

Capítulo 3 Método Paleomagnético

El método paleomagnético depende básicamente de la magnetización de las rocas, pudiendo adquirir varias componentes de magnetización con el paso del tiempo, desde la formación del material hace miles o millones de años, hasta el día hoy. Dichas componentes pueden ser representadas por medio de un vector, ya que registran en la roca al momento de su formación, una inclinación, una declinación y una intensidad del campo geomagnético existente en la localidad (Figura 10).

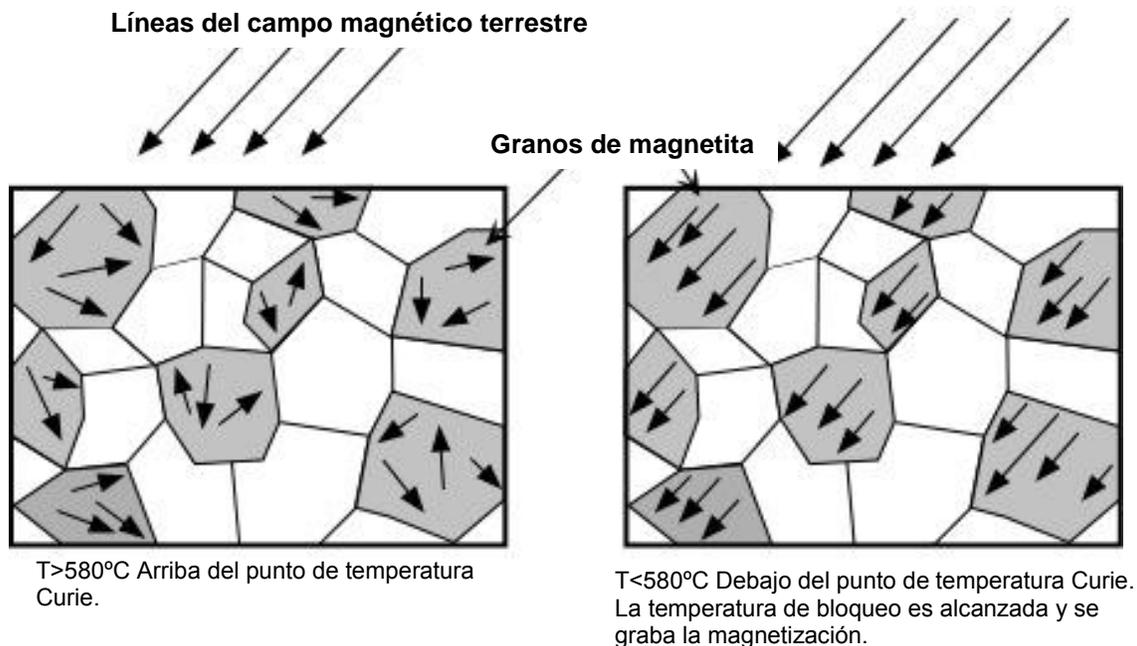


Figura 10.- Esquema de la adquisición del registro magnético terrestre en granos de magnetita durante el enfriamiento de una lava.

Si los materiales adquirieron su registro magnético durante un intervalo de tiempo de más de 10,000 años, entonces la inclinación presente en cada componente puede ser directamente relacionado con la latitud geográfica de la magnetización, así mismo, la declinación del vector magnético puede asociarse con el movimiento que haya tenido el material relativo al Norte geográfico (Tauxe, 2010).

De esta forma, los movimientos que haya podido experimentar la formación rocosa, en cualquiera de los tres ejes a lo largo de su historia, puede ser revelada por medio de la desmagnetización bajo un análisis de laboratorio, que en condiciones ideales indica la dirección e intensidad de cada componente presente, además de la posibilidad de establecer una edad relativa y relaciones espaciales con las unidades geológicas circunvecinas.

Debido a que la mayoría de las rocas pueden registrar propiedades magnéticas, el método paleomagnético se ha vuelto una de las ramas más aplicadas en la geofísica, contribuyendo en diversos campos como geomagnetismo, tectónica de placas, volcanología, sedimentología, paleontología, arqueología, paleoceanografía, entre otras. Para una consulta detallada de los fundamentos del método paleomagnético puede consultarse a: [Butler \(1992\)](#); [Merril et al., \(1996\)](#); [Dunlop & Özdemir \(1997\)](#); [Tauxe \(2010\)](#).

3.1 Metodología

Un buen trabajo paleomagnético depende directamente de la toma y preparación de la muestra previo a su análisis. Las muestras deben tomarse de tal manera que representen un horizonte de tiempo único, es decir, una sola unidad de enfriamiento volcánico o un solo estrato sedimentario. En este apartado se desarrollará de manera general la metodología de recolección de muestras para estudios paleomagnéticos, la cual puede dividirse en 3 secciones: a) el muestreo *in-situ* de cilindros de roca orientados; b) el muestreo *in-situ* de bloques de roca orientados y c) la posterior preparación de las muestras en laboratorio.

a) El muestreo *in-situ* de los cilindros de roca orientados (Figura 11) es la forma más común y precisa de obtener muestras para los estudios paleomagnéticos. Este tipo de muestreo es llevado a cabo en el afloramiento y consiste en el uso de una moto-perforadora de gasolina (regularmente marca STIHL), con una broca de diamante y un sistema de enfriamiento a base de agua. Los cilindros obtenidos tienen un diámetro de ~2.5 cm y se obtienen perforando a la roca a una profundidad entre 6 y 12 centímetros. Una vez perforada la unidad, se procede a ubicar correctamente cada uno de los cilindros en el espacio, utilizando un dispositivo no magnético comúnmente llamado 'Pomeroy' (por el nombre de la compañía de su fabricación, Figura 12). Este instrumento permite la marcación de la orientación de la perforación en la muestra midiendo su dirección, inclinación y el azimut del sol con respecto a un plano horizontal.



Figura 11.- Perforación de las unidades rocosas obteniendo cilindros orientados.

b) El muestreo del afloramiento rocoso por medio de la sustracción de un bloque decimétrico de roca (**Figura 13**) es menos preciso pero permite exentar el uso de un equipo de perforación en el campo. Este método consiste en sustraer un fragmento de caras planas y con un volumen suficiente para obtener en laboratorio varias perforaciones. Antes extraer el bloque del afloramiento, este debe ser ubicado en el espacio, orientando con una brújula (bajo el método de la mano derecha) al menos dos de los planos disponibles en sus caras. Este bloque es llevado al laboratorio para su posterior perforación y la obtención de sus núcleos orientados.

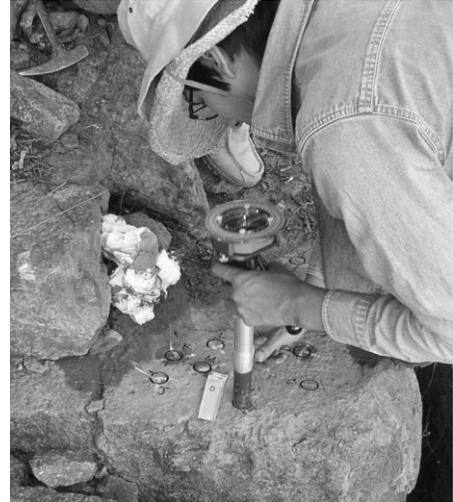


Figura 12.- Orientación de los cilindros obtenidos en la perforación in-situ.

Una vez perforados los cilindros en laboratorio utilizando un taladro estacionario con adaptación de broca de diamante (**Figura 14**), el bloque debe posicionarse de la misma forma que se encontraba en el afloramiento en una caja de arena (**Figura 15**) y orientarse en su posición original con la ayuda de las líneas previamente marcadas en campo (**Figura 16**). Una vez orientado el bloque se toma la medición de cada uno de los núcleos como en la **Figura 12**.

c) Una vez obtenidos los cilindros de roca por alguno de los métodos mencionados anteriormente, su preparación consta en la separación por corte de dichos cilindros en pequeñas rodajas de 1.2 cm que llamaremos “especímenes” (**Figura 17**). El corte es realizado por una sierra motorizada estacionaria la cual debe contar con un sistema de enfriamiento a base de agua para evitar inducir una señal

magnética secundaria a la muestra. Varios especímenes pueden obtenerse de un solo cilindro pero la cantidad final está ligada a la longitud inicial del cilindro orientado. Una vez cortados los especímenes se toma la línea de orientación marcada por el orientador pomero y se señalan con marcador indeleble una flecha con sentido contrario a la perforación, esto nos indica la cima y la base de cada uno de los cilindros. Por último se marca en su cima y en su base con la respectiva clave de la muestra.

Las muestras deben permanecer en un lugar seco, a temperatura ambiente y lejos de cualquier objeto que pueda imantarlas e inducir un momento magnético secundario que interfiera con el magnetismo natural remanente.

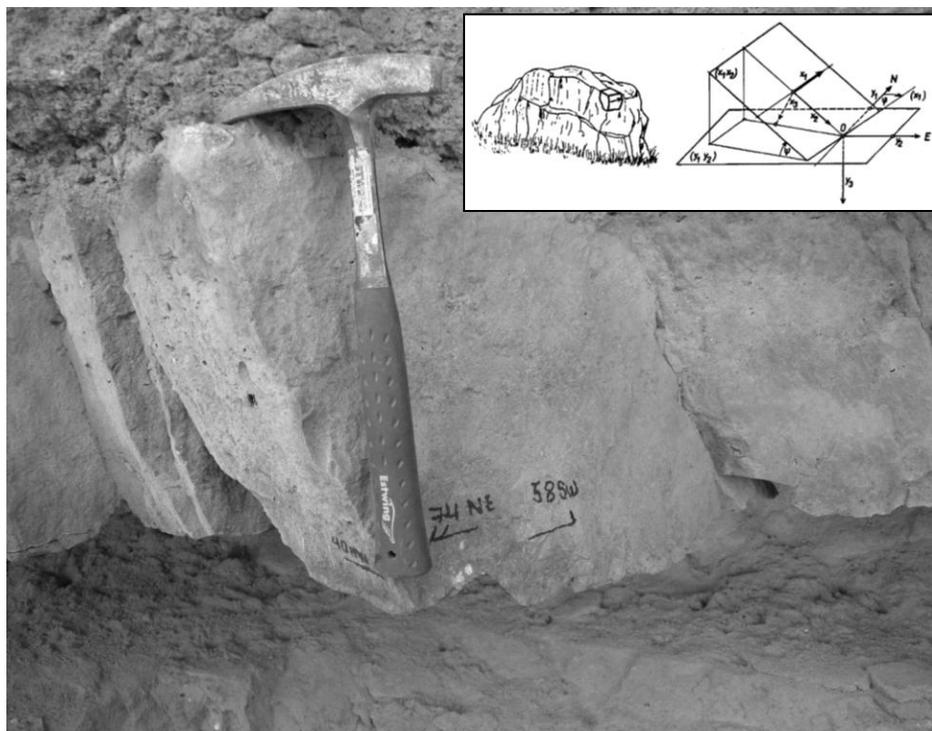


Figura 13.- Bloque orientado del tamaño ideal para estudios paleomagnéticos.



Figura 14.- Perforadora y sierra de laboratorio con sistema de enfriamiento a base de agua.



Figura 15.- Caja de arena, brújula y utensilios para la orientación de bloques.



Figura 16.- Bloque de roca orientado con líneas de rumbo y perforaciones hechas en laboratorio.



Figura 17.- Especímenes de cilindros de roca cortados y listos para las pruebas paleomagnéticas.

3.2 Desmagnetización por campos alternos

El objetivo de la desmagnetización es medir el Magnetismo Remanente Natural (NRM) y después someter el espécimen a una serie de pasos de desmagnetización con un incremento progresivo de la intensidad magnética. La magnetización de un espécimen se mide después de cada paso. Durante la desmagnetización, el vector de remanencia magnética cambiará hasta que su componente más estable sea aislado y en este punto el vector decae como una línea recta hacia el origen. Esta componente final es llamada Remanencia Magnética Característica (CRM, **Figura 18.**).

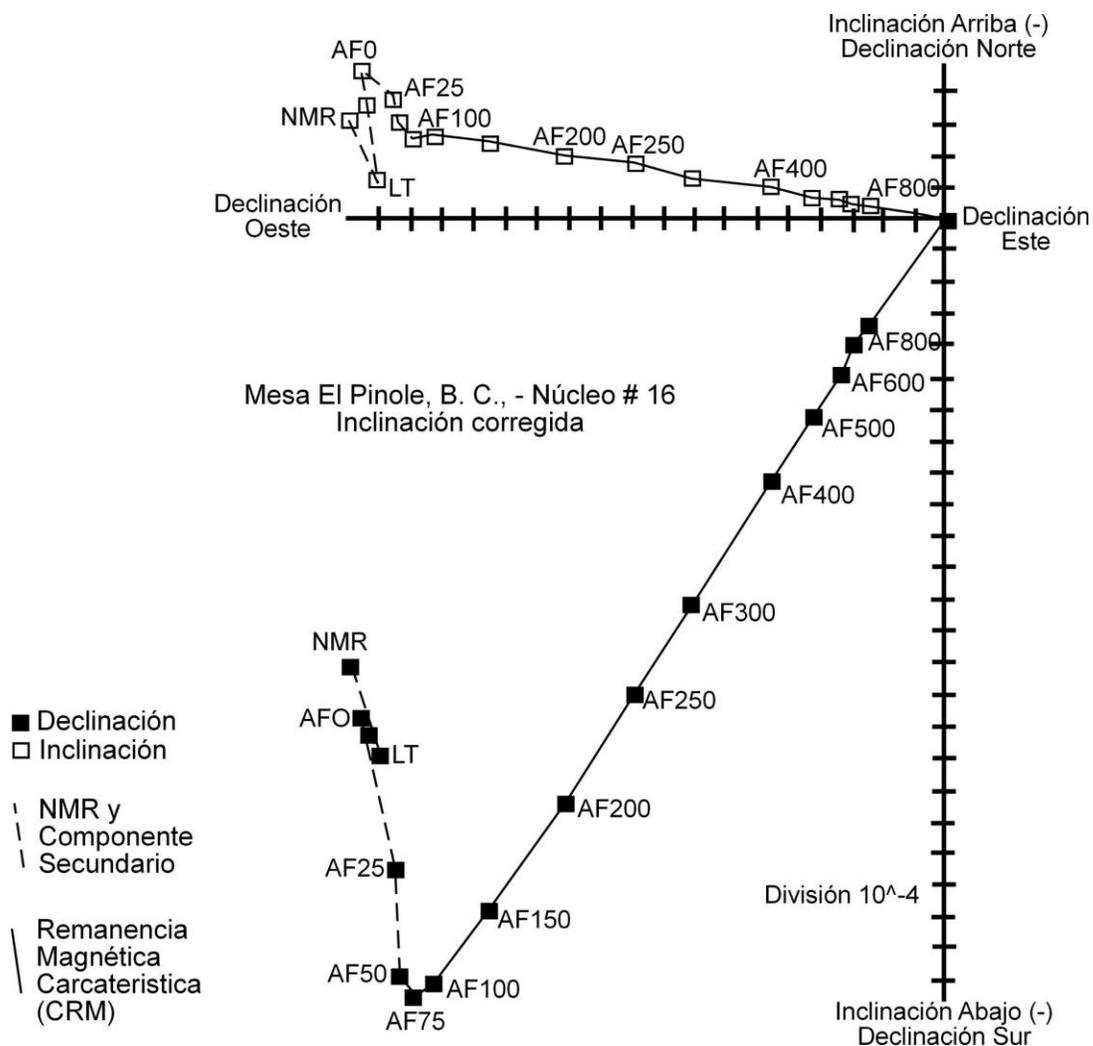


Figura 18.- Ejemplo de un diagrama ortogonal que muestra el aislamiento de la señal CRM y la detección de componentes secundarios bajo los pasos de desmagnetización aplicados a la muestra de roca. Unidades de AF en mili-teslas (mT).

Algunas de las técnicas de laboratorio que sirven para separar los componentes de la magnetización se basan en las relaciones de tiempo de relajación, coercividad magnética y temperatura con el fin de remover (desmagnetizar) los componentes remanentes de baja estabilidad (Tauxe, 2010).

El principio fundamental de desmagnetizar la roca utiliza el concepto de tiempo de relajación, entre más bajo su tiempo de relajación (τ), más probable es que el grano guarde una componente secundaria. Bajo este principio la aplicación de desmagnetizaciones por campos alternados consiste en la eliminación los componentes con corto tiempo de relajación que también tienen coercividad baja.

La desmagnetización entonces, consiste en aplicar campos magnéticos de manera alterna con un incremento de intensidad a una muestra rocosa. En ausencia de campos magnéticos externos (cuarto magnéticamente sellado con μ -metal), la muestra será "limpiada" de cualquier magnetización remanente cuya coercividad sea menor a la intensidad del campo pico aplicado (Figura 19). Esta limpieza es el resultado de la aleatorización de los dominios magnéticos móviles a lo largo de tres direcciones perpendiculares entre sí (x, y, z).

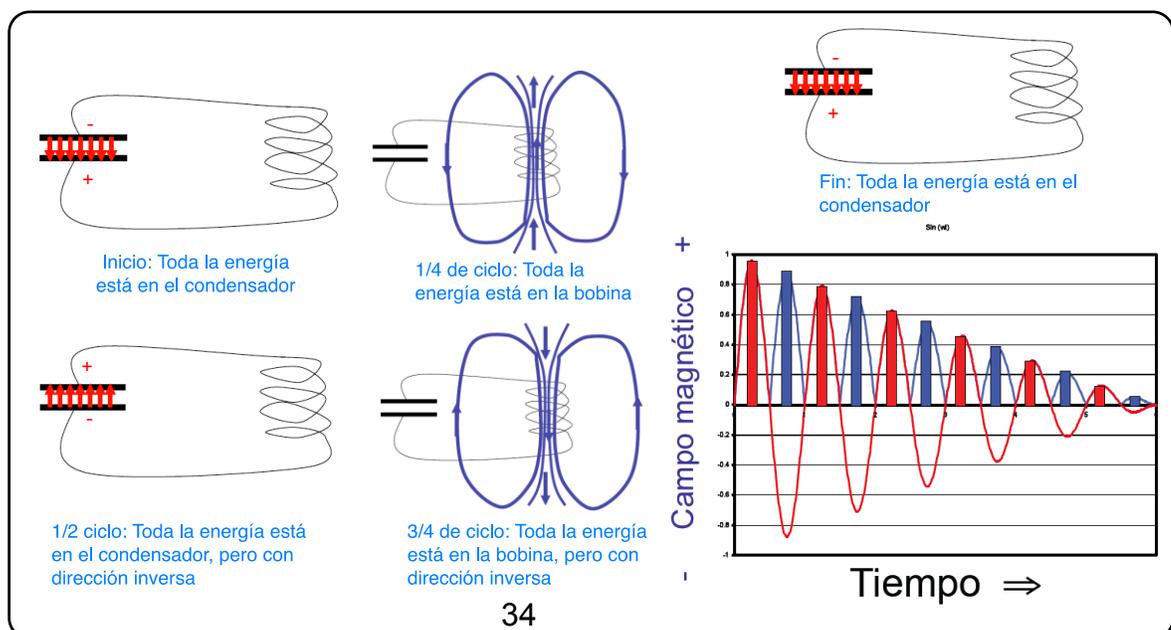


Figura 19.- Esquema de los pasos de desmagnetización por campos alternos.

3.3 Magnetómetro SQUID

Los magnetómetros SQUID (**Figura 20**) por sus siglas en inglés *Superconducting Quantum Interference Device*, son aparatos que pueden medir campos magnéticos extremadamente pequeños. Actualmente son los magnetómetros más sensibles conocidos con niveles de ruido de un mínimo de 5×10^{-12} Am² por eje. Pueden detectar campos magnéticos como el de la Tierra del orden de 10^{-5} Tesla hasta pequeños campos biomagnéticos como los creados por el corazón y el cerebro humano con orden de $\sim 10^{-11}$ T y 10^{-15} T respectivamente. Están diseñados para medir el momento magnético de la muestra, del cuál se obtiene la magnetización remanente y la susceptibilidad magnética.

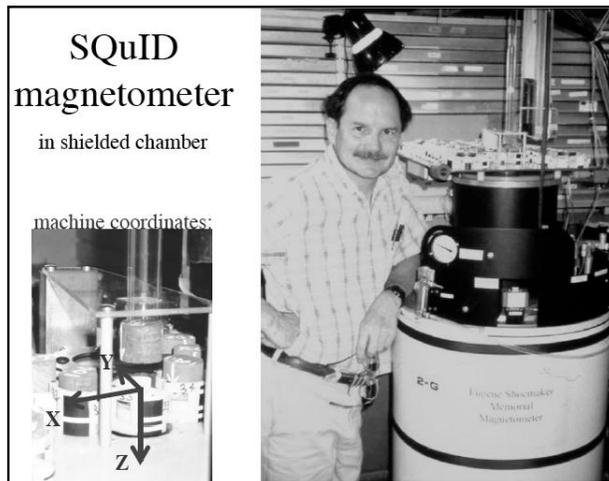


Figura 20.- Magnetómetro SQUID.

El dispositivo consiste en dos superconductores separados por finas capas de aislantes que forman dos uniones de Josephson paralelas. La gran sensibilidad de los aparatos SQUID, tiene que ver con los cambios medidos en el campo magnético asociado con un flujo cuántico. Uno de los conceptos asociados con las uniones Josephson establece que el flujo está cuantizado en unidades. Si en un dispositivo

SQUID se mantiene una corriente constante de polarización, el voltaje medido oscila con los cambios de fase en las dos uniones, los cuales, dependen de la variación del flujo magnético. El conteo de las oscilaciones, permite evaluar el cambio de flujo que se ha producido. Para una descripción técnica y detallada del funcionamiento de los SQUIDS véase [Weinstock \(1995\)](#), SQUID Sensors: Fundamentals, Fabrication and Applications.

El sistema de operación consta de una bandeja ([Figura 21](#)), que puede cargar hasta 100 especímenes y los lleva alrededor de una pista motorizada controlada por computadora y un mecanismo de transmisión de engranajes.



Figura 21.- Bandeja con pista cambiadora de muestras en un cuarto magnéticamente aislado.

Cuando una muestra es posicionada directamente encima de la abertura del magnetómetro, la varilla de muestra que es el tubo de vidrio justo a la izquierda del eje vertical de aluminio en la [Figura 22](#), baja suavemente hasta entrar en contacto con la muestra la cual queda adherida al tubo por vacío. Un computador controla el tubo aspirador con la muestra y desciende por el

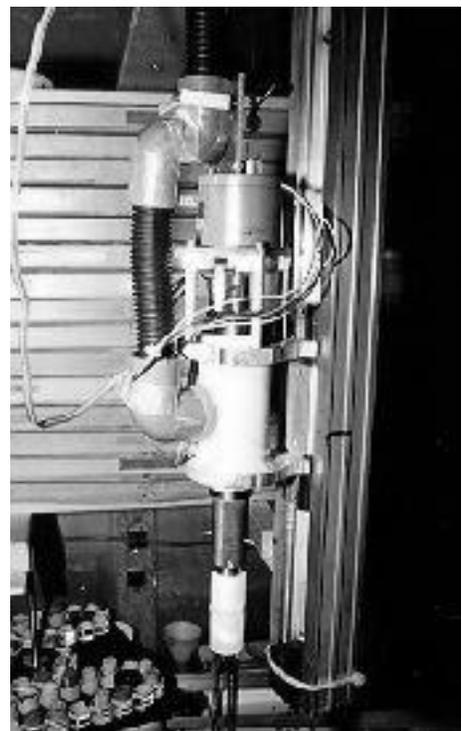


Figura 22.- Varilla de muestra con sistema de vacío que mantiene fija la muestra al momento de insertarla en el magnetómetro. Utiliza vidrio y aire ya que que son magnéticamente inertes.

huevo hacia el interior del magnetómetro para efectuar la medición.

Todas las muestras se cargan en una sola dirección (hacia arriba o hacia abajo) para sus primeras mediciones. El operador puede entonces salir mientras el sistema funciona y cuando la medición se completa, las muestras pueden ser invertidas y se repite el procedimiento para obtener mediciones en 2 direcciones y comparar por errores de colocación de muestra.