

PERFORACIONES CON BROCAS DE DIAMANTE PARA INVESTIGACIONES EN EL SITIO

INV E – 108 – 13

1 OBJETO

- 1.1** Esta norma se refiere al equipo y al procedimiento empleados para realizar perforaciones con brocas de diamante, con el fin de obtener núcleos de roca y de algunos suelos que no pueden ser muestreados mediante los métodos usuales por ser demasiado duros. Mediante este método, se busca obtener datos para el diseño de fundaciones y de taludes y otros propósitos de ingeniería, antes que para la exploración de minerales y de minas.
- 1.2** Esta norma reemplaza la norma INV E–108–07.

2 IMPORTANCIA Y USO

- 2.1** Los núcleos de roca son muestras de registro de las condiciones existentes bajo la superficie en los lugares donde se realizan las perforaciones. Se espera que las muestras suministren indicaciones significativas en relación con la naturaleza geológica, física e ingenieril del subsuelo, que sean de utilidad para el diseño y construcción de una estructura de ingeniería.
- 2.2** Los núcleos de roca se deben preservar durante algún tiempo mediante procedimientos específicos y se deben manejar de manera que sus propiedades no se vean alteradas de ninguna manera a causa de daño mecánico o por cambios de temperatura y humedad u otros factores ambientales. El tiempo de almacenamiento dependerá de la naturaleza e importancia de la obra.

3 EQUIPO

- 3.1** *Máquina de perforación rotatoria* – Capaz de proporcionar un movimiento rotatorio, con alimentación y retracción accionados mecánica o hidráulicamente.

- 3.2** *Bomba de agua o de lodos para perforación* – O compresor de aire, que pueda producir un volumen y una presión de fluido de perforación suficientes para el tamaño (diámetro y profundidad) del orificio que se va a perforar.
- 3.3** *Tubos toma muestras como sean requeridos:*
- 3.3.1** *De pared sencilla* – Consiste en un tubo hueco, con una cabeza roscada en el extremo superior para acoplar la barra o tubo de perforación. El extremo inferior del tubo está acondicionado con un escariador, un retenedor de núcleos y una broca.
- 3.3.2** *Tubo de pared doble tipo giratorio (swivel)* – Contiene un tubo interior giratorio conectado rígidamente al cabezote, ubicado dentro del tubo toma muestras. El fluido de perforación circula entre los tubos interior y exterior y hace contacto con la muestra en la zona de rima y corona. Este sistema mejora la recuperación de núcleos. Se consiguen tubos dobles más sofisticados, en los cuales el tubo interno se extiende dentro de la broca, y el retenedor se ubica dentro del tubo interior para proteger los núcleos de formaciones blandas o friables.
- 3.3.3** *Tubo de pared sencilla, diseño WG* – Consiste en un tubo de acero hueco, con una cabeza roscada para acoplarse a la varilla o tubo de perforación en un extremo y una conexión de rosca en el otro para acoplar un conjunto de escariador y broca. Se puede ubicar un retenedor de núcleos dentro de la broca, pero puede omitirse a discreción del ingeniero encargado.
- 3.3.4** *Tubo de pared doble giratorio (tipo swivel), diseño WG* – Consiste en un conjunto de dos tubos de acero concéntricos, unidos y acoplados en el extremo superior por medio de una bola o de un eslabón de rodamientos, de modo que gire el tubo exterior sin permitir la rotación del interior. El extremo superior del tubo exterior, o cabeza removible, está roscado para atornillar la varilla o tubo de perforación. El extremo inferior del tubo exterior posee una conexión roscada para acondicionar el escariador y la broca. Normalmente, se incluye un retenedor de núcleos dentro de la broca, pero su uso queda a discreción del ingeniero.
- 3.3.5** *Tubo de pared doble giratorio (tipo swivel), diseño WT* – Es esencialmente lo mismo que el tubo doble giratorio, diseño WG, excepto que el diseño WT emplea tubos con paredes más delgadas, tiene un área anular reducida entre los tubos, y toma núcleos de

mayor longitud en una perforación del mismo diámetro. El retenedor de núcleos está localizado dentro de la broca.

- 3.3.6** *Tubo de pared doble giratorio (tipo swivel), diseño WM* – Es similar al tubo doble giratorio, diseño WG, salvo que el tubo interior es roscado en su extremo inferior para recibir un porta retenedor de núcleos que permite la prolongación del tubo dentro de la broca, reduciendo así la exposición del núcleo al fluido de perforación. Dentro del porta retenedor hay un retenedor de núcleos.
- 3.3.7** *Tubo de pared doble giratorio, diseño diámetro grande* – Se encuentra en tres tamaños, así:

Diámetro del núcleo	Diámetro de la perforación
69.85 mm (2 ¾")	98.43 mm (3 ⅞")
101.6 mm (4")	139.7 mm (5 ½")
152.4 mm (6")	196.85 mm (7 ¾")

Es similar al tubo doble giratorio diseño WM, con la adición de una válvula de bola para controlar la circulación del fluido (presente en los tres tamaños disponibles) y la adición de un tubo de desperdicios para recoger partículas gruesas y ayudar a mantener limpia la perforación (solamente en los dos tamaños más grandes). El empleo de este diseño está reservado generalmente para trabajos de investigación muy detallados o cuando no se obtiene la recuperación adecuada empleando otros métodos.

- 3.3.8** *Tubo de pared doble giratorio, con tubo interior retráctil (Método Wire-line)* – En este diseño, el conjunto conformado por el tubo interior más la muestra recuperada se puede llevar hasta la superficie, y otro tubo interior vacío puede ser introducido hasta el fondo del sondeo a través de la tubería exterior de perforación, evitándose el proceso de extracción y penetración de la tubería en cada toma de muestra. El conjunto de tubo interior consta, además, de un porta retenedor y un retenedor de núcleos en uno de los extremos, mientras que en el extremo opuesto posee una cabeza removible, un acople giratorio, un mecanismo de suspensión y un dispositivo de cierre para asegurar o liberar el conjunto. El dispositivo de cierre del tubo interior se encaja en un nicho localizado en la pared interior del tubo exterior, de manera que el tubo exterior pueda rotar sin generar la rotación del tubo interior y sea factible recuperar el tubo interior accionando un mecanismo de control adecuado desde la superficie. El tubo exterior está roscado para el acople de varillas o tubos de perforación de

diámetros grandes e internamente, su configuración le permite recibir el dispositivo de cierre del tubo interior en un extremo y en el otro, por el sistema de rosca, el acondicionamiento para un conjunto de escariador y broca o solamente la broca.

3.3.9 Tubos interiores partidos longitudinalmente – En oposición a los tubos interiores cilíndricos convencionales, éstos permiten la inspección y el acceso al núcleo mediante la simple remoción de una de las dos mitades. No están normalizados, pero los hay disponibles para la mayoría de los tubos toma muestras, incluyendo gran parte de los tipos de tubos internos retráctiles.

3.4 Brocas saca núcleos – Son de diversos tipos: impregnadas con partículas de diamante, con inserción de piezas de carburo de tungsteno, o de otros materiales duros similares, apropiados para enfrentar la dureza de los materiales que se perforan. Este refuerzo está distribuido en patrones con diseños en X, en M o cualquier otro que cumpla los requerimientos. Los tamaños de los tubos toma muestras y de las brocas se muestran en la Tabla 108 - 1.

Tabla 108 - 1. Tamaños de los tubos toma muestras^(*)

TAMAÑO	DIÁMETRO DE LA PERFORACIÓN		DIÁMETRO DEL NÚCLEO	
	mm	pulgadas	mm	pulgadas
EWX, EWM	38.1	1.5	20.6	0.812
AWX, AWM	49.2	1.957	30.2	1.375
BWX, BWM	60.3	2.375	41.3	1.625
NWX, NWM	76.2	3	54.0	2.125
2 ¾ × 3 ¾ (69.9 × 98.4 mm)	98.4	3.875	68.3	2.687
4 × 5 ½ (102 × 140 mm)	140	5.5	100	3.937
6 × 7 ¾ (152 × 197 mm)	197	7.75	151	5.937

^(*)Dimensiones estandarizadas por la *Diamond Core Drill Manufacturers Association*.

3.5 Tubería de hinca o de revestimiento – De peso normal o extrapesada, la que se requiera según la naturaleza del suelo o el método de perforación, para atravesar el suelo hasta llegar al manto rocoso. Su diámetro interior debe ser mayor que el diámetro exterior del tubo tomamuestras más grande que se vaya a emplear. Su interior debe estar libre de obstrucciones, resaltos y torceduras.

3.6 Revestimiento auxiliar – Cuando sea necesario revestir a través de formaciones ya penetradas o cuando no se han encamisado, se deberá emplear una tubería de revestimiento tal, que su diámetro exterior se ajuste a la perforación existente y su diámetro interior permita el empleo de la broca y del

tomamuestras de tamaño inmediatamente menor. En la Tabla 108 - 2 se muestran tamaños normales de este tipo de tubería.

Tabla 108 - 2. Tamaños estándar de tubería de revestimiento

DIMENSIONES	DIÁMETRO EXTERIOR		DIÁMETRO INTERIOR		ACOMODADO A PERFORACIÓN HECHA CON
	mm	Pulgadas	mm	Pulgadas	
EX	46	1.8125	38.1	1.5	AWX, AWM
AX	57.2	2.2	48.4	1.906	BWX, BWM
BX	73	2.875	60.3	2.187	NWX, NWM
NX	88.9	3.5	76.2	3	2 ¾ X 3⅝ (69.9 X 98.4 mm)

- 3.7** *Varillas o tubería de perforación* – Su diámetro interno debe permitir la circulación del fluido de perforación a través de la tubería en cantidad suficiente para generar una velocidad de ascenso del fluido entre la tubería y las paredes del orificio, capaz de remover los detritos o desperdicios de manera efectiva.
- 3.8** *Equipo auxiliar* – Incluye brocas de rodillos (triconos), brocas cola de pescado, llaves para tubos, equipo para mezclar el lodo de perforación, herramientas manuales, equipo de seguridad, etc.
- 3.9** *Cajas para las muestras* – Se deben emplear cajas de madera u otro material durable, para proteger, transportar y almacenar los núcleos. Las cajas deben tener espaciadores longitudinales que separen las muestras en compartimientos. Las muestras se deben fijar en su sitio mediante el empleo de pequeños bloques ajustados entre los espaciadores. Estos bloques también se usan para llenar los espacios vacíos que se generan cuando la recuperación de muestra es insuficiente para completar la caja. La parte superior de la longitud muestreada, la cual corresponde a la menor profundidad de exploración, se coloca en la esquina superior izquierda de la caja y los núcleos se colocarán progresivamente en dirección descendente de una manera continua, hasta la cota más profunda, a través de los compartimientos hacia la esquina opuesta de la caja; esto es, en una disposición a la manera de un libro, que se lee de izquierda a derecha y de arriba hacia abajo. Se deberán marcar de manera clara el comienzo y el final de cada recorrido de perforación. Las partes superior e inferior de cada longitud de núcleo y de cada recorrido se deben indicar claramente sobre espaciadores longitudinales o los bloques, empleando un marcador indeleble. Adicionalmente, se escriben sus profundidades sobre la tapa de la caja en las esquinas correspondientes (Ver norma INV E-113).

4 PROCEDIMIENTO

- 4.1** Se deben usar procedimientos de perforación por rotación para toma de núcleos, cuando las formaciones encontradas sean demasiado duras para utilizar métodos normales de muestreo de suelos. Una penetración igual o menor de 25.4 mm (1") en 50 golpes en el ensayo de penetración normal (norma INV E-111), (notas 1 y 2), indica que los métodos normales de muestreo de suelos no son aplicables.

Nota 1: Cuando se requiere una muestra de suelo para ensayo e identificación de un material con una resistencia a la penetración estándar (N) entre 50 y 100 golpes por pulgada, es necesario realizar una perforación por rotación para la toma de núcleos. En materiales como arcillas muy rígidas o lutitas meteorizadas se pueden obtener muestras usando tubos tomamuestras como el muestreador de tubo doble, tipo Denison. Es posible incrementar el muestreo mediante el uso de aire como medio de perforación y el empleo de brocas con dientes de acero endurecido.

Nota 2: El límite de 50 golpes por pulgada (25.4 mm) se puede elevar si se prevé que el porcentaje de recuperación de núcleos es bajo y se pueden obtener muestras por los métodos empleados para el muestreo de suelos.

- 4.2** Se asienta firmemente el revestimiento contra el manto rocoso o el material duro, para evitar la entrada de materiales sueltos a la perforación e impedir que se pierda el fluido de perforación. Cuando sea necesario, se empleará una broca cola de pescado u otra broca apropiada para nivelar la superficie de la roca o del material duro por muestrear. El revestimiento se podrá omitir cuando se observe que las paredes de la perforación se mantienen estables. El lodo bentonítico suele ser efectivo para mantener abierto el orificio de perforación sin necesidad de revestir.
- 4.3** Se comienza la perforación usando un tomamuestras giratorio de tubo doble NWX o NWM. La primera corrida para muestreo es usualmente de 1.52 m (5 pies), debido a las condiciones heterogéneas del contacto suelo-roca (nota 3). El tomamuestras NWM se debe inspeccionar antes de introducirlo en el orificio para asegurarse de que el eslabón giratorio (swivel) está funcionando bien y rotando libremente. Se debe verificar que el espacio entre el tubo interior y la broca sea suficiente para no restringir la circulación del fluido. Ambos tipos de tubos se deben revisar para que no presenten abolladuras o curvaturas que dificulten la recuperación de los núcleos. El tubo también se debe verificar para ver si hay restos de material de la corrida anterior, con el fin de asegurar que esté limpio y sin obstrucciones. El retenedor se deberá reemplazar cuando esté desgastado o deteriorado. La broca se debe escoger de acuerdo al tipo de material que se va a perforar. No se puede dejar caer material extraño dentro del hueco; si ello sucede y si no es posible recuperar dicho material, se debe abandonar la perforación, reemplazándola por una

nueva. Las tuberías de perforación deben presentar una completa rectitud, de lo contrario, los tramos curvos deberán ser descartados.

Nota 3: En materiales blandos, se pueden usar en un comienzo tubos de diámetro mayor. Cuando la experiencia local indique una recuperación satisfactoria de núcleos o cuando sea de conocimiento que se van a encontrar materiales duros o firmes, se puede usar muestreadores de tubo sencillo o de diámetro más pequeño en lugar de tubos NWX o NWM, y puede ser posible realizar corridas de mayor longitud.

- 4.4** Se desciende el tubo dentro de la perforación y se coloca suavemente sobre la formación que se va a perforar, para evitar su pandeo o el daño de la broca. La medida de la longitud del tubo y de las varillas que se van a usar es esencial, y se deberá realizar con una aproximación de 30.5 mm (0.1 pie). Se registra la profundidad en el instante en que el tubo hace contacto con el fondo del sondeo. Si la profundidad es menor en más de 30.5 mm (0.1 ft) que la profundidad registrada en la carrera previa, ello significa que puede haber material suelto o un núcleo en el fondo de la perforación. Se conectan, entonces, el porta broca a la cadena de tubos y la línea de abastecimiento de fluido de perforación. Antes de iniciar la rotación, se levanta levemente la cadena de tubos y se inicia la circulación del fluido de perforación. Se permite la circulación del fluido hasta alcanzar la condición de flujo pleno. Se baja la tubería lentamente hasta el fondo y se asienta la broca comenzando lentamente la rotación e incrementando gradualmente la presión vertical, manteniendo el flujo pleno del fluido de perforación. Cuando la broca quede bien asentada, se ajustan la presión vertical y la rotación para obtener una penetración adecuada para el tipo de formación que se está atravesando (nota4). Se registra la profundidad a la cual se comienza la extracción del núcleo, con una aproximación de 30.5 mm (0.1 pie). Si se llega a bloquear la circulación del fluido durante la perforación, se eleva la broca ligeramente para permitir la restitución del flujo. Si éste no se reactiva, se extraen los elementos de perforación y se corrige el problema para mantener la circulación adecuada del fluido. Es probable que en una misma corrida se encuentre más de un material y que la recuperación sea inferior al 100 % del espesor real de una formación dada. En este caso, para ayudar a interpretar los cambios, se deben controlar la velocidad de penetración y el color y la textura del fluido de perforación a medida que avanza la perforación. Con el propósito de disponer de elementos de juicio para realizar esta interpretación, se deberán anotar y tener en cuenta las profundidades a las cuales se evidencian cambios en la velocidad de penetración y/o en el color y la textura del fluido de perforación. Se recomienda guardar muestras de los materiales que contiene el fluido de retorno cuando cambian el color, la textura o los intervalos de aparición.

Nota 4: La vida útil de la broca y la velocidad de penetración dependen del uso de la fuerza adecuada sobre la broca y de su velocidad periférica. Esta velocidad debe ser tan alta como sea posible, sin que se

generen deformaciones indebidas en el equipo de perforación o una vibración excesiva en la tubería y sus accesorios. La fuerza sobre la broca se debe ajustar de acuerdo con sus especificaciones de diseño (para un determinado diseño de broca, se requerirá menos fuerza para perforar una formación blanda que para penetrar una formación dura). Puede ser necesario anclar el equipo de perforación para obtener suficiente fuerza sobre la broca.

- 4.5** Después de haber perforado una profundidad equivalente a la longitud del tubo toma muestras (no exceder de 3.05 m y menos si se detectó presencia de material suelto durante el acomodo del tubo), se retira éste del hueco y se remueve el núcleo recobrado. Se coloca el núcleo en la caja, de manera que la parte superior del estrato rocoso se ubique en una esquina de ella, como se describió en el numeral 3.9. Cuando la corrida es mayor que la longitud del primer compartimiento, se mide y se marca temporalmente el siguiente compartimiento a la derecha, en un punto que sea equivalente a la diferencia entre las longitudes del compartimiento y de la corrida, medido desde el extremo izquierdo superior hacia el extremo izquierdo inferior. El primer segmento de roca retirado del muestreador se coloca en la caja de manera que la parte inferior del núcleo quede o bien en el extremo izquierdo más bajo del compartimiento izquierdo o bien en la marca temporal del siguiente compartimiento a la derecha. Cada pieza adicional retirada del muestreador se ubica en la caja, una después de otra, y orientada de manera que el estrato superior siempre esté en la parte superior y/o izquierda de la caja con respecto al estrato más bajo. Se procede a colocar el núcleo en la caja desde el extremo más bajo hacia el extremo superior a medida que es removido del toma muestras, de manera que la parte superior del estrato quede en el extremo superior izquierdo del compartimiento izquierdo, como se describe en el numeral 3.9. Cuando aparentemente se haya removido todo el núcleo del toma muestras, se debe comprobar que ninguna porción del núcleo haya quedado dentro de él, insertándole una regla y verificando la longitud. Una vez retirada toda la muestra del tubo, se ajustan sus piezas dentro de la caja, representando de la manera más cercana a la realidad su longitud in situ, sin generar falsas medidas de recuperación. Se mide la muestra recuperada con una aproximación de 50 mm y se registra esta longitud. A continuación, se marcan las profundidades de las partes superior e inferior del núcleo y cada vacío notable en la formación, por medio de bloques espaciadores claramente etiquetados. Los núcleos friables y aquellos que se alteren con la pérdida de humedad, se deberán envolver en bolsas plásticas, sellar con parafina, o ambos, siempre que el ingeniero considere que dicho tratamiento es necesario. Las corridas siguientes que corresponden a la misma perforación se colocan en la caja siguiendo el mismo proceso, es decir, ubicando su cara superior inmediatamente después del extremo inferior de la corrida anterior. La longitud de la corrida se mide a partir del final de la anterior, utilizando el compartimiento siguiente ubicado a la derecha de ser necesario, y marcando

la parte inferior de la corrida con un marcador temporal. El primer segmento de roca removido del toma muestras (la parte inferior del núcleo) se deberá colocar en la nueva marca temporal establecida. El núcleo se deberá colocar en la caja de la manera descrita anteriormente.

- 4.6** Cuando se encuentren materiales blandos que presenten un porcentaje de recuperación inferior al 50 %, se deberá considerar un cambio en el tipo de muestreador, en el procedimiento de perforación o en el muestreo de suelo. Si se desea tomar muestras de los suelos, ellas se deberán tomar de acuerdo con los procedimientos descritos en las normas INV E-105 e INV E-111, reanudando el uso del sistema de perforación por rotación con extracción de núcleos cuando se vuelvan a encontrar materiales que produzcan rechazo.
- 4.7** Durante la ejecución de los trabajos, es indispensable detectar, registrar y describir características tan importantes como la estructura de la roca y la presencia de juntas, fisuras, cavidades y áreas falladas. Si la presencia de cavidades o de zonas falladas en la roca impide el avance continuo de la perforación, el orificio se deberá (1) cementar y perforar nuevamente, o (2) escariar y revestir, o (3) revestir y avanzar con un tubo toma muestras cuyo diámetro sea el inmediatamente inferior al que se venía usando, la opción que resulte apropiada según el caso. El mismo procedimiento se debe seguir cuando se encuentren fisuras a través de las cuales se pierde el fluido de perforación (notas 5 y 6).

Nota 5: Siempre que la pérdida del agua de perforación indique la existencia de condiciones geológicas o geotécnicas importantes, el ingeniero o profesional encargado deberá definir el procedimiento a emplear para avanzar la perforación.

Nota 6: Entre otros procedimientos opcionales se encuentran: (1) en rocas blandas, con existencia de juntas u otro tipo de características que dificulten la recuperación, se recomienda el empleo de tubos toma muestras de diseño M; (2) en rocas duras y firmes, en las que se prevé un porcentaje alto de recuperación, se pueden emplear toma muestras de pared sencilla.

5 INFORME

- 5.1** El informe debe incluir la siguiente información:
- 5.1.1** Identificación del proyecto, número del sondeo, localización y nombre del operador del equipo.
 - 5.1.2** Cota de la superficie.
 - 5.1.3** Profundidad del nivel freático, incluyendo fechas y horas de las lecturas.

- 5.1.4 Cotas o profundidades a las cuales se perdió el retorno el fluido de perforación.
- 5.1.5 Tamaño y diseño del tomamuestras usado. Tamaño y longitud del revestimiento; registro de la utilización de éste (ubicación, motivo por el cual se requirió, etc.) y de cualquier fenómeno relacionado con su uso.
- 5.1.6 Longitud de cada corrida de muestreo, y longitud, o porcentaje, o ambos, del núcleo recuperado.
- 5.1.7 Descripción de la roca encontrada en cada corrida del sondeo.
- 5.1.8 Descripción de la estructura sub-superficial, incluyendo estratificación, ángulo de buzamiento, cavidades, fisuras y cualquier otra observación que pueda aportar información útil sobre las características de la roca encontrada.
- 5.1.9 Profundidad, espesor y naturaleza aparente del material de relleno de las cavidades o juntas de la roca.
- 5.1.10 Profundidad de los desperdicios de las muestras tomadas del fluido de perforación.
- 5.1.11 Cualquier cambio en las características del fluido de perforación.
- 5.1.12 Fechas de inicio y de finalización de la perforación.

6 PRECISIÓN Y SESGO

- 6.1 Esta práctica no produce datos numéricos; por lo tanto, no son aplicables los criterios sobre precisión y sesgo.

7 NORMAS DE REFERENCIA

AASHTO T-225-06