

### **3. DISTRIBUCIÓN REGIONAL DE INTENSIDADES**

#### **3.1 Antecedentes**

La intensidad de un sismo se basa, en esencia, en su capacidad destructora. En las zonas donde hay mayores daños son esperadas mayores intensidades. A principios de siglo el sismólogo italiano Giuseppe Mercalli, propuso una escala la cual lleva su nombre, para determinar la intensidad de los movimientos sísmicos basado en efectos sobre el comportamiento de la gente y de los daños ocurridos durante el movimiento telúrico, a fin de conocer la atenuación de la onda sísmica y su forma de propagación. En la década de los 30 esta escala fue modificada y ampliada, recibiendo el nombre de Escala de Mercalli-Cancani-Sieberg o MMI, escala de Mercalli modificada. En 1978 Brazeo realizó una nueva revisión, y es la que hoy en día se utiliza en Venezuela.

La escala se basa en 12 niveles de intensidad que va desde la intensidad I (No sentido, excepto por una o dos personas en reposo, en los pisos superiores de edificios altos) hasta intensidad XII (Daño total sobre un área apreciable).

Aunque la escala MMI es subjetiva, constituye una herramienta valiosa para corroborar la información geológica, la sismológica y la ingenieril, debido a que en base al modelo de atenuación de intensidades, se calcula la ley de atenuación, parámetro indispensable para el cálculo de la amenaza sísmica, además que hay innumerables trabajos referentes a la relación existente entre la intensidad y la aceleración del terreno.

#### **3.2 Procedimiento para el estudio de intensidades**

Paso 1. Traslado de las comisiones de investigación al lugar del evento. Esta información fue suministrada por los sismólogos de FUNVISIS, quienes determinaron que el epicentro se encontraba en las cercanías de Cariaco, Estado Sucre, de magnitud de Ms 6.9.

**Paso 2.** Recorrido por las diferentes ciudades y pueblos. Una vez conformados los equipos de trabajo, se formuló una estrategia a fin de abarcar la mayor área posible en el menor tiempo. Fueron recorridos más de 400 Km diarios, en 7 días, dan un total de más de 2.800 Km de vías terrestres, entre los estados Sucre, Anzoátegui y Monagas.

**Paso 3.** Realización de encuestas de intensidad. Durante el recorrido, se realizaron encuestas de intensidades, en base al formato FUNVISIS. Fueron encuestadas más de 260 personas, siguiendo, siempre que fuese posible, las siguientes premisas:

- Escogencia al azar de las personas a encuestar
- No fueron aceptadas respuestas o comentarios que no fueran expresamente referidos y vividos por los encuestados.
- Número impar de encuestas por población. Esto evita un empate en la futura asignación de intensidades, 3 encuestas en pueblos y 5 en ciudades.
- Predilección de los sitios donde se realizaba la encuesta. En primer lugar se prefería los expendios de bebidas, ya que son sitios de características comunes en todo el territorio nacional, en segundo lugar las farmacias, en tercer lugar las estaciones de servicio.
- Encuestas en las poblaciones y ciudades de cierta importancia, ya sea por su ubicación o por su cantidad de población.

**Paso 4.** Recolección de todas las encuestas realizadas. En total se efectuaron más de 260 encuestas por todas las comisiones asignadas.

**Paso 5.** Asignación de intensidades. En base a un estudio del formato de encuesta, se asignó *a priori*, una intensidad característica a cada uno de los ítems que conforman la misma. Se realizó una matriz de intensidades, a fin de

condensar la información de cada una de las encuestas, por métodos estadísticos se le asignó una intensidad representativa. El método consiste en eliminar de una misma encuesta, la mayor y la menor intensidad, a fin de eliminar posibles distorsiones, y sacar el promedio aritmético; este método es utilizado en la asignación de puntuación en algunas disciplinas olímpicas.

**Paso 6. Selección de una intensidad característica por poblado.** Se calculó una única intensidad para cada pueblo y ciudad, las cuales fueron denominadas como "encuestas características" (la **Tabla 2** muestra el listado de poblaciones más importantes, con sus coordenadas, intensidad característica, distancia hipocentral y epicentral).

**Paso 7. Ploteo de las intensidades.** Fueron determinadas las coordenadas geográficas de cada una de las encuestas características y fueron ploteadas sobre un mapa, luego se procedió a interpolar manualmente los puntos con igual intensidad, además se realizó una interpolación con un paquete computacional apropiado.

### **3.3 Análisis del mapa de intensidades**

1. El mapa que acompaña al presente informe, fue realizado con un nuevo procedimiento, basado en métodos estadísticos, el cual resultó satisfactorio para el estudio de isosistas (igual intensidad).
2. La mayor intensidad reportada fue VIII, y coincide con la zona epicentral reportada instrumentalmente, en el área de Cariaco, Chiguana.
3. Se observa una forma alargada de las curvas de intensidad, en el sentido E-W, que coincide con la información geológica de la falla geológica de El Pilar.
4. Se observa una atenuación importante en sentido ortogonal de la Falla de El Pilar (sentido N-S).

**Tabla 2**  
**Principales localidades afectadas por el sismo**

Evento		Norte	Este	Profundidad (Km)				
					10,545			
					-63,515			
					9,5			
Este	Norte	Intensidad	Localidad		Distancia Epicentral (Km)		Distancia Hipocentral (Km)	
-63,4	10,37	6	Campearito		23,24		25,11	
-63,38	10,42	6	Santa Lucía		20,42		22,52	
-63,48	10,18	5	Caripe		40,70		41,79	
-63,57	10,37	6	Santa Cruz		20,36		22,47	
-63,33	10,52	7	Río Casanay		20,72		22,80	
-63,4	10,5	7	Casanay		13,71		16,68	
-63,45	10,48	8	Pantofío		10,20		13,94	
-63,6	10,5	8	Campoma		10,68		14,29	
-63,4	10,67	6	Guaca		18,85		21,11	
-63,1	10,7	5	Río Caribe		49,17		50,08	
-62,83	10,72	5	San Juan de Las Galdonas		78,48		79,05	
-62,83	10,57	6	Yaguaraparo		76,09		76,68	
-63,17	9,75	4	Maturín		96,20		96,66	
-63,6	9,82	4	Caicara		81,03		81,58	
-63,65	9,95	5	San Félix		67,72		68,39	
-63,6	10,07	5	Guanaguana		53,56		54,40	
-62,52	10,6	5	San Antonio		110,61		111,02	
-63,75	10,45	7	San Antonio del Golfo		28,14		29,70	
-63,48	9,97	5	Aragua de Maturín		63,94		64,64	
-63,3	9,92	5	Pinto de Punceres		73,37		73,98	
-63,23	9,97	5	Quinquire		71,23		71,87	
-63,15	10,02	5	San Juan de Azagua		70,97		71,61	
-63,35	10,35	6	Juan Antonio		28,35		29,90	
-63,08	10,12	5	Carpito		67,50		68,17	
-63,2	10,23	6	San Vicente		49,45		50,35	

-63,67	10,48	8	Chiguana	18,66	20,94
-63,83	10,7	6	Chacopata	38,97	40,11
-63,82	10,65	5	Guamache	35,81	37,04
-64,25	10,57	5	Araya	81,63	82,18
-62,58	10,58	5	Irapa	103,86	104,29
-62,28	10,58	5	Güiria	137,14	137,47
-63,23	10,67	6	Carupano	34,54	35,83
-64,47	10,23	5	Los Altos	111,62	112,03
-64,33	10,35	6	Mochima	93,02	93,50
-64,62	10,22	5	Puerto La Cruz	127,85	128,20
-64,68	10,13	5	Barcelona	137,27	137,60
-64,17	10,45	6	Cumaná	73,47	74,08
-63,55	10,48	8	Carriaco	8,19	12,55
-63,65	10,32	8	Santa Ana	29,13	30,64
-63,78	11	5	Pampatar	58,45	59,21
-63,85	10,95	5	Porlamar	58,34	59,11
-63,9	10,97	5	San Juan Bautista	63,65	64,36
-64	10,95	5	San Antonio	70,14	70,78
-63,92	11,07	4	Tacarigua	73,60	74,21
-63,87	11,05	4	Asunción	68,52	69,17
-63,95	11,1	4	Juan Grego	78,27	78,85
-63,65	10,47	8	Villa Frontado	17,14	19,60
-63,1	10,57	6	Tunapuy	46,15	47,12
-63,88	10,43	6	Golindano	42,48	43,53
-63,52	10,62	6	Saucedo	8,34	12,64
-63,33	10,62	7	San José de Areocuar	22,16	24,11
-63,17	10,55	6	El Pilar	38,30	39,46

5. No fueron tomados en cuenta efectos de sitio, por lo que la intensidad asignada a Cumaná resultó ser de VI.
6. Se realizó el ploteo de intensidades mayores a IV, ya que a partir de esa intensidad comienzan a existir daños de importancia, además de ser la cota inferior para los estudios de amenaza sísmica.
7. Los estados más afectados fueron: Sucre, Anzoátegui y Monagas.
8. Fue sentido en Trinidad y Tobago y en una gran área en Venezuela.
9. La intensidad máxima en la S.V. escala Menveded (Moscú), W. Sponheuer (Jena) y V. Kárnik (Praga) conocida como la escala rusa o escala MSK 64, es de grado VIII.
10. La intensidad máxima en la escala japonesa de 1950, es de 5.
11. La intensidad máxima en la escala del Institute of Earth Physics, USSR Academy of Sciences, de 1952, es de grado 8.
12. La intensidad máxima en la European Macroseismic Scale 1992, es de grado IX.

### **3.4 Ley de atenuación de intensidades**

Al obtenerse las intensidades para las diversas poblaciones y plotearlas en un mapa, se realizó un estudio de la ley de atenuación del sismo de Cariaco. En base a 52 observaciones, se hizo una regresión lineal múltiple con un programa desarrollado por la Sección de Amenaza Sísmica del Departamento de Ingeniería Sísmica de FUNVISIS.

El programa soluciona un sistema de ecuaciones por métodos matriciales de la forma:

$$[A]\{x\}=[B]$$

La regresión que se realizó fue de la forma:

$$I = b_1 + b_2 \cdot Ms + b_3 \cdot R + b_4 \cdot \text{Log} (R - R_0) \pm \sigma P$$

Con las observaciones realizadas se obtuvo que la ley de atenuación para el sismo de Cariaco fue la siguiente:

$$I = 4,9172 + 0,7697 \cdot Ms - 0,0012 \cdot R - 2,6653 \cdot \text{Log.} (R) \pm 0,7764 \cdot P$$

Donde:

$$Ms = 6,8$$

$$P = 1 \text{ (media más una desviación estándar)}$$

$$R = \text{distancia epicentral}$$

El factor de correlación es de 0,56 y una desviación estándar de 0,7764. A pesar de que fue tomado en cuenta un sólo sismo, si se observan las curvas de atenuación se obtienen resultados satisfactorios en cuanto a la atenuación de la intensidad en función de la distancia. Se anexa el *input* del programa, cálculos intermedios y finales (**Tabla 3**), además de las curvas de atenuación (**Figs. 9 a 13**).

DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA SÍSMICA  
SECCIÓN DE AMENAZA SÍSMICA

Jefe de Proyecto Ing. M. A. BONATO 7/03/96

Tabla 3

PROYECTO LEYES DE ATENUACIÓN (INTENSIDAD)

REEMPLAZAR SOLO LO QUE NO ESTÁ EN NEGRITA  
APLICAR FILTRO NOBLANKS EN DISTANCIA Y SOLVER

DISTANCIA	PROF(Km)	INTENSIDAD	MAGNITUD	RADIO	LOG RADIO	I <sup>-2</sup>	M <sup>-2</sup>	R <sup>-2</sup>	(LOG R) <sup>-2</sup>	MI	MR	MLOGR	RI	RLOGR	LOGRI	NUMERO
23,243835	9,5	6	6,9	25,1	1,3999	36	47,61	631	1,96	41,4	173,3	9,659	150,7	35,15	8,369	1
20,42219	9,5	6	6,9	22,5	1,3626	36	47,61	507	1,83	41,4	155,4	9,333	135,1	30,47	8,116	1
40,700841	9,5	5	6,9	41,8	1,8211	25	47,61	1747	2,628	34,5	288,4	11,19	209	67,75	8,106	1
20,361769	9,5	6	6,9	22,5	1,3616	36	47,61	605	1,827	41,4	155	9,326	134,8	30,37	8,109	1
20,721652	9,5	7	6,9	22,8	1,3578	49	47,61	520	1,844	48,3	157,3	9,369	169,6	30,95	9,505	1
13,707489	9,5	7	6,9	16,7	1,2221	49	47,61	278	1,494	48,3	115,1	8,433	116,7	20,38	8,555	1
10,203551	9,5	8	6,9	13,9	1,1443	64	47,61	194	1,309	55,2	96,2	7,896	111,5	15,96	9,154	1
10,675538	9,5	8	6,9	14,3	1,155	64	47,61	204	1,334	55,2	95,6	7,97	114,3	16,51	9,24	1
18,853669	9,5	6	6,9	21,1	1,3246	36	47,61	446	1,764	41,4	145,7	9,139	125,7	27,96	7,947	1
49,173125	9,5	5	6,9	50,1	1,8987	25	47,61	2508	2,889	34,5	345,6	11,73	250,4	85,12	8,498	1
78,477079	9,5	5	6,9	79	1,9979	25	47,61	5249	3,602	34,5	545,4	13,1	395,2	150	9,49	1
76,085622	9,5	6	6,9	76,7	1,9847	36	47,61	5979	3,552	41,4	529,1	13	460,1	144,5	11,31	1
95,196085	9,5	4	6,9	96,7	1,8953	16	47,61	8344	3,941	27,6	667	13,7	398,7	191,9	7,941	1
81,026199	9,5	4	6,9	81,6	1,9116	16	47,61	8655	3,654	27,6	662,9	13,19	326,3	156,9	7,546	1
67,723646	9,5	5	6,9	68,4	1,835	25	47,61	4877	3,357	34,5	471,9	12,66	341,9	125,5	9,175	1
53,562532	9,5	5	6,9	54,4	1,7356	25	47,61	2959	3,012	34,5	375,3	11,98	272	94,41	8,678	1
110,6136	9,5	5	6,9	111	2,0454	25	47,61	12328	4,184	34,5	765	14,11	555,1	227,1	10,23	1
28,135518	9,5	7	6,9	28,7	1,4727	49	47,61	882	2,169	48,3	204,9	10,16	207,9	43,73	10,31	1
63,94313	9,5	5	6,9	64,6	1,8105	25	47,61	4179	3,278	34,5	446,1	12,49	323,2	117	9,053	1
73,365038	9,5	5	6,9	74	1,8891	25	47,61	5473	3,494	34,5	510,4	12,9	369,9	138,3	9,345	1
71,23485	9,5	5	6,9	71,9	1,8665	25	47,61	5166	3,447	34,5	495,9	12,81	359,3	133,4	9,283	1
70,974931	9,5	5	6,9	71,6	1,865	25	47,61	5128	3,441	34,5	494,1	12,8	358	132,8	9,275	1
28,353928	9,5	6	6,9	28,9	1,4757	36	47,61	894	2,178	41,4	206,3	10,18	179,4	44,13	8,854	1
67,504976	9,5	5	6,9	68,2	1,8336	25	47,61	4647	3,362	34,5	470,4	12,65	340,9	125	9,168	1
49,447977	9,5	6	6,9	50,4	1,702	36	47,61	2836	2,887	41,4	347,4	11,74	302,1	85,7	10,21	1
18,856587	9,5	8	6,9	20,9	1,3209	64	47,61	438	1,745	55,2	144,5	9,114	167,5	27,85	10,97	1
35,968747	9,5	8	6,9	40,1	1,6033	36	47,61	1809	2,57	41,4	276,8	11,06	240,7	64,31	9,52	1
35,805028	9,5	5	6,9	37	1,5887	25	47,61	1372	2,461	34,5	255,6	10,82	185,2	58,11	7,944	1
81,63218	9,5	5	6,9	82,2	1,9148	25	47,61	6754	3,686	34,5	667,1	13,21	410,9	157,4	9,574	1

DISTANCIA	PROF(Km)	INTENSIDAD	MAGNITUD	RADIO	LOG RADIO	M <sup>2</sup>	R <sup>2</sup>	(LOG R) <sup>2</sup>	MI	MLOGR	RI	RLOGR	LOGRI	No.		
103,85769	9,5	5	6,9	104	2,0182	25	47,61	10677	4,073	34,5	719,6	13,83	521,5	210,5	10,09	1
137,14004	9,5	5	6,9	137	2,1382	25	47,61	18886	4,572	34,5	948,5	14,76	687,3	288,9	10,69	1
34,544013	9,5	6	6,9	36,8	1,8642	36	47,61	1284	2,416	41,4	247,2	10,72	216	55,68	9,825	1
111,62263	9,5	5	6,9	112	2,0493	25	47,61	12550	4,2	34,5	773	14,14	590,1	229,5	10,25	1
93,016367	9,5	6	6,9	93,5	1,9708	36	47,61	8743	3,884	41,4	646,2	13,8	581	184,3	11,82	1
127,85013	9,5	5	6,9	128	2,1079	25	47,61	16436	4,443	34,5	884,6	14,84	641	270,2	10,64	1
137,27474	9,5	5	6,9	138	2,1386	25	47,61	18935	4,574	34,5	948,5	14,76	688	284,3	10,69	1
73,465734	9,5	6	6,9	74,1	1,9697	36	47,61	8487	3,496	41,4	611,1	12,9	444,5	136,5	11,22	1
8,1944768	9,5	6	6,9	12,5	1,0985	64	47,61	157	1,207	55,2	86,67	7,58	100,4	13,78	8,788	1
29,125865	9,5	8	6,9	30,6	1,4862	64	47,61	939	2,299	55,2	211,4	10,25	245,1	45,53	11,89	1
58,446633	9,5	5	6,9	59,2	1,7724	25	47,61	3606	3,141	34,5	408,6	12,23	296,1	105	8,962	1
58,341034	9,5	5	6,9	59,1	1,7717	25	47,61	3494	3,139	34,5	407,9	12,22	285,5	104,7	8,958	1
63,653443	9,5	5	6,9	64,4	1,8086	25	47,61	4142	3,271	34,5	444,1	12,48	321,8	116,4	9,043	1
70,136718	9,5	5	6,9	70,8	1,8489	25	47,61	5008	3,422	34,5	488,4	12,76	353,9	130,9	9,249	1
73,59978	9,5	4	6,9	74,2	1,8705	16	47,61	5607	3,489	27,6	512,1	12,91	295,8	138,8	7,482	1
68,519465	9,5	4	6,9	69,2	1,8399	16	47,61	4786	3,356	27,6	477,3	12,7	278,7	127,3	7,36	1
78,272711	9,5	4	6,9	78,8	1,8868	16	47,61	6217	3,596	27,6	544	13,09	315,4	149,6	7,687	1
17,142224	9,5	6	6,9	18,6	1,2822	64	47,61	384	1,67	55,2	136,2	8,916	156,8	25,33	10,34	1
46,146509	9,5	6	6,9	47,1	1,6732	36	47,61	2220	2,799	41,4	325,1	11,54	282,7	78,83	10,04	1
42,478353	9,5	6	6,9	43,5	1,8368	36	47,61	1896	2,686	41,4	300,3	11,31	261,2	71,33	9,833	1
8,3434795	9,5	6	6,9	12,6	1,1019	36	47,61	190	1,214	41,4	87,24	7,803	76,86	13,93	6,611	1
22,158336	9,5	7	6,9	24,1	1,3822	49	47,61	581	1,91	48,3	166,4	9,637	163,8	33,32	9,676	1
36,289022	9,5	6	6,9	38,5	1,6962	36	47,61	1857	2,548	41,4	272,3	11,01	235,8	62,98	9,577	1
2921,40477	494	296	368,8	2987,39	67,1332808	1750	2476,72	228467	180,26318	2042,4	20613	801,2164	15698,29	6472,221	483,0203	52

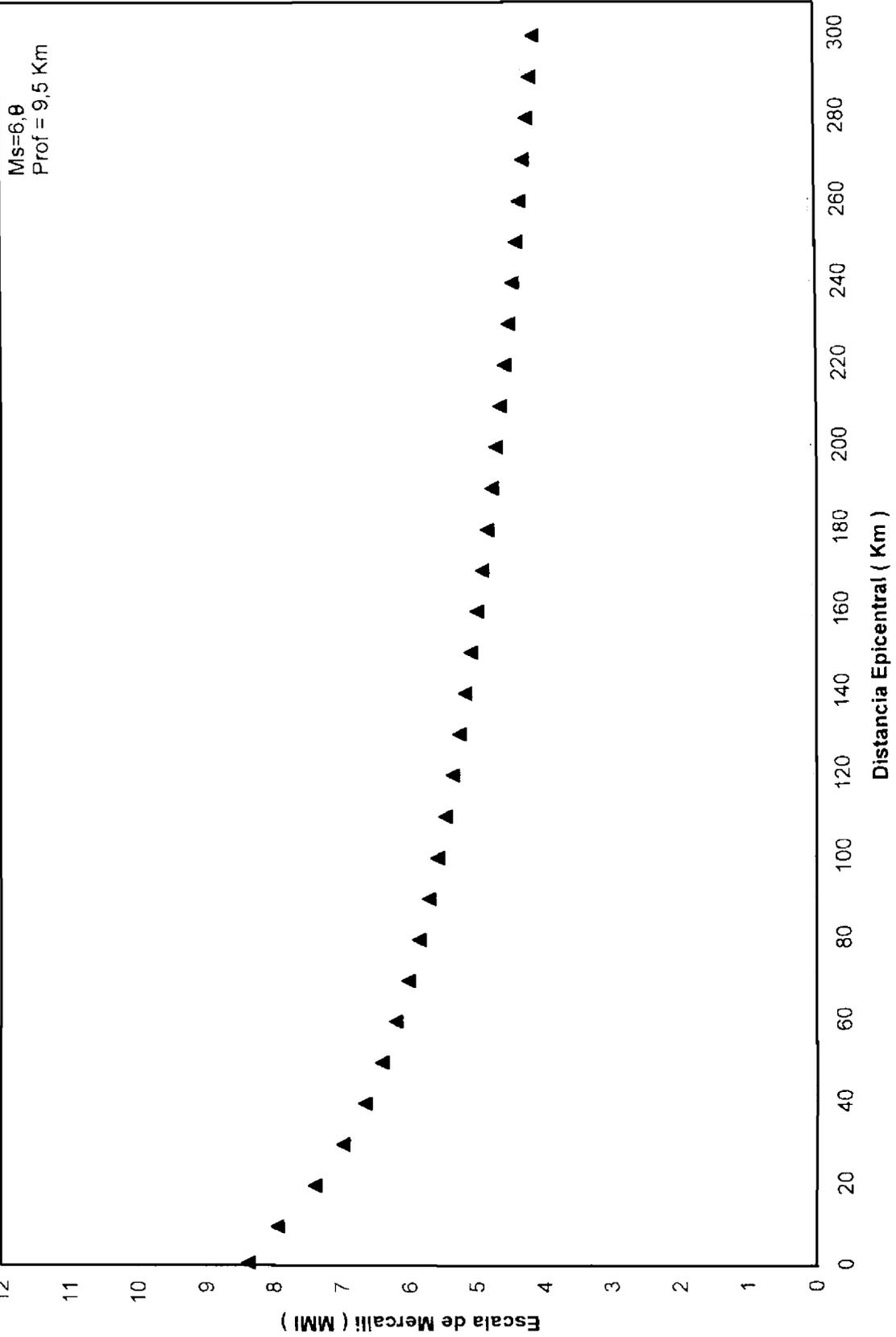
FORMULA

$$I = B1 + B2 Ms + B3 R + B4 LOG R : \sigma P$$

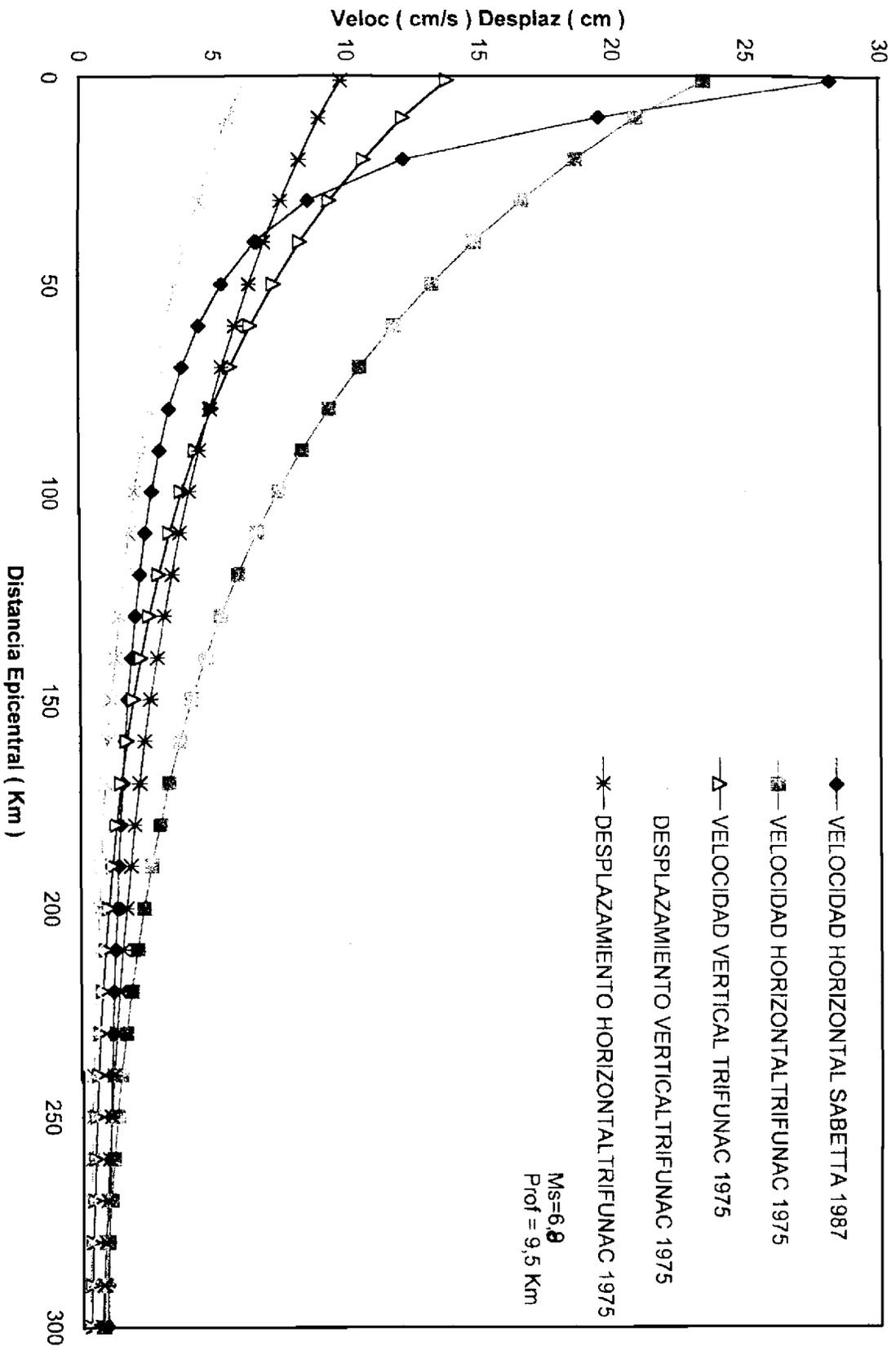
B1	4,917469
B2	0,769663
B3	-0,00121
B4	-2,66634
P	1
$\sigma$	0,776362
CORRELACION 58,54%	

RESIDUO	0
ast	65,07682308
asr	36,14326834
varianza	0,602784578
f	19,96683259
valor critico distri f	3,78

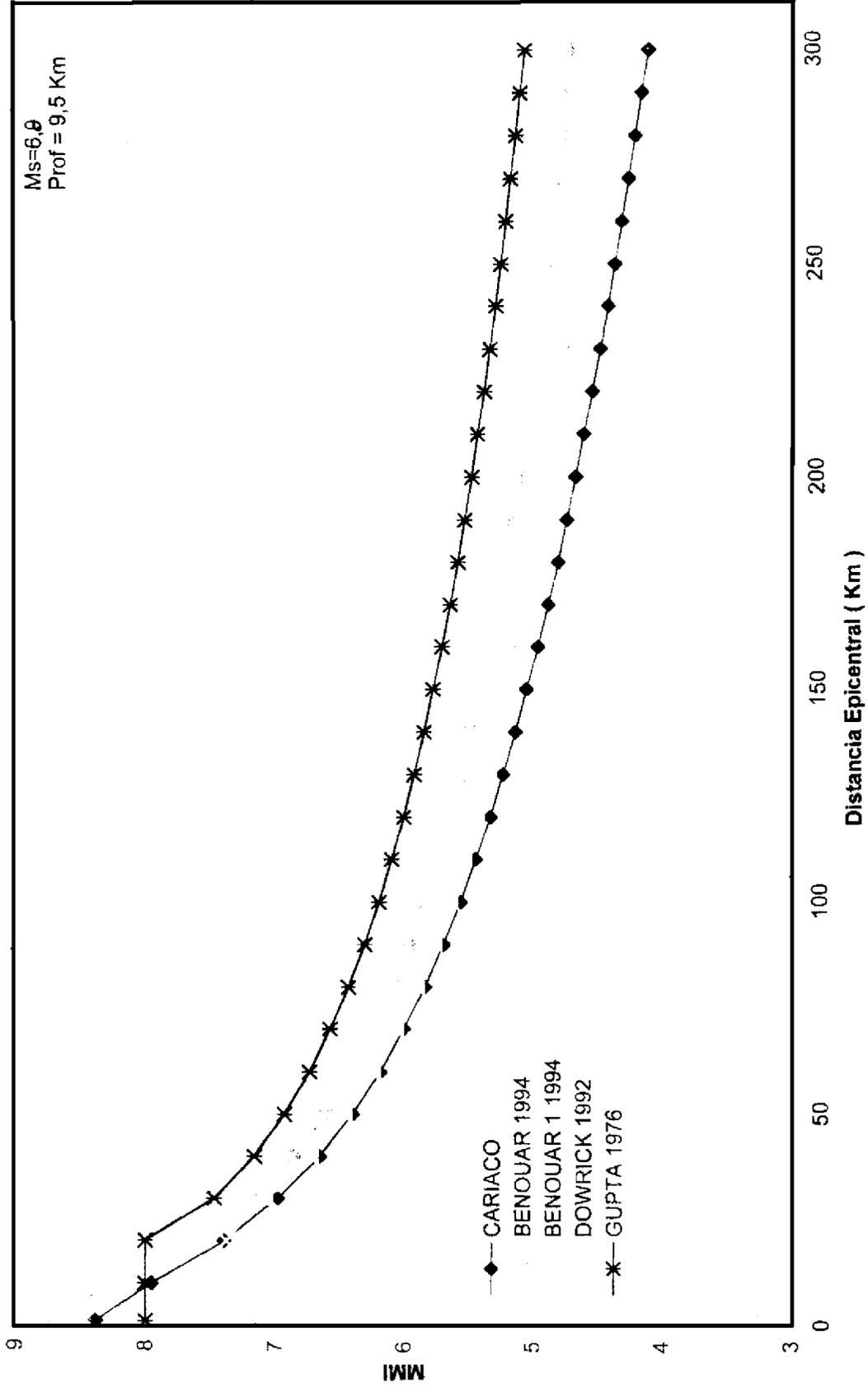
# LEY DE ATENUACION ( INTENSIDAD - DISTANCIA EPICENTRAL )



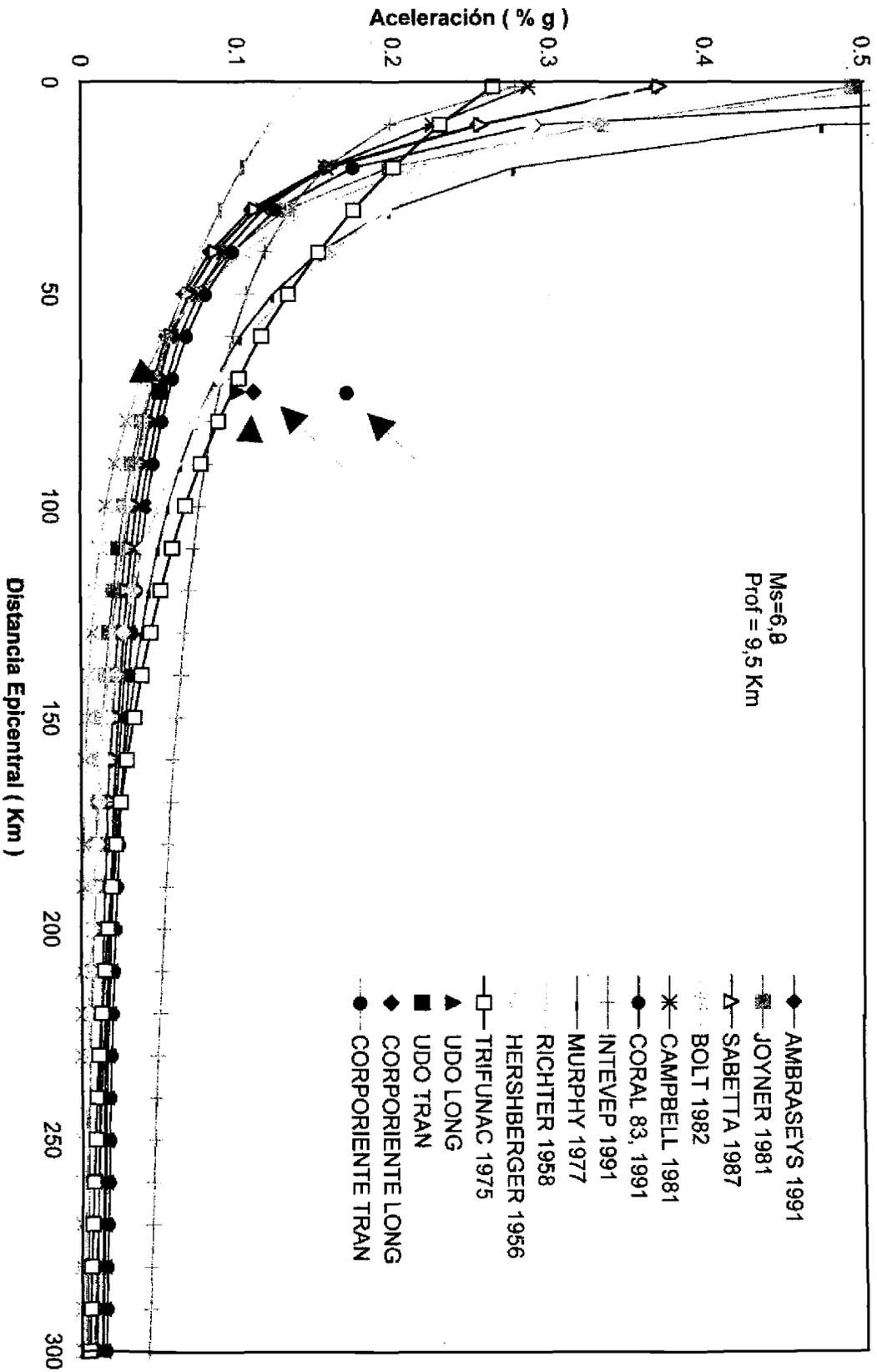
## LEYES DE ATENUACION DE VELOCIDAD Y DESPLAZAMIENTO



# COMPARACION ENTRE LAS DIFERENTES LEYES DE ATENUACION DE INTENSIDAD



## COMPARACION ENTRE LAS DIFERENTES LEYES DE ATENUACION DE ACCELERACION ( HORIZONTAL )



# COMPARACION ENTRE LAS DIFERENTES LEYES DE ATENUACION DE ACCELERACION ( VERTICAL )

