

XX CONGRESO NACIONAL DE INGENIERÍA CIVIL



GENERACIÓN DE ACELEROGRAMAS SINTÉTICOS

Ramiro Piedra Rubio

GEORYS INGENIEROS SAC

rpiedra@georys.com

www.georys.com

Tel: 01-4964056 / Cel: 995377992 / 990274935

Eje temático Geotecnia

Introducción

Introducción

Objetivos

Metodología

Cálculos y/o experimentación

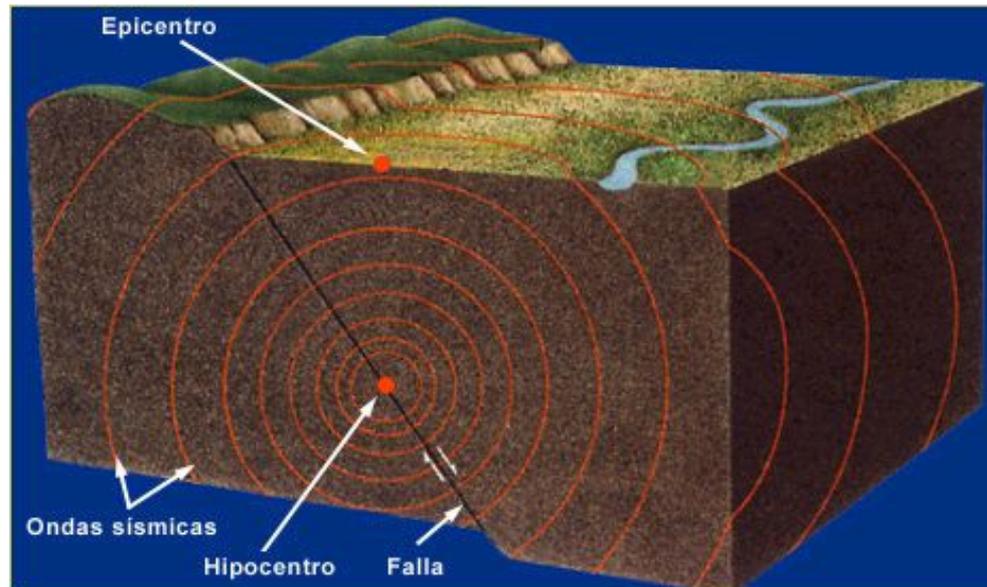
Análisis y resultados

Conclusiones y recomendaciones



SISMO

Un sismo consiste en la liberación de energía, que da como resultado el movimiento de una sección de la corteza terrestre. Este desplazamiento súbito de masas en la litosfera, se produce cuando las tensiones de estos bloques sobrepasan la resistencia del material que los conforma y por lo tanto, se produce un rompimiento repentino cuando las tensiones se han acumulado (Sarria, 1995).



Introducción

Introducción

Objetivos

Metodología

Cálculos y/o experimentación

Análisis y resultados

Conclusiones y recomendaciones



ACELERÓGRAFO

Es un instrumento que nos proporciona un gráfico (el acelerograma), que muestra la variación de las aceleraciones en lugar determinado, y a lo largo de un tiempo

Está muy ligado al campo de la ingeniería civil debido a que este instrumento se utiliza para detectar los movimientos sísmicos de una zona y determina las fuerzas que se someterían a una estructura ante un terremoto muy destructivo.



Acelerógrafo marca Kinemetrics,
modelo Obsidian



Acelerógrafo marca Kinemetrics,
modelo Etna

Introducción

Introducción

Objetivos

Metodología

Cálculos y/o experimentación

Análisis y resultados

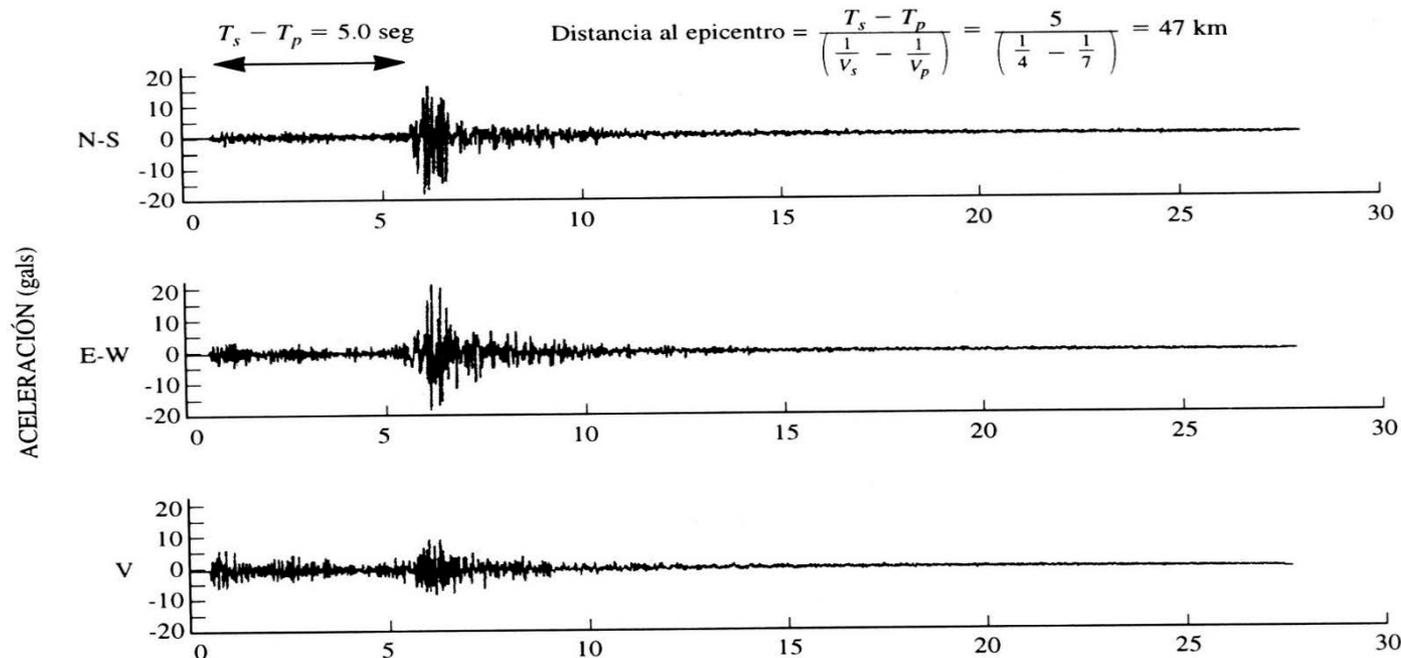
Conclusiones y recomendaciones



ACELEROGRAMA

Aceleración es el aumento de la velocidad del movimiento del suelo en función del tiempo.

El acelerograma es un registro de la variación de la magnitud de la aceleración del terreno en un sitio dado en función del tiempo. La aceleración se registra generalmente en tres direcciones: dos componentes horizontales, ortogonales entre sí, y una vertical.



Objetivo

Introducción

Objetivos

Metodología

Cálculos y/o experimentación

Análisis y resultados

Conclusiones y recomendaciones



GENERACIÓN DE ACELEROGRAMAS SINTÉTICOS

El parámetro de mayor interés para la ingeniería civil es la aceleración del movimiento del suelo, aunque también son importantes la velocidad y el desplazamiento. Estos registros se denominan de campo cercano, ya que el estudio se realiza en la región epicentral, en la que los movimientos en superficie al paso de las ondas sísmicas son más intensos (movimientos fuertes del suelo), produciéndose desplazamientos, velocidades y aceleraciones elevadas, dependiendo fundamentalmente de la magnitud del sismo y de su distancia al epicentro.

Se necesita contar con acelerogramas sintéticos para realizar un análisis dinámico de la estructura y la entrada de datos sísmicos necesitará ser definida en series de tiempo de aceleración, estos registros generalmente deberán ser compatibles con el espectro de respuesta elástico que representa las acciones sísmicas de diseño en el lugar de estudio.



ESPECTRO DE PELIGRO UNIFORME

Se denominan Espectros de Peligro Uniforme a aquellos espectros cuyos valores espectrales tienen la misma probabilidad de excedencia en todos los periodos estructurales durante un determinado periodo de exposición.

Este espectro provee parámetros de respuesta que pueden ser usados directamente en la estimación de las demandas sísmicas para el diseño de estructuras y son preferibles al espectro derivado de fijar una forma espectral al valor estimado de la aceleración máxima del suelo.

Metodología

Introducción

Objetivos

Metodología

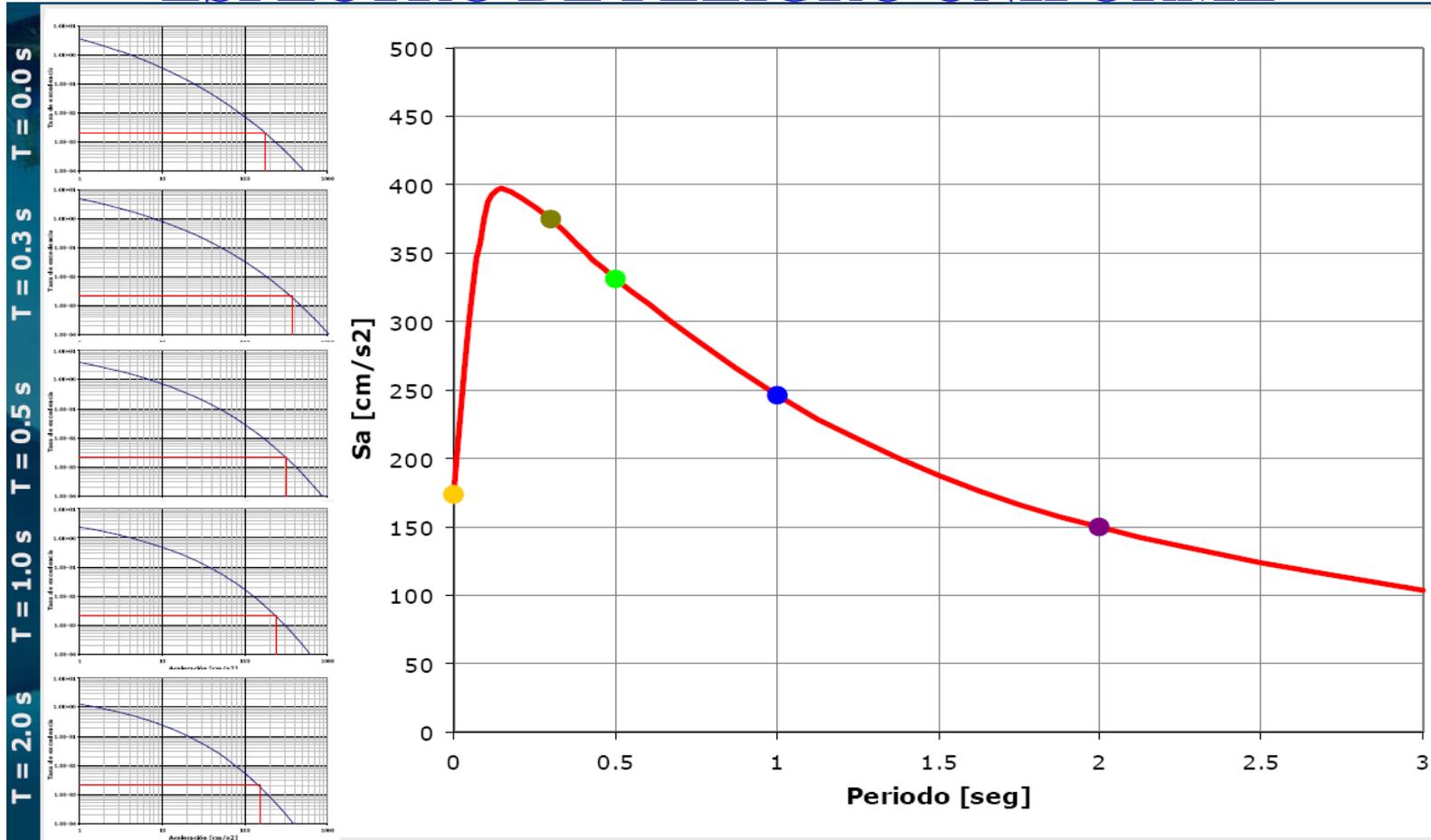
Cálculos y/o experimentación

Análisis y resultados

Conclusiones y recomendaciones

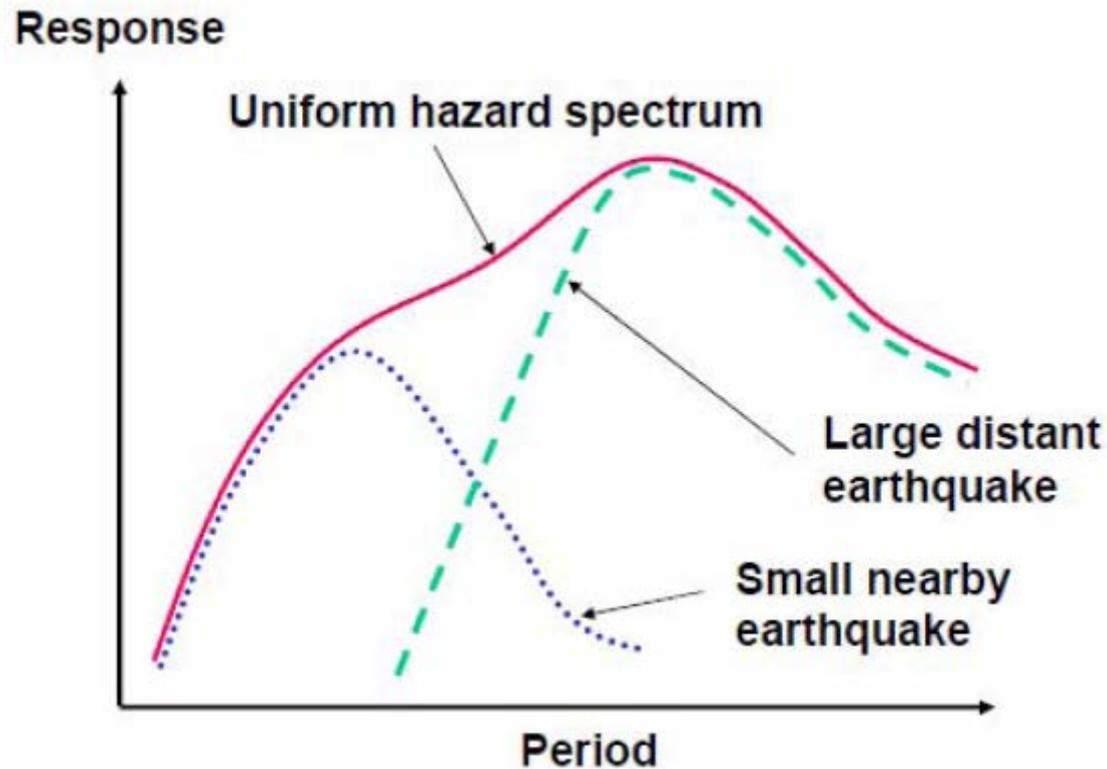


ESPECTRO DE PELIGRO UNIFORME





ESPECTRO DE PELIGRO UNIFORME



Cálculos

Introducción

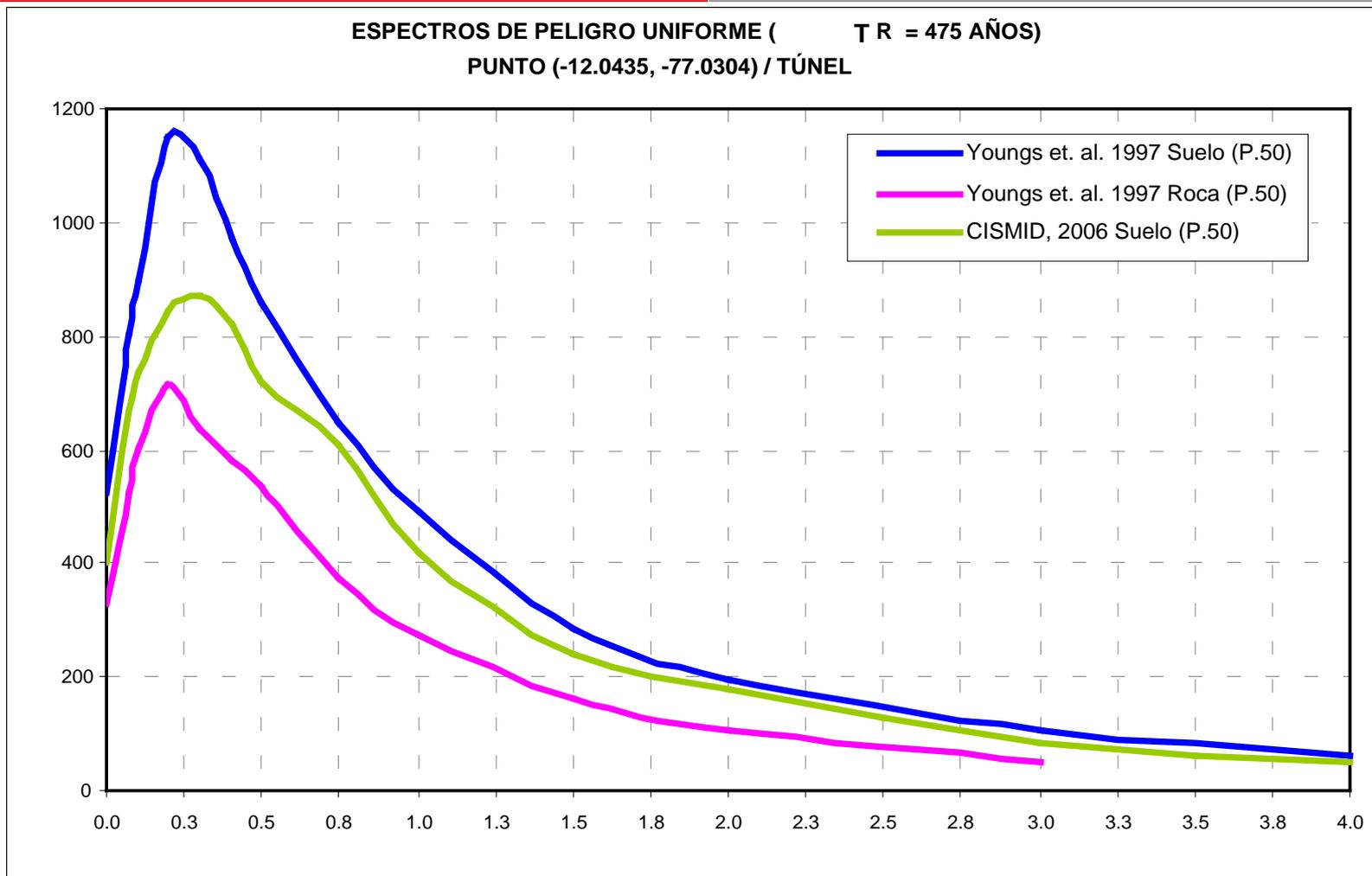
Objetivos

Metodología

Cálculos y/o experimentación

Análisis y resultados

Conclusiones y recomendaciones

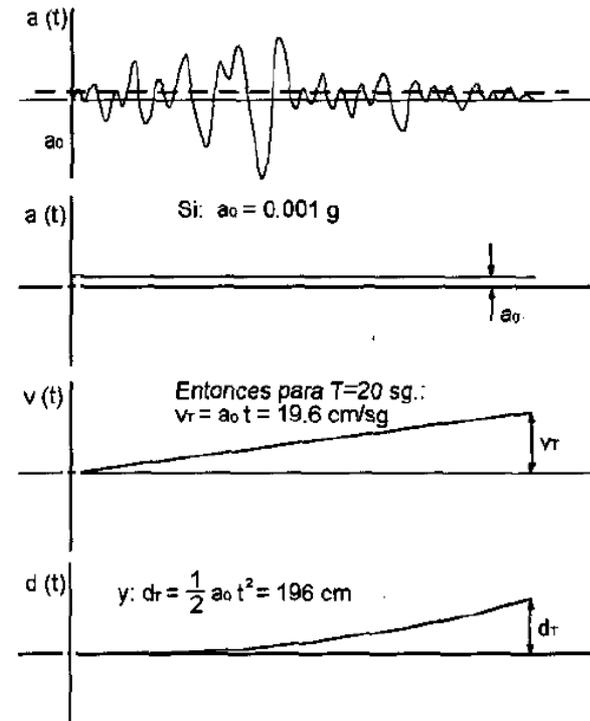




CORRECCIONES A LOS ACELEROGRAMAS

Suele ocurrir que los valores de los acelerogramas se encuentran desplazados respecto a la línea cero de la aceleración, esto se puede ocurrir debido a que el acelerógrafo no está debidamente nivelado ó que se ha producido una deriva de datos respecto a la línea base.

Figura 1. Error de ceros o línea base del acelerograma (Hudson 1979)



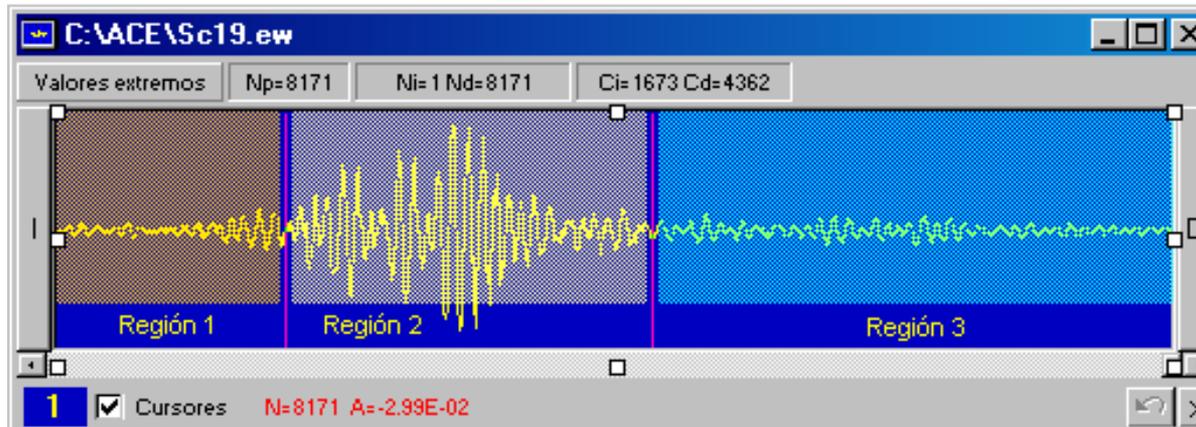


Corrección Normal de Línea base

En este caso, la corrección consiste en restar una constante a todo el registro sísmico. Esta constante es el promedio de los valores del registro comprendidas entre los cursores. La corrección, sin embargo, se aplica a todo el registro sísmico.

Corrección de tres líneas

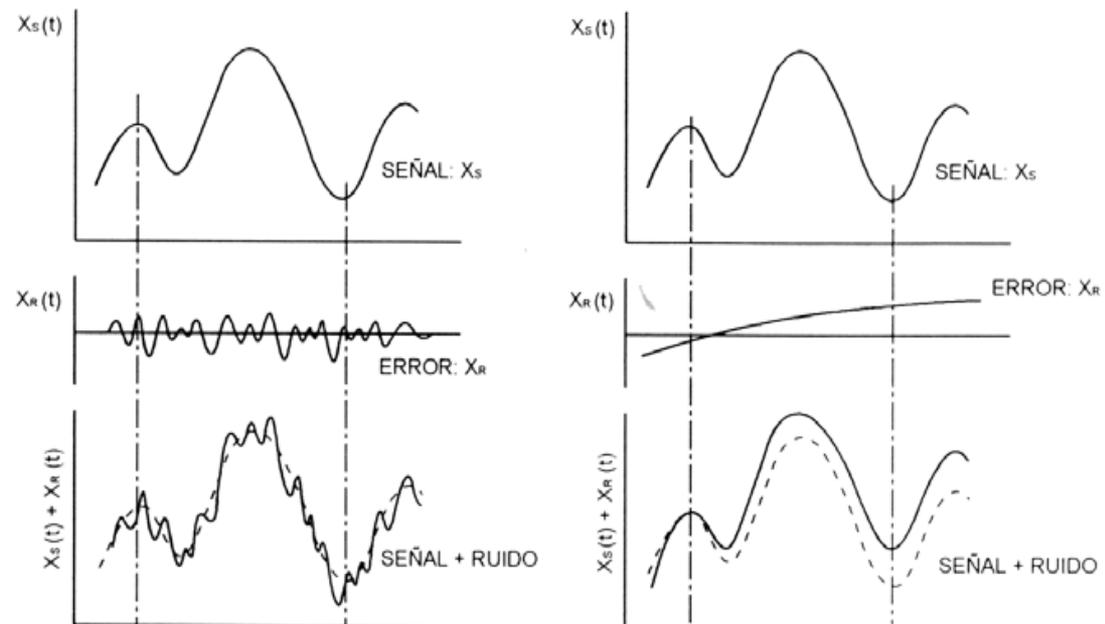
En este caso, la parte visible del registro se divide en tres regiones, a cada una de las cuales se aplica una corrección diferente. La primera región está comprendida entre el inicio de la parte visible y el cursor izquierdo; la segunda región está delimitada por los cursores; y la tercera región empieza en el cursor derecho y termina al final de la parte visible del registro. En la figura siguiente se observan las tres regiones



CORRECCIÓN DE FILTRADO DE SEÑALES

Una vez que el acelerograma ha sido corregido por línea base, habrá que tener en cuenta la repercusión que el ruido tiene sobre la señal. Este ruido puede estar causado tanto por fenómenos naturales como por el tratamiento de los datos. Así podremos considerar que el acelerograma es la suma de la señal sísmica más el ruido.

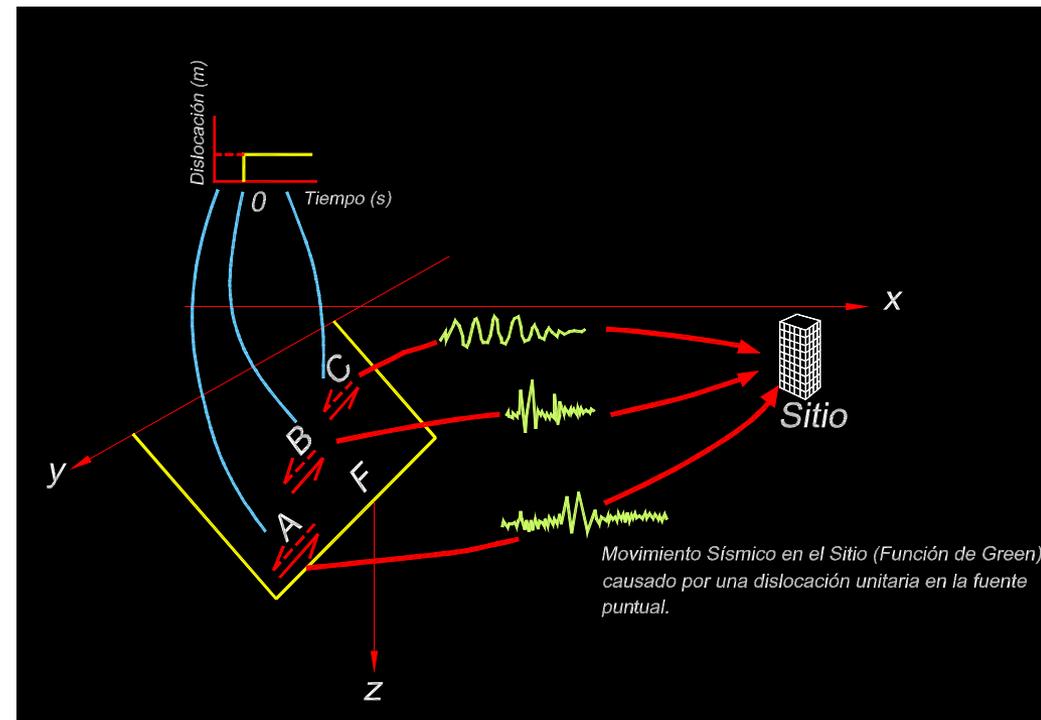
Figura 2. Izquierda: Efecto del ruido de alta frecuencia; derecha: Efecto del ruido de baja frecuencia (Hudson 1979)



GENERACIÓN DE ACELEROGRAMAS SINTÉTICOS

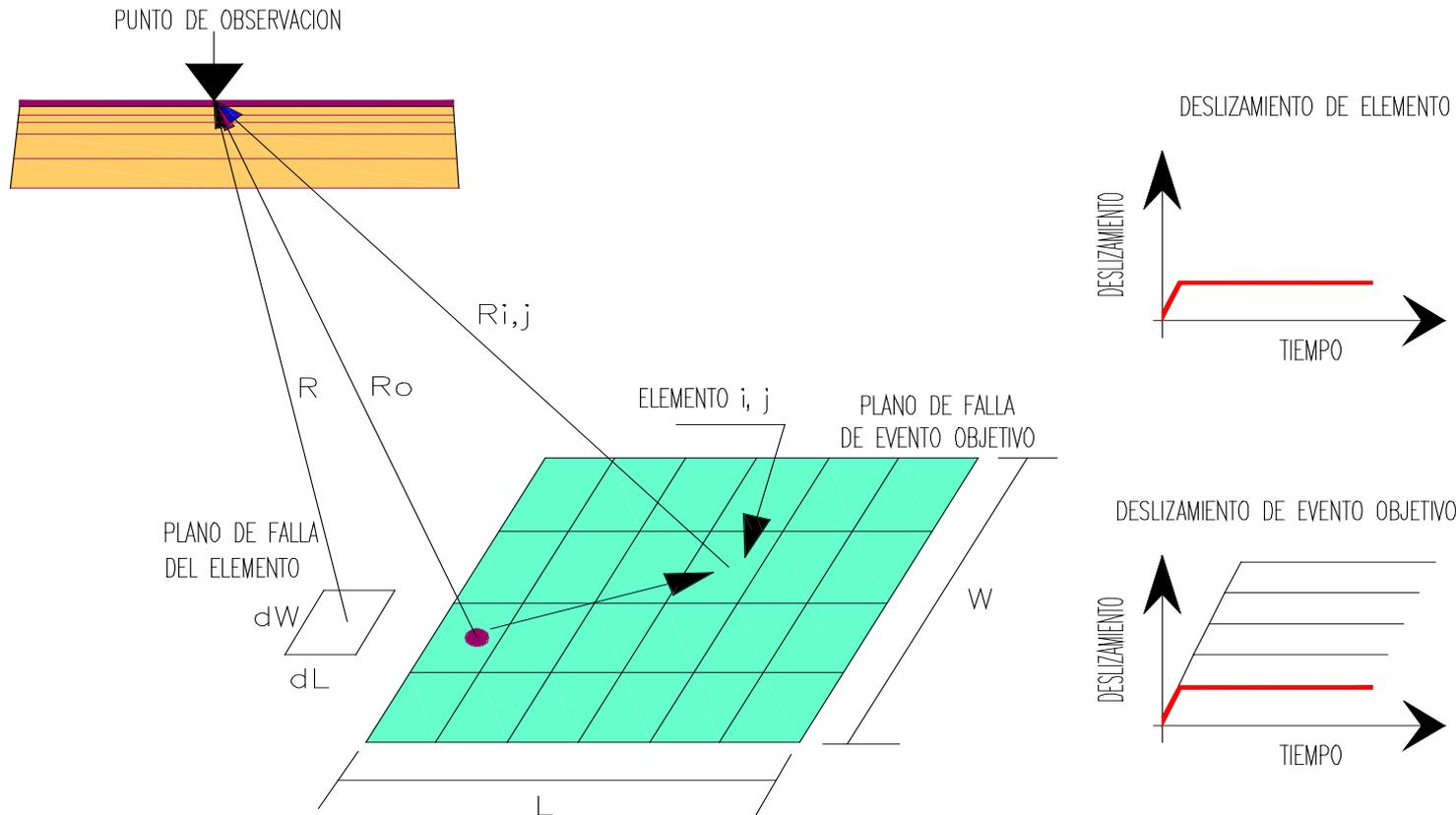
Existen diversos procedimientos para la generación de acelerogramas sintéticos, como el teorema de Green. El movimiento sísmico generado por un gran evento se asume como la superposición de una serie de pequeños eventos representados por las funciones de Green.

Figura 3. Izquierda: Efecto del ruido de alta frecuencia; derecha: Efecto del ruido de baja frecuencia (Hudson 1979)





MÉTODO DE LA FUNCIÓN DE GREEN EMPÍRICA PARA SIMULACIÓN DE ACELEROGRAMAS (Irikura, 1983)





MÉTODO DE AJUSTE ESPECTRAL EN EL DOMINIO DEL TIEMPO

Uno de los métodos para la generación de acelerogramas es realizar el ajuste espectral (spectral matching) del registro tiempo-historia en el dominio del tiempo añadiendo wavelets (ondículas) a las series de aceleración. Este método posee las mismas ventajas que el ajuste en el dominio de las frecuencias pero introduce menos energía al registro sísmico y preserva las características no estacionarias del registro tiempo-historia original.

Seguidamente se hace una descripción de un procedimiento de ajuste espectral comúnmente utilizado, el cual se basa en la modificación del espectro de respuestas del registro seleccionado mediante la adición de fragmentos de ondas (ondículas o wavelets).

Wavelet utilizada por
Lilhanand y Tseng

$$a_j(t) = \frac{-\omega_j}{\sqrt{1 - \beta_j^2}} \exp(-\omega_j \beta_j (t_j - t)) \left[(2\beta_j^2 - 1) \sin(\omega'_j (t_j - t)) - 2\beta_j \sqrt{1 - \beta_j^2} \cos(\omega'_j (t_j - t)) \right],$$



MÉTODO DE AJUSTE ESPECTRAL EN EL DOMINIO DEL TIEMPO

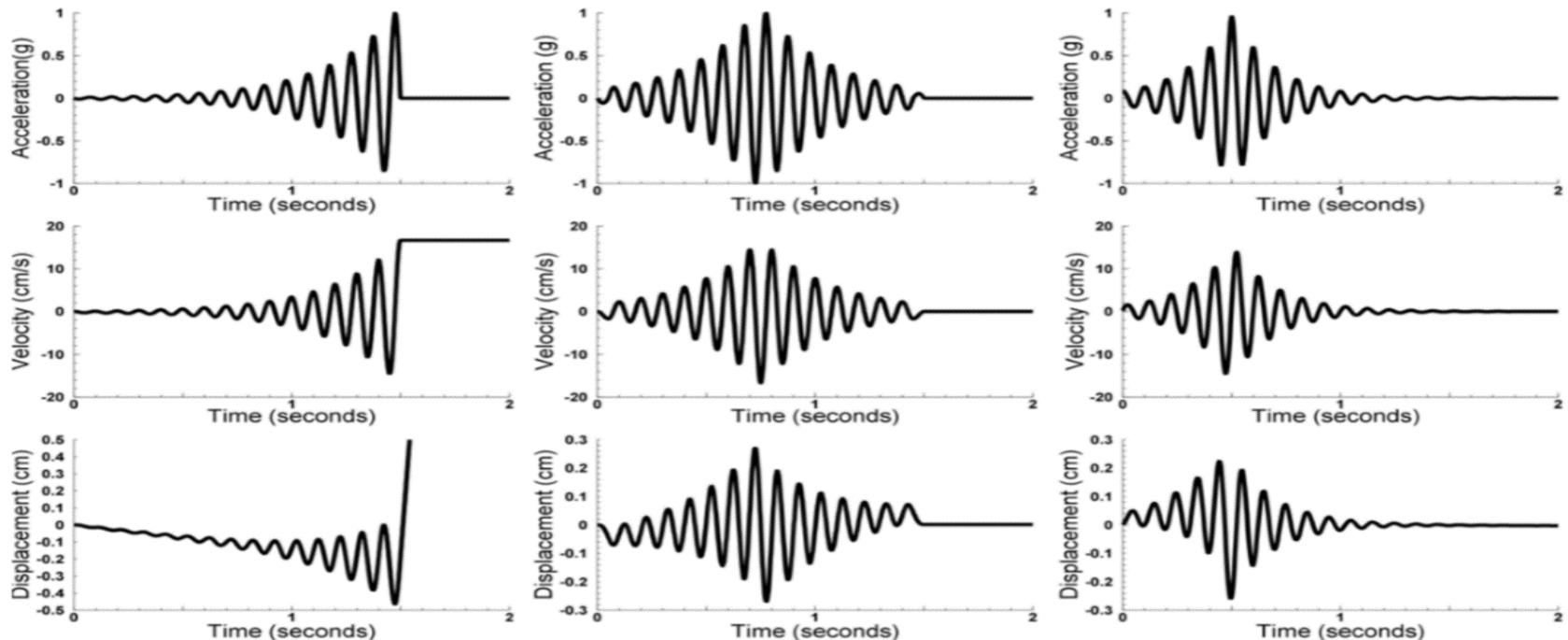


Fig.4. Registros de aceleración (superior), velocidad (centro) y desplazamiento (inferior) de wavelet de impulso inverso (izquierda), wavelet sinusoidal corregida (centro) y wavelet de coseno cónico corregido (derecha) (Hancock, Watson-Lamprey, Abrahamson, Bommer, 2006).



MÉTODO DE AJUSTE ESPECTRAL EN EL DOMINIO DEL TIEMPO

La esencia de la metodología es la siguiente:

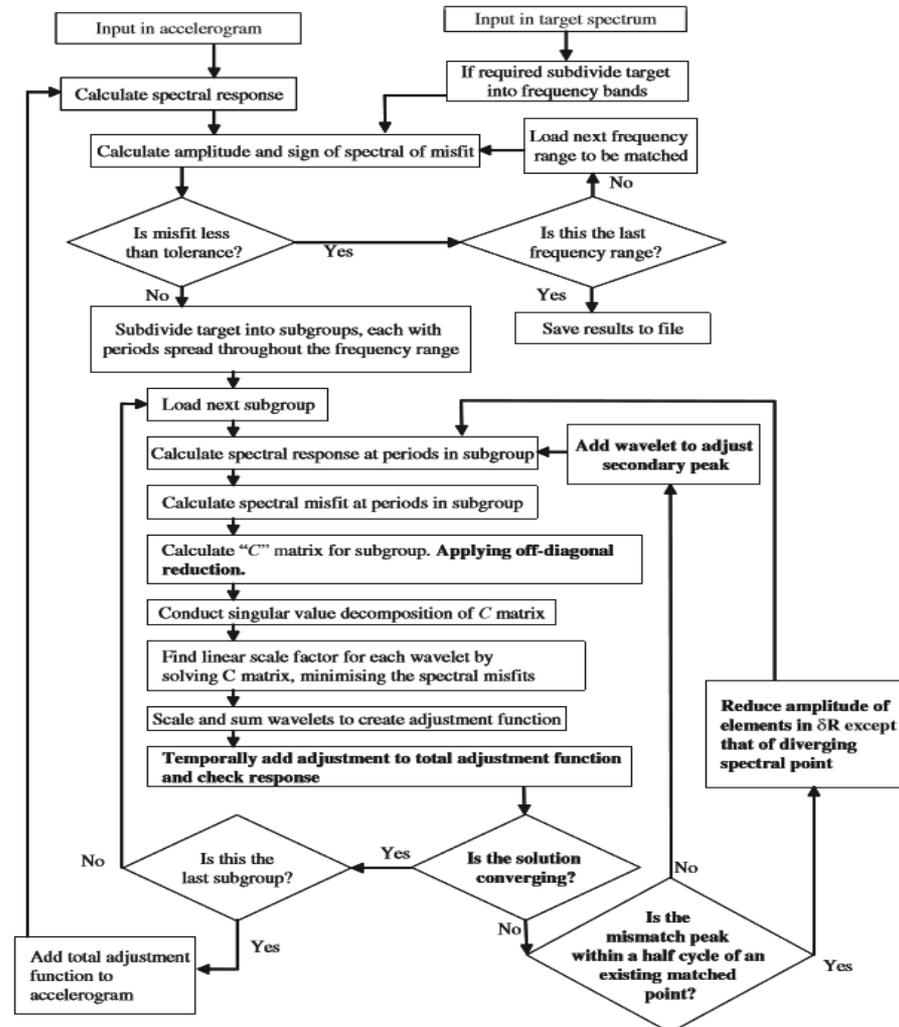
- a) Calcula la respuesta de un espectro elástico de 1 grado de libertad (1 GDL) bajo la acción de un registro de aceleración para cada periodo y nivel de amortiguamiento a ser ajustado.
- b) Compara el pico de la respuesta del espectro elástico de 1 grado de libertad con la amplitud del espectro objetivo y determina el error.
- c) Añade ondiculas (“wavelets”) al registro de aceleración con las amplitudes y fases apropiadas de modo que el pico de cada respuesta se ajusta a la amplitud del espectro objetivo. Un wavelet es empleado para ajustar una respuesta del espectro elástico.

Cálculos

MÉTODO DE AJUSTE ESPECTRAL EN EL DOMINIO DEL TIEMPO

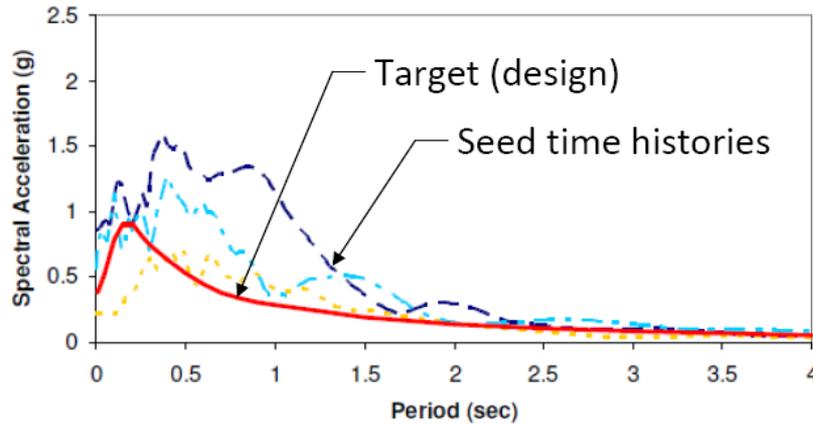
Figura 5. Diagrama de flujo del programa RSPMatch incluyendo una nueva solución de algoritmo

Introducción
Objetivos
Metodología
Cálculos y/o experimentación
Análisis y resultados
Conclusiones y recomendaciones

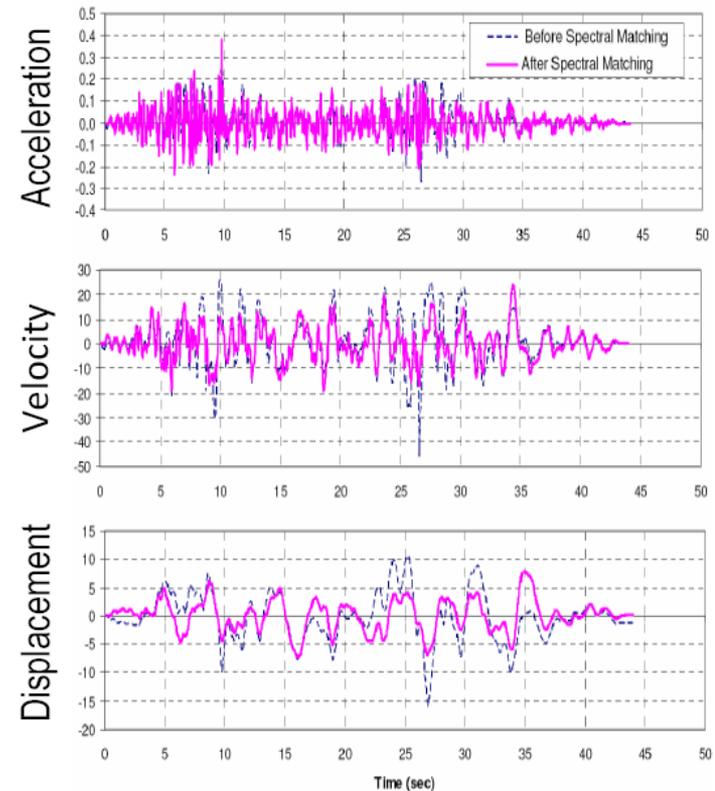
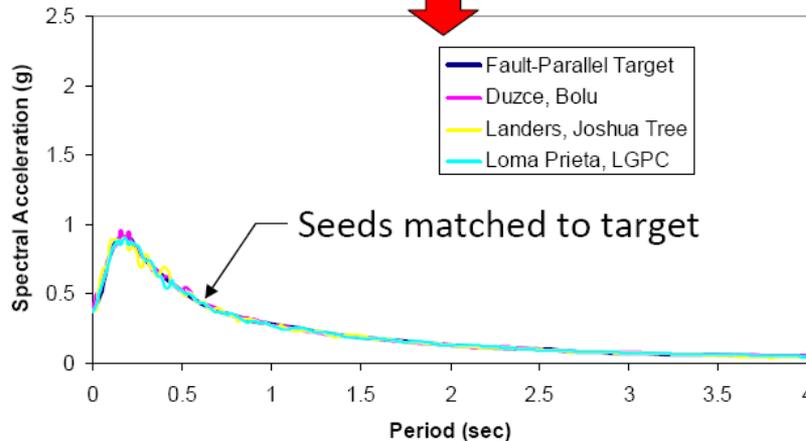




MÉTODO DE AJUSTE ESPECTRAL



RSPMatch



Cálculos

Introducción

Objetivos

Metodología

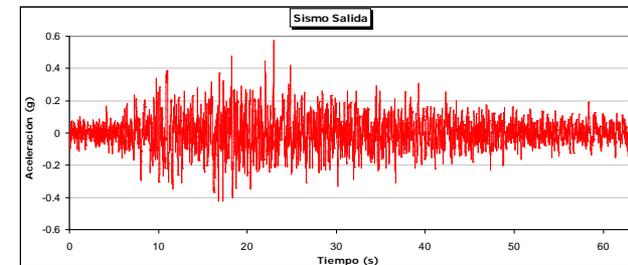
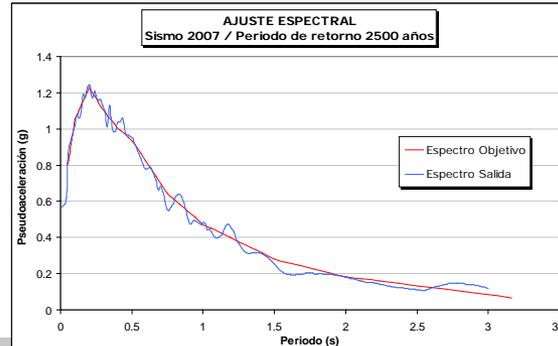
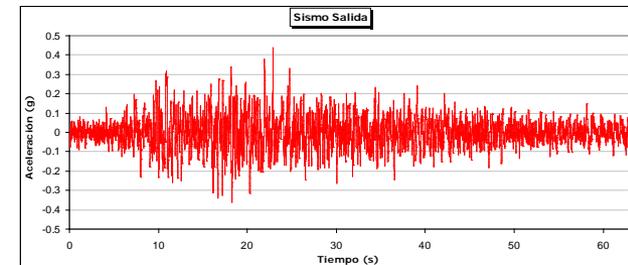
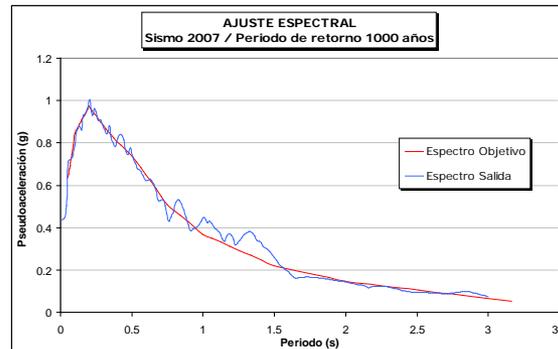
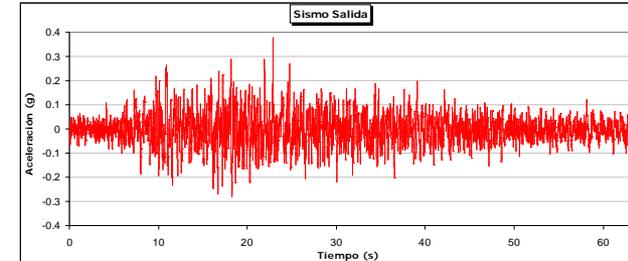
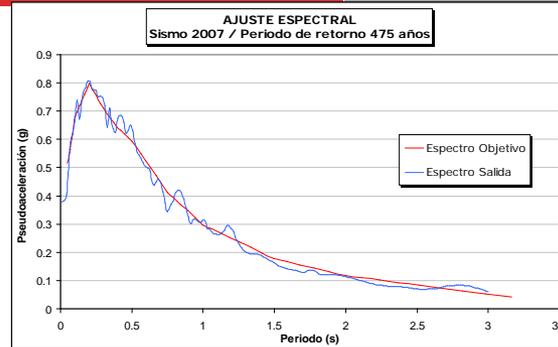
Cálculos y/o experimentación

Análisis y resultados

Conclusiones y recomendaciones

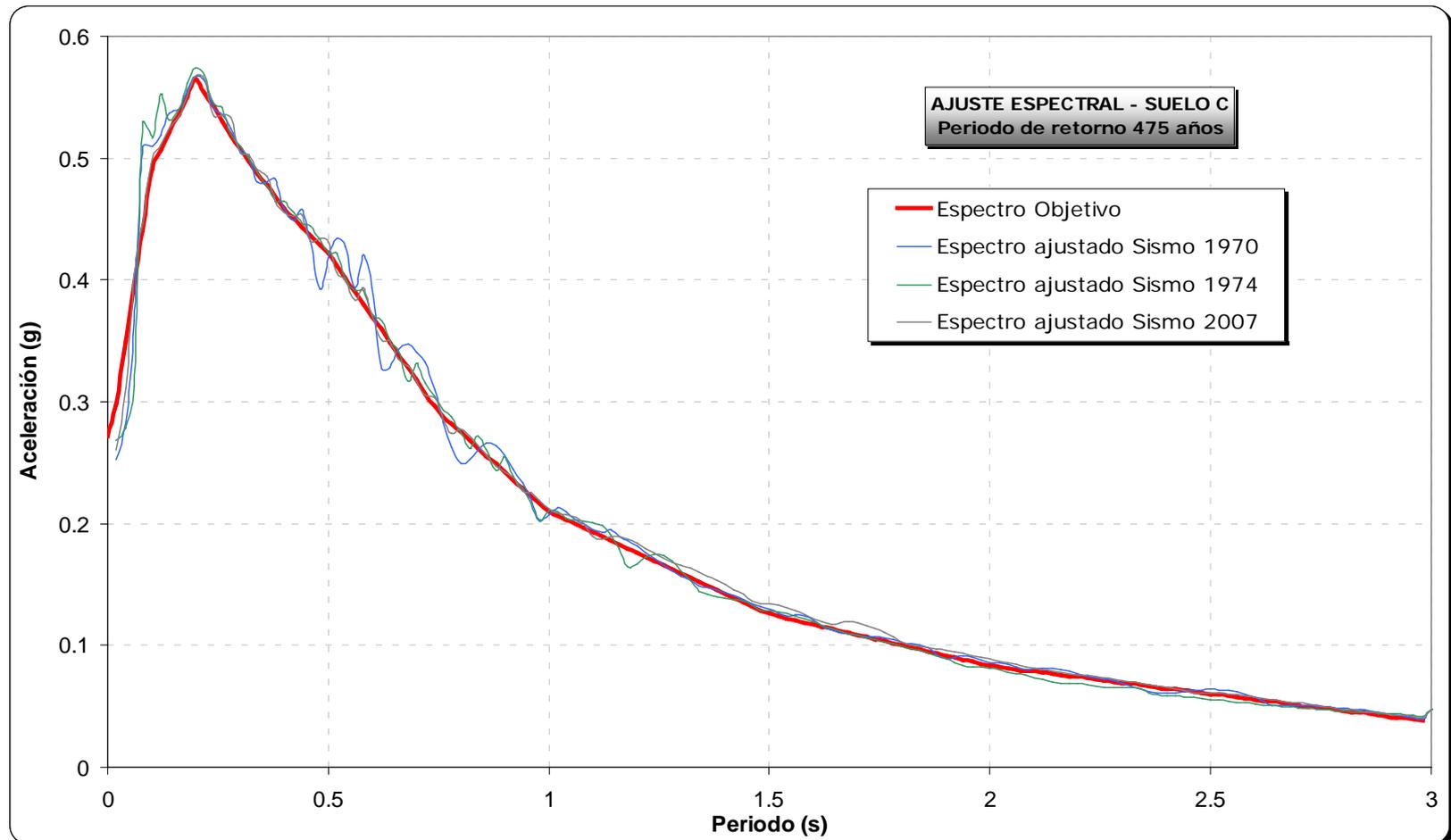


MÉTODO DE AJUSTE ESPECTRAL EN EL DOMINIO DEL TIEMPO





MÉTODO DE AJUSTE ESPECTRAL



Análisis y resultados

Introducción

Objetivos

Metodología

Cálculos y/o experimentación

Análisis y resultados

Conclusiones y recomendaciones



MÉTODO DE AJUSTE ESPECTRAL

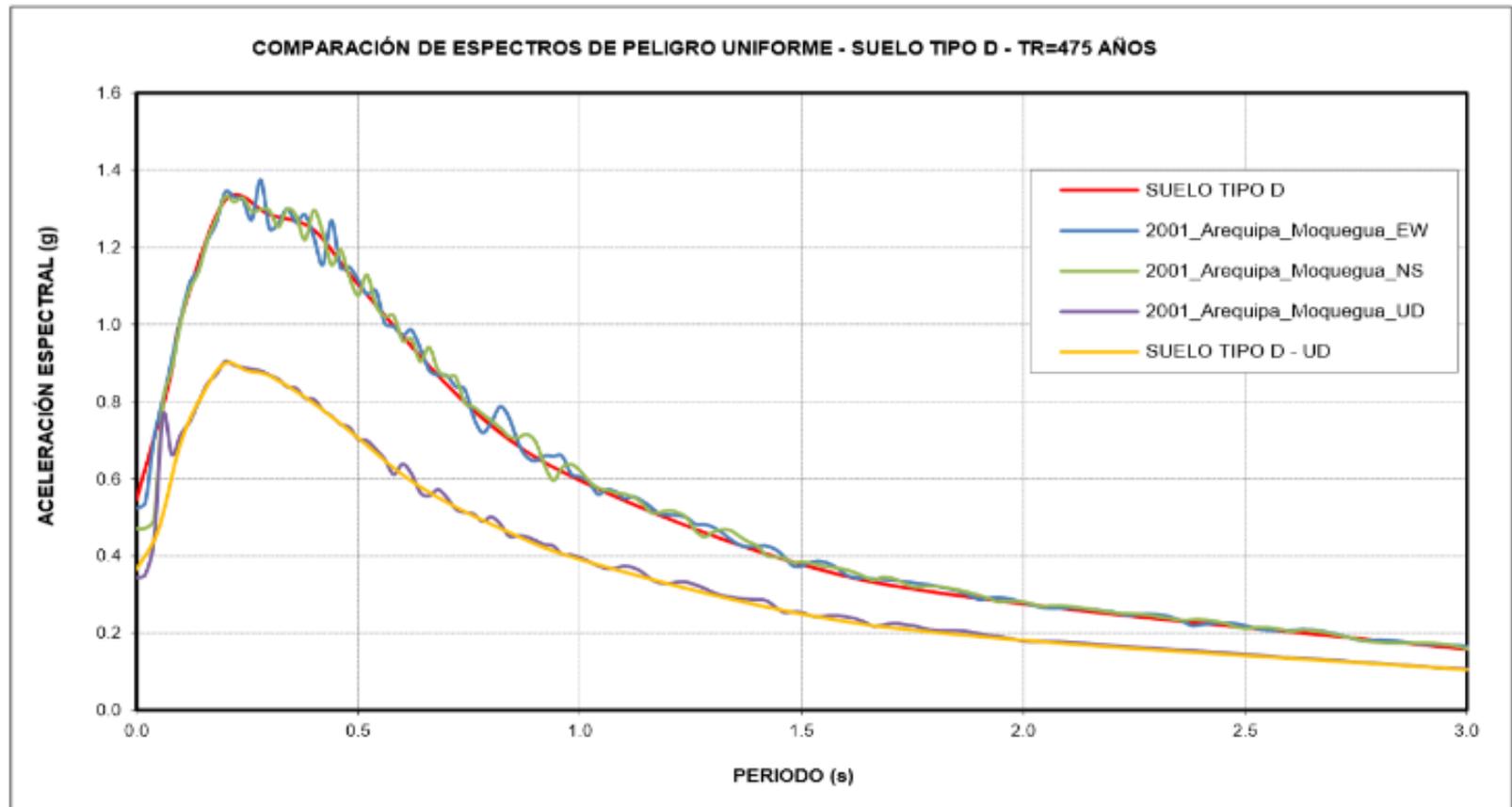


Figura 6. Generación de acelerogramas sintéticos usando como origen el acelerograma de la estación Moquegua del CISMID, sismo del año 2001

Análisis y resultados

Introducción

Objetivos

Metodología

Cálculos y/o experimentación

Análisis y resultados

Conclusiones y recomendaciones



MÉTODO DE AJUSTE ESPECTRAL

Acelerograma E-W ajustado al Espectro de Peligro Uniforme en Suelo Tipo B $T_r=475$ años

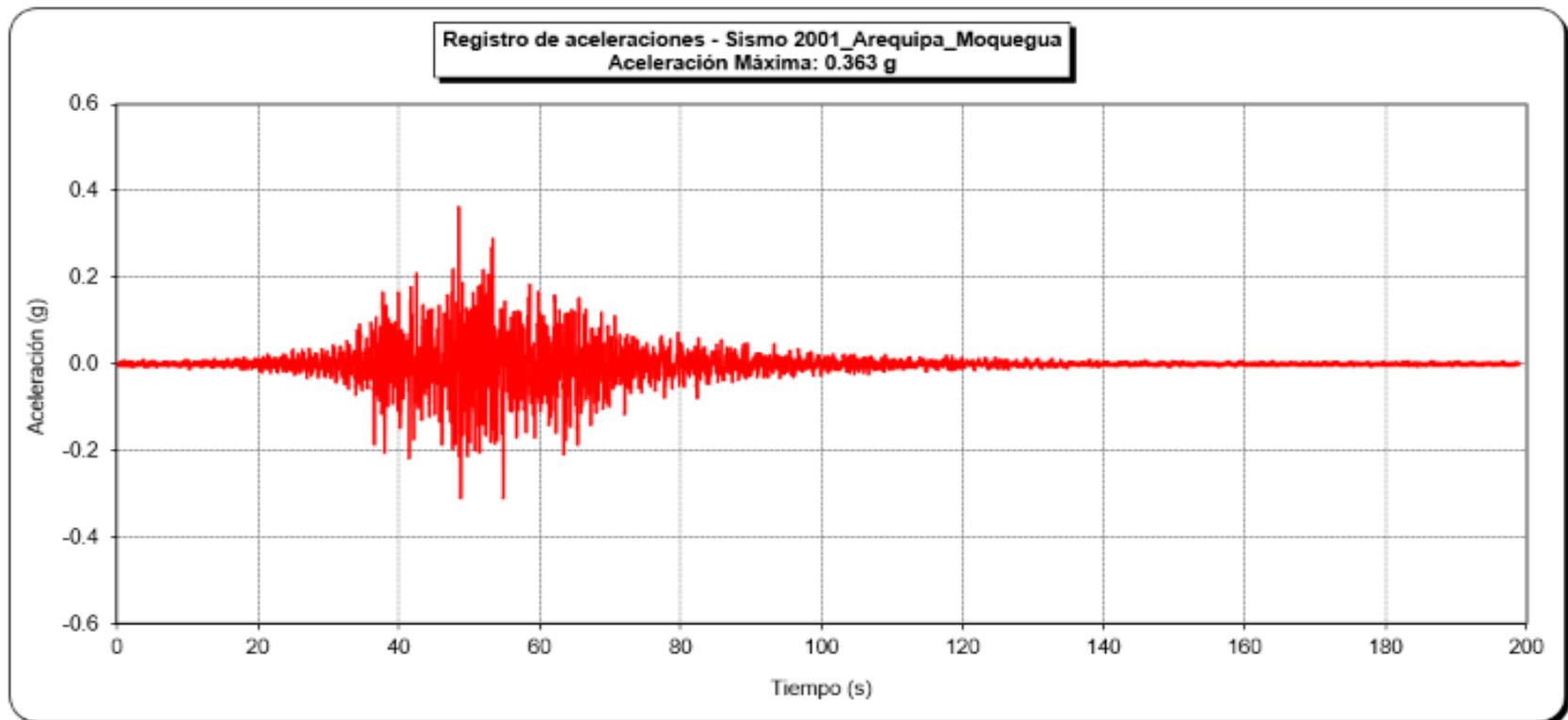


Figura 7. Acelerograma sintético ajustado al Espectro de Peligro Uniforme de la estación Moquegua del CISMID, sismo del año 2001



CONCLUSIONES

Se elaboraron los acelerogramas sintéticos utilizándose como origen el sismo de Arequipa del año 2001, por el método de ajuste espectral en el dominio del tiempo, obteniéndose acelerogramas en sus componentes Este-Oeste, Norte-Sur, y Vertical, cuyos espectros de respuesta en aceleración para un amortiguamiento del 5% son compatibles con los Espectros de Peligro Uniforme obtenido por medio de un estudio de Peligro Sísmico de la zona de Lima y espectros de la Norma IBC, para un periodo de retorno de 475 años

Los acelerogramas obtenidos mediante ajuste espectral, representan de forma más específica las características del área de estudio ya que incorporan un espectro de respuesta compatible con el espectro calculado en el análisis de peligro sísmico, modificando las amplitudes y contenidos de frecuencias del registro sísmico original. En los registros seleccionados se realizaron los respectivos procesos de ajuste espectral al 5% de amortiguamiento.

Sobre la base de los resultados obtenidos, se puede observar que los espectros de los registros sísmicos calculados presentan una correlación adecuada con los Espectros de Peligro Uniforme y del Código Internacional IBC 2012 a niveles de máxima amplitud y forma del espectro en la mayoría de los casos, motivo por el cual, se recomienda su uso para el análisis de respuesta sísmica y de amplificación sísmica de las estructuras en el área de estudio.



RECOMENDACIONES

Para asegurarse que se está haciendo un ajuste (matching) realista de la duración del escenario objetivo y distribución de energía, se recomienda que los acelerogramas tengan una magnitud similar a la del terremoto del escenario objetivo (ver Bommer y Acevedo 2004). Si se requiere un conjunto de acelerogramas es preferible seleccionar registro de acelerogramas de terremotos de diferentes estaciones para evitar el sesgo de origen, trayectoria o efectos de sitio.

Se recomienda que los espectros de destino se especifiquen utilizando puntos espaciados uniformemente en una escala de período de registro. Esto debido a que el ancho de banda de la respuesta es una relación de la frecuencia forzada a la frecuencia natural; se requieren por lo tanto un menor número de puntos en períodos largos (frecuencias bajas) para obtener una coincidencia espectral suave.

Referencias bibliográficas



- **Abrahamson, N.A.**, Non-Stationary Spectral Matching. Seismological research letters 63(1), 30-30., 1992
- **Aguilar, Z. y Piedra, R.**, Sistema de Adquisición de datos de la Red Acelerográfica del CISMID - FIC y Registros del Sismo Atico 2001, 1er Congreso Binacional de Ingeniería Civil Perú - Ecuador, Cuenca, Ecuador, 2002
- **Aguilar, Z y Piedra, R.**, Replotamiento de la Red Acelerográfica del CISMID y su contribución para una base de Datos de Sismos Fuertes, XV Congreso Nacional de Ingeniería Civil, Ayacucho, Perú, 2005
- **Hudson, D.E. (1979).**, Reading and interpreting strong motion accelerograms. Earthquake Engineering Research Institute, (1979) Berkeley, Pasadena, California, USA
- **Hancock, J., Watson-Lamprey, J., Abrahamson, N.A., Bommer, J.J., Markatis, A., McCoy, E. and Mendis, R.** An improved method of matching response spectra of recorded earthquake ground motion using wavelets. Journal of Earthquake Engineering, Special Issue, 1996.
- **Lilhanand, K. and Tseng, W.S.** Generation of synthetic time histories compatible with multiple design response spectra. Transactions of the 9th International Conference on Structural Mechanics in Reactor Technology, Lausanne, K1, 105-110, 1987



¡Muchas gracias!

Consultas:

Cel: 990274936

rpiedra@georys.com

www.georys.com