

## 7. DESCRIPCION GENERAL DE LA INSTRUMENTACION

La red de observación consiste en dos tipos de instrumentos: sismómetros e inclinómetros. A continuación se describirá de una manera general el modo de operación y las técnicas de medición empleadas en los dos tipos de equipos. En cuanto a las estaciones sismológicas se describirán únicamente aquellas que utilizan técnicas analógicas y que por ahora son la mayoría. Una discusión sobre los equipos digitales, formatos de datos, técnicas de comunicación, etc., están fuera del objetivo de este trabajo.

### 7.1 Estación sismológica

Dependiendo del sitio, del equipo y de la fecha de instalación, las estaciones sismológicas de la red fueron básicamente colocadas y acondicionadas de dos maneras diferentes: una instalación permanente mediante una caseta especial de resguardo y una instalación temporal en el campo de forma subterránea. El primer tipo de instalación se utilizó para las estaciones IIA, PPM, PPM2, PPC, PPL, PPS y PPY y el segundo para PPX, PPP y PPB. Un diagrama esquemático de ambos tipos de instalación se muestra en las figuras 7 y 8. Se observa que en cuanto a su instrumentación, en ambos casos el equipamiento utilizado es esencialmente el mismo y consta de tres elementos: sensor, acondicionador de señal y trasmisor.

Para las estaciones del primer tipo (figura 7), se construyó una caseta de mampostería especial que protege los equipos contra vandalismo el medio ambiente; sirve a su vez de protección y resguardo al personal que opera y mantiene la estación (ver también fotografías figuras 33 a 37). El sismómetro o transductor que detecta la vibración del terreno se coloca sobre un pedestal rígido de concreto firmemente anclado a la roca en caso de existir o ligado al suelo mediante zapatas. Para evitar al máximo la trasmisión de ruido que la estructura, por ejemplo por la acción del viento, pueda inducir al sensor, el pedestal queda desligado físicamente de la cimentación de la caseta.

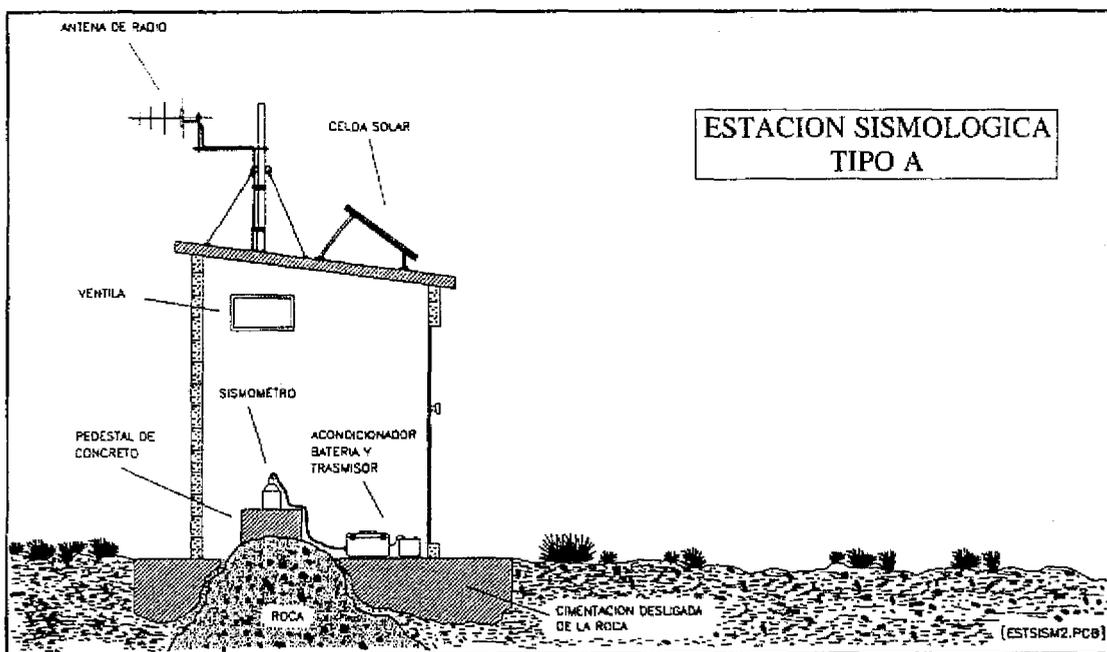


Figura 7. Esquema de la instalación y equipamiento de una estación sismológica tipo A con caseta.

A un lado del pedestal se coloca el equipo de acondicionamiento de señal, transmisor y baterías de alimentación. Las celdas solares y una pequeña torre con la antena de transmisión quedan colocadas en el techo de la caseta. Esta usualmente tiene una puerta metálica de acceso y pequeñas ventilas. Aunque no se muestra en la figura 7, algunas estaciones además cuentan con un cerca de protección mediante malla ciclónica ahulada para mantener alejado al ganado.

En cuanto a las estaciones del segundo tipo (figura 8), por ser temporales o que tuvieron que instalarse durante la emergencia volcánica, el sismómetro, al igual que el equipo acondicionador, quedan enterrados a 1.5 metros de profundidad. Cabe aclarar que el sensor es totalmente hermético, a prueba de agua y fabricado con acero inoxidable. El acondicionador, transmisor y batería se protegen dentro de un una hielera de plástico y poliuretano. A un lado del contenedor se instala una pequeña torre tubular soportada mediante tres vientos o sobre una base de concreto a la cual se sujetan las celdas solares y la antena de radio (ver fotografía figura 31). En algunas estaciones se instala una varilla de cobre para proteger la estación contra descargas de electricidad atmosférica. Los equipos quedan interconectados mediante cables, también subterráneos.

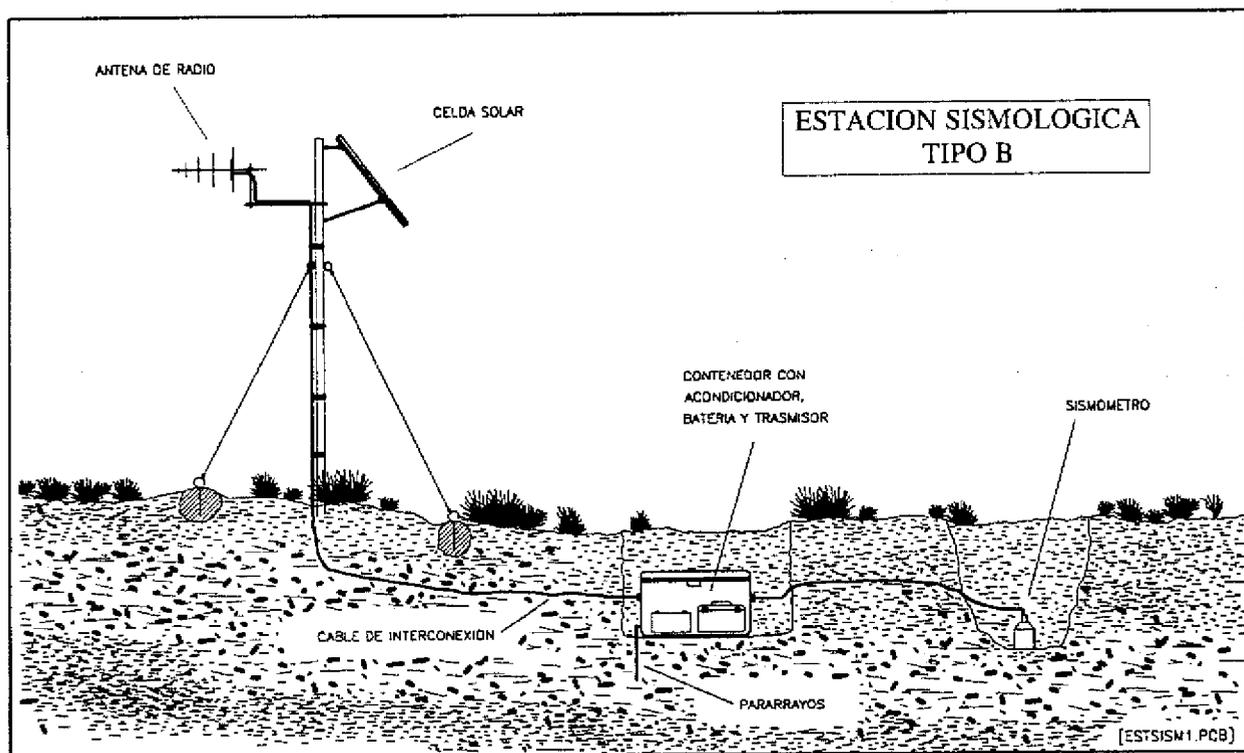


Figura 8. Esquema de la instalación y equipamiento de una estación sismológica tipo B sin caseta.

Planos detallados del tipo de caseta e instalaciones que se están construyendo en distintas estaciones de la red para hacerlas definitivas y permanentes se muestran en las figuras 9a y 9b.

Con base en el diagrama de bloques de la figura 10 se describirá a continuación la forma de operar de una estación sismológica con telemetría.

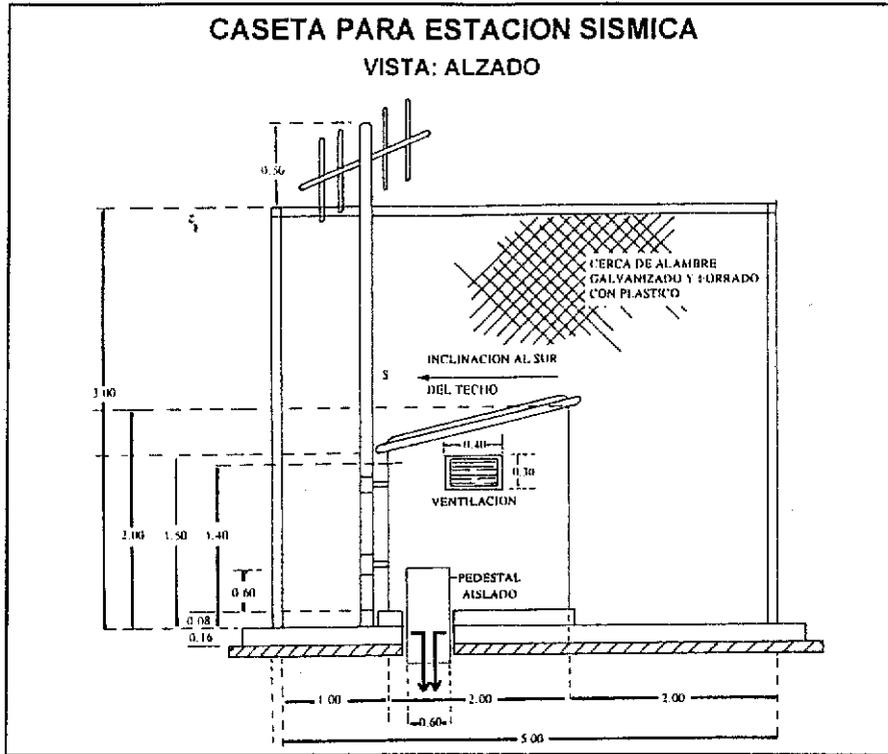


Figura 9a. Plano con la vista en planta de una caseta sismológica.

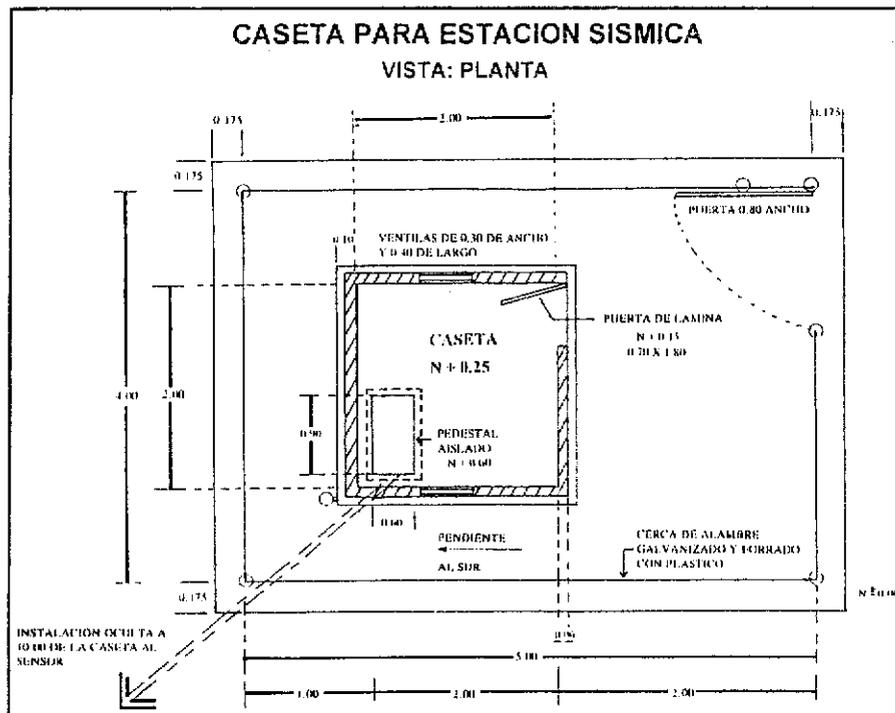


Figura 9b. Plano con la vista lateral de una caseta sismológica.

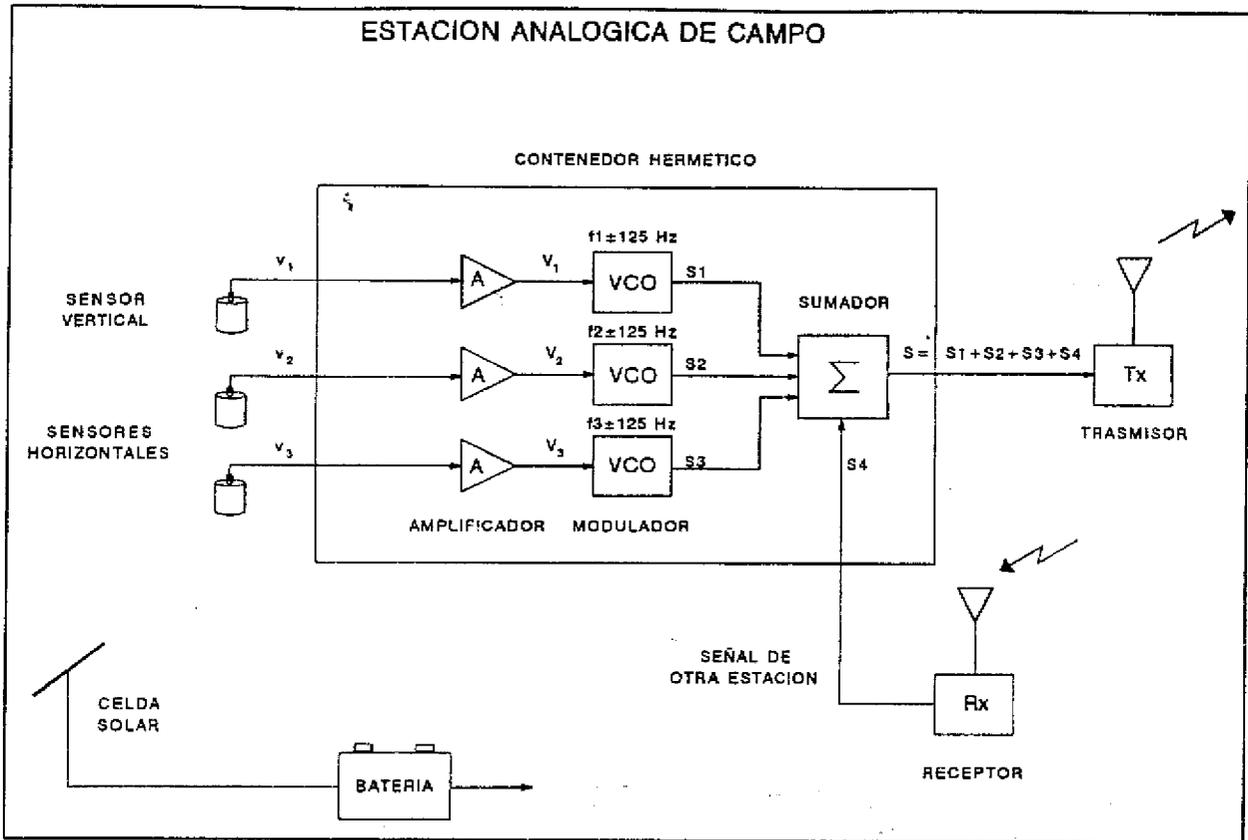


Figura 10. Diagrama de bloques de los equipos electrónicos en una estación sismológica con telemetría.

El movimiento del terreno es detectado por uno o varios sismómetros, también llamados geófonos o transductores de velocidad. Uno se utiliza para detectar el movimiento en la dirección vertical y los otros dos para los movimientos horizontales, generalmente orientados Norte-Sur y Este-Oeste. Los sensores generan un señal de voltaje proporcional a la velocidad ( $v_1$ ,  $v_2$  y  $v_3$ ). Esta pequeña señal analógica es amplificada y filtrada ( $V_1$ ,  $V_2$  y  $V_3$ ) y luego utilizada para modular en frecuencia una subportadora de audio de frecuencia  $f_1$ ,  $f_2$  y  $f_3$  mediante los osciladores controlados por voltaje (VCO). Se producen así las señales de FM  $S_1$ ,  $S_2$  y  $S_3$ . De esta manera el voltaje de cada sensor es convertido a una señal en la banda audible, con frecuencia proporcional a la velocidad del terreno dentro de una banda de 125 Hz alrededor de la frecuencia de la subportadora.

$$\begin{aligned} (f_1 - 125) &\leq S_1 \text{ (Hz)} \leq (f_1 + 125) \\ (f_2 - 125) &\leq S_2 \text{ (Hz)} \leq (f_2 + 125) \\ (f_3 - 125) &\leq S_3 \text{ (Hz)} \leq (f_3 + 125) \end{aligned}$$

Las frecuencias de las subportadoras, de acuerdo con el estándar IRIG son:

$$680, 1020, 1360, 1700, 2040, 2380, 2720 \text{ y } 3060 \text{ Hz}$$

separadas cada una 340 Hz y dejando así una banda de guarda entre cada señal de 90 Hz.

En ciertas aplicaciones y con circuitos especiales se utiliza también una subportadora en 415 Hz.

Una vez acondicionadas y moduladas las tres señales individualmente, se suman en amplitud mediante el sumador produciendo finalmente la señal

$$S = S1 + S2 + S3 + (\text{la señal de otra estación})$$

que es la que se transmite mediante el transmisor Tx también de FM a la central. De esta forma en una sola banda de voz (audio) se pueden codificar hasta 8 diferentes señales. Esta técnica se conoce como multiplexaje por división en frecuencia y es comúnmente utilizada en sistemas de telemetría, ya que por estar modulada en frecuencia es inherentemente inmune a ruido que es inducido por amplitud. Las radiofrecuencias empleadas en la red son en VHF y UHF y se transmite con potencias de 0.1 a 2 Watts dependiendo del sitio y la distancia del enlace. La alimentación en todas las estaciones es de 12 VCD mediante celdas solares y baterías automotrices en flotación. Esto garantiza una operación continua. El consumo típico de una estación como la descrita es de 350 mA.

Un análisis de esta técnica y de los circuitos electrónicos asociados se describe con detalle en Quaas et al., 1973 y Murray et al., 1994.

En la estación central receptora, por otro lado, el proceso de recuperación de las señales es el inverso como se muestra en la figura 11.

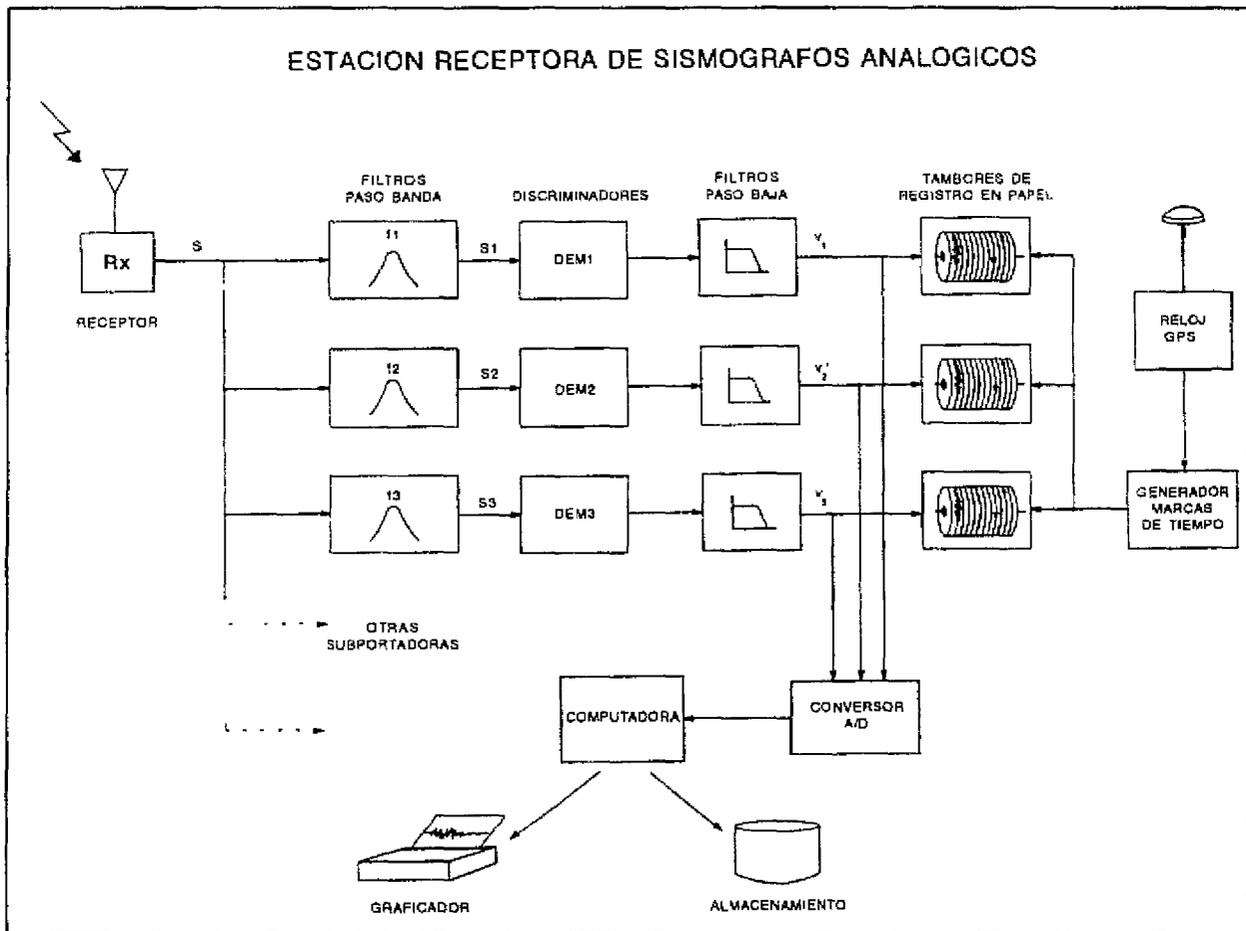


Figura 11. Diagrama de bloques de los equipos electrónicos para la recepción y registro de las señales de telemetría en la estación central.

La señal multiplexada  $S$  es detectada por el receptor  $R_x$  e introducida simultáneamente a un banco de filtros pasa banda, sintonizados cada uno a la frecuencia subportadora correspondiente. De esta manera se separan (demultiplexan) y recuperan las señales individuales  $S_1$ ,  $S_2$ , y  $S_3$ , sumadas en la estación de campo (figura 10). El siguiente proceso es la detección o demodulación de las señales codificadas en FM mediante los demoduladores  $DEM_{1,2}$  y  $3$ . Después de filtrarse se obtienen nuevamente las señales de voltaje  $V_1'$ ,  $V_2'$  y  $V_3'$  cuyo valor es proporcional a la velocidad del movimiento del terreno.

Aquí termina el proceso de detección y recuperación de la información; sin embargo, para ser útiles, deben ser registradas y procesadas convenientemente. En el centro de recepción del Cenapred, estas señales se registran en graficadores continuos de tambor sobre papel, produciendo los conocidos sismogramas. Además de las trazas de velocidad, se registra el tiempo mediante la superposición de marcas de referencia cada minuto y cada hora, las cuales son generadas por un reloj GPS (sistema de posicionamiento global). Debe aclararse que esta técnica de registro centralizado del tiempo es válida en un sistema de telemetría como el descrito, en virtud de que todas las señales son enviadas simultáneamente desde las distintas estaciones y en tiempo real, es decir, en el momento mismo que ocurren (se desprecia el retardo debido a la propagación de las ondas de radio que viajan a la velocidad de la luz).

Paralelamente, las señales analógicas de voltaje de cada canal son muestreadas y convertidas a palabras digitales que son procesadas también en tiempo real por una computadora que las analiza y detecta los eventos sísmicos importantes que quedan almacenados en archivos numéricos. Sobre el procesamiento y análisis de las señales se abundará con más detalle en la siguiente sección.

## 7.2 Estación inclinométrica

Como se mencionó con anterioridad, la red de observación del Popocatepetl cuenta en la actualidad con tres estaciones instrumentadas con inclinómetros, dispositivos que registran a través de la inclinación la deformación del terreno. Esta variable, complementaria a la del movimiento sísmico, es de suma importancia para monitorear la actividad de un volcán y sobretodo como señal precursora de una posible erupción.

La instrumentación de estas tres estaciones se llevó a cabo en la forma ilustrada en el esquema de la figura 12. Tanto los instrumentos como la técnica de su instalación fueron proporcionados por el Observatorio Vulcanológico de los Cascades del USGS. Estos equipos y su manejo han sido descritos con detalle por Ewert y Swanson (1992).

Como muestra la figura, consta también de las siguientes partes: sensores, acondicionadores, transmisores, baterías y celdas solares (ver también fotografías figuras 38 y 39). El inclinómetro de hecho está compuesto por tres sensores, dos inclinómetros finos de alta resolución colocados en forma ortogonal con rango máximo de 500 microradianes (un microradián  $\approx 5.73 \times 10^{-5}$  grados) y sensibilidad de 0.1 microradián y un inclinómetro grueso con rango de escala completa de 60 grados y resolución de 0.02 grados. Los inclinómetros por ser instrumentos tan sensibles, requieren de una instalación especial. Para ello se excava un agujero de 3m de profundidad y 1.5m de diámetro. en cuyo fondo se cuela una base circular de concreto armado con anclas introducidas al suelo para darle mayor estabilidad. Sobre la base se fija el instrumento, de manera que sus dos ejes perpendiculares  $X$  e  $Y$  queden orientados en forma radial al centro del volcán. Posteriormente se cubre la base con un contenedor metálico hecho de un barril de petróleo el cual tiene un orificio para los cables de interconexión. Antes de cubrir el contenedor con una tapa, se nivelan los inclinómetros a su posición de cero (horizontal) mediante tornillos especiales. El ajuste grueso se realiza mediante un nivel con burbuja de aire y el fino se logra midiendo eléctricamente la salida de los sensores. Una vez hecha la nivelación, se tapa el contenedor y se cubre completamente con tierra el pozo. Con este tipo de instalación subterránea se logra una buena estabilidad mecánica y también un óptimo aislamiento térmico, que es fundamental en estas mediciones. Cabe mencionar que los inclinómetros además tienen integrado un termómetro que permite la correlación entre las variables de deformación y de temperatura. En ocasiones se llegan a registrar cambios aparentes de inclinación que sin embargo no son debidos a una deformación sino son producto

de la contracción y dilatación del material por efectos térmicos. Dzurisin (1992) describe diferentes tipos de instalaciones de inclinómetros, efectos térmicos y experiencias obtenidas en el volcán Santa Helena.

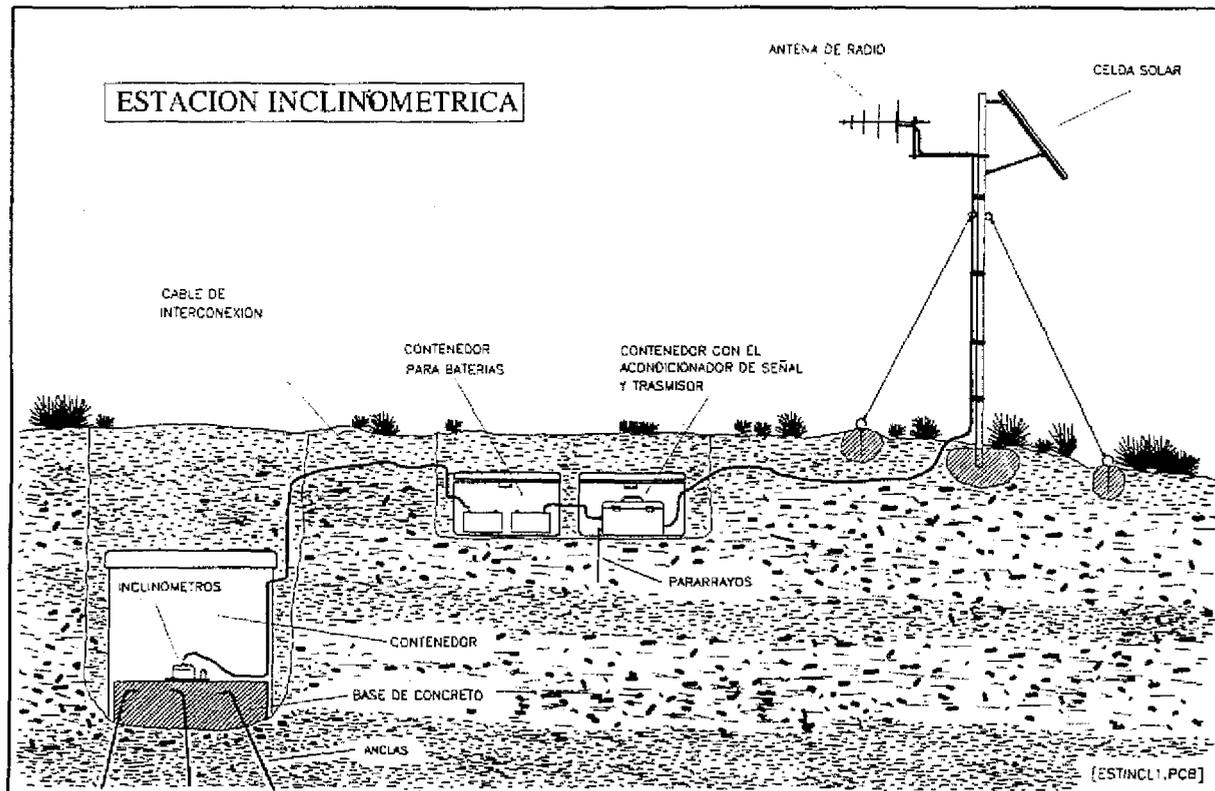


Figura 12. Esquema de instalación y equipamiento de una estación inclinométrica.

En forma similar a las estaciones sismológicas, los equipos para el acondicionamiento de las señales, de telemetría y baterías se instalaron también en forma subterránea y protegidos dentro de hieleras de plástico y poliuretano (ver fotografía figura 40). Para el soporte de la antena de transmisión y de la celda solar, se colocó un mástil tubular con tres vientos.

La forma de operación de una estación inclinométrica es la mostrada en el diagrama de la figura 13. Cada sensor proporciona un voltaje proporcional a la inclinación. Estas señales son amplificadas y convertidas a señales digitales y luego codificadas y transmitidas por radio mediante modulación FSK a una velocidad de 300 bauds. La transmisión no es continua, sino que se envía a intervalos regulares predefinidos, por ejemplo cada 10 minutos, en forma de un paquete de datos. Este paquete contiene la información: niveles de inclinación X e Y del sensor biaxial, nivel de inclinación del sensor de baja resolución, temperatura dentro del sensor y el nivel de voltaje de la batería. Mediante esta técnica de transmisión intermitente se reduce considerablemente el consumo de energía y se puede integrar una red de estaciones de este tipo utilizando la misma frecuencia de radio. La probabilidad de que dos estaciones transmitan al mismo tiempo es muy baja y en caso dado sencillamente se desechan los datos de ese intervalo. Murray (1992) describe con más detalle los circuitos electrónicos de este sistema de telemetría.

Respecto al equipo de recepción, es similar al descrito para los sismómetros, con excepción de que las señales son digitales y la salida del demodulador directamente se interconecta a una computadora vía puerto serie RS-232.

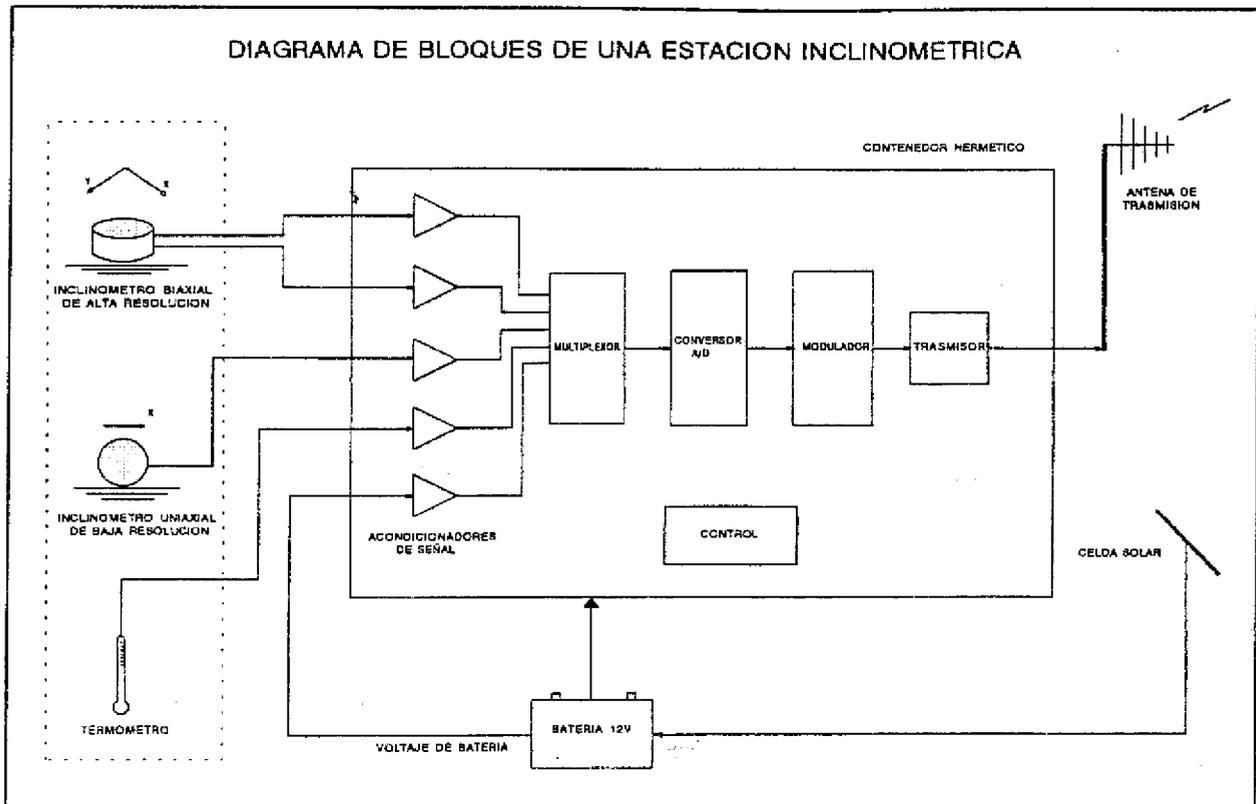


Figura 13. Diagrama de bloques de la instrumentación de una estación inclinométrica.

## 8. CENTRO DE RECEPCION Y PROCESAMIENTO DE DATOS

Todas las señales de telemetría de las estaciones remotas de medición confluyen hacia un puesto centralizado de recepción de datos, localizado en el Cenapred, donde son procesadas y analizadas (ver fotografías figuras 42 y 43). Un diagrama de bloques simplificado del equipo que integra el centro se presenta en la figura 14. Consta esencialmente de tres gabinetes que alojan los módulos y circuitos electrónicos de recepción y decodificación, así como los graficadores de tambor. Las tareas específicas de adquisición, monitoreo, procesamiento y análisis de los datos se lleva a cabo mediante 5 computadoras interconectadas en red.

Un banco de receptores detecta las señales de radio. Aquellas que se transmiten en forma digital directamente son procesadas por un sistema independiente de adquisición y procesamiento de datos. Para el caso de las señales sísmicas analógicas y de inclinometría, como se mencionó ya, pasan primero por un proceso de demodulación o decodificación. De allí se toman las señales para ser graficadas en papel mediante registradores de tambor y se derivan también para su procesamiento digital en tiempo real.

Por un lado se lleva a cabo la detección de aquellos eventos sísmicos que rebasan los umbrales de los algoritmos de disparo y por el otro se miden en tiempo real las amplitudes de las señales sísmicas (RSAM). Asociado a este proceso se instrumentó también una alarma acústica que opera en caso de detectarse un aumento importante en la actividad.

SISTEMA DE MONITOREO DEL VOLCAN POPOCATEPETL  
CENTRO DE RECEPCION Y PROCESAMIENTO DE DATOS

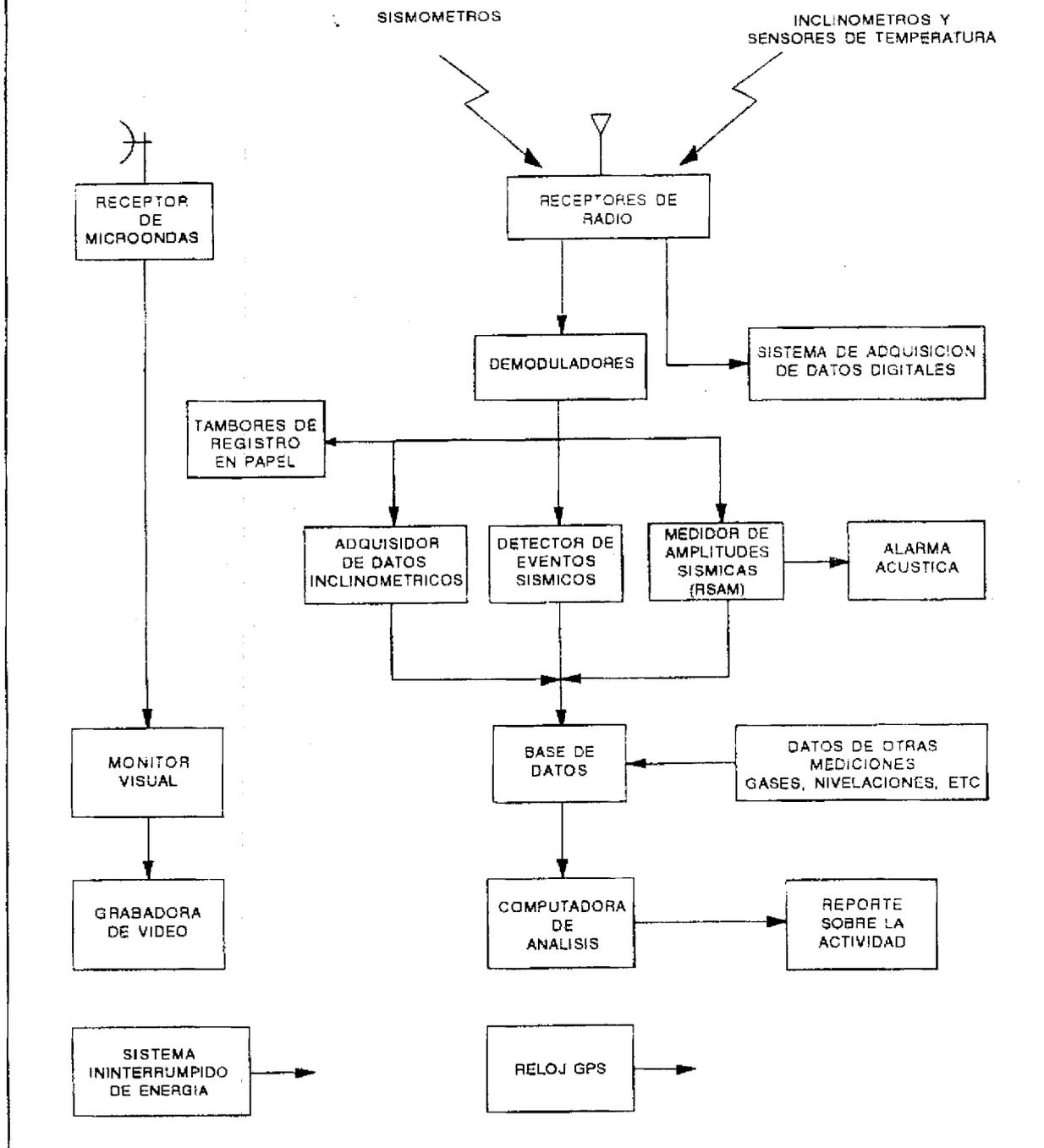


Figura 14. Equipos que integran el centro de recepción y procesamiento de datos del sistema de monitoreo del volcán.

Todos los datos procesados, tanto de la medición directa a través de la red de telemetría, como de otra información complementaria, se vierten y almacenan en un banco de datos. De allí se toman para su procesamiento y análisis avanzado cuyos resultados se reportan periódicamente.

Además del monitoreo y medición instrumental se tiene un equipo para el monitoreo visual del volcán que se muestra en la figura 15. La señal de una cámara de video de alta definición es transmitida mediante un enlace dedicado de microondas hacia el centro, en donde se despliega en forma continua la imagen del volcán y se graba también la señal de video (ver fotografías figuras 43, 44 y 45).

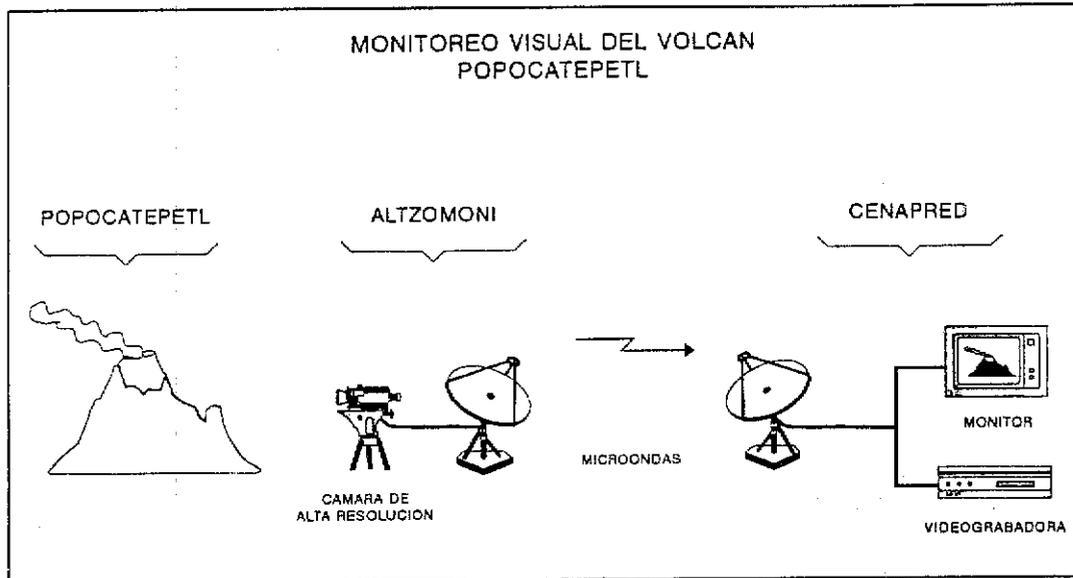


Figura 15. Sistema de monitoreo visual del volcán.

Como referencia única de tiempo se tiene un reloj fechador maestro de gran precisión sincronizado al tiempo universal UTC mediante un receptor GPS. De este reloj se generan las marcas de tiempo utilizadas por los distintos dispositivos de registro.

Para garantizar la operación continua de todo el proceso, el centro cuenta con un sistema ininterrumpido de suministro de energía.

### 8.1 Resultados del procesamiento de la información y monitoreo de datos

Como producto de la medición en tiempo real de las amplitudes de las señales sísmicas (RSAM) se presentan en un monitor los promedios del nivel de sismicidad registrado en cada estación. Murray y Endo (1992) dan una descripción detallada del sistema. El despliegue de estas mediciones es mediante diagramas de barras como se muestra en la figura 16. A cada señal se le asocian 3 barras de distinto color: la superior indica el promedio en un intervalo de 1 minuto, la intermedia el promedio de 5 minutos y la barra inferior el promedio calculado en 10 minutos. La amplitud (eje horizontal) se mide directamente en cuentas del convertidor analógico - digital. Entre mayor es el tamaño de la barra, mayor el nivel de la señal sísmica. Este sistema permite tener una visión global y en forma continua de la actividad de toda la red en conjunto y por tanto es indispensable para el monitoreo del volcán (Endo et al., 1991). Paralelamente en otro monitor similar se despliegan también en forma continua las trazas de los sismogramas de cada estación en bloques de 5 segundos.

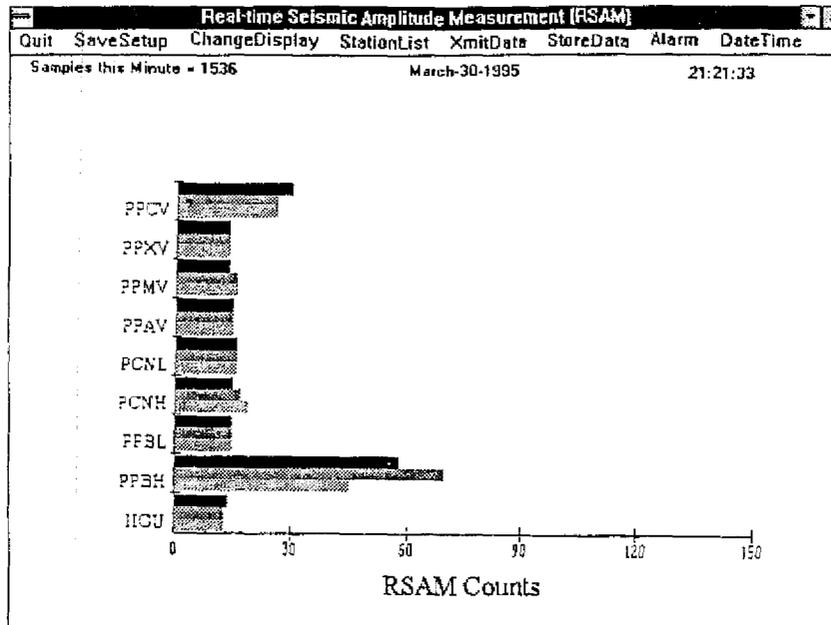


Figura 16. Monitor en tiempo real de las amplitudes sísmicas (RASM).

Por otro lado, los datos de los inclinómetros se procesan en una computadora independiente y se despliegan en la forma mostrada en la figura 17. De izquierda a derecha las columnas indican el número de estación, el canal de medición, el valor en cuentas y también expresado como un voltaje, la hora de ocurrencia y finalmente la fecha. Debe recordarse que cada estación inclinométrica envía un paquete de 5 datos cuyas variables y constantes de conversión se dan en la tabla 4.

St	Ch	Data	Volts	Time	Date
St=01	Ch=04	Data=4136	Volts=-0.048	21:12:44	03-30-1995
St=01	Ch=03	Data=2830	Volts=-1.546	21:12:42	03-30-1995
St=01	Ch=02	Data=3949	Volts=-0.181	21:12:41	03-30-1995
St=01	Ch=01	Data=4143	Volts=+0.056	21:12:38	03-30-1995
St=01	Ch=00	Data=6455	Volts=+2.877	21:12:36	03-30-1995
St=02	Ch=04	Data=4078	Volts=-0.023	21:10:18	03-30-1995
St=02	Ch=03	Data=2864	Volts=-1.504	21:10:16	03-30-1995
St=02	Ch=02	Data=4122	Volts=+0.030	21:10:14	03-30-1995
St=02	Ch=01	Data=4158	Volts=+0.074	21:10:12	03-30-1995
St=02	Ch=00	Data=6539	Volts=+2.979	21:10:10	03-30-1995
St=01	Ch=04	Data=4136	Volts=-0.048	21:06:50	03-30-1995
St=01	Ch=03	Data=2830	Volts=-1.546	21:06:48	03-30-1995
St=01	Ch=02	Data=3949	Volts=-0.181	21:06:46	03-30-1995

D

145

Figura 17. Despliege de los datos de las estaciones inclinométricas.

CANAL	VARIABLE	FACTOR DE CONVERSION Y UNIDADES
0	VOLTAJE DE BATERIA	(cuentas - 4096) X 5.49 X 10 <sup>-3</sup> [volts]
1	TEMPERATURA	(cuentas - 4096) 0.122 [°C]
2	INCLINÓMETRO DE ALTA RESOLUCIÓN, EJE X	(cuentas * 0.098) - 250 [μrad]
3	INCLINÓMETRO DE ALTA RESOLUCIÓN, EJE Y	(cuentas * 0.098) - 250 [μrad]
4	INCLINÓMETRO DE BAJA RESOLUCIÓN	(cuentas * 355 )+ 100 [μrad]

Tabla 4. Variables y factores de conversión del paquete de datos de una estación inclinométrica.

Finalmente tanto los datos sísmicos como de inclinación, se transfieren a una computadora en la cual se analizan e interpretan mediante un programa especial llamado BOB desarrollado por Murray (1992b). Este programa es muy flexible ya que permite analizar los datos de distintas variables y estaciones y desplegarlos o graficarlos para un intervalo de tiempo seleccionado. A continuación se dan algunos ejemplos del tipo de procesamiento que permite este programa.

En la figura 18 se muestra la actividad sísmica de seis estaciones, expresada en unidades RSAM (en cuentas) promediadas cada 10 minutos en un intervalo que va del 28 de enero al 4 de febrero de 1995. En cada traza se indica la estación de registro y su distancia al centro del volcán.

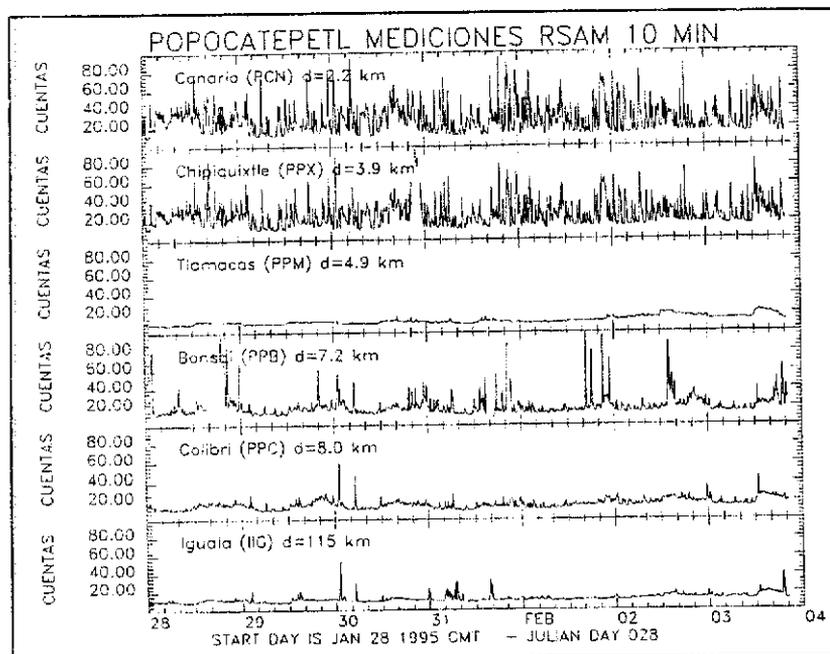


Figura 18. Actividad sísmica registrada en seis estaciones de la red en el intervalo del 28 de enero al 4 de febrero de 1995.

La figura 19 muestra los datos de inclinación registrados por la estación Nexpayantla (PIN) durante los primeros días después de su instalación el 4 de enero de 1995. Las trazas superiores muestran la inclinación del sensor de alta resolución en los ejes X e Y y también la inclinación registrada por el sensor de baja resolución en la traza intermedia. Las trazas inferiores dan la temperatura y el voltaje de la batería, respectivamente. Se aprecia el transitorio tanto en la temperatura como en la inclinación debido al proceso de asentamiento y equilibrio térmico. El voltaje de la batería indica un ligero aumento durante el día, cuando es recargada por la celda solar.

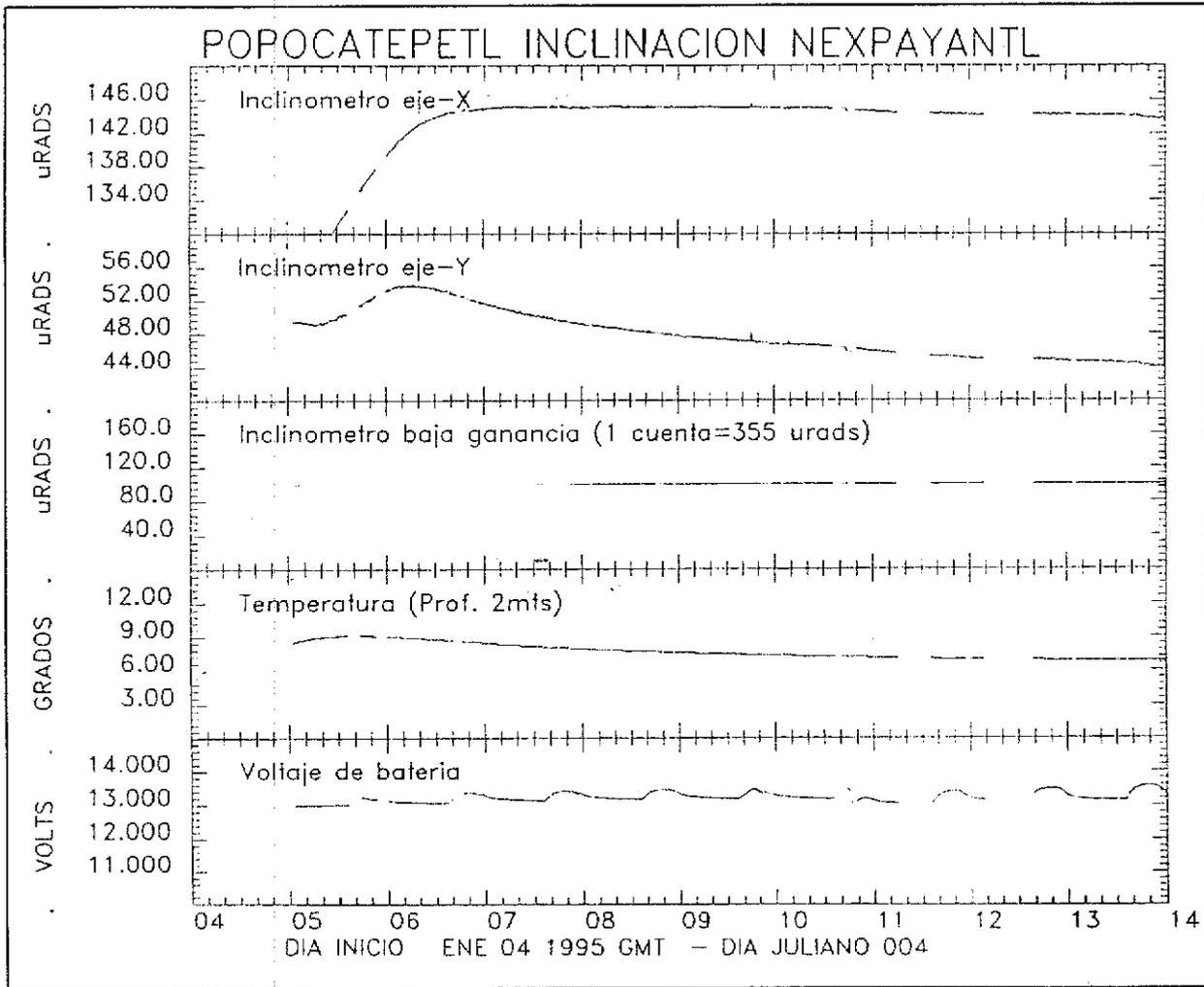


Figura 19. Datos de inclinación registrados del 4 de enero (fecha de instalación) al 14 de enero de 1995 en la estación Nexpayantla (PIN).

Un ejemplo más de la posibilidad de procesamiento de los datos que permite el programa BOB son las gráficas de la figura 20 que combina diferentes variables. La parte superior da el nivel de bióxido de azufre medido con el espectrómetro de correlación COSPEC, seguido de la actividad sísmica (en unidades RSAM) registrada en las estaciones PPP, PPX y PPM. Se presentan también los valores de inclinación en la estación PIP y en la gráfica final se da la energía acumulada registrada en la estación de PPM. Las seis mediciones se integran en un intervalo que va del 4 de marzo al 3 de abril de 1995. Estas gráficas combinadas permiten de una manera clara y objetiva observar el estado de actividad del volcán.

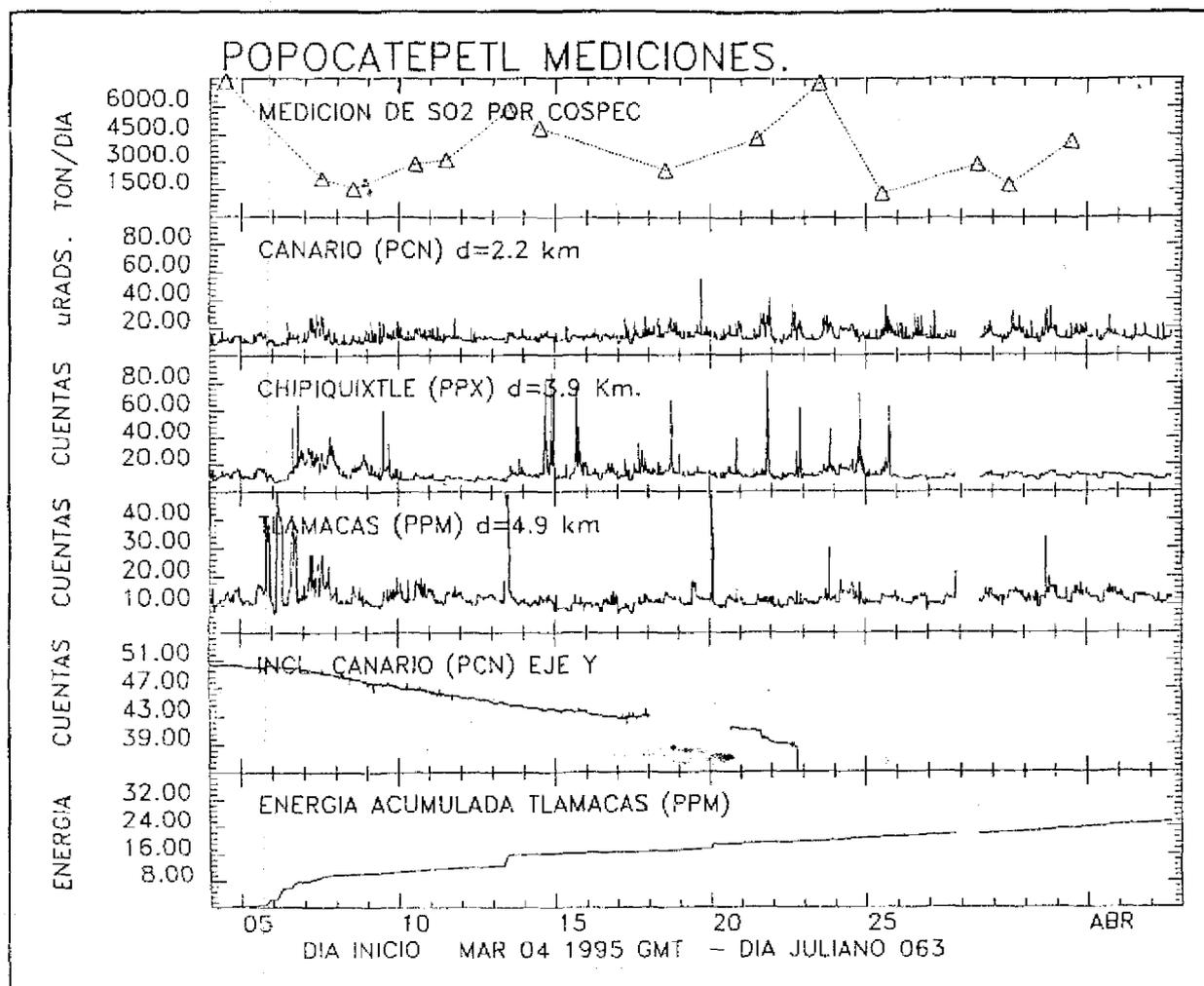


Figura 20. Gráfica combinada que muestra la medición de diferentes variables en el periodo del 4 de marzo al 3 de abril de 1995.

## 8.2 Alarma acústica

En un sistema de monitoreo en tiempo real es indispensable contar con algún dispositivo que permita en forma automática alertar a los encargados de su operación, cuando la actividad rebasa ciertos niveles preestablecidos. Particularmente es necesario cuando, como en el caso del volcán Popocatepetl, se requiere tener una estrecha y continua vigilancia durante las 24 horas del día. Para satisfacer esta necesidad el sistema cuenta con un programa especial de computadora y un dispositivo acústico de alertamiento.

Se basa en tres elementos de comparación y decisión: a) niveles de amplitud sísmica y duración de eventos tipo A y B; b) niveles y duración de eventos sísmicos tipo tremor y c) relación de los niveles de amplitud entre distintas estaciones. Los parámetros para estos tres elementos pueden ser establecidos a través de las ventanas mostradas en las figuras 21a, 21b y 21c. El tercer elemento de hecho actúa como filtro y es fundamental, ya que permite inhibir la alarma cuando se detecta una señal importante en una estación sísmológica lejana, es decir un sismo de origen no volcánico. En el caso de la red del Popocatepetl se utiliza la señal telesísmica de una estación de observación del

Instituto de Ingeniería de la UNAM, localizada cerca de Iguala, Guerrero, la cual detecta en forma anticipada toda la actividad sísmica originada en la costa del Pacífico. Con este artificio se evita una falsa alarma debido a la detección de señales sísmicas por las estaciones de la red, pero que sin embargo, no son de naturaleza volcánica.

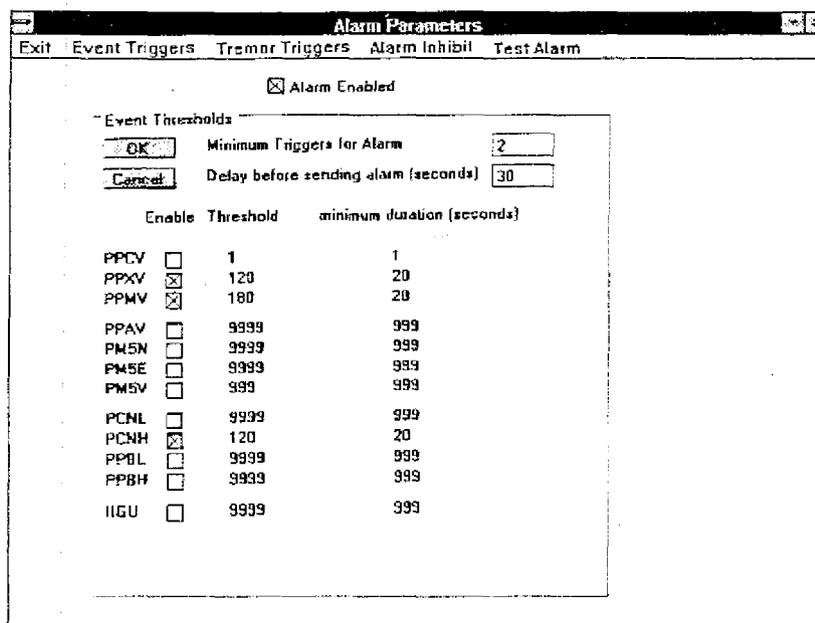


Figura 21a. Menú de selección de parámetros para detectar la actividad sísmica y activar la alarma acústica.

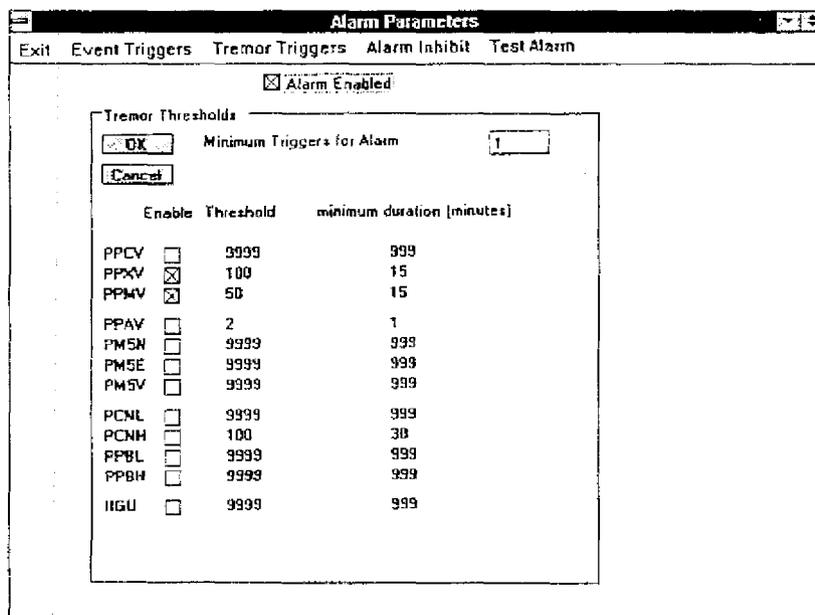


Figura 21b. Menú de selección de parámetros.

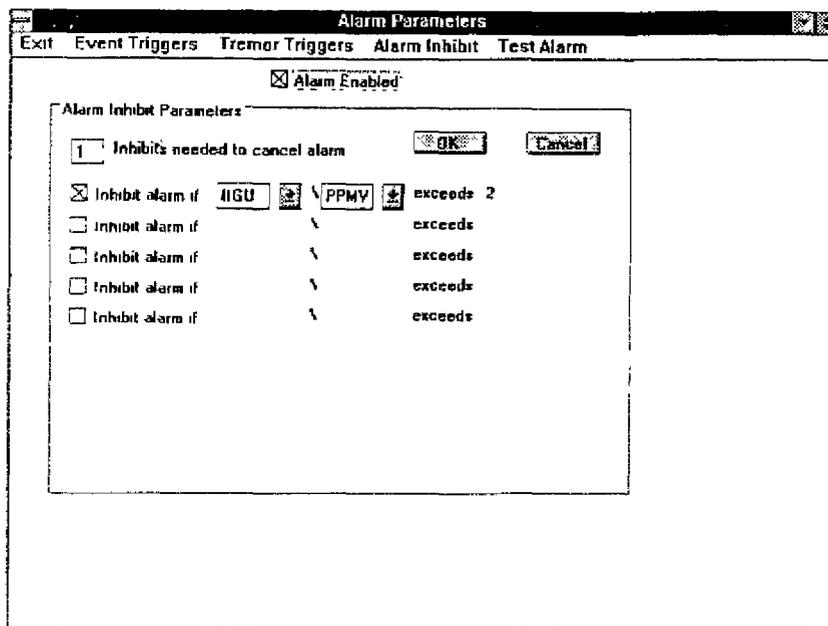


Figura 21c Menú de selección de parámetros para inhibir la alarma acústica.

## 9. RESUMEN DE LOS DATOS REGISTRADOS DESDE EL 21 DE DICIEMBRE DE 1994

Al presentarse los eventos del 21 de diciembre de 1994, solo se tenían en operación 4 estaciones sísmicas con las cuales se pudieron registrar los sismogramas ya mostrados de las figuras 2a y 2b. Sismogramas similares se han venido obteniendo diariamente hasta la fecha integrando un acervo gráfico muy valioso con la historia de la actividad del volcán. A partir de la instalación de instrumentos y equipos de procesamiento adicionales, esta información también se ha venido almacenando a través de archivos numéricos en un banco central de datos.

En las graficas de las figuras 22 y 23 se resume la actividad registrada en el volcán por el sistema de monitoreo desde principios de enero al 30 de abril de 1995.

Un ejemplo adicional de datos registrados de eventos aislados por otros instrumentos operados temporalmente se muestra en las figuras 24, 25 y 26. Corresponde a un mismo evento tipo A ocurrido el 26 de enero a las 10:01 hora local. La primer figura muestra el sismograma registrado mediante telemetría en el registrador de tambor, el segundo fue obtenido por el sismógrafo de banda ancha en PPM y el último muestra un singular registro de aceleración obtenido en el albergue de Tlamacas.

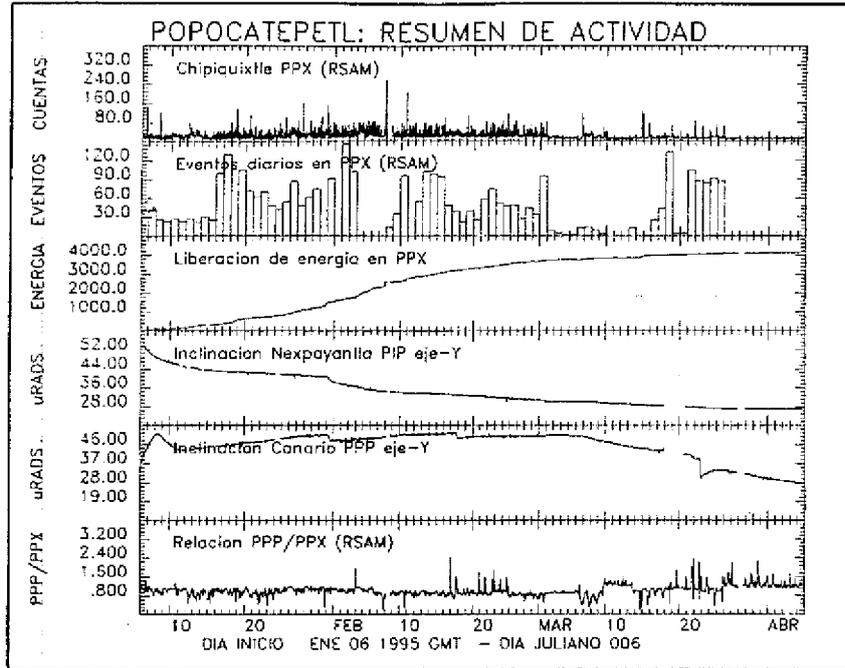


Figura 22. Resumen de la actividad registrada en el volcán en el intervalo del 5 de enero (fecha de instalación del sistema de procesamiento digital) al 1° de abril de 1995.

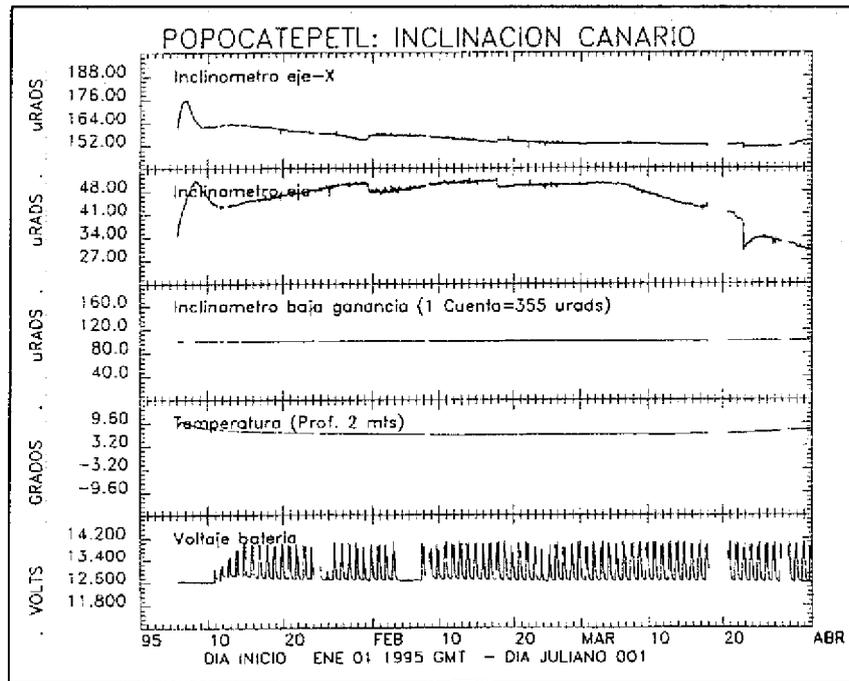


Figura 23. Resumen de la deformación registrada en la estación del Canario del 5 de enero al 1° de abril de 1995.

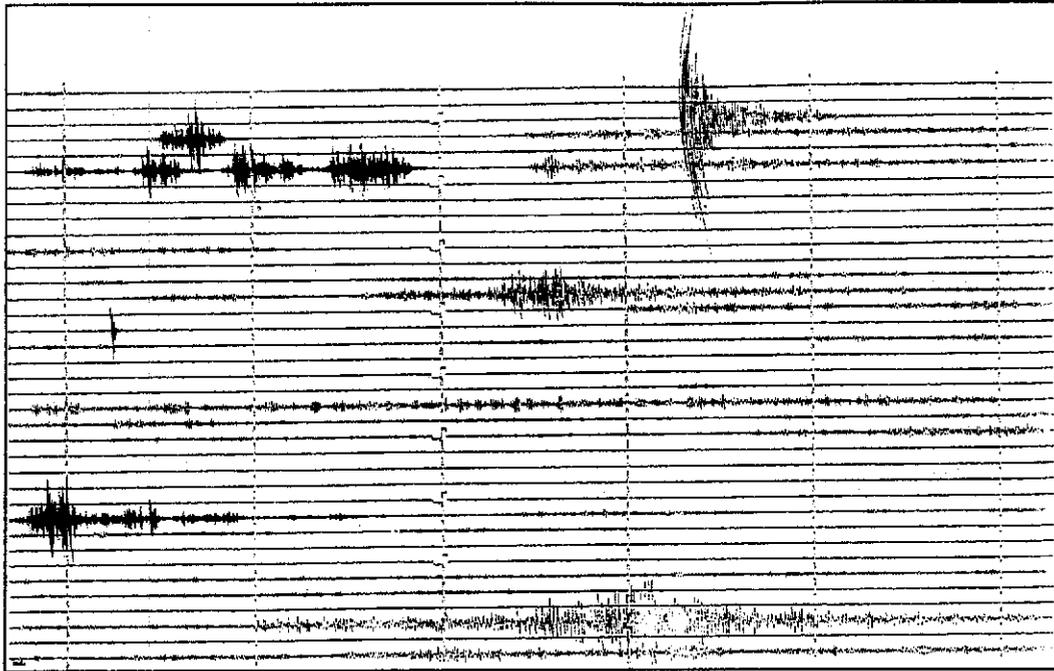


Figura 24. Sismograma obtenido por telemetría de un evento tipo A ocurrido en el volcán el 26 de enero de 1995 y registrado en las estación PPM (sensor vertical de periodo corto).

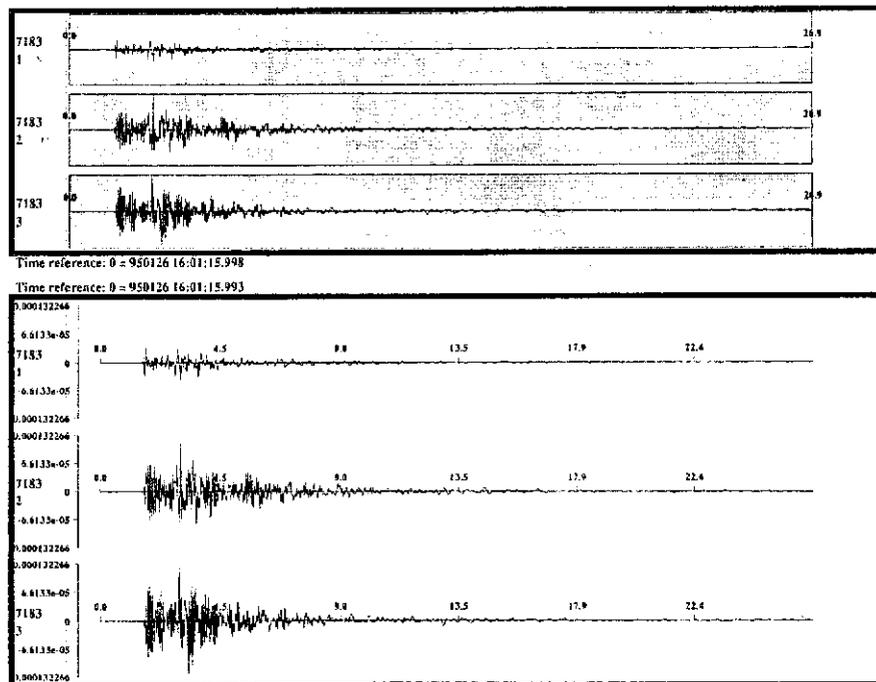


Figura 25. Sismogramas del evento A del 26 de enero de 1995 registrado por el sismógrafo portátil de banda ancha instalado temporalmente en Tlamacas (PPM).

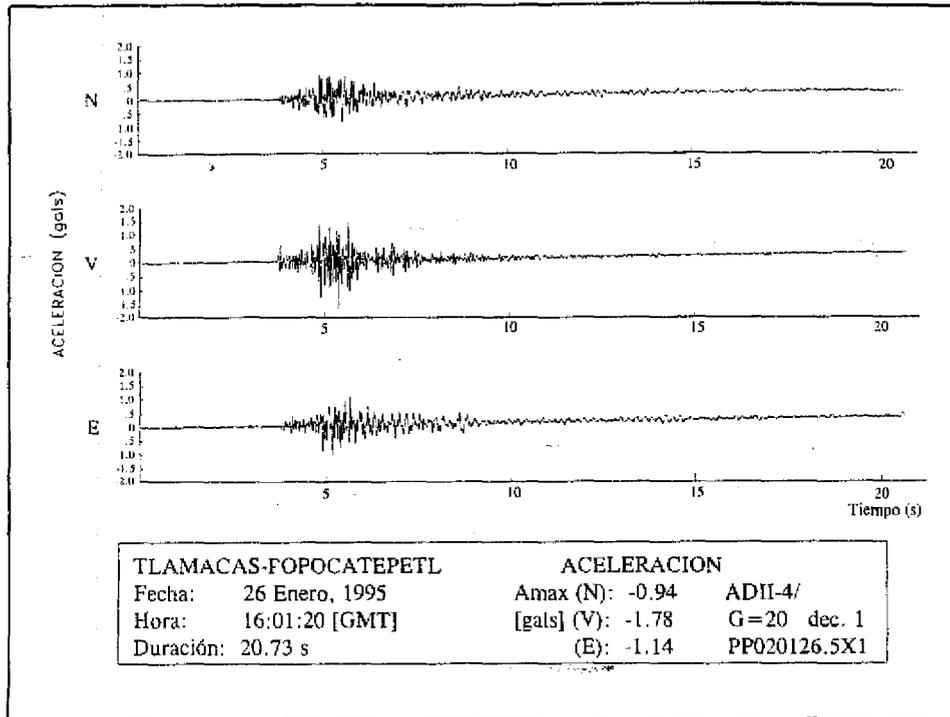


Figura 26. Acelerograma del evento tipo A del 26 de enero de 1995 registrado en el albergue de Tlamacas.

## 10. LA RED DE OBSERVACION PREVISTA PARA FINES DE 1995

Como se ha mencionado ya, la red actual en operación fue instrumentada básicamente en los pasados meses durante la emergencia, debida al incremento que tuvo la actividad del volcán. Gran parte de la instrumentación fue por lo mismo instalada en forma temporal e improvisada. Actualmente se está trabajando para consolidar una infraestructura permanente y definitiva de monitoreo y vigilancia. A continuación se describen en forma breve los cambios y modificaciones previstas para llevarse a cabo durante el presente año.

- En aquellas estaciones cuyos equipos fueron instalados en forma subterránea dentro de contenedores, se construirán casetas de mampostería especiales. Este es el caso de las estaciones PPX, PPB, PPN, PPP, PIP, PIN, PPA y PRC. Una vez terminadas las casetas se reinstalarán los equipos en su sitio definitivo.
- Los equipos e instrumentos temporalmente prestados al Cenapred por parte de los institutos de Ingeniería y de Geofísica de la UNAM, serán substituidos por aparatos definitivos, tan pronto como se disponga de ellos. Como la mayoría tienen sensores verticales únicamente, serán acondicionados con sismómetros triaxiales de periodo corto.
- Dado que la mayoría de los equipos de radio utilizados en la telemetría operan en frecuencias no autorizadas, se reinstalarán próximamente con nuevos equipos y frecuencias específicamente asignadas. Algunos de los enlaces actuales de radio serán redistribuidos para utilizar estaciones nuevas de repetición que mejoren la calidad de las comunicaciones.

- Una modificación y mejora substancial al sistema actual será la instalación de tres estaciones sísmicas de banda ancha. Los sensores serán triaxiales y el acondicionamiento de los datos, así como su transmisión, se hará en forma digital. Algunas especificaciones generales de estos equipos se presentaron en la tabla 2. Las estaciones previstas para estos equipos son PPX, PPP Y PPB. Los enlaces de radio que se establecerán con estas señales digitales de alta velocidad se muestran en la figura 27.
- Se prevé próximamente ampliar el monitoreo de la deformación con una estación inclinométrica adicional. Aunque el sitio preciso no ha sido aún definido, se propone ubicarla en la parte sur del volcán
- El puesto central de registro en el Cenapred será reacondicionado con los nuevos equipos de recepción, adquisición y procesamiento de datos. En general se reordenará todo el centro con una mejor redistribución y alambrado de los equipos e instrumentos que faciliten su operación y mantenimiento

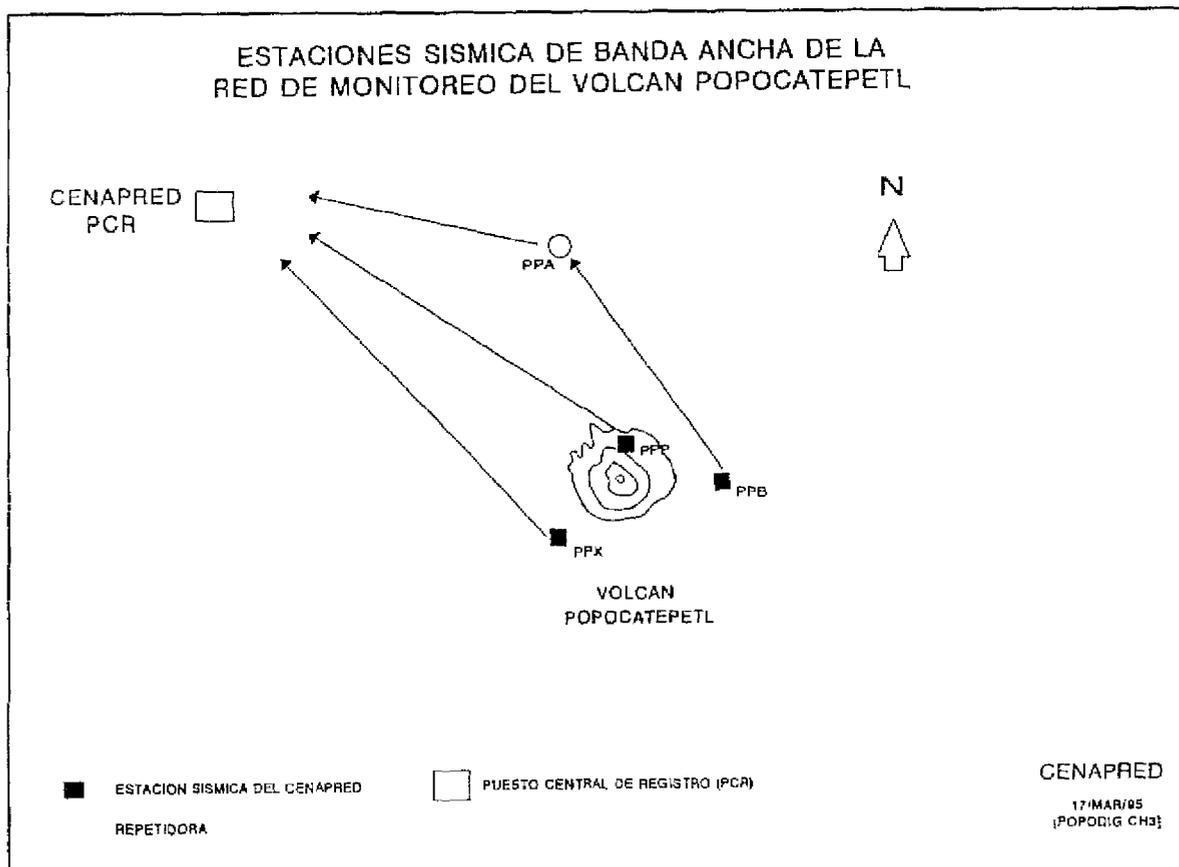


Figura 27 Localización de estaciones y enlaces de telemetría previstos para las estaciones sísmológicas de banda ancha