



### 3. ASPECTOS GENERALES RELACIONADOS AL CORTE DE NÚCLEOS

#### 3.1 PERFORACIÓN DE UNA ROCA

En general, las rocas, y por lo tanto las sedimentarias, presentan resistencia al corte, a ser perforadas o a cortárseles un núcleo. El grado de resistencia depende de varios factores, algunos de ellos corresponden a la roca, como la perforabilidad, la dureza y la abrasividad y otros se relacionan a la operación de perforación de un pozo, como el esfuerzo que se aplica sobre las formaciones. A continuación se comentará un poco sobre tales factores.

**La perforabilidad** de la formación (manejada frecuentemente como factor de perforabilidad) consiste de una medida de la facilidad que presenta la formación para ser perforada y es inversamente proporcional a la resistencia de la compresibilidad de la roca, este factor tiende a disminuir con la profundidad. Usualmente se mide por la velocidad de penetración y por la duración de la vida útil de la barrena. La fuerza compresiva, la dureza y la abrasividad determinan la perforabilidad de una formación.

El hecho de tener mayor perforabilidad implica poder cortar o romper la roca con menos fuerza y por lo tanto tener una mayor velocidad de perforación. Muchos factores afectan la perforabilidad y como resultado, se comprende por qué la selección de las barrenas y los parámetros relacionados se evalúan continuamente buscando la optimización.

La fuerza compresiva de una roca es el producto de la combinación de calor, presión, edad y variación geológica. Si una roca tiene una fuerza de 8000 libras por pulgada cuadrada, entonces, esa es la cantidad de esfuerzo que se requiere para romper la roca. La fuerza compresiva es una manera para describir la dureza de una roca y tiene un impacto directo sobre la perforabilidad.

**La dureza o resistencia** es un término relativo utilizado para describir las características que opone una formación a ser fracturada; depende de la solidez o cohesión de la roca y de los esfuerzos de comprensión a los que se someta, está ligada a la litología. Las formaciones superiores o someras sólo presentan la resistencia originada por la cohesión de la roca. A medida que aumenta la profundidad, se añaden los esfuerzos de compresión debidos a la sobrecarga de las formaciones superiores. Debido a esto, se puede confirmar que las fracturas creadas en las formaciones someras son horizontales y la mayoría de las fracturas creadas en formaciones profundas son verticales (la roca generalmente se rompe a presiones inferiores a la presión teórica de sobrecarga). Una característica de todas las rocas es el incremento de resistencia con el incremento de presión. La resistencia de una roca depende de las presiones y tensiones circundantes. Cualquier presión o tensión agregada sobre el material rocoso lo hará más fuerte.

El grado de porosidad y permeabilidad de las rocas son importantes para establecer el grado de dureza. Formaciones altamente porosas son más blandas y más perforables que las formaciones con bajo nivel de porosidad.

**Las formaciones o rocas abrasivas** tienen la capacidad de desgastar la superficie de contacto de otro cuerpo más duro durante un proceso de rozamiento. Influye en el desgaste de la barrena debido a la fricción producida por los bordes de los cortadores contra la formación al momento de perforar. La presencia de materiales abrasivos en la composición mineralógica de la roca (pirita, pedernal, magnetita, etc.) son la causa del desgaste prematuro de una barrena, siendo el calibre el parámetro más afectado. Los factores que aumentan la capacidad abrasiva de las rocas son:

- ♣ Tamaño de los granos. Este aspecto tiene un impacto directo sobre la abrasividad de las rocas. Por lo general, los granos más grandes son más abrasivos que los granos más pequeños. El tamaño del grano depende de la roca de donde proviene, el proceso de erosión y la forma de transporte que tuvo antes de la acumulación. La base utilizada en la clasificación de rocas clásticas es el tamaño del grano. Las clasificaciones son determinadas por los tamaños utilizados como límites, los cuales frecuentemente se encuentran medidos en milímetros.

- ♣ Ordenamiento. El grado de ordenamiento mide los cambios causados por los agentes de transporte. Es un valioso indicador del ritmo y ambiente de la acumulación de material y ha sido útil en la clasificación de las areniscas. El ordenamiento por tamaño agrupa los granos del mismo tamaño. Las rocas que no han sido bien ordenadas tienen granos de diferentes tamaños y son más porosas y más abrasivas que las rocas bien ordenadas.
  
- ♣ Forma de los granos. La forma de los granos tiene lugar antes que el ordenamiento y depende del tipo de erosión y del proceso de transporte por el cual se desplazaron las partículas sedimentarias. Las formas angulares han sido originadas por glaciares que han cubierto las rocas, mientras que las formas más redondeadas son el resultado de haber sido transportadas las partículas por aguas que se movían a muy alta velocidad. La erosión a causa del viento produce formas que se clasifican entre angulares y redondeadas. Los granos más angulares son más abrasivos que los redondeados.
  
- ♣ Compactación y cementación de la roca. Formaciones pobremente cementadas, como la arenisca no consolidada, son muy abrasivas. Durante la perforación, la arenisca no consolidada se desmorona y cae sobre la barrena, actuando como un abrasivo e impidiendo la limpieza. Una arenisca dura, bien cementada, también es extremadamente abrasiva y difícil de perforar. Usualmente, el ritmo de penetración en estas formaciones es muy bajo. Una arenisca compactada o friable se romperá en pedazos y es menos abrasiva al ser perforada que una arenisca no consolidada o que la arenisca bien cementada. Los recortes desmenuzados se pueden lavar fácilmente antes de que desgasten la barrena.

Tabla 3.1. Muestra el grado de dureza y abrasividad de algunas rocas sedimentarias.


<b>DUREZA Y ABRASIVIDAD</b>					
	<b>ABRASIVA DURA</b>	<b>ABRASIVA MENOS DURA</b>	<b>ABRASIVA FRIABLE</b>	<b>ABRASIVA MENOS FRIABLE</b>	<b>NO ABRASIVA BLANDA</b>
<b>ROCAS</b>	- Conglomerados con cuarzo. - Areniscas. - Grauvacas. - Ortocuarzitas.	- Ceniza Volcánica. - Ceniza silícea. - Areniscas de grano grueso. - Tobas.	- Areniscas friables. - Areniscas calcáreas. - Gravas consolidadas.	- Calizas. - Arcillas esquistosas. - Cretas.	- Margas. - Lutitas. - Carbones. - Yesos. - Calizas oolíticas. - Evaporitas.


Esfuerzo. Es un término poco preciso usado para describir una roca, puede definirse como la resistencia que tiene la roca a la deformación; por ejemplo, una roca fuerte es una roca con un alto módulo de Young. El esfuerzo describe qué tan bien está cementada la roca, por ejemplo un mayor o menor esfuerzo corresponde a un esfuerzo compresivo uniaxial de la roca. Esta mezcla de términos es debida al hecho de que existen algunas correlaciones entre el módulo de Young y el esfuerzo compresivo.

Las propiedades mecánicas de la roca normalmente se refieren a las constantes en la ecuación constitutiva a que se supone obedece la roca. Una roca con comportamiento lineal-elástico perfectamente plástico puede describirse por cuatro parámetros mecánicos: dos elásticos (Módulo de Young y relación de Poisson) y dos parámetros de falla (ángulo de fricción y esfuerzo uniaxial cuando se aplica el criterio de Mohr-Coulomb).

Las constantes elásticas, que determinan la capacidad de las rocas para resistir esfuerzos, pueden ser relacionadas con parámetros medidos a partir de los registros geofísicos, tales como: Rayos Gamma, Densidad de formación y Sónico digital. Permitiendo con ello un estudio más detallado del comportamiento de las rocas, mediante el análisis de los esfuerzos ambientales de las mismas.

- i. *Constantes elásticas estática*. Son las propiedades derivadas de la medición en laboratorio de la deformación de una muestra de roca sometida a un esfuerzo determinado.
- ii. *Constantes elásticas dinámicas*: Se pueden determinar por la medición de velocidades de propagación de una onda elástica dentro de un material. Las formas de onda del registro sísmico digital contienen la información necesaria para conocer tal medición y, por lo tanto, permite determinar las propiedades mecánicas de las rocas.

 Módulo de Young o de elasticidad (E) [psi., Kg./cm<sup>2</sup>, bar]. Propiedad elástica que resulta de encontrar la pendiente de la zona elástica lineal durante la prueba de compresión. Es una medida de la rigidez de la roca y físicamente representa el esfuerzo que hay que aplicar a una muestra para conseguir una deformación igual a su longitud.

 Módulo de Poisson ( $\nu$ ) [adimensional]. Constituye la medida de la expansión lateral relativa a la contracción longitudinal durante la prueba de compresión.

📖 Módulo Volumétrico (k) [psi., Kg. /cm<sup>2</sup>, bar]. Cuando una muestra es sometida a un esfuerzo hidrostático, igual y constante en las tres direcciones, y si se logra mediante algún medio obtener la deformación volumétrica (ev), la relación entre el esfuerzo hidrostático y su deformación volumétrica es conocida como módulo volumétrico. Es la medida de resistencia que la muestra ofrece al ser sometida a un esfuerzo hidrostático. La inversa del módulo volumétrico (1/k) es la compresibilidad de la roca (C).

📖 Módulo de corte o cizallamiento (G) [psi., Kg. /cm<sup>2</sup>, bar]. Es la medida de la resistencia que ofrece la muestra a ser deformada por corte (esfuerzos paralelos a la superficie de estudio)

Las relaciones entre las constantes elásticas y los parámetros de formación están resumidas en la Tabla 3.2

Tabla 3.2. Constantes elásticas dinámicas de las rocas.

Módulo de Young	<b>E</b>	$\frac{\text{Esfuerzo.Aplicado}}{\text{Def.Normal}}$	$2G(1+\nu)t$
Relación de Poisson	<b>ν</b>	$\frac{\text{Def.Lateral}}{\text{Def.Longitudinal}}$	$\frac{0.5[\Delta ts / \Delta tc]^2 - 1}{[\Delta ts / \Delta tc]^2 - 1}$
Módulo Volumétrico	<b>K</b>	$\frac{\text{Esfuerzo.Aplicado}}{\text{Def.Volumétrica}}$	$\rho_b \left[ \frac{1}{\Delta ts^2} - \frac{4}{\Delta tc^2} \right] t$
Módulo de Compresibilidad	<b>C</b>	$\frac{\text{Def.Volumétrica}}{\text{Esfuerzo.Aplicado}}$	$\frac{1}{K}$
Módulo de Cizallamiento	<b>G</b>	$\frac{\text{Esfuerzo.Aplicado}}{\text{Def.Cizallamiento}}$	$\rho_b \left[ \frac{1}{\Delta ts^2} \right] t$

### 3.2 BARRENAS

La barrena es la herramienta de corte de roca localizada en el extremo inferior de la sarta de perforación, utilizada para cortar o triturar la formación durante el proceso de la perforación rotaria. Su función es perforar los estratos de la roca mediante el vencimiento de su esfuerzo de compresión y de la rotación de la barrena. En general las barrenas se rigen por dos principios básicos:

- Ⓢ Trituración de la roca excediendo la resistencia al corte.
- Ⓢ Trituración de la roca excediendo la fuerza compresiva.

Estos dos principios generan dos tipos de fallas, cortes, rompimientos o trituración de las rocas, que son:

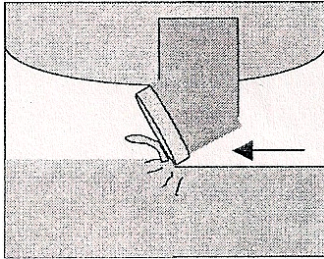


Figura 3.1. La roca falla por esfuerzos de corte.

**La falla por esfuerzo cortante.** Involucra el uso de un diente de barrena, para romper o cortar la roca en pequeños fragmentos que sean fácilmente removibles. La simple acción de forzar un diente dentro de la formación crea fracturamientos que dan como resultado el desarrollo del corte, aumentando su efectividad si el diente es arrastrado a través de la roca después de la inserción.

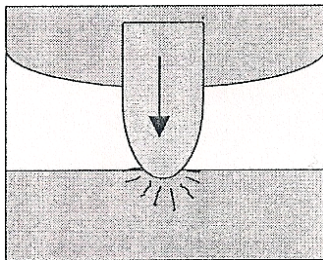


Figura 3.2. La roca falla por esfuerzos compresivos.

**La falla compresiva.** Para que la roca falle o se rompa, se requiere que la carga que se aplica sobre la roca exceda la fuerza compresiva de ésta. La carga deberá permanecer sobre la superficie de la roca el tiempo necesario para que ocurra la falla, la cual no se presentará si la fuerza compresiva de la roca excede a la carga o si ésta es removida antes de ser transmitida del diente hacia la formación. Lo anterior es básico para la perforación de rocas duras con grandes pesos sobre la barrena (PSB) y bajas velocidades de rotación.

### 3.2.1 COMPONENTES DE UNA BARRENA

Como se muestra en la siguiente Figura 3.3, el cuerpo de una barrena tricónica consiste de:

- a) Una conexión roscada (piñón) que une la barrena con una caja del mismo diámetro del lastrabarrenas.
- b) Tres ejes (muñón) en donde van montados los conos.
- c) Tres conos cortadores que giran sobre su eje.
- d) Los depósitos que contienen el lubricante para los cojinetes.
- e) Los orificios (toberas) a través de los cuales el fluido de perforación fluye para limpiar del fondo del pozo los recortes que genera la barrena.
- f) Cortadores (dientes o insertos de carburo de tungsteno).
- g) Hombro de la barrena.

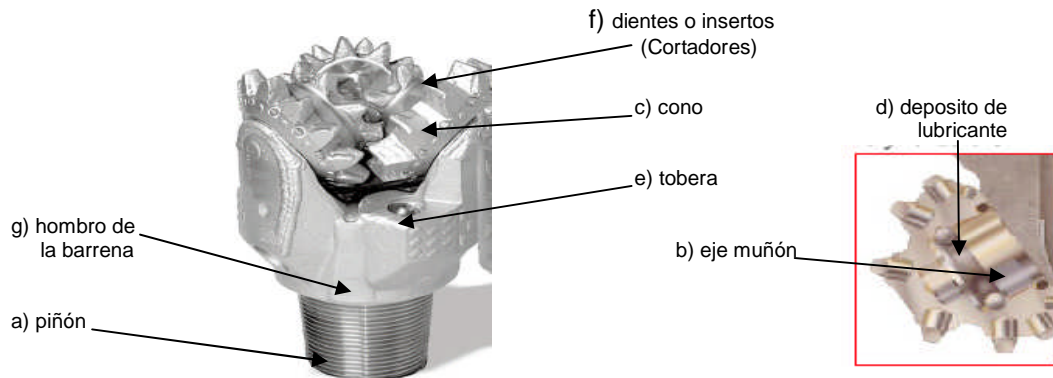


Figura 3.3. Partes esenciales de una barrena tricónica.

Como se ilustra en la Figura 3.4, el cuerpo de una barrena de diamante policristalino (PDC) consiste de:

- a) Una conexión roscada (piñón) que une la barrena con una caja del mismo diámetro del lastrabarrenas.
- b) Cortadores de diamante policristalino. Alta resistencia a la abrasión y al impacto.
- c) Aletas (en algunos modelos).
- d) Los orificios (toberas) a través de los cuales el fluido de perforación fluye para limpiar del fondo del pozo los recortes que origina la barrena.
- e) Hombro de la barrena. Permite mantener la herramienta sin tanto movimiento, por lo que el diámetro del agujero se mantiene hasta en las formaciones más duras.

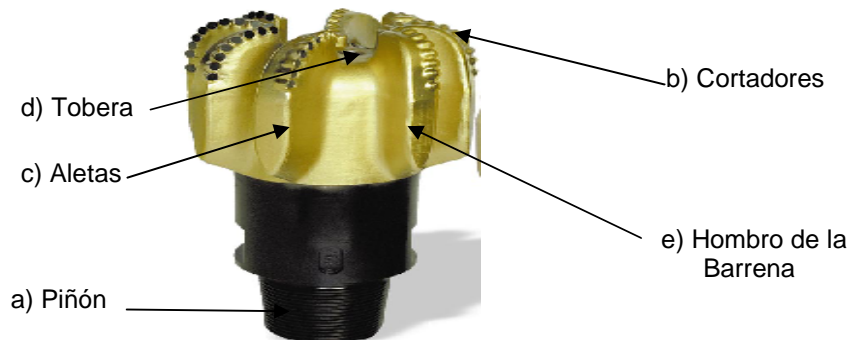


Figura 3.4. Partes esenciales de una barrena PDC.

### Barrenas especiales

Las barrenas especiales pueden ser de dos tipos: bicéntricas o ampliadoras, ver Figuras 3.5 y 3.6. Se utilizan para operaciones tales como: la ampliación del diámetro del agujero, ya sea desde la boca del pozo (superficial) o desde una profundidad determinada.



Figura 3.5. Barrena bicéntrica.

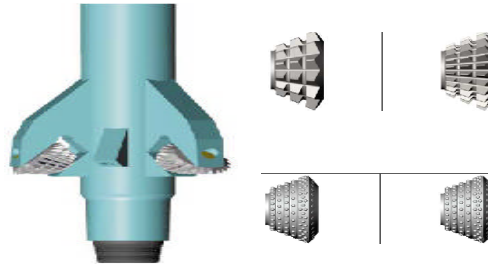


Figura 3.6. Barrena ampliadora.

### Selección de barrenas

La selección de la barrena es una parte importante dentro del proceso de planeación de la perforación de un pozo así como de la extracción de muestras de roca de él, ya que de ello depende, en buena parte, la optimización del ritmo de penetración, el cual está influenciado por diversos parámetros, tales como: esfuerzos efectivos de la roca, características de la barrena, condiciones de operación (peso sobre la barrena, velocidad de rotación e hidráulica), ensamble de fondo del pozo, propiedades físico-químicas de la roca, fluidos de perforación y desviación del pozo, entre otros.

Tradicionalmente, la selección de barrenas para perforación se efectúa con base en la información de registros de barrenas usadas en pozos que hayan perforado, en áreas vecinas, columnas geológicas similares a la que se pretende perforar; a estos pozos se les llama de correlación. Este criterio de selección requiere de una buena base de datos de registros de barrenas usadas en pozos vecinos y de la experiencia del personal involucrado en la selección de la barrena. Su efectividad está limitada a la repetición de las mismas condiciones de operación y bajo el supuesto de que los datos existentes representan parámetros óptimos de operación, lo cual no siempre se tiene por lo que la selección de barrena finaliza en un proceso de ensayo y error. Otro criterio de selección de barrenas se basa en registros geofísicos, en el que se usa la relación que existe entre la litología de la formación y la resistencia a la compresión de la roca. En formaciones someras, donde la toma de información de registros de pozos es limitada, los registros de barrenas de pozos de correlación son la mejor opción para seleccionar barrenas.



Algunos de los criterios y metodologías reconocidos son los siguientes: factor de barrena, perforabilidad de la formación, energía mecánica específica, índice de perforación y costos por metro perforado. Algunos son estadísticos, basados en registros de barrenas, mientras que otros son analíticos, basados en principios matemáticos asociados con las propiedades mecánicas de las formaciones. No existe un criterio normalizado sobre cómo seleccionar el tipo de barrenas, por lo que generalmente se hace a partir de experiencias del comportamiento de cada tipo de barrena en litologías conocidas. Inicialmente, es necesario recopilar información de pozos de correlación, sobre todo registros de barrenas y registros geofísicos de pozo (sónico – bipolar, de preferencia-, de densidad y de rayos gamma).

A continuación se describe brevemente el método que utiliza la energía mecánica específica ( $E_s$ ) como criterio de apoyo para decidir qué tipo de barrena seleccionar: tricónica o de cortadores fijos. La energía mecánica específica se define como la energía requerida para remover una unidad de volumen de roca. Debido a que la energía mecánica específica ( $E_s$ ) no es sólo una propiedad intrínseca de la roca, sino que está íntimamente ligada con las condiciones de operación de la barrena, proporciona una medida directa de la eficiencia de la barrena en una formación particular. La ( $E_s$ ) se calcula de acuerdo con la siguiente ecuación:

$$E_s = \frac{(13415)(W)(N)}{d(Rp)} \dots\dots\dots(3.1)$$

Donde **W** es el peso de la barrena, **N** es la velocidad de la rotación, **d** es el diámetro de la barrena, y **Rp** el ritmo de penetración.

Cuando se estima la eficiencia de la barrena conforme al concepto de costo por metro perforado ( $C$ ), existen parámetros como el tiempo de viaje ( $t_v$ ) y el costo del equipo ( $C_E$ ). El costo por metro perforado es directamente proporcional al costo del equipo y al tiempo de viaje, ésto se puede ver en la ecuación (3.2).

$$C = \frac{(C_B) + (t_v + t_r)(C_E)}{H} \dots\dots\dots(3.2)$$

Donde (**C<sub>B</sub>**) es el costo de la barrena, (**t<sub>r</sub>**) es el tiempo efectivo de rotación de la barrena en el intervalo perforado **H**.

En forma resumida, la metodología es la siguiente:

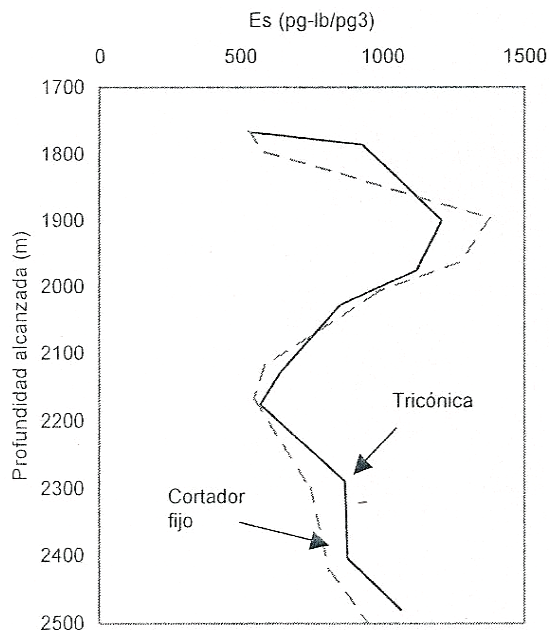


Figura 3.7. Gráfica comparativa de eficiencia en términos de la energía mecánica específica.

- i. Ordenar la información del registro de barrenas de pozos vecinos o de correlación.
- ii. Calcular la energía mecánica específica ( $E_s$ ) con la ecuación (3.1) para cada intervalo perforado y para cada barrena utilizada.
- iii. Graficar los datos de profundidad alcanzada contra ( $E_s$ ), como se muestra en la Fig. 3.7

- iv. Seleccionar la(s) barrena(s) utilizando la gráfica construida. El criterio de decisión es que la barrena más efectiva es la que requiere menos energía mecánica específica. En el caso de la Fig. 3.7 la barrena de cortadores fijos sería la seleccionada.

Este criterio junto con el tradicional de costo por metro sirve como un apoyo para decidir qué tipo de barrena se va a utilizar.

La ventaja de aplicar el criterio de la ( $E_s$ ) es que proporciona la información oportuna acerca de la eficiencia de la barrena para cada intervalo perforado en función de condiciones de operación. Sin embargo, su uso está limitado para pozos de desarrollo ya que se requieren datos de pozos perforados anteriormente en el área. En pozos exploratorios o con poca información de pozos vecinos, solo es aplicable como criterio para sacar oportunamente la barrena.

A continuación se hacen algunas observaciones para seleccionar las barrenas y tener un buen funcionamiento de ellas:

- ♣ Los resultados de la aplicación de la metodología basada en la (Es) deben ser entendidos como un soporte para tomar decisiones correctas y no como un criterio de validez absoluta.
- ♣ Cuando no se tenga información requerida para aplicar la técnica basada en el (Es), la aplicación de criterios prácticos de campo es trascendental. Una roca dura no puede ser perforada con una barrena para rocas suaves. Una roca suave no será perforada con eficiencia si se utiliza una barrena para rocas duras.
- ♣ En formaciones someras, donde es limitada la información de registros geofísicos de pozo, los registros de barrenas de pozos de correlación (vecinos) son la mejor base para seleccionar barrenas.
- ♣ Se recomienda mantener una diferencial de presión mínima entre la densidad equivalente de circulación y la presión de poro de la formación, lo que mejora el ritmo de penetración.
- ♣ Es necesario optimizar la hidráulica del sistema de tal modo que la potencia hidráulica sea transmitida de manera óptima al fondo del pozo.
- ♣ El uso de fluidos de perforación limpios de sólidos es de vital importancia para el correcto desempeño de la barrena. Esto implica un adecuado mantenimiento de los fluidos en superficie.
- ♣ Fomentar la cultura de toma de información rutinaria de la roca y sus fluidos para la caracterización de los campos.
- ♣ Mantenerse informado acerca de innovaciones tecnológicas en todo tipo de barrenas, particularmente las PDC de vanguardia, que permiten un mejor control de la dirección en perforación direccional.

### **3.3 BARRENAS PARA LA EXTRACCIÓN DE NÚCLEOS**

Originalmente, una barrena tricónica de rodillos similar a una barrena de perforación convencional fue usada para cortar el núcleo. Hoy en día, las barrenas nucleadoras de diamante son frecuentemente las más usadas debido a su durabilidad y capacidad para cortar rocas, ya que las barrenas de diamante pueden permanecer en el fondo del agujero durante más tiempo y pueden cortar núcleos más largos. Las barrenas cortanúcleos para formaciones duras usualmente tienen pequeños diamantes incrustados en la barrena. Las barrenas cortanúcleos para formaciones suaves usualmente tienen diamantes más largos. Estas barrenas difieren de las barrenas de diamantes de perforación convencional en dos aspectos:

- I.* Las barrenas corta núcleos tienen una abertura circular de manera que pueda pasar el núcleo a través del barril cuando se esté cortando (el corte produce un cilindro largo de roca conocido como núcleo). En algunas barrenas, el fluido de perforación sale de las barrenas a través de agujeros hechos sobre la superficie de la barrena.
- II.* Las barrenas cortanúcleos tienen roscas para conectarse al barril nucleador en lugar de conexiones API, que la mayoría de barrenas perforadoras tienen.

Las barrenas cortanúcleos de diamante están integradas de 3 partes básicas:

- 1.** La corona, donde se encuentran los diamantes.
- 2.** El espacio vacío, de acero, al que la corona se conecta.
- 3.** Portabarrena, que contiene las roscas para la conexión del barril nucleador.

La corona usualmente contiene varios cojines o secciones de diamantes, El arreglo es radial, sesgado, o en espiral, dependiendo de la dureza de la roca para la cual es utilizada.

Se deben tomar varias consideraciones para seleccionar las barrenas corta núcleos. Estos factores incluyen: las características de la formación, la capacidad de las bombas de lodo, la composición y propiedades de los fluidos de perforación, el número de estabilizadores usados, la cantidad de núcleos por obtener, problemas con el agujero, el tamaño del agujero deseado y el tamaño del núcleo. Usualmente, la barrena cortanúcleos no es del mismo tamaño que la barrena de perforación porque su propósito principal no es hacer el agujero, sino de cortar el núcleo y mantener un agujero de tamaño reducido para recoger muestras del estrato o formación por medio de la tubería de perforación.

Las barrenas cortanúcleos no están diseñadas para resistir el esfuerzo cortante ya que pueden perderse diamantes de la barrena si se aplica demasiado esfuerzo cortante. Tienen algunas variables que determinan el uso particular para cierta formación: diámetro interior; diámetro exterior; contorno de la corona, área total del flujo, configuración de las almohadillas de diamantes, el trayecto del fluido y el tamaño, calidad, exposición, espacio y distribución de los diamantes. Las barrenas cortanúcleos están disponibles en muchos estilos, apropiados para la variedad de la extracción de núcleos dependiendo de las condiciones.

Las barrenas comúnmente utilizadas son de “baja invasión” o sea, tiene sus boquillas apuntadas a una desfase (dirección y ángulos) que minimiza la invasión de filtrado del lodo frente la barrena. Aún con este diseño, se estima que la alteración de los fluidos de una formación de mediana a alta permeabilidad podría llegar hasta 20 -30% de desplazamiento de fluidos móviles de la formación por el filtrado de lodo. La utilización de una barrena de “baja invasión” no garantiza el corte de un núcleo sin alteración de fluidos.

Las barrenas pueden tener insertos de aleación de tungsteno o diamantes industriales para cortar las formaciones. Durante el corte del núcleo, y después, se tiene la necesidad de levantar la sarta del fondo, suspendiendo el núcleo en el pozo, bien sea por una operación del equipo durante el corte o para sacar el núcleo del pozo.

Las barrenas utilizadas para obtener núcleos tienen una resistencia alta a la abrasión y pueden durar grandes jornadas de perforación porque la matriz de sus cuerpos está fabricada con carburo de tungsteno resistente a la erosión.

Las barrenas con cortadores fijos son cuerpos compactos, sin partes móviles, con diamantes naturales o sintéticos incrustados parcialmente en su superficie inferior y lateral que trituran la formación por fricción o arrastre. La dureza extrema y alta conductividad térmica del diamante lo hacen un material con alta resistencia para formaciones duras a semiduras, y en algunos tipos de barrenas, hasta formaciones suaves.

Los cortadores están diseñados con material de diamante policristalino sintético (PDC). Los diamantes naturales y los diamantes sintéticos BallaSet, termalmente estables, mantienen una gama amplia de características en el funcionamiento apropiado en la obtención de núcleos de cualquier formación.

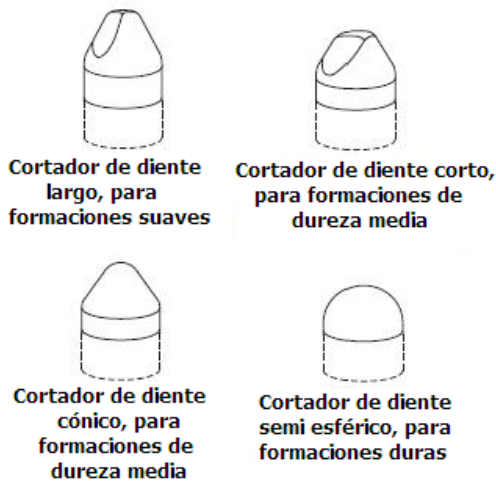


Figura 3.8. Diferentes tipos de cortadores.

El diseño y tipo de cortadores fijos (Figura 3.8) en las barrenas para la obtención de muestras de núcleos están diseñados para tener el mejor servicio posible en aplicaciones específicas para el control de las siguientes variables:

- ✓ Descripción de la barrena nucleadora
- ✓ Protección del cuerpo de la barrena
- ✓ Densidad de cortador
- ✓ Ubicación del cortador
- ✓ Orientación del cortador
- ✓ Despliegue del cortador
- ✓ Hidráulica de la barrena nucleadora

Se tienen cuatro tipos de barrenas cortanúcleos:


Tabla 3.3. Tipos de barrenas para la obtención de muestras de núcleos.

TIPO	DESCRIPCIÓN
RC	Diamante Sintético Policristalino (PDC)
ARC	Anti-giro PDC
C	Diamante Natural
SC	Ballaset® thermally-stable synthetic diamond and sintered diamonds

### 3.3.1 BARRENAS PDC

Las barrenas PDC pertenecen al conjunto de barrenas de diamante con cuerpo sólido y cortadores fijos. Por su diseño y características cuentan con una gran gama de tipos y fabricantes, especiales para cada tipo de formación: desde muy suaves hasta muy duras. Además, pueden ser rotadas a altas velocidades y son de fácil manejo. Una desventaja son los problemas de acuñaamiento en formaciones deleznales.

Tabla 3.4. Características de las barrenas muestreadoras PDC.

TABLA DE BARRENAS MUESTREADORAS PDC								
BARRENA	CARACTERÍSTICAS	Resistencia a la compresión (psi)	TIPO DE CORTADORES	DUREZA DE LA FORMACIÓN				DISPOSITIVO ANTI-GIRO
				SUAVE	MEDIO	MEDIO-DURO	DURO	
	<b>ARC325</b> Resistencia a las pequeñas capas abrasivas. Tipos de rocas: Limolita, Dolomita, Mudstone, Caliza	Alta resistencia a la compresión. (7500 - 15000)	Pequeño			✓		✓
	<b>ARC412*</b> (* BARRENAS DE BAJA INVASIÓN) Donde la máxima velocidad de penetración es requerida para una baja invasión y alta perforabilidad. Tipos de rocas: arcillas, lutitas y Anhidrita (Evaporitas).	Baja resistencia a la compresión (1500 - 3500)	Ligero	✓	✓	✓		✓
	<b>ARC425*</b> (* BARRENAS DE BAJA INVASIÓN) Diseñado para obtener núcleos a un óptimo ritmo de penetración. Con baja resistencia a capas interestratificadas duras. Tipos de roca: Arena, Lutita	Baja resistencia a la compresión (3500 - 7500)	Mediano	✓	✓	✓		✓
	<b>ARC427</b> Con alta resistencia a la compresión de pequeñas capas abrasivas. Tipos de rocas: Limolita, Dolomita, Mudstone, Caliza	Alta resistencia a la compresión (7500 - 15000)	Pesado		✓	✓	✓	✓
	<b>ARC435 CoreDrill con Drilling Plug</b> Diseñada para perforar formaciones con una variedad amplia de núcleos a un óptimo ritmo de penetración.		Mediano	✓	✓	✓		✓
	<b>RC478</b> Diseñado para aplicaciones generales. Alta resistencia a la compresión de pequeñas capas abrasivas. Tipos de rocas: Limolita, Dolomita, Mudstone, Caliza.	Alta resistencia a la compresión (7500 - 15000)	Pesado			✓	✓	✓
	<b>RC476</b> Diseñado para aplicaciones generales. Con baja resistencia a la compresión de capas interestratificadas duras. Tipos de rocas: Arena, Lutita.	Baja resistencia a la compresión (3500 - 7500)	Mediano	✓	✓	✓		

Los cortadores está hecho con diamante sintético en forma de pastillas (compacto de diamante), montadas en el cuerpo para los cortadores de la barrena, pero a diferencia de las barrenas de diamante natural y las STP, su diseño hidráulico se realiza con sistema de toberas para lodo, al igual que las barrenas tricónicas. Este tipo de barrenas es la más utilizada en la actualidad para la perforación de pozos petroleros.

Los cortadores de PDC ofrecen un ritmo de penetración alto y una larga vida a la barrena. Mantienen un corte del acero afilado en formaciones suaves y en formaciones ligeramente duras. Éstos cortadores sintéticos de diamante con diámetro grande logran eficazmente la acción de cortar una variedad de formaciones suaves y duras, mientras que proporcionan una acción cortante profunda, mejora los ritmos de penetración y aumenta la recuperación de núcleos.

Los cortadores PDC están afilados y pueden usarse en ambas aplicaciones: tanto en rotatoria como en motor en el fondo del pozo. Los diseños de la R-series están disponibles para densidades de cortadores ligeros, medios y duros (las formaciones suaves requieren menos cortadores).

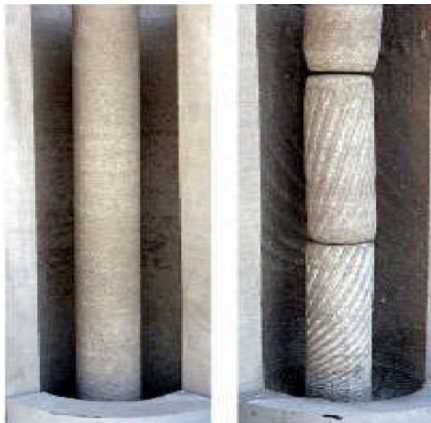


Figura 3.9.  
Núcleo cortado  
con la barrena  
anti-giro.

Figura 3.10.  
Núcleo cortado  
con la barrena  
convencional de  
giro.

Con las barrenas que giran en forma excéntrica o en espiral se tienen daños en los cortadores y la calidad del núcleo es pobre, ver Figuras 3.9 y 3.10. Con el daño que se tiene en los cortadores lleva a un rendimiento bajo y acorta la vida de la barrena. El corte de la barrena con giro en espiral puede causar al núcleo un rompimiento y un diámetro no uniforme. Los núcleos también pueden resultar fracturados. Las barrenas anti-giro para la extracción de muestras de núcleos están diseñadas para equilibrar los vectores de fuerza manteniendo la rotación de la barrena centrada. Están diseñadas con almohadillas y perfiles óptimos de baja fricción, con colocación de los cortadores que

mantienen a la barrena sobre su centro geométrico. Estas características mantienen el ensamble del fondo del pozo (BHA) con estabilidad, reduciendo las vibraciones y produciendo un núcleo con





excelente calidad. Las barrenas de PDC anti-giro y drilling plugs están para el equipo de obtención de muestras de rocas (núcleos).

### 3.3.2. BARRENAS CON DIAMANTE NATURAL

Las barrenas con diamante natural proporcionan superficies cortantes lisas para mejorar el uso en formaciones ligeramente duras. Los diamantes mantienen las superficies cortantes lisas para mejorar el desgaste durante la extracción del núcleo en formaciones medias a duras. Cada barrena para la obtención de núcleos C-series está manufacturada para complementar las aplicaciones específicas. Diversas calidades, tamaños y concentraciones de diamantes naturales en estas barrenas complementan los diseños específicos.

Tabla 3.5. Características de las barrenas muestreadoras con diamante natural.

TABLA DE BARRENAS MUESTREADORAS CON DIAMANTE NATURAL								
BARRENA	CARACTERISTICAS	Resistencia a la compresión (psi)	TIPO DE CORTADORES	DUREZA DE LA FORMACIÓN				DISPOSITIVO ANTI-GIRO
				SUAVE	MEDIO	MEDIO-DURO	DURO	
	<b>C201</b> Formación dura y densa con alta resistencia a la compresión, pero no abrasivo. Tipo de rocas: Caliza, Dolomía	Alta resistencia a la compresión (15000 – 30000)	Mediano		✓	✓		
	<b>C23</b> Muy alta resistencia a la compresión de algunas formaciones con capas abrasivas. Tipos de rocas: areniscas.	Muy alta resistencia a la compresión (>30000)	Rígido				✓	

Tienen un cuerpo fijo, cuyo material puede ser de matriz de acero. Su elemento de corte es de diamante natural incrustado en el cuerpo de la barrena. Por lo general, entre más dura y más abrasiva sea la formación, más pequeño será el diamante que se debe usar en la barrena. Los diamantes para este tipo de barrenas son redondos, pero de forma irregular.




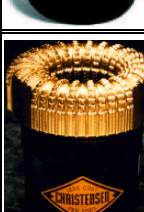
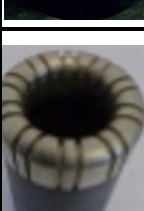
Están diseñadas especialmente para formaciones de areniscas de grano grande, conglomerados o formaciones fracturadas. El método más común para fijar los diamantes es con el uso de una matriz de metal, tungsteno, cobalto, níquel, o sus aleaciones. Es por ello que se pueden obtener núcleos hasta de 30 metros de largo sin dificultad, esto reduce los viajes redondos hasta en un 30% de los necesarios en formaciones donde se requiere muestreo de intervalos largos.

### **3.3.3 BARRENAS BALLASET**

Las barrenas BallaSet son térmicamente estables. Estas barrenas pueden operar en situaciones que generan alto calor de fricción a 2192 °F (1200 °C). Son usadas para perforar rocas duras, por ejemplo caliza dura, basalto y arenas finas duras, entre otras. Los diamantes sintéticos tienen forma de triángulos pequeños no redondos.

Por lo tanto, los requerimientos básicos para una barrena nucleadora son esencialmente los mismos que para una barrena de perforación ya que ambas ejecutan la misma función. Por lo tanto los principios sobre barrenas de perforación también se aplican a las barrenas muestreadoras. El problema de diseñar una buena barrena muestreadora es algo más complicado, porque solo se corta el borde exterior de la formación dejando intacta la mayor parte posible de ella. Por lo tanto, las superficies cortantes y las chumaceras son considerablemente menores que las de una barrena de perforación. Además de que se requiere siempre que una barrena debe perforar un agujero tan rápidamente como sea posible, con desgaste mínimo en las superficies cortantes, la barrena de muestreo debe satisfacer los siguientes requerimientos adicionales: cortar un núcleo de tamaño óptimo de modo que la cantidad de la muestra pueda recuperarse y ser llevada a la superficie para su análisis.

Tabla 3.6. Características de las barrenas muestreadoras Ballaset.

TABLA DE BARRENAS MUESTREADORAS BALLASET								
BARRENA	CARACTERISTICAS	Resistencia a la compresión (psi)	TIPO DE CORTADOS	DUREZA DE LA FORMACIÓN				DISPOSITIVO ANTI-GIRO
				SUAVE	MEDIO	MEDIO-DURO	DURO	
	<b>SC226</b> Resistencia a las pequeñas capas abrasivas. Tipos de rocas: Limolita, Dolomita, Mudstone, Caliza	Alta resistencia a la compresión. (7500 - 15000)	Triangular		✓	✓		
	<b>SC278**</b> (**BARRENAS PARA USO EN FORMACIONES ABRASIVAS ) Diseñadas para núcleos en formaciones demasiado abrasivas, fracturadas o duras. Tipos de rocas: areniscas, caliza, dolomita.	Muy alta resistencia a la compresión (15000 - 30000)	Rígido			✓	✓	
	<b>SC279**</b> (**BARRENAS PARA USO EN FORMACIONES ABRASIVAS ) Formaciones duras y abrasivas con una alta resistencia a la compresión en algunas capas abrasivas. Tipos de rocas: areniscas y conglomerados	Alta resistencia a la compresión (>30000)	Impregnado				✓	
	<b>SC777**</b> (**BARRENAS PARA USO EN FORMACIONES ABRASIVAS ) Se pueden aplicar en operaciones donde se genere alta temperatura con estratos muy abrasivos. Tipos de rocas: Areniscas	Alta resistencia a la compresión (>30000)	Pesado			✓	✓	
	<b>SC281</b> Para formaciones extremadamente duras o abrasivas. Tipos de rocas: esquisto, cuarcita, volcánica	Alta resistencia a la compresión (>30000)	Pesado				✓	

A continuación se muestra en la Tabla 3.7, la selección de las barrenas nucleadoras basándose en el tipo de litología, el tipo de roca y el esfuerzo compresivo de la roca.

Tabla 3.7. Selección de barrenas nucleadoras basándose en la litología.

FORMACIÓN	RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN	TIPO DE ROCA	BARRENAS BÁSICAS RECOMENDADAS
Formación suave con capas adhesivas, alta plasticidad y baja resistencia a la compresión.	< 1500	Arcilla, sal, marga	ARC422
Formación suave con baja resistencia a la compresión y de alta perforabilidad.	1500 - 3500	Sal, marga, anhidrita (evaporitas), lutitas	ARC422, ARC412, ARC425
Formación de suave a media con baja resistencia a la compresión con capas interestratificadas duras.	3500 - 7500	Arena. lutita, tiza	ARC425, RC476
Formación de medio a dura con alta resistencia a la compresión y pequeñas capas abrasivas.	7500 - 15000	Limolita, dolomita, mudstone, caliza	C18, SC226, SC777, ARC325, ARC427, RC478GN
Formación dura y densa con muy alta resistencia a la compresión, pero no abrasiva.	1500 - 30000	Caliza, dolomita	C23, SC226, SC278, C201, SC777, ARC427, RC478GN
Formación dura y densa con muy alta resistencia a la compresión y algunas capas abrasivas.	> 30000	Areniscas	C23, SC278, SC777, SC279, SC281
Formaciones extremadamente duras y abrasivas.		Esquisto, cuarcita, volcánica	SC281

### 3.4 CONDICIONES DE OPERACIÓN DE BARRENAS

- ✓ Las barrenas para formaciones **suaves** requieren de una carga o peso mínimo para que sus dientes largos y espaciados, contruidos lo más delgado posible, puedan mantener una máxima penetración; efectuando su acción de rascado y triturado; los factores limitantes de su rendimiento son la eficiencia hidráulica de su equipo de perforación. Debe recordarse que un factor muy importante en estas formaciones es la velocidad de rotación (RPM).
  
- ✓ Las barrenas para formaciones **medias-suaves** tienen una estructura de corte capaz de resistir la mayor carga unitaria para penetrar la formación y el desgaste por abrasión en su diámetro o área de calibre. Por esta razón, sus dientes son más fuertes y numerosos con mayor cantidad de metal en las hileras del calibre.
  
- ✓ Las barrenas para formaciones **medias-duras** destruyen la formación por trituración con un mínimo de rascado. Requieren cargas unitarias altas para exceder la resistencia a la compresión de estas formaciones, las que generalmente son más abrasivas que las anteriores.
  
- ✓ Las barrenas para formaciones **duras** requieren los máximos niveles de energía para vencer la alta resistencia compresiva de la formación que contiene considerables cantidades de material abrasivo. Contienen elementos cortantes más cortos y de mayor dureza, tienen un mayor número de cortadores para que la carga sobre cada uno de ellos no sea demasiado grande.

Por lo que una barrena de muestreo con tipo de cortadores de arrastre se considera como buena para sacar muestras de formaciones suaves, mientras que las de rodillos cortantes están mejor adaptadas para las formaciones más duras.

La circulación del fluido de perforación, peso aplicado a la barrena, y velocidad de la mesa rotaria son los factores mas importantes en el proceso de nucleado y cada uno de ellos influencia a los otros. El éxito en el proceso de nucleado depende principalmente de la combinación adecuada de estos parámetros. La operación de las barrenas se define por tres parámetros:

### **PESO SOBRE LA BARRENA (PSB).**

Rotar la barrena y circular a través de ella el fluido de perforación no es suficiente para cortar un núcleo. Es necesario aplicar peso sobre la barrena (PSB) para cortar un núcleo, el adecuado rendimiento de la barrena y la buena recuperación del núcleo están en función principalmente de este factor.

El PSB es la carga aplicada a la barrena por medio de los lastrabarreras para que ésta efectúe la penetración en las formaciones. La penetración se logra cuando la carga aplicada sobre la barrena supera la resistencia de compresión de la formación en contacto con los dientes de la barrena. La “respuesta” de la formación en relación con el peso sobre la barrena se puede medir a través de la velocidad de penetración; por ejemplo, cuando no hay avance en la velocidad de penetración, puede ser porque la barrena se está atascando (embolando) por exceso de recortes, por perforar formación más dura o se acabó la vida útil de la barrena.

El peso adecuado sobre la barrena mantiene los diamantes planos sobre la formación de modo que la barrena está siempre en posición perpendicular al fondo del pozo. Cualquier fluctuación en el peso sobre la barrena puede afectar el ritmo de penetración. Es importante usar los lastrabarreras de perforación para darle peso suficiente a la barrena y para mantener la sarta de perforación en tensión y evitar la vibración que puede dañar los diamantes o incluso quebrar la sarta de perforación.

Se puede determinar el peso sobre la barrena adecuado revisando la gráfica que relaciona pesos sobre la barrena con diámetros de la misma, Figura 3.11, o de otro modo sería multiplicando el número de diamantes en la cara de la barrena por el factor K que se determina con base en la calidad de los mismos. El último método es el más adecuado.

Un método alternativo para obtener el peso sobre la barrena más adecuado es aplicar peso en incrementos de 1000 libras a una velocidad de rotación de 110 rpm hasta que la velocidad de penetración no aumenta con el incremento en el peso o hasta que se registra un aumento dramático en los requerimientos de torque para continuar con la operación.

Se deben considerar varios factores cuando se determina el peso sobre la barrena, estos factores incluyen la dureza y fracturabilidad de la formación, el tamaño de la barrena, el tamaño de los

diamantes de la barrena, la calidad de los diamantes y el número de diamantes que entran en contacto con la formación.

Cuando se ha obtenido un peso óptimo sobre la barrena, éste debe mantenerse constante mientras el núcleo es cortado. El uso de mecanismos automáticos puede contribuir a lograr esto y al mismo tiempo prolongar la vida de la barrena. El peso óptimo sobre la barrena puede cambiar conforme cambian las formaciones que se nuclean, por lo que un análisis minucioso de las formaciones a nuclear así como el monitoreo continuo del peso sobre la barrena resultan benéficos para el desarrollo de la operación.

Demasiado peso sobre la barrena en formaciones duras puede derivar en que se pueden quemar o quebrar los diamantes, poco peso sobre la barrena disminuye la velocidad de penetración y daña la barrena.

La adecuada combinación del peso sobre la barrena y la velocidad de rotación es casi imposible determinarla antes de iniciar las operaciones. Aún así, es importante recordar que todos los parámetros están interrelacionados y tanto el peso sobre la barrena como velocidad de rotación y la presión del fluido de perforación deben encontrar un balance para garantizar el éxito de la operación.

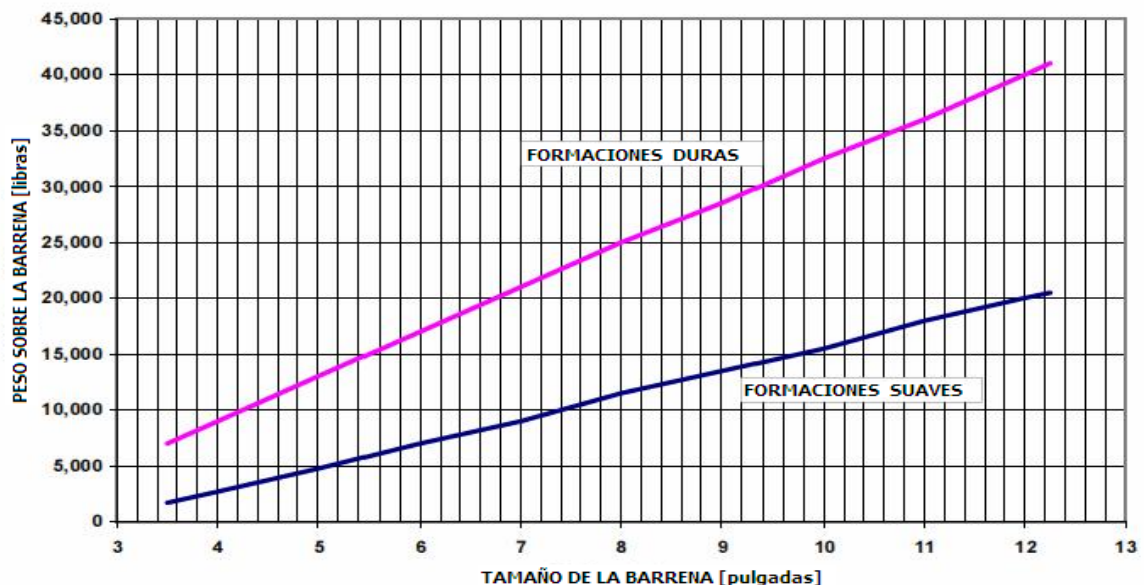


Figura 3.11. Peso de la barrena recomendado para barrenas muestreadoras.

### **VELOCIDAD DE ROTACIÓN (RPM).**

A este parámetro se le llama generalmente “rotaria”. Consiste en la cantidad de vueltas o revoluciones por minuto (RPM) que la mesa rotaria transmite a la sarta de perforación y ésta, a su vez, a la barrena.

La velocidad de perforación es directamente proporcional a la velocidad de rotación (RPM) en formaciones blandas (suaves). En formaciones duras, la velocidad de rotación disminuye así como la velocidad de penetración, en ciertos rangos.

La velocidad de rotación de la barrena nucleadora, medida en revoluciones por minuto, generalmente afecta el ritmo de penetración, aunque la velocidad de penetración depende mayormente del tipo de formación que está siendo perforada. El personal encargado de la operación debe tener una idea de las características de la formación. El registrador de lodo puede también proporcionar información valiosa acerca de la dureza o suavidad de la formación.

La mejor velocidad rotaria es generalmente encontrada por ensaye y error, a menos de que el personal de perforación tenga la experiencia suficiente para determinar la mejor velocidad que las condiciones del pozo requiere. El gasto de fluido medido en galones por minuto y el peso sobre la barrena deben ser mantenidos constantes mientras se determina la velocidad óptima de rotación. De la misma manera la velocidad de rotación debe ser compatible con el gasto de fluido de perforación y el peso sobre la barrena.

La velocidad de rotación puede ayudar a recuperar el núcleo y a evitar bloqueos. Por ejemplo una velocidad de rotación baja es recomendada para roca fracturada o rota. Una velocidad de rotación elevada en ese tipo de formaciones las puede despedazar o incluso ocasionar la pérdida del núcleo. Consecuentemente la velocidad de rotación elevada no siempre es la mejor.

La Figura 3.12 muestra la relación entre la velocidad de rotación (RPM) y los tipos de roca. Esta grafica puede ayudar a seleccionar la velocidad de rotación apropiada.



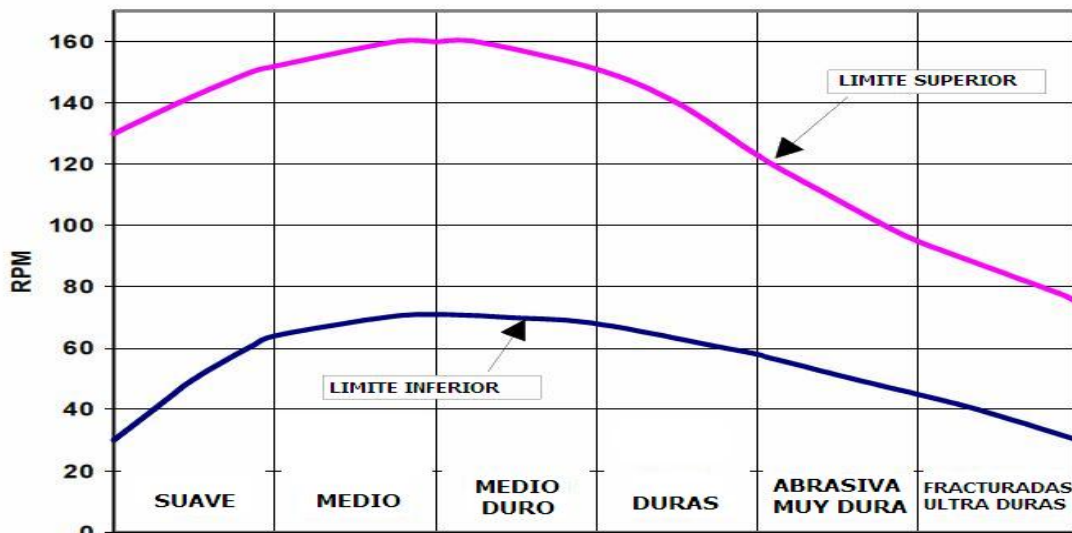


Figura 3.12. Muestra la relación entre la velocidad de rotación (rpm) y los tipos de rocas.

### FLUIDOS DE PERFORACIÓN.

Los fluidos de perforación son usados en el corte de núcleos porque limpian las herramientas y la barrena. El fluido también expone la formación a la acción cortante, además incrementa la eficiencia porque reduce la posibilidad de perder diamantes durante el proceso.

Agua, lodo base agua, lodo base aceite, gel, gas o aire o combinaciones de ellos pueden ser usados como fluido de nucleado. El fluido ideal de perforación no debe dañar el núcleo, debe balancear la presión de poro, prolongar la vida de la barrena y garantizar máximos ritmos de perforación. Como fluido contiene una cantidad mínima de arena y de pérdida de circulación. Demasiada pérdida de circulación genera problemas en el corte y taponamiento de las toberas de la barrena.

El gasto del fluido de perforación generalmente es medido en galones por minuto. Generalmente, conforme aumenta el tamaño de la barrena aumenta también el gasto de fluido de perforación. El tipo de formación también debe ser considerado para definir el gasto.

Cuando se usa gas o aire como fluido de perforación el gasto se estima a partir del gasto de lodo que se requeriría para el tamaño de agujero que se tenga. Para el núcleo con aire, el volumen es igual a 10 pies cúbicos por minuto por cada pie cúbico por minuto que se requiera de lodo.

Es necesario usar la cantidad adecuada de fluido para obtener buenos resultados en el núcleo.

Una cantidad menor puede derivar en daño a la barrena por inadecuado enfriamiento y limpieza. Una cantidad muy pequeña de fluido reduce considerablemente la velocidad de penetración y daña la barrena. Si la cantidad de fluido es muy grande se puede ocasionar daño o pérdida del núcleo y erosión de la barrena.

El contenido de fluidos del núcleo es alterado por el fluido de perforación porque una pequeña cantidad del fluido de perforación entra al barril y realiza contacto con el núcleo cuando es cortado. Los barriles nucleadores están diseñados para minimizar el lavado del núcleo.

Diversos factores afectan el grado de contacto del fluido de perforación con el núcleo. Estos factores incluyen: la velocidad de penetración, la permeabilidad horizontal y vertical del núcleo, el diámetro del núcleo, ciertas propiedades del fluido de perforación y la presión diferencial entre la que tiene la formación y la del fluido de perforación. El ritmo de penetración de la barrena y la presión diferencial son los factores más importantes. Entre más rápido sea cortado el núcleo menos tiempo será lavado con el fluido de perforación. Una presión diferencial elevada tiene mayores posibilidades de causar el lavado del núcleo. Los núcleos casi siempre tienen un cierto grado de lavado. En cierto grado el barril interno protege el núcleo del daño por fluido de perforación. Para garantizar que se minimiza el efecto de lavado el espaciamiento entre la zapata interna y la corona de la barrena no debe exceder 1/8 de pulgada. De cualquier modo, si la zapata interna entra en contacto con la barrena entonces el barril interno rotará y puede romper o fracturar el núcleo o incluso dañar el barril nucleador.

El gasto de la bomba contribuye a lograr un núcleo óptimo. Cuando se determina el gasto, el operador de núcleo considera el equipo que va a emplear y determina un gasto adecuado para la barrena. Se asegura también de que la cantidad de agua que va a emplear no exceda la cantidad que puede circular a través de los hidrocanales de la barrena. Al hacer eso elimina la posibilidad de dañar el núcleo o el barril interno. Se considera adecuado bombear entre 5.3 y 7 galones por minuto de fluido por cada pulgada cuadrada del área del agujero. Durante las operaciones el operador de núcleo mantiene las emboladas de la bomba constantes y observa la presión en la misma para registrar cualquier cambio en la presión.

El contenido de arenas en el fluido de perforación debe ser mantenido en menos del 1% para minimizar el daño que el fluido le puede provocar al barril nucleador. El volumen de fluido para circulación es determinado por:

- ♣ Condiciones del pozo.
- ♣ Tamaño y diseño de la barrena.
- ♣ Tipo de fluido de perforación.
- ♣ Profundidad del agujero.
- ♣ Tubería de perforación.
- ♣ Barril nucleador y capacidad de la bomba.
- ♣ Características de la formación.

Las coronas de las mismas dimensiones son diseñadas para manejar los mismos gastos de circulación aunque difieren en su configuración. El uso de fluidos pesados o con viscosidades plásticas pueden afectar los gastos de circulación que se desean.

Altos volúmenes de circulación pueden dañar la barrena al iniciar la operación de corte del núcleo. Un alto volumen puede causar que la corona deslice en el fondo del pozo o que oscile provocando daños a los cortadores, reducción de los ritmos de penetración y disminución de la vida de la barrena nucleadora.

Para obtener el óptimo ritmo de penetración, una parte del volumen de circulación se debe usar variando el peso sobre la barrena y la RPM. Los gastos de circulación también pueden ser variados para obtener una eficiente limpieza del pozo, además de generar enfriamiento, ésto maximiza la vida útil de la corona o barrena nucleadora. Un bajo volumen de circulación puede no realizar eficientemente la limpieza en la corona, originando problemas como remolienda de recortes o choque de recortes contra los dientes de la barrena nucleadora, este tipo de problemas reducen los ritmos de penetración.