ASOVAC

UCAB Universidad Católica ANDRÉS BELLO

ANÁLISIS DE LA INTENSIDAD DEL SECTOR FUERTE DEL ACELEROGRAMA CONSIDERANDO EL DESARROLLO DE LA PRESIÓN DE POROS EN UN PERFIL GEOTÉCNICO

Facultad de Ingeniería Escuela de Ingeniería Civil

Autores:
Ruiz H., Gerardo A.
Echezuría, Heriberto

Caracas, 15 de Noviembre del 2019

Planteamiento del Problema

Los métodos constructivos pueden abarcar gran parte del diseño sísmico estructural para salvaguardar la vida de los ciudadanos, dentro de una estructura y las adyacentes a esta. No obstante estos no son inmunes a las condiciones de sitio donde reposan.

Alcance y Limitaciones

•Se realizarán simulaciones con acelerogramas obtenidos de bases de datos sísmicos internacionales digitalizados de distintas magnitudes y distancias.

•Se considerarán para este estudio sismos con magnitudes de Momento entre 5,00 y 7,99.

•Se tomara–un perfil geotécnico similar al de ‘’Treasure island’’ el cual licuó con el sismo de Loma Prieta de 1989 y existen registro reales de ese mismo.

•El estudio tendrá la limitación de los datos disponibles digitalmente en las bases de datos internacionales.

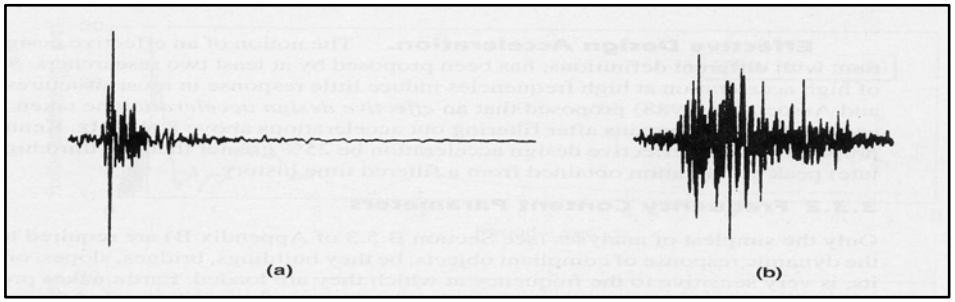
Objetivo General

Determinar la influencia de la presión de poros acoplada a la respuesta dinámica del perfil en el acelerograma de respuesta en superficie.

Objetivos Específicos

- Evaluar la intensidad de los sectores fuertes de los acelerogramas en superficie (Ism) utilizando el modelo acoplado.
- Comparar el potencial de Licuación estimado con el método de CSR con los estimados utilizando las distintas respuestas en la superficie del modelo acoplado para los distintos perfiles.
- Comparar las respuestas en la superficie del programa con el modelo acoplado con aquellas obtenidas con el programa desacoplado en los distintos perfiles.

Marco Teórico



-Tipos de Fallas Geológicas: Inversas , Oblicuas.

-Ley de Atenuación: varia la amplitud de variables.

-Acelerogramas

-Sector Fuerte del Acelerograma

-Intensidad del sector fuerte del Acelerograma por el método de Echezuría

-Metodología de **Dobry and Matasovic** para presión de Poros en Arenas y Arcillas

-Licuación

Marco Metodológico

-Base de datos: **206 registros.**

-Acelerogramas en superficie

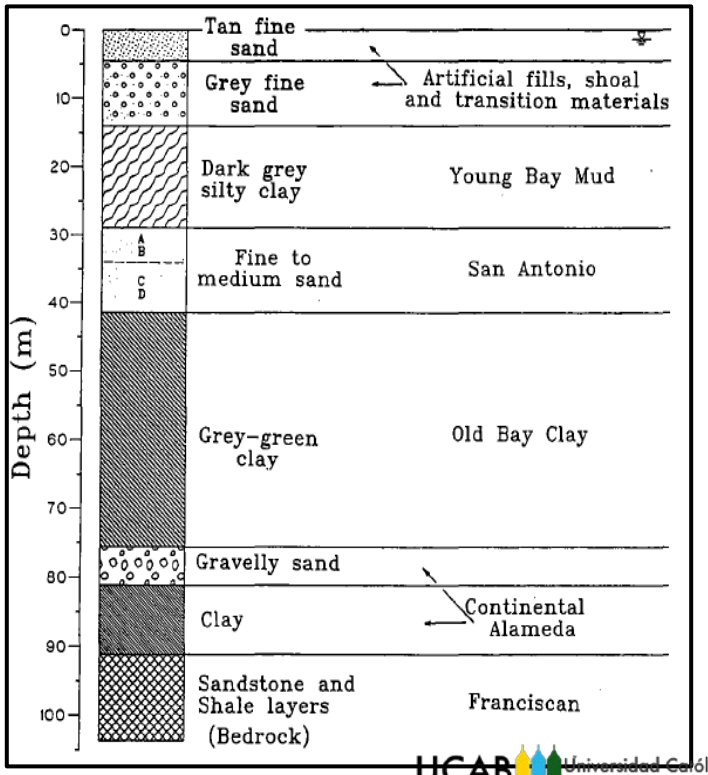
-**DEEPSOIL**

-Promedio de Aceleraciones Espectrales superiores a la Aceleración del Terreno

-Energía Necesaria para la Licuación

-Desarrollo de Presión de Poros al cambiar las velocidades del perfil

-Comparación utilizando el Método del CSR



Comparación de Análisis Equivalentes Lineales y No Lineales

Respuesta dinámica en superficie con el modelo equivalente lineal con **lecho rocoso rígido vs lecho rocoso elástico**: no mantiene atrapada la energía de las ondas reflejadas en la base del perfil.

Comparación de las respuestas por el modelo **equivalente Lineal Vs No lineal:** motivado al exceso de ablandamiento de los módulos de corte. Disipa excesivamente la energía.

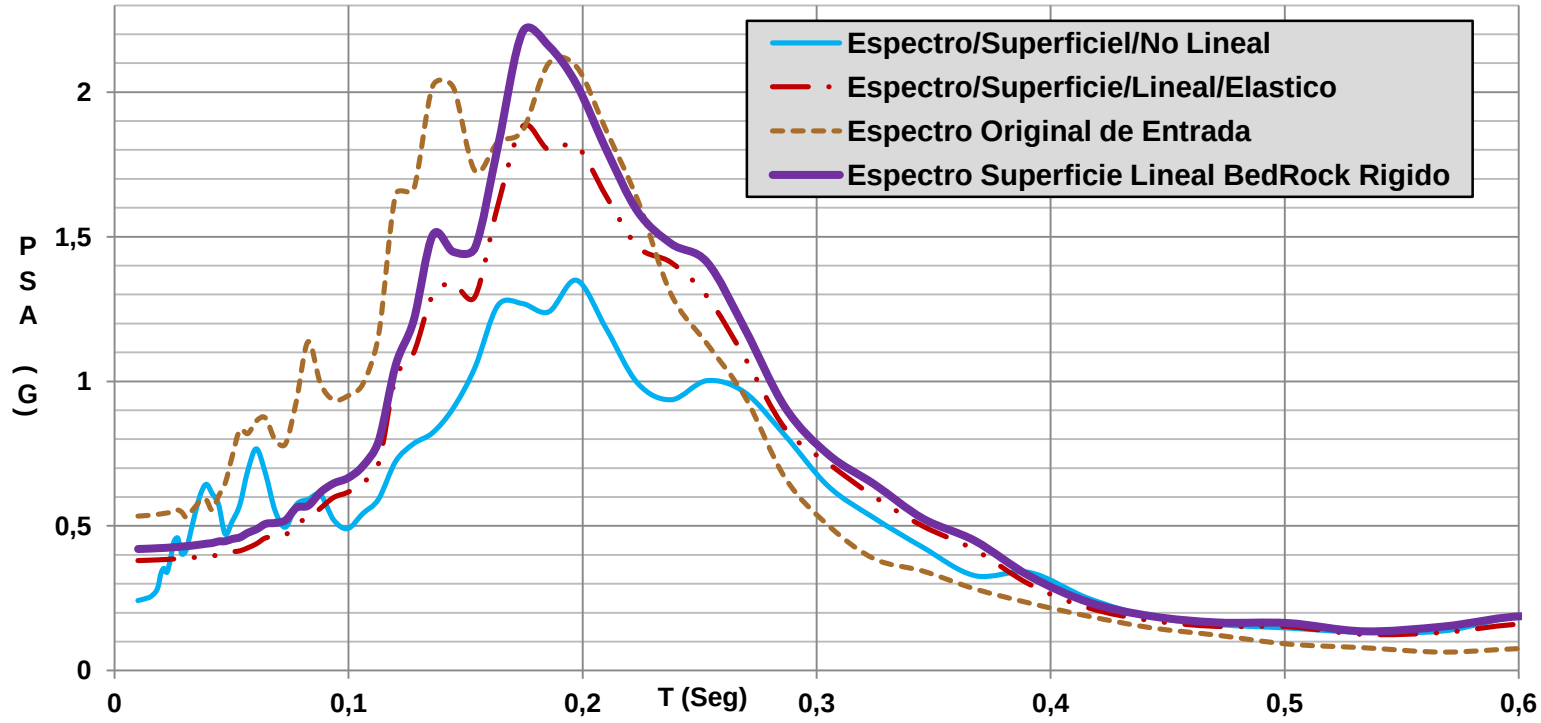


Fig. 57 *- Espectro de Respuesta -* ***Registro Magnitud; 6.61. Distancia; 42.30. Tottori Japan****. - Comparación de Análisis no Lineal con lecho rocoso Elástico con Análisis lineal con lecho rocoso Rígido.*

Determinar el Estrato de Quiebre

En los 8,5 metros tenemos el máximo desarrollo de presión de poros, denominando a este como el estrato de quiebre.

Este máximo desarrollo de PWP repercute en el desplazamiento en los estratos licuables del perfil por el degradamiento del modulo de corte.

Ratio máximo PWP, Elastico	
Profundidad (m)	Ratio máximo PWP
0.25	0.004009144
1	0.004151106
2	0.003752103
2.75	0.046440638
3.5	0.093077794
4.5	0.15133229
5.5	0.165365321
6.5	0.308948322
7.5	0.547489022
8.5	0.95
9.25	0.095906101
10	0.187124433
11	0.362096664
12	0.463304048
13	0.872829911
14	0.123729493
15	0.165352799
16	0.003584526
17	0.006092107
18	0.007471633
19.25	0.002282814
20.75	0.003300847
22.25	0.026293493

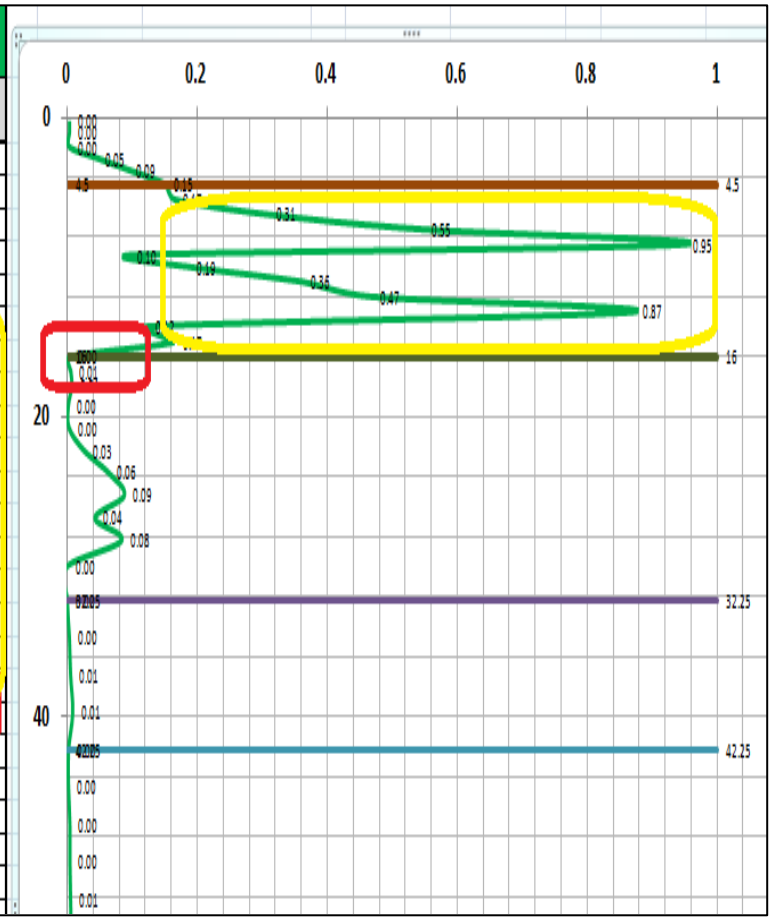


Fig. 37 *- Desarrollo de PWP en el Perfil - Registro Magnitud;7.28. Distancia;23.62 Km, Landers.*

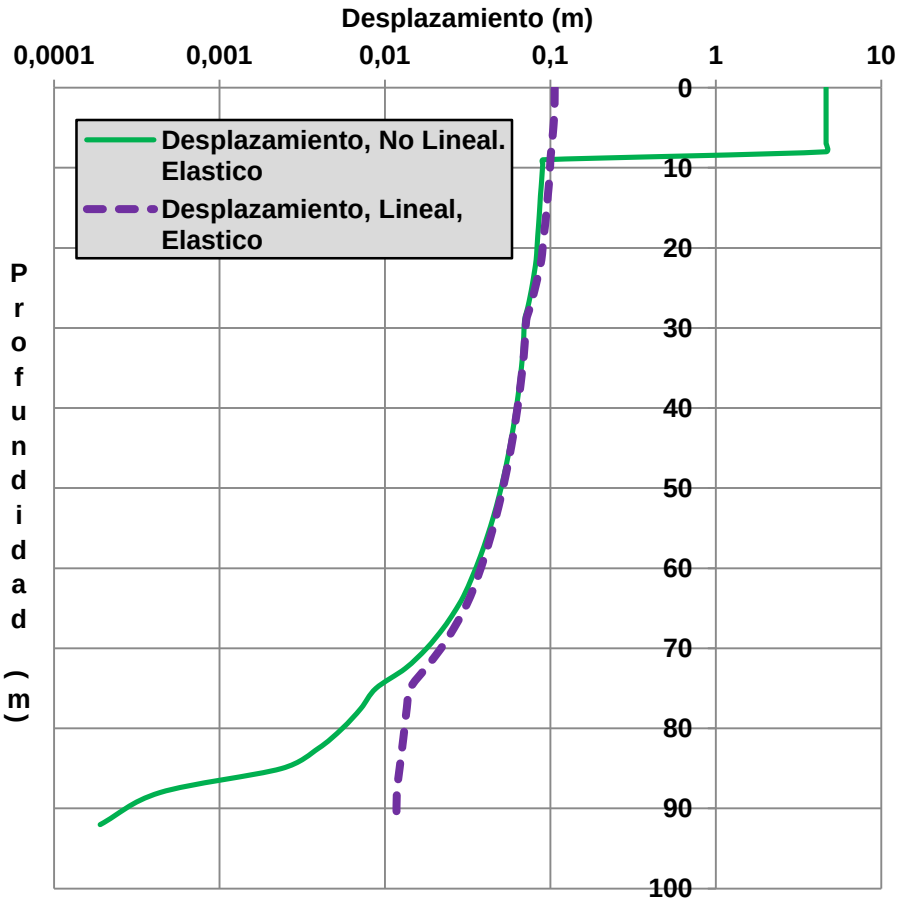


Fig. 54 *- Desplazamiento vs profundidad del perfil geotécnico al transitar el registro de Magnitud; 5,20. Distancia; 4,33. Managua Nicaragua 02.*

Comportamiento del Perfil durante el desarrollo de la Presión de Poros

Dependiendo de la naturaleza del evento y su distancia epicentral puede tener mucha o poca energía que repercute en el PWP

Las altas frecuencias se amortiguan más temprano durante el viaje de las ondas.

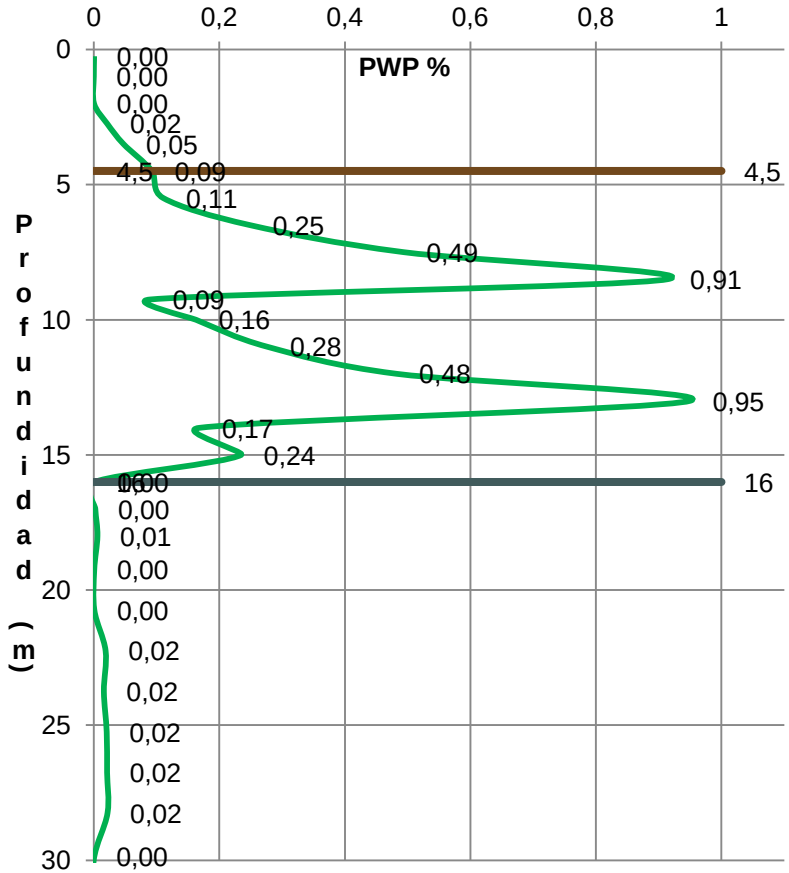


Fig. 52 *- Desarrollo de PWP vs Profundidad - Registro* ***M;6,60. D;10,27****. CorinthGreece*

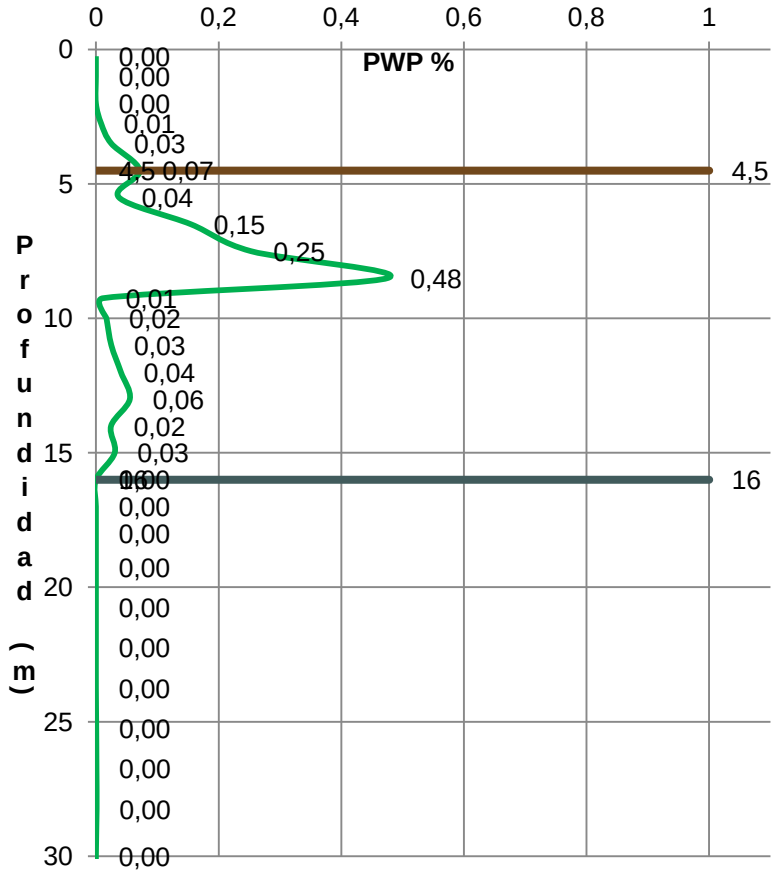


Fig. 53 *- Desarrollo de PWP vs Profundidad - Registro* ***M;6,30. D;82,76*** *Chi-ChiTaIwan06.*

Energía necesaria para la Licuación

Se graficaron con la **ley de atenuación de Ism** las intensidades necesarias para alcanzar la licuación estimadas por Echezuría (2018), obtenidas de **ensayos de Laboratorios para arenas con distintas densidades** relativas sometidas a ciclos de amplitud constante controlados por la magnitud.

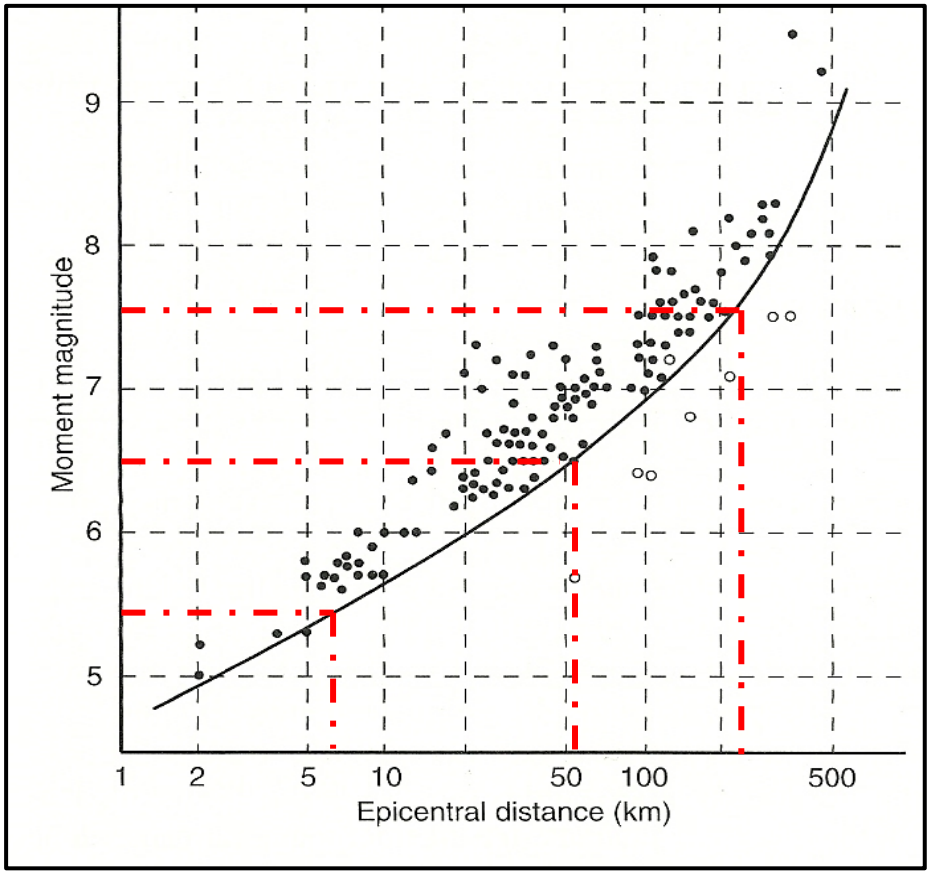


Fig. 43 *- Relación entre la distancia epicentral en la cual ocurre licuación con respecto a la magnitud de momento. Ambresys y Menu (1988)*

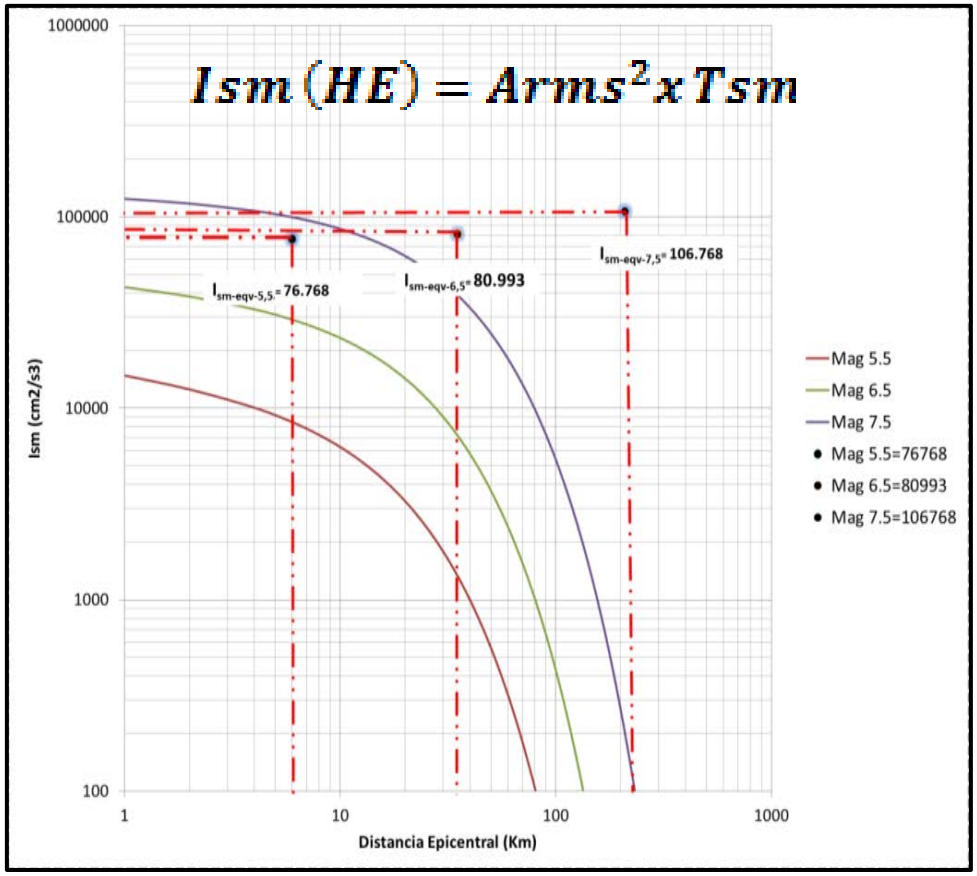


Fig. 42 *- valores límites de intensidad para licuación. (Herrera, M. Muñoz, M. 2018).*

Análisis comparativo con equivalente lineal en superficie para roca rígida y elástica

los registros que licuan en el equivalente **lineal con roca rígida**, ahora en el equivalente **lineal con roca elástica**, se ven desplazados. Se observa adicionalmente que para los sismos con mayor distancia epicentral **necesitan amplificar más sus respuestas para poder alcanzar la licuación.**

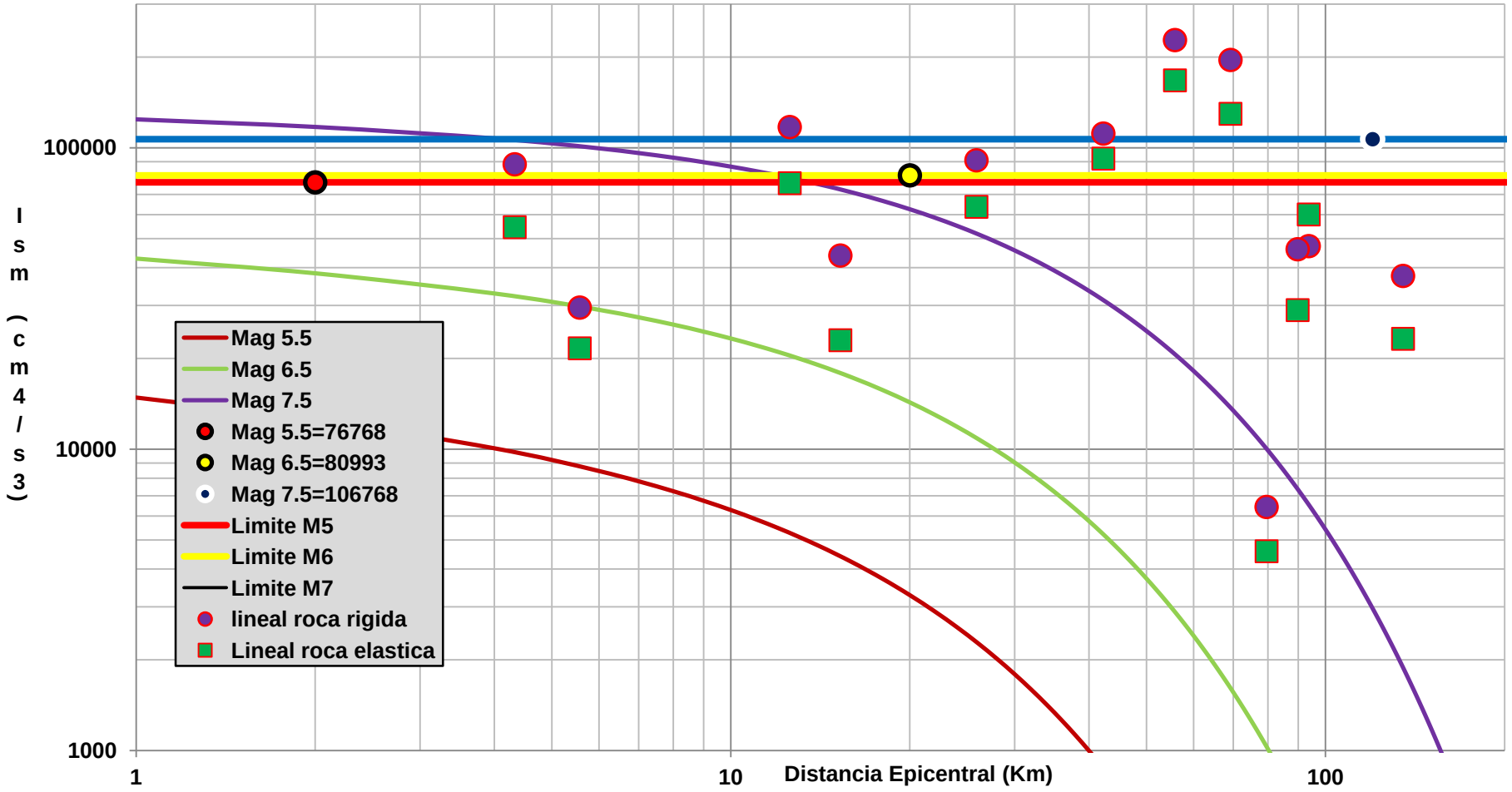


Fig. 56 - registros de tabla (10) para respuesta en superficie con roca rígida y elástica.

Graficas de Resultados Globales

De los 206 registros, únicamente 62 desarrollan PWP. obteniendo una ocurrencia para los **206** registros de **13,59%**, corroborando que el desarrollo de máximas presiones de poros está directamente relacionadas con la **amplificación de la respuesta dinámica.**

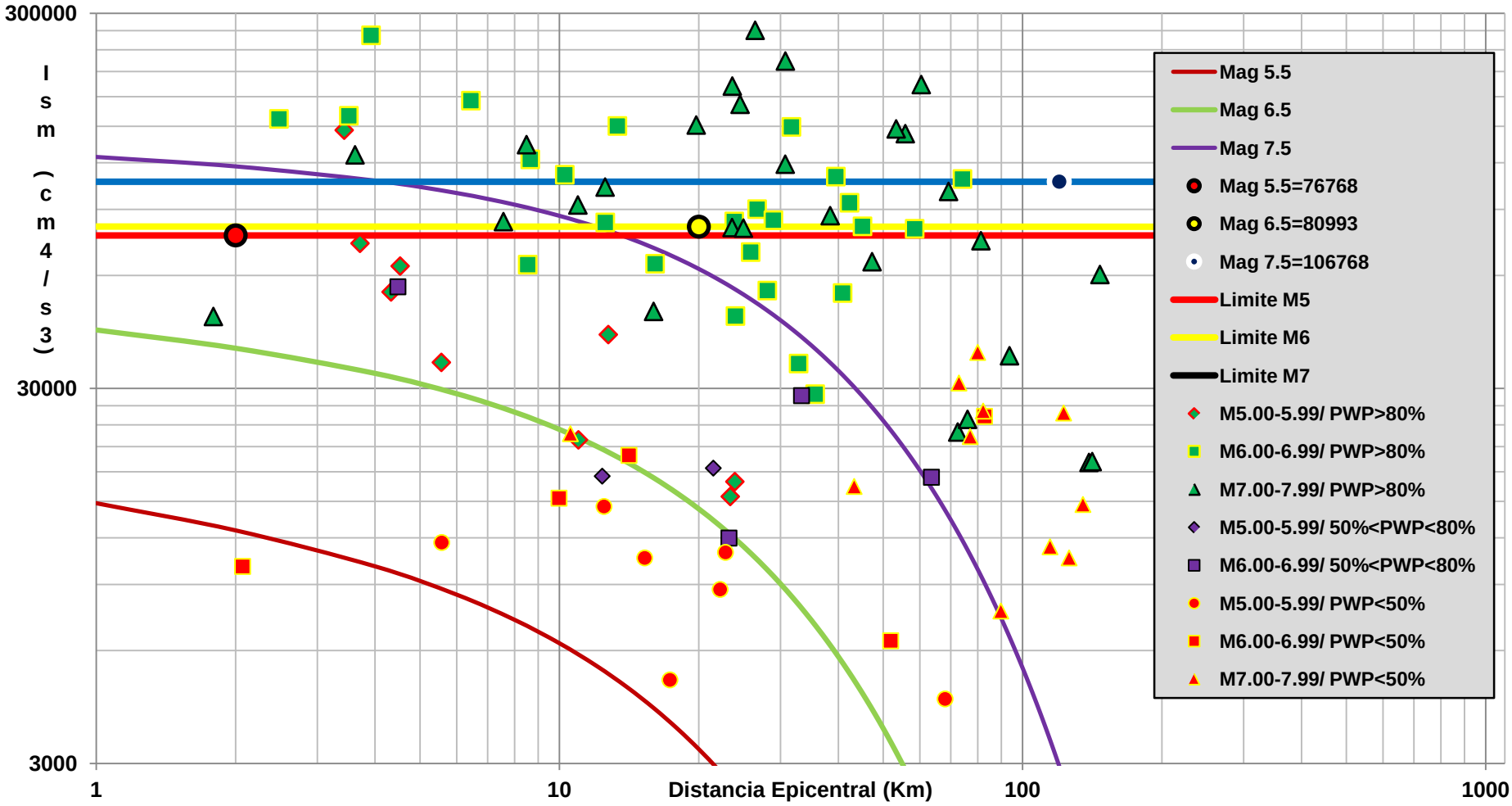


Fig. 67- registros globales 5.00 - 7.99 para potencial de Licuación con la ley de atenuación.

Si el evento tiene **poca energía** esta tendrá que amplificarla en los estratos licuables. No obstante si el evento por su naturaleza cuenta con **mucha energía**, esta tiende a mantener un nivel mínimo de ordenadas o atenuarla.

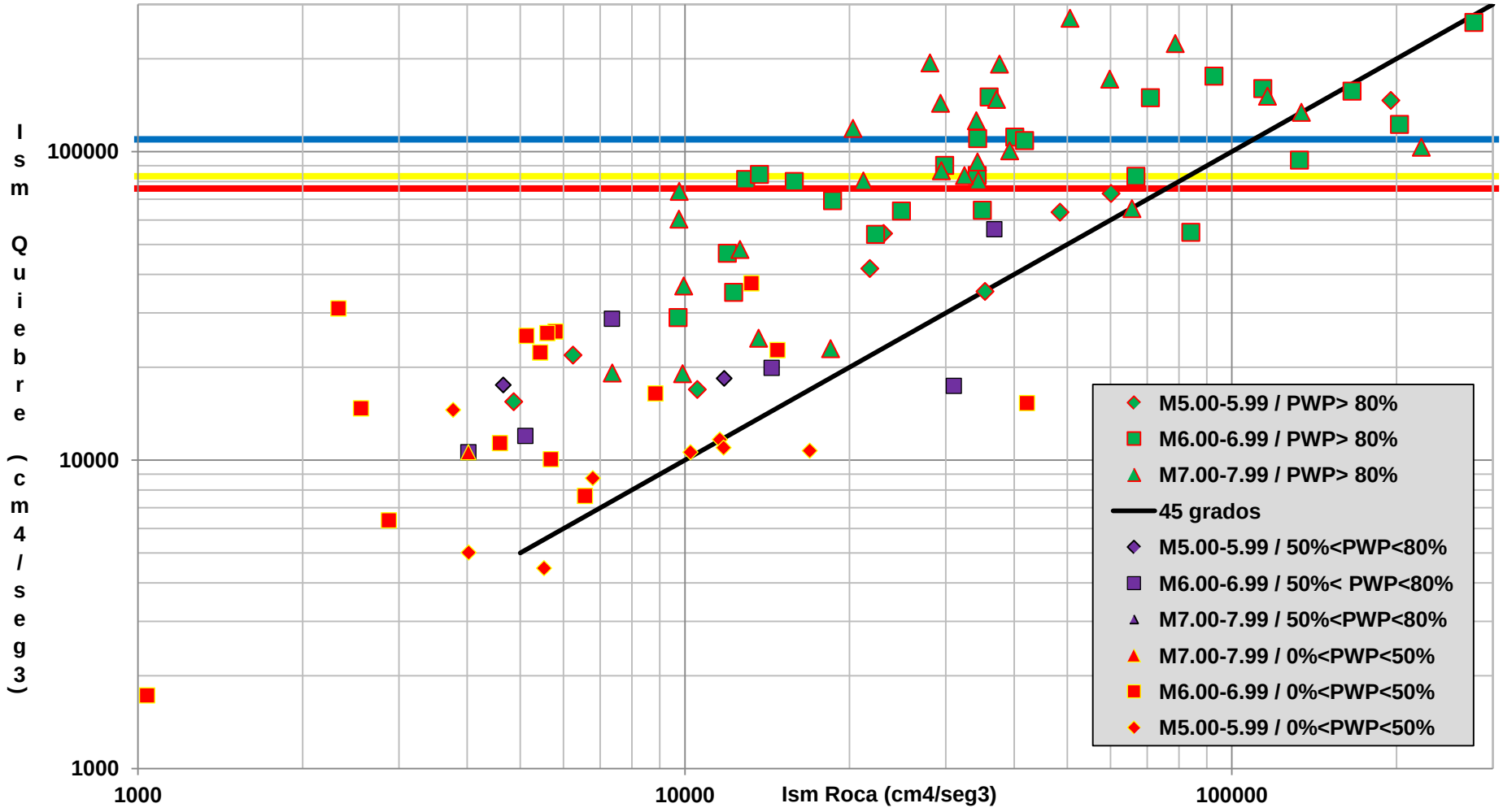
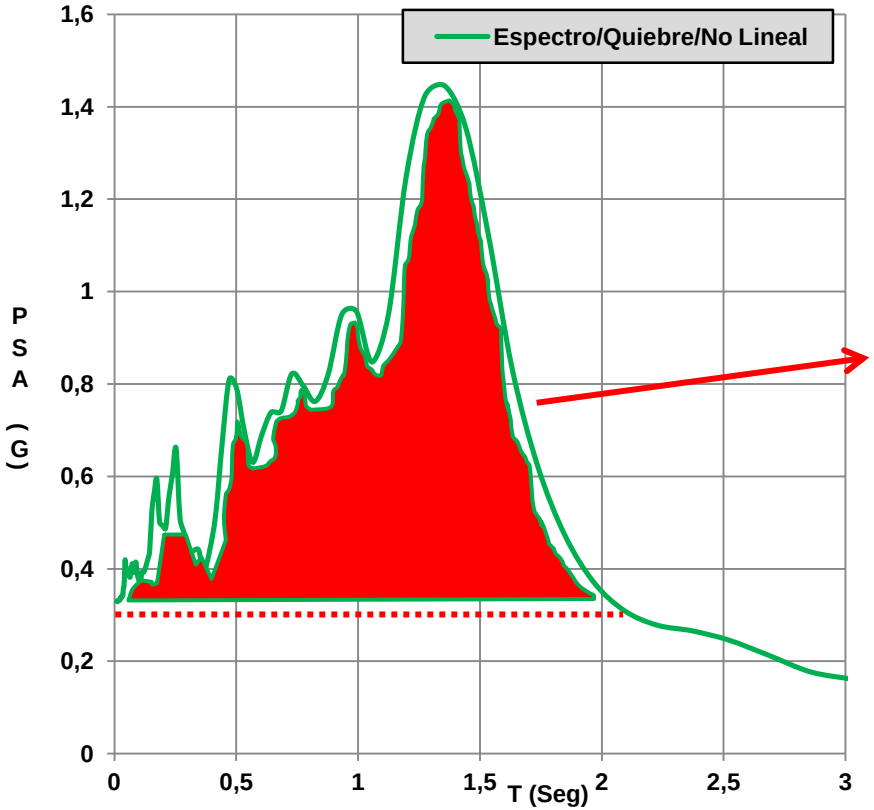


Fig. 71 *- relación de la Intensidad del sector fuerte del Acelerograma en roca vs intensidad del sector fuerte del Acelerograma en Quiebre*

Relación de Pseudo Potencia Espectral con la intensidad del sector fuerte del Acelerograma

Una correlación entre las **ordenadas espectrales y la energía del evento.**

Las ordenadas espectrales como medida para determinar el potencial de licuación de los suelos al conocer la duración del sector fuerte del acelerograma (Tsm)



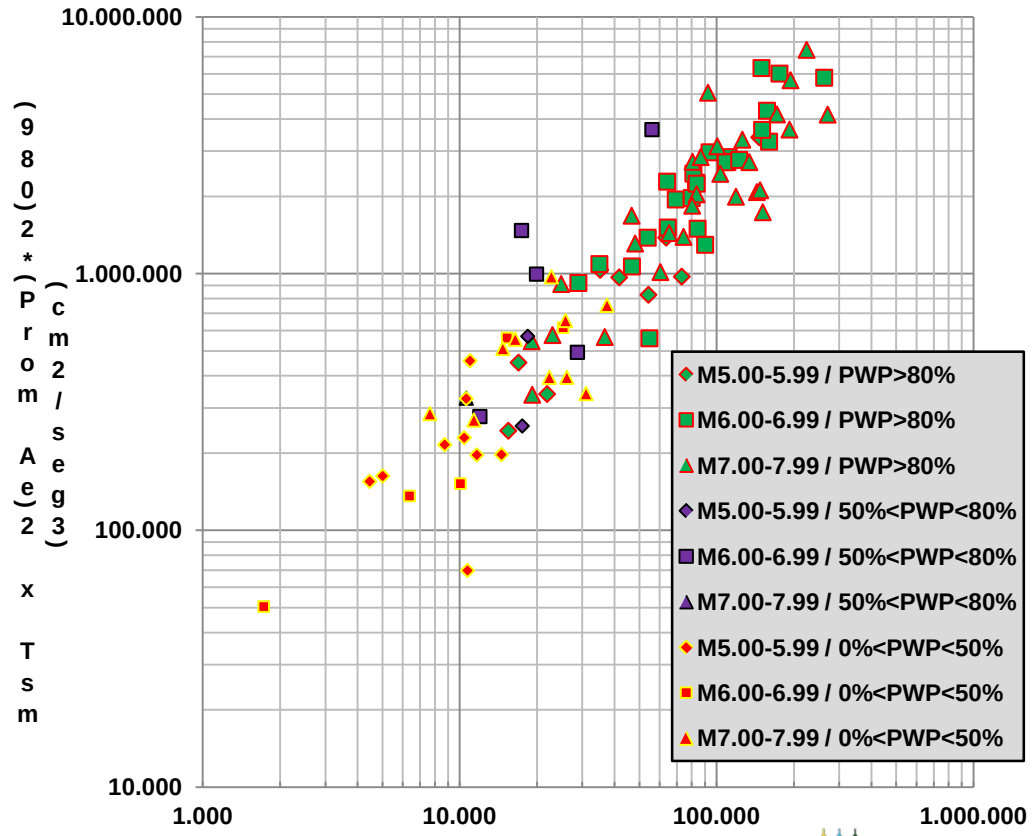


***Fig. 55** - Espectro de respuesta - Registro Magnitud; 7.28. Distancia; 23.62. Landers*

Para la gráfica de **Pseudo Intensidad Espectral** se propone una **nueva frontera**, para asegurar que la misma contemple en mayor medida los registros que superen el **50% de presión de poros**, Esto para un **To= 1,53 s** de un perfil similar al de Treasure Island.

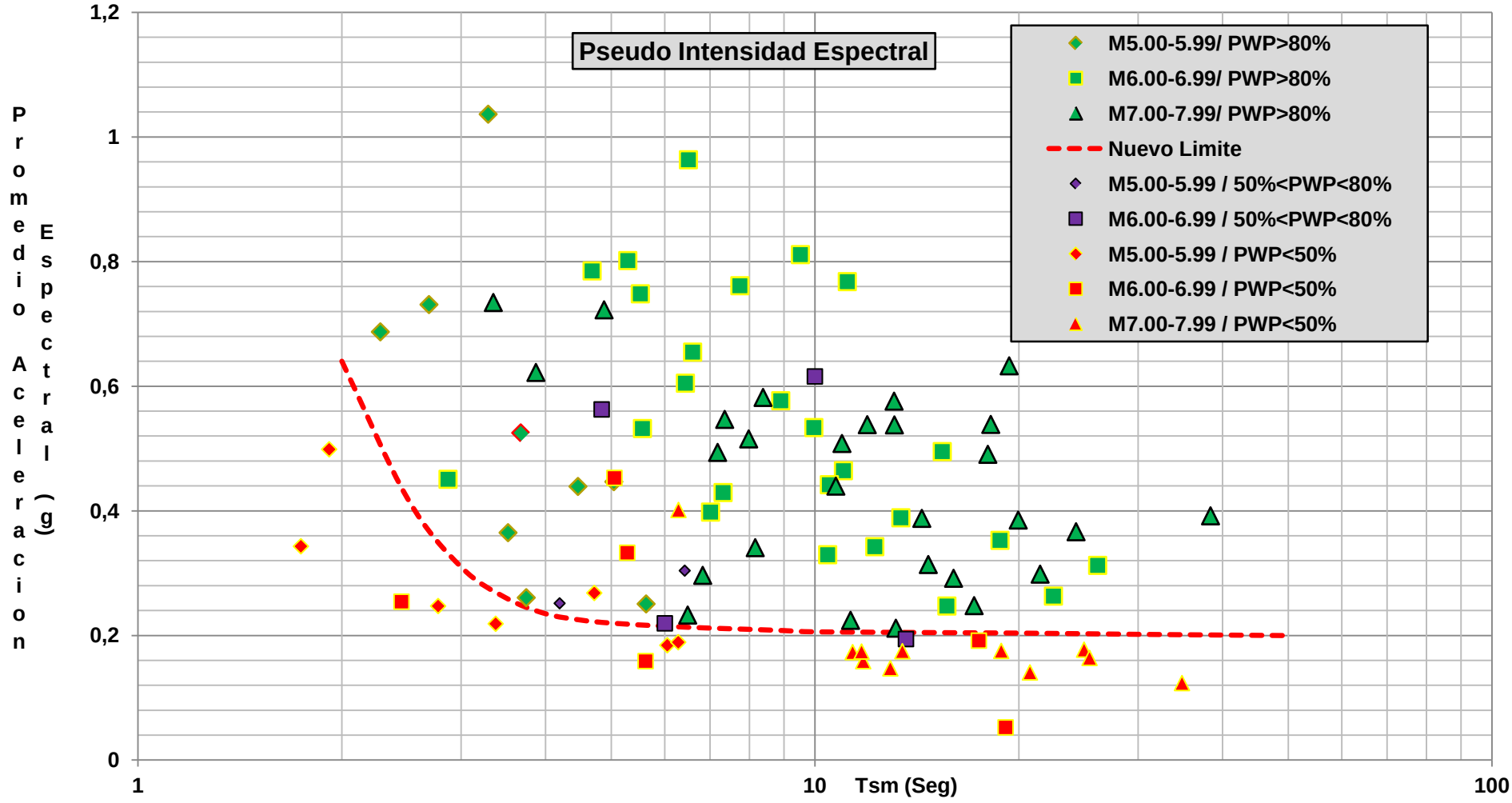
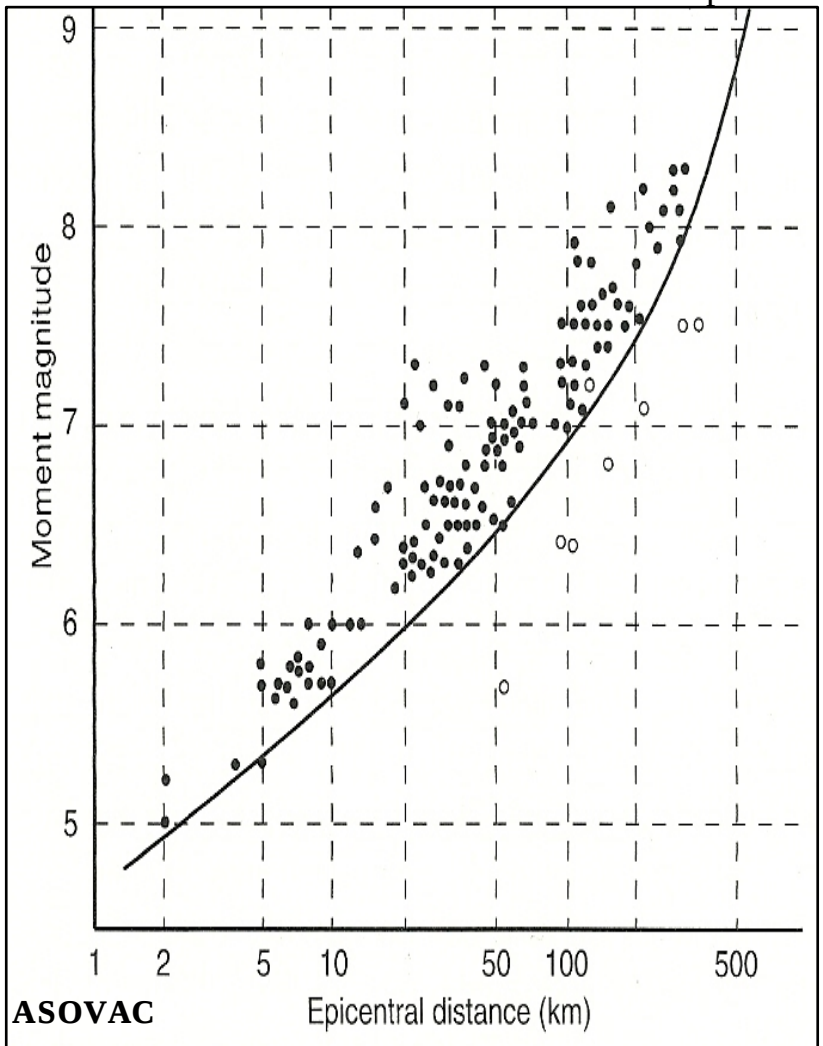


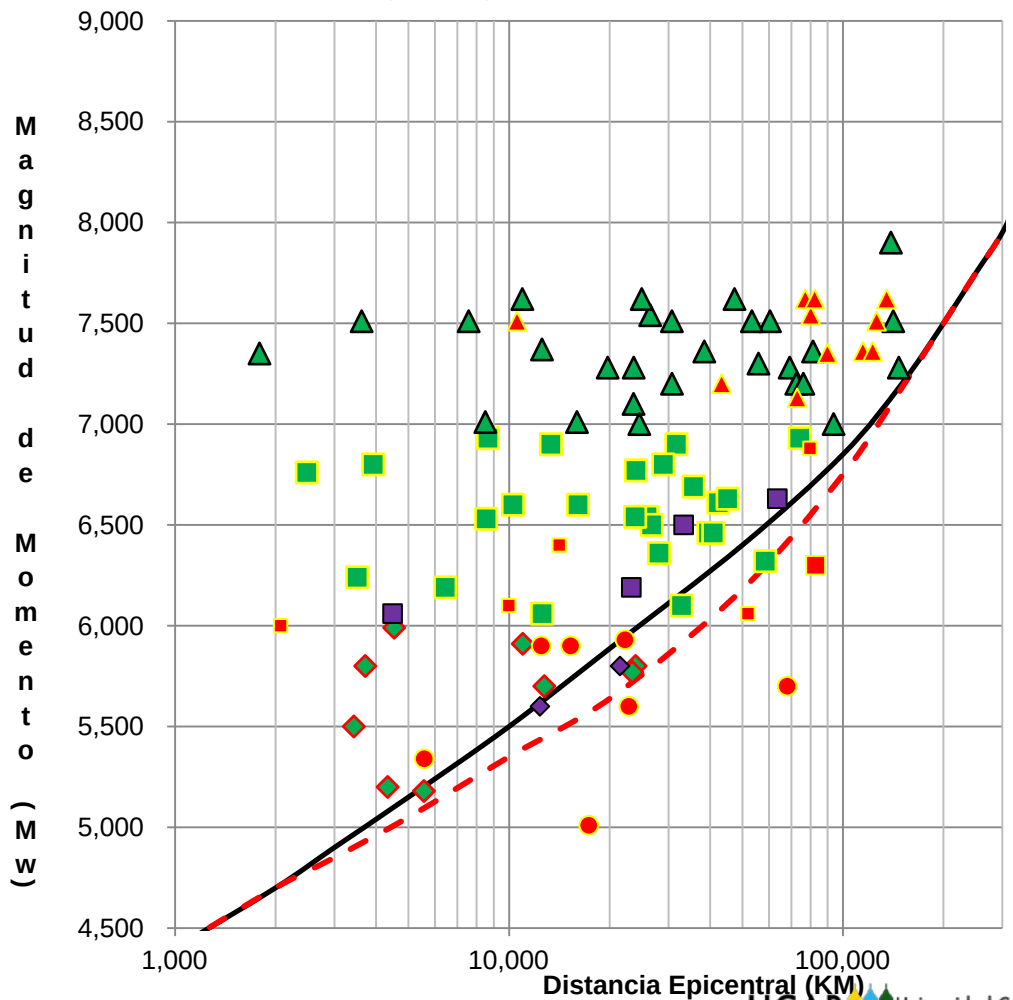
Fig. 68 *- Registros Globales que desarrollan PWP - Pseudo Intensidad Espectral Vs Tsm.*

A distancias cercanas se observa ocurrencia de licuación para las tres magnitudes analizadas. A su vez, registros con poco desarrollo de PWP (<50%) que superan la frontera.

Entre la Mw: 5,20 a 7.00 se observa inconsistencias.

Recuérdese : un perfil similar al de Treasure Island, To=1,53 s

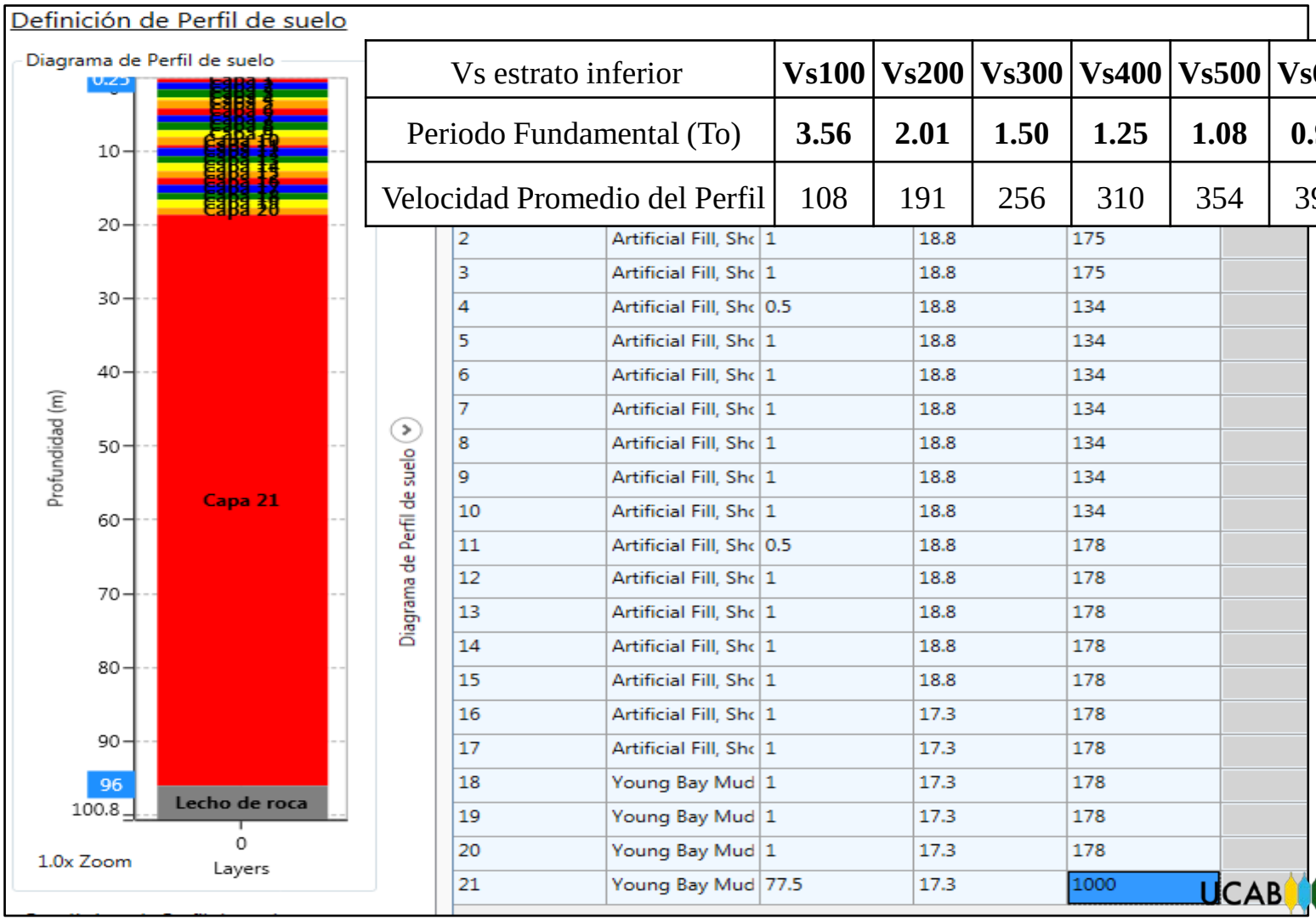




Desarrollo de Presión de Poros al cambiar las velocidades del perfil

Se dejara sin alteración los estratos de arenas de relleno presentes en los primeros **20** metros del perfil. se utilizara para el estrato inferior una velocidad de onda desde **100 (m/s) hasta 600 (m/s).**

Vs estrato inferior	**Vs100**	**Vs200**	**Vs300**	**Vs400**	**Vs500**	**Vs600**	
Periodo Fundamental (To)	**3.56**	**2.01**	**1.50**	**1.25**	**1.08**	**0.98**	Seg
Velocidad Promedio del Perfil	108	191	256	310	354	391	m/s



2	Artificial Fill, Shc	1	18.8	175
3	Artificial Fill, Shc	1	18.8	175
4	Artificial Fill, Shc	0.5	18.8	134
5	Artificial Fill, Shc	1	18.8	134
6	Artificial Fill, Shc	1	18.8	134
7	Artificial Fill, Shc	1	18.8	134
8	Artificial Fill, Shc	1	18.8	134
9	Artificial Fill, Shc	1	18.8	134
10	Artificial Fill, Shc	1	18.8	134
11	Artificial Fill, Shc	0.5	18.8	178
12	Artificial Fill, Shc	1	18.8	178
13	Artificial Fill, Shc	1	18.8	178
14	Artificial Fill, Shc	1	18.8	178
15	Artificial Fill, Shc	1	18.8	178
16	Artificial Fill, Shc	1	17.3	178
17	Artificial Fill, Shc	1	17.3	178
18	Young Bay Mud	1	17.3	178
19	Young Bay Mud	1	17.3	178
20	Young Bay Mud	1	17.3	178
21	Young Bay Mud	77.5	17.3	1000

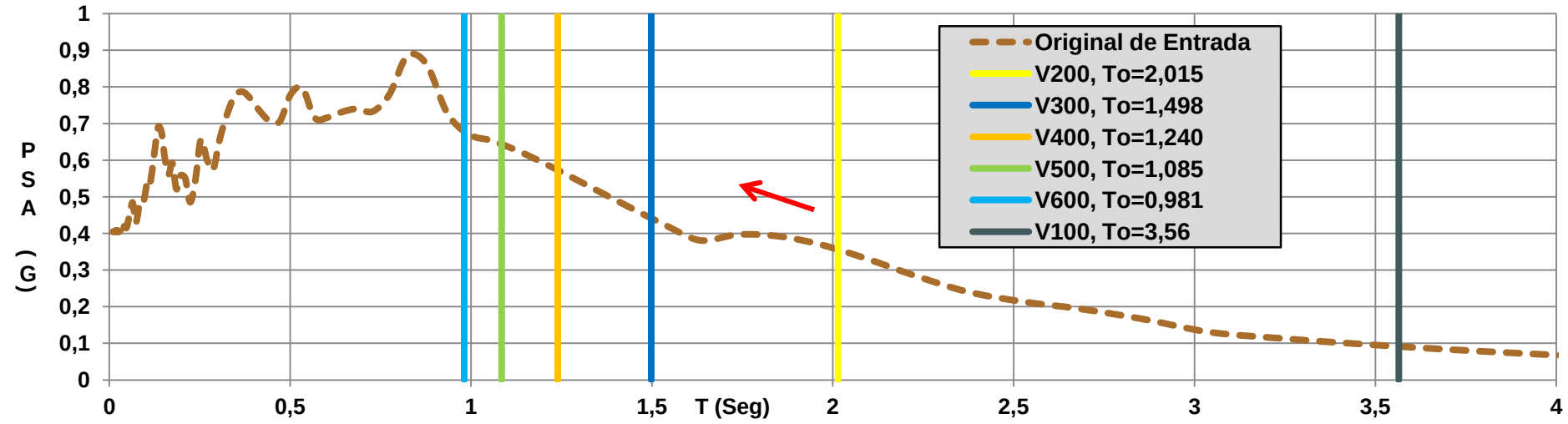
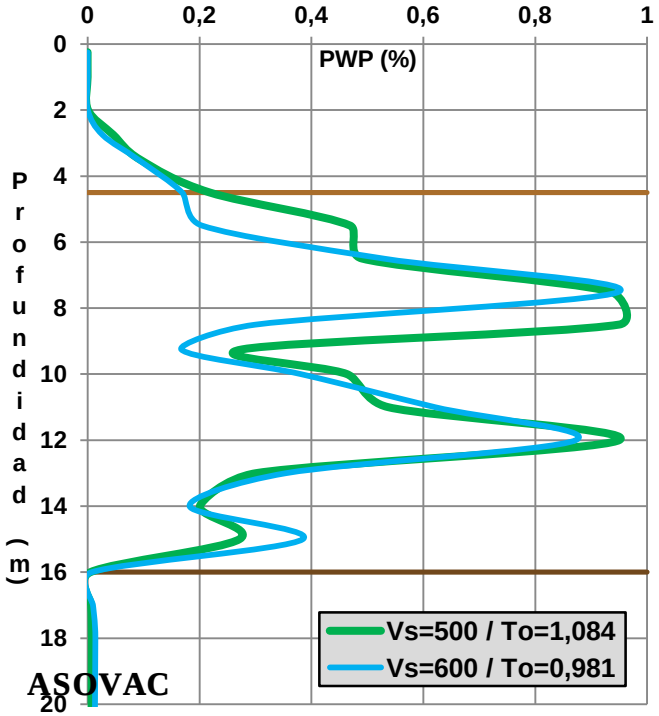


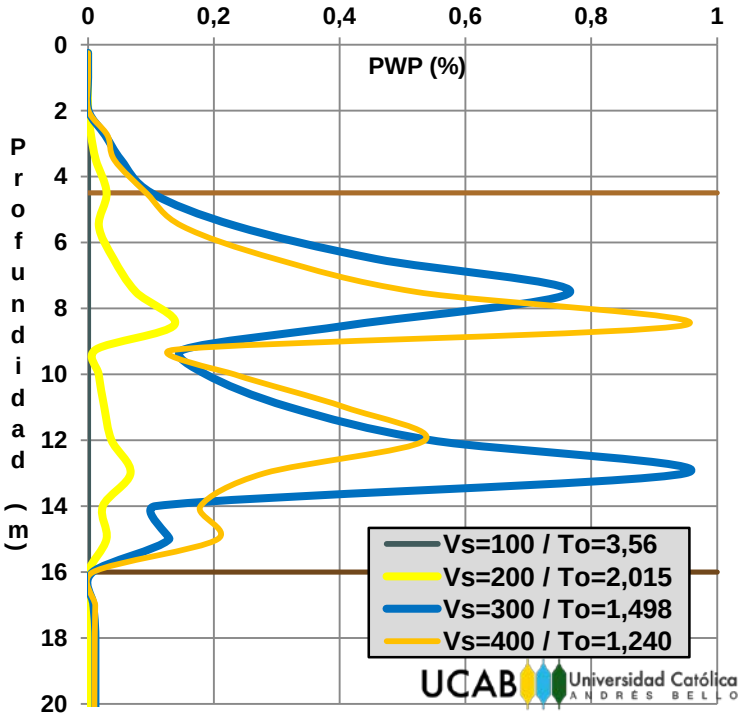
Fig. 72 - Espectro de respuesta con To=1,53 s y períodos para de distintas Velocidades de ondas por debajo de los primeros 20 m del perfil - ***Registro de Magnitud: 5,80 - Distancia Epicentral: 3,71 km ''San Salvador''***



Evento sísmico cercano y de media magnitud..

Amplifica sus ordenadas en los estratos licuables

Coinciden los To con el umbral de altas ordenadas en roca



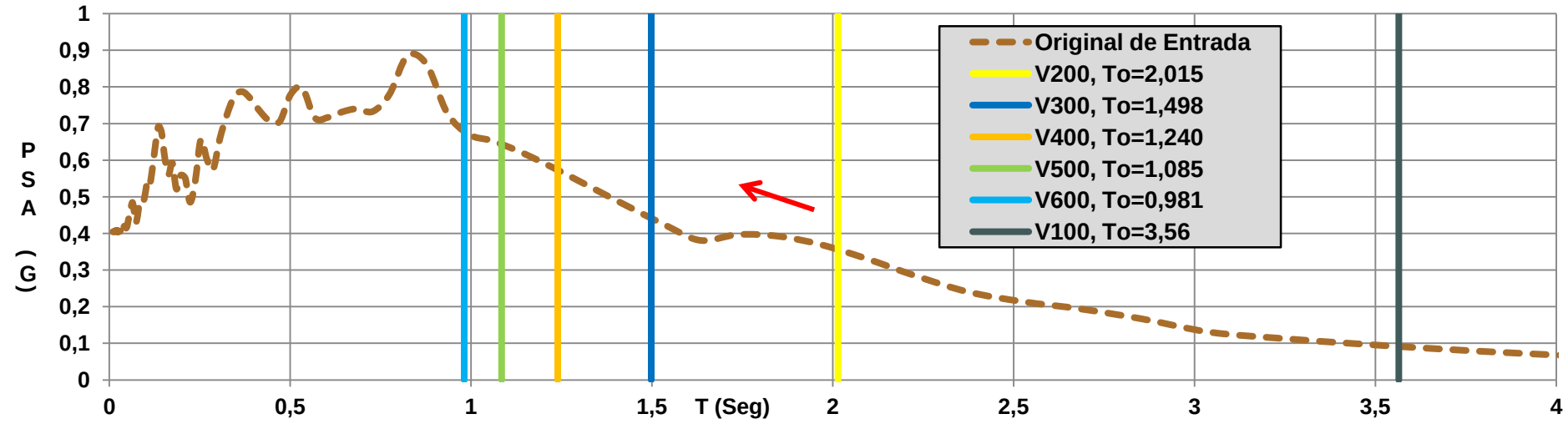
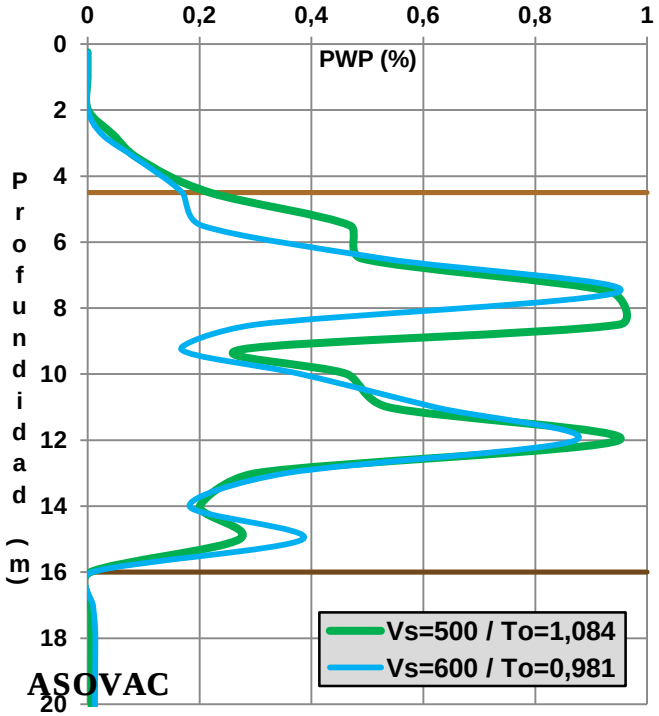


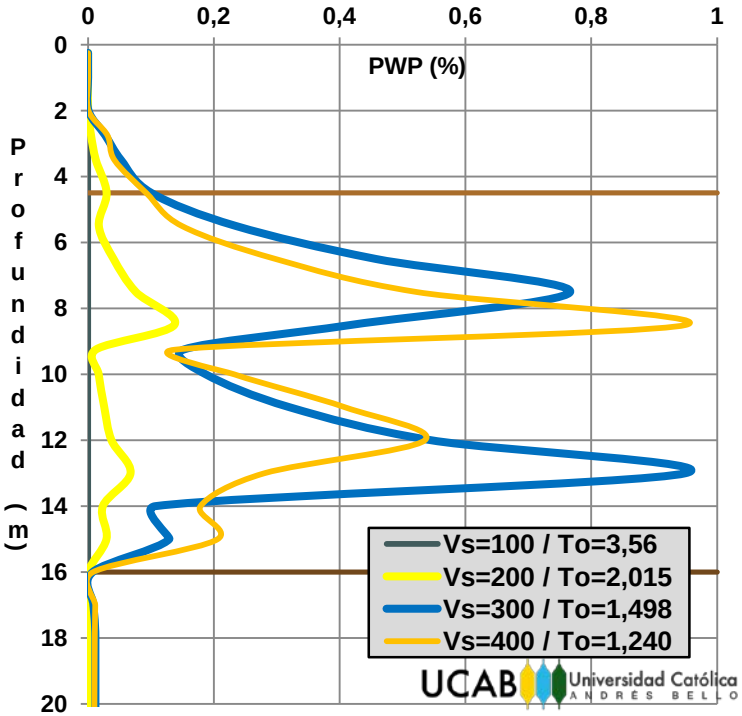
Fig. 72 - Espectro de respuesta con To=1,53 s y períodos para de distintas Velocidades de ondas por debajo de los primeros 20 m del perfil - ***Registro de Magnitud: 5,80 - Distancia Epicentral: 3,71 km ''San Salvador''***



Evento sísmico cercano y de media magnitud..

Amplifica sus ordenadas en los estratos licuables

Coinciden los To con el umbral de altas ordenadas en roca



Análisis comparativo de desarrollo de presión de poros para registros con distintas magnitudes y distancias epicentrales

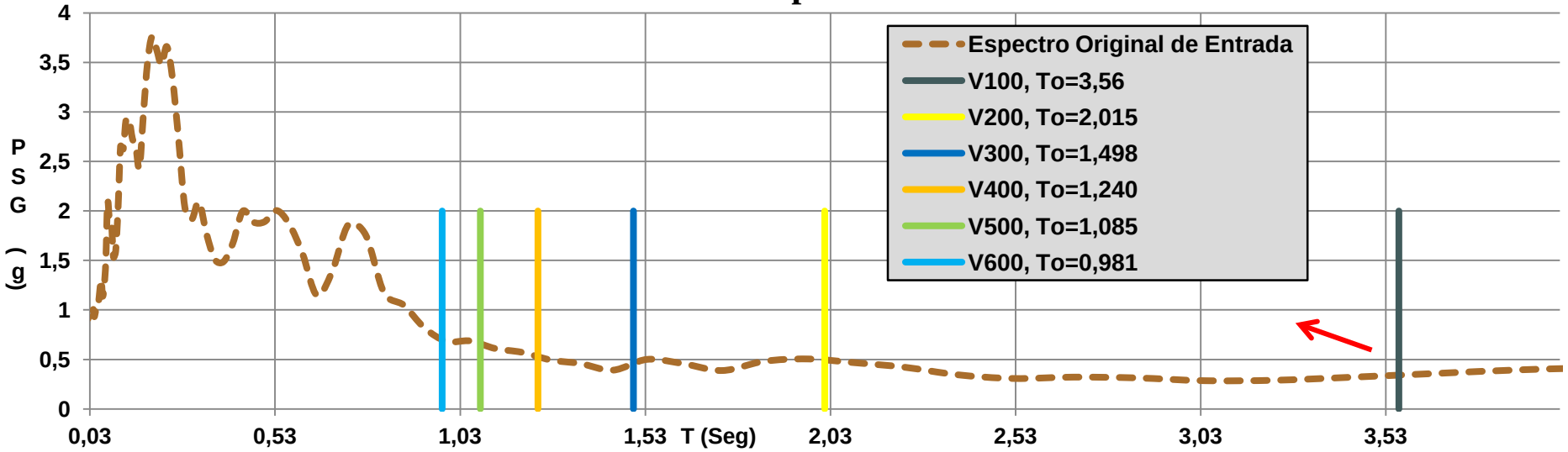
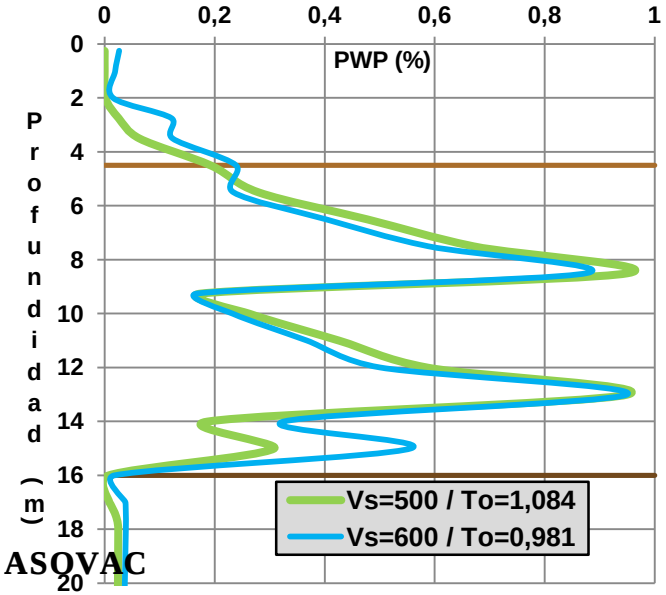


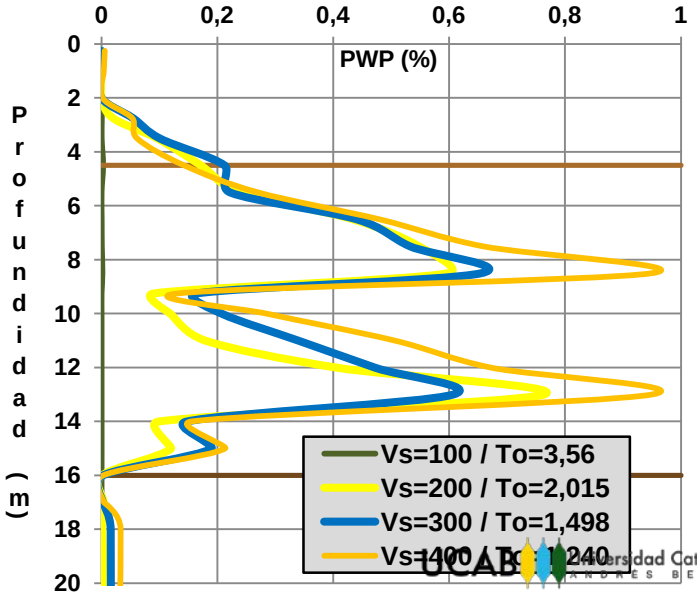
Fig. 75 *- Espectro de respuesta con To=1,53 s y períodos para de distintas Velocidades de ondas por debajo de los primeros 20 m del perfil -* ***Registro de Mw:7,35 - Distancia Epicentral: 1,79 km ''Tabas Iran''***



Altas Ordenadas Espectrales

Evento sísmico cercano y de alta magnitud

Indicios de desarrollo de presión de poros en tres estratos licuables



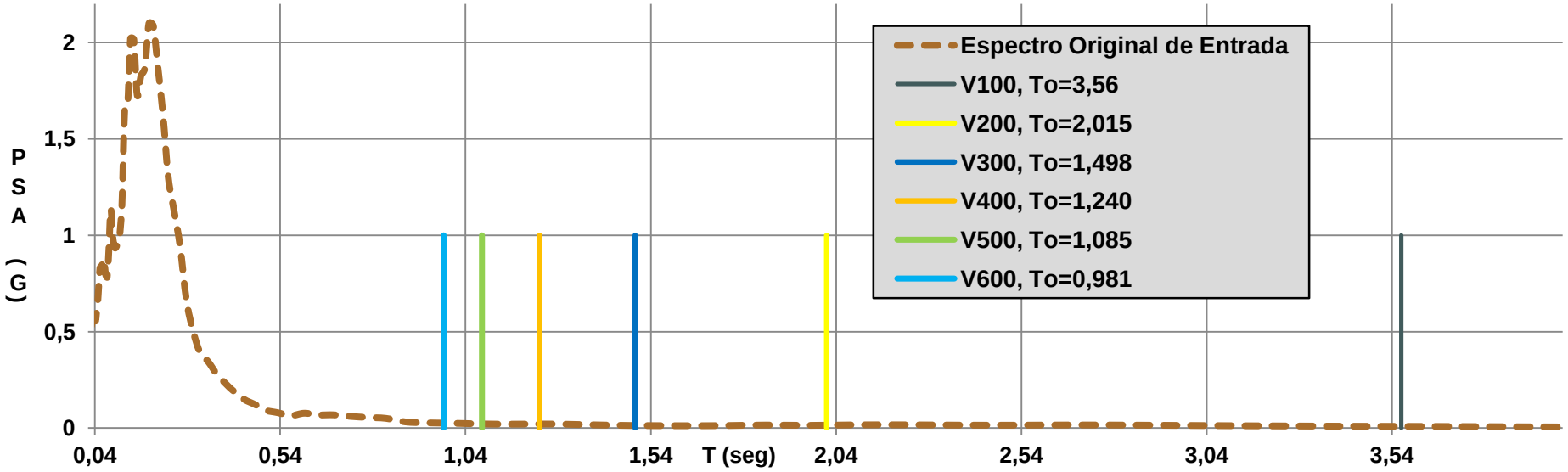
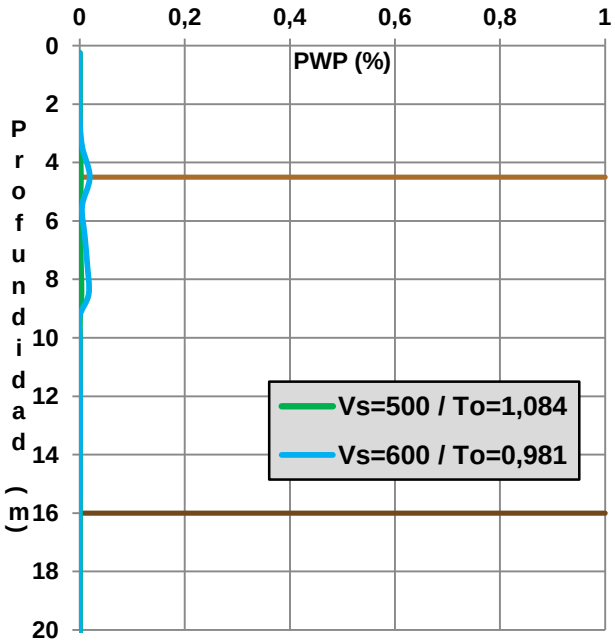


Fig. 81 *- Espectro de respuesta con To=1,53 s y períodos para de distintas Velocidades de ondas por debajo de los primeros 20 m del perfil* ***- Registro de Mw:6,61 - Distancia Epicentral: 42,3 km ''Tottori Japan''***



Altas ordenadas espectrales en los primeros 0,40 s

Se consume toda la energía y no permite amplificar luego de los 0,54 s.

exceso de ablandamiento de los módulos de corte.

No se desarrollar valores visibles de Presión de poros

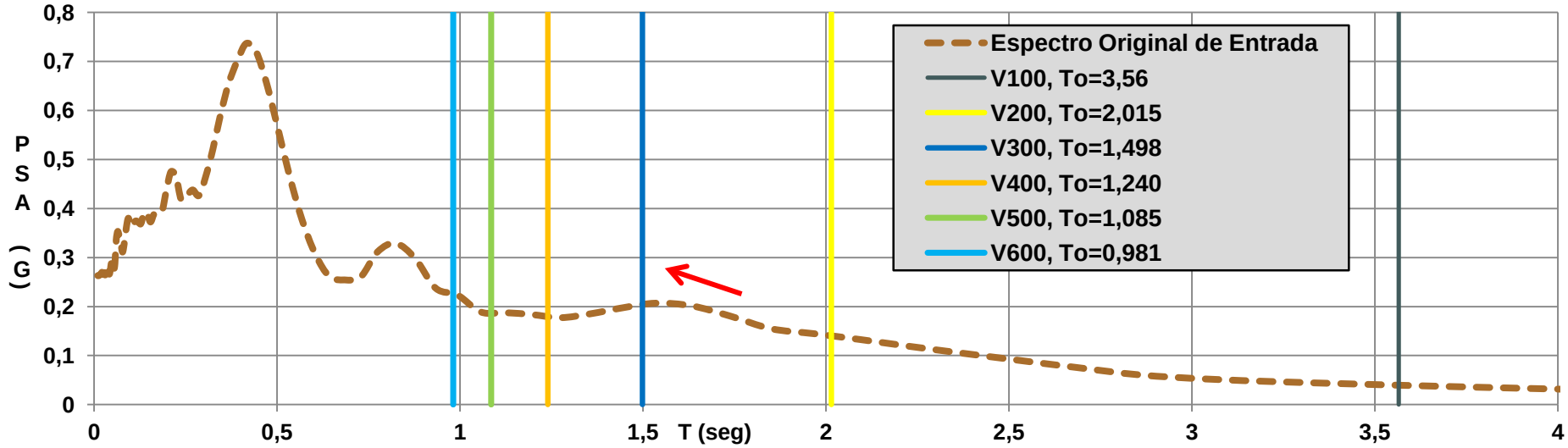
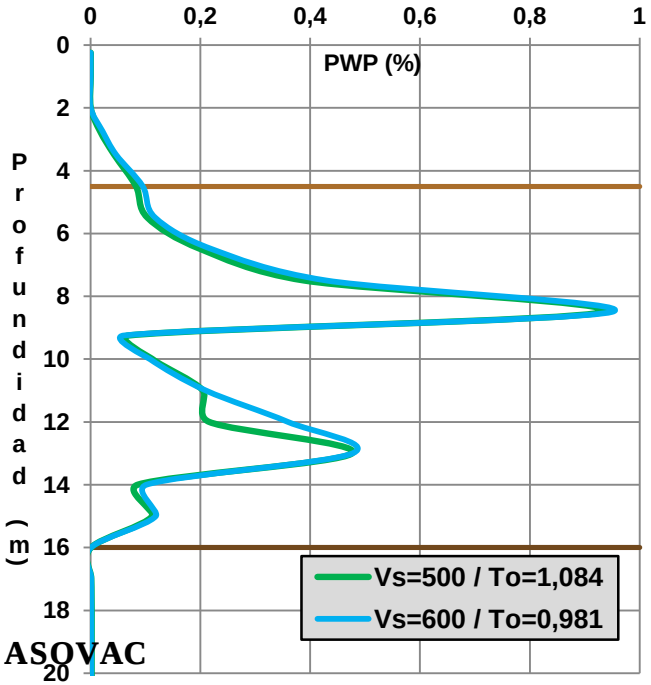


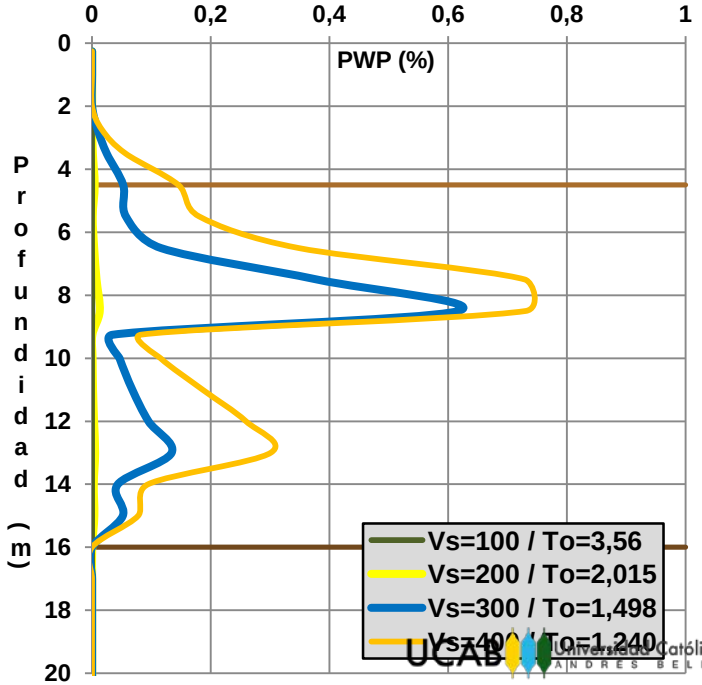
Fig. 83 - Espectro de respuesta con To=1,53 s y períodos para de distintas Velocidades de ondas por debajo de los primeros 20 m del perfil Vs - ***Registro de Mw:5,20 - Distancia Epicentral:4,33 km ''Managua_Nicargaua-02''***



Ordenadas Espectrales

Evento sísmico cercano y de media magnitud

Amplifica sus ordenadas en los estratos licuables



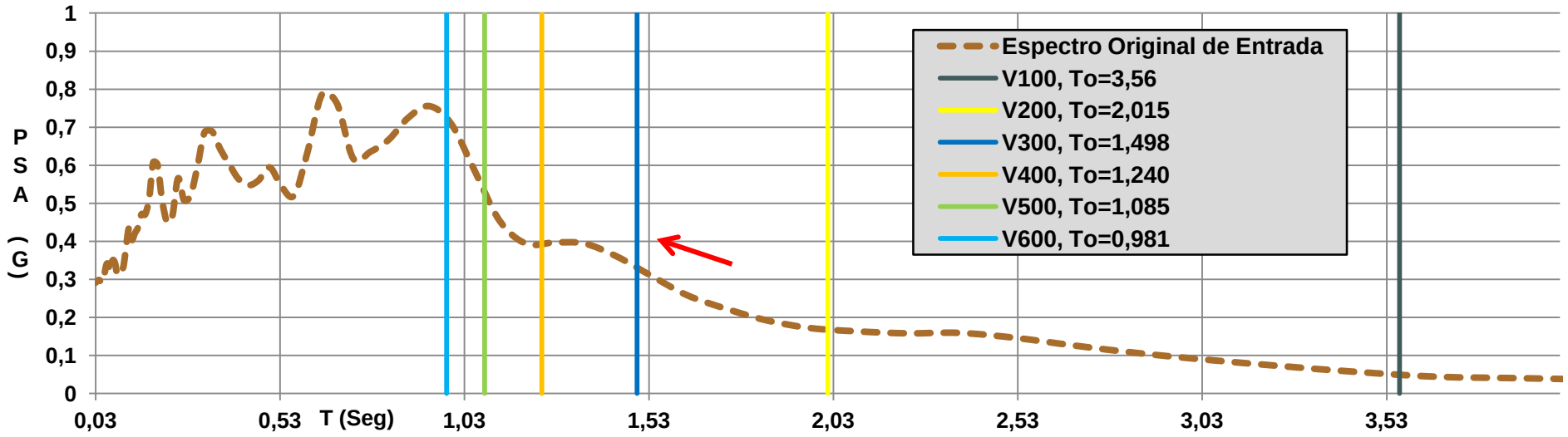
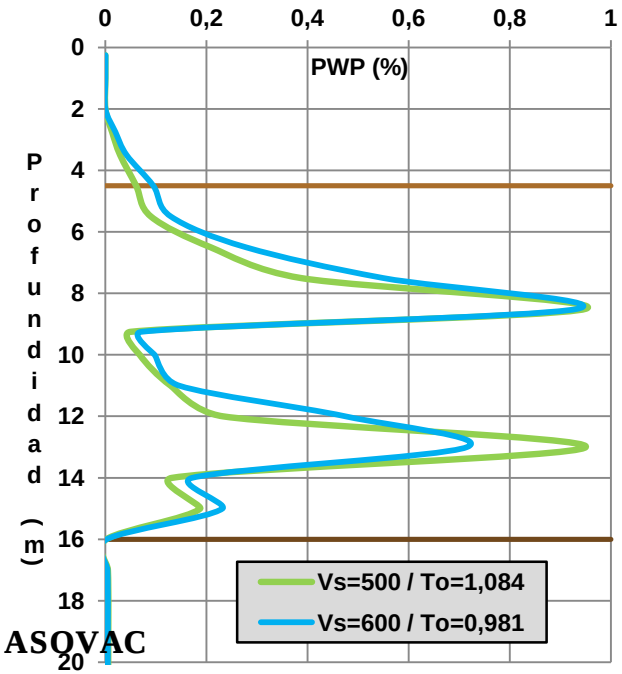
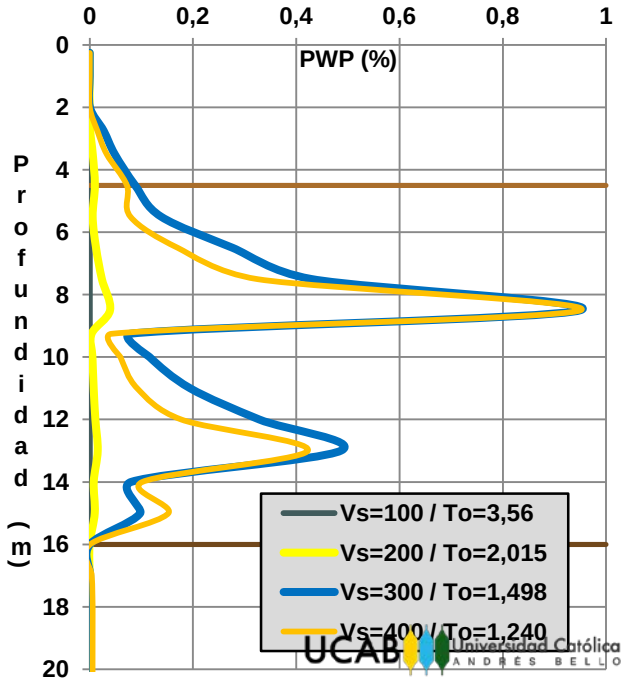


Fig. 78 - Espectro de respuesta con To=1,53 s y períodos para de distintas Velocidades de ondas por debajo de los primeros 18,5 m del perfil - ***Registro de Mw:6,93 - Distancia Epicentral:74,16 km "Loma Prieta"***



El máximo desarrollo de la PWP se inicia cerca del To=1,49 s que es cercano al original de To=1,53 s de Treasure Island.

Evento lejano, que amplifica su respuesta en los estratos licuables



Comparación Utilizando el Método del CSR

Se utilizo como aceleración pico, la máxima aceleración espectral de la respuesta en superficie del **análisis Lineal con roca elástica.**

Se ajusto cada dato para que coincida con su magnitud,

$$CSR = \frac{Tmax}{\sigma'v}, Tmax = 0.65x \frac{a\ pico}{g} x\ \sigma\ total\ x\ Rd$$

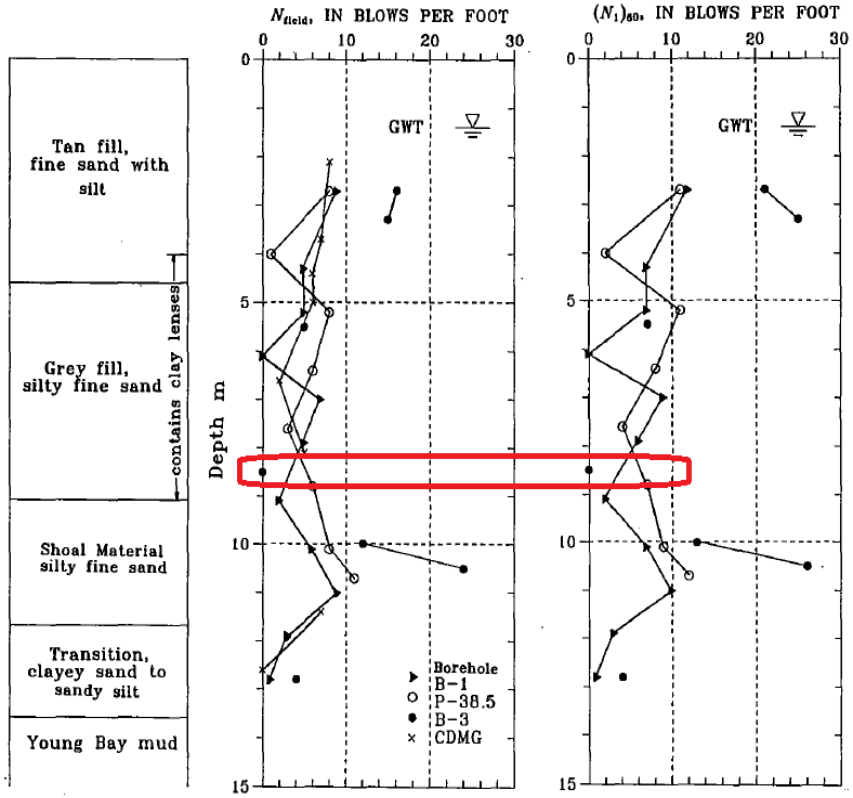


Fig. 48 – Resultados de N1,60 por el ensayo SPT para el perfil de Treasure Island en sus Primeros 15 metros de perfil, (Daniel, C. 1994)

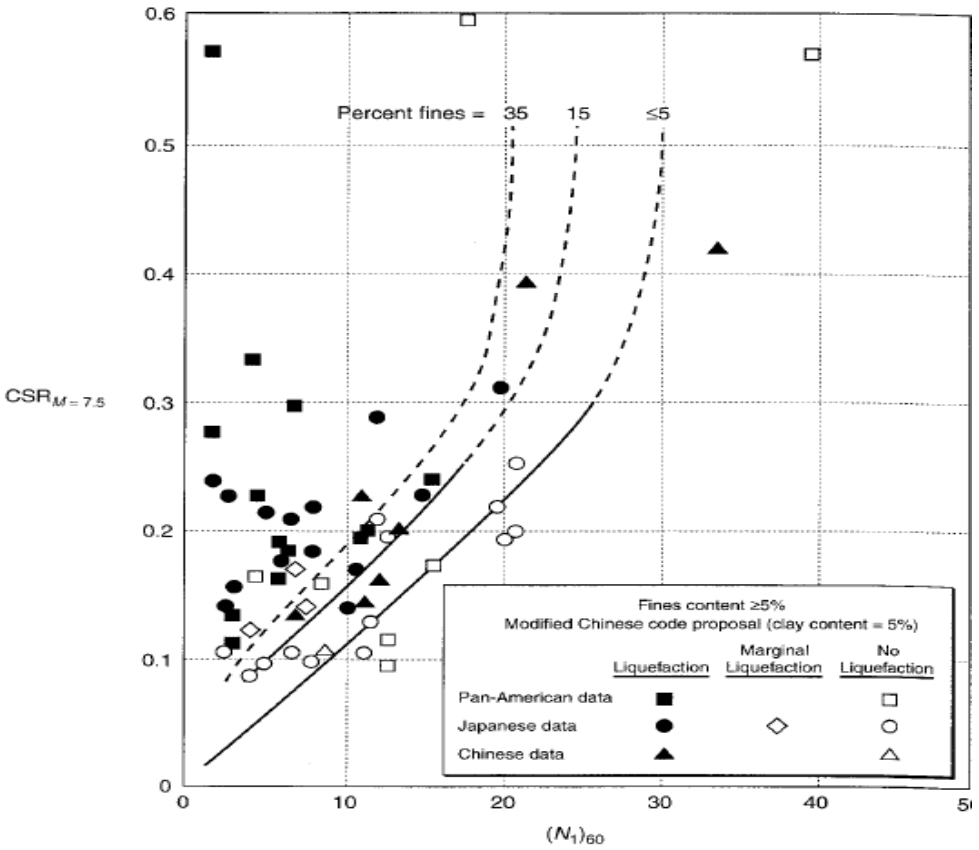


***Fig. 47*- Relación entre el esfuerzo cíclico** con respecto al N1,60 del perfil para estimar licuación. (Kramer, 1996)

Análisis comparativo del método no lineal con el equivalente lineal utilizando el CSR para los mismos registros que la sección anterior

Se observa inconsistencias del Análisis por el método del CSR, pues el mismo no considera si ocurrirá amplificación o reducción en la respuesta espectral de estos perfiles con estrados licuables.

Al considerar las aceleraciones pico de la respuesta en superficie por el modelo equivalente lineal o en roca, se tiene un margen de error considerable.

Tabla 12 *- Resultados de evaluación por el método del CSR para registros de distintas velocidades.*

							Vs100	Vs200	Vs300	Vs400	Vs500	Vs600
Dist epic (Km)	Mw	sismo	año	σ'v	σT	Fc Cr	CSR FcCr	CSR FcCr	CSR FcCr	CSR FcCr	CSR FcCr	CSR FcCr
4.33	5.20	"Managua_ Nicaragua-02"	1972	86.3	159.8	1.24387	0.02354	0.0619	0.0896	0.1034	0.1254	0.1399
			Max Desarrollo de PWP				0%	0,04%	62%	73%	95%	95%
1.79	7.35	"Tabas_ Iran"	1978	86.3	159.8	1.03683	0.04205	0.1324	0.1743	0.2130	0.3122	0.3534
			Max Desarrollo de PWP				0%	95%	95%	95%	95%	95%
74.16	6.93	Loma Prieta	1989	86.3	159.8	1.10694	0.03950	0.0987	0.1552	0.2067	0.2078	0.1929
			Max Desarrollo de PWP				0%	0,05%	95%	95%	95%	95%
3.71	5.80	San Salvador	1986	86.3	159.8	1.34924	0.02535	0.0998	0.1073	0.1149	0.1328	0.1191
			Max Desarrollo de PWP				1%	13%	95%	95%	95%	95%
42.30	6.61	"Tottori_ Japan"	2000	86.3	159.8	1.16669	0.05759	0.1490	0.2065	0.2189	0.2636	0.2541
			Max Desarrollo de PWP				0%	0%	0%	0%	2%	5%

Conclusiones Generales

- La (Ism) muestra ser una variable bastante robusta para evaluar el potencial de licuación, y la misma correlaciona muy bien con la **pseudo potencia espectral** del acelerograma.

- Se corrobora la influencia de la presión de poros en el análisis de respuesta dinámica y se demuestra que **el modelo no lineal aporta más información** sobre el comportamiento del perfil, que el equivalente lineal.

- Cuando los estratos superiores tienen **altos incrementos de presión de poros la Ism en superficie no es representativa** de la energía de la repuesta del perfil. Por eso se tomo la respuesta inmediatamente por debajo de los estratos licuables.

- Para que ocurran incrementos importantes en la presión de poros, debe haber amplificación de la señal sísmica, lo cual se corrobora con los gráficos de Pseudo intensidad Espectral vs Duración

- Se evidencia mucha variabilidad entre las predicciones de licuación con el CSR y la respuesta no lineal acoplada la presión de poros.

- Se observó que el desarrollo de presión de poros en los primeros 20 metros del perfil es dependiente del período fundamental del depósito y los periodos de altas energías del registro en roca.

- El modelo no lineal demuestra ser mas realista que el equivalente lineal para evaluar la respuesta del perfil cuando se tiene conocimiento de las variables que controlan el desarrollo de presión de poros en los estratos. Sin embargo cuando no se tiene certeza de esos valores el método equivalente lineal con roca elástica da valores de ordenadas espectrales similares a los del método no lineal.

Gracias por su Atención