INDICE

VOLUMEN I

RESUMEN EJECUTIVO i

CAPITULO 1: INTRODUCCION 1

1.1.- GENERAL 1

1.2.- ALCANCE 1

1.3.- NORMAS DE REFERENCIAS 2

1.4.- VIDA UTIL 2

1.5.- RIESGO ACEPTABLE 2

CAPITULO 2: EVALUACION DE LA AMENAZA SISMICA .. 5

2.1.- INTRODUCCION 5

2.2.- GEOLOGIA DE LA REGION 5

2.2.1.- INTRODUCCION 5

2.2.2.- FALLAS ACTIVAS Y SUS PARAMETROS SISMOGENICOS 8

2.3.- ANALISIS DE DATOS SISMOLOGICOS 13

2.3.1.- BASE DE DATOS 13

2.3.2.- ACTIVIDAD SISMICA EN LA REGION CENTRO-OCCIDENTAL 13

2.3.3.- TASAS MEDIAS DE EXCEDENCIA 15

2.4.- MODELO SISMOTECTONICO 17

2.4.1.- CARACTERIZACION DE FUENTES SIMICAS 17

2.4.2.- SISMO MAXIMO 19

2.4.3.- MODELOS ESTUDIADOS 21

2 5 - RELACIONES DE ATENUACION 23

2.5 1 - INTRODUCCION 23

2.5 2 - REGISTROS VENEZOLANOS 23

2.5 3.- RELACIONES DE ATENUACION DE ACELERACIONES 25

2 5 4 - COMPARACION CON REGISTROS ACELEROGRAFICOS DE LA REGION CENTRO-OCCIDENTAL 26

2.6.- EVALUACION DEL PELIGRO SISMICO 29

2.6.1.- ALGORITMO DE CALCULO 29

2 6 2.- RESULTADOS DEL PELIGRO SISMICO 31

2 6.3.- DISTRIBUCION PROBABILISTICA DE ACELERACIONES MAXIMAS EN ROCA 31

2.6 4.- SELECCION DEL MOVIMIENTO DE DISEÑO EN ROCA 35

CAPITULO 3: DESCRIPCION ESTRUCTURAL DE LOS EDIFICIOS DEL HOSPITAL 37

3.1.- DESCRIPCION GENERAL 37

3.2.- ESTRUCTURACION DE LOS EDIFICIOS SELECCIONADOS 40

3.3.- FUNDACIONES Y VIGAS DE RIOSTRA 40

CAPITULO 4: SUBSUELO Y ESPECTROS DE RESPUESTA 44

4.1.- LITOLOGIA Y TIPO DE SUELO 44

4.2.- ESPECTROS DE RESPUESTA 47

4 2 1.- ESPECTRO DE RESPUESTA ELASTICA 47

4 2 2 - ESPECTRO DE DISEÑO 49

CAPITULO 5: EVALUACION DE MATERIALES ... 50

5 1.- RESISTENCIA DEL CONCRETO Y MODULO DE ELASTICIDAD ... 50

CAPITULO 6: EDIFICIO DE ANATOMIA PATOLOGICA ... 56

6 1.- DESCRIPCION ... 56

6 2.- ESTRUCTURA EN SU ESTADO ACTUAL ... 60

6.2 1 - PESOS Y MASAS ... 60

6.2.2 - MODELAJE ESTRUCTURAL ... 62

6 2 3 - PROPIEDADES DINAMICAS ... 64

6.2 4.- SOLICITACIONES EN LOS ELEMENTOS Y DESPLAZAMIENTOS 64

6.3.- ESTRUCTURA REFORZADA ... 68

6.3 1.- MODELAJE ESTRUCTURAL ... 70

6 3 2 - PROPIEDADES DINAMICAS ... 70

6.3.3.- CORTANTES EN LOS MUROS ... 72

6 3.4 - DERIVAS ... 74

6.3 5.- VERIFICACION DE LA SEGURIDAD ... 77

CAPITULO 7: EDIFICIO ANTIGUA EMERGENCIA ... 78

7.1.- DESCRIPCION ... 78

7.2.- ESTRUCTURA EN SU ESTADO ACTUAL ... 78

7.2.1.- PESOS Y MASAS ... 78

7.2.2.- MODELAJE ESTRUCTURAL ... 83

7.2.3 - PROPIEDADES DINAMICAS ... 84

7.2.4.- SOLICITACIONES EN LOS ELEMENTOS Y DESPLAZAMIENTOS 86

7.3.- ESTRUCTURA REFORZADA 89

7.3.1.- MODELAJE ESTRUCTURAL 89

7.3.2.- PROPIEDADES DINAMICAS 91

7.3.3.- SOLICITACIONES EN LOS ELEMENTOS Y DESPLAZAMIENTOS 91

7.3.4.- VERIFICACIONES DE LA SEGURIDAD 96

CAPITULO 8: TABIQUERIA 98

8.1.- TABIQUERIA DE VENTILACION 98

8.2.- INTERRUPCIONES DE LA TABIQUERIA DE FACHADA 102

CAPITULO 9: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES 106

REFERENCIAS 106

VOLUMEN 2 (ANEXOS)

A: RESULTADOS DEL ESTUDIO DE AMENAZA SIMICA 113

B: ESTUDIO DE SUELOS 122

C: ENSAYOS DE MATERIALES 142

D-1: ESQUEMAS DE PLANTAS Y PORTICOS 149

D-2: PROPIEDADES DINAMICAS DEL EDIFICIO EN SU ESTADO ACTUAL . 159

D-3: DESPLAZAMIENTOS POR NIVEL Y FUERZA EN LA BASE PARA LA COMBINACION: 1,00 Sx + 0,30 Sy 164

D-4: DESPLAZAMIENTOS POR NIVEL Y FUERZA EN LA BASE PARA LA COMBINACION: 0,30 Sx + 1,00 Sy 168

D-5: FUERZAS EN LOS ELEMENTOS PARA LA COMBINACION: 1,00 Sx + 0,30 Sy 172

D-6: FUERZAS EN LOS ELEMENTOS PARA LA COMBINACION: 0,30 Sx + 1,00 Sy 197

D-7: PROPIEDADES DINAMICAS DE LA ESTRUCTURA REFORZADA 222

D-8: DESPLAZAMIENTOS POR NIVEL Y FUERZA EN LA BASE PARA LA COMBINACION: 0,30 Sx + 1,00 Sy 227

D-9: FUERZAS EN LOS ELEMENTOS PARA LA COMBINACION: 0,30 Sx + 1,00 Sy 231

D-10: DESPLAZAMIENTOS POR NIVEL Y FUERZA EN LA BASE PARA LA COMBINACION: 1,00 Sx +0,30 Sy 256

D-11: FUERZAS EN LOS ELEMENTOS PARA LA COMBINACION: 1,00 Sx + 0,30 Sy 260

E-1: ESQUEMAS DE PLANTAS Y PORTICOS 285

E-2: PROPIEDADES DINAMICAS DEL EDIFICIO EN SU ESTADO ACTUAL . 290

E-3 SOLICITACIONES EN LOS ELEMENTOS, REACCIONES EN LA BASE Y DESPLAZAMIENTOS 295

E-4: PROPIEDADES DINAMICAS DE LA ESTRUCTURA REFORZADA 308

E-5 SOLICITACIONES EN LOS ELEMENTOS, REACCIONES EN LA BASE Y DESPLAZAMIENTOS 313

RESUMEN EJECUTIVO

En el presente Informe de dos volúmenes, se recogen los resultados de la evaluación sismorresistente del Hospital Dr. Adolfo Prince Lara ubicado en la ciudad de Puerto Cabello, Edo. Carabobo Esta evaluación está fundamentada en el estudio de amenaza sísmica del sitio, las condiciones geotécnicas locales, la calidad de los materiales y la información recabada en el sitio sobre la geometría de la estructura portante.

Para la evaluación sísmica de esta instalación hospitalaria conformada por 9 edificios, se seleccionaron los de Anatomía Patológica y la Antigua Emergencia como representativos del conjunto

Los resultados del análisis de ambas edificaciones en su estado actual revelan la necesidad de reforzarlas para que puedan soportar con seguridad los sismos esperados en la región centro-occidental del país.

El reforzamiento estructural de los edificios estudiados consistió en colocar muros de mampostería armada en el nivel subplanta baja en el edificio de Anatomía Patológica y añadir elementos metálicos en algunas columnas y vigas del edificio de la Antigua Emergencia. Este reforzamiento reduce en forma adecuada la vulnerabilidad sísmica de estas edificaciones. Adicionalmente, se dan alternativas para reducir los problemas que se pueden presentar debido a los cambios de rigidez en la tabiquería de fachada en el conjunto de edificios del hospital.

Las soluciones de reforzamiento propuestas pueden ser optimizadas cuando se ejecute el proyecto a nivel de Ingeniería de Detalle

CAPITULO 1

INTRODUCCION

1.1.- GENERAL

El presente Informe contiene los resultados de la Evaluación Sismorresistente del Hospital Dr Adolfo Prince Lara, Puerto Cabello, Estado Carabobo Esta es una continuación del proyecto de reducción de vulnerabilidad sísmica de instalaciones hospitalarias en Venezuela y en ese sentido complementa el trabajo **"ESTUDIO DE VULNERABILIDAD DEL HOSPITAL DR. ADOLFO PRINCE LARA, PUERTO CABELLO, ESTADO CARABOBO"**, OPS, Caracas 1993.

Este último contiene una descripción general de la instalación, así como información sobre su organización, ubicación, evaluación de amenazas naturales, servicios, planes de contingencia, etc, que sólo serán reproducidos en la medida que sean requeridos para la evaluación sismorresistente.

1.2.- ALCANCE

Realizar el análisis sísmico de los edificios de Anatomía Patológica y del pasillo de la entrada de la Antigua Emergencia del hospital en su estado actual para determinar su grado de vulnerabilidad ante terremotos y recomendar alternativas de refuerzo estructural para reducir dicha vulnerabilidad.

1.3.- NORMAS DE REFERENCIAS

Para realizar este trabajo se aplicarán las normas COVENIN vigentes que se indican a continuación:

COVENIN 1618 Estructuras de Acero para Edificaciones. Proyectos, Fabricación y Construcción Caracas, 1980.

COVENIN 1753: Estructuras de Concreto Armado para Edificaciones Análisis y Diseño. Caracas, 1985

COVENIN 1756: Edificaciones Antisísmicas. Caracas, 1987.

COVENIN 2002: Acciones Mínimas para el Proyecto de Edificaciones. Caracas, 1983

1.4.- VIDA UTIL

Tomando en consideración la fecha de construcción de esta edificación y el estado actual de sus instalaciones, para la selección de los movimientos máximos del terreno a considerar en su evaluación sismorresistente se ha adoptado una vida útil igual a 30 años.

1.5.- RIESGO ACEPTABLE

La Norma para Edificaciones Antisísmicas COVENIN 1756 vigente, incorpora la peligrosidad o amenaza sísmica por medio de mapas de zonificación en los cuales se establece el valor de la aceleración máxima del terreno (Ao) a nivel regional. Nominalmente, estos valores están asociados a una probabilidad de excedencia (P) igual a 10% en 50 años de vida útil y son de uso obligatorio para el diseño de edificaciones nuevas.

A los fines de la evaluación sismorresistente que se presenta en este trabajo, la amenaza sísmica correspondiente al sitio ha sido determinada mediante un estudio de amenaza sísmica para el sitio donde está ubicado el Hospital, tal y como se explica en el Capítulo 2

En la referida Norma COVENIN, los hospitales están clasificados como Grupo A. Para éstos, el coefiente de uso o de importancia (α), es igual a:

$$\alpha = 1,25 \qquad (1.1)$$

La probabilidad de no excedencia P´ de α Ao puede estimarse como:

$$\frac{ln\,P}{ln\,P'} = (\alpha)\beta \qquad (1.2)$$

donde P es la probabilidad de no excedencia para edificaciones del Grupo B, (α = 1,0), y β es aproximadamente igual a 3,3 para zonas de elevado peligro sísmico. Para una vida útil de 50 años, P = 0,90. Por tanto

$$\frac{ln(0,90)}{ln(P')} = (1,25)^{3,3} = 2,088 \qquad (1.3)$$

de donde:

$$P' = 0,9508 \qquad (1.4)$$

De ahí, el período medio de retorno para diseño de edificaciones nuevas del Grupo A, resulta ser igual a 991 años

Tomando en consideración que la estructura reforzada tenga una vida útil del orden de 30 años, si se adopta un riesgo similar al valor de P´ encontrado, ésto es 95%, se obtiene un período de retorno igual a:

$$T = \frac{1}{(1-0,95)/30} = 588 años \qquad (1.5)$$

Por tanto.

$$\lambda = \frac{1}{T} = 0,0017(1/año) \qquad (1.6)$$

En consecuencia, adoptaremos una tasa de excedencia de 5% en 30 años de vida útil para la selección de los movimientos máximos del terreno.

CAPITULO 2

EVALUACION DE LA AMENAZA SISMICA

2.1.- INTRODUCCION

La evaluación de la amenaza sísmica en un determinado sitio requiere tomar en consideración la geología local y regional con el fin de poder identificar fallas activas o potencialmente activas que pueden afectar el sitio en estudio. Esta información geológica es complementada con una evaluación de la actividad sísmica regional, tanto histórica como instrumental, con el fin de definir el modelo sismotectónico propio de la región donde está ubicado el sitio de interés. Dicho modelo requiere para el cálculo del peligro sísmico incorporar una relación funcional entre los movimientos máximos del terreno, la magnitud del evento y la distancia focal. Estas relaciones tienen un fundamento esencialmente empírico.

2.2.- GEOLOGIA DE LA REGION

2.2.1.- INTRODUCCION

La región septentrional de Venezuela está afectada por numerosos accidentes estructurales de actividad cuaternaria comprobada, los cuales están concentrado en una franja de orientación E-W de 100 km de ancho. Dicha franja cubre parcialmente la plataforma continental venezolana, así como el sistema Montañoso del Caribe, ubicado a lo largo de la costa norte

de Venezuela (Stephan, 1982, Aggarwal, 1983, Soulas, 1986a, y Beltrán & Giraldo, 1989) Este cinturón tectónico constituye la frontera entre las placas tectónicas del Caribe y Sudamérica (Molnar & Sykes, 1969, Minster & Jordan, 1978, Pérez & Aggarwal, 1981; y Aggarwal et al, 1984) (Figura 2.1). Es necesario recalcar que entre estos autores existe una opinión generalizada que expresa que gran parte del movimiento relativo dextral entre ambas placas se concentra dentro de este cinturon a lo largo del sistema de fallas de Boconó-San Sebastián-El Pilar y la prolongación oriental de éste, constituida por un sistema de orientación NW-SE con geometría en "pata de gallo", donde resaltan las fallas de Los Bajos y El Soldado.

Las fallas activas que constituyen el cinturón presentan orientaciones variables, no obstante que las fallas principales son de igual dirección, E-W. Las fallas menores se agrupan según dos orientaciones preferenciales, NW-SE y WSW-ENE (véase Figura 2.1).

Este cinturón tectónico tiene asociada una importante actividad sísmica, tanto histórica (Grases, 1980) como instrumental (Molnar & Sykes, op cit.; Beltrán & Giraldo, op. cit.). Grases (op. cit), en su compilación de eventos sísmicos destructores, reseña una decena de sismos de intensidad igual o superior a VIII, los cuales están ubicados en éste cinturón tectónico.

En el área de Puerto Cabello donde está situado el Hospital Adolfo Prince Lara, esta dentro de una franja tectónicamente activa y a unas pocas decenas de kilómetros al sur del sistema de fallas de Boconó - San Sebastián - El Pilar, siendo éste el accidente de mayor potencial sismogénico de la región como lo suguieren los sismos destructores históricos asociados.

En la Tabla 2.1 se sintetizan los parámetros sismogénicos de las 23 fuentes consideradas en el modelo sismotectónico de la región centro-

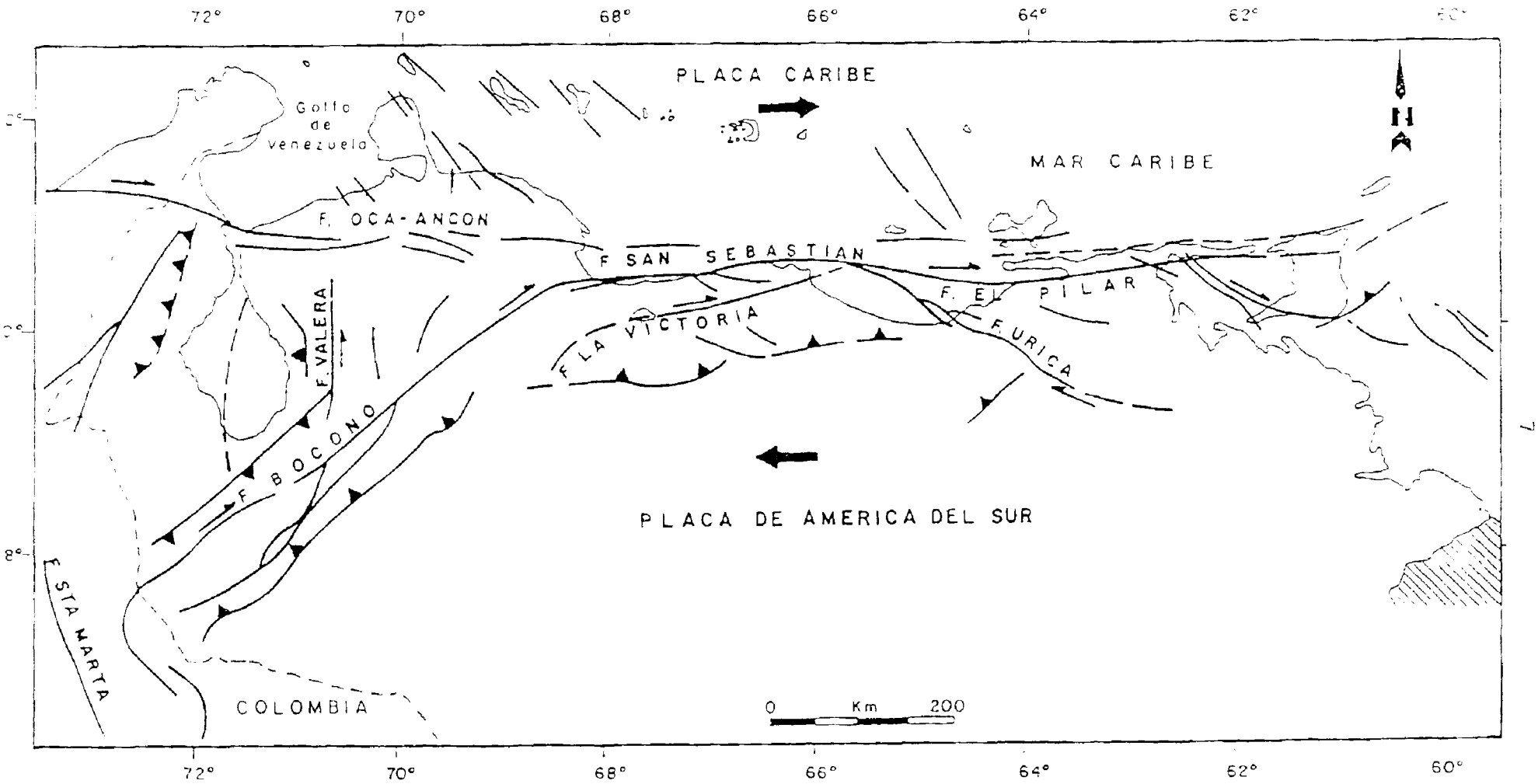


FIGURA 2.1 PRINCIPALES FALLAS ACTIVAS EN VENEZUELA

occidental del país (véase Figura 2 3), los cuales fueron calculados por medio de la relación empírica de Utsu & Seki (1954)

2.2.2.- FALLAS ACTIVAS Y SUS PARAMETROS SISMOGENICOS

A continuación presentamos una breve descripción de las fallas más importantes de la región donde está ubicado el sitio de interés.

2.2.2.1. FALLA DE CHICHIRIVICHE

La falla de Chichiriviche se extiende en la plataforma continental venezolana, desde Tucacas en la costa oriental falconiana hasta pasar al Sur de la Isla de La Tortuga, según una dirección E-W. Schubert & Krause (1981) consideran esta falla como la prolongación a través del lecho marino de la falla de Oca. Sin embargo, Soulas (1986a) sugiere que esta falla termina en cola de caballo en la costa oriental falconiana, producto de la trastensión existente en la extremidad occidental de la falla de Chichiriviche, como se aprecia en su mapa neotectónico de Venezuela.

Esta falla ha sido definida gracias a la utilización de levantamientos sísmicos de alta resolución, la cual en perfiles geofísicos, presenta buzamientos elevados (plano de falla subvertical) (González de Juana et al., 1980)

Considerando a la falla de Chichiriviche como la prolongación oriental de la falla de Oca, se asume que es una falla dextral con componente de movimiento vertical menor y cuya velocidad de desplazamiento es inferior a 2 mm/año. Se estima un sismo máximo probable asociado a este accidente de magnitud Ms = 7,5 con período de retorno superior a los 1000 años, producto de una longitud de ruptura de unos 180 km

TABLA 2.1

CARACTERISTICAS SISMOGENICAS DE LAS FALLAS ACTIVAS DEL MODELO SISMOTECTONICO

FALLA No	PROFUND. FOCAL (km)	LONGITUD DE RUPTURA (km)	SISMO MAXIMO PROBABLE (Ms)	PERIODO DE RETORNO (años)	VELOCIDAD DE LA FALLA (mm/año)
Chichiriviche 1	15	180	7,5	1.100	2,0
San Sebastián 2	20	270	7,8	320	9.0
Tacagua- El Avila 3	15	35	6,8	> 2 290	< 0,4
La Victoria 4	15	45	6,9	≥ 1.000	≤1,0
Río Guárico 5	15	35	6,8	> 3.000	≤ 0,3
Tácata 6	15	28	6,7	> 2.000	< 0,4
Boconó Norte 7	20	135	7,5	230	9,0
Boconó Sur 8	20	300	7,9	345	9,0
Píritu 9	15	50	7.0	> 2 750	< 4,0
Burbusay 10	15	40	6,9	10.000	0,1
Humocaro 11	15	30	6,8	≥ 1.700	≤ 0,5
Corr. Frontal 12	17	35	6,9	> 9.750	< 0,1
Santa Rosa 13	15	20	6,6	≥ 6.900	< 0,1
Aroa 14	10	40	6,7	≥ 8.000	≤ O,1
Duaca 15	15	20	6,6	≥ 6.900	≤ 0,1
San Diego 16	10	28	6,6	≥ 6.700	≤ 0,1
San Antonio 17	10	32	6,6	≥ 7.100	≤ 0,1
Aragüita 18	10	40	6,7	≥ 8.000	≤ 0,1
Costa NE Falcón 19	10	30	6,6	2.300	0,3
Oca Segmento 4 20	20	25	6,7	390	2,0
Oca Segmento 5 21	20	20	6,7	> 390	< 2,0
Valera Sur 22	12	30	6,7	1100	≤ 0,7
Valera Norte 23	15	40	6,9	980	≤ 1,0

2.2.2.2. FALLA DE SAN SEBASTIAN

Esta falla es también denominada falla de Morón por Schubert & Krause (1984) Sin embargo, dicha falla tomó originalmente su nombre de la población de San Sebastián de Maiquetía, único sector donde emerge sobre una corta distancia en el flanco sur del cerro Machado, al Norte del Aeropuerto de Maiquetía Este segmento es conocido como falla de Bruscas, el cual continúa tanto al Este como al Oeste hacia el Mar Caribe. Este accidente ha sido reconocido a todo lo largo de la costa del Litoral Central en base a levantamientos geofísicos obtenidos en lo esencial, por Silver et al. (1972 y 1975), por MARAVEN, y en perfiles sísmicos más superficiales efectuados cerca de la costa por Rial (1979) y Planesa (1975). Al este de Maiquetía, la falla de San Sebastián se extiende bajo el Mar Caribe en dirección de Cabo Codera donde se conecta con la falla de El Pilar, y al Oeste en dirección de Morón para unirse con la falla de Boconó

La falla de San Sebastián es responsable de la linearidad del trazado de la costa del Litoral Central y de la ausencia de plataforma continental a lo largo de la Cordillera de La Costa entre Cabo Codera y Morón, como respuesta a la transcurrencia dextral de la falla y al hundimiento del bloque norte.

Este accidente, como hemos indicado anteriormente, constituye el límite principal entre las placas Caribe y Sudamericana; por lo tanto, se puede extrapolar para ella la velocidad de la falla de Boconó de 9,0 mm/año determinada en base a datos geológicos de superficie (Soulas, 1986 b) Se estima para esta falla un sismo máximo probable de magnitud Ms = 7,8 con período de retorno de unos 320 años

2.2.2.3. FALLA DE LA VICTORIA

La falla de La Victoria es un accidente activo dextral (Schubert & Laredo, 1979 y Audemard, 1985) que se extiende según un rumbo N60E a N90E, desde Tinaquillo al Oeste hasta unos pocos kilómetros al Este de Cabo Codera, donde se conectaría en el mar con el sistema de San Sebastián-El Pilar.

El sistema de fallas de La Victoria constituye un accidente estructural complejo caracterizado por un conjunto de tramos cortos dispuestos "en echelón" y con solapamiento dextral.

En base a 4,5 m de salto vertical en mercadores deformados holocenos del sustrato del Lago de Valencia diferenciados por Schubert & Laredo (op. cit.) a partir de un levantamiento geofísico de reflexión somera, se deduce una velocidad de desplazamiento del orden de 1 mm/año. En consecuencia, se estima la probable ocurrencia de un sismo máximo de magnitud Ms = 6,9 aproximadamente cada 1.000 años, como consecuencia de una ruptura a lo largo de esta falla de unos 45 km de longitud (Audemard, 1993)

2.2.2.4. FALLA DE BOCONO

La falla activa dextral de Boconó (Rot, 1956), de orientación general N45E, constituye el tramo principal del límite entre las placas del Caribe y América del Sur en los Andes Venezolanos.

Entre Mérida y Morón el trazado de esta falla es bastante rectilíneo, a excepción del tramo Barquisimeto-Yaritagua (al norte de Cabudare), donde sufre una importante inflexión y adquiere una dirección aproximada este-oeste-noreste-suroeste (EO-NE-SO). A partir de Yaritagua, esta falla recobra

su orientación original auque al norte de San Felipe se curva hacia el este y de esa manera se une al sistema de fallas de San Sebastián

El tipo de movimiento de la falla de Boconó es transcurrente dextral, por lo que la componente horizontal de dicho movimiento es predominante (la componente vertical es casi nula). La velocidad del desplazamiento dextral de esta falla para el tramo Mérida-Morón es de 9 mm/año (Schubert, 1972) Este tramo se ha idealizado en 2 segmentos: el Boconó norte (Barquisimeto-Morón) para la cual se ha estimado un sitio máximo probable de Ms = 7,5 con un período de retorno de 230 años y el Boconó Sur (Mérida-Barquisimeto) para el cual se ha estimado un sismo máximo probable de Ms = 7,9 con un período de retorno de 345 años.

2.2.2.5. FALLA DE OCA

Este fallamiento de orientación promedio este-oeste (E-O), destaca claramente en superficie desde las estribaciones de la sierra de Perijá (Edo. Zulia) hasta las inmediaciones Chichiriviche (Edo. Falcón).

El tramo de la falla de Oca que va desde las cercanías de la Goya hasta Agua Linda, se ha dividido en 2 segmentos: El segmento 4 (hacia el este) para el cual se ha estimado un sismo de magnitud Ms = 6,7 con un período de retorno de 390 años y el segmento 5 (hacia el oeste) para el cual se ha estimado un sismo de magnitud Ms = 6,7 con un período de retorno superior a 390 años.

2.3- ANALISIS DE DATOS SISMOLOGICOS

2.3.1.- BASE DE DATOS

En adición a la información geológica descrita en la Sección 2 2, de éste Informe, se han analizado catálogos actualizados de la actividad sísmica en Venezuela. Los catálogos revisados son los siguientes.

a) Catálogo de sismos basados en registros instrumentales, INTEVEP FUNVISIS, 1900-1988

b) Centeno-Graü, M. Estudios Sismológicos. Caracas, 1969.

c) Investigaciones sobre los sismos destructores que han afectado el Centro-Occidente de Venezuela. Grases, J., INTEVEP, Septiembre 1980.140 p + Anexos.

d)Catálogos de terremotos para América del Sur. Venezuela. Vol 8, CERESIS, Lima Perú, 1985.

e) Boletín Sismológico de Venezuela: 1983-1993. FUNVISIS, Caracas.

2.3.2.-ACTIVIDAD SISMICA EN LA REGION CENTRO-OCCIDENTAL

2.3.2.1. SISMOS SENTIDOS EN PUERTO CABELLO

Desde tiempos históricos se tiene conocimiento de sismos que han afectado la región Centro-Occidental del país De la revisión de la base de datos anotada en la sección anterior, encontramos que para el período 1800-

1993 en la ciudad de Puerto Cabello se han sentido al menos 20 sismos con una intensidad igual o superior a III en la escala de Mercalli Modificada (véase Tabla 2 2)

TABLA 2.2

SISMOS SENTIDOS EN PUERTO CABELLO EN EL PERIODO 1800-1993

FECHA SISMO	COORDENADAS EPICENTRO		MAGNITUD (Ms)	INTENSIDAD MM PUERTO CABELLO
	N°	W°		
? - ? - 1801	--	--	----	IV
20 - 05 - 1802	10,48	68,03	----	VI
26 - 03 - 1812	10,60	66,90	6,9	VII
15 - 12 - 1865	10,64	66,92	----	V
14 - 03 - 1878	10,30	66,80	5,9	III
29 - 04 - 1894	8,50	71,70	7,1	IV
29 - 10 - 1900	11,00	66,00	8,4	V
22 - 02 - 1921	10,90	66,80	4,8	IV
03 - 08 - 1950	9,83	69,72	6,4	IV
05 - 10 - 1966	10,50	67,00	4,2	IV
30 - 07 - 1967	11,06	67,15	6,6	VI
19 - 05 - 1970	10,89	68,93	4,9	III
05 - 04 - 1975	10,08	69,65	6,1	III
14 - 03 - 1977	11,20	67,20	4,2	IV
11 - 12 - 1977	9,50	69,60	5,0	III
02 - 12 - 1980	10,49	67,54	4,0	V
18 - 07 - 1986	10,80	69,36	5,5	IV
25 - 08 - 1986	10,30	67,06	4,5	III
30 - 04 - 1989	11,10	68,18	5,9	V
22 - 07 - 1992	6,47	71,12	5,9	III

2.3.2.2. SISMOS REGISTRADOS INSTRUMENTALMENTE

Si bien el Observatorio Cajigal de Caracas fue fundado en 1888 y el gran terremoto de los Andes fue en 1894, es como consecuencia del terremoto de Caracas de 1900 que se motivó la instalación de equipos de registro sismográfico Sin embargo, no fue hasta 1959 cuando se inició el registro permanente y la publicación de los Boletines Sismológicos del Observatorio Cajigal.

Del análisis de la base de datos de la Sección 2.3.1 para el período 1900-1993 en el cuadrángulo 9,00° - 11,50° N y 65,50° - 70,00° W, encontramos que han sucedido 146 sismos de magnitud superior a 3,5; 72 sismos con magnitud igual o mayor de 4; 40 con magnitud igual o mayor a 5 y 3 con magnitud igual o superior a 6.

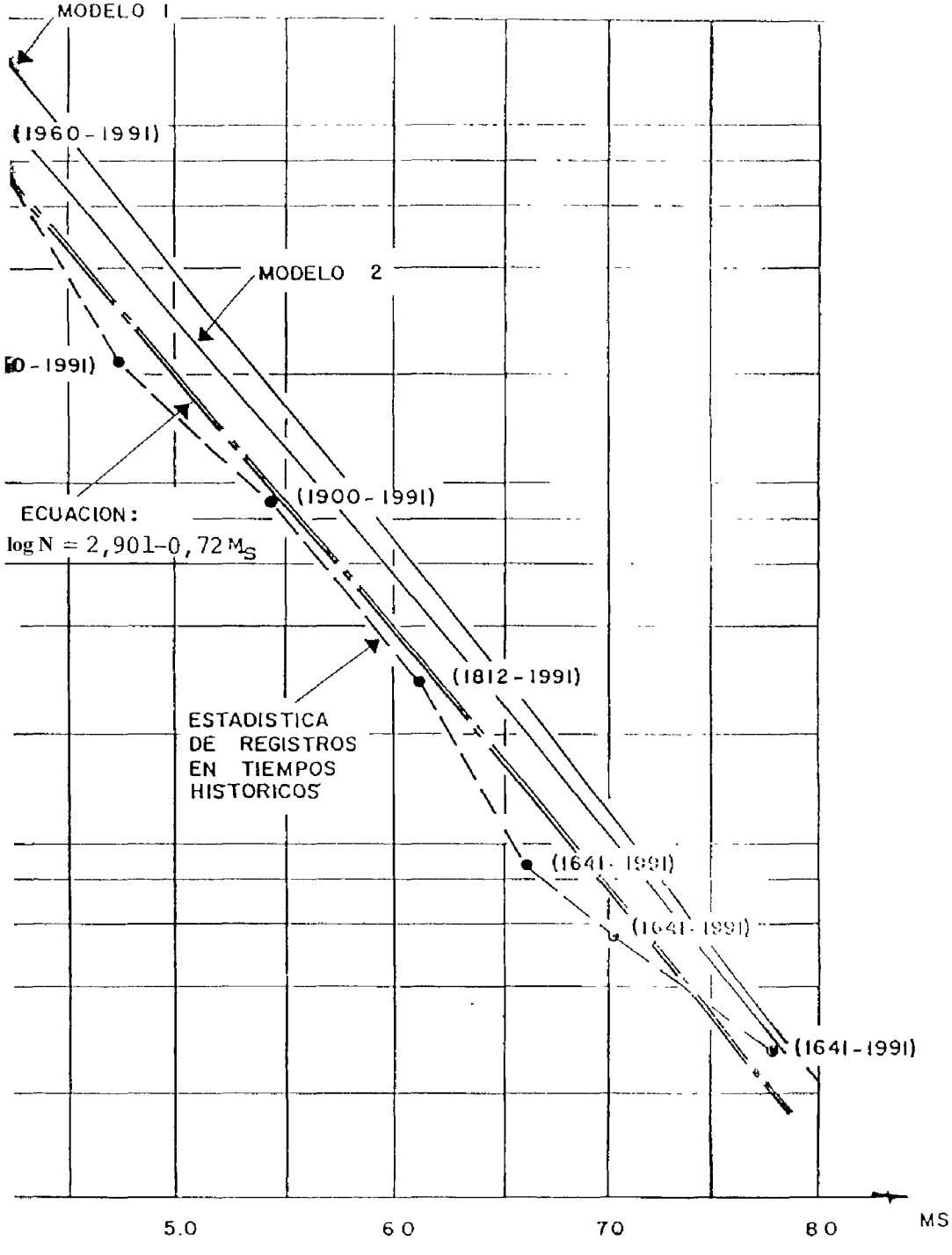
2.3.3.- TASAS MEDIAS DE EXCEDENCIA

Para el cálculo de las tasas medias anuales regionales de excedencia de magnitud para la región Centro-Occidental del país, también se han incorporado los sismos anteriores al siglo XX, cuyo epicentro macrosísmico se ubica dentro del cuadrángulo seleccionado. Igualmente, se han uniformado a Ms aquellos valores de magnitud reportados como mb De este modo se han obtenido las tasas medias de excedencia de magnitudes Ms (N) que se muestran en la Figura 2.2. Entre paréntesis se indican los lapsos de completitud adoptados para el cálculo de N

La siguiente expresión describe en forma aproximada la envolvente de los valores calculados:

$$\log N = 2{,}901 - 0{,}72\ Ms$$

(Tamaño)



2.2 TASAS MEDIAS DE EXCEDENCIA DE MAGNITUDES Ms. REGION CENTRO-OCCIDENTAL DE VENEZUELA

2.4.- MODELO SISMOTECTONICO

2.4.1.- CARACTERIZACION DE FUENTES SIMICAS

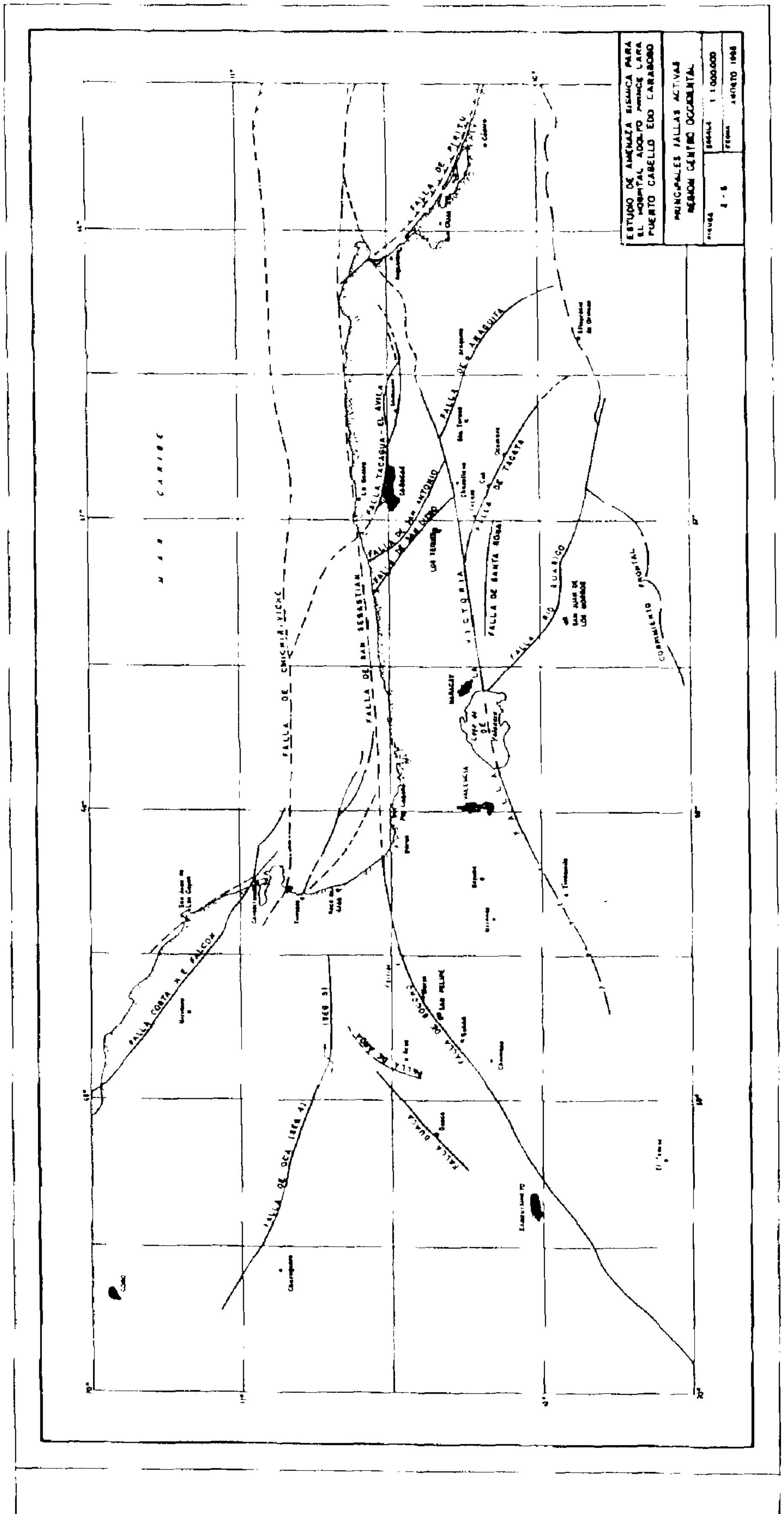
Analizada la información resumida en las Secciones 2.2 y 2 3, se estableció una correlación entre las fallas activas identificadas y la actividad sísmica superficial de la región en estudio para definir el modelo sismotectónico

De una manera general las fuentes sísmicas incorporadas al referido modelo, se han identificado como aquellas áreas o lineamientos geológicos que muestran evidencias geológicas, o basados en registros instrumentales de sismicidad

En la Figura 2.3 se presentan esquemáticamente la geometría de las 23 fuentes superficiales que conforman el modelo sismotectónico. De igual modo, con el fin de tomar en consideración fallas activas no identificadas, así como actividad sísmica no asociable a fuentes específicas, es usual modelar tales "fuentes aleatorias" como una fuente difusa superficial, denominada sismicidad de fondo.

El valor máximo esperado de la magnitud para cada fuente, anotado en la Tabla 2.1, está basado en la sismicidad, histórica e instrumental y/o evidencias geológicas utilizando correlaciones entre magnitud y longitud de falla. Estos valores definen truncaturas en las relaciones de recurrencia que se han empleado por describir la distribución del número acumulado de sismos de diferentes magnitud, debidamente caracterizados por los valores de a y b (véase Sección 2 4.3); estos valores de a y b están respaldados, en lo posible, por el registro histórico de sismos en la región norte-central de Venezuela.

Es sabido no obstante, que si bien la historia de sucesos es aproximadamente aleatoria en el tiempo, los grandes sismos requieren un


ESTUDIO DE AMENAZA SISMICA PARA EL HOSPITAL ADOLFO PRINCE LARA PUERTO CABELLO EDO CARABOBO
PRINCIPALES FALLAS ACTIVAS REGION CENTRO OCCIDENTAL
ESCALA 1:1.000.000
FIGURA 2-6
MAR CARIBE
FALLA DE PIRITU
FALLA TACAGUA - EL AVILA
FALLA DE SAN SEBASTIAN
FALLA DE CHICHIRIVICHE
FALLA DE LA VICTORIA
FALLA DE SANTA ROSA
FALLA RIO GUARICO
CORRIMIENTO FRONTAL
FALLA COSTA N.E. FALCON
FALLA DE OCA
FALLA DE BOCONO
FALLA DE TACATA
FALLA DE SAN ANTONIO
FALLA DE TARA

"tiempo de espera" considerable, se postula que estos hiatos sísmicos son consecuencia de la acumulación progresiva de suficiente energía de deformación, y constituyen el fundamento de la teoría de "hiatos sísmicos" a lo largo de bordes de placa, tal como lo es la costa norte-central de Venezuela. De aquí que, áreas que hayan estado sísmicamente inactivas durante largo tiempo, pudieran ser más propensas a un futuro gran sismo que aquellas en las cuales han sucedido grandes sismos en tiempos recientes. Las implicaciones de lo antes anotado en la evaluación de la peligrosidad sísmica son importantes, ya que un mero análisis estadístico no reflejaría la peligrosidad real de las fuentes en cuestión. Esta consideración se ha tenido presente en la caracterización de la actividad de las fallas de San Sebastián, Chichiriviche y Boconó.

Tomando en consideración las incertidumbres propias de la asignación de velocidades de desplazamiento en los accidentes activos más importantes del área, se decidió seleccionar dos modelos alternativos. Los valores adoptados se indican en la Sección 2.4 3.

2.4.2.- SISMO MAXIMO

En base a las evaluaciones hechas de sismos históricos, se ha seleccionado el sismo máximo observado en cada una de las fuentes donde esto ha sido posible. En la Tabla 2.3 se compara este valor, con indicación del año del suceso, con el sismo máximo esperado según la evaluación geológica presentada en la Sección 2.2, también se anota en la tabla, el período medio de retorno en años.

TABLA 2.3

SISMOS MAXIMOS PROBABLES Y PERIODOS MEDIOS DE RETORNO

FALLA (No.)	SISMO MAXIMO PROBABLE SEGUN EVALUACION GEOLOGICA		SISMO MAXIMO OBSERVADO EN TIEMPOS HISTORICOS	
	MAGNITUD (Ms)	PERIODO MEDIO DE RETORNO (años)	MAGNITUD (Ms)	AÑO DEL SUCESO
CHICHIRIVICHE (1)	7,5	1.100	6,0	1942
SAN SEBASTIAN (2)	7,8	320	7,8	1900
TACAGUA - EL AVILA (3)	6,8	> 2.290	--	--
LA VICTORIA (4)	6,9	≥ 1.000	6,8	1641 (a)
TAOCATA (6)	6,7	> 2.000	6,7	1878
BOCONO N (7)	7,5	230	7,2	1812

(a) Correlación sismotectónica dudosa

2.4.3.- MODELOS ESTUDIADOS

Para el cálculo de la actividad relativa entre las diferentes fuentes sismogénicas identificadas, se ha supuesto que el valor regional de (b), como el calculado en la Sección 3 5, es similar para todas las fuentes

Tomando en consideración las observaciones anotadas en la Sección 2.4.1 y la información disponible se decidió adoptar dos modelos para describir la actividad relativa en la región. Ambos sobrestiman las tasas medias anuales inferidas de la sismicidad histórica a nivel regional: el primero en un 90% y el segundo en un 24% aproximadamente. Los valores adoptados para la región se anotan en la Tabla 2.4.

TABLA 2.4

IDENTIFICACION	*N PARA Ms > 4.0 (1/año)*	*b*	*ß*
Sismicidad Histórica	1,05	0,72 (envolvente)	1,66
Modelo 1	2,00	0,74	1,70
Modelo 2	1,30	0,71	1,64

La determinación de los parámetros característicos de las 23 fuentes sísmicas consideradas en el modelo sismotectónico de la región centro-occidental, se ha hecho a partir de las velocidades de desplazamiento y magnitudes máximas dadas en la Sección 2 2.

TABLA 2.5

VALORES ADOPTADOS PARA EL CALCULO DE LA AMENAZA SISMICA

FUENTE		MAGNITUD (Ms)	N PARA Ms ≥ 4,0 (1/año)	
#	NOMBRE		MODELO 1	MODELO 2
1	CHICHIRIVICHE	7,6	0,360	0,270
2	SAN SEBASTIAN	7,8	1,400	0,980
3	TACAGUA - EL AVILA	6,8	0,049	0,040
4	LA VICTORIA	6,9	0,140	0,100
5	RIO GUARICO	6,8	0,040	0,037
6	TACATA	6,7	0,049	0,040
7	BOCONO	7,5	2,000	1,550
8	BOCONO SUR	7,9	2,300	1,730
9	PIRITU	7,0	0,020	0,020
10	SAN MATEO N	6,9	0,010	0,010
11	SAN MATEO SUR	6,8	0,060	0,045
12	CORR FRONTAL	6,9	0,012	0,012
13	SANTA ROSA	6,6	0,012	0,012
14	AROA	6,7	0,030	0,020
15	DUACA	6,6	0,100	0,075
16	SAN DIEGO	6,6	0,012	0,012
17	SAN ANTONIO	6,6	0,012	0,012
18	ARAGUITA	6,7	0,012	0,012
19	COSTA NE FALCON	6,6	0,050	0,040
20	OCA SEG 4	6,7	0,450	0,350
21	OCA SEGM 5	6,7	0,200	0,150
22	VALERA SUR	6,7	0,020	0,015
23	VALERA NORTE	6,9	0,030	0,020

En la Tabla 2.5 se indican los valores adoptados para el cálculo de la amenaza sísmica Las fuentes más cercanas al sitio de interés son las 1, 2, 4, 7, 14, 15 y 21, mientras las más alejadas son al occidente las 8, 15, 20, 22 y 23 y al oriente las 9, 16, 17 y 18.

2.5.-RELACIONES DE ATENUACION

2.5.1.- INTRODUCCION

El modelo sismotectónico para el cálculo del peligro sísmico requiere incorporar una relación funcional entre los movimientos máximos del terreno, la magnitud del evento y la distancia focal. Estas relaciones de atenuación tienen un fundamento esencialmente empírico.

Registros provenientes de sismos con mecanismos y profundidades focales diferentes, revelan que los patrones de atenuación de sismos superficiales, sean estos de fallas transcurrentes, normales o inversas, difieren de los correspondientes a sismos cuyos mecanismos son de subducción con profundidades focales mayores. No obstante, aún cuando el sitio de interés puede ser afectado tanto por sismos superficiales como por sismos intermedios lejanos, éstos últimos representan una amenaza muy pequeña y por tanto no se modificará para esas fuentes intermedias el patrón de atenuación.

2.5.2.- REGISTROS VENEZOLANOS

Desde 1981 se han recuperado diversos registros acelerográficos en el país como consecuencia de sismos Entre ellos son de especial importancia aquellos provenientes de estaciones ubicadas en roca. En la Figura 2.4 se dan

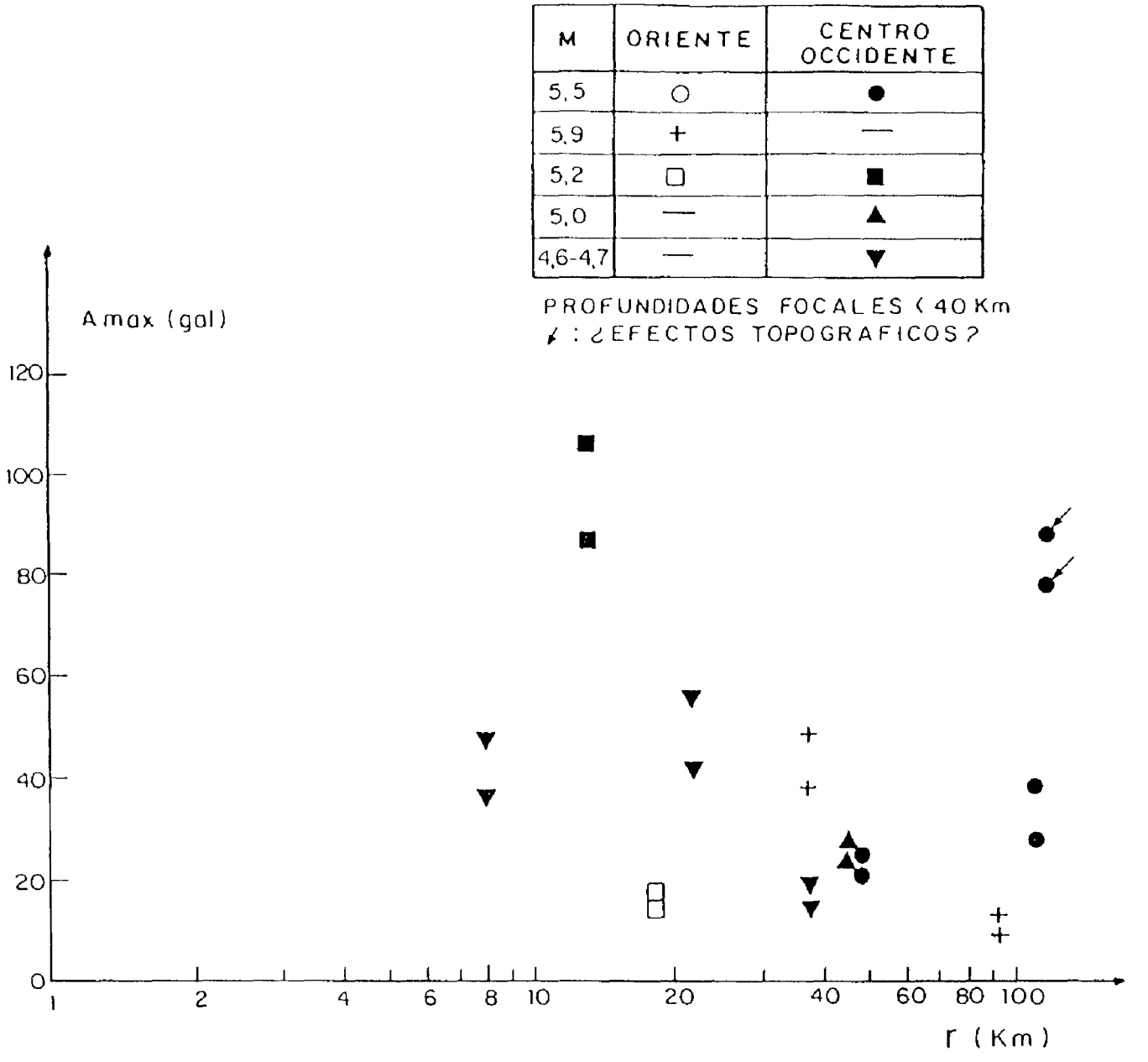


FIGURA 2.4 ACELERACIONES MAXIMAS REGISTRADAS EN ROCA EN VENEZUELA

los valores de las aceleraciones máximas registradas en 10 sismos sucedidos entre 1981 y 1986; no se han obtenido datos de eventuales registros en roca de fecha más reciente, la magnitud indicada en la figura es representativa de los valores dados por ISC. De una manera general, la figura revela que a distancias moderadas y profundidades focales inferiores a unos 40 km, que son las predominantes, sismos con magnitudes 5 a 5,5, que en término medio pueden suceder una vez cada 3 a 8 años en la región estudiada, dan lugar a aceleraciones en roca inferiores a 100 gal.

2.5.3.- RELACIONES DE ATENUACION DE ACELERACIONES

Tomando en consideración lo anotado en la Sección 2.5.1, se decidió el empleo de tres leyes de atenuación. Las tres leyes son las siguientes:

a) La relación obtenida por regresión de las componentes horizontales de aceleraciones máximas registradas en roca, incluyendo 22 registros venezolanos (*CORAL 83*, 1991):

$$\ln a = 4{,}86 + 0{,}51\ Ms - 1{,}00 \ln (R + 5)$$

$$\sigma \ln a = 0{,}68$$

b) La relación obtenida por INTEVEP para el oriente de Venezuela a partir de Intensidades (Quijada, 1993) y cuya ecuación es:

$$\ln a = 3{,}75 + 0{,}47 - 0{,}57 \ln (R+10)$$

$$\sigma \ln a = 0{,}66$$

c) La relación propuesta por Joyner & Boore (1988) en base a registros obtenidos en roca y cuya ecuación ajustada a la forma de las dos anteriores es

$$\ln a = 5{,}998 + 0{,}398\ Ms - 1{,}23 \ln R$$

$$\sigma \ln a = 0{,}645$$

En las Figuras 2.5 y 2 6 se presenta una comparación de las tres leyes de atenuación utilizadas para magnitudes iguales a 6,0 y 7,0 respectivamente, con una profundidad focal de 15 km. En dichas figuras podemos observar que la ley de Joyner and Boore (J & B) es la que da valores más altos para distancias menores de 20 km., pero luego es la que atenúa más rápidamente. Asímismo, podemos notar que con la ley de INTEVEP se obtienen las aceleraciones más bajas para distancias hipocentrales menores de 20 km y las más altas para distancias hipocentrales mayores de 30 km. Igualmente, notamos que la Ley de CORAL 83, en general, da resultados intermedios entre las otras dos leyes consideradas.

2.5.4.- COMPARACION CON REGISTROS ACELEROGRAFICOS DE LA REGION CENTRO-OCCIDENTAL

Desde 1981 en la región centro-occidental del país se han recuperado registros acelerográficos en suelo firme o roca de 7 sismos; las magnitudes mb están comprendidas entre 4,6 y 5,5 (Boletines ISC, 1982-1986). Estas

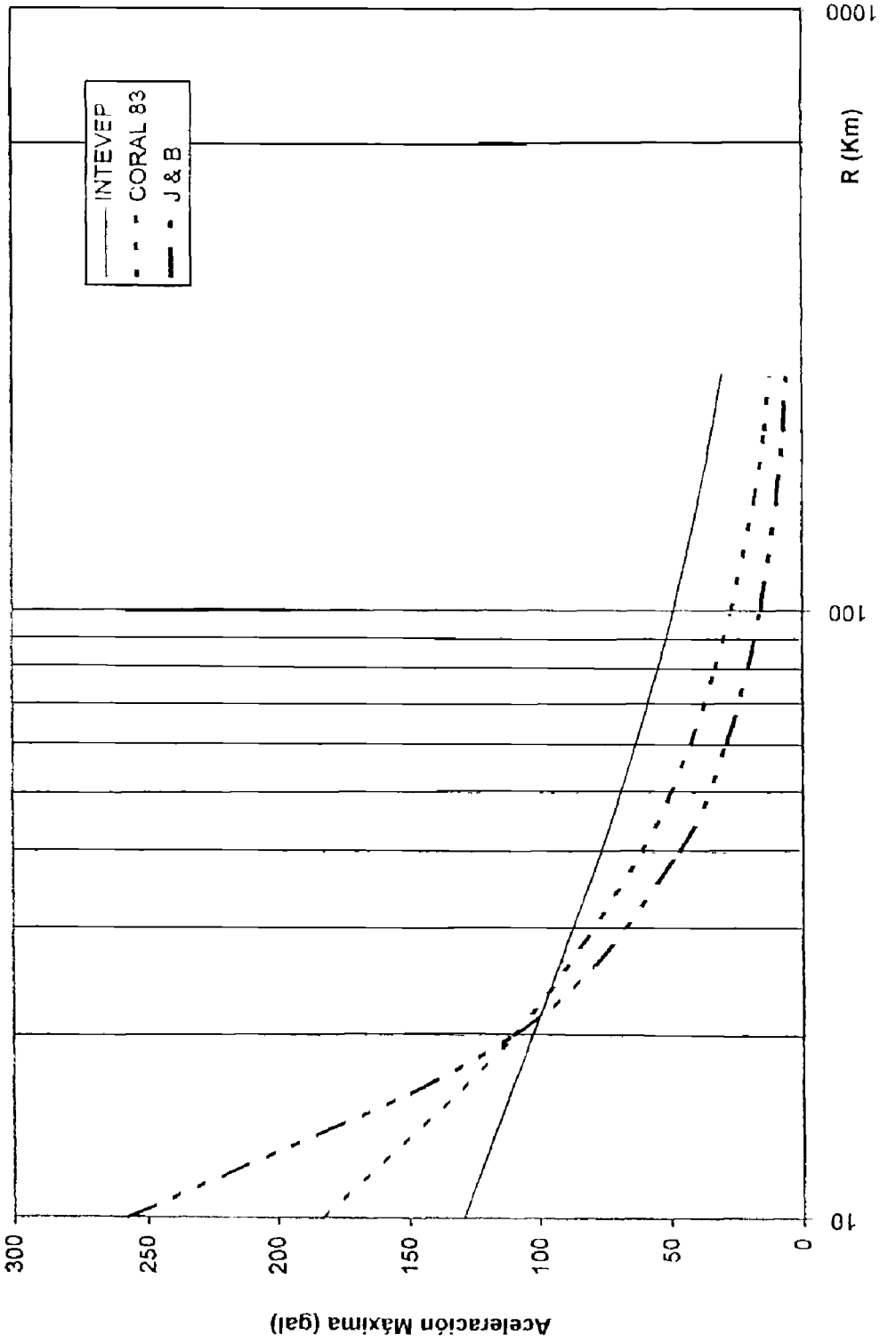


FIGURA 2.5 RELACIONES DE ATENUACION. Ms = 6,0 ; h = 15 km

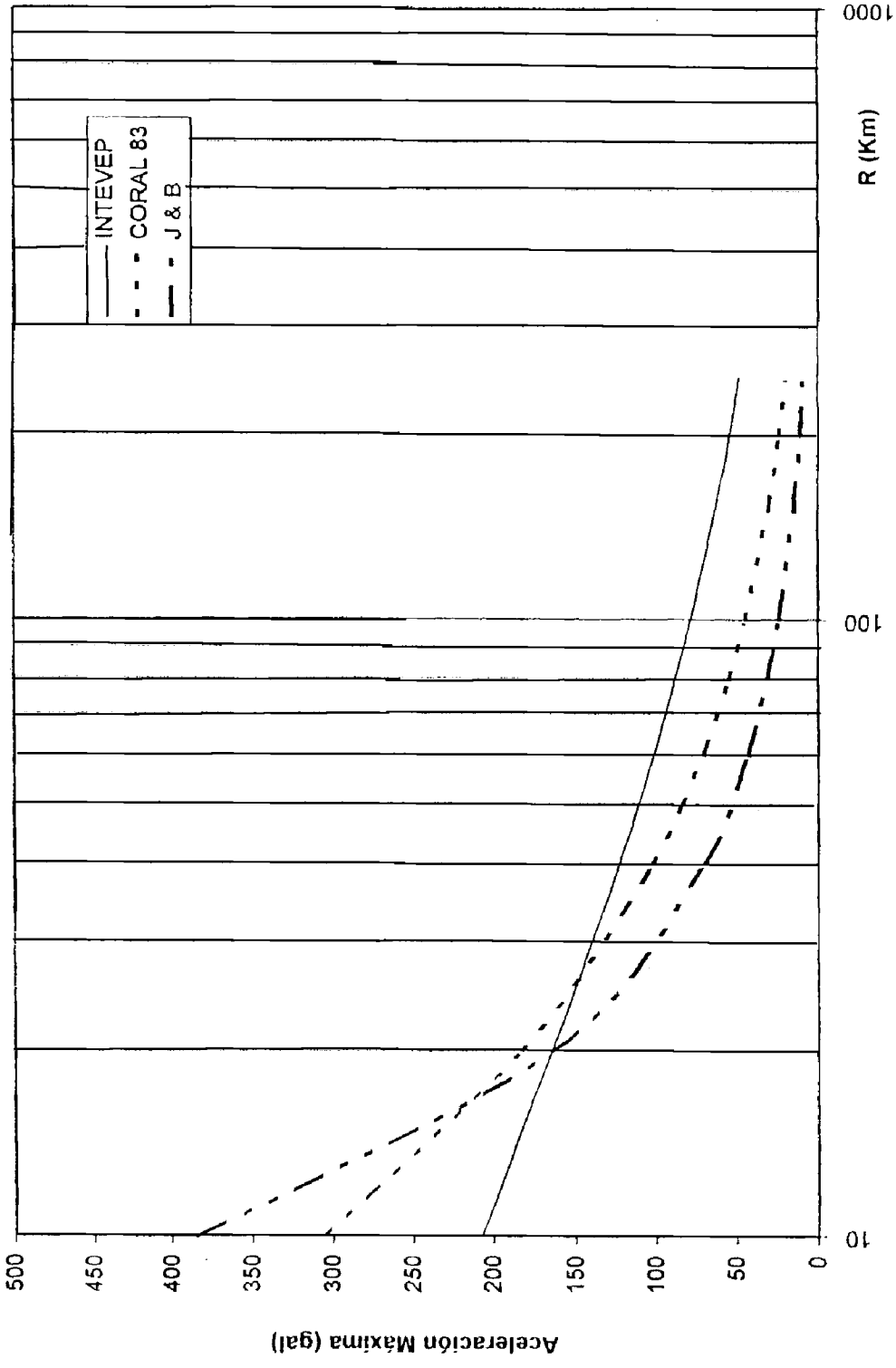


FIGURA 2.6 RELACIONES DE ATENUACION. Ms = 7,0 ; h = 15 km

magnitudes fueron convertidas a Ms usando la relación de Willis, et al (1974). En la Tabla 2 6 se dan las características de los referidos eventos sísmicos, así como los valores de las aceleraciones registradas (Ah^R) y predichas (Ah^P) para las leyes de atenuación de ***CORAL 83,*** *INTEVEP y Joyner & Boore*. Los registros corresponden a las estaciones El Araguaney (113), Estribo Cuevas Presa Las Cuevas (115), Estribo Presa Las Cuevas (116) y Presa Dos Cerritos (102) en el Complejo Hidroeléctrico Uribante-Caparo, Edo. Táchira y Galpón INTEVEP (225), Los Teques, Edo. Miranda.

De la observación de los valores de la Tabla 2.6 notamos que parte de las diferencias constatadas entre los valores predichos y los registrados son atribuibles a efectos locales (suelos y topografía); otras son propias de los coeficientes de las relaciones de atenuación. Esta observación refuerza la conveniencia de promediar los resultados arrojados por las tres leyes de atenuación en la evaluación de las amenazas sísmicas.

2.6.- EVALUACION DEL PELIGRO SISMICO

2.6.1.- ALGORITMO DE CALCULO

Para el cálculo del peligro sísmico se empleó el modelo sismotectónico descrito en la Sección 2.4 del presente Informe, con la versión 1987 del Programa de Cálculo de Peligro Sísmico de **CORAL 83**. En éste se acumulan las tasas de excedencia de los movimientos del terreno debidos a las diferentes fuentes en el lugar de interés y luego se adopta un modelo de Poisson, sin memoria.

TABLA 2.6

COMPARACION DE ACELERACIONES REGISTRADAS Y PREDICHAS EN SITIOS DE LA REGION CENTRO-OCCIDENTAL

SISMO/ FECHA	MAG. (Ms)	H (km)	ESTACION		DIST. HIP. (Km)	LEY DE ATENUACION Ah^P (g)		
			No.	Ah^R (g)		CORAL 83	J & B	INTEVEP
TACHIRA 18-10-81	5,4	52	113	0,04	98	0,020	0,013	0,038
			115	0,09	101	0,019	0,012	0,037
TARIBA 04-07-82	5,4	50	116	0 025	59	0,032	0,023	0,049
LA GRITA 15-06-83	4,7	52	113	0,027	68	0,020	0,015	0,033
CAPARO 12-06-84	4,4	38	113	0,02	65	0,017	0,013	0,028
TOCUYO 14-06-84	5 0	38	102	0,109	40	0,037	0,032	0,049
TACATA 18-08-86	4,2	10	225	0,058	11	0,070	0,114	0,055
LOS TEQUES 25-08-86	4,3	10	225	0,048	17	0,054	0,076	0,05

2.6.2.- RESULTADOS DEL PELIGRO SISMICO

En el Anexo A se presentan los resultados del cálculo del peligro sísmico para el sitio de interés, tomando en consideración las 23 fuentes sísmicas indicadas, las relaciones de atenuación anotadas en la Sección 2.5 y los 2 modelos sismotectónicos discutidos en la Sección 2.4, usando al algoritmo descrito en la sección precedente.

2.6.3.- DISTRIBUCION PROBABILISTICA DE ACELERACIONES MAXIMAS EN ROCA

Para la evaluación de la amenaza sísmica en el área donde está ubicado el Hospital Adolfo Prince Lara, se seleccionó el punto de coordenadas: 10,48° N, 68,01° W.

La aceleración máxima horizontal en roca proviene, por las razones anotadas en las Secciones 2.4.3 y 2.5.1, de promediar los valores obtenidos con las tres leyes de atenuación utilizados y los dos modelos considerados

En la Tabla 2.7 se presentan los resultados para una vida útil de 50 años y una probabilidad de excedencia de 10% (λ = 0,0021), una vida útil de 30 años y una probabilidad de excedencia de 5% (λ = 0,0017).

TABLA 2.7

ACELERACIONES MAXIMAS HORIZONTALES SEGUN LAS TRES LEYES DE ATENUACION Y LOS DOS MODELOS UTILIZADOS

LEY DE ATENUACION	*MODELO* 1 (gal)		*MODELO* 2 (gal)	
	λ= 0,0021	λ= 0,0017	λ= 0,0021	λ = 0,0017
CORAL 83	349	373	337	360
INTEVEP	373	293	632	388
J & B	308	328	295	312

Al promediar los resultados anteriores se obtiene el siguiente valor de la aceleración máxima del terreno.

$\lambda = 0{,}0021$: Ao = 337 cm/seg = 0,34g

$\lambda = 0{,}0017$: Ao = 359 cm/seg = 0,37g

En las Figuras 2.7 y 2.8 se grafican el período de retorno vs la aceleración del terreno para el sitio de interés, obtenidos con las tres leyes de atenuación y los dos modelos utilizados (véase Anexo A). Nótese que el período medio de retorno es igual a la inversa de la tasa de excedencia anual (λ). Por tanto, si se desea determinar la aceleración máxima media del terreno para otras vidas útiles y probabilidades de no excedencia, en primer término se debe determinar el valor de (λ) de la ecuación:

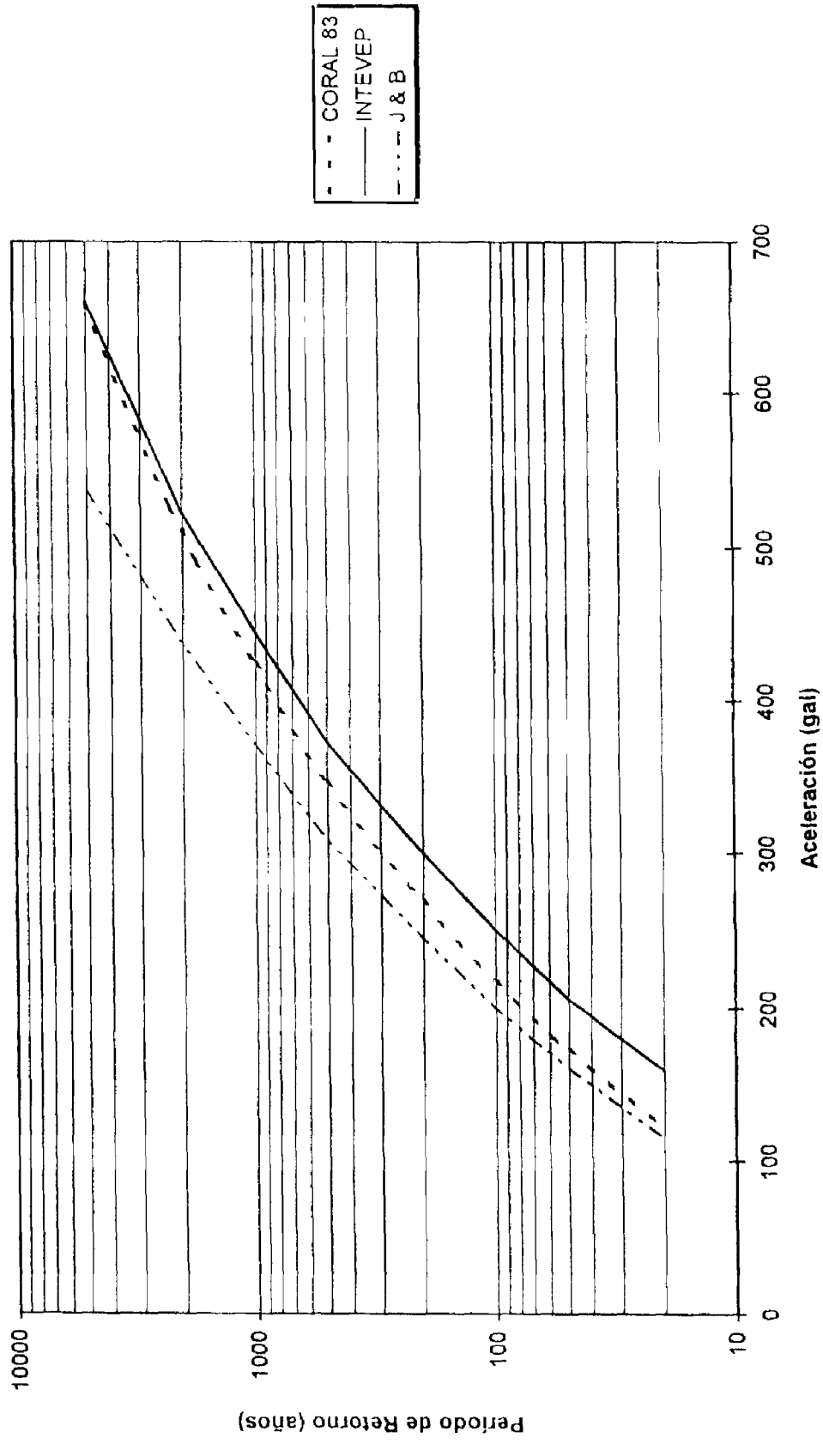


Figura 2.7 Período de Retorno de las aceleraciones máximas del terreno, según el modelo 1

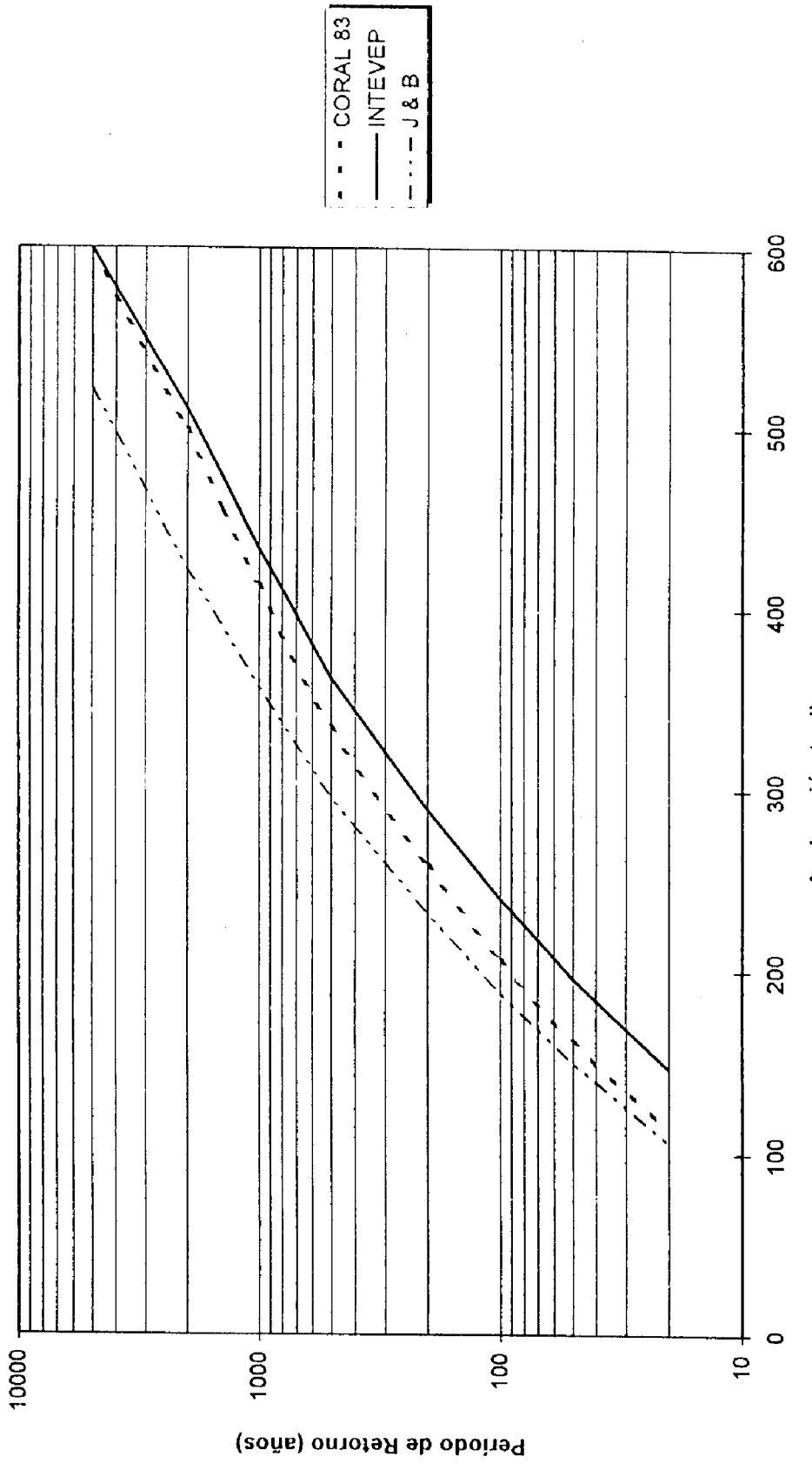


Figura 2.8 Período de Retorno de las aceleraciones máximas del terreno, según el modelo 2.

$$\lambda = \frac{-ln(1-Pe)}{t}$$

Donde:

Pe = Probabilidad de excedencia asignada;

t = Vida util (años);

λ = Tasa de excedencia anual (1/año).

2.6.4.- SELECCION DEL MOVIMIENTO DE DISEÑO EN ROCA

La selección de los movimientos máximos de diseño es función de la probabilidad de excedencia que se adopte en la vida útil de una edificación.

En el caso del Hospital Adolfo Prince Lara se adoptó una vida útil de 30 años y una probabilidad de excedencia de 5% (véase Capítulo 1), los resultados de la Sección 2.6.3 nos indican que la aceleración máxima horizontal es de 0,37g.

Es de destacar que de acuerdo al mapa de zonificación sísmica con fines de Ingeniería de la Norma COVENIN 1756, a la ciudad de Puerto Cabello se le asigna una aceleración máxima horizontal de 0,30g. Adicionalmente, por ser la edificación en estudio un hospital (Grupo A) la referida norma señala que la aceleración se debe incrementar en un 25% (α = 1,25), por tanto la aceleración màxima resulta igual a:

$$Ao = 0,30g \times 1,25 = 0,375g$$

Este valor es ligeramente superior al obtenido en nuestro estudio de amenaza, por tanto tomaremos Ao = 0,375g para el análisis y reforzamiento estructural del Hospital Adolfo Prince Lara.