



4. MUESTREROS DE ROCAS EN POZOS PETROLEROS

4.1. NUCLEO EN EL FONDO DEL POZO

4.1.1. NUCLEO CONVENCIONAL

Para que sea efectiva, la extracción de núcleos debe ser planeada teniendo en cuenta, principalmente, la evaluación de la formación. El personal encargado de la extracción o corte de muestras puede seleccionar y emplear numerosas herramientas y técnicas para lograr los objetivos de muestreo de la formación en el pozo.

El equipo de muestreo convencional incluye una barrena muestreadora, que se localiza en el extremo inferior de la tubería de perforación y se utiliza para cortar el núcleo, un atrapanúcleos para retener el núcleo una vez cortado y que se coloca inmediatamente arriba de la barrena sacanúcleos.

En la extracción convencional, una barrena corta núcleos, un barril nucleador interno y un barril nucleador externo son colocados en el extremo inferior de la sarta de perforación y viajan frecuentemente dentro del agujero. El flujo del fluido de perforación a lo largo de la tubería de perforación circula entre los barriles exterior e interior pero no puede pasar por dentro del barril interior, esto trae como resultado que haya mayor recuperación del núcleo y menos arrastre de los fluidos de la formación que lo saturan, por el lodo de perforación. Después, por medio del recorrido del fluido por la barrena se remueven los recortes que en ese momento genera la barrena. Cuando la cantidad deseada del núcleo es cortado o cuando el barril está lleno, el barril muestrero es alzado del fondo. El barril interno está equipado con un atrapanúcleos que agarra el núcleo cortado en el fondo del agujero y lo retiene mientras se lleva a la superficie. El fluido de perforación circula entre los barriles interior y exterior.

Se han introducido varias innovaciones en un esfuerzo para aumentar la recuperación de núcleos, como un barril interior que no está fijo al barril exterior y que, por lo tanto, está libre para girar o permanecer inmóvil y varios diseños de atrapanúcleos tanto para formaciones duras como suaves.

Ventajas del muestreo convencional:

- ✓ Se obtiene un núcleo más grande, en una operación de corte.
- ✓ Es útil para tomar núcleos en formaciones consolidadas de todos los tipos de litología (areniscas, calizas, dolomías, sales, rocas ígneas y metamórficas, etc.)
- ✓ Es una continuación del desarrollo de los métodos originales de la extracción de núcleos.

Desventajas del muestreo convencional:

- ✗ La técnica requiere que se saque toda la tubería de perforación del agujero y se fije el equipo especial de muestreo en ella, antes de empezar las operaciones de muestreo.
- ✗ Para reanudar las operaciones de perforación normales es necesario sacar la tubería de perforación del agujero y reponer el equipo de perforación quitando el equipo de muestreo especial
- ✗ No se puede recuperar la muestra sin sacar toda la tubería de perforación del agujero.
- ✗ El atascamiento del núcleo es uno de los motivos más comunes para la terminación prematura del núcleo convencional.

El atascamiento ocurre por el desplazamiento de la barrena sobre una fractura, que causa una obstrucción al tratar de entrar el núcleo en el barril interior (sobre todo en formación suave). Cuando un atascamiento ocurre, el ensamblado debe sacarse completamente del pozo y el barril muestreador debe ser revisado. Esto causa un viaje completo adicional y típicamente puede consumir un día de tiempo de aparejo.

Un problema común del núcleo convencional es la identificación del intervalo a nuclear. Los profesionales identifican este punto estudiando datos disponibles de otros pozos en el área y correlacionándolos, datos sísmicos y resultados de la revisión de los recortes que se obtienen con el fluido durante la perforación. Sin embargo, esto es un método impreciso y abierto a malas interpretaciones.

EQUIPO CONVENCIONAL PARA LA EXTRACCIÓN DE NÚCLEOS.

Barril Nucleador (Core barrel).

El barril nucleador o muestrero es probablemente la herramienta más importante en la extracción de núcleos porque retiene el núcleo y lo sostiene durante el corte y la recuperación. Por lo tanto, el diseño de tal barril debe proporcionar tanta protección como sea posible contra daños por el fluido de perforación.

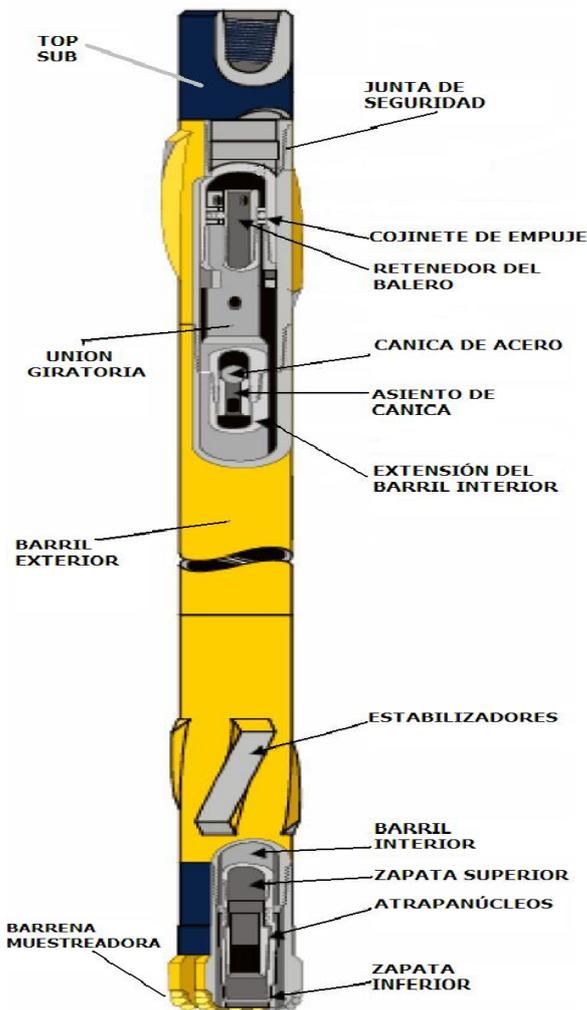


Figura 4.1. Elementos importantes de un barril convencional.

La mayoría de los barriles muestreros, Figura 4.1, están diseñados con un barril interior y un barril exterior. El barril exterior, el cual usualmente es de tubería de acero, es similar al collar (lastrabarrena de acero) de perforación, rodea a otro barril (barril interior) que permanece fijo mientras el barril exterior gira. El núcleo está contenido en el barril interior. Para la construcción de este barril se usa una tubería lisa con el fin de facilitar la entrada del núcleo. El flujo del fluido de perforación hacia abajo es a través del espacio anular entre los dos tubos.

Los barriles muestreros convencionales, Figura 4.1, usualmente tienen 30 pies de largo (9 m). Los núcleos pueden ser de 30, 60 o 90 pies de largo o pueden ser más largos.

Los barriles muestreros deben ser equipados con conexiones de seguridad que permitan que el barril interior pueda ser quitado de barril exterior en caso de que se llegaran a adherir. Los residuos del núcleo intactos dentro del barril interno y el barril externo son extraídos después.

Un barril muestrero convencional usualmente tiene las siguientes partes: cabeza o unión giratoria, una zapata de la tubería interior ensamblada con un atrapa núcleos, y una conexión de seguridad. A continuación, la Figura 4.2 ilustra a detalle, las partes que constituyen un conjunto para muestreo convencional.

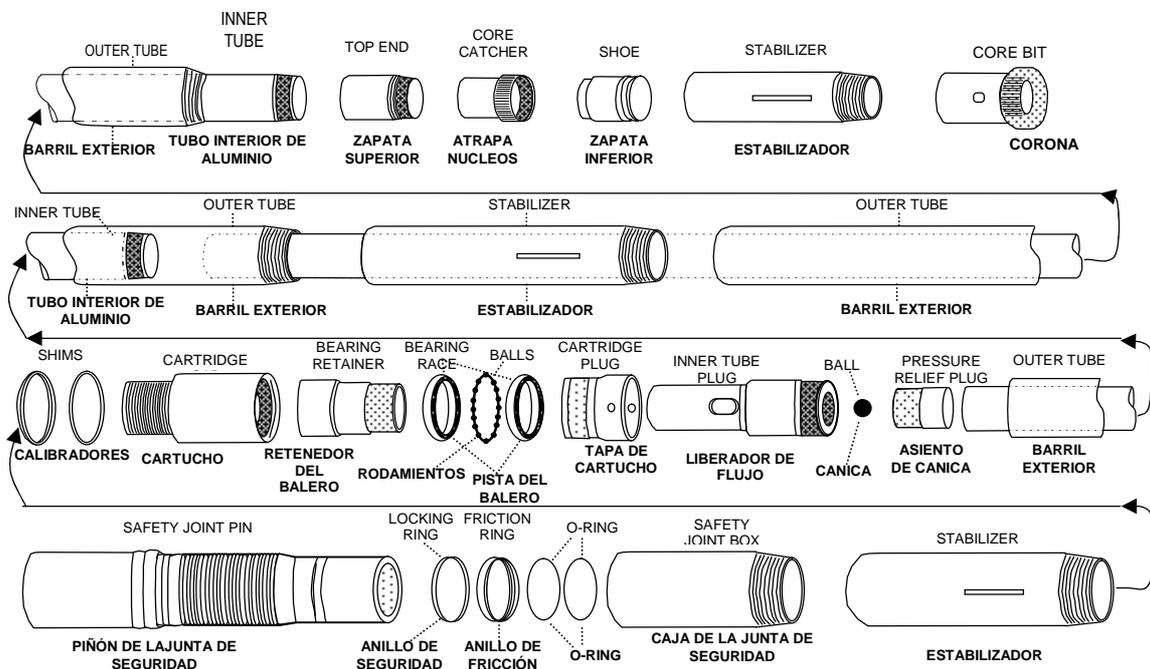


Figura 4.2. Partes internas importantes del barril nucleador convencional.

Barriles Muestradores

La mayoría de los barriles nucleadores convencionales son muy similares, excepto por el tamaño. Cada uno tiene un barril exterior y un barril interior que acepta el núcleo. La mayoría de estos barriles son capaces de cortar 60 pies (aprox. 18 m) de núcleo y algunos pueden ser modificados para cortar hasta 90 pies (aprox. 27 m). Algunos de los barriles de muestreo especializados pueden cortar un núcleo de diámetro tan pequeño como de 1 1/8 de pulgada o tan grande como de 14

pulgadas de diámetro. La siguiente tabla muestra la variedad de tamaños disponibles de barriles nucleadores convencionales.

Tabla 4.1. Tamaños de barriles muestreadores convencionales.

BARRIL EXTERIOR		DIAMETRO DEL NUCLEO [Pg]
D.E. [Pg]	D.I. [Pg]	
3 1/8	2 1/8	1 1/4
3 1/2	2 1/4	1 1/4
4 1/8	3 1/4	2 1/8
4 3/4	3 3/8	2 1/8
4 3/4	3 3/4	2 5/8
5 3/4	4 3/4	3 1/2
6 1/4	4	2 3/4
6 1/4	4 1/4	2 3/4
6 1/4	4 3/4	3 1/2
6 1/2	5	3 1/2
7	5 3/4	4 3/8
7	5	3 1/2
8 1/4	6 3/4	5 1/4

El ensamblaje del fondo del pozo (BHA) consiste generalmente de dos componentes: el barril interior y el barril exterior. El material cortado es recuperado en el barril interior, el cual no sufre rotaciones y sirve para contener al núcleo mientras es llevado a la superficie. Para evitar que el núcleo salga del barril interior durante el viaje a la superficie se utilizan mecanismos de retención. Los retenedores han sido exitosos en la recuperación de cualquier tipo de formaciones en la industria petrolera.

- ☞ *Retenedores de giro*: una cuña tipo retenedor adecuado para la mayoría de los tipos de núcleos.
- ☞ *Retenedores deslizables*: una pequeña cuña deslizable que es utilizada para núcleos direccionales.
- ☞ *Retenedor hidráulico*: un retenedor insertado en un tubo cerrado hidráulicamente, recomendable para formaciones no consolidadas y fracturadas.

Barril exterior, Este dispositivo deberá ser mas pequeño en diámetro que el agujero que se está perforando, en él van acoplados de dos a seis estabilizadores (dependiendo de la longitud del núcleo) con el fin de mantenerlo estable. Los estabilizadores son secciones roscadas removibles y puesto que están sujetos a trabajos abrasivos, deberán ser remplazados frecuentemente. La barrena nucleadora, que muchas veces es llamada cabeza de nucleo o corona, es roscada y se une a la parte baja del barril exterior.

Barril interior, Este elemento va unido al barril exterior por medio de una junta de seguridad. En la parte inferior del barril se encuentra un tazón que sostiene al núcleo. Este ensamblaje ha sido desarrollado para capturar y retener el núcleo liberándolo de la formación al final de la operación de corte. En la parte superior, el barril interior tiene una válvula check de bola que está diseñada para prevenir que el lodo fluya hacia abajo alrededor del núcleo mientras se corta.

- ***Barril interior con camisa de PVC***

Las camisas de PVC (cloruro de Polivinilo) son utilizadas en el barril interior por dos razones:

1. Mejoran la recuperación cuando se nuclea en formaciones fracturadas o arenas no consolidadas, puesto que tienen un deslizamiento que reduce el atascamiento.
2. Una camisa de PVC hace un tubo de manejo conveniente para núcleos que están fracturados o no consolidados. Estos tipos de formaciones caen fuera cuando se usan barriles convencionales haciendo un manejo del núcleo en la superficie difícil.

Sin embargo, el barril interior con camisa de PVC tiene limitaciones de temperatura y esfuerzo, ya que el PVC convencional se suaviza a 140 °F (60 °C) mientras que el PVC clorinado (CPCB) opera a temperaturas hasta de 180 °F (82.2 °C); éste, a su vez, es más costoso que el PVC y deberá usarse cuando las temperaturas de fondo lo requiera.

▪ **Barril interior con camisa de Fibra de Vidrio**

La fibra de vidrio y compuestos de grafito tienen resistencias parecidas a las del acero. La fibra de vidrio se está usando para barriles interiores de núcleo convencional y sus resinas poliéster resisten temperaturas hasta de 180 °F (82.2 °C). La fibra de vidrio con resinas epóxicas pueden usarse a temperaturas tan altas como de 350 °F (176 °C). La ventaja sobre el barril interior con camisa de PVC es que son más resistentes y toleran altas temperaturas de operación, también muchas veces una camisa de PVC es más difícil de remover del barril interior, cuando se usa una camisa interior de fibra de vidrio puede ser removido más fácilmente y enviarse después al laboratorio.

Con el uso de las fundas de aluminio y fibra de vidrio, se debe siempre bajar el núcleo del piso de perforación utilizando el "Transportador del Núcleo" para evitar daño al núcleo en esta operación, no importa si el núcleo fuera consolidado o no consolidado.

Aunque los tubos o fundas que se utilizan como barril interno son de aluminio, existen otros tipos de fundas que posiblemente serán utilizadas en un futuro, ver Tabla 4.2.

Tabla 4.2. Tipos y características de tubos o fundas del barril interno.

TIPO DE TUBO O FUNDA	LONGITUD (m)	RANGOS DE TEMPERATURA
ACERO TEMPLADO	0.5, 30, 120	Alta Temperatura
ACERO GRADO A	30, 120	Fuerte y Estable
FIBRA DE VIDRIO	9, 18, 27, 36	180 °F – 240 °F
ALUMINIO	9, 18, 27, 36	Hasta 350 °F
ACERO - PVC	9	180 °F
ACERO + FIBRA DE VIDRIO	9	250 °F
ACERO + ALUMINIO	9	350 °F

El atrapanúcleos (core catcher).

Está diseñado para no dejar caer al núcleo cuando se levanta la sarta de tubería del fondo (Figura 4.3). Tiene una pieza principal que permite al núcleo entrar al barril cuando se corta, pero al levantar el núcleo del fondo, éste ejerce peso sobre el catcher, apretando al núcleo para no permitir su caída.

Una vez que el núcleo está en la superficie, se puede recuperar el fragmento en el catcher ejerciendo presión hacia la cima del núcleo.

Cuando los núcleos son recuperados sin funda, esta operación se hace con el barril suspendido sobre el piso de perforación, dañándose frecuentemente la parte inferior del núcleo (tal vez los primeros 20 centímetros). Cuando el núcleo es obtenido con funda, se desenroscan unas partes con frecuencia en el piso de perforación; otras partes, en el área de trabajo designado para la preservación del núcleo. Se puede recuperar del atrapanúcleos el fragmento apretado con mínimo daño, por lo que se puede analizar en el laboratorio.



Figura 4.3. Diseño de diversos atrapanúcleos convencionales.

Junta de seguridad.

Proporciona una conexión de enroscado durable que puede romperse fácilmente en el piso de perforación para facilitar el proceso de recuperación del núcleo. Si el barril nucleador se atasca en el fondo del pozo la junta de seguridad permite dar marcha atrás al barril muestreador, lo cual permite al tubo interno y al núcleo ser removidos, eliminando el retraso en las operaciones del equipo de perforación, reduciendo gasto de mantenimiento y asegurando la recuperación del núcleo.

Top Sub

Parte superior del sistema de corte de núcleos que se conecta con el aparejo de perforación (Figura 4.1).

Unión giratoria

La unión giratoria permite al barril exterior rotar alrededor del barril interior con una rotación libre máxima para mantener el ritmo de penetración y solucionar los problemas que se presenten en la recuperación del núcleo. Esta unión permite optimizar el flujo del fluido a través del barril nucleador para mejorar el sistema hidráulico de las barrenas y mantener la circulación.

Canica de acero

La canica de acero es lanzada a través del aparejo de perforación o aparejo de fondo para ser asentada en un tubo interior, empujando e impidiendo el flujo del fluido de perforación a través del barril nucleador interior. La canica es lanzada al inicio del corte del núcleo, la cual es conducida hasta el barril interior. La acción de la canica es forzar al fluido a pasar por el espacio anular conformado entre el barril interior y el barril exterior.

Asiento de canica

Permite circular un volumen determinado de lodo de perforación a través del barril muestreador, asegurando una limpieza en el barril interior y en el pozo antes de empezar el núcleo. Cuando se asienta la canica de acero se desvía el flujo del fluido de perforación a través de los orificios por encima del barril interno, causando que el flujo del fluido pase entre los barriles interno y externo, minimizando la contaminación del núcleo y manteniendo la circulación en la barrena

Ensamblaje de la zapata

Tiene como objetivos mantener el barril interno en su lugar y fijo dentro del barril exterior, proteger el núcleo una vez que entra, y sostener el atrapa núcleos. El atrapa núcleos retiene el núcleo por acuñamiento entre el núcleo y dentro de la zapata. Una válvula de presión de alivio es también una parte del ensamblaje del barril.

Cojinetes de empuje.

Para aumentar la calidad del núcleo se utilizan sistemas que ofrecen una combinación de resistentes cojinetes radiales localizados en la parte superior en el barril, esto proporciona independencia entre la rotación del barril interior y el barril exterior.

Estabilizadores.

Son importantes porque ayudan al contacto entre la barrena y la formación, lo cual hace que las barrenas se desgasten de modo uniforme debido a la correcta posición de la misma. Por este motivo es que ofrecen varias ventajas. Los estabilizadores mejoran el cortado del núcleo porque sujetan a la barrena por el lado plano contra el fondo del pozo y se obtiene así una posición óptima para el nucleado.

El tambaleo de la tubería de perforación que puede ocasionar desgaste no uniforme de la barrena, fugas de fluido de perforación, velocidades de penetración bajas y posible riesgo de rompimiento del núcleo es minimizado cuando la barrena está en contacto perpendicular al fondo del pozo. Además, los estabilizadores mejoran la recuperación de los núcleos porque la sarta de perforación disminuye su tambaleo y el núcleo corre menos peligro de perderse, dañarse o romperse. Además, los estabilizadores evitan que los núcleos sean cortados en espiral, lo cual contribuye a evitar las pérdidas de los núcleos. Usualmente los estabilizadores tienen bordes en espiral, rectos o de metal de alta dureza, ver Figura 4.4. El tipo de bordes usados depende de las condiciones del pozo.

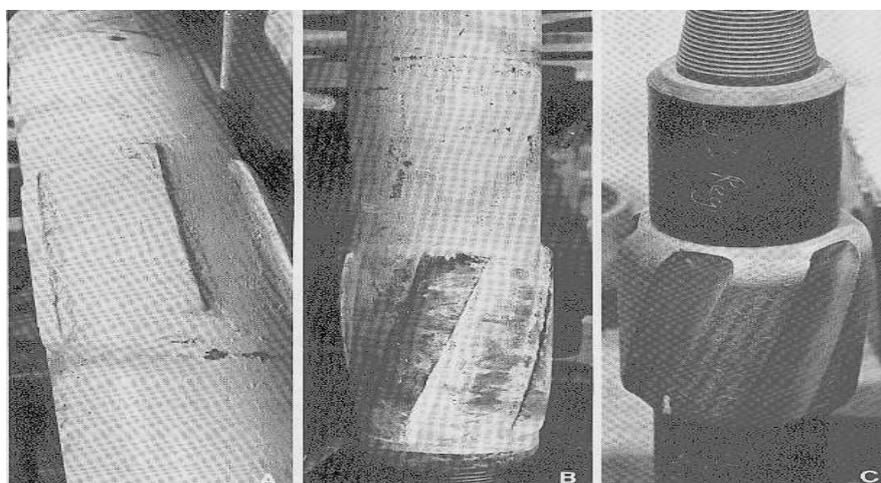


Figura 4.4. Estabilizadores: (A) bordes rectos, (B) bordes en espiral y (C) bordes de metal de alta dureza.

Por ejemplo, los estabilizadores con bordes de metal de alta dureza pueden emplearse para reforzar una formación desquebrajada. Los estabilizadores colocados por arriba de la barrena tienden a causar efecto de péndulo. Esto es que los lastrarrenas bajo el estabilizador tienden a adoptar una postura vertical debido a la gravedad.

Los estabilizadores son colocados generalmente en barriles estándar cerca de la barrena y cerca de extremo del barril. Así un barril de 30 pies tendrá 2 estabilizadores, uno de 60 pies tendrá 3 y así sucesivamente. Se pueden requerir más estabilizadores dependiendo de las características del pozo. El diámetro exterior de los estabilizadores debe ser igual al de la barrena nucleadora o en su defecto 1/32 de pulgada menor. Los estabilizadores, en las secciones adicionales del barril

nucleador, usualmente son entre 1/16 y 1/8 de pulgada más pequeños que el diámetro de la barrena nucleadora. Los estabilizadores deben reemplazarse cuando el desgaste en el espesor es notable. Los estabilizadores no se usan cuando las condiciones del pozo no son compatibles con ellos.

ENSAMBLADO Y MANTENIMIENTO DE LOS BARRILES MUESTREROS

El personal de perforación encargado de las operaciones de corte de núcleos debe obtener información y literatura del consultor de nucleado acerca de los procedimientos a seguir en el ensamblado y mantenimiento de los barriles muestreadores.

Cuando el barril nucleador está empacado con el barril interno dentro del externo, el primer paso en el ensamblado del barril nucleador es adjuntar el manipulador inferior a las secciones inferiores de los barriles interno y externo, luego se enganchan los elevadores al manipulador inferior, después estas secciones inferiores son pasadas a través de la mesa rotaria hacia el interior del pozo. Se usan las cuñas para sostener los barriles mientras se colocan los estabilizadores, posteriormente se coloca la abrazadera del barril interno, se levantan las secciones superiores de los barriles interno y externo, las conexiones del barril interno se limpian, y la sección superior es conectada a la sección inferior del barril interno. Se debe tener cuidado para no confundir las conexiones. El ensamblado del barril interno es levantado y la abrazadera es removida. La sección superior del barril externo es bajada y ensamblada con la parte inferior del barril externo. Las juntas de los estabilizadores son revisadas para que tengan el ajuste adecuado, y la abrazadera del collar de perforación es colocada justo debajo de los bordes del estabilizador. Las cajas de seguridad se ajustan también. El barril interno es levantado para revisar las juntas, la junta de seguridad, los anillos, los soportes, y las zapatas inferiores y superiores así como el receptáculo del núcleo. La abrazadera del barril interno es colocada, el barril interno es levantado y colocado en el interior del barril externo hasta que el peso total del barril interno descansa sobre la abrazadera. Se realiza la conexión de la junta de seguridad. El ensamblado del barril se saca del agujero. Se coloca la barrena nucleadora. Usando el ajustador de barrena, ésta es apretada al barril exterior. El barril interno se prueba para asegurarse que gira libremente. Se revisa también el liberador de presión. El ensamblado del barril nucleador está entonces listo para ser colocado en la sarta de perforación e iniciar el proceso de nucleado, ver Figura 4.5.

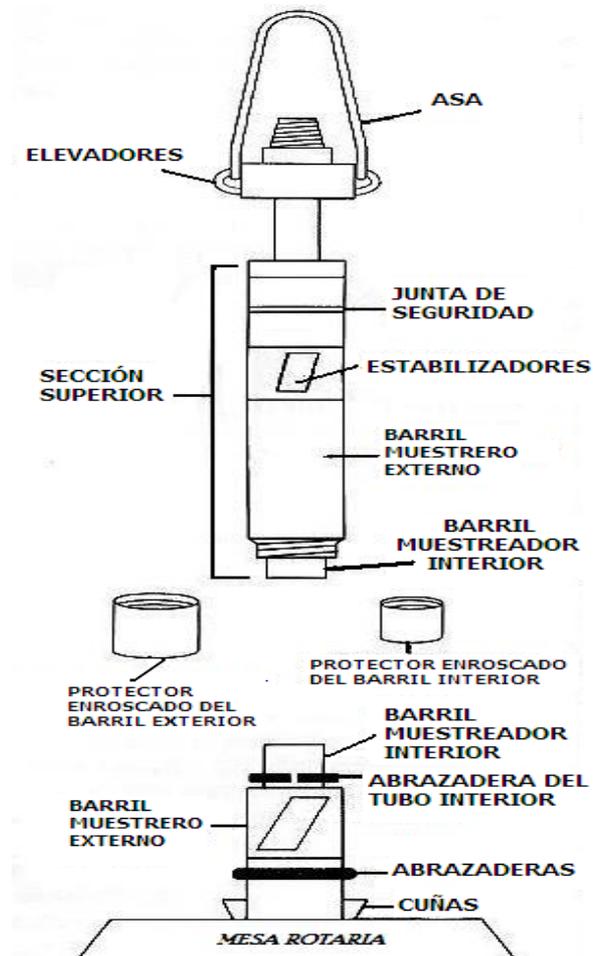


Figura 4.5. Ensamblaje del barril nucleador interno.

Operaciones de Nucleo

Antes de empezar la operación de extracción de muestras, el personal responsable debe obtener información acerca de las condiciones del pozo y poder determinar el mejor equipo para el agujero y la formación a nuclear y prepararse para algún posible problema que se pueda presentar.

Lo anterior trae como resultado ahorro de tiempo y dinero, que puedan perderse como resultado de las suposiciones y problemas inesperados.

Después de haber conocido las condiciones del pozo y de haber obtenido el equipo apropiado, el personal encargado de la extracción de núcleos verifica la limpieza del agujero con el fin de no causar problemas. Si el agujero no está limpio pueden dañarse los diamantes de la barrena y la

barrena tendrá que ser reemplazada. El agujero es limpiado de desechos metálicos con herramienta magnética, usando un extractor de piezas rotas durante la perforación o por el bombeado del fluido de perforación dentro del agujero permitiendo que la corriente del fluido saque los desechos o herramientas rotas o por la combinación de ambos métodos.

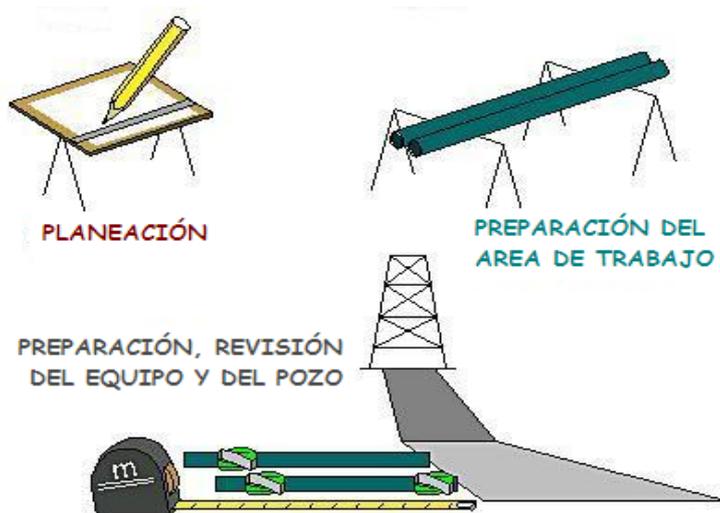


Figura 4.6. Etapas de las operaciones antes de empezar el muestreo.

Recomendaciones generales antes de empezar el corte de núcleos.

- Asegurarse de que el pozo está en calibre es decir, que a lo largo del pozo se conserve el diámetro del agujero perforado, y además esté limpio de cualquier basura en el fondo.
- En el último viaje, se recomienda un “viaje corto” y cualquier punto apretado deberá ser rimado.
- Por ningún motivo se deberá usar el barril muestrero para repasar el pozo en el viaje al fondo, generalmente resulta un daño a la corona con pérdida de calibre, y atascamiento prematuro del barril muestrero. De ser necesario, se deberá sacar el barril muestrero y realizar un viaje para conformar el agujero.
- Circular la última “lingada” arriba del fondo del pozo y en el fondo del pozo. Confirmar la profundidad total antes de arrojar la canica. Una vez que la canica ha sido sentada se notará la baja circulación y el incremento en la presión.
- Al momento que se tenga la barrena junto con el barril montados en la sarta de perforación la operación de nucleado está lista para ser iniciada.

El operador de núcleo introduce el barril al agujero con mucho cuidado pues las barrenas de diamante requieren un trato menos rudo que las barrenas tricónicas. La barrena se baja hasta que apenas toca el fondo. Durante este tiempo se enciende la bomba del lodo. La barrena puede girarse lentamente para asegurar que toca el fondo.

Recomendaciones al momento de meter el barril muestrero.

- Verificar la longitud de la tubería y revisar el espacio máximo disponible para asegurar el corte del núcleo en una corrida (sin hacer conexión)
- Pasar a través de la zapata cuidadosamente.
- Si se encuentra resistencia leve en el pozo, se deberá rimar, con poco peso (1/2 a 1 ton). Nunca intentar forzar el ensamble a que pase a través de la resistencia, ya que esto podría dañar el equipo y la corona.
- Tocar fondo cuidadosamente con rotación
- Iniciar la circulación con el flujo mínimo posible para permitir que salgan los escombros del espacio anular entre los barriles (interior y exterior) suavemente y posteriormente incrementar el flujo al más alto permisible para limpiar el fondo del pozo y desplazar cualquier basura dejada durante la perforación previa.

Procedimiento en el corte del núcleo:

Cuando el gasto de la bomba es ajustada aproximadamente entre 5.3 y 7 galones por minuto (gpm) por pulgada cuadrada del área del agujero, la barrena es bajada sin rotación. Luego se aplican entre 5000 y 8000 libras para determinar si la barrena descansa sobre el fondo limpio o sobre recortes.

La barrena se levanta otra vez y la rotación comienza lentamente entre 30 y 50 rpm. La barrena se baja lentamente y el peso se aplica gradualmente. El peso sobre la barrena empieza en cerca del 20 por ciento del peso máximo que se espera y se incrementa en 2000 libras hasta que se determina la velocidad de rotación óptima. La operación inicia y la velocidad de rotación así como el peso sobre la barrena se incrementa lentamente mientras se ajusta el gasto de fluido de perforación deseado.

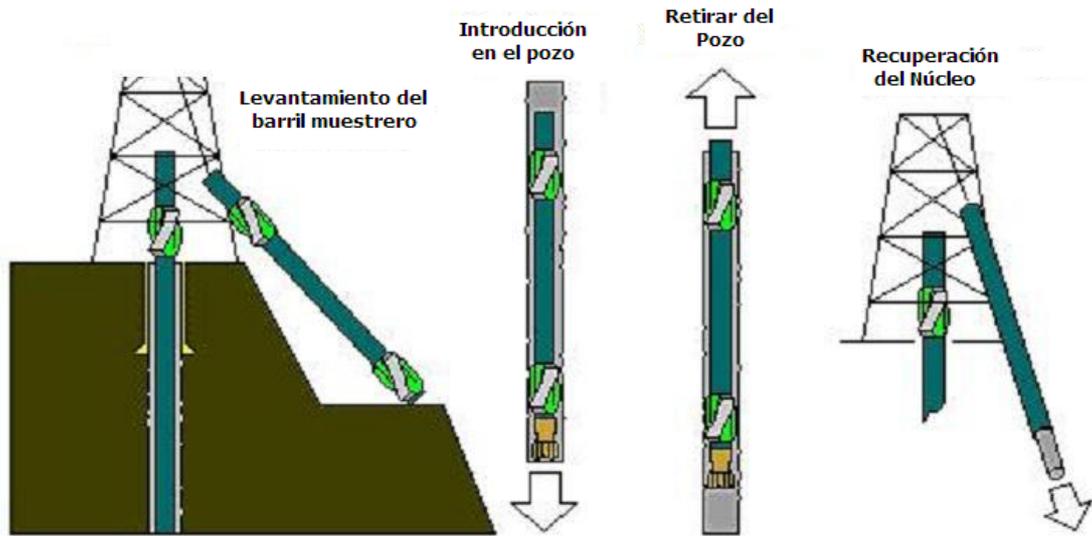


Figura 4.7. Etapas de las operaciones durante el muestreo.

- Dejar caer la canica a través de la tubería de perforación. Después de algunos minutos (aproximadamente de 5 a 10 min.) la canica se aloja en su “asiento”. Si se usa alto flujo la presión causada por la bola al sentarse (acomodarse en su asiento) puede causar que el tubo interior se colapse.
- La presión en el stand pipe no deberá ser mayor de 500 psi.
- Registrar la presión en la bomba y en la tubería mientras la canica cae, el manejo de bajo gastos en la bomba, permitirá el correcto asentamiento de la canica en el fondo.
- Ajustar al gasto deseado, de acuerdo a la formación y/o lo requerido para el corte del núcleo.
- Anotar los valores de fondo de pozo: Torque, Presión de la columna de tubería (SPP) al gasto calculado, Peso de la sarta
- Usar bajas rpm e incrementarlas suavemente si es necesario. Se recomienda una velocidad moderada al iniciar el muestreo, para minimizar la vibración que podría dañar al núcleo, y permitir a la corona cortar el perfil. Una velocidad de rotaria muy baja podría conducir a una acción de vibración torsional (slip-stick). La rotación debe ser optimizada y balanceada hasta obtener la mejor velocidad de penetración.
- Usar bajo peso sobre la corona, incrementándolo si es necesario, en el primer metro nucleado con 1 Ton. Hasta obtener la mejor velocidad de corte de núcleo. (Los parámetros de operación serán optimizados para alcanzar un mínimo de torque).

- En la medida de lo posible evitar hacer conexiones durante el corte del núcleo.
- Al llenarse el barril nucleador con las muestras de la formación, el manómetro del torque dejará de oscilar indicando que está lleno el barril.
- Al sacar la herramienta muestreadora no se deberá de rotar la sarta y se deberá sacar cuidadosamente la sarta con las cuñas, y mantener una velocidad lo más bajo posible.

Las condiciones óptimas de nucleado son mantenidas constantes hasta que el núcleo es cortado completamente o hasta que se presenta algún problema. El gasto y presión de la bomba, la velocidad de rotación, el torque y el peso sobre la barrena son monitoreados cuidadosamente durante el proceso de nucleado porque la fluctuación, incremento o decremento de cualquiera de estos indicadores puede representar un problema.

Un decremento en la velocidad de rotación puede indicar que la barrena ya no se encuentra en un estado óptimo, que la formación rocosa ha cambiado, o que el barril nucleador está atascado. Un incremento en la presión de la bomba puede indicar que algunos diamantes pudieron haberse dañado y caído al fondo del pozo de modo que impide que la barrena se asiente de forma apropiada sobre el fondo. Un incremento o decremento en el torque puede indicar que el barril interno está atascado o bloqueado. Esta condición es causada generalmente por las fracturas de la formación o por el rompimiento de material no consolidado. El peso excesivo sobre la barrena puede ocasionar el desprendimiento de los diamantes de la barrena; esta condición se puede observar en la vibración y cabeceo de la sarta de perforación. Cuando esto ocurre la sarta debe sacarse completamente para revisar el estado de las herramientas.

Cuando se ha cortado la longitud deseada de núcleo llega el momento de separarlo de la formación. El operador de núcleo detiene la bomba de lodo y la rotación de la sarta de perforación y levanta la barrena del fondo. El barril es levantado gradualmente hasta que el perforador de núcleo considere, con base al indicador de peso, que la zapata ha sujetado el núcleo y lo ha arrancado. Usualmente se requieren 20000 libras de fuerza para arrancar el núcleo. Si se tienen problemas para arrancar el núcleo, se continuará jalando al núcleo por espacio de 5 minutos y se enciende la bomba. No se emplea rotación durante este proceso por que puede dañar el barril interno.

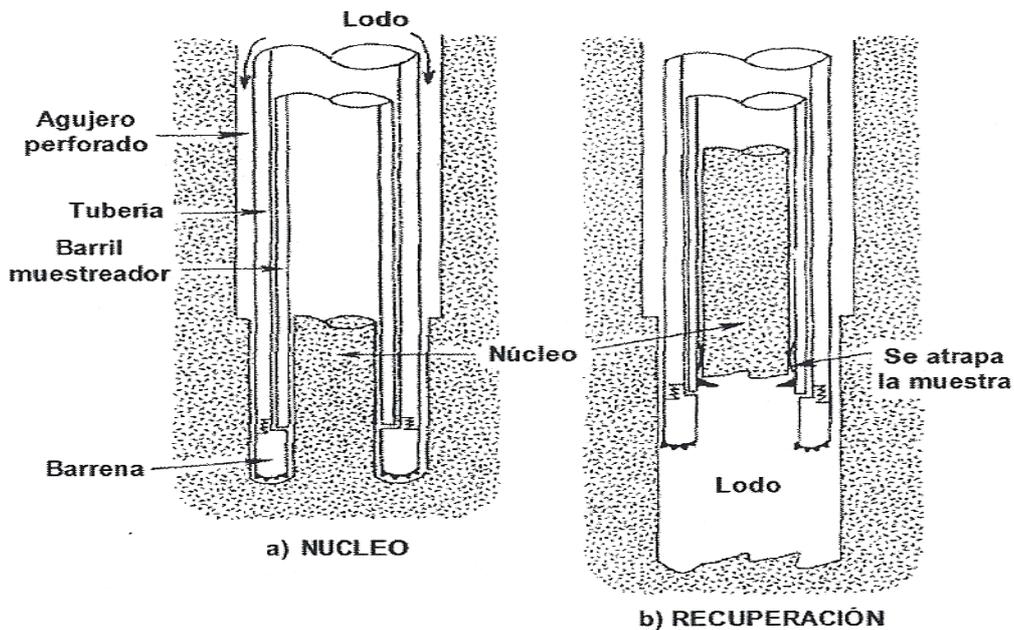


Figura 4.8. Diagrama donde se muestra en: a) la operación de núcleo y b) la recuperación del núcleo del fondo del agujero.

Después de que se ha arrancado el núcleo, se vuelve a colocar la barrena por lo menos dos veces más sobre el fondo con un peso de la mitad del que se empleó para cortarlo, lo anterior es para asegurar que no se dejan tramos de núcleo en el fondo y que éste ha sido recuperado en su totalidad.

Si se pierde parte del núcleo o el núcleo completo, el operador tratará de encontrarlo buscando la parte superior con la barrena, cuando lo encuentra rota la barrena lentamente y aplica un peso sobre la barrena de 500 libras. El núcleo entra en el barril nucleador si es que no se ha recostado o fracturado. Si el núcleo no entra puede ser debido a que es muy corto o a que se encuentra recostado, en este caso se puede perforar con la barrena nucleadora la parte superior del núcleo para tratar de hacerlo entrar, esto se hace a velocidades muy bajas para no dañar la barrena.

El barril nucleador se atascará cuando se use una barrena con diámetro mayor al del agujero, cuando se aplique un torque excesivo a la sarta de perforación o cuando la densidad del lodo sea demasiado alta. En este caso el operador puede tratar de usar aceite para desatascar el barril.

El proceso de enjarre, empuje y jaloneo del barril se hace con mucho cuidado para no dañar la barrena. Si todo falla la sarta es regresada y el barril es pescado.

Si el perforador quiere repetir la operación después de hacer las conexiones, coloca la barrena en el fondo sin rotar pero con la bomba encendida y se emplea un peso 30 por ciento mayor al que se usó la primera vez para liberar el barril y permitir así la entrada de otro núcleo. Luego se vuelve al peso normal y la rotación se incrementa de forma gradual, y la operación de nucleado continúa.

La operación de muestreo deberá ser terminada una vez que la longitud del núcleo ha sido alcanzada. O en caso de que el barril muestrero se atasque prematuramente, lo que será indicado por la falta de avance y falta de torque, el corte se deberá suspender para evitar que se pierda la cantidad de núcleo cortado hasta ese momento. De ser necesaria una segunda corrida deberá realizarse un viaje con barrena con el propósito de acondicionar nuevamente el pozo para el corte del complemento del núcleo.

Recuperación del núcleo:

- Levantar el barril muestrero y asegurarse de las condiciones en que viene el núcleo.
- Eliminar la corona y cerrar el barril muestrero con el protector.
- Meter el barril muestrero al pozo y desconectar la junta de seguridad, levantar la misma y recuperar el tubo interior de aluminio con el núcleo dentro, de acuerdo a los procedimientos recomendados.
- Colocar el tubo interior de aluminio en la canastilla de manejo designada para hacer las operaciones de marcado y corte del núcleo.
- Desconectar todo el barril y retirarlo del piso de perforación.
- Verificar una operación segura con la cortadora del barril o tubo interior e instruir al personal de los riesgos.
- Marcar y cortar el tubo interior de acuerdo a los requerimientos de los análisis.

Los procedimientos mencionados serán señalados por el especialista en corte de núcleos, dependiendo de la operación observada con el fin de optimizar la velocidad de corte y la calidad del núcleo recuperado.

4.1.2 NUCLEO A PRESIÓN

Las técnicas de extracción de núcleos convencionales, no a presión, son incapaces de recuperar significativamente los fluidos con sus saturaciones in-situ, con presencia de gas (en solución o libre) ya que el gas expulsa a los fluidos del núcleo al llevarlo a la superficie.

La extracción de núcleos a presión resuelve este problema al mantener la muestra de roca a la presión de fondo del pozo, hasta que los fluidos del núcleo puedan ser inmovilizados por congelación. Este concepto, fue propuesto por primera vez por Sewell en los años 30's, y ha sido utilizado muy poco hasta años recientes.

Siguiendo una filosofía de simplificación y abatir costos, este sistema ha desarrollado un servicio ligeramente rutinario. Más allá del desarrollo de esta tecnología se continúa asegurando que se satisfagan las necesidades de la industria petrolera. Aunque la toma de núcleos a presión ha sido una opción, de algún modo, desde el año 1930, ha adquirido avances notables en los años recientes, haciéndolo más confiable.

La extracción de muestras a presión ha experimentado una rápida evolución operacional y tecnológica en años recientes. Se ha usado frecuentemente y ha demostrado ser una herramienta de evaluación muy poderosa, sobre todo cuando se usa adecuadamente junto con otros métodos de evaluación. Como ha habido aumento en la demanda de datos más detallados del yacimiento, la tecnología del núcleo a presión y el conocimiento de la ciencia deben seguir creciendo para satisfacer la exigencia.

Ventajas:

- ✓ Evita la expansión de gas que ocurre cuando el núcleo está dentro del pozo y se lleva hasta la superficie. La expansión del gas expulsa los fluidos del yacimiento del núcleo, siendo reemplazados, por lo general, por el lodo o su filtrado.
- ✓ Se obtienen núcleos a presión exitosamente en arenas muy suaves, en secuencias de arena/lutitas, en carbonatos consolidados y en carbonatos sumamente fracturados.

- ✓ Se recuperan núcleos a presión con el mínimo de invasión de lodo o su filtrado y de efecto de lavado para evitar la pérdida de fluidos del núcleo durante el proceso.
- ✓ Se capturan todos los fluidos de la muestra para determinar sus saturaciones.
- ✓ Se pueden establecer correlaciones entre las condiciones reales de saturación de fluidos y los registros de pozo para fundamentar el desarrollo de campos nuevos.
- ✓ Se usa con fluidos de perforación de base agua y aceite, así como en sistemas de aire-espuma.
- ✓ Se conserva la presión del fondo del pozo en el núcleo cuando el barril se lleva a la superficie.
- ✓ La confiabilidad para la obtención de la información del yacimiento es muy alta.
- ✓ Puede recuperar núcleos a presión de longitud grande, donde la integridad de la formación permita el uso de este tipo de barriles. Los ahorros de costos sustanciales son el resultado de menos viajes y de trabajos más cortos
- ✓ Cuando la invasión de filtrado es mínima los núcleos a presión pueden proporcionar información útil y confiable en lo que se refiere a la magnitud y distribución de la saturación de hidrocarburos en el yacimiento.
- ✓ Puede proporcionar datos útiles para la evaluación pre y post desplazamiento en nuevos proyectos de recuperación secundaria.

Desventajas:

- ✗ Tradicionalmente es una operación de alto costo
- ✗ Las operaciones y el manejo para obtener el núcleo a presión deben realizarse con mucho cuidado para enviarse al laboratorio muestras con condiciones de yacimiento.

Esta técnica, en ocasiones se aplica en yacimientos viejos con incertidumbres en su historia de producción, que han sido seleccionados para algún tipo de proceso con el fin de mejorar la recuperación de aceite. Esta técnica se aplica para determinar la cantidad de aceite remanente del yacimiento.

BARRIL MUESTRERO DE NÚCLEOS A PRESIÓN

A través del tiempo, el barril muestrero para recuperar núcleos a presión ha sido rediseñado varias veces con el fin de tener mejores resultados y se puedan llevar al laboratorio muestras representativas de la formación conservando las condiciones de yacimiento.

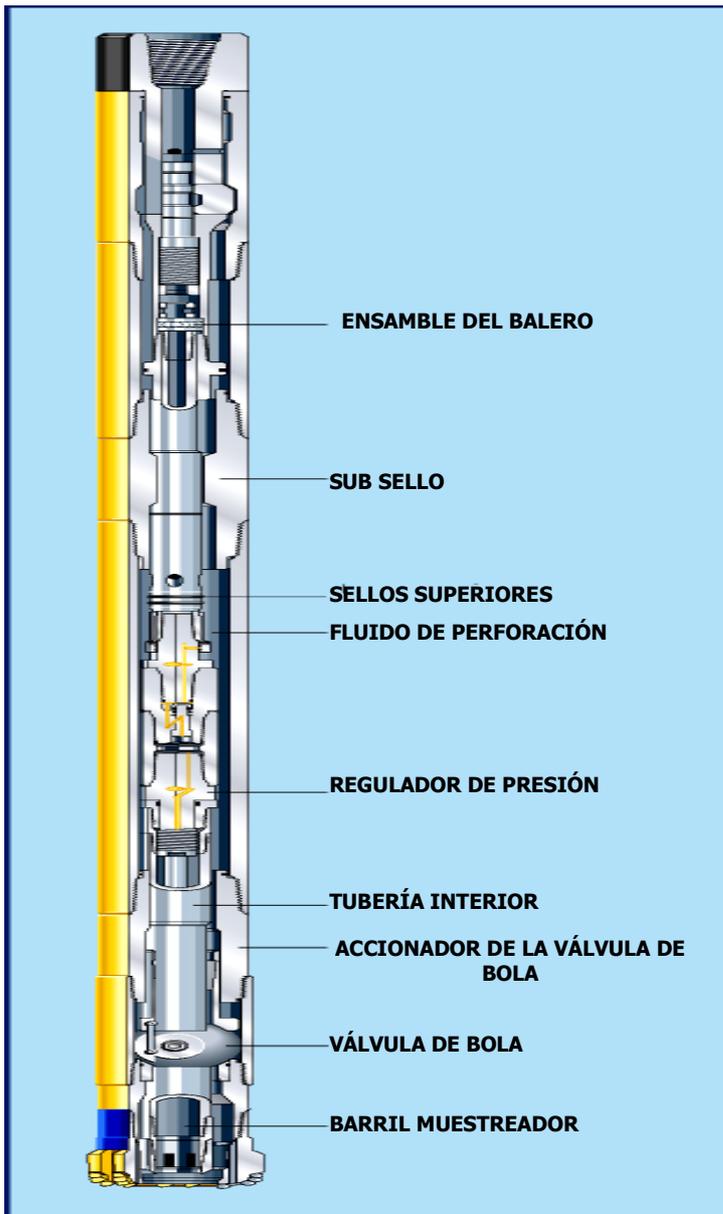


Figura 4.9. Barril muestrero de núcleos a presión.

El diseño actual, como se muestra en la Figura 4.9, fue colocado al servicio comercial a principios de 1979. Desde entonces, esta herramienta ha sido corregida y perfeccionada, con base en las experiencias de campo y las necesidades de uso. La experiencia continua impulsa el desarrollo para el mejoramiento. Mientras los esfuerzos continúen se ampliará la capacidad y la aplicación del barril muestrador de núcleos a presión.

El barril para tomar un núcleo a presión cuenta con válvulas superior e inferior, que cierran con circulación cuando se esté listo para subir el núcleo hasta la superficie. Los barriles varían en longitud y diámetro, según la presión que se requiere retener.

Estas herramientas, por lo general, no están disponibles a corto plazo, y se debe planificar la necesidad con tiempo para contar con el equipo apropiado cuando se requiera.

El barril exterior sirve como conexión mecánica con la barrena nucleadora transmitiendo peso en la barrena y torque. La sección superior del barril muestrero a presión permite el movimiento axial de los barriles interior y exterior necesario para sellar la presión dentro de la herramienta. El mecanismo de seguridad de gran resistencia fija el barril en la posición de núcleo y también en la posición de sellado para la recuperación. En la posición de sellado el mecanismo de seguridad tiene una apropiada resistencia para permitir el peso que será aplicado a la herramienta sin viaje o movimiento en el barril.

Entre el ensamblaje de la junta flexible y el tubo exterior está el sub-sello, el cual contiene un orificio para recibir los sellos superiores, los cuales mantienen la presión principal contenida sobre el núcleo. Debajo del tubo exterior está una válvula de bola (requerida para formar el sellado de la presión principal debajo del núcleo) y el ensamblaje del operador de la válvula de bola (su propósito es cerrar la válvula de bola).

La presión es mantenida en el barril por un regulador de presión durante la recuperación, contrarrestando los efectos de la diferencial de presión y temperatura inducida por los cambios de volumen. Este ensamblado consiste en un recipiente de gas inerte a una alta presión, un regulador con una posición ajustable y válvulas asociadas, las cuales distribuyen el gas a una determinada presión.

La tubería interior sirve como un receptor para el núcleo. Como una opción puede ser pre-llenado con un gel el cual encapsula al núcleo a la entrada en el barril interior para ayudar a proteger al núcleo de la invasión de filtrado estático. El tubo interior también sirve como un estuche, en el cual el núcleo es enviado al laboratorio para análisis.

El barril muestrero a presión conserva características básicas y la resistencia del barril muestrero convencional. Esto permite que se utilice en algunas situaciones en las que el núcleo convencional no puede ser establecido o completado. La herramienta se ha considerado muy resistente, inclusive en las operaciones de asistencia hidráulica o en las secciones de viaje o movimiento donde la herramienta ha demostrado la capacidad de trabajar en pozos desviados así como en pozos verticales.

Algunas características del diseño del barril muestrero a presión son:

📖 Reducción en complejidad.

Una reducción del orden del 60% en componentes ha originado una herramienta más simple con menor posibilidad de fallas.

📖 Incremento en la capacidad de retención a presión.

Capacidades de retención de presión del orden de 9000 psi han incrementado la profundidad a la cual se puede cortar un núcleo a presión. La fuerza de los mecanismos que han permitido elevar la capacidad de retención de presión también han generado una fuerte herramienta, permitiendo operaciones en pozo abierto, más peso sobre la barrena y operaciones rectificadoras sin temor a dañar ó perder la herramienta.

📖 Mejoramiento del mecanismo de transmisión de torque.

Como el "sellado" del barril muestrero es logrado por la extensión axial del instrumento, requiere una junta-flexible. El barril nucleador a presión (PCB) utiliza una unión flexible totalmente ranurada generando la capacidad de transmitir el torque de rotación a la barrena en todo momento.

📖 Mejoramiento del sistema crítico de sellado.

Los componentes críticos de sellado principal han evolucionado desde o-ring hasta la tecnología de sello innovador reciente. El sello crítico de válvula de bola es una modificación de los conceptos de sello usados en válvulas subsuperficiales de seguridad. Utilizando una base suave de fluoropolymer con un acero inoxidable de alta presión, este sistema asegura la confiabilidad máxima durante las operaciones.

📖 Sistema de mantenimiento de la presión.

Se ha mejorado el diseño para contrarrestar los efectos de presiones diferenciales y térmicas mientras el barril muestreador a presión está siendo colocado en el pozo. El diseño reduce la posibilidad de la pérdida de presión debido a alguna falla al momento de cerrar.

📖 Sistema de cierre de la válvula de bola.

Componentes de operaciones que convierten el movimiento axial a cargas de torsión para cerrar la válvula bola han sido simplificados y reforzados.

📖 Longitud del núcleo.

El barril muestreador de núcleos a presión está actualmente disponible para recuperar núcleos de 10, 19 y 20 pies de longitud. Cuando la integridad de la formación lo permite se usan barriles muestreadores más largos, lo cual reduce el costo de operaciones ya que se disminuyen los viajes para sacar los núcleos del pozo.

Los barriles muestreadores están en constante revisión, lo cual permitirá disponer en el futuro de mejores diseños.

PROCESO DE NUCLEO A PRESIÓN

El proceso de núcleo a presión consiste de 4 pasos básicos, además del análisis del núcleo, los cuales son:

1. Corte del núcleo a presión.
2. Entrampamiento y recuperación de la presión.
3. Procesamiento del barril nucleador.
4. Congelación del núcleo.

Corte del núcleo a presión

El corte de núcleo a presión es esencialmente la misma tecnología que se sigue en el corte de núcleo convencional. El sacanúcleos de presión conserva la estructura básica de un equipo convencional; por lo tanto, la velocidad de corte y la recuperación, en porcentaje, de la extracción de muestras serán comparables a las del convencional. Algunas variaciones operacionales son necesarias para perfeccionar la calidad del núcleo y minimizar la invasión o la contaminación de fluidos hacia el núcleo. Estas variaciones comprenden, pero no están limitadas a:

a) Uso de sistemas de fluidos especiales de perforación.

El lodo puede tener cierto rango de variación, desde una modificación ligera en el sistema del lodo usado para perforar hasta un reemplazo total del lodo de perforación por un diseño especial de lodo adaptado las necesidades en la extracción del núcleo. Los lodos usados en el nucleado a presión deben ser diseñados para reducir al máximo la contaminación del núcleo y permitir la capacidad de transporte adecuada de los recortes a una baja velocidad del flujo. Esto generalmente producirá un sistema de lodo con pérdida de agua muy baja, tanto en condiciones estáticas como dinámicas, y una viscosidad relativamente alta. Debido a las áreas pequeñas dentro del sacanúcleos y el proceso hidráulico, antes de congelar al núcleo el volumen de arena debe ser bajo y deben de minimizarse los sólidos. En caso de que el material de circulación se pierda, deben usarse materiales como papel pulverizado o mica en cantidades muy bajas para minimizar el taponamiento en el sacanúcleos o en el quipo, durante el proceso de corte de núcleo.

b) Uso de tipos de barrenas especiales

Para evitar la contaminación, el núcleo debe ser cortado tan rápidamente como sea posible, así se reduce o elimina el contacto de lodo con el núcleo. El uso de barrena con descarga en la cara, Fig.

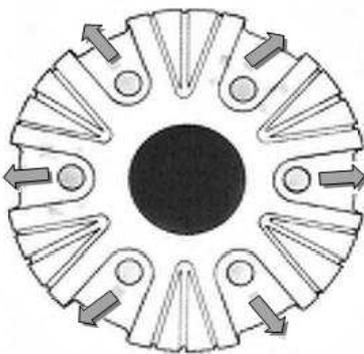


Figura 4.10. Descarga en la cara de la barrena.

4.10, ha demostrado ser muy eficaz en el nucleado a presión. Los grandes puertos dirigen a la mayor parte de los fluidos a la nariz de la barrena, reduciendo el flujo del lodo y la velocidad entre el núcleo y el diámetro interior de la barrena cortanúcleos. La estructura hidráulica de la cara de la barrena también reduce el contacto del fluido con el núcleo porque se dirige al fluido hacia fuera de la cara por los puertos de descarga.

El uso de diamantes compactos policristalinos como elementos cortadores en la barrena para el nucleado a presión, ha producido velocidades de penetración sumamente altas en formaciones apropiadas. Se han tenido o medido ritmos de penetración de más de 2 [pies/min] a bajas velocidades de flujo y bajo peso sobre la barrena. Estos ritmos altos produjeron una calidad muy alta en los núcleos cortados en pozos desviados a través de arenas muy deleznales.

c) Mejoras al nucleado a presión en perforación sobre balance

La presión sobre balance mientras se está nucleando es el mayor factor que contribuye a que el núcleo se contamine debido a la invasión por el fluido de perforación o por filtrado. Esta condición de sobre balance debe reducirse para generar alta calidad de núcleos. El sobre balance estático puede ser controlado usando un lodo con peso mínimo, seguro, y con mucho cuidado supervisando el sistema de lodo para mantener el peso o, en el caso de una formación bajo presionada se recomienda el uso de lodo aireado, e incluso puede ser necesario un sistema aire-espuma.

La presión sobre balance adicional debida a la circulación es minimizada usando un flujo de gasto bajo y una caída de presión baja en la barrena muestreadora.

d) Uso de sistema especial de gel de no- invasión

El mismo fenómeno de pérdida de agua que crea un enjarre sobre la pared del pozo puede ser utilizado para mejorar la calidad de algunos núcleos presurizados usando un gel de no- invasión para crear un enjarre casi impermeable. Bajo condiciones relativamente controladas, este enjarre puede reducir en forma completa la contaminación del núcleo por el lodo y el filtrado del lodo de perforación. Este fluido se almacena dentro de la tubería interna del barril muestrero y se retiene por una válvula indicadora. Cuando el nucleo es cortado, la válvula se abre y permite empujar el gel de no-invasión alrededor del núcleo a medida que éste es cortado. El uso de este gel de no-invasión es limitado, sobre todo en el caso de nuclear espesores grandes ya que puede fallar mecánicamente el equipo; sin embargo, hay algunos precedentes y evidencias que este fluido altamente lubricador puede reducir el atascamiento en formaciones fracturadas.

Entrampamiento y recuperación de la presión

El corte y recuperación de núcleos a presión requiere que se conserve la presión que tiene el núcleo en el punto de corte. Esto se logra convirtiendo el barril muestreador a un recipiente sellado, que contiene al núcleo a las condiciones de muestreo, mientras el equipo está en el fondo del pozo.

El nucleo a presión se realiza con un tubo de doble barril, con un mecanismo de mordaza giratoria de modo que el barril externo gira pero el interno permanece estacionario. El barril interno se extiende a través de una válvula de bola. Después de que el núcleo ha sido cortado, llenando el barril interno, el núcleo es arrancado y la herramienta es levantada del fondo del pozo algunos pies.

Se deja caer la bola a través de la tubería de perforación desde la superficie para desconectar el mecanismo. Elevado desde la posición de núcleo el barril externo se desliza 19 pulgadas hacia abajo del barril interno. La válvula de bola que viaja con el barril externo rebasa al barril interno y se cierra sellando así el barril interno. Se libera nitrógeno a alta presión y entra en el espacio anular, entre el barril interno y el externo. El nitrógeno mantiene la presión en el interior del núcleo mientras éste es llevado a la superficie. Ver Figura 4.11.

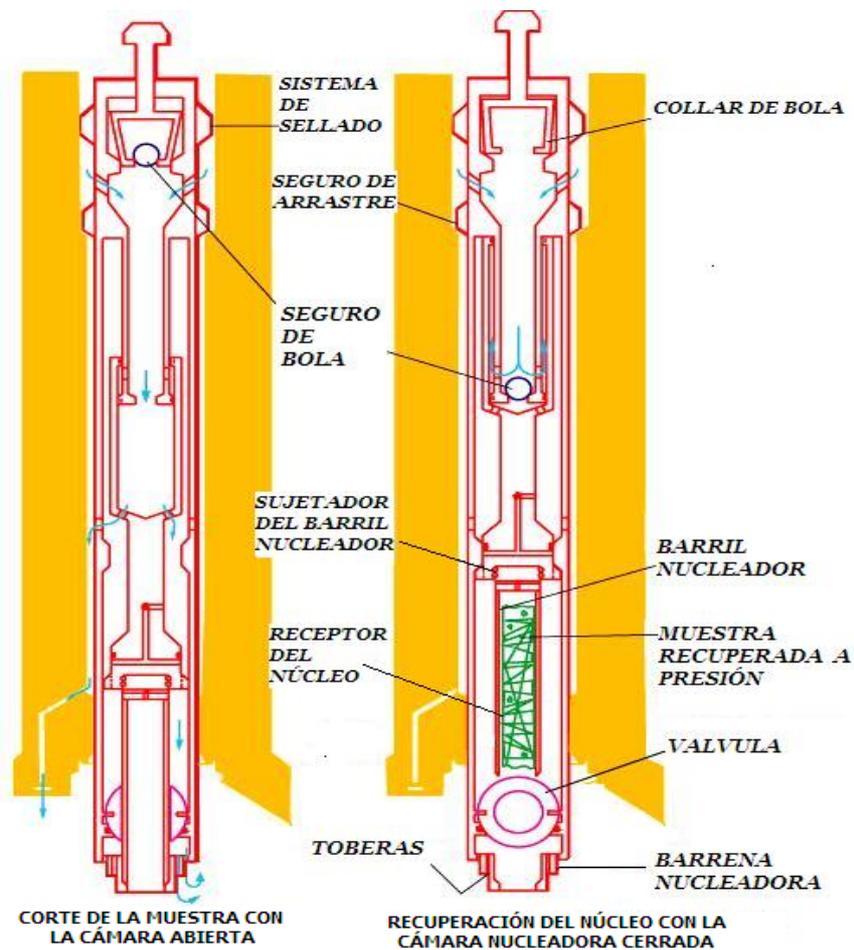


Figura 4.11. Esquema del sistema de muestreo a presión. En la parte derecha se observa la herramienta una vez tomada la muestra, se activa el sistema de recuperación, el barril nucleador se retrae y la válvula de bola se cierra.

La toma de núcleos a presión se utiliza cuando se requiere cortar y recuperar un núcleo que conserve la presión del yacimiento. Después de que el núcleo se corta y durante el viaje hacia fuera del pozo, la presión hidrostática sobre el núcleo se reduce y éste esencialmente se expande. Durante esta expansión los gases o fluidos del yacimiento son liberados o expulsados del espacio poroso a medida que la presión se reduce. Este proceso puede alterar los resultados de estudios en los que se necesita un conocimiento preciso del contenido y saturaciones de fluidos. El ensamblaje del equipo para toma de núcleos presurizados evita la descompresión del núcleo cuando se está sacando del agujero y lo mantiene a la presión del yacimiento hasta que es congelado para su envío al laboratorio.

El núcleo a presión se corta en la misma forma que el núcleo convencional, pero después de cortado el barril interior se sella mediante el bombeo de una bola de acero dentro de la tubería de perforación, estando la barrena levantada varios pies del fondo. La bola de acero se asienta en la parte superior del barril y mediante la aplicación de un exceso de presión encima de ella activa un mecanismo en el barril exterior que le permite a éste moverse hacia abajo con relación al barril interior; este movimiento cierra un sello de presión por encima del barril interior y origina que la válvula de bola en el barril exterior se mueva hacia abajo sellando el extremo inferior del barril interior. Un acumulador de gas con un pistón libre, actúa como colchón para compensar por cambios de volumen debido a la contracción térmica del contenido del barril y a la expansión que ocurre cuando se reduce la presión externa.

Aunque este tipo de ensamblaje previene la descompresión o el escape de los fluidos del núcleo a presiones reducidas, no previene la filtración o el lavado del núcleo antes o durante el proceso de corte, tampoco previene la remoción o lavado de fluidos y gases de la formación delante de la barrena antes de que el núcleo pase por la abertura hacia el barril interior. Este lavado o filtración delante de la barrena puede reducir o alterar drásticamente el contenido de fluidos y los porcentajes de saturación en el núcleo.

Es necesario contar con componentes especializados para llevar una muestra presurizada (con presión del yacimiento) de la formación hasta la superficie. El barril interior deberá ser sellado para mantener la presión constante en la muestra. Esto se logra colocando válvulas tanto arriba como abajo del núcleo en el barril interior.

El barril de núcleo a presión también contiene un tanque de nitrógeno a alta presión (mayor que la presión de formación), un regulador para mantener la presión de formación y un sistema de conexión de alta presión al tanque de nitrógeno, al regulador y al núcleo sellado. El sistema de nitrógeno debe soportar los cambios de presión y volumen debido a la temperatura, para prevenir fugas menores que podrían ocurrir en el sistema.

Procesamiento del barril muestreador

Consiste de un proceso llamado de eliminación, en el cual el fluido utilizado en el núcleo que pueda congelarse dentro del espacio anular del barril nucleador es desplazado por un medio no congelable. Esto es necesario para que se pueda remover el barril interior, que contiene al núcleo, y sea transportado al laboratorio después del congelamiento.

Congelación del núcleo

La congelación del núcleo es necesaria para inmovilizar los fluidos y gases dentro del núcleo. Una vez que estos fluidos son inmovilizados, el núcleo puede ser removido del barril muestreador después de ser depresionado. El núcleo puede transportarse entonces al laboratorio para el análisis con el correspondiente manejo requerido, sin que haya pérdida de información acerca de la saturación de fluidos.

Este congelamiento se lleva a cabo colocando el barril muestreador en un contenedor lleno de hielo seco de 8 a 12 horas. Durante el proceso de congelamiento, el barril muestreador se mantiene a una presión constante por un suministro de nitrógeno externo minuciosamente regulado. Esta fuente externa mantiene la presión contra los efectos del enfriamiento y contracción.

4.1.3 NUCLEO CON ESPONJA

El barril nucleador con esponja resulta ser un método aceptable, económico y conveniente para obtener mejores datos de saturación de aceite. El desarrollo de esta herramienta se ha dirigido a operaciones de corte de núcleos para recuperación mejorada. La rentabilidad de este tipo de recuperación depende de la cantidad disponible de aceite en la formación. Muchos de los campos candidatos a someter a recuperación mejorada no tienen información confiable concerniente a la saturación de aceite. Con el nucleador con esponja no solo se obtiene la saturación de aceite, ya que también permite conocer la saturación de agua y, bajo condiciones controladas, la saturación de CO₂.

La investigación y desarrollo de este nucleador empezó a finales de 1979 para determinar el material esponjoso adecuado para absorber preferentemente aceite en una atmósfera de agua y lodo. Criterios de selección para tal esponja se basan en que debe ser químicamente inerte, relativamente estable en lodo y aceite por lo menos a 300 °F (149°C), ser flexible y tener espacios porosos abiertos, los cuales deben estar interconectados para que la esponja tenga permeabilidad y porosidad altas. También debe ser altamente mojable en aceite y debe permitir una evaluación del aceite una vez que éste se encuentre en la esponja. El barril con esponja fue desarrollado para facilitar las operaciones de corte de núcleos sin que se pierdan los fluidos que contiene y minimizando los costos.

La técnica de extracción de núcleos con esponja puede ser valiosa en los siguientes problemas de producción en el fondo del pozo:

- ♣ Determinación de datos más exactos de la saturación de aceite o de agua.
- ♣ Identificación de la interfase aceite-agua.
- ♣ Localización de zonas donde la perforación o fracturamiento podrían ser más productivas.

El núcleo utilizado con barril con esponja proporciona datos más precisos de la saturación de fluidos en el yacimiento que el núcleo convencional. Por otro lado, aunque el núcleo con esponja provee menos información que el núcleo a presión, es significativamente más barato.

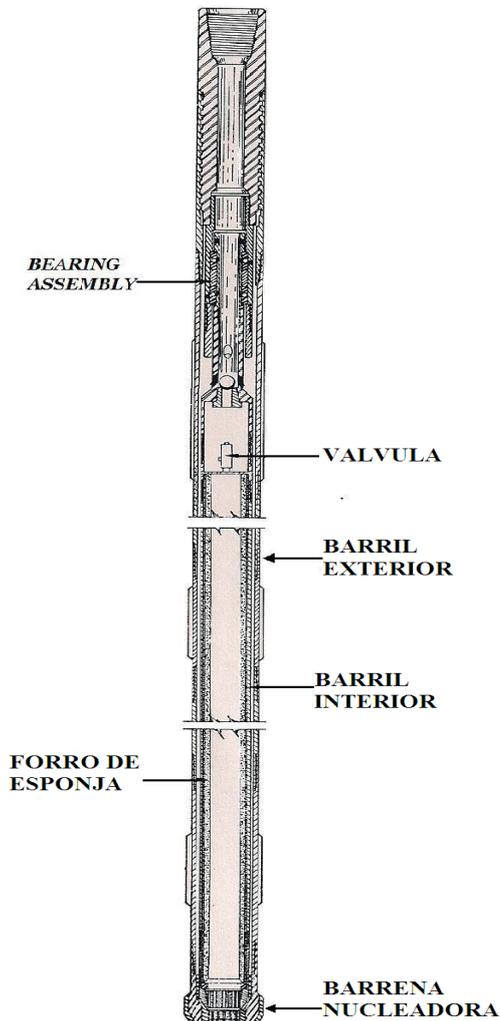


Figura 4.12. Barril nucleador con esponja.

La técnica y el análisis de muestreo con esponja han sido desarrollados para determinar rápidamente, con precisión, la saturación presente de aceite en la formación a partir de los núcleos.

El barril nucleador con esponja es una modificación de un barril nucleador convencional. Tal sistema, que consiste de un tubo de aluminio forrado interiormente de esponja de poliuretano poroso, que es preferentemente mojado por aceite, se encuentra colocado dentro del barril interior para absorber el aceite que expulsa el núcleo desde el momento que es retirado del pozo y durante su transporte al laboratorio para su estudio. Este barril forrado de esponja, Figura 4.12, atrapa aceite o en algunos casos, agua o gases como CO₂ y H₂S.

La Figura 4.13 muestra con detalle las partes esenciales del barril utilizado para la toma del núcleo con esponja. Se debe tener en cuenta que la técnica no previene el desplazamiento de fluidos del yacimiento frente a la barrena, y por ende, se hace la recomendación de utilizar trazadores en el lodo cuando se corta el núcleo. Como se puede observar en el diagrama, la esponja es parte integrante de la funda utilizada durante el corte del núcleo.

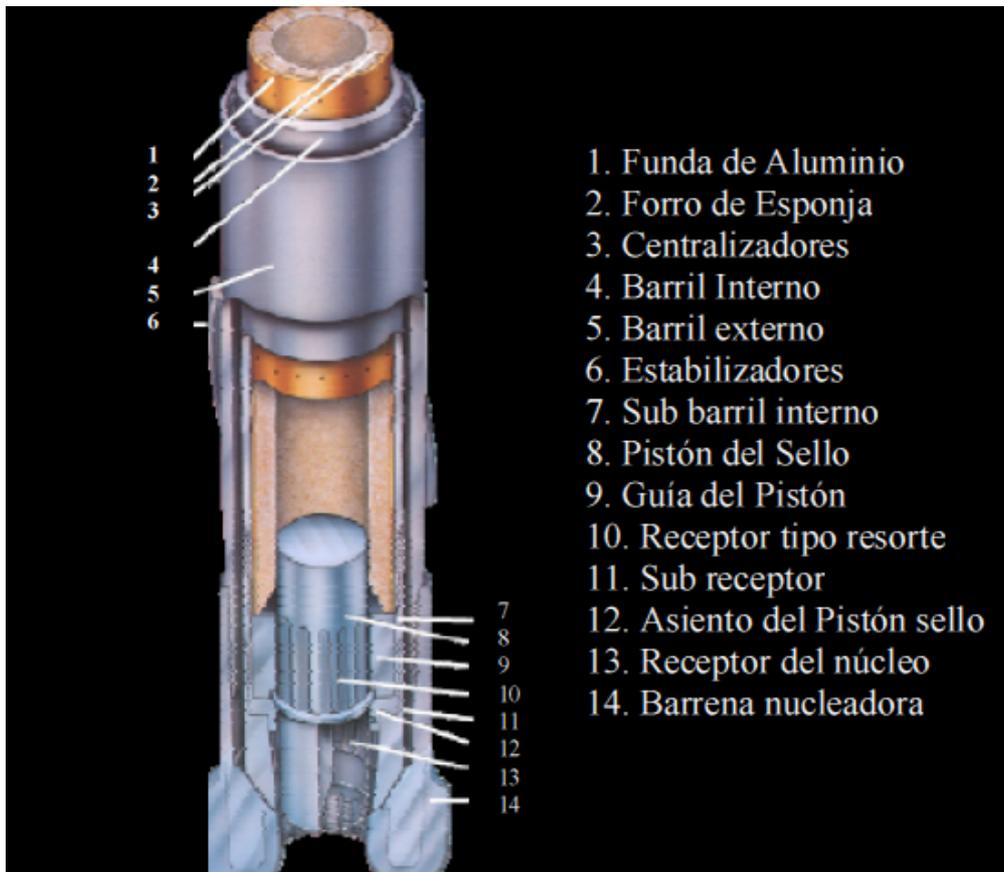


Figura 4.13. Partes esenciales del barril con esponja.

La esponja es 70% espacio poroso y tiene 2 darcys de permeabilidad, Figura 4.14. La experiencia en campo ha mostrado que cuando la esponja es usada en un barril nucleador seco un enjarre de lodo es formado entre el núcleo y la esponja. Este enjarre puede llegar a tener un grosor de $\frac{3}{8}$ pulgada y ser una barrera que evita que el aceite del núcleo pase a la esponja.

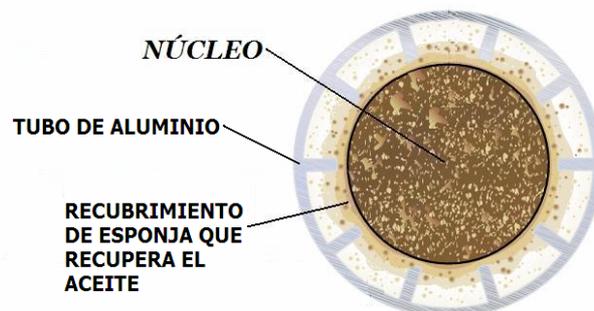


Figura 4.14. Corte transversal del tubo de aluminio con la esponja y el núcleo.

El filtrado de lodo en la esponja puede ser controlado saturando la esponja con agua salada de campo con la cual el núcleo es compatible. Puesto que la esponja es mojada por aceite resiste la mojabilidad del agua.

Para asegurar que una esponja limpia esté en contacto con un núcleo limpio, se usa un mecanismo especial de sellado. Un especial atrapador de núcleos de bola, Figura 4.15(A), permite al barril interno permanecer sellado hasta que empiece el muestreo. Una vez iniciada la operación de muestreo, un tapón especial, Figura 4.15 (B), permite mantener al núcleo fresco, sin contaminar.



Figura 4.15. Muestra (A) un atrapador de núcleos de bola y (B) un tapón especial.

ESPECIFICACIONES DEL BARRIL CON ESPONJA.

Dos tamaños del barril con esponja han sido desarrollados. El más grande es una modificación del barril nucleador convencional de $6\frac{7}{8}$ ". Las especificaciones para este barril son:

Diámetro exterior de la Barrena Nucleadora [pg].	$7\frac{5}{8}$ - $8\frac{3}{4}$
Diámetro exterior de la Tubería de Revestimiento [pg]	$8\frac{5}{8}$ - $9\frac{5}{8}$
Diámetro del Núcleo [pg]	$3\frac{1}{4}$
Longitud Máxima del Núcleo [ft]	30

El tamaño pequeño es una modificación del barril nucleador convencional de $5\frac{3}{4}$ ". Las especificaciones para este barril son:

Diámetro exterior de la Barrena Nucleadora [pg].	$6\frac{1}{8}$ - $7\frac{5}{8}$
Diámetro exterior de la Tubería de Revestimiento [pg]	7 - $7\frac{5}{8}$
Diámetro del Núcleo [pg]	$2\frac{1}{2}$
Longitud Máxima del Núcleo [ft]	30

Un barril con esponja requiere solo de tres modificaciones de un barril nucleador convencional.

- i. Colocar el tubo de aluminio con forro de esponja en el barril interior.
- ii. Reemplazar el receptor de núcleo convencional y un receptor de núcleo de bola.
- iii. Sustituir la barrena nucleadora ($7\frac{7}{8}$ " x $4\frac{1}{4}$ ") por una barrena nucleadora para esponja ($7\frac{7}{8}$ " x $3\frac{1}{2}$ ").

Esto permite que pueda alternarse el núcleo convencional y el núcleo con esponja.

El barril interior tiene 5 secciones de tubería de aluminio con una esponja de poliuretano en el centro. La esponja se satura antes de la operación con agua de la formación para evitar que se forme un enjarre en la esponja. Como es un derivado del petróleo, el poliuretano absorbe al aceite con mayor facilidad que al agua. Cuando el aceite sale del núcleo es absorbido por la esponja desplazando al agua en la esponja. El aceite es retenido en la parte opuesta de donde fue expulsado. Se perfora un patrón de agujeros de 1/16 de pulgada, Figura 4.16, a través de la esponja y alineados con el tubo en intervalos para permitir que el agua escape de la esponja y que el gas salga del núcleo.

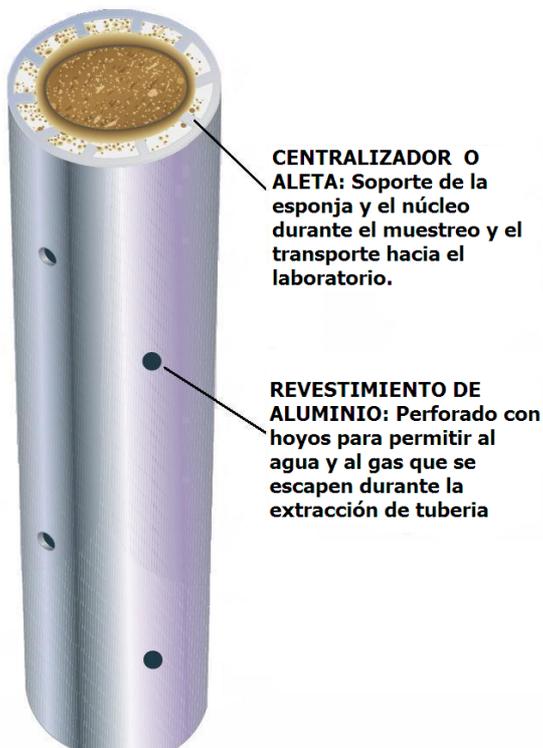


Figura 4.16. Sección del tubo de aluminio con esponja y núcleo.

Antes de entrar al agujero, la sección de tubo de aluminio cubierta internamente de esponja es colocada dentro del barril interior y sellado para eliminar la posibilidad de introducción de filtrado de lodo entre el núcleo y el forro de esponja. La esponja es saturada con agua a presión por arriba de las 1600 psi. Esta presión es mantenida mientras el barril nucleador se encuentra dentro del pozo. El procedimiento de muestreo es el mismo que se sigue en el núcleo convencional. El barril nucleador con esponja más grande obtiene núcleos de 30 pies de longitud y $3\frac{1}{4}$ [pg] de diámetro.

Treinta pies de formación es nucleada y el núcleo es levantado hacia la superficie, el barril interior es removido del barril exterior y se pone horizontal.

El sistema de núcleo con esponja está disponible en una variedad de tamaños, como se muestra en la siguiente Tabla 4.3:

Tabla 4.3. Variedad de tamaños del barril nucleador con esponja.

DIAMETRO EXTERIOR DEL BARRIL NUCLEADOR [pg]	DIAMETRO DEL NÚCLEO [pg]
6 ⁷ / ₈	3 ¹ / ₄
5 ³ / ₄	2 ¹ / ₂
5 ¹ / ₄	2
4 ¹ / ₂	2

Como ya se mencionó, una vez que el barril nucleador sale del agujero, el barril interior es removido y acostado. El tubo forrado con esponja conteniendo al núcleo es removido del barril interior y colocado en tubos especiales para ser transportados al laboratorio para los análisis correspondientes. El manejo del núcleo es similar al descrito en secciones anteriores. El manejo puede incluir, en forma descriptiva y no limitativa, los siguientes pasos:

- Bajar la funda con el transportador del núcleo
- Cortar los tubos en tramos de 2 metros
- Efectuar una preservación inmediata a los tubos después de marcarlos.

El modo de preservación puede incluir enfriamiento, espuma o resina en las terminales de los tubos, entre otras alternativas que prevengan pérdidas de los fluidos por evaporación. Además del núcleo, se requieren muestras del lodo (si tiene trazadores) y de aceite para realizar calibraciones y mediciones de encogimiento del aceite por liberación de gas en solución.

Una vez que llega al laboratorio el barril nucleador con esponja, el primer paso para el análisis es abrir los tubos de aluminio con esponja para exponer al núcleo. Una vez que los tubos son abiertos, los núcleos son acostados en la secuencia de profundidad correcta y preparados para su análisis.

Las profundidades se marcan en las muestras por analizar, en el núcleo y en la esponja, antes de que el núcleo sea removido. Los fluidos de la esponja son extraídos y los volúmenes de aceite y agua son calculados.

Típicamente, en el núcleo tomado en un yacimiento que parcialmente ha producido con un mecanismo primario cambian las saturaciones al ser llevado a la superficie de la manera mostrada en la Figura 4.17. Debido al impacto sobre el aceite de yacimiento por cambios de presión y temperatura, las saturaciones resultantes por el análisis en laboratorio de un núcleo subestimarán la cantidad de aceite remanente en el yacimiento que ha producido durante un cierto tiempo. El uso de barriles nucleadores con esponja, o bajo presión, es una manera de conservar las saturaciones in situ o por lo menos recuperar, como es el caso de la técnica de la esponja, el aceite expulsado del núcleo por el gas en solución. La cuantificación es realizada mejor sobre todo el tramo del yacimiento, lo cual requiere que los núcleos sean tomados de forma continua.

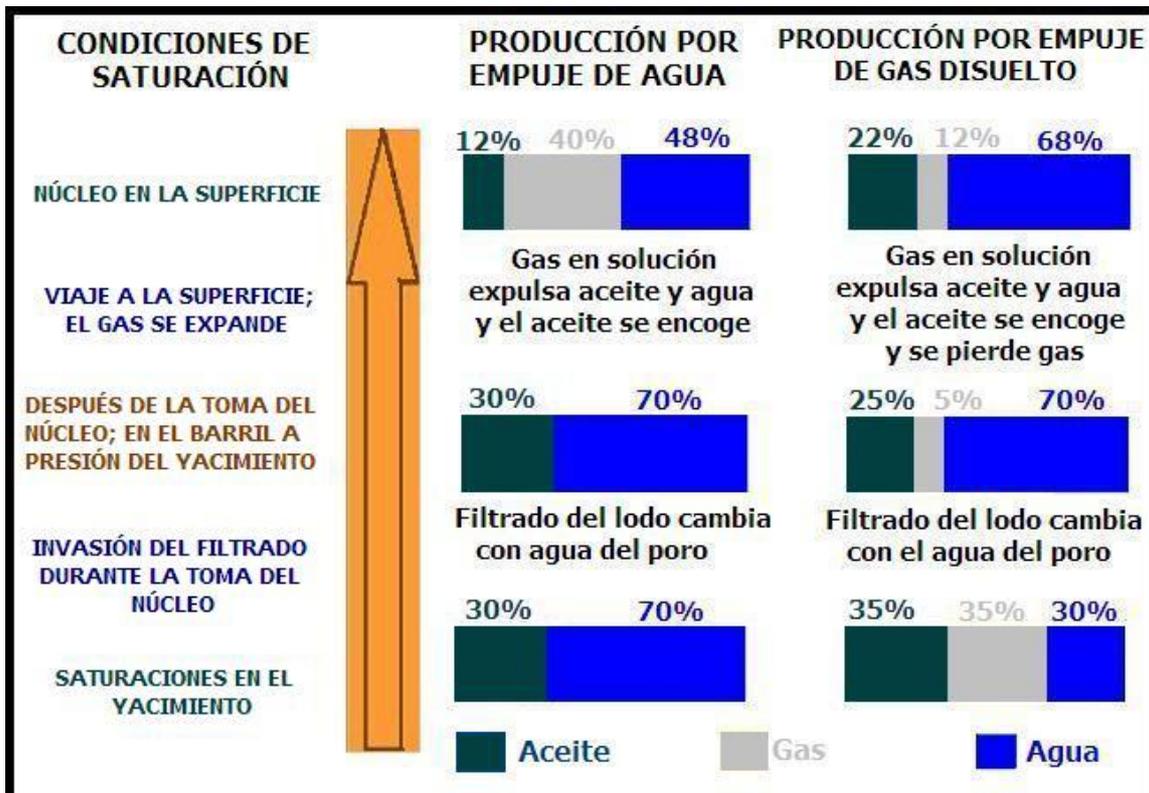


Figura 4.17. Cambios de saturación de fluidos en el núcleo por cambios de presión y temperatura al llevarlo a la superficie.

Los datos de la saturación de aceite de los núcleos pueden perderse durante la perforación debido a la invasión del filtrado de lodo, mientras el núcleo es obtenido en el agujero. La pérdida de aceite por la invasión puede ser reducida por descenso de la presión diferencial y por un nucleado muy rápido. Cuando un núcleo está siendo perforado adecuadamente para obtener datos de saturación de aceite, la presión de la columna del lodo debe de exceder la presión de formación. Sin embargo, si el núcleo contiene gas a la presión en el fondo del pozo, la expansión de este gas mientras el núcleo es sacado del agujero forzaría al aceite a salir del núcleo y esta pérdida puede llegar a ser aproximadamente de un 50% del aceite que saturaba al núcleo.

Como el núcleo utilizando barril con esponja se hace con barriles nucleadores convencionales que se modifican, el núcleo convencional y el núcleo con barril conteniendo esponja pueden alternarse de forma rápida y sencilla. En zonas especiales donde se requiera conocer con precisión la saturación de aceite puede nuclearse con barril con esponja y el resto de la zona productora puede nuclearse con el barril convencional.

A pesar de que nuclear con barrenas de diamantes policristalinos puede resultar beneficioso porque se alcanzan velocidades de penetración muy elevadas, la mayoría de las operaciones de muestreo con barril de esponja se han hecho con barrenas de diamante convencionales.

Uso del muestreo con esponja para determinar la saturación de agua.

Si la saturación de agua es determinada con el muestreo con esponja, los siguientes cambios en el procedimiento deben de seguirse:

- i. El pozo debe ser perforado con lodo de base aceite porque si ocurre invasión de filtrado de lodo, de esta forma habrá menos pérdida de agua del núcleo.
- ii. La esponja debe de estar saturada de un aceite diesel seco de alta calidad en lugar de agua salada.
- iii. Es considerado indispensable, usar un mecanismo de cierre en el barril interior.

Una vez que el muestreo es completado, el barril es llevado hacia la superficie lentamente, después que se ha alcanzado el punto de burbujeo del aceite dentro del núcleo. Esto permite al gas salir poco a poco del núcleo con una pérdida mínima de aceite y agua del núcleo. La esponja es entonces analizada para determinar el contenido de agua.

4.1.4 NUCLEO CON GEL

Un problema que confronta la extracción de núcleos y el análisis de muestras ha sido el daño al núcleo durante la adquisición y manejo. El sistema de núcleo de baja invasión ayuda a reducir al máximo la invasión del fluido de perforación, pero la mojabilidad y la saturación de la roca todavía pueden ser alteradas por la invasión del fluido de perforación estático en el barril interior y durante el almacenamiento antes de empezar los análisis. La invasión del filtrado del fluido de perforación en el núcleo puede hacer que los datos obtenidos de los análisis de laboratorio aplicados a los núcleos sean poco confiables.

El sistema de muestreo con gel ofrece dos únicos elementos:

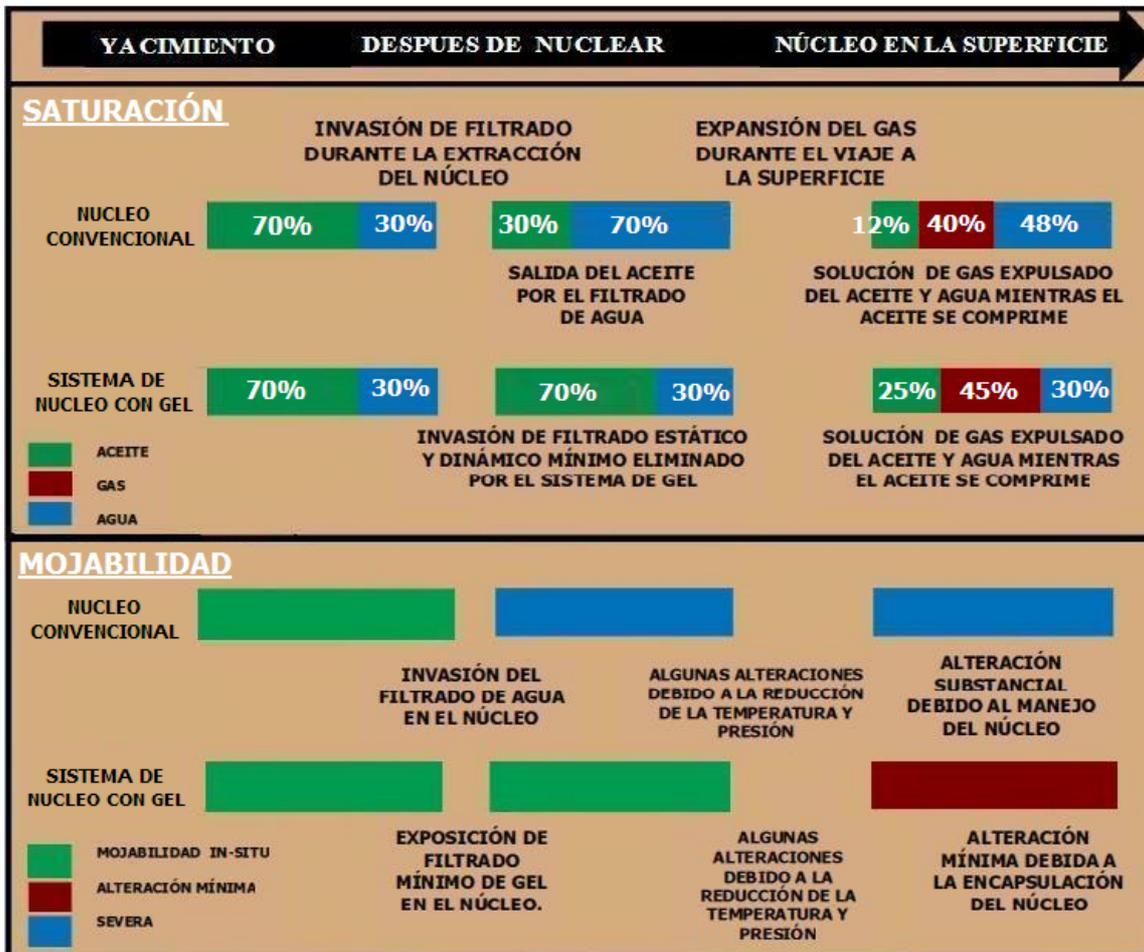
- ♣ Un barril interno pre-cargado que contiene un gel que encapsula al núcleo de baja invasión.
- ♣ La encapsulación en el fondo del pozo de la muestra de roca hace que quede aislada de la invasión del fluido de perforación.

Experiencias de campo han demostrado que la invasión de filtrado de lodo ocurre de tres formas:

- ♣ Invasión dinámica delante de la barrena nucleadora. Esto puede ser significativo en baja velocidad de núcleo cuando la velocidad del flujo vertical del filtrado en el núcleo excede la velocidad de la barrena.
- ♣ Invasión dinámica en la cara y garganta de la barrena nucleadora. Esto ocurre en todas las operaciones de nucleado pero es más severa con baja velocidad de nucleado y/o alta pérdida de fluidos o sea un filtrado alto.
- ♣ Invasión estática en el interior del barril nucleador interno.

El uso del gel ha dejado ver que protege al núcleo minimizando su alteración física y química durante todo el proceso de nucleado: corte, recuperación, manejo en la superficie, transporte hacia el laboratorio y el almacenaje a corto tiempo, ver tabla 4.4. Las propiedades del gel para encapsulación en el fondo del pozo sirven para proteger al núcleo no solo del filtrado del lodo sino también de la pérdida de fluidos. El nucleado con gel puede ser usado como un sustituto tanto del núcleo a presión como con esponja.

Tabla 4.4. Muestra el mejoramiento de datos de saturación y mojabilidad del núcleo obtenido por medio del sistema con gel.



Una nueva tecnología para reducir la invasión de filtrado utiliza un gel de alta viscosidad para la encapsulación y preservación del núcleo desde el fondo del pozo. Existe el ensamblado de núcleo de baja invasión, en el cual es fácilmente colocado, para un uso más cómodo y simple, un pistón en el barril interior para la distribución del gel y la encapsulación del núcleo.

El gel viscoso para la preservación de núcleo es un glicol de polipropileno de alto peso molecular que es insoluble en el agua y ambientalmente seguro. El gel es compatible con la mayoría de los fluidos de perforación de base agua y aceite. Debido a que el gel entra en contacto directo con el núcleo durante e inmediatamente después que es cortado, la posterior invasión del fluido de perforación es minimizada. Además, el gel mejora la lubricación entre el núcleo y el barril nucleador

interno, reduciendo el atascamiento, mediante la reducción del coeficiente de fricción entre el núcleo y el barril; se genera una interfase, que trae como resultado una disminución de la resistencia y por lo tanto el núcleo entre más fácil al barril.

La Figura 4.18(a). Muestra el ensamblado de preservación del núcleo en el fondo del pozo antes de empezar el núcleo. El gel está contenido en el barril interior antes del muestreo y será distribuido por una válvula de pistón flotante después que el núcleo comience a penetrar por la barrena muestreadora.

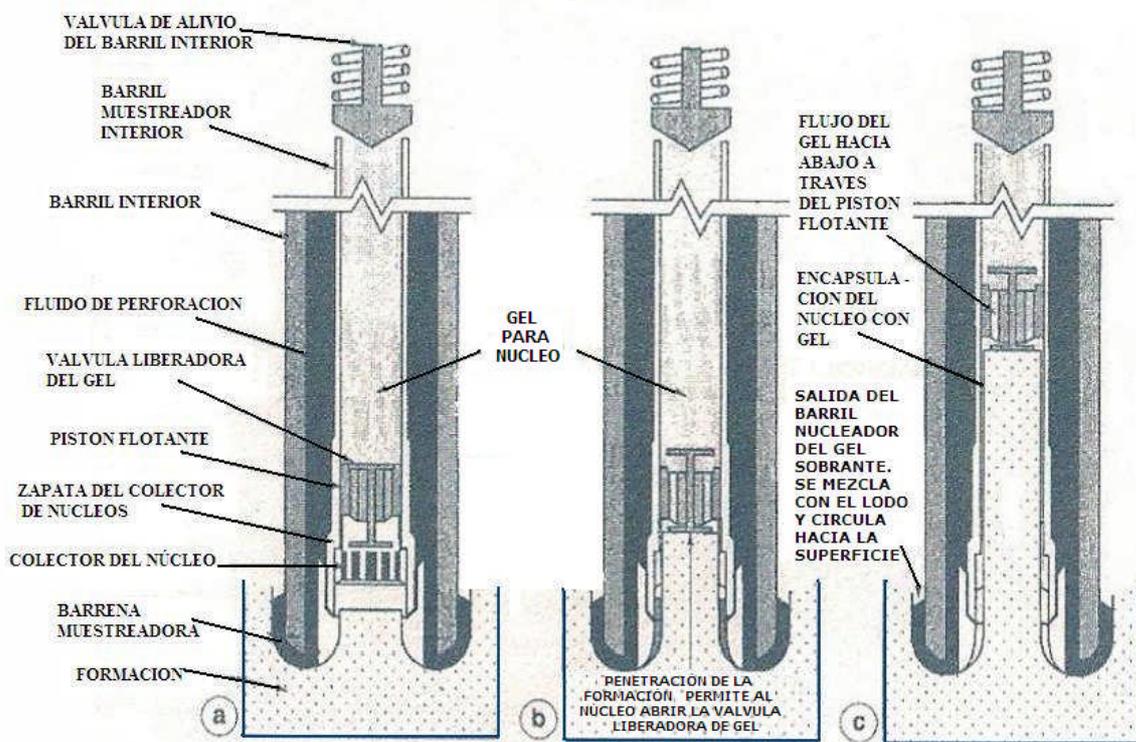


Figura 4.18. Ensamblado para la preservación del núcleo en el fondo del pozo: (a) pistón del barril interior cerrado antes del encapsulado del núcleo, (b) válvula liberadora de gel abierta, (c) encapsulación del gel y preservación del núcleo.

En la Figura 4.18(b) se observa que el exceso de gel es desplazado del barril interior por el núcleo a través de la zapata del colector del núcleo, sale por la garganta de la barrena y pasa los cortadores donde se mezcla con el fluido de perforación y es dispersado. Al contacto de los cortadores y la roca, el gel desplaza al fluido de perforación y protege al núcleo del lavado y de la invasión del

filtrado del fluido de perforación. La invasión del filtrado estático del núcleo por fluidos de perforación en sobrelance en el barril interior, fenómeno intrusivo común en el núcleo convencional, también es eliminado. Una válvula de alivio de seguridad instalada en la parte superior del ensamblaje de núcleo previene algún excesivo incremento de presión en el barril interior. Aproximadamente 2 galones de gel permanecen en el espacio anular del barril interno y forma una delgada capa protectora sobre cada 30 pies de sección de núcleo. La Figura 4.18(c). Muestra un núcleo encapsulado con gel antes de llevarse a la superficie.

En la Figura 4.19 se ilustran aspectos importantes en la operación de núcleo con gel.

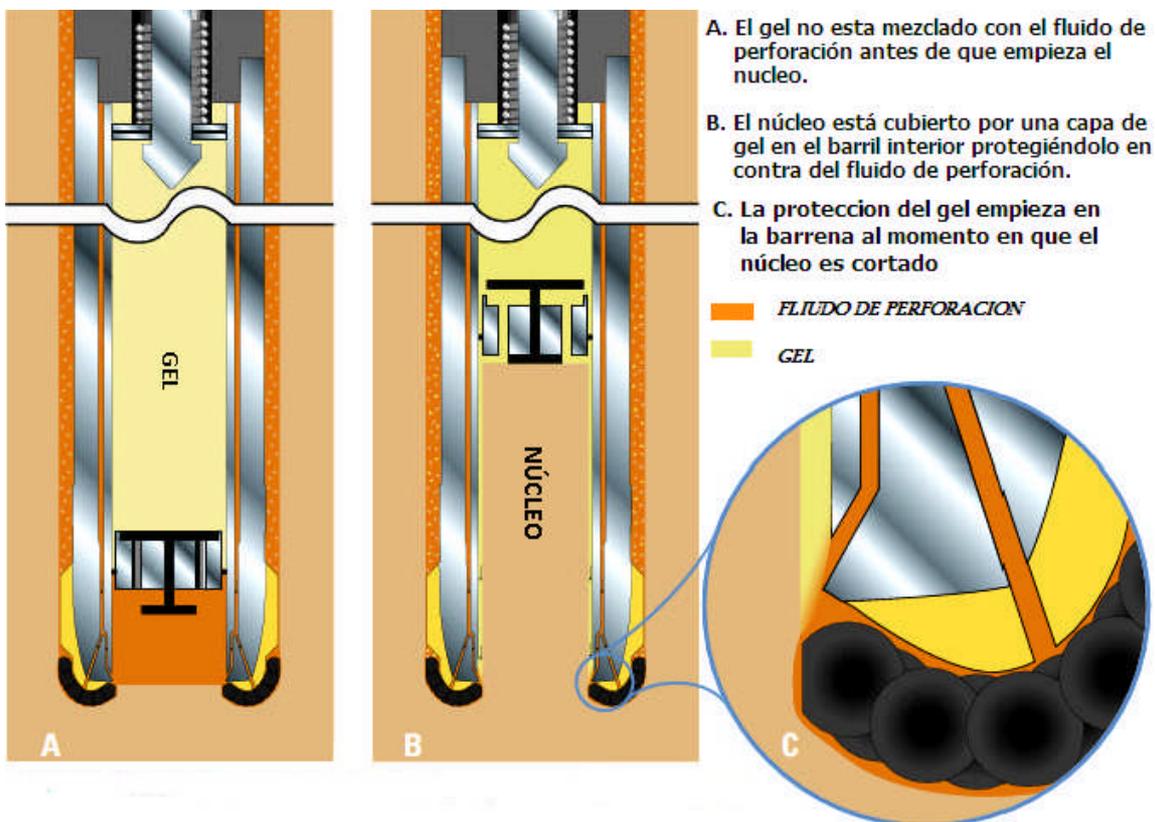


Figura 4.19. Muestra la trayectoria del fluido de perforación y del gel antes y durante la toma de la muestra.

El uso del gel ha sido particularmente efectivo en el mejoramiento de la recuperación del material, preservando al núcleo con una alta calidad, para análisis especiales y de saturación. Además, la aplicación del gel ha conducido a recuperaciones altas de núcleos y corridas largas de núcleos.

Al momento de llegar a la superficie se reduce significativamente la exposición del núcleo al aire. Un beneficio adicional de la encapsulación del núcleo con gel en el fondo del pozo es obvio cuando se manejan rocas pobremente consolidadas con fuerza de compresión moderada. El gel de alta viscosidad estabiliza el núcleo y mejora la integridad mecánica de roca. El manejo en la superficie es mejorado y se reduce el daño al núcleo durante el transporte al laboratorio.

La Tabla 4.5 siguiente muestra las principales características y los beneficios que se tienen al obtener núcleos con el sistema que utiliza gel.

Tabla 4.5. Características y beneficios del muestreo con gel.

CARACTERISTICAS	BENEFICIOS
La encapsulación del núcleo completo es llevado a cabo en el fondo del pozo	<ul style="list-style-type: none"> ♣ Mejora la estabilización del núcleo. ♣ Aísla el núcleo del lodo.
El gel no invade al núcleo	<ul style="list-style-type: none"> ♣ La mojabilidad del núcleo permanece sin alteraciones. ♣ La saturación del agua es preservada. ♣ Los resultados de análisis de núcleo son buenos obtenidos de un núcleo de diámetro pequeño.
Gel con alta reología permite un elevado cuidado en la capacidad de conexión de partículas	<ul style="list-style-type: none"> ♣ No hay invasión de filtrado. ♣ Lubricación y enfriamiento de la barrena
El gel es ambientalmente seguro	<ul style="list-style-type: none"> ♣ Ninguna seguridad se arriesga en la incompatibilidad del sistema del lodo de perforación.
El gel es líquido bajo las condiciones en el fondo del pozo	<ul style="list-style-type: none"> ♣ Un coeficiente de baja fricción sobre la tubería interna.
Se requiere poco gel, solo lo suficiente para llenar el barril interno	<ul style="list-style-type: none"> ♣ Costo mínimo. ♣ Insignificantes efectos sobre lodo en la superficie del pozo
El gel es pre-cargado en el barril muestreador	<ul style="list-style-type: none"> ♣ Fácil manejo en la superficie. ♣ No hay tiempo perdido en el equipo de perforación.
El equipo es simple y sencillo, utiliza un equipamiento de núcleo estándar	<ul style="list-style-type: none"> ♣ Alta confiabilidad. ♣ Facilidad de operación.
Compatible con barrenas nucleadoras de baja invasión anti-giro	<ul style="list-style-type: none"> ♣ Mejora en la integridad física del núcleo (sobre todo en rocas suaves)

VENTAJAS Y DESVENTAJAS DEL NUCLEO CON GEL

Ventajas:

- ✓ Incrementa la confianza, sobre todo, en programas de análisis especiales de núcleo por el aseguramiento de la calidad del núcleo.
- ✓ Mejora el funcionamiento de la extracción de núcleos para un rendimiento alto en la recuperación del núcleo.
- ✓ Reduce la invasión del filtrado del fluido de perforación.
- ✓ La preservación del núcleo de fondo de pozo puede ser usado en combinación con el barril muestrero a presión, si el estudio tiene como objetivo la determinación de la saturación de aceite residual o para análisis especiales.
- ✓ Protege al núcleo contra la oxidación y la deshidratación.
- ✓ Se utiliza en situaciones con alta y baja temperatura.
- ✓ Se aplica para formaciones duras, medias y suaves o deleznales con resistencia compresiva baja no confinada.
- ✓ El sistema de gel es apto para calizas y areniscas que tienen porosidad de matriz.
- ✓ El gel es especialmente efectivo en limitar la expulsión de los fluidos (aceite) del núcleo, en especial cuando el yacimiento es saturado.

Desventajas:

- X No es apto para rocas con cavidades de disolución relativamente grandes debido a que el gel penetra estos huecos y contaminan el núcleo y es muy difícil, si no imposible, remover el gel después.
- X Su uso en yacimientos fracturados puede ser considerado mientras no se planifique realizar medidas petrofísicas que incluyan las fracturas como partes del sistema de porosidad.
- X La efectividad del gel para la expansión de gas al salir el núcleo hasta la superficie es pobre.

4.1.5 NUCLEO CON MANGA ELASTICA

Durante la década de los 80 se muestreó usando diversas técnicas en el intento de obtener los parámetros geomecánicos y petrofísicos necesarios para analizar rocas deleznales. En un inicio, se emplearon técnicas convencionales de nucleado, luego se emplearon barriles de doble y triple tubo. Los mejores resultados se obtuvieron con el barril nucleador con manga elástica.

En el barril convencional, las rocas deleznales se rompen o fracturan en el interior de la tubería deslizándose unas contra otras, llegando a apretujarse en las paredes internas del barril. El barril nucleador con manga elástica fue especialmente diseñado para eliminar este problema en formaciones suaves y deleznales. Con este barril el núcleo es encerrado por una manga de hule, evitando la desintegración y el atascamiento. La manga de hule y el núcleo son levantados por medio de un tubo de desmantelamiento (stripper tube) para prevenir el bloqueo en el interior de la tubería.

Desafortunadamente, el barril muestrero con manga de hule no es práctico para formaciones duras fracturadas por sus filosas puntas, ya que fácilmente cortan la manga de hule. Además, no puede ser usado a altas temperaturas, tal como, en pozos profundos o geotermales, donde con frecuencia se encuentran rocas duras fracturadas.

Uno de los problemas experimentados al nuclear los sedimentos no consolidados es la retención adecuada de ellos hasta la superficie. Los atrapanúcleos convencionales fueron diseñados para retener un núcleo consolidado dentro del barril mientras llega a la superficie. El retenedor o atrapanúcleos convencional no funciona para núcleos no consolidados y se pierde el material en el viaje hasta la superficie.

Cuando la litología del núcleo no está consolidada, es común que la recuperación o extracción del núcleo sufra algún percance o fisuras durante el movimiento. El barril nucleador con manga elástica ofrece una solución al problema por medio de un tubo de ajuste elástico dentro del cilindro interno. El núcleo queda en su totalidad encerrado en el tubo elástico y puede ser removido del cilindro sin daños o cortes, con una longitud apropiada para su análisis.

La toma de núcleos con manga elástica se utiliza para maximizar la recuperación de núcleos en formaciones blandas poco consolidadas o en conglomerados pobremente cementados; también protege al núcleo del lavado de los fluidos de perforación y de la contaminación, reduciendo el atascamiento del núcleo en el barril interior.

Un barril nucleador diseñado para cortar en un pozo un núcleo continuo del material no consolidado conservando las condiciones tal como están presentes en la formación tiene que cumplir con los siguientes aspectos:

- El núcleo debe mantenerse unido y apoyado tal y como es cortado. El desmoronamiento y acomodamiento del material contra las paredes del barril interior deben ser eliminados.
- La contaminación del núcleo, debido a los fluidos de circulación, debe ser minimizado.
- El núcleo deberá conservar una condición sin mucho movimiento durante el viaje fuera del pozo, conservando sus propiedades, permitiendo su desmontaje y embarque al laboratorio para el análisis de núcleos sin alteración por la exposición a la atmósfera.
- El núcleo debe mantenerse unido para evitar resbalamientos e impedir que se rompa o fracture.
- El núcleo debe protegerse en el barril y permanecer intacto mientras se termina de cortar y durante el viaje fuera del agujero.
- Todos los componentes del barril deben resistir altas temperaturas.
- Todo material en contacto con el núcleo debe resistir cuando se realiza el corte en rocas duras fracturadas.
- La fricción entre la manga elástica y la superficie interior de la tubería deberá ser eliminada o reducida al máximo.
- El núcleo debe fácilmente ser removido del barril sin perjudicarlo y poderlo cortar en las secciones de longitudes convenientes para ser conservado durante el transporte y almacenamiento.

El barril nucleador que contiene en su diseño una manga flexible o elástica cumple satisfactoriamente estas exigencias.

Ensamblaje del nucleador con manga elástica

El ensamblaje del equipo con manga elástica consiste de un barril exterior, un barril intermedio, un barril interior y un tubo removible. Tanto el barril interior como el barril intermedio tienen una longitud aproximada de la mitad del barril exterior; ambos se ajustan a la mitad inferior del barril exterior. La manga elástica es doblada sobre sí misma hasta que alcance una longitud cercana a 10 pies (aprox. 3m.), siendo acoplada al exterior del barril interno. Un extremo de la manga de hule es doblado hacia el interior del barril interno, donde se conecta al extremo inferior del tubo removible, el cual cuelga dentro del barril interno y se mantiene en su sitio por medio de resortes que previenen cualquier movimiento del tubo hacia arriba o hacia abajo durante la toma del núcleo.

Este barril sacanúcleos para formaciones suaves (SFCB, iniciales en inglés) contiene una presión diferencial utilizada por la manga flexible. La cual es fabricada con hule nitrilo que cubre una capa de nylon y moldeada en una longitud continua con forma tubular, ver Figura 4.20.

Los experimentos llevados a cabo con la herramienta SFCB, para los propósitos de su desarrollo, se realizaron con longitudes de las mangas de 20 pies y 10 pies. Las de 10 pies de longitud han sido de mayor uso. La manga flexible tiene una resistencia a la tensión de aproximadamente 2000 psi. El espesor de la manga es aproximadamente 1/16 pulgada. Un diseño permite el corte de un diámetro exterior de 2 - 1/8 [pg] en los núcleos con un diámetro exterior de 4 - 1/2 [pg] en el barril nucleador.

La manga flexible de la herramienta se inserta en el barril interno con una longitud continua para que el núcleo pueda manejarse de una manera convencional sin tener que involucrar demasiado los movimientos hacia arriba y hacia abajo para hacer que la manga flexible cubra el núcleo. Este equipo opera en el extremo inferior de la sarta de perforación, igual que el equipo de núcleo convencional, y se conecta por arriba a la sarta de perforación por medio de la unión de seguridad, ver detalle No. 1 Figura 4.20. El barril interno puede ser desconectado o puede liberarse de la caja de la unión de seguridad, ver detalle No 3 Figura 4.20, quitándolo del barril sacamuestras exterior.

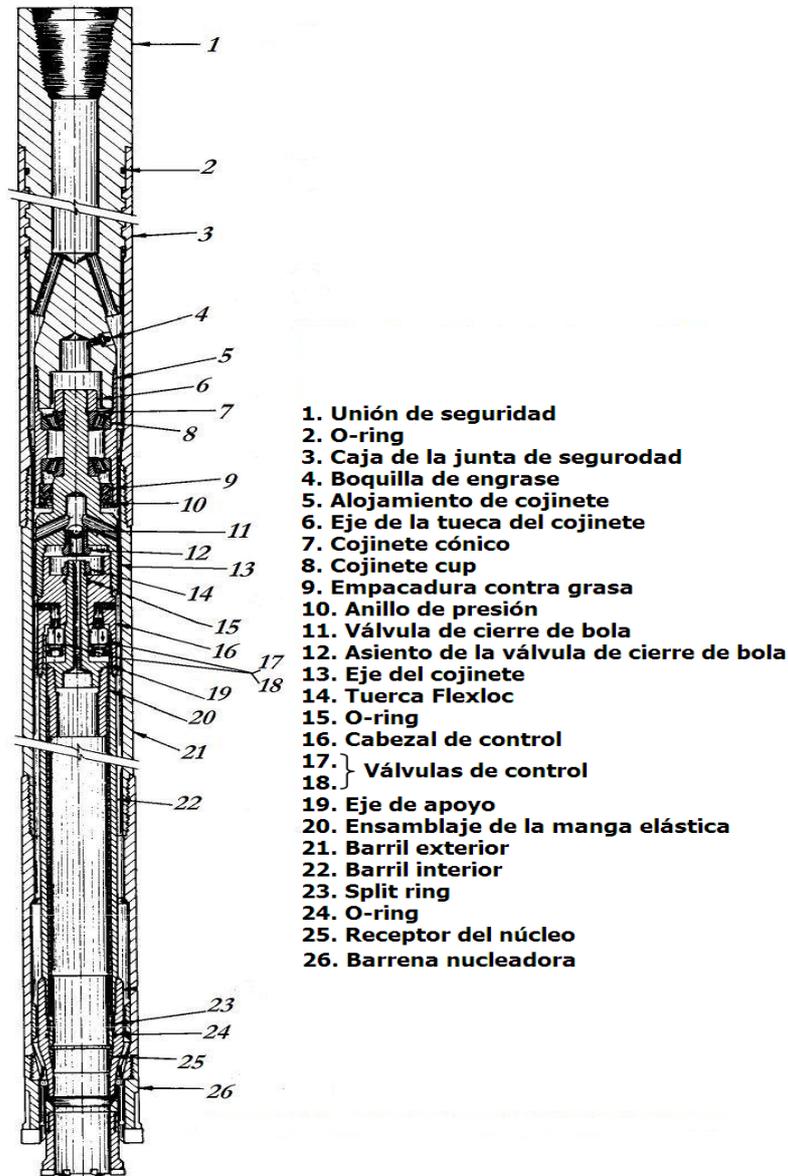


Figura 4.20. Barril nucleador para formaciones suaves y deleznales.

Principio de operación del núcleo con manga elástica

La manga flexible, ver detalle No. 20 Fig. 4.20, se contrae por presión diferencial creada por la pérdida de carga por fricción del fluido en movimiento a través del área anular entre los barriles interior y exterior, ver detalles 22, 21 Fig. 4.20. Esto se lleva a cabo por la aceleración de la bomba justo antes de alcanzar el fondo con la barrena. La fuerza de reducción o contracción se regula por

los dos conjuntos de las válvulas de cierre, detalles 17,18 Fig. 4.20, en un cabezal de control, ver detalle 16 Fig. 4.20.

El cabezal de control aloja las dos válvulas de cierre y está localizado en la parte superior del barril interior. La válvula de entrada permite que el fluido a presión fluya dentro del espacio entre barril interior y la manga flexible. La válvula de descarga opera a aproximadamente 6 a 8 psi más arriba que la válvula de entrada y permite la salida del fluido a medida que el núcleo llena la manga. Esta diferencial de presión es atrapada por las dos válvulas. Esta presión atrapada soporta al núcleo en toda su longitud y lo previene de falla compresiva o de su desmoronamiento. La presión diferencial permanece atrapada mientras el barril está siendo sacado a la superficie.

Un mecanismo convencional para atrapanúcleos tipo-resorte, detalle 27 Fig. 4.20, puede ser instalado en el fondo del barril interior para romper formaciones más duras si se llegaran a encontrar. Si la formación que se está cortando es muy suave y el atrapanúcleos tipo resorte no es requerido, la diferencia de presión colapsará o cerrará en el fondo a la manga de hule reteniendo al núcleo.

El barril interior no gira y está soportado por el ensamblado del cojinete, Figura 4.20. Cojinetes de rodillos cónicos son usados para soportar el barril interior y evitar su rotación mientras se está nucleando. La manga flexible y el barril interior pueden ser fabricados para cualquier longitud práctica deseada y en otros diámetros.

Las Figuras 4.21, 4.22 y 4.23 ilustran la operación del barril, mostrando el cierre de la manga cuando llega al fondo del pozo, el nucleado y la recuperación del núcleo, respectivamente.

Cuando el barril se encuentra en el fondo y se ha circulado el pozo con el fluido de perforación, se bombea un tapón por la tubería de perforación y se asienta en el tope del tubo removible. Este tapón desvía el flujo del lodo de perforación hacia el espacio anular entre los barriles exterior e interior, de tal forma que el lodo en lugar de salir por los orificios de la barrena, lo hace a través de unos agujeros que se encuentran en la cara de la barrena. El tapón libera lo que se conoce como el cerrojo del tubo removible, lo cual permite que una junta de expansión, en la parte superior del barril exterior, se cierre o se aplaste.

Una vez que la junta de expansión se ha aplastado, se permite que los tres barriles perforen. Conforme los tres barriles se mueven hacia abajo, el tubo removible se mantiene en su sitio, ver Figura 4.21.

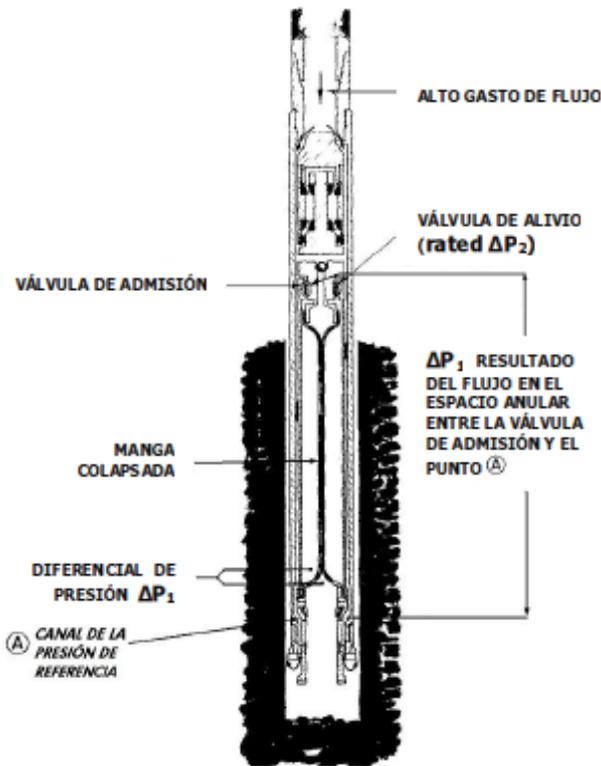


Figura. 4.21. Situación del barril nucleador de manga elástica en el fondo del pozo.

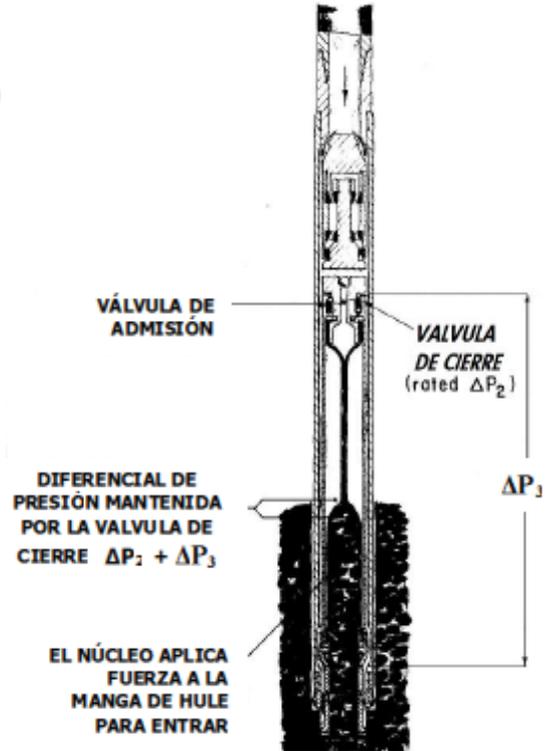


Figura 4.22. Situación del barril nucleador de manga elástica nucleando.

A medida que la manga de hule va siendo removida del exterior hacia el interior del barril interno recibe al núcleo que va pasando a través de la abertura de la barrena hacia el barril interno, ver Fig. 4.22. Una vez que se ha cortado el núcleo, la junta de expansión en el barril exterior es aplastada nuevamente y los barriles efectúan la operación de perforación de nuevo. Esta operación se repite hasta que es cortado el núcleo, que estará completamente colocado dentro de la manga de hule y en el interior del barril interno. El tubo removible termina en la parte superior del barril exterior y se extiende hacia arriba dentro de la tubería de perforación. El núcleo deleznable puede ser mantenido dentro de la manga elástica por una formación consolidada que se corte o por la manga elástica que se colapse, Fig. 4.23.

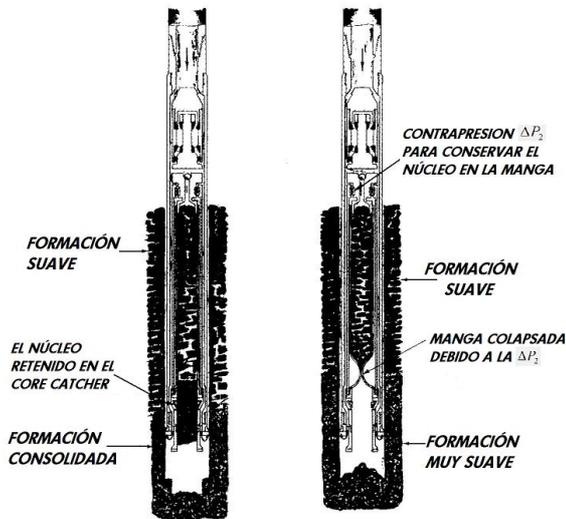


Figura 4.23. Situación del barril nucleador con manga elástica en la recuperación del núcleo.

La recuperación de muestras de núcleos en formaciones suaves no consolidadas siempre ha sido un problema difícil. En el pasado, el equipo de núcleo convencional ha sido modificado por el uso de atrapadores, trampas y otros dispositivos para facilitar recuperación de tales formaciones.

Sin embargo, hay una necesidad por una herramienta simple que no sólo retendrá el núcleo cuando se recupere. Esta nueva herramienta debe ser simple para operar y debe estar disponible en las longitudes diferentes y tamaños. Debe ser adaptable

a las torres de perforaciones grandes y pequeñas y debe operar con éxito a cualquier profundidad en tierra o agua, ver Figura 23.

El diseño de esta herramienta permite ser usada en barriles nucleadores con línea de acero. Debido a que se tiene el mismo arreglo de válvulas y la instalación de la manga pueden ser fácilmente modificados y adaptados.

EL ATRAPANÚCLEOS HYDRO-LIFT DE CIERRE TOTAL

El atrapanúcleos hydrolift de cierre total, es un cierre mecánico que actúa mediante la circulación inversa para cerrarse sobre la base del núcleo. Así se retienen los sedimentos durante su viaje a la superficie. Además de este sistema mecánico, también existen sistemas que trabajan por hidráulica utilizando gomas que cierran hidráulicamente una vez que termina el corte del núcleo.

Se desarrollaron nuevas técnicas de nucleado para recuperar núcleos representativos de formaciones deleznable no consolidadas. Se encontró que para nuclear con éxito era necesario tener condiciones específicas en las operaciones y en el fluido de perforación.

Esencialmente se necesita un barril de entrada completa y sellado total y una barrena de diamante policristalino compacto (PDC). Estas nuevas herramientas y técnicas se llevaron al campo y el resultado fue un récord en la recuperación de núcleos representativos.

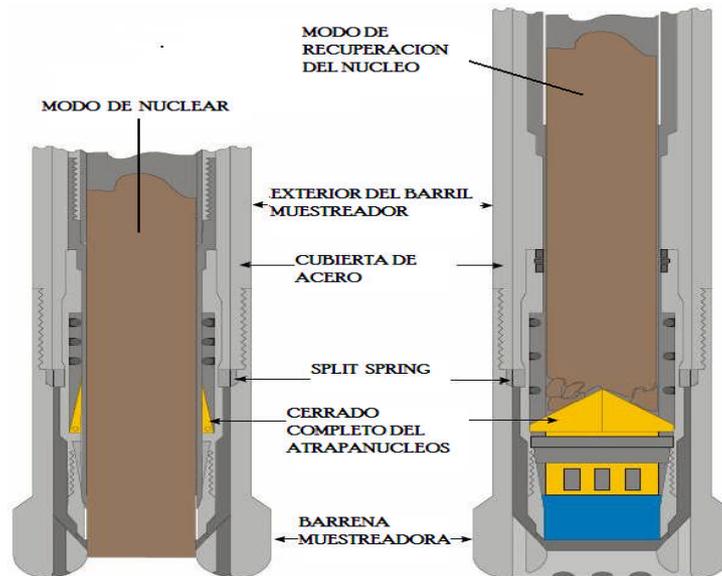


Figura 4.24. Hydro-lift full closure catcher.

El sistema de núcleo Hydrolift, figura 4.24, funciona mucho mejor en las operaciones realizadas en el fondo del pozo. El fluido de perforación inicialmente circula a través de la tubería interior, asegurando que el ensamblado del núcleo y el pozo estén libres de basura antes de empezar a nuclear. La herramienta nucleadora como ya se ha mencionado es un barril nucleador modificado, se le colocan un par de “conchas de almeja (clamshells)” en la zapata que se cierran con un resorte. Ambos el resorte y las conchas de almeja permanecen ocultos tras una manga para permitir una apertura total en la operación de corte del núcleo. Para núcleos no consolidados las conchas de almeja cierran herméticamente de modo que aíslan al 100% el barril interno inferior.

El muestreo empieza al momento que una bola de acero se deja caer desviando el flujo de fluido de perforación a través del espacio anular entre los barriles interno/externo proporcionando la remoción de los recortes de la barrena nucleadora.

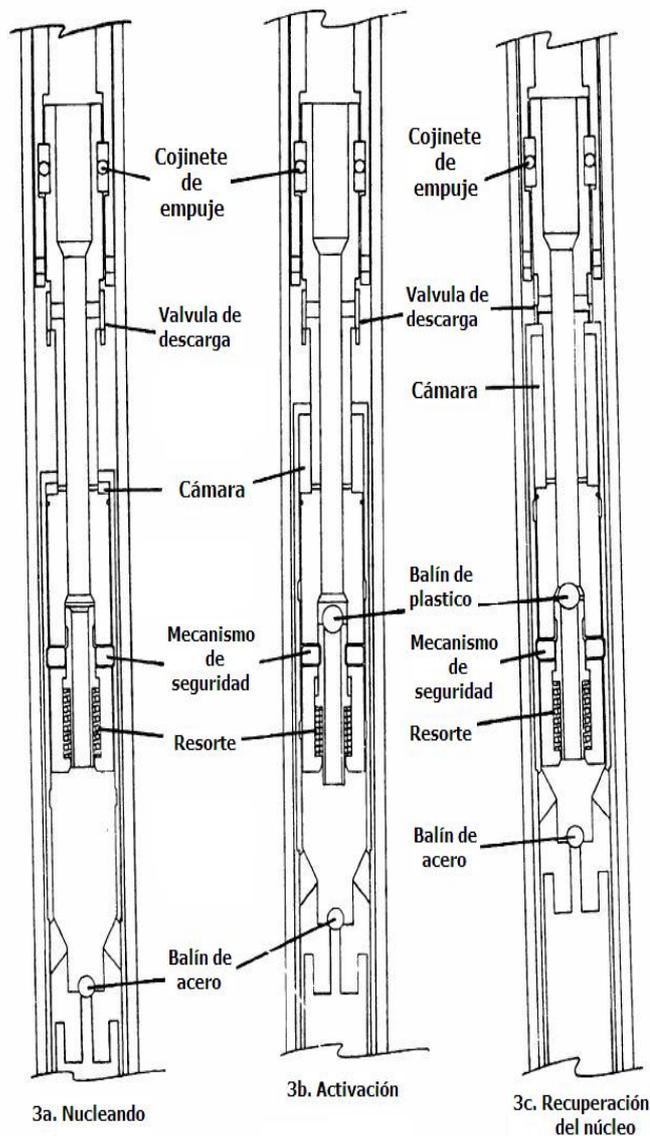


Figura 4.25. Mecanismo de recuperación con el atrapánucleos hydrolift de cierre total.

El hydrolift es colocado en la parte superior del ensamblaje del nucleado. El atrapánucleos de cierre total opera por el levantamiento del barril nucleador interno y la manga elástica en el atrapánucleos. El levantamiento de la manga elástica deja al descubierto y activa el atrapánucleos de cierre total. Durante el nucleado el lodo de perforación circula a través del ensamblaje del hydrolift, entre el barril nucleador interno y externo hacia la barrena nucleadora, ver Figura 4.25 (3a). Cuando el núcleo es terminado un balín de plástico con diámetro de 1¼ [in] es bombeado al fondo del pozo. Este balín se asienta en el ensamblaje del hydrolift desviando el flujo del lodo de perforación hacia una pequeña cámara cerca de la parte superior de la herramienta (Figura 4.25 (3b)). La presión del lodo reduce el levantamiento del resorte y del mecanismo de seguridad. El hydrolift es ahora libre para moverse hacia

arriba, mientras que el lodo es bombeado hacia la cámara. La herramienta sube hasta donde choque y abra la válvula de descarga. En la Figura 4.25 (3c) el lodo de perforación es entonces cuando reanuda la circulación entre los barriles nucleadores internos y externos. La apertura de la válvula de descarga descende la presión del fluido permitiendo comprimir el resorte para cerrar la herramienta en la parte superior.

Cuando el núcleo es completado una segunda bola de acero se deja caer activando el sistema Hidro-Lift. La presión del fluido de perforación levanta varias pulgadas al barril interno.

Esta acción mantiene resguardado y protegido al núcleo fuera de la manga del ensamblado del receptor permitiendo un cerrado enérgico y fuerte en el receptor tipo spring de cierre total.

Tres grandes criterios de diseño fueron los elementos de un sistema de recuperación de cierre total para la recuperación de núcleos no consolidados.

- i. El receptor debe estar totalmente abierto mientras se corta el núcleo y no debe presentar absolutamente ningún tipo de obstrucción para su entrada. Este tipo de núcleo de arenisca es muy susceptible al daño físico.
- ii. Los núcleos no consolidados deben ser protegidos de los efectos del lodo que pasa a través de la barrena. Esto se logró colocando una extensión al barril interno y proveyendo a la barrena con caras de descarga. Esto permite que el lodo fluya lejos de la barrena.
- iii. Finalmente el barril nucleador se adaptó con un receptor que una vez que el núcleo ha sido cortado queda 100% cerrado. En formaciones extremadamente no consolidadas se ha encontrado que incluso la más pequeña abertura hará salir y caer al núcleo, especialmente si ha sido muy lavado con el lodo.

Características y beneficios del sistema Hydro-Lift de cierre total.

- ✓ Debido a su configuración puede usarse para nuclear formaciones suaves y duras. Debido a que el cierre sella completamente al tubo interno, haciendo menos improbable que ocurra una pérdida del núcleo.
- ✓ Este sistema puede ser usado con una gran variedad de barrenas nucleadoras permitiendo una entrada suave del núcleo eliminando el daño en el receptor y preservando la calidad del núcleo.
- ✓ Los tubos internos hechos de PVC, aluminio y fibra de vidrio proporcionan un fácil manejo y protección de las muestras del núcleo.
- ✓ Un asiento del balón permite la circulación del volumen requerido a través del barril muestrero asegurando la limpieza del pozo y la tubería interior antes de que la toma de la muestra empiece.

- ✓ El procedimiento de operación del hydrolift realiza extracciones de núcleo en arenas no consolidadas con un barril muestrero de 30 pies y tuberías internas disponibles. El procedimiento puede variar adaptando al tipo de formación más adecuada.
- ✓ Asegura una captura a un ritmo de recuperación alta en aplicaciones tales como fracturas profundas.
- ✓ Para garantizar la entrada del núcleo en el barril sin daño y retenerlo hasta su llegada a la superficie se deberían emplear barriles de entrada completa y sellado total. Asimismo se debe proteger el diámetro interno que se encuentra sobre la barrena. También se debe proteger el barril interno para evitar la rotación.
- ✓ Se debe emplear un lodo con propiedades de baja filtración (filtración API de entre 4 y 9 cc/30min). Un lodo con estas características formará rápidamente un enjarre en el diámetro externo del núcleo que ayudará a preservar el diámetro interno.
- ✓ Es necesario utilizar una barrena nucleadora de diámetro tan grande como sea posible con la finalidad de evitar dañar el núcleo por fricción al momento de su entrada al barril interno, además así se obtiene mayor volumen de núcleo intacto puesto que el diámetro externo estará recubierto por el enjarre.
- ✓ Es necesaria una presión diferencial sobre balance en el fondo del pozo puesto que si las presiones se equilibran el núcleo se invadirá de fluidos y se perderá.
- ✓ Al emplear un lodo de baja filtración y presión diferencial sobre balance la resistencia de la formación será muy alta. Las barrenas de diamante natural no tienen suficiente fuerza como para penetrar la zona "difícil". En este caso se emplean barrenas PDC.
- ✓ Es importante evitar cortar de una manera demasiado agresiva o de lo contrario se podría llegar a cortar demasiado profundo en la zona de filtrado dinámico. Si esto ocurre el núcleo se invadirá de fluido y se perderá debido a que no hay enjarre que lo mantenga unido y aislado.
- ✓ Para minimizar el lavado del núcleo en la proximidad de la barrena se recomienda emplear gastos pequeños y barrenas nucleadoras con caras desviadoras de flujo.

Es importante reconocer la debilidad de los sedimentos friables y no consolidados y la facilidad con que pueden dañarse mecánicamente debido al manejo imprudente del núcleo una vez cortado. El uso del transportador del núcleo es necesario, al igual que el uso del receptor de cierre total también es necesario y es obligatorio el uso del sistema de preservación adecuado.

4.1.6 NUCLEO ORIENTADO

La toma de núcleos orientados se requiere cuando un núcleo se corta y una vez recuperado en la superficie puede ser orientado como estuvo en el yacimiento, Figura 4.26, exactamente como estaba antes de que se tomara de la formación. Este tipo de muestreo se utiliza para análisis de orientación de fracturas, estudios de rumbo y echado, estudios de permeabilidad y porosidad direccional, estudios estratigráficos, obtención de secciones delgadas orientadas. También es utilizado para ubicar en azimut los esfuerzos sobre los pozos (dirección de los esfuerzos mínimos y máximos). Todo lo anterior y otras aplicaciones se pueden realizar debido a que los núcleos orientados reúnen confiable información.

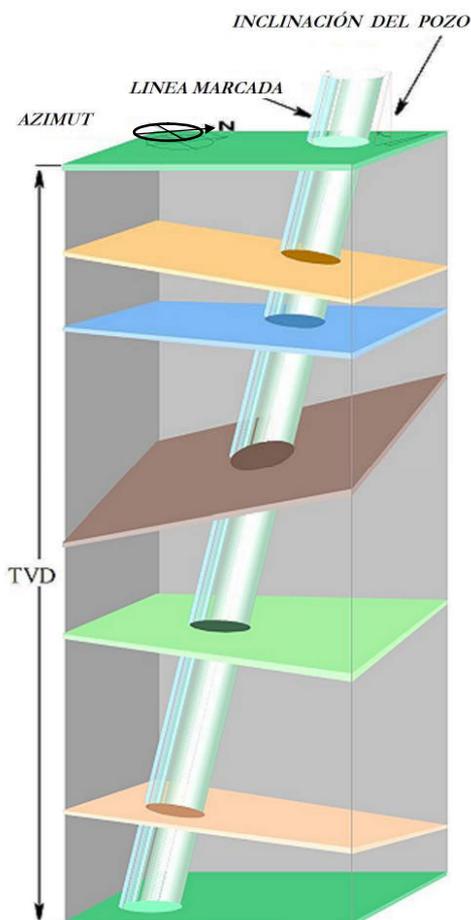


Figura. 4.26. Muestreo orientado.

El cambio del ensamblado del barril nucleador convencional al orientado es simple y puede hacerse con la incorporación de algunas partes.

El equipo adicional en la sarta de perforación incluye una lastrabarrena no-magnética, un instrumento de medición y un equipo de extensión no magnético.

En el núcleo orientado son marcadas físicamente 3 líneas sobre la circunferencia de la muestra a diferentes distancias una de la otra o a diferentes ángulos respecto al eje del núcleo. Esta información debe de estar incluida en el reporte final de la toma del núcleo junto con los levantamientos direccionales tomados a lo largo del corte del núcleo.

La Figura 4.27 de la izquierda muestra tres líneas de orientación trazadas en la circunferencia del

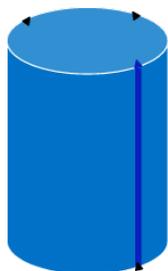


Figura. 4.27. Líneas de orientación marcadas en el núcleo.

núcleo físicamente marcadas, formando ángulos distintos entre cualquiera de las líneas. A veces la línea puede “desaparecer” debido a la recuperación de parte del núcleo con un diámetro menor que el núcleo en general, o tramos donde se recupera solo pedacería. Por lo general, un técnico o analista de laboratorio experimentado con estudios de fractura puede “recomponer” el núcleo en estos tramos dándole la orientación correcta. Las marcas son relacionadas a los medidores electrónicos dentro de la herramienta, utilizando los campos magnético y gravitacional de la tierra.

El instrumento de medición tradicional usado para medir la orientación in-situ de un núcleo al momento del corte o extracción ha sido un sistema mecánico de registro fotográfico desarrollado para pozos desviados. Tal instrumento desarrollado para mediciones direccionales en tiempo real está compuesto por un transductor, el cual es usado continuamente dentro de las operaciones de núcleo, evitando detener la rotación de la sarta de perforación y la circulación del fluido, para poder realizar las mediciones de orientación.

El canal de referencia en el núcleo recuperado se orienta hacia el norte por medio de un instrumento registrador magnético o giroscopio. Este instrumento registrador se bombea por la tubería de perforación antes del comienzo del corte del núcleo y se asienta en la ranura de referencia de una lastrabarrena (drill collar) no magnético por encima del barril. Este aparato toma fotos periódicas durante la operación y mide el ángulo y dirección del echado contra el tiempo. Después de extraer el instrumento, se revela la película y el ángulo y dirección del echado contra profundidad se determinan fácilmente. El núcleo entonces puede fijarse a un goniómetro orientador usando el ángulo y dirección del echado. De esta manera se pueden leer directamente en el goniómetro, la dirección, el ángulo del echado y el rumbo. También se puede determinar el rumbo, la dirección y echado de una fractura.

En el estudio de núcleos orientados existe el problema, de que si se sospecha una pérdida de parte del núcleo, se presentan dudas con relación a qué sitio se le asignará la porción perdida, lo cual afectará los estudios de orientación, debido a que las medidas direccionales están relacionadas a tiempo y profundidad. Otro problema que se presenta, es cuando el núcleo fracturado gira en la

entrada de la barrena antes de ser marcado por la zapata receptora del núcleo. Los tres marcadores mantienen suficiente presión sobre los segmentos del núcleo para prevenir cualquier movimiento rotatorio debajo de ellos.

Barril para corte de núcleo orientado

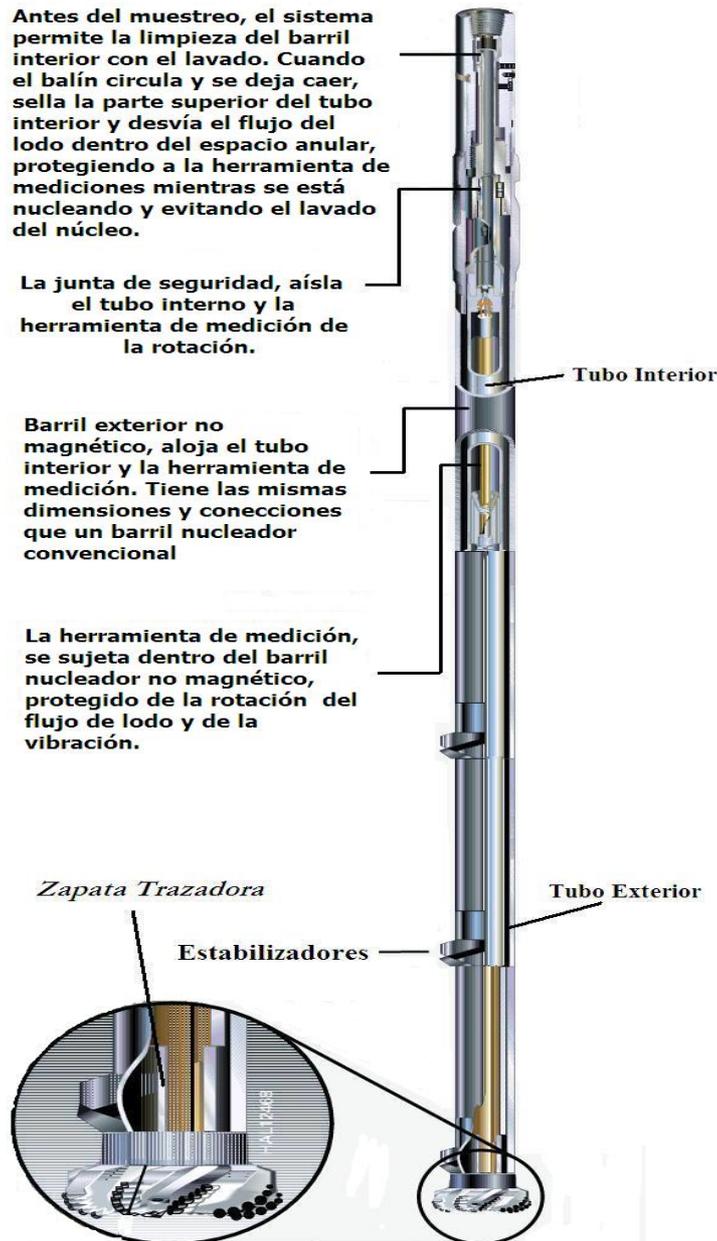


Figura 4.28. Barril para corte de núcleo orientado.

El tamaño del barril para la toma de núcleos orientados varía de 4 $\frac{1}{8}$ a 7 $\frac{5}{8}$ pulgadas y el tamaño de las barrenas varía de 5 a 8 $\frac{7}{8}$ pulgadas. Se puede disponer de núcleos en diámetros de 1 $\frac{7}{8}$ a 5 $\frac{1}{4}$ pulgadas. En las Figuras 4.28 y 4.29 se muestra el esquema de un barril para el nucleado orientado.

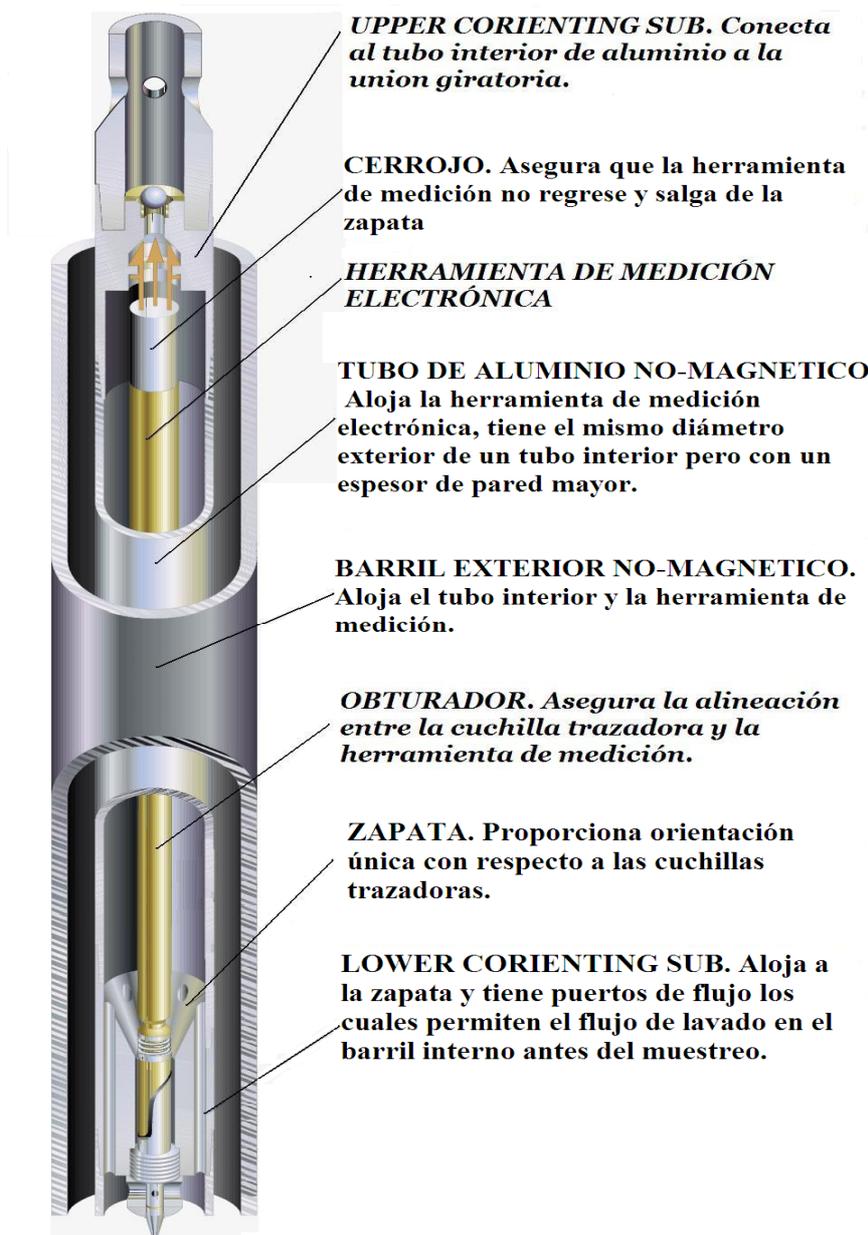


Figura 4.29. Partes internas esenciales del barril para corte de núcleo orientado.

Para determinar la inclinación de la formación es necesario primero determinar la orientación del núcleo. Esto se hace usando una zapata trazadora localizada debajo del receptor del núcleo. Este arreglo permite la determinación de la dirección del núcleo, la desviación del agujero y el echado de la formación.



Figura 4.30.
Atrapanúcleos orientado
con tres marcadores de
tungsteno de carbón.

El núcleo orientado una vez cortado, se extrae y se maneja de una forma similar al núcleo convencional. La principal diferencia entre las dos técnicas es la presencia de 3 cuchillas de tungsteno de carbón o marcadores dentro del atrapanúcleos, como se muestra en la Figura 4.30. A medida que el núcleo pasa hacia el barril interior los tres marcadores producen canales verticales a lo largo del núcleo. Estos canales varían desde 1/16 hasta 3/32 pulgadas en profundidad.

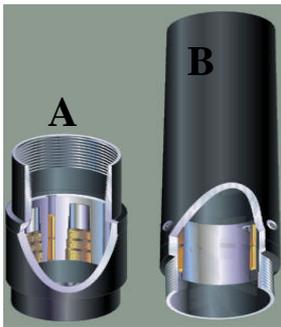


Figura 4.31. Tipos de
zapatas trazadoras para
varios tipo de formación.

La zapata trazadora del núcleo orientado tiene desigual los ángulos entre cada cuchilla. La Figura 4.31(A) es más adecuada para formaciones deleznales no consolidadas, mientras que la figura 4.31(B) es más utilizada para formaciones duras o fracturadas.

Una vez que se han registrado datos obtenidos del núcleo con la ayuda del goniómetro se verifica el echado de la formación por medio de la inspección del núcleo con el fin de comparar resultados y ver si los resultados obtenidos con el barril son confiables.

Dos sistemas de servicios completos y equipo de medición especiales son utilizados para el nucleado orientado: El Medidor Magnético Electrónico y La Herramienta Magnética Modular. La siguiente información es necesaria para ayudar en la selección de la herramienta de estudio apropiada:

- ♣ Diámetro del barril nucleador.
- ♣ Diámetro, profundidad y ángulo del agujero.
- ♣ Diámetro interno más pequeño de la sarta de perforación.
- ♣ Temperatura en el fondo del pozo.
- ♣ Tipo y peso del fluido de perforación.
- ♣ Características de la roca y la formación

HERRAMIENTA DE MEDICION MAGNETICA ELECTRONICA (EMS)

La herramienta de medición Electrónico Magnético ofrece registros magnéticos de alta precisión (tanto en modo simple como multi-shot) y servicios de orientación del núcleo. Más rápido, más preciso y más confiable que la herramienta convencional basada en cámara magnética; este instrumento electrónico de estado sólido usa acelerómetros triaxiales y magnetómetros para obtener lecturas precisas de la inclinación del pozo, dirección y orientación de la cara de la herramienta.

El paquete terminal en el pozo tiene un control electrónico programable, la fuente de poder y un sistema de memoria que almacena los datos iniciales para cada estación de seguimiento.

Al usar memoria electrónica para almacenar datos de registro, el sistema elimina muchas de las fuentes de error asociadas a los sistemas basados en cámaras, como los problemas de las películas y los errores de interpretación de las mismas. Los sensores electrónicos del instrumento ofrecen mayor precisión que la instrumentación mecánica. Los registros magnéticos pueden ser obtenidos en los ambientes más difíciles. Por ejemplo, el protector térmico disponible de 2" de diámetro externo resiste hasta 500°F (260°C) por 8 horas y presiones de 22.000 psi (151.686 Kpa).

Esta herramienta está hecha únicamente para el nucleado orientado. El tiempo de adquisición de datos puede ser programado por el operador antes de la medición para contrarrestar por anticipado las condiciones de la perforación. El sistema de la sonda permite datos en la superficie de la herramienta y por conexión mecánica en el barril interno, los datos marcados en el núcleo por la cuchilla son tomados continuamente durante el proceso de corte del núcleo.

Esta herramienta de nucleado no tiene que ser detenida para tomar o realizar la medición de datos, minimizando el rompimiento del núcleo y la marca trazada en espiral, reduciendo las posibilidades de atascamiento del núcleo y mejorando en general el nucleado y la eficiencia de orientación.

Los datos del fondo del pozo son descargados de la herramienta de Medición Magnética Electrónica después de que el nucleado es completado. La información es editada por el operador, salvando solo fotografías las cuales satisfagan criterios rigurosos de edición. Un informe final de la herramienta es preparado, identificando el pozo, al núcleo, herramienta, y todos los datos pertinentes. El informe identifica la orientación de la superficie de la herramienta contra la profundidad, generalmente cada pie, así como la revisión completa al principio y al final del intervalo nucleado. La herramienta debe ser revisada antes de la reanudación del nucleo.

La herramienta de medición electrónica magnética, Figura 4.32, es compatible con herramientas de nucleo convencional. El uso preciso de centralizadores de rotación no-magnético para aislar completamente el ensamblaje de medición de los efectos de rotación del lastrabarrenas (drill collars). Estos centralizadores protegen a la herramienta y mejora la integridad de los datos en el fondo del pozo.

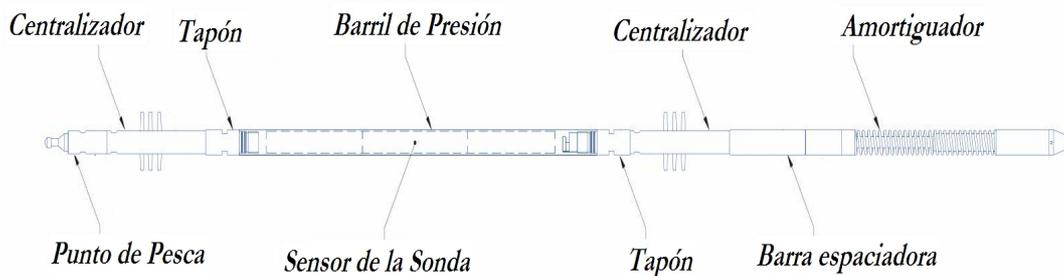


Figura 4.32. Herramienta de medición electrónica magnética.

En la siguiente Tabla 4.6, se muestran las especificaciones de la herramienta de medición electrónica magnética.

Tabla 4.6. Especificaciones de la herramienta de medición electrónica magnética.

DIÁMETRO NOMINAL	1.75" - 2.00"
CAPACIDAD NORMAL DE TEMPERATURA	125°C - 260°C
CICLOS POR SEGUNDO	64
CAPACIDAD DE LA HERRAMIENTA	1023 FOTOS
TIPO DE BATERÍA	ALCALINO
ACELERÓMETROS	MIDE LA INCLINACIÓN
MAGNETÓMETROS	MIDE DIRECCIÓN DEL NORTE GEOGRÁFICO

Las características de la herramienta de medición electrónica magnética incluyen:

- ♣ Línea trazada continuamente.
- ♣ No hay interrupciones del nucleado al momento de las mediciones.
- ♣ No hay pérdida de datos debido al daño de la herramienta de medición durante la operación de nucleado.
- ♣ Capacidad de la descarga de fluido del tubo interior antes del nucleado.
- ♣ Exposición es limitada a 4 horas para 260 °C con un escudo o protector de calor.

HERRAMIENTA MODULAR MAGNÉTICA



Figura 4.33. Herramienta modular magnética.

La herramienta modular magnética, Figura 4.33, es un aparato direccional magnético que puede ser usado como cable para nucleado orientado.

Esta herramienta usa un acelerómetro, el cual es un sensor resistente a golpes, a altas temperaturas y vibraciones. Los datos son transmitidos a tiempo real hacia la superficie vía cable.

El uso de centralizadores giratorios permite al sistema alcanzar una precisión superior de posicionamiento dentro del pozo, minimizando la posibilidad de daño instrumental durante el registro por causa de choque o vibración.

Características.

- ✓ Puede ser usada en aplicaciones geotermales.
- ✓ Produce la transferencia de datos a tiempo real por cable.
- ✓ Ideal para aplicaciones de radio pequeño.
- ✓ Puede ser usada en operaciones bajo-balance y perforación con aire.
- ✓ Se usa para definir la dirección de la herramienta, orientación del núcleo, inclinación y azimut del pozo, temperatura en el fondo del pozo.

La información direccional del corte de núcleo es tomada vía multi-shot o con un registro continuo de dirección y verticalidad del pozo. Para los estudios donde se requieren núcleos orientados, esta información es vital, y debe ser comprobada y verificada antes que los núcleos lleguen al laboratorio. Una vez revisada la información, se envía el reporte al laboratorio para comenzar el análisis del núcleo.

El equipo de medición de orientación puede ir unido a la herramienta y viajar con el barril nucleador. También puede ir colocada y unida por medio de una línea de acero en el ensamblaje de la zapata, por lo que puede viajar con el barril nucleador y recuperarse antes de que el barril sea sacado.

4.1.7 NUCLEO CON LÍNEA DE ACERO

El corte convencional de núcleos de fondo en un pozo petrolero utilizando la sarta de perforación es mucho más lento que la operación de perforación del pozo debido a los viajes completos (sacar y meter) que se realizan con la tubería para llevar a la superficie las muestras que se tomen en los intervalos de interés.

Cuando se usa el sistema de núcleo convencional se requiere sacar toda la tubería de perforación junto con el ensamble del fondo del agujero preparado para perforar y cambiarlo por uno apropiado para cortar los núcleos, hecho esto se mete toda la sarta con el nuevo ensamble y se procede a nuclear.

La experiencia ha demostrado que el núcleo convencional es la operación que genera el porcentaje más alto del costo de un equipo de perforación, razón por la cual se han diseñado técnicas y herramientas para reducir tal costo. Una de esas técnicas es la llamada núcleo con línea de acero que, además de reducir los costos, acelera la operación.

El núcleo con línea de acero es un método derivado del convencional. Requiere de una barrena nucleadora conectada a un barril exterior que se acoplan en el extremo de la tubería de perforación y se llevan al fondo del pozo. El ensamble o barril interior se coloca dentro del barril exterior. Se realiza la operación de núcleo y al terminarla se saca el núcleo del pozo, junto con el barril interior, por medio de una línea de acero que engancha al barril interior y lo lleva a la superficie por dentro de la tubería de perforación. Se saca el núcleo del barril interior y ya vacío éste se coloca nuevamente

en el barril exterior que se encuentra en el fondo del pozo y se corta otro núcleo. Con este procedimiento no se requieren operaciones de meter y sacar toda la tubería de perforación para obtener el núcleo ya cortado, por lo que se ahorra tiempo y dinero.

En la Figura 4.34, se presenta un diseño de barril nucleador para línea de acero, indicándose las partes principales que lo forman:

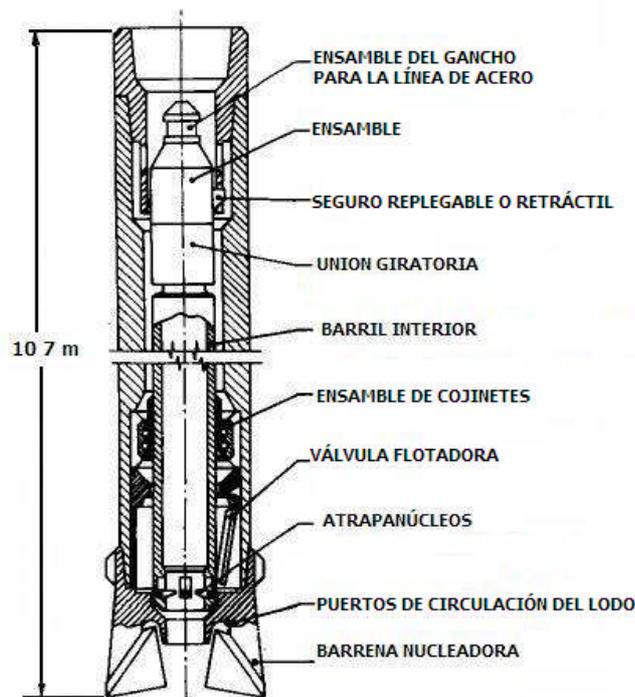


Figura 4.34. Barril muestreador para línea de acero.

En general, un barril nucleador para línea de acero tiene un tubo interno, receptáculo del núcleo, que puede ser levantado hacia la superficie, por dentro de la sarta de perforación, con la ayuda de una línea de acero que está sujeta a un malacate auxiliar en la superficie mientras la barrena nucleadora permanece en el fondo del pozo.

Los barriles interiores para línea de acero tienen diámetros pequeños con el fin de que puedan ser retirados del fondo por el interior de la tubería de perforación. Se muestran en la Tabla 4.7 los diámetros comunes de los barriles, de los núcleos que se cortan y de la tubería de perforación requerida.

Los barriles para línea de acero están hechos en una gran variedad de tamaños y generalmente cortan de 15 a 30 pies (5 a 9 m.) de núcleo.

Tabla 4.7. Diámetros de herramientas y de núcleos relacionados al muestreo con línea de acero.

Barril muestreador Diámetro Exterior [pg]	Tamaño de Núcleo, Diámetro [pg]	Tubería de Perforación, Diámetro Interior [pg]
5 ³ / ₄	1 ⁵ / ₈	2 ¹³ / ₁₆
6 ¹ / ₄	2 ³ / ₈	2 ¹³ / ₁₆
6 ³ / ₄	2 ³ / ₄	3 ¹ / ₂
6 ³ / ₄	2	2 ¹³ / ₁₆
7	2 ³ / ₈	2 ¹³ / ₁₆

En algunos casos, se usa un sistema en el que el barril interior nucleador puede ser reemplazado por un tapón perforador, Figura 4.35, por lo que se puede alternar el nucleado y la perforación con sólo viajes de la línea de acero.



Figura 4.35. Tapón perforador solo y ensamblado.

El tapón perforador consiste de una barrena de diámetro pequeño unida a un eje o soporte, ver Fig. 4.35a, que se incorpora y se fija firmemente en el cabezal de núcleo, Fig. 4.35b.

La rotación de la barrena en el fondo del pozo se usa para hacer girar el tapón perforador en la posición de enganche. Este tapón de ha usado, con buenos resultados, para perforar intervalos sin tener que sacar la sarta de perforación para cambiar la barrena nucleadora por una de perforación. .

Antes de iniciar las operaciones de muestreo, la tubería de perforación debe sacarse del agujero para sustituir la barrena usual de perforación por una barrena muestreadora que acepte un tapón perforador. Una vez que se ha hecho esto, se pueden ejecutar, alternativamente, operaciones de muestreo y de perforación sin sacar la tubería.

Para obtener un núcleo, una vez que se ha colocado la barrena muestreadora en el fondo del pozo, el sistema de barril interno o sacanúcleos se forza dentro de la tubería de perforación usando la presión del lodo de perforación. Cuando el conjunto del barril sacanúcleos llega al extremo inferior de la columna un dispositivo de cerrojo lo sostiene en su lugar.

Durante las operaciones de muestreo, el fluido de perforación pasa entre el conjunto del barril de muestreo y el lastrabarrena. Después que se ha cortado el núcleo, el conjunto del barril con el núcleo se recupera bajando por el interior de la tubería de perforación una herramienta recuperadora por medio de un cable de acero que está diseñada para enganchar el extremo superior del receptor. Al bajar el cable de acero sobre la parte superior del conjunto, se sueltan los cerrojos permitiendo que se saque todo el conjunto. Posteriormente, se jala el cable de acero para sacar el barril junto con el núcleo obtenido.

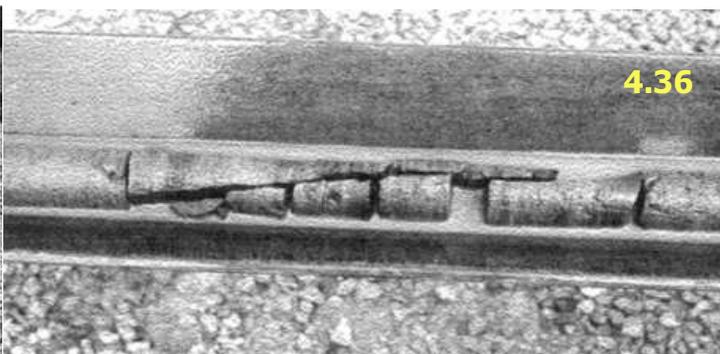
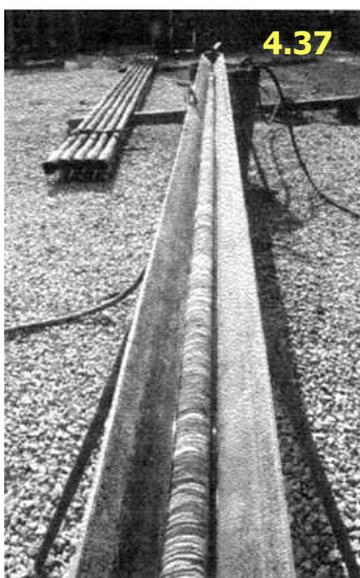


Figura 4.36. Núcleo inmediatamente después de removerlo del barril muestreador.

Figura 4.37. Ejemplo de una buena recuperación en núcleo fracturado en calizas duras.

Una vez que el barril ha sido llevado hasta la superficie, se le saca el núcleo y este barril o uno de repuesto se envía por la tubería de perforación y se asienta en la barrena de núcleo. Este barril interior se acopla en el barril exterior aplicándole presión hidráulica y se lleva a cabo otro corte de núcleo. Si ya no se desea tomar más muestras, en lugar del barril muestreador se introduce un

tapón perforador que se asienta firmemente en la barrena nucleadora de tal manera que el cabezal se convierte a un sistema que permitirá continuar con la perforación del pozo.

En la Figura 4.38, se muestra el ensamble para nuclear y para perforar, acoplando el tapón perforador y utilizando línea de acero.

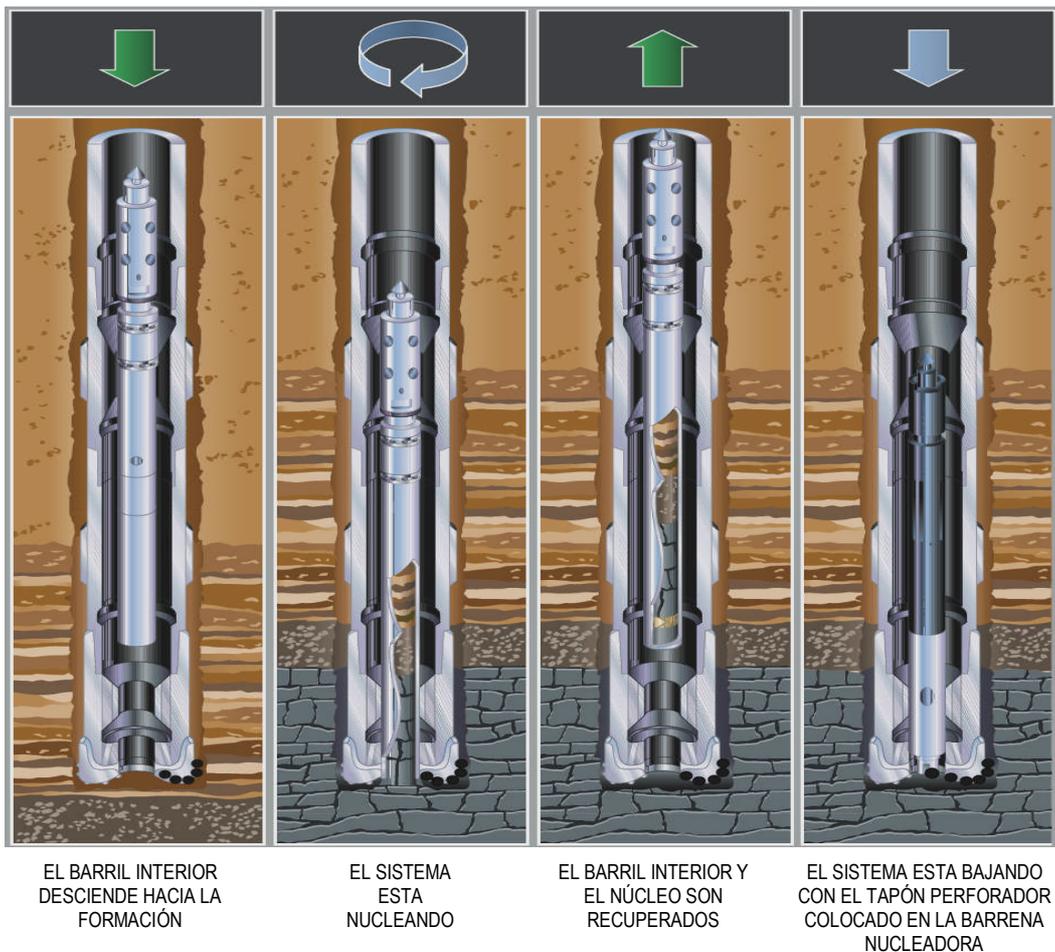


Figura 4.38. Esquemas que muestran las etapas de núcleo y de perforación, utilizando tapón perforador, con equipo para línea de acero.

El muestreo con línea de acero debe realizarse en forma eficiente. La extracción del núcleo mal realizada o sin el equipo necesario puede generar incrementos grandes en tiempo y costo y por lo tanto reducir los beneficios que este procedimiento normalmente proporciona.

A continuación se enlistan ventajas y desventajas de los sistemas de núcleo con línea de acero.

Ventajas:

- ✓ Ahorro de tiempo que se genera al no tener que sacar toda la tubería de perforación para colocar el barril nucleador y luego otra vez para recuperar el núcleo y por ello se cortan mucho más muestras que con otros procedimientos. Como el promedio de profundidad de los pozos continúa aumentando, el tiempo y el dinero ahorrado al no tener que sacar la tubería de perforación para obtener una muestra, es sustancial. Por lo que se incrementa el rendimiento considerablemente.
- ✓ Se pueden obtener múltiples núcleos y se puede nuclear de forma continua conforme se lleva a cabo la perforación.
- ✓ Es especialmente útil cuando se analizan los cambios estratigráficos durante la perforación. Debido a las restricciones de espacio, los núcleos con línea de acero generalmente oscilan en diámetro entre 1.5 y 3 pulgadas.
- ✓ Se usa en proyectos costa afuera, aguas profundas o en operaciones de núcleo en las que los viajes para sacar y meter los barriles cortanúcleos son antieconómicos.
- ✓ El equipo de cable y el convencional son similares, los barriles son diseñados de la misma forma. La diferencia principal entre estos barriles, es que el barril interior del equipo de cable, donde se retiene el núcleo cortado, puede ser retirado con un pescante accionado mediante un cable dejando el barril exterior con la barrena en el fondo. El barril interior es una parte independiente de la herramienta y puede ser removido y retirado como una sección separada; ésto no puede hacerse en el núcleo convencional.
- ✓ El sistema proporciona un indicador instantáneo de atascamiento en la superficie.
- ✓ El sistema es particularmente ventajoso para nucleado en intervalos largos o cuando la profundidad exacta del objetivo es desconocida.
- ✓ Es efectivo en todo tipo de formación.

Desventajas:

- ✗ El barril interior removible que contiene al núcleo debe ser de diámetro muy pequeño para lograr que sea retirado por dentro de la tubería de perforación.
- ✗ El diámetro del núcleo obtenido es pequeño.

4.1.8 NUCLEO CON MOTOR DE FONDO

Un motivo importante que propició el diseño de equipos para nuclear con motor de fondo se debió a la necesidad de proteger la tubería de revestimiento en secciones desviadas de un pozo sobre las formaciones que han sido perforadas, reduciendo de esta manera el desgaste en la tubería. Además, en el aspecto económico y de seguridad es ventajoso, ya que los experimentos han mostrado que bajo ciertas condiciones difíciles se puede tener más éxito cuando el barril nucleador se maneja con un motor de fondo. La perforación a una alta velocidad rotacional proporcionada por el motor de fondo permite operaciones con menos peso en la barrena, pero sin ninguna pérdida en el ritmo de penetración. Menos peso en la barrena significa una baja fuerza de torsión en el barril nucleador, así como vibración y esfuerzo de contacto mínimos en el núcleo. Como resultado se tiene una muestra menos dañada, reducción del atascamiento y un incremento de recuperación del núcleo.

El nucleo con motor de fondo es una buena opción para cortar núcleos en pozos donde las herramientas de nucleo convencional no aportan óptimos resultados. Algunos de estos casos son los siguientes.

- ♣ Formaciones duras o formaciones altamente fracturadas en donde las barrenas pueden inducir fracturas o generar más de las existentes.
- ♣ Pozos en los que la rotación de la tubería de perforación causa daños a ésta y a la de revestimiento, como son los pozos desviados, multilaterales y horizontales.

Existe una amplia variedad de motores de fondo para esas situaciones difíciles de nuclear, con los que se tiene por lo regular:

- ♣ Ligero torque sobre la barrena nucleadora.
- ♣ Reducido peso sobre la barrena.
- ♣ Se reduce el fracturamiento de la roca por el bajo peso sobre la barrena
- ♣ Incremento de las revoluciones por minuto y del torque a la barrena.
- ♣ Se mejora el ritmo de penetración (ROP)

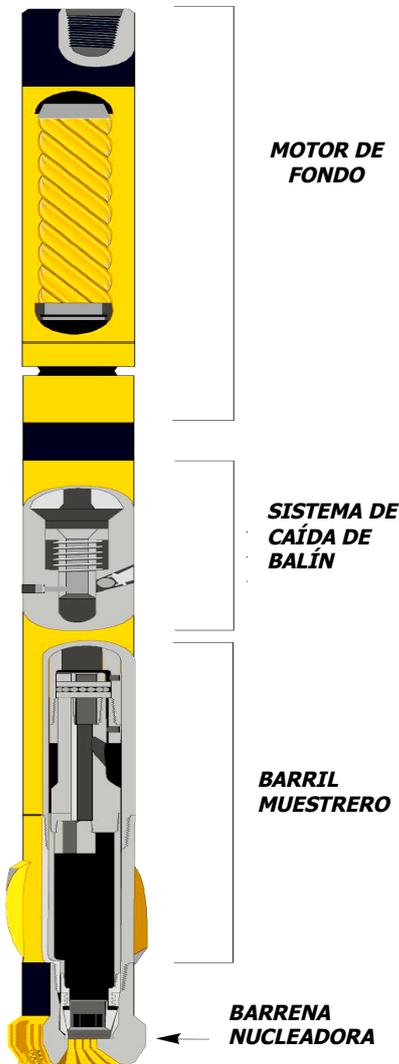
Los motores tienen herramientas de núcleo que cortan 300 ft (90 m) de núcleo en una sola operación. Se dispone de motores especiales para nuclear con aire, niebla o espuma.

El sistema de núcleo con motor de fondo puede maximizar su trabajo en pozos desviados y horizontales o cuando la toma de muestras se realiza en formaciones duras pero que tienden a fracturarse.

En operaciones de núcleo con motor de fondo, el barril muestreador se coloca abajo de un motor de desplazamiento positivo (PDM). El PDM es impulsado por el flujo del fluido de perforación a través del motor. El funcionamiento consiste en hacer girar la barrena con un determinado torque independientemente del resto de la sarta. El motor de fondo consta de 3 secciones: la de potencia, la de transmisión y la de fuerza. Los motores de fondo se dividen en alto y bajo torque, utilizándose los primeros en la perforación de pozos horizontales. Con respecto a las vueltas (revoluciones) en que se hace girar la barrena, se pueden dividir en altas, medianas y bajas.

Los motores de fondo tienen muchas ventajas en comparación con el resto de las herramientas desviadoras de pozos ya que la construcción de la curva se realiza desde el mismo punto de inicio del desvío, lo cual reduce los tiempos por viajes adicionales. Tanto la construcción como la orientación del agujero son más precisas, por lo que se puede obtener un control directo sobre la perforación, contribuyendo a un mejor control de la trayectoria del agujero durante la construcción de la curva, teniendo como resultado una curva más homogénea. Existen diseños de sistemas de núcleo para pozos con radios de curvatura de desviación medios (87 a 218 m) y grandes (más de 218 m), así como para pozos horizontales. Una gama amplia de opciones de motor puede satisfacer los requisitos de la toma de muestras en muchas situaciones.

SISTEMA INTEGRAL DE NUCLEO CON MOTOR DE FONDO



El sistema integral de núcleo con motor de fondo, mostrado en la Figura 4.39, es una combinación de un motor de desplazamiento positivo con un barril muestrero. El motor transmite potencia a la barrena muestradora independientemente de la rotación de la sarta de perforación; esto ofrece una ventaja significativa en las operaciones de núcleo en pozos horizontales, así como un torque constante y un RPM controlable, logrando un ritmo alto de penetración, mayor que el de las operaciones de perforación por rotación.

El sistema integral de núcleo con motor de fondo se caracteriza por tener una tubería interna sin rotación que recibe al núcleo, minimizando el potencial de atascamiento de la muestra cortada incrementando la recuperación y la calidad del núcleo, especialmente en formaciones no consolidadas. El sistema también tiene un elemento para caída de canica que facilita el lavado del barril interior cuando la circulación sale del fondo del pozo, Figura 4.40.

Figura 4.39. Núcleo con sistema de motor integral.

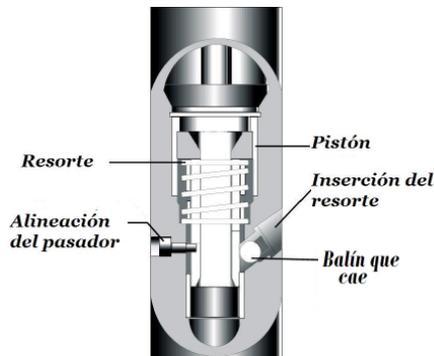


Figura 4.40. Elemento para caída de canica.

Cuando se utiliza el motor de desplazamiento positivo el desvío de la descarga del flujo del fluido en el tubo interior puede ser logrado solo por el deslizamiento de la canica o un desviador de flujo activado en el fondo del pozo, colocado entre el motor y el barril muestrero.

El impulsor utilizado en el motor, con frecuencia incrementa el desempeño en la toma de muestras y reduce el potencial de atascamiento. En algunas situaciones de núcleo se requiere que el impulsor esté colocado en la parte superior del motor de desplazamiento positivo para proporcionar hacia abajo la potencia en el BHA. El impulsor es responsable de: generar y mantener constantes, en el fondo del pozo, el peso sobre la barrena (PSB) y las revoluciones por minuto (RPM), así como mantener estable el ensamblado en el fondo del pozo y amortiguar el rebote de la barrena.

La fuerza que produce el fluido de perforación es convertida a peso sobre la barrena (PSB) y las toberas al ser intercambiables optimizan el PSB (WOB, siglas en inglés) dependiendo de las diferentes velocidades de flujo. El beneficio que se tiene con esta unidad es que el PSB se puede regular para tener una aplicación más uniforme del peso, lo cual recae en una mayor duración de la barrena.

Los estabilizadores, Figura 4.41, usados en el barril interior son cojinetes tipo rodillo minimizan la rotación del barril interior. Esto mejora la integridad y el incremento en la recuperación del núcleo, incluso en pozos con un alto ángulo de desviación.

La estabilización de los tubos exteriores e interiores proporcionan una óptima rigidez en operaciones horizontales y permite una velocidad de núcleo alta para una penetración rápida y una máxima recuperación del núcleo.



Figura 4.41. Estabilizadores.

En la Tabla 4.8, se proporcionan las especificaciones técnicas del sistema integral de núcleo con motor de fondo.

Tabla 4.8. Especificaciones del sistema integral de núcleo con motor de fondo.

Tubo exterior	6¾ "
Diámetro del núcleo	4"
Longitud del núcleo	30 a 60 ft.
Gasto de la bomba	700-1400 L/min.
Presión máxima del motor	40 bar / 580 psi
Rango de velocidad de la barrena	90 a 180 rpm
Torque máximo	3500 N-m / 2630 ft-lb
Rango de la Potencia	33-66 kW / 44-90 hp
Temperatura máxima de operación	140°C / 284 °F
Gasto de circulación para el lavado en el tubo interior	800 L/min. / 211 gpm
Gasto de circulación para activar la caída del balín	1400 L/min / 370 gpm
Material del tubo interior	Acero, Fibra de vidrio o Aluminio

Debido a sus características, el sistema integral de muestreo con motor de fondo ofrece las siguientes ventajas, entre otras:

- ✓ La calidad del núcleo mejora desde el momento que no es afectado por la rotación de los tubos exteriores.
- ✓ Incrementa la recuperación y reduce el atascamiento del núcleo.
- ✓ Aplicable en formaciones fracturadas o en formaciones duras propensas a ser fracturadas.
- ✓ Se pueden cortar núcleos orientados.
- ✓ Reduce el desgaste de la tubería de revestimiento y de perforación en pozos desviados y horizontales.
- ✓ Incrementa el ritmo de penetración reduciendo los viajes y disminuyendo costos de núcleo.

4.1.9 NUCLEO Y PERFORACIÓN CON LA MISMA BARRENA

La mayor parte del costo de las operaciones de núcleo convencional se relaciona a los viajes de ida y vuelta del ensamble de muestreo que se ubica en el extremo inferior de la tubería de perforación, por lo que se requiere hacer también trabajos para meter y sacar la tubería. Mientras más profunda esté la formación por nuclear y más núcleos se corten en ella, el costo será mayor. Este aspecto se presenta principalmente en pozos exploratorios, en los que no se pueden precisar las profundidades de núcleo o en casos donde haya varios horizontes de interés y se requieren núcleos de ellos.

Se ha propuesto un diseño de barrena para eliminar el impacto en el costo del núcleo. Con tal barrena, mostrada en la Figura 4.42, se pueden cortar todos los núcleos que se necesiten y seguir perforando sin tener que sacar la tubería de perforación y el ensamble de núcleo, es decir, se pueden alternar las operaciones de núcleo y las de perforación de pozo, manteniendo en el fondo del pozo la barrena de diseño especial, la cual también evita el giro cortando, por lo tanto, núcleos de calidad.

El ensamble especial consta de la combinación de una barrena con un inserto o tapón removible que se coloca en la parte central de la barrena, ver Figura 4.42.

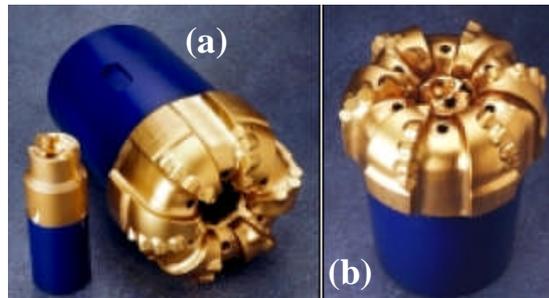


Figura 4.42. Barrena nucleadora con tapón removible (a) acondicionada para nuclear y (b) acondicionada para perforar.

La operación de perforación del pozo se lleva a cabo con el tapón colocado firmemente en la barrena y siguiendo la técnica de perforación convencional. Cuando se requiere cortar un núcleo, por medio de línea de acero o cable se saca el tapón por dentro de la tubería de perforación y es remplazado por un barril para recibir al núcleo que se corte. Este barril se coloca en el fondo también con la línea de acero, convirtiendo al ensamble en un cortanúcleos.

Después de cortar el núcleo se saca el barril con línea de acero y se baja otro, en caso de requerir más núcleos, o se baja y coloca el tapón para seguir perforando el pozo.

Existe en el mercado otra barrena especial que comprende todas las características mencionadas anteriormente e incorpora la toma de registros de pozo mientras se perfora o nuclea, así como sensores direccionales y de inclinación. Todas estas características permiten seleccionar con precisión el punto a nuclear por medio del registro de rayos gamma, con la tecnología direccional acercar la barrena al punto de núcleo y tener la capacidad de muestrear con el cabezal de perforación acondicionado para nuclear, todo lo anterior sin sacar y meter la tubería de perforación, solo con el manejo de la línea de acero.

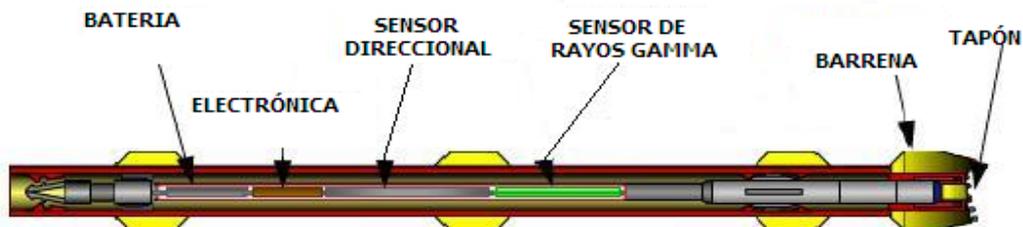


Figura 4.43. Muestra la herramienta perforadora-nucleadora con elementos para tomar registros de rayos gamma, así como direccionales y de inclinación.

Ventajas de los equipos mencionados:

- Permite la extracción de muestras durante la perforación, produciendo altos rendimientos operativos.
- El barril nucleador interior es colocado desde la superficie hasta el fondo con línea de acero.
- Con las barrenas nucleadoras anti-giro, se estabiliza el cabezal de núcleo y se recuperan muestras de calidad.
- El barril interior y el núcleo son retirados rápida y eficientemente por medio de línea de acero.
- Se pueden recuperar núcleos con diámetros de 2 pg.
- Proporciona una alternativa en costos para el muestreo de núcleos de pared de pozo.
- Puede nuclear intervalos grandes sin viajes múltiples de la tubería de perforación.

- Recupera núcleos en formaciones altamente fracturadas donde el atascamiento es común.
- Se elimina la necesidad de cambiar el ensamble en el fondo del pozo para perforar el agujero antes de nuclear.
- Nuclea formaciones con varias zonas de interés y donde el muestreo de pared de pozo no es factible.
- Nuclea en áreas donde comúnmente son utilizadas barrenas de perforación de cortadores fijos y en zonas de interés a nuclear difícilmente de detectar.
- Puede nuclear formaciones altamente presionadas donde se incrementa la seguridad del pozo por la eliminación de los viajes de la tubería de perforación.
- El equipo con registros de rayos gamma y sensores direccionales y de inclinación permite ubicar la barrena en el punto preciso de núcleo.

4.2 NUCLEO EN LA PARED DEL POZO

Durante la perforación de un pozo petrolero, en ocasiones algunos intervalos prometedores son pasados inadvertidamente debido principalmente a cambios imprevistos en la estratigrafía de la columna geológica; sin embargo, al correr los registros geofísicos de pozos aparecen estos intervalos de interés; pero como el pozo ya fue perforado entonces no es posible obtener núcleos de fondo para analizar y evaluar en forma directa las propiedades de la roca. Para esos casos, existen otros métodos para obtener muestras de rocas de las formaciones de interés conocidos como núcleo de pared. Los núcleos de pared pueden obtenerse a cualquier tiempo después de que la formación de la cual se desea la muestra ha sido penetrada o atravesada por el pozo y éste no ha sido revestido.

Las herramientas de muestreo en la pared del pozo permiten tomar núcleos de la formación que, como los de fondo, ayudan a mejorar el análisis de los registros de pozos, a identificar el origen y tipo de roca y se pueden utilizar para determinar la localización exacta de los contactos gas y aceite, gas y agua o aceite y agua dentro del yacimiento. En algunos casos, los núcleos de pared pueden descubrir, incluso, yacimientos productivos que los registros no detectan.

La introducción de los registros de pozos como una herramienta de confianza para la caracterización de las formaciones aumentó considerablemente el uso del equipo para muestreo de pared. Esto complementa la información del pozo no solo bajo el punto de vista de los registros eléctricos y radiactivos, sino también desde el punto de vista de las muestras en las formaciones. Sin embargo, existen limitaciones asociadas con el proceso de la toma de muestras de pared, así como el hecho de que las formaciones se encuentran alteradas en algún grado debido al proceso de perforación y el pequeño tamaño del núcleo que se corta.

También las mediciones realizadas sobre las muestras obtenidas son menos representativas que las efectuadas sobre muestras obtenidas con núcleo de fondo y los resultados deberán corregirse por condiciones de presión, temperatura, alteraciones de mojabilidad y esfuerzos en el punto de muestreo.

Con esta técnica se obtienen muestras cilíndricas de una pulgada de diámetro y poca longitud, provenientes de la pared del pozo, por lo que se aprovechan solo volúmenes pequeños de la formación. Los mecanismos de accionamiento de las herramientas nucleadoras pueden ser por **percusión** o por **rotación**. Existen las desventajas del pequeño tamaño de las muestras y que éstas sufren muchos daños en su extracción, por lo que el rango de pruebas que pueden ser realizadas sobre ellas es muy limitado.

Sin embargo, el perfil de presión del lodo y el tipo de formación son importantes para obtener un núcleo con poca invasión de filtrado de lodo. Por lo general, la invasión ocurre dentro de pocas horas de haber perforado la roca antes de que se forme un enjarre efectivo en la pared del pozo. Aún con enjarre, a medida que se incrementa la diferencia entre la presión hidrostática del lodo y la presión de la formación, el filtrado sigue invadiendo la roca sobre todo en areniscas. Los núcleos de pared, tomados posteriormente, son afectados en cierto grado por los siguientes factores:

- ♣ Los sólidos del lodo que entra en el sistema poroso antes que el enjarre se forme
- ♣ La permeabilidad de la formación y el tamaño de las gargantas de los poros
- ♣ La presión diferencial sobre la pared del pozo
- ♣ El tiempo que la pared está expuesta a la filtración del lodo
- ♣ La calidad del enjarre y rapidez con que se forma
- ♣ La composición del filtrado del lodo

Estos factores son críticos para la calidad de los núcleos de pared que se toman. También, influyen muchos de los factores que intervienen al obtener un núcleo convencional. El efecto del barrido de lodo frente a la barrena, aún cuando se utiliza una barrena de baja invasión, puede tener un efecto sobre la calidad del núcleo recuperado.

4.2.1 HERRAMIENTA DE MUESTREO DE PARED POR PERCUSIÓN

Principio del equipo

El núcleo de pared se realiza con la ayuda de un cable de acero, generalmente el mismo que se utiliza en la corrida de registros. Las muestras se toman de la pared del agujero descubierto, los sitios exactos donde las muestras son tomadas se determinan después de haber analizado los registros geofísicos. Tal como implica el nombre, el núcleo de pared tomado por percusión es obtenido de la pared del pozo con un pequeño barril disparado por un explosivo, de la misma forma que se realizan los disparos a la tubería para poner el pozo en producción.

Este dispositivo (cañón) consta de un cuerpo pesado de acero que contiene varios barriles pequeños cortadores de núcleos, que pueden proyectarse separadamente dentro de la pared del pozo desde pequeños disparadores (pistolas) con la ayuda de un poderoso explosivo. Construido mas o menos como un perforador de disparos para producción, la herramienta se baja dentro del pozo por medio de un cable blindado multiconductor, disparándose las cargas eléctricamente desde controles superficiales.

Se baja un cañón de nucleamiento de pared hasta con 30 pistolas. Los barriles son disparados dentro de la formación, hacia la pared del pozo, con cargas de pólvora encendida por medio de impulsos o ignición eléctricos controlados desde la superficie. Los barriles nucleadores, que

funcionan como tubos de extracción de muestras, cortan núcleos de $1\frac{3}{4}$ pulgadas de largo y $13/16$ de pulgada de diámetro, ver Figura 4.44.

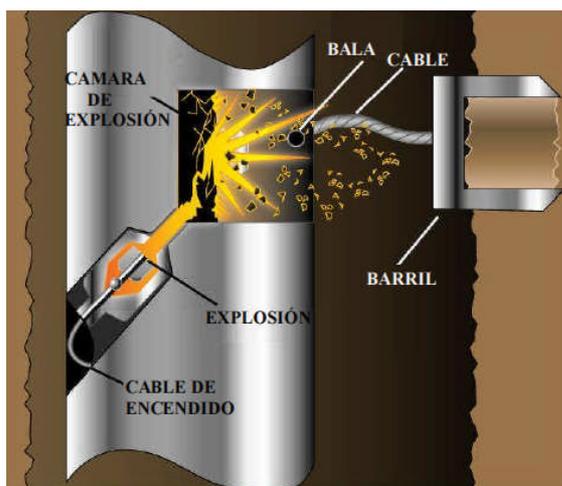


Figura 4.44. Herramienta de muestreo de pared por percusión.

El barril permanece sujeto al cañón y a la pistola, por medio de cables, el cual se puede recuperar mediante la aplicación de tensión al cable que está fijado al cañón; por lo tanto, el barril puede ser extraído de la formación junto con el cañón.

Los cañones para disparar los barriles están diseñados para tomar 25 muestras, pero pueden ser armados en forma múltiple, dependiendo de la sofisticación del equipo utilizado. Las cargas explosivas pueden ser de diferentes magnitudes dependiendo de la consolidación o compactación de las litologías que se estén muestreando.

De igual forma, dependiendo de la sofisticación del equipo, se pueden tomar las muestras selectivamente, moviendo el cañón a la profundidad programada y disparando solo la cantidad de barriles para las muestras que se requieren del intervalo. Las muestras son cortadas en la última etapa de la toma de información, después de los registros geofísicos. En el esquema siguiente, Figura 4.45, se muestra cómo se realiza la recuperación del núcleo de pared por percusión.

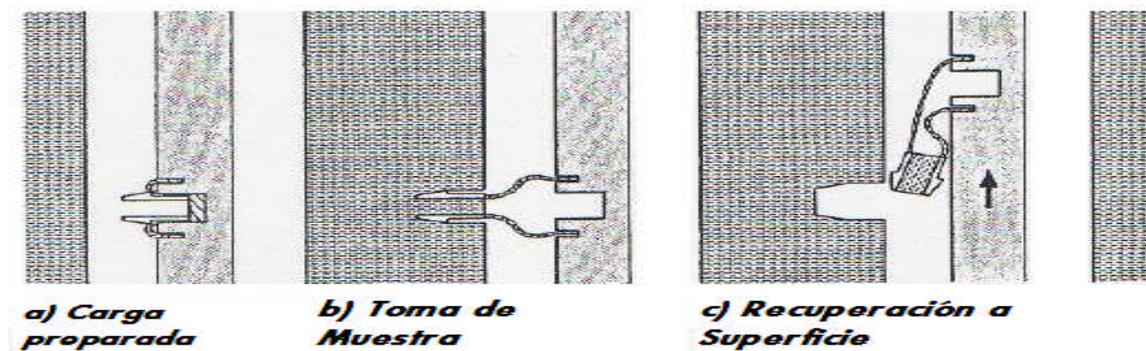


Figura 4.45. a) se encuentra la carga lista para ser disparada; b) se ha disparado el pequeño barril muestreador y c) se recupera la muestra.

Al sacar el cañón del agujero, se recuperan primeramente las pistolas que fallaron y las cargas se remueven de la herramienta.

Se ha notado que las cámaras de disparo de las pistolas perforadoras, con frecuencia contienen fragmentos de la formación de la pared del pozo cuando se sacan a la superficie. La contracción de los gases creados por los explosivos inmediatamente después de su máxima expansión aparentemente forman un vacío que jala fragmentos de rocas, desprendidos por los barriles, hacia adentro de las cápsulas de las cuales se dispararon los proyectiles. La cantidad de material es poca y muy desintegrada para pruebas cuantitativas, pero está bastante limpio y no contaminado con el enjarre del fluido de perforación.

El cañón.

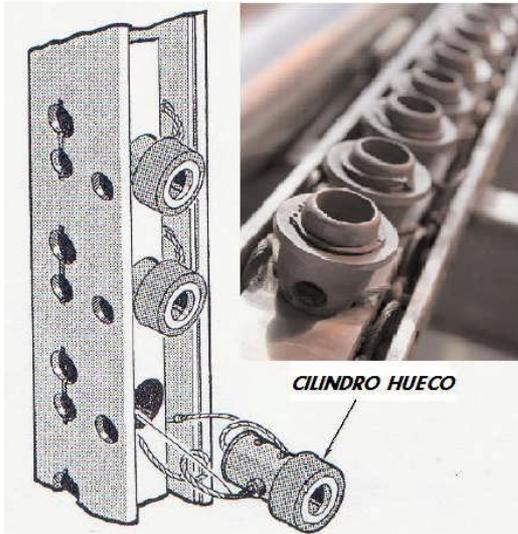


Figura 4.46. Muestra el cañón con la serie de pistolas con los cilindros donde se aloja la muestra.

Este dispositivo consiste de varios cilindros como se muestra en la Figura 4.46, cada cilindro es disparado por una pistola, con una separación entre cada una de ellas a un nivel determinado para la toma de muestras.

El cañón se baja en la perforación sujeto en la punta del mismo cable que se utiliza para el registro geofísico. La conexión al cable está hecha por medio de juntas roscadas, de modo que los cañones pueden intercambiarse con rapidez, en el caso que se utilice más de un cañón.

Existen varios modelos de dispositivos para la extracción de núcleos de pared, de los más comunes se encuentran:

- ♣ Extractor de muestras grande, de 30 disparos. El diámetro y largo máximo de los núcleos son, respectivamente, de $1 \frac{3}{16}$ y $2 \frac{1}{4}$ de pulgada para formaciones blandas y formaciones duras. El mínimo diámetro del pozo en el cual puede usarse el extractor de muestras grande es de $7 \frac{1}{2}$ pulgadas.
- ♣ Extractor de muestras mediano, de 24 disparos. Este instrumento toma testigos de diámetros de 1" y $1 \frac{3}{16}$ ", respectivamente para formaciones blandas y duras, siendo su largo máximo de $1 \frac{3}{4}$ " en ambos casos. El diámetro mínimo requerido del pozo es de $6 \frac{1}{4}$ ".
- ♣ Extractor de muestras pequeño, de 6 y 18 disparos, para formaciones blandas solamente. Los núcleos son de $\frac{3}{4}$ " de diámetro y pueden ser hasta de $2 \frac{1}{4}$ " de largo. El diámetro mínimo de pozo seguro para el modelo de 18 tiros es de $6 \frac{1}{2}$ " y para el modelo de 6 tiros es de $5 \frac{1}{2}$ ".

La eficiencia del cañón depende del tipo de formación que se esté muestreando. Su recuperación promedio es mayor de 70%. Las muestras de pared de pozos son tomadas cuando ya se corrieron los registros eléctricos y/o radioactivos. Estos indicarán las zonas de interés no muestreadas y/o zonas sobre las cuales es deseable mayor información.

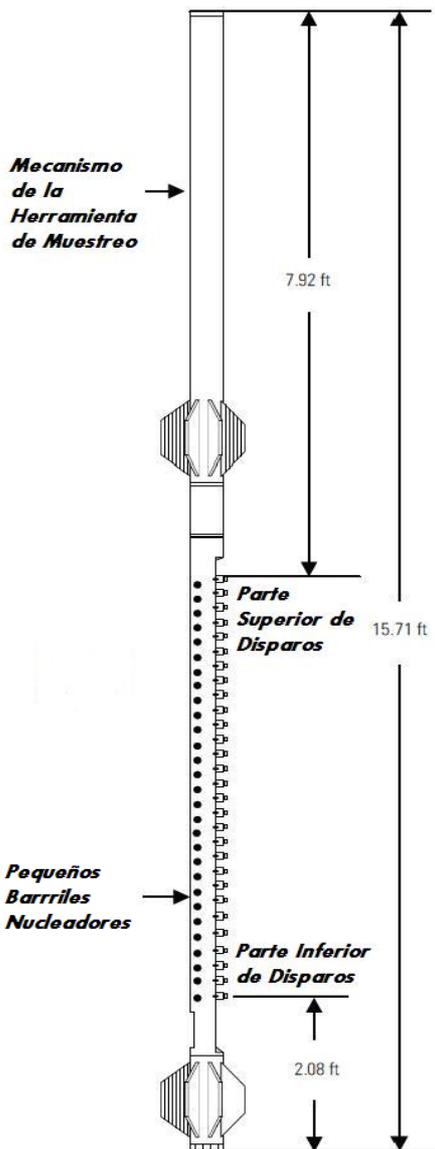


Figura 4.47. Herramienta de muestreo de pared por percusión.

Para fijar con exactitud la profundidad de disparo, el operador trabajará tanto con el registro de potencial espontáneo (SP) como con el registro eléctrico y/o radioactivo con el fin de determinar las profundidades a las cuales es conveniente realizar el muestreo.

En muchas formaciones los barriles grandes recuperan muestras que son de suficiente tamaño para la determinación cuantitativa de porosidad, permeabilidad, contenido de fluidos y otros datos usualmente obtenidos por análisis de núcleos de fondo convencionales. En otros casos, la información obtenida de las muestras es esencialmente cualitativa.

Normalmente, los barriles pequeños cortadores de núcleos penetran varios centímetros dentro de las paredes del pozo, mas allá del enjarre de lodo depositado en las paredes por el fluido de perforación. Por lo tanto, los núcleos están menos contaminados y su contenido de fluidos es probable que se aproxime en composición al representativo del que hay en la formación.

La Figura 4.47 muestra la herramienta completa que se utiliza en la obtención de núcleos de pared del pozo por percusión.

Características de la herramienta .

Ventajas:

- ✓ El método es rápido debido a que se obtienen varias muestras de núcleos en un periodo aproximado de 3 horas y en un solo viaje.
- ✓ El nucleamiento de pared es más barato y puede llevarse a cabo después de que el pozo ha sido perforado pero antes de que sea revestido.
- ✓ Estos núcleos también se pueden emplear para analizar los cambios de la formación que pueden afectar la producción.
- ✓ Los núcleos de pared proveen evidencia física de los datos de los registros eléctricos de la formación y ayudan a determinar si se requieren análisis más detallados.
- ✓ Los barriles muestreadores están hechos de acero de aleación y presentan un filo cortador agudo a la formación.
- ✓ Cada carga se dispara separadamente a cualquier profundidad del pozo que se desee.
- ✓ El diseño de los disparos puede arreglarse para una aplicación específica y lograr la optimización en la recuperación de los núcleos.
- ✓ Se utiliza en operaciones de manera segura por arriba de los 400°F (204.4°C) y 25000 psi (172362 kPa).
- ✓ Los intervalos que se van a muestrear serán determinados con precisión por la inspección de los registro geofísicos.
- ✓ La herramienta proporciona a tiempo real la fase de monitoreo mejorando la localización del disparo por medio de un acelerómetro.
- ✓ Los núcleos de pared normalmente se usan para examinar los contenidos de fósiles.

Desventajas:

- ✗ Las herramientas de percusión algunas veces deterioran las muestras de núcleos, particularmente en formaciones duras.
- ✗ Tratando de evitar que la herramienta se pegue por la rugosidad del agujero. Ciertos disparos pueden fallar, ésto debido a que no se tuvo una ignición adecuada del disparo.

- X Debido a su tamaño, las muestras tomadas con este procedimiento usualmente no son buenas para determinar la porosidad, permeabilidad o saturación de fluidos.
- X Las propiedades de la roca algunas veces resultan alteradas por el impacto de los barriles.
- X En ocasiones, las muestras recuperadas sufren microfracturamiento por compactación o desarreglo intergranular.

4.2.2 HERRAMIENTA DE MUESTREO DE PARED POR ROTACIÓN

La técnica fue desarrollada en los años 80's. En la actualidad existen varios diseños de esta herramienta, pero su principal operación es muy similar en todas ellas. La toma del núcleo de pared con barrena se realiza normalmente después de haber corrido los registros de pozos. La herramienta varía poco entre sus diferentes diseños. Se cortan núcleos de 7/8" o 15/16" en diámetro, con una longitud máxima de 2" aproximadamente, ver Figura 4.48.



Figura 4.48. Muestras de núcleos de pared de pozo obtenidas por el método de rotación.

Las herramientas son capaces de cortar la muestra y guardarla dentro del cuerpo de la sonda, por lo que se pueden tomar varias muestras por corrida. Dependiendo de la litología, presión de formación, esfuerzos sobre la formación, entre otros factores, el corte de una muestra puede durar entre 5 y 30 minutos.

Muestreador Mecánico Rotario De Pared (MSCT)

Es una herramienta con línea de acero hidráulico/eléctrico equipada con una pequeña barrena nucleadora, la cual funciona por medio de un motor de fondo para perforar y recuperar la muestra en todo tipo de superficies de rocas, como se muestra en la Figura 4.49. Está constituida por una sección de rayos gamma para una correlación más exacta de los registros de pozos, una bomba

hidráulica que activa el ancla que retiene a la herramienta contra la pared del pozo. En el interior del barril existen dos juntas universales que van desviadas a un conjunto de sondas internas.

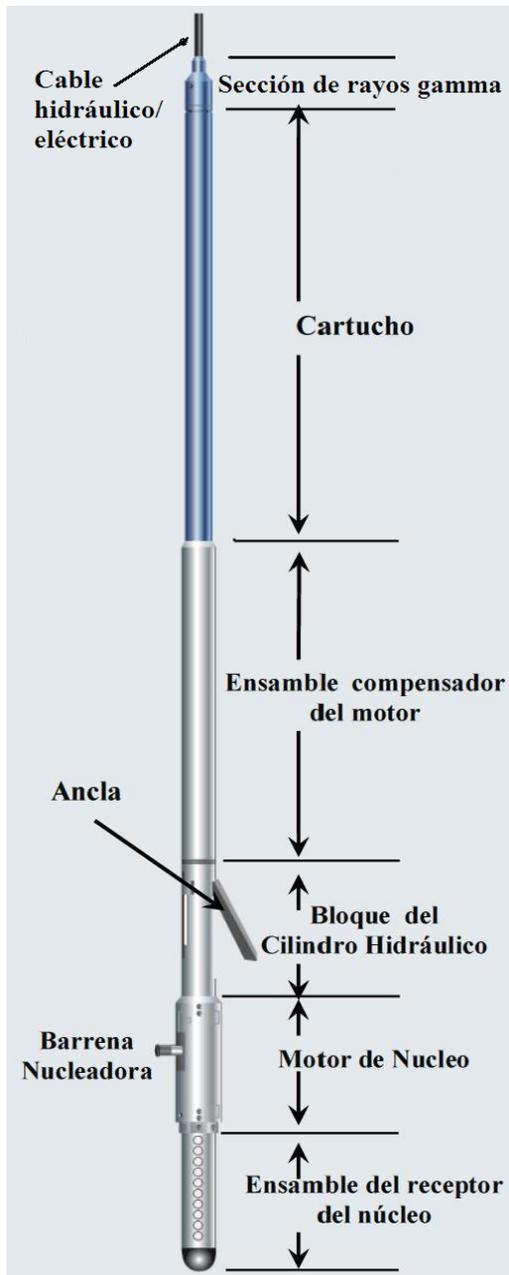


Figura 4.49. Muestrador mecánico rotario de pared.

La herramienta se baja dentro del pozo en el extremo de la columna de perforación con el ancla plegada. Cuando la herramienta está a la profundidad deseada y suspendida en el punto donde se han de sacar las muestras se aplica presión a la herramienta y el ancla se extiende hacia fuera contra la formación aproximándose de esta manera la herramienta a la pared del pozo; al mismo tiempo, el barril que contiene la pequeña barrena muestradora se posiciona frente a la formación, donde puede iniciar el proceso de núcleo. La rotación y la circulación comienza cuando el lodo en movimiento proporciona la fuerza que la barrena requiere, necesaria para activar que el barril interno nucleador quede fuera del barril exterior y frente a la formación.

Cuando el barril interno nucleador está lleno se inclina ligeramente para separar el núcleo de la formación, el barril es replegado hacia la herramienta donde el núcleo es colocado en un tubo de almacenamiento capaz de albergar varias muestras por viaje. Los núcleos son identificados con un balín de acero colocados antes de cada núcleo que ha sido extraído, ver Figura 4.50. La circulación es puenteada y el barril muestrador se mueve a una nueva profundidad para nuclear.

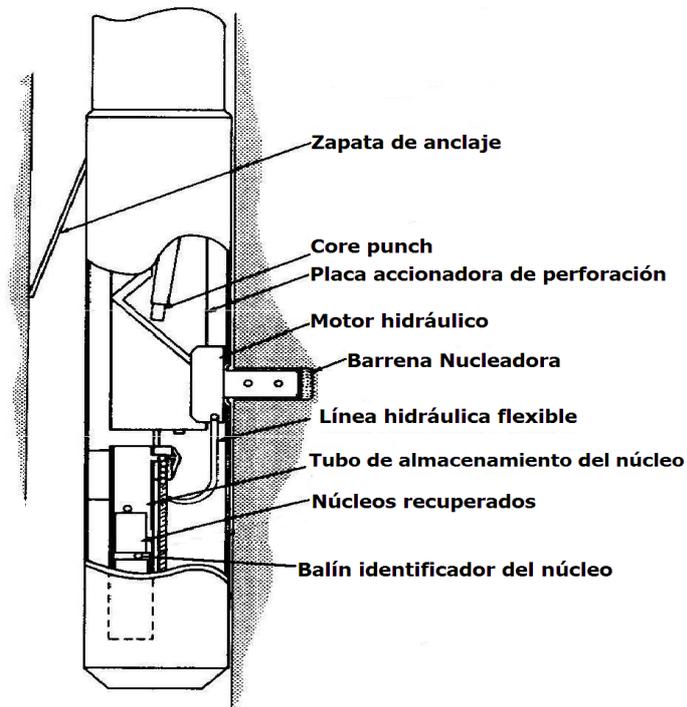


Figura 4.50. Mecanismo de la toma del núcleo de pared por rotación.

Las pequeñas barrenas muestreadoras, como se muestra en la Figura 4.51, están hechas de un



Figura 4.51. Pequeñas barrenas muestreadoras de pared de pozo.

acero especial de aleación de tungsteno, seleccionado para dar un filo duro y fuerte que se trata térmicamente para acentuar esas propiedades. El exterior de cada tubo está biselado del filo de corte al tope para darle resistencia adicional y para facilitar su salida de la formación. El interior de cada tubo está reforzado, siendo más chico en el filo cortante que en la base, ésto permite al núcleo una ligera expansión a medida que entra en el tubo y evita que se caiga al sacarlo del agujero.

Características de la herramienta.

Tabla 4.9. Características de la herramienta de rotación para cortar núcleos de pared.

TEMPERATURA	177 °C [350 °F]
PRESIÓN	Estándar: 138 Mpa [20000 psi] Presión alta: 172 Mpa [25000 psi]
TAMAÑO DE POZO -MÍNIMO	15.87 cm. [6¼ in.]
TAMAÑO DE POZO -MÁXIMO	48.26 cm. [19 in.]
DIÁMETRO EXTERIOR	13.65 cm. [5.375 in]
LONGITUD	9.54 m [31.29 ft]
VELOCIDAD DE NUCLEO	Tiempo de nucleado: 3 a 5 min. por núcleo
RANGOS DE MEDIDAS DEL NÚCLEO	50.8 mm. [2 in] largo x 23.4 mm. [0.92 in] diámetro

Ventajas:

- ✓ Permite tomar 30 o más núcleos en una corrida en pozos horizontales, desviados o extensamente largos.
- ✓ Diseñado para recuperar núcleos en formaciones de rocas duras o muy compactadas inaccesible con herramientas de percusión y puede ser usado con igual éxito en formaciones de rocas suaves.
- ✓ También se pueden obtener núcleos de 1" de diámetro y 1" de longitud, por lo que se tiene una mayor calidad que los núcleos de percusión.
- ✓ Recupera arriba de 20 núcleos en un solo viaje, sin daños asociados con la percusión. Arriba de 50 núcleos pueden ser recuperados, usando un ensamblaje especial opcional.
- ✓ Proporciona muestras de roca sin daños y deformaciones, libres de micro-fracturas, permitiendo un análisis de núcleos más exactos.
- ✓ En combinación con la herramienta de rayos gamma permite correlacionar el control de la profundidad a tiempo-real de los puntos de nucleo.

Desventajas:

- ✗ Se debe tener cuidado en el contacto de la herramienta con la pared, ya que solamente se obtienen las muestras en agujero no entubado y la rugosidad de las paredes le afecta.

La herramienta de muestreo de pared descrita se complementa con la facilidad de análisis de núcleos en pozo, a través de una unidad móvil, que ayuda a una rápida determinación de las propiedades del yacimiento integradas con los datos de registros de pozo, proporcionando una mejor evaluación de la formación. Ayuda a una rápida determinación de porosidad, permeabilidad, mineralogía y la descripción de las muestras para una optimización de la producción. Pero solo una pequeña parte del núcleo obtenido es usado.

Como cualquier muestra de roca que se corte en un pozo, las muestras de pared, recuperadas por percusión o rotación, debe ser preservada tan pronto sean recuperadas, de acuerdo con las pruebas a realizar en el laboratorio. Las muestras son colocadas en tubos, marcadas con la profundidad y nombre del pozo, además de su número consecutivo. La numeración debe seguir la misma secuencia en la cual fueron obtenidas, normalmente del fondo hacia arriba. Antes de colocar las muestras en el recipiente, se pueden envolver en papel plástico para prevenir la deshidratación y evaporación de los fluidos móviles. El papel servirá de protección a las muestras durante el transporte al laboratorio. También se pueden practicar las técnicas de enfriamiento y congelamiento de las muestras de pared antes de ser transportadas al laboratorio. Los tubos deben llevar sello de teflón en sus tapas para asegurar un sello hermético. Esto es debido a que frecuentemente el gas acumulado en el recipiente es analizado por técnicas cromatográficas.

4.3 NUCLEO DEL FONDO DE MAR EN AGUAS PROFUNDAS

Durante años recientes, muchos cambios e innovaciones en las técnicas y equipos de perforación y núcleo del fondo del mar en aguas profundas han sido desarrollados. Los proyectos son principalmente programas de investigación geológica enfocada directamente a la toma de núcleos para relacionar la historia y la evolución de los océanos profundos. El fondo de los océanos y sus sedimentos y rocas subyacentes guardan un registro de alta resolución tanto de la historia de la Tierra como de sus condiciones actuales. Los programas de perforación y extracción del núcleo proporcionan respuestas para una mejor comprensión de los recursos minerales y energéticos. Los avances registrados en la tecnología de perforación, extracción de núcleos y adquisición de registros han facilitado importantes descubrimientos.

Las técnicas de extracción de núcleos desarrolladas para fondo de mar se diseñaron cuando se llevaron a cabo diversos programas de perforación de pozos profundos en los océanos con fines científicos: Proyectos de Perforación Marina Profunda (DSDP - Deep Sea Drilling Project) y Programas de Perforación de Pozos Profundos en el océano (ODP - Ocean Drilling Program), cubriendo la totalidad de los océanos con excepción del Océano Antártico que se encuentra cubierto de hielo. Tales programas de perforación se realizaron utilizando barcasas o embarcaciones convenientemente acondicionadas.

La siguiente cronología indica los descubrimientos científicos y los avances tecnológicos en proyectos marinos de muestreo de rocas en los fondos marinos.

- 1968** Descubrimiento de domos salinos en el golfo de México en un tirante de agua de 1067 m.
- 1975** Utilización de cono de re-entrada para reingresar en un pozo en un tirante de agua de 5519 m.
- 1979** Pruebas de extracción de núcleos con pistón hidráulico (HPC) para recuperar muestras de sedimentos sin perturbar.
- 1982** Recuperación de núcleo de hidratos de gas, de 1 m de longitud.
- 1989** Utilización de barrenas para la extracción de núcleos con diamante para perforar a través de la corteza dura en los océanos.
- 1995** Recuperación de muestras con extractor de núcleos a presión, a altas presiones locales.
- 1997** Recuperación de núcleos antiguos de sedimentos blando correspondiente al límite del Cretácico/Terciario.
- 2002** Prueba exitosa del sistema de adquisición de registros durante la extracción de núcleos con la herramienta de resistividad frente a la barrena (RAB).

Se consideran aguas profundas a aquellas que presentan una profundidad mayor de 500 metros y ultra-profundas aquellas con más de 2000 metros de profundidad. Los sedimentos en aguas profundas varían en espesor de 610 a 760 m aproximadamente. Los sedimentos superiores son usualmente muy suaves (limonitas calcáreas y/o de silicio cerca del Ecuador y arcillas fosilíferas en las latitudes altas) y gradualmente llegan a consolidarse (calizas y lutitas cerca del basamento). En ciertos ambientes dificultosos, por ejemplo, en intercalaciones de roca dura y roca blanda, las rocas se deterioran después de la perforación, lo que se traduce en recuperaciones de núcleos y toma de registros pobres.

El mejoramiento de la recuperación de núcleos en aguas profundas no contaminadas e inalteradas es objetivo importante. La contaminación producida por el proceso de perforación puede afectar los estudios de las propiedades magnéticas, la estructura sedimentaria, la microbiología y la textura de las muestras de núcleo. Las tecnologías de perforación y muestreo de los programas de perforación en los océanos han sido adaptados a la dureza de las rocas y la litología.

En aguas profundas el sistema de núcleo rotario básico (RCB) es uno de los más utilizados. El uso de barrenas nucleadoras tipo PDC, diamante y de conos mantienen eficientemente la rotación en diferentes tipos de litologías. Sistemas de ODP sin viajes de la sarta de perforación tienen innovaciones específicas que incluyen técnicas de extracción de núcleos con pistón de avanzada (APC), para el muestreo de rocas suaves a rocas de dureza intermedia, un barril nucleador extendido (XCB) y un barril nucleador de diamante para la extracción de núcleos en rocas de dureza intermedia a rocas duras.

En general, los ensambles en el fondo del pozo (BHA, por sus siglas en inglés) son parecidos para todos los sistemas, están constituidos por la barrena muestreadora, el barril muestreador externo, el ensamble superior al barril y los lastrabarrenas (drill collars). El barril muestreador externo es el encargado de soportar el sistema de la línea de acero que recupera el barril muestreador interno, que se encuentra dentro del barril externo y es el que recibe al núcleo. Los lastrabarrenas son segmentos de tubería que proporcionan peso sobre la barrena.

Cuando se perfora utilizando un tubo que va de la superficie hasta la barrena (riser), el fluido de perforación circula por el tubo, a través de la barrena y luego retorna a la superficie junto con los recortes de rocas por la parte externa de la columna de perforación. Sin no se usa riser, el fluido de

perforación sale por la parte superior del pozo derramándose sobre el lecho marino y no retorna a la superficie. No obstante, dado que no se agrega ningún sólido, no se forma ningún enjarre de filtración. Sin enjarre, el pozo es menos estable, lo que puede conducir a un colapso. Por lo tanto, fue preciso desarrollar tecnología para solucionar los problemas asociados con el movimiento vertical de la embarcación, la estabilidad de los pozos, la re-entrada de pozos y otras cuestiones técnicas. El reingreso en un pozo en el fondo del océano se logró con la utilización de un equipo de cono de re-entrada.

El arreglo de cono de re-entrada comprende un embudo de re-entrada instalado en una placa de soporte que descansa sobre el fondo marino y una cubierta para soportar las sartas de revestimiento múltiples. El sistema de re-entrada es ancho en la parte superior, por encima del lecho marino, y se estrecha en la parte inferior cerca de la base del fondo marino, lo que facilita que el embudo guíe a la columna de perforación dentro del pozo. El cono de re-entrada permite reingresar en un pozo en viajes múltiples para profundizarlo o para la obtención de mediciones y muestras de rocas de fondo de pozo a largo plazo.

El programa de operaciones (ODP, por sus siglas en inglés) emplea diferentes sistemas de núcleo y barrenas nucleadoras para obtener núcleos continuos en todo tipo de sedimentos oceánicos y basamentos. Una vez que el sistema de nucleado es seleccionado, basado en la litología y en el desempeño de la barrena en áreas o litologías similares anteriores, se determina el tipo de barrena nucleadora que será utilizada. Si las condiciones de muestreo de roca cambian, la barrena puede ser cambiada con el fin de mejorar la recuperación y la velocidad de penetración.

Una vez que la barrena es removida, es clasificada (examinada para determinar el desgaste sobre la estructura de los cortadores, el calibre, cojinetes, etc., basándose en los estándares de la industria) para optimizar el rendimiento en el muestreo de rocas en aguas profundas.

Las barrenas nucleadoras son clasificadas de acuerdo a la estructura de los cortadores y al tipo de cojinetes. Existen diferentes tipos de barrenas nucleadoras usadas por la ODP basados en el principio de funcionamiento y estructura de la misma.

- ♣ Barrenas de arrastre tienen superficie plana para formaciones suaves (arcillas).
- ♣ Barrenas de PDC para formaciones suaves y formaciones duras (lutitas o basaltos).
- ♣ Barrenas cónicas para formaciones suaves o duras diseñadas con una combinación de procesos tanto de compresión como de desgaste.
- ♣ Barrenas tipo martillo utilizan el método de percusión. Es muy común en pozos de aguas muy someros. El sistema de recuperación APC utiliza el corte por pistoneo que es muy similar al acústico o de martillo.
- ♣ Barrenas pequeñas llamadas “zapatitas cortadoras” son ensambladas en el fondo del barril nucleador interno y tiene la finalidad de anticiparse a la barrena primaria para cortar el núcleo y evitar el desgaste debido a la fuerza de la barrena primaria, se utiliza para formaciones suaves. Son usadas comúnmente por la ODP con las barrenas de rodillos cónicos.

4.3.1 BARRIL MUESTREADOR ROTARIO BÁSICO (RCB)

El barril muestreador rotario básico (RCB, por sus siglas en inglés) cuenta con un barril muestreador interno que se aloja en el fondo del arreglo de fondo. La barrena principal corta el núcleo de 2.312 [pg.] mientras la tubería sigue girando permitiendo que el barril interno quede en forma estacionaria teniendo la capacidad de alojar hasta 9.5 [m] y que se puede recuperar con línea de acero. La estructura de la herramienta permite la continuidad de la rotación de la tubería y la circulación del fluido de perforación mientras se recupera la sección de núcleo, Figura 4.52.

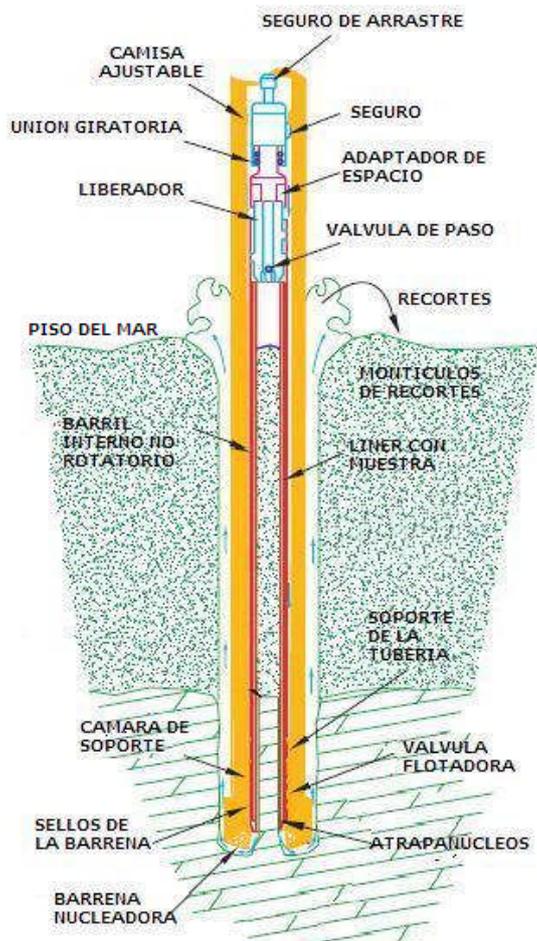


Figura 4.52. Esquema de la herramienta RCB y componentes principales, la imagen muestra el esquema de trabajo de la herramienta.

Cuenta con un mecanismo que puede ser operado con cable para poder soltar una barrena en el pozo, esto provee un ensamble de fondo (BHA) con un amplio panorama para la toma de registros de pozo. El beneficio es que se pueden tomar registros de pozo después de recuperar la muestra sin tener que realizar un viaje especial para instalar el ensamble de registros de pozo.

La recuperación continua de núcleos a través de cable; por ejemplo, es normal en casi todos los pozos perforados a través de Programas de Perforación en el Océano (ODP, *Ocean Drilling Program*). Sin embargo, en la industria petrolera los programas de nucleado, normalmente se limitan a intervalos clave debido al tiempo y costo que conllevan.

Los pozos perforados en ODP a más de 2,000 m de profundidad sin una tubería de elevación (*riser*) en aguas semiprofundas y profundas que van de los 500 m a los 6,000 m. El agua de mar es empleada a altas presiones, para limpiar el agujero de recortes.

Se puede perforar con una barrena centradora sin la recuperación de la muestra, esto se utiliza para perforar en formaciones duras, y es colocada en el barril muestreador interno en el cual se puede bloquear la rotación del barril externo. El beneficio es que la barrena centradora se puede cambiar para tener un muestreo intermitente dependiendo de la dureza de la formación.

Ventajas

- ✓ Este es un sistema diseñado para recuperar muestras de formaciones de dureza media a duras y de basamentos ígneos o metamórficos.
- ✓ La herramienta está diseñada de manera rugosa para poder utilizarla en sedimentos abrasivos, sedimentos duros fracturados y basamento ígneo.
- ✓ El beneficio es que se tiene un mayor tiempo de operación de la barrena e incrementa la penetración en formaciones duras.

Desventajas.

- ✗ *No se pueden recuperar muestras de sedimentos suaves o granulares como arenas, formaciones fracturadas o gravas.*

4.3.2 NUCLEO DE PISTÓN AVANZADO (APC)

EL sistema de núcleo de pistón avanzado (APC, por sus siglas en inglés) ha sido desarrollado para recuperación de núcleos en sedimentos suaves con un porcentaje de recuperación del 100 % y ha resultado ser una eficaz herramienta para la toma de núcleos especialmente en capas de sedimentos superiores suaves. El sistema ha sido usado de forma rutinaria con una recuperación aproximada del 90% en la mayoría de los pozos. En la Figura 4.53 se muestra un esquema de este nucleador.

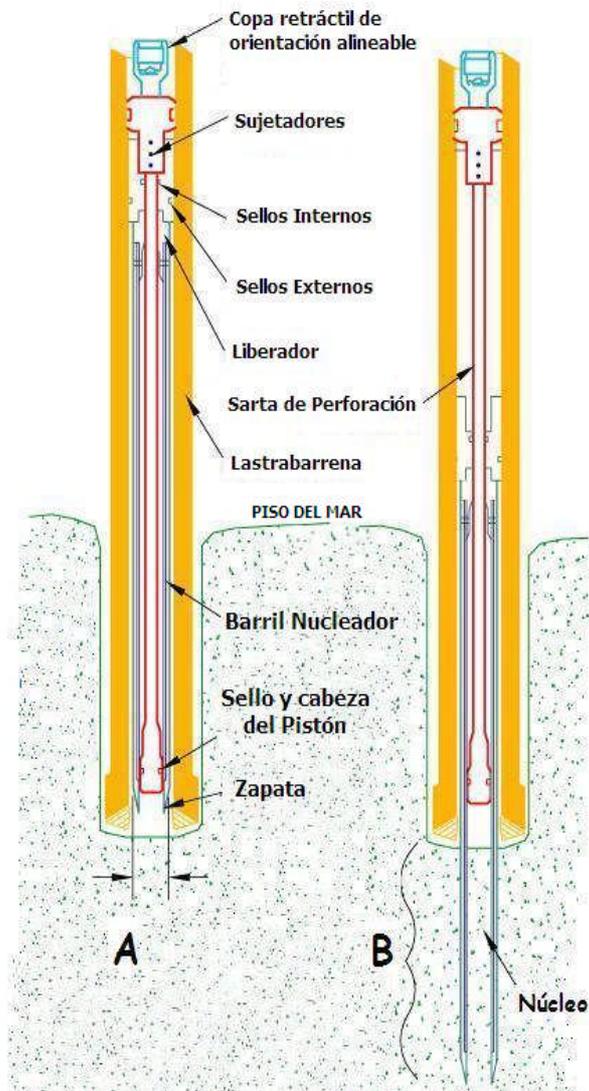


Figura 4.53. Esquema del funcionamiento de la herramienta APC y sus componentes principales. (a) antes de la recuperación del núcleo, (b) durante la recuperación del núcleo.

El barril nucleador es bajado y recuperado por medio de una línea de acero a través de la sarta de perforación. Por lo tanto, el funcionamiento es repetitivo y pueden tomarse núcleos continuos de alta calidad a través de secciones de sedimentos no litificados. También está diseñado para una penetración sub-fondo total aproximándose a los 300 metros bajo el piso del mar y utiliza principalmente un pistón hidráulico.

El fluido es bombeado a través de la tubería de perforación que activa un pistón en el barril nucleador, el cual es expulsado a través de la barrena nucleadora a una velocidad aproximada de 3 a 7 m/seg. Esta velocidad alta eficazmente desengancha el barril nucleador del movimiento de la sarta de perforación. La fuerza aproximada del pistón es de 23000 – 28000 [lb_f] y la presión de la bomba es de 2300 a 2800 [lb/pg²].

El APC es colocado hasta el fondo del pozo y se aplica presión a través de la tubería lo que provoca que el pistón se introduzca hacia la formación, una vez accionado el mecanismo del pistón, se retrae el barril contenedor por medio de cable de acero. La estructura de la herramienta permite la continuidad de la rotación de la tubería y la circulación del fluido de perforación mientras se recupera la sección de núcleo.

Ventajas:

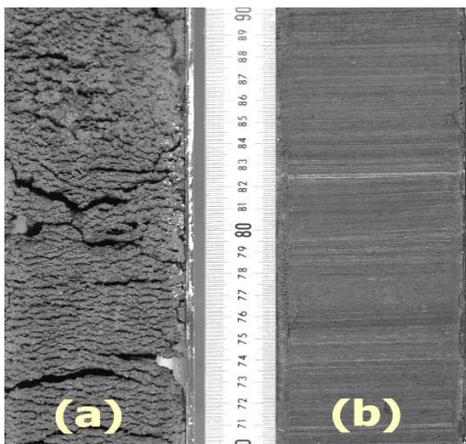
- ✓ Despliegue por medio de cable. La herramienta es desplegada y recuperada por medio de la línea de acero para evitar el accionamiento de los retenedores, los cuales determinan la profundidad de penetración del barril dentro de la formación. Su mayor beneficio es que ahorra tiempo debido a la rápida recuperación del barril muestreador.

- ✓ Orientación de la Muestra. Puede ser orientada con respecto al campo magnético terrestre colocando la herramienta de orientación arriba del barril muestreador. El mayor beneficio que se tiene con la orientación es que se pueden recuperar muestras específicamente para estudios paleo-magnéticos.

- ✓ Medición de la temperatura *in-Situ*. La herramienta cuenta con un termostato que detecta la temperatura de la formación. Esto permite determinar el flujo calorífico para tomar las medidas de seguridad pertinentes al fluido de perforación y fluidos de la formación.

Desventajas:

- ✗ No es capaz de recuperar en formaciones granulares como arenas, puede producir atascamientos en sedimentos firmes y la calidad de las muestras es deficiente



En la Figura 4.54, se muestra la calidad de los núcleos comparando el método de recuperación rotario contra el de pistón.

Figura 4.54. Calidad de núcleos: (a) obtenido por método rotario y (b) obtenido por pistón.

4.3.3 BARRIL MUESTREADOR EXTENDIDO (XCB)

Esta herramienta es utilizada para estudios sedimentológicos, climáticos o paleo-oceanográficos. Es posible recuperar muestras de 9.5 [m] de longitud de formaciones suaves a moderadamente duras. Es utilizada cuando la formación se vuelve demasiado rígida para el muestreador de pistón (APC) o para formaciones que no son lo suficientemente duras para el barril muestreador rotario básico (RCB).

El muestreador central de la herramienta se puede desplazar más allá de la barrena y se retrae cuando encuentra una litología más dura o cuando el peso sobre la barrena se incrementa. Utiliza el mismo ensamble de fondo (BHA) que la herramienta de pistón. El funcionamiento básico de la herramienta recae sobre el giro de la barrena mientras el elemento muestreador corta el núcleo de la formación, ver Figura 4.55.

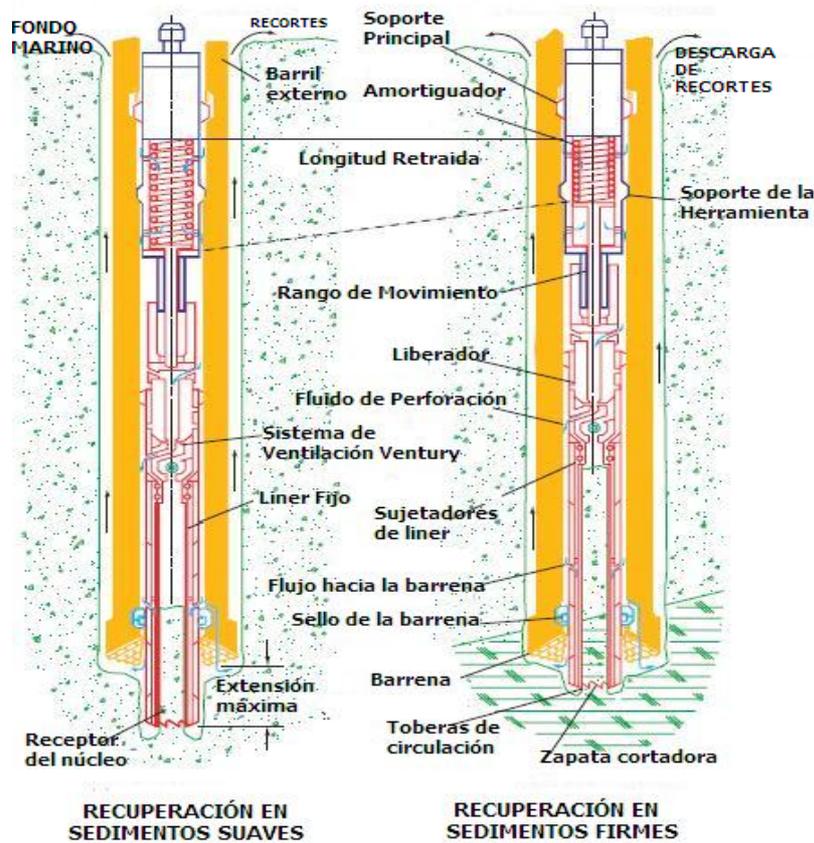


Figura 4.55. Esquemas de la herramienta XCB en dos escenarios diferentes, a la izquierda se tiene el esquema de la herramienta utilizada en sedimentos suaves, a la derecha en sedimentos más consolidados.

Esta herramienta utiliza el mismo BHA que el muestreador de pistón, por lo que ahorra tiempo eliminando corridas de tubería innecesarias, ya que se pueden intercambiar las herramientas en caso de ser necesario.

Se tiene un barril interno que permite que la muestra permanezca relativamente estacionaria a la formación, lo que reduce la transmisión del torque a la muestra, muy útil en formaciones laminadas. El beneficio es que se reduce la perturbación de los sedimentos causados por la transmisión del torque, aumentando la calidad de la muestra.

La herramienta utiliza la zapata cortadora que se posiciona afuera de la barrena principal, lo que reduce sustancialmente el “lavado prematuro” de la muestra; ésto se refiere a que la muestra no es dañada por el chorro de fluido de perforación de las toberas de la barrena. El beneficio que se tiene es que reduce el deterioro de la muestra si ésta es de formaciones suaves o moderadamente duras.

- **Formaciones suaves.** Los dientes de la herramienta están contruidos con carburo de tungsteno, con los cuales se corta la muestra.
- **Formaciones moderadamente duras.** En este caso las barrenas cuentan con cortadores que contienen diamantes como son las PDC (Compactos de Diamante Policristalino), cortadores impregnados de diamantes, con superficie de diamantes o con diamantes artificiales térmicamente estables.

Ventajas

- ✓ El beneficio que se tiene con esta característica es que la muestra se mantiene con mayor calidad si se extraen sedimentos suaves a moderadamente duros.

Desventajas

- ✗ La herramienta no recupera núcleos en formaciones muy suaves, granulares como arenas, en formaciones altamente fracturadas y rocas ígneas.

A continuación, la Tabla 4.10 muestra un resumen de las características más importantes de las herramientas mencionadas anteriormente.

Tabla 4.10. Especificaciones técnicas de las herramientas de muestreo de rocas RCB, APC, XCB.

		TIPOS DE HERRAMIENTAS DE MUESTREO DE ROCAS EN EL FONDO DE AGUAS PROFUNDAS		
		RCB	APC	XCB
RANGOS TÍPICOS DE OPERACIÓN	TIPO DE FORMACIÓN	Para todo tipo de formación pero en formaciones suaves la calidad es muy pobre	Sedimentos limos firmes a suaves, carbonatos, arcillas	Calizas firmes a moderadamente firmes, dolomitas y limitada penetración en basalto.
	PROFUNDIDAD	Desde el lecho marino hasta el basamento ígneo. Limitado a 230°C	100 a 300 m bajo el piso del mar	Hasta 700 m bajo el piso del mar
	% DE RECUPERACIÓN DE NÚCLEOS	50% - 75% en sedimentos firmes 20 al 35% en rocas ígneas y metamórficas.	100%	55% - 75% en sedimentos 15% - 35% en basalto
	VELOCIDAD DE RECUPERACIÓN DEL NÚCLEO	19 - 1.3 m/ hr.	28.5 - 9.5 m /hr.	19 - 4.5 m/hr.
	VELOCIDAD DE PENETRACIÓN	Puede tener un aproximado de 4 a 20 m / hr.	Aproximadamente 70 - 30 m/hr.	Aproximadamente 30 - 12 m/hr.
	LONGITUD Y DIÁMETRO DE LA MUESTRA	9.5 [m] y 5.7 [cm] respectivamente	9.5 [m] y 6.2 [cm] respectivamente	9.5 [m] y 6.0 [cm] respectivamente

4.3.4 BARRIL MUESTREADOR CON DIAMANTES (ADCB).

Esta herramienta es utilizada cuando se requiere recuperar núcleos continuos en formaciones firmes o bien consolidadas, hasta en rocas ígneas en dónde los demás métodos ya mencionados son ineficientes. Utiliza tecnología de insertos de diamante para incrementar tanto la cantidad como la calidad de los núcleos.

La herramienta utiliza un ensamble de fondo de 6 ¾ [pg.] y requiere de un agujero de por lo menos 20 [m] de profundidad para su utilización y para empezar a cortar los núcleos. El funcionamiento de la herramienta recae en la rotación de la tubería y generalmente se perfora con una barrena de 7 ¼ [pg.], como se muestra en la Figura 4.56.

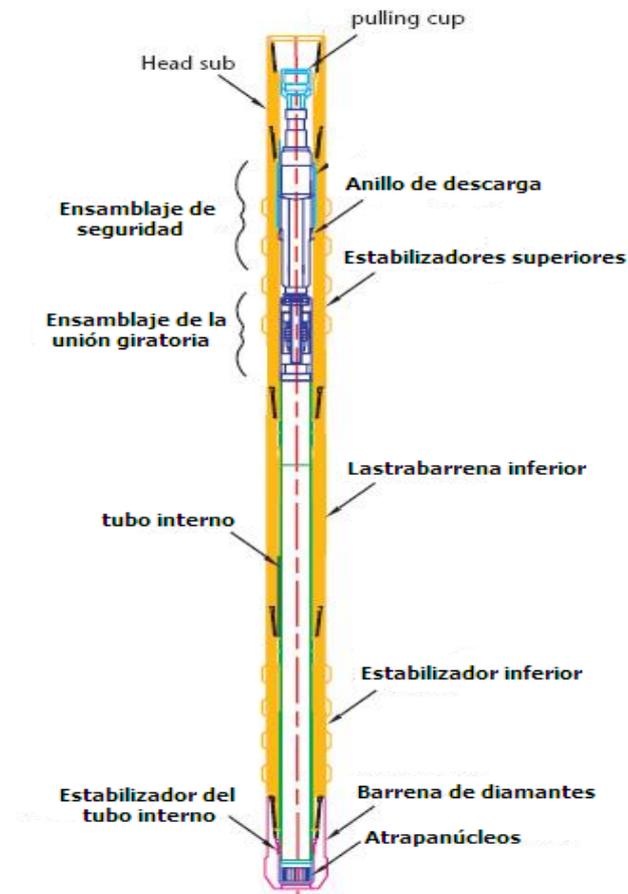


Figura 4.56. Esquema de operación de la herramienta ADCB y sus principales componentes.

La herramienta utiliza una barrena con diamantes para cortar la muestra e incorpora un indicador de presión para monitorear el estado de la muestra y no dañarla en caso de atascarse. El mayor beneficio es que se incrementa la cantidad y calidad de núcleos en formaciones duras, en formaciones intercaladas (secuencias con dos o tres litologías) y en formaciones poco consolidadas.

Ventajas.

- ✓ Se incrementa la calidad en los registros geofísicos ya que se tiene un agujero más regular, menos rugoso y más estrecho en comparación con un agujero perforado con un método rotario convencional.
- ✓ Se obtienen núcleos con diámetros de 8.3 cm y sin tubería de revestimiento (liner) de 8.5 cm, con una longitud del núcleo de 4.75 m.
- ✓ Contiene un indicador que permite confirmar que la muestra se encuentra ya dentro del barril muestreador.
- ✓ Diseñada para formaciones duras bien consolidadas e ígneas.
- ✓ Tiene reductores de vibración, los cuales son una serie de cortadores laterales.

Desventajas.

- X No es capaz de recuperar muestras en sedimentos suaves ni granulares como arenas o gravas. Requiere de un buen control en cuanto al peso sobre la barrena. El barril muestreador puede ser sacado anticipadamente, pero se pierde parte de la muestra cuando ésta presenta atascamientos.

- X La profundidad está limitada por el diámetro de los lastrabarrenas (drill collars), además debido a que los núcleos obtenidos con esta herramienta tienen mayor diámetro, es difícil su manejo sobre plataformas en perforaciones marinas debido a cuestiones de espacio.

4.3.5 MUESTREADOR CON MOTOR DE FONDO (MDCB).

Esta es una herramienta retráctil, compatible con los métodos de recuperación APC y XCB. Está diseñada para formaciones de roca cristalina fracturada, roca intercalada tanto suave como dura y conglomerados no bien consolidados.

Esta herramienta tiene un barril muestreador, que tiene la característica de no rotar al momento de estar cortando el núcleo de la formación. Esto reduce el esfuerzo sobre el núcleo y aumenta su calidad y recuperación.

Está compuesta por la sección del motor de fondo, una sección de empuje, la sección del barril interno y la barrena cortadora. El motor es alimentado de forma hidráulica por el fluido de perforación y la sección de empuje utiliza la fuerza hidráulica para producir peso sobre la barrena e impulsar el barril muestreador interno. En la Figura 4.57 y la Tabla 4.11 se muestra un esquema de este equipo y sus características técnicas principales, respectivamente.

Las limitaciones del muestreo con motor de fondo es que no trabaja bien con formaciones suaves o poco consolidadas o granulares, además debido a la longitud de las muestras requiere de más tiempo en comparación con aquellas herramientas que obtienen muestras del doble de longitud.

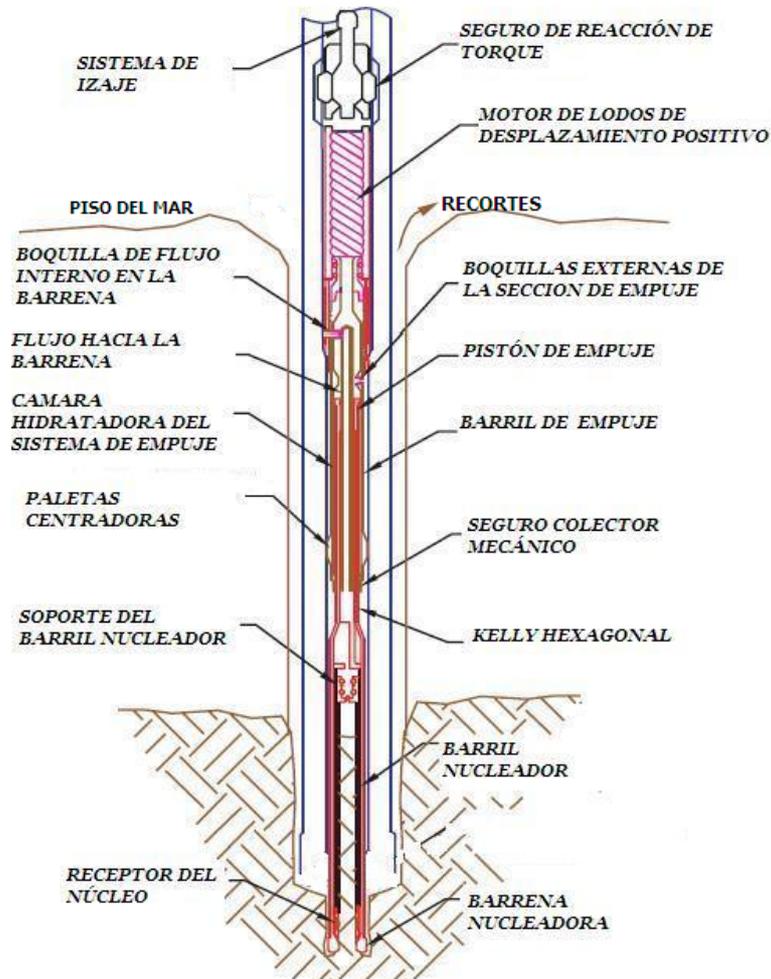


Figura 4.57. Esquema del barril nucleador con motor de fondo y sus componentes principales. Se aprecia en la figura el funcionamiento del barril muestreador interno.

Tabla 4.11. Características técnicas del barril nucleador con motor de fondo.

Presión del motor	1160 [lb/pg ²]
Velocidad de bombeo	190 [gpm]
Velocidad de la barrena	410 [rpm]
Velocidad de flujo de la barrena	15-35 [gpm]
Potencia de alimentación	96 [hp]
Peso sobre la barrena	2000 -8000 [lb]
Torque	1250 [ft-lb]
Eficiencia de recuperación	83%
Diámetro del núcleo	57 [mm], 2.25 [pg]
Longitud del núcleo	4.5 [m]

4.4 NUCLEO Y TOMA DE REGISTROS SIMULTANEAMENTE

Durante mucho tiempo ha sido práctica común en los pozos petroleros tomar muestras de las formaciones del subsuelo mediante el corte de núcleos en el fondo del agujero siguiendo diversas técnicas de acuerdo, principalmente, al tipo de pozo, a las características de las rocas por nuclear y a la aplicación de los resultados de los análisis de campo y de laboratorio que se realicen. Posterior a esta operación se toman registros geofísicos de pozo, generalmente con cable. En casos especiales, después de realizar la perforación de cierto intervalo en un pozo se toman primero los registros geofísicos y posteriormente se cortan las muestras de roca por medio de núcleo en la pared de pozo.

En ambos procedimientos se requiere de tiempo, en ocasiones mucho tiempo, para disponer de la información que proporcionan ambas fuentes (núcleos y registros) para combinarlas y llevar a cabo caracterizaciones y evaluaciones más confiables de las formaciones o de los yacimientos petroleros.

Actualmente, se ha propuesto una nueva tecnología llamada Registro Durante el Nucleado (*logging while coring*), o sea, corte de núcleo y toma de registros al mismo tiempo. El principal objetivo de esta tecnología, es reducir el tiempo requerido para correr un registro después de que la perforación y el nucleado han sido terminados en el pozo.

La unión de las tecnologías de nucleado y registros durante la perforación, proporciona dos conjuntos de datos vitales sin tener que sacrificar tiempo, o aumentar los riesgos asociados con largos periodos de tiempo en que el pozo está abierto sin circulación de lodo. La combinación de estas dos técnicas, tiene dos beneficios principales:

- ✓ Reduce el tiempo requerido para obtener un registro después de que se ha terminado la perforación y la toma de núcleos dentro del agujero.
- ✓ Realiza mediciones *in situ* usando registros LWD sobre el mismo intervalo nucleado en un pozo en particular.

Este nuevo método se utiliza para el corte de núcleos y en forma simultánea realizar mediciones en la formación, de alta resolución, de la porosidad y saturación de fluidos. El método se basa en un banco de sensores localizados en el interior del barril de núcleos, directamente por encima de la barrena. Los sensores permiten realizar mediciones que se toman a medida que el núcleo va entrando al barril y pasa por el arreglo de sensores. La geometría cilíndrica bien definida del núcleo permite construir una imagen de su sección transversal (tomografía) con una alta resolución (escala de cm). El núcleo puede ser recuperado en superficie, o desechado como recortes.

Este es un método para obtener, durante las operaciones de nucleado, datos de propiedades geológicas y petrofísicas de formaciones subterráneas. La conveniencia de tener un sistema que es capaz de medir en pozo propiedades de la formación y al mismo tiempo extraer núcleos de la misma, ha sido ampliamente reconocida. Pero hasta ahora no ha sido posible coleccionar núcleos de gran diámetro de forma continua y tomar datos *in situ* de forma simultánea.

Además, la tecnología LWD toma imágenes durante la perforación y la herramienta de resistividad frente a la barrena (RAB), ayudan a identificar las fracturas naturales inmediatamente después de perforar más allá de las mismas. La incorporación de información sobre fracturas naturales y propiedades mecánicas de las rocas en los diseños de las operaciones reduce el riesgo de abrir las fracturas naturales o de fracturar accidentalmente la formación, situaciones ambas que podrían causar pérdidas de circulación.

PRINCIPIO DE LA NUEVA TECNOLOGÍA

Sistemas conocidos para la obtención simultánea de núcleos y registros (LWD), emplean una serie de tuberías, denominadas tubería de perforación y lastrabarrenas, para perforar el pozo en la formación. El extremo inferior de la sarta de perforación, llamado ensamble de fondo de pozo (BHA), contiene un mecanismo de corte (barrena) que se encuentra de forma concéntrica. Un lastrabarrena, colocado cerca de la barrena, incluye sensores para medir varias propiedades de la formación, lo que se conoce como herramienta LWD.

La tecnología requiere principalmente un dispositivo rotario de nucleado situado en el extremo de la sarta de perforación, un lastrabarrena y un barril de núcleos, teniendo herramientas LWD colocadas en el lastrabarrena. El dispositivo de nucleado es usado para obtener muestras de la formación. La herramienta combina un dispositivo de nucleado de pozo con un lastrabarrenas para tomar mediciones LWD. El dispositivo de nucleado tiene un barril cortanúcleos con una barrena nucleadora colocada en el extremo inferior, la cual corta un agujero anular en la formación. El núcleo de roca resultante entra en el barril de núcleos y es colocado en su lugar por un receptor de núcleos.

Las mediciones de las propiedades de la formación, se realizan mientras se lleva a cabo el proceso de nucleado. Los sensores para medir propiedades de la formación funcionan mediante una batería interna contenida en el lastrabarrena. Los datos de las propiedades de la formación son guardados en un dispositivo de memoria, como una Memoria de Acceso Aleatorio (RAM) y/o comunicados por un sistema de transmisión de datos a la superficie.

El propósito de esta herramienta es proponer una solución a los problemas mencionados anteriormente. Uno de los objetivos es procurar que el lastrabarrenas permita que el barril de núcleos pase a través de él y que sea capaz de realizar mediciones en tiempo real.

Un esquema del diseño del sistema de corte de núcleos y toma del registro eléctrico durante el nucleado (LWC) se muestra en la Figura 4.58.

Esta tecnología tiene las características que se presentan a continuación:

- ⊕ El ensamble de pozo para desarrollar operaciones de corte de núcleo y toma de registros durante el nucleado incluyen una barrena cortanúcleos, colocada en el extremo del ensamble, y un barril para núcleos acoplado a la mencionada barrena. El ensamble también contiene un lastrabarrenas con, al menos, un sensor de registro. El lastrabarrena permite que el barril de núcleos pase a través de él.

- ⊕ El ensamble de fondo de pozo también incluye herramientas LWD, receptor de núcleos, uno o más dispositivos de vibración (sacudir), uno o más estabilizadores, una batería de alimentación (por lo menos uno de los sensores de registros).

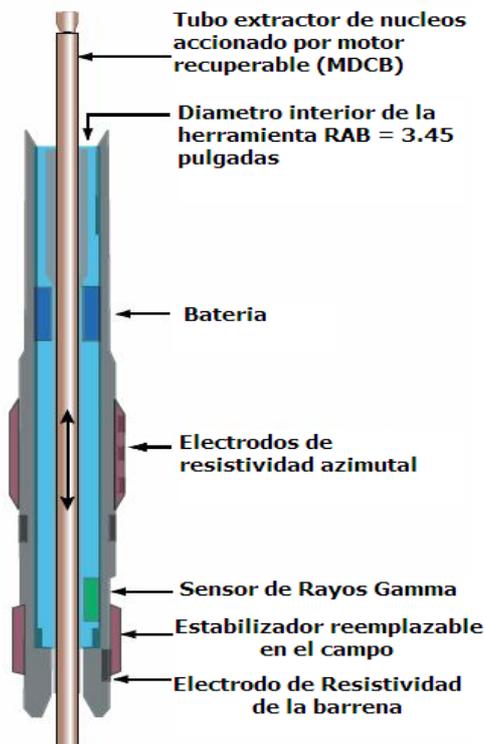


Figura 4.58. Sistema de corte de núcleo y toma de registro de resistividad durante el nucleado.

- ✦ El método incluye ensamble de fondo de pozo, núcleos del agujero y mediciones recibidas de una o más herramientas de registro.
- ✦ El método incluye la perforación para tomar el núcleo, capturar el núcleo a través de la barrena de nucleado y la activación de por lo menos un sensor de registro. Cada sensor de registro mide una o más propiedades de la formación, se deben recibir mediciones de los sensores de por lo menos un sensor de registro.
- ✦ Las mediciones pueden ser transmitidas por un dispositivo de transmisión de los datos o pueden ser guardadas en un dispositivo de memoria de almacenamiento.

La Figura 4.59, muestra un ensamble de pozo LWD (A), este ensamble incluye una barrena (B), una sub-barrena (C), una sección de mediciones durante la perforación (D), un sub-ensamble inferior LWD (E), una sección de una turbina mecánica giratoria (F), y un sub-ensamble superior LWD (G). La barrena (B) se compone de tres cabezas rotarias que perforan la roca cuando se aplica una fuerza al ensamble de pozo LWD (A). La sub-barrena (C) es una tubería del sub-ensamble que acopla la barrena (B) al resto del ensamble de pozo LWD (A).

La sección de mediciones durante la perforación (MWD, (D)), realiza mediciones como presión y el peso en la barrena. El ensamble inferior LWD (E), realiza registros de pozo, como resistividad somera, resistividad media, resistividad profunda, resistividad del pozo y rayos gamma. La turbina mecánica rotaria (F), incluye un motor hidráulico de turbina, magnetos y antenas.

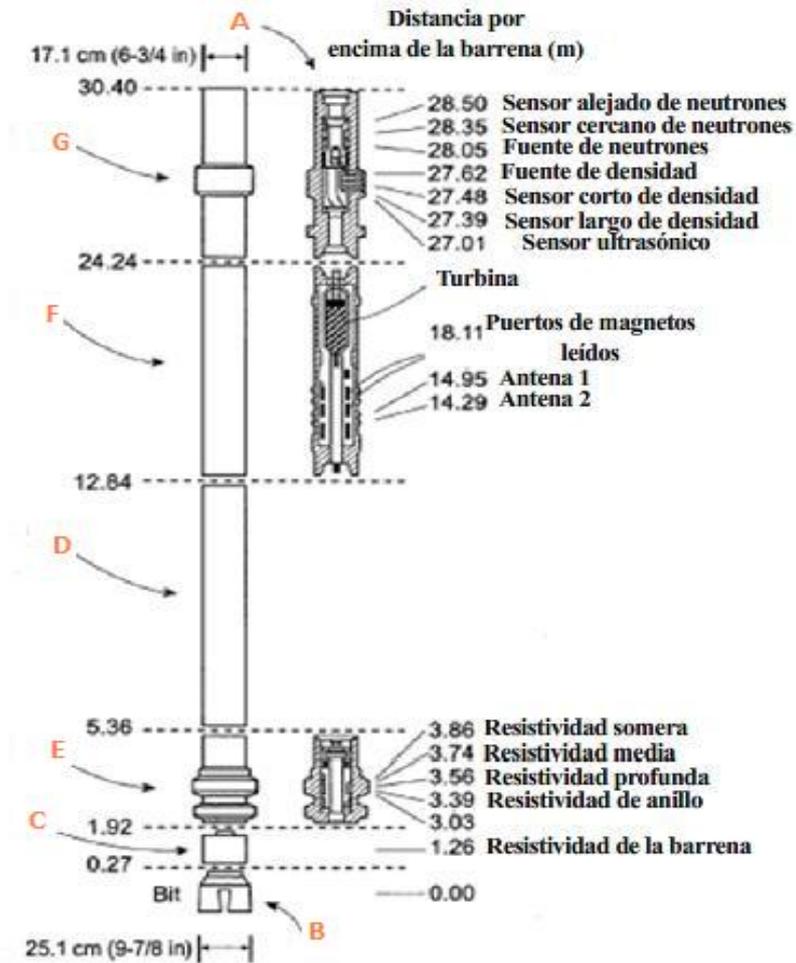


Figura 4.59. Esquema de la tecnología LWD.

El ensamble LWD superior (G), toma los registros de pozo, incluye un sensor de neutrones lejano, un sensor de neutrones cercano y una fuente de neutrones, además incluye un sensor largo de densidad, uno corto de densidad, una fuente de densidad y un sensor ultrasónico.

La Figura 4.60 ilustra una herramienta de la presente tecnología LWC, el sistema de registros durante el nucleado (H), está colocado en el extremo distal de la sarta de perforación (no mostrada) y es colocado dentro del pozo para realizar operaciones de perforación, nucleado y registro.

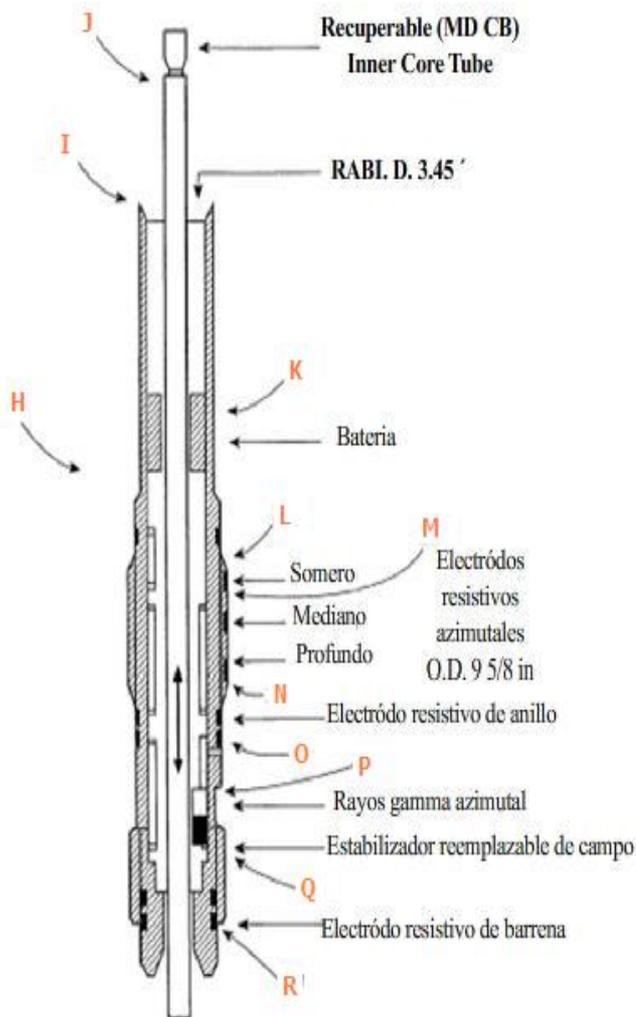


Figura 4.60. Ilustración de un ensamblaje de fondo de pozo LWC.

Este sistema incluye un barril de núcleo (I), un barril de recuperación de núcleos (J), una batería (K), un electrodo de resistividad de anillo (O), un detector azimutal de rayos gamma (P), un estabilizador reemplazable de campo (Q), y una barrena con electrodos de resistividad (R). El sistema de pozo LWC (H), también incluye un electrodo azimutal de resistividad somero (L), un electrodo azimutal de resistividad medio (M) y un electrodo azimutal de resistividad profundo (N).

Hoy en día, las herramientas MWD pueden monitorear los parámetros de perforación críticos en tiempo real, permitiendo que los ingenieros de perforación reduzcan los problemas de pérdida de circulación.

VENTAJAS DE LOS REGISTROS DURANTE EL NUCLEADO

Las mediciones de los registros a través de cable proporcionan datos valiosos del pozo. Estas mediciones se basan en fuentes que transmiten las señales directas a través de la formación y son detectadas por sensores en superficie. El registro de radiactividad inducida en la roca del yacimiento es interpretado en términos de las propiedades de la formación. La geometría y características en las que se realizan estas mediciones introducen ciertas limitaciones inherentes; la rugosidad del agujero y la invasión del lodo y de su filtrado, pueden influir en las mediciones de forma significativa.

El volumen de roca investigado, impactado por la señal, reaccionará de acuerdo a las propiedades del volumen de roca y a la invasión del filtrado del lodo. Para alejarse de la zona invadida, los detectores y las fuentes deben estar colocados lo suficientemente lejos para incrementar la profundidad de investigación de la herramienta, lo cual lleva a una pérdida en la resolución vertical.

Para superar algunas de las limitaciones de las mediciones a través de registros de cable, se ha buscado una metodología para llevar a cabo mediciones en formas totalmente diferentes. Se propone realizar mediciones a través de volúmenes de roca definidos en el pozo. Las fuentes y detectores colocados en un anillo detrás de la barrena, son usados para realizar mediciones de una sección cilíndrica de roca a medida que los núcleos de roca se toman. Estos se mueven más allá del arreglo de sensores para obtener imágenes tridimensionales de la roca. Hay muchas ventajas clave para realizar las mediciones de esta forma:

- ✓ A través de las mediciones mejora de forma significativa la relación señal/ruido y en algunos casos (por ejemplo las mediciones nucleares) contienen información que no pueden estar disponibles si se utilizan mediciones con cable.
- ✓ La geometría cilíndrica bien definida permite interpretar las mediciones de forma mucho más confiable que si la geometría fuera desconocida o pobremente definida.
- ✓ Los efectos por la rugosidad del pozo es eliminada.
- ✓ La invasión de los fluidos filtrados puede ser mapeada y proporciona información adicional acerca de la permeabilidad de la roca. La saturación de los fluidos en las zonas invadidas y las no invadidas de la roca pueden ser determinadas.
- ✓ Debido a que las mediciones se hacen directamente detrás de la barrena, los datos pueden ser usados en tiempo real para la geonavegación.
- ✓ La resolución de las mediciones (cm), lateralmente y verticalmente, es de 1 a 2 órdenes de magnitud mejor que las mediciones a través de cable o las mediciones MWD.
- ✓ Si se desea, los núcleos pueden ser recuperados en superficie para un análisis más detallado.

Esta metodología puede ser aplicada a técnicas de mediciones eléctricas, acústicas, nucleares, entre otras técnicas usadas en los registros de pozo actuales. Un registro durante la perforación, muchas veces es la única alternativa para tomar datos *in situ* en ambientes difíciles de perforación.

4.5 RESUMEN DE ASPECTOS RELACIONADOS A LOS MUESTREADORES DE FONDO Y DE PARED

TIPO DE MUESTREO	TIPO DE FORMACIÓN	CARACTERÍSTICAS	APLICACIONES	
N U C L E O D E F O N D O	CONVEN- CIONAL	Formaciones consolidadas, no consolidadas y fracturadas y en todo tipo de litología (areniscas, calizas, dolomías, rocas ígneas, metamórficas)	Se utiliza el equipo más común y se obtienen núcleos largos. En formaciones fracturadas o no consolidadas se utiliza camisas de PVC. Es necesario en yacimientos con alta temperatura el uso de fibra de vidrio y compuestos de grafito, pues estos son resistentes a altas temperaturas, la limitante es que se eleva el costo apreciablemente.	Para pozos verticales
	PRESIÓN	Aplicable en arenas muy suaves, en secuencias de arena/lutitas, en carbonatos consolidados y en carbonatos sumamente fracturados	El barril es similar al convencional pero tiene una válvula de bola que permite que se mantenga la presión de la formación durante el corte y la recuperación del núcleo. Costos de operación elevados.	Se puede obtener la presión del yacimiento siempre y cuando se tomen en cuenta las variaciones que sufrió el núcleo en el viaje hacia la superficie. Para análisis de saturación de fluidos.
	ESPONJA	Formaciones suaves y no consolidadas	Barril que posee un espacio anular lleno con esponja, poroso y permeable y permite conservar las saturaciones de aceite, agua y gas del núcleo.	Se usa en aplicaciones de Ingeniería de yacimientos y recuperación mejorada.
	GEL	Formaciones duras, medias y suaves o deleznales con resistencia compresiva baja, no confinada. Apto para calizas y areniscas que tienen porosidad de matriz.	Barril que posee un espacio anular alrededor del núcleo lleno de gel y encapsula al núcleo protegiéndolo de esfuerzos mecánicos que amenacen romperlo.	Se utiliza para la determinación de la saturación de aceite residual o para análisis especiales
	MANGA ELÁSTICA	Se usa en formaciones suaves poco consolidadas, y en conglomerados escasamente cementados.	La manga envuelve al núcleo manteniéndolo intacto e inhibe la contaminación por lodo o filtrado de lodo y le provee estabilidad mecánica para que posteriormente en la superficie sea cortado. No recomendable en yacimientos con altas temperaturas. El manejo de los núcleos debe de ser muy cuidadoso.	Se obtienen parámetros geomecánicos y petrofísicos necesarios para analizar rocas deleznales
	ORIENTADO	Se aplica en yacimientos fracturados con tendencia a atascamientos, en formaciones consolidadas, no consolidadas y fracturas.	Orienta el núcleo en el subsuelo por medio de una zapata trazadora unida al atrapanúcleos para determinar la inclinación y buzamiento estructural de la formación y evaluar las fracturas. Costos de operación elevados. Las operaciones, preservación y manejo del núcleo deben realizarse con mucho cuidado.	En aplicaciones de Ingeniería de yacimientos e investigaciones de mecánica de roca. En estudios de rumbo y echado, de permeabilidad direccional, estratigráficos.

LÍNEA DE ACERO	Formaciones consolidadas	Un barril nucleador para línea de acero tiene un receptáculo para el núcleo, que puede ser levantado hacia la superficie, por dentro de la sarta de perforación, con la ayuda de una línea de acero que está sujeta a un malacate auxiliar en la superficie mientras la barrena nucleadora permanece en el fondo del pozo. No recomendable en formaciones poco consolidadas o fracturadas, así como en yacimientos con altas temperaturas.	Se usa en proyectos costa afuera, aguas profundas o en operaciones de muestreo en las que los viajes para sacar y meter los barriles cortanúcleos son antieconómicos.
MOTOR DE FONDO	Aplicable en formaciones duras o altamente fracturadas	Tiene una tubería interna sin rotación que recibe al núcleo, minimizando el potencial de atascamiento de la muestra cortada.	Para pozos desviados, horizontales o multilaterales. Se reduce el peso requerido en la barrena.
NUCLEO Y PERFORACIÓN	Formaciones fracturadas y consolidadas.	La extracción de muestras se produce durante la perforación con rápidos cambios de herramientas y mínima interrupción del proceso de perforación, sin necesidad de viajes de tubería. La barrena cortanúcleos se convierte en barrena perforadora al insertarle un tapón removible y una rápida recuperación con línea de acero.	Permite la toma de núcleo en pozos exploratorios donde la determinación de puntos de muestreo es difícil
TIPO DE MUESTREO	TIPO DE FORMACIÓN	CARACTERÍSTICAS	APLICACIONES
NUCLEO DE PARED	PERCUSIÓN	Apropiadas para areniscas de granos medios a gruesos o tamaños menores, calizas con porosidad intercrystalina o intergranular (mudstones y grainstones, algunos wackestones, mientras no sean fracturadas) y lutitas.	Este muestreo tiene lugar en las primeras pulgadas de la pared del agujero, en regiones que generalmente están invadidas por el filtrado de fluido de perforación. El núcleo de pared es obtenido del pozo con un pequeño barril, disparado por un explosivo, consta de un cuerpo pesado de acero que contiene varios barriles pequeños cortadores de núcleos.
	ROTACIÓN	Formaciones consolidadas y en areniscas delgadas que no presenten fracturas distribuidas en intervalo más o menos profundo.	Es una herramienta con línea de acero hidráulico/eléctrico equipada con una pequeña barrena nucleadora, la cual funciona por medio de un motor de fondo para perforar y recuperar la muestra en todo tipo de superficies de rocas
			Proporcionan evidencia física de los datos de los registros eléctricos de la formación y ayudan a determinar si se requieren análisis más detallados. se usan para examinar los contenidos de fósiles
			Se requiere para ajustar registros geofísicos y hacer una caracterización petrográfica de la roca. Así como, análisis mecánicos de rocas para el diseño del fracturamiento hidráulico y predicción de arenas potenciales.

TABLA 4.12 CARACTERÍSTICAS GENERALES DE LOS DIFERENTES MUESTRADORES DE NÚCLEO DE FONDO Y DE PARED