

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE NICARAGUA  
CENTRO DE INVESTIGACIONES GEOCIÉNTÍFICAS  
(CIGEO/UNAN-Managua)



1st Peru-Japan Workshop on Enhancement of Earthquake and Tsunami Disaster  
Mitigation Technology

## ESTUDIOS DE DINÁMICA DE SUELOS EN NICARAGUA

Centro de Convenciones CISMID, Universidad Nacional de  
Ingeniería, Lima, Perú

MSc. Claudio Romero L.  
(CIGEO/UNAN-Managua)  
claro@cigeo.edu.ni

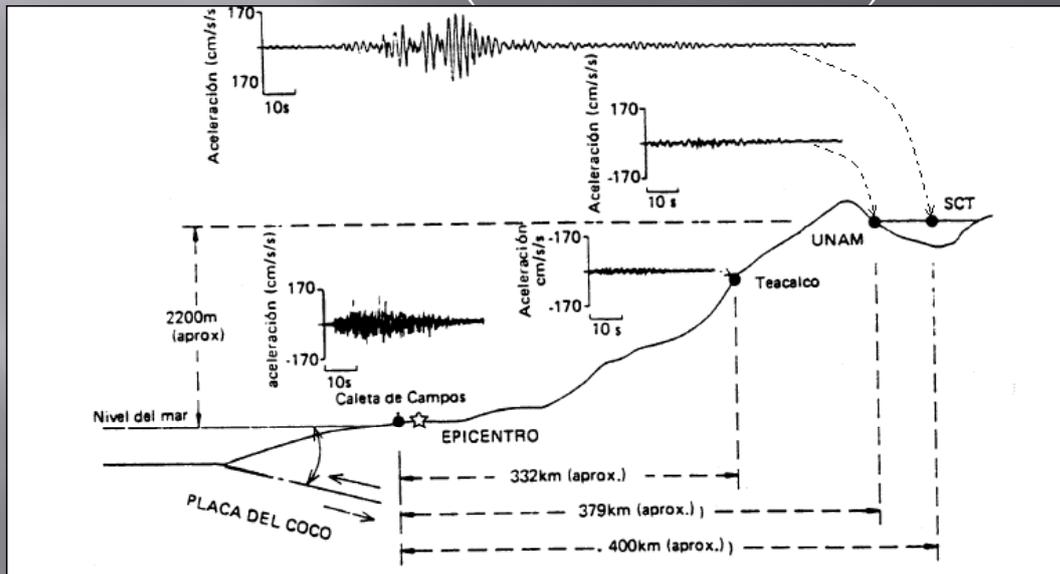
### Variables que influyen en el peligro sísmico Estructural

- ▣ Cercanía de la fuente sísmica
- ▣ Magnitud del sismo
- ▣ Movimiento de fallas
- ▣ Diseño, construcción de estructuras, tipo de materiales y mantenimiento de las estructuras
- ▣ Condiciones dinámica del suelo (Efecto de Sitio.....).

MSc. Claudio Romero L.  
(CIGEO/UNAN-Managua)  
claro@cigeo.edu.ni

## Definición

- *Efecto de sitio*: influencia de las propiedades geotécnicas, geológicas y topográficas de los estratos más superficiales de la corteza terrestre ..... (Chávez *et al.*, 1987).



Efecto de sitio en México, 19 de septiembre de 1985; zona del antiguo Lago de Texcoco en México. D. F. (Tomado de M. Celebi, J. Prince *et al.* 1987).

MSc. Claudio Romero L.  
(CIGEO/UNAN-Managua)  
claro@cigeo.edu.ni

## Evaluación

- Tectónica y sismicidad de la región.
- Geología local.
- Topografía.
- Geomorfología.
- Hidrología.
- Geotecnia.
- Estudios previos.

MSc. Claudio Romero L.  
(CIGEO/UNAN-Managua)  
claro@cigeo.edu.ni

# Métodos empíricos o experimentales para estimar el efecto de sitio

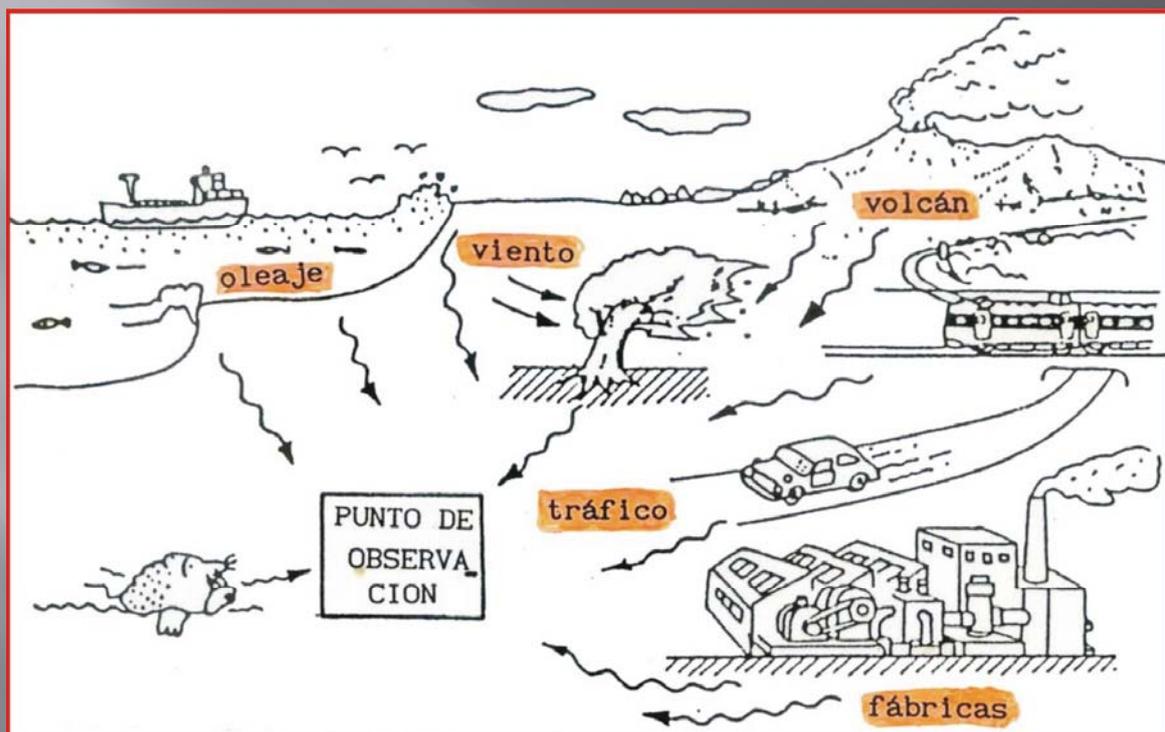
**Movimientos sísmicos fuertes:** La información más valiosa sobre efectos de sitio para ser aplicada en microzonación sísmica.

**Movimientos sísmicos débiles o moderados:** Borchardt (1970), Rogers *et al.* (1984), Chávez-García *et al.* (1995), Lermo y Chávez-García (1993) y otros.

**Microtremores:** Kanai y Tanaka (1961) definen los microtremores como vibraciones del suelo con amplitudes entre  $10^{-5}$  y  $10^{-4}$  cm, con periodos de 0.05, 0.1 a 1.0, 2.0 seg, generados por el tránsito vehicular, operación de centros fabriles, el viento que hace oscilar árboles, edificios, etc.;

MSc. Claudio Romero L.  
(CIGEO/UNAN-Managua)  
claro@cigeo.edu.ni

## Fuentes de la Vibración Ambiental

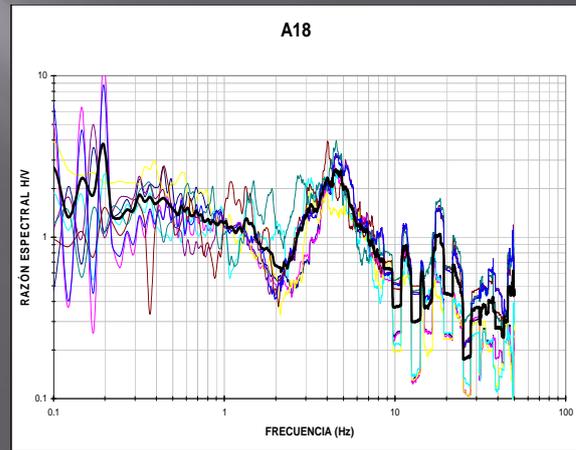


Ejemplos de tipos de fuentes de origen natural y artificial que originan la vibración ambiental (desde Abe, 1988; cortesía de J. Lermo; Hernández, O., 2009).

MSc. Claudio Romero L.  
(CIGEO/UNAN-Managua)  
claro@cigeo.edu.ni

# Técnicas de análisis de registros

- *Razón espectral relativa a un sitio de referencia*
- *Razón espectral H/V para un mismo sitio (Nakamura 1989)*



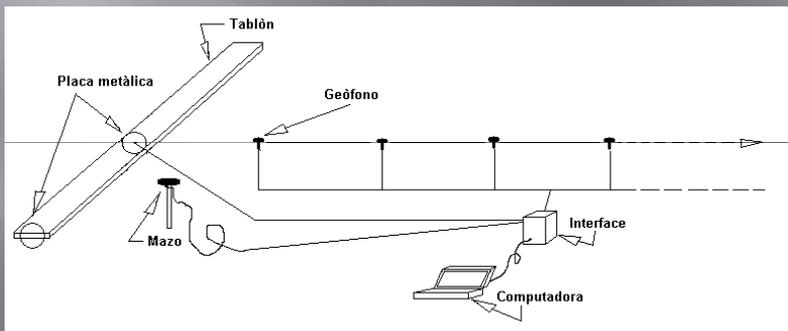
MSc. Claudio Romero L.  
(CIGEO/UNAN-Managua)  
claro@cigeo.edu.ni

## Método teórico para estimar el efecto de sitio

Método de Haskell: Haskell (1962), Thomson (1950), Thomson-Haskell, es un método que permite calcular la FFT de una estratigrafía determinada, utiliza resultados o estudios de la teoría de vibraciones casuales y solo admite estratos planos y paralelos.

Prospección sísmica de refracción y MASW: Utiliza los tiempos de llegada de las ondas refractadas.

MASW

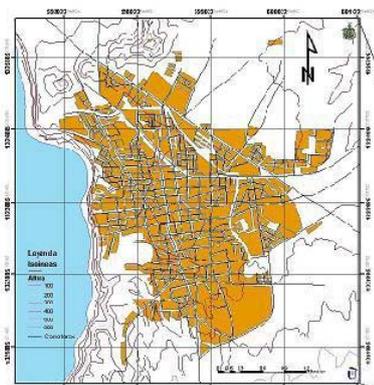


Refracción Sísmica

MSc. Claudio Romero L.  
(CIGEO/UNAN-Managua)  
claro@cigeo.edu.ni

Haskell

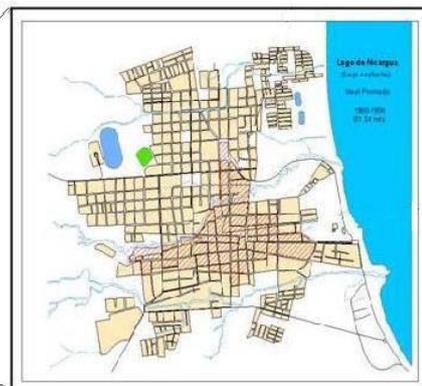
## MAPA DE UBICACION DE AREAS DE ESTUDIOS



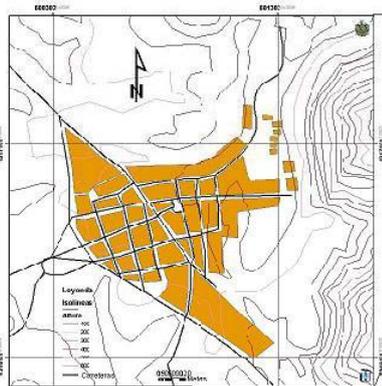
MASAYA



CATARINA



GRANADA



MSc. Claudio Romero L.  
(CIGEO/UNAN-Managua)  
claro@cigeo.edu.ni

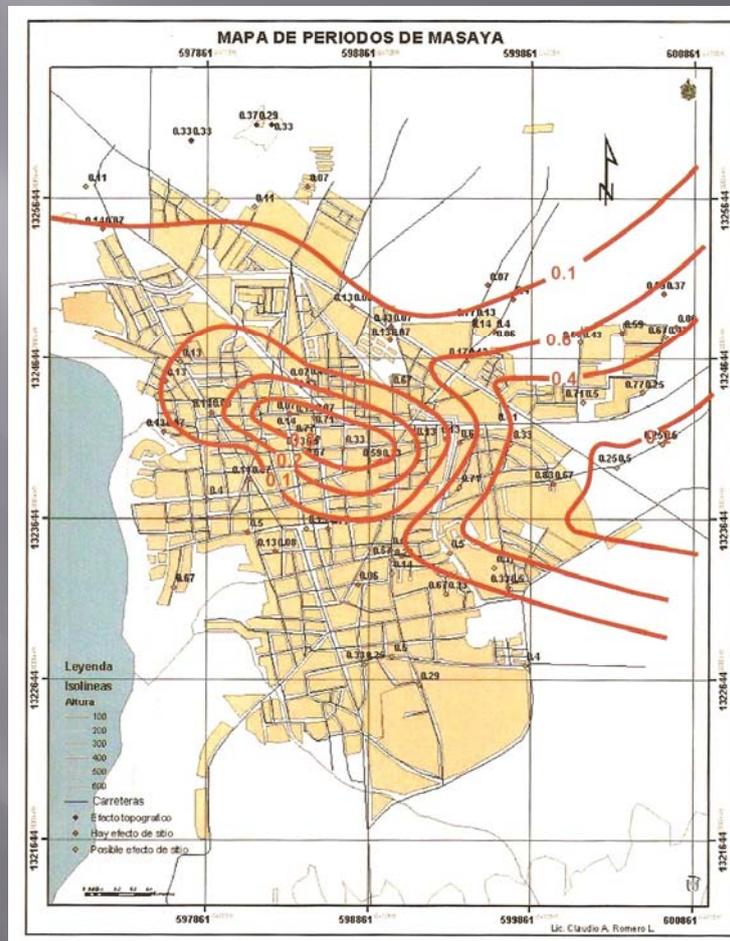
## Trabajos de Campo

Vibración Ambiental sobre suelos para determinar los modos de vibrar del suelo (Efecto de Sitio); Foto CIGEO/UNAN-Managua



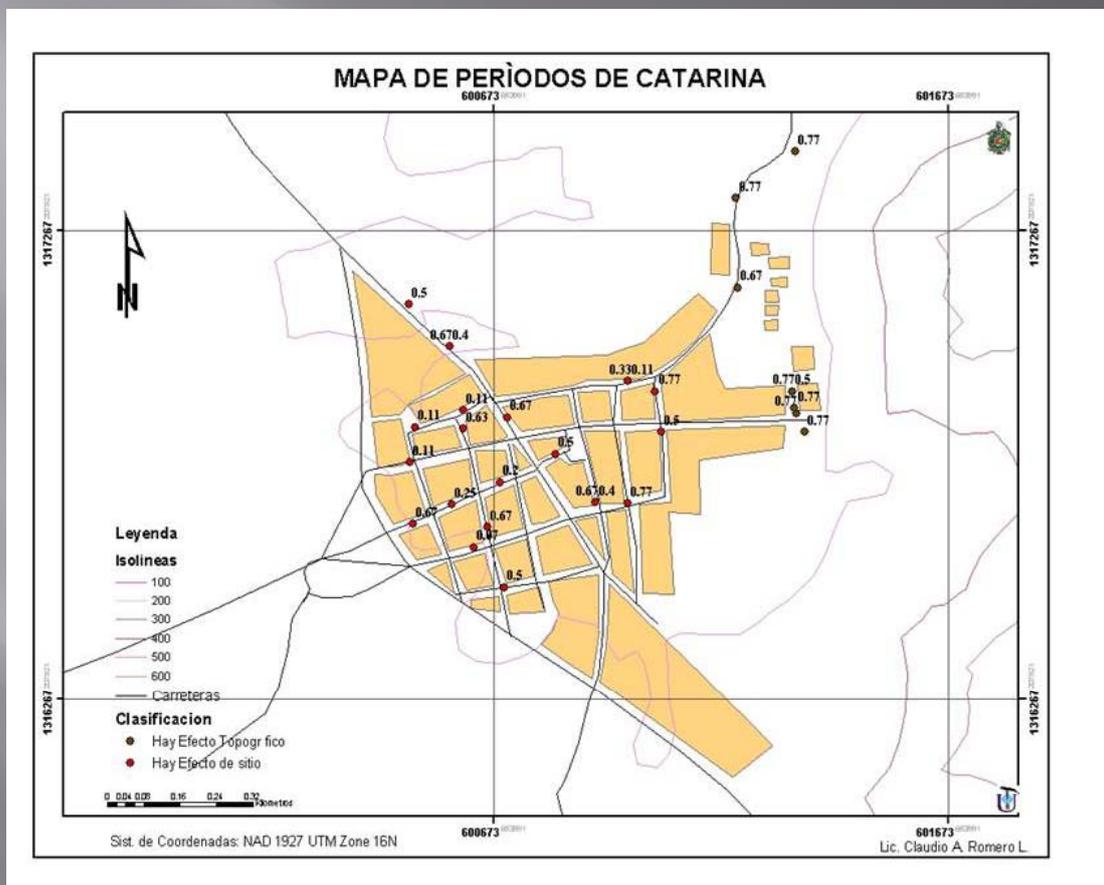
Sísmica de Ondas Superficiales MASW; Fotos CIGEO/UNAN-Managua

MSc. Claudio Romero L.  
(CIGEO/UNAN-Managua)  
claro@cigeo.edu.ni



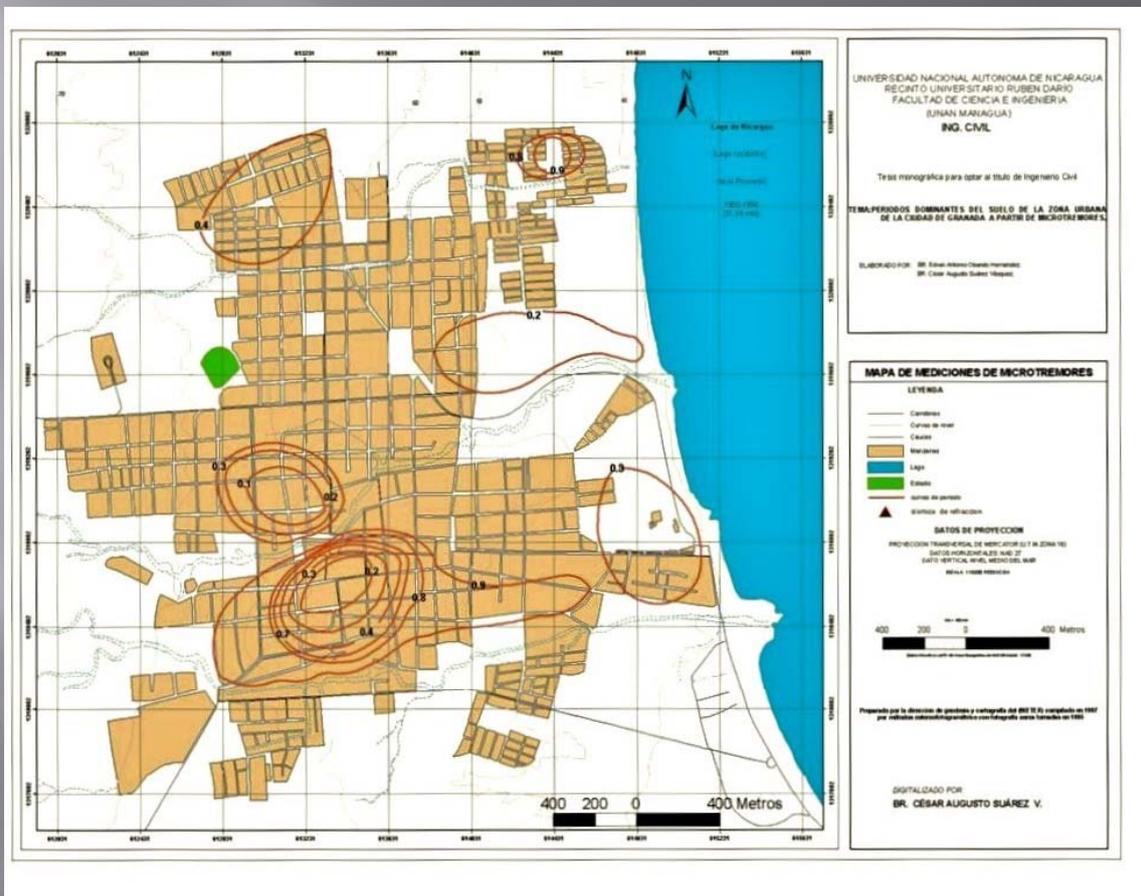
MSc. Claudio Romero L.  
(CIGEO/UNAN-Managua)  
claro@cigeo.edu.ni

Romero, C., 2004



MSc. Claudio Romero L.  
(CIGEO/UNAN-Managua)  
claro@cigeo.edu.ni

Romero, C., 2004



MSc. Claudio Romero L.  
(CIGEO/UNAN-Managua)  
claro@cigeo.edu.ni

Obando, E. y Suárez, C., 2005

## Estadio Nacional de Béisbol de Nicaragua "Denis Martínez"

Mediciones de Vibración Ambiental fuera del Estadio (15 puntos)

Medición de Vibración ambiental sobre suelo, Punto de Referencia

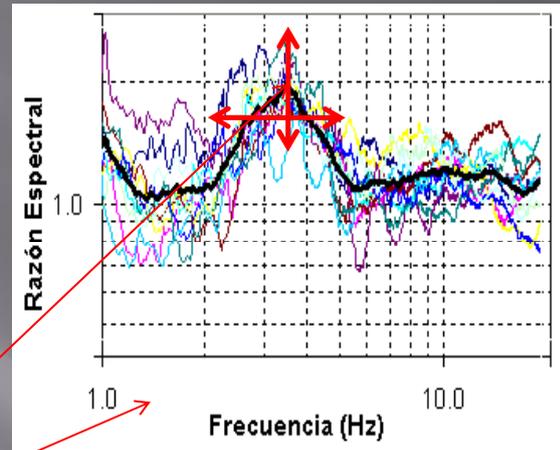
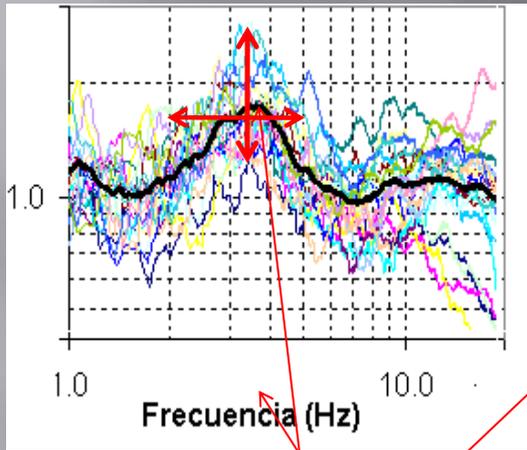
Mediciones de Vibración Ambiental dentro del Estadio (22 puntos)



MSc. Claudio Romero L.  
(CIGEO/UNAN-Managua)  
claro@cigeo.edu.ni

CIGEO., 2008

## Efecto de Sitio Dentro y Fuera del Estadio Nacional



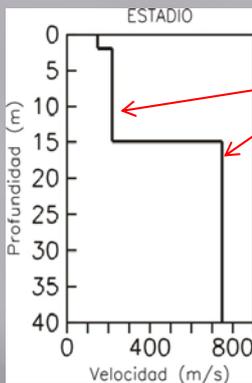
- 22 puntos dentro del estadio
- 15 puntos fuera del estadio
- Frecuencia de 3.5 Hz y 1.8 veces
- Banda espectral entre 2 a 5 Hz y Amplificación hasta 2.5 veces

Funciones de Transferencia Empíricas (REHV) obtenidas para las componentes horizontales del movimiento en campo libre dentro y fuera del estadio. La línea continua gruesa y oscura indica el promedio, mientras que las líneas discontinuas delgadas de colores indican la dispersión de esta técnica.

MSc. Claudio Romero L.  
(CIGEO/UNAN-Managua)  
claro@cigeo.edu.ni

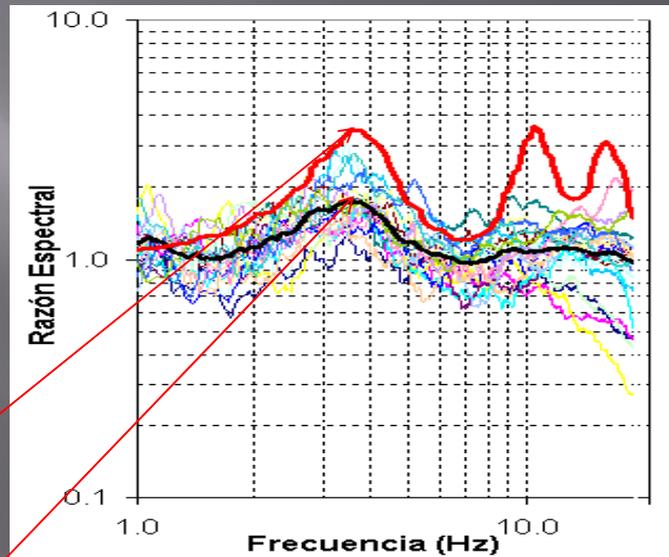
CIGEO., 2008

## Estimación de un modelo matemático unidimensional para la respuesta del suelo: Haskell



- Hasta 15 m promedio de 220 m/s, suelo blando y otro de 750 m/s mas compacto

Perfil de velocidades de Ondas S con Haskell



**Función de Transferencia Teórica (Método de Haskell)  $F_0 = 3.5$  Hz y  $A_0 = 3.5$  veces**

**Función de Transferencia Empírica (Técnica de Nakamura)  $F_0 = 3.5$  Hz y  $A_0 = 1.8$  veces**

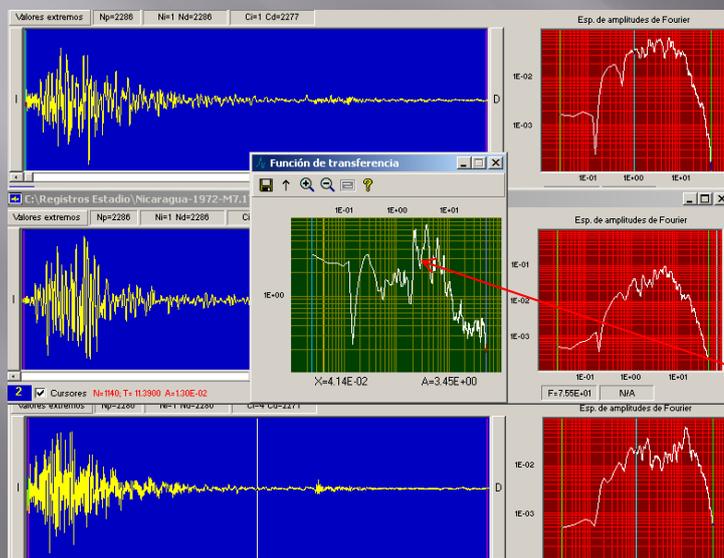
MSc. Claudio Romero L.  
(CIGEO/UNAN-Managua)  
claro@cigeo.edu.ni

CIGEO., 2008

## Acelerograma seleccionado para la zona de estudio y efecto de sitio en estación sísmica

Terremoto	$M_s$	Registro	Tipo de suelo	Duración (s)	$A_{\text{máx}}$ g	Tipo de falla
24/12/1972	6.5	Refinería	Blando	20	0.36	De rumbo

Característica del acelerograma seleccionado para la zona de estudio; sismo del 23 de diciembre de 1972 registrado en Refinería.



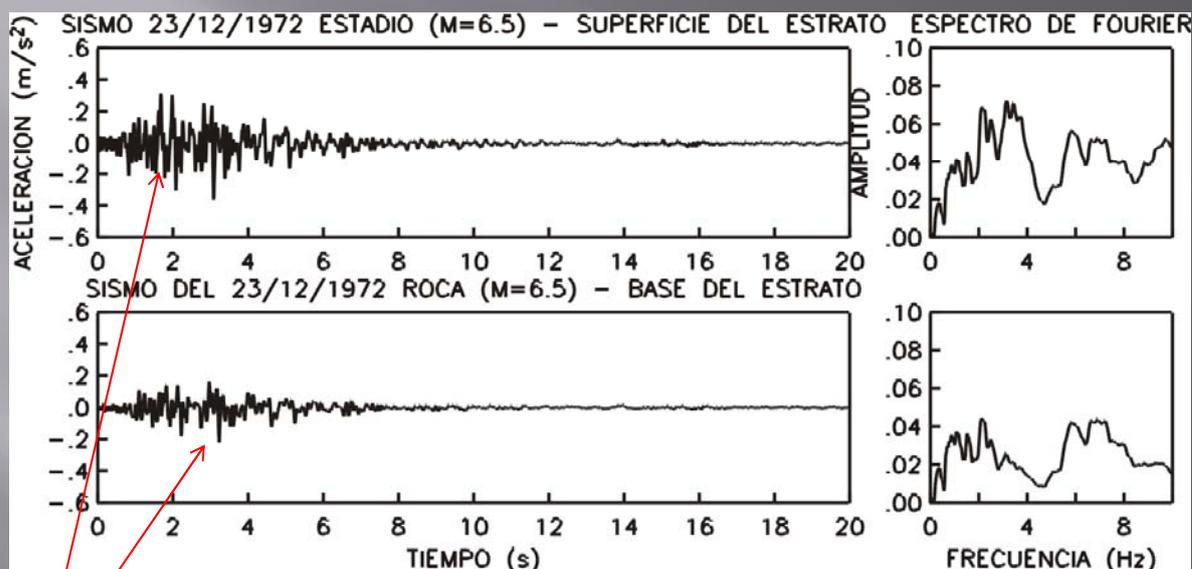
Acelerogramas y espectros de Fourier de las tres componentes del registro del sismo de 1972. Parte central, FT entre la componente EW y la vertical del sismo de 1972.

- Función de Transferencia del efecto de sitio para la componente EW, con frecuencia dominantes entre **2 a 5 Hz** y una amplificación relativa de aproximadamente **8 veces**.

MSc. Claudio Romero L.  
(CIGEO/UNAN-Managua)  
claro@cigeo.edu.ni

CIGEO., 2008

## Sismograma sintético para estación en estadio nacional



- Acelerograma sintético con su espectro de Fourier en la estación del estadio, obtenido por convolución con la FT del sismo del 72 en roca
- Acelerograma sintético con su espectro de Fourier del sismo de 1972 en roca

MSc. Claudio Romero L.  
(CIGEO/UNAN-Managua)  
claro@cigeo.edu.ni

CIGEO., 2008



Vista aérea del centro de Managua después del terremoto de 1972  
(Colección Steinbrugge, Universidad de Berkeley).

MSc. Claudio Romero L.  
(CIGEO/UNAN-Managua)  
claro@cigeo.edu.ni



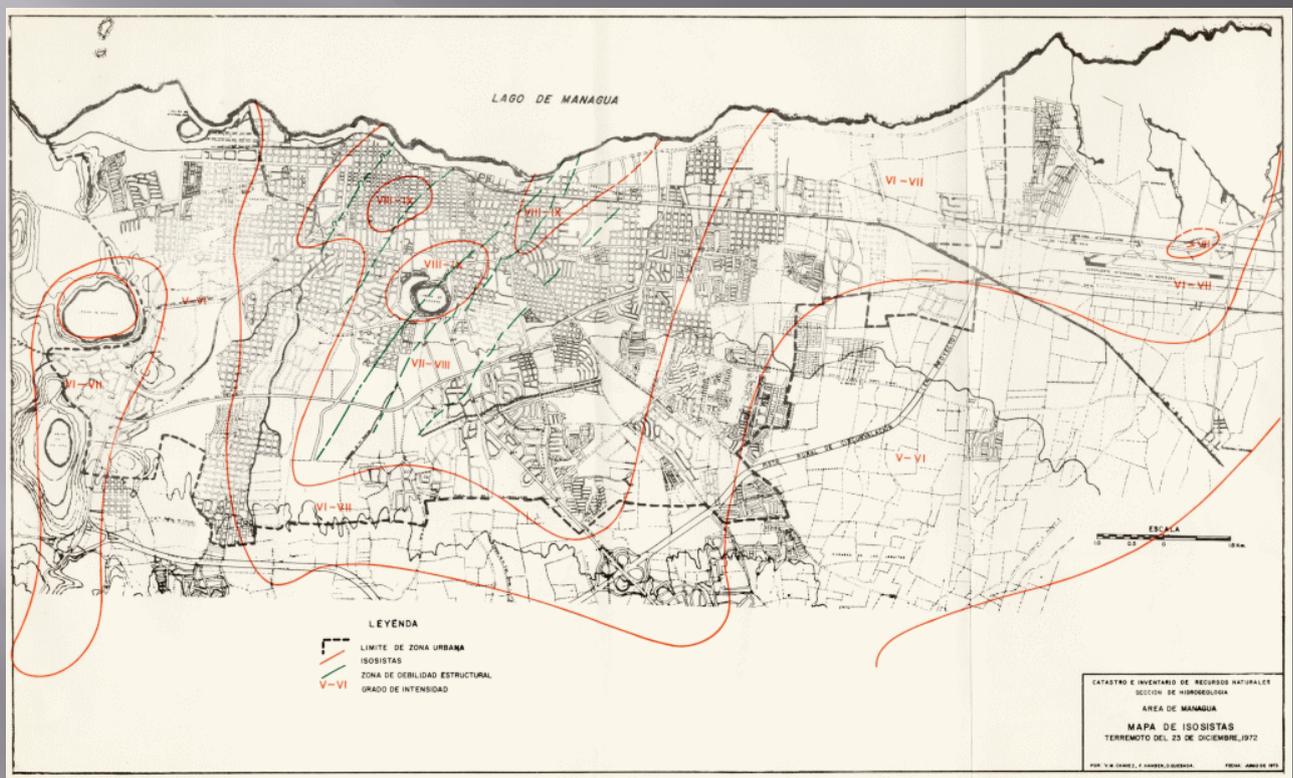
Vista aérea del centro de Managua después del terremoto de 1972  
(Colección Steinbrugge, Universidad de Berkeley).

MSc. Claudio Romero L.  
(CIGEO/UNAN-Managua)  
claro@cigeo.edu.ni



Vista aérea del centro de Managua después del terremoto de 1972 (Colección Steinbrugge, Universidad de Berkeley).

MSc. Claudio Romero L.  
(CIGEO/UNAN-Managua)  
claro@cigeo.edu.ni



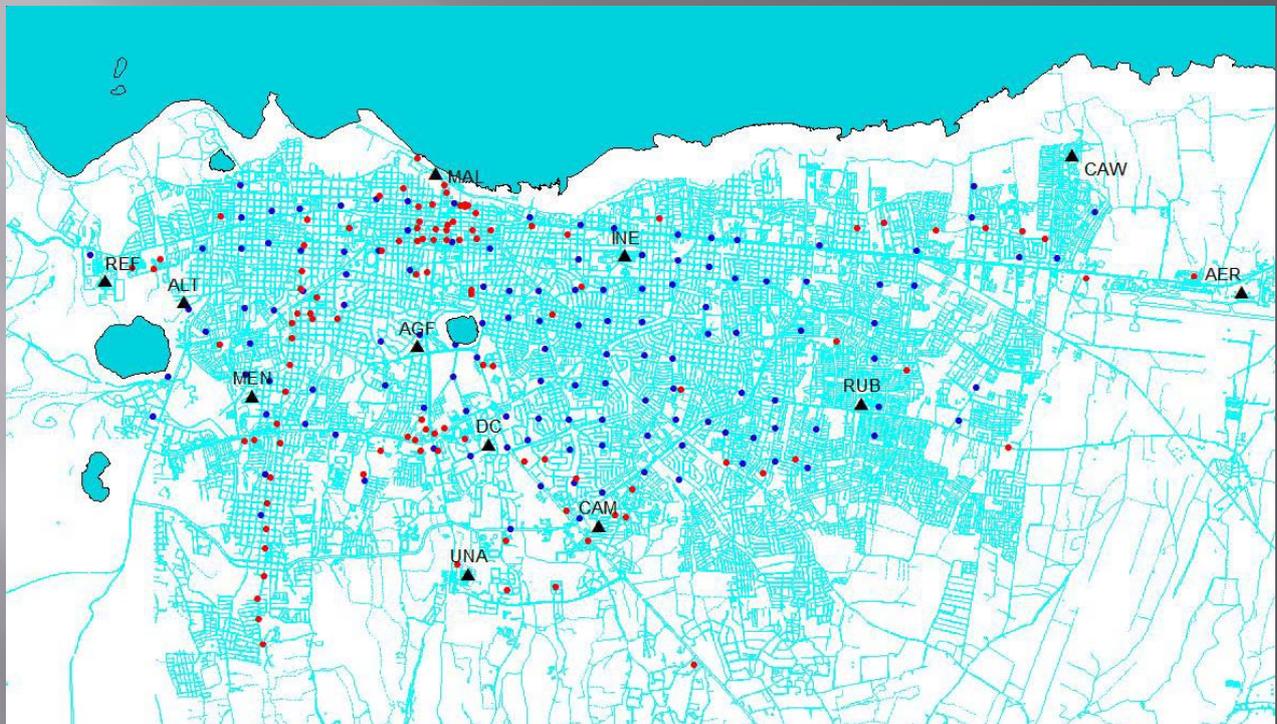
Mapa de isosistas Terremoto de 1972 (Hansen y Chavez, 1973).

MSc. Claudio Romero L.  
(CIGEO/UNAN-Managua)  
claro@cigeo.edu.ni



Mapa con isosistas (terremoto 1972) y puntos que presentan efecto de sitio. Hernández, O., 2009.

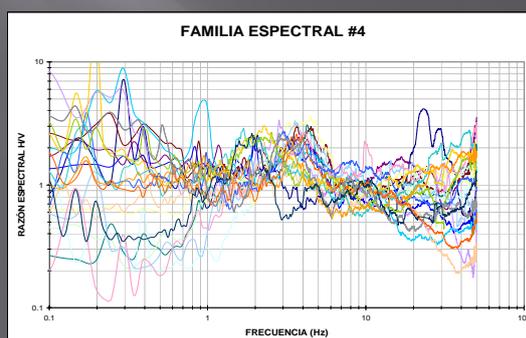
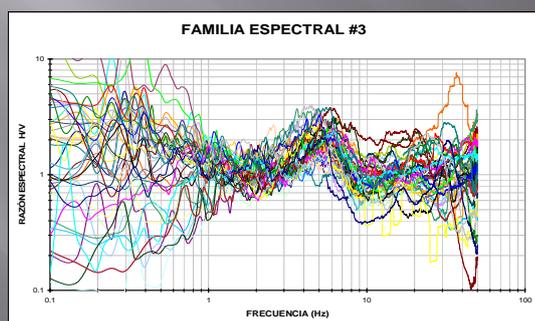
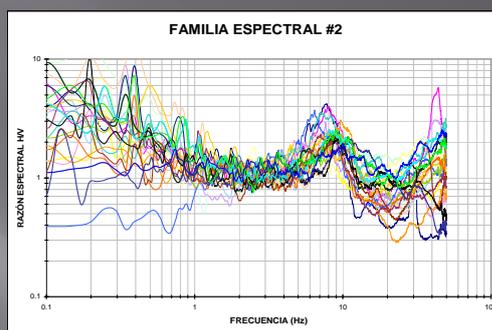
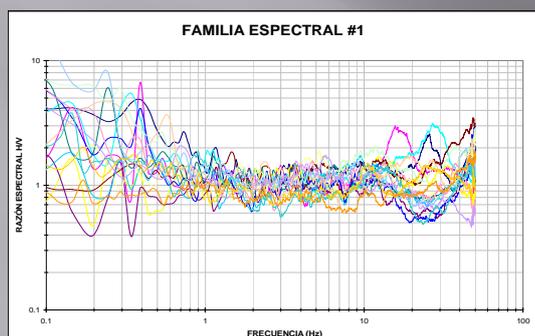
MSc. Claudio Romero L.  
(CIGEO/UNAN-Managua)  
claro@cigeo.edu.ni



254 puntos de medición, 117 por autor, 132 Proyecto de Microzonificación Sísmica de Managua y 40 temblores de 12 estaciones INETER. Hernández, O., 2009)

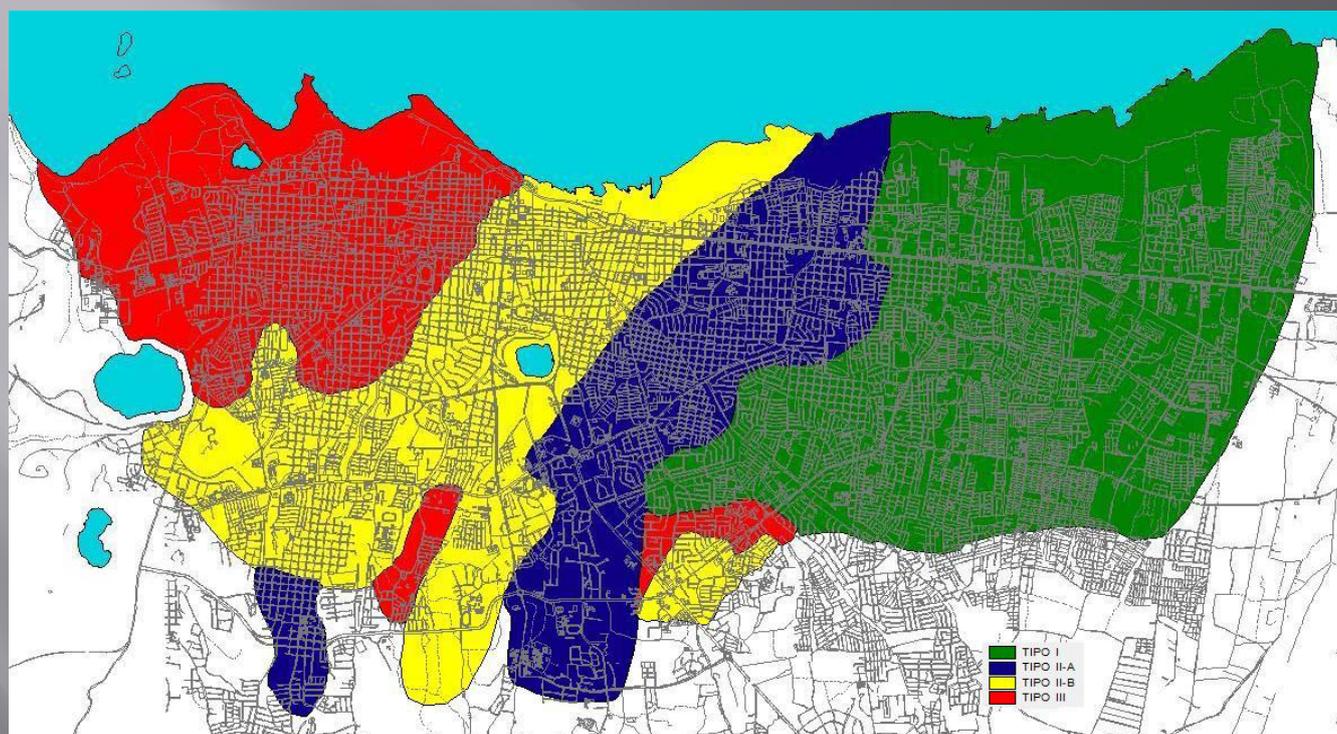
MSc. Claudio Romero L.  
(CIGEO/UNAN-Managua)  
claro@cigeo.edu.ni

# Agrupación de los espectros de las funciones de transferencia empíricas (FTE)



MSc. Claudio Romero L.  
(CIGEO/UNAN-Managua)  
claro@cigeo.edu.ni

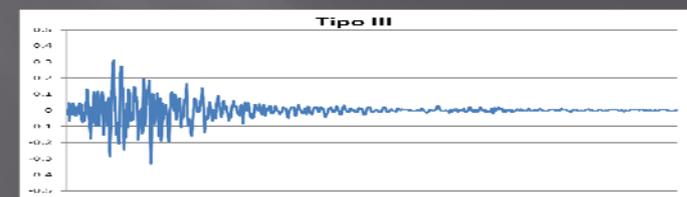
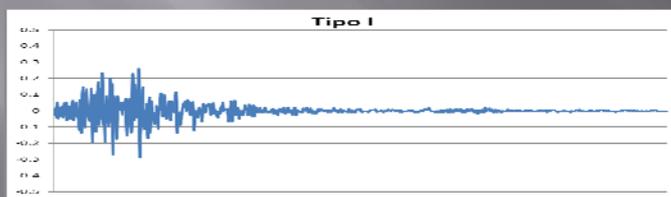
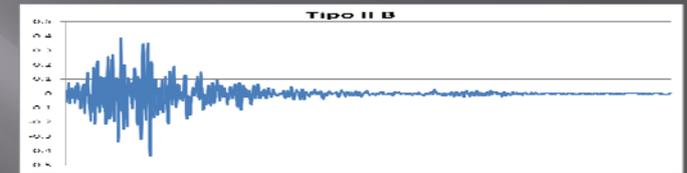
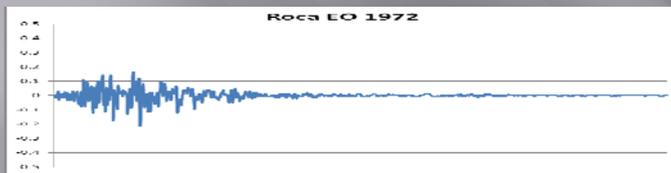
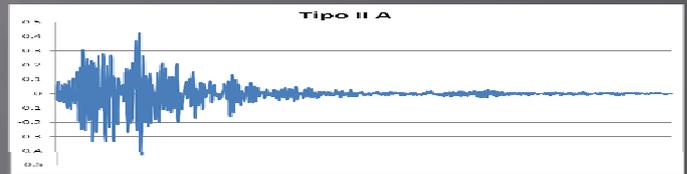
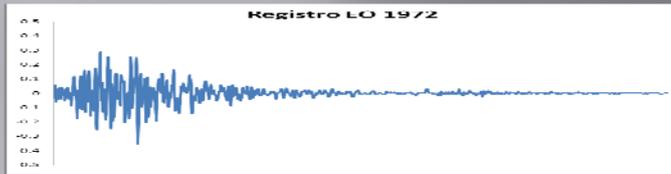
Hernández, O ., 2009



Propuesta preliminar de clasificación de terrenos con fines de diseño sísmico para Managua. Hernández, O ., 2009

MSc. Claudio Romero L.  
(CIGEO/UNAN-Managua)  
claro@cigeo.edu.ni

# Deconvolución y Convolución Registro Terremoto del 72



MSc. Claudio Romero L.  
(CIGEO/UNAN-Managua)  
claro@cigeo.edu.ni

**“El que me oye y hace lo que yo digo, es como un hombre prudente que construyó su casas sobre la roca. Vino la lluvia, crecieron los ríos y soplaron los vientos contra la casa; pero no cayó, porque tenía su base sobre la roca. Pero el que me oye y no hace lo que yo digo, es como un tonto que construyó su casa sobre la arena. Vino la lluvia, crecieron los ríos, soplaron los vientos y la casa se vino abajo . Fue un gran desastre”**

**Mateo 7:24-27**