

## OBSERVACIÓN DE MEDIDAS GEOFÍSICAS EN LA UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA A PARTIR DE LA IMPLEMENTACION DE UN OBSERVATORIO UNA MIRADA INSTRUMENTAL AL PROBLEMA PREDICTIVO

EMNA MIREYA VALDÉS MENESES

Maestría en Geofísica, Universidad Nacional de Colombia, Departamento de Geociencias

CARLOS ALBERTO VARGAS JIMENEZ

Profesor Universidad Nacional de Colombia, Departamento de Geociencias

El fenómeno sísmico es un problema de gran complejidad, que requiere de la observación permanente y sistemática de variables físicas asociadas a la corteza. Varias hipótesis se han planteado para explicar sus causas, su propagación y sus efectos, sin embargo, se hace necesario mejorar los modelos y la instrumentación sismológica a varias escalas que permita la comprobación de dichas hipótesis. El conocimiento geotectónico de las fuentes sísmicas que afectarían a una región, parte de una definición espacio-temporal y sus manifestaciones energéticas, no obstante, poco se conoce de otras variables físicas asociadas a dicho fenómeno. Con el ánimo de realizar correlaciones futuras entre el fenómeno sísmico y variables físicas como Señales Eléctricas del Suelo, Temperatura, nivel freático entre otras; el Postgrado de Geofísica de la Universidad de Colombia ha iniciado el desarrollo de un proyecto que permita realizar su seguimiento sistemático a largo plazo; con ello pretendemos en un futuro llegar al desarrollo de modelos correlativos, que expliquen aspectos relacionados a las causas y efectos del fenómeno sísmico. Para ello se está implementando un arreglo triangular de estaciones multiparamétricas con sensores en superficie y pozo, dentro del campus de la Universidad Nacional de Colombia. Este laboratorio está enmarcado dentro de las actividades que desarrolla el Observatorio Geofísico de la Universidad Nacional y que permiten la formación integral de los estudiantes de la Maestría en Geofísica.

Palabras Claves: Estaciones multiparamétricas, sismología, fenómeno sísmico, modelo de Dilatancia.

### INTRODUCCIÓN

El Observatorio de Geofísica de la Universidad Nacional de Colombia en primer lugar está enfocado al conocimiento especializado del territorio nacional a partir de investigaciones y estudios en Geofísica (propiedades físicas de la Tierra: sismología, gravedad, magnetismo, electromagnetismo, temperatura, nivel freático) con un carácter científico y social.

Para el cumplimiento de este objetivo, se han establecido tres principales actividades a desarrollar:

Modelamiento de la Corteza: observación, procesamiento e interpretación de datos sísmicos, campos eléctricos, magnéticos y gravimétricos.

Pedagógicas: aplicación y desarrollo por parte de los estudiantes de la Maestría en Geofísica de los métodos geofísicos.

Monitoreo parámetros sismológicos: encaminados a dos aspectos importantes aproximación a la predicción y reporte de las variables sismológicas.

En el marco de este evento, se hace referencia a la tercera actividad que en el momento se está desarrollando con el interés de presentar la metodología de trabajo que se está llevando a cabo.

El interés de profundizar en el estudio del fenómeno sísmico a partir de variables físicas; se ha desarrollado con el tiempo. En Sismología uno de los principales objetivos es llegar a la predicción de sismos de manera contundente, es decir precisar el tiempo, lugar y tamaño de un sismo.

Una de las teorías que más ha sido empleada para el estudio de la predicción de sismos es la teoría de la predicción y su efecto sobre fenómenos físicos que ocurren en la corteza terrestre.

El término dilatancia ha sido empleado desde el siglo XIX con (Reynolds O., 1885), con un aumento en su uso en la parte de Geotecnia, para estimar en cuanto un material es modificado a partir de la aplicación de esfuerzos en diferentes direcciones; este modelo solo hacía referencia a

las propiedades de materiales granulares, a partir de los trabajos realizados por Bridgman (1949) y Brace (1966) se amplía su uso a experimentos con diferentes materiales en laboratorio, que repercutieron en el fundamento de varios procesos de fallamiento (Martín, 1980). Ante el interés de la sismología en avanzar en el tema de la predicción, a partir de los años 80 se generaron una serie de investigaciones hacia la identificación de precursores sísmicos que permitieran precisar la ocurrencia de un sismo en un periodo corto de tiempo (Bullen, 1985), es así como al observar cambios en el comportamiento de variables físicas Mogi (1985) (temperatura, nivel freático, velocidades ondas sísmicas) ante un sismo también se observó cambios en las propiedades volumétricas de las rocas ante la acumulación de esfuerzos; generándose una serie de estudios Beresnev and Wen (1995), Field et al. (1998) y Loukachev et al. (2002) que relacionan el modelo de dilatancia con modelamiento numérico para caracterizar en detalle el comportamiento de las ondas sísmicas a través del medio.

A nivel nacional el estudio de las variables físicas relacionadas a una fuente sísmica se hace cada vez más importante, primero por su carácter cuantitativo que podrían indicar cambios potenciales en periodos de tiempo y segundo por su carácter cualitativo.

### CONSIDERACIONES

Modelos que explican cambios en las propiedades volumétricas de las rocas ante la aplicación de esfuerzos y la acumulación de estos, son conocidos como Modelos de Dilatancia. Bridgman (1949), observó en el laboratorio que las rocas que son sujetas a cargas uniaxiales experimentan cambios ante relaciones esfuerzo – deformación; inicialmente las cargas producen más compactación volumétrica que la esperada de un simple sólido elástico. El cierre de microfracturas es la posible causa de esta situación. Después que estas fracturas se cierran, la relación esfuerzo – deformación es lineal, como se espera de un sólido. Cuando los esfuerzos tienden a ser un medio del esfuerzo de fractura, las rocas se dilatan o se expanden. La explicación más coherente para este incremento volumétrico no elástico es el desarrollo de microfracturas a través de toda la masa rocosa, que conduce a un incremento en el espacio de vacíos dentro de la roca; finalmente estas microfracturas colapsan para formar una falla.

Modelos de Dilatancia se han convertido en el fundamento de metodologías basadas en las

propiedades constitutivas de un volumen rocoso. Existen dos clases de modelos de dilatancia:

Modelos de dilatancia en Volumen: donde la dilatancia ocurre en un volumen de roca que circundan una zona de falla.

Modelos de dilatancia en Zonas de Falla: la dilatancia solo ocurre dentro de la misma zona de falla.

En términos generales se asume que ocurre dilatancia dentro de un volumen sometido a esfuerzos que rodea una zona de ruptura impedante a una determinada una rata de aceleración. El generar o aumentar ruptura en el volumen rocoso aumentado por los esfuerzos aplicados, se lleva a cabo en una serie de etapas hasta llegar a la ruptura (Scholz, 2002):

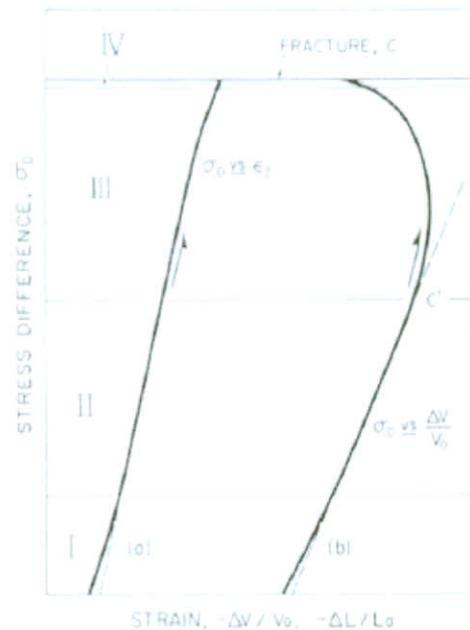


Figura 1. Curva representativa (esfuerzo – deformación) del comportamiento de un volumen rocoso sometido a esfuerzos (Brace, Paulding and Scholz, 1966).

Etapa I: Se aplican esfuerzos en determinadas direcciones al volumen rocoso que se vuelve más compacto debido al cierre de las grietas preexistentes, produciendo fallamiento con un incremento en la rata de dilatancia a lo largo del tiempo.

Etapa II: La rata de dilatancia aumenta lo suficiente para que la difusión de fluidos en los poros no pueda mantener presión en los poros. Ocurre una deformación elástica lineal acorde a su constante elástica intrínseca.



Etapa III: Se reestablece la presión en los poros por difusión del fluido, se dilata de forma lineal.

Etapa IV: ruptura de volumen en diferentes rangos según sus propiedades elásticas.

Etapa V: Se reestablece la dilatancia en un determinado tiempo (constante) por la dispersión hidráulica del sistema.

Esta secuencia de etapas ha sido observada sobre pruebas de laboratorio para diferentes materiales; aplicables en el estudio de las fuentes sísmicas, por su precisión en la observación de precursoros que han reflejado cambios en sus propiedades físicas ante un sismo en un volumen que sufre la ruptura. Por tanto uno de los aspectos más importantes de la teoría de la dilatancia es el poder relacionarla ha características propias de los precursoros (duración, periodicidad y tamaño). La figura 2, ilustra cambios en una roca bajo cargas compresivas. Notemos el incremento

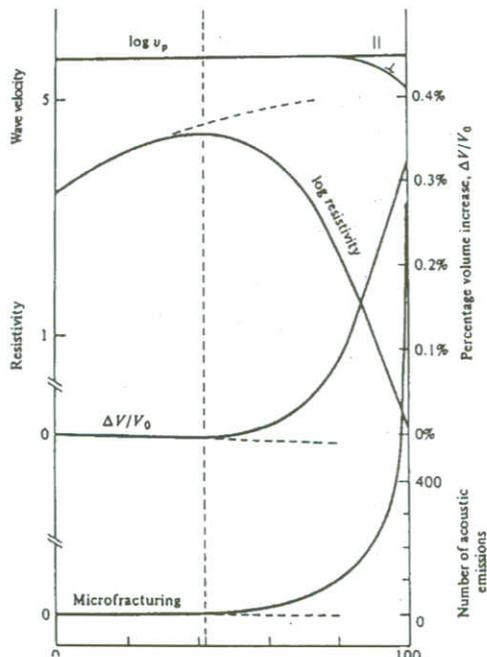


Figura 2. Comportamiento de la roca bajo carga constante. (Kasahara, 1981).

de volumen ( $\Delta V/V_0$ ), el cual ocurre dramáticamente alrededor del 50% del esfuerzo de falla. Esta situación representaría el desarrollo de fractura, la cual a su vez causa variaciones en muchas propiedades físicas del medio. El comportamiento de las rocas durante la dilatancia depende fuertemente sobre si las fracturas son secas o húmedas. En un modelo húmedo, el agua

que llega por difusión juega un papel importante. La figura 3 muestra los parámetros físicos esperados ante situaciones húmedas y secas; como se puede observar, existen cambios teóricos que el sismólogo puede intentar medir para ajustar en un esquema predictivo. Por ejemplo, un seguimiento a los cambios en la velocidad sísmica puede dar indicios sobre un probable evento. En este caso, en las etapas iniciales de la dilatancia el desarrollo de microfracturas causa esta variación de velocidad debido a la reducción del módulo elástico. En mediciones de laboratorio, estas microfracturas parecen afectar más la velocidad de la onda P que de la S con relaciones  $V_p/V_s$  que caen entre un 10 a 20%. En esta etapa el levantamiento del terreno y la deformación del suelo deberían esperarse. En etapas posteriores, la relación de velocidad volvería a ser normal debido a la saturación de agua dentro de las microfracturas o al cerramiento de la porosidad.

Varios son los precursoros (parámetros físicos que pueden ser influenciados por el régimen de esfuerzo en la Tierra) que al observarlos con el tiempo han dado información de la ocurrencia de un sismo, a diferentes escalas de tiempo y que permiten establecer relaciones como cambios en la trayectoria de de la velocidad de las ondas sísmicas, relación duración del precursor y el volumen de dilatancia, relación magnitud – tiempo; siendo la base para establecer niveles de predicción (corto, mediano y largo plazo). Los precursoros más fáciles de medir suelen ser los patrones sísmicos. Dentro de una fuente sísmica regional de un gran evento, pequeñas fallas o heterogeneidades sobre el trazo principal de una falla pueden existir y pueden producir pequeños sismos en respuesta al ciclo de carga. Se ha observado que después de una secuencia de replicas que siguen a un sismo importante los niveles de sismicidad caen a niveles por debajo del valor promedio. Antes del siguiente evento la actividad promedio tiende a cero para intervalos entre meses y años, este fenómeno es conocido como “Quietud Sísmica”. La Quietud a menudo rota por un incremento en la actividad, con enjambres de sismos antes del evento principal, la cual se denomina “Quietud Pre-evento”. Mogui (1985) notó que la actividad sísmica antes del sismo principal tiende a concentrarse en la periferia de zonas que impiden la ruptura, a la manera de doughnut; a este patrón se le conoce como Doughnut de Mogui. La Quietud Sísmica usualmente finaliza con “foreshocks” o microsismicidad que ocurre antes del sismo principal. De acuerdo con Jones & Molnar (1979), de los terremotos con  $M > 7.0$ , casi el 70% son precedidos por “foreshocks”. La naturaleza de la actividad de “foreshocks” varía grandemente, pero típicamente empieza 5 a 10 días antes del

