



# **“Aplicación del Sector Fuerte del Acelerograma en la Evaluación de Licuación”**

**Ciclo de charlas CIV-CIAM por el mes del Ingeniero**

**Octubre 2018**

**Prof. Heriberto Echezuría**

# EFFECTOS DE LA LICUACION



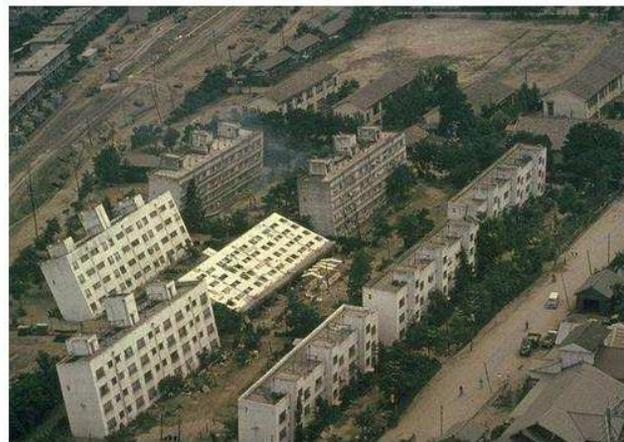
Falla de talud por terremoto de Olympia, Washington, 2001



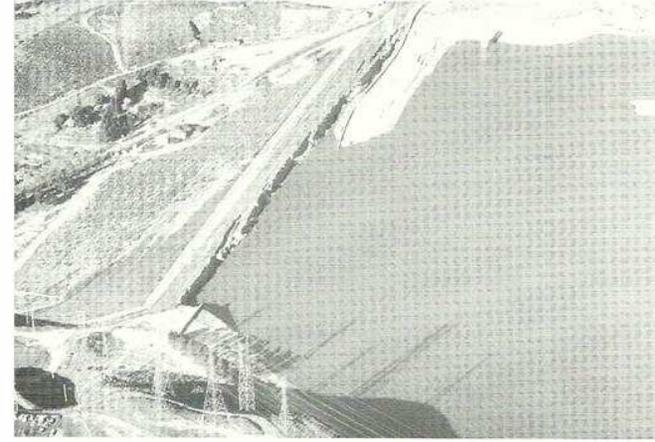
Desparramamiento lateral en la ribera del Río Tocuyo, Terremoto Boca de Tocuyo, 1989



Oscilación del terreno (Ground oscillation) en zona portuaria de Kobe. Terremoto de Kobe, 1995



Perdida de capacidad portante del suelo, posiblemente por falla de flujo de la arena en la fundación de los edificios de apartamento de Kawigishi-cho. Terremoto Niigata, 1964



Deslizamiento del talud aguas arriba de la Presa "Lower San Fernando" causado por la falla de flujo de la arena al pie de dicho talud. Terremoto San Fernando, 1971.



## EFFECTOS DE LA LICUACION



Falla de fundación,  
Terremoto de Izmit,  
Turkia, 1999



Volcanes de arena  
aislados, Terremoto  
de Boca de Tucuyo,  
1989



Volcanes de arena  
alineados,  
Terremoto de Boca  
de Tucuyo, 1989

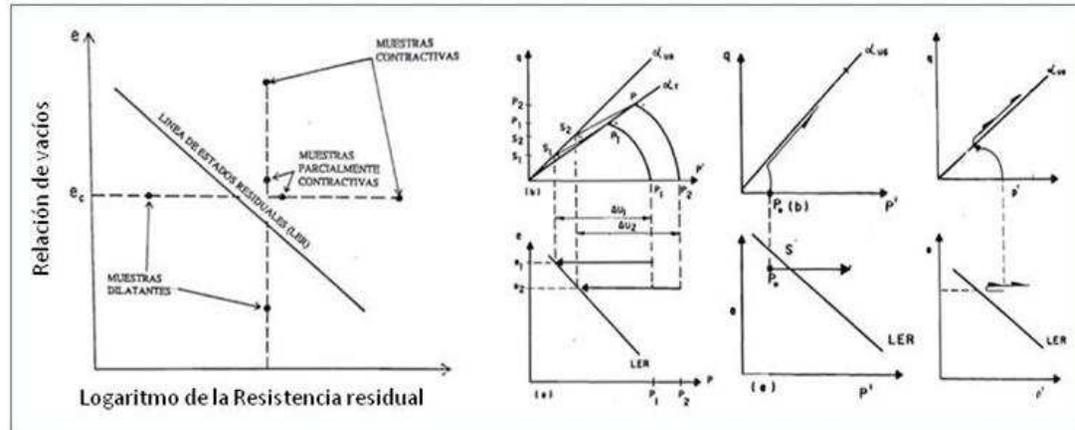
Arrastre de arena Terremoto Niigata, Japón 1964.



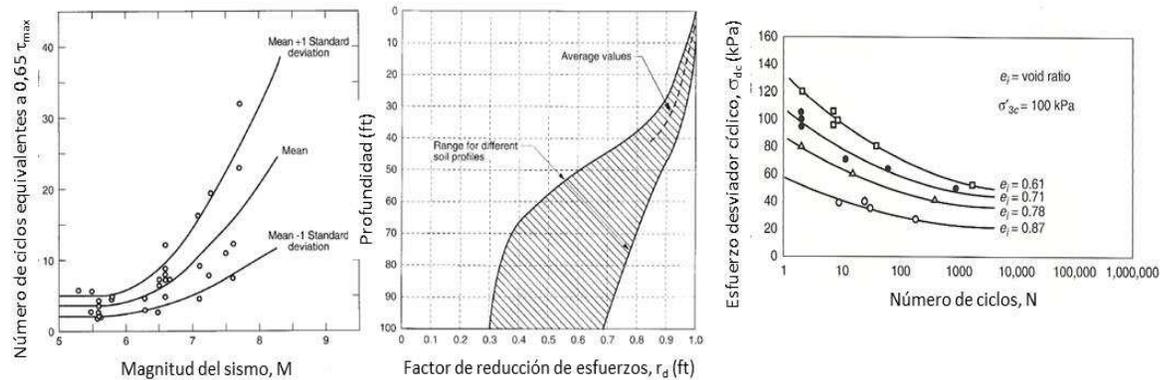
# POTENCIAL DE LICUACION



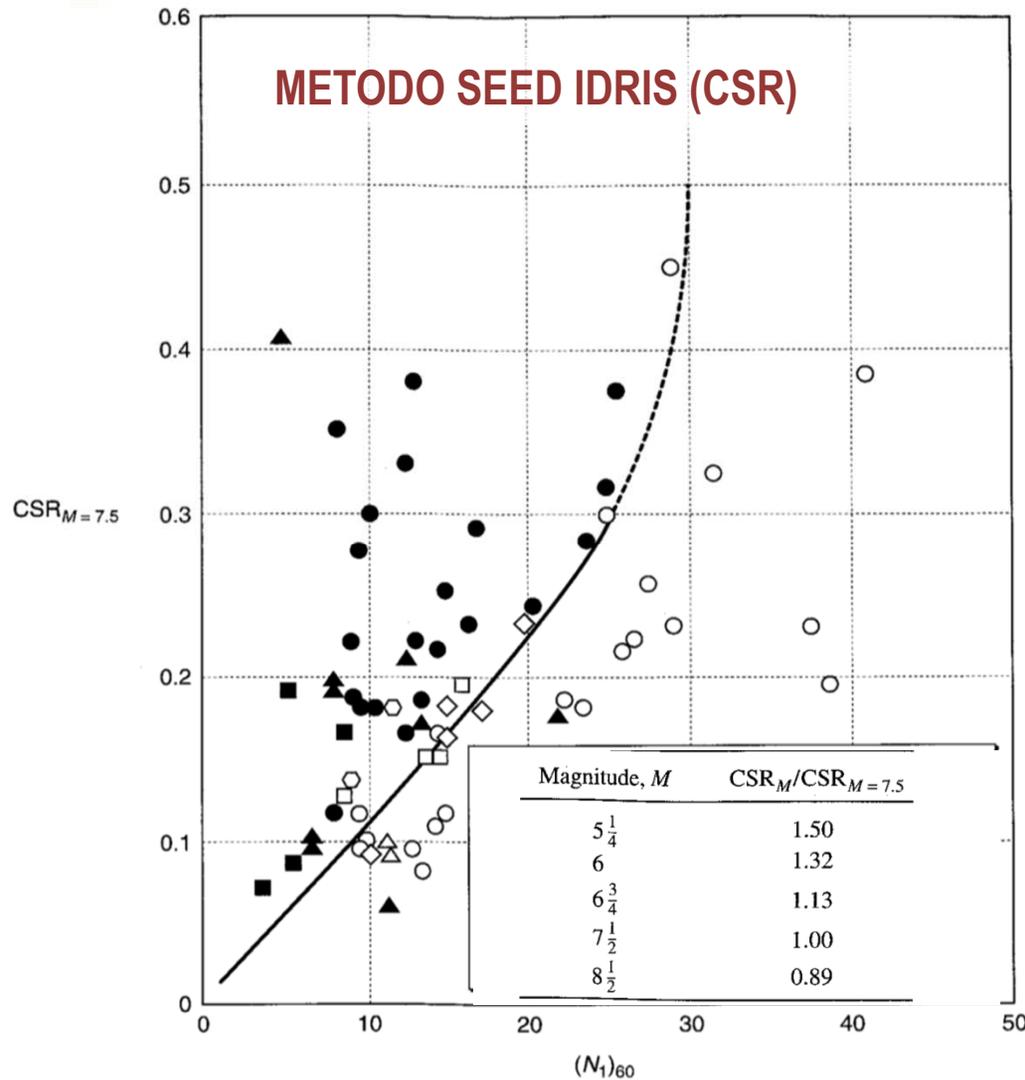
## METODO Casagrande-Castro-Dobry ( $S_{uss}$ )



## METODO Seed-Idriss (CSR y $N_{SPT}$ )

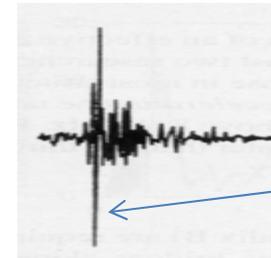


# POTENCIAL DE LICUACION

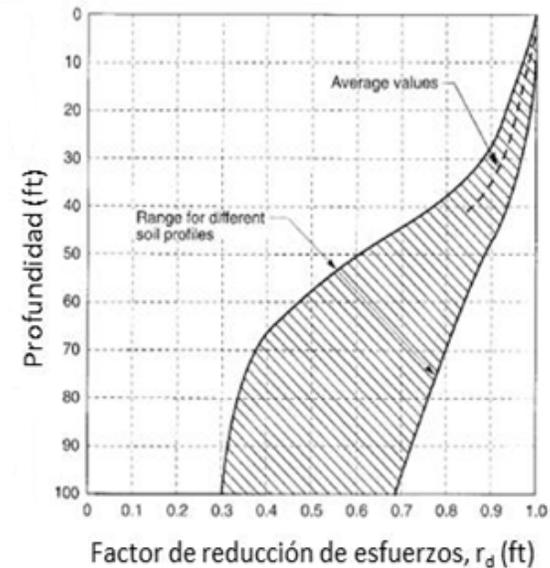


$$CSR = \tau_{\max} / \sigma'_v$$

$$\tau_{\max} = 0,65 a_{\max} / g \sigma_t r_d$$

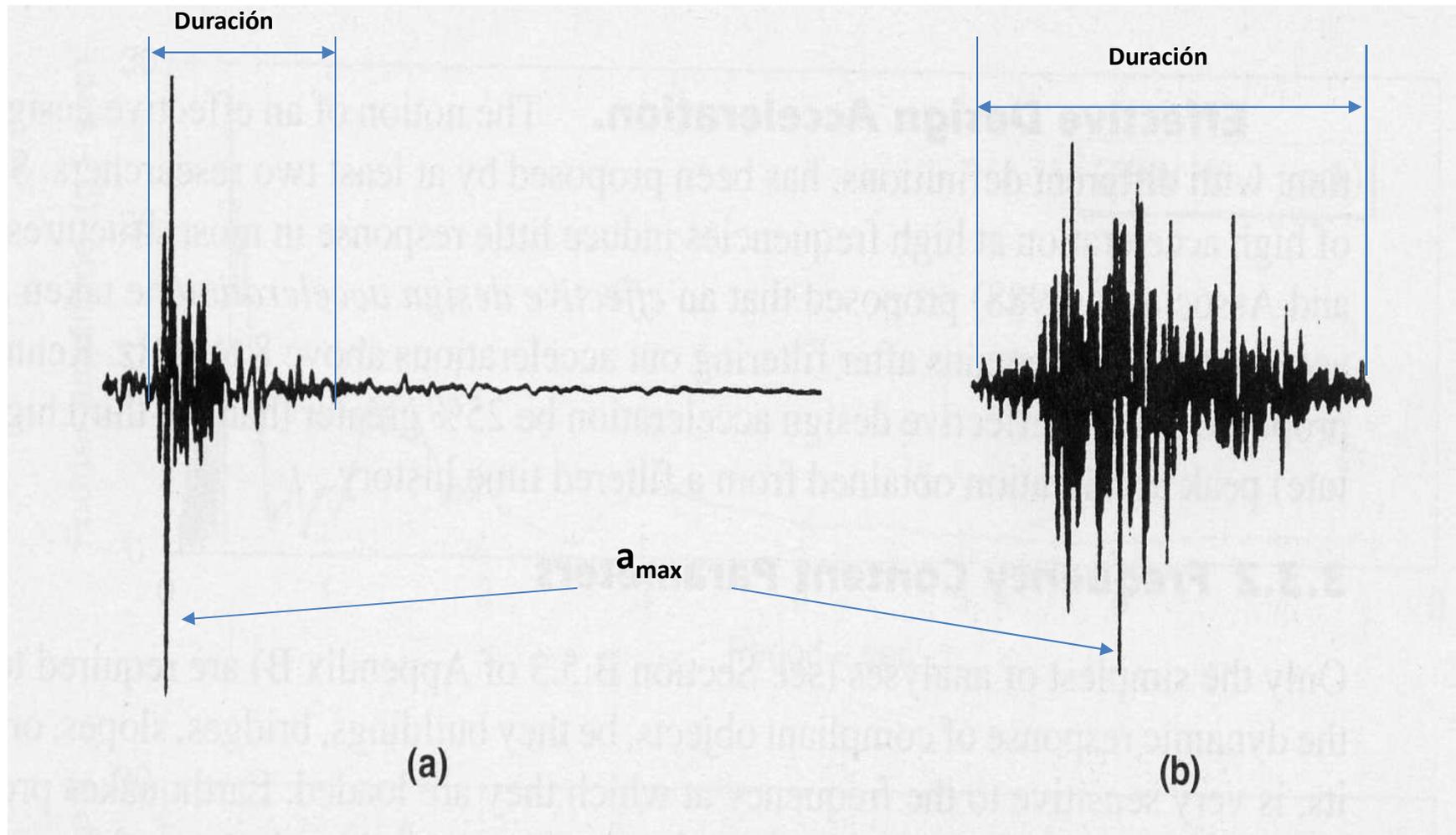


$a_{\max}$





# MOVIMIENTO FUERTE DEL TERRENO

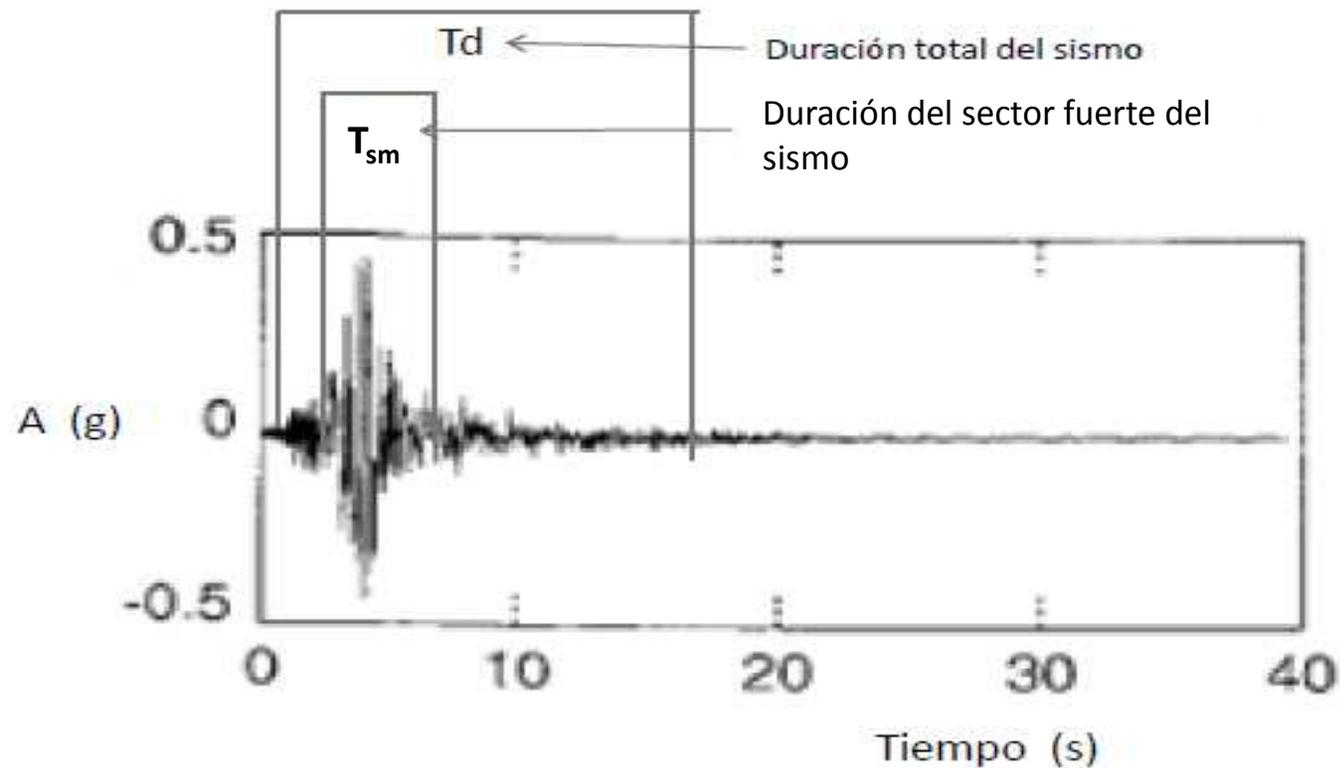




# MOVIMIENTO FUERTE DEL TERRENO



## Intensidad del sector fuerte del acelerograma



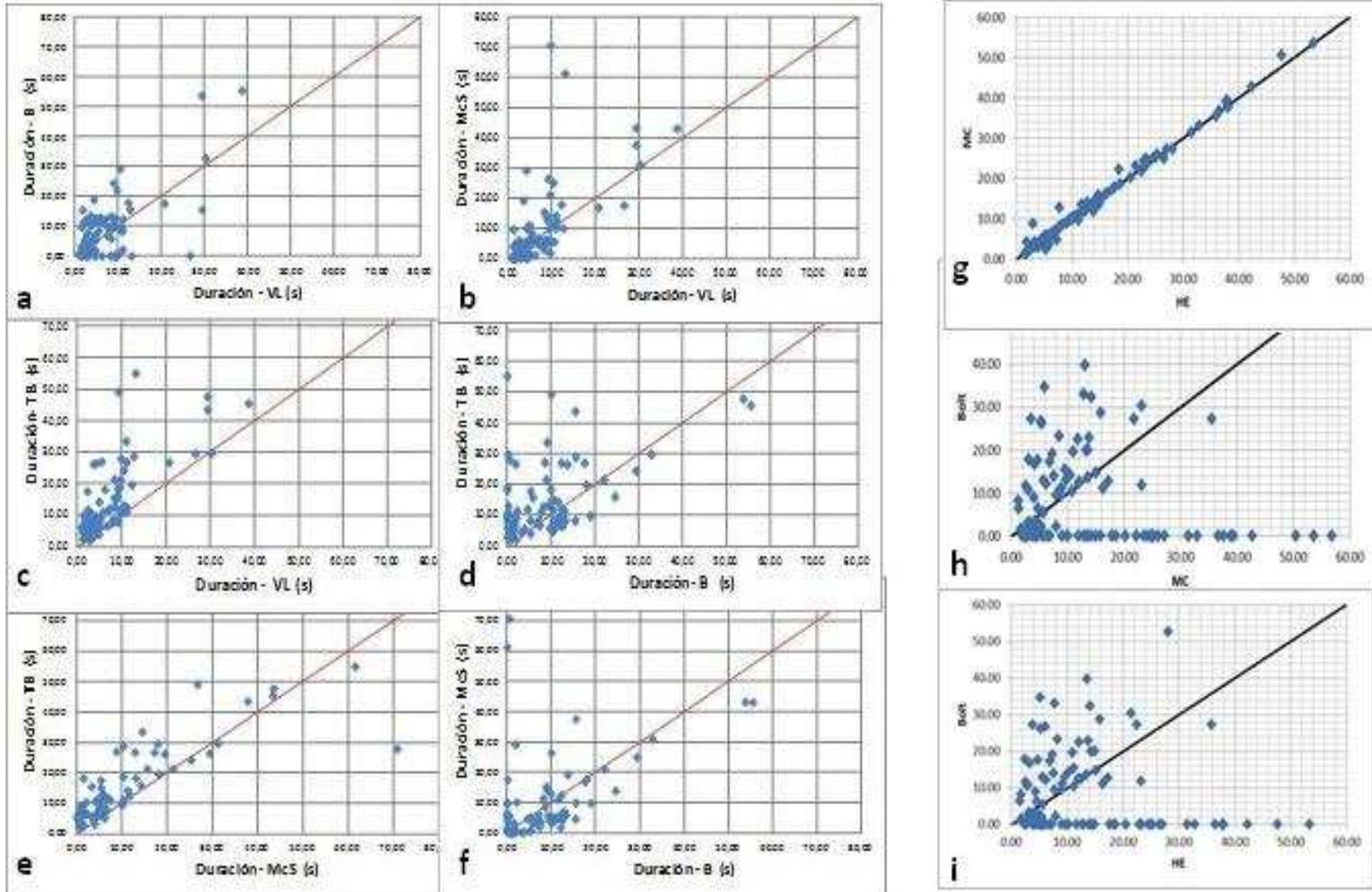
$$I_{sm} = a_{rms}^2 T_{sm}$$



# MOVIMIENTO FUERTE DEL TERRENO



## COMPARACIÓN DE DURACIONES

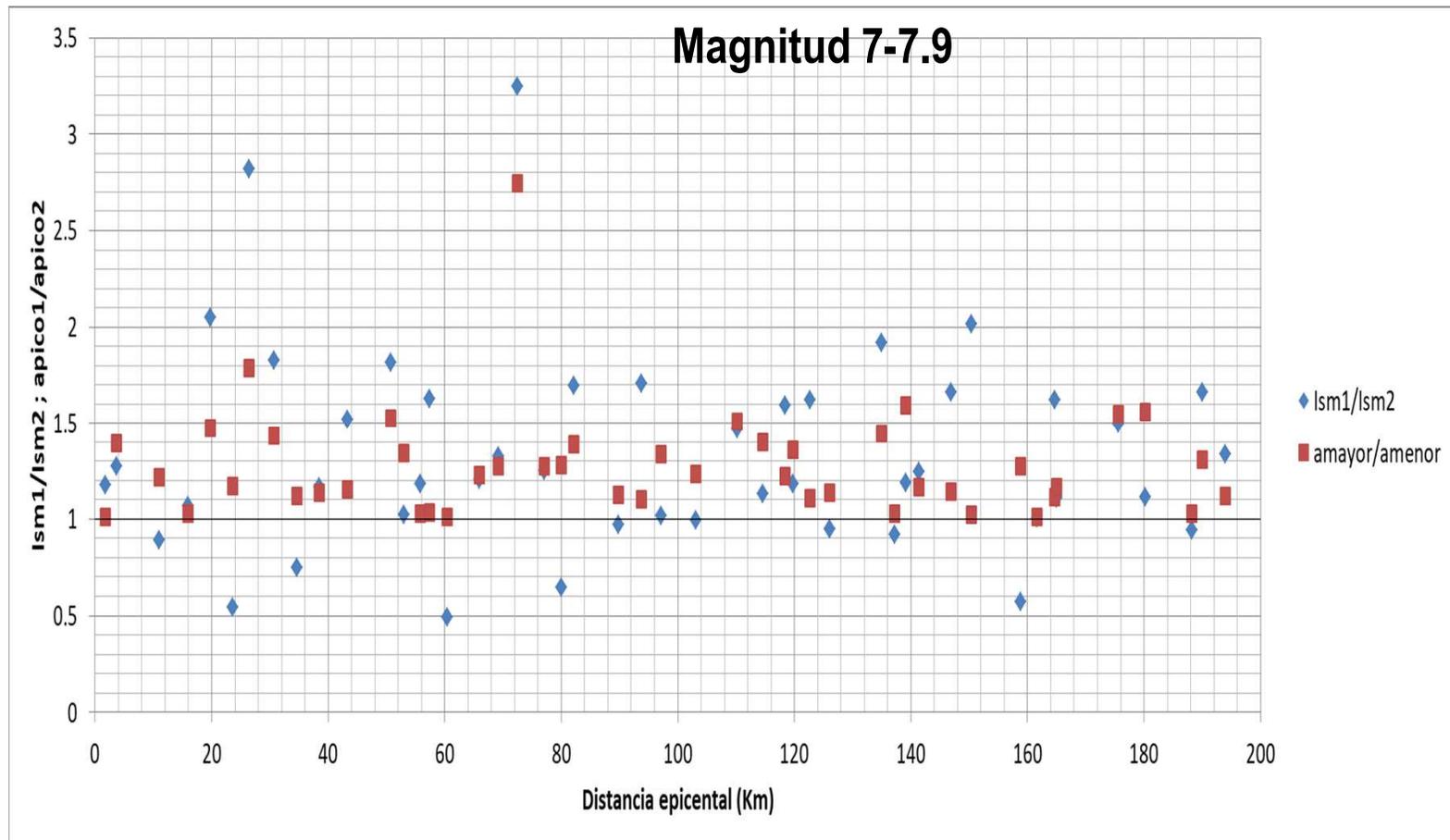




# MOVIMIENTO FUERTE DEL TERRENO



## INTENSIDADES EN AMBOS SENTIDOS

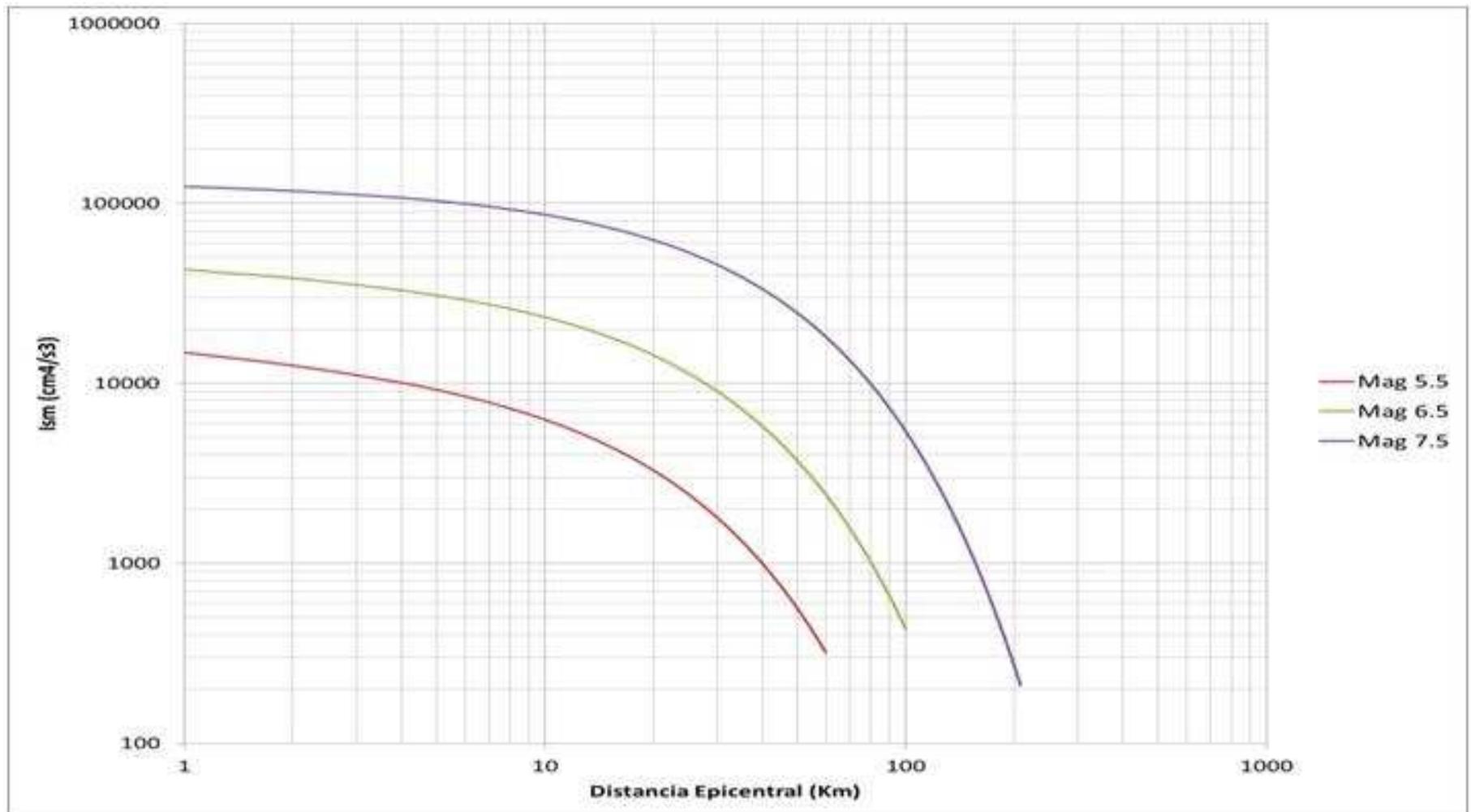




# MOVIMIENTO FUERTE DEL TERRENO

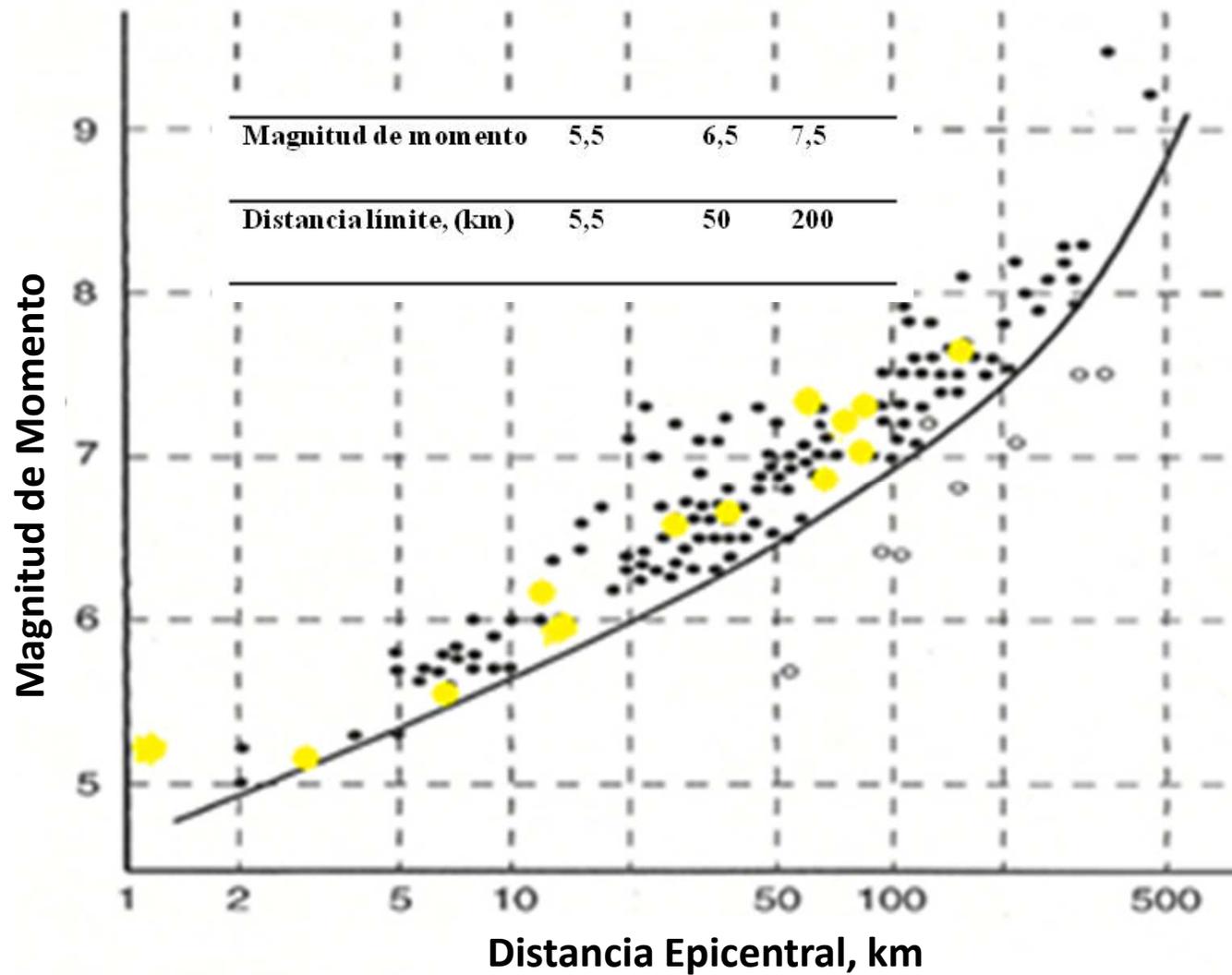


## VARIACIÓN DE LA $I_{SM}$ CON MAGNITUD Y DISTANCIA



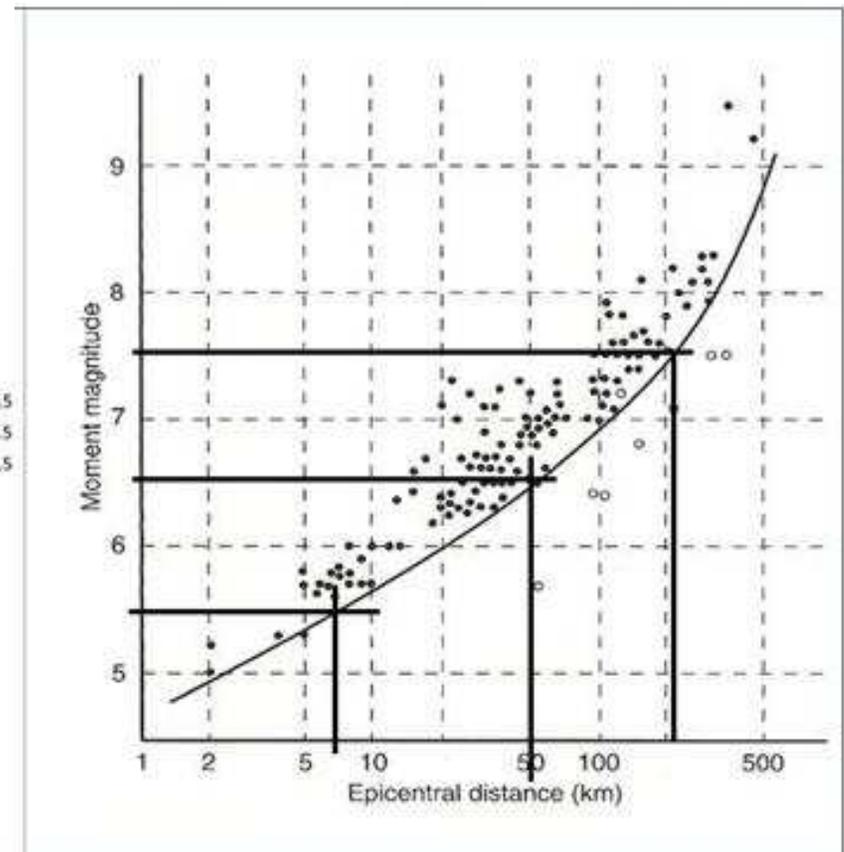
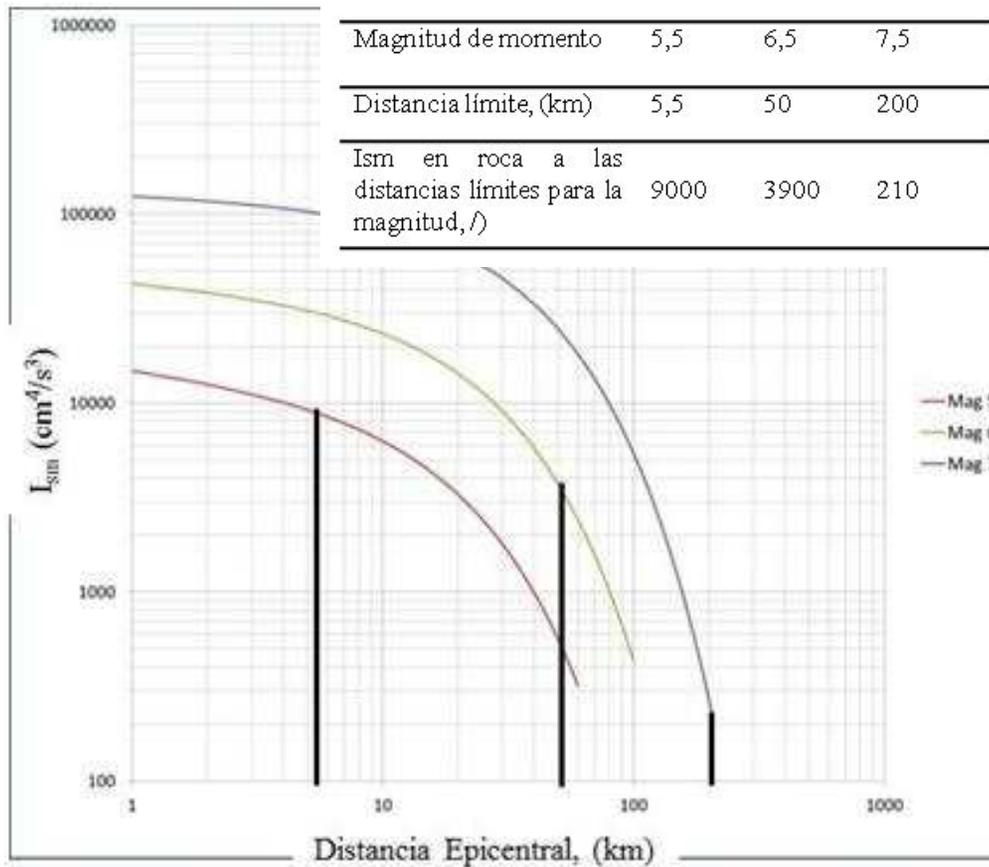


# LIMITE DONDE SE HA OBSERVADO LICUACION



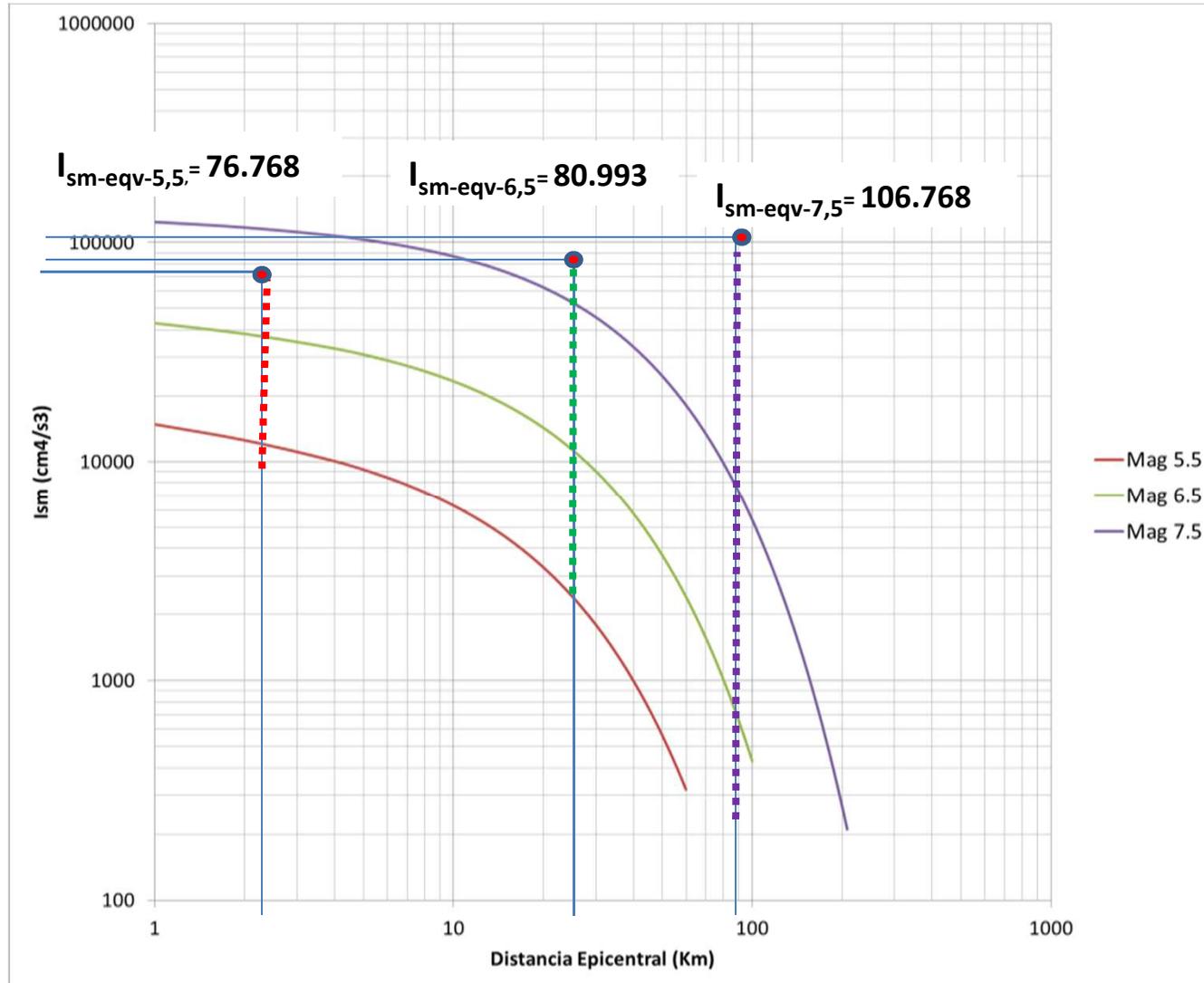


# LIMITE DONDE SE HA OBSERVADO LICUACION





# LIMITE DONDE SE HA OBSERVADO LICUACION

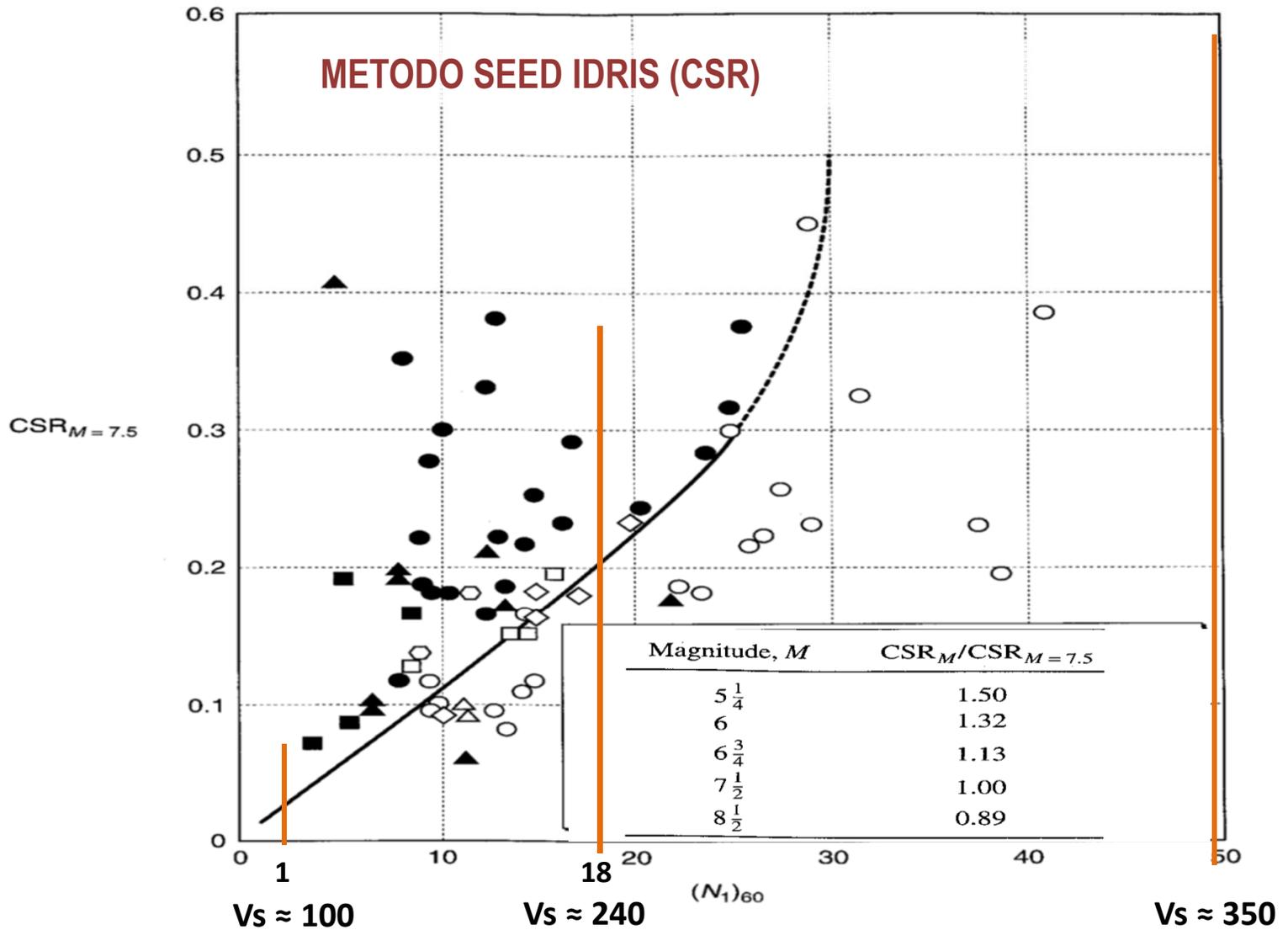






# POTENCIAL DE LICUACION

## PERFILES ESTUDIADOS

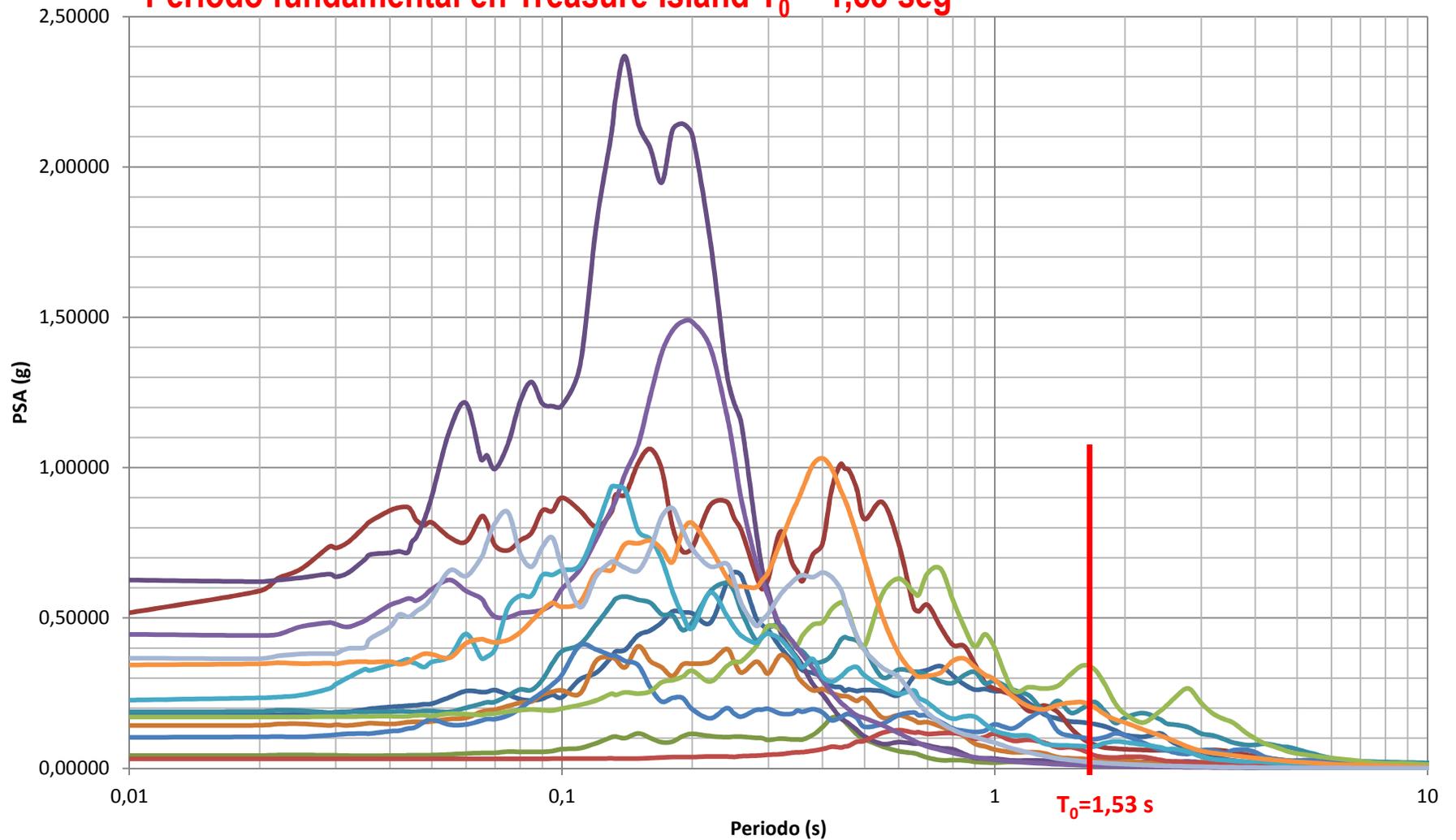




# ESPECTROS EN ROCA DE 13 SISMOS SELECCIONADOS



Período fundamental en Treasure Island  $T_0 = 1,53$  seg

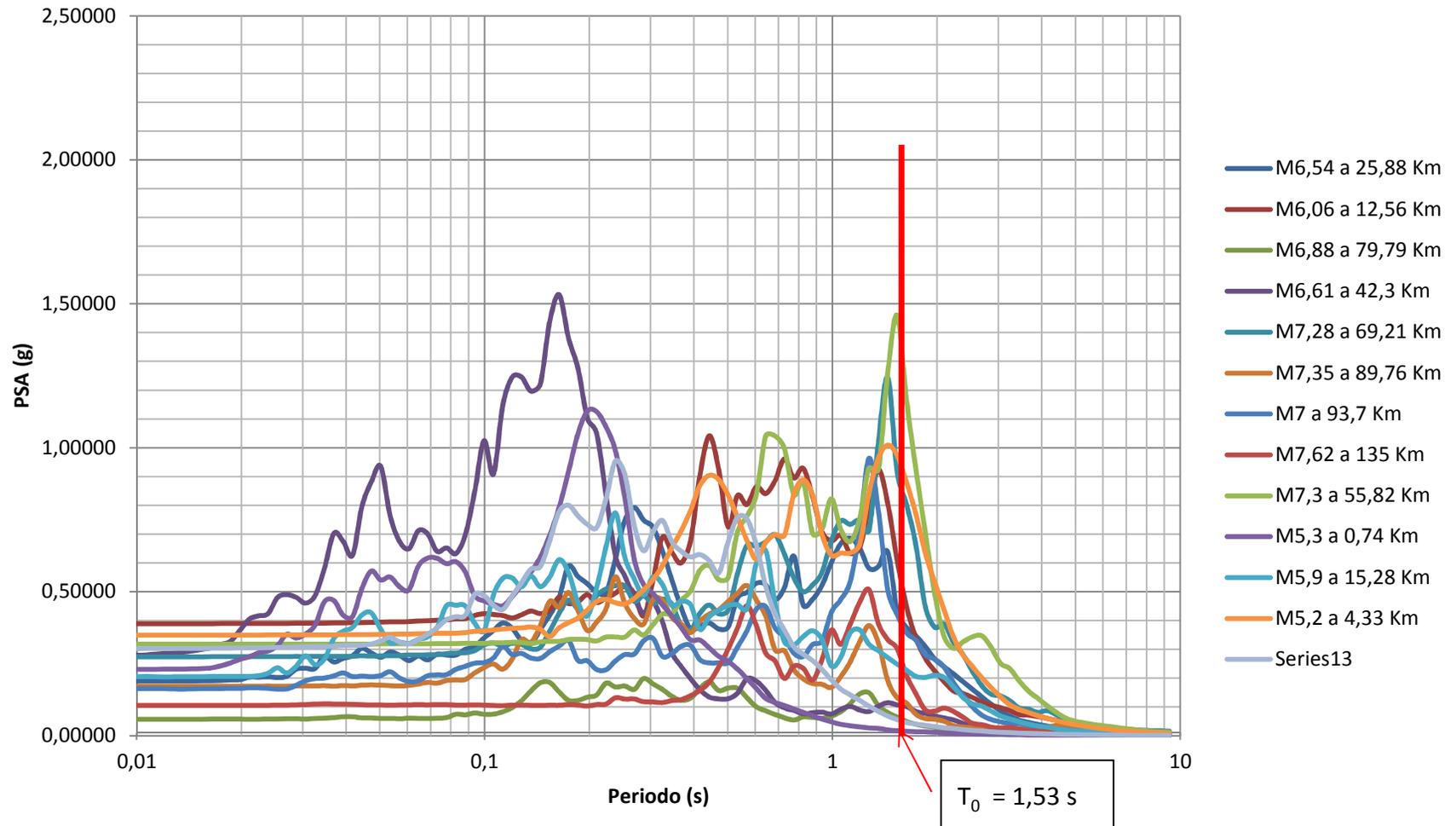




# ESPECTROS EN SUPERFICIE DE LOS 13 SISMOS SELECCIONADOS (240 m/s)



Período fundamental de Treasure Island,  $T_0 = 1,53$  s





## SISMOS QUE LICUAN TI (240 m/s) DE LOS 13 SELECCIONADOS



Intensidades y aceleraciones en la superficie del perfil real de Teasure Island junto con las intensidades requeridas para licuar según el método del CSR.  $V_s = 240$  m/s.

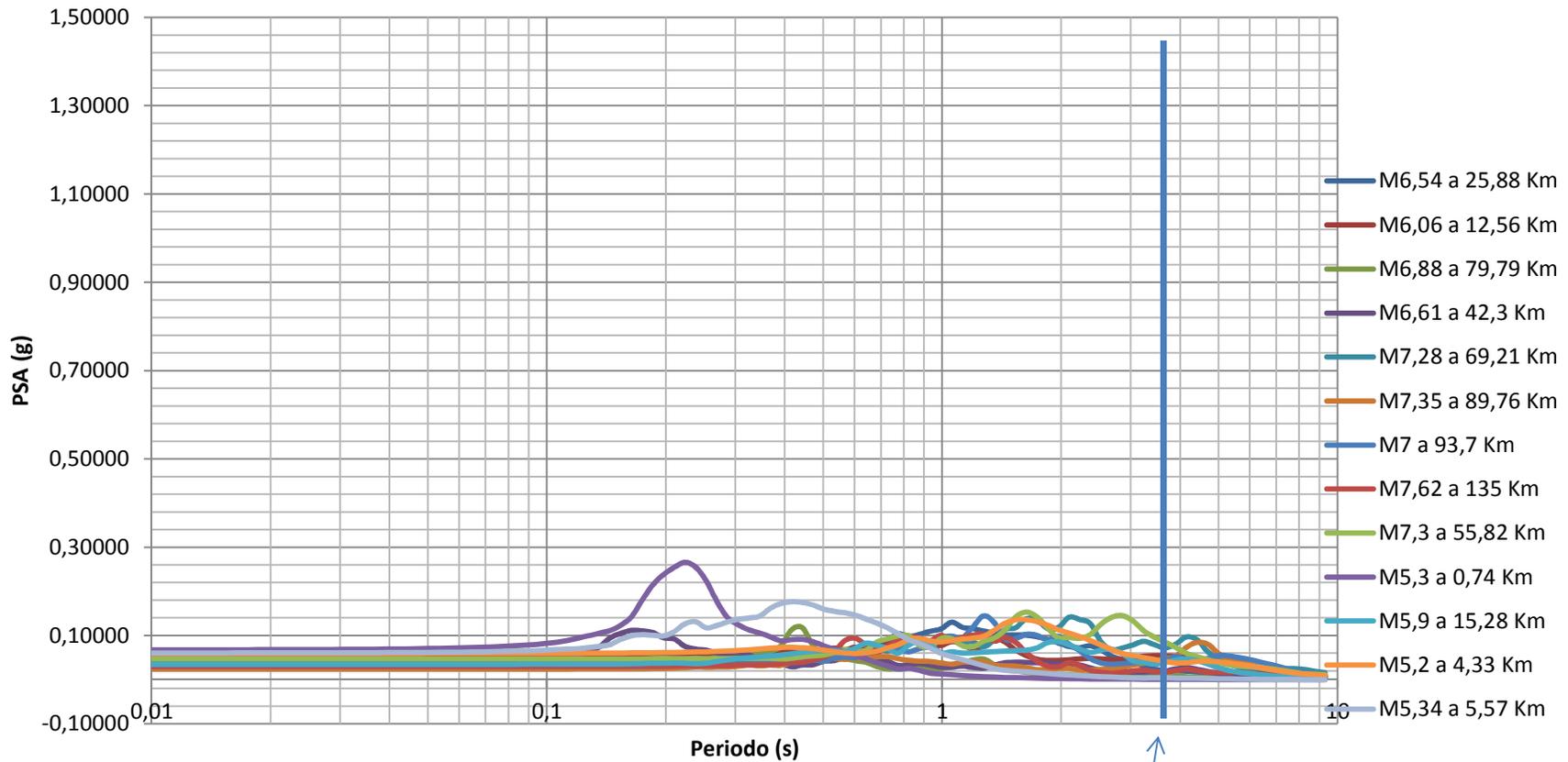
RE (km)	M	Ism roca ( $\text{cm}^2/\text{s}^3$ )	Ism superficie ( $\text{cm}^2/\text{s}^3$ )	apico (g)	apico superficie (g)	Ism necesaria para licua ( $\text{cm}^2/\text{s}^3$ ) <sub>r</sub>	Licua
0,74	5,30	9.778	14.220	0,42	0,23	76.768	No
15,28	5,90	16.012	43.894	0,17	0,20	76.768	No
4,33	5,20	26.295	<b>88.138</b>	0,29	0,35	76.768	<b>si</b>
12,56	6,06	71.458	<b>117.163</b>	0,43	0,39	80.993	<b>si</b>
25,88	6,54	20.555	<b>90.869</b>	0,14	0,19	80.993	<b>si</b>
79,59	6,88	550	6.429	0,03	0,06	80.993	No
93,70	7,00	11.091	47.171	0,08	0,16	106.768	No
135,00	7,62	2.485	37.565	0,03	0,10	106.768	No
42,30	6,61	123.811	<b>111.466</b>	0,53	0,27	80.993	<b>si</b>
5,57	5,34	13.577	29.494	0,29	0,30	76.768	No
55,82	7,30	26.473	<b>227.721</b>	0,12	0,32	106.768	<b>si</b>
69,21	7,28	38.906	<b>195.642</b>	0,15	0,27	106.768	<b>si</b>
89,76	7,35	8.461	46.059	0,10	0,17	106.768	No



# ESPECTROS EN SUPERFICIE DE LOS 13 SISMOS SELECCIONADOS



Mod.  $V_s = 100$  m/s  $T_0 = 3.68$  seg



$T_0 = 3.68$  seg



## SISMOS QUE LICUAN TI (100 m/s) DE LOS 13 SELECCIONADOS



Variación de Intensidad  $I_{sm}$  en roca y en superficie. Perfil de Treasure Island modificado para promedio de  $V_s=100$  m/s.

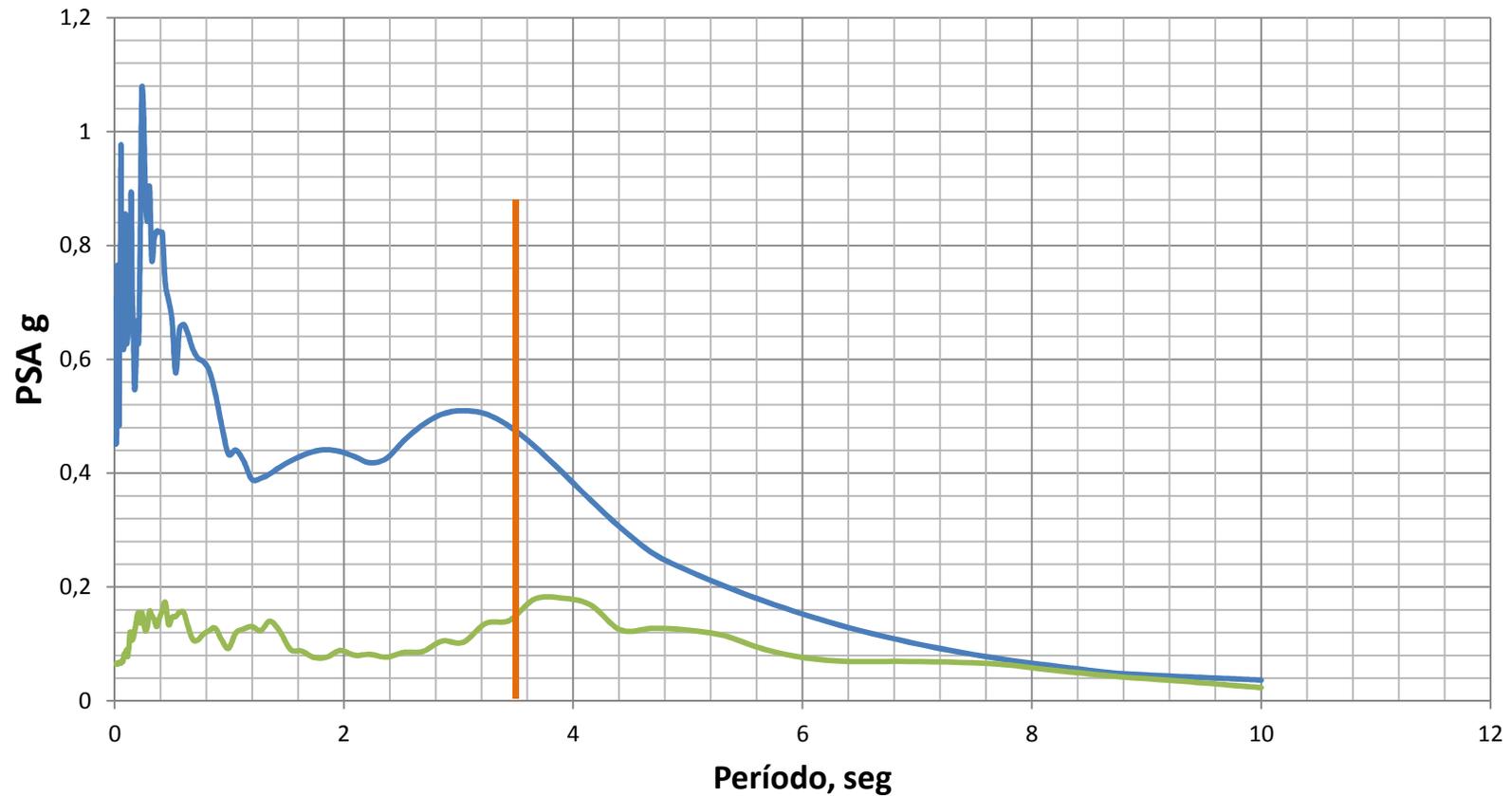
RE	M	Ism roca	Ism superficie	apico roca	apico super	Ism necesaria para licua	licua
0,74	5,30	9.778	729	0,0425	0,0069	76.768	No
15,28	5,90	16.012	1.581	0,0168	0,0035	76.768	No
4,33	5,20	26.295	2.2287	0,0293	0,0060	76.768	No
12,56	6,06	71.458	1.233	0,0439	0,0053	80.993	No
25,88	6,54	20.555	2.173	0,0142	0,0051	80.993	No
79,59	6,88	550	957	0,0029	0,0029	80.993	No
93,70	7,00	11.091	3.743	0,0077	0,0045	106.768	No
135,00	7,62	2.486	2.291	0,0026	0,0067	106.768	No
42,30	6,61	123.811	657	0,0542	0,0027	80.993	No
5,57	5,34	13.577	1.179	0,0293	0,0062	76.768	No
55,82	7,30	26.473	4.887	0,0124	0,0048	106.768	No
69,21	7,28	38.906	5.637	0,0149	0,0026	106.768	No
89,76	7,35	8.461	1.479	0,0107	0,0024	106.768	No



# ESPECTROS EN ROCA



SISMOS ADICIONALES EN PERFIL MOD.  $V_s = 100$  m/s  $T_0 = 3,68$  S

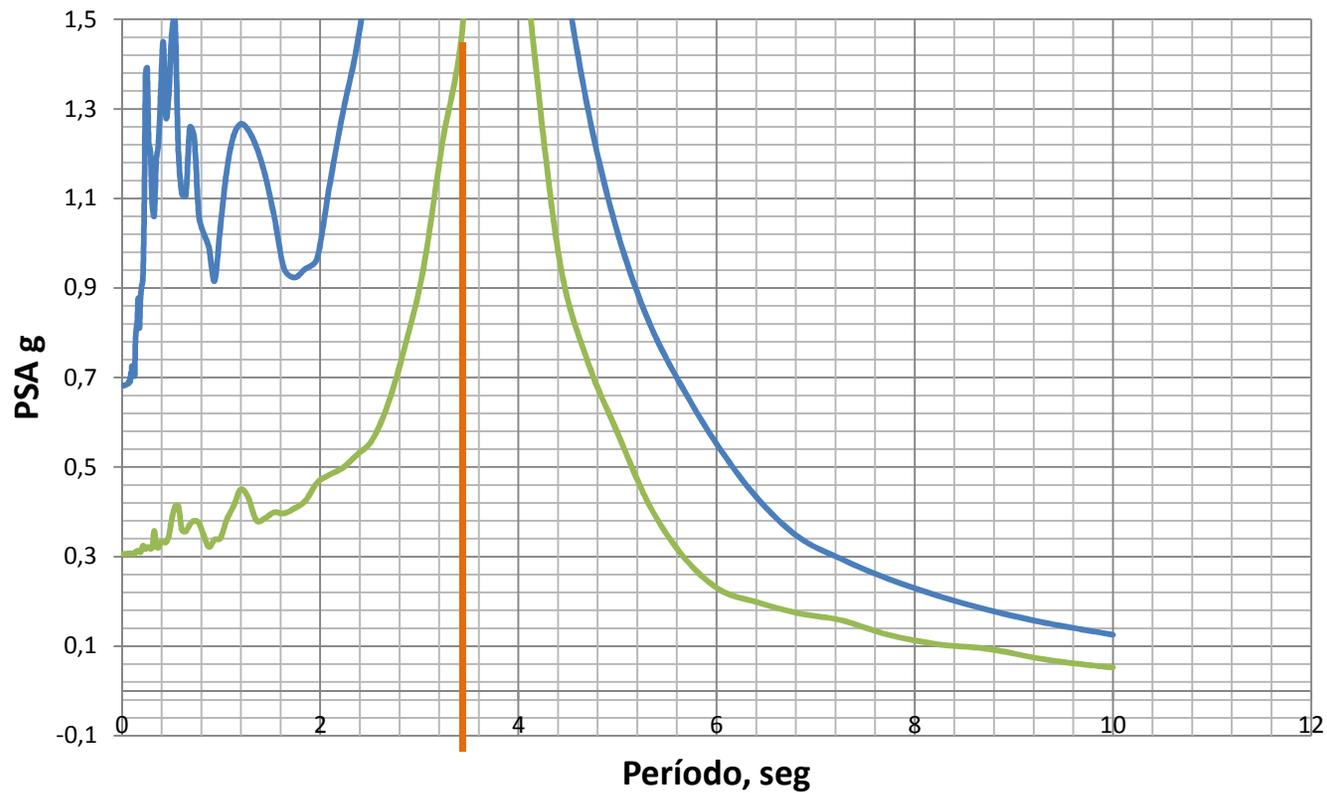




# ESPECTROS EN SUPERFICIE



**SISMOS ADICIONALES EN PERFIL MOD. Vs 100= 3,68 Seg**

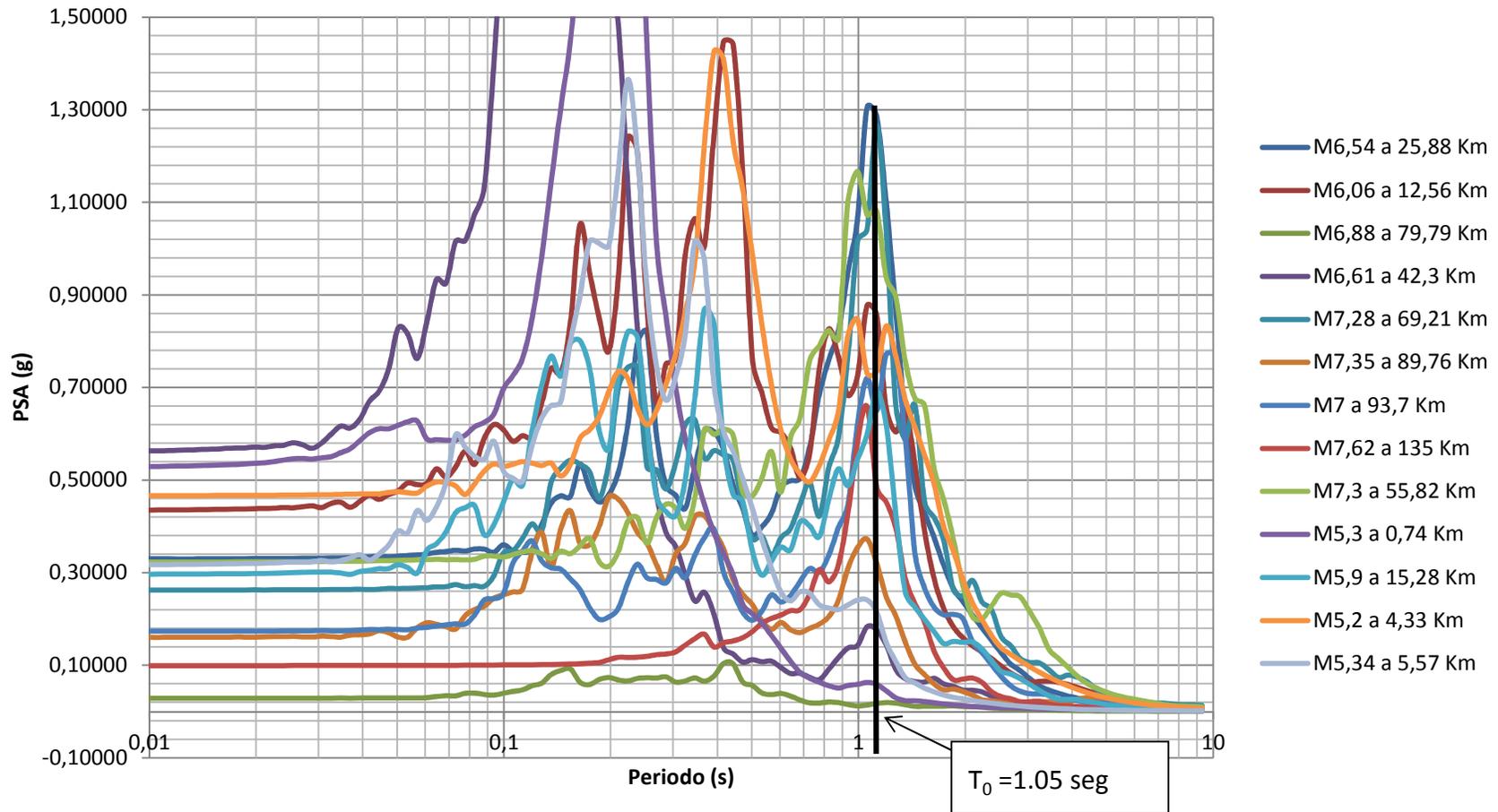




# ESPECTROS EN SUPERFICIE



Mod.  $V_s = 350 \text{ m/s}$   $T_0 = 1.05 \text{ s}$





# SISMOS QUE LICUAN TI DE LOS 13 SELECCIONADOS

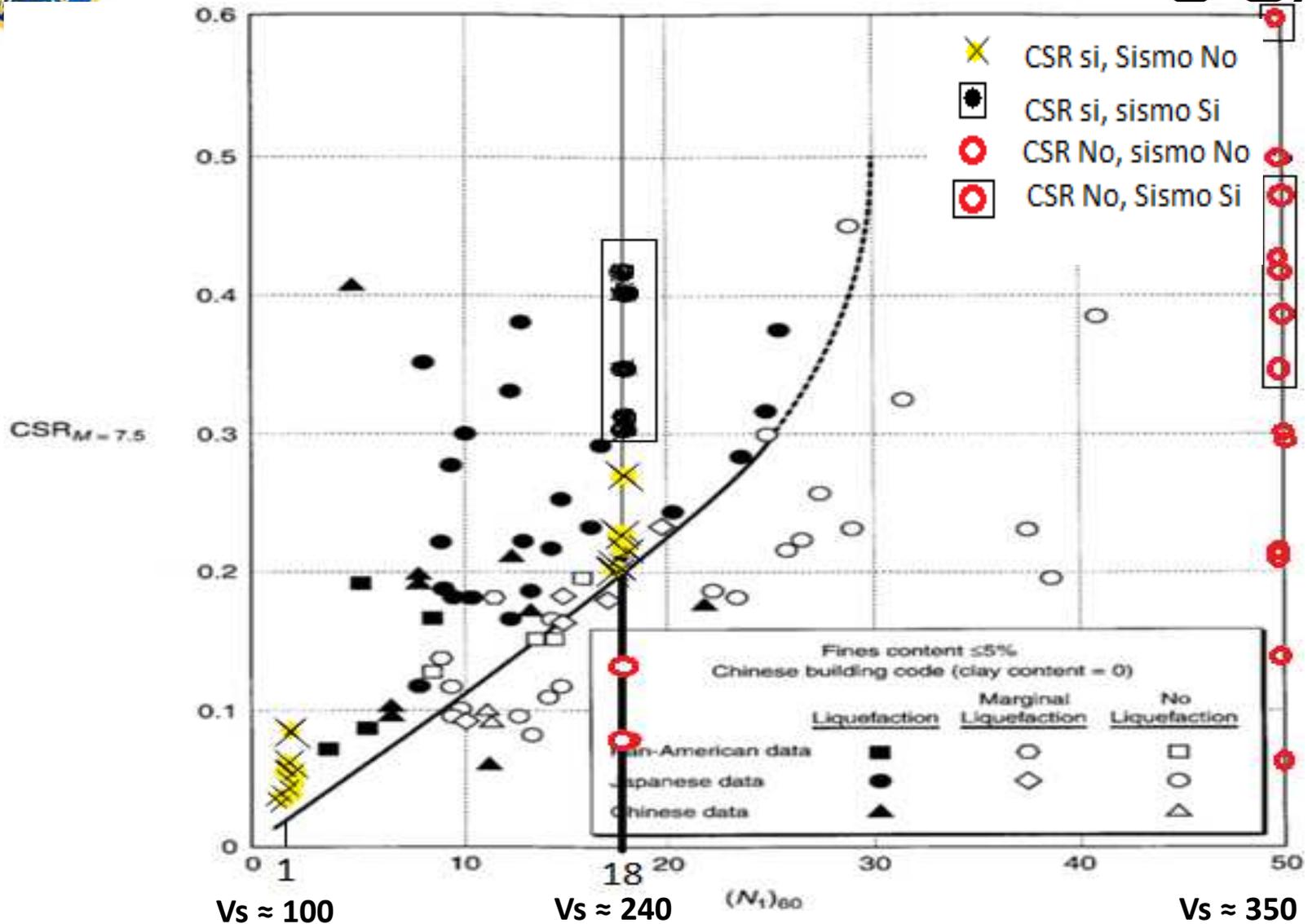


Variación de Intensidad  $I_{sm}$  en roca y en superficie. Perfil de Treasure Island modificado para promedio de  $V_s=100$  m/s.

RE	M	$I_{sm}$ roca	$I_{sm}$ superficie	apico roca	apico super	$I_{sm}$ necesaria para licura	licua
0,74	5,30	9.778	60,383	0,417	0,528	76.768	No
15,28	5,90	16.012	57,147	0,165	0,296	76.768	No
4,33	5,20	26.295	101,592	0,287	0,466	76.768	si
12,56	6,06	71.458	174,867	0,430	0,434	80.993	si
25,88	6,54	20.555	130,544	0,140	0,330	80.993	si
79,59	6,88	550	4,664	0,029	0,052	80.993	No
93,70	7,00	11.091	64,145	0,076	0,173	106.768	No
135,00	7,62	2.486	56,518	0,026	0,099	106.768	No
42,30	6,61	123.811	117,032	0,532	0,555	80.993	si
5,57	5,34	13.577	33,562	0,287	0,316	76.768	No
55,82	7,30	26.473	191,800	0,122	0,322	106.768	si
69,21	7,28	38.906	183,260	0,146	0,262	106.768	si
89,76	7,35	8.461	37,082	0,105	0,160	106.768	No



# COMPARACION DE $I_{sm}$ CON CSR





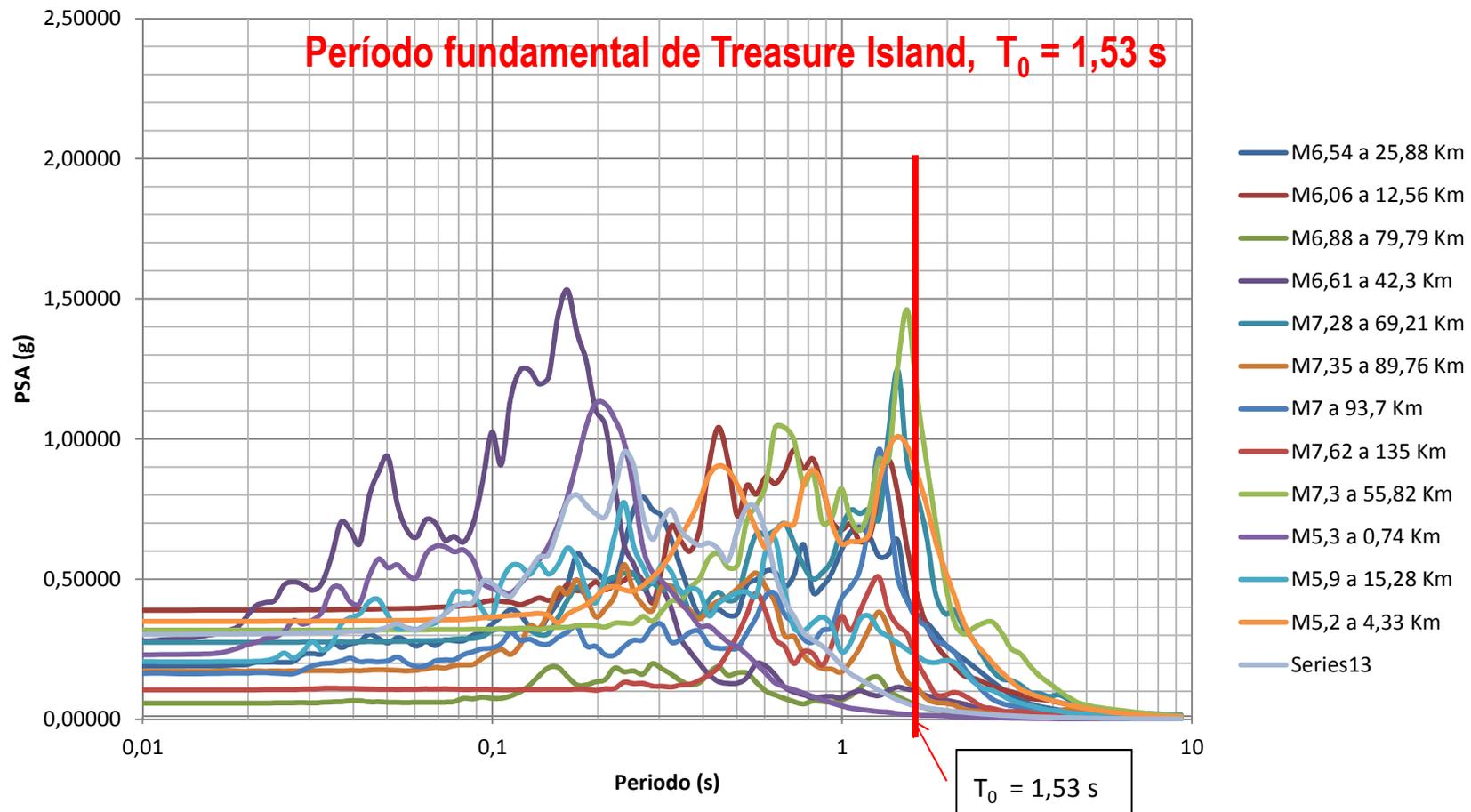
# ESPECTROS EN SUPERFICIE DE LOS 13 SISMOS SELECCIONADOS (240 m/s)



$$I_{sm} = a_{rms}^2 T_{sm}$$



$$I_{sm} = a_{PE} T_{sm}$$





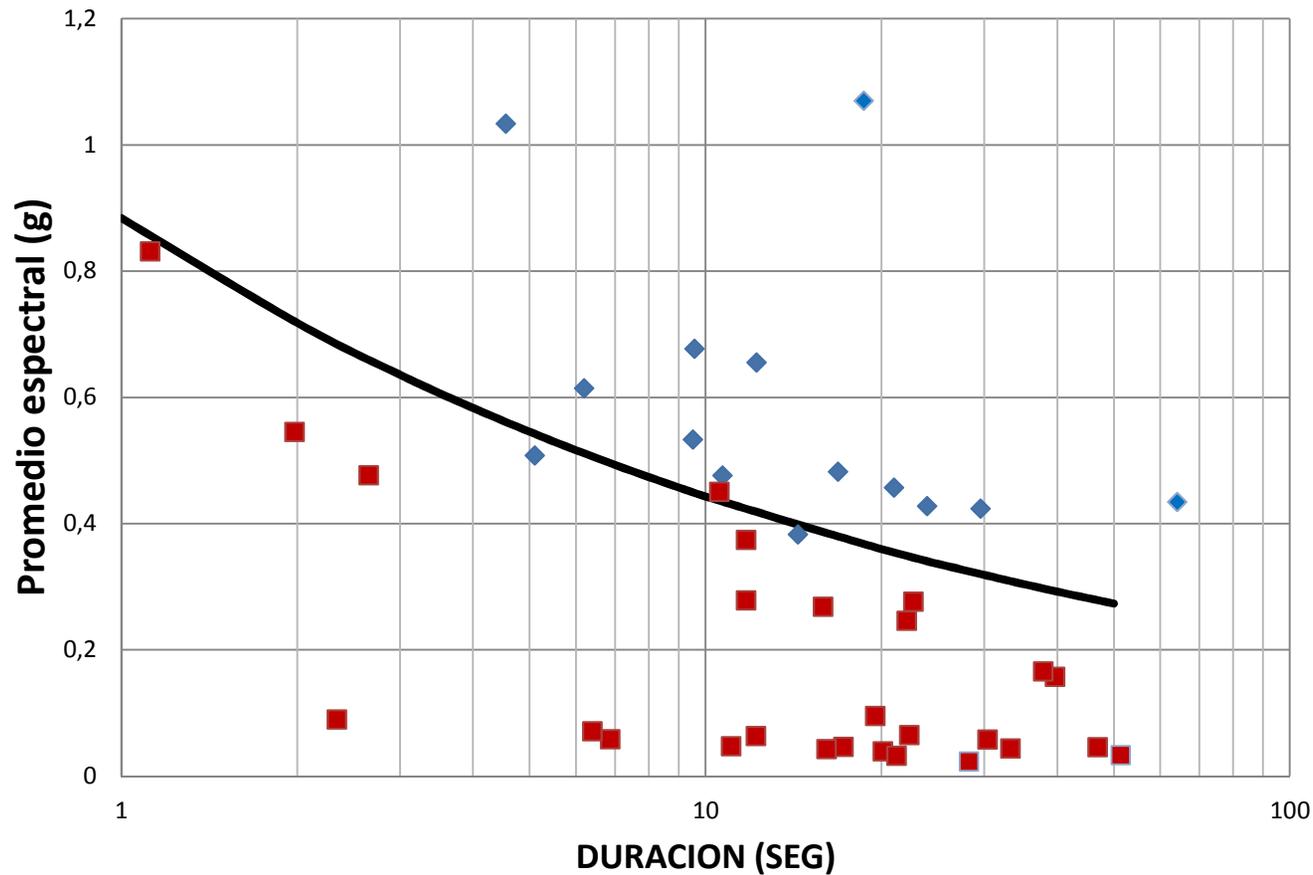
# ANALISIS DE ESPECTROS



$$I_{sm} = a_{rms}^2 T_{sm}$$



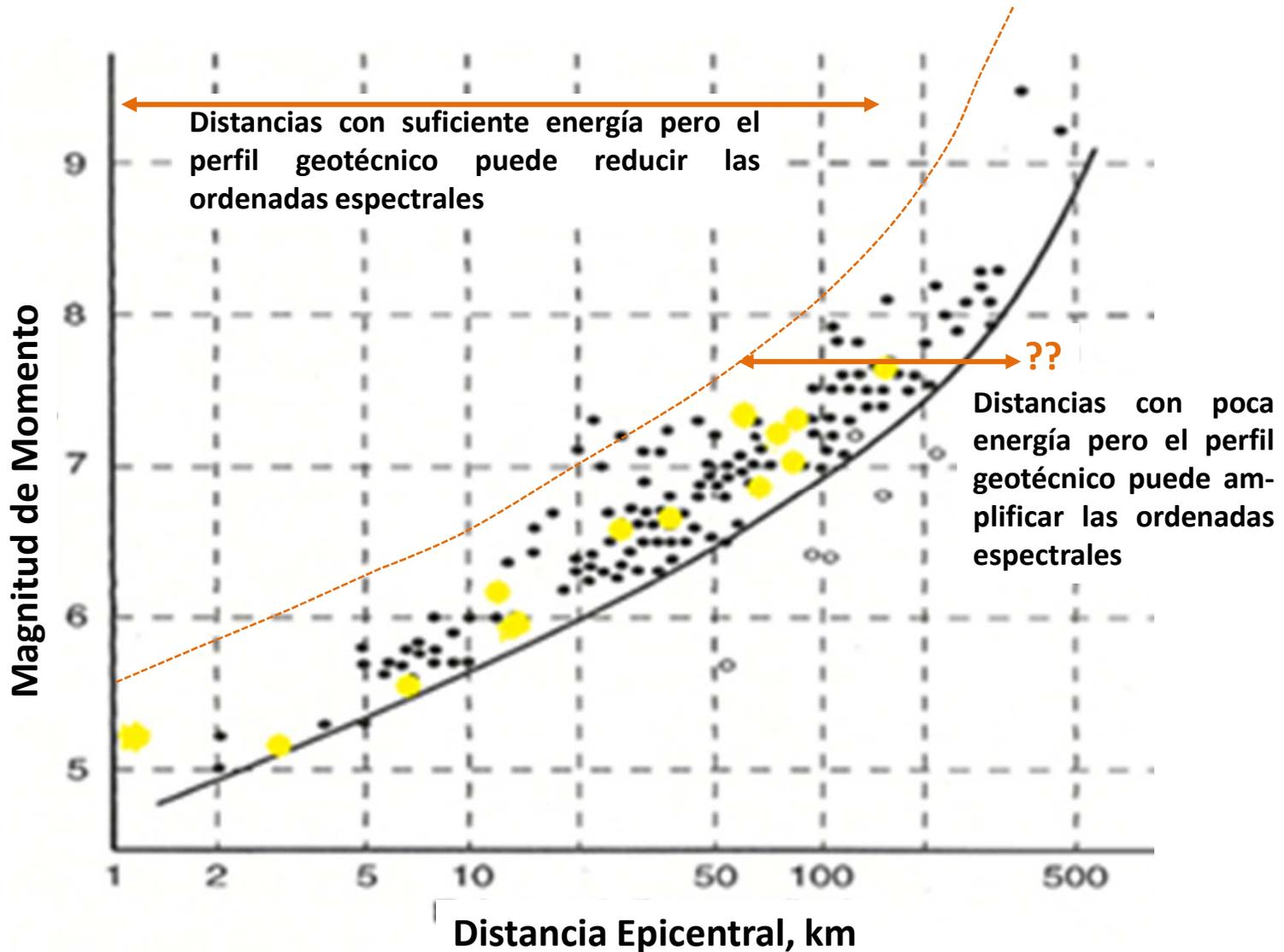
$$I_{sm} = a_{PE} T_{sm}$$



- ◆ Sismos con energía para licuar
- Sismos sin energía para licuar



# LIMITE DONDE SE HA OBSERVADO LICUACION





## CONCLUSIONES



- La  $I_{sm}$  es una medida de la energía necesaria para producir licuación y varía con magnitud y distancia igual que cualquiera otra variable de intensidad, es decir, tiene una ley de atenuación clara.
- La definición duración es muy relevante ya que define la energía aportada por el sismo y la mayoría de las definiciones existentes no coinciden ni permiten unificar criterios.
- El autor propuso una definición de duración muy robusta que coincide con la de Mc Cann- Shah y permite unificar los criterios que controlan el cálculo de la intensidad.
- La dirección para la cual se obtiene la máxima aceleración del terreno no siempre coincide con la dirección donde se consigue la máxima intensidad del sector fuerte.



## CONCLUSIONES



- Las intensidades requeridas para licuar arenas calculadas con base en los ensayos de laboratorio y la definición de CSR, indican que para las distancias límites de cada magnitud a la cual se ha observado licuación es necesario que ocurra amplificación dinámica por el perfil geotécnico.
- Lo anterior confirma que no es suficiente un análisis pseudo estático simple con la aceleración pico y un numero de ciclos equivalentes (CSR) dependiente de la magnitud para definir la energía requerida para causar licuación en un perfil geotécnico, por cuanto su ocurrencia está condiciona por la respuesta dinámica de dicho perfil.



## CONCLUSIONES



- El promedio de las aceleraciones espectrales mayores que la aceleración del terreno con la duración del sector fuerte tienen el mismo efecto para evaluar la energía del sismo y sustentan los hallazgos de este trabajo.
- El efecto de la respuesta dinámica del perfil en la licuación aquí demostrado indica que el método CSR -  $N_{SPT}$  no aporta suficiente información para establecer el potencial real de licuación ya que perfiles que licuan según ese método no lo hacen en los análisis de respuesta dinámica y vice versa.



**GRACIAS POR SU  
ATENCIÓN**