

REPUBLICA DE COLOMBIA  
MINISTERIO DE MINAS Y ENERGIA

INSTITUTO NACIONAL DE INVESTIGACIONES GEOLOGICO-MINERAS

**ANALISIS DE LAS MEDIDAS DE DEFORMACION EFECTUADAS EN EL  
VOLCAN NEVADO DEL RUIZ, COLOMBIA  
OCTUBRE 1985 - MARZO 1988**

Por:

CESAR CARVAJAL M., HECTOR MORA P., FERNANDO GUARNIZO A.  
Observatorio Vulcanológico de Colombia

y

KEPPLER SALGADO C.  
División de Prospección Geofísica



## CONTENIDO

	Página
<b>1. INTRODUCCION</b> .....	24
<b>2. GENERALIDADES</b> .....	24
<b>3. ANALISIS DE LA INFORMACION OBTENIDA</b> .....	24
<b>4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES</b> .....	27
<b>5. AGRADECIMIENTOS</b> .....	32
<b>6. BIBLIOGRAFIA</b> .....	32

## FIGURAS

1. Estaciones E.D.M. y Reflectores - Vectores de Nivelación .....	25
2. Estaciones Inclinometría Seca .....	25
3. Estaciones Inclinometría Electrónica .....	26
4. Inclinometría Seca - Estación Nereidas	28
5. Inclinometría Seca - Estación Refugio	29
6. Inclinometría Seca - Estación Tumbas	29
7. Inclinometría Seca - Estación Piraña .....	30
8. Inclinometría Electrónica - Junio-87 .....	31

\*

## 1. INTRODUCCION

Las medidas de deformación en el Volcán Nevado del Ruiz se iniciaron el 26 de octubre de 1985, con la instalación de cuatro estaciones de inclinometría seca y dos inclinómetros electrónicos, bajo las indicaciones del geodesta costarricense Rodolfo Van Der Laet, de amplia experiencia en este tipo de labores en Costa Rica.

Con posterioridad a la erupción del 13 de noviembre del mismo año, se implementaron algunas líneas de nivelación por parte de una comisión española. Personal del Servicio Geológico de los Estados Unidos con ayuda de funcionarios de la CHEC, IGAC e INGEOMINAS, instalaron cuatro inclinómetros electrónicos y cuatro bases para medición electrónica de distancias en 18 líneas. Estaciones adicionales de inclinometría seca se han ubicado alrededor del cono volcánico desde mediados de 1986.

La carencia de datos suficientes de medidas de deformación con suficiente antelación a la citada erupción, desafortunadamente impiden el establecimiento de un nivel base de referencia, así como la fidedigna consideración de un patrón de comportamiento en la deformación del terreno.

Este sencillo trabajo pretende la realización de un análisis de las medidas de deformación entre octubre de 1985 y marzo de 1988, presentando algunas conclusiones por demás interesantes, que dan cierta indicación de cómo ha sido el comportamiento del volcán en especial después de la erupción. Las variaciones en las mediciones por los diferentes métodos son muy pequeñas, circunstancia esta que impide una real aproximación a un modelo de deformación.

## 2. GENERALIDADES

Las medidas de deformación efectuadas en el edificio del Volcán Nevado del Ruiz antes de la erupción del 13 de noviembre de 1985, son en realidad muy pocas. Algunas mediciones con inclinómetros electró-

nicos digitales se hicieron en dos estaciones, abarcando un período de nueve días. Igualmente, se efectuaron en este mismo tiempo, tomas de datos en cuatro estaciones de inclinometría seca (VAN DER LAET, 1985).

Estas observaciones determinaron el estado de dichas estaciones antes de la erupción, pero el período de observación fue demasiado corto para establecer cualquier cambio confiable en la medida de la inclinación del terreno.

Las medidas de deformación se reanudaron pocos días después de la erupción, con la instalación de una red de Medición Electrónica de Distancias (EDM) con 18 líneas y de cuatro inclinómetros electrónicos. En los comienzos de 1986 se continuó con las mediciones periódicas en las estaciones de inclinometría seca ubicadas en el mes de octubre anterior.

El principal objetivo de esta red de deformación post-eruptiva fue proveer adecuadamente un amplio y sensible programa de deformación para detectar amenazas de erupciones futuras, con las limitaciones por dificultades de acceso en algunos sectores del volcán.

A mediados de 1986, el programa fue extendido con siete vectores cortos de nivelación, siete estaciones de inclinometría seca para un total de once, así como un número adicional de 20 líneas de medición electrónica de distancias.

En las figuras 1, 2 y 3 se pueden apreciar la localización de las líneas de medición electrónica de distancias y de los vectores cortos de nivelación, estaciones de inclinometría seca y estaciones de inclinometría electrónica, antes y después de la erupción, respectivamente.

## 3. ANALISIS DE LA INFORMACION OBTENIDA

Las medidas en las estaciones establecidas en octubre de 1985, muestran cambios

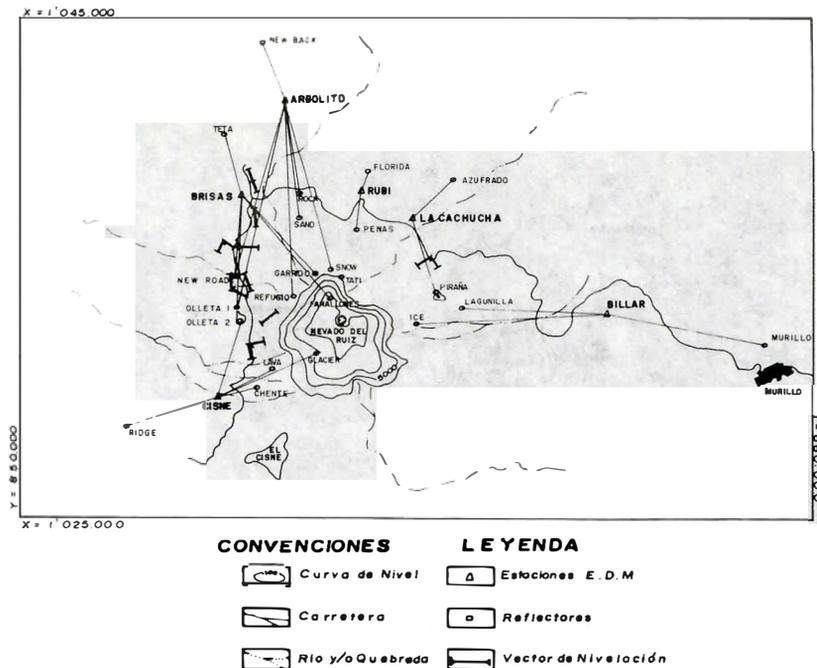


FIG. 1. Estaciones E.D.M. y Reflectores - Vectores de Nivelación.

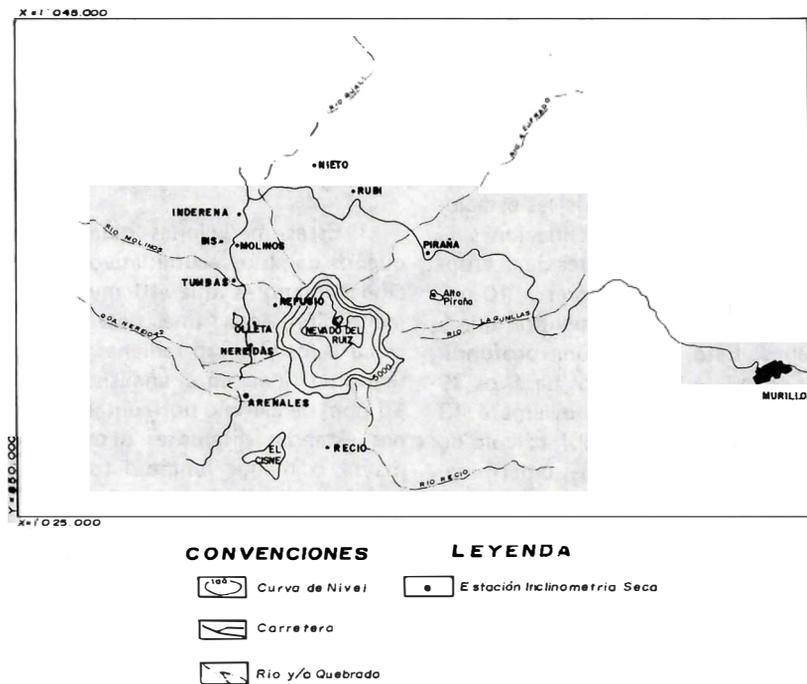


FIG. 2. Estaciones inclinometría Seca.

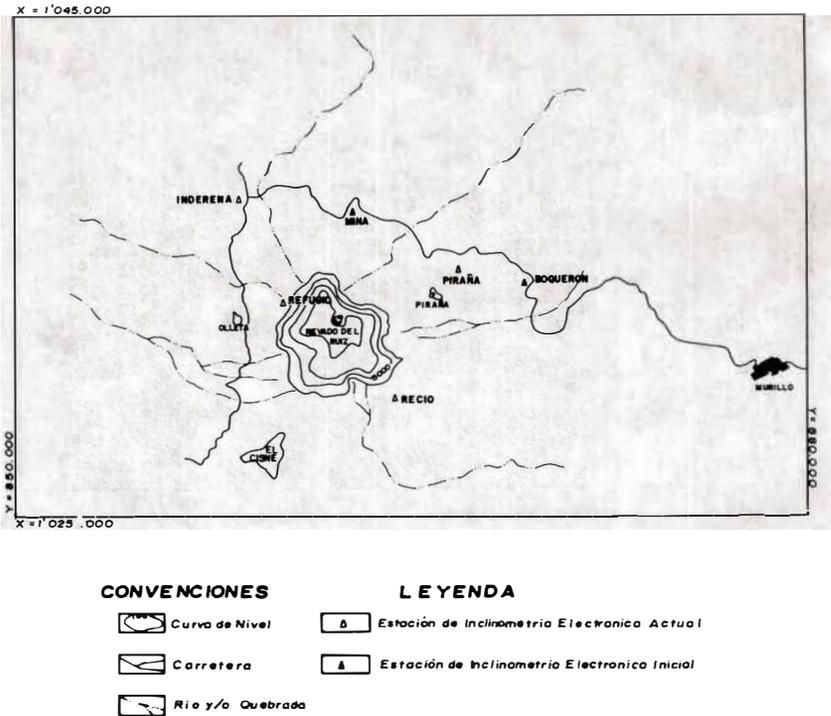


FIG. 3: Estaciones Inclinométría Electrónica.

muy pequeños en la inclinación del terreno. Las inclinaciones presentadas varían entre las estaciones y no son apropiadas para algún modelo sensible, indicando los datos algunas perturbaciones locales en dos de las estaciones. En nuestra opinión, las inclinaciones de la superficie terrestre desde antes de la erupción de 1985 no fueron mayores a 10 microrradianes y probablemente menores que 5 microrradianes. Esto supone una profundidad mayor que siete kilómetros para los 39 millones de  $m^3$  arrojados en noviembre 13 de 1985 (NARANJO *et al*, 1986), cálculo de volumen de masa total eruptada, determinado por analogía con el depósito de caída producido por la erupción del Monte Santa Helena en los Estados Unidos en 1980.

De enero de 1986 a marzo de 1988, frecuentes medidas fueron hechas en el Nevado del Ruiz. Diez de las once estaciones de inclinometría seca fueron ocupadas en este

período, con intervalos regulares, de 100 a 250 veces, para un promedio de 5.5 días. Igualmente fueron realizadas mediciones electrónicas de distancias frecuentemente.

Estas mediciones muestran muy pequeños cambios acumulativos con deformaciones menores que 10 microrradianes de inclinación, con una desviación estandar cerca a los 5 microrradianes asumiendo una regresión lineal en el análisis de los datos, o 10 ppm de cambio horizontal, con desviaciones estandar diferentes dependiendo de la mayor o menor longitud total de la línea. Los datos analizados muestran una ligera indicación de elevación general hacia el sur en las estaciones de inclinometría, lo cual podría suponer un fuerte incremento en la presión a alguna distancia hacia el sur o suroeste del cráter activo Arenas. Sin embargo, esto indica que la inclinación acumulada hacia el sur no es lo suficientemente grande

para sobrepasar el 95% del límite de confianza de las observaciones.

Las distancias medidas muestran un ligero acortamiento en casi todas las líneas medidas en los dos años de trabajo, pero nuevamente el cambio permanece dentro del "ruido" o tolerancia en las mediciones. Si el acortamiento es real, la interpretación más sencilla es que la montaña ha presentado un fenómeno de subsidencia con un centro de subsidencia cerca del cráter. En contraste, inclinación no acumulativa y cambios en las distancias son evidentes en los registros que claramente exceden el error de observación en varias estaciones.

En algunas estaciones de inclinometría seca, la inclinación acumulativa se correlaciona claramente con la caída de lluvia. Esto puede indicar que los períodos secos y húmedos tienen un profundo efecto en el comportamiento físico del Nevado del Ruiz. Esta opinión es soportada por el hecho que tanto las emisiones de ceniza como los enjambres de sismos de baja frecuencia parecen presentarse en períodos secos, mientras que los enjambres de sismos de alta frecuencia suelen ocurrir en períodos húmedos. En las figuras 4, 5, 6 y 7 se presenta el comportamiento de las componentes Norte y Este para algunas estaciones. De ellas, Nereidas, Refugio y Piraña fueron materializadas antes de la erupción, en tanto que Tumbas fue localizada 11 meses después.

El registro de los inclinómetros electrónicos responde ligeramente a algunas de las emisiones de ceniza ocurridas entre 1986 y 1988. La estación de Refugio indicó una inclinación de cerca de cuatro microrradianes, descendiendo hacia el norte al comienzo de la emisión de cenizas de junio 9 de 1987. Esta inclinación recobró completamente sus niveles iniciales en un lapso de pocas horas. La inclinación comenzó unas cinco horas antes de iniciarse la emisión de cenizas, variando irregularmente durante el tiempo que duró la emisión. Esta misma estación mostró un ascenso hacia el norte de aproximadamente 0.5 microrradianes durante los dos días previos a la emisión de cenizas de

finales de marzo de 1988, y disminución hacia el norte de igual valor como al comienzo de la emisión. Así, la "firma" de inclinación de la emisión de junio 9 de 1987 es aproximadamente diez veces mayor que la de finales de marzo de 1988. Sin embargo, señales similares han ocurrido sin presentarse emisiones de ceniza y muchas de dichas emisiones han sucedido sin ningún cambio registrado en los inclinómetros. El comportamiento de esta estación los días previos y posteriores a la emisión de cenizas del 9 de junio de 1987 puede ser apreciado en la Figura 8, en la cual se han graficado además los registros de la estación electrónica de Recio. Desafortunadamente la resolución de este instrumento es baja, y no capta inclinaciones del terreno que sean muy pequeñas.

Los datos de deformación no dan lugar a una regla general, que requiera una gran masa o masas fundidas con una fuente de una profundidad mayor a 5 km. Ellos son completamente compatibles y de hecho soportan un modelo de un gran sistema hidrotermal, con la principal fuente magmática caliente por debajo de 5 km.

#### 4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

La inclinación y la medición de distancias no muestran deformación acumulativa, indicando que la fuente de magma nuevo de volumen mayor que un millón de  $m^3$ , no se ha movido por encima de una profundidad de 2 km desde antes de la erupción del 13 de noviembre.

Además, los datos colocan un límite superior a una fuente de magma de diez millones de  $m^3$ , en un rango de profundidad de 2 a 7 km y de quinientos millones de  $m^3$  a profundidades alrededor de 15 km. Sin embargo, las mediciones han mostrado una inesperada relación con la lluvia, lo cual podría indicar que este fenómeno tiene una gran influencia en el comportamiento físico del Volcán del Ruiz.

La relación en el Volcán del Ruiz entre

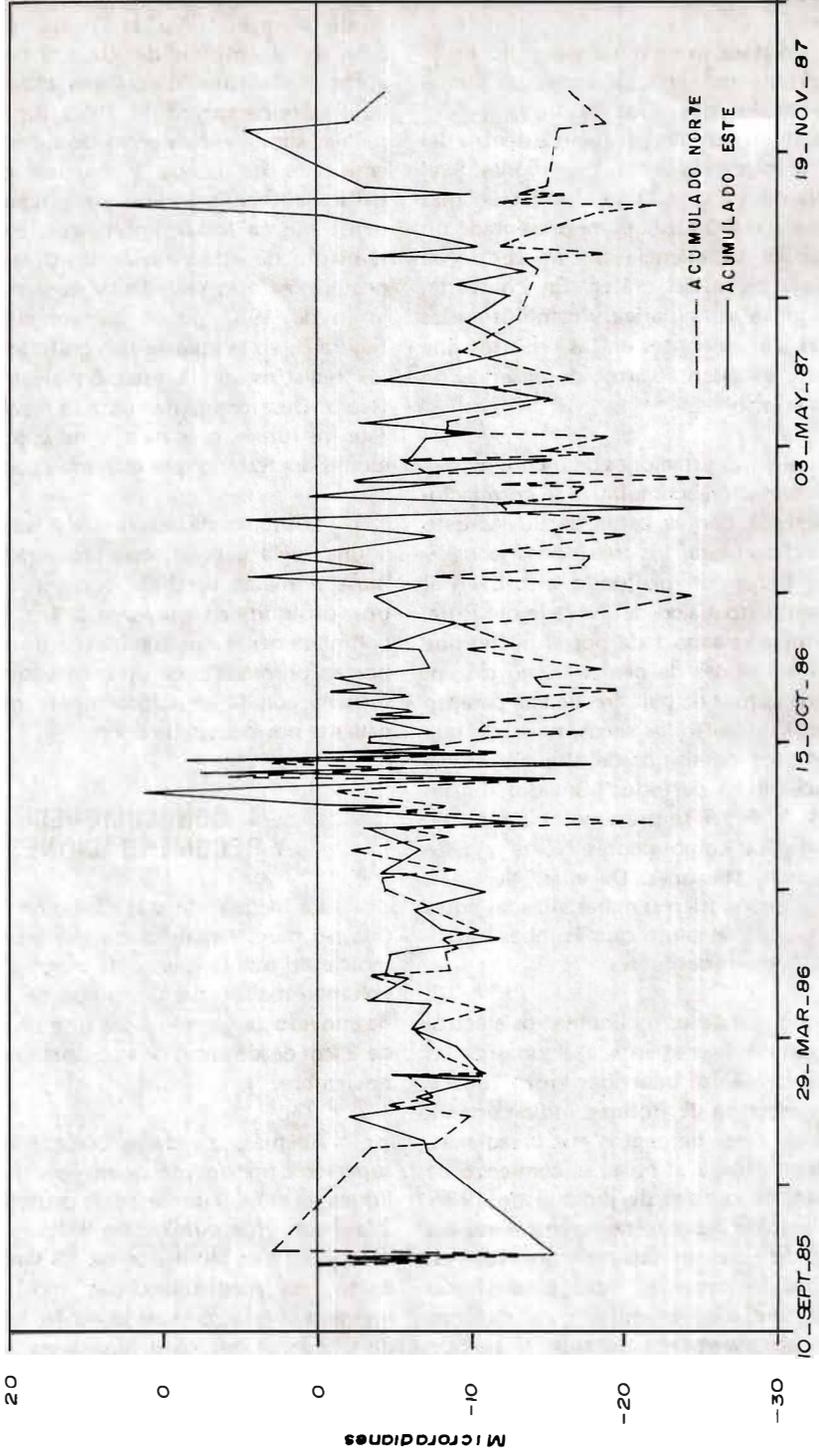


FIG. 4: Inclinometría Seca - Estación Nereidas.

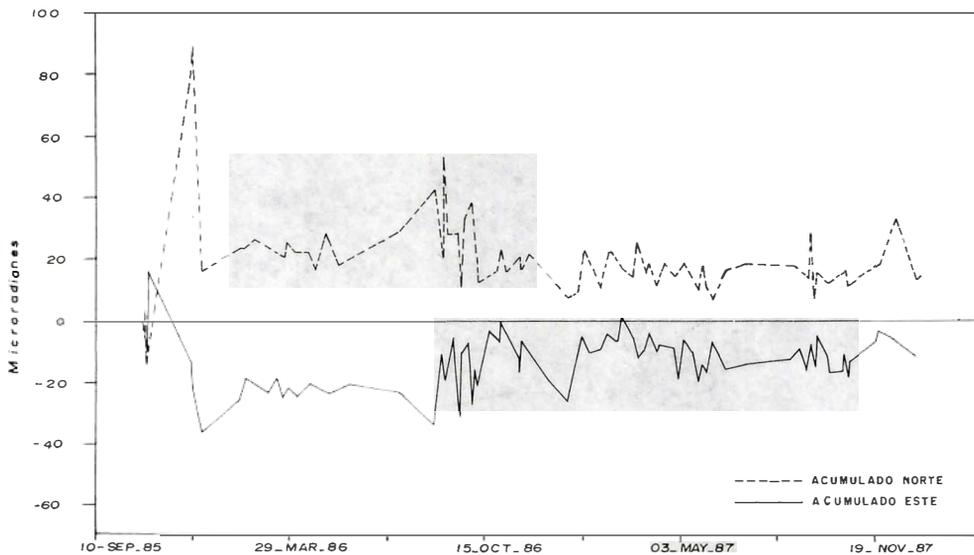


FIG. 5: Inclínometría Seca - Estación Refugio.

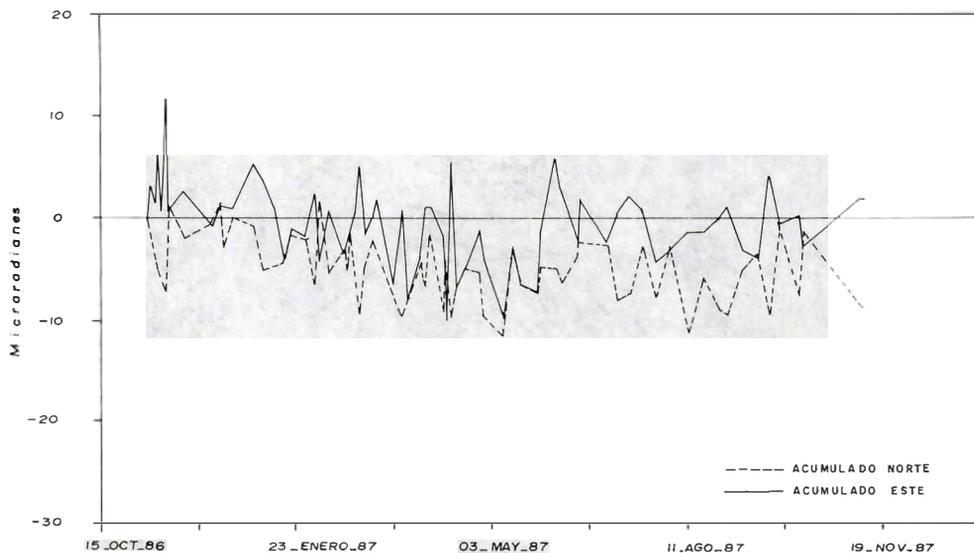


FIG. 6: Inclínometría Seca - Estación Tumbas.

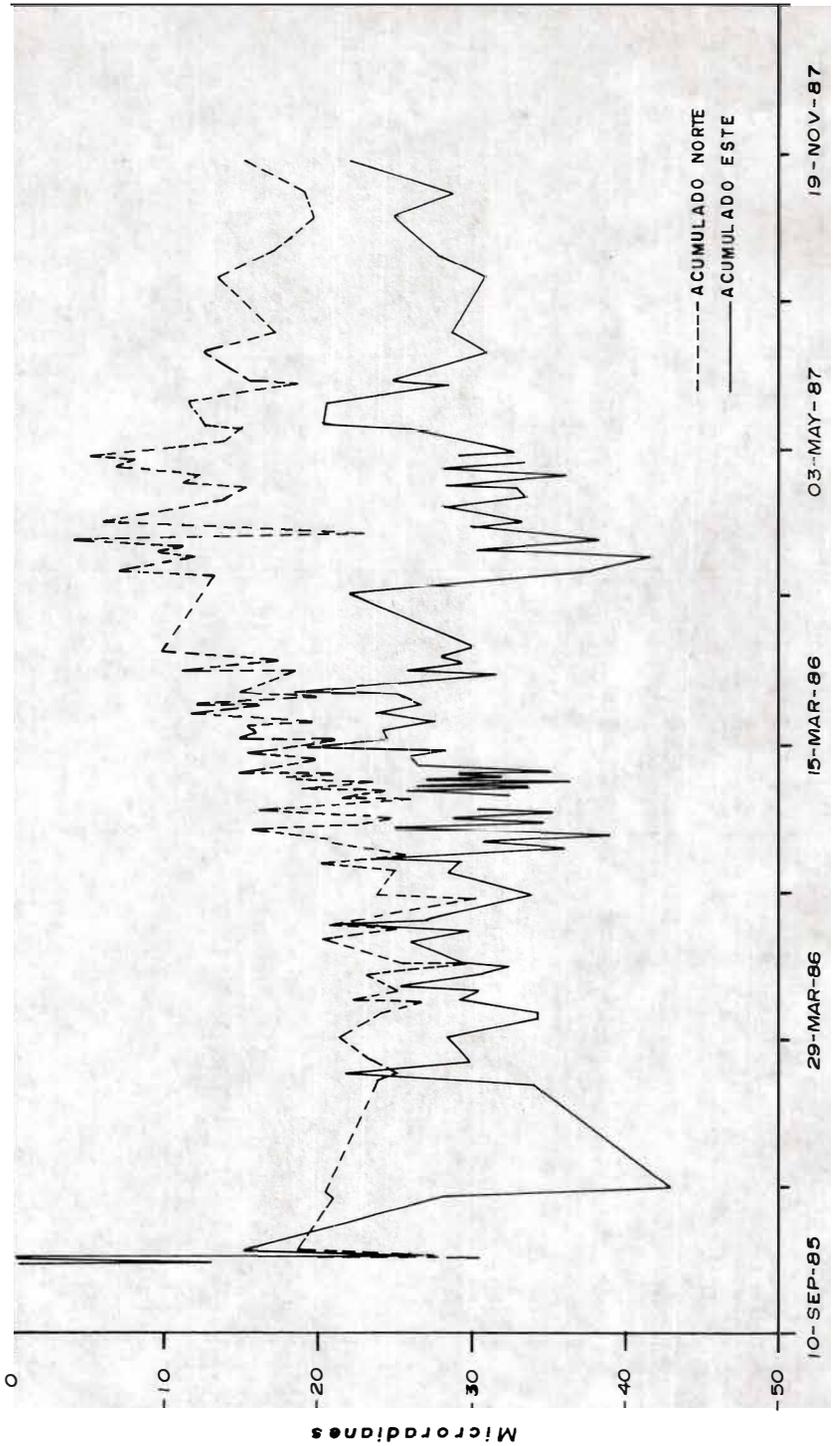


FIG. 7: Inclinometría Seca - Estación Piraña.

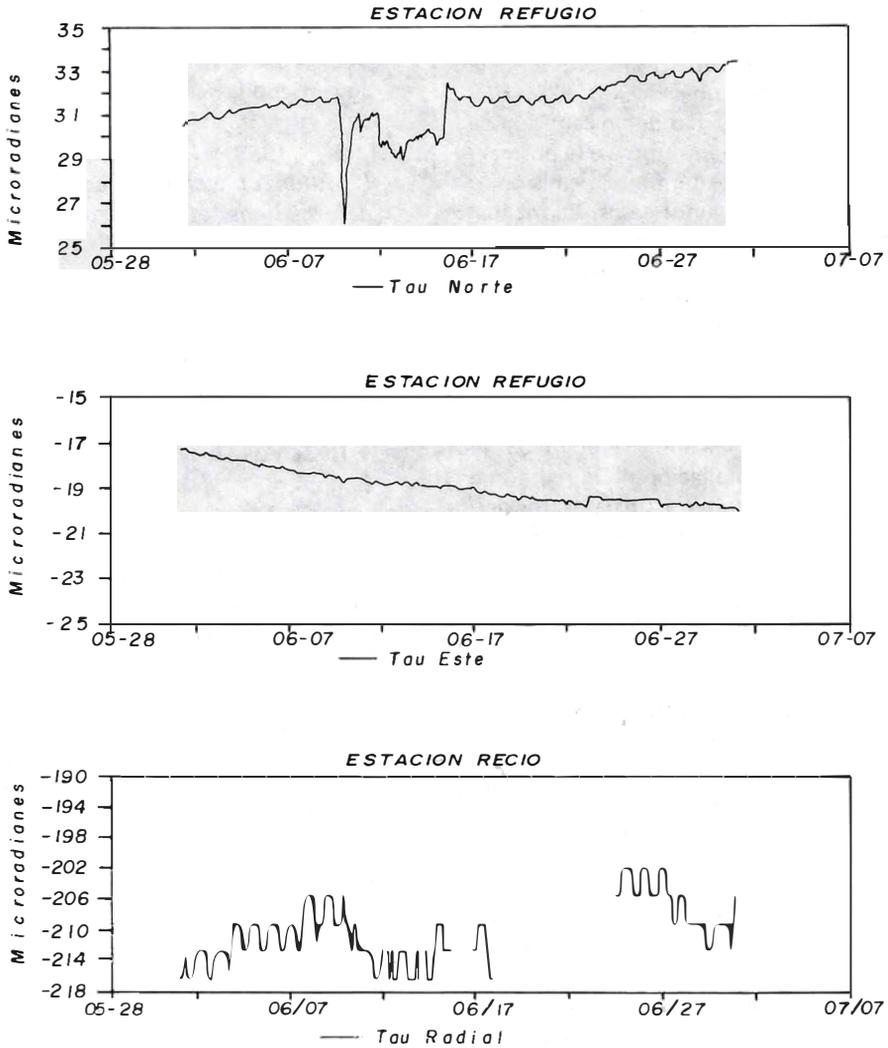


FIG. 8: Inclinometría Electrónica - Junio-87.

la lluvia y la diversa sismicidad, deformación y parámetros eruptivos que usualmente son atribuidos directamente al magma, deberán desarrollar alternativas de explicación de estos parámetros en volcanes similares al Ruiz.

Uno de los inclinómetros electrónicos localizado en el área, ha demostrado una ligera "firma" asociada con algunas de las emisiones ocurridas entre 1986 y 1988. Esta característica indica un descenso de presión asociada con el comienzo de una emisión de cenizas, pero la presión retorna a la normalidad tan pronto como termina la emisión, o un poco antes en algunos casos. La inclinación mostrada en la estación Refugio es pequeña comparada con el volumen de material arrojado del volcán durante la erupción. Esto indica una fuente muy superficial o un conducto muy delgado.

Trabajos futuros en el programa de deformación deberán incluir mayor precisión en las medidas y ampliación de la red a mayores distancia del cráter. Estos aspectos permitirán mejorar la vigilancia en términos de incrementar la sensibilidad, para tratar de "detectar" fuentes de presión grandes y profundas o pequeñas y superficiales.

## 5. AGRADECIMIENTOS

A todas las personas que han participado de una u otra forma en la ejecución de las tareas relacionadas con las medidas de deformación.

En especial al profesor Eysteinn Tryggvasson del Instituto Nórdico Volcánico, quien durante su estadía en el Observatorio en 1988, realizó recomendaciones y explicaciones que han permitido una mejor interpretación e ilustración del fenómeno volcánico.

## 6. BIBLIOGRAFIA

- CARVAJAL, C. *et al.*, 1986.- *Monitoreo de Deformación en el Volcán Nevado del Ruiz*. Simp. Inter. sobre Neotec. y Ries. Volc. En: Rev. CIAF Vol. 11. Bogotá.
- DIETERICH, J. y DECKER, R., 1975.- *Finite Element Modeling of Surface Deformation Associated with Volcanism*. En: Jour. Geoph. Res. 80 (29).
- MOGI, K., 1958.- *Relations between the Eruption of various volcanoes and the deformations of the ground surfaces around them*. En: Bull. Earthquakes Res. Inst. Vol. 36.
- NARANJO, J. *et al.*, 1986.- *La erupción del Volcán Nevado del Ruiz en Colombia el 13 de noviembre de 1985: caída de tefra y lahares*. Simp. Inter. sobre Neotec. y Ries. Volc. En: Revista CIAF. Vol.11. Bogotá.
- TRYGGVASSON, E., 1978.- *Observations in the Krafla-Myvatn Area 1976-1977*. Nordic Volcanological Institute, University of Iceland.
- VAN DER LAAT, R., 1986.- *Metodologías geodésicas para la vigilancia de actividad volcánica: su aplicación en Costa Rica*. Simp. Inter. sobre Neotec. y Ries. Volc. En: Revista CIAF. Vol. 11. Bogotá.
- WALSH, J.B. y DECKER, R., 1971.- *Surface Deformation Associated with Volcanism*. En: Jour. Geoph. Res. 76 (14).
- YOKOYAMA, I., 1971.- *Crustal Deformation Associated with Volcanic Activities*. En: Tectonophysics, Vol. 23. Elsevier Scient. Publ. Co. Amsterdam.

\*