

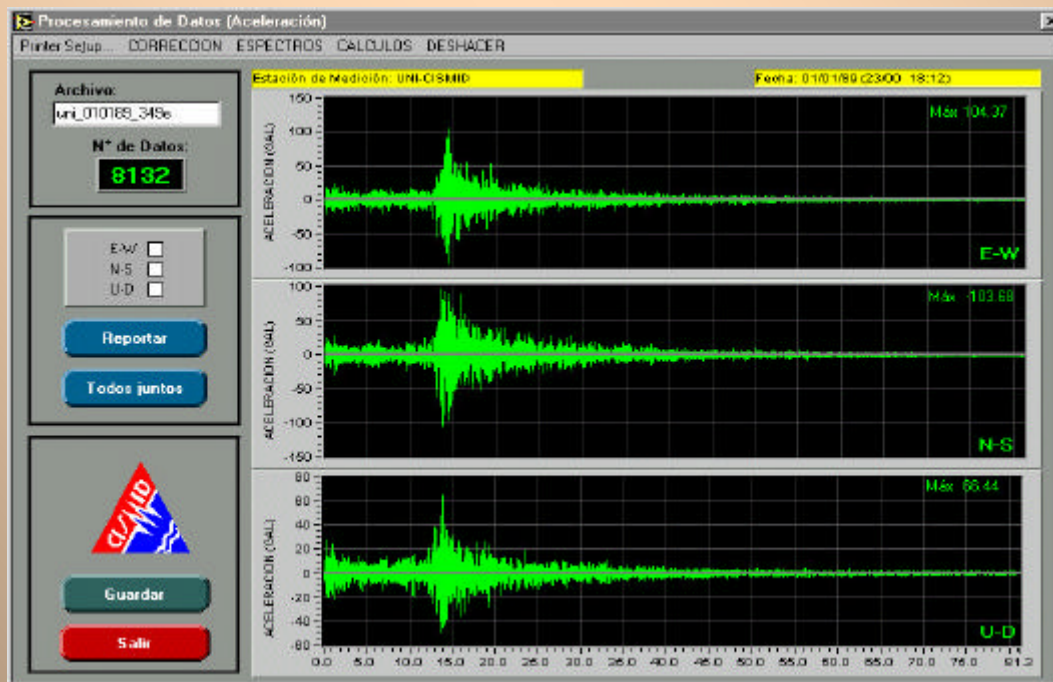
**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA**

**FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL**

Programa Científico PC - CISMID, 1999-2000

# IMPLEMENTACION DEL SISTEMA DE ADQUISICION DE DATOS PARA LA RED ACELEROGRAFICA DEL CISMID-FIC

**Dr. Ing. Zenón Aguilar Bardales**  
**Bach. Ing. Ramiro Piedra Rubio**



Centro Peruano Japonés de Investigaciones Sísmicas y Mitigación de Desastres



Enero 2001  
Lima - Perú

## **INFORME DE INVESTIGACION**

### **IMPLEMENTACION DEL SISTEMA DE ADQUISICION DE DATOS PARA LA RED ACELEROGRAFICA DEL CISMID - FIC**

Dr. Ing. Zenón Aguilar Bardales \*  
Bach. Ing. Ramiro Piedra Rubio \*\*

---

\* Investigador CISMID

\*\* Asistente de Investigación

## **RECONOCIMIENTOS**

El presente proyecto de investigación fue posible desarrollarlo gracias a la ayuda del Programa Científico PC - CISMID 1999-2000 del Centro Peruano Japonés de Investigaciones Sísmicas y Mitigación de Desastres, por lo cual los autores desean agradecer este apoyo desinteresado.

Expresamos nuestro agradecimiento a todas las personas y entidades que han contribuido con el desarrollo de la presente investigación, al personal del CISMID en general nuestro más grande reconocimiento.

## RESUMEN

El Centro Peruano Japonés de Investigaciones Sísmicas y Mitigación de Desastres (CISMID) de la Facultad de Ingeniería Civil - UNI, cuenta con una red de 15 acelerógrafos instalados en las principales ciudades del país. Este sistema de observación sísmica, si bien es limitado por el número de instrumentos con que cuenta, constituye una fuente importante de información para la comunidad científica e ingeniería en general. Los acelerógrafos y los equipos de adquisición y procesamiento de datos fueron donados por el gobierno japonés hace más de 10 años, y han venido operando continuamente desde su instalación. En la actualidad el sistema de adquisición de datos, consistente en una computadora NEC ha quedado obsoleto, por lo cual se ha visto la necesidad de implementar un nuevo sistema que permita adquirir y procesar la información registrada en la red. En el presente artículo se describe las características de este nuevo sistema de adquisición de datos desarrollado en el Laboratorio Geotécnico del CISMID.

Bajo el entorno del programa LAB VIEW se ha desarrollado un programa de adquisición de datos denominado "Procesamiento del Registro Acelerográfico de la Red Nacional", que permite la obtención de los datos en formato ASCII. Este programa, tiene las siguientes características:

- Datos del Evento.
- Menú de Control: Se escogen los canales a leer.
- Lectura de la calibración del equipo.
- Lectura de la fecha y hora de registro del evento.
- Lectura de registro sísmico.
- Grabación de registro sísmico.
- Impresión de Resultados.

Se ha implementado el programa de procesamiento de datos. Este programa presenta las siguientes características:

- Corrección por línea base: Para evitar un error de función escalón en el acelerograma.
- Filtros: Se puede aplicar filtros pasa bajas, filtros pasa altas o filtros pasa banda utilizando ventanas rectangulares.
- Obtención del tiempo-historia de velocidades y desplazamientos.
- Espectro de Fourier
- Espectro de Respuesta para diversos factores de amortiguamientos críticos.

El sistema de adquisición y procesamiento de datos desarrollado permitirá elaborar una base de datos con toda la información registrada hasta la fecha, así como mantener operativa nuestra red, para que en el caso de la ocurrencia de un evento sísmico futuro se registre y procese rápidamente las señales sísmicas. Esta información es muy importante sobre todo cuando son urgentes las tareas de reconstrucción y es necesario conocer las intensidades del movimiento para el diseño sismoresistente de las estructuras.

Este sistema de adquisición de datos puede ser utilizado también para la adquisición y procesamiento de registros de microtrepidaciones, por lo cual se constituye en una herramienta importante para los estudios de dinámica de suelos.

# INDICE

## **1.0 ANTECEDENTES**

## **2.0 OBJETIVOS**

## **3.0 ACTIVIDADES DESARROLLADAS**

### 3.1 Implementación del Hardware

### 3.2 Equipos Utilizados

#### 3.2.1 Acelerógrafo

#### 3.2.2 Unidad Lectora

#### 3.2.3 Convertidor Análogo-Digital

#### 3.2.4 Interfase de Comunicaciones

#### 3.2.5 Software

### 3.3 Implementación del Programa de Adquisición de Datos

## **4.0 PROGRAMA DE ADQUISICION DE PROCESAMIENTO DE REGISTROS ACELEROGRAFICOS DE LA RED NACIONAL**

### 4.1 Lectura de los Datos del Evento

#### 4.1.1 Lectura de la Calibración del Equipo

#### 4.1.2 Lectura de la Fecha y Hora del Evento

#### 4.1.3 Lectura del Registro Sísmico

### 4.2 Programa de Procesamiento de Datos

## **5.0 BASE DE DATOS**

## **6.0 PROGRAMA DE ADQUISICION Y PROCESAMIENTO DE REGISTRO DE MICROTREPIDACIONES**

## **7.0 APLICACIONES**

## **8.0 CONCLUSIONES**

## **REFERENCIAS**

**ANEXO I** Procesamiento de Registro Sísmico del 01 de Enero de 1989

**ANEXO II** Ensayo de Microtrepidaciones de Puentes de Huancayo

# **IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA DE ADQUISICIÓN DE DATOS PARA LA RED ACELEROGRAFICA DEL CISMID**

## **1.0 ANTECEDENTES**

El CISMID cuenta con una red acelerográfica con 15 instrumentos ubicados en las ciudades más importantes del país.

Estos equipos fueron donados por el gobierno de Japón el año 1989 y contaba con un sistema de adquisición de datos implementada sobre la base de una computadora NEC con sistema operativo D.O.S. japonés. Debido al tiempo que ha transcurrido el sistema a quedado obsoleto, por lo que prácticamente ha sido imposible obtener y procesar la información registrada.

En vista de esto se ha presentado un proyecto para elaborar un sistema de adquisición de datos que sea compatible al sistema IBM el cual permita recuperar la información obtenida durante estos años y así desarrollar una base de datos de la información registrada.

## **2.0 OBJETIVOS.-**

Implementar un hardware que permita la adquisición directa y rápida de los registros sísmicos obtenidos por la red de acelerógrafos del CISMID, así como de un software integrado para el procesamiento de dichos datos.

Este sistema permitirá reemplazar el actual sistema de adquisición de datos que ha quedado obsoleto, así como implementar una base de datos con la información sísmica registrada hasta la fecha. Esta información será de mucha utilidad en los proyectos de investigación que se desee realizar en el futuro inmediato.

## **3.0 ACTIVIDADES DESARROLLADAS.**

### **3.1 Implementación del Hardware**

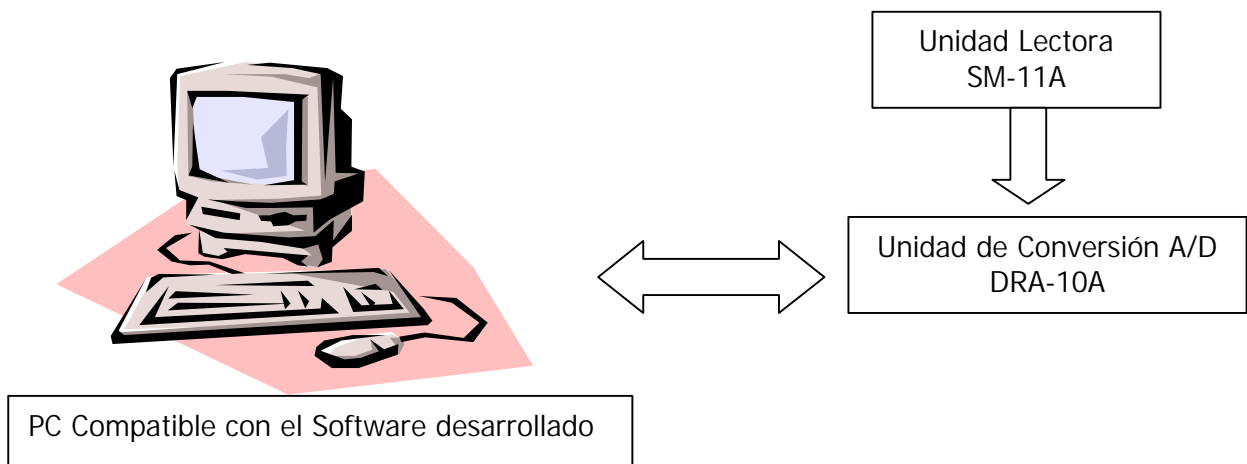
Para cumplir con los objetivos propuestos se ha adquirido una computadora Pentium 330 Mhz con un disco duro de 4 Gb. Asimismo se ha adquirido una tarjeta de adquisición de datos GPIB, que nos permite la comunicación entre la computadora, un convertidor analógico digital y la unidad lectora.

### **3.2 Equipos Utilizados**

Para la Implementación del Sistema de Adquisición de Datos se utilizaron los equipos existentes en el laboratorio tales como los sensores de adquisición de datos (acelerógrafos), el convertidor análogo-digital y la unidad lectora, así como

una interfase de comunicaciones, que se tuvo que adquirir para poder controlar todo el sistema desde una computadora personal compatible. El software se desarrolló en un lenguaje de programación de última generación, con características gráficas y bajo entorno de Windows 95.

La Figura 1 muestra un diagrama esquemático de la forma en que se integraron todos estos equipos.



**Fig. 1: Diagrama esquemático del sistema de adquisición de datos**

Seguidamente se describen las características de cada uno de estos equipos y software integrantes del sistema de adquisición de datos.

### 3.2.1 Acelerógrafo

- Modelo: SM-10B
- Fabricante: Rion Co., Ltd.
- Características:
  - ✓ Registro simultáneo de datos de aceleración de las ondas sísmicas, para un plano vertical y dos planos horizontales, sobre una cinta magnética.
  - ✓ Una unidad opcional, permite el registro de la información del tiempo.
  - ✓ Inicio de registro automático, cuando la vibración excede el nivel del trigger; y finalización del mismo, después de 30 segundos de que la vibración esté por debajo de dicho nivel.
  - ✓ Batería interna recargable que proporciona una operación de hasta 15 horas sin alimentación externa, permitiendo hasta 05 registros de eventos.
  - ✓ Capacidad de conexión de maestro/esclavo para la conexión de múltiples unidades.

- Función:

Registrar los movimientos sísmicos y almacenarlos en una cinta magnética conjuntamente con la información del tiempo de disparo y el número de serie del instrumento activado.

### 3.2.2 Unidad Lectora

- Modelo: SM-11A

- Fabricante: Rion Co., Ltd.

- Características:

- ✓ El principio de demodulación esta basado en un PLL (phase-locked loop)
- ✓ Ganancia conmutable x1 y x10 para la salida de la señal
- ✓ Botonera de comando para la manipulación de la cinta magnética.

- Función:

Reproducir y transmitir las señales contenidas en los cassettes hacia el convertidor A/D. Las cintas magnéticas poseen tres pistas, donde se almacenan los datos de las tres componentes de los acelerogramas.

### 3.2.3 Convrtidor Análogo-Digital

- Modelo: DRA-10A

- Fabricante: Tokio Sokki Kenkyujo Co., Ltd.

- Características:

- ✓ Canales de conversión A/D y registro de los valores digitales en forma independiente.
- ✓ Capacidad de memoria de 16 Kpalabras/canal
- ✓ No requiere configurar el rango – auto configurable.
- ✓ Mediciones en línea con un computador, vía RS-232 o GPIB

- Función:

Convertir las señales analógicas provenientes de la unidad lectora, en señales digitales y poner estos datos a disposición para el uso posterior del software. El modo de ingreso de las señales a esta unidad es por medio de sus conectores de tipo BNC, y la salida en forma digital por medio de un conector GPIB, que se conecta a la computadora personal por medio de la Tarjeta de comunicaciones



PCI-GPIB. Dentro del sistema, este equipo es controlado totalmente por la PC.

### 3.2.4 Interfase de Comunicaciones

- Modelo: PCI-GPIB
- Fabricante: National Instruments
- Características:
  - ✓ Velocidad de comunicación de 8 Mbytes/segundo
  - ✓ Insertable en cualquier computador personal con bus PCI
  - ✓ Capacidad de manejar hasta 31 dispositivos GPIB.
  - ✓ Totalmente configurable desde Windows.
- Función:

Esta interfase es la encargada de controlar el convertidor análogo digital modelo DRA-10A mediante el protocolo de comunicación GPIB ó IEEE488, desde una computadora personal.

### 3.2.5 Software:

Se ha adquirido el programa LabVIEW para desarrollar el software de adquisición y procesamiento de datos. Este programa es muy versátil para el manejo de datos y permite una programación visual, así como una comunicación fluida con los diferentes componentes del sistema.

LabVIEW (Laboratory Virtual Instrument Engineering Workbench) es un lenguaje poderoso de instrumentación y análisis para PCs que corre bajo sistemas Microsoft Windows, estaciones Sun, SPARCStacions, computadoras Apple Macintosh, PowerMac concurrente y estaciones de trabajo HP-UX. LabVIEW se distingue de la naturaleza secuencial de los lenguajes tradicionales de programación y provee un ambiente de programación gráfico con todas las herramientas necesarias para la adquisición, análisis y presentación de datos.

Con este lenguaje gráfico de programación llamado "G", se puede programar utilizando una notación de diagramas de bloques, que es la notación de diseño natural para los ingenieros y científicos. Después de que se ha creado el programa con diagramas de bloques, LabVIEW lo compila en código de maquina. LabVIEW integra la adquisición, el análisis y la presentación de datos en un solo sistema. Para adquirir datos y controlar instrumentos, LabVIEW tiene funciones de RS-232/485, IEEE 488 (GPIB), VXI y VISA (Virtual Instrument Software Architecture); y también soporta tarjetas insertables de adquisición de datos DAQ.

### 3.3 Implementación del Programa de Adquisición de Datos

Bajo el entorno del programa LabVIEW se ha desarrollado un programa de adquisición de datos denominado Procesamiento del Registro Acelerográfico de la Red Nacional (Figura 2), el cual permite la obtención de los datos en formato ASCII, que pueden ser procesados con cualquier tipo de software.



Fig. 2: Panel Principal del Programa

El Programa de Adquisición de Datos y Procesamiento de los registros sísmicos obtenidos en los acelerógrafos de la red nacional, fue desarrollado íntegramente en el Laboratorio Geotécnico del Centro de investigaciones Sísmicas y Mitigación de Desastres (CISMID). Para la implementación de este programa se han considerado dos etapas: La primera etapa consiste en la recuperación de los datos de las cintas magnéticas y su digitalización, lo cual involucra la comunicación con el convertidor A/D y el control de éste; así como el almacenamiento de los datos en formato ASCII, en el disco duro del computador. La segunda etapa, consiste en todo el proceso de procesamiento, en el que se implementaron los algoritmos correspondientes a la corrección por línea base, filtros digitales, transformadas de Fourier, espectros de respuesta, etc.

El Lenguaje de programación que se ha usado es el **LabVIEW** del fabricante NATIONAL INSTRUMENTS. Los programas en LabVIEW son llamados *instrumentos virtuales (VIs)* debido a que en su apariencia y operación, pueden imitar a instrumentos actuales. Sin embargo, los **VIs** son similares a las funciones de los lenguajes en los programas convencionales. Un **VI** consiste de un interfase interactivo con el usuario, un diagrama de flujo de datos que sirve como código fuente, y un icono con conexiones que permite al VI ser llamado desde VIs de mas alto nivel. Mas específicamente, está estructurado de la siguiente manera:

- La interfase interactiva es denominada *Panel Frontal*, debido a que simula el panel físico de un instrumento para el usuario de un VI. El panel frontal puede contener perillas, botones, gráficos, y otros controles o indicadores.

Se puede ingresar datos usando el mouse o el teclado y ver los resultados sobre la pantalla del computador.

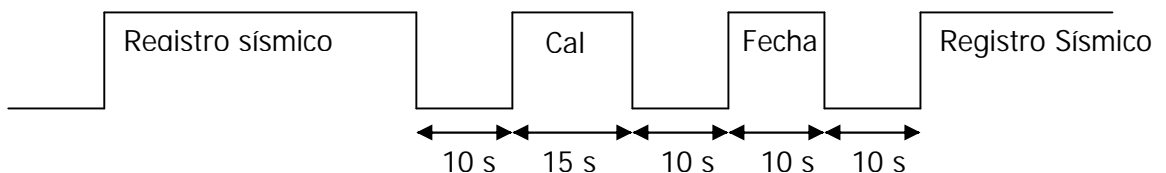
- El VI recibe instrucciones desde un *diagrama de bloques* que está construido en lenguaje G. El diagrama de bloques es una solución gráfica a un problema de programación. Este diagrama es asimismo el código fuente para el VI. Los VIs tienen jerarquías y son modulares. Se pueden usar VIs como programas de alto nivel, o como subprogramas dentro de otros programas o subprogramas. Un VI dentro de cualquier otro VI es llamado *SubVI*. El icono y conector de un VI, trabaja como un parámetro gráfico listo para que otros VIs puedan pasar datos a un SubVI.

#### 4.0 PROGRAMA DE ADQUISICION Y PROCESAMIENTO DE REGISTROS ACELEROGRAFICOS DE LA RED NACIONAL

Seguidamente se describen paso a paso cada una de las dos etapas que comprende el desarrollo del programa de Procesamiento de Registros Acelerográficos de la Red Nacional. Dentro de la etapa de adquisición de datos es necesario conocer el formato de la información contenida en las cintas magnéticas, por lo que se presenta también una descripción del mismo.

##### 4.1 Lectura de los Datos del Evento

Los datos de los eventos almacenados en las cintas magnéticas tienen un orden establecido por el fabricante, el cual es necesario detallar. El formato en que se graban los datos se muestra en la Figura 3:



**Fig. 3: Formato de Grabación de los Datos**

**Registro Sísmico:** En este intervalo están contenidos todos los datos referentes al evento sísmico, el tiempo de grabación depende de la configuración del acelerómetro en campo. Asimismo; la señal de disparo o trigger para que se inicie la grabación de cualquier evento es configurable por el usuario, usualmente se coloca en 5 Gal.

**Cal:** Aquí están contenidos los datos de calibración del acelerómetro, y consta de una señal sinusoidal que el acelerómetro emite después de ocurrido un evento. Estos datos servirán posteriormente para corregir las señales sísmicas por un factor de calibración, calculado automáticamente por el software.

**Fecha:** En esta parte de la información almacenada, el equipo imprime en la cinta la fecha y hora de ocurrencia del evento así como el número de serie del equipo en cuestión.

#### 4.1.1 Lectura de la Calibración del Equipo

Cuando se van a procesar los datos de un registro, lo primero que se debe hacer es leer la calibración del equipo. Esta operación consiste en reproducir la parte de la cinta correspondiente a los datos de calibración por un periodo de aproximadamente 15 segundos, lo que nos permite calcular los factores de calibración correspondientes a cada canal. La señal de calibración es una onda sinusoidal con periodo de 3 Hz y una amplitud de 100 Gal y es emitida por el acelerómetro después de ocurrido un evento.

**Factores de Calibración:** Los factores de calibración que se obtienen para cada canal, como resultado de la calibración del equipo, se calcula mediante la fórmula:

$$\text{Factor de Calibración} = 200 / (Ma + Mi)$$

Donde:

Ma: Amplitud máxima de la señal de calibración emitida por el acelerómetro, para el evento dado.

Mi: Amplitud mínima de la señal de calibración emitida por el acelerómetro, para el evento dado.

\* El factor ideal para cada canal es igual a 1, dado que la amplitud de la señal de calibración es 100 Gal, y por lo tanto, idealmente  $Ma = Mi = 100$ . Como ello no ocurre realmente, este factor corrige la señal obtenida a su valor verdadero.

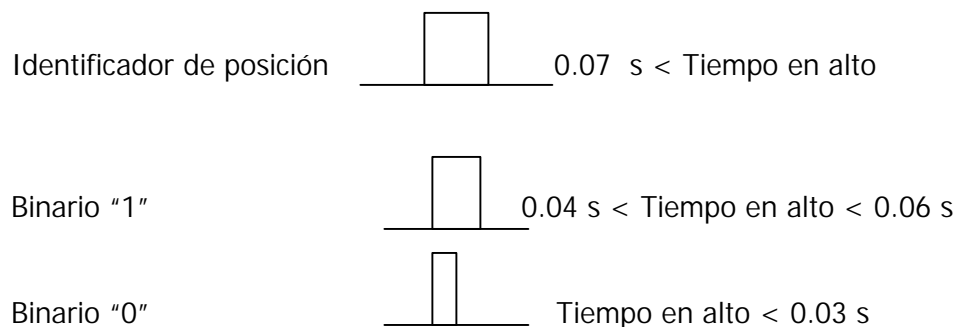
#### 4.1.2 Lectura de la Fecha y Hora del Evento

Cuando un evento es registrado, el acelerómetro emite una señal de calibración a continuación de haber grabado los datos sísmicos; pero además, registra el mes, el día y la hora de ocurrencia del evento, así como el número de serie del instrumento, en forma codificada.

La codificación binaria, con que el equipo registra la fecha y el número de serie del instrumento es la siguiente:

|             |         |
|-------------|---------|
| N° de Serie | 2 bytes |
| Mes         | 1 Bytes |
| Día         | 1 Bytes |
| Hora        | 1 Bytes |
| Minutos     | 1 Bytes |

Para diferenciar el número lógico uno "1" del cero "0", se procede de la siguiente manera:



El software, diferencia mediante un algoritmo, el tiempo de duración de cada bit y le asigna un valor (Cero o Uno) y luego convierte el número binario resultante a un número decimal.

#### 4.1.3 Lectura del Registro Sísmico

Para realizar la lectura del registro sísmico desde las cintas magnéticas se procede de la siguiente manera:

- A. Se inicia el programa en la PC, cuyo panel principal se observa en la Fig. 2. Con la opción "OK" se presenta el panel de ingreso de datos generales del evento, donde se debe especificar el nombre de la estación de medición, la fecha de procesamiento, el nombre del archivo en el que se van a almacenar los datos de campo y el número del evento para esta estación (Figura 4). Se valida la información introducida con la opción "OK".



Fig. 4: Panel de Ingreso de Datos Generales

- B. Seguidamente se activa el panel de control (Figura 5), que es el que controla todos los procesos a realizar durante la adquisición de los datos. Como primera acción se deberá verificar los canales que se están utilizando para recibir los datos desde la unidad lectora, comprobando la conexión física de los tres canales en el convertidor A/D y activando con el mouse los canales respectivos en el software (los canales están numerados del uno al ocho). Se indicara la selección cuando éstos cambian de gris a rojo. No es posible elegir más de tres canales durante este proceso.



Fig. 5: Panel de Control del Sistema de Adquisición de Datos

El casillero denominado "**Memoria**", se refiere a la cantidad de memoria del convertidor A/D que se va a usar para almacenar los datos digitalizados. Este valor está ligado al Intervalo de Digitalización o Frecuencia de Muestreo, así, para un intervalo de 10 ms ( 100 Hz) el máximo valor de memoria es 4096, lo cual permite leer un tiempo total de 40 segundos. Mayores tiempos de registro podrán leerse utilizando una menor frecuencia de muestreo.

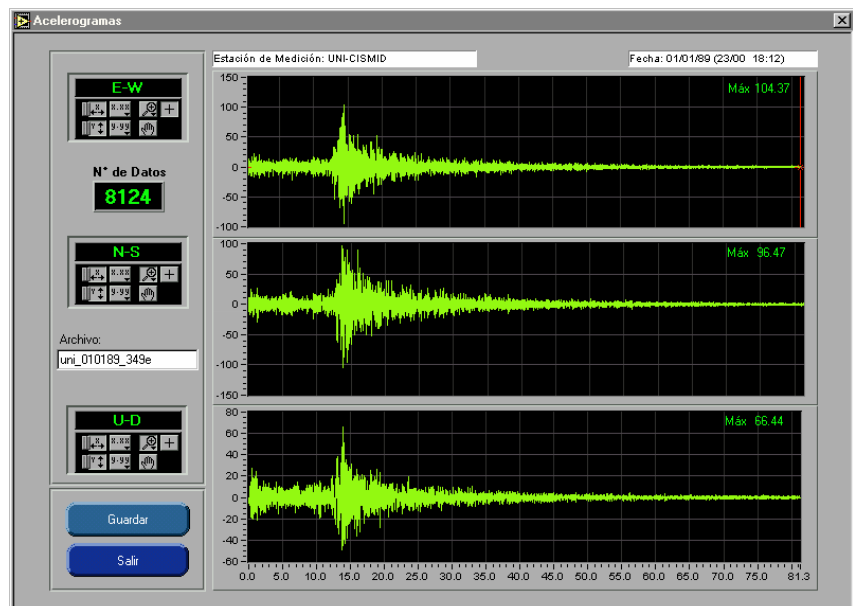
A los factores de calibración se asigna por defecto el valor de uno. Para calcular los valores reales se debe realizar la lectura de la señal de calibración.

**Calibrar:** Esta opción permite leer la señal de calibración y obtener automáticamente los factores de calibración de cada canal. Esto se logra reproduciendo el segmento de calibración grabado en la cinta y activando la opción "**calibrar**" simultáneamente. La Figura 6 muestra la señal de calibración de un evento determinado y sus respectivos factores de calibración. Una vez concluida esta operación, los factores de calibración son colocados en el panel de control y el comando del programa regresa a dicho panel.

**Aceleración:** Esta opción permite la lectura de los datos del registro sísmico. Al activar esta opción, los valores de memoria e intervalo de digitalización son puestos por el software a 4096 bytes y 10 ms respectivamente. Con estos valores es posible leer y digitalizar los datos desde la cinta por un periodo de 40 segundos interrumpidamente. Al igual que en la opción de calibración, la señal sísmica deberá ser reproducida en forma simultánea al momento de activar esta opción. En la Figura 7 se muestra un registro sísmico luego de ser leído de la cinta de grabación.

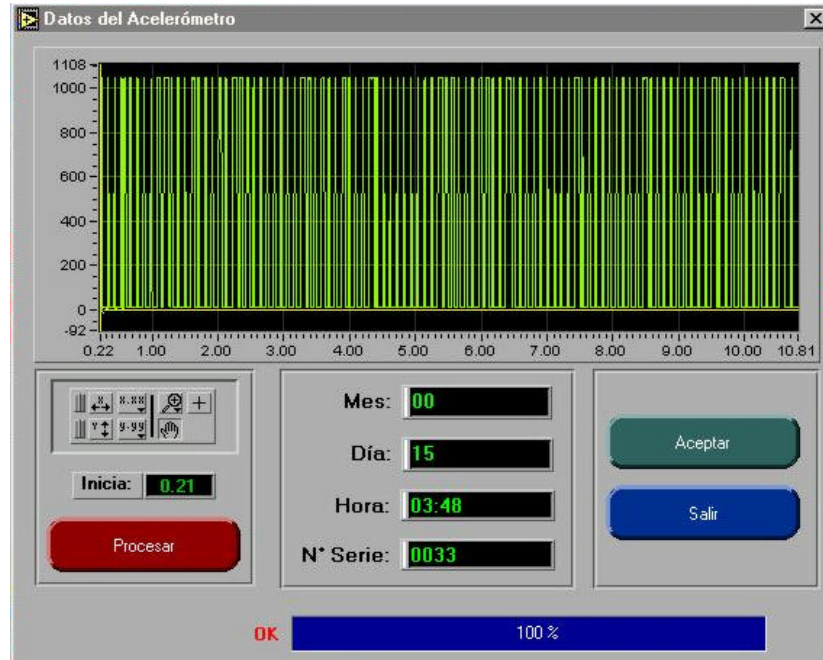


**Fig. 6: Señal de Calibración del Instrumento y sus respectivos Factores de Calibración**



**Fig. 7 : Registro Sísmico obtenido en forma digital con el programa de Adquisición implementado**

**M/D/H:** Esta opción permite recuperar la fecha y el número de serie del instrumento. La activación de esta opción deberá realizarse simultáneamente con la reproducción del segmento de la cinta que contiene la señal de tiempo.



**Fig. 8 : Registro del Tiempo Obtenido del generador del Código de Tiempo**

**CONVERTIR:** Su función es similar a la opción "**Aceleración**", sin embargo, esta opción permite leer la señal del evento sísmico con valores predeterminados de memoria e intervalo de digitalización, que son ingresados desde el teclado.

**RESET:** Esta opción pone a cero el valor de memoria e intervalo de digitalización, y a uno a los factores de calibración. Así mismo, deja deselecciona los canales.

Cuando en el programa se elige cualquiera de las opciones para la lectura de los datos, se debe presionar en forma simultánea el botón **Play** del reproductor. Una vez que se hace esto, el programa en la PC toma el control del sistema, activando el convertidor DRA-10A, para realizar:

- ✓ La rutina se inicia con la verificación de que el equipo está encendido y que además ha sido configurado con la dirección 20 para la comunicación vía el bus GPIB.
- ✓ Hace un Reset al equipo para limpiar la memoria de eventos anteriores.



- ✓ Se reconocen los canales seleccionados y se separa la cantidad de memoria seleccionada para cada canal.
- ✓ Se activa el reloj para el periodo de digitalización.
- ✓ Se activa un filtro pasa-bajo de 30 Hz para eliminar las frecuencias altas.
- ✓ Se inicia la lectura de los datos digitalizados.
- ✓ Se muestran los datos en pantalla de los tres canales.

Los datos se almacenan en formato ASCII con el nombre de archivo asignado, en el disco duro de la PC y pueden ser utilizados por cualquier otra aplicación bajo Windows o DOS.

## 4.2 Programa de Procesamiento de Datos

Para procesar los registros obtenidos se ha implementado el programa de procesamiento de datos, el cual tiene acceso desde el panel principal (Fig. 2) desde el icono "ARCHIVO" y tiene las siguientes características:

- **Corrección por línea base:** Consiste en eliminar los desplazamientos del eje o línea cero ocurridos al momento de la grabación de la señal sísmica. Esto se realiza con la finalidad de evitar un error de función escalón, que introduciría errores inaceptables al momento integrar el acelerograma para calcular las velocidades y desplazamientos.
- **Filtros:** Los filtros se utilizan para eliminar grupos de ondas cuyos contenidos de frecuencias están fuera del rango de interés para el análisis. En el programa se han implementado filtros pasa bajas, filtros pasa altas, filtro pasa banda utilizando ventanas rectangulares. La Figura 9 muestra la ventana de selección de filtros.

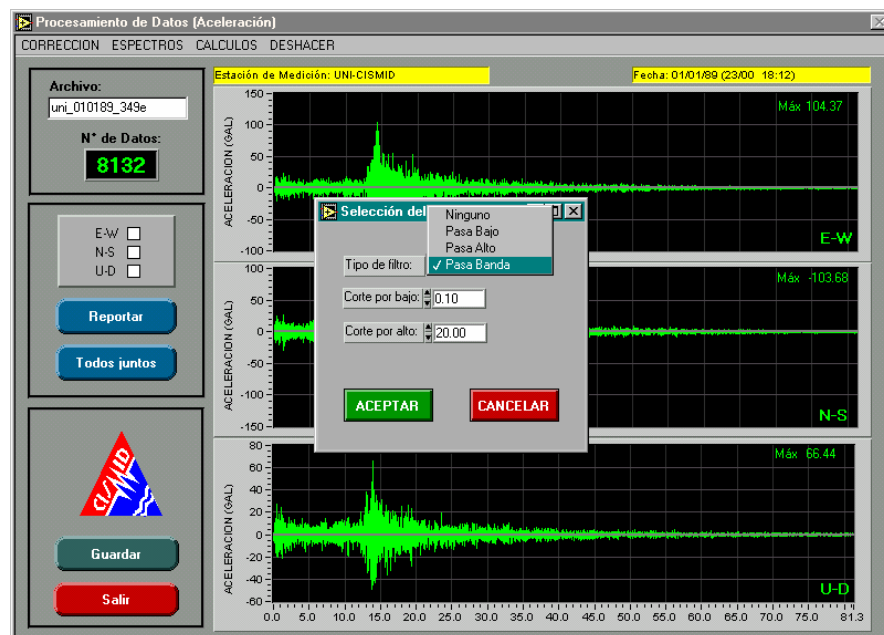
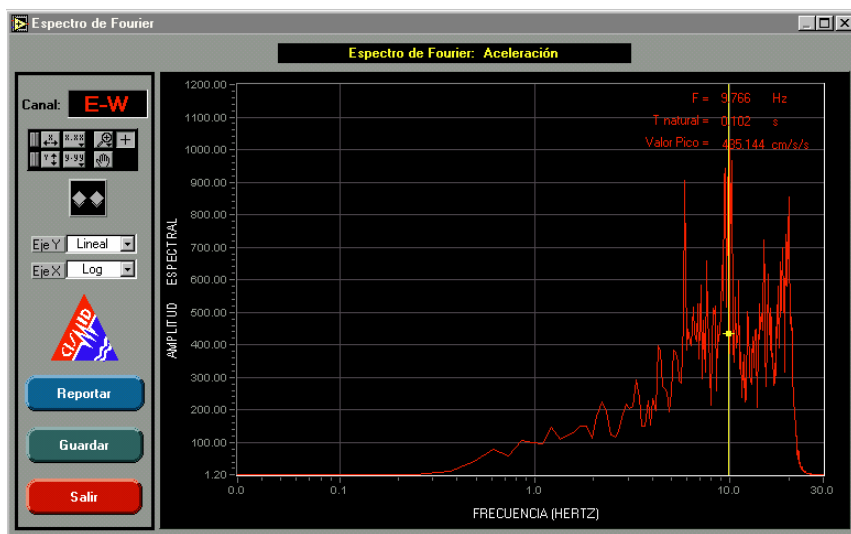


Fig. 9: Selección de Filtros Digitales

- **Obtención del tiempo-historia de velocidades y desplazamientos.** Mediante integración numérica en el dominio del tiempo se obtienen los tiempo historia de velocidades y desplazamientos para cada uno de los componentes del registro. Si se presentan alteraciones de la señal sísmica por errores introducidos durante el proceso de integración, éstas deberán ser eliminadas utilizando los filtros convenientes, los que deberán ser elegidos por el operador.
- **Espectro de Fourier:** Calcula la transformada rápida de Fourier para cada componente de la señal sísmica, la cual puede ser representada en escalas aritméticas, logarítmicas o una combinación de ellas (Figura 10).



**Fig. 10: Espectro de Fourier del Acelerograma registrado en el Cismid el 01/01/89 (Componente E-W)**

- **Espectro de Respuesta Elástico:** El espectro de respuesta elástico es calculado mediante integración numérica, utilizando el método  $\beta$  de Newmark, considerando diferentes factores de amortiguamientos críticos, los que son dados por el operador desde el teclado.

Todas estas opciones del programa están implementadas con un comando "reporte" que imprime los resultados en un formato establecido. A manera de ejemplo, en el Anexo I se presenta los resultados del procesamiento del registro del sismo del 01 de Enero de 1989, obtenido en la estación acelerográfica ubicada en el CISMID.

## 5.0 BASE DE DATOS

Una vez implementado el Programa de Adquisición y Procesamiento de Datos, se ha procedido a revisar todas las cintas de registro obtenidas en las diferentes estaciones con la finalidad de generar una base de datos con la información

existente. En varias de las estaciones se han encontrado registros sísmicos importantes, sin embargo, en la mayoría de ellos es difícil identificar su fecha de ocurrencia, debido en gran parte al mal funcionamiento del reloj interno por los continuos cortes del fluido eléctrico. En consecuencia, solamente se han podido identificar algunos de los eventos que serán codificados en nuestro catálogo.

Este sistema de adquisición y procesamiento de datos servirá para obtener en forma rápida y oportuna la información registrada en la red de acelerógrafos del CISMID cuando se produzca un movimiento sísmico de importancia.

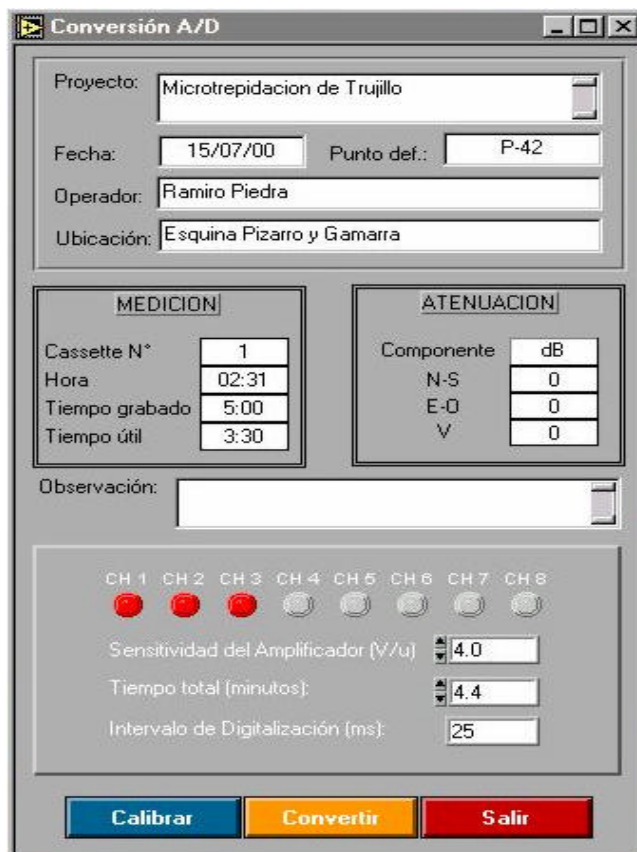
## 6.0 PROGRAMA DE ADQUISICIÓN Y PROCESAMIENTO DE REGISTRO DE MICROTREPIDACIONES

- En vista de la similitud del proceso de adquisición de datos de los registros acelerográficos y de microtrepidaciones se ha implementado el sistema de adquisición y procesamiento de datos para el registro de microtrepidaciones (Figura 11), el cual permitirá un procesamiento mucho más elaborado de estas señales, permitiendo así una mejor interpretación de los registros y una obtención de información mucho más completa sobre las características dinámicas de los suelos.



**Fig. 11: Panel Principal del Programa de Adquisición y Procesamiento de Microtrepidaciones**

La información general del proyecto, su ubicación y datos como la fecha de grabación, identificación del punto y condiciones de la grabación son ingresados en un panel de control. En este panel también se activan los canales a usar y se define el tiempo de grabación y la frecuencia de muestreo (Figura 12).



Conversión A/D

Proyecto: Microtrepidacion de Trujillo

Fecha: 15/07/00 Punto def.: P-42

Operador: Ramiro Piedra

Ubicación: Esquina Pizarro y Gamarra

| MEDICION       |       |
|----------------|-------|
| Cassette N°    | 1     |
| Hora           | 02:31 |
| Tiempo grabado | 5:00  |
| Tiempo útil    | 3:30  |

| ATENUACION |    |
|------------|----|
| Componente | dB |
| N-S        | 0  |
| E-O        | 0  |
| V          | 0  |

Observación:

CH 1 CH 2 CH 3 CH 4 CH 5 CH 6 CH 7 CH 8

Sensibilidad del Amplificador (V/u): 4.0

Tiempo total (minutos): 4.4

Intervalo de Digitalización (ms): 25

Calibrar Convertir Salir

**Fig. 12: Ingreso de la Información General y los Datos de Grabación de las Microtrepidaciones**

Luego de realizar la lectura de los datos de la onda de microtrepidaciones, las gráficas de las tres componentes son presentadas en pantalla, donde se pueden realizar las correcciones necesarias, como corrección por línea base y filtrados. Así mismo el programa permite eliminar los segmentos de onda con alta interferencia, para lo cual se selecciona el segmento a cortar en una de las componentes y la operación se realiza simultáneamente en las tres componentes. La señal corregida se graba en el disco duro, para luego proceder a su procesamiento.

En el procesamiento de la señal de microtrepidaciones se pueden determinar los espectros de Fourier (Figura 13) y las relaciones espectrales H/V (Figura 14), a partir de las cuales se determina el periodo de vibración fundamental del suelo en el lugar de medición. Los resultados son impresos en formatos predefinidos, como se muestra en el Anexo II, donde se presenta los resultados de las mediciones realizadas en la cimentación de un puente en la ciudad de Huancayo.

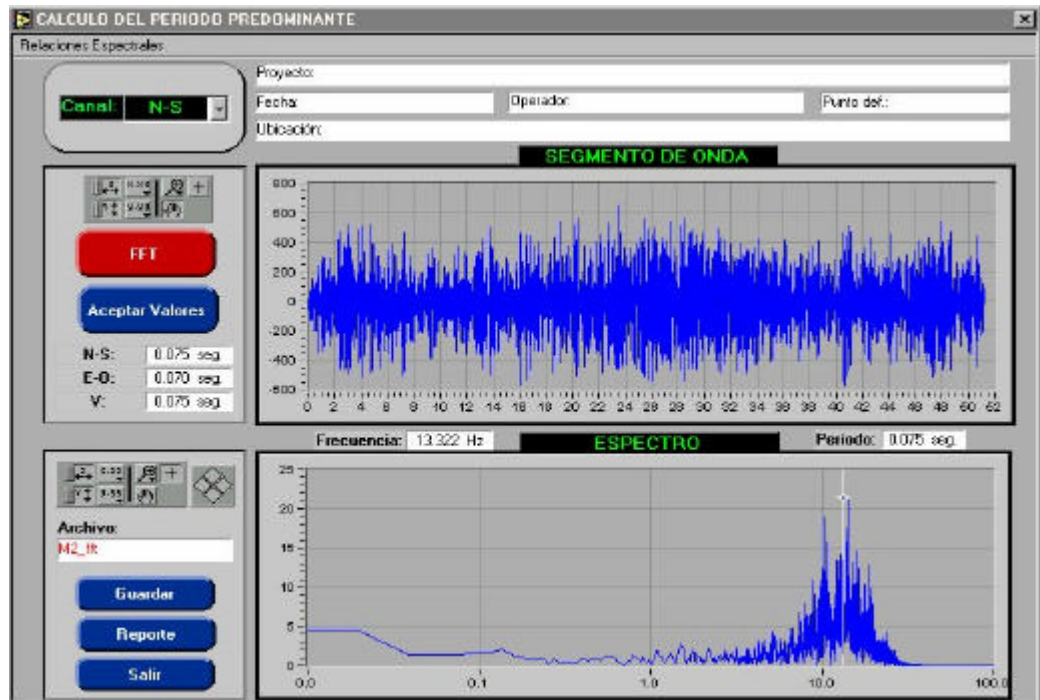


Fig. 13 : Espectro de Fourier y Periodos Predominantes

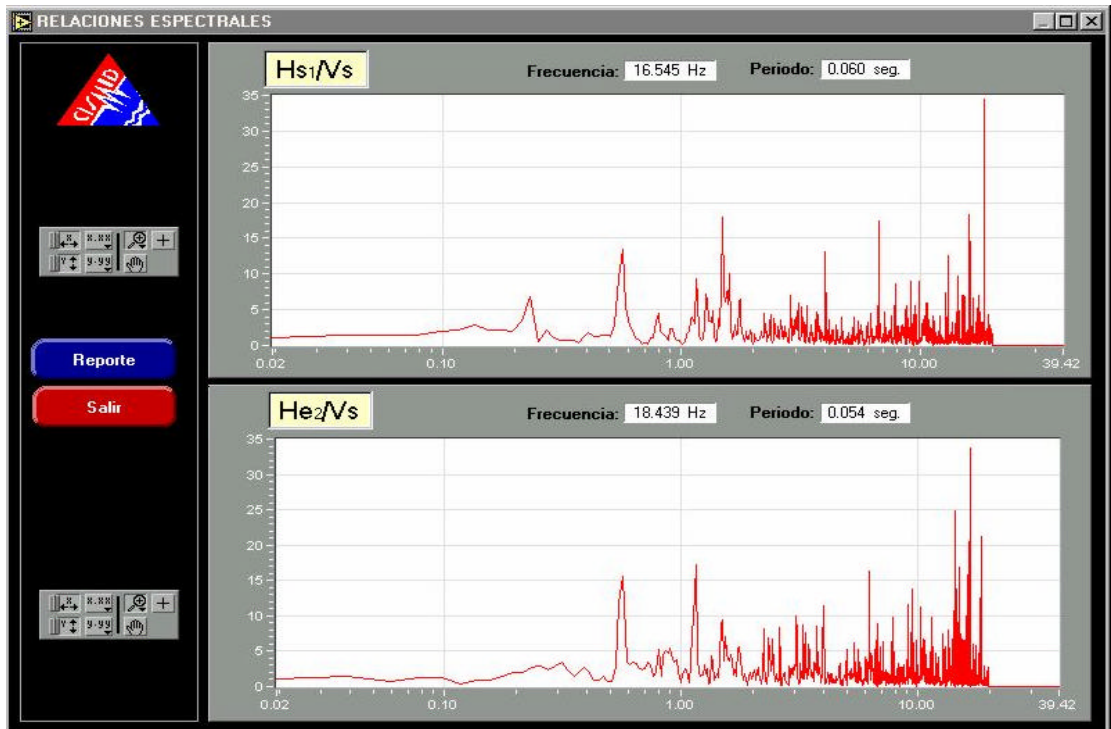


Fig. 14 : Relaciones Espectrales H/V

## 7.0 APLICACIONES

- \* La información sísmica obtenida con el Programa de Adquisición y Procesamiento de Acelerogramas está siendo utilizada en una investigación consistente en la estimación de los acelerogramas del sismo de Lima de Octubre de 1974.
- \* Con el Programa de Adquisición y Procesamiento de Registros de Microtrepidaciones se ha realizado el procesamiento de datos de microtrepidaciones de la ciudad de Trujillo, el cual viene siendo usado en el desarrollo de la Tesis sobre la Microzonificación Sísmica de Trujillo (UPAO).

## 8.0 CONCLUSIONES

Como resultado de este trabajo de investigación se han logrado desarrollar las siguientes actividades:

- Se ha implementado el Programa de Adquisición y Procesamiento de Registros de la Red Acelerográfica del CISMID. Este programa ha sido implementado bajo entorno Windows con el software LabVIEW.
- Se ha revisado y procesado la información sísmica registrada en todas las estaciones de la red.
- No ha sido posible incluir toda la información sísmica registrada en una base de datos, debido a la carencia del registro de la fecha de ocurrencia de la mayoría de los eventos; pues dicha información ha sido almacenada incorrectamente por mal funcionamiento del reloj interno de los instrumentos, generados por los continuos cortes del fluido eléctrico.
- Se ha implementado un Programa de Adquisición y Procesamiento de Registro de Microtrepidaciones. Esto ha sido factible en vista de la similitud en el proceso de manipulación de estos registros con los de registros sísmicos
- - Estos programas implementados se han convertido en herramientas importantes para el desarrollo de otras investigaciones. Por el momento se están realizando dos investigaciones con la información del presente trabajo. La primera de ellas consiste en estimar el movimiento sísmico en la ciudad de Lima para el sismo de Octubre de 1974 utilizando registros de pequeños eventos obtenidos en la estación del CISMID. La segunda es la Microzonificación Sísmica de Trujillo, para la cual se han realizado mediciones de microtrepidaciones en dicha ciudad y procesado utilizando el programa implementado.

## REFERENCIAS.-

- Hudson D. E. (1979), "Reading and Interpreting Strong Motion Acelerograms". Earthquake Engineering Research Institute, Berkeley, California, U.S.A.
- Meneses J. (1985), "Evaluación de Acelerogramas y Determinación de Espectros de Respuesta en Lima". Tesis de Grado. Facultad de Ingeniería Civil. Universidad Nacional de Ingeniería, Lima.
- Nigam N.C. y P.C. Jennings (1968), "Calculation of Response Spectra from Strong-Motion Earthquake Records". Bull. Seis. Soc. Amer., 59:2, Abril 1969, pp. 909-922.
- Ohsaki Y. (1975), "Dinamic Characteristics and One Dimensional Amplification Theory of Soil Deposits". Research Report 75-01. Department of Architecture, Faculty of Engineering, University of Tokio, Japan.

## **ANEXO I**

### **PROCESAMIENTO DE REGISTRO SISMICO DEL 01 DE ENERO DE 1989**



**REGISTRO DE TIEMPO - HISTORIA DE  
ACELERACION, VELOCIDAD Y DESPLAZAMIENTO**

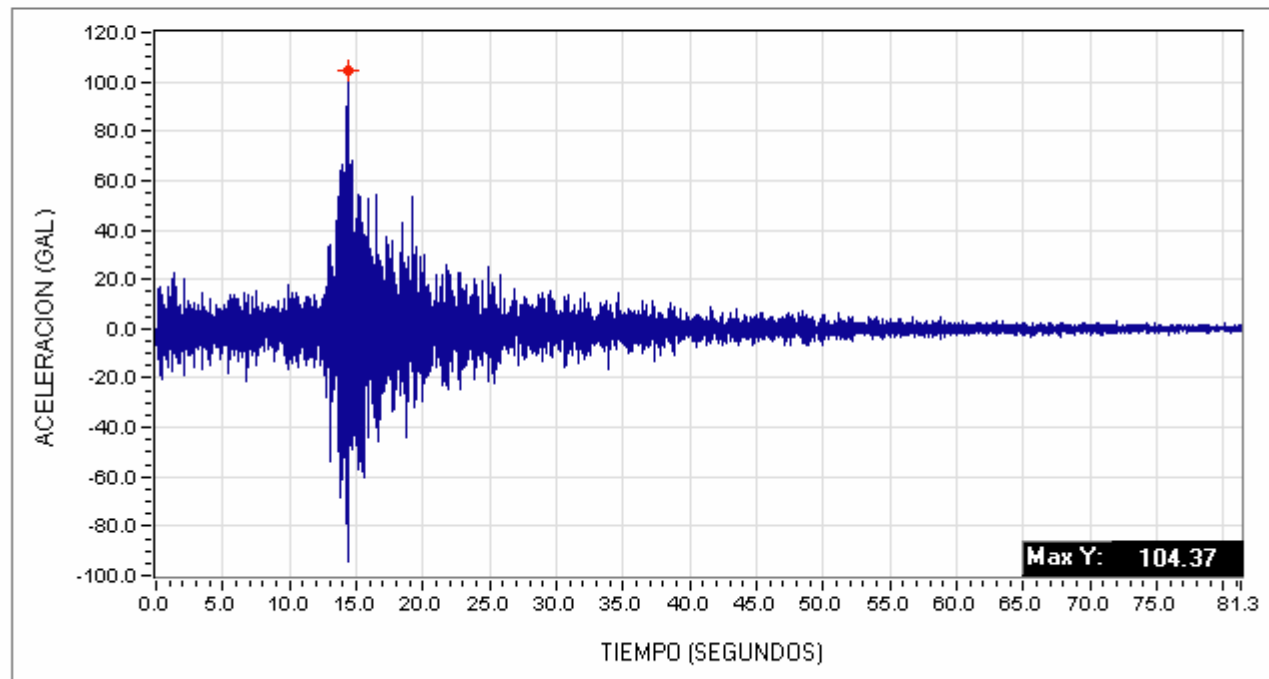
## REGISTRO DE ACELERACION

ESTACION: **UNI-CISMID**

FECHA DEL EVENTO: **01/01/89**

COMPONENTE: **E-W**

A MAX: **104.37 GAL**



**UNI - FIC - CISMID - LABORATORIO GEOTECNICO**

Hora: 10:22:40 PM

Fecha: 9/05/2001

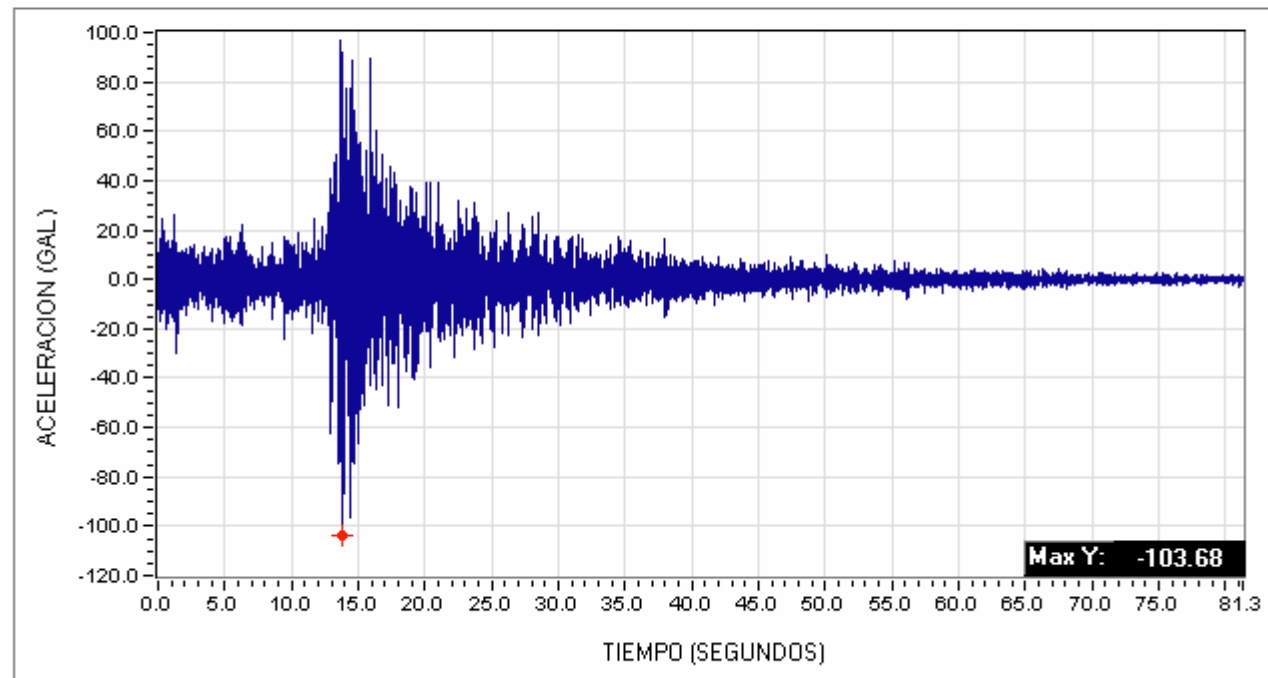
## REGISTRO DE ACELERACION

ESTACION: **UNI-CISMID**

FECHA DEL EVENTO: **01/01/89**

COMPONENTE: **N-S**

A MAX: **-103.68 GAL**



**UNI - FIC - CISMID - LABORATORIO GEOTECNICO**

Hora: 8:31:48 PM

Fecha: 9/05/2001

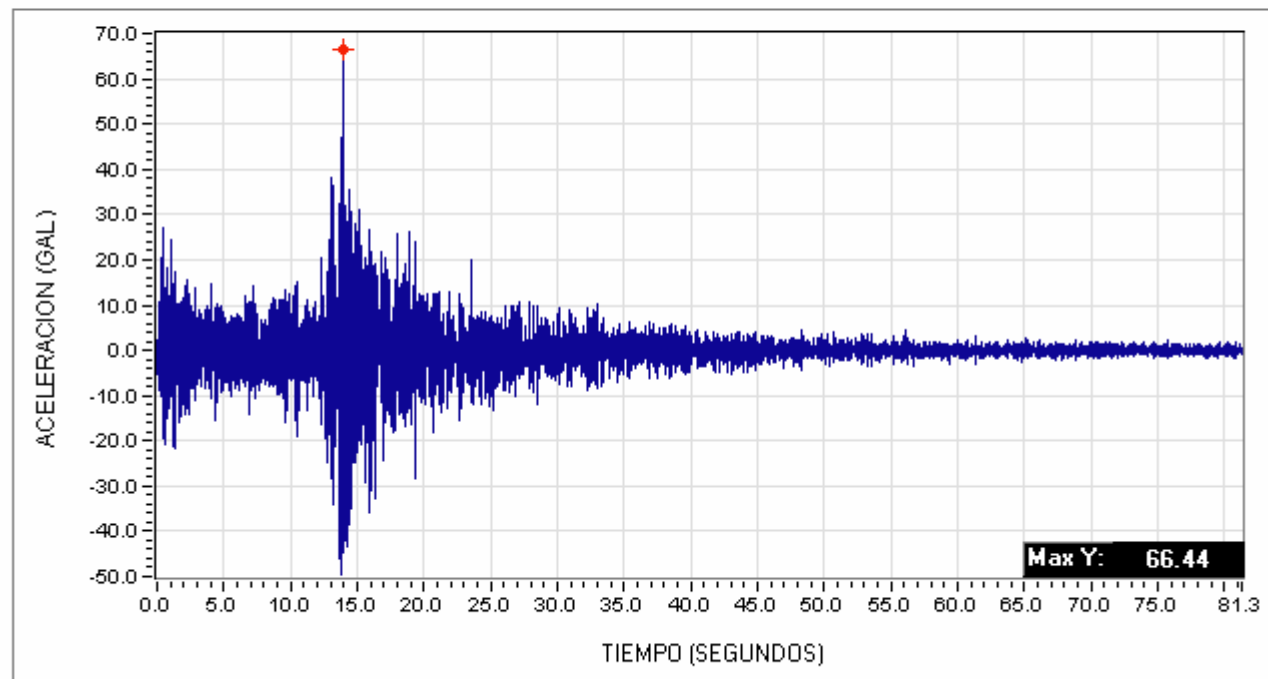
## REGISTRO DE ACELERACION

ESTACION: **UNI-CISMID**

FECHA DEL EVENTO: **01/01/89**

COMPONENTE: **U-D**

A MAX: **66.44 GAL**



**UNI - FIC - CISMID - LABORATORIO GEOTECNICO**

Hora: 8:32:52 PM

Fecha: 9/05/2001

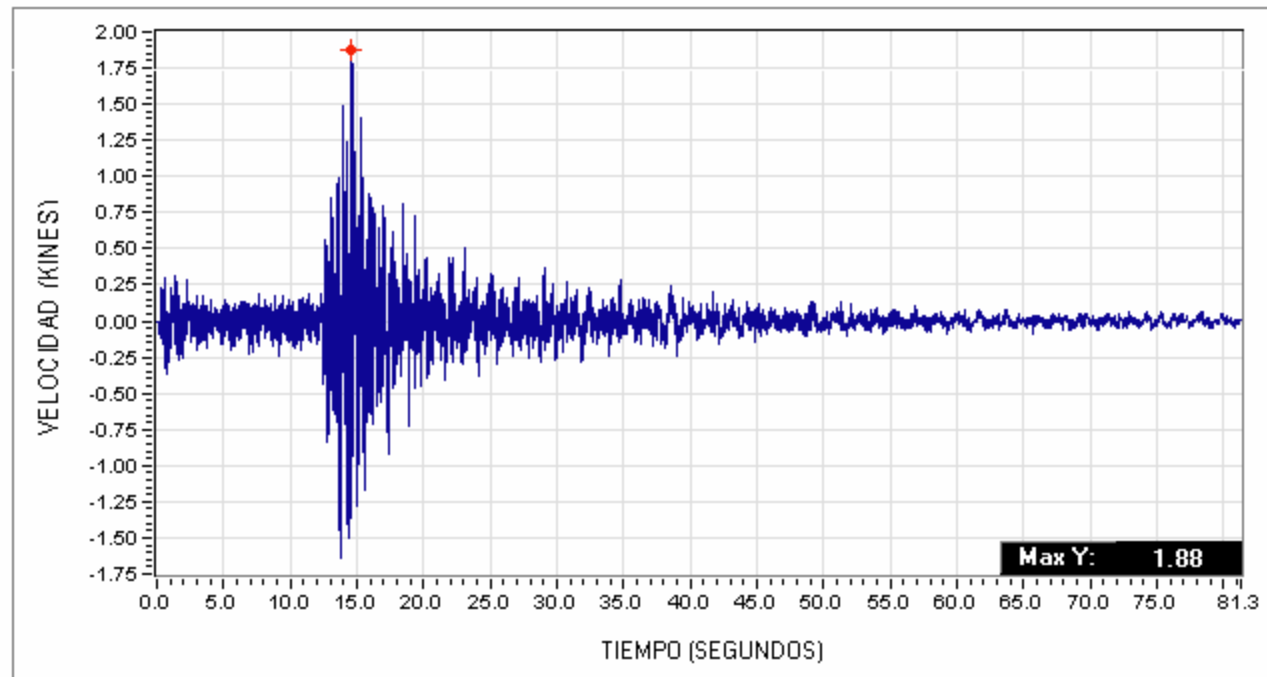
## REGISTRO DE VELOCIDAD

ESTACION: **UNI-CISMID**

FECHA DEL EVENTO: **01/01/89**

COMPONENTE: **E-W**

V MAX: **1.88 KINES**



**UNI - FIC - CISMID - LABORATORIO GEOTECNICO**

Hora: 8:22:16 PM

Fecha: 9/05/2001

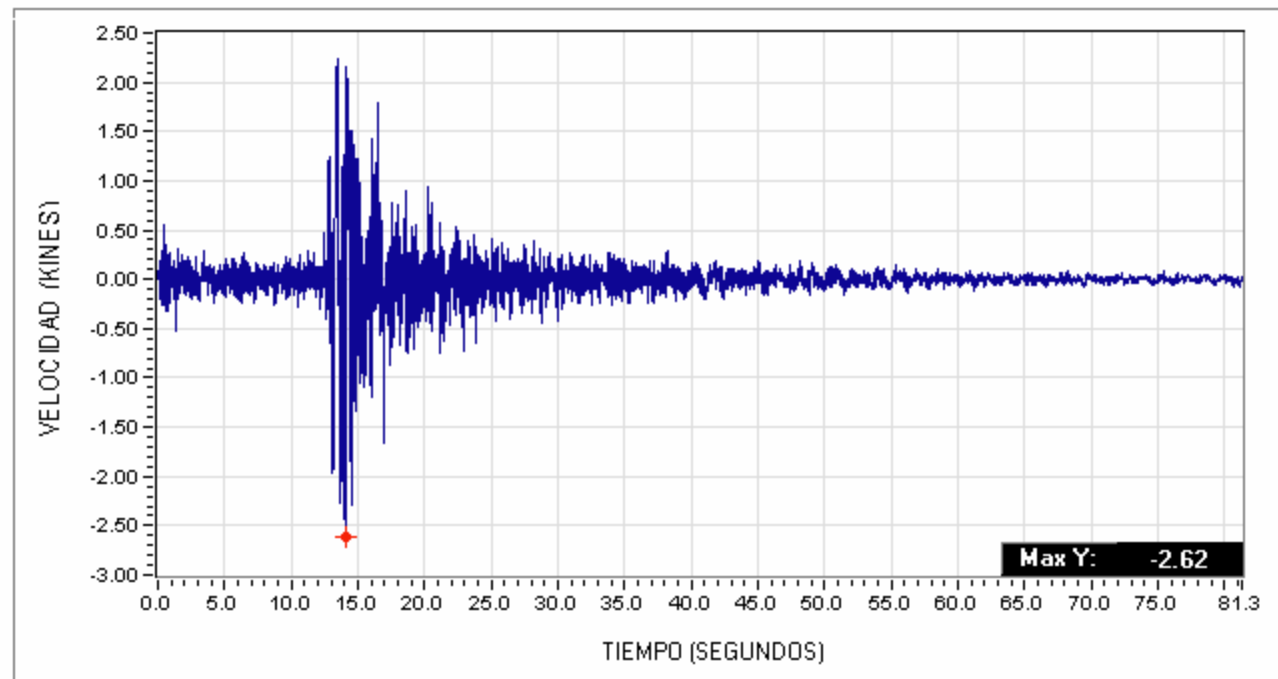
## REGISTRO DE VELOCIDAD

ESTACION: **UNI-CISMID**

FECHA DEL EVENTO: **01/01/89**

COMPONENTE: **N-S**

V MAX: **-2.62 KINES**



UNI - FIC - CISMID - LABORATORIO GEOTECNICO

Hora: 8:20:21 PM

Fecha: 9/05/2001

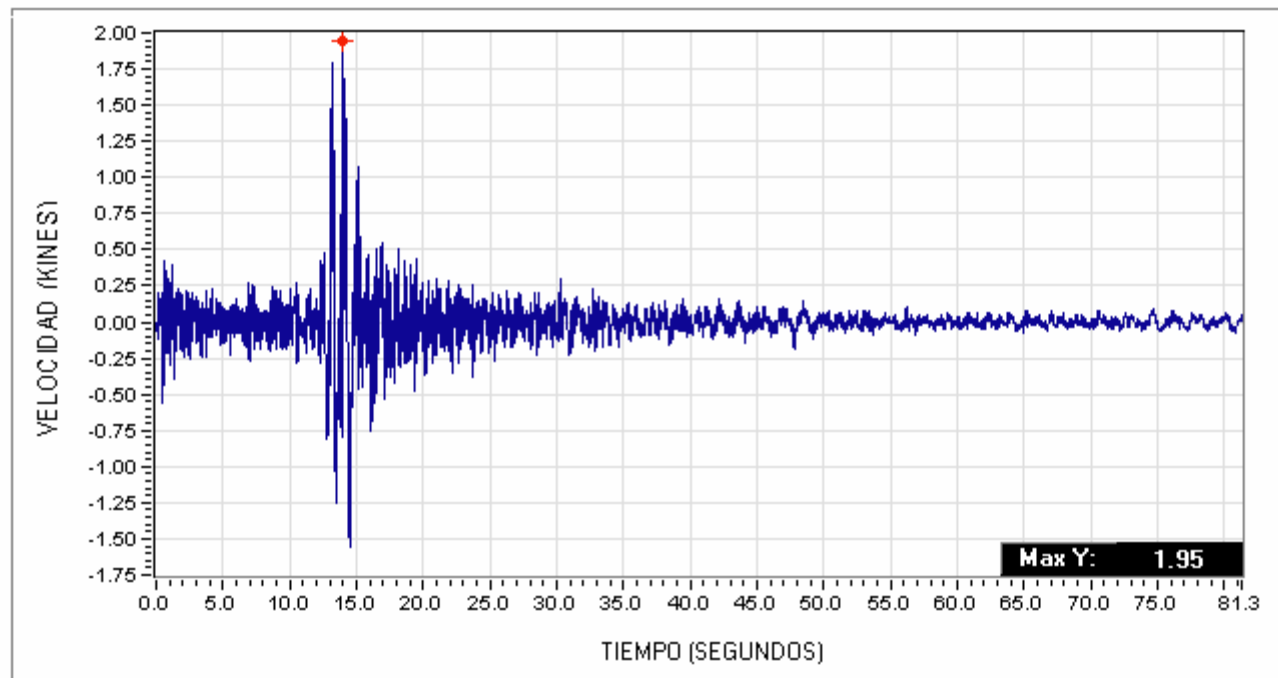
## REGISTRO DE VELOCIDAD

ESTACION: **UNI-CISMID**

FECHA DEL EVENTO: **01/01/89**

COMPONENTE: **U-D**

V MAX: **1.95 KINES**



**UNI - FIC - CISMID - LABORATORIO GEOTECNICO**

Hora: 8:23:21 PM

Fecha: 9/05/2001

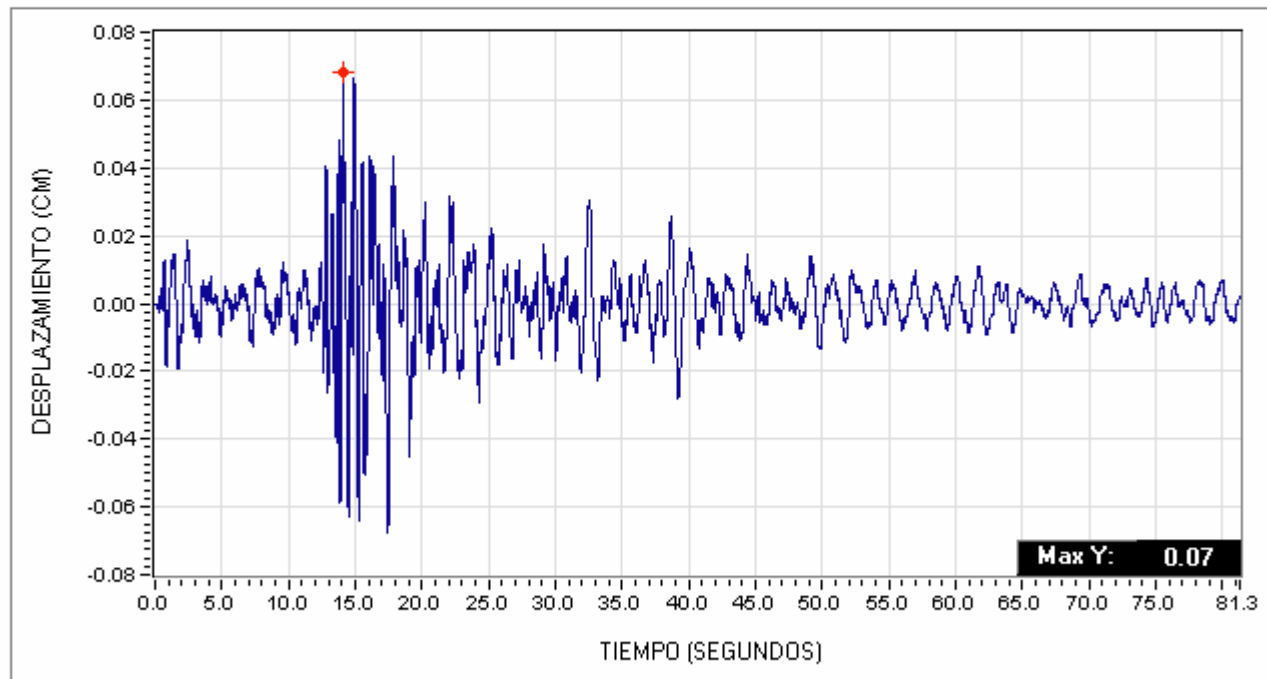
## REGISTRO DE DESPLAZAMIENTO

ESTACION: **UNI-CISMID**

FECHA DEL EVENTO: **01/01/89**

COMPONENTE: **E-W**

D MAX: **0.07 CM**



**UNI - FIC - CISMID - LABORATORIO GEOTECNICO**

Hora: 8:41:54 PM

Fecha: 9/05/2001



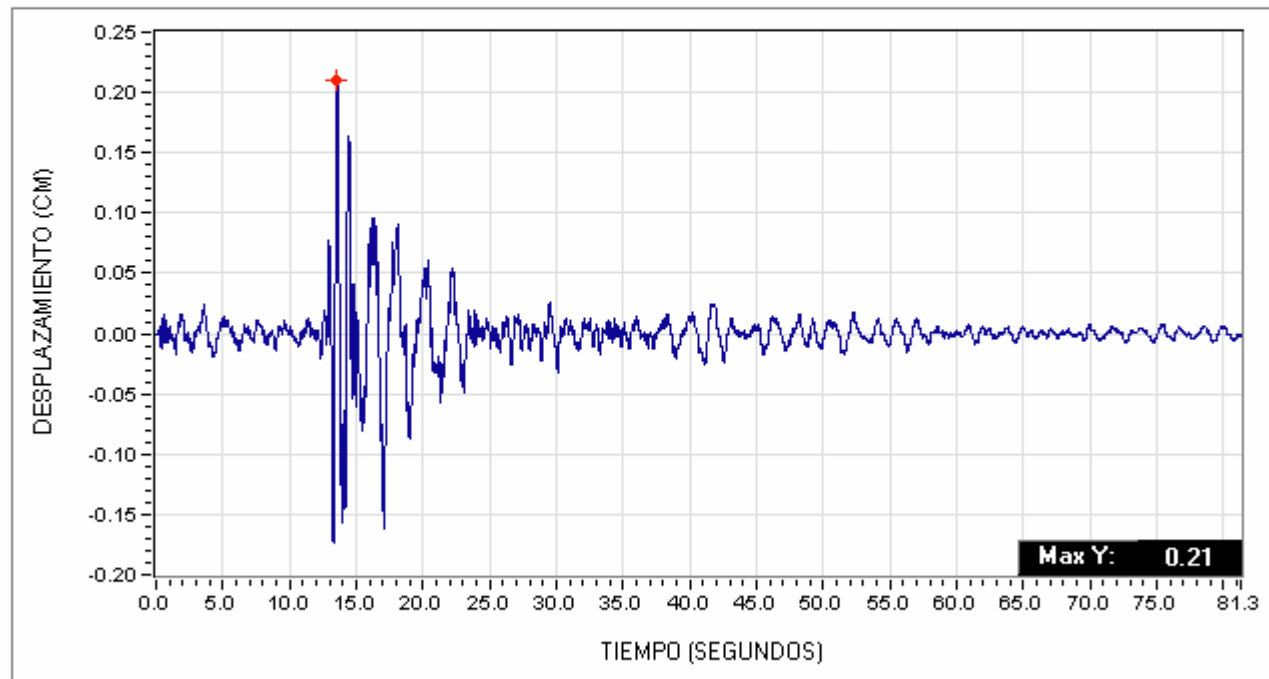
## REGISTRO DE DESPLAZAMIENTO

ESTACION: **UNI-CISMID**

FECHA DEL EVENTO: **01/01/89**

COMPONENTE: **N-S**

D MAX: **0.21 CM**



**UNI - FIC - CISMID - LABORATORIO GEOTECNICO**

Hora: 8:43:17 PM

Fecha: 9/05/2001

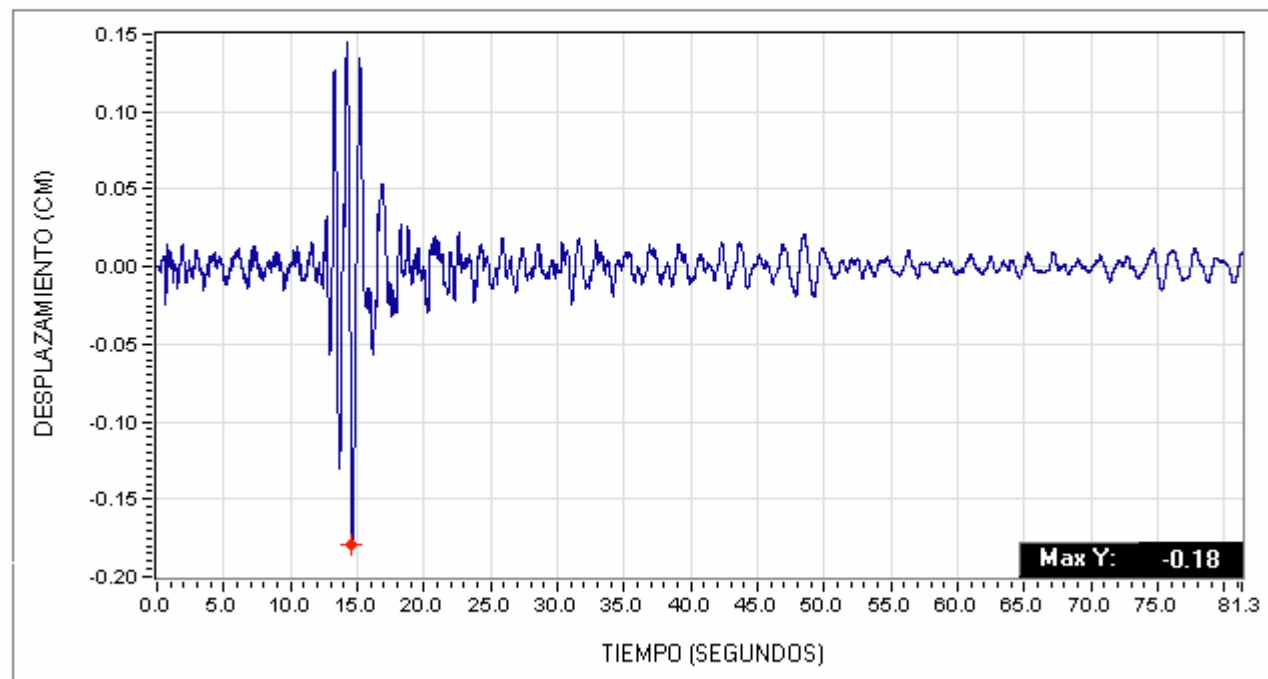
## REGISTRO DE DESPLAZAMIENTO

ESTACION: **UNI-CISMID**

FECHA DEL EVENTO: **01/01/89**

COMPONENTE: **U-D**

D MAX: **-0.18 CM**



UNI - FIC - CISMID - LABORATORIO GEOTECNICO

Hora: 8:44:57 PM

Fecha: 9/05/2001

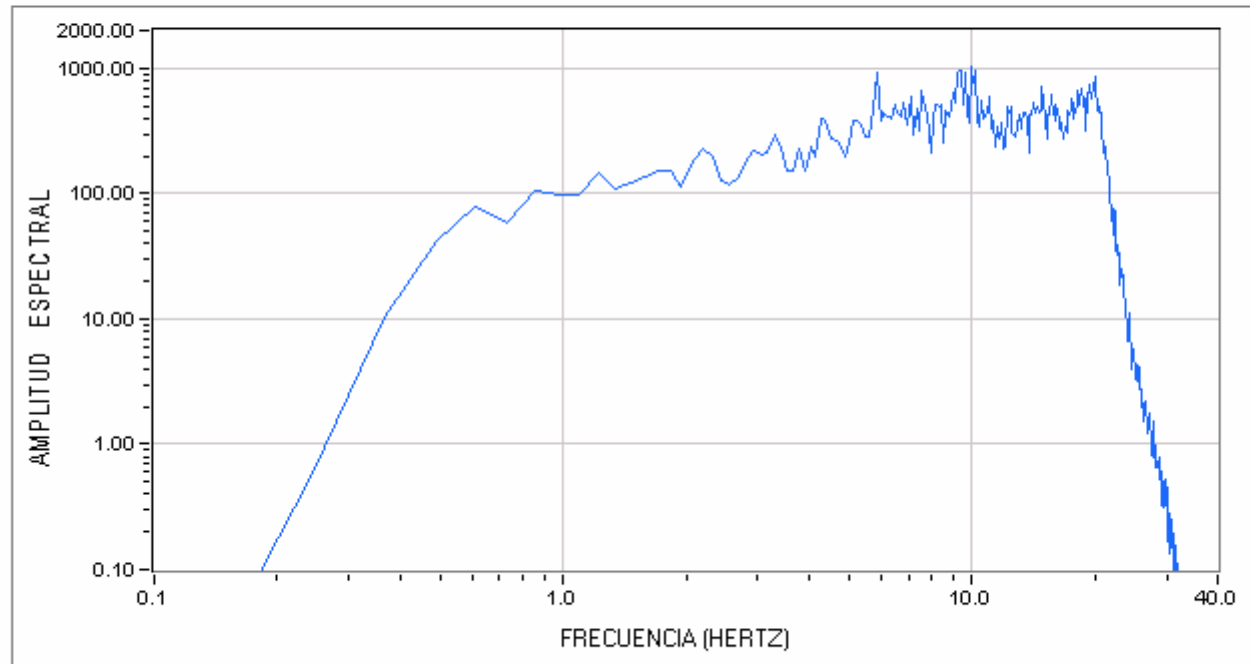
**ESPECTRO DE FOURIER DE ACELERACION,  
VELOCIDAD Y DESPLAZAMIENTO**

## Espectro de Fourier: Aceleración

ESTACION: **UNI-CISMID**

FECHA DEL EVENTO: **01/01/89**

COMPONENTE: **E-W**



**UNI - FIC - CISMID - LABORATORIO GEOTECNICO**

Hora: 10:12:08 PM

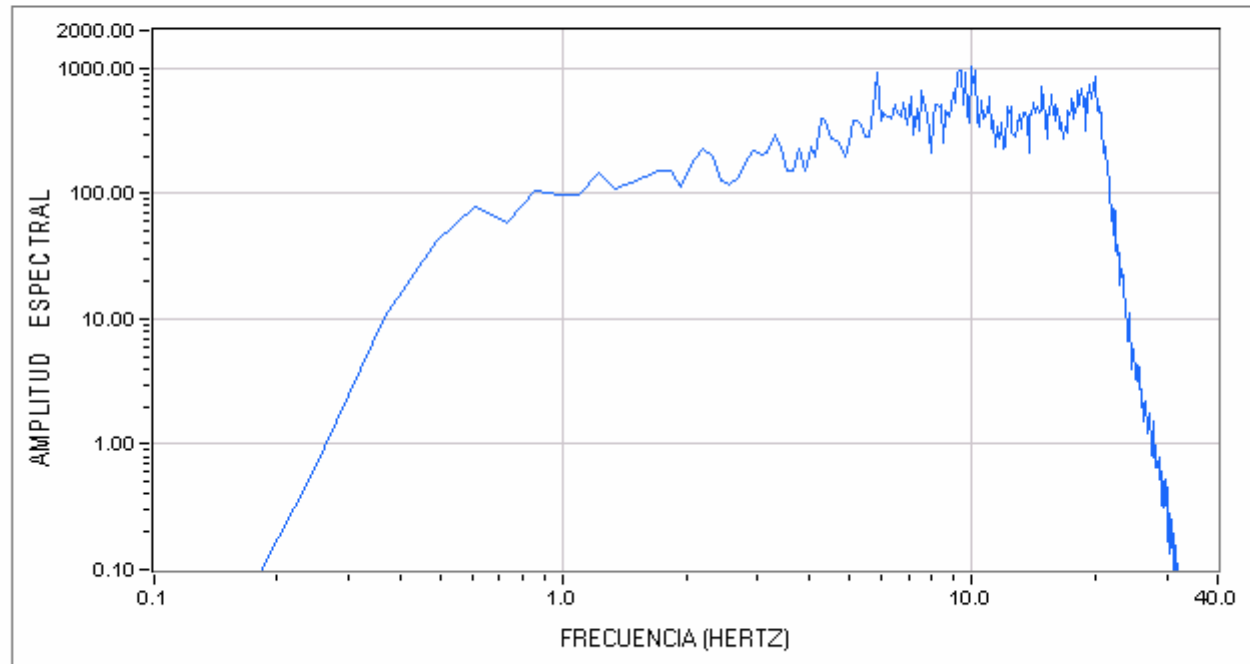
Fecha: 9/05/2001

## Espectro de Fourier: Aceleración

ESTACION: **UNI-CISMID**

FECHA DEL EVENTO: **01/01/89**

COMPONENTE: **N-S**



**UNI - FIC - CISMID - LABORATORIO GEOTECNICO**

Hora: 10:19:48 PM

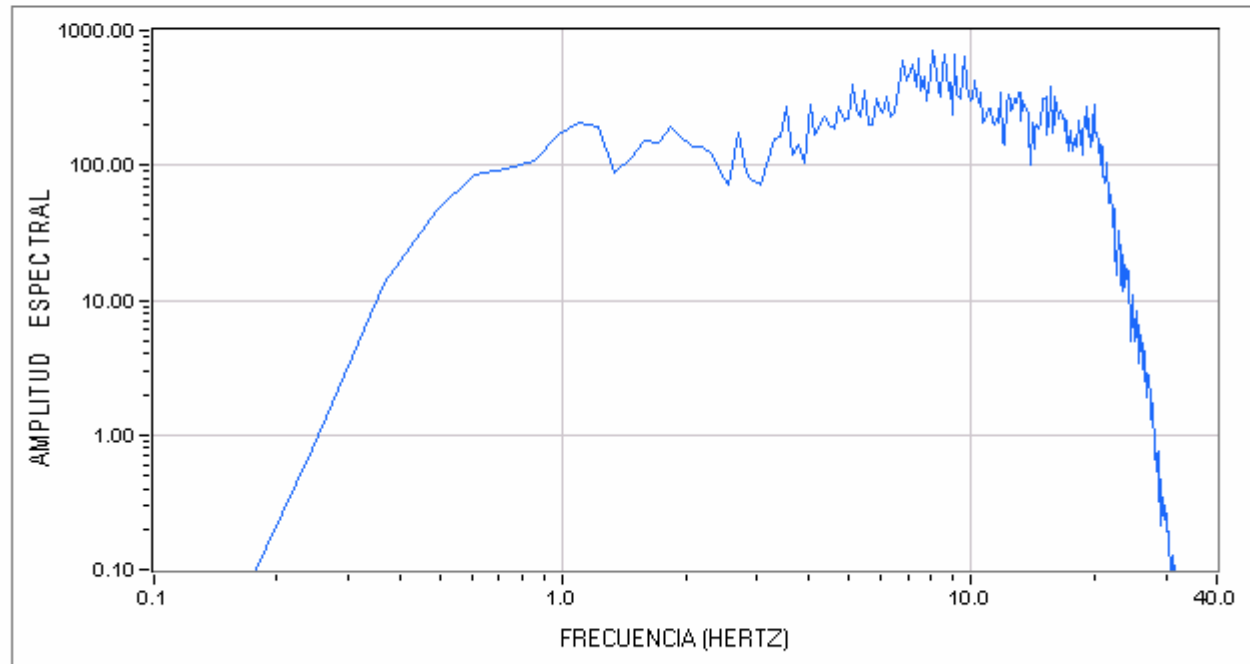
Fecha: 9/05/2001

## Espectro de Fourier: Aceleración

ESTACION: **UNI-CISMID**

FECHA DEL EVENTO: **01/01/89**

COMPONENTE: **U-D**



**UNI - FIC - CISMID - LABORATORIO GEOTECNICO**

Hora: 10:21:06 PM

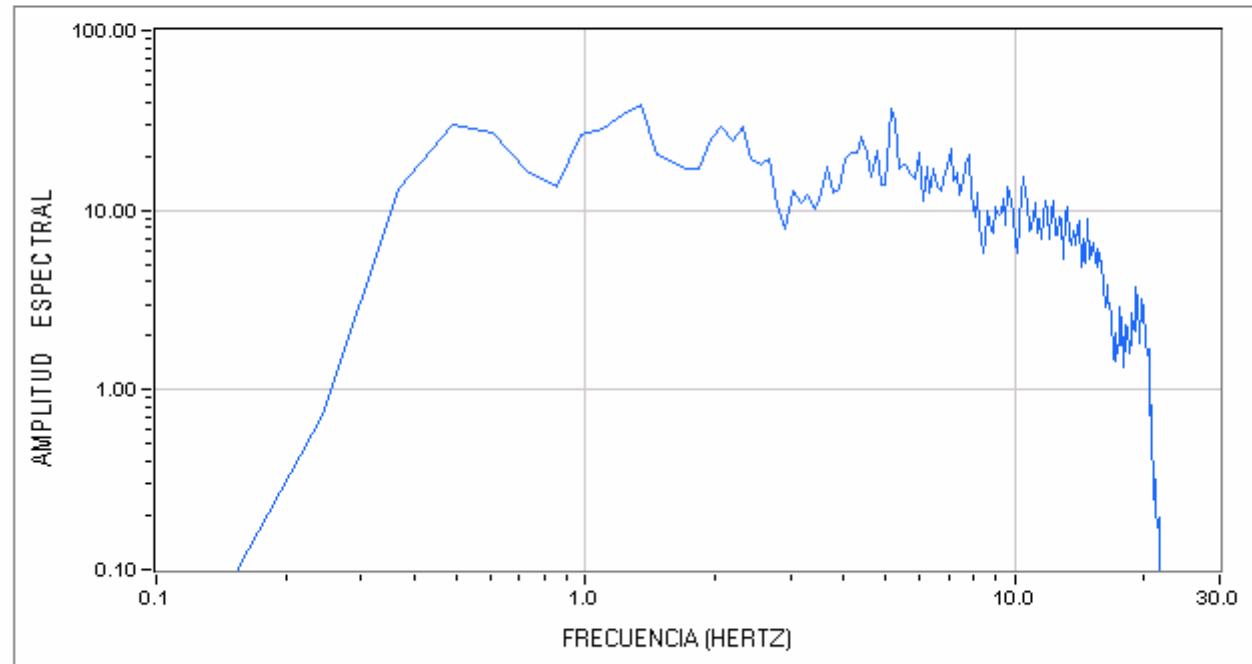
Fecha: 9/05/2001

## Espectro de Fourier: Velocidad

ESTACION: **UNI-CISMID**

FECHA DEL EVENTO: **01/01/89**

COMPONENTE: **E-W**



**UNI - FIC - CISMID - LABORATORIO GEOTECNICO**

Hora: 10:01:52 PM

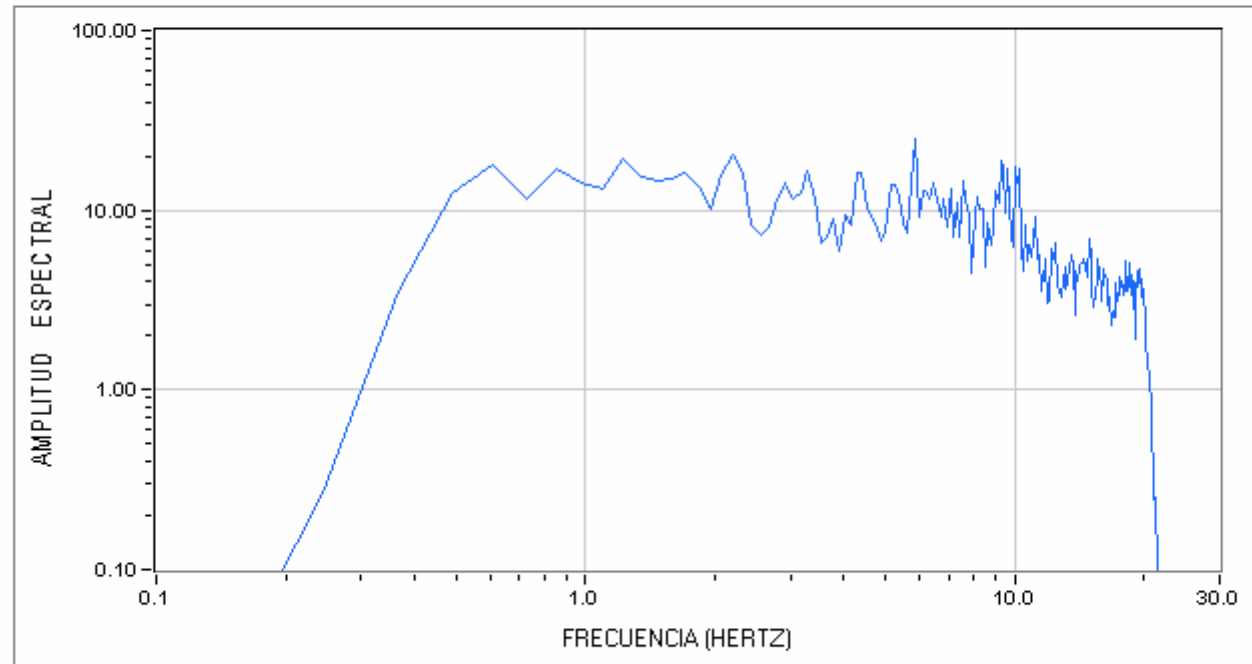
Fecha: 9/05/2001

## Espectro de Fourier: Velocidad

ESTACION: **UNI-CISMID**

FECHA DEL EVENTO: **01/01/89**

COMPONENTE: **N-S**



**UNI - FIC - CISMID - LABORATORIO GEOTECNICO**

Hora: 10:25:40 PM

Fecha: 9/05/2001

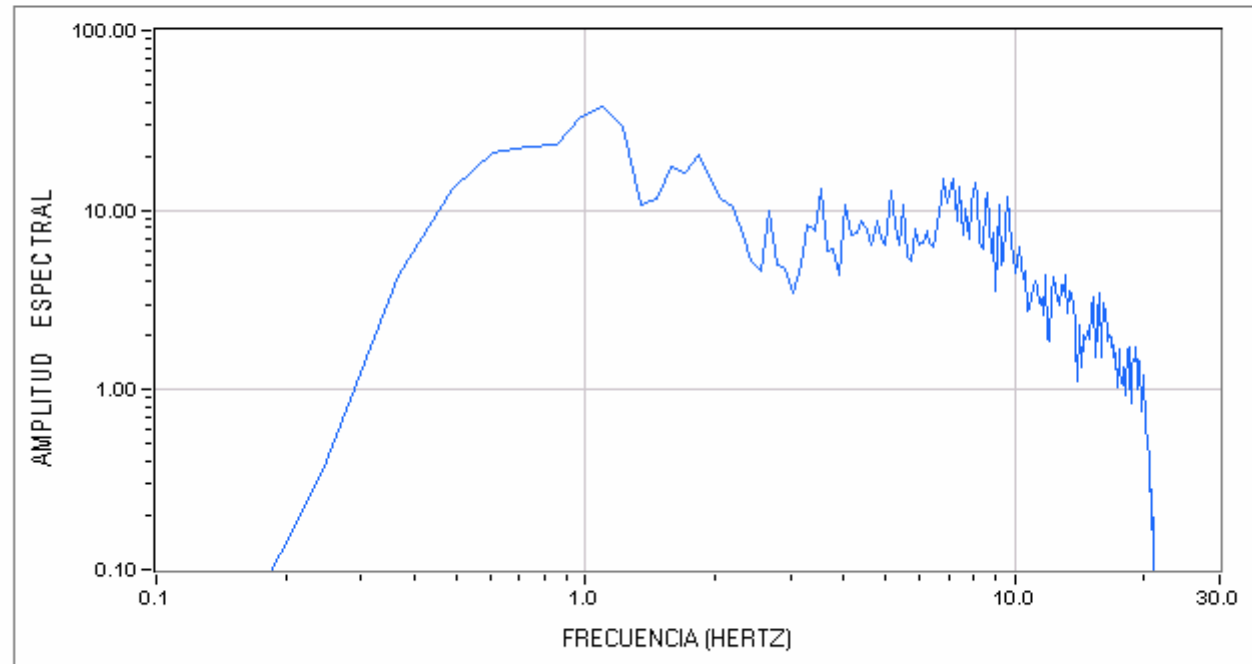


## Espectro de Fourier: Velocidad

ESTACION: **UNI-CISMID**

FECHA DEL EVENTO: **01/01/89**

COMPONENTE: **U-D**



**UNI - FIC - CISMID - LABORATORIO GEOTECNICO**

Hora: 10:27:50 PM

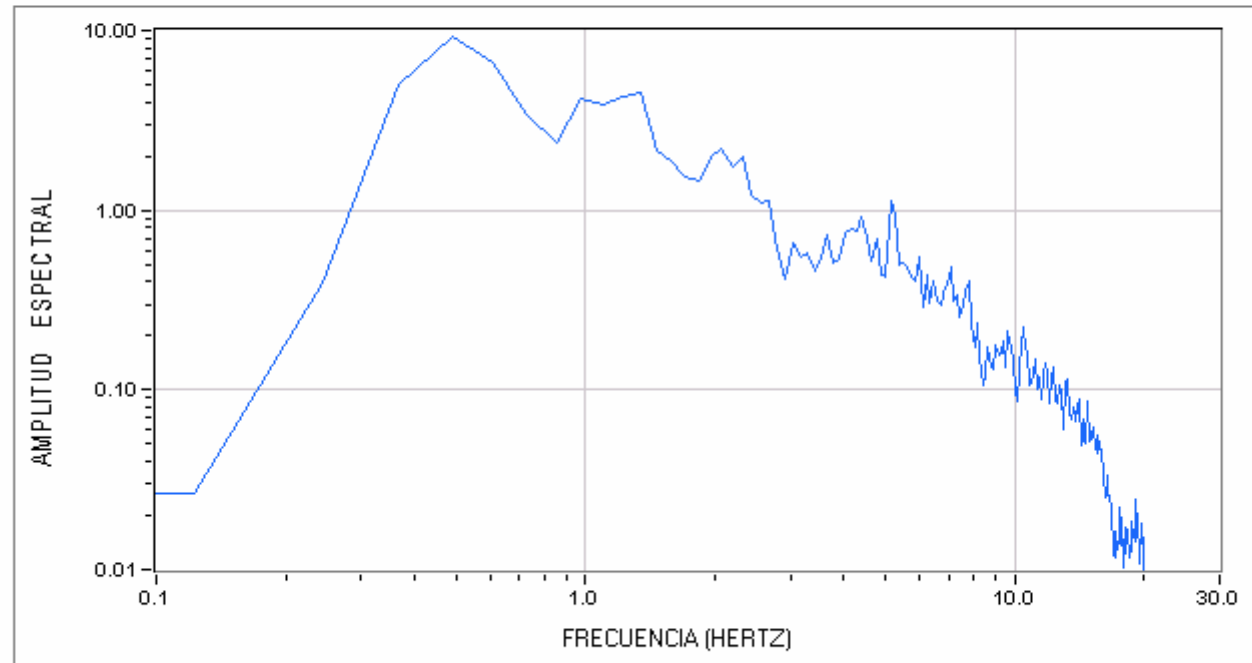
Fecha: 9/05/2001

## Espectro de Fourier: Desplazamiento

ESTACION: **UNI-CISMID**

FECHA DEL EVENTO: **01/01/89**

COMPONENTE: **E-W**



**UNI - FIC - CISMID - LABORATORIO GEOTECNICO**

Hora: 10:36:56 PM

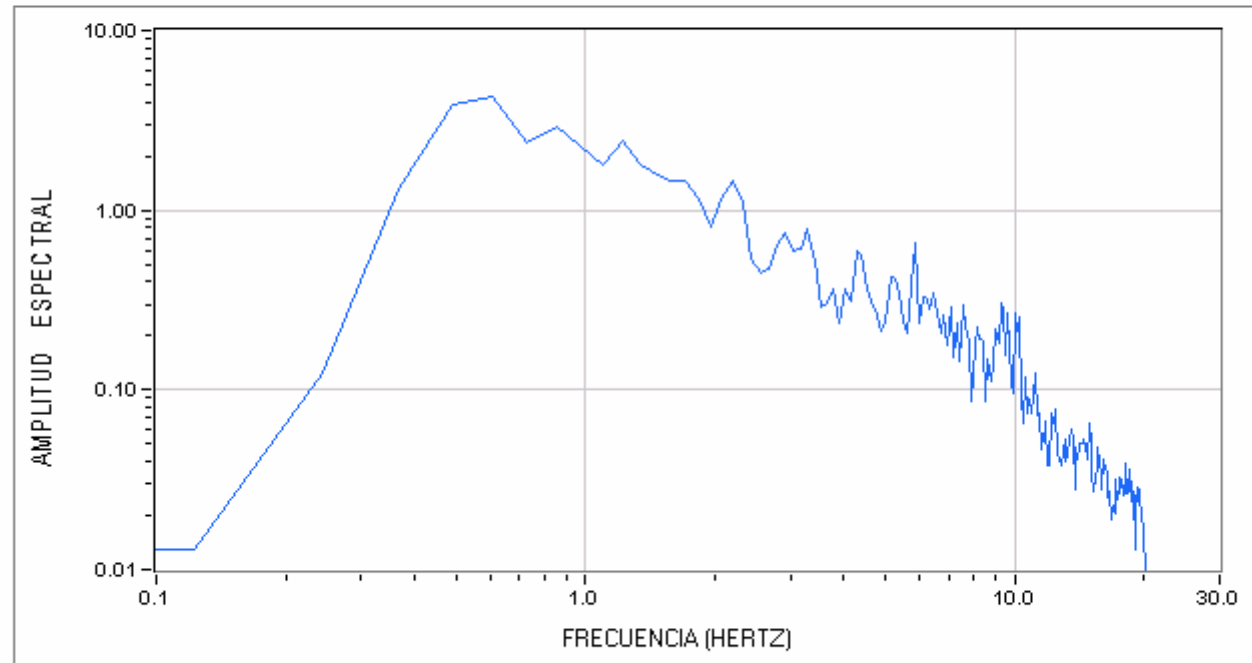
Fecha: 9/05/2001

## Espectro de Fourier: Desplazamiento

ESTACION: **UNI-CISMID**

FECHA DEL EVENTO: **01/01/89**

COMPONENTE: **N-S**



**UNI - FIC - CISMID - LABORATORIO GEOTECNICO**

Hora: 10:34:45 PM

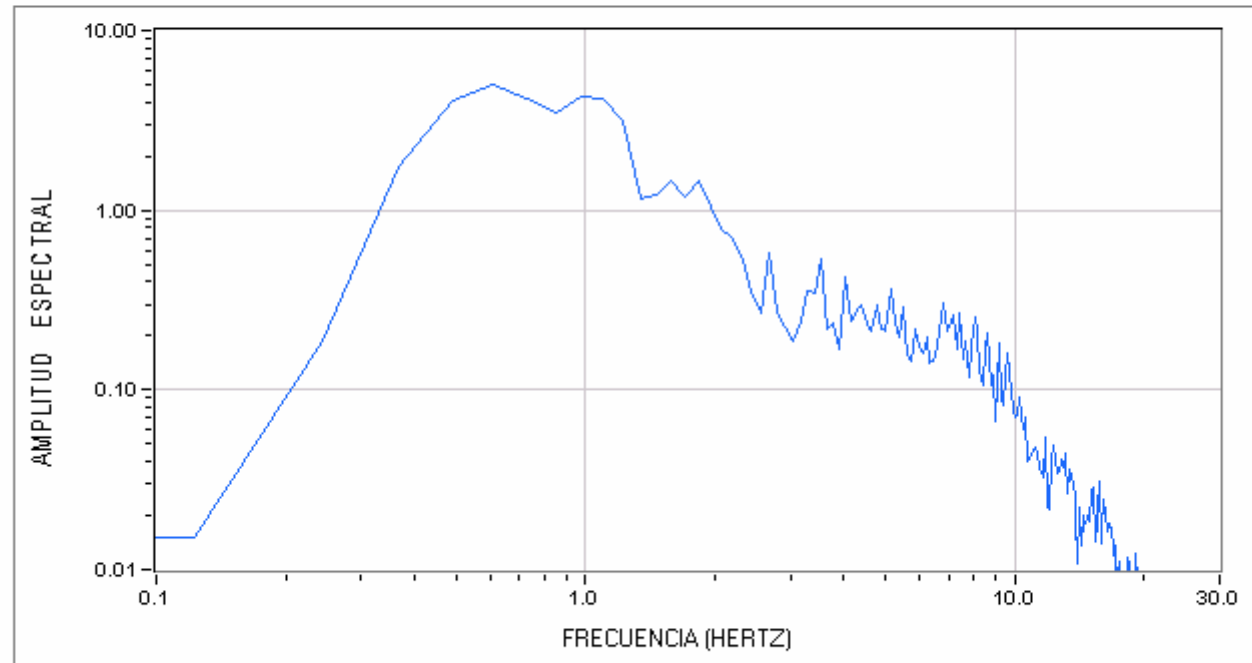
Fecha: 9/05/2001

## Espectro de Fourier: Desplazamiento

ESTACION: **UNI-CISMID**

FECHA DEL EVENTO: **01/01/89**

COMPONENTE: **U-D**



**UNI - FIC - CISMID - LABORATORIO GEOTECNICO**

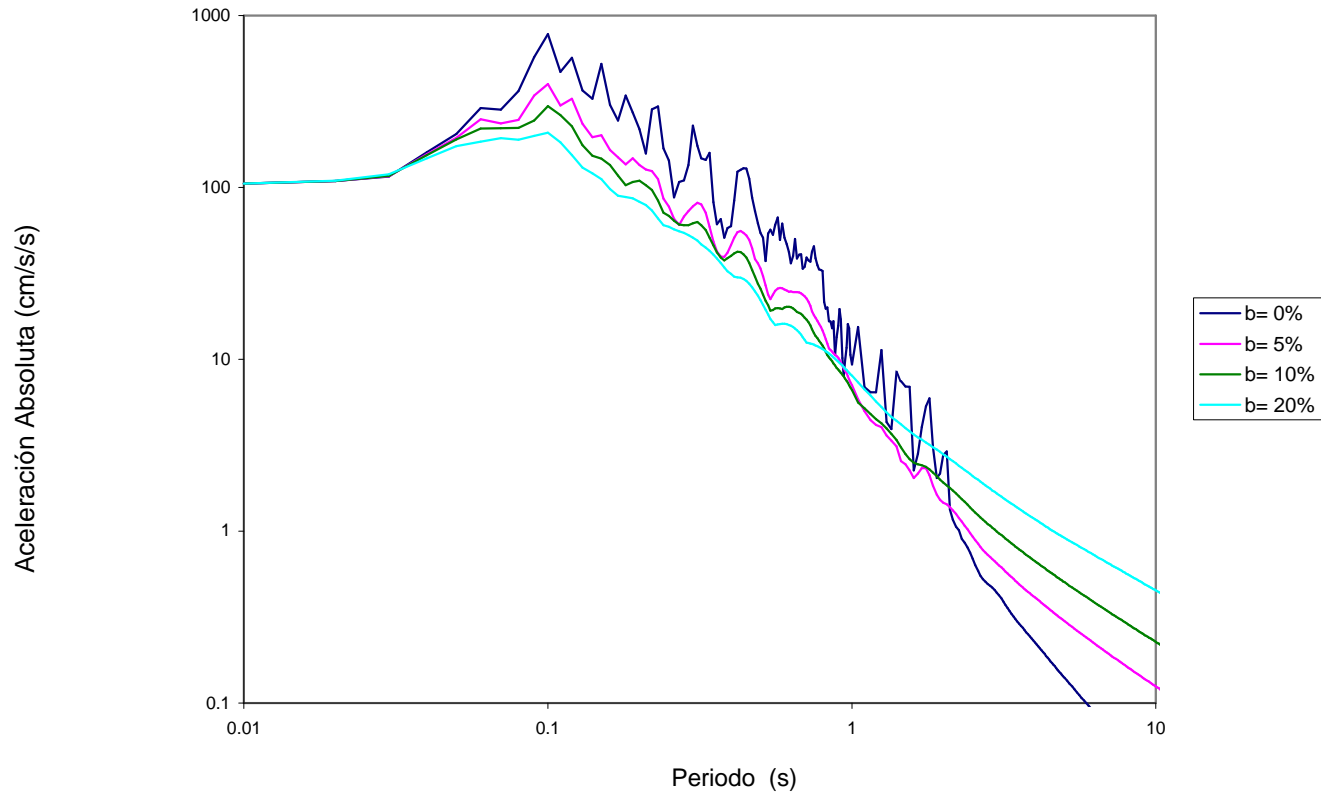
Hora: 10:36:02 PM

Fecha: 9/05/2001

## **ANEXO II**

# **ESPECTRO DE RESPUESTA ELASTICO DE ACELERACION, VELOCIDAD Y DESPLAZAMIENTO**

**ESPECTRO DE RESPUESTA ELASTICO**  
ESTACION : CISMID, FECHA : 01/01/89  
REGISTRO DE ACELERACIONES  
AMORTIGUAMIENTO : 0,5,10,20%  
**COMPONENTE: EW**



**CENTRO PERUANO JAPONES DE INVESTIGACIONES  
SISMICAS Y MITIGACION DE DESASTRES FIC-UNI**

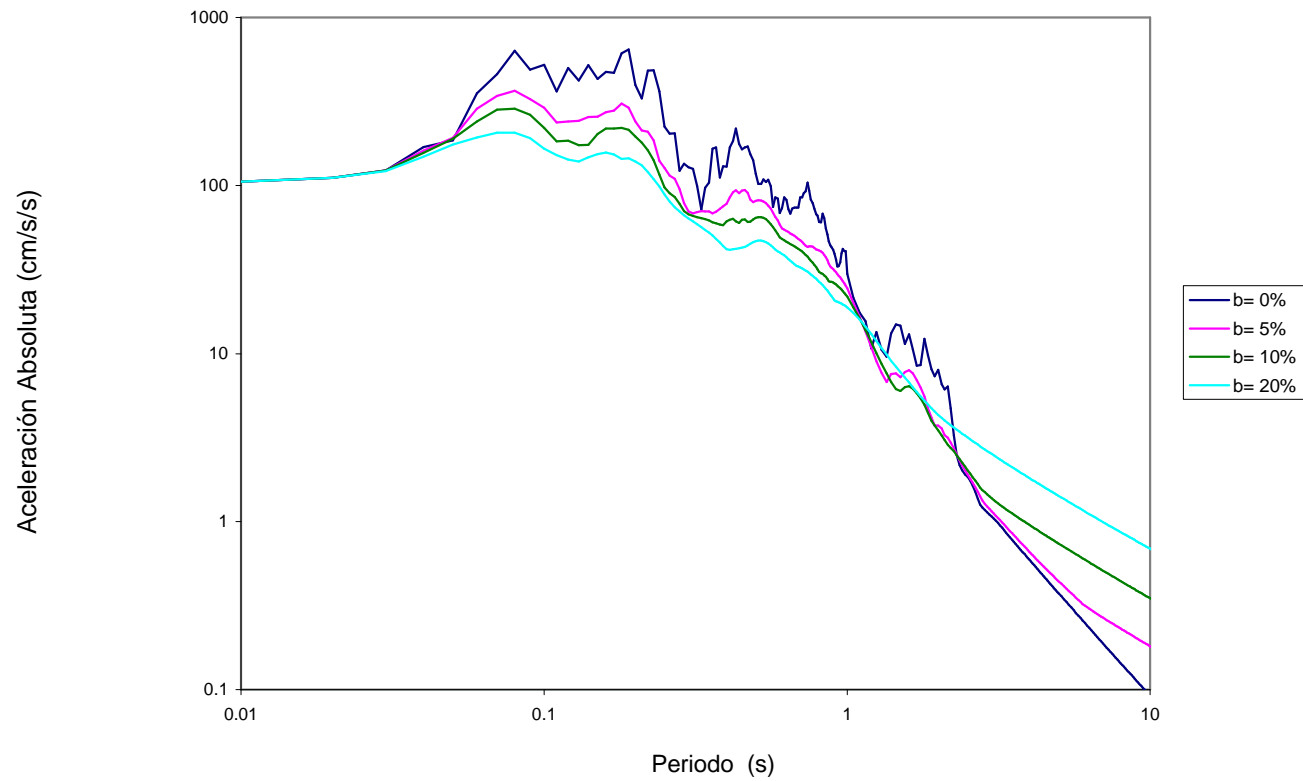
# ESPECTRO DE RESPUESTA ELASTICO

ESTACION : CISMID, FECHA : 01/01/89

REGISTRO DE ACELERACIONES

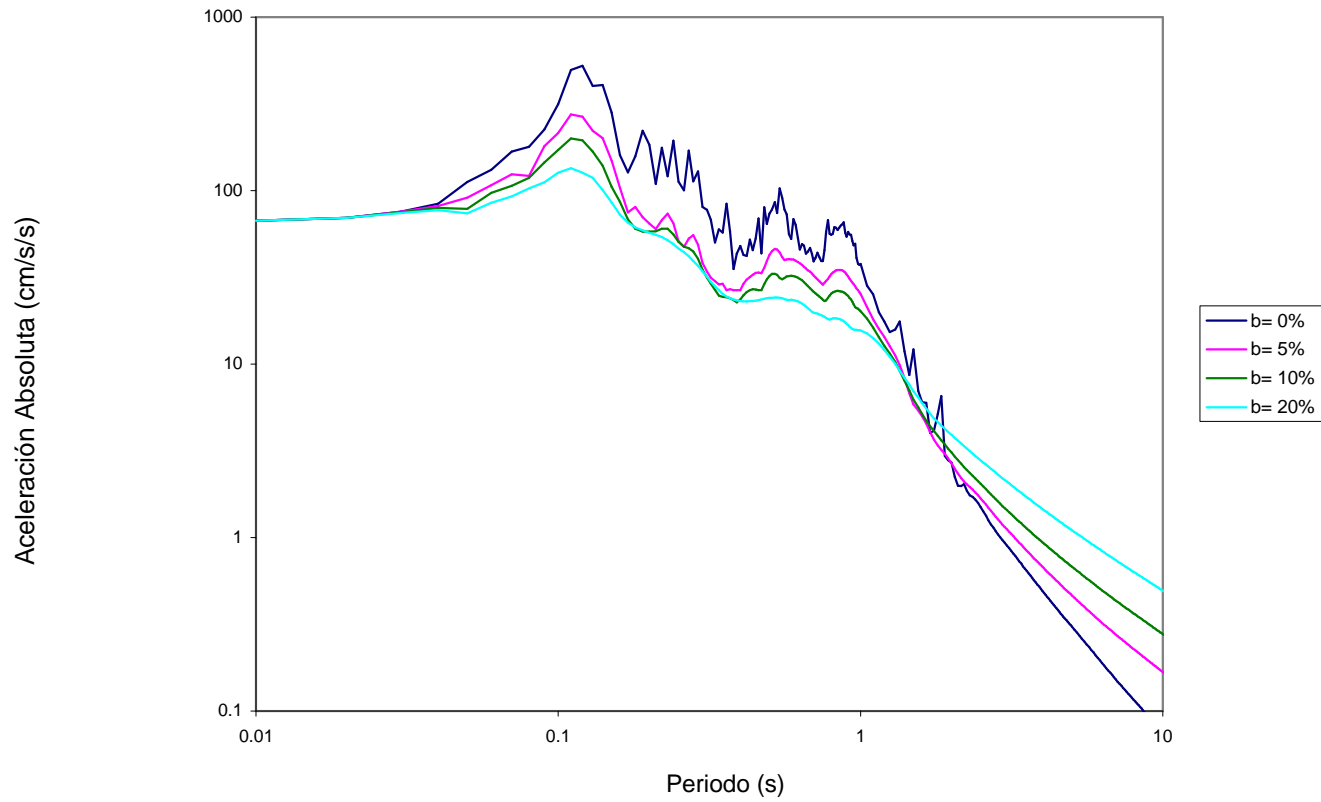
AMORTIGUAMIENTO : 0,5,10,20%

COMPONENTE: NS



**CENTRO PERUANO JAPONES DE INVESTIGACIONES  
SISMICAS Y MITIGACION DE DESASTRES FIC-UNI**

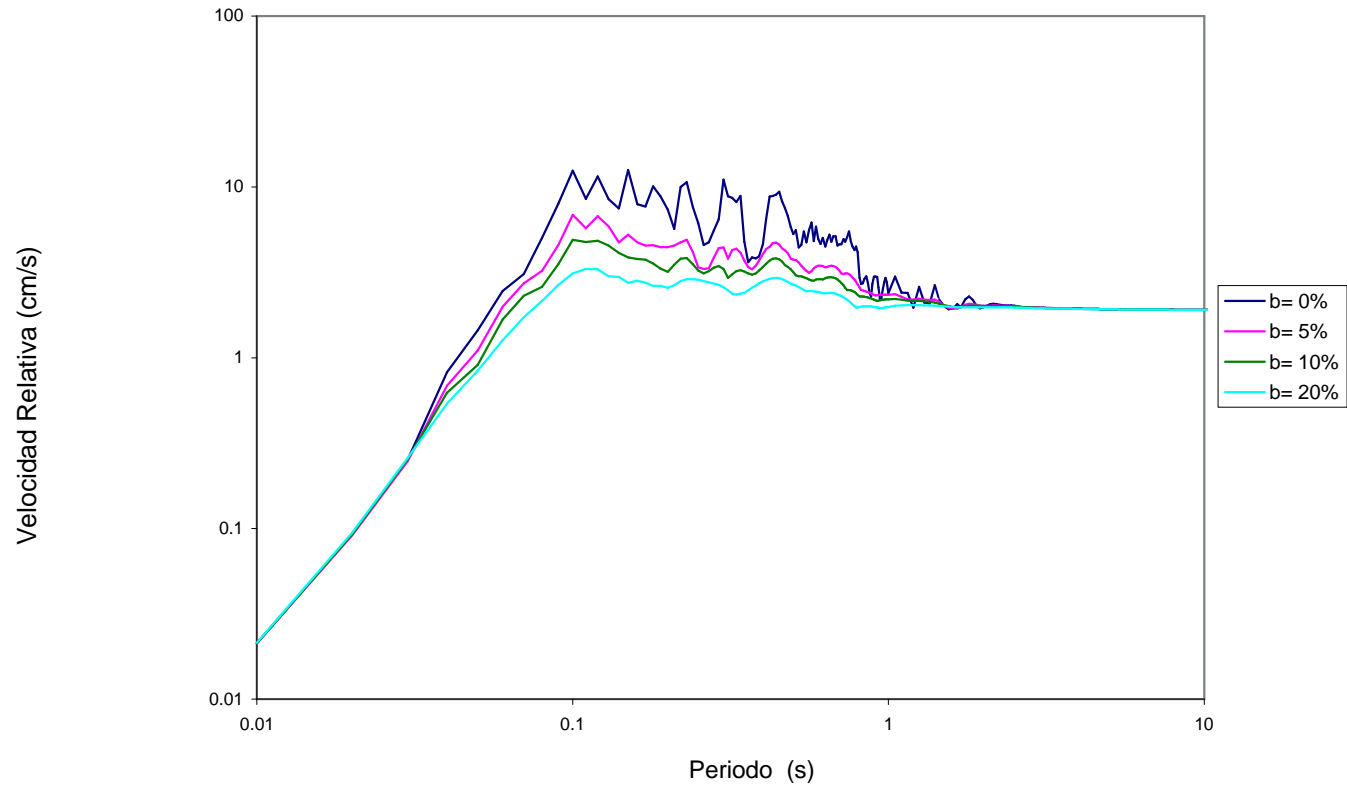
**ESPECTRO DE RESPUESTA ELASTICO**  
ESTACION : CISMID, FECHA : 01/01/89  
REGISTRO DE ACELERACIONES  
AMORTIGUAMIENTO : 0,5,10,20%  
**COMPONENTE: UD**



**CENTRO PERUANO JAPONES DE INVESTIGACIONES  
SISMICAS Y MITIGACION DE DESASTRES FIC-UNI**



**ESPECTRO DE RESPUESTA ELASTICO**  
ESTACION : CISMID, FECHA : 01/01/89  
REGISTRO DE VELOCIDADES  
AMORTIGUAMIENTO : 0,5,10,20%  
**COMPONENTE: EW**



**CENTRO PERUANO JAPONES DE INVESTIGACIONES  
SISMICAS Y MITIGACION DE DESASTRES FIC-UNI**

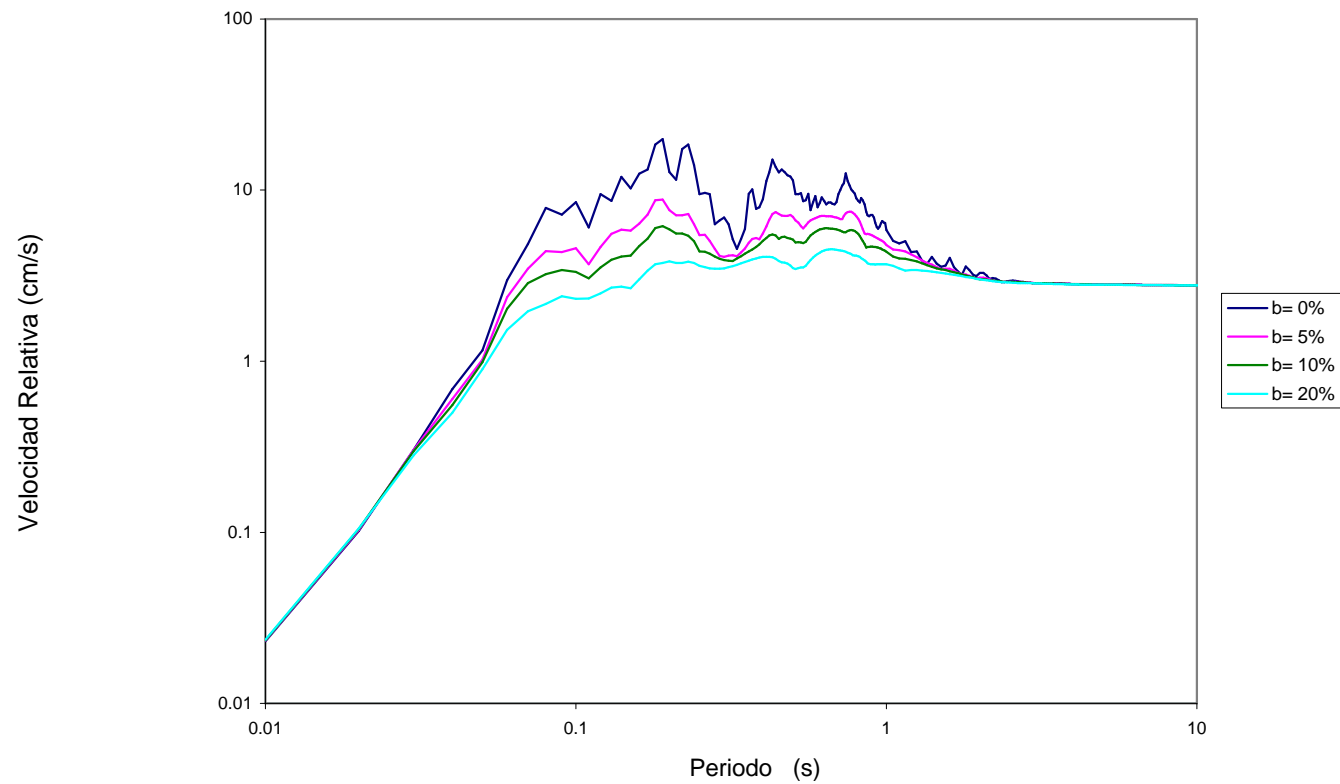
# ESPECTRO DE RESPUESTA ELASTICO

ESTACION : CISMID, FECHA : 01/01/89

REGISTRO DE VELOCIDADES

AMORTIGUAMIENTO : 0,5,10,20%

COMPONENTE: NS



**CENTRO PERUANO JAPONES DE INVESTIGACIONES  
SISMICAS Y MITIGACION DE DESASTRES FIC-UNI**

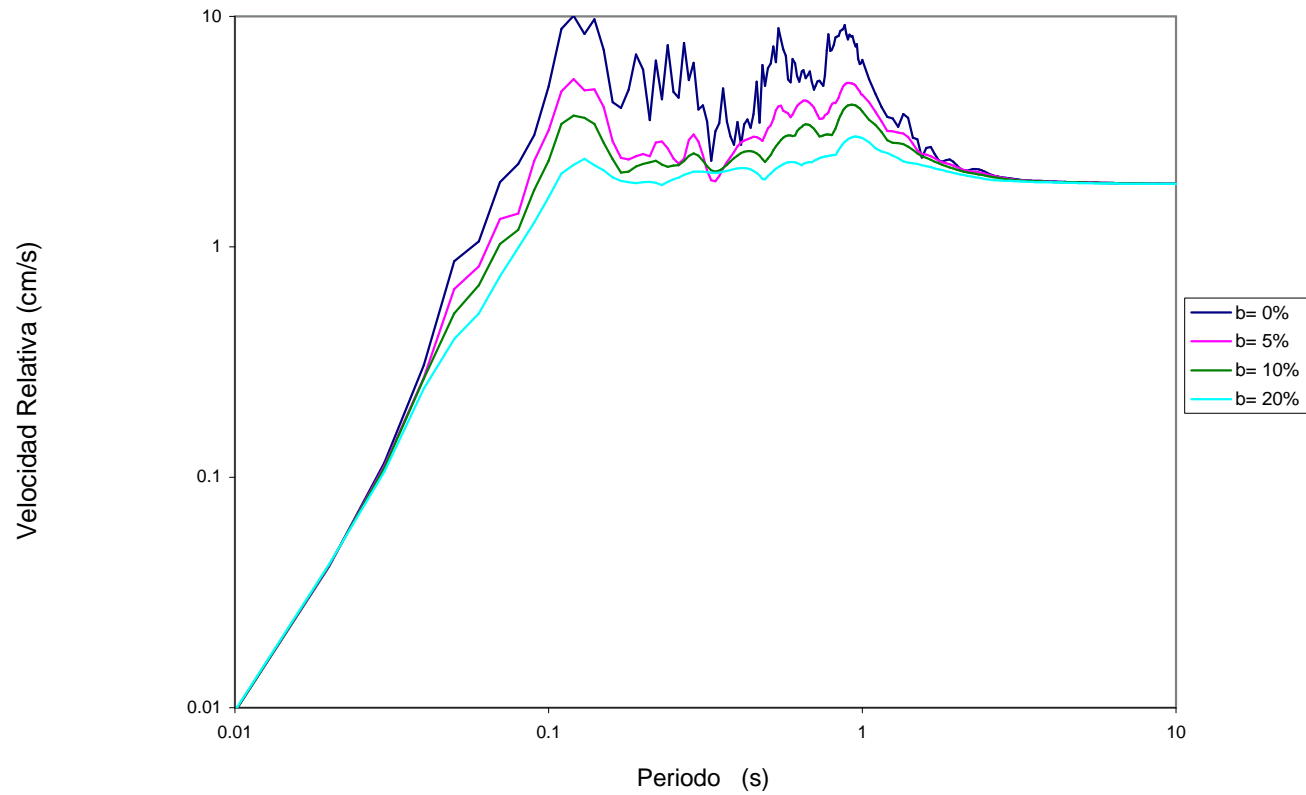
# ESPECTRO DE RESPUESTA ELASTICO

ESTACION : CISMID, FECHA : 01/01/89

REGISTRO DE VELOCIDADES

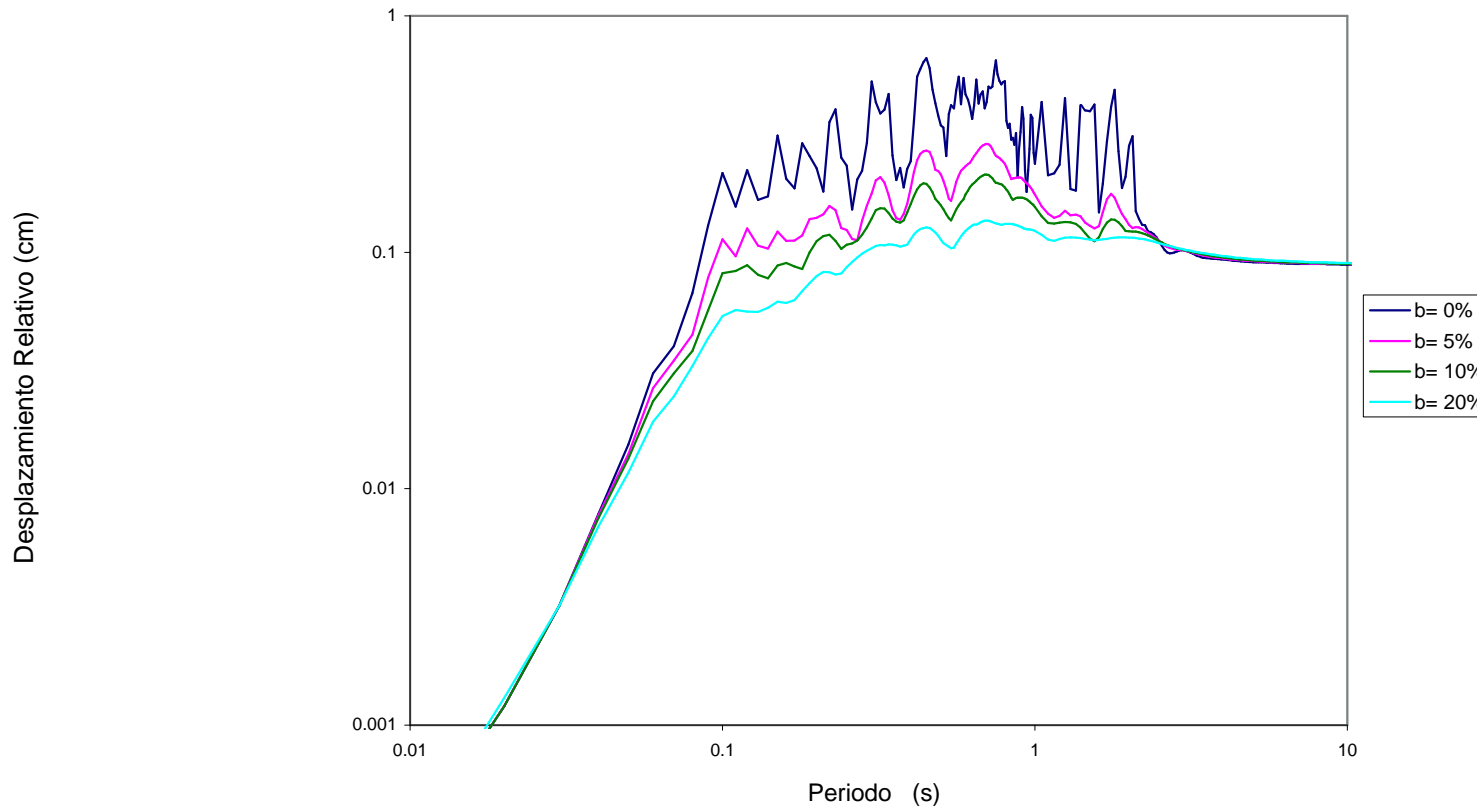
AMORTIGUAMIENTO : 0,5,10,20%

COMPONENTE: UD



**CENTRO PERUANO JAPONES DE INVESTIGACIONES  
SISMICAS Y MITIGACION DE DESASTRES FIC-UNI**

**ESPECTRO DE RESPUESTA ELASTICO**  
ESTACION : CISMID, FECHA : 01/01/89  
REGISTRO DE DESPLAZAMIENTOS  
AMORTIGUAMIENTO : 0,5,10,20%  
**COMPONENTE: EW**



**CENTRO PERUANO JAPONES DE INVESTIGACIONES  
SISMICAS Y MITIGACION DE DESASTRES FIC-UNI**

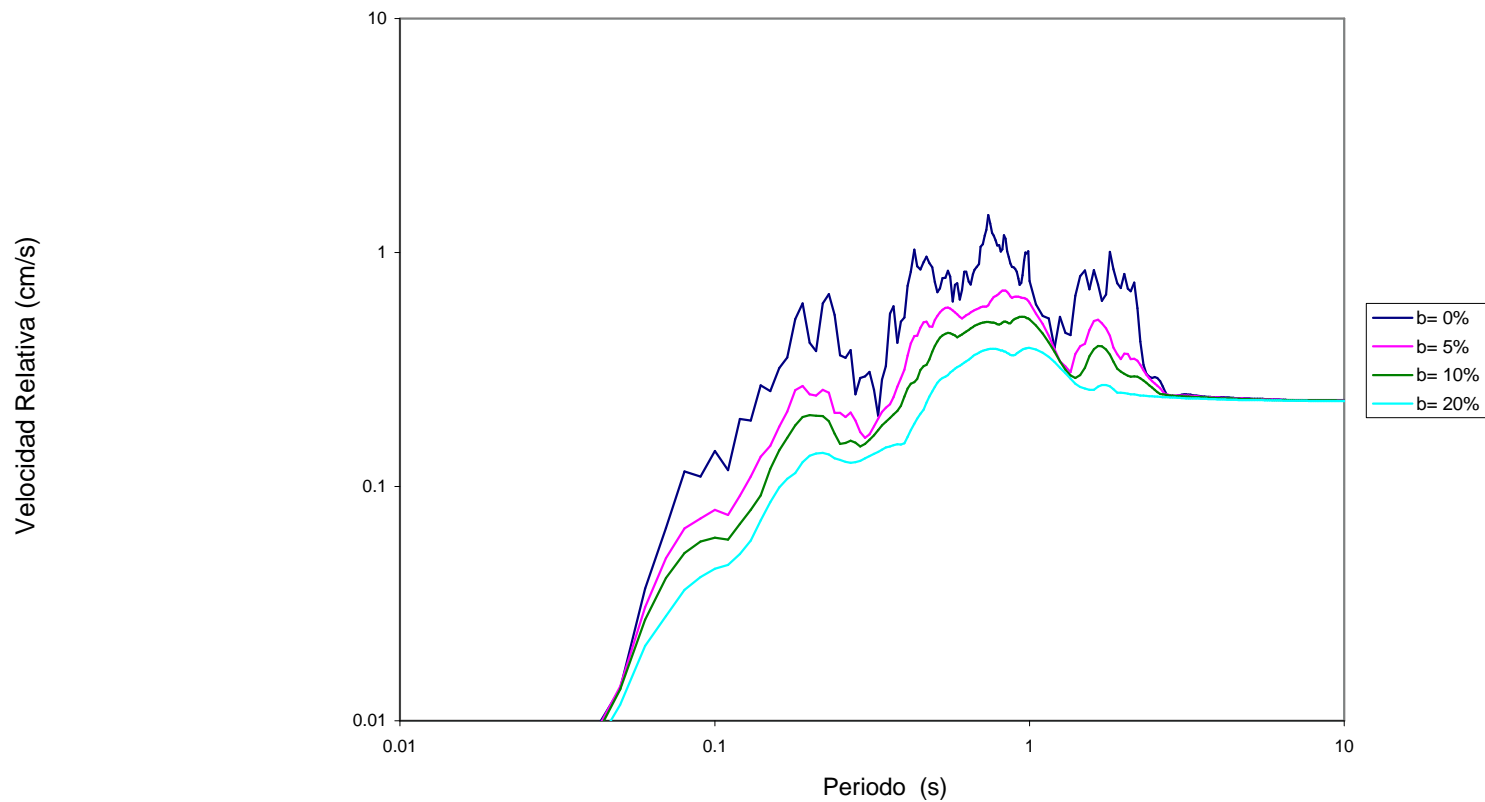
# ESPECTRO DE RESPUESTA ELASTICO

ESTACION : CISMID, FECHA : 01/01/89

REGISTRO DE DESPLAZAMIENTOS

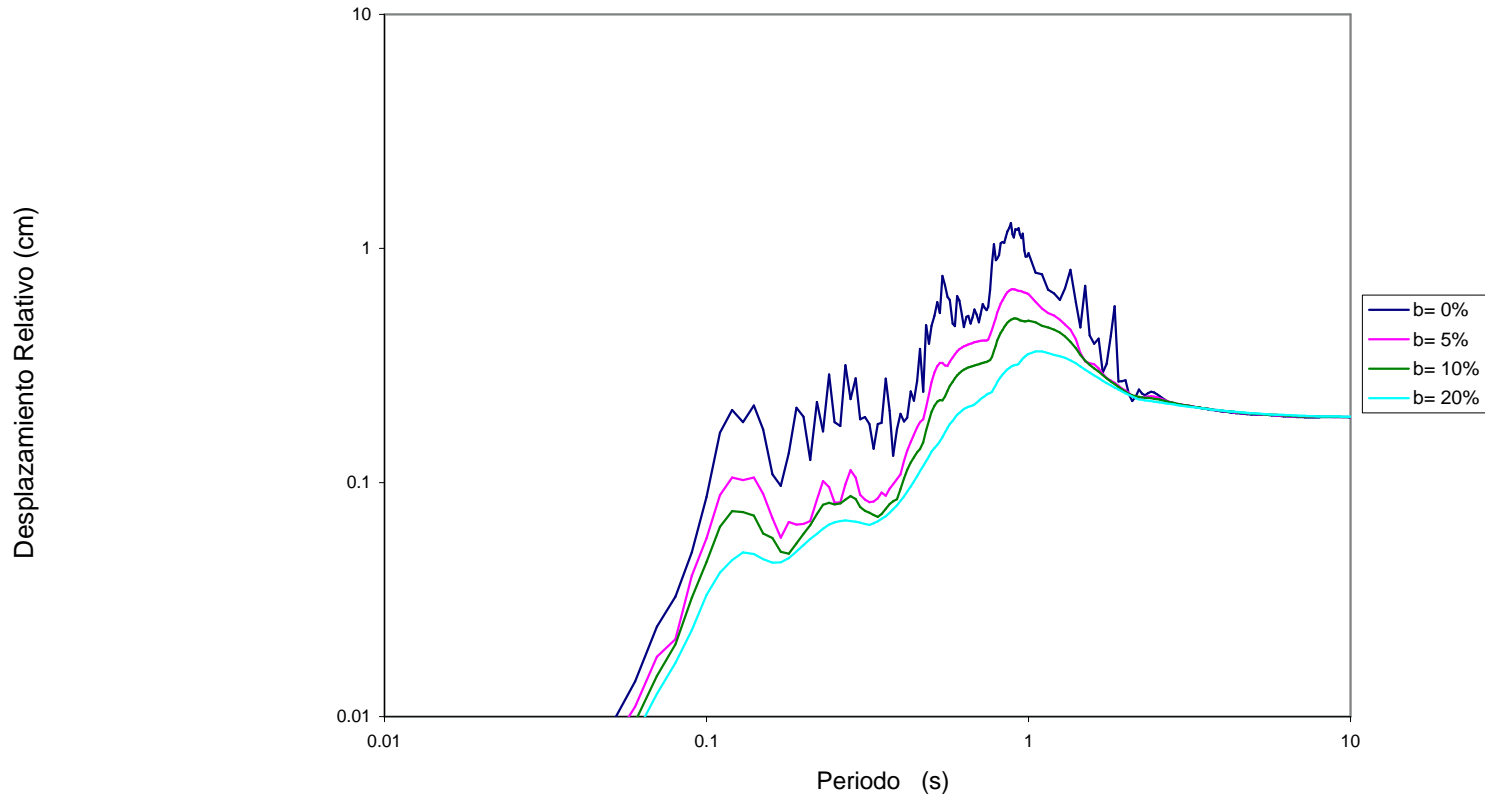
AMORTIGUAMIENTO : 0,5,10,20%

COMPONENTE: NS



**CENTRO PERUANO JAPONES DE INVESTIGACIONES  
SISMICAS Y MITIGACION DE DESASTRES FIC-UNI**

**ESPECTRO DE RESPUESTA ELASTICO**  
ESTACION : CISMID, FECHA : 01/01/89  
REGISTRO DE DESPLAZAMIENTOS  
AMORTIGUAMIENTO : 0,5,10,20%  
**COMPONENTE: UD**



**CENTRO PERUANO JAPONES DE INVESTIGACIONES  
SISMICAS Y MITIGACION DE DESASTRES FIC-UNI**