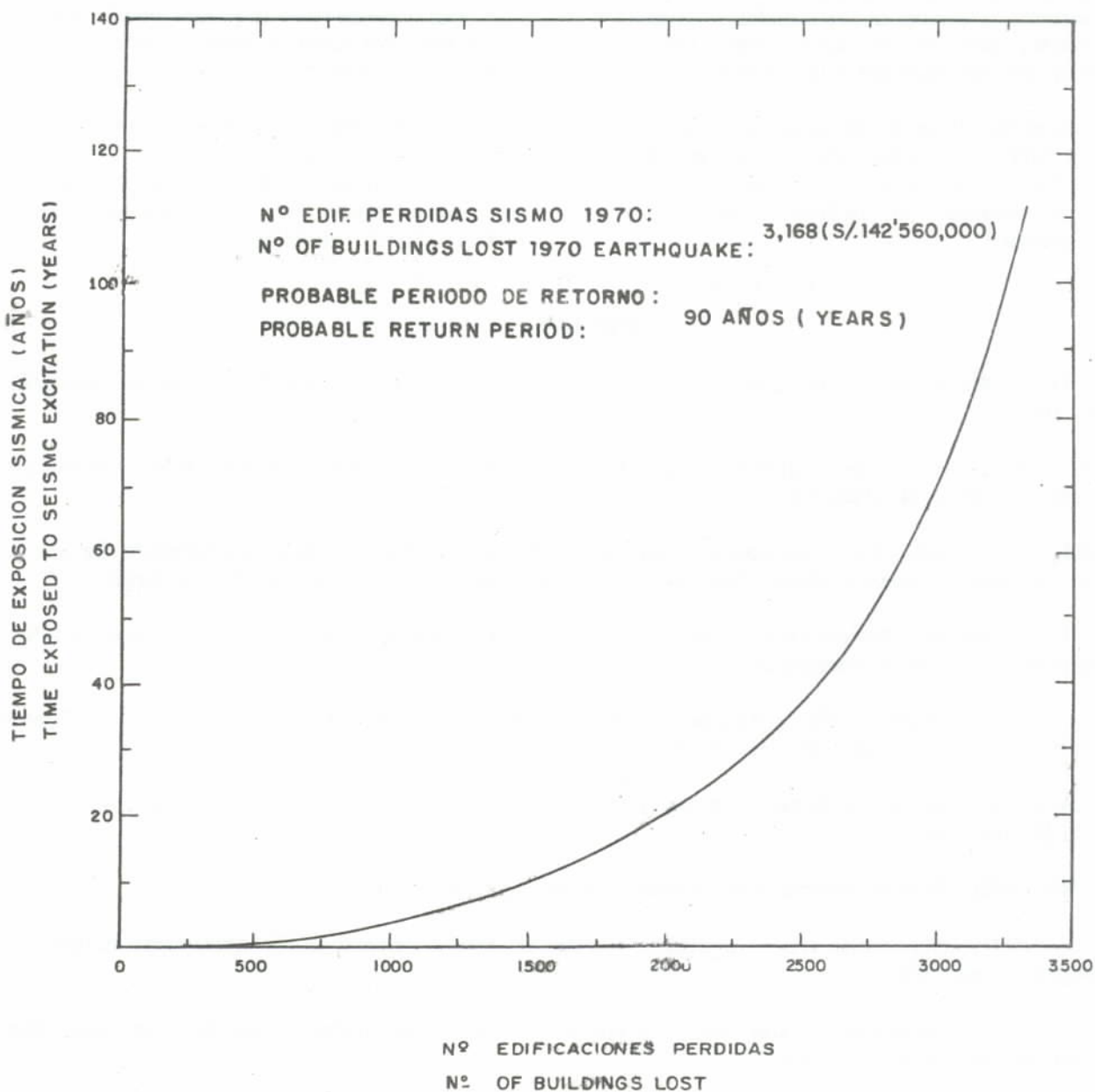


Fig. 17

- | | |
|---|--|
| <p>3. La utilización del método empírico se debió principalmente a la falta de disponibilidad de datos apropiados para llevar a cabo una formulación teórica.</p> <p>4. Los valores de pérdidas probables determinados son consistentes con el intervalo de ocurrencia de sismos similares al del 31 de mayo de 1970.</p> <p>5. Se recomienda actualizar las curvas de razón de daños con intensidad sísmica para las condiciones actualmente existentes en las ciudades de Chimbote y Huaraz, para de esa manera poder realizar predicciones más ajustadas a la realidad.</p> <p>6. Se recomienda llevar a cabo estudios de matrices de probabilidad de daños para utilizar metodologías teóricas de aplicación a la región andina en la determinación de pérdidas probables en edificaciones.</p> | <p>3. Utilization of the empirical method was due principally to the non-availability of appropriate information to carry out a theoretical formulation.</p> <p>4. The determined values of probable losses are consistent with the interval of occurrence of earthquakes similar to that of May 31st, 1970.</p> <p>5. It is recommended that the ratio curves of damages with seismic intensity be brought up to date for the conditions existing at present in the cities of Chimbote and Huaraz in order to make predictions closer to reality.</p> <p>6. It is recommended that studies of matrices of probabilities of damage be carried out in order to use theoretical methodologies of application to the andean region for the determination of probable losses in buildings.</p> |
|---|--|

REFERENCIAS

- ARMAS C. (1973), "Microzonación sísmica de la ciudad de Huaraz", Tesis de Grado, Universidad Nacional de Ingeniería, Lima, Perú.
- BARRON H. (1984), "Estudio de la vulnerabilidad Sísmica de la ciudad de Chimbote", Tesis de Grado, Universidad Nacional de Ingeniería, Lima, Perú.
- BOISSONNADE, A. y H. SHAH (1982), "Earthquake Damage and Loss Estimation. Review of Available Methods", The John A. Blume Earthquake Engineering Center, Department of Civil Engineering, Stanford University, California.
- CAEM (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.
- CASAVARDE, L. y J. VARGAS (1982), "Mapa de distribución probabilística de intensidades del Perú", IV Congreso Nacional de Ingeniería Civil, Chiclayo, Perú.
- CORNELL C.A. (1968), "Engineering Seismic Risk Analysis", Bulletin of the Seismological Society of America, Vol. 58, No. 5, pp. 1583-1606.
- CRYRZA - PNUD (1975), "Plan de Desarrollo de Chimbote", Volumen I, Primera Parte.
- CHAVEZ, O. (1984), "Amplificación sísmica en algunas ciudades del Perú", Tesis de Grado, Universidad Nacional de Ingeniería, Lima, Perú.
- HERMOZA, M. (1972), "Estudio sobre el sismo del 31 de mayo de 1970, Ciudad de Chimbote", Tesis de Grado, Universidad Nacional de Ingeniería, Lima, Perú.
- KURDIWA J., E. DEZA y H. JAEN (1973), "Investigation on the Peruvian Earthquake of May 31st, 1970", Proc. 5th World Conference on Earthquake Engineering, Rome-Italy.
- LABORATORIO GEOTECNICO S.A. (1972), "Estudio de suelos para cimentación y pavimentación de la ciudad de Huaraz", Informe presentado al Ministerio de Vivienda y Construcción.

- Mc GUIRE R. (1976), "Fortran Computer Program for Seismic Risk Analysis", Open-File Report 76-67, United States Geological Survey.
- MORIMOTO R., Y. KAIZUMI, T. MATSUDA, M. HAKUNO y I. YAMAGUCHI (1971), "Seismic Microzoning of Chimbote Area, Perú", Overseas Technical Cooperation Agency, Government of Japan.
- ORDÓÑEZ E. (1984), "Estudio de la Vulnerabilidad Sísmica de Huaraz", Tesis de Grado, Universidad Nacional de Ingeniería, Lima-Perú.
- ROMANI F. (1973), "Soil-Structure Interaction in The May 31st, 1970 Peruvian Earthquake", Proc. 5th World Conference on Earthquake Engineering, Rome-Italy.
- SAUTER F., M.W Mc CANN and H.C. SHAH (1980), "Determination of Damage Ratios and Insurance Risks for Seismic Regions", Proc. 7th World Conference on Earthquake Engineering, Istanbul-Turkey.
- SAUTER F. y H.C. SHAH (1978), "Estudio de seguro contra terremoto", Instituto Nacional de Seguros, San José, Costa Rica.
- SILGADO E. (1978), "Historia de los sismos más notables Ocurridos en el Perú (1513-1974)", Instituto de Geología y Minería, Boletín No. 3, Serie C, Geodinámica e Ingeniería Geológica, Lima-Perú.
- WHITMAN R.V., J.M. BIGGS, J.E. BRENNAN, C.A. CORNELL, E. DE NEUFVILLE and E.H. VANMARCKE (1975), "Seismic Design Decision Analysis", Journal of the Structural Division, American Society of Civil Engineers, Vol. 101 ST5, pp. 1067-1084.
- WHITMAN R.V., J. REED and H.H. SHEN-TIEN (1973), "Earthquake Damage Probability Matrices", Proc. 5th. World Conference on Earthquake Engineering, Rome-Italy.
- ZAMARBIDE J.L., J.C. CASTANO y A.P.GIULIANO (1984), "Potential Damageability Due to Earthquake in the Tulum Valley, San Juan, Argentina", Proc. 8th World Conference on Earthquake Engineering, San Francisco, USA.

RESUMEN

Este trabajo documenta la metodología utilizada y presenta los resultados de ensayos de microtrepidaciones ejecutados en las ciudades de Chimbote y Huaraz.

Los ensayos de microtrepidaciones realizados han sido complementarios a los ejecutados anteriormente por la Misión Japonesa en Chimbote y por la Comisión de Reconstrucción y Rehabilitación de la Zona Afectada (CRYRZA) en Huaraz, después del sismo del 31 de mayo de 1970. Los ensayos de microtrepidaciones proporcionan períodos fundamentales y clasificación del suelo, que conjuntamente con la geología, sismología, hidrología, ingeniería geotécnica e ingeniería sísmo-resistente, proporcionan parámetros para realizar la microzonación sísmica de una ciudad.

Además de los ensayos de microtrepidaciones, en Chimbote se pudo modelar la estratigrafía del subsuelo y mediante un análisis de propagación unidimensional de ondas o deformaciones pequeñas, se pudo predecir los períodos naturales de vibración del suelo. Se ha comprobado que existe bastante similitud entre los valores de los períodos medidos por microtrepidaciones y los calculados por el análisis de propagación de ondas. En base a los resultados de las mediciones anteriores y los de este estudio, así como a los períodos calculados por amplificación sísmica, se elaboró un mapa de distribución de períodos y un mapa de clasificación de suelos de Kanai para Chimbote. En dicha ciudad se aprecian tres zonas diferenciadas: la zona norte con períodos predominantes de 0.1 a 0.25 seg.; la zona centro de gran extensión, con períodos predominantes de aproximadamente 0.3 seg.; y la zona sur con variación irregular de períodos predominantes.

En Huaraz solamente se realizaron ensayos de microtrepidaciones, ya que no existían estudios geotécnicos disponibles para realizar el análisis de propagación de ondas. Al igual que en Chimbote, de los ensayos de microtrepidaciones se determinaron los períodos predominantes medio y máximo, la amplitud máxima registrada y la clasificación de suelos de Kanai. En general los períodos predominantes determinados por CRYRZA son algo diferentes a los determinados en este estudio, probablemente debido a las diferentes metodologías utilizadas en la reducción de datos. El mapa de distribución de períodos elaborado para Huaraz es bastante irregular, en el centro de la ciudad los períodos

SUMMARY

This report documents the methodology used and presents the results of the microtremors measurements carried out in the cities of Chimbote and Huaraz.

The microtremor measurements carried out are complementary to those previously done by the Japanese Mission, in Chimbote, and by the Comisión de Reconstrucción y Rehabilitación de la Zona Afectada (CRYRZA), in Huaraz, after the May 31st, 1970 earthquake. These measurements provide knowledge concerning the fundamental periods of vibration and the classification of soils which, together with data on surface geology, seismology, hydrology, geotechnic and earthquake engineering, yield parameters relevant to the seismic microzonation of the urban area in question.

Besides the microtremor measurements, it was possible in Chimbote to model the stratigraphy of the subsoil and by means of an analysis of uni-dimensional wave propagation or small deformations, it was possible to appreciate the natural periods of vibration of the ground. Good correlation was found between the vibration of the ground. Good correlation was found between the vibration values obtained by microtremor measurements and those resulting from calculations based on wave propagation analysis. Using data from measurements carried out in 1970 and for Project SISRA, as well as the periods calculated from seismic amplification, a map showing the distribution of periods and of Kanai soil classification, was produced for Chimbote. It can be seen from this map that Chimbote can be divided into three different zones: the north zone, with predominant periods of 0.1 s. to 0.25 s.; the central zone, the largest in area, with predominant periods of approximately 0.3 s; and the south zone, with a very irregular mix of periods.

In Huaraz, only microtremor measurements were carried out, since no geotechnical studies were available, to analyze wave propagation. As for Chimbote, average and maximum predominant periods were obtained, together with the maximum amplitude recorded and the Kanai soil classification. In general, the periods obtained by CRYRZA in 1970 are somewhat different than those obtained by the authors under Project SISRA, probably due to the different methodology used for processing the data. The map showing the distribution of periods for Huaraz is quite irregular; in the central part of the city, the predominant periods are between 0.1 s. and 0.3 s; in the north and south zones

predominantes fluctúan entre 0.1 a 0.3 seg; en las zonas norte y sur de la ciudad la distribución de los períodos es más uniforme, existiendo la lógica discontinuidad de la zona aluvial del río Quilcay.

Se concluye que la metodología presentada para ser utilizada en la microzonificación sísmica de ciudades es relativamente sencilla y de bajo costo y que al existir equipo disponible y procedimientos de análisis puestos en práctica es recomendable su utilización en otras ciudades del Perú.

2.3.1 Introducción

La microzonación sísmica de una ciudad es un procedimiento multidisciplinario que comprende la realización de estudios geológicos, sismológicos, geotécnicos, hidrológicos, de evaluación de daños sísmicos, de microtrepidaciones y de amplificación sísmica.

Las microtrepidaciones se utilizan para determinar las propiedades dinámicas del subsuelo, pudiéndose verificar dichas mediciones con análisis de amplificación sísmica o deformaciones pequeñas de la roca basal a la superficie. Las mediciones de microtrepidaciones son relativamente fáciles de ejecutar y se realizan sin necesidad de esperar la ocurrencia de un sismo. El estudio de las microtrepidaciones como un método de microzonación sísmica se ha llevado a cabo en varios países. En el Japón, KANAI et al (1954) utilizaron este método hace más de treinta años para clasificar el suelo en cuatro categorías, habiéndose utilizado después dichos resultados en el reglamento sismo-resistente del Japón. TANIWANGSA (1981), utilizó esta metodología en Indonesia para realizar la microzonación sísmica de varias ciudades (LASTRICO Y MONGE, 1972). En el Perú se han realizado ensayos de microtrepidaciones en Chimbote (MORIMOTO et al, 1971, HERMOZA, 1972), en Huaraz (KURDIWA et al, 1973, ARMAS, 1973), así como en otras localidades afectadas por el sismo del 31 de mayo de 1970.

Este trabajo documenta las mediciones de microtrepidaciones realizadas en Chimbote y Huaraz como parte del Proyecto SISRA-ECOSIS patrocinado por el Centro Regional de Sismología para América del Sur. Dicho proyecto consiste en determinar los efectos económicos de terremotos en la región andina, para lo cual se ha estudiado de manera particular en el Perú el sismo del 31 de mayo de 1970.

Los valores medidos del período predominante del suelo por microtrepidaciones se verifican con el análisis de amplificación sísmica unidimensional a deformaciones pequeñas. Para realizar este análisis se necesi-

the distribution of periods is more uniform, with the logical exception of the section corresponding to the alluvial of the Quilcay river.

The conclusion is that the methodology used for Huaraz and Chimbote is useful for urban microzonation studies; it is relatively simple and low-cost; since the required equipment is available in Peru, it is recommended that such methodology be generally adopted throughout Peru.

2.3.1 Introduction

Seismic microzonation of a city is a multidisciplinary process that involves geological, seismological, geotechnical, hydrological studies, evaluation of seismic damage, microtremors and seismic amplification measurements.

Microtremors are used to determine the dynamic properties of the soil. It is possible to verify such measurements with an analysis of seismic amplification due to small deformations of the basal rock at the surface. The measurements of microtremors are relatively easy to execute without necessity of waiting for the occurrence of an earthquake. The study of microtremors as a method of seismic microzonation has been carried out in several countries. In Japan, KANAI et al (1954) used this method more than thirty years ago to classify the soil in four categories; those were results incorporated in the building code of Japan. TANIWANGSA (1981) used this method in Indonesia for the seismic microzonation of the capital, Jakarta. In Chile the method has been used in the seismic microzonation of several cities (LASTRICO and MONGE, 1972). In Peru microtremors have been measured in Chimbote (MORIMOTO et al, 1971, HERMOZA, 1972), in Huaraz (KURDIWA et al, 1973, ARMAS, 1973), as well as in other localities affected by the earthquake of May 31st, 1970.

This paper documents the measurements of microtremors that were carried out in Chimbote and Huaraz as part of Project SISRA (ECOSIS) supported by the Centro Regional de Sismología para América del Sur. This project consists in determining the economic effects of earthquakes in the Andean Region. The Ancash, Peru, earthquake of May 31st, 1970 has been studied as a particular case, in this context.

The mean values of the predominant period of soil determined by microtremors are verified with the analysis of unidimensional seismic amplification from small deformations. To carry out this analysis, information

ta información sobre los perfiles estratigráficos, modelando al subsuelo como un sistema de masa continua. El período predominante determinado mediante el análisis indicado coincidió en la mayoría de las veces con el período predominante obtenido del ensayo de microtrepidaciones. Sin embargo, el análisis de amplificación sísmica tan solo ha podido ser efectuado en Chimbote, ya que en Huaraz no se pudo contar con información geotécnica suficiente para modelar el sub-suelo.

2.3.2 Microtrepidaciones

El material que constituye la tierra se encuentra vibrando constantemente en todas direcciones. Un instrumento suficientemente sensible puede detectar estos continuos movimientos de microtrepidaciones. Se define como microtrepidación a la vibración natural del terreno con un período que varía entre 0.05 a 2 seg. y con una amplitud de 0.1 al micrón. Las microtrepidaciones se originan por causas naturales y artificiales; las causas naturales son condiciones volcánicas, ondas oceánicas y condiciones atmosféricas; mientras que las artificiales son el tráfico, las maquinarias industriales, etc.

Las microtrepidaciones en Chimbote y Huaraz se midieron con el "Microtemor Instrument" donado por el Gobierno Japonés al Perú. El aparato consiste de una grabadora, un amplificador, una caja de baterías y tres sensores ("pick ups"). Además se disponía de un registro analógico de la onda de microtrepidaciones en papel milimetrado. Mayores detalles del equipo utilizado se presentan en CHAVEZ (1984).

Con el equipo se registraron desplazamientos en dos sensores horizontales mutuamente perpendiculares y uno vertical. Antes de proceder con la medición se realizó la calibración del aparato; se trabajó con frecuencias naturales de los sensores de 1 seg. Las ondas de microtrepidaciones se grabaron analógicamente en cassette durante la medición y simultáneamente se graficaron las ondas en el registrador. La medición en cada punto se realizó durante diez minutos, para luego escoger en el gabinete la parte de dicha grabación que representa mejor la onda de microvibración natural del punto medido.

2.3.2.1 Determinación del período predominante por microtrepidaciones

La Tabla 1 presenta un resumen del procedimiento utilizado para determinar el período predominante del suelo en base a la medición de microtrepidaciones.

is needed on the stratigraphic profiles, modelling the subsoil as a system of continuous mass. The predominant period determined by means of this type of analysis coincides most of the time with the predominant period obtained from the measurement of microtremors. However, the analysis of seismic amplification was done only in Chimbote since in Huaraz the necessary geotechnical information was not available to model the subsoil.

2.3.2 Microtremors

The material which constitutes the ground is constantly vibrating in all directions. A sufficiently sensitive instrument can detect these continuous movements produced by microtremors. Microtremors are defined as the natural vibrations of the ground within a period that varies between 0.05 and 2 secs with an amplitude from 0.1 to 1 micron. The microtremors originate by natural, and artificial causes; the natural causes are of volcanic origin, from oceanic waves and also due to atmospheric conditions; whereas the artificial sources are traffic, industrial machinery, and so forth.

Microtremors in Chimbote and Huaraz were measured with the "Microtremor Instrument" donated to Perú by the Government of Japan. The instrument consists of a recorder, an amplifier, a box of batteries, and three sensors. As well as an analog recording of the microtremor wave on millimeter paper. More details of the equipment are given in CHAVEZ (1984).

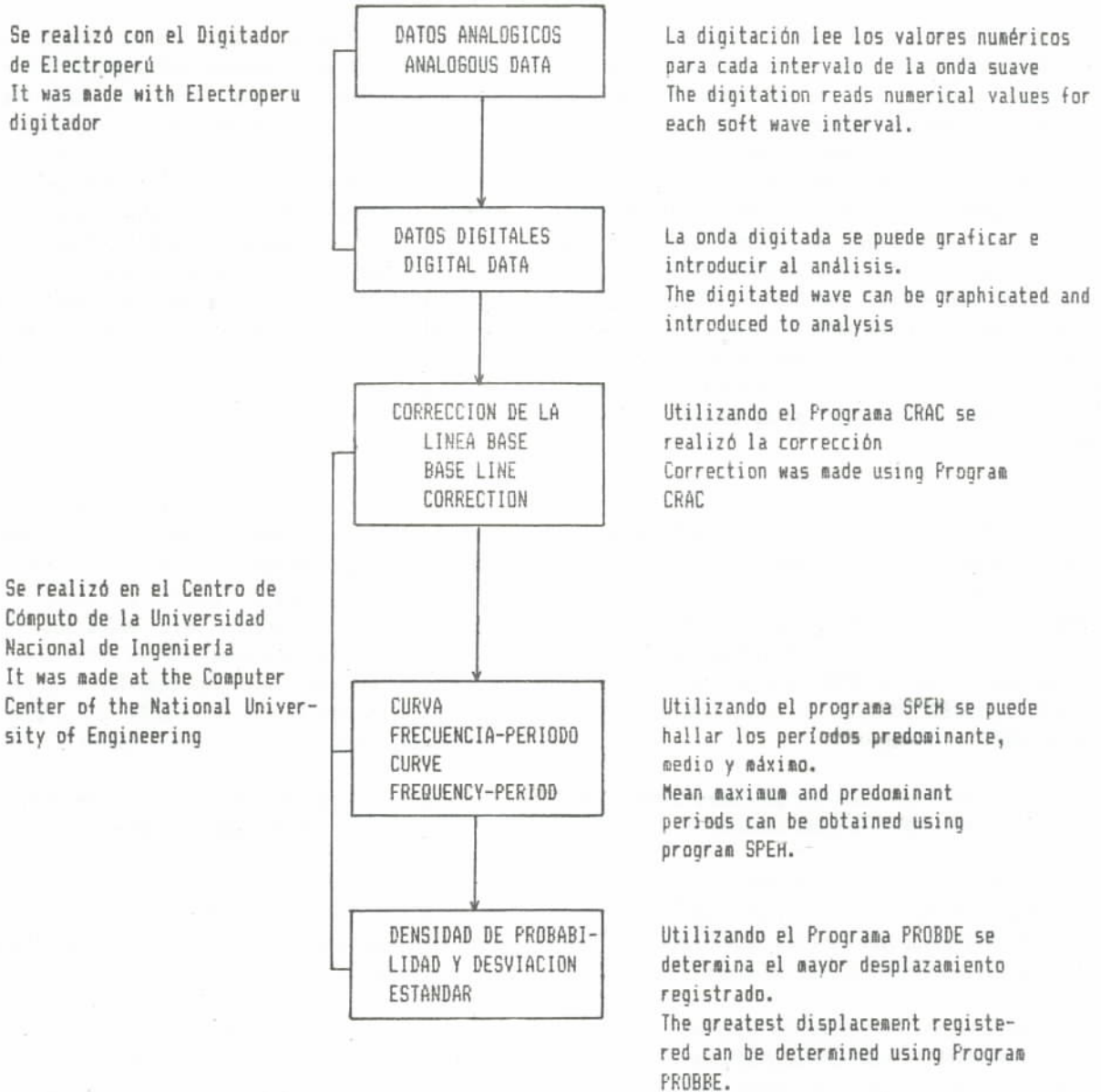
With this instrument, displacements are recorded by two horizontal sensors mutually perpendicular to each other and one vertical sensor. Before proceeding with the measurement, the instrument was calibrated; this was done at the natural frequency of the sensors which is one second. The microtremor vibrations were recorded in analog, in a cassette and with a visual recorder. A set of measurements, at each point, was carried out for 10 minutes. From this set, at the laboratory, that part of the recording which best represents the natural microvibration of the wave, at the place measurement was selected.

2.3.2.1 Determination of the predominant periods by microtremors

Table 1 presents a summary of the procedure used to determine the predominant period of the ground on the basis of the measurement of microtremors.

TABLA 1
TABLE 1

PROCEDIMIENTO PARA DETERMINAR EL PERIODO PREDOMINANTE POR MICROTREPIDACIONES
METHOD FOR DETERMINING THE PREDOMINANT PERIOD BY MICROTREMORS



La onda medida en el campo se analizó visualmente en el gabinete, con el objeto de definir una parte representativa de la misma para ser digitada. La digitación a intervalos iguales de 0.02 segs. fue realizada con el equipo de Electroperú, transformando el registro analógico en registros digitales en tarjetas para ser llevadas al Centro de Cómputo de la UNI. Se tomaron como mínimo 512 puntos de digitación por cada medición.

The wave measured in the field was visually analyzed in the laboratory and a representative segment was chosen and digitized. The digitization was done at equal intervals of 0.02 seconds, with equipment from ELECTROPERU, transforming the analog record to digital on cards which were then processed at the Computer Center of the National University of Engineering at least 512 points were obtained for each measurement.

El registro de microtrepidaciones presenta desviaciones incidentales de la línea base, por lo que fue necesario corregir la línea base medida. En este caso se utilizó el método de corrección de línea base propuesto por el Profesor OHSAKI (1972) de la Universidad de Tokyo, mediante el programa de cómputo CRAC.

Con los datos digitales de las ondas de microtrepidaciones corregidos por línea base se procedió a determinar las curvas frecuencia-período. La frecuencia significa el número de veces que la onda de microtrepidaciones presenta el mismo período. La determinación de la curva de frecuencia-período o espectro de KANAI (1962) se puede realizar por dos métodos: el método del cruce de la línea base y el método pico. Los dos métodos de cálculo están incorporados en el programa de cómputo SPEK desarrollado por OHSAKI (1976a). El pico de la curva frecuencia-período representa el período predominante, ya que es el componente que se repite más. En este estudio para determinar las curvas Frecuencia-período, se escogió el método del cruce de la línea base.

Para utilizar la clasificación de suelos de Kanai (KANAI y TANAKA, 1961) es preciso determinar los períodos predominantes (T_0), máximo (T_1), medio (T_m) y la amplitud máxima (μ) de las microtrepidaciones. Los períodos se determinaron de las curvas frecuencia-período calculadas y la amplitud máxima registrada, con el programa de cómputo PROBDE que aplica la teoría de densidad de probabilidades y la desviación estándar de la onda (OHSAKI, 1976a).

2.3.2.2 Determinación del período predominante por amplificación sísmica

La Tabla 2 presenta un resumen del procedimiento utilizado para determinar el período predominante de un perfil estratigráfico del terreno, utilizando la teoría de amplificación unidimensional de suelos.

El primer paso es determinar mediante ensayos in situ las características estratigráficas del terreno, es decir, el peso unitario del suelo, el valor N de la penetración estándar y la ubicación del nivel freático. Si se realizan ensayos de refracción sísmica se puede determinar la variación del módulo cortante G con la profundidad; en caso de no contar con dichos ensayos se puede utilizar la ecuación empírica $G = 1200 N^{-0.8}$ que relaciona el módulo de corte con la penetración a las distintas profundidades. El amortiguamiento se asume constante en cada capa. Si la estratigrafía es complicada puede simplificarse ésta, mediante el programa de cómputo DREB (OHSAKI, 1976a).

The microtremor record presents incidental deviations from the base line and it was therefore necessary to correct the measured base line. The method used to correct the base line was that proposed by Professor OHSAKI (1972), from the University of Tokyo, with the use of the computer program known as CRAC.

With the digital data of the microtremors and with the base line thus corrected, one proceeds to determine the frequency-period curve. Frequency means the number of times that the microtremors are at the same period. The determination of the frequency period curve or KANAI's spectrum (1972) was done by two methods: the methods can be incorporated in the computer program known as SPEK, developed by OHSAKI (1976a). The peak of the frequency-period curve represents the predominant period since it is the component most repeated. The method of the crossing of the base line was chosen for this particular study to determine the frequency-period curves.

In order to use the classification of soils of Kanai (KANAI and TANAKA, 1961) it is necessary to determine the predominant periods (T_0), the maximum (T_1), the mean (T_m) and the maximum amplitude (μ) of the microtremors. The periods were determined from the calculated frequency-period curves and the maximum amplitude recorded, with the computer program PROBDE which applies the theory of density of probabilities and standard deviation of the wave (OHSAKI, 1976a).

2.3.2.2 Determination of the predominant period by seismic amplification

Table 2 presents a summary of the procedure used to determine the predominant period of a stratigraphic profile of the ground using the theory of unidimensional amplification of soil.

The first step is to determine by trial in situ the stratigraphic characteristics of the ground, that is: the unitary weight of the soil, the value N and standard penetration, and the location of the underground water table. If seismic refraction tests are made, one can determine the variation of the shear module G with depth; if these tests can not be made, the empirical equation $G = 1200 N^{-0.8}$ can be used, which relates the shear module with penetration at different depths. The damping is assumed to be constant at each layer. If the stratigraphy is complicated, it can be simplified by means of the computer program known as DREB (OHSAKI, 1976a).

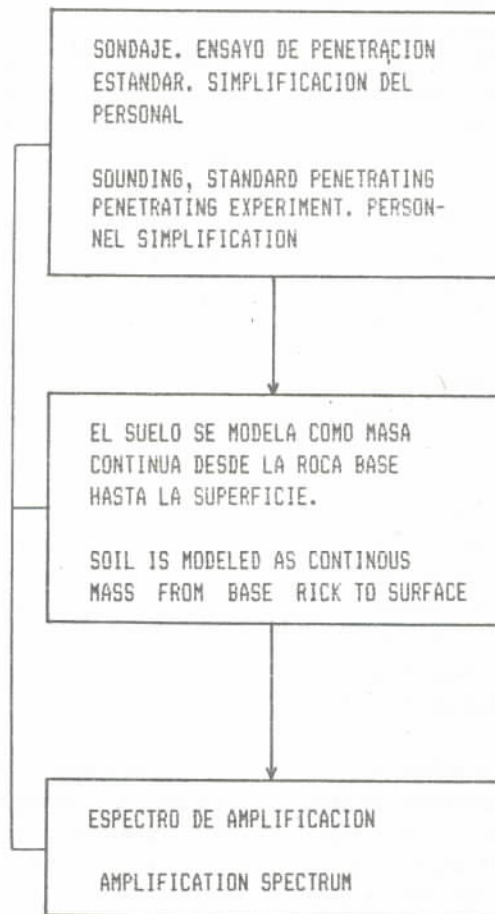
TABLA 2
TABLE 2

PROCEDIMIENTO PARA DETERMINAR EL PERIODO PREDOMINANTE POR AMPLIFICACION SISMICA UNIDIMENSIONAL
METHOD FOR DETERMINING THE PREDOMINANT PERIOD BY UNIDIMENSIONAL SEISMIC AMPLIFICATION

Disponible en la literatura
Available in literature

Se realizó en el Centro de
Cómputo de la Universidad
Nacional de Ingeniería

It was made at the Computer
Center of the National Uni-
versity of Engineering.



Utilizando el Programa DRED se simplifica el perfil y se designan parámetros dinámicos.

Using Program DRED, profile is simplified and dynamic parameters designed.

Utilizando el Programa DRED se realiza el análisis de propagación unidimensional de ondas. En el caso de vibración natural, la deformación es muy pequeña, por lo que G y β no varían.

Unidimensional propagation wave analysis is made using Program DRED. In case of natural vibration, deformation is very little, then do not experiment any variation.

Se determina el período predominante del suelo mediante el espectro de amplificación.

Predominant soil period is determined by the amplification spectrum.

Una vez que se ha simplificado el perfil estratigráfico del terreno se utiliza la teoría de propagación unidimensional de ondas para deformaciones pequeñas, mediante el programa de cómputo DRED (OHSAKI, 1976b), para determinar las características dinámicas del perfil estratigráfico en estudio. Se obtiene la amplificación sísmica desde el estrato de referencia, que puede ser la roca base o un estrato inferior supuesto, hasta el estrato considerado en estudio, que es la superficie. El pico máximo del espectro de amplificación por vibración natural, sin considerar el efecto del nivel de deformación, indica el período fundamental del suelo considerado. Todo el análisis de simplificación de sondajes y de amplificación sísmica se ha llevado a cabo mediante la metodología propuesta por OHSAKI (1976b) en el Centro de Cómputo de la Universidad Nacional de Ingeniería.

Once the stratigraphic profile of the ground has been simplified one uses the theory of unidimensional propagation of waves for small deformations by means of the computer program DRED (OHSAKI, 1976b), to determine the dynamic characteristics of the stratigraphic profile under study. The seismic amplification can be obtained from the stratum of reference, which could be the base rock or an assumed lower stratum, up to the stratum being considered, which is the surface. The maximum peak of the spectrum of amplification due to natural vibration, without considering the effect of the level of deformation, indicates the fundamental period of the soil under consideration. All of the analysis of simplification of soundings and of seismic amplification was carried out using the methodology proposed by OHSAKI (1976b) at the Computer Center of the National University of Engineering.

2.3.3 Estudio en Chimbote

Uno de los propósitos del Proyecto SISRA-ECOSIS en el Perú fue determinar la vulnerabilidad sísmica de la ciudad de Chimbote (BARRON, 1984), para lo cual fue necesario revisar los estudios de microzonificación sísmica y evaluación de daños realizados después del sismo del 31 de mayo de 1970 (MORIMOTO et al, 1971, HERMOZA, 1972), y ejecutar nuevas mediciones de microtrepidaciones y estudios de amplificación sísmica en Chimbote (CHAVEZ, 1984).

Se recopilaron los sondeos ejecutados por la Misión Japonesa y los que se efectuaron posteriormente en Chimbote. Igualmente se ubicaron los puntos de medición de microtrepidaciones de la Misión Japonesa. En la Fig. 1 se presenta la ubicación de los sondeos recopilados y las microtrepidaciones anteriores y los puntos de ubicación de los ensayos de las microtrepidaciones ejecutados en este estudio.

En este artículo se presentan los valores de períodos medidos por microtrepidaciones y aquellos determinados mediante la utilización de la teoría de propagación unidimensional de ondas en Chimbote. En base a los valores medidos y calculados se elaboró un mapa de distribución de períodos y un mapa de clasificación de suelos de Kanai para la ciudad de Chimbote.

Microtrepidaciones.- La Tabla 3 presenta los resultados de los ensayos de microtrepidaciones en Chimbote ejecutados por la Misión Japonesa. En esta Tabla, se presenta la ubicación del punto de medición y los períodos predominante, medio y máximo determinados mediante el método del cruce de la línea base, así como la clasificación de suelos de Kanai.

En este estudio la Tabla 4 presenta la ubicación y los resultados de los ensayos de microtrepidaciones ejecutados en Chimbote en este estudio. Se utilizó la metodología presentada anteriormente para obtener los períodos pre-dominante, medio y máximo y la amplitud máxima de las microtrepidaciones. El tipo de suelo se determinó mediante la clasificación de Kanai.

Amplificación Sísmica.- La Tabla 5 presenta las ubicaciones y los resultados de períodos predominantes utilizando la teoría unidimensional de propagación de ondas. Los cálculos se realizaron para los sondeos de la Misión Japonesa y para algunos sondeos posteriores. La estratigrafía fue simplificada, localizando en la mayoría de los casos la profundidad de la roca basal a los 25 metros. Los valores de módulos G se determinaron de los valores de penetración estándar y los valores de amortiguamiento se asumieron constantes en cada capa.

2.3.3 Study in Chimbote

One of the goals of Project SISRA (ECOSIS) was to determine the seismic vulnerability of the city of Chimbote (BARRON, 1984), to do this, it was necessary to review the data of the seismic microzonation and the evaluation of damages carried out after the earthquake of May 31st, 1970 (MORIMOTO et al, 1971, HERMOZA, 1972) and to carry out new measurements of microtremors and seismic amplification studies in Chimbote (CHAVEZ, 1984).

Sounding data obtained by the Japanese Mission was compiled along with that subsequently obtained by others in Chimbote. The points where microtremors were measured by the Japanese Mission were located as well. Fig. 1 presents the location of the soundings compiled, and the previous measurements of microtremors and the location of measurements executed in this study.

This paper presents the values of the periods measured by microtremors and those determined by the utilization of the theory of unidimensional propagation of waves in Chimbote. On the basis of the measured and calculated values maps of the distribution of periods of the Kanai classification of soil were prepared for the city of Chimbote.

Microtremors.- Table 3 presents the results in Chimbote of the measurements of microtremors made by the Japanese Mission. The Table presents the location of the points measured, and the predominant mean and maximum periods determined by the method of the cross of the base line, as well as the Kanai classification of soils.

Table 4 presents the location and the results of the measurements of microtremors executed in Chimbote in this study. The same methodology was used to obtain the predominant mean and maximum periods and the maximum amplitude of the microtremors. The type of soil was determined by means of the Kanai classification.

Seismic Amplification.- Table 5 presents the location and the results of the predominant periods using the unidimensional theory of propagation of waves. The calculations were carried out for the soundings of the Japanese Mission and for some later soundings. The stratigraphy was simplified, locating in most cases, the base rock at a depth of 25 meters. The values of the modules G were determined from the values of standard penetration and the values of damping were assumed constant in each layer.

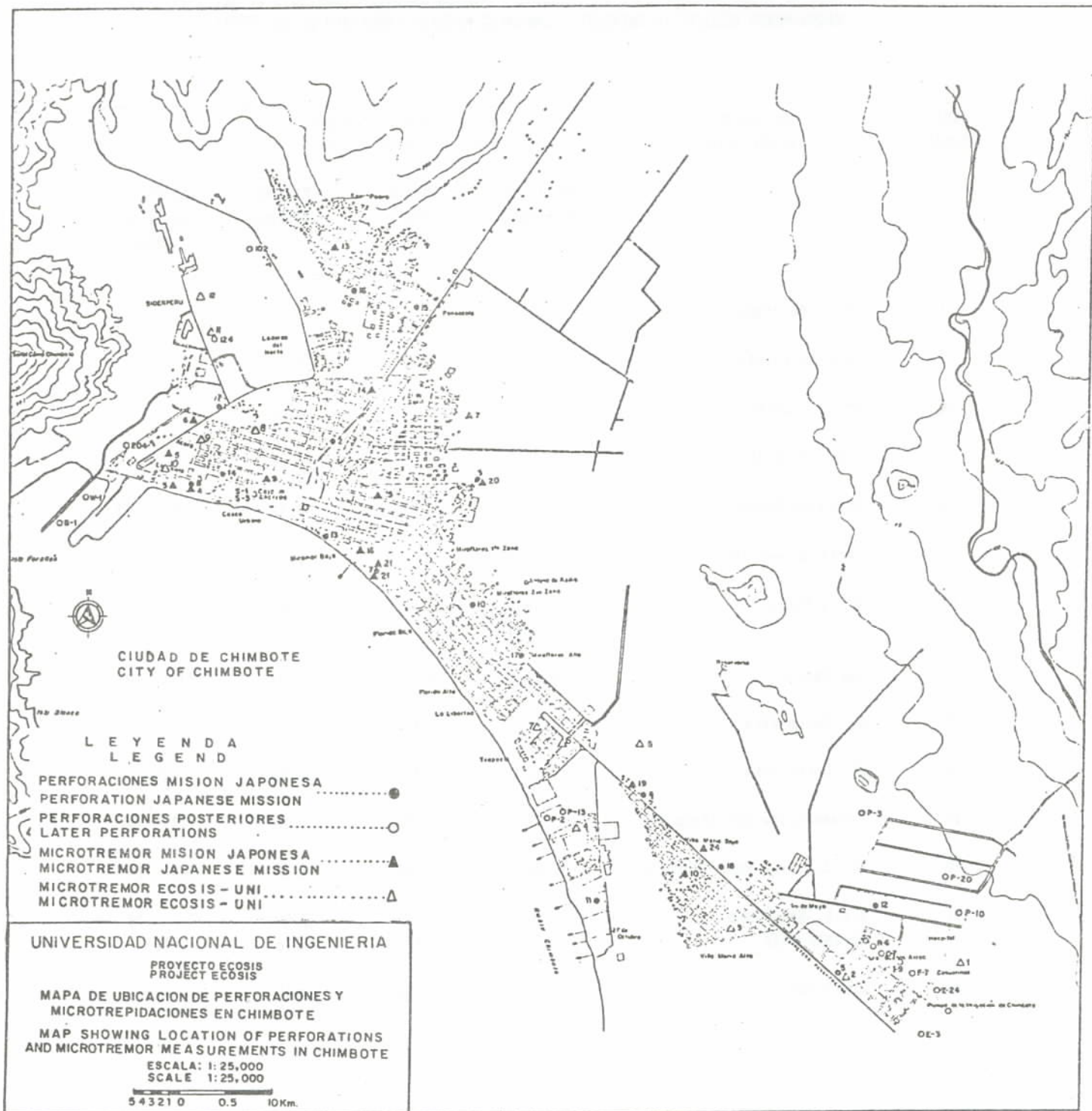


Fig.1

TABLA 3
TABLE 3

RESULTADOS DE MICROTREPIDACIONES EN CHIMBOTE - MISION JAPONESA (MORIMOTO et al, 1971)
MICROTREMOR RESULTS IN CHIMBOTE - JAPANESE MISSION (MORIMOTO et al. 1971)

Punto Point	Ubicación Localization	Periodos (secs) Periods (secs)			Tipo de suelo Type of soil (Kanai)
		Predominante Predominant (T ₀)	Medio Mean (T _m)	Máximo Maximum (T ₁)	
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	0.28/0.90		1.71	
10	Villa María	0.18/0.60 0.93/1.35		3.56	
13	San Pedro	0.09	0.200	1.20	III - IV
15	Jr. Union-Cdra. 6	0.33	0.430	1.23	III - IV
16	Jr. Union-Cdra. 1	0.27	0.400	1.53	IV
19	Panamericana Sur (Pozo 4)	0.27	0.320	1.26	III - IV
20	Jr. Ica-Alto Peru (Pozo 3)	0.28	0.350	1.20	III - IV
21	G.U.E. San Pedro Miramar Baja	1 0.28	0.430	2.00	IV
		2 0.33	0.320	1.16	III
24	Villa Maria	0.22	0.491	2.10	IV

TABLA 4
TABLE 4

RESULTADOS DE MICROTREPIDACIONES EN CHIMBOTE - ECOSIS - UNI (1983)
MICROTREMOR RESULTS IN CHIMBOTE - ECOSIS - UNI (1983)

Punto Point	Ubicación Localization	Períodos (segs) Periods (secs)			Amplitud máxima μ Maximum Extent μ	Tipo de Suelo (Kanai) Type of Soil (Kanai)		
		Predominante Predominant (To)	Medio Mean (Tm)	Máximo Maximum (Tl)		1a. Clasi- ficación 1st. Clasi- fication	2a. Clasi- ficación 2nd. Cla- sification	Adoptada Adopted
1 - E-D	Hospital Regional (Este)	0.680	0.985	2.250	0.090	IV	II	IV
N-S	Hospital Regional (Este)	0.820-1.0	0.954	2.250	0.130	IV	II	IV
2 - E-D	Buenos Aires-Panamericana y Huaraz	0.090	0.130	0.675	0.050	I - II	I	II
N-D	Buenos Aires-Panamericana y Huaraz	0.090	0.150	0.825	0.050	II	I	II
3 - E-D	Villa María	0.300-0.36	0.394	2.250	0.185	IV	II	IV
N-S	Villa María	0.245	0.226	1.450	0.125	IV	I - II	IV
4 - E-D	27 de Octubre	0.090	0.154	0.450	0.350	I - II	II	II
N-S	27 de Octubre	0.090	0.140	0.550	0.330	I - II	II	II
5 - E-D	Zona Pantano	0.110	0.127	0.450	0.220	I	I - II	II
- N-S	Zona Pantano	0.250	0.210	0.550	0.150	I - II	II	II
6 - E-D	"El Trapecio"	0.135/0.295	0.202	1.000	0.391	II - III	II - III	II - III
7 - E-D	"El Trapecio"	0.295	0.348	1.800	0.355	IV	II - III	II - III
8 - E-D	"El Acero", Dlaya y Peña	0.165/0.245	0.240	1.200	0.227	III	II	II
9 - E-D	"El Acero", Entre Manzanas E y F	0.245/0.36	0.206	0.675	0.438	I - II	II - III	II - III
10 - E-D	La Caleta-Av. Pardo	0.245	0.200	0.450	0.804	I - II	III	II
11 - E-D	Sider Perú	0.090	0.128	0.675	0.253	I - II	II	II
12 - N-S	Sider Perú	0.090	0.151	1.800	0.349	IV	II	II

TABLA 5
TABLE 5

RESULTADOS DE PERIODOS PREDOMINANTES POR AMPLIFICACION SISMICA
PREDOMINANT PERIOD RESULTS ACCORDING SEISMIC AMPLIFICATION

A) Sondajes Misión Japonesa - Chimbote
Soundings Japanese Mission - Chimbote

Punto Point	Ubicación Localization	Períodos (Modos vibración) (segs) Periods (Shaking modes) (secs)		
		1	2	3
1	Cerca de Sogesa-Av. Industrial	0.276	0.102	0.068
2	6ta. Cdra. Calle "G. de la Vega"	0.273	0.192	0.056
3	Alto Peru - Jr. Ica	0.311	0.103	0.071
4	Panamericana Sur	0.286	0.095	0.057
5	Bs. Aires - Panamericana y Huaraz	0.286	0.095	0.057
7	Miramar Baja	0.290	0.099	0.061
8	La Caleta- Marítimo Pesquero	0.257	0.096	0.057
10	Miraflores-2da. Cdra. Zona Callao y Pardo	0.274	0.107	0.060
11	27 de Octubre - Av. "Los Pescadores"	0.293	0.100	0.060
12	Zona Alta - Buenos Aires	0.277	0.091	0.054
13	Miramar-Esc. "Rep. de Francia"	0.271	0.098	0.066
15	"Pensacola"	0.273	0.092	0.056
17	Av. Pardo Miraflores Alto	0.249	0.087	0.068

B) Sondajes Posteriores - Chimbote
Post soundings - Chimbote

Punto Point	Ubicación Localization	Períodos (Modos vibración) (segs) Periods (Shaking modes) (secs)		
		1	2	3
Z-24	Buenos Aires	0.351	0.117	0.070
F-7	Buenos Aires	0.322	0.108	0.065
O-7	Buenos Aires	0.309	0.103	0.062
R-6	Buenos Aires	0.331	0.110	0.066
I-9	Buenos Aires	0.287	0.096	0.058
E-3	Buenos Aires	0.322	0.107	0.064
S 1	Caja de Ahorros	0.248	0.086	0.055
S 3	Caja de Ahorros	0.240	0.091	0.060
102	Sider Peru	0.244	0.083	0.052
124	Sider Peru	0.219	0.083	-
204	Sider Peru	0.235	0.081	-
P2	Trapecio Sur	0.270	0.097	0.058
P13	Trapecio Sur	0.280	0.110	0.064
P3	Mercado Mayorista-Proyecto	0.201	0.085	0.050
P10	Mercado Mayorista-Proyecto	0.213	0.076	-
P20	Mercado Mayorista-Proyecto	0.251	0.088	0.059
B1	La Caleta	0.132	0.067	-
W1	La Caleta	0.079	-	-

Resultados del Estudio.- De la comparación de los resultados se pudo comprobar que existe bastante similitud entre los valores de los períodos predominantes medidos por microtrepidaciones y aquellos determinados por la teoría de propagación unidimensional de ondas a deformaciones pequeñas. En base a dicha similitud se combinaron los resultados de mediciones y predicción de períodos predominantes para elaborar el mapa de distribución de períodos en Chimbote de la Fig. 2. También se presenta el mapa de clasificación de suelos de acuerdo a KANAI de la Fig. 3, que incorpora todos los resultados disponibles de microtrepidaciones.

Del estudio de microtrepidaciones y amplificación sísmica en Chimbote, se concluye que:

- 1) En Chimbote existe una buena similitud entre el primer pico de las curvas frecuencia-período de ensayo de microtrepidaciones y el período predominante obtenido del análisis de propagación de ondas en el mismo punto. Puede interpretarse que la existencia de varios picos en las curvas frecuencia-período se debe a que las rigideces de los estratos del terreno son irregulares.
- 2) Las pequeñas diferencias entre los períodos predominantes de microtrepidaciones y el análisis de propagación de ondas en puntos cercanos puede deberse a la suposición sobre la ubicación de la roca basal en Chimbote.
- 3) 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 de refracción sísmica y estudios de localización de la roca basal.
- 4) En base a los períodos naturales de vibración, la ciudad de Chimbote puede dividirse en tres zonas: la zona norte donde el período predominante tiene un rango de 0.1 a 0.25 seg., la zona centro que cubre una gran área con períodos predominantes de 0.3 seg., y la zona sur donde existe una variación irregular de los períodos predominantes.

2.3.4 Estudio en Huaraz

Otro de los propósitos del Proyecto SISRA-ECOSIS en el Perú fue determinar la vulnerabilidad sísmica de la ciudad de Huaraz (ORDONEZ, 1984), para lo cual se revisó el estudio de Microzonación sísmica y evaluación

Results of the Study.- From the comparison of the results it was possible to prove that there exists similarity between the values of the predominant periods measured by microtremors and those determined by the theory of unidimensional propagation of waves in small deformations. On the basis of this similarity, the results of the measurements and the predicted predominant periods were combined to construct a map of the distribution of periods in Chimbote as shown in Fig. 2. We also present a map of classification of soil in accordance with KANAI (Fig. 3) which incorporates all of the available results from microtremors.

From the study of microtremors and seismic amplification in Chimbote one concludes:

- 1) In Chimbote there is similarity between the first peak of the frequency-period curves of the measurements of microtremors and the predominant period obtained from the analysis of the propagation of waves at the same point. The interpretation infers that the existence of several peaks in the frequency period curves, is due to the fact that the rigidities of the ground strata are irregular.
- 2) The small differences between the predominant periods of microtremors and the analysis of the propagation of waves at near points may be due to the assumed location of the base rock in Chimbote.
- 3) For the case under study it is recommended that complementary studies be carried out, specially to the south of Chimbote, to determine a more precise microzonation. These studies are: a greater number of measurements of microtremors, seismic refraction measurements and a better location of the base rock.
- 4) On the basis of the natural periods of vibration, the city of Chimbote can be divided into three zones: the north zone where the predominant period has a range between 0.1 to 0.25 sec.; the central zone which covers a great area with predominant periods of 0.3 sec; and the south zone where there exist an irregular variation of the predominant periods.

2.3.4 Study in Huaraz

Another goal of Project SISRA (ECOSIS) was to determine the seismic vulnerability of the city of Huaraz (ORDONEZ, 1984). The work on seismic microzonation and evaluation of damages in Huaraz by the

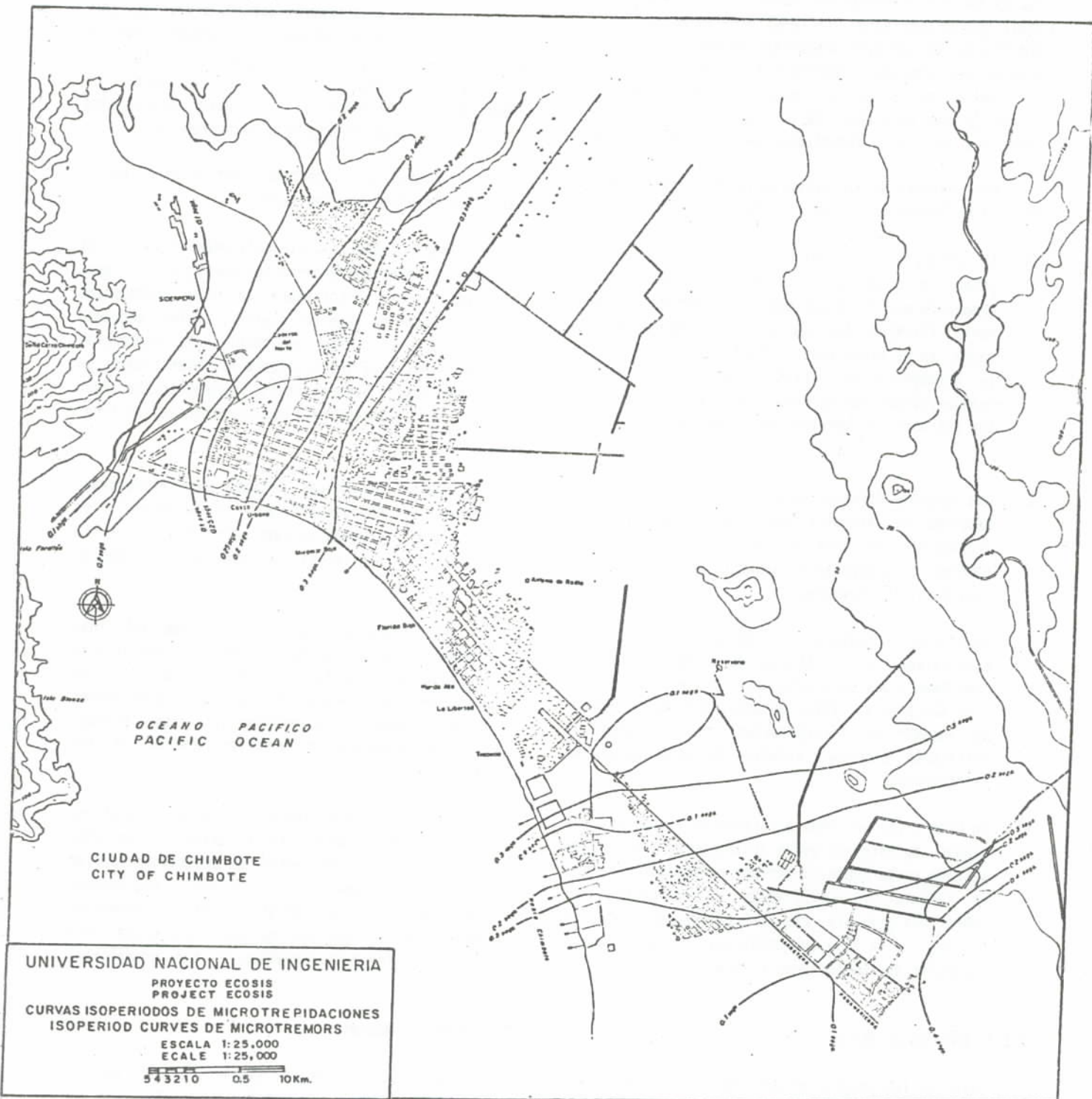
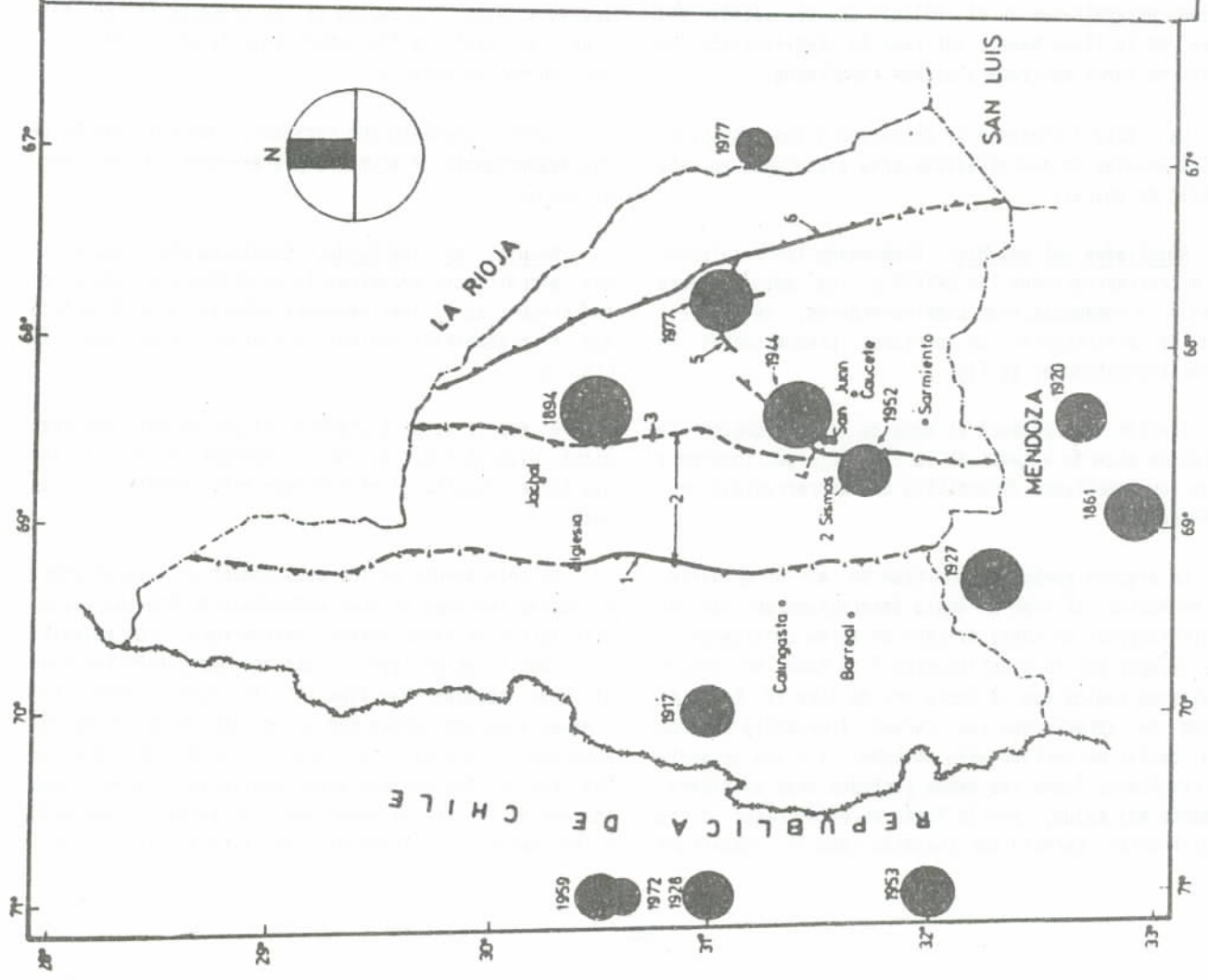


Fig.2

FUENTES SISMICAS POTENCIALES Y TERREMOTOS HISTORICOS SUPERFICIALES
 POTENTIAL SEISMIC SOURCES AND SHALLOW HISTORICAL EARTHQUAKES



REFERENCIA	Magnitudes
●	8.0
●	7.0
●	6.0

Fuente potencial de actividad sísmica, con línea de trazos donde la ubicación es aproximada, con signos de interrogación donde es inferida, el dentado de sierra se indica en el lado levantado, el dentado no se indica cuando no se conoce el sentido del desplazamiento. La flecha indica que la traza continúa fuera de la provincia (la fuente 2 es una zona de fallas aproximadamente paralelas dentro de la precordillera).

Potential source of seismic activity, trace is approximate, question marks where inferred, serrated on uplift side, not serrated if sense of displacement unknown. The arrow indicates that the trace continues beyond limits of the province. (Source 2 is a zone of faults, approximately parallel to each other, within the pre-cordillera).

Fuente potencial de actividad sísmica, los trazos se indican sobre el labio inferior, los trazos no se indican cuando no se conoce el sentido del desplazamiento. Potencial source of seismic activity, the traces are indicated on the lower lip, traces are not indicated when sense of displacement is unknown.

- Fuentes potenciales de actividad sísmica
 Potential sources of seismic activity
- 1 Falla de la caída del tigre
 - 2 Región de la Precordillera
 - 3 Falla del Frente Norte
 - 4 Falla de la Precordillera
 - 5 Falla de la Sierra de Pié de Palo
 - 6 Falla de la Sierra de Valle Fértil

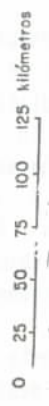


Fig. 3

Daños realizado en Huaraz por la Sub-comisión Técnica de CRYRZA (ARMAS, 1973), después del sismo del 31 de mayo de 1970, y se programaron nuevas mediciones de microtrepidaciones en la ciudad, que se documentan en CHAVEZ (1984).

Del estudio de la información geotécnica existente en Huaraz se concluyó que no podía efectuarse el estudio de amplificación sísmica, por no contar con perforaciones lo suficientemente profundas ni ensayos de penetración estándar para modelar la estratigrafía. En la Fig. 4 se presenta la ubicación de los sondajes existentes y las microtrepidaciones anteriores, con los puntos de ubicación de los ensayos de microtrepidaciones ejecutados en este estudio.

En este artículo se presentan los valores de períodos medidos por microtrepidaciones en Huaraz. En base a los valores medidos se elaboró un mapa de distribución de períodos y un mapa de clasificación de suelos de Kanai para Huaraz.

Microtrepidaciones.- La Tabla 6 presenta los resultados de microtrepidaciones en Huaraz ejecutados por CRYRZA. En esta tabla se presenta la ubicación del punto de medición y los períodos predominante, medio y máximo determinados en el análisis con el método del cruce de la línea base, así como la clasificación de suelos de Kanai aplicada a dichos resultados.

La Tabla 7 presenta la ubicación y los resultados de los ensayos de microtrepidaciones ejecutados en este estudio de Huaraz.

Resultados del estudio.- Combinando los resultados de microtrepidaciones de CRYRZA y los del presente trabajo y tomándose como complementarios, se elaboró un mapa de distribución de períodos predominantes de Huaraz presentado en la Fig. 5.

También se elaboró el mapa de clasificación de suelos de acuerdo a Kanai de la Fig. 6, que incorpora todos los resultados disponibles de microtrepidaciones en Huaraz.

En algunos puntos de medición de microtrepidaciones en Huaraz, el tipo de suelo determinado por las dos clasificaciones de Kanai difiere en forma considerable. Por ejemplo por la clasificación I de Kanai se obtuvo en algunos puntos que el suelo era de tipo IV. En tales puntos se apreció que las curvas frecuencia-período solo tenían un período alto aislado, y a eso se debía tal resultado. Todos los demás períodos eran considerablemente más bajos, por lo tanto en estos casos dicha clasificación parecía ser inexacta como lo demostraba

Technical Sub-Commission of CRYRZA (ARMAS, 1973), after the May 31st, 1970 earthquake was analyzed and new measurements of microtremors were programmed for the city as documented in CHAVEZ (1984).

From the study of the geotechnical information available in Huaraz, it was concluded that the study of seismic amplification could not be carried out since there were not enough sufficiently deep holes, nor measurements of standard penetration to model the stratigraphy. Fig. 4 presents the location of the existing soundings, the previous microtremors and the measurements of microtremors executed in this study.

This paper presents the values of the periods measured by microtremors in Huaraz. On the basis of the measured values maps were prepared of distribution of periods and of the Kanai classification of soil, applied to the results.

Microtremors.- Table 6 present the results of microtremors measurements in Huaraz, executed by CRYRZA, showing the location of the points of measurement and the predominant, mean and maximum periods determined by analysis with the method of the crossing of the base line, as well as the KANAI classification of soil, applied to the results.

Table 7 presents the location, and the results of the measurements of microtremors executed in the study of Huaraz.

Results of the Study.- Combining the results of the microtremors measurements of CRYRZA and those of the present work (complementary results) a distribution map of predominant periods of Huaraz is presented, in Fig. 5.

A map of Kanai's classifications of soil was prepared also in Fig. 6, which incorporates all of the available results of microtremor measurements in Huaraz.

At some points of the measurement of microtremors in Huaraz the type of soil determined by the two classifications of Kanai differ considerably. For example, for classification type I, and at some points the type of soil obtained was type IV. In such places, the frequency-period curves had an isolated high period and apparently this was the reason for such a discrepancy. The rest of the periods were considerably lower and, therefore, in those cases the classification appeared to be inexact, as shown by classification II by Kanai

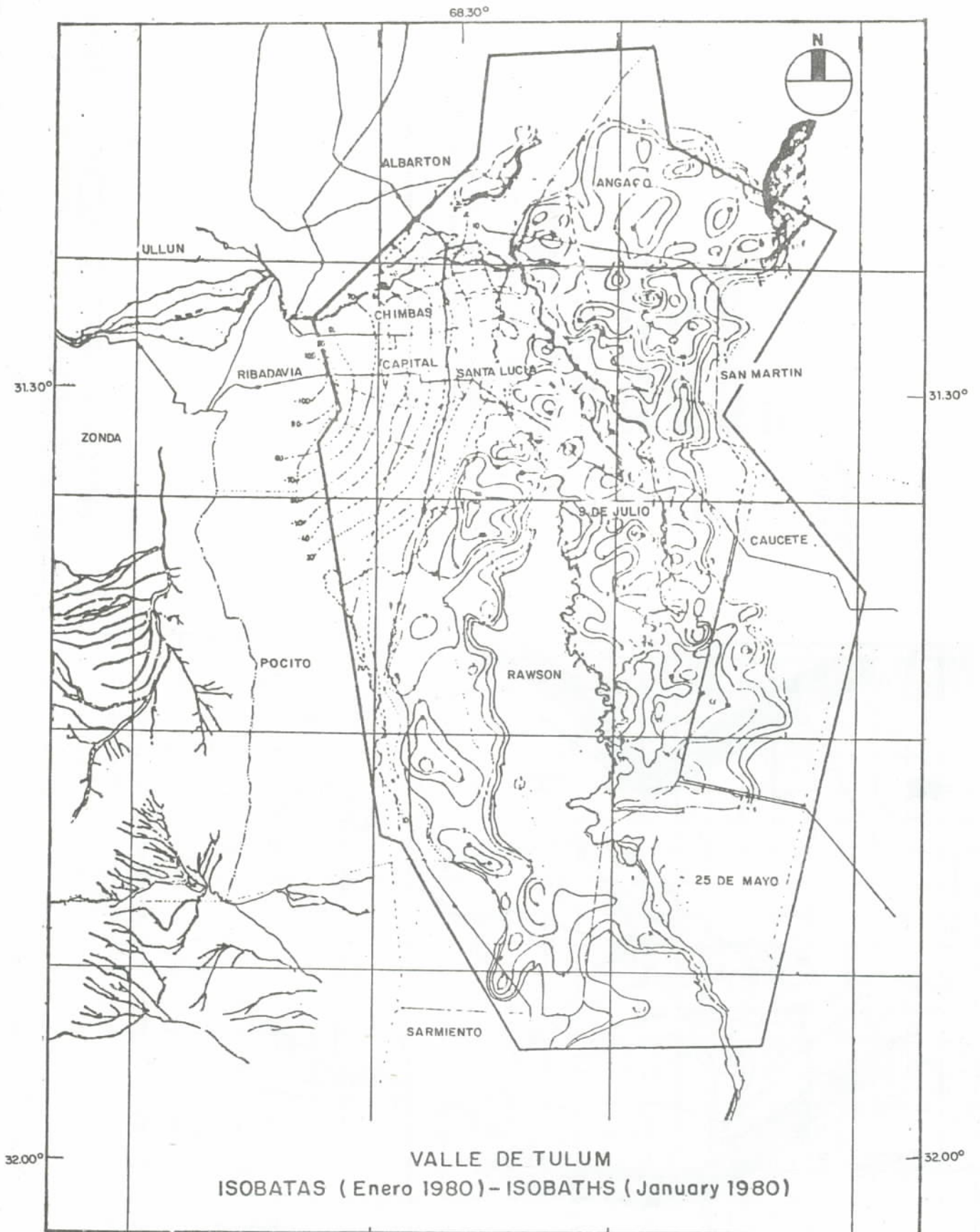
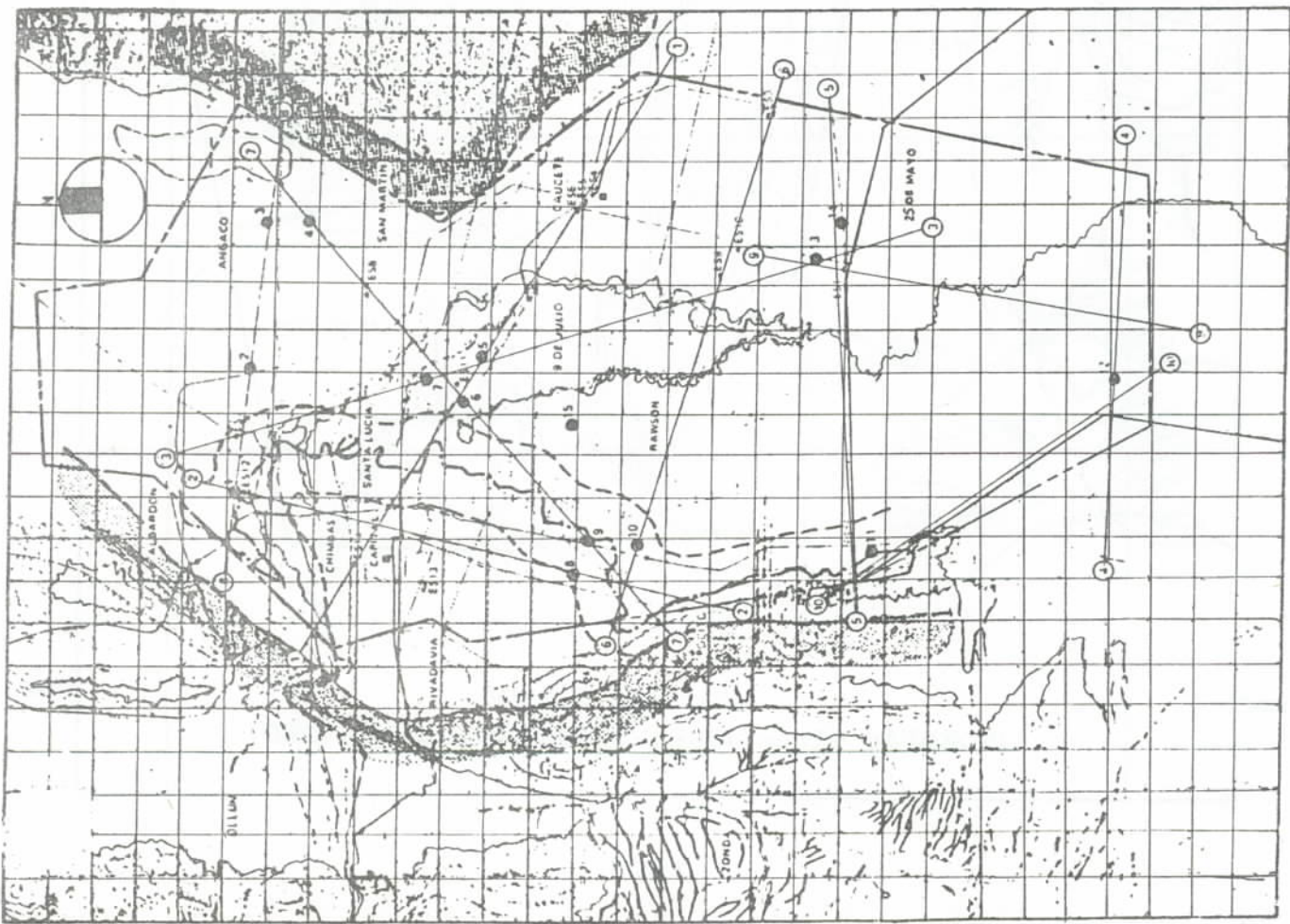
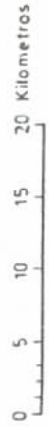


Fig. 4



REFERENCIAS
REFERENCES

- Roca
Rock
- Depósitos de cono aluvial
Alluvial cone deposits
- Zona de transición
Transition zone
- Depósitos de llanura aluvial
Alluvial plain deposits
- Perfil transversal
Transverse profile
- Sondeo realizado durante este estudio
Probing done during study.
- Sondeo realizado durante otros estudios
Prior probing.
- Perforación para riego (profundidad a la grava)
Irrigation perforations (depth to the gravel)
- Sitio donde se midió velocidad de la onda de corte
Site where shear wave velocity was measured.



INSTITUTO NACIONAL DE PREVENCIÓN SÍSMICA - INPRES
VALLE DE TULUM. INVESTIGACIONES DE CAMPAÑA PARA EL ESTUDIO DE LAS CON
DICIONES DEL SUBSUELO.
FIELD STUDIES OF SUBSOIL CONDITION.

Fig. 5

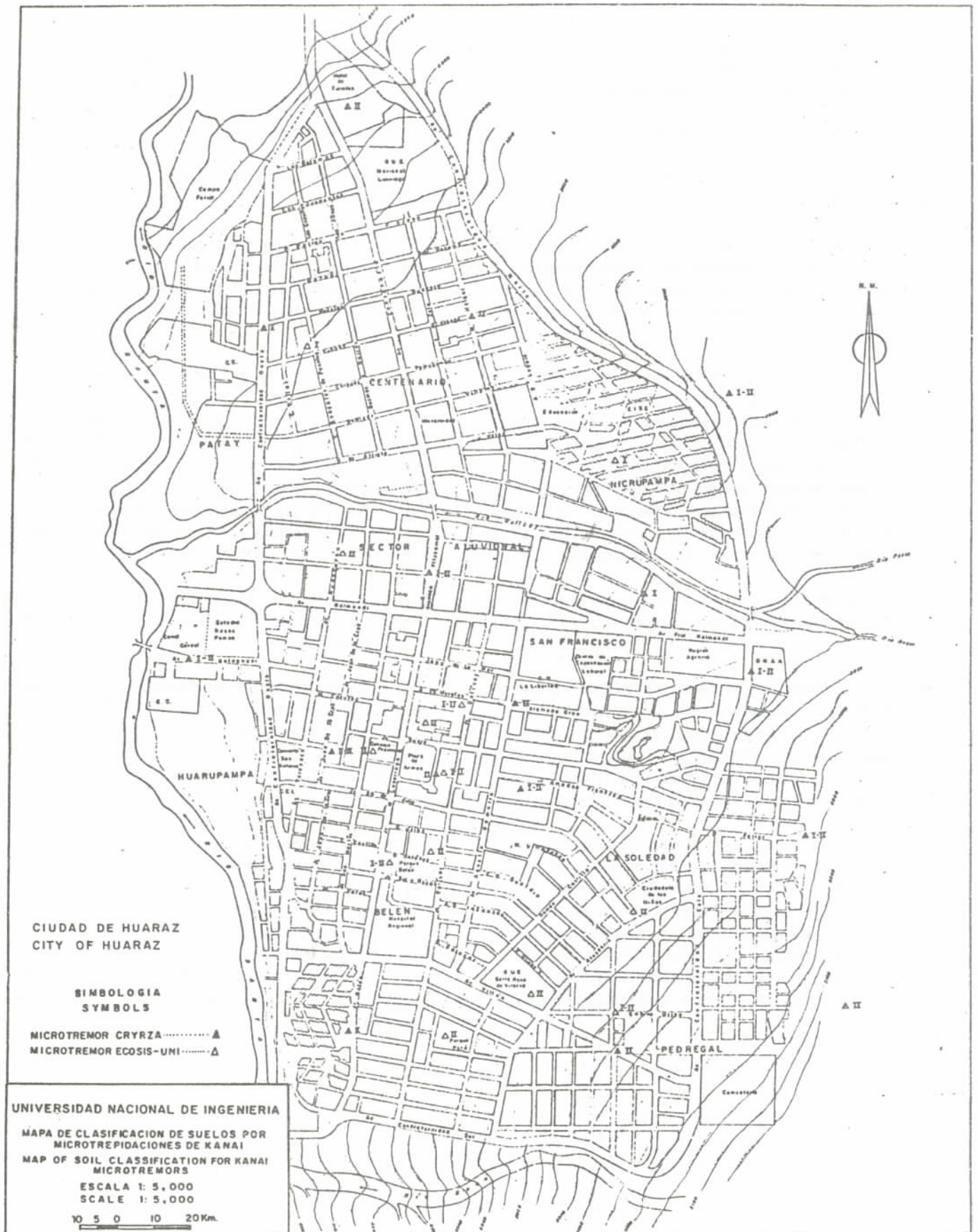


Fig. 6

la clasificación II de Kanai y el tipo de suelo en los puntos circundantes. La decisión sobre el tipo de suelo a considerar en dichos puntos tomó en cuenta el tipo de suelo en los alrededores, adoptando una clasificación de Kanai final en los casos divergentes.

Del estudio de microtrepidaciones en Huaraz se concluye que:

- 1) De acuerdo a la forma de las curvas frecuencia-período de los ensayos de microtrepidaciones, puede concluirse que la mayor parte del área de Huaraz tiene un terreno con estratos de rigidez irregular.
- 2) La distribución de períodos en la zona urbana de Huaraz es irregular. En el centro de la ciudad se nota una variación de períodos predominantes que fluctúan entre 0.1 a 0.3 seg. Las zonas norte y sur de la ciudad presentan ligeras variaciones y parecen ser más regulares que en el centro, con la lógica discontinuidad del torrente del río Quilcay que atraviesa la ciudad. Los períodos más altos parecen darse al sur del barrio Pedregal.
- 3) De acuerdo a la clasificación de suelos de Kanai, en Huaraz parece que sólo existen suelos de tipo I y II.
- 4) Si se comparan los períodos predominantes para un mismo lugar determinados por CRYRZA con los determinados en este estudio, se concluye que los determinados por CRYRZA tienen la tendencia a ser mayores, probablemente debido a la diferente metodología utilizada en la reducción de datos.
- 5) Es recomendable llevar a cabo estudios complementarios para determinar una microzonación de Huaraz más precisa, como mayor número de ensayos de microtrepidaciones especialmente en el centro de la ciudad, estudios geotécnicos con pruebas de penetración estándar y ensayos de refracción sísmica para completar el análisis con la aplicación de la teoría unidimensional de propagación de ondas.

and the type of soil in the surrounding area. The decision concerning the type of soil to be considered in those points took into account the type of soil in the surrounding areas, adopting a final classification of Kanai, in the divergent cases.

From the study of microtremors in Huaraz it is concluded that:

- 1) In accordance with the shape of the frequency-period curves for the microtremors it can be seen that a greater part of the area of Huaraz has a soil with strata of irregular rigidity.
- 2) The distribution of periods in the urban zone of Huaraz is irregular. In the center of the city one notes a variation of predominant periods which fluctuates between 0.1 to 0.3 sec. The north and south zones of the city present slight variations and appear to be more regular than in the center, with the logical discontinuity at the Quilcay river, which crosses the city. The higher periods seem to be to the south of the Pedregal district.
- 3) In accordance with the classification of soil by Kanai, in Huaraz there appears to be soil only of type I and II.
- 4) If predominant periods are compared, at the same place, between those determined by CRYRZA and those determined in this study, one finds that those determined by CRYRZA appear to be higher, probably due to the different methodology used for the reduction of data.
- 5) It is recommended that complementary studies be undertaken to determine a more precise microzonation of Huaraz with a greater number of measurements of microtremors, specifically in the center of the city, geotechnical studies with standard penetrations tests and also measurements of seismic refraction to complete the analysis with the application of the unidimensional theory of wave propagation.

TABLA 6
TABLE 6

RESULTADOS DE MICROTREPIDACIONES EN HUARAZ - CRYRZA (ARMAS, 1973)
MICROTREMOR RESULTS IN HUARAZ - CRYRZA (ARMAS, 1973)

Punto Point	Ubicación localization	Periodos (Periods)			Tipo de suelo Type of soil (Kanai)
		Predominante Predominant (To)	Medio Mean (Tm)	Máximo Maximum (Tl)	
1	Barrio Centenario - Jr. Corongo	0.250	0.232	0.500	II
2	Av. Confraternidad Oeste	0.120	0.129	0.223	I
3	Este de Nicrupampa	0.200	0.200	0.332	I - II
4	Región Agraria - Av. Confraternidad Oeste	0.165	0.194	0.313	I - II
5	"La Soledad" - Jr. Diego Ferrer	0.145	0.154	0.285	I - II
6	Este de Pedregal	0.200	0.220	0.500	II
7	Barrio Pedregal	0.031	0.331	0.665	II
8	Barrio Belén - Jr. M. Luzuriaga	0.250	0.274	0.668	II
9	Plaza de Armas	0.250	0.258	0.500	II
10	Barrio Soledad	0.200	0.220	0.332	I - II
11	Barrio Huarupampa	0.250	0.294	1.000	I - II
12	Barrio San Francisco - Av. Gamarra	0.250	0.235	0.400	II
13	Estadio Rosas Pampa	0.145	0.154	0.250	I - II
14	Barrio San Francisco - Jr. M. Luzuriaga	0.230	0.203	0.334	I - II
15	Hotel de Turistas	0.250	0.248	0.284	II

TABLA 7
TABLE 7

RESULTADOS DE MICROTREPIDACIONES EN HUARAZ - ECOSIS - UNI (1983)
MICROTREMOR RESULTS IN HUARAZ - ECOSIS - UNI (1983)

Punto Point	Ubicación Localization	Períodos (segs) Periods (secs)			Amplitud máxima μ Maximum Extent μ	Tipo de Suelo (Kanai) Type of Soil (Kanai)		
		Predominante Predominant (Tp)	Medio Mean (Tm)	Máximo Maximum (Tl)		1a. Clasi- ficación 1st. Clasi- fication	2a. Clasi- ficación 2nd. Clasi- fication	Adoptada Adopted
1 - E-O	Parque Belén	0.295	0.350	0.825	0.100	II	I-II	I-II
2 - E-O	Pque. Bolivar-Av. Bolivar 10ma. Cuadra	0.110	0.261	1.800	0.062	IV	I	II
N-S	Pque. Bolivar-Av. Bolivar 10ma. Cuadra	0.135	0.302	1.450	0.200	III	II	II
3 - E-O	Catedral Plaza de Armas	0.135	0.148	0.550	0.100	I-II	I-II	I-II
N-S	Catedral Plaza de Armas	0.135	0.170	0.675	0.133	I-II	I-II	I-II
4 - E-O	Norte de Plaza de Armas	0.090	0.110	0.360	0.133	I	I-II	I
N-S	Norte de Plaza de Armas	0.090	0.138	0.825	0.204	II	II	I
6 - E-O	Calle San Martín-Detrás del Consejo	0.165	0.314	2.250	0.032	IV	I	II
N-S	Calle San Martín-Detrás del Consejo	0.135	0.394	2.250	0.046	IV	I	II
7 - E-O	Av. Bolívar-Sta. Cuadra	0.295	0.201	0.675	0.064	I-II	I-II	I-II
N-S	Av. Bolívar Sta. Cuadra	0.135	0.171	0.675	0.083	I-II	I	I-II
9 - E-O	Calle Huascarán-2da. Cuadra	0.110	0.183	0.825	0.035	II	I	II
10 - E-O	Cerca de la Región Agraria	0.245	0.465	2.250	0.035	IV	I	I
N-S	Cerca de la Región Agraria	0.200	0.375	2.250	0.035	IV	I	I
12 - E-O	Barrio Soledad-INAPROME	0.200	0.343	1.800	0.052	II	I	II
N-S	Barrio Soledad-INAPROME	0.245	0.333	2.250	0.041	IV	I	II
13 - E-O	Pedregal-C.E.Sta. Rosa Viterbo	0.135	0.349	1.800	0.060	IV	I	II
N-S	Pedregal-C.E.Sta. Rosa Viterbo	0.135	0.252	1.800	0.040	IV	I	II
16 - E-O	Nicrupampa-1 cdra. de CISEA	0.09-0.135	0.348	2.250	0.022	IV	I	I
17 - E-O	Pedregal-Parque Perú	0.245	0.259	0.825	0.070	II	I-II	II
N-S	Pedregal-Parque Perú	0.165	0.167	0.450	0.073	I-II	I	II
18 - E-O	Pedregal Alto-Jr. Gavino Uribe	0.090	0.230	1.800	0.030	IV	I	I-II
N-S	Pedregal Alto-Jr. Gavino Uribe	0.110	0.127	0.450	0.045	I-II	I	I-II
19 - E-O	C.E. No. 123-T.G. Fanning	0.245	0.271	1.800	0.031	IV	I	I

2.3.5 Conclusiones y Recomendaciones

De la ejecución del estudio se desprenden las siguientes conclusiones y recomendaciones:

- 1) La aplicación de la técnica de microtrepidaciones en la microzonificación sísmica de ciudades es adecuada para nuestro país, por ser relativamente económica, rápida y con resultados dignos de crédito. Al existir en nuestro medio equipo disponible y procedimientos de análisis puestos en práctica, se recomienda su aplicación a otras ciudades del Perú.
- 2) En Chimbote es notable la similitud de valores medidos de microtrepidaciones por la Misión Japonesa y por el presente estudio, probablemente por haber utilizado equipos y metodologías de reducción de datos similares.
- 3) En Chimbote se comprobó que existe bastante similitud entre los valores de los períodos predominantes medidos por microtrepidaciones y los calculados por el análisis de propagación de ondas. Igualmente, los tipos de suelo determinados por microtrepidaciones están en concordancia con los registros de perforación existentes.
- 4) En Chimbote se distinguen tres zonas diferenciadas con respecto a períodos: la zona norte con períodos predominantes de 0.1 a 0.25 seg., la zona centro de gran extensión con períodos predominantes de 0.3 seg., y la zona sur con variación irregular de períodos predominantes. Estos valores están en concordancia con la microzonificación sísmica existente en Chimbote.
- 5) Existen algunas diferencias entre los valores de períodos medidos por CRYRZA y los valores determinados en este estudio en Huaraz, probablemente debido a que se utilizaron metodologías diferentes para reducir los datos. Sin embargo se han combinado dichos valores para producir los mapas de distribución de períodos y de clasificación de suelos.
- 6) En Huaraz se puede advertir una variación irregular de períodos predominantes en el centro de la ciudad, en un rango de 0.1 a 0.3 seg. Las zonas norte y sur tienen ligeras variaciones en períodos, predominando el período de 0.25 seg. con un valor máximo de 0.3 seg. De acuerdo a las curvas frecuencia-período, el subsuelo de Huaraz presenta estratos de rigidez irregular. Según la clasificación de Kanai en Huaraz solamente existen suelos

2.3.5 Conclusions and Recommendations

From this study the following conclusions and recommendations are reached:

- 1) The application of the technique of microtremors in the seismic microzonation of cities is adequate for Perú since it is relatively economical, quick, and yield reliable results. Since we have equipment available and the methods for are analyzing already implemented, it is recommended that this technique be applied to other cities in Perú.
- 2) In Chimbote the similarity of the mean values of microtremors obtained by the Japanese Mission and the present study is noteworthy, this is doubtless because the same equipment and the same methodology was used in both cases.
- 3) In Chimbote it was shown that a lot of similarity exists between predominant period measurements by microtremors and those calculated by the analysis of propagation of waves. Also the types of soil determined by microtremors is in agreement with data from the holes drilled.
- 4) In Chimbote there are three different zones with respect to periods: the north zone with predominant periods between 0.1 to 0.25 sec.; the central zone, a large area, with predominant periods of 0.3 sec.; and the south zone with an irregular variation of predominant periods. These values are in agreement with existing seismic microzonation.
- 5) Some differences exist between the values of the periods measured by CRYRZA and the values we determined in Huaraz, probably due to the fact that different methodologies were used to process the data. Nevertheless, these values have been combined to produce the maps of distribution of periods and of classification of soil.
- 6) In Huaraz one can notice an irregular variation of predominant periods in the center of the city with a range of 0.1 to 0.3 sec. The north and south zones have slight variations in periods with a predominant period at 0.25 sec. and a maximum value of 0.3 sec. In accordance with the frequency-period curves, the soil at Huaraz presents strata of irregular rigidity. According to the Kanai classification, only soils of type I and

tipo I y II.

- 7) Se recomienda realizar estudios complementarios en la zona sur de Chimbote por tener variación irregular de períodos. Los estudios recomendados serían: mayor número de ensayos de microtrepidaciones, refracción sísmica y localización de la roca base.
- 8) Se recomienda realizar estudios complementarios en el centro de la ciudad de Huaraz, por la variación irregular de períodos determinados en este estudio y los mayores daños sísmicos ocurridos en esta zona. Estos estudios deberán consistir de perforaciones geotécnicas con ensayos de penetración estándar y ensayos de refracción sísmica.

II exists in Huaraz.

- 7) It is recommended that complementary studies be carried out in the south zone of Chimbote because of the irregular variation of periods. The recommended studies are: a greater number of measurements of microtremors, seismic refraction and localization of the base rock.
- 8) It is recommended that complementary studies be done in the center of the city of Huaraz, due to the irregular variation of periods determined by our study and the high seismic damage suffered in this zone. Those studies must consist of geotechnical perforations with measurements of standard penetration and seismic refraction.

REFERENCIAS

- ARMAS C. (1973), "Microzonificación sísmica de la Ciudad de Huaraz", Tesis de grado, Universidad Nacional de Ingeniería, Lima, Perú.
- BARRON H. (1984), "Estudio de la vulnerabilidad sísmica de la Ciudad de Chimbote", Tesis de grado, Universidad Nacional de Ingeniería, Lima, Perú.
- CHAVEZ D. (1984), "Amplificación sísmica de algunas ciudades del Perú", Tesis de grado, Universidad Nacional de Ingeniería, Lima, Perú.
- HERMOZA M. (1972), "Estudio sobre el sismo del 31 de mayo de 1970, Ciudad de Chimbote", Tesis de grado, Universidad Nacional de Ingeniería, Lima, Perú.
- KANAI K. (1962), "On the Predominant Period of Earthquake Motions", Bulletin of the Earthquake Research Institute, Vol. 40, pp. 855-860, Tokyo, Japan.
- KANAI K. y T. TANAKA (1961), "On Microtremors, VIII", Bulletin of the Earthquake Institute, Vol. 34, pp. 97-114, Tokyo, Japan.
- KANAI K. T. TANAKA y K. OSAKA (1954), "Measurement of the Microtremor" Bulletin of the Earthquake Research Institute, XXXII, Part. 2, Tokyo, Japan.
- KURDIWA J., E. DEZA y H. JAEN (1973), "Investigation on the Peruvian Earthquake of May 31, 1970", Proc. 5th World Conference on Earthquake Engineering, Rome.
- LASTRICO R. y J. MONGE (1972), "Chilean Experience in Seismic Microzonation", International Conference on Microzonation, Seattle, Washington.
- MORIMOTO R. Y. KOIZUMI, T. MATSUDA, M. HAKUNO y I. YAMAGUCHI (1971), "Seismic Microzoning of Chimbote Area, Peru", Overseas Technical Cooperation Agency, Government of Japan.
- OHSAKI Y. (1972), "Correction of Earthquake Accelerogram", Research Report 72-01, Department of Architecture, Faculty of Engineering, University of Tokyo, Japan.
- OHSAKI Y. (1976a). "Introduction of Spectra Analysis of Earthquake Motion", in Japanese, Tokyo, Japan.

- OHSAKI Y. (1976b), "Dynamic Characteristics and One-dimensional Amplification Theory of Soil Deposits", Research Report 75-01, Lecture Notes for International Institute of Seismology and Earthquake, Engineering, Tokio, Japan.
- ORDONEZ E. (1984), "Estudio de la Vulnerabilidad Sísmica de Huaraz", Tesis de grado, Universidad Nacional de Ingeniería, Lima, Perú.
- TANIWANGSA W. (1981), "A Microzonation of Jakarta City", Research Report 81-01, Department of Architecture, Faculty of Engineering, University of Tokyo, Japan.

APENDICE I

AMPLIFICACION SISMICA EN ALGUNAS CIUDADES DEL PERU

Tesis para optar el título Profesional de Ingeniero Civil.

Programa Académico de Ingeniería Civil,
Universidad Nacional de Ingeniería.

Autor: Oscar Efraín Chávez Figueroa

Asesor: Dr. Jorge E. Alva Hurtado

RESUMEN

Este trabajo documenta la metodología utilizada y presenta los resultados de ensayos de microtrepidaciones ejecutados en las ciudades de Chimbote y Huaraz, como parte del Proyecto SISRA (ECOSIS), patrocinado por el Centro Regional de Sismología para América del Sur.

Los ensayos de microtrepidaciones realizados han sido complementarios a los ejecutados anteriormente por la Misión Japonesa en Chimbote y por la Comisión de Reconstrucción y Rehabilitación de la Zona Afectada (CRYRZA) en Huaraz, después del sismo del 31 de mayo de 1970. Los ensayos de microtrepidaciones proporcionan períodos fundamentales y clasificación del suelo, que conjuntamente con la geología, sismología, hidrología, ingeniería geotécnica e ingeniería sísmo-resistente, proporcionan parámetros para realizar la microzonación sísmica de una ciudad.

Además de los ensayos de microtrepidaciones, en Chimbote se pudo modelar la estratigrafía del subsuelo y mediante un análisis de propagación unidimensional de ondas a deformaciones pequeñas, se pudo predecir los períodos naturales de vibración del suelo. Se comprobó que existe bastante similitud entre los valores de los períodos medidos por microtrepidaciones y los calculados por el análisis de propagación de ondas. En base a los resultados de las mediciones anteriores y los de este estudio, así como a los períodos calculados por amplificación sísmica, se elaboró un mapa de distribución de períodos y un mapa de clasificación de suelos de Kanai para Chimbote. En dicha ciudad se aprecian tres zonas diferenciadas: la zona norte con períodos predominantes de 0.1 a 0.25 segs, la zona centro de gran extensión, con períodos predominantes de aproximadamente 0.3 segs, y la zona sur con variación irregular de períodos predominantes.

APPENDIX I

SEISMIC AMPLIFICATION IN SOME CITIES OF PERU

Thesis presented for the professional degree of Civil Engineer.

Academic Program of Civil Engineering,
Universidad Nacional de Ingeniería.

Author: Oscar Efraín Chávez Figueroa

Advisor: Dr. Jorge Alva Hurtado

SUMMARY

This paper documents the methodology used and presents the results of the microtremors measurements executed in the cities of Chimbote and Huaraz as part of Project SISRA (ECOSIS) under the auspices of the Regional Centre for Seismology for South America.

The measurements of microtremors carried out were a complement to those made previously by the Japanese Mission in Chimbote (1970) and by the Comisión de Reconstrucción y Rehabilitación de la Zona Afectada (CRYRZA) in Huaraz after the earthquake of 31 May 1970. The measurements of microtremors provide fundamental periods and a classification of soil which, together with the geology, seismology, hidrology, geotechnical engineering and earthquake engineering, provide parameters in order to be able carry to out the seismic microzonation of a city.

Besides the measurements of microtremors, it was possible in Chimbote to model stratigraphy of the subsoil and by unidimensional analysis of propagation of waves to small deformation it was possible to predict the natural periods of vibration of the soil. The results show that there is great similarity between the mean periods obtained by microtremors and those calculated from the analysis of the propagation of waves. On the basis of the results of the previous measurements and those made as part of this study, as well the calculated periods from the seismic amplification, a map of distribution of periods was prepared together with a map of the Kanai classification of soils for Chimbote. The city was divided into three zones: the north zone with predominant periods of 0.1 to 0.25 sec.; the central zone, a rather large area, with predominant periods of approximately 0.3 sec.; and the south zone with very irregular variations of the predominant period.

En Huaraz solamente se realizaron ensayos de microtrepidaciones, ya que no existían estudios geotécnicos disponibles para realizar el análisis de propagación de ondas. Al igual que en Chimbote, de los ensayos de microtrepidaciones se determinaron los períodos predominante, medio, máximo, la amplitud máxima registrada y la clasificación de suelos de Kanai. Los períodos predominantes determinados por CRYRZA son diferentes a los determinados en este estudio, probablemente debido a las diferentes metodologías utilizadas en la reducción de datos. El mapa de distribución de períodos para Huaraz es bastante irregular; en el centro de la ciudad los períodos predominantes fluctúan entre 0.1 a 0.3 segs, en las zonas norte y sur de la ciudad la distribución de los períodos es más uniforme, existiendo la lógica discontinuidad de la zona aluvional del río Quilcay.

Se concluye que la metodología presentada para ser utilizada en la microzonación sísmica de ciudades de es relativamente sencilla y de bajo costo, y que al existir equipo disponible y procedimientos de análisis puestos en práctica, es recomendable su utilización en otras ciudades del Perú.

El primer capítulo presenta una definición de microtrepidaciones, así como la determinación del período predominante por microtrepidaciones y por amplificación sísmica.

El segundo capítulo presenta la teoría de microtrepidaciones, una síntesis histórica de su utilización, la distribución de períodos de microtrepidaciones y la clasificación del terreno.

El tercer capítulo trata sobre la teoría de propagación unidimensional de ondas. Se presentan las características dinámicas de los suelos, la simplificación de los perfiles de suelo y el análisis dinámico de depósitos de suelo.

En el cuarto capítulo se documenta la revisión de ensayos de microtrepidaciones realizados anteriormente en el Perú. También se describe el equipo utilizado en este estudio, el análisis de onda efectuado y los ensayos preliminares realizados en Lima para calibrar el equipo.

El capítulo quinto presenta los resultados de los ensayos de microtrepidaciones en Chimbote y Huaraz, así como una comparación de estos resultados con los existentes de estudios anteriores.

Finalmente, el capítulo sexto presenta las conclusiones y recomendaciones del estudio.

In Huaraz, only the measurements of microtremors were carried out since information from geotechnical studies in order to carry out an analysis of the propagation of waves was not available. As in Chimbote, the predominant periods were determined from the microtremors measurements, i.e. the average, the maximum, the maximum amplitude recorded and the Kanai classification of soils. The predominant periods determined by CRYRZA are different from those obtained in this study, probably due to the different methodologies used for the reduction of the data. The map of the distribution of periods for Huaraz is quite irregular; in the center of the city the predominant periods vary between 0.1 to 0.3 sec.; in the north and south zones of the city the distribution of the periods is more uniform, with a logical discontinuity in the alluvial zone of the Quilcay river.

It is concluded that the methodology presented, to be used for seismic microzonation of cities, is relatively simple and of low cost, and equipment is available and the procedures for analysis are implemented and therefore its use is recommended for other cities in Perú.

The first chapter presents a definition of microtremors, as well as the determination of the predominant period from microtremors and by seismic amplification.

The second chapter presents the theory of microtremors, a historical synthesis of their use, the distribution of periods of microtremors and the classification of the soil.

The third chapter deals with the theory of unidimensional propagation of waves. The dynamic characteristics of the soil, a simplification of the profiles of the soil and a dynamic analysis of the deposits of the soil are presented.

The fourth chapter reviews the measurements of microtremors carried out previously in Peru. The equipment used in this study is described; the analysis of waves carried out and the preliminary measurements made in Lima, in order to calibrate the equipment, are documented.

The fifth chapter presents the results of the microtremors measurements in Chimbote and Huaraz as well as a comparison of these results with those existing from previous studies.

The sixth chapter presents the conclusions and recommendations from this project.

APENDICE II

ESTUDIO DE LA VULNERABILIDAD SISMICA DE HUARAZ

Tesis para optar el Título Profesional de Ingeniero Civil.

Programa Académico de Ingeniería Civil,
Universidad Nacional de Ingeniería.

Autor: Edwin Abel Ordóñez Huamán

Asesor: Dr. Jorge E. Alva Hurtado

RESUMEN

Este trabajo documenta el estudio de la vulnerabilidad sísmica de la ciudad de Huaraz en el departamento de Ancash, Perú, como parte del Proyecto SISRA (ECOSIS), patrocinado por el Centro Regional de Sismología para América del Sur.

El Proyecto SISRA (ECOSIS) tiene como objeto estudiar los terremotos ocurridos en el área andina, para determinar los efectos económicos que éstos ocasionan e poner en práctica una metodología para el establecimiento de una política contra los desastres naturales en la región andina. El sismo del 31 de mayo de 1970 fue estudiado como caso peruano. En este estudio se trata la ciudad de Huaraz, por ser la de mayor población y destrucción en la sierra del Perú.

Para determinar la vulnerabilidad sísmica de Huaraz fue necesario realizar estudios de peligro sísmico, de características del subsuelo y de las edificaciones y de evaluación de daños durante el sismo de 1970.

Se establecieron en Huaraz curvas por zonas, que relacionan intensidad sísmica con porcentaje de daños en edificaciones de adobe, para las condiciones existentes antes del sismo. Finalmente, se determinaron las pérdidas probables de edificaciones en Huaraz para diferentes tiempos de exposición sísmica, tratando de calibrar el modelo con las pérdidas reales en edificaciones durante el sismo del 31 de mayo de 1970 en Huaraz.

Después del sismo de 1970 se realizaron en Huaraz estudios de Geología, Geomorfología, Mecánica de Suelos, Ensayos de Microtrepidaciones, Geofísicas y Evaluación de daños por la Comisión de Reconstrucción y

APPENDIX II

STUDY OF THE SEISMIC VULNERABILITY OF HUARAZ

Thesis presented for the professional degree of Civil Engineering.

Academic Program of Civil Engineering,
Universidad Nacional de Ingeniería.

Author: Edwin Abel Ordóñez Huamán

Advisor: Dr. Jorge E. Alva Hurtado

RESUMEN

This paper documents the study of the seismic vulnerability of the city of Huaraz in the department of Ancash, Perú as part of Project SISRA (ECOSIS) under the auspices of the Regional Center for Seismology for South America.

Project SISRA (ECOSIS) has as its objective the study of earthquakes which have occurred in the andean area, in order to determine the economic effects which these caused and to implement a methodology for the establishment of a policy against natural disasters in the andean region. The earthquake of 31 May, 1970 was studied as a peruvian case. In this study the effort was concentrated in the city of Huaraz since this is the settlement with the highest population and the one that suffered the most destruction in the peruvian sierra.

In order to determine the seismic vulnerability of Huaraz it was necessary to calculate the seismic hazard, study the characteristics of the subsoil and of the constructions and evaluate the damages caused by the earthquake of 1970.

Curves were drawn for Huaraz, by zones, which relate the seismic intensity with the percentage of damage to adobe buildings, under the conditions which existed before the earthquake. The probable losses of buildings on Huaraz are determined for different periods of seismic exposition, in an attempt to calibrate the model with the real losses in buildings during the earthquake of May 31, 1970, in Huaraz.

After the 1970 earthquake studies of geology, geomorphology, soil mechanics, microtremor measurement, geophysical studies and evaluation of damages were carried out in Huaraz by the Comisión de Reconstruc-

Rehabilitación de la Zona Afectada, CRYRZA. La información disponible fue recopilada, ordenada y completada. También se ubicaron estudios posteriores realizados en Huaraz, llegando a realizar una actualización en este estudio. El primer capítulo presenta la revisión de la información existente.

En el segundo capítulo se evalúa probabilísticamente el peligro sísmico de la ciudad de Huaraz siguiendo la metodología de Cornell, en base a las fuentes sismogénicas propuestas por CASAVARDE y VARGAS. Se utilizó el programa de cómputo RISK. Los parámetros de recurrencia sísmica utilizados son los propuestos en este estudio, llevando a cabo comparaciones con los resultados del cálculo del peligro sísmico con los parámetros propuestos por CASAVARDE y VARGAS.

En el tercer capítulo se actualizan los estudios sobre las condiciones locales del suelo, complementándose con el estudio de microtrepidaciones realizado en este proyecto. También se incluye la microzonificación sísmica propuesta de Huaraz.

En el cuarto capítulo se plantea una metodología de evaluación de daños para edificaciones de adobe en base probabilística. Se consideran niveles de daños y condiciones locales del suelo en relación a los resultados del peligro sísmico de Huaraz en función de intensidades. Finalmente, se presentan las pérdidas probables de edificaciones de adobe para diferentes períodos de exposición, en base a la información disponible.

En el quinto capítulo se exponen las conclusiones del estudio y se presentan las recomendaciones para trabajos similares o complementarios.

ción y Rehabilitación de la Zona Afectada (CRYRZA). All of the available information was compiled and classified. Later studies were also found, by other people, hereby updating the data for this study. The first chapter presents a review of all of the existing information.

In the second chapter, the seismic hazard is evaluated probabilistically for the city of Huaraz according to the methodology of Cornell, on the basis of the seismogenic sources proposed by CASAVARDE and VARGAS. The RISK computation program was used. The parameters of seismic recurrence used are those proposed in this study. A comparison was made with the results of the calculation of seismic hazard using the parameters proposed by CASAVARDE and VARGAS.

In the third chapter, the studies of the local conditions of the soil are updated, with a complementary study of microtremors carried out as part of this project. The microzonation proposed for Huaraz is also included.

In the fourth chapter, a methodology for the evaluation of damage is proposed for adobe buildings, on a probabilistic basis. Levels of damage and local conditions of the soil are considered in relation to the results of the seismic hazard for Huaraz as a function of intensities. The probable losses of buildings of adobe are presented for different periods of seismic exposure, on the basis of available information.

In the fifth chapter the conclusions and recommendations of this study are presented; similar or complementary studies are proposed for the future.

APENDICE III

ESTUDIO DE LA VULNERABILIDAD SISMICA DE LA CIUDAD DE CHIMBOTE

Tesis para optar el Título Profesional de Ingeniero Civil.

Programa Académico de Ingeniería Civil,
Universidad Nacional de Ingeniería.

Autor: Hugo Juan Alberto Barrón Salas

Asesor: Dr. Jorge E. Alva Hurtado

RESUMEN

Este trabajo documenta el estudio de la vulnerabilidad sísmica de la ciudad de Chimbote, en el Departamento de Ancash, Perú, como parte del Proyecto SISRA (ECOSIS), patrocinado por el Centro Regional de Sismología para América del Sur.

El Proyecto SISRA (ECOSIS) tiene como objeto estudiar los terremotos ocurridos en el área andina, para determinar los efectos económicos que éstos ocasionan y poner en práctica una metodología para el establecimiento de una política contra los desastres naturales en la región andina. El sismo del 31 de mayo de 1970 fue estudiado como caso peruano. En este estudio se trata la ciudad de Chimbote, por ser la de mayor población y destrucción en la costa del Perú.

En el primer capítulo se revisa 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. También se presenta la hidrogeología de Chimbote, por ser de interés para el análisis de las condiciones de cimentación de las estructuras.

En el capítulo segundo, en base a la historia sísmica regional y siguiendo la metodología probabilística propuesta por Cornell, se evalúa el peligro sísmico de Chimbote. Se utilizaron las zonas sismogénicas propuestas por CASAVARDE y VARGAS, así como la ley de atenuación de aceleraciones.

El capítulo tercero describe las condiciones locales del suelo en Chimbote. Se exponen las características del subsuelo en forma detallada, separando por comodidad las zonas analizadas en zonas norte, centro y

APPENDIX III

STUDY OF THE SEISMIC VULNERABILITY OF THE CITY OF CHIMBOTE

Thesis presented for the professional degree of Civil Engineer.

Academic Program of Civil Engineering,
Universidad Nacional de Ingeniería.

Author: Hugo Juan Alberto Barrón Salas

Advisor: Dr. Jorge E. Alva Hurtado

SUMMARY

This paper documents the study of the seismic vulnerability of the city of Chimbote, in the department of Ancash, Perú as part of project SISRA (ECOSIS), under the auspices of the Regional Center of Seismology for South America.

Project SISRA (ECOSIS) has as its objective to study the earthquakes which have occurred in the andean area, in order to determine the economic effects which these caused and to implement a methodology to establish a policy against natural disasters in the andean region. The earthquake of May 31, 1970 was studied as a peruvian case. In this study, the city of Chimbote is chosen because it has the greatest population and with the most destruction in the coast of Perú.

In the first chapter, the existing information is reviewed, the seismological characteristics of the earthquake of May 31, 1970 are described, as a brief description of the damages produced by the earthquake is given; the geology of the city and the conditions of the subsoil are also described. The hidrogeology of Chimbote is presented because it is of particular interest for the analysis of the conditions of foundation of the structure.

In the second chapter, on the basis of the regional seismic history and following the probabilistic methodology proposed by Cornell, the seismic hazard of Chimbote is evaluated. The seismogenic zones proposed by CASAVARDE and VARGAS are used as well as the attenuation law for accelerations.

In the third chapter the local conditions of the soil in Chimbote are described. The characteristics of the subsoil are given in a detailed form, separating, for easier handling, the area analysed into north,

sur, para definir como zona de expansión las áreas ocupadas en los últimos años. También se presentan los ensayos de microtrepidaciones realizados en la ciudad, así como la evaluación del potencial de licuación del terreno. Finalmente, en base al análisis de lo anterior, se verifica la microzonación sísmica propuesta por otros investigadores.

En el cuarto capítulo, sobre la vulnerabilidad sísmica de Chimbote, se plantea una metodología de evaluación de daños, donde se definen rangos de construcciones dañadas para diferentes grados de daño en las estructuras y considerando también como factor determinante la condición del suelo. También se desarrolla una metodología que evalúa el potencial de pérdidas probables en construcciones para diferentes intensidades sísmicas, en base al análisis del peligro sísmico y a curvas de relaciones de daño con intensidad sísmica, existentes en la literatura.

Finalmente, el capítulo quinto presenta las conclusiones y recomendaciones del estudio.

central and south zones, in order to define as a zone of expansion the areas which have been settled in the last few years. The measurement of microtremors carried out in the city are also presented, as well as an evaluation of the liquefaction potential of the ground. Finally, based of the analysis of the liquefaction potential, the seismic microzonation proposed by other investigators is verified.

In the fourth chapter, on the seismic vulnerability of Chimbote, a methodology for the evaluation of damage is proposed, where the ranges of damage to constructions are defined for different degrees of damage in the structures, considering also as a determining factor the condition of the soil. A methodology is developed which evaluates the potential of probable losses in constructions, for different seismic intensities, on the basis of the analysis of the seismic hazard and the curves which have been published that relate damage to seismic intensity.

The fifth chapter presents the conclusions and recommendations of this study.

APENDICE IV

RIESGO SISMICO DEL DEPARTAMENTO DE ANCASH

Tesis para optar el Título Profesional de Ingeniero Civil.

Facultad de Ingeniería Civil,
Universidad Nacional de Ingeniería.

Autor: Edgar Miguel Arévalo Stopp

Asesor: Dr. Jorge E. Alva Hurtado

RESUMEN

Este trabajo se llevó a cabo como parte del Proyecto SISRA (ECOSIS), patrocinado por el Centro Regional de Sismología para América del Sur (CERESIS), para determinar la Vulnerabilidad Sísmica de las Ciudades de Huaraz y Chimbote en el Departamento de Ancash, Perú.

Se ha evaluado el peligro sísmico de Huaraz y Chimbote utilizando técnicas probabilísticas. Esta metodología involucra la determinación de fuentes sísmogénicas, las leyes de recurrencia sísmica que gobiernan dichas fuentes y las leyes de atenuación de la energía sísmica para evaluar las intensidades, aceleraciones, velocidades o desplazamientos esperados.

Además, en este trabajo se han extendido las localizaciones de evaluación del peligro sísmico a todo el Departamento de Ancash, utilizando parámetros de recurrencia determinados especialmente. Para ello, se ha revisado completamente la información contenida en los catálogos sísmicos de hipocentros disponibles, produciendo un nuevo catálogo depurado y actualizado.

Por primera vez en el Perú se ha modelado probabilísticamente la falla activa de la Cordillera Blanca y su efecto ha sido comparado con aquellas metodologías que no la consideran. El cálculo del Peligro Sísmico se ha realizado mediante el programa cómputo RISK con los parámetros propuestos en este estudio, comparando los resultados con los resultados que utilizan los parámetros propuestos por CASAVARDE y VARGAS de la Pontificia Universidad Católica del Perú. La falla de la Cordillera Blanca se ha modelado con el programa de cómputo FRISK.

El primer capítulo tiene un carácter introductorio donde se expone de modo general sobre la importancia de los estudios de riesgo sísmico y su aplicación en el diseño sísmo-resistente de las obras de ingeniería

APPENDIX IV

SEISMIC RISK OF THE DEPARTMENT OF ANCASH

Thesis presented for the professional degree of Civil Engineer.

Academic Program of Civil Engineering,
Universidad Nacional de Ingeniería.

Author: Edgar Miguel Arévalo Stopp

Advisor: Dr. Jorge E. Alva Hurtado

SUMMARY

This work was done as part of Project SISRA (ECOSIS) under the auspices of the Regional Center for Seismology for South America (CERESIS). The purpose was to determine the seismic vulnerability of the cities of Huaraz and Chimbote in the Department of Ancash, Perú.

The seismic hazard for Huaraz and Chimbote was evaluated using probabilistic techniques. This methodology involves the determination of seismogenic sources, the laws of seismic recurrence which govern the said sources and the laws of attenuation of the seismic energy to evaluate the intensities, accelerations, velocities or expected displacement.

Furthermore, in this paper the evaluation of the seismic hazard was extended to cover the whole of the Department of Ancash, using parameters of recurrence specially determined. The information contained in the available seismic catalogues for hypocenters was reviewed thoroughly producing a revised and updated catalogue.

For the first time in Perú the active fault of the Cordillera Blanca was probabilistically modelled and its effect was compared with those methodologies which do not take the fault into account. The calculation of the seismic hazard was carried out by the computation program RISK, with the parameters proposed in this study, comparing the results with those based on the parameters proposed by CASAVARDE and VARGAS of the Pontificia Universidad Católica. The Cordillera Blanca fault was modelled with the computation program RISK.

The first chapter is of an introductory character. A general comment is made of the importance of the determination of seismic risk and its application to earthquake resistant design of civil engineering works.

civil. También se presentan los objetivos del estudio.

En el segundo capítulo se presenta un resumen de los principales estudios sobre riesgo sísmico realizados en el Perú, especialmente aquellos que han utilizado técnicas probabilísticas y el programa de cómputo RISK. De cada estudio revisado se presenta la información más relevante, esto es, parámetros de recurrencia, ley de atenuación utilizados y los resultados mismos del estudio.

En el tercer capítulo se documenta la revisión de los catálogos sísmicos de hipocentros del Perú existentes, principalmente el catálogo sísmico de la National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) de los Estados Unidos. La revisión se realizó con la finalidad de verificar la consistencia de los datos, depurar sismos repetidos e incorporar sismos recientes. En base a esta revisión se elaboró en la Universidad Nacional de Ingeniería un catálogo de hipocentros depurado y actualizado hasta 1982 que se denominó: Catálogo Sísmico de Hipocentros ECOSIS-UNI.

En el cuarto capítulo se evalúa probabilísticamente el peligro sísmico de todo el Departamento de Ancash, en base a las fuentes sismogénicas y ley de atenuación de aceleración propuestas por CASAVARDE y VARGAS. El cálculo se realizó con el programa de cómputo RISK con los parámetros de recurrencia propuestos en este estudio. Los resultados se compararon con aquellos que utilizaron los parámetros de recurrencia sísmica de CASAVARDE y VARGAS; los valores de este estudio resultaron mayores.

En el quinto capítulo se revisa la información existente sobre la actividad sísmica de la falla de la Cordillera Blanca; se presentan los resultados de dichos estudios, que han servido para modelar la falla de la Cordillera Blanca como fuente sismogénica lineal.

En el sexto capítulo se evalúa el peligro sísmico ocasionado por la fuente lineal de la falla de la Cordillera Blanca. El cálculo se realizó mediante el programa de cómputo FRISK con una ley de atenuación diferente, en este caso se utilizó la atenuación de aceleraciones de McGUIRE. Se compara la contribución de esta falla con las fuentes sismogénicas anteriores.

Finalmente en el séptimo capítulo se presentan las conclusiones y recomendaciones del estudio. Se recomienda actualizar el catálogo sísmico, reevaluar las leyes de atenuación existentes y continuar estudios neotectónicos de fallas activas.

The objectives of the study are also presented.

In the second chapter, a summary of the principal studies of seismic risks which have been made in Perú is presented, specially those which use probabilistic techniques and the computation program RISK. From each study, thus reviewed, the most relevant information is presented, i.e. the parameters of recurrence, the attenuation laws and the results.

In the third chapter, a revision of all of the existing hypocenter seismic catalogue of Peru was made, principally the seismic catalogue of the National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) of the United States. The revision was carried for the purpose of verifying the consistency of the data, to eliminate repeated earthquakes and to incorporate recent events. On the basis of this revision a catalogue was prepared at the Universidad Nacional de Ingeniería for hypocenters which we consider reviewed and updated, through 1982; this catalog is denominated as the seismic catalogue of hypocenters ECOSIS-UNI.

In the fourth chapter the seismic hazard of all of the Department of Ancash is evaluated probabilistically, on the basis of the seismogenic sources and the law of attenuation of acceleration proposed by CASAVARDE and VARGAS. The calculation was carried out with the RISK program of computation, and with the parameters of recurrence proposed in this study. The results are compared with those which use the parameters of seismic recurrence of CASAVARDE and VARGAS. The values from the present study are higher.

In the fifth chapter, the existing information on the seismic activity of the fault of the Cordillera Blanca was reviewed. The results are presented and they have served to model the fault of the Cordillera Blanca as a lineal seismogenic fault.

In the sixth chapter, the seismic hazard caused by the lineal fault of the Cordillera Blanca is evaluated. The calculation was carried out with the computer program FRISK, with a different attenuation law, in this case the attenuation of acceleration of McGUIRE. The contribution of this fault is compared with other seismogenic sources.

Finally, in the seventh chapter, the conclusions and recommendations are presented. It is recommended that the earthquake catalog be updated periodically; that the existing attenuation laws be revised and that further neotectonic studies be made, of the active faults.

EVALUACION DE LOS EFECTOS DEL TERREMOTO DEL 23 DE
NOVIEMBRE DE 1967, EN SAN JUAN, ARGENTINA

3.1 Introducción

El análisis de los efectos económicos considera los diferentes niveles de peligro sísmico estimados para cada caso y los diferentes tipos de construcciones existentes, comparando cada uno de los modelos obtenidos con los daños reales producidos por terremotos recientes que afectaron dichas áreas. Sin embargo, las características particulares de cada región han obligado a los tres grupos participantes a emplear distintos enfoques metodológicos para dar cumplimiento a ese objetivo. En el caso de la República Argentina (Figura 1) se seleccionó para este estudio una zona de la provincia de San Juan (Figura 2) de aproximadamente 5.000 km² denominada Valle de Tulum, donde se localiza el 89% de la población y más del 90% de toda la actividad económica de dicha provincia.

Esta zona presenta, de acuerdo al relevamiento realizado, un 95,8% de construcciones de un piso. De este total el 58,3% corresponde a construcciones sismo-resistentes y el 39,7% a viviendas de adobe. Además existe una vasta red de caminos, canales de irrigación y agua potable, así como numerosos pozos de extracción de agua subterránea y extensas áreas de cultivo, las que constituyen junto con los establecimientos industriales la principal y casi única fuente de recursos de esta provincia.

3.2 Metodología

El terremoto de San Juan del 23 de noviembre de 1977, que se ha tomado como caso de estudio, afectó tanto a las construcciones edilicias como a esta infraestructura económica. Por tal motivo se han considerado para el análisis de los efectos económicos, todos estos factores en forma conjunta.

La metodología empleada puede resumirse de la siguiente forma:

- 1) Obtención de los diferentes niveles de exposición sísmica para la zona en estudio, en base al conocimiento de las características sismotectónicas de la región y a los parámetros de atenuación del movimiento del suelo.
- 2) Análisis de las condiciones del subsuelo y determinación del potencial de licuación.

EVALUATION OF THE EFFECTS OF THE NOVEMBER 23, 1967
EARTHQUAKE IN SAN JUAN, ARGENTINA

3.1 Introduction

The analysis of the economic effects consider the different levels of estimated seismic hazard for each case and the different types of existing constructions, comparing each of the models obtained with the real damage produced by recent earthquakes which have affected those areas. Nevertheless, the special characteristics of each region have made it necessary that the three participating groups use different methodological approaches in order to achieve this objective. In the case of the Republic of Argentina (Figure 1) a zone in the province of San Juan was selected (Figure 2) of approximately 5,000 km², denominated Valle de Tulum, where 89% of the population is located and more than 90% of all of the economic activity of said province.

This zone presents, in accordance with the survey carried out, some 95.8% of the constructions of one story. Of this total, 58.3% correspond to earthquake resistant constructions and 39.7% to adobe houses. Furthermore there exists a vast network of roads, irrigation canals and watermain, besides wells for the extraction of underground water and extensive areas of cultivated land which constitute, together with the industrial establishments, the principal and almost sole source or resources in this province.

3.2 Methodology

The earthquake of San Juan of November 23th, 1977, which is the event which has been chosen to determine the applicability of the model, affected the urban constructions as well as the above described economic infrastructure. For this reason, all of the factors have been considered as a whole for the analysis of the economic effects.

The methodology employed can be summarized as follows:

- 1) Determination of the different levels of seismic exposure for the zone under study, on the basis of the knowledge of the sismotectonic characteristics of the region and the attenuation parameters for the shaking of the ground.
- 2) Analysis of the conditions of the subsoil and determination of the liquefaction potential.

PROVINCIA DE SAN JUAN
SAN JUAN PROVINCE
UBICACION DE LA PROVINCIA DE SAN JUAN
LOCATION OF SAN JUAN PROVINCE

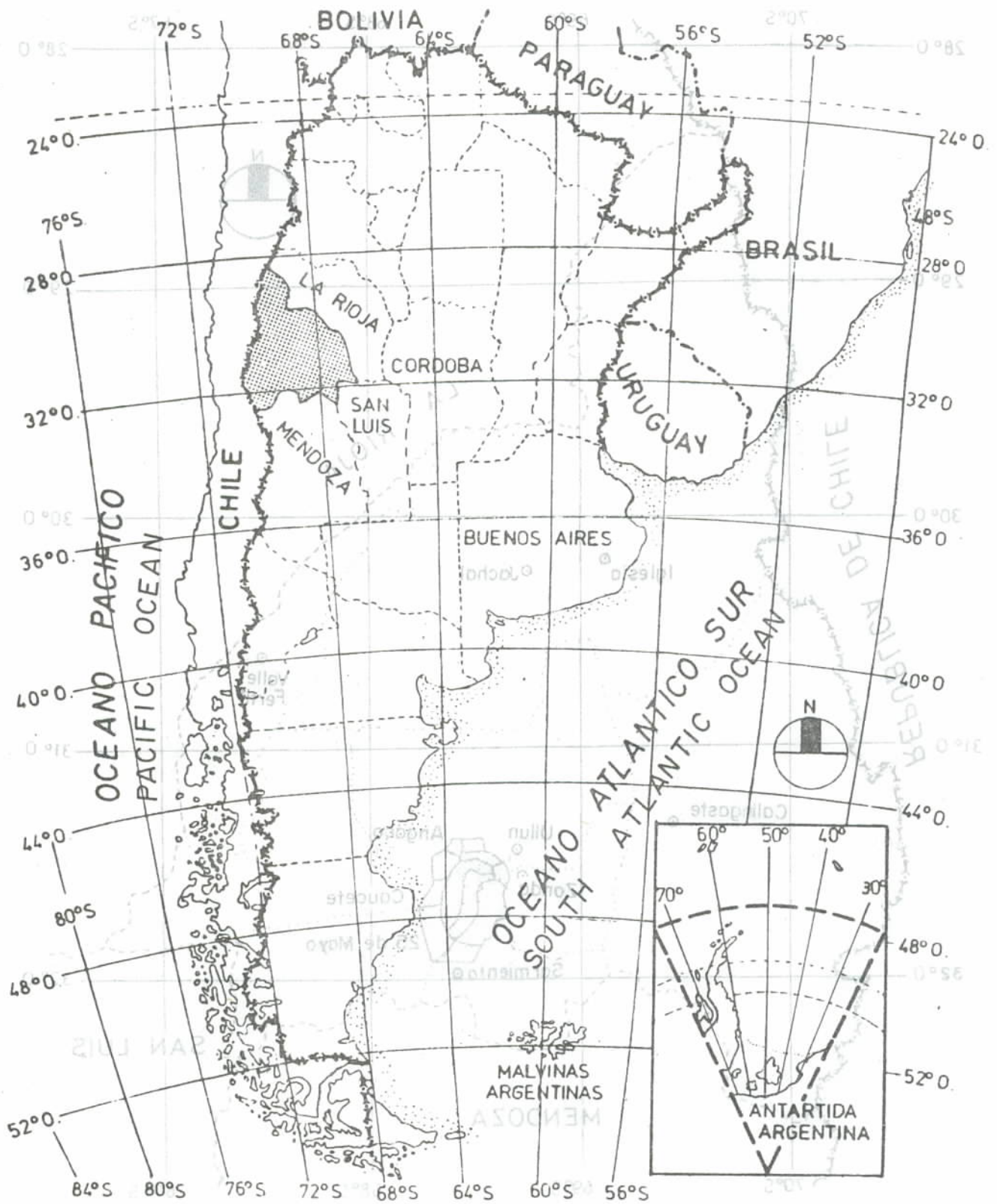


Fig. 1

Fig. 1

PROVINCIA DE SAN JUAN
SAN JUAN PROVINCE
UBICACION DEL AREA BAJO ESTUDIO
LOCATION OF STUDY AREA

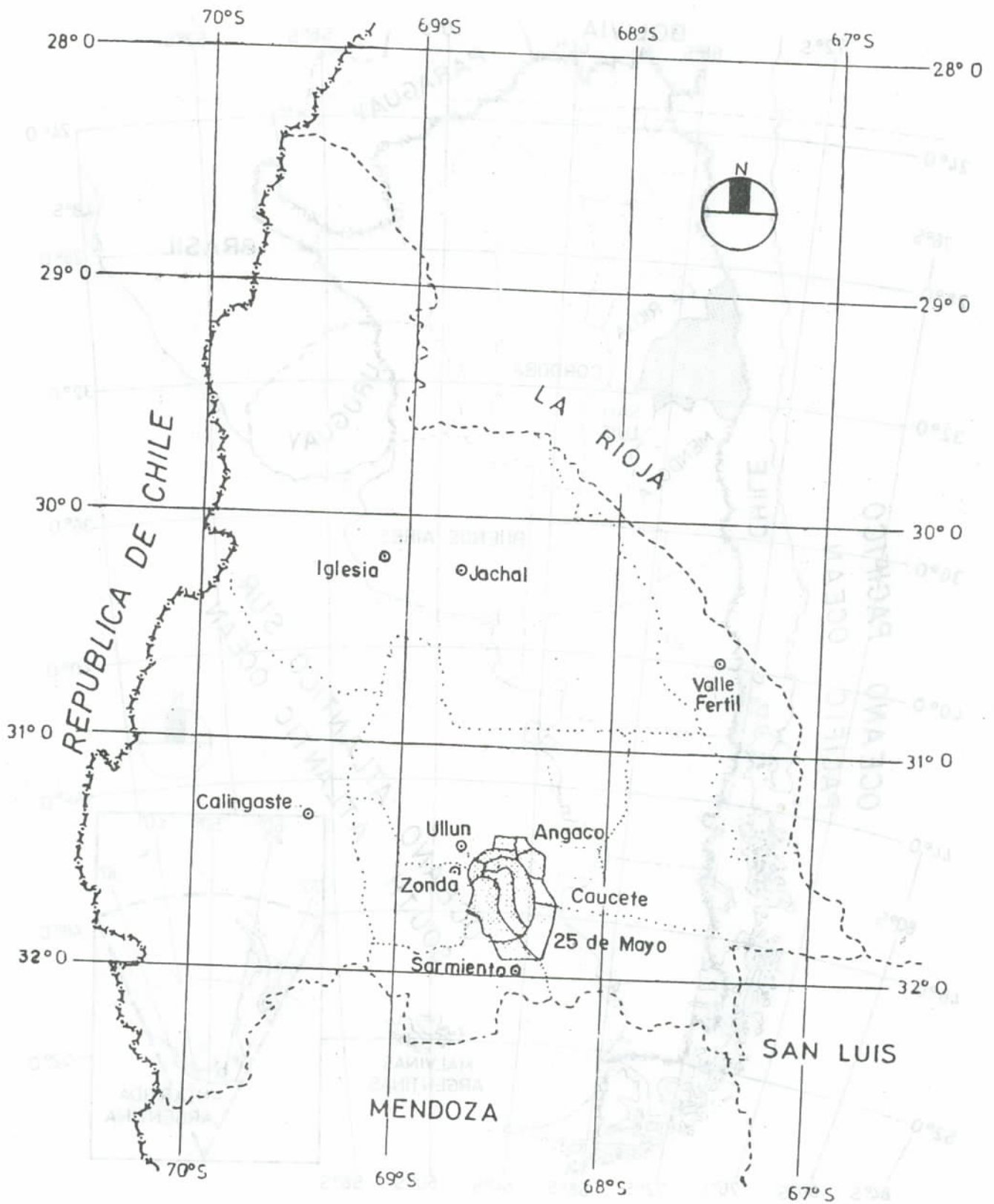


Fig. 2

- Clasificación de las construcciones existentes según su grado de resistencia al sismo, mediante un relevamiento detallado de las mismas.
- 3) Classification of the existing constructions according to their degree of resistance to the earthquake, based on a detailed survey.
- 4) Estimación de las pérdidas probables, para determinados intervalos de tiempo, combinando los resultados obtenidos en los puntos 1, 2 y 3.
- 4) An estimated of the probable losses, for given intervals of time, combining the results obtained in points 1, 2 and 3 above.
- 5) Relevamiento de las pérdidas reales ocasionadas, en el Valle de Tulum, por el terremoto del 23 de noviembre de 1977, incluyendo construcciones edilicias, obras de infraestructura y áreas de cultivo.
- 5) Survey of the real losses in the Valle of Tulum caused by the earthquake of November 23th, 1977, including municipal constructions, infrastructure and cultivated areas.
- 6) Comparación de los resultados obtenidos en el punto anterior con los correspondientes al modelo general del punto 4 y comprobación del grado de exactitud del modelo.
- 6) Comparison of the results obtained above with those corresponding to the general model, point 4, and verification of the degree of exactness of the model.

3.3 Resultados Preliminares

El trabajo se desarrolló inicialmente utilizando toda la información existente, con el agregado de relevamientos específicos para este estudio. Los resultados obtenidos se resumen a continuación:

- a) Fuentes sísmicas potenciales: son las que se muestran en la Figura 3 y cuyos parámetros más importantes se presentan en la Tabla 1.

3.3 Preliminary Results

The study has been developed up to the present using all of the existing information, with the addition of specific surveys. The results obtained are as follows:

- a) Potential seismic sources: those which are shown in figure 3 and whose most important parameters are presented in Table 1.

TABLA 1
TABLE 1

RESUMEN DE FUENTES SISMICAS SEISMIC SOURCE SUMMARY

No.	Nombre de la fuente Source name	Longitud Length	Rumbo Direction	Buzamiento	Terremoto Potencial máximo Earthquake Maximum potential	Recurrencia para la falla (años) Recurrence for the fault (years)
1	Falla de la Caída del Tigre	1.500	N-S	75 E	8	1.600
2	Región de la Precordillera	400	N-S	45 W	7-3/4	7.500
3	Falla del Frente Norte	250	N-S	45 W	7-3/4	3.200
4	Falla de la Precordillera	250	N-S	35 E	7-1/2	400
5	Falla de la Sierra Pie de Palo	60	E-W	90	7-3/4	4.000
6	Falla de Valle Fértil	400	N 70 W	45 E	7-3/4	15.000
7	Zona de Benioff		--	Horizontal	7-1/2	15.500

- b) Condiciones del subsuelo y potencial de licuación: combinando las curvas de distribución en profundidad de la napa freática (Figura 4) con los perfiles del subsuelo (Figura 5) obtenidos en base
- b) Conditions of the subsoil and potential for liquefaction: combining the distribution curves in depth of the water table (Figure 4) with the profiles of the subsoil (Figure 5) obtained on the

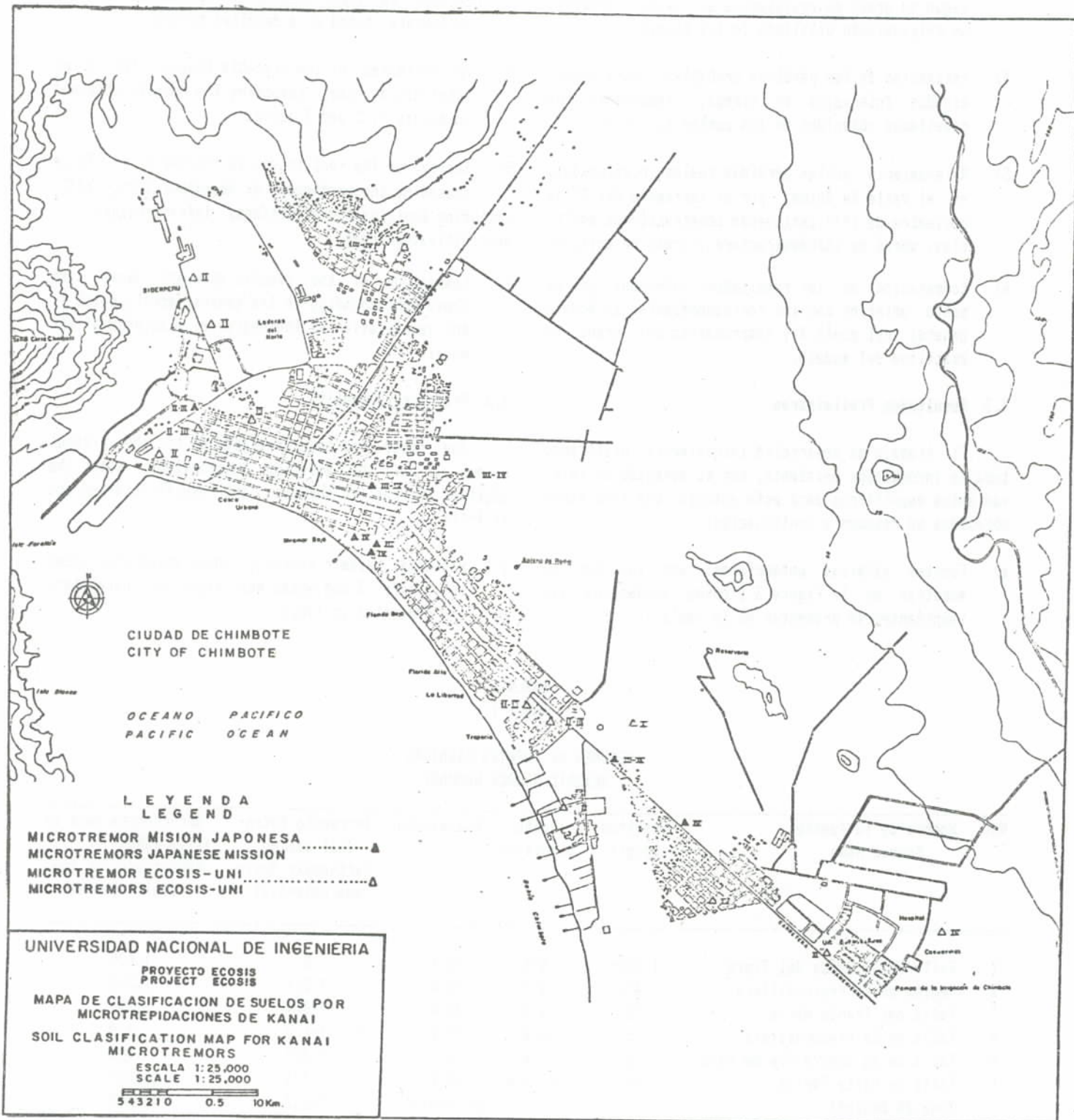


Fig. 3

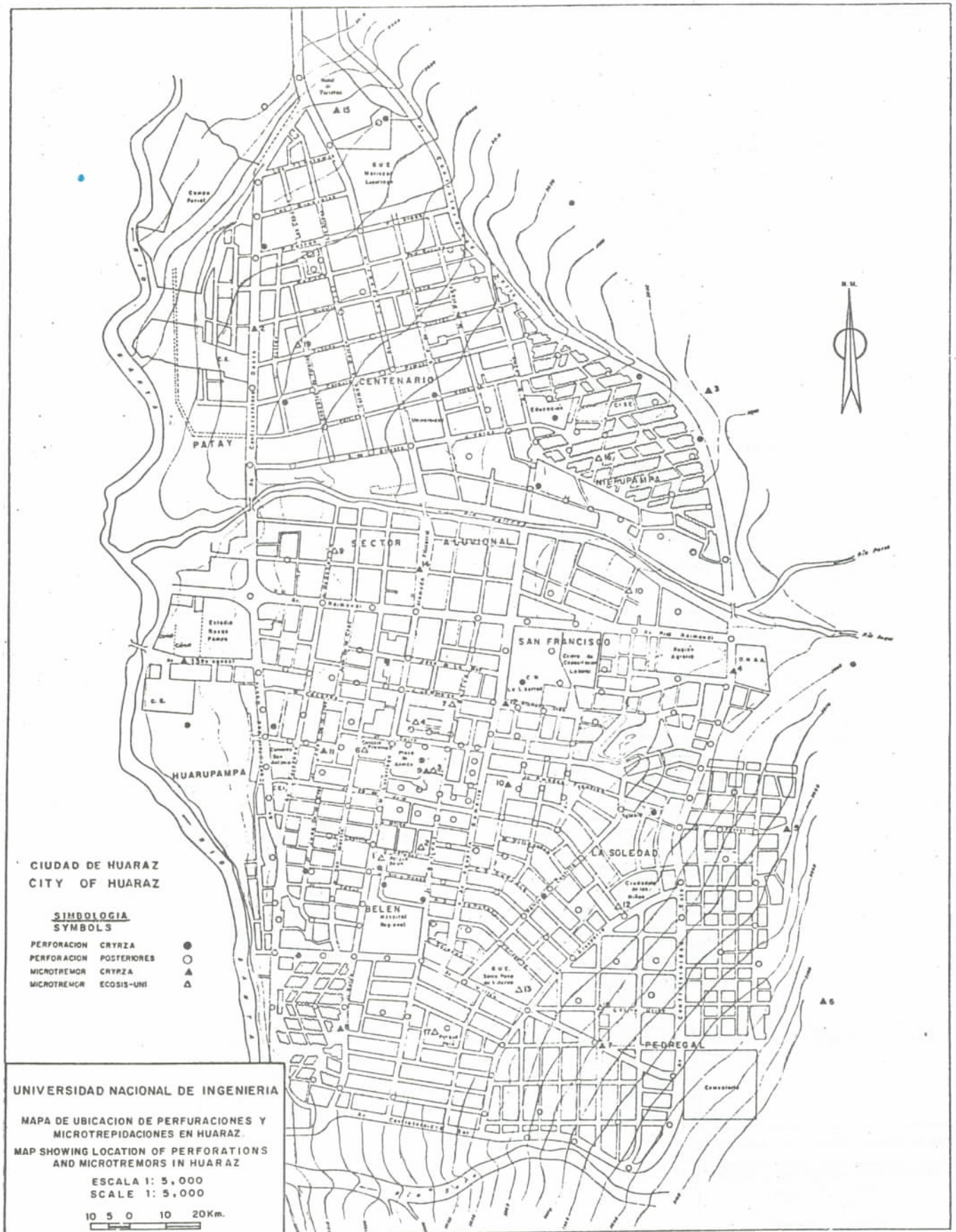


Fig. 4

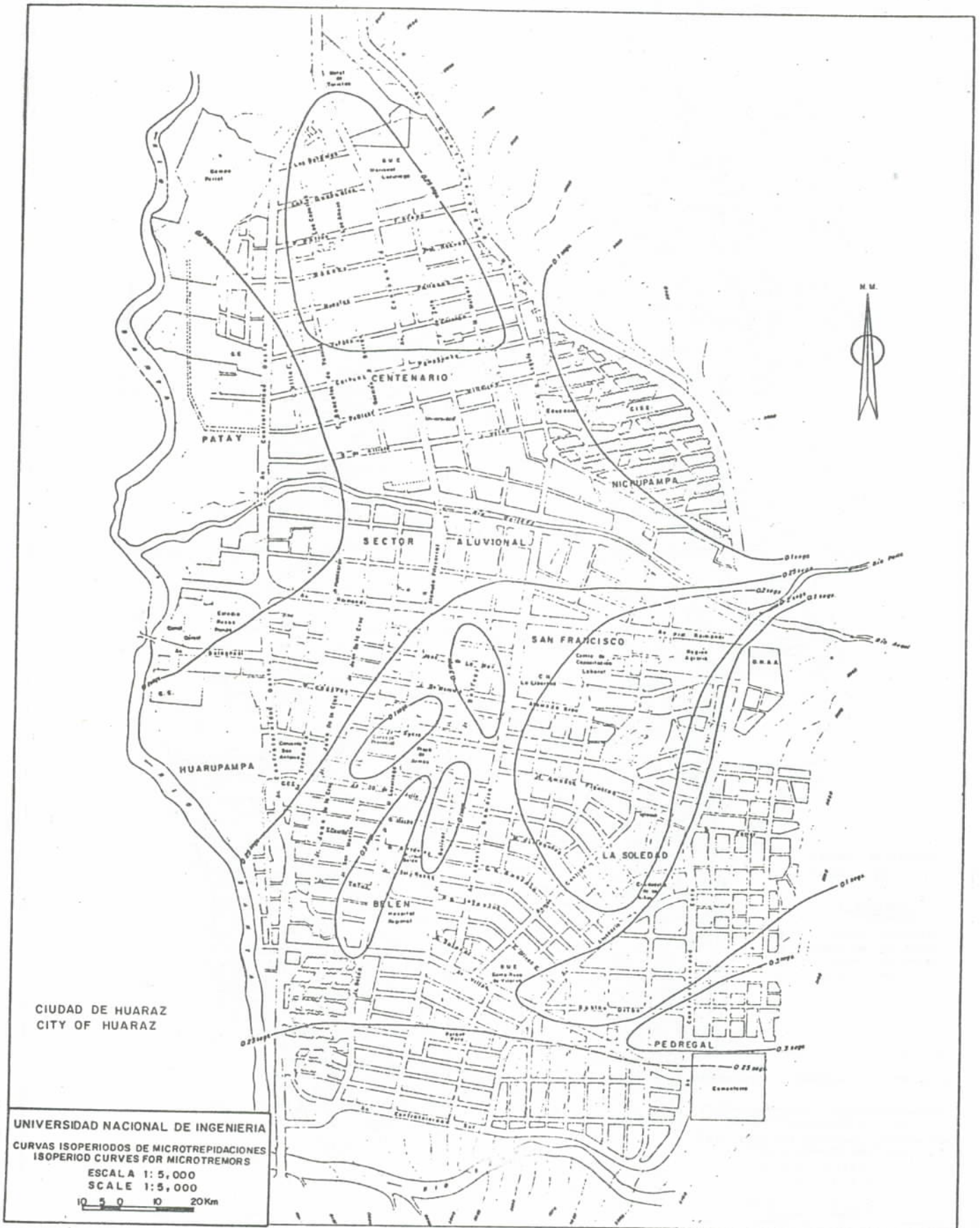


Fig. 5

a perforaciones y estudios geofísicos (Figuras 6 y 7), se obtuvo un mapa del potencial de licuación de la zona en estudio (Figura 8) para las condiciones existentes el 23 de noviembre de 1977.

basis of perforations and geophysical studies (Figure 7), a map of the liquefaction potential for the zone under study was obtained for the conditions existing on November 23th, 1977, (Figure 8).

c) Relevamientos de las construcciones existentes: En la Tabla 2 se presenta la clasificación de 83.683 construcciones según el tipo de material y resistencia al sismo, mientras que en las figuras 9 y 10 se muestran los mismos resultados en forma gráfica.

c) Surveys of existing constructions: Table 2 presents a classification of 83,683 constructions according to the type of material and resistance to the earthquakes; figures 9 and 10 show the same results in a graphic manner.

d) Estimación de las pérdidas potenciales probables (PPL): se usó la siguiente relación:

d) An estimate of the probable potential losses (PPL): the following relation was used:

$$PPL = \sum_j B_j \cdot ED_j \cdot C_j$$

siendo:

where:

B_j = número de edificios del tipo j

B_j = is the number of buildings of type j

ED_j = daño esperado para edificios del tipo j

ED_j = expected damage for buildings of type j

C_j = razón de costo equivalente

C_j = ration of equivalent cost

costo promedio por metro cuadrado de edificación tipo j

average cost per square meter of building of type j

= $\frac{\text{costo promedio por metro cuadrado de edificación tipo j}}{\text{costo promedio por metro cuadrado de edificación de mampostería sismo-resistente}}$

= $\frac{\text{average cost per square meter of building of type j}}{\text{average cost per square meter of building of earthquake resistant masonry}}$

El daño esperado se obtuvo como:

The expected damage was obtained as

$$ED_j = \sum_{\text{todas } i} P(\text{IMM}=i) \cdot DR_j \cdot S$$

donde:

where:

$P(\text{IMM}=i)$ = probabilidad de ocurrencia de una IMM=i

$P(\text{IMM}=i)$ = probability of occurrence of an IMM=i

DR_j = razón de daño para un edificio de tipo j

DR_j = damage ratio for a building of type j

S = factor de influencia del suelo

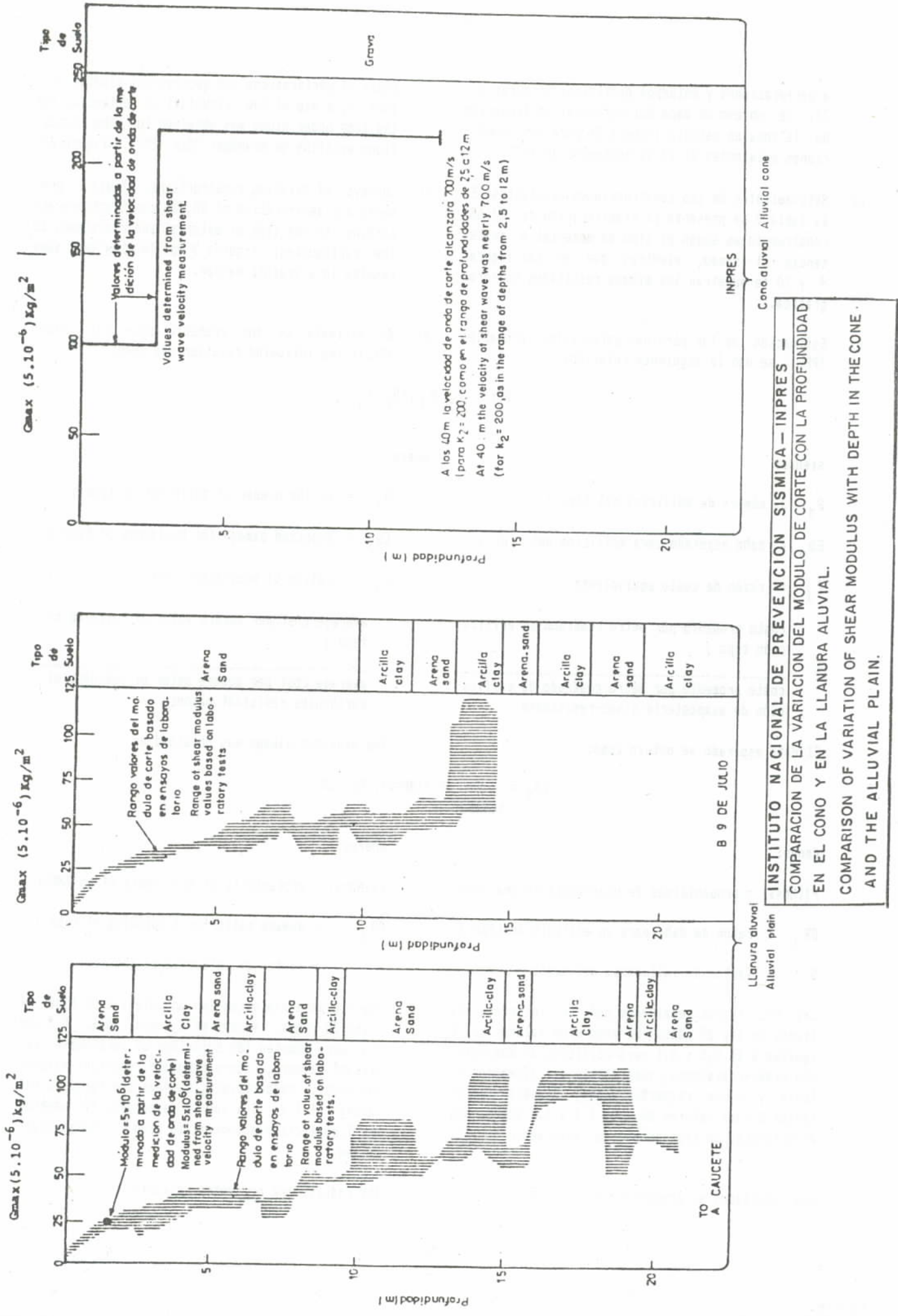
S = factor of influence of the soil

Las PPL fueron evaluadas por un intervalo de tiempo de 1 y 25 años. Se adoptaron valores de C_j iguales a 1; 0,5 y 0,1 para edificios de mampostería sismo-resistente, mampostería no sismo-resistente y adobe respectivamente, mientras que el factor S toma valores de 1,2; 1,1 y 1,0 según sea el potencial de licuación alto, intermedio o bajo.

The PPL were evaluated for an interval of time of 1 and 25 years. Values of C_j equal to 1, 0.5 and 0.1 were adopted for buildings of earthquake resistant masonry, non-earthquake resistant masonry and adobe, respectively, whereas the factor S has values of 1,2; 1,1 and 1,0 according to whether the liquefaction potential is high, intermediate or low.

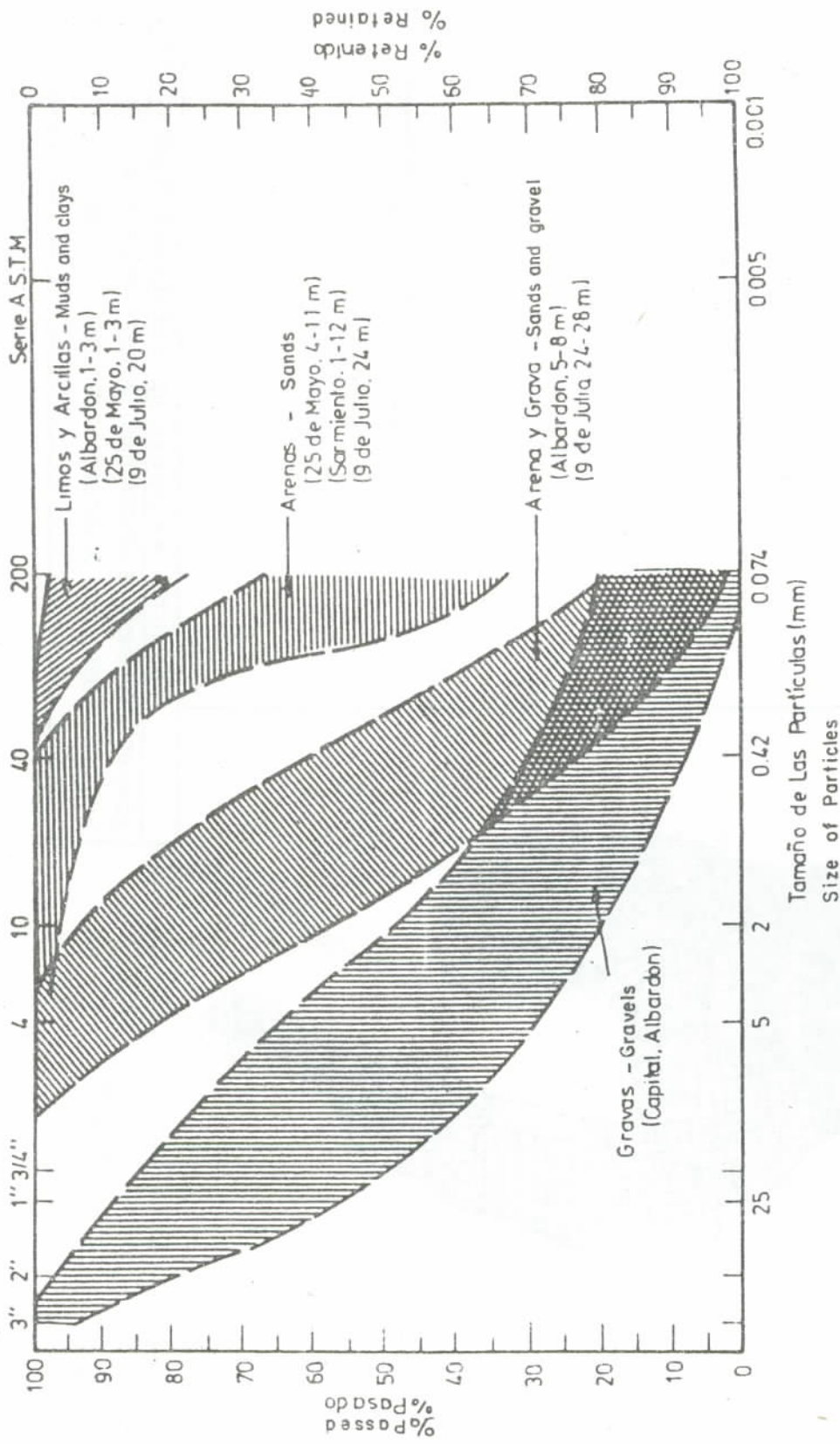
Los resultados se presentan en la Tabla 3.

The results are presented in Table 3.



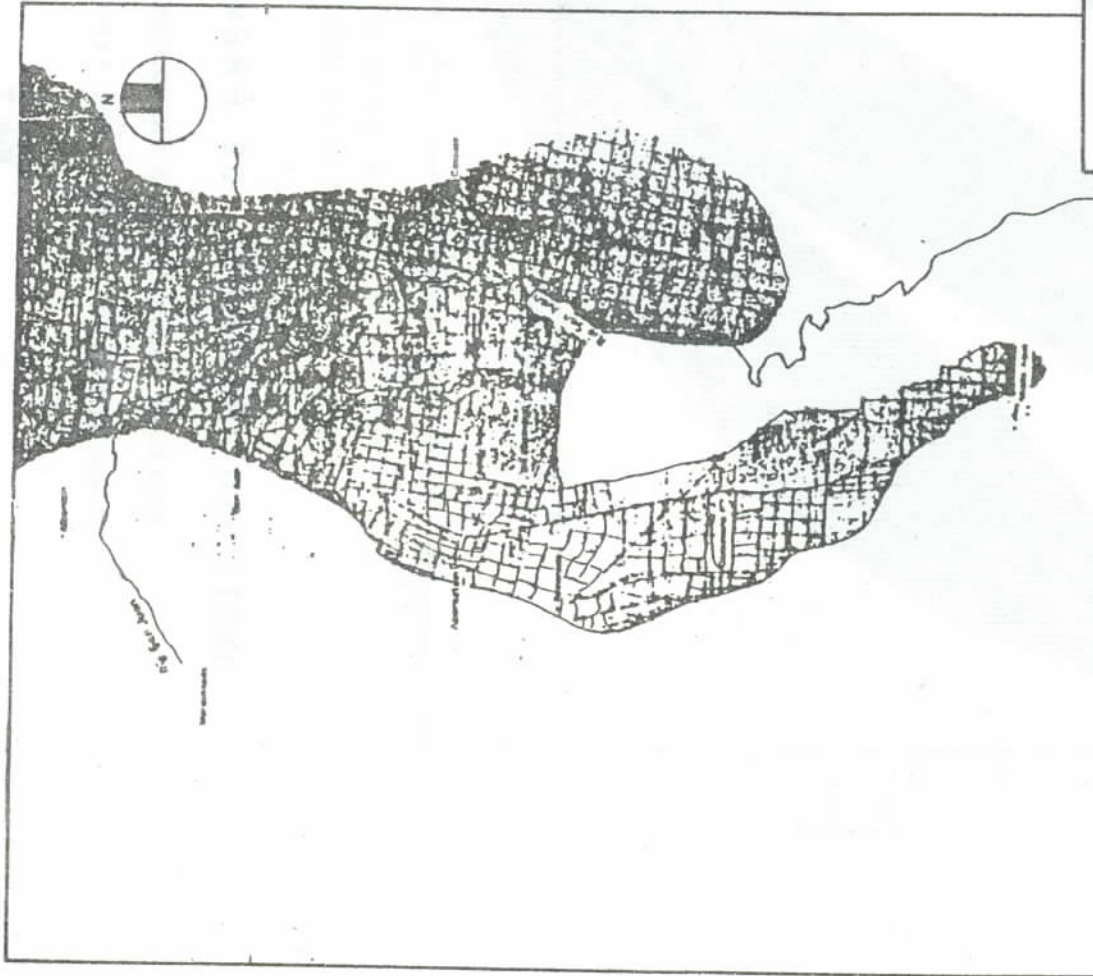
INSTITUTO NACIONAL DE PREVENCIÓN SISMICA — INPRES —
 COMPARACION DE LA VARIACION DEL MODULO DE CORTE CON LA PROFUNDIDAD
 EN EL CONO Y EN LA LLANURA ALUVIAL.
 COMPARISON OF VARIATION OF SHEAR MODULUS WITH DEPTH IN THE CONE
 AND THE ALLUVIAL PLAIN.

Fig. 6



INSTITUTO NACIONAL DE PREVENCIÓN SISMICA — INPRES —
 VALLE DE TULUM : RANGOS GRANULOMETRICOS PARA MATERIALES TÍPICOS
 GRANULOMETRIC RANGES FOR TYPICAL MATERIALS

Fig. 7



REFERENCIAS
REFERENCES

Zona con una probabilidad de ocurrencia de licuefacción mayor del 50% durante el terremoto de 1977

Zone with a probability of liquefaction occurrence greater than 50% during the 1977 earthquake.



0 5 10 20 Kilómetros

INSTITUTO NACIONAL DE PREVENCIÓN SISMICA - INPRES

ZONA DE OCURRENCIA DE LICUEFACCION PRONOSTICADA PARA EL TERREMOTO DEL 23/11/1977

ZONE OF LIQUEFACTION OCCURENCE PREDICTED FOR THE 23/11/77 EARTHQUAKE.

Fig. 8

REFERENCIAS
REFERENCES



DE MAMPOSTERIA SISMO RESISTENTE
EARTHQUAKE-RESISTANT MASONRY



DE MAMPOSTERIA NO SISMO RESISTENTE
NON EARTHQUAKE-RESISTANT MASONRY



DE ADOBE
ADOBE



DE OTRO TIPO
OTHER TYPES



SUPERFICIE : $1\text{cm}^2 = 10$ CONSTRUCCIONES
SURFACE : $1\text{cm}^2 = 10$ BUILDINGS



LOCALIDADES
LOCATIONS



GRAN SAN JUAN
GREATER SAN JUAN



INSTITUTO NACIONAL DE PREVENCION SISMICA - INPRES

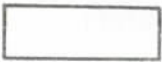
VALLE DE TULUM : CONSTRUCCIONES SEGUN EL TIPO DE MATERIAL Y RESISTENCIA
A LOS SISMOS
BUILDINGS ACCORDING TO TYPE OF MATERIAL AND RESISTANCE TO EARTHQUAKES

Fig.9

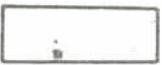
REFERENCIAS
REFERENCES



DE MAMPOSTERIA SISMO RESISTENTE
EARTHQUAKE RESISTANT MASONRY



DE MAMPOSTERIA NO SISMO RESISTENTE.
NON EARTHQUAKE - RESISTANT MASONRY



DE ADOBE
ADOBE



DE OTRO TIPO
OTHER TYPES



SUPERFICIE : $1\text{cm}^2 = 100$ CONSTRUCCIONES
SURFACE : $1\text{cm}^2 = 100$ BUILDINGS



INSTITUTO NACIONAL DE PREVENCION SISMICA - INPRES

GRAN SAN JUAN : CONSTRUCCIONES SEGUN EL TIPO DE MATERIAL Y RESISTENCIA
A LOS SISMOS
BUILDINGS ACCORDING TO TYPE AND RESISTANCE TO EARTHQUAKES

Fig. 10

TABLE 2 - CLASSIFICATION OF CONSTRUCTIONS ACCORDING TO TYPE OF MATERIAL AND RESISTANCE TO EARTHQUAKES

DEPARTAMENTO COUNTY	LOCALIDAD LOCALITY	MAESTRERIA (MASONRY)			ADOBES			DE OTROS TIPOS (OTHER TYPES)			TOTAL GENERAL
		Sismo-resistente Earthquake resistant		Subtotal (1)	Sismo-resistente Earthquake resistant		Subtotal (2)	Sismo-resistente Earthquake resistant		Subtotal (3)	
		Cant.	de (3)		Cant.	de (3)		Cant.	de (3)		
01 Alibardón	Va. San Martín	43,242	59.3	2	59.3	164	40.2	2	40.2	408	
	Calle La Laja	189	34.5	2	34.9	345	63.1	11	75.9	547	
	Las Lomas	14	9.	2	10.3	138	88.4	2	90.6	156	
02 Angaco	Va. Sefar Talacasto	42	22.8	0	22.8	142	77.2	0	77.2	184	
	Va. El Salvador	293	71.5	1	71.7	110	28.3	0	28.3	410	
	Don Bosco	3,835	97.9	0	97.9	81	2.1	0	2.1	3,916	
04 Capital	Gran San Juan 1	4,576	82.4	47	4,843	931	16.7	5	21.4	5,579	
	Gran San Juan 2	5,929	66.8	101	6,030	32	0.3	3	3.6	8,870	
	Gran San Juan 3	4,188	66.9	26	4,214	2,036	32.5	2	34.7	6,259	
	Gran San Juan 4	3,540	57.5	170	3,710	37.5	1.5	44	46.0	4,259	
	Gran San Juan 5	2,187	59.1	0	59.1	157	40.7	0	40.7	6,190	
05 Caucaete	Ciudad de Caucaete	2,187	59.1	0	59.1	157	40.7	0	40.7	3,701	
	Va. Independencia	26	14.1	0	14.1	157	85.3	1	86.4	184	
06 Chibabas	Gran San Juan 1	1,765	48.5	0	48.5	1,707	46.9	24	51.4	3,641	
	Gran San Juan 2	1,734	44.4	65	1,799	2,101	53.8	1	54.9	3,901	
	Gran San Juan 3	124	22.2	6	23.3	428	76.5	1	77.6	559	
	Las Charritas	48	17.5	0	17.5	226	82.5	0	82.5	274	
09 9 de Julio	Va. 9 de Julio	258	69.7	0	69.7	112	30.3	0	30.3	370	
	Va. 9 de Julio	191	18.2	0	18.2	854	81.7	1	83.4	1,046	
10 Pocito	Va. Aberastain	576	40.2	0	40.2	852	59.4	6	65.4	1,434	
	La Rinconada	115	39.0	0	39.0	172	60.0	1	61.1	295	
	Carpintería	82	37.1	2	37.1	137	62.0	2	64.0	221	
	Gran San Juan	8,530	54.9	268	8,798	6,725	43.3	22	65.3	15,547	
12 Rivadavia	Gran San Juan	2,063	54.5	118	2,181	1,605	42.4	2	44.4	3,788	
	Gran San Juan	1,290	45.6	48	1,338	1,490	52.6	2	54.6	2,830	
	Gran San Juan	1,727	55.4	260	1,987	1,129	36.2	1	37.3	3,117	
	Gran San Juan	42	29.2	0	29.2	102	70.8	0	70.8	144	
13 San Martín	San Isidro	29	20.7	0	20.7	107	76.4	4	80.8	140	
	Don Bosco	190	60.7	0	60.7	109	34.8	14	48.8	313	
14 Santa Lucía	Gran San Juan	3,578	56.2	91	3,669	2,689	42.3	7	49.3	6,365	
	Alto de Sierra	181	24.9	0	24.9	542	75.1	0	75.1	728	
15 Sarriente	Ciudad de Sarriente	56	50.9	0	50.9	54	49.1	0	49.1	110	
	Los Berros	171	35.9	0	35.9	295	61.8	11	76.8	477	
	Va. Gral. Sarriente	347	48.5	0	48.5	362	51.3	1	52.4	715	
18 25 de Mayo	Va. Santa Rosa	193	49.4	2	49.9	194	49.6	2	51.6	391	
	Va. Borjas	262	59.4	6	60.8	171	31.8	1	32.9	441	
	La Chibabera	125	29.	0	29.	301	69.7	2	71.7	632	
TOTAL		48,777	59.3	1,364	50,141	33,255	39.7	233	40.0	82,683	

TABLE 3 - PERDIDAS POTENCIALES PROBABLES
TABLE 3 - PROBABLE POTENTIAL LOSSES

Departamento County	Localidad Locality	Mamposteria (Masonry)				Adobe				P.P.L.	
		Sismo-resistente Earthquake resistant		No sismo-resistente No earthquake resistant		E.D. I		E.D. I		1 año 1 year	25 años 25 years
		No. Edif. Number of buildings	E.D. I 1 año(year) 25 años(years)	No. Edif. Number of Buildings	E.D. I 1 año(year) 25 años(years)	No. Edif. Number of Buildings	E.D. I 1 año(year) 25 años(years)	No. Edif. Number of Buildings	E.D. I 1 año(year) 25 años(years)		
Santa Lucía	Va. San Martín	242	0.4	6.6	2	3.2	45.0	6.3	63.9	2.0	26.9
	Calle La Laja	189	0.4	6.4	2	3.1	44.0	6.2	62.6	2.9	34.1
	Las Loaitas	14	0.4	6.3	2	3.0	43.6	6.1	62.2	0.9	9.9
Angaco	Sefair-Talacasto	42	0.4	6.3	-	-	-	6.2	62.7	1.1	11.6
	Va. El Salvador	239	0.4	6.3	1	3.1	43.8	6.2	62.5	1.9	25.9
Capital	Gran San Juan 1	3,835	0.3	5.8	-	-	-	5.5	55.8	12.0	226.9
	Gran San Juan 2	4,596	0.3	5.8	47	2.8	39.5	5.5	55.8	19.6	327.8
	Gran San Juan 3	5,929	0.3	5.8	101	2.8	39.5	5.5	55.8	34.8	522.1
	Gran San Juan 4	4,185	0.3	5.8	26	2.8	39.5	5.5	55.8	24.1	361.6
	Gran San Juan 5	3,560	0.3	5.8	170	2.8	39.5	5.5	55.8	25.8	369.6
Cauce	Ciudad de Cauce	2,187	0.2	3.4	-	-	-	5.0	41.7	11.9	137.2
	Va. Independencia	26	0.3	4.1	-	-	-	5.3	46.7	0.9	8.4
Chibabas	Gran San Juan 1	1,764	0.3	5.8	146	2.8	39.5	5.5	55.8	16.7	226.4
	Gran San Juan 2	1,734	0.3	5.8	65	2.8	39.5	5.5	55.8	17.7	230.6
	Gran San Juan 3	124	0.3	5.8	6	2.8	39.5	5.5	55.8	2.8	32.3
9 de Julio	Las Charritas	48	0.4	6.2	-	-	-	6.1	61.6	1.6	16.9
	Va. 9 de Julio	258	0.3	4.7	-	-	-	5.5	50.5	1.4	17.8
Pocito	Gran San Juan	191	0.3	5.8	-	-	-	5.5	55.8	5.3	59.7
	Va. Aberastain	576	0.4	6.7	-	-	-	6.0	62.5	7.4	91.8
	La Rinconada	115	0.4	6.7	2	3.1	-	6.0	62.5	1.6	19.6
	Carpintería	82	0.3	5.4	-	-	-	5.7	52.5	1.0	11.6
	Gran San Juan	8,530	0.3	5.8	288	2.8	39.5	5.5	55.8	66.3	922.9
Rivadavia	Gran San Juan	2,063	0.3	5.8	118	2.8	39.5	5.5	55.8	16.7	232.5
	Gran San Juan	1,290	0.3	5.8	48	2.8	39.5	5.5	55.8	12.7	167.4
	Gran San Juan	1,727	0.3	5.8	280	2.8	39.5	5.5	55.8	15.0	214.5
San Martín	Dos Aceguas	42	0.4	6.4	-	-	-	6.2	62.7	0.8	9.1
	San Isidro	29	0.3	5.9	-	-	-	5.9	59.4	0.7	8.1
	Don Bosco	190	0.3	5.3	-	-	-	5.7	55.5	1.2	16.1
Santa Lucía	Gran San Juan	3,578	0.3	5.8	91	2.8	39.5	5.5	55.8	26.8	375.5
	Alto de Sierra	181	0.4	6.6	-	-	-	6.3	64.2	4.2	47.1
Sarriento	Cieneguita	56	0.3	5.1	-	-	-	5.0	50.7	0.4	5.6
	Los Berros	171	0.3	5.1	-	-	-	5.0	50.7	2.0	23.7
	Va. Gral. Sarriento	347	0.2	3.7	-	-	-	5.0	40.1	2.5	27.6
25 de Mayo	Va. Santa Rosa	193	0.2	2.9	2	2.0	23.4	4.7	37.1	1.3	13.0
	Va. Borjas	262	0.2	2.7	6	1.9	21.6	4.5	34.5	1.4	13.6
	La Chiabera	125	0.2	2.2	1	1.7	18.4	4.4	30.5	1.6	12.0
TOTAL		49,777			1,364			33,255		347.1	4,851.5

3.4 Relevamiento de las pérdidas reales

3.4.1 Introducción

Las principales características de la provincia de San Juan son:

- Monocultivo
- Minifundio
- Una población de 465.976 habitantes (Censo 1980)
- Una superficie de 9.500.000 Has.

El 98% de la población vive en un área que representa el 2% del total de la provincia, denominada Valle de Tulúm.

De su superficie, únicamente se puede disponer de un área cultivable potencial de 150.000 Has. Esto hace que el 98% del área total sea considerada desértica. De esas 150.000 Has. potencialmente cultivables, en la actualidad se explotan 100.000 Has. de las cuales sólo se encuentran bajo riego efectivo un poco más del 60%.

Del P.B.I. el 26% pertenece al sector agropecuario, del cual casi el 80% corresponde a la viticultura. Asimismo, la industria contribuye al P.B.I. con el 20%, de éste un 75% pertenece a la industria vitivinícola.

3.4.2 Efectos sobre la estructura productiva provincial

Han resultado parcial o totalmente afectados los elementos de infraestructura económica y social que se analizarán en detalle más adelante, tales como Red de Riego, Red Energética, Vías de Comunicación, Cultivos Permanentes y Anuales, Establecimientos Industriales, Vivienda Rural, Establecimientos Mineros, etc.

3.4.2.1 Vías de comunicación

Resultaron afectadas en mayor o menor grado las rutas provinciales y nacionales pavimentadas ubicadas en las áreas en las que el movimiento sísmico alcanzó las mayores intensidades (VIII y IX).

Como ha ocurrido durante otros terremotos (Guatemala, 1976) resultó muy difícil distinguir entre los efectos debido sólo a los aspectos vibratorios de los que obedecen puramente a las características de los suelos existentes en la zona afectada.

Las características principales de los daños a las carreteras pavimentadas se manifestaron en depresiones, sobrelevaciones y principalmente grietas de variados tamaños. Estas últimas consistieron generalmente en

3.4 Statistics of losses

3.4.1 Introduction

The principal characteristics of the province of San Juan are:

- One type of crop
- Small parcels
- A population of 465,976 inhabitants (1980 Census)
- An area of 9,500,000 hectares (H).

98% of the population lives in an area denominated Valle de Tulum, which is only 2% of the total area of the province.

On the total area, only 150,000 H. are arable land. Thus 98% of the area can be considered a desert. Of the 150,000 H. which are potentially arable, 100,000 H. are being exploited at present, of which slightly more 60% is under effective irrigation.

26% of the gross internal product corresponds to the cattle and agricultural sector, of which almost 80% is viticulture.

3.4.2 Effects on the productive structure of the province

The elements of the economic and social infrastructure which will be analyzed in detail below were partially or totally affected; these include roads, the irrigation system, energetic supply, permanent and annual crops, industrial and commercial establishments, rural housing, mining establishments, etc.

3.4.2.1 Roads

To a greater or lesser degree, the provincial and national paved roads located in areas in which the seismic shaking reached greater intensities (VIII and IX) were damaged.

As has happened during other earthquakes (Guatemala, 1976), it became very difficult to distinguish between the effects due solely to shaking from those which are caused by the characteristics of the existing soil in the affected zones.

The principal characteristics of the damages to paved roads were evident by subsidence, rises and principally by cracks of diverse sizes. The latter consisted generally of vertical crevices in a longi-

grietas verticales de dirección longitudinal, provocadas por el deslizamiento lateral del terraplén, en la mayoría de los casos en coincidencia con la existencia de un desagüe o dren construido junto al camino y que sigue su trazado. Este tipo de daño es común en terraplenes construidos sobre suelos finos de poca densidad y húmedos (o saturados).

Las zonas más afectadas fueron los departamentos de Angaco, San Martín, Caucete, 25 de Mayo, y en menor grado Sarmiento y Pocito.

Las consecuencias de los daños a las carreteras fueron el aislamiento de algunas zonas, lo que se solucionó en forma rápida mediante medidas de emergencia. Con fecha 26/11/77 quedó habilitada en forma precaria la última ruta.

La incidencia económica directa se tradujo en la necesidad de restituir las rutas a las condiciones de transitabilidad que tenían antes del sismo.

Si se observa en conjunto la Figura 11 en la que se representa la zona en que se comprobó la ocurrencia de licuefacción de suelos y la red vial pavimentada de la provincia con las rutas afectadas por el terremoto, se deduce inmediatamente que los tramos de los caminos que sufrieron deterioros se ubican justamente en zonas en las que se produjo el fenómeno mencionado.

En la Tabla No. 4 se detallan las calles o rutas por departamento, indicándose: su longitud total, dentro de la zona con alto potencial de licuefacción, la del tramo afectado, el porcentaje a reparar de ese tramo y su incidencia en la longitud total de la ruta, y los costos de reparación en dólares estadounidenses a valores de diciembre de 1977.

También se indican la intensidad MM para el terremoto del 23/11/77 de la zona en donde se ubica el tramo afectado y si se verificó o no licuefacción de suelos.

Con el fin de definir un indicador que permita cuantificar el daño debido a sismos en este tipo de obras debemos tener en cuenta: a) la longitud total, l , del tramo de camino ubicado dentro de la zona de alto potencial de licuefacción; b) la longitud, l , del tramo afectado, que será menor o a lo sumo igual a l ; c) la longitud o porcentaje p a reparar del mencionado tramo y d) el tipo de reparación a efectuar, la que está directamente relacionada con la magnitud del daño sufrido. En relación al punto d) hemos establecido la siguiente clasificación de reparaciones:

tudinal direction, caused by the lateral sliding of the embankment, in most of the cases coinciding with the existence of a canal or drainage ditch built next to the road and following its contours. This type of damage is common in embankments of fine soil, of low density and humid (or saturated).

The most affected zones were the departments of Angaco, San Martín, Caucete, 25 de Mayo and, to a lesser degree, Sarmiento and Pocito.

The main consequence of the damage to the roads was the isolation of certain zones, a problem which was solved very quickly by emergency measures. As of November 26th, 1977 the last interrupted road was opened although precariously.

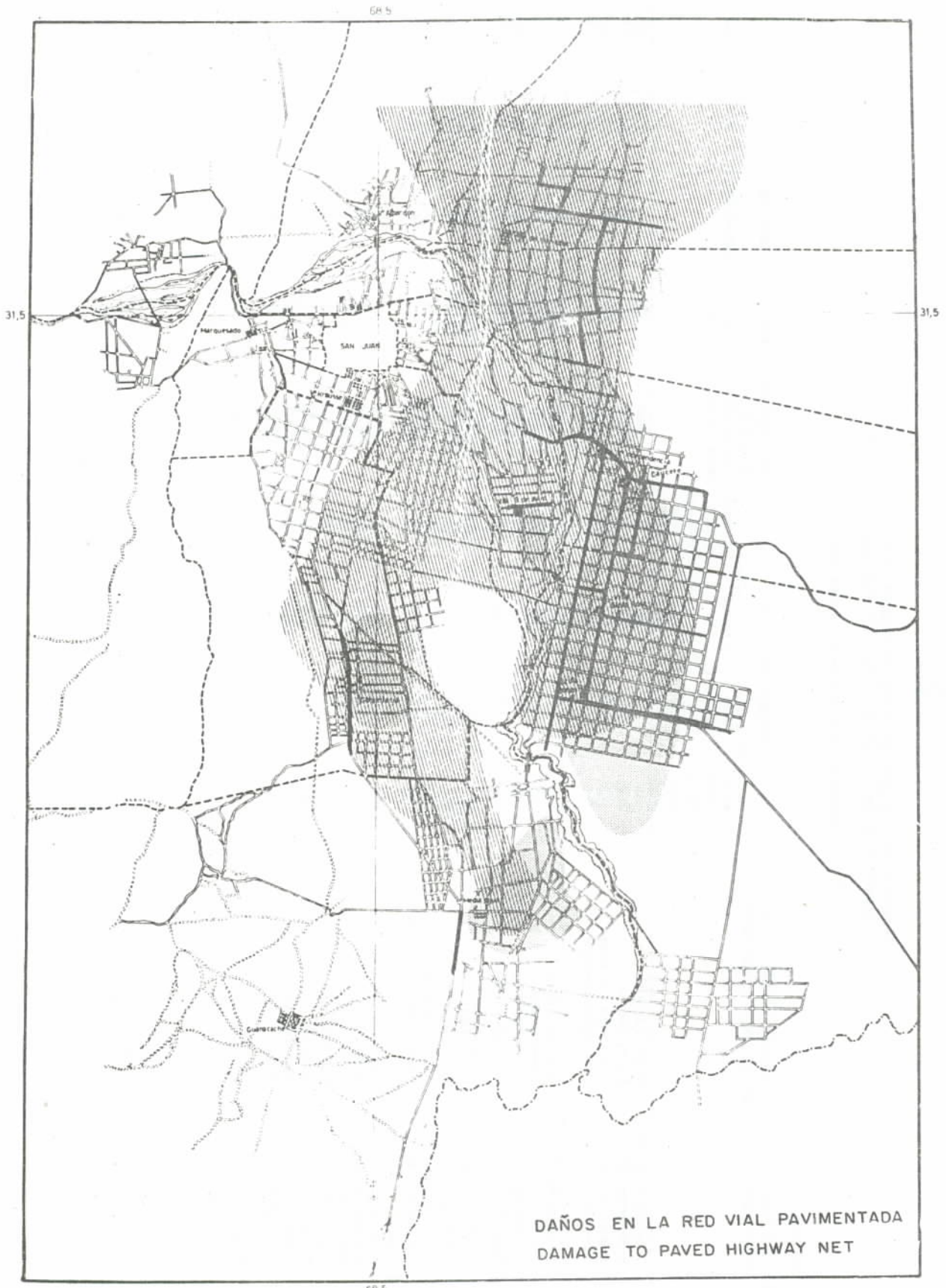
The direct economic incidence was the necessity to restore the roads to the travel conditions which they had before the earthquake.

If one observes figure 11 as a whole, which shows the zone where liquefaction of soils took place as well as the paved road system of the provinces and the routes affected by the earthquake, it is evident that the segments of the road which suffered deterioration are located exactly where the liquefaction occurred.

Table 4 details the streets or roads by department, indicating: total length, within the zone with a high potential for liquefaction; length of the affected segment, the percentage of the segment to be repaired and its incidence in the total length of the road, as well as the cost of repair in U.S. dollars of December 1977.

The intensity MM also is indicated for the earthquake of November 23th, 1977 in the zone where each affected segment is located, whether or not liquefaction of soil was observed.

In order to define an indicator which allows for the quantification of the damage due to earthquakes on this type of construction one must bear in mind: a) the total length l , of the segment of the road located within the zone of high potential for liquefaction, b) the length, l , of the affected segment which will be less or at the most equal to l ; c) the length or percentage p to be repaired in the mentioned segment and d) the type of repair to be affected, which is directly related with the magnitude suffered. In regard to point d) we have established the following classification for repairs:



DAÑOS EN LA RED VIAL PAVIMENTADA
DAMAGE TO PAVED HIGHWAY NET

Fig. 11

TABLA 4
TABLE 4

EVALUACION DE LOS EFECTOS ECONOMICOS DEL TERREMOTO DE CAUCETE, ARGENTINA, DEL 23/11/1977
EVALUATION OF THE ECONOMIC EFFECTS OF THE CAUCETE EARTHQUAKE, ARGENTINA, 11/23/1977

PERDIDAS EN VIAS DE COMUNICACION (HIGHWAY LOSSES)

a) Rutas Provinciales - Provincial Routes

DEPARTAMENTO COUNTY	CALLE O RUTA STREET OR ROUTE	TRAMO AFECTADO (ENTRE CALLES) AFFECTED SEGMENT (BETWEEN STREETS)	LONGITUDES (LENGHTS) (KM)		COSTO DE REPARACION EN US\$ (A DIC. 77) COST OF REPAIR IN US\$ (To Dec.77)	INTENSIDAD INTENSITY MM	LIEQUEFACCION LIQUEFACTION	k _E	D.R.
			Total de la calle Total for street (Lt.)	Tramo afectado segment affected (La)					
AMBAGO	21 de Febrero (No. 56)	Olivera a Belgrano	5,6	2,6	28%	VIII	SI	0,75	0,21
	El Bosque (No. 63)	Olivera Rosenthal	18,0	11,0	70%	VIII	SI	9,75	0,31
	Belgrano (No. 206)	21 de Febrero a El Bosque	4,0	3,0	30%	VIII	SI	0,30	0,07
	Olivera No. 186)	21 de Febrero-Cementerio	2,1	2,1	30%	VIII	SI	0,30	0,09
SAN MARTIN	San Isidro (No. 32)	Saraiento-El Bosque	8,5	8,5	60%	VIII-IX	SI	0,75	0,45
	Colo (No. 222)	Saraiento-Rawson	4,5	4,5	60%	VIII-IX	SI	0,75	0,45
	Saraiento (No. 119)	Belgrano-San Isidro	11,0	4,0	30%	VIII	SI	0,75	0,08
	Rawson (No. 127)	Belgrano-San Isidro	12,0	4,0	30%	VIII-IX	SI	0,75	0,08
CAUCETE Y	La Plata (No. 246)	Ruta 20-Tupelí	38	25,0	100%	IX-VIII	SI	1,00	0,66
	Ruta No. 270	Ruta 20-Cisuarinas	24	19,5	100%	IX-VIII	SI	1,00	0,81
	J.J. Bustos (No. 278)	P. Albarracin-Divis.	6,5	2,0	20%	IX	SI	0,75	0,15
	P.A. Saraiento (No.199) y San Lorenzo	Ciudad Caucete a Ruta No. 20	4,5	8,0	20%	IX	SI	0,75	0,26
25 DE MAYO	H. de los Rios (No. 203)	Alam-J.J. Bustos	1,4	90%	90%	IX	SI	0,75	0,68
	Divisoria (No. 239)	La Plata-Salta	6,3	5,3	30%	IX	SI	0,75	0,19
	Ruta No. 241	Puente 9 de Julio-Ruta No. 270	21,0	5,0	30%	IX-VIII	SI	0,75	0,05
	Ruta No. 259	Ruta 270-Cementerio	8,5	8,5	30%	IX-VIII	SI	0,75	0,23
	Ruta No. 279	La Plata-Ruta 147	8,0	12,5	70%	VIII	SI	1,00	0,90
	Puente s/Rto S. Juan Ciudad Caucete	Superestructura Varios	0,2	0,2	100%	IX-VIII	SI	-	-
9 DE JULIO	Bilbao (No. 207)	Ruta 241-Beguery	2,3	2,3	40%	VIII-IX	SI	0,75	0,30
TOTALES:			183,2	138,2	4.640.900				
b) Rutas Nacionales - National Routes									
SARMIENTO POCITO	Ruta Nacional 40	Progresivas 100-117	50	17,0	40%	VIII	SI	0,75	0,10
	Ruta Nacional 40	Progresivas 132-142	24	10,0	50%	VIII	SI	0,75	0,16
	Ruta Nacional 20	Progresivas 1187-1192	25	5,0	70%	VIII-IX	SI	0,75	0,11
TOTALES:			99	32,0	1.000.000				

CATEGORIA CATEGORY	TIPO DE RUTA O CALLE TYPE OF ROAD OR STREET	DESCRIPCION DE LA REPARACION DESCRIPTION OF THE REPAIR	COEFICIENTE COEFFICIENT K_r
A	Rutas o calles de zonas rurales Roads or streets rural zones	Reconstrucción o repavimentación (Ejecución de Sub-Base-Base-Tratamiento Bituminoso. Reconstruction of repavement (Sub-Base-Base-Bituminous Treatment)	1,00
B	Rutas o calles de zonas rurales Roads or streets rural zones	Reparación de base, tratamiento bituminoso, banquetas. Base repair, bituminous treatment, edges.	0.75
C	Rutas o calles de zonas rurales Roads or streets rural zones	Ejecución de bacheo en base y tratamiento bituminoso. Hilling pot-holes and bituminous treatment	0,30
D	Calles urbanas Urban streets	Reconstrucción idem a categoría A. Reconstruction as in category A.	1,00

El coeficiente K_r relaciona el costo de reparación de la ruta con el de reconstrucción de la misma y tiene en cuenta, en cierta manera, el daño sufrido por ella partiendo de la hipótesis que antes del sismo se encontraba en buenas condiciones.

En base a las consideraciones anteriores, podemos definir como "razón de daño" D.R., para este tipo de obras, a la siguiente relación:

The coefficient K_r relates the cost of repair of the road with that of its reconstruction and correlates, in a some way, the damage suffered, supposing that before the earthquake it was in good condition.

With above considerations, we can define the "damage ratio", D.R., for this type of construction, with the following equation:

$$D.R. = \frac{\text{costo de reparación del camino}}{\text{costo de reconstrucción del camino}} = \frac{K_r \cdot l_a \cdot p_r}{l_t} = k_r \cdot p_t$$

donde:

D.R. = razón de daño
 l_t = longitud total del tramo de camino ubicado dentro de la zona de alto potencial de licuefacción.
 l_a = longitud del tramo afectado < l_t
 p_r = porcentaje a reparar de l_a
 p_t = porcentaje a reparar de l_t
 k_r = coeficiente que categoriza al tipo de reparación.

where:

D.R. = damage ration
 l_t = is the total length of the segment of the road located within the zone of the high liquefaction potential.
 l_a = length of the affected segment < l_t
 p_r = percentage to be repaired of l_a
 p_t = percentage to be repaired of l_t
 k_r = coefficient which classifies the type of repair.

En la última columna de la Tabla antes mencionada se han calculado las D.R. para las distintas rutas.

Observando esos resultados se deduce que D.R. alcanzó los mayores valores en aquellas rutas paralelamente a las cuales y muy cerca de ellas, corren drenes, desagües principales o canales excavando en tierra (sin revestir).

Por otra parte como la longitud total de rutas pavimentadas del Valle de Tulum, ubicadas dentro de la zona que tiene más de un 50% de probabilidad de sufrir licuefacción en caso de terremotos como el de Cauce del 23/11/77, ascendía a esa fecha a aproximadamente $l_t = 390$ km, y la longitud de los tramos a reparar $l_r = l_a \cdot p_r$ ascendió a aproximadamente 110 km, se tiene: $l_r / l_t = 0,28$. Esto significa que como consecuencia del terremoto de Cauce del 23/11/77 se debió reparar una longitud de caminos pavimentados equivalente al 28% de los ubicados dentro de la zona con alto potencial de licuefacción, con daños de diverso tipo que iban desde una simple ejecución de bacheo y tratamiento bituminoso, hasta su total reconstrucción.

La razón de daños promedio ponderada resulta:

$$D.R. n = \frac{D.R. \cdot l_{ti}}{l_t} = \frac{86,21}{282,2} = 0,30 = 30\%$$

Refiriéndose en cambio a la longitud total de caminos pavimentados existentes en el área con alto potencial de licuefacción tendremos:

$$D.R. p_r = \frac{86,2}{390} = 0,22 = 22\%$$

Ello implica que los daños producidos por el terremoto del 23/11/77 en los caminos pavimentados del Valle de Tulum, equivalen al costo de reconstrucción de 86,2 Km de caminos del mismo tipo, lo que significa un 22% de las rutas existentes a esa fecha en la zona con alto potencial de licuefacción del mencionado valle.

El costo total de reparación fue de, aproximadamente US\$ 6.040.000, discriminado de la siguiente manera.

Rutas Provinciales	US\$ 4.640.000.-
Rutas Nacionales	US\$ 1.000.000.-
Zonas Urbanas	US\$ 330.000.-
Habilitación Transitoria	US\$ 70.000.-

In the last column of the Table 1, the D.R. has been calculated for the different roads.

Observing these results, it follows that the D.R. reached the highest value in those roads parallel to which and very close to them ran drainage ditches, main canals and/or canals without revetment.

Since the total length of paved roads of the Valle de Tulum, located within the zone which has higher than a 50% probability of suffering liquefaction in the case of earthquakes such as of that of Cauce of 11/23/77, was at that date approximately $l_t = 390$ km, and the length of the segments to be repaired, $l_r = l_a \cdot p_r$ amounted to approximately 110 Km, the results is: $l_r / l_t = 0,28$. This means that as a consequence of the earthquake of Cauce of 11/23/77 the total length of paved roads which had to be repaired was equivalent to 28% of those located within the zone of high liquefaction potential, with damages of diverse type, from simple filling of holes and bituminous topping to total reconstruction.

The mean weighted damage ratio is:

Referring to the total length of existing paved roads in the area with a high potential of liquefaction we have:

This implies that the damages from the earthquake of 11/23/77 to the paved roads of the Valle of Tulum are equal to the cost of reconstructing 86,2 km of roads of the same type, which is 22% of the roads existing at the time, in the zone with high liquefaction potential.

The total cost for the repair of roads was approximately US \$6,040,000, broken down in the following manner:

Provincials routes	US\$ 4.640.000.-
National routes	US\$ 1.000.000.-
Urban zones	US\$ 330.000.-
Temporary habilitation	US\$ 70,000.-

En lo que respecta al transporte aéreo, el Aeropuerto internacional de las Chacritas sufrió desperfectos que lo hicieron inoperable los primeros dos días. Estos daños afectaron la torre de control que no pudo continuar prestando servicios y la pista que sufrió agrietamientos.

3.4.2.2 Red de riego y drenaje

La provincia de San Juan tiene una extensa red de riego, en particular, en el Valle de Tulum. Su complejidad y longitud se destacan netamente del resto por cuanto representa el 90% del total de la Provincia, con más de 500 km de canales revestidos y 800 km de cauces de tierra, a lo que debe agregarse una red de desagües y colectores que alcanza a los 900 km.

La red de riego del Valle de Tulum sufrió los efectos del sismo en lugares bien determinados que afectaron obras de importancia y tramos de canales que obligó a suspender el servicio para evitar males mayores.

Los departamentos más dañados fueron: Albardón, Angaco, San Martín, Caucete, 25 de Mayo, 9 de Julio, Sarmiento y parte de Pocito.

La necesidad de suspender el servicio de agua para riego provocó problemas de carácter social y económico. En efecto, la falta de agua en los canales que originó la suspensión del servicio de riego lo que afectó los cultivos anuales y permanentes.

Los daños observados se consignan en la Tabla No. 5. El daño más difundido es la distorsión que el terremoto ha provocado en la rasante de los canales, elevando tramos y hundiendo otros, con lo que los cauces han perdido su capacidad de conducción.

Además se produjeron daños diversos en obras de arte, tomas, puentes, terraplenes, banquetas de canales y en especial el resquebrajamiento de juntas en canales revestidos en piedra sellada. Estos canales tuvieron filtraciones continuas por las juntas agrietadas creciendo entre las mismas abundante vegetación que reduce aún más la capacidad de conducción.

En la Tabla No. 5 se consignan las pérdidas en dólares para canales impermeabilizados y de tierra.

Teniendo en cuenta que los daños en canales se debieron principalmente a fallas en el terreno producidas por el fenómeno de licuefacción (Figura 12), se calculó la razón de daño como el cociente entre el costo total de reparación y el costo de reconstrucción

Concerning air transportation, the International Airport of Chacritas suffered damages which made it inoperative during the first two days. The damages affected the control tower which could not longer offer services and the landing strip which suffered some cracking.

3.4.2.2 Irrigation and drainage system

The province of San Juan has an extensive irrigation system, particularly in the Valley of Tulum where its complexity and size stand out from the rest of the province. The length of the system is 90% of the total of the Province, with more than 500 Km of canals with revetment and 800 Km of earth canals, plus drainage and collection system which is over 900 Km long.

The irrigation system of the Valle of Tulum suffered important effects of the earthquake in well identified places which affected many segments of the canals causing the suspension of the service to avoid greater damage.

The departments which suffered most were: Abardon, Angaco, San Martin, Caucete, 25 de Mayo, 9 de Julio, Sarmiento and part of Pocito.

The necessity to suspend the water for irrigation caused problems of a social and economic character. In effect, the lack of water in the canals affected the annual and permanent crops.

The damages observed are shown in Table No. 2. The most widely spread damage is the change which the earthquake caused in the topography, raising some segments of the canals and lowering others, so that the canals lost their capacity to conduce water.

Furthermore there were diverse damages to water intakes, bridges, embankments, canals slopes and particularly the cracking of canals junctures, sealed with cemented stones. These canals had continuous filtrations because of cracked joints and abundant vegetation grew in the craks reducing the capacity of the canals.

Table 2 consigna the losses in dollars for the canals of all types.

The damage to cannals was due principally to failure of the ground due to liquefaction, thus, (Figure 12) the damage ratio was calculated as the quosient between the total cost of repair and the cost of reconstruction of all of the canals located in the

TABLA 5
TABLE 5

EVALUACION DE LOS EFECTOS ECONOMICOS DEL TERREMOTO DE CAUCETE, ARGENTINA, DEL 23/11/1977
EVALUATION OF ECONOMIC EFFECTS OF CAUCETE EARTHQUAKE, ARGENTINA, 11/23/1977

PERDIDAS EN CANALES DE IRRIGACION
LOSSES IN IRRIGATION CHANNEL

a) CANALES IMPERMEABILIZADOS
WATERPROOF CHANNELS

DEPARTAMENTO DEPARTMENT	LONGITUD AFECTADA AFFECTED LENGHT (Km)	COSTO DE REPARACION REPAIRING COST US\$
ANGACO	2,28	58.204
SAN MARTIN	19,3	961.747
CAUCETE	5,25	476.921
25 DE MAYO	27,35	1.458.404
POCITO-RAWSON	16,00	791.111
Σ	70,18	3.746.387

b) CANALES DE TIERRA
GROUND CHANNELS

SAN MARTIN	2,90	90.000
25 DE MAYO	3,75	740.000
Σ	6,65	830.000

Total de Km dañados Total of damage Km	: 76,83	} Impermeabilizados + tierra Waterproof + ground
Costo de reparación de canales	: 4.576.387	

Obras de arte, tomas, puentes, etc.: 35.000
Work of art, outlets, bridges, etc.

COSTO TOTAL: US\$ 4.611.387
TOTAL COST:

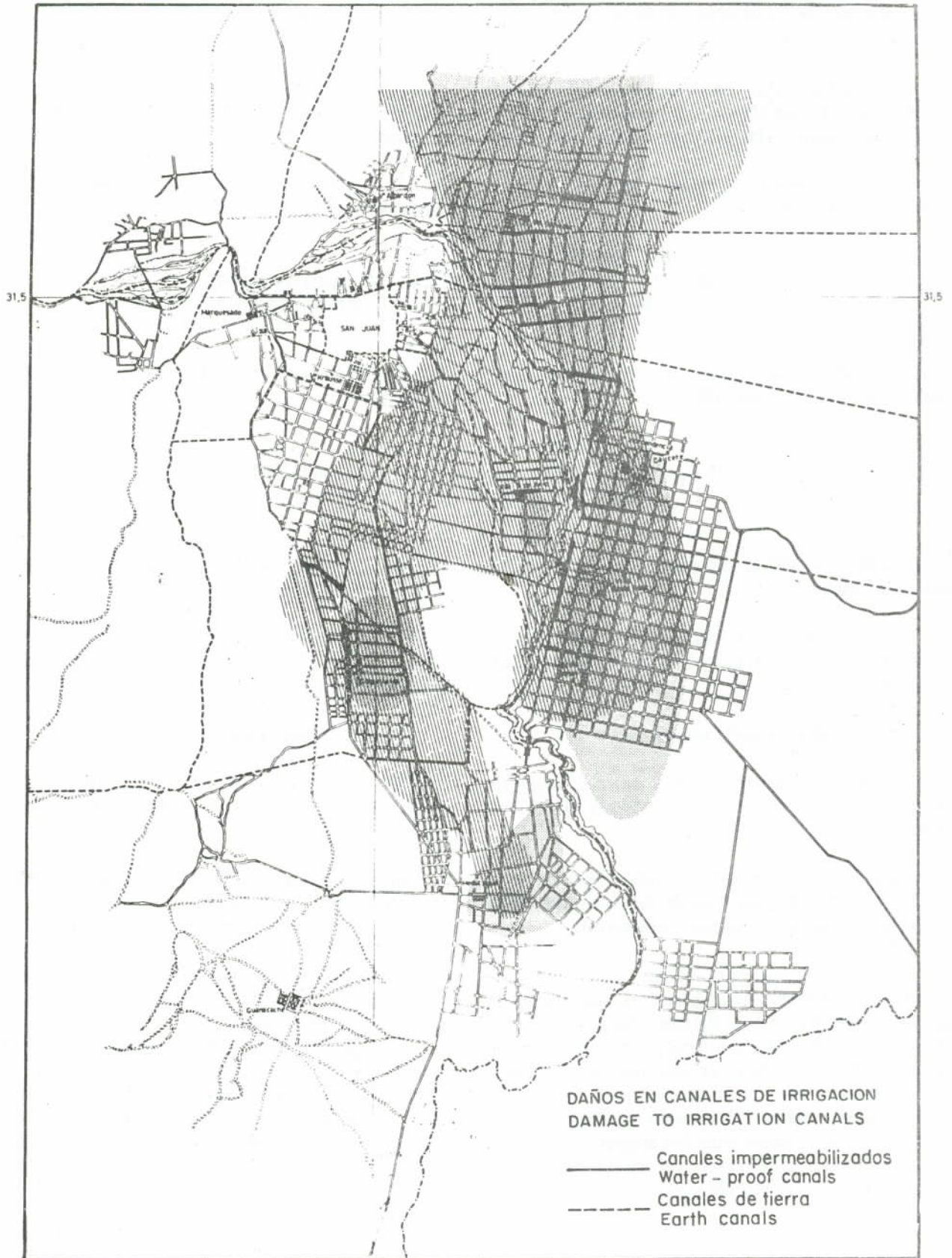


Fig.12

de la totalidad de los canales que se ubican en la zona potencialmente licuable.

La longitud total de canales ubicados en zona licuable es de unos 500 Km correspondiendo 200 Km a canales impermeabilizados y 300 Km a canales de tierra.

De acuerdo con ello la relación de daño se calculó de la siguiente manera:

$$D.R_I = \frac{3.746.387}{200 \times 66.000} = 0,28 \text{ (para canales impermeabilizados)} \\ \text{(for canals with revetment)}$$

siendo el costo de construcción de 1 km de canal impermeabilizado igual a 66.000 US\$.

$$D.R_T = \frac{830.000}{300 \times 0,50 \times 66.000} = 0,08 \text{ (para canales de tierra)} \\ \text{(for earth canals)}$$

siendo 0,50 x 66.000 el costo unitario (de 1 Km) de canales de tierra.

El costo total de la reparación y reconstrucción de canales y obras de arte, se calcula, aproximadamente en la suma de 4.600.000 US\$.

3.4.2.3 Red de energía eléctrica

Se debe distinguir entre el servicio eléctrico suministrado en las áreas rurales y las concentraciones urbanas.

Respecto a las primeras, los daños consistieron en derrumbes o resquebrajamiento de obras civiles donde funcionaban grupos electrógenos independientes.

En cambio, en el ámbito urbano, la situación fue totalmente diferente, en especial en la ciudad de Cauce donde los daños sufridos fueron cortes de cables, caídas de transformadores, roturas de postes, todo ello referido a líneas de alta tensión. En cuanto a las líneas de baja tensión sobre un total de 320 cuadras, prácticamente el 60% quedó totalmente inservible, como así también unos 500 medidores. El costo para la habilitación definitiva del servicio en el área rural alcanzó a 20.000 US\$ y en el área urbana a 145.000 US\$.

zone with liquefaction potential.

The total length of the canals located in such a zone is 500 Km, at which 200 Km are canals with revetment and 300 Km are earth canals.

In accordance with this the damage ratio was calculated as follows:

the cost of repair of 1 Km of canal being equal to 66,000 US.

the unit cost of 1 Km of earth canal being equal to 0.55 x 66.000.

The total cost of repair and reconstruction of canals and auxiliary constructions is calculated to be approximately 4.600.000 US\$.

3.4.2.3 Energy supply

One must distinguish between the electric service provided to rural areas and that to urban concentrations.

With respect to the former, the damages consisted in landslides or cracking of buildings where independent electrical generators were installed.

In the urban environment the situation was totally different specially in the city of Cauce where the damage suffered to high lines was the breaking of cables, transformers falling and posts breaking. With regards to the low tension lines, out of a total of 320 blocks practically 60% became totally useless, as well also as some meters. The cost for the definitive reconstruction and return of the service in the rural area was US\$ 20,000 and in the urban area US 145,000 US.

3.4.2.4 Cultivos

De una superficie total de 9.500.000 Has., solamente se encuentra cultivada una extensión aproximada de 100.000 Has., de las cuales un 74% corresponde a cultivos de vid, un 10% a cultivos de olivos y el 16% restante se reparte entre cultivo de hortalizas, forrajes y otros frutales, de lo que se desprende que la producción de uva es preponderante y detecta el pulso de la economía de la provincia.

La zona altamente afectada por el movimiento sísmico del 23 de noviembre, comprendida por los departamentos de Angaco, San Martín, Caucete, 25 de Mayo, 9 de Julio, Sarmiento, Pocito y Rawson, contribuyen aproximadamente con el 60% de la producción vitícola de San Juan. Observamos, entonces, que la mayor parte de la zona productiva agrícola provincial, ha sido seriamente alcanzada por los efectos devastadores del fenómeno.

Se procedió a la realización de un censo por medio del cual se pudo detectar que en los departamentos mencionados, el número de propiedades afectadas fue de 4.991, con una superficie cultivada en la misma de 36.710 Has.

El perjuicio económico sufrido por estas explotaciones, se concentra en tres conceptos perfectamente definidos:

- a) Pérdida de la vivienda rural, galpones y construcciones anexas (Ver 3.4.3.2).
- b) Daños en las perforaciones particulares de agua subterránea: de un total de 1.808 perforaciones ubicadas en las propiedades afectadas, 745 resultaron dañadas en mayor o menor magnitud, de las cuales 314 resultaron gravemente afectadas y absolutamente imposibilitadas de funcionar, al punto tal de resultar imposible su reparación debiendo ser reemplazadas por nuevas perforaciones. Se estima sobre la base de una profundidad promedio de 200 mts. en la suma de US\$ 10.000 el costo de una perforación y entubado (no se ha computado el valor del motor y la bomba que se suponen rescatables), lo que arroja un total de daños del orden de los US\$ 3.140.000, de aquellos pozos inservibles totalmente, a lo que debe sumarse la reparación de los 431 pozos restantes estimados en la suma de US\$ 960.000.

Al igual que en los casos de viviendas, vías de comunicación y canales de irrigación, casi todos los pozos dañados se ubicaron en las áreas donde

3.4.2.4 Crops

Of a total surface of 9.500.000 H., only some 100.000 H are cultivated, of which 74% correspond to grape plantations, 10% to olives and the remaining 16% to vegetables, fodder and fruit trees, from which one can see that the production of grape is preponderant and really sustains the economy of the province.

The zone highly affected by the earthquake of November 23, including the departments of Angaco, San Martín, Caucete, 25 de Mayo, 9 de Julio, Sarmiento, Pocito and Rawson, contributed approximately 60% of the grape production of San Juan. We observe therefore that the greater part of the agricultural production of the provincial zone was seriously affected by the effects of the earthquake.

A survey was carried out and it was found that in the above mentioned departments the number of affected properties was 4,991, with a total cultivated area of about 36,710 H.

The economic loss suffered by the owners falls into three perfectly defined concepts:

- a) Loss of rural housing, warehouses and auxiliary constructions (see 3.4.3.2).
- b) Damage to private wells for subterranean water. Of the total of 1,808 wells located in the affected properties, 745 were damaged, of which, 314 were damaged to the extent that it was impossible to repair them and it was necessary to bore new wells. It is estimated that for a depth of 200 mts, the cost of perforation and tubing is US\$ 10.000 (the value of the motor and the pump has not been included because these were probably not damaged), which makes the total cost of replacement about US\$ 3,140,000, for those wells which were totally useless. To this cost must be added that for the 413 wells, estimated in the sum of US\$ 960,000.

As in the cases of housing, roads and irrigation canals, almost all of the damaged wells were

se comprobó la ocurrencia de licuefacción en gran escala.

Si definimos, al igual que en los casos anteriores, la razón de daño en pozos de irrigación $DR_{(p)}$ como el cociente entre el costo de reparación y el costo de reposición, tendremos:

$$D.R._{(p)} = \frac{4.100.000 \text{ US\$}}{18.080.000 \text{ US\$}} = 0,23$$

c) Inundaciones (en algunos casos de aguas saladas provenientes de agrietamientos de la corteza terrestre) en las plantaciones permanentes y anuales; desniveles del mismo origen telúrico que impidieron o dificultaron el riego durante periodos que oscilaron entre 5 y 20 días; salinización de pozos e inutilización de otros, configuraron una amplia gama de factores de difícil evaluación.

Sin embargo el hecho cierto de 314 perforaciones perdidas, a razón de una superficie regada estimada promedio de 15 Has. por cada una arroja un total de 4.700 Has. que potencialmente quedaron sin provisión de agua. Pese a ello, por tratarse de un año de gran caudal del río San Juan, en alguna medida (en aquellos predios regados simultáneamente por el río y perforación) la situación fue transitoriamente solucionada; en el resto de los casos (aquellos predios regados exclusivamente por pozos) el daño fue total y definitivo por la imposibilidad material de reemplazar la provisión de agua a tiempo antes de la pérdida de los viñedos o cultivos anuales.

Se estimó en US\$ 2.200, el valor de la pérdida por Ha. y considerando que 2.000 Has. quedaron en la situación más desfavorecida, la pérdida total alcanzó a US\$ 4.400.000. A esto se debe adicionar el costo para la nivelación de los desplazamientos verticales en bloques de sectores internos dentro de los viñedos, que han cambiado la superficie de los mismos. Otro factor que llevó también a irregularidades superficiales de magnitud fue la arenización originada en la sugerencia espontánea y sostenida de la napa freática a través de las grietas, que arrastró gran cantidad de arena y grava produciendo importantes embanques que obligaron asimismo a la misma labor de movimientos de tierra con niveladoras para obtener las condiciones indispensables que permitieran el riego. Además se produjeron roturas de alambres y riendas dentro de los parrales, derivadas de la tracción horizontal del terreno.

located in areas where liquefaction took place on a large scale.

If we define as in the previous cases the damage ratio for irrigation wells $DR_{(p)}$ as the quotient between the cost of repair and the cost of reposi-tion, we have:

c) Inundation (in some cases of salt water which seeps through forthcoming crevices in the earth's crust) of the annual and permanent plantations; changes in level of the ground, which made it difficult or impeded irrigation during periods between 5 and 20 days; salt in some wells and total damage to others all of which constitute a broad gamut of factors of difficult evaluation.

Nevertheless, it is a fact that 314 wells were lost. Each well irrigates some 15 H. There for it is estimated that total of 4,700 H remained without water. Despite this, because it was a year of much water in the San Juan river, in some cases (in such land as was simultaneously irrigated by the river and by well) the problem was temporarily solved; in the rest of the cases (such land as was exclusively irrigated by wells) the damage was total and definitive because it was materially impossible to provide water in time before the loss of the annual crop of grape.

The loss per hectare was estimated at US\$ 2,000. Considering that 200 H were damaged, the total loss amounted to US\$ 4,400,000. To this must be added the cost of releveling the ground in many sections within the planted areas. Another factor which caused surface irregularities of certain magnitude was the sand deposited by water which seeped through the cracks. The water contained much sand and clay, thus producing important mounds which had to be leveled with machinery to obtain the minimum necessary conditions for irrigation. Furthermore, the wires and bracings sustaining the vines broke because of the horizontal traction of the ground.

Se ha estimado en la suma de US\$ 880.000, el monto total de los movimientos de tierra que se van a realizar y en US\$ 220.000, las restantes reparaciones.

3.4.2.5 Establecimientos industriales.

Se debe distinguir entre bodegas y establecimientos industriales restantes.

En las primeras los daños se materializaron en forma de: destrucción de edificios; maquinarias e instalaciones aplastadas; capacidad destruida o deteriorada y pérdida de vinos almacenados.

Daño en edificios industriales	US\$ 5.252.222
Daño en instalaciones (Pileta, máquina)	US\$ 901.711
Pérdida de Vinos	US\$ 1.638.800
TOTAL	US\$ 7.792.733

Para otros establecimientos industriales los totales obtenidos alcanzaron US\$ 50.000.

3.4.2.6 Establecimientos comerciales

También en este caso los daños se presentaron en edificios, instalaciones, mercaderías y otros.

En este sector dada la gran cantidad de establecimientos de mayor o menor dimensión existentes la recopilación de datos fue particularmente incompleta, obteniéndose las siguientes cifras:

Daños en edificios	US\$ 210.000
Daños en instalaciones	US\$ 40.000
Daños en mercaderías	US\$ 550.000
Otros	US\$ 60.000
TOTAL	US\$ 860.000

3.4.2.7 Establecimientos mineros

Los daños causados por el sismo en la actividad minera de San Juan (minas, canteras, huellas mineras y establecimientos industriales de procesamiento de materias primas minerales) fueron mayores en la zona este y sur de la provincia, variando la intensidad de los mismos entre un 30 y 100% en sus edificaciones, maquinarias y productos elaborados, ascendiendo el total estimado a US\$ 235.000.

The total cost of earth movement that needed to be done was estimated at US\$ 880.000 and for the other repairs US\$ 220.000.

3.4.2.5 Industrial Establishments

One must distinguish between the wine storage facilities and other industrial establishments.

In the former, the damage was mainly the destruction of buildings; machinery and installations crushed; operating capacity destroyed or deteriorated and loss stored wine.

Damage to industrial buildings	US\$ 5,252.222
Damage to installations (pool, machinery)	US\$ 901.711
Loss of wine	US\$ 1.638.800
TOTAL	US\$ 7.792.733

For other industrial establishments the total was of the order of US\$ 50.000.

3.4.2.6 Commercial establishments

In this case also, the damage was in buildings, installations, merchandise and others.

In this sector, due to the existence of a large quantity of establishments of small and large size, the compilation of data was incomplete, although we have the following figures:

Damage in Buildings	US\$ 210.000
Damage in installations	US\$ 40.000
Damage in Merchandise	US\$ 550.000
Others	US\$ 60.000
TOTAL	US\$ 860.000

3.4.2.7 Mining establishments

The damage caused by the earthquake to the mining activity of San Juan (mines, quarries, industrial establishments for the processing of minerals) were greater in the East and South zones of the province, with the destruction being between 30 and 100% of the buildings, machinery and manufactured goods, amounting to a total of US\$ 235.000.

3.4.3 Efectos sobre la Estructura Social Provincial

Por las características intrínsecas de las mismas, sólo por razones metodológicas puede separársela del aspecto económico que se encuentra recíprocamente vinculada.

3.4.3.1 Edificios públicos

Debemos distinguir entre construcciones donde funcionan establecimientos asistenciales (Hospitales y Puestos Sanitarios), y edificios públicos varios (afectados a oficinas públicas, comisarías, Seccionales de Policía, Municipalidades, etc).

Muchas de estas construcciones fueron afectadas en una escala que fue desde la destrucción total a daños parciales susceptibles de ser subsanados.

A efectos de cuantificar adecuadamente los daños sufridos, personal especializado inspeccionó cada uno de los edificios afectados por el sismo, estimándose el siguiente costo de reparación por área:

Sector seguridad	US\$ 80.000
Sector sanidad	US\$ 1.360.000
Sector educación	US\$ 1.650.000
Sector edificios públicos Vs	US\$ 660.000
TOTAL	US\$ 3.750.000

3.4.3.2 Vivienda

Ha significado el rubro en el que los efectos materiales han adquirido una mayor significación inmediata. La construcción en gran escala de viviendas de adobe por razones económicas especialmente en zonas fuera de la capital de San Juan, en la que tal posibilidad no podía materializarse por las exigencias técnicas y de fiscalización de los organismos estatales respectivos, posibilitó la magnitud del desastre.

En un primer momento se inició la solución a través de medidas de emergencia como la utilización de edificios públicos no dañados, vagones de ferrocarril y carpas.

En una segunda instancia se tomó conciencia de la necesidad de pasar de la vivienda precaria a la definitiva y no de construir barrios de emergencia como se hizo después del terremoto de 1944, ya que precisamente en 1977, 33 años después del sismo se erradicó el último de esos barrios de emergencia.

3.4.3 The effects on the social structure of the province

Because of their intrinsic characteristics and only for methodological reasons, can the effects on the social structure be separated from the economic aspect which is reciprocally related.

3.4.3.1 Public buildings

Constructions for public health purposes (hospitals and sanitary posts), educational establishments (grade and secondary schools) and diverse Public Buildings (public offices, police stations, municipalities, etc.) must be separately considered.

Many of these constructions were affected on a scale that went from total destruction to lesser damage, which could be repaired.

In order to quantify adequately the damage suffered, trained personnel inspected each one of the buildings affected by the earthquake, estimating the following cost of repair, by type:

Safety sector	US\$ 80.000
Health sector	US\$ 1,360.000
Education sector	US\$ 1,650.000
Public buildings sector	US\$ 660.000
TOTAL	US\$ 3.750.000

3.4.3.2 Housing

Housing is the type of construction for which the destructive effects have a more immediate significance. The construction, in a large scale, of adobe housing for economic reasons, especially in the zones outside of the capital of San Juan, was the reason for the magnitude of the disaster. In San Juan itself, this was not the case because of the building ordinances and the supervision by the local government.

At first, the problem was solved by emergency measures, such as the occupancy of undamaged public buildings, railroad cars and tents.

A second step, was to change from such precarious lodging to definitive housing without building temporary emergency settlements such as were constructed after the earthquake of 1944; it was in 1977, 33 years after the 1944 earthquake that the last one of the emergency settlements was eradicated.

Para la solución de este problema habitacional, el Gobierno Nacional acordó una línea de créditos consistentes en:

- a) Préstamos personales a través del Banco Hipotecario Nacional.
- b) Préstamo de 10.500.000 dólares para efectuar una licitación internacional con un agregado de 10 millones de dólares p/infraestructura, otorgado por el Banco Central de la República Argentina.
- c) Se gestionó la ampliación de cupos de viviendas ante el Ministerio de Bienestar Social, obteniéndose un préstamo para construir 12.000 unidades de acuerdo con el plan que presentaba la Provincia.

Con respecto a este último, se decidió solucionar con esa cantidad específica dos grandes problemas: 1) el de la reconstrucción de las casas a aquellas personas que las habían perdido por el terremoto y 2) detener el éxodo de la mano de obra rural afincándose en su lugar de trabajo.

En la figura 13 se presentan los números de viviendas de adobe destruidas por Departamento.

En la Tabla No. 6 se han estimado las cantidades de viviendas afectadas parcial o totalmente.

En la columna de "viviendas destruidas" se han puesto los números correspondientes a lo informado en cada Departamento como inhabitable.

Sin embargo, al no haberse realizado un relevamiento completo de las viviendas parcialmente dañadas, especialmente de aquellas sísmo-resistentes, fue necesario estimar las pérdidas totales aplicando la razón de daño a cada construcción de acuerdo a sus características de sísmo-resistencia.

Considerando que la relación de costo entre una vivienda sísmo-resistente y una de adobe es 10, los daños totales equivalieron a 3.023 viviendas de mampostería sísmo-resistente. El costo de cada una de estas viviendas, con aproximadamente 100 m² de superficie cubierta, era en el año 1978 de 45.000 dólares. En consecuencia las pérdidas totales en vivienda ascendieron a aproximadamente 136.000.000 de dólares. Debe hacerse notar que estos valores se han obtenido considerando el costo de reposición de viviendas de adobe como si se fueran a reemplazar por otras similares, cuando en realidad la mayoría de ellas han sido reconstruidas de acuerdo al código sísmo-resistente. Eso implica un costo considerablemente superior al aquí establecido.

To solve the habitational problem the National Government authorized credits consisting of:

- a) Personal loans through the Banco Hipotecario Nacional.
- b) A loan of US\$ 10.500.000 for an international auction plus 10 million dollars for infrastructure, provided by the Banco Central of the Republic of Argentina.
- c) The Ministry of Social Welfare increased the number of houses, providing funds to construct 12.000 additional units, according to plans of the Province.

The above action was to solve two important problems: 1) the reconstruction of houses for people that lost them due to the earthquake and 2) to stop the exodus of workers from the rural area enabling them to remain near their place of work.

Figure 13 presents the number of adobe houses destroyed, by Department.

Table No. 3 lists the approximate number of houses, partially or totally affected.

In the column of "houses destroyed" the numbers correspond to those which each Department reported as inhabitable.

However, since no complete survey of the partially damaged houses was carried out, specially the earthquake resistant houses, it was necessary to estimate the total losses by applying the damage ratio to each unit, in accordance with its earthquake resistant characteristics.

Considering that the ratio of the cost between an earthquake resistant house and one of adobe is 10, the total damage was equivalent to the cost of 3,023 houses of earthquake resistant masonry. The cost of each house, with approximately 100 m² of roofed area, was 45,000 dollars in the year 1978. Thus, the total loss, as regards housing, amounted to approximately 136,000 of dollars. It must be noted that this amount has been obtained considering the cost of reposicion of adobe houses with similar adobe houses, although in fact most of them were reconstructed in accordance with the earthquake resistant code. This of course means a much higher cost than that which is here indicated.

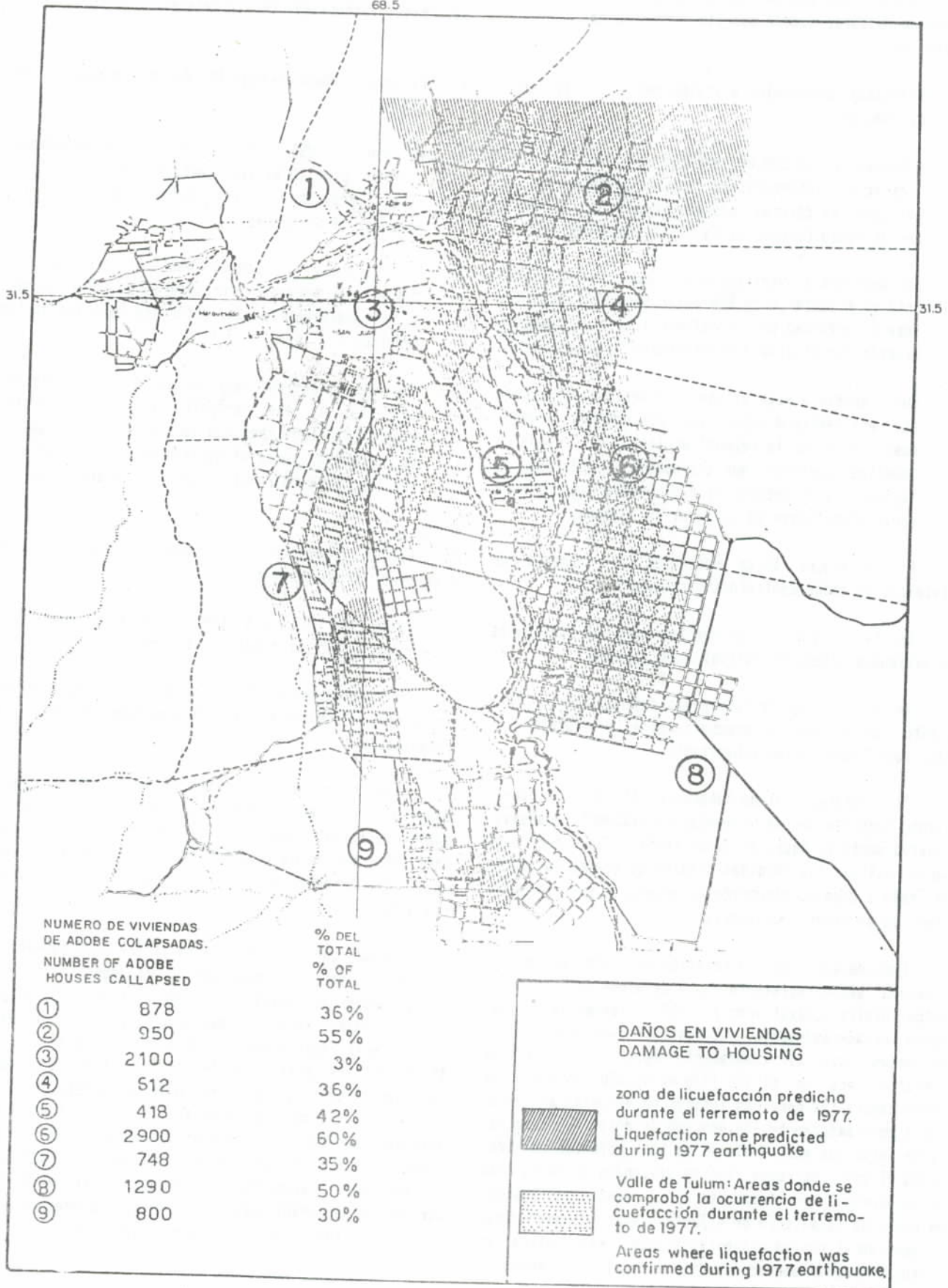


Fig. 13

TABLA 6
TABLE 6

EVALUACION DE LOS EFECTOS ECONOMICOS DEL TERREMOTO DE CAUCETE, ARGENTINA, DEL 23/11/1977
EVALUATION OF ECONOMIC EFFECTS OF CAUCETE EARTHQUAKE, ARGENTINA, 11/23/1977

PERDIDAS EN VIVIENDAS
HOUSING LOSSES

DEPARTAMENTO DEPARTMENT	I (MM)	No. DE VIVIENDAS NO. OF HOUSING			D.R.		PERDIDAS LOSSES		VIVIENDAS DESTRUIDAS DESTROYED HOUSING	
		Adobe	MSR	Total	Adobe	MSR	Adobe	MSR	No.	% Total
ALBARDON	VIII	1829	610	2439	0,5	0,05	915	30	878	36
ANGACO	VIII	1295	432	1727	0,5	0,05	647	21	950	55
CAPITAL	VII A VIII	8500	21382	29882	0,3	0,023	2550	491	896	3
CAUCETE	IX	3625	1208	4833	1	0,13	3625	157	2900	60
CHIMBAS	VII A VIII	4236	3656	7892	0,3	0,023	1270	84	236	3
9 DE JULIO	VIII	746	249	995	0,5	0,05	373	12	418	42
POCITO	VIII	1603	534	2137	0,5	0,05	801	26	748	35
RAWSON	VII a VIII	7400	8123	15523	0,3	0,023	2220	186	776	5
RIVADAVIA	VII a VIII	4400	5243	9643	0,3	0,023	1320	120	289	3
SAN MARTIN	VIII	1275	425	1700	0,5	0,05	637	21	612	36
SANTA LUCIA	VII a VIII	3300	3452	6752	0,3	0,023	990	79	337	5
SARMIENTO	VIII	2000	667	2667	0,5	0,05	1000	33	800	30
25 DE MAYO	VIII	1935	645	2580	0,5	0,05	967	32	1290	50
TOTALES		42144	46626	88770			17315	1292	11130	

3.4.3.3 Redes distribuidoras de agua potable

3.4.3.3 System for the supply of drinking water

3.4.3.3.1 Generalidades.-

3.4.3.3.1 Generalities.-

Al igual que otros terremotos destructivos (1), el de Cauce de del 23/11/77 puso de manifiesto que el comportamiento de los conductos o tuberías enterrados es completamente diferente del de otro tipo de estructuras.

As in other destructive earthquakes (1), the Cauce shock of November 23, 1977 made it evident that the behaviour of conduits or buried tubing is completely different from that of other types of structure.

Mientras que para los edificios y puentes, p.e., las fuerzas de inercia o vibratorias son por lo general la causa principal de daños, en el caso de las cañerías enterradas de los sistemas de agua potable, gas, etc., los daños son originados en su mayoría por los movimientos del terreno debidos a: licuefacción del mismo, fallas o diferencias entre las propiedades dinámicas de dos estratos adyacentes de suelo. Las tuberías enterradas y las perforaciones (por ejemplo para irrigación) ubicadas en suelos finos, poco densos, con alto potencial de licuefacción, son muy vulnerables a los movimientos sísmicos.

Whereas for buildings and bridges, for example, the inertia or vibrational forces are in general the principal cause of damage, in the case of buried piping for the water, gas and other systems, the damage is caused principally by the displacement of the ground because of liquefaction, faults or differences in the dynamic properties of two adjacent strata of soil. Buried pipes and perforations (for example, wells for irrigation) located in fine soils, with low density and a high potential of liquefaction, are very vulnerable to seismic shaking.

Durante el terremoto de Cauce de sufrieron daños importantes las redes distribuidoras de agua potable de localidades del Valle de Tulum ubicadas dentro de la zona con alto potencial de licuefacción, tales como Cauce de, Villa Santa Rosa, Villa Borjas, San Martín, San Isidro, Villa Alem, Villa El Salvador (Angaco).

During the earthquake of Cauce de the water supply system suffered important damage in localities of the Valle de Tulum, within the zone of high liquefaction potential, such as Cauce de, Villa Santa Rosa, Villa Borjas, San Martín, San Isidro, Villa Alem, Villa El Salvador (Angaco).

La magnitud de los daños varió de una localidad a otra, alcanzando valores muy significativos en Villa Santa Rosa (Dpto. 25 de Mayo), en donde debido a la gran cantidad de roturas que presentaban diversos tramos se optó por reemplazarlos totalmente, ciudad de Cauce de, Villa Alem (Dpto. San Martín).

The magnitude of the damage varied from one locality to an other, reaching very significant proportions in Villa Santa Rosa (Department 25 de Mayo) where, due to the large number of ruptures in several sections of the system, it was decided to replace the complete system.

3.4.3.3.2 Características de las roturas.-

3.4.3.3.2 Characteristics of the rupture.-

El muy completo informe producido por la Divisional San Juan de Obras Sanitarias de la Nación, detalla las características de las roturas producidas en las cañerías de agua potable de la ciudad de Cauce de (IMM IX), el que por considerarlo muy interesante transcribimos en parte: "...Las roturas típicas observadas en las cañerías de hierro fundido y asbesto cemento muestran cortes transversales netos en concordancia con grietas y desniveles bruscos del terreno. Por ejemplo en calle Urquiza se encontró la cañería de hierro fundido de ϕ 75 mm con un corte neto transversal, quedando los extremos separados transversalmente unos 20 cm. en sentido horizontal y vertical.

The very complete report by the San Juan subsidiary of the Obras Sanitarias de la Nación, describes in detail the characteristics of the ruptures in the water supply system of the city of Cauce de (IMM IX); it is of interest to quote a relevant part: "...The typical ruptures observed in the piping of cast iron and asbestos cement show clean transverse breaks, in places coincident with cracks and sudden changes of level of the ground. For example, in Urquiza street, the pipes of cast iron of ϕ 75 mm diameter were found with net transverse breaks, with the ends separated transversally about 20 cm in the horizontal and vertical directions.

Las uniones entre caños y asbesto cemento en varios casos se han roto por compresión y los collares se fracturaron longitudinalmente. Al efectuar una repara-

The joints of asbestos cement tubing broke in several cases due to compression and the sleeves fractured longitudinally. In one case, an asbestos cement

ción se encontró una espiga de asbesto cemento que había penetrado una pulgada en la espiga del otro caño.

En diversos casos han estado sometidos a flexión dado que en concordancia con roturas se encontraba el cordón de la vereda con pronunciadas ondulaciones en sentido horizontal unas veces, o en sentido vertical otras veces.

La rotura excepcional de un caño de hierro fundido que muestra una fotografía podría ser consecuencia de esa sollicitación.

La fotografía del busto de Sarmiento muestra que el pedestal sufrió un giro de unos 30° lo que revela que probablemente han habido también esfuerzos de torsión.

Se encontraron varios caños separados longitudinalmente con roturas por corte transversal (casi todos en hierro fundido) o bien por separación al ceder la junta (casi todas en cañerías de asbesto cemento) lo que muestran esfuerzos de tracción.

Resulta evidente que las cañerías fueron sometidos a todo tipo de sollicitación.

Es de señalar el caso que se presentó en la esquina de calles Belgrano y Godoy Cruz donde las cañerías que se cruzaban a distinto nivel se rompieron a causa de que las posiciones relativas en que estaban colocadas después del terremoto quedaron permutadas..."

3.4.3.3 Evaluación de los daños.-

En base a la información proporcionada en el informe antes mencionado y a la aportada por el Ing. Belloti de la Dirección de Obras Sanitarias de la Provincia (hoy OSSE) se calculó la Razón de Daño (D.R.) para las distintas localidades y tipos de cañería. Para ello definimos como Razón de Daño a la relación siguiente:

$$D.R. = \frac{\text{Número de roturas}}{\text{Hectómetro (100 m)}}$$

Hemos preferido contabilizar el número de roturas por hectómetro en lugar de por kilómetro, como acostumbra otros autores, debido entre otras cosas a que la trama urbana de nuestras ciudades adopta esa medida (o valores mu, cercanos, caso de la "cuadra") como unidad, resultando más sencillo el análisis y sectorización de los daños.

spike was found to have penetrated one inch into another tube.

In other cases the pipes were subjected to bending and, as happened with ruptures, the piping suffered pronounced undulations in the horizontal and vertical sense.

The exceptional rupture of a pipe of cast iron which is seen in a photograph could be a consequence of such a cause.

The photograph of the statue of Sarmiento shows that the base suffered a rotation of some 30°, which suggests that torsional forces were probably also acting.

Several pipes were found separated longitudinally, with ruptures due to transverse breaks (mostly in cast iron) or also due to failure of the joints (all in asbesto cement tubing) caused by forces of traction.

It becomes evident that the piping was subjected to all types of sollicitations.

It is of interest to note that in the corner of Belgrano and Godoy Cruz streets the pipes, which cross at different levels, broke because their relative positions were inverted after the earthquake.

3.4.3.3 Evaluation of the damage.-

On the basis of information provided by the above report and that supplied by Ing. Belloti of the Departamento de Obras Sanitarias of the Province (today OSSE), the damage ratio (D.R.) was calculated for different localities and types of piping. For this we define the Damage Ratio as follows:

$$D.R. = \frac{\text{Number of ruptures}}{\text{Hectometer (100 m)}}$$

We have preferred to calculate the number of ruptures per hectometer instead of per kilometer, as is usual, because amongst other considerations the urban layout of our cities adopts such a measure (or mu values, near, in case of the "block") as a unit, and thus the analysis and the sectorization of the damage is simpler.

TABLE 7
TABLE 7

EVALUACION DE LOS EFECTOS ECONOMICOS DEL TERREMOTO DE CAUCETE, ARGENTINA, DEL 23/11/1977
EVALUATION OF ECONOMIC EFFECTS OF CAUCETE EARTHQUAKE, ARGENTINA, 11/23/1977

RED DE AGUA POTABLE
DRINKING WATER SYSTEM

CIUDAD DE CAUCETE
CITY OF CAUCETE

Red de agua existente al 23-11-77 Existing water system to 11-23-77			Reparaciones efectuadas hasta el 8-3-78 Reparations made until 3-8-78					
Diámetro Diameter	Longitud de cañería en Hm length of piping in Hm		Número de roturas detectadas por tipo de cañería y por diámetro Number of detected breakings by diameter			No. de roturas por cada 100 m. = D.R. No. breakings for each 100m. = D.R.		
	C. H F	C.A.C.-5	Totales Total	C. H F	C.A.C.-5	Totales Total	C. H F	C.A.C.-5
300	17,2	5,3	22,5	4	--	4	0,23	
250	0,2	6,6	6,8	-	11	11	--	0,76 (1)
200	--	12,8	12,8	-	15	15	--	0,78 (2)
175	9,2	--	9,2	-	--	--	--	--
150	6,8	8,3	15,1	7	2	9	0,29 (3)	0,24
125	15,7	4,9	20,6	5	4	9	0,32	0,82
100	52,0	32,5	84,5	20	17	37	0,39	0,90
75	108,3	90,0	198,3	90	98	188	0,55 (4)	1,09
TOTALES TOTAL	209,4	114,6	370,8	126	147	273	0,60	1,28

- NOTAS (NOTES): (1) 7 roturas concentradas
7 concentrated breakings
(2) 5 roturas concentradas
5 concentrated breakings
(3) 5 roturas concentradas
5 concentrated breakings
(4) 30 roturas concentradas
30 concentrated breakings.

TABLA B
TABLE B

EVALUACION DE LOS EFECTOS ECONOMICOS DEL TERREMOTO DE CAUCETE, ARGENTINA, DEL 23/11/1977
EVALUATION OF ECONOMIC EFFECTS OF CAUCETE EARTHQUAKE, ARGENTINA, 11/23/1977

RED DE AGUA POTABLE
DRINKING WATER SYSTEM

LOCALIDAD	RED DE AGUA EXISTENTE EXISTING WATER SYSTEM		REPARACIONES REPAIRS		I (MM)	LICUEFACCION LIQUEFACTION
	Diámetro Diameter (mm)	Longitud Length L (Hm)	No. de Roturas Reparadas No. Repaired Breaking	D.R.		
Villa Santa Rosa	50	-	-	-		
	60	35,30	41	1,16		
	75	20,50	22	1,07	IX	SI
	100	20,50	20	0,98		
	Totales (Totals)		73,40	78	1,06	
San Martin	50	50,50	48	0,95		
	60	8,40	7	0,83		
	75	24,30	19	0,78	VIII	
	100	6,90	3	0,43		SI
	150	6,10	1	0,33	IX	
Totales (Total)		96,20	79	0,82		
San Isidro	50	34,00	32	0,94		
	60	12,20	12	0,98	VIII	
	75	19,00	18	0,95		SI
	100	2,00	2	1,50	IX	
Totales (Total)		67,20	64	0,95		
Villa Borjas	50	28,00	26	0,93		
	60	23,80	20	0,84	VIII	SI
	75	2,30	2	0,87		
Totales (Total)		54,10	47	0,87		
Villa Alem	50	50,60	48	0,94		
	75	3,80	3	0,79	IX	SI
Totales (Total)		54,40	49	0,90		

En las Tablas No. 7 y No. 8 se detalla para la ciudad de Cauce y las Villas Santa Rosa, San Martín, San Isidro, Borjas y Alem los datos referentes a la longitud de las redes distribuidoras por tipo de material (hierro fundido y asbesto cemento), diámetro y número de roturas, los que permiten calcular la razón de daños en cada caso.

Con esos valores se ha graficado en la figura 14 para Cauce la razón de daño para cañerías de asbesto cemento y de hierro fundido en función del diámetro. Se observa que las cañerías de asbesto cemento presentan razones de daño mayores que las de hierro fundido y además que la razón de daño aumenta en la medida que disminuye el diámetro de la cañería, lo que concuerda con lo observado en otros terremotos. En la figura 15 se grafican las razones de daño para diferentes departamentos y se indica la curva promedio.

3.4.3.4 Asistencia social

3.4.3.4.1 Contribución a Municipios.-

A los efectos de concurrir a los Municipios afectados en grado mayor (Cauce, 25 de Mayo, 9 de Julio, Albardón, San Martín, Sarmiento, Tawson, Pocito y Santa Lucía) se estima el aporte provincial para destinarlo a reparaciones, alimentos primarios, combustibles, alquiler, máquinas y personal para demoliciones y extracción de escombros, etc. en US\$ 1.100.000.

3.4.3.4.2 Alimentos a población afectada.-

A través del RIM 22 se procedió a la atención de la población necesitada con alimentos siendo la cifra gastada de US\$ 220.000.

3.4.3.4.3 Aporte del Ministerio de Bienestar Social.-

El Ministerio ha concurrido en gastos globales de atención del Operativo Salvamento Inicial en US\$ 220.000.

3.4.4 Efectos sobre la producción provincial 1977/78

El sistema económico provincial se vió seriamente afectado en su capacidad de evolución debido a los efectos del terremoto sobre los predios agrícolas, con los consecuentes gastos de reconstrucción o reparación de los implantos industriales y comerciales.

Además la destrucción en porcentajes muy importantes de las viviendas de los obreros rurales produjo a nivel de la empresa propietaria de los campos un desee-

Tables No. 7 and No. 8 contain, for the city of Cauce and the Villas Santa Rosa, San Martín, San Isidro, Borjas and Alem, data concerning the longitude of the distribution systems, differentiating the type of material (cast iron and asbestos cement), diameter and number of ruptures, which allow the calculation of the damage ration for each case.

With these values, figure 14 shows for Cauce the damage ratio for asbestos cement and cast iron piping as a function of the diameter. It is observed that the asbestos cement pipes have a damage ratio higher than that for cast iron and, furthermore, that the damage ratio increases as the diameter of the pipe decreases, which is in agreement with observations in the case of other earthquakes. Figure 15 shows the damage ratio for different Departments as well as a mean curve.

Social Assistance

3.4.3.4.1 Contribution to the Municipalities.-

In order to help the Municipalities which had greater damage (Cauce, 25 de Mayo, 9 de Julio, Albardó Matín, Sarmiento, Rawson, Pocito and Santa Lucía) it is estimated that the aid provided by the Province for repairs, basic foods, fuel, rent, machinery and personnel for demolitions and extraction of debris, etc. amounted to US\$ 1.100.000.

3.4.3.4.2 Food for the affected population.-

By means of RIM 22 the population was provided with food, at a cost of about US\$220,000.

3.4.3.4.3 Aid from the Ministerio de Bienestar Social.-

The Ministry contributed to the general expenses of the Operativo Salvamento Inicial with US\$ 220.000.

3.4.4 Effects on Provincial Production 1977/78

The provincial economic system was seriously affected in its capacity for growth due to the negative effects of the earthquake on agriculture and the consequent expense of reconstruction and/or repair of industrial and commercial plants.

The widespread destruction of homes of the rural population forced an unforeseen investment, with zero

CAUCETE

$$DR = \frac{\text{N}^\circ \text{ ROTURAS - RUPTURES}}{1 \text{ Hm.}}$$

- △ CAÑERIA DE ASBESTO CEMENTO CLASE 5 (C.A.C.-5)
ASBESTOS - CEMENT PIPES CLASS 5 (C.A.C.-5)
- CAÑERIA DE HIERRO FUNDIDO
CAST IRON PIPES

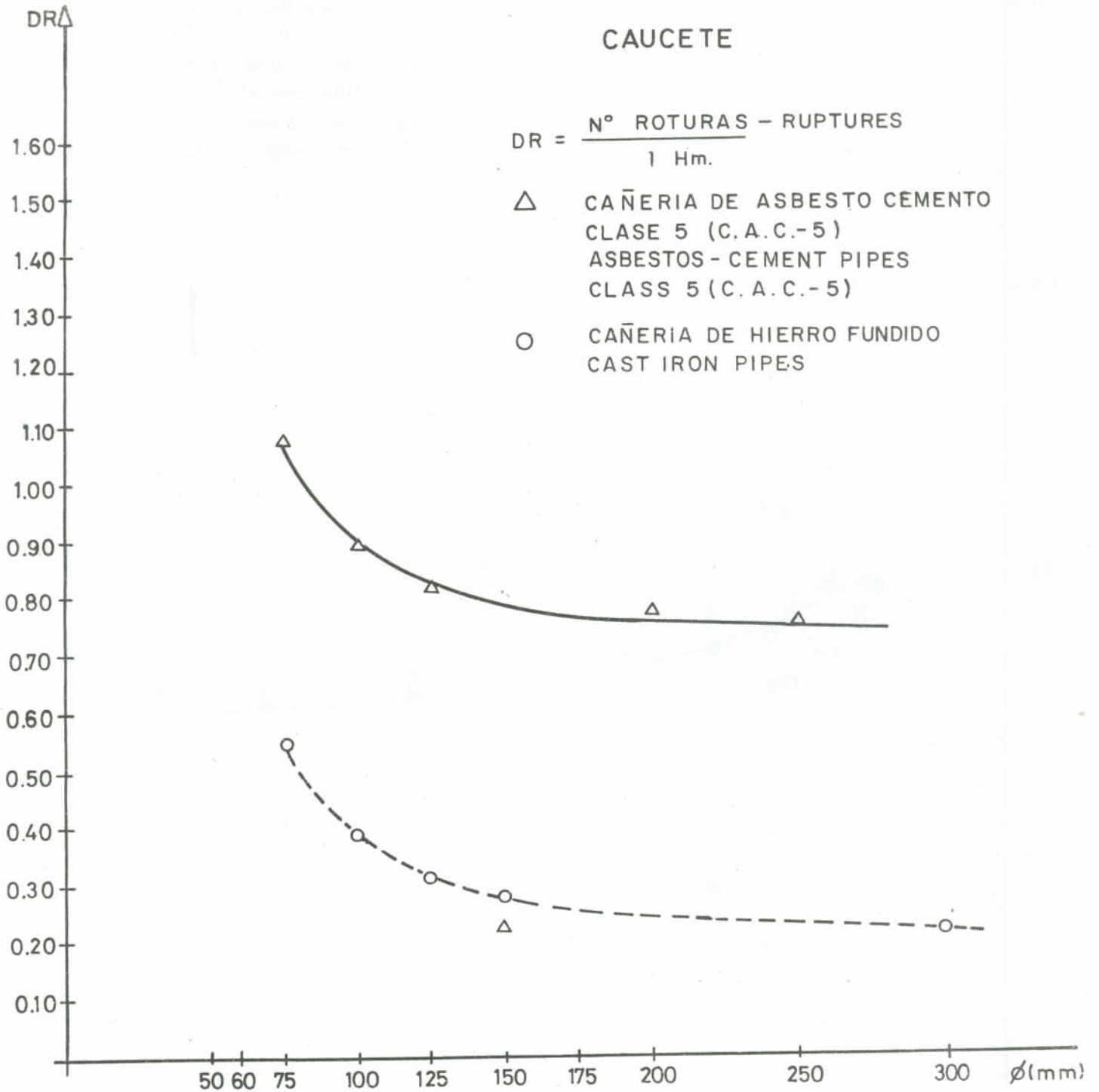


Fig. 14

REFERENCIAS:
REFERENCES:

- △ Caucete CAC 5
- × Santa Rosa CAC 3
- San Martín CAC 3
- + San Isidro CAC 3
- Villa Borjas CAC 3
- * Villa Alem CAC 3
- ⊕ Promedio (c/Caucete)

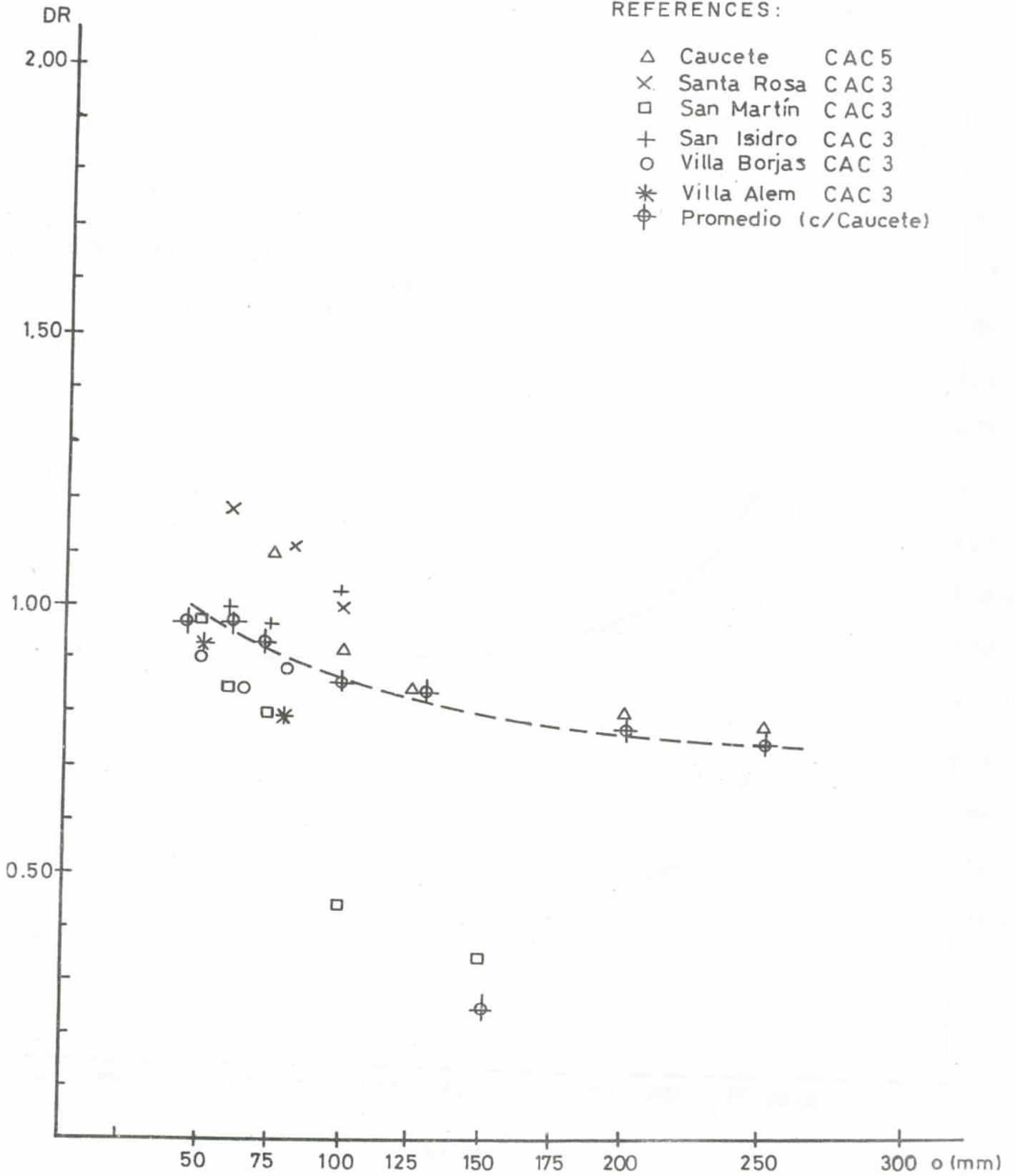


Fig.15

bolso no previsto en la inversión cuya rentabilidad fue nula.

3.4.4.1 Agricultura

La suspensión del riego durante un lapso variable según las zonas, unida a las hectáreas que se vieron privadas de agua por pozos inutilizados y a las dificultades de riego que sobrevinieron aún después de restituida el agua a los canales, como consecuencia de desniveles, determinó una disminución en la producción de uva de 1978, estimada en unos 54.000.000 Kg. es decir, un 10% aproximadamente de la producción normal de la zona afectada, lo que equivale a US\$ 7.200.000.

A ello se debe agregar la parte de inutilidad de comercialización que se estima queda en la provincia, considerada del 20% del valor final del producto, lo que equivale a US\$ 2.900.000.

Por otra parte, las producciones anuales tales como tomates, melones, cebollas, etc. que resultan más vulnerables porcentualmente a la ausencia de regadío por un breve período, tuvieron una pérdida estimada en 30.000 toneladas, que a razón de US\$ 155 la tonelada, hace un total de US\$ 4.650.000.

3.4.4.2 Industria

De acuerdo al punto anterior, al sector industrial (que es fundamentalmente elaborador de materias primas agrícolas), además de faltarle materia prima para su elaboración, en donde la industria vinícola, la más relevante, ha sufrido importantes perjuicios unos de incidencia inmediata que afectan su capacidad financiera, como es la pérdida por derrame de importantes volúmenes de vinos y otros de carácter económico financieros que inciden directamente en su capacidad, como es el deterioro, rotura o destrucción total de vasija vinaria y máquinas de mollienda.

Todo lo cual afectará sensiblemente la posibilidad de encarar a ritmo normal la recepción de la materia prima, uva, en la próxima y cercana cosecha.

3.4.4.3 Minería

En particular la explotación de calcáreos en la localidad de Los Berros, ha soportado importantes daños en los hornos continuos que demandará largo tiempo antes de su nueva construcción y puesta en marcha. La reducción será consecuentemente proporcional a esos daños y al tiempo de restauración que estimamos en un año aproximadamente.

rentability, for the owners of the fields.

3.4.4.1 Agriculture

The suspension of irrigation for different periods of time, according to the zone, plus the hectares which did not have water because of totally damaged wells and the difficulties to irrigate, even after the water was restored to the canals, as a consequence of changes in level, caused a reduction in the production of grape in 1978, in an estimated amount of some 54,000,000 Kg, about 10% of the normal production of the affected zone, with an equivalent cost of US\$ 7,200,000.

To this must be added the loss of profit from commercialization which remains in the province, estimated at 20% of the final value of the product, and this is equivalent to US\$ 2,900,000.

On the other hand, the annual production of tomatoes, melons, onions, etc., which are more vulnerable to the lack of irrigation during a brief period, had an estimated loss of 30,000 tons, which at a cost of US\$ 155 per ton, makes a total of US\$ 4,650,000.

3.4.4.2 Industry

In accordance with the above, the industrial sector (which is fundamentally the processing of agricultural raw materials), suffered from the lack of the basic produce for elaboration. The wine industry, the most important, suffered immediate losses such as that due to spillage of large volumes of wines, or the deterioration, rupture or total destruction of wine containers and grinding machinery. These losses affected the financial capacity of the industry.

Furthermore, the damage suffered reduced the capacity at the industry to process the grape from the following harvest.

3.4.4.3 Mining

The exploitation of calcareous material in the locality of Los Berros suffered important damages to the continuous ovens which will require a long time before they are reconstructed and placed back in service. The reduction will consequently be proportional to such damage and to the time needed for repair, which we estimate to be approximately one year.

TABLA 9
TABLE 9

EVALUACION DE LOS EFECTOS ECONOMICOS DEL TERREMOTO DE CAUCETE, ARGENTINA, DEL 23/11/1977
EVALUATION OF ECONOMIC EFFECTS OF CAUCETE EARTHQUAKE, ARGENTINA, 11/23/1977

CUADRO RESUMEN (SUMMARY TABLE)

RUBROS EVALUADOS ITEMS EVALUATED	ITEM	COSTO EN US\$ (COST IN US\$)		
		PARCIAL	TOTAL	
ESTRUCTURA PRODUCTIVA PRODUCTIVE STRUCTURE	Vías de comunicación Roads	6.040		
	Red de riego y drenaje Irrigation channel	4.600.000		
	Red de energía eléctrica Energy supply	165.000		
	Cultivos Crops	9.600.000		
	Establecimientos industriales Industrial establishments	7.840.000		
	Establecimientos comerciales Commercial establishments	860.000		
	Establecimientos mineros Mining establishment	235.000		
		SUBTOTAL		29.340.000
	ESTRUCTURAS SOCIALES SOCIAL STRUCTURES	Edificios públicos Public buildings	3.750.000	
		Viviendas Housing	136.000.000	
Redes de agua potable System for the supply of drinking water		800.000		
Asistencia social Social assistance		1.540.000		
		SUBTOTAL		142.090.000
PRODUCCION PRODUCTIONS	Agricultura Agriculture	14.750.000		
	Industria Industry	(a evaluar) (to be evaluated)		
	Minería Mining	id.		
	Comercio Commerce	id.		
		SUBTOTAL		id.
RECAUDACION FISCAL TAX REVENUE				
	SUBTOTAL			
		TOTAL GENERAL		

3.4.4.4 Comercio

Evoluciona especialmente en función del sector agrícola provincial y del sector público. Luego, se verá afectado en uno de sus principales sustentos, en la proporción que el mismo decaiga y como consecuencia de las disminuciones sufridas en los stocks.

Por todos estos factores y demás interrelaciones económicas que es largo analizar, estimamos a esta altura de la evaluación en un 25% de disminución económica de la Provincia en el término de los próximos doce meses.

3.4.5 Efectos sobre la recaudación fiscal

Si bien la base técnica de imposición del sistema provincial es variable según el tributo (ingresos brutos, propiedad inmueble, parque automotor, transacciones, etc.) es evidente que el sustento real y económico de cualquier impuesto en cualquier actividad, es la capacidad contributiva de la misma. A su vez, la capacidad contributiva se manifiesta en el patrimonio en el ingreso. Ambos conceptos han sido afectados seriamente en la Provincia, por lo que debe calcularse en la misma proporción una disminución de la recaudación fiscal en el próximo año, la que también a la luz de la precaria información y evaluación con que se cuenta en este momento, debe considerarse como no inferior al 25%.

3.4.4.4 Commerce

The commercial activity is a function of the agricultural provincial sector and of the public sector. Thus it is affected to a similar extent as these two sectors and particularly as a consequence of the reduction of the stocks on hand.

Due to all of these factors and other economic interrelations, too many to analyze, we estimate that commerce suffered an economic reduction of 25% in the Province, during the following twelve months.

3.4.5 Effects on the fiscal income

Although the technical base for taxes of the provincial system varies according to the type of tax (gross income, property, vehicle, transactions, etc.) it is evident that the real and economic justification of any tax, in any activity, is its contributive capacity. At the same time the contributive capacity depends on the patrimony and on the income. Both factors were seriously affected in the Province, so therefore a reduction in the fiscal income must also be calculated in a similar amount, for the following year. On the basis of doubtful and insufficient information and evaluation, such a loss can only be estimated as being no less than 25%.

REFERENCIAS REFERENCES

- Gobierno de la Provincia de San Juan - Informes de las reparticiones públicas que evaluaron los efectos del terremoto de Caucete del 23/11/1977. San Juan, 1978.
- INPRES - "Microzonificación sísmica del Valle de Tulum. Provincia de San Juan". Informe Técnico General, Vol. I, II y III. Argentina, 1982.
- Podestá, H.L. - "Informe requerido por los puntos III y IV de la metodología indicada en la nota No. 4322-GR-78". Divisional San Juan de O.S.N. 1978.
- Kubo, K. - "Behaviour of underground water pipes during an earthquake". Proc. V WCEE, Roma, 1973.
- UNESCO - "Terremotos: Evaluación y mitigación de su peligrosidad". Editorial Blume, 1980.
- Zamargide, J.L.; Castano, J.C. y Giuliano, A.P. - "Potential damageability due to earthquakes in the Tulum Valley, San Juan, Argentina". Proc. VIII WCEE, San Francisco, California, 1984.
- Yaoxian, Ye - "Damage to lifelines systems and other urban vital facilities from the Tang Shan, China earthquake of July 28, 1976". Proc. VII WCEE, Turkia, 1980.

