



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERÍA

**“DAÑO A LAS BARRENAS, SU
IMPLICACIÓN EN LA
PERFORACIÓN Y SOLUCIONES
PROPUESTAS”**

TESIS

Que para obtener el título de

Ingeniera Petrolera

P R E S E N T A

García Gómez Ingrid Anaid.

DIRECTOR DE TESIS

Ing. Israel Castro Herrera.



Ciudad Universitaria, Cd. Mx., 2016

Daño a las barrenas, su implicación en la perforación y soluciones propuestas.

Resumen

Capítulo 1. Conceptos Generales

1.1 Introducción.-----	6
1.2 Rocas sedimentarias. -----	7
1.2.1 Caliza-----	7
1.2.2 Areniscas.-----	7
1.2.3 Conglomerado.-----	8
1.3 Tipo de barrenas.-----	8
1.3.1 Tricónicas. -----	9
1.3.1.1 Clasificación IADC para barrenas Triconicas. -----	12
1.3.1.2 Tipos de Barrenas Triconicas.-----	13
1.3.1.2.1 Barrenas de dientes de acero fresados. -----	14
1.3.1.2.2 Barrenas de insertos de carburo de tungsteno.--	15
1.3.2 Barrenas de cortadores fijos. -----	16
1.3.2.1 Barrenas PDC.-----	18
1.3.2.2 Clasificación IADC para Barrenas de cortadores fijos.-----	19
1.3.2.3 Barrenas de diamante natural.-----	20
1.3.2.4 Barrenas TSP.-----	21
1.3.2.5 Barrenas de diamante impregnado.-----	22
1.3.3 Híbridas. -----	22
1.3.4 Amplificadoras.-----	22
1.4 Lodo de perforación.-----	23
1.4.1 Lodos base agua.-----	23
1.4.2 Lodos base aceite.-----	24
1.4.3 Reología. -----	24
1.5 Motores de fondo.-----	25
1.5.1 Turbinas.-----	25
1.5.2 Motores de fondo de desplazamiento positivo (PDM).-----	26
1.5.3 Clasificación de motores de fondo.-----	27

Capítulo 2. Determinación de parámetros para la perforación.

2.1 Costo por pie perforado.-----	28
-----------------------------------	----

2.2 Gasto óptimo de operación.-----	29
2.3 Peso sobre la barrena.-----	31
2.3.1 Tubería pesada.-----	31
2.3.2 Lastrabarrena.-----	32
2.4 Velocidad de la barrena.-----	35
2.5 Torque.-----	36
2.6 Arrastre.-----	36
2.7 Litología a perforar.-----	37
2.8 Tasa de penetración.-----	38

Capítulo 3. Características específicas de las barrenas.

3.1 Tamaño de los cortadores.-----	39
3.2 Número de cortadores.-----	41
3.3 Número de aletas.-----	42
3.4 Direccionales.-----	43
3.4.1 Motores direccionales.-----	43
3.4.2 Direccionalidad Rotatoria (Push the Bit).-----	44
3.4.3. Direccionalidad Rotatoria (Point the Bit).-----	44
3.5 Calibre.-----	44
3.6 Protección en el calibre.-----	45
3.7 Perfil.-----	45
3.7.1 Componentes del perfil de la barrena.-----	46
3.8 Back rake.-----	47
3.9 Rake side.-----	48
3.10 Doble hilera de cortadores.-----	49
3.10.1 Activa.-----	49
3.10.2 No activa.-----	49
3.11 Bebel.-----	50
3.12 Lo vibe.-----	50
3.13 Características de las barrenas tricónicas.-----	51
3.13.1 Excentricidad.-----	51
3.13.2 Tipos de cortadores.-----	52
3.13.2.1 Dientes de acero.-----	52
3.13.2.2 Insertos de carburo de tungsteno.-----	53
3.13.3 Protección al calibre en barrenas triconicas.-----	54

Capítulo 4. Métodos de selección de Barrenas.

4.1 Método de Esfuerzos no Confinados.-----	56
4.1.1 Determinación del Esfuerzo no Confinado.-----	57
4.2 Método de Warren Modificado.-----	59
4.2.1 Calculo de la ROP utilizando el modelo de Warren Modificado.-----	61
4.3 Método de Energía Especifica (Es).-----	63
4.3.1 Determinación de la vida útil de la barrena utilizando la Es.-----	64
4.3.2 Calculo de la ROP utilizando el modelo de Warren Modificado.-----	66
4.4 Método de selección por correlación.-----	67
4.5 Factores importantes para la selección y operación de las barrenas.-----	68

Capítulo 5. Daño a las barrenas.

5.1 Determinación del daño.-----	69
5.1.1 Sistema general de evaluación del daño.-----	71
5.2 Tipos y causa del daño a las barrenas.-----	76
5.2.1 Barrenas de PDC.-----	76
5.2.2 Barrenas tricónicas.-----	82
5.3 Forma de prevenir el daño a las barrenas.-----	94
5.3.1 Factores que influyen en el rendimiento de las barreas.-----	94
5.3.1.1 Herramientas sobres la barrena.-----	94
5.3.1.2 Área total de flujo (TFA).-----	95
5.3.1.3 Peso sobre la barrena (WOB).-----	95
5.3.1.4 Revoluciones por minuto (RPM).-----	96
5.3.1.5 Tipos de litología.-----	96
5.3.2 Como prevenir el daño en las barrenas tricónicas.-----	96
5.3.3 Como prevenir el daño en las barrenas PDC.-----	98

Conclusiones.

Bibliografía.

AGRADECIMIENTOS.

Quiero agradecer primeramente a Dios, por permitirme estar en estos momentos aquí, a la Universidad por brindarme los conocimientos y enseñanzas que serán indispensables en mi vida profesional, a mis maestros por sus consejos, experiencias y conocimiento que me transmitieron.

A mis padres Lucas García y Ma. de Jesús Gómez, porque gracias a ellos hoy puedo estar cumpliendo un paso más en mi vida, saben que cada logro mío es suyo también porque sin ustedes no sería nada, gracias por siempre estar ahí. A mi manita Greta García que no solo es mi hermana es mi segunda mamá, gracias por todo tu apoyo, a mis compañeras de tareas mi Pau y Sophí.

Al Ing. Israel Castro por su ayuda, tiempo y paciencia al desempeñarse como mi director de tesis.

Agradezco a mi director externo el Ing. Pablo de la Torre, por toda pero toda la paciencia que tuvo conmigo, por sus grandes enseñanzas y conocimientos, por todo el apoyo que recibí de él.

A todos mis amigos, Angelitos, Javo, Angelito, Jatz, Francisco, Lara, Abdula, Eliel, Xavi, Tareas, Mau, Lore y muchísimos más que compartieron conmigo la carrera, que compartieron risas, aventuras y porque no borracheras, gracias por todo.

De igual forma agradezco a Rafael Cruz por su gran apoyo, por aguantar mi estrés de la tesis, por toda su ayuda, muchas gracias amor.

RESUMEN

En el capítulo uno se hace mención de los tipos de barrenas más utilizadas dentro de la industria petrolera, así como de sus características físicas y especificaciones de las barrenas. Se mencionan las características de la barrenas tricónicas, PDC y de las barrenas especiales (nucleadoras y ampliadoras), así mismo se hace mención de los motores de fondo y de las turbinas.

Existen parámetros operacionales durante la perforación como WOB, RPM, torque, arrastre, costo por metro perforado, gasto del lodo, etc., los cuales es necesario comprender para asegurar que el comportamiento de la barrena sea óptimo. Estos parámetros operacionales se mencionaran en el segundo capítulo de esta tesis.

Las barrenas son una parte esencial dentro de la perforación, una buena selección de las características específicas de cada tipo de barrenas, se hará mención en el tercer capítulo, donde explicaremos y mencionaremos las características para barrenas tricónicas como para barrenas PDC

En el cuarto capítulo se hará mención a la metodología de la selección de las barrenas utilizando la metodología de Energía Específica, Warren modificado así como el método de correlación.

Para finalizar, en el quinto capítulo se explica sobre los tipos de daño que pueden presentar las barrenas, ya sean barrenas tricónicas ó barrenas PDC, así como las maneras de prevenir el daño, ya que estas herramientas son de gran importancia dentro de la planeación de la perforación, y se debe tener en cuenta que para tener un óptimo desempeño de las barrenas es necesario hacer una correcta selección y planificación de las características específicas que tienen cada una de ellas y así con esto evitar el daño en ellas.

Capítulo 1. Conceptos Generales

1.1 Introducción

La perforación en el mundo tiene una historia muy larga, por ejemplo se sabe que en China en el año 1700 a.c. en la obtención de sal se excavaron más de 10000 pozos a 500 metros de profundidad; con una tecnología denominada “Cable de Percusión”.

Este método consistía en armar una torre de madera, a manera de horqueta, sobre la que se colocaba una pértiga elástica, normalmente de bambú, de la cual colgaban las herramientas que usaban para perforar el subsuelo, hasta alcanzar las minas de sal. Este procedimiento conto con varias versiones que modificaron su esencia, fundamentalmente se ocupaba la fuerza humana para colocar e impulsar las herramientas suspendidas el movimiento de percusión, se obtenía de los obreros, los que corrían sobre una pendiente corta y saltaban uno tras otro dando movimiento a las primitivas barrenas.

En lo que se refiere al ámbito petrolero el primer pozo perforado fue el Drake, en Pensilvania, Estados Unidos en el año 1859, la tecnología utilizada en éste y otros pozos más fue la pértiga flexible, con métodos manuales utilizando la fuerza humana.

En nuestro país las primeras perforaciones se realizaron con la tecnología de cable, las que requerían una máquina horizontal de un cilindro de vapor, mediante el cual se obtenía la fuerza necesaria para impulsar las herramientas que fracturaban el subsuelo. Desde la llegada de las compañías a México hasta 1918, 1919 y aún más tarde los sistemas utilizados eran los de la técnica estándar para esa época, en este sistema el uso de la mano de obra fue relativamente escaso en comparación con otros.

La primera perforación realizada con sistemas rotatorios se efectuó en 1901, en el campo Spindle Top, cerca de Beaumont Texas, E.U. Las arenas no consolidadas se derrumbaban cuando eran sometidas a la vibración producida por herramientas de percusión, por lo tanto, se inventaron herramientas que aplicarían una fuerza circular sobre la arena para reducir considerablemente la vibración.

Para llegar al estado actual desarrollado se tuvieron que incorporar varias ramas de la ingeniería petrolera, obteniéndose una verdadera tecnología propia de la perforación por el camino de la ingeniería, esto no implica que el antiguo arte que se aplicaba dejó de existir, por el contrario se tuvo que conformar con las demás disciplinas de una manera interna.

Actualmente, como resultado de los avances logrados en la ingeniería de los materiales, tanto las barrenas de cortadores fijos como la de conos giratorios se utilizan como nunca antes en las diversas aplicaciones de perforación.

Las tecnologías en el diseño de barrenas de última generación ha incrementado también el número de clases de barrenas y su disponibilidad, de esta manera el desarrollo actual de estas tiende a reducir los costos de construcción del pozo, sin embargo esto último depende de la elección óptima de la barrena

1.2 Rocas Sedimentarias.

Las rocas sedimentarias (del latín sedimentum, asentamiento) se forman por la precipitación y acumulación de materia mineral de una solución o por la compactación de restos vegetales y/o animales que se consolidan en rocas duras. Los sedimentos son depositados, una capa sobre la otra, en la superficie de la litósfera a temperaturas y presiones relativamente bajas y pueden estar integrados por fragmentos de roca preexistentes de diferentes tamaños, minerales resistentes, restos de organismos y productos de reacciones químicas o de evaporación.

1.2.1 Calizas.

Las rocas calizas son rocas sedimentarias porosas de origen químico, formada mineralógicamente por carbonatos, principalmente carbonato de calcio. Cuando tiene alta proporción de carbonatos de magnesio se le conoce como dolomita. Petrográficamente tiene tres tipos de componentes: granos, matriz y cemento. Es una roca importante como yacimiento de petróleo, dada su gran porosidad. Al igual que las areniscas pueden ser rocas almacén o rocas generadoras.

1.2.2 Areniscas.

Las areniscas son del tipo detrítico (cuando el sedimento es una acumulación de material que se origina y es transportado en forma de clastos derivados de la meteorización mecánica y química), de color variable, que contiene clastos de tamaño arena. Después de la lutita, es la roca sedimentaria más abundante. Los granos son gruesos, finos o medianos, bien redondeados; de textura detrítica o plástica. Las areniscas figuran entre las rocas consolidadas más porosas. Según el tamaño y la disposición de los espacios vacíos o poros, las areniscas muestran diversos grados de permeabilidad. Éstas pueden ser rocas generadoras o rocas almacén.

1.2.3 Conglomerado.

El conglomerado es una roca sedimentaria de tipo detrítico formada mayoritariamente por clastos redondeados tamaño grava o mayor (>2 mm), unidos por un cemento o una matriz.

En la composición de los conglomerados intervienen fundamentalmente tres factores: la litología de la zona de alimentación de la cuenca sedimentaria, clima y relieve de la zona sometida a erosión. El clima y la litología determinan que minerales terminarán formando parte del conglomerado, sea por alteración química o disgregación física de las rocas preexistentes. El relieve determina con qué rapidez se producirá el proceso de erosión, transporte y sedimentación, ya que dependiendo de lo abrupto del terreno así existirá mayor o menor tiempo para que la alteración química de los minerales tenga lugar.

Están constituyen de una cantidad mayor de 50% de componentes de un diámetro mayor de 2mm, son redondeados. Los tipos de los fragmentos pueden variar mucho según cual fuese la composición de la zona de erosión suministradora. El cementante o matriz, igualmente puede variar, puede constituirse de componentes clásticos, pelíticos y arenosos (matriz) y de material de enlace carbonatico o silícico (cemento) que es sustituido posteriormente por la roca al solidificares.

Los componentes de los conglomerados son transportados por ríos y/o por el mar.

1.3 Tipos de Barrenas

Una barrena es la herramienta de corte que nos permite triturar y/o romper la formación rocosa para profundizar el pozo, está localizada en el extremo inferior de la sarta de perforación, su función es perforar los estratos de la roca mediante el vencimiento del esfuerzo de compresión y de rotación.

En el proceso de perforación de pozos las barrenas realizan su trabajo de acuerdo a dos principios esenciales: fallar las rocas venciendo sus esfuerzos de corte o bien los de compresión. Sin embargo, es importante la selección de las barrenas de perforación adecuadas a utilizar en un pozo, esto es un proceso complicado que requiere de experiencia de perforación, del entendimiento de los factores mecánicos, hidráulicos, económicos, y del acceso a la mejor tecnología actual. Inicialmente, las barrenas de conos giratorios y de cortadores fijos se seleccionan con base en una evaluación completa de las características litológicas que se esperan encontrar.

Otras consideraciones como son: las características de las formaciones, el ambiente sedimentario y la información de los registros geofísicos son vitales para una buena selección de la barrena adecuada para la perforación.

Hoy en día existen varios tipos de barrenas para la perforación de pozos petroleros que se diferencian entre sí, ya sea en su estructura de corte o por su sistema de rodamiento. Los tipos de barrena más utilizados en la perforación de pozos petroleros se pueden clasificar por lo general de la siguiente manera:

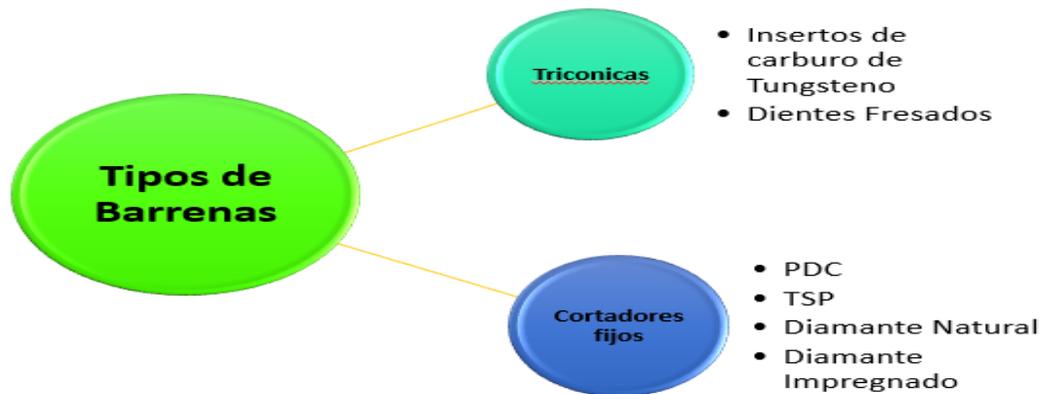


Figura 1 Tipos de Barrenas.

1.3.1 Barrenas Tricónicas

Este tipo de barrenas se compone de tres conos dentados, estos conos están empotrados sobre partes móviles en un eje, permitiéndoles rotar mientras la barrena gira. Cuando la barrena está en el fondo rotando y se le carga peso, los conos giran y los dientes se incrustan en la roca a la vez que la trituran formando cortes pequeños que posteriormente suben a superficie por acción de la hidráulica proporcionada por el fluido de perforación. El mecanismo principal de ataque de esta barrena es de trituración por impacto fallado la roca por compresión.

Los componentes básicos de una barrena tricónica son:

- § **Estructura de Corte:** Se refiere a los elementos cortadores de una barrena que se colocan sobre los conos de la misma. Los tipos de dientes pueden ser forjados desde la estructura de acero de los conos (barrena de dientes de acero), o son prefabricados de carburo de tungsteno y colocados a presión en huecos forjados dentro de los conos (barrena de dientes de insertos). Las barrenas de insertos se diseñan en la perforación de formaciones extremadamente duras (pedernal) y/o abrasivas (arenas), y las barrenas de dientes de acero para formaciones blandas.

- § **Sistema de Rodamiento:** El sistema de rodamiento permite que los conos roten alrededor del cuerpo de la barrena.

- § **Cuerpo de la Barrena:** El cuerpo de la barrena tricónica está en su totalidad hecho de acero. Las propiedades del acero se especifican para darle un equilibrio requerido de esfuerzo cedente, resistencia a la fatiga y la robustez.

- § **Excentricidad (offset):** Es el desplazamiento que existe entre el eje de los conos y el eje real de la barrena (grado de desalineación). Este desplazamiento permite un mejor apaleamiento de la formación y a su vez genera un movimiento de “bamboleo” en la barrena permitiendo un agujero ligeramente de mayor diámetro.

- § **Angulo del Cono:** Es el ángulo que se forma entre el eje horizontal y el eje de la chumacera. Para formaciones blandas este ángulo es de 33°, el perfil de cono suele ser más redondo, generando un apaleamiento y raspado de formación más rápido. En formaciones duras los ángulos suelen ser de 36°, el perfil de cono es más plano y su corte es por trituración es más lento.

- § **Toberas:** Es una parte muy importante de la barrena, sin ellas puede que la barrena no funcione bien. Las toberas sirven para circular fluido el cual tiene la función de llevar el recorte a la superficie, limpiar los recortes generados, enfriar y lubricar la barrena.

- § **Piñon:** Conexión roscada que une la barrena con una doble caja del mismo diámetro de los lastrabarrenas.

- § **Deposito del lubricante:** Contiene el lubricante necesario para los cojinetes y el mecanismo interno del cono.

- § **Calibre:** ayuda a dar estabilidad a los conos, esto dependerá del uso y tamaño del mismo.

- § **Cojinetes:** permite que los conos giren alrededor del cuerpo de la barrena y son diseñados bajo las condiciones de revoluciones por minuto (RPM) y el peso sobre la barrena (WOB).

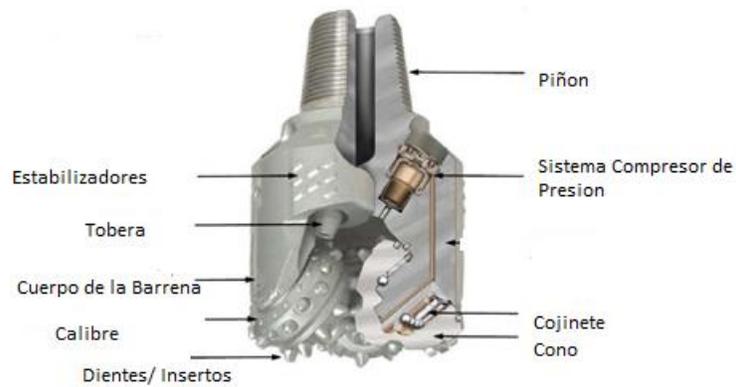


Figura 2 Componentes de la Barrena Triconica

Los cojinetes de las barrenas triconicas se pueden clasificar como cojinetes de rodamiento o en cojinetes de fricción. Los cojinetes de rodamiento son posicionados de tal forma que soporten grandes pesos y bajas revoluciones por minuto (RPM) debido a que las cargas se distribuyen en los rodillos. El caso de los cojinetes de fricción están unidos a la superficie interna del cono que se convierte en el principal elemento del cojinete que soporta la carga radial a diferencia del cojinete de rodillos este cojinete soporta altas revoluciones por minuto y bajo peso sobre la barrena.

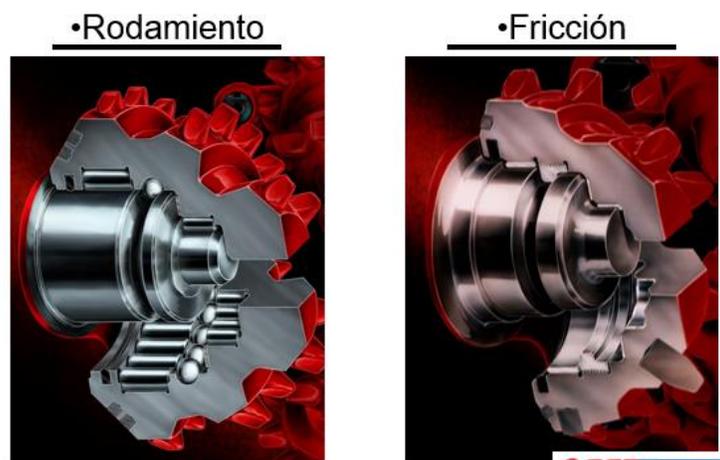


Figura 3 Tipos de Cojinetes

1.3.1.1 Clasificación IADC para barrenas Tricónicas.

La Asociación Internacional de Contratistas de Perforación (por sus siglas en inglés, IADC), proporciona un método de clasificación de las barrenas tricónicas, con el cual se clasifica de una manera estándar cada barrena. El sistema de clasificación permite hacer comparaciones entre los tipos de barrenas que ofrecen los fabricantes.

La clasificación se basa en un código de tres caracteres numéricos.

§ **Primer Carácter (Serie de la estructura cortadora 1-8):** Los caracteres de esta serie indican la dureza de la formación, así como también el tipo de estructura de corte la barrena, ya sea dientes o insertos. Las series del 1 al 3 indican qué barrena tiene dientes de acero. La serie del 4 al 8 indica que la barrena tiene insertos de carburo de tungsteno (TCI). Se considera que en la serie 1 la formación será muy blanda, aumentando hasta la serie 8, en donde la formación será muy dura.

§ **Segundo Carácter (Tipos de estructura cortadora):** El segundo carácter presenta una clasificación de dureza dentro de la dureza definida anteriormente. Cada serie está dividida en cuatro tipos en la mayoría de los casos. El 1 indica que es una formación muy blanda, hasta el 4 que indica una formación muy dura

§ **Tercer Carácter (Cojinete/ Calibre):** Este carácter indica una descripción interna y externa de la barrena. Hace referencia al diseño del cojinete y a la protección del calibre. Está dividido en siete categorías:

1. Cojinete de rodillo estándar no sellado
2. Cojinete de rodillo enfriado con aire.
3. Cojinete de rodillo con calibre protegido.
4. Cojinete de rodillo sellado.
5. Cojinete de rodillo sellado con calibre protegido.
6. Cojinete de fricción sellado.
7. Cojinete de fricción sellado con calibre protegido.

	1er Carácter		2o Caracter	3er Carecter						
	SERIE	FORMACIONES	DUREZA	CATEGORIAS						
DIENTES	1	Blandas	1 Suave	1. Cojinete de rodillo estándar no sellado	2. Cojinete de rodillo enfriado con aire	3. Cojinete de rodillo con calibre protegido	4. Cojinete de rodillo sellado	5. Cojinete de rodillo sellado con calibre protegido	6. Cojinete de fricción sellado	7. Cojinete de fricción sellado con calibre protegido.
			2 Media Suave							
			3 Media Dura							
			4 Dura							
	2	Medias	1 Suave							
			2 Media Suave							
			3 Media Dura							
			4 Dura							
	3	Duras	1 Suave							
			2 Media Suave							
			3 Media Dura							
			4 Dura							
INSERTOS	4	Muy Blanda	1 Suave							
			2 Media Suave							
			3 Media Dura							
			4 Dura							
	5	Blanda	1 Suave							
			2 Media Suave							
			3 Media Dura							
			4 Dura							
	6	Media	1 Suave							
	7	Dura	1 Suave							
			2 Media Suave							
			3 Media Dura							
			4 Dura							
	8	Muy Dura	1 Suave							
			2 Media Suave							
			3 Media Dura							
			4 Dura							

Tabla 1. Código IADC para barrenas triconicas.

1.3.1.2 Tipos de Barrenas Triconicas

Las barrenas triconicas se pueden clasificar de acuerdo con su estructura de corte en: Barrenas de dientes de acero fresados o de insertos de carburo de tungsteno.

1.3.1.2.1 Barrenas de dientes de acero fresados.

Los dientes de las barrenas de dientes de acero fresados están hechos de acero y van forjados en el acero del que está hecho el cono. Son utilizadas en las primeras etapas de perforación. Cuando se les da un uso apropiado pueden perforar por varias horas y están diseñadas para trabajar en formaciones blandas, medias y duras. Debemos considerar que la velocidad de desgaste de los dientes es mayor comparada con la barrena de insertos, debido a que las barrenas de dientes están hechas de acero y al someterlas a formaciones más duras de lo que éstas pueden perforar, se puede llegar a la rotura de los dientes y estos son irremplazables; y solo se pueden reparar con medio de un recubrimiento.

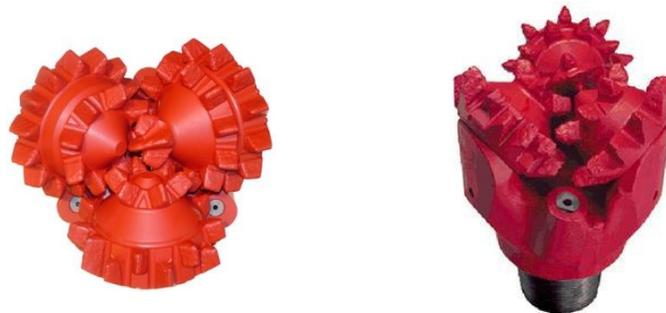


Figura 4 Barrena de dientes de acero.

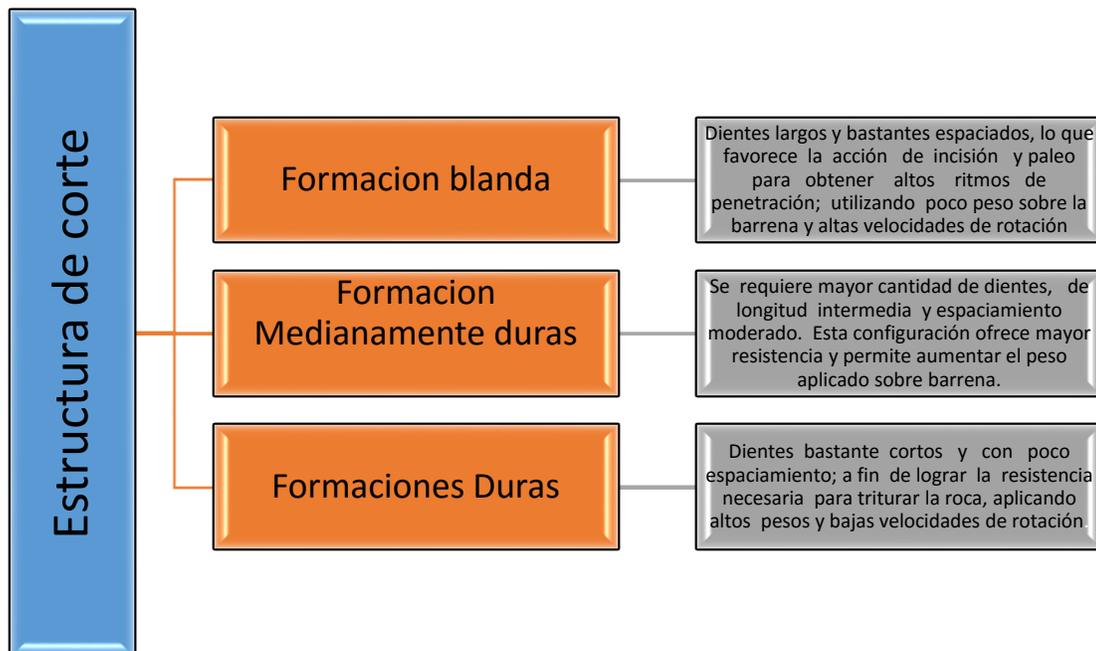


Figura 5 Clasificación de barrenas tricónicas de dientes de acuerdo al tipo de formación.

1.3.1.2.2 Barrenas de insertos de carburo de tungsteno.

En el caso de las barrenas de insertos los cortadores insertos de carburo de tungsteno que están instalados en “huecos” perforados en el cono de la barrena, lo cual le da mayor protección y reducción de fricción. Esta barrena es diseñada para perforar desde formaciones blandas hasta formaciones muy duras y abrasivas. Comparada con las de dientes de acero, estas tienen una mayor durabilidad en lo

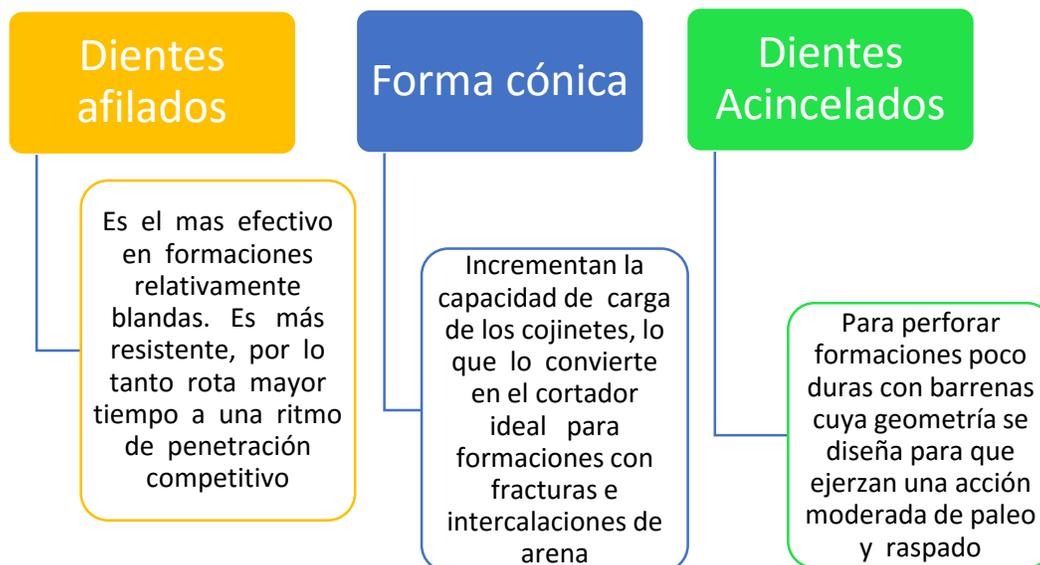


Figura 6 Barrena de insertos

que respecta a la estructura de corte (diente), al igual que tiene una mayor resistencia a la erosión y abrasión. Considerando que al ser para formaciones duras y abrasivas la velocidad de perforación dependerá de los parámetros con los que se esté perforando.

Una de las situaciones importantes que debemos considerar para una correcta instalación de cualquier barrena, es su apriete, ya que un apriete excesivo pudiera llegar a fracturar el piñón. Por otro lado el apriete deficiente pudiera ocasionar la pérdida de la herramienta en el pozo. La vida de los cojinetes también debe ser considerada en cuanto a la correcta instalación de la barrena en la sarta de perforación. Debido a que éstos se desgastan dependiendo de las condiciones de operación con las que se trabaje, principalmente el

peso que se ejerza. En el caso de las tricónicas, el peso sobre la barrena es el factor principal para que estas perforen debido al mecanismo de corte que tiene la función de triturar la formación.



1.3.2 Barrenas de cortadores fijos.

A diferencia de las tricónicas, carecen de partes móviles; el cuerpo fijo de la barrena puede ser de acero o de carburo de tungsteno. Son fabricadas con diamante natural o sintético. La dureza extrema y la alta conductividad térmica del diamante lo hace un material con alta resistencia para perforar en formaciones duras a semiduras.

Las barrenas de diamantes, a excepción de las barrenas PDC, no usan toberas de lodo. Están diseñadas de tal manera que el fluido de perforación pueda pasar a través del centro de la misma, alrededor de la cara de la barrena y entre los diamantes por unos canales llamados vías de agua o de circulación.

Estas barrenas cortan la roca por fricción y compresión. Por lo general entre más dura y más abrasiva sea la formación, más pequeño será el diamante que se debe usar en la barrena.¹

§ Características de las barrenas de cortadores fijos

La barrena de cortadores fijos (Diamante Policristalino Compacto "PDC") tienen ciertas características las cuales permiten perforar formaciones más duras y abrasivas, así como perforar pozos horizontales. Enseguida se muestran y describen de manera breve, cada uno de los componentes principales de la barrena de cortadores fijos, así como la función que emite cada uno de éstos sobre ella:

1. **Aleta:** Parte de la barrena en la cual van colocados los cortadores.
2. **Calibre:** Es considerado la parte más baja de la aleta y es el encargado de proporcionar la estabilidad a esta misma. Dependiendo del uso y el pozo que se desee perforar, se elige el largo del calibre ya que existen distintos tamaños.
3. **Tobera:** Son orificios a través de los cuales el fluido de perforación fluye para limpiar los recortes del fondo del pozo que genera la barrena, así como lubricar y enfriar a ésta, para mejorar su rendimiento en el proceso de perforación en el pozo. Existen 3 tipos de toberas:
 - Roscables (hexagonal y cuadrado).
 - De clavo o seguro.
 - De candado.
4. **Piñon:** Conexión roscada que une la barrena con una doble caja del mismo diámetro de los lastrabarrenas.

¹ Manual del Perforador, Capítulo 4. Documento Electrónico

5. **Cortadores:** El elemento cortante PDC está unido a un sustrato de carburo de tungsteno que se encuentra fijo dentro del cuerpo (aletas de la barrena).
6. **Perfil:** El perfil de las barrenas es referido a la silueta de estas y nos será de gran utilidad ya que dependiendo del perfil podemos saber que barrena nos proporciona mayor facilidad para generar ángulo en pozos direccionales, así como para la selección de las barrenas en caso de perforación en pozos verticales.
7. **Hombro de la barrena:** Considerado como la parte de la barrena que define el diámetro del agujero. Es útil para que éste se construya con mejor definición y se obtenga una geometría adecuada en el pozo.

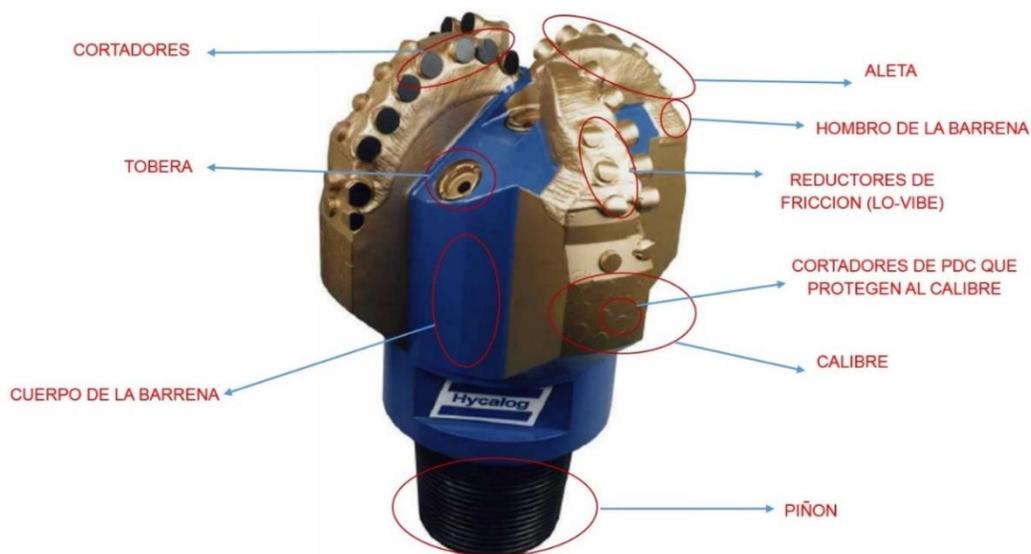


Figura 7 características de las barrenas de cortadores fijos

1.3.2.1 Barrenas PDC

Las barrenas PDC pertenecen al conjunto de barrenas de diamante con cuerpos sólidos y cortadores fijos y, al igual que las barrenas TSP, utilizan diamante sintético. Su diseño de cortadores está hecho con diamante sintético en forma de pastillas (compacto de diamante), montadas en el cuerpo de los cortadores de la barrena de diamante natural y las TSP, su diseño hidráulico se realiza con sistema de toberas para lodo, al igual que las barrenas tricónicas.

El mecanismo de corte de las barrenas PDC es por arrastre. Por su diseño hidráulico y el de sus cortadores en forma de pastillas tipo moneda y, además, por sus buenos resultados en la perforación rotatoria, este tipo de barrenas es la más usada en la actualidad para la perforación de pozos petroleros. También representa muchas ventajas económicas por su versatilidad.

Por su diseño y características, las barrenas PDC cuentan con una gran gama de tipos y fabricantes, especiales para cada tipo de formación: desde muy suaves hasta muy duras, y en diferentes diámetros según el diseño de los pozos.



Figura 8 Barrenas PDC

Además, estas barrenas pueden ser rotadas a alta velocidades, utilizadas con turbinas o motores de fondo, con diferentes pesos sobre barrena y por su alta resistencia, así como fácil manejo según las condiciones hidráulicas.²

En este tipo de barrenas se ubican 5 componentes principales:

1. **Calibre:** Es la zona lateral del cuerpo y mantiene el diámetro de la barrena durante la perforación desgastándose él y no las aletas de la barrena.
2. **Hombro:** Es la parte con las que la barrena hace contacto en el agujero en forma lateral.
3. **Conicidad:** Es la parte angular de la cara de la barrena y es la que hace contacto con la formación de acuerdo al ángulo que tiene, es indispensable tener una buena cantidad de cortadores en esta parte.

² Escuela de Perforación, Barrenas, Documento Electrónico 2011.

4. **Nariz:** Es el área periferia de contacto con el fondo y por lo tanto mayor contacto con la formación, cuando se perfora un pozo vertical. Es preferible tener una gran cantidad de cortadores colocados en esta área.
5. **Cono:** Es la cavidad central de la parte inferior del cuerpo de la barrena que hace contacto directo con el fondo del pozo.

§ **Geometría de los cortadores y aletas.**

Los elementos cortantes PDC están unidos a un sustrato o bebel (que provee mayor resistencia de impacto), que se encuentra fijo en el cuerpo/aletas. Su ubicación, tamaño, perfil, orientación y forma son relevantes ya que de estos depende el grado de agresividad que tenga la barrena así como la efectividad de penetración en un tipo de formación.

	Formaciones blandas	Formaciones duras
Densidad del cortador	Menor cantidad de cortadores	Mayor cantidad de cortadores
Tamaño del cortador	16-25 mm.	8-13 mm.
Orientación del cortador	<25°	>25°
Perfil del cortador	Perfil corto, ángulo poco pronunciado del cono, nariz de radio pequeño	Perfil más largo, cono más profundo, nariz de radio grande.
Disposición de las aletas	Menos cuchillas Menos estable, mayor cantidad de toberas.	Más cuchillas Más estable, menor cantidad de toberas.

Tabla 2 Geometría de los cortadores y aletas

1.3.2.2 Clasificaciones IADC para Barrenas de Cortadores fijos.

El clasificar barrenas en cortadores fijos, únicamente tienen la intención de proveer los medios para caracterizar de forma general su apariencia física. Dos barrenas con un código IADC similar o incluso igual, pueden tener una capacidad de desempeño diferente. Este código es de 4 cifras las cuales describen: el primero el material del cuerpo Acero (S) o Matriz (M), el segundo la densidad del cortador depende de cuantos cortadores tenga, el tercero tamaño y tipo del cortador y el cuarto el perfil de la barrena desde 1 que representa un perfil plano hasta el número 4 que representa un perfil de turbina larga afilada.

1er. CARACTER			2do. CARACTER				3er. CARACTER				4to. CARACTER			
Tipo de Cortador	Material del Cuerpo		Densidad				Tamaño				Perfil del Cuerpo			
			Muy Ligero	Ligero	Denso	Muy Denso	≥ 24mm	14-24 mm	≤ 14 mm		Cola de Pescado o Plana	Corto	Medio	Largo
M	PDC	Matriz	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
S	PDC	Acero	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
Tipo de Cortador	Material del Cuerpo		Tamaño				Elemento				Perfil del Cuerpo			
			< 3 spc	3 - 7 spc	> 7 spc		Diamante Natural	TSP	Combinación	Impregnado	Cola de Pescado o Plana	Corto	Medio	Largo
T	TSP	Matriz	6	7	8		1	2	3	4	1	2	3	4
D	Diamante	Natural	6	7	8		1	2	3	4	1	2	3	4

Tabla 3 Código IADC. Barrenas de Cortadores fijos.

1.3.2.3 Barrenas de Diamante Natural.

Este tipo de Barrenas posee cortadores de diamante natural en el cuerpo de la barrena con diferentes diseños y el mecanismo de corte de este tipo de barrenas es mediante fricción y arrastre. El uso de estas barrenas es limitado, se ocupan en casos especiales cuando se tienen formaciones duras a muy duras y abrasivas. Entre más dura y abrasiva es la formación, más pequeño deberá ser el diamante. La forma del diamante es redondo pero irregular.

En general, una barrena de diamante que perfora más rápido tiene una vida útil más corta. De un modo similar, una barrena diseñada para una vida útil extremadamente larga exhibirá generalmente menor velocidad de perforación. Si una barrena está

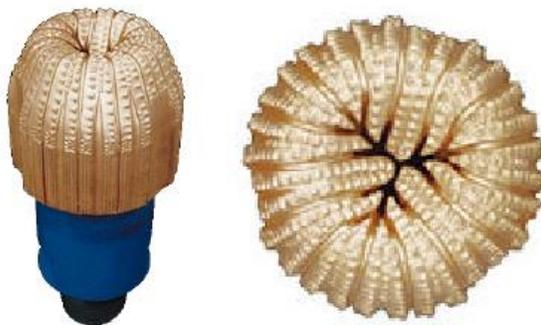


Figura 9 Barrena de Diamante Natural.

provista de un número relativamente alto de diamantes en comparación con otras barrenas, se habla de una barrena "de mucho peso" y su durabilidad es mayor. Por el contrario, una barrena "de poco peso" perfora en forma más agresiva pero se desgasta más rápido porque el trabajo es ejecutado por menos diamantes.

1.3.2.4 Barrenas TSP.

El diseño de las barrenas de diamante térmicamente estable (TSP), al igual que las de diamante natural, es de un solo cuerpo sin partes móviles. Son usadas para perforación de rocas duras como caliza dura, basalto, y arenas finas duras, entre otras. Son un poco más usadas para la perforación convencional que la barrenas de diamante natural.

El uso de las barrenas TSP también es restringido porque, al igual que las de diamante natural, presentan dificultad en su uso por restricciones de hidráulica.

Así las vías de circulación están prácticamente en contacto directo con la formación y, además, se generan altas torsiones en la tubería de perforación por la rotación de las sartas, aunque en la actualidad se pueden usar con motores de fondo.

Este tipo de barrenas usa como estructura de corte, diamante sintético en forma de triángulos pequeños no redondos, como es el caso de las barrenas de diamante natural. La densidad, tamaño, y tipos son características que determinan cada fabricante. Estas barrenas también tienen aplicación para cortar núcleos y desviar pozos cuando así lo amerite el tipo de formación.³



Figura 10 Barrena TSP

³ Schlumberger, Introducción al equipo de perforación. Documento electrónico

1.3.2.5 Barrenas de Diamante Impregnado.

Las barrenas impregnadas contienen polvo de diamantes naturales afilados mezclados (en varias concentraciones) con matriz de carburo de Tungsteno. Pueden usarse tanto en formaciones duras como blandas, su diseño es parecido a las PDC, se diferencian en la posición y el ángulo de los dientes de la barrena. Los diamantes utilizados en estas barrenas son por lo general mucho más pequeños que aquellos utilizados en barrenas convencionales de diamantes naturales. Grandes diamantes naturales son colocados en el área del calibre para mantener el tamaño del agujero durante la corrida de la barrena. Las barrenas impregnadas de diamantes, perforan de manera similar a las barrenas de diamantes naturales. Esto les da la habilidad para perforar las formaciones más duras y abrasivas a altas RPM, lo cual las hace particularmente útiles cuando se utilizan turbinas y motores de fondo



Figura 11 Barrena de Diamante impregnado

1.3.3 Barrenas Híbridas.

Las barrenas híbridas son una combinación de una barrena tricónica y una barrena de cortadores fijos de PDC su diseño es único y está patentado por la empresa Baker Hughes, para tener una reducción del tiempo de perforación en las formaciones más difíciles y complejas.

Este tipo de arreglo brinda una mayor estabilidad y mejor corte en la formación a diferencia de las barrenas tricónicas o PDC convencionales. Este tipo de barrenas están diseñadas para soportar formaciones altamente intercaladas (por ejemplo: intercalaciones de cuerpos arenosos y lutíticos).

En comparación con las barrenas triconicas, puede aumentar ROP y puede usarse menos WOB como resultado se obtiene menos rebote al momento de perforar. En comparación con la PDC, no mejoró significativamente la durabilidad en las formaciones interestratificadas (por ejemplo: caliza con dolomía), la perforación resultó más baja, pero fue más consistente, con una mejor estabilidad y un mejor control.

1.3.4 Ampliadoras

Las barrenas ampliadoras o bicéntricas son un tipo de barrenas especiales y se utilizan para operaciones tales como la ampliación del diámetro del agujero, ya sea desde la boca del pozo o a una profundidad determinada del pozo. Sus dos centros

de masa (en el piloto y en el ampliador), contribuyen a la construcción de un agujero más amplio llegando hasta 9 ½" de diámetro o más dependiendo de las necesidades y así garantizar una mejor corrida de TR (Tubería de Revestimiento).

1.4 Lodo de Perforación.

El fluido de perforación o lodo como comúnmente se le conoce, puede ser cualquier sustancia o mezcla de sustancias con características físicas y químicas específicas y apropiadas, como son el aire o gas, agua, aceite o combinaciones de agua y aceite con un determinado porcentaje de sólidos.

El fluido no debe ser tóxico, corrosivo, ni inflamable, pero inerte a las contaminaciones de sales solubles o minerales y estable a las altas temperaturas a las que estará expuesto. Además, debe conservar sus propiedades de acuerdo a las exigencias de las operaciones, debe ser inmune al desarrollo de bacterias.

Algunas de las principales funciones del lodo de perforación son:

1. Retirar los recortes del fondo del agujero, transportarlos y llevarlos a la superficie.
2. Enfriar y lubricar la barrena y la sarta de perforación.
3. Controlar las presiones del subsuelo
4. Sostener los recortes y el material pesado en suspensión cuando se detenga la circulación.
5. Soportar parte del peso de las sarta de perforación y de revestimiento.
6. Transmitir potencia hidráulica a la barrena.
7. Proteger la sarta de perforación contra la corrosión.

Los lodos de perforación poseen propiedades como son:

- § Densidad
- § Viscosidad
- § Viscosidad plástica
- § Punto cedente
- § Fuerza de gel
- § PH
- § Punto de cedencia
- § Filtrado

1.4.1 Lodos Base Agua

Los sistemas de fluidos base agua se clasifican por la resistencia a los tipos de contaminantes de la formación y sus temperaturas, las cuales se van transformando

en su formulación debido a la incorporación de flujos de gases, sal, arcillas, yeso, líquido y sólidos propios de la formación o de aditivos químicos excedidos y degradados.⁴

La fase continua de un lodo de perforación base agua es esta misma el agua. Los aditivos químicos (sólidos) se mezclan en la fase continua hasta formar una mezcla homogénea.

1.4.2 Lodos Base Aceite

El fluido base aceite o también conocido como emulsión inversa se define como un sistema en el que la fase continua es el aceite y a su vez el filtrado de este también lo es. El agua que está presente en el sistema consiste de pequeñas gotas que se encuentran dispersas en el aceite. Cada gota de agua suspendida en el aceite actúa como si fuera una partícula de sólidos. La adición de emulsificadores hace que el agua se emulsifique en el aceite y forme un sistema estable. Los emulsificantes que son utilizados para este tipo de lodo deben ser solubles tanto en aceite como en agua.

1.4.3 Reología

La ciencia y el estudio de la deformación y el flujo de la materia. El término también se utiliza para indicar las propiedades de un líquido dado, como en la reología de los lodos. La reología es una propiedad sumamente importante de los lodos de perforación, los fluidos de perforación de yacimiento, los fluidos de reacondicionamiento y terminación, los cementos y los fluidos y píldoras especializados. La reología del lodo se mide continuamente durante la perforación y se ajusta con aditivos o dilución para cumplir con las necesidades de la operación. En los fluidos a base de agua, la calidad del agua juega un papel importante en el desempeño de los aditivos. La temperatura afecta el comportamiento y las interacciones del agua, la arcilla, los polímeros y los sólidos en el

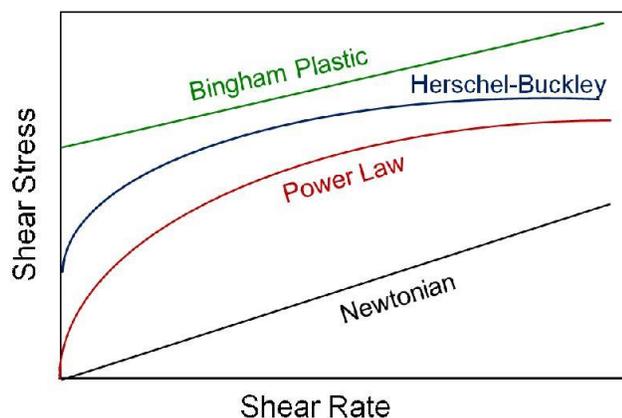


Figura 12 Modelos Reologicos

⁴ Un siglo de la Perforación en México, tomo 3. Documento Electrónico.

lodo. La presión de fondo de pozo debe ser tenida en cuenta al evaluar la reología de los lodos a base de aceite.⁵

Reología. Los fluidos se describen como newtonianos o no newtonianos dependiendo de su respuesta a la cizalladura. El esfuerzo cortante de un fluido newtoniano es proporcional a la velocidad de corte. La mayoría de los fluidos de perforación son no newtonianos, disminuyendo su viscosidad a medida que aumenta la velocidad de corte y correspondiéndose mucho más con uno de los otros tres modelos mostrados.

1.5 Motores de fondo.

Los motores de fondo son generadores de potencia, a medida que los objetivos de la perforación se complican y dificultan es necesario generar más potencia directamente a la barrena, sin tener la necesidad de rotar la sarta de perforación. En la actualidad se utilizan dos tipos de motores de fondo: motores de fondo accionados por turbinas y los motores de fondo de desplazamiento positivo. Los cuales ofrecen las siguientes ventajas en relación directa a su transmisión de fuerza motriz a la barrena más que transmitirlo a la superficie.

- § Eliminación de la vibración lateral
- § Reducción de desgaste en sarta y tubería de revestimiento
- § Menor torque en sarta, especialmente en agujeros desviados
- § Fatiga de carga reducida en tubería de perforación
- § Puede correrse con poco peso a velocidades continuas
- § Habilidad para orientarse y perforar hacia adelante

1.5.1 Turbinas

El desarrollo de las Turbinas comenzó en 1924 en la antigua URSS y los E.U.A. El desarrollo ha continuado en Rusia hasta el día de hoy para utilizarlos como la norma para la perforación de sus pozos direccionales. Esta situación ha sido favorecida por la falta de suficiente tubería resistente a la fatiga para la perforación rotaria.

En otras partes, los PDM han reemplazado a las turbinas como el primer tipo de motor direccional seleccionado, mientras las turbinas son usadas más selectivamente según las condiciones.

1. Las turbinas solo pueden ser energizadas por un fluido de perforación líquido.

⁵ Oifield Glossary Schlumberger.

2. Una turbina consiste de aspas y estatores montados en ángulos rectos al flujo del fluido.
3. Los rotores están colocados en la flecha propulsora mientras que los estatores están pegados a la tubería externa.
4. Cada par de rotor / estator son conocidos como un etapa
5. Las turbinas típicamente están equipadas con 75 – 250 etapas.
6. Los estatores direccionan el flujo a los rotores accionando la flecha en sentido de las manecillas del reloj.
7. Las turbinas de desvío son unidades cortas (30 pies) mientras que las turbinas de ángulo recto son mucho mayores y están compuestas de muchas secciones – sub de circulación, Sección superior de motor, Secciones de Potencia 1 – 2 , una sección de rodamientos y una sección de flecha incorporando el estabilizador cercano a la barrena.
8. Las turbinas son mecanismos de alta velocidad (500 – 1000 RPM). Cuando hay una vía por la que fluya el fluido, el aplicar peso excesivo causará que se atasque.⁶

1.5.2 Motores de fondo de desplazamiento positivo.

Los conceptos originales PDM fueron desarrollados en 1956 basados en el concepto Moineau, principio de la bomba en reversa Ej.: El flujo de un fluido mueve la flecha de una bomba.

La bomba puede ser energizada por el fluido de perforación, aire o gas y se compone de cuatro secciones:

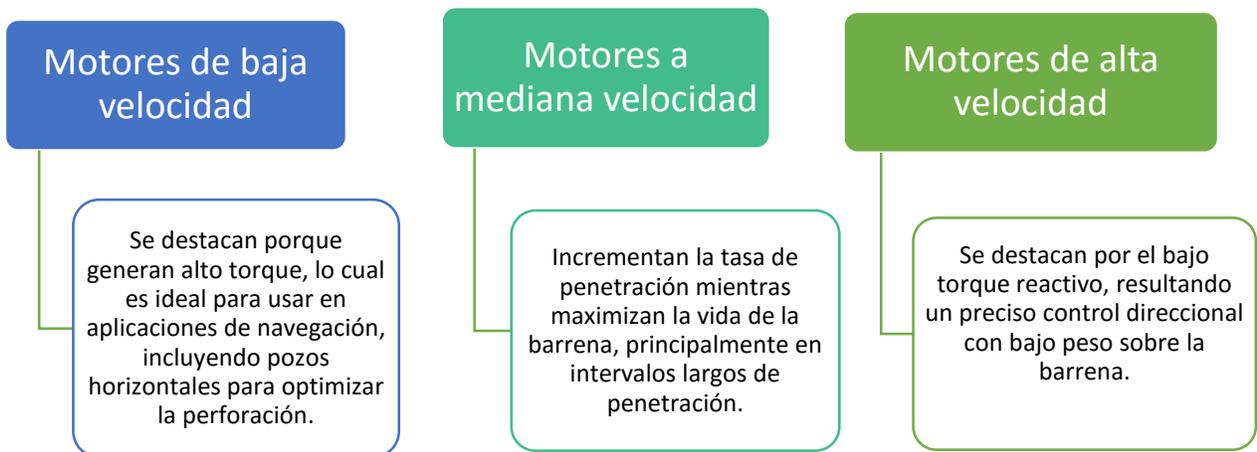
1. Válvula de descarga – Una válvula de desviación permitiendo a la sarta llenarse o vaciarse cuando es puesta en movimiento.
2. Ensamble de Motor – Se componer de un estator con forma espiral, una flecha de acero sólido rota a través de la longitud de la cavidad. La parte superior está libre mientras que la inferior está fija a un vástago conector.
3. Vástago Conector – Equipado con una junta universal a cada extremo para acomodar la rotación excéntrica del rotor y transferir esta rotación a la flecha.
4. El rodamiento y el ensamble de la flecha – Consisten de rodamientos de empuje y un rodamiento radial para permitir una rotación suave de la flecha. Los rodamientos son lubricados por el lodo. La flecha es conectada a un sub en la barrena la que es la única parte rotatoria externa del motor de lodo.

⁶ Escuela de perforación, Perforación Direccional, Schlumberger. Documento Electrónico

El motor está diseñado para que el rotor sea forzado a girar en sentido de las manecillas del reloj cuando el fluido de perforación es bombeado a través de las cavidades entre el rotor y el estator. Los Motores son definidos por la razón del número de lóbulos en la sección del rotor al estator siempre hay más de un lóbulo estados y estos pueden variar de 2 a 11 por lóbulos estatores con su correspondiente 1 a 10 lóbulos rotores.

El torque producido por los PDM es proporcional a la presión diferencial a través del motor. Cuando se aplica peso en la barrena, la presión de circulación se incrementa. Cuando la barrena deja de perforar, la presión disminuye. Así, la presión en la bomba puede utilizarse como ambas, peso en la barrena e indicador de torque.⁷

1.5.3 Clasificación de motores de fondo.



⁷Escuela de perforación, Perforación Direccional, Schlumberger. Documento Electrónico

Capítulo 2. Determinación de parámetros para la perforación.

Existen parámetros y condiciones que influyen de diferentes maneras en el rendimiento y costo de una barrena durante su operación. Algunos parámetros de perforación son definidos como Gasto Óptimo de Operación, Peso Sobre la Barrena, Velocidad de la Barrena, Costo por metro de Perforado, Torque y Arrastre.

Muchos de estos parámetros no recaen únicamente en las herramientas usadas sobre la barrena, en las características geológicas y en la selección misma de la barrena, sino principalmente en aspectos operativos las cuales, dependiendo de sus características y del personal que las utilice, pueden ayudar o perjudicar el rendimiento y desempeño de la barrena.

2.1 Costo por metro perforado

A pesar de que el costo por metro perforado representa solo una fracción del costo total del equipo, las barrenas son uno de los elementos más importantes que deben ser considerados en el aspecto económico dentro de la perforación. El costo de una barrena de diamante puede ser considerablemente más alto en comparación con una barrena tricónica de insertos o de dientes fresados, esto es debido al tipo de contrato que se tenga, ya que para nuestro país se tienen diferentes contratos y de estos depende el costo de las barrenas. De ahí que se tenga que evaluar el desempeño y rendimiento de cada barrena. Para evaluar este desempeño se consideran varios parámetros de comparación como es el costo de la barrena, la velocidad de perforación, la profundidad perforada, entre otras.

El objetivo es optimizar el costo de la perforación tratando de llegar al menor costo posible sin poner en riesgo las condiciones de operación y respetando las especificaciones de la perforación junto con las restricciones de la misma.

Por todo lo anterior se considera el siguiente método como el adecuado para las condiciones actuales es el Costo por Metro. Para el cálculo de este se emplea la siguiente ecuación:

$$C = \frac{B + R(T + Tv + Tc)}{M}$$

.....Ecuación 1

De donde:

C= Costo por metro perforado (\$/m)

B= Costo de la Barrena (\$)

R= Costo de operación del equipo de perforación por hora (\$/Hr)
T= Tiempo transcurrido durante la perforación (Hrs)
Tv= Tiempo de viaje de la sarta de perforación (Hrs)
Tc= Tiempo de conexión (Hrs)
M= Metros perforados por la barrena (m)

En este método se incluye un parámetro denominado Tiempo de conexión (Tc), este parámetro se calcula tomando en cuenta la longitud estándar de los tubos de perforación que es de 9.30. Se divide la longitud perforada (M) entre 9.30 y posteriormente se multiplica por el tiempo en que se realiza la conexión, este último es variable ya que depende de las capacidades y experiencia del personal, del equipo que se esté utilizando y de las condiciones de operación.

$$Tc = \left(\frac{M}{9.30} \right) (\text{Tiempo de Conexion})$$

.....Ecuación 2

Otro parámetro que interviene es el Tiempo de Viaje (Tv), de manera práctica, se utiliza la siguiente formula:

$$Tv = \left(0.004 \left[\frac{\text{Hrs}}{m} \right] \right) (\text{Prof [m]})$$

.....Ecuación

El factor 0.004 se obtiene haciendo la suposición que en 4 horas la tubería viajara 1000m (4Hrs/1000m = 0.004 Hrs/m), aunque esto depende de la experiencia y capacidades del personal, el equipo que se esté utilizando y las condiciones de operación.

La ecuación de costo por metro perforado es aplicable para cualquier tipo de barrena incluyendo las barrenas de diamante. Esta ecuación se puede utilizar al término de una corrida de perforación usando datos reales de la operación y así calcular el costo por metro perforado o en su defecto se aplica antes de la corrida de perforación asumiendo datos para el cálculo del costo.

2.2 Gasto óptimo de operación

Para optimizar el desempeño de las barrenas es necesario considerar el gasto de lodo que deben producir las bombas. Esta se realiza en función de las características y propiedades del lodo, así mismo se debe considerar el diámetro de las toberas, ya que estas están en función del gasto del lodo, del coeficiente de descarga de la barrena y la profundidad a perforar. Otro parámetro importante que se debe considerar es el comportamiento del flujo y las caídas de presión que se

presentan en el espacio anular. No es conveniente reducir el gasto mínimo, ya que un gasto bajo podría provocar embolamiento y reduce la limpieza del agujero, provocando así la disminución en la tasa de penetración e incrementan el costo de operación. Para seleccionar una tasa de flujo y una presión de circulación que permita una buena limpieza del pozo y una potencia adecuada en la barrena, siempre que no exceda la presión máxima permitida en superficie y en el espacio anular es necesario considerar:

- § Si las bombas son capaces de bombear a la presión requerida.
- § Si el gasto seleccionado no interfiere con el funcionamiento de las otras herramientas de la sarta (MWD, LWD).
- § Si el gasto optimo seleccionado es superior a la velocidad anular crítica mínima.
- § Si el gasto optimo seleccionado es inferior a la velocidad anular crítica máxima.

La velocidad anular crítica debe ser considerada al tratar de definir el gasto óptimo, ya que es importante evitar la retención de sólidos en el espacio anular, debido a que el incremento en la densidad del lodo podría causar pérdidas de fluido hacia las formaciones.

Es posible calcular la velocidad anular crítica utilizando la siguiente fórmula:

$$V_c = \left[\frac{(3470 - 1370)K \left(\frac{2n + 1}{3n}\right)^n}{928(DI_{\text{agujero}} - DE_{\text{tubería}}) \left(\frac{144}{DI_{\text{agujero}} - DE_{\text{tubería}}}\right)^{1-n}} \right]^{\frac{1}{2-n}}$$

.....Ecuación 3

Donde:

V_c = Velocidad crítica anular (pie/min)

n = cte. de la ley de potencias para el espacio anular

W = Densidad del lodo (ppg)

DI_{agujero} = Diámetro interno del agujero o de la TR (pg)

$DE_{\text{tubería}}$ = Diámetro externo de la tubería (pg)

K = Factor de consistencia para el espacio anular (cp)

Ya que se tiene calculada la velocidad anular promedio es posible obtener el gasto crítico con la siguiente formula:

$$Q_c = 2.45V_c(DI^2_{\text{agujero}} - DE^2_{\text{tubería}})$$

.....Ecuación 4

Donde:

Q_c = Gasto anular crítico (gpm)

D_{agujero} = Diámetro interno del agujero o de la TR (pg)

$DE_{\text{tubería}}$ = Diámetro externo de la tubería (pg)

V_c = Velocidad crítica anular (pie/mim)

Los valores de n y k se pueden calcular utilizando las siguientes fórmulas con la ayuda del viscosímetro FANN.

$$n = 0.657 * \log\left(\frac{\theta_{100}}{\theta_3}\right)$$

..... Ecuación 5

$$K = \frac{511 * \theta_3}{5.11^n}$$

..... Ecuación 6

2.3 Peso sobre la barrena

A medida que la barrena perfora, los dientes o cortadores se van sufriendo un desgaste, por lo que generalmente se le aplica cada vez más peso. Éste peso es recibido por los conos de la barrena. Este aumento de peso pueden hacerse hasta lograr un ritmo de penetración aceptable o hasta llegar al límite prescrito en las recomendaciones de operación de la barrena; en caso contrario la barrena tendrá un desgaste prematuro.⁸

2.3.1 Tubería pesada

La tubería pesada o Heavy Weight es un componente intermedio del ensamblaje de fondo (BHA). Es tubería de espesor grueso, similar a los lastrabarrenas o drill collar de diámetro pequeño, cuya conexión posee las mismas dimensiones que las de la tubería de perforación para facilitar su manejo, pero a diferencia de esta es un poco más larga.

La función más importante de la tubería pesada es servir de zona de transición entre el lastrabarrena y la tubería de perforación para minimizar los cambios de rigidez entre los componentes de la sarta y tiene como objetivo reducir las fallas originadas en la conexión de la tubería de perforación.

Algunas de las funciones de la tubería pesada son:

- § Como elemento de transición entre los lastrabarrenas de perforación (DC) y la tubería de perforación (TP).

⁸ Un Siglo de la Perforación en México, "Barrenas e Hidráulica de Perforación", Tomo 4, pág. 38, Documento Electrónico.

- § Esto previene pandeo de la TP.
- § Puede trabajarse en compresión sin sufrir daño en las conexiones.
- § Empleada extensamente en Perforación Direccional.
- § En ocasiones se utiliza en reemplazo de los lastrabarrenas.
- § Mantiene la Tubería de perforación rotando en tensión.
- § Se debe usar para proporcionar peso sobre la barrena en condiciones especiales.

Para calcular la longitud mínima de la tubería pesada empleamos la siguiente fórmula:

$$LHWDP = \frac{WOB * DFBHA}{KB * \cos \theta} (WDC1 * LDC1) - (WDC2 - LDC2) \\ WHWDP$$

.....Ecuación 7

Dónde:

LHWDP = Longitud mínima de la HWDP (pies).

WOB = Peso sobre la barrena (lbf).

DFBHA = Factor de diseño para el sobrepeso.

KB = Factor de flotación.

θ = Ángulo máximo del pozo (grados).

WDC1 = Peso unitario de los lastrabarrenas en la primera sección (lb/pie).

WDC2 = Peso unitario de los lastrabarrenas en la segunda sección (lb/pie).

WHWDP = Peso unitario de la tubería pesada (lb/pie).

2.3.2 Lastrabarrena

Los lastrabarrenas son barras de acero que son utilizadas para auxiliar a la tubería de perforación y dar peso a la barrena durante la perforación. También son conocidas como Drill Collars.

Los lastrabarrenas son piezas tubulares de grueso espesor trabajadas a partir de barras sólidas de acero, generalmente acero al carbono común aunque a veces se utilizan aleaciones de níquel-cobre no magnético, u otras aleaciones no magnéticas de calidad superior. Las barras de acero se encuentran perforadas de un extremo a otro para proporcionar un pasaje para el bombeo de los fluidos de perforación a través de los lastrabarrenas.⁹

⁹ Oilfield Glossary Schlumberger.

Los lastrabarrenas se clasifican en dos tipos:

§ **Lastrabarrenas lisos:** Este acabado se denomina convencional, ya que trae la forma tal y como sale de la acería y satisface todos los requisitos nominales. Se fabrican esencialmente con diámetros interiores y exteriores uniformes y tienen roscas de sello en la parte inferior del piñón y de la caja.



Figura 13 Lastrabarrenas liso

§ **Lastrabarrenas de espiral:** Tienen una ranura en espiral a lo largo del cuerpo del lastrabarrena que tiene como función disminuir el área de contacto entre los lastrabarrenas y la pared de pozo, evitando con esto pegaduras por presión diferencial.



Figura 14 Lastrabarrenas en espiral.

El peso aplicado a la barrena debe provenir únicamente de los lastrabarrenas, si el peso aplicado a la barrena excede el peso total de los lastrabarrenas, el peso extra provendrá de la tubería, la cual estaría en compresión, siendo susceptible de torceduras y a que se zafe la rosca.

El peso de los lastrabarrenas actuando directamente sobre la barrena tiene dos consecuencias principales:

1. La tendencia de la sarta de colgar verticalmente debido al peso y la gravedad. Entre más pesados sean los lastrabarrenas, menos probables es que el pozo se desvíe de la vertical.
2. El peso aplicado a la barrena la hará estabilizar, haciendo que el pozo mantenga su dirección constantemente. Esta estabilización de la barrena también permitirá una distribución más pareja de la carga sobre la estructura cortante de la barrena. Esto evita que la barrena se aleje de la posición central, garantizando un pozo derecho, de diámetro correcto, desgaste parejo de la barrena y mayores relaciones de penetración.

Mantener el pozo en la dirección correcta se logra no sólo por el peso y la rigidez de los lastrabarrenas en la base de la sarta de perforación, sino con que el diámetro exterior de los lastrabarrenas sea apenas menor que el diámetro de la barrena empleada, o al diámetro del pozo.

El inconveniente asociado a este tipo de diseño de sarta de fondo (Bottom Hole assembly o ensamble de Fondo) (BHA) es que es muy susceptible de sufrir por pega diferencial, donde la tubería se pega en el enjarre que cubre las paredes del pozo. Este riesgo se minimiza mediante la utilización de lastrabarrena con diferentes diseños de sección, o de surcos en la superficie con el fin de reducir el área de contacto que pueda haber entre los lastrabarrenas y la pared del pozo.

Para determinar el peso por pie de los lastrabarrenas de perforación se tiene la siguiente ecuación:

$$PB = 2.67 * [(DE)^2 - (DI)^2]$$

.....Ecuación 8

Dónde:

PB: Peso de lastrabarrenas, lbs/pie

DE: Diámetro externo, pulg.

DI: Diámetro interno, pulg.

Para calcular la longitud mínima de los lastrabarrenas utilizamos la siguiente expresión:

§ Para pozos verticales

$$LDC = \frac{WOB * DFBHA}{WDC * KB}$$

.....Ecuación 9

§ Para pozos horizontales

$$LDC = \frac{WOB * DFBHA}{WDC * KB * \cos\theta}$$

.....Ecuación 10

Dónde:

WOB = peso sobre la barrena (lbf).

DFBHA = factor de diseño para el sobrepeso.

KB = factor de flotación.

θ = ángulo máximo del pozo (grados).

WDC = peso unitario de los lastrabarrenas (lb/pie).

2.4 Velocidad de la barrena

La velocidad de rotación también es llamada con el término “RPM” (Revoluciones por minuto). Para el caso de las barrenas de diamante esta alta velocidad no afecta su funcionamiento ya que estas pueden ser utilizadas con motores de fondo. En lo que se refiere a las barrenas tricónicas hay algunas consideraciones para altas velocidades de rotación.

La velocidad de rotación indica el número de rotaciones completadas cada minuto por un cuerpo que gira alrededor de un eje. En este caso es el número de vueltas de que da la barrena en un minuto, tomando en cuenta que el uso de diferentes arreglos superficiales causa diferentes revoluciones en la sarta de perforación.

Sin embargo se debe tomar en cuenta que si no se le aplica el peso sobre la barrena adecuado, las RPM altas en formaciones duras pueden reducir la tasa de penetración, ya que los cortadores no penetran en la formación para seguir cortándola, lo que ocasionaría que la barrena se patinara en la formación teniendo como consecuencia altos niveles de vibración en la sarta y en la barrena provocando astillamiento.

En el caso de las barrenas tricónicas, las RPM son bajas debido a que estas trabajan principalmente con peso sobre la barrena. Si las revoluciones son altas podría ocasionar el desgaste de sus partes móviles, así como dañar o acortar la vida útil de los cojinetes.

Para hacer el cálculo de las RPM totales es necesario emplear la siguiente ecuación:

$$RPM_T = RPM_M M_T + RP$$

.....Ecuación 11

Dónde:

RPM_T = Revoluciones por minuto totales (rpm).

RPM_S = Revoluciones por minuto del equipo superficial (rpm).

RPM_M = Revoluciones por minuto del motor de fondo (rpm).

2.5 Torque.

Es definido como la fuerza necesaria que se ejerce sobre la barrena para que ésta comience a girar y es medido en unidades de libras por pie (lb-pie).

El torque es útil como un indicador de los sucesos que pudiesen ocurrir cuando la barrena está perforando, es decir, por ejemplo, si se tiene un alto torque en una barrena PDC, puede implicar que la barrena está perforando, pero si hay baja tasa de penetración podría deberse a que se está generando el torque en la sarta y no la barrena; en otro caso, si tenemos un bajo torque y baja o nula tasa de penetración podría indicar que la PDC podría estar patinando en una formación dura o la barrena podría estar embolada.

En el caso de las barrenas tónicas, cuando se tiene un alto torque en la barrena podría significar que los conos están bloqueados (estáticos), en cuyo caso el torque se reduce a medida que los insertos o dientes se desgastan; torque medio involucraría que puede estar perforando; mientras que el torque bajo indica que la estructura de corte podría estar sin filo o embolada.

El torque podría considerarse demasiado alto cuando la velocidad de rotación en superficie empieza a bajar, así también cuando el motor, la mesa rotaria o el top-drive empiezan a perder velocidad. La ecuación con la cual podemos calcular el torque se presenta a continuación:

$$Q = \frac{0.96167 J}{D} \left(Y^2 - \frac{T^2}{A^2} \right)^{0.5}$$

.....Ecuación 12

Dónde:

Q = torque (lb-pie).

J = momento polar inercial [pg4] = $(\pi/32)(DE^2 - DI^2)$.

D = diámetro externo de la tubería (pg).

Y = mínima fuerza cedente (psi).

T = carga tensional (lb).

A = área de las paredes de la tubería (pg²).

2.6 Arrastre.

El arrastre se puede definir como la fricción que se presenta en la tubería con las paredes del pozo. El arrastre es mayor en los pozos direccionales y va en aumento mientras más inclinado sea el pozo, cuando se trata de pozos horizontales el arrastre es máximo. A diferencia de esto en los pozos verticales se presenta un arrastre mínimo.

El aumento del arrastre puede tener como consecuencia que se llegue a presentar desgaste en el guage de la barrena, hombro y tener una pérdida de calibre.

Para calcular el arrastre se tiene la siguiente ecuación:

$$F_f = \sum \left[\mu * B_f * W_s * DL \pm \mu * 2 * T * \sin\left(\frac{DLS * LOS}{2}\right) \right]$$

.....Ecuación 13

Donde:

F_f = Arrastre (lb)

B_f = Factor de flotación.

W_s = Peso en el aire por cada pie de la sección de la tubería (lb/pie)

DL = Longitud de partida de una sección de la tubería (ft)

T = Tensión axial (lb)

DLS = Severidad (grados/100pies)

LOS = Longitud de la sección desviada (ft)

μ = Coeficiente de fricción entre la tubería y el pozo (lb/lb)

2.7 Litología a perforar.

Una de las más importantes consideraciones para la selección de la barrena a utilizar es una completa descripción de las formaciones a perforar. El conocimiento de las propiedades físicas de la formación son indicadores importantes para saber el tipo de barrena que se deberá seleccionar para cada intervalo de perforación.

Si la formación a perforar es muy elástica, por ende tiende a deformarse al comprimirse en vez de fracturarse y con esto es posible que la barrena no genere recortes con facilidad. Para este caso se recomienda la utilización de barrenas PDC con cortadores grandes.¹⁰

En formaciones sedimentarias blandas a medianas las barrenas PDC han tenido un mayor éxito en comparación con las barrenas de insertos, el ritmo de penetración es más alto. El incremento de los ritmos de penetración se debe al mecanismo de corte por cizallamiento de las barrenas PDC.

A continuación se enlistan los principales tipos de formaciones en un orden decreciente de dificultad para ser perforadas:

1. Arcillas
2. Barro Compacto
3. Marla
4. Evaporita
5. Yeso

¹⁰ Un Siglo de la Perforación en México, "Barrenas e Hidráulica de Perforación", Tomo 4, pág. 36, Documento Electrónico.

6. Lutita
7. Limo
8. Arenisca
9. Anhidrita
10. Caliza
11. Conglomerado
12. Horsteno
13. Rocas Volcánicas

2.8 Tasa de penetración.

La tasa de penetración o ROP es la medida de los metros perforados en una hora (m/hora). Este parámetro puede indicar si se debe continuar perforando con la barrena o es necesario cambiarla, si su valor no se encuentra dentro del rango adecuado de operación.

$$ROP = \frac{METROS PERFORADOS}{TIEMPO EN HORAS}$$

.....Ecuación 14

Capítulo 3. Características específicas de las barrenas.

En lo que refiere a las barrenas, es de gran importancia conocer cada una de sus características específicas que las diferencian unas de otras. Para cada tipo de barrena se tienen ciertos elementos que ayudan a definir su uso, algunos de estas características son dientes, cortadores, aletas, calibre, excentricidad etc.

3.1 Tamaño de los cortadores.

En las barrenas PDC los cortadores están unidos a un sustrato de carburo de tungsteno que se encuentra fijo en las aletas de la barrena. Estos cortadores tienen una gran variedad de tamaños que van desde los 6mm hasta 22mm de diámetro. El tamaño del cortador es importante ya que este tiene influencia en la agresividad y durabilidad de la barrena. Los cortadores PDC más grandes, son más agresivos, generan más torsión y son más susceptibles al daño por impacto que las barrenas con cortadores más pequeños, de modo que son más apropiadas para formaciones blandas.

El tipo de formación que será perforada tiene gran importancia en el tamaño de los cortadores ya que dependiendo de esta es la selección del tamaño:

- § Los cortadores de 6 y 8 mm han sido utilizados en barrenas para formaciones más duras.
- § Los cortadores de 13mm, son el tamaño industrial estándar, ellos son los más aplicables para formaciones desde media hasta dura, así como roca abrasiva.
- § Los cortadores de 16mm están muchas veces asociados con formaciones desde media-blanda hasta media-dura.
- § Los cortadores de 19mm están por lo general asociados con perforaciones rápidas en formaciones desde blandas hasta medias
- § Los cortadores de 22mm en adelante son asociados a formaciones blandas.

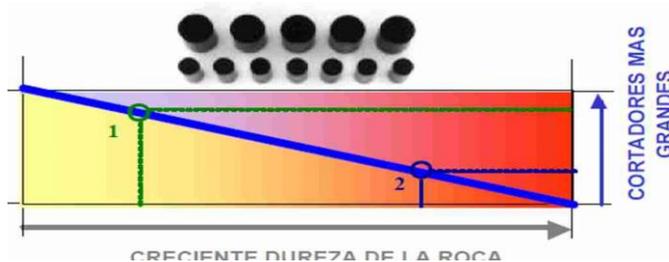


Figura 15 Tamaño de cortadores respecto al tipo de formación.

Para poder estimar el tamaño de los cortadores correctos para cada necesidad podemos utilizar la ecuación siguiente:

$$C_s = 21.617 - 0.0002 * CCV * \alpha$$

.....Ecuación 15

Dónde:

CCV = Esfuerzo confinado (psi).

Cs = diámetro de los cortadores (cm).

α = tamaño del grano de la formación y se considera =1

Para calcular el esfuerzo confinado debemos tomar en cuenta la profundidad si es menor o mayor a 610 metros esto se debe a la toma de registro que se debe hacer por la evaluación de resistencia compresiva no confinada o UCS (por sus siglas en inglés “unconfined compressive strength”) es un método de prueba de laboratorio que se utiliza para evaluar las propiedades mecánicas de las rocas y los suelos de grano fino. Dicho método es indispensable para identificar la dureza de las formaciones geológicas que va a travesar la barrena de manera confiable y detallada, se pueden realizar análisis de estabilidad en tiempo real, y la evaluación UCS se desarrolla con el registro de rayos gamma y el registro sísmico.

Ecuaciones para calcular el esfuerzo confinado

$$\Delta V_s = \frac{1}{t_s}$$

.....Ecuación 16

§ Para profundidades menores a 610 metros (2000 pies):

$$CCV = \frac{\Delta V_s * H_{cima}}{1524}$$

.....Ecuación 17

§ Para profundidades mayores a 610 metros (2000 pies):

$$CCV = \left(1 + \frac{H_{cima}}{1524}\right) \Delta V_s$$

.....Ecuación 18

Dónde:

CCV = esfuerzo confinado (psi).

Δt_s = velocidad de la onda compresional del registro sísmico (μ s/pie).

ΔV_s = velocidad de cizallamiento (pie/seg).

Hcima = altura de la cima de la formación respecto al nivel del suelo (m).

En la siguiente tabla se muestra las UCS y el diámetro óptimo a usar de los cortadores:

UCS (PSI)	Diámetro De Cortadores (pulgadas)
Menos de 3000	22
3000 a 6000	19
6000 a 10000	19 – 16
10000 a 15000	16
15000 a 20000	13
20000 a 27000	13 - 8
más de 27000	diamante

Tabla 4 Diámetro de los cortadores

Otra manera de calcular UCS es mediante la densidad y porosidad de la formación con la siguiente formula:

$$\begin{aligned} UCS &= 0.88\exp(2.85\rho_R) \\ UCS &= 2590\exp(-0.91\Phi) \end{aligned}$$

.....Ecuación 19

Dónde:

ρ_R : es la densidad de la formación.

Φ : es la porosidad de la formación.

3.2 Número de cortadores.

EL número de cortadores están limitados dependiendo del diámetro de estos y el número de aletas de la barrena. Entre más aletas se tenga en la barrena, se podrá tener mayor cantidad de cortadores.

La cantidad de cortadores afecta a la tasa de penetración, debido a que si contiene un mayor número de cortadores menor será la tasa de penetración, esto debido a que la barrena ocupara una mayor área al momento de perforar el pozo.

Una gran ventaja en las barrenas con mayor cantidad de cortadores, es que perfora más metros y aumenta la durabilidad y vida útil de la barrena, de lo contrario una desventaja es el aumento de fricción que generará en zonas en las que pudiesen presentarse.

El número de cortadores puede ser estimado mediante la siguiente expresión:

$$C_n = [51.967 * \ln(CCV) - 442.8]$$

.....Ecuación 20

Dónde:

C_n = número de cortadores.

CCV = esfuerzo confinado (psi).

3.3 Número de aletas

El número de aletas es importante en la barrena, ya que nos ayudan a tener más o menos distribuciones de corte, lo que sería útil para perforar más metros y evitar desgaste en la barrena.

Cuando perforamos formaciones abrasivas las barrenas suelen tener un desgaste en los cortadores y en el cuerpo, ocasionado por la cantidad de cuarzo presente en la formación; es por esa razón que a mayor cantidad de aletas la estructura y distribución de corte será mayor debido a que, cuando se tiene mayor cantidad de aletas, el diámetro del cortador normalmente es más pequeño ya que es utilizado para formaciones duras, de lo contrario cuando se tiene menos aletas, el tamaño del cortador suele ser más grande y es utilizado para formaciones blandas. Una ventaja que posee el utilizar una barrena con mayor cantidad de aletas en formaciones duras, es que la vida de la barrena se extenderá permitiendo así, perforar una mayor cantidad de metros.

Las barrenas con mayor número de aletas tienen mayor ventaja en el aspecto del desgaste de la barrena cuando se perforan formaciones duras, sin embargo tomemos en cuenta que al tener mayor número de aletas en la herramienta la tasa de penetración en dichas formaciones será menor, debido a que habrá mayor área de contacto en la formación, a causa de que se tiene mayor distribución de corte, lo cual aumentará la fricción y por tal motivo la tasa de penetración decaerá.

Para calcular el número de aletas tenemos la siguiente expresión:

$$B_n = -0.0006(C_n^2) + 0.157(C_n) - 1.0245$$

.....Ecuación 21

Dónde:

C_n: número de cortadores



Figura 16 Número de aletas en las barrenas.

3.4 Direccionales.

La direccionalidad se refiere a la facilidad con la que la barrena puede realizar una inclinación y/o desviación que deseemos, al momento del diseño y selección de la barrena debemos tomar en cuenta que existen ciertos factores que nos permiten tener un adecuado direccionamiento de la barrena, como son: largo y diámetro del calibre, la agresividad de la barrena, el perfil de la barrena entre otras.

3.4.1 Motores direccionales.

Un motor direccional tiene tres modos de operación, comienzo o “Kick off” (deslizando en un agujero recto), perforando la curva (deslizando en la curva), perforando una tangente (rotando).

En la aplicación los motores direccionales deben poseer una curva en cubierta, para con esto lograr enfocar la carga a un costado del motor direccional y hacer que la barrena se desvíe o incline.

La cantidad de carga que tendrá la barrena dependerá de los factores tales como el ángulo de la curva, los cojinetes de la barrena y tamaño de los estabilizadores, así como del radio de curvatura que presente el pozo.

Las fuerzas aplicadas sobre la barrena son normalmente de algunas miles de libras y las barrenas están direccionadas por lo general hacia la curvatura del pozo.

Sin embargo, existe un pequeño desajuste (0.1 grados) en los puntos de la dirección de la barrena relativa a la dirección necesaria para la desviación del pozo.

Cuando se presentan estos casos las barrenas deben poseer un ángulo pequeño de corte con bajas fuerzas para poder perforar la curva. Perforar la curva también requiere que el motor presente una estabilidad en la cara del mismo.

En la sección tangente del pozo se presenta una desviación entre la dirección que está perforando la barrena (recta) y la dirección en este punto. Debido a la desalineación es necesario aplicar altas fuerzas sobre la barrena.

3.4.2 Direccionalidad Rotaria – Push the bit system.

Este sistema de direccionamiento perfora mediante la emisión de una carga sobre las almohadillas direccionales cerca de la barrena en la dirección opuesta destinadas a direccionar.

En este sistema de direccionamiento, se tiene un mejor control del peso sobre la barrena al momento de estar perforando que si se trabajara con ensamble de motor, sin embargo la tasa de penetración es la misma cuando se da el ángulo o se ejecuta un giro o se perfora en dirección recta.

3.4.3 Direccionalidad Rotaria – Point the bit.

Esta herramienta tiene como principio empujar la barrena a lo largo del eje de la herramienta, pero esta es inclinada en la dirección de la curvatura del pozo.

Al momento que se está construyendo la cura, la barrena dirige al BHA en la dirección del pozo.

El Point the bit system requiere de más bajos sistemas de respuesta direccional del lado de los cortadores.

3.5 Calibre.

El calibre o Gauge es la parte más baja de la aleta de la barrena y se encarga de la estabilidad de las aletas. Dependiendo del tipo del pozo a perforar y del uso que se le dará se tienen diferentes tipos de tamaño, mientras mayor sea el diámetro de la barrena mayor será el calibre.

En el calibre de la barrena es posible la localización de cortadores de PDC. Las barrenas con calibres muy largos son utilizadas principalmente para la perforación de pozos verticales, por lo contrario las barrenas con calibres cortos son utilizadas para la perforación de pozos direccionales, aunque esto no es obligatoriamente así, ya que depende de las características del perfil de la barrena.



Figura 17 Tamaño de calibre.

3.6 Protección en el calibre.

El calibre es una parte importante en la barrena, ya que éste le brinda estabilidad y direccionalidad al momento que se perfora un pozo (como anteriormente se mencionó), el calibre como parte fundamental de la barrena también suele tener un roce con las paredes del pozo al momento de estar perforando, por lo cual, es indispensable que éste cuente con una protección que le permita un menor desgaste, así como extenderle vida a la herramienta.

Los calibres normalmente son protegidos con:

- Diamantes naturales redondeados o cúbicos.
- Plaquitas de carburo de tungsteno.
- TSP (diamante policristalino térmicamente estable).

Es de suma importancia mantener la uniformidad del diámetro del pozo que se está perforando. Si se presenta una disminución del calibre en la barrena, se perforarían pozos de menor diámetro lo que originaría serios problemas en la competición del diseño mecánico del pozo, por lo cual, el calibre además de ser protegido con diamantes, placas de carburo de tungsteno, etc. Suele ser protegido con pequeños cortadores posicionados en la parte inferior de éste.

Estos cortadores son importantes ya que evitan el desgaste del calibre logrando así una mayor uniformidad de todo el pozo que deba perforar.



Figura 18 Tipos de Protección al calibre en barrenas de cortadores fijos.

3.7 Perfil.

El perfil de la barrena es el elemento principal en todos los diseños de barrenas que poseen cortadores fijos. El término perfil se adopta a la forma distintiva de la barrena vista lateralmente. El objetivo básico de cualquier perfil es permitir un desgaste equilibrado de la estructura de corte y optimizar la estabilización de la barrena.

El diseño del perfil es un factor muy importante para la determinación del número de cortadores que se acomodarán en cada aleta. Cuanto más largo es el perfil, más cortadores podrán colocarse por aleta.

El diseño del perfil también es un factor que se debe tener en cuenta para optimizar la estabilidad y durabilidad de estas. Un perfil más largo tendrá más cortadores y se desgastará más lentamente, mientras que un perfil más corto tendrá menos cortadores y, en teoría, se desgastará más rápido. A medida que el perfil de la barrena es largo como el caso del perfil parabólico largo la misma es utilizada para remover grandes cantidades de recortes en formaciones blandas, mientras el perfil se haga más corto y hasta ser plano lo que se persigue es la agresividad de la barrena para perforar formaciones muy duras y abrasivas.

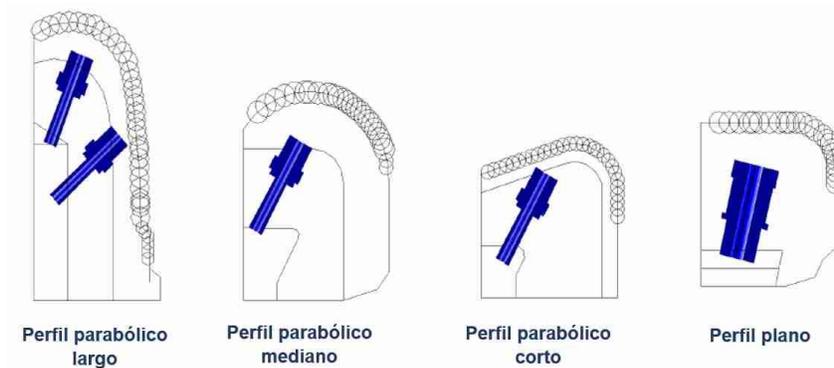


Figura 19 Tipos de perfil de la barrena.

3.7.1 Componentes del perfil de la barrena.

El perfil de la barrena está compuesto principalmente de nariz, hombro, flanco o ODR (outside diameter radio) y calibre.

- § **Cono.** Se conoce como cono de la barrena a la sección que forma el ángulo desde el vértice hasta la nariz del mismo tomando como base al plano horizontal. A medida que éste ángulo se incrementa mayor es la agresividad.

- § **Nariz.** Se ubica entre el cono y el hombro de la barrena y es medida desde el vértice del mismo hasta el punto medio de la nariz. La nariz es la primera parte de la barrena que encuentra los cambios de litologías cuando se perforan los pozos. Por eso, se recomienda que la nariz posea el mayor número de cortadores para evitar las sobrecargas en las zonas de transición de formaciones blandas a dura.

- § **Hombro.** Situado entre la nariz y el flanco de la barrena. Posee forma tangencial y proporciona cierto grado de estabilidad, su longitud suele depender de la concentración del número de cortadores.
- § **ODR (Región del Diámetro Exterior)** .Es la parte de la barrena en la que el radio del extremo del hombro conduce al calibre de la barrena.
- § **Calibre.**El calibre es el máximo diámetro que posee la barrena; generalmente este mismo es relacionado con el diámetro del pozo. El calibre proporciona estabilidad y direccionalidad a la barrena y es la zona que tiene mayor contacto con las fuerzas abrasivas de la formación.

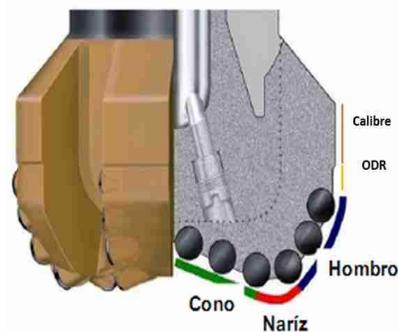


Figura 20 Componentes del perfil de la barrena.

3.8 Back rake

Los cortadores se montan en la barrena con cierto ángulo de ataque negativo con respecto a la formación, lo cual se conoce como back rake .Se define al back rake como el ángulo entre la cara de corte y una recta perpendicular a la superficie de corte. Este ángulo es clave para determinar la agresividad de la barrena, así como su durabilidad.

Los ángulos más bajos nos demuestran mayor agresividad y son usados en formaciones blandas y en el cono de la barrena y los ángulos mayores nos dan



Figura 21 Angulo de los cortadores

menos agresividad y menos sensibilidad al peso y al torque y se pueden colocar en el hombro o en el calibre de la barrena.

Algunas funciones del ángulo de ataque son:

- § Permite que el cortador fluya en la dirección conveniente.
- § Reduce la fuerza de corte y por lo tanto ayuda a aumentar la vida de la barrena.
- § Mejora el acabado del pozo

En el caso de tener un mayor ángulo de ataque:

- § Reduce la compresión y menos posibilidad de un astillaje discontinuo.
- § Reduce las fuerzas.
- § Reduce la fricción.
- § El astillaje resulta ser más delgado y menos deformado.

3.9 Side Rake.

Esta se define como el ángulo que se forma entre la cara del cortador y una línea que se forma entre el centro del cortador y el centro de la barrena. Este ángulo nos indica si la cara del cortador es paralela a la formación o si existe un ángulo entre ellos. El ángulo de ataque lateral y/o inclinación de las barrenas se ajusta de acuerdo a los requerimientos de diseño y el espacio que se tenga, normalmente este ángulo oscila entre 0 y 10°.

La inclinación lateral puede ser utilizada para direccionar mecánicamente los cortadores, ya se inclinación lateral negativa o una inclinación hacia fuera (positiva) lo cual ayuda a la limpieza de la cara de la barrena, ya que dependiendo de la inclinación, ésta ayudará al desalojo de los recortes que se generen en el fondo del pozo.

No obstante debemos considerar que ésta característica es utilizada principalmente en formaciones blandas a medias, debido a que si se llegase a utilizar en formaciones duras podría ocasionar un mayor desgaste en la estructura de corte.

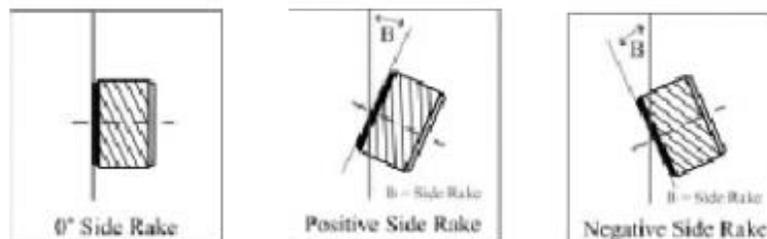


Figura 22 Side Rake

3.10 Doble hilera de cortadores.

Algunas barrenas de cortadores fijos cuentan con una doble estructura de corte lo cual permite tener grandes tasas de penetración, así como proporciona una mejor estabilidad y trabajo sin vibraciones. Esto se logra combinando el potencial existente entre tasa de penetración usando una sola fila de cortadores por aleta con propiedades para extender la vida de la barrena usando dos filas de cortadores por aleta.

Uno de los beneficios de una doble estructura de corte en la barrena, es que trabajan con un rango más grande de peso sobre la barrena, penetrando rápidamente en la formación inclusive en rocas suaves puede operar con muy poco peso sobre la barrena. Cuando la formación rocosa incrementa su resistencia a la compresión, la barrena puede soportar un incremento en la fuerza sobre ella, con una reacción mínima y sin contratiempos en el torque, manteniendo una alta tasa de penetración. Otro de los beneficios es que cuando se llegase a dañar, desgastar e inclusive a perder uno de los cortadores en el proceso de la perforación dentro del pozo, estos pueden ser reemplazados por esta doble estructura de corte; así mismo ayuda dando un repaso a la formación cuando se está perforando, dando como resultado un mejor acabado.



Figura 23 Barrena con doble hilera de cortadores.

3.10.1 Doble hilera de cortadores activa.

Este tipo se distingue por estar a la misma altura que la primera hilera cortadora, su función es cortar la formación al mismo tiempo.

3.10.2 Doble hilera de cortadores “no activa”.

Esta se diferencia de la activa por estar a una altura menor que la primera hilera, esto con un propósito, cuando se llegase a dañar, desgastar o inclusive a perder uno de los cortadores, la doble estructura “no activa” ayuda a seguir perforando la formación con normalidad.

3.11 Bebel.

El bebel es considerado como la “longitud” del cortador, tiene como función empujar al cortador al momento que éste va perforando. Cuando se tiene un bebel largo es apto para perforar formaciones blandas por lo que brindará un recorte más grande, en caso contrario cuando se tiene un bebel corto es utilizado para formaciones duras y el recorte es de menor tamaño.

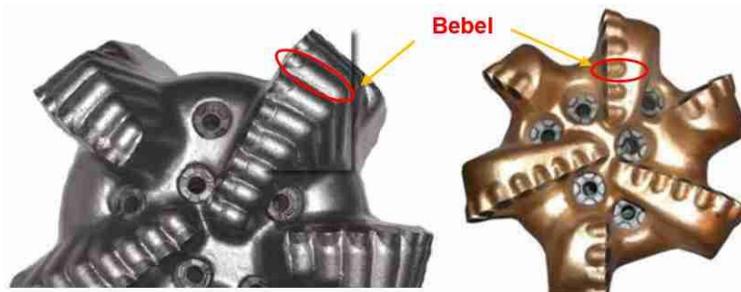


Figura 24 Bebel

3.12 Lo vibe.

El lo-vibe se trata de insertos que controlan la profundidad de corte, minimizando las vibraciones de corte al momento de perforar, estas barrenas con lo-vibe pueden ser utilizadas para mejorar desviación lateral y para una perforación más eficiente. Los cortadores pueden ser reemplazados cuando sea necesario (desgaste, rotura, etc). Una ventaja son los límites de excesiva profundidad de corte, así como ayuda a reducir vibraciones de torsión al igual que proporciona superiores ROP y vida la barrena.

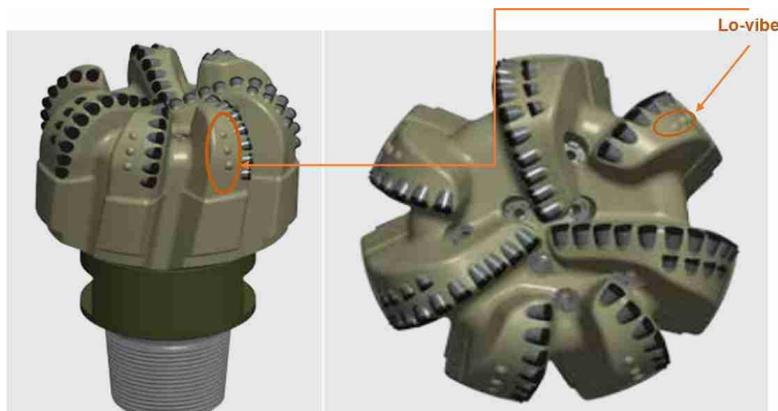


Figura 25 Lo-vibe.

3.13 Características de las barrenas tricónicas.

Las barrenas tricónicas tienen como principal característica el tipo de dientes ya que posee dientes fresados o insertos de carburo de tungsteno, los cuales le permiten remover la roca mediante la trituración. Los conos giratorios realizan una acción de trituración. A medida que los conos se apartan del movimiento giratorio real, las estructuras cortantes penetran y raspan más. Así mismo el calibre de la barrena tricónica invierte un tipo de protección en el calibre, el cual ayuda a proteger y mantener estabilidad en la barrena, entre otras características más que la conforman y que serán descritas en seguida.

3.13.1 Excentricidad

La Excentricidad (offset) se refiere al ángulo de desplazamiento y a la forma del mismo que provoca que los conos dejen de girar a medida que la barrena gira. Para formaciones blandas donde se utiliza una barrena de dientes fresados o maquinados largos los cuales penetran fácilmente, el mecanismo de rotación y la acción de raspado alternada del cono con Off-Set hace que se remueva o penetre mejor la formación. Una barrena sin Off-Set o sea cero grado posee un mecanismo de corte el cual es esencialmente la trituración. Se recomienda en formaciones blandas un Off-Set de hasta 5 grados, con tendencia a 0 grados en formaciones duras.

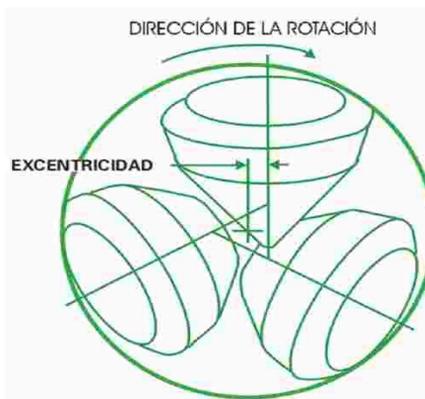


Figura 26 Excentricidad de las Barrenas

1. Excentricidad Reducida

- 0° - 2°
- Raspado de diámetro reducido
- Mas durable
- Perforación más lenta
- Para formaciones abrasivas/duras

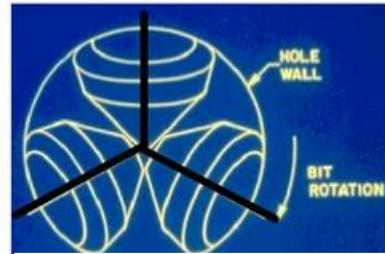


Figura 27 Excentricidad Reducida.

2. Excentricidad Pronunciada

- 3°- 5°
- Raspado de mayor diámetro menos durable
- Perforación más rápida
- Para formaciones blandas

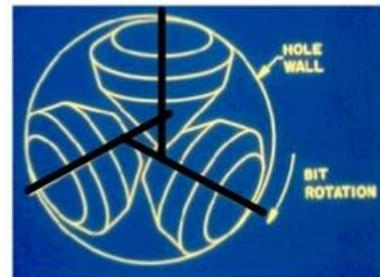


Figura 28 Excentricidad Pronunciada.

3.13.2 Tipo de Cortadores.

Los elementos cortantes de una barrena de conos son filas circunferenciales de dientes, que se extienden en cada cono. Estos dientes pueden ser maquinados desde la estructura de acero (dientes de acero) o son fabricados por carburo de tungsteno material más duro y que son forjados dentro de los conos (barrenas de inserto de carburo de tungsteno).

3.13.2.1 Dientes de Acero.

El tamaño, forma y separación entre los dientes afecta la eficiencia o rendimiento de la barrena según la dureza de las formaciones. El diseño de los dientes también determinará el tamaño y la forma de los recortes de formación producidos. Tres clasificaciones básicas de formación se asocian con los distintos tipos de barrena de dientes de acero fresados:

- 1. Para formaciones blandas:** los dientes escogidos normalmente serán largos, delgados y ampliamente espaciados. Los dientes, entre más largos, logran mayor penetración en la formación blanda. El amplio espaciamiento entre dientes impide el embolamiento de la formación blanda entre los dientes. La acción de corte se produce por tallado y raspado y los cortes producidos serán grandes y angulosos.

2. **Para formaciones de mediana dureza:** se usan dientes más cortos, la longitud será tal que consiga penetrar lo más posible al tiempo que el desgaste se mantenga en el mínimo posible. Un amplio espaciamiento permite una eficiente limpieza, aunque el embolamiento no es una consideración tan importante como las formaciones blandas.
3. **Para perforación en formaciones duras:** se usan dientes cortos los cuales producen un efecto de aplastamiento y fragmentación más que de arranque y deformación en la roca. No se requiere espaciamiento entre los dientes ya que los cortes producidos serán más pequeños, en menor concentración o volumen. En este caso las tasas de penetración serán menores.

Los dientes de acero, se funden, forjan o fabrican del mismo metal que los conos. El recubrimiento duro de carburo de tungsteno se suelda sobre los dientes de acero para incrementar la durabilidad. En las formaciones blandas, los amplios espacios entre los cortadores promueven también la limpieza de la barrena.

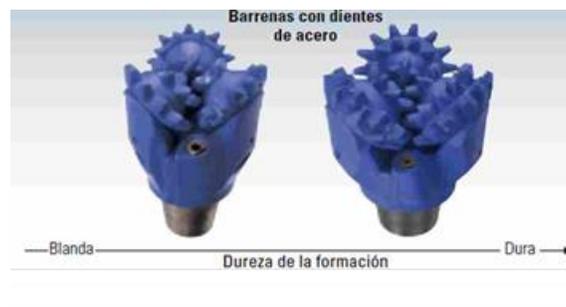


Figura 29 Barrenas de dientes de acero

3.13.2.2 Insertos de carburo de tungsteno.

Las barrenas de inserto fueron diseñadas para perforar formaciones duras como es el caso de las pizarras y las cuarcitas, debido a la relativa corta vida que tenían las barrenas de dientes de acero al perforar este tipo de formaciones. Con el desarrollo de la metalurgia del carburo de tungsteno y la forma de los insertos, las barrenas de este tipo pueden perforar formaciones que van desde blandas hasta duras y abrasivas.

Los insertos sinterizados de carburo de tungsteno se funden por separado y se colocan mecánicamente a presión en agujeros ligeramente menores al tamaño de los insertos, precisamente labrados en las superficies de los conos. También se

encuentran disponibles los insertos cubiertos con revestimientos de PDC que son más resistentes a la abrasión.

§ **Forma del inserto:** La forma de diente afilado ha probado ser la más efectiva para penetración más rápida y profunda en formaciones relativamente blandas. Estos insertos de diámetro largo y larga extensión se acoplan a conos de máxima excentricidad para levantar el recorte mecánicamente y mejorar la tasa de penetración.

§ **Variedad de los insertos:** Hay variedad de tamaños de insertos de forma cónica disponibles, para adaptarse mejor al tipo de formación. La forma cónica aumenta la capacidad de soporte de cargas de los insertos y, por tanto, hace la estructura de corte cónica ideal para perforar formaciones duras.



Figura 30 Barrenas de insertos

3.13.3 Protección al Calibre en barrenas tricónicas.

Cuando se utiliza barrenas tricónicas en la perforación debemos tomar en cuenta que no solo los conos y dientes y/o insertos son los únicos que están en contacto con la formación, sino también el calibre, ya que al perforar roza la formación, y para ello, también es importante protegerlo para una mayor tener una mayor vida útil en la barrena. A continuación se muestran los distintos tipos de protección en el calibre en las barrenas tricónicas:

1.-Recargue en el calibre (M).- Para aplicaciones exigentes, una aplicación de carburo de tungsteno se aplica al borde inferior del calibre y el borde de ataque de la pierna de la barrena para proporcionar una protección mejorada del sello.

2.-Insertos en el borde del calibre (S).- Insertos de carburo de tungsteno se colocan a lo largo del borde de ataque del calibre proporcionar resistencia al desgaste adicional en aplicaciones de altas revoluciones o donde se necesita protección adicional al calibre.

3.- Insertos de estabilización (R).- Insertos de estabilización brindan estabilización en la barrena y la protección adicional para el compensador de presión en aplicaciones de alto ángulo o en formaciones de desviación propensas.

4.-Insertos de diamante (Z).- Insertos de diamante sustituyen a los insertos de carburo de tungsteno en lugares estratégicos, para proporcionar la máxima protección al calibre en formaciones abrasivas o aplicaciones direccionales.

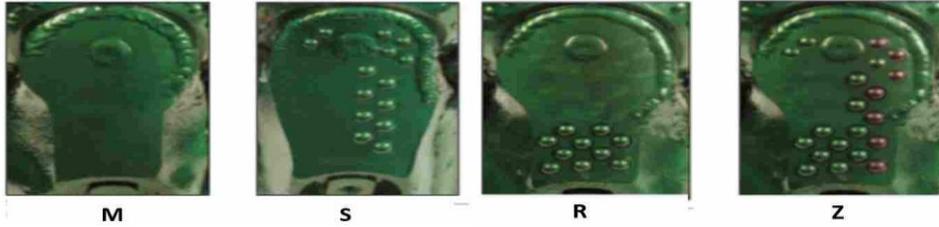


Figura 31 Tipos de protección al calibre en barrenas tricónicas.

Capítulo 4. Métodos de selección de Barrenas.

El propósito principal de hacer una buena selección de barrenas es poder obtener una mayor tasa de penetración, ya que con esto podemos minimizar los costos durante la perforación.

Existen diferentes métodos para la selección de las barrenas y para la estimación de la tasa de penetración. Entre los métodos más utilizados para hacer una selección de barrenas adecuada podemos encontrar: Esfuerzos no Confinados, el método de la Energía Específica, El método de Warren modificado, entre otros.

Muchas metodologías como las de Energía Específica y el Método de Warren Modificado han sido desarrolladas y modificadas basándose en el concepto de Esfuerzo no Confinado, el cual es inversamente proporcional a la tasa de penetración, por lo que podemos decir que mientras tengamos menor valor de Esfuerzo no Confinado (UCS) mayor será nuestra tasa de penetración (ROP). Muchos de estos métodos pueden calcular y predecir la Tasa de Penetración al utilizar diferentes barrenas, esto es muy independiente de tipo de yacimiento que se vaya a perforar, ya sea yacimiento de gas o yacimiento de aceite.

La tasa de penetración se ve afectada por diversos parámetros como lo son: las condiciones de operación, el tipo de barrenas que se utilicen, la litología a perforar, la hidráulica de la barrena y por supuesto el desgaste que sufre la barrena, por mencionar algunos.

4.1 Método de Esfuerzos no Confinados.

El método de UCS (Esfuerzo No Confinado) calcula la fuerza compresiva de la roca, por lo que se deberán elegir diferentes características de la barrena dependiendo de qué tan grande sea esta. El cálculo de la UCS es muy importante para decidir las características de las barrenas, ya que esta es utilizada en la mayoría de los métodos.

Este método es uno de los más utilizados para la selección de barrenas, ya que hace una comparación entre valores de UCS obtenidos en el laboratorio y valores UCS determinados por el método de Mason, esto a través de registros de tiempo de tránsito compresional y cizallamiento. Una vez determinados los UCS en psi se determina el tipo de litología en función de la clasificación del código IADC.

4.1.1 Determinación del Esfuerzo no Confinado.

Para la determinación del Esfuerzo no Confinado se considera de la utilización de herramientas básicas como lo son los registros síncico convencional, densidad y rayos gama, con esto se puede determinar la velocidad de la onda compresional utilizada para poder calcular el módulo dinámico de Young.

El módulo dinámico de Young (E_D) puede ser determinado a partir de los datos del registro síncico, teniendo en cuenta los valores de tiempo de tránsito de las ondas compresionales, además de los datos del registro de densidad, usando la primera correlación, la cual consiste en calcular la razón de Poisson y Módulo Cizallamiento (G), para finalmente calcular el módulo dinámico de Young:

$$G = 1.347 * 10^{10} * \left(\rho_b / t_c^2 \right) \dots\dots\dots \text{Ecuación 22}$$

$$E_D = 2G(1 + \nu) \dots\dots\dots \text{Ecuación 23}$$

Donde:

G= Modulo de cizallamineto

t_c = tiempo de transito de la onda compresional (microsegundos)

ρ_d = densidad de la formación (lb/pie³)

La segunda correlación para obtener el valor del módulo dinámico de Young utiliza el tiempo de tránsito de la onda compresional (t_c) y la densidad de la formación (ρ_b), la cual se calcula a partir de la porosidad obtenida de los tiempos de tránsito.

$$E_D(10^6 \text{psi}) = (1.13 * 10^4 * \rho_b) / t_c^2 \dots\dots\dots \text{Ecuación 24}$$

La tercera y última correlación para determinar el módulo dinámico de Young solamente utiliza la velocidad de la onda compresional (V_c) expresada en (microsegundos/pie), estimada del registro síncico la cual implica que el módulo dinámico de Young (E_D) depende básicamente de la velocidad de onda compresional (V_C).

$$E_D = 0.265 * V_c^{2.04} \dots\dots\dots \text{Ecuación 25}$$

Nota: Para cada correlación se utiliza el módulo estático de Young.

Una vez que hemos obtenido el valor del módulo dinámico de Young es necesario conocer la litología que se presenta en la sección de estudio para enseguida encontrar el módulo estático de Young. Con el registro de Rayos Gama se halla el índice de arcillosidad.

Ahora bien si el contenido de volumen de arcillas (Vsh) es mayor a 0.35 se consideran arenas, en cambio sí es menor o igual a 0.35 se consideran arcillas.

Para obtener el módulo estático de Young (Es) para arenas, podemos aplicar la siguiente ecuación:

$$E_s = 0.0293 * E_D^2 + 0.4533 * E_D$$

.....Ecuación 26

Para el caso de las arcillas, tenemos una ecuación similar a la de las arena, donde ED y ES están expresados en 10⁶ psi.

$$E_s = 0.0482 * E_D^2 + 0.2334 * E_D$$

.....Ecuación 27

Partiendo de estos valores obtenidos podemos finalmente calcular el Esfuerzo no Confinado (UCS) por medio de la siguiente ecuación:

$$UCS = 0.2787 * E_s^2 + 2.458 * E_s$$

.....Ecuación 28

Nota: El Esfuerzo No Confinado está expresado en kpsi y el módulo estático de Young en 10⁶ psi.

Una vez que hemos obtenido el Esfuerzo No Confinado es posible seleccionar la barrena mediante la utilización del código IADC para barrenas tricónicas y/o de PDC. Para esto se debe considerar la siguiente tabla:

UCS (psi)	Tipo de formación
0 a 4500	Muy blanda
4500 a 9000	Blanda
9000 a 13500	Blandamedia
13500 a 18000	Media
18000 a 22500	Medianamente dura
22500 a 27000	Dura
>27000	Extremadamente dura

Tabla 5 Referencia de dureza de la formación con respecto al UCS.

4.2 Método de Warren modificado.

El modelo de perforación desarrollado por T.M. Warren en el año de 1981, relaciona directamente el UCS de las rocas con los parámetros de perforación y las características de las barrenas.

En 1987, el autor T.M. Warren desarrolló el modelo de perforación representado por la siguiente ecuación donde se despeja la resistencia de la roca:

$$S = \left[\left(\frac{N * W^2}{a * D^3} \right) \left(\frac{1}{R} - \frac{b}{ND} - \frac{C * D * \gamma_f * \mu}{Im} \right) \right]^{0.5}$$

.....Ecuación 29

Donde:

a, b, c: Constantes de diseño de la barrena.

D: Diámetro de la barrena (pulg.)

N: RPM de la barrena.

R: tasa de penetración (pulg/min) 156

W: Peso sobre la barrena. (lbf)

γ_f : Gravedad específica del lodo.

μ : Viscosidad del lodo (cp)

σ : UCS de la roca (psi).

Im: Fuerza de impacto modificado del chorro de lodo en las toberas de la barrena (lbf).

En ese mismo año, el mismo autor generó un modelo analítico de perforación representado en la ecuación 29, el cual al despejarse la resistencia de la roca obteniendo la siguiente ecuación:

$$S = \left[\left(\frac{W^2}{aD^2\varepsilon} \right) \left(\frac{\left(\frac{N}{R} - \frac{b}{D} - \frac{cN\rho_m\mu D}{Im} \right)}{D} \right) + \frac{\Phi^2}{4a\varepsilon} \right]^{0.5} - \frac{\Phi W}{2aD\varepsilon^2}$$

.....Ecuación 30

Donde:

- S: Resistencia Compresiva de la roca (psi)
- D: Diámetro de la barrena (Pulg)
- ε : Ductilidad de la roca (%)
- N: Velocidad de rotación (RPM)
- W: Peso sobre la barrena por pulgada (lbf)
- R: tasa de Penetración (pulg/min)
- ρ : Densidad del lodo (Lb/gal)
- μ : Viscosidad del lodo (cp)
- Im: Fuerza de impacto modificado del chorro de lodo en las toberas de la barrena (Lbf).
- Φ : Coeficiente de desplazamiento del cono (1/pulg)
- a, b, c: Constantes de diseño de la barrena.

Al observar el escaso grado de influencia que los parámetros relacionados con la hidráulica del proceso de perforación presentan, y teniendo en cuenta también el elevado número de variables implícitas dentro de la ecuación de Warren (13 en total), con fines de hacer una aplicación más práctica se consideró hacer una modificación del modelo teniendo en cuenta las siguientes razones:

- I. Generalmente se tiene la idea que cuantos más variables considere una ecuación, más exactos serán los resultados obtenidos con esta. Si bien esto puede llegar a ser una ventaja, también puede llevar a malos resultados cuando no se hace un manejo apropiado de los datos de entrada y esto sucede cuando no se tienen todos los datos necesarios para alimentar un modelo y se asumen valores de los mismos que no representan la realidad del proceso que se está tratando de reproducir.
- II. Toda ecuación se puede modificar si el significado físico y la consistencia dimensional del modelo matemático no se ve afectada.
- III. De acuerdo al análisis de sensibilidad, el término de la ecuación de Warren que menos influencia tiene es el correspondiente a la hidráulica de

perforación, esto significa que al no tener en cuenta dicho término, los resultados generados no variarían considerablemente con respecto a los que se obtendrían inicialmente; también debe notarse que con o sin dicho término la ecuación es dimensionalmente consistente.

Considerando todas estas razones, se procedió a modificar la ecuación de Warren llevándola a la siguiente forma:

$$S = \left[\left(\frac{W^2}{aD^2\varepsilon} \right) \left(\frac{\left(\frac{N}{R} - \frac{b}{D} \right)}{D} \right) + \frac{\Phi^2}{4a\varepsilon} \right]^{0.5} - \frac{\Phi W}{2aD\varepsilon^2}$$

.....Ecuación 31

Donde:

- S: Resistencia Compresiva de la roca (psi)
- D: Diámetro de la barrena (Pulg)
- ε : Ductilidad de la roca (%)
- N: Velocidad de rotación (RPM)
- W: Peso sobre la barrena por pulgada (lbf)
- R: tasa de Penetración (pulg/min)
- Φ : Coeficiente de desplazamiento del cono (1/pulg)
- a, b, : Constantes de diseño de la barrena.

4.2.1 Cálculo de la ROP utilizando el Modelo de Warren Modificado.

Hareland y Hoberock modificaron el modelo de Warren para el cálculo de la ROP tomado como base el efecto que tiene el desgaste de la barrena en la tasa de penetración, introduciendo la función de desgaste (W_f), la cual es calculada de la siguiente manera:

$$W_f = 1 - \frac{\Delta BG}{8}$$

.....Ecuación 32

Donde:

ΔBG = cambio en el desgaste de los dientes [adim].

El cambio en el desgaste de las dinetes puede ser calculado tomando como base el WOB, RPM, abrasividad relativa de la roca y la compresibilidad confinada.

$$\Delta BG = W_c \sum_{i=1}^n WOB_i, RPM_i, Abr_i, CCV$$

.....Ecuación 33

Donde:

- Wc = coeficiente de desgaste [adim].
- CCV = Esfuerzo confinado de la formación [psi].
- Abr= abrasividad relativa [adim].
- WOB = peso sobre la barrena [klbf].
- RPM = revoluciones por minuto [rev/min].

Para calcular le esfuerzo con confinamiento de la formación se utiliza la ecuación siguiente:

$$CCV = UCS(1 + a_s P_e^{b_s})$$

.....Ecuación 34

Donde:

- a_s y b_s= coeficientes litológicos de la fuerza de la roca [adim].
- Pe= presión diferencial [psi].
- UCS = Esfuerzo no confinado de la formación [psi].

Por lo que, después de introducir la función de desgaste en la ecuación de Warren, se obtuvo la siguiente ecuación para calcular el ROP:

$$ROP = W_f \left[f_c(P_e) \left(\frac{aCCV^2 D_{bit}^3}{RPM * WOB} + \frac{b}{RPM * D_{bit}} \right) + \frac{cD_{bit} \gamma_f \mu}{F_{jm}} \right]^{-1}$$

.....Ecuación 35

Donde:

- ROP = tasa de penetración [ft/hr].
- a,b,c = constantes de la barrena [adim].
- Dbit= diámetro de la barrena [pg].
- γf= gravedad específica del fluido [adim].
- μ = viscosidad plástica del lodo [cp].

F_{jm} = fuerza de impacto del yet modificado [klbf].

f_c(P_e) = chip hold down.

4.3 Método de la Energía Específica.

La energía específica (Es) se define como la energía necesaria para remover una unidad de volumen de roca, la cual toma en cuenta los parámetros de perforación tales como: revoluciones por minuto (RPM), peso sobre la barrena (WOB), tasa de penetración (ROP) y el diámetro de la barrena, estos se consideran indicativos en la eficiencia de cualquier trabajo de perforación.

La energía específica “Es” combina cada uno de los parámetros registrados en la perforación, y puede expresarse de la siguiente manera:

$$s = \frac{13415 * W * N}{dR_p}$$

.....Ecuación 36

Dónde:

W = peso sobre barrena [lbf].

N = velocidad rotando [rpm].

d = diámetro de la barrena [pg].

R_p = tasa de penetración [pies/hora].

El procedimiento para efectuar este método es el siguiente:

1.- Se ordena la información obtenida de los registros de la siguiente manera:

Avance (m)	Avance acumulado (m)	Profundidad alcanzada (m)	WxNx1000 (tonn-rpm)	tv (hr)	t _{RD} (hr)	t _{RA} (hr)	C (\$/m)	Es (pg/lb/pg ³)

Tabla 6 Información obtenida de un registro de barrenas

2.- Calcular la energía específica con la ecuación para cada intervalo perforado y para cada barrena.

3.- Graficar los datos de Es en una gráfica de profundidad alcanzada vs Es.

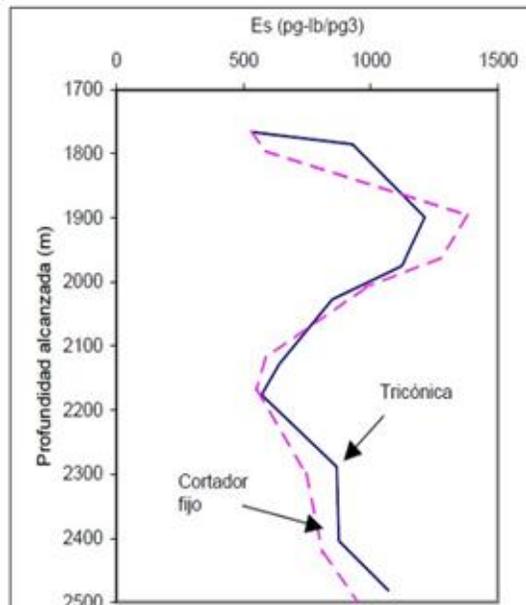


Figura 32 Gráfica comparativa profundidad alcanzada vs Es.

4.- Seleccionar la barrena utilizando la gráfica construida. Para dicha selección se tomara en cuenta la barrena que muestre menos energía específica, lo cual indicara que dichas características de la barrena seleccionada son las convenientes para perforar dicho intervalo.

4.3.1 Determinación de la vida útil de la Barrena utilizando la Energía Específica (Es)

La Energía Específica es importante para decidir, una vez que la barrena está perforando, el tiempo óptimo para sacarla; por lo tanto, se sugiere su uso. La metodología es similar a la ya expuesta anteriormente y se detalla a continuación.

- 1.- ordenar la información como se muestra en la tabla 3.
- 2.- calcular la energía específica para los intervalos perforados.
- 3.- graficar los datos obtenidos de Es en una gráfica de avance acumulado vs Es.

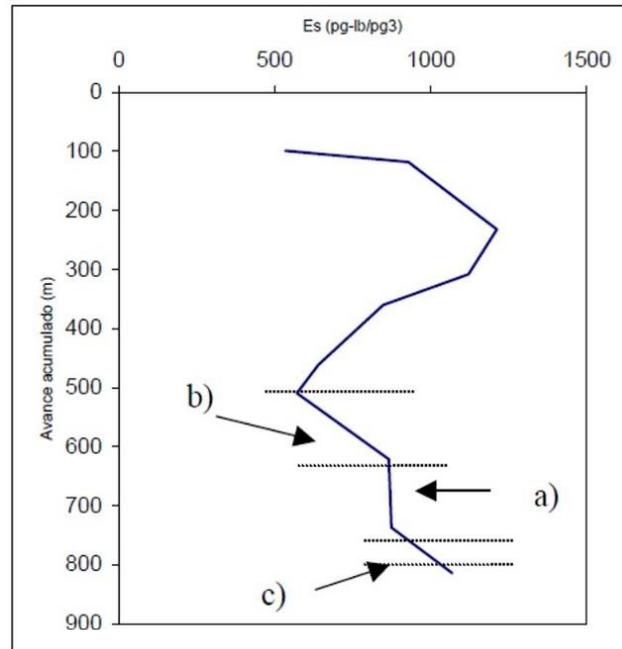


Figura 33 Grafica avance acumulado vs E_s , para decidir la vida útil de la barrena en términos de energía específica.

4.- graficar el avance acumulado vs el torque.

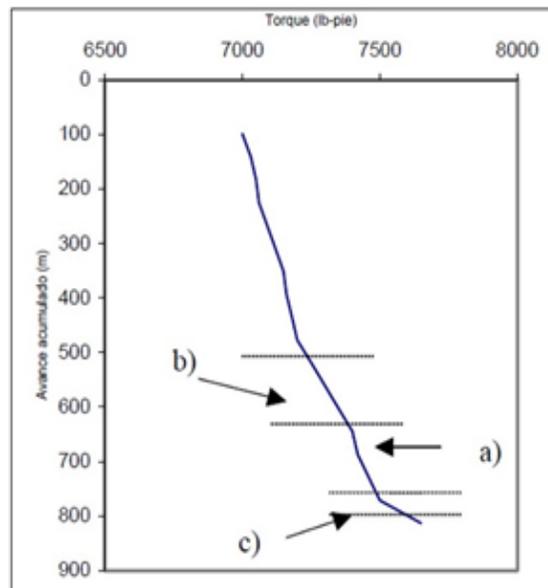


Figura 34 Grafica de avance acumulado vs torque.

En la figura 34 podemos observar que los incisos a), b) y c) son intervalos diferentes, la misma figura 34 muestra que la energía específica aumenta en los intervalos b) y

c). En el caso b) podemos observar además del incremento de E_s , que el torque presenta un comportamiento dentro de lo normal, lo cual indica que está perforando con dificultad, debido a que quizá esté perforando una formación con mayor dureza o sea decir algún cambio de litología, lo cual deberá ser corroborado observando continuamente los recortes recuperados en superficie. En el caso c) podemos observar que la E_s incrementa de manera significativa y el torque muestra un comportamiento anormal, tomando en cuenta que si la recuperación de los recortes en superficie comprueba que no existe ningún cambio litológico, lo cual indica el punto en el que la barrena se encuentra desgastada y debe ser reemplazada.

4.3.2 Cálculo de la ROP utilizando el Modelo de Warren Modificado.

Cuando ya hemos seleccionado la barrena adecuada para cada intervalo de perforación, al igual se hayan calculado los parámetros de perforación y la Energía Específica, lo siguiente será el cálculo de la tasa de penetración (ROP), tomando en cuenta que si ésta es demasiado baja se tendrá que hacer un ajuste referente a la selección de barrenas y/o en los parámetros de perforación.

Para dicho cálculo que se espera obtener en cada etapa de perforación en nuestro pozo, despejaremos de la ecuación de E_s la tasa de penetración (ROP). Tomando en cuenta que debemos utilizar los parámetros de perforación así como la energía específica para cada etapa de la perforación.

La ROP puede ser calculada de la siguiente manera:

$$R_p = \frac{13.33 * \mu * N}{D_{bit} \left(\frac{E_s}{WOB} - \frac{1}{A} \right)}$$

Dónde:

D_{bit} = diámetro de la barrena (pg).

WOB = peso sobre la barrena (lbf)

μ = agresividad (lb/ lbf).

N = velocidad rotando (rpm).

A = área del agujero (pg²).

Nota: Este procedimiento debe ser utilizado para cada etapa de perforación así como para cada barrena seleccionada.

4.4 Método de Selección por Correlación.

El proceso de selección de barrenas por correlación es un proceso relativamente sencillo, pero que dependiendo de persona encargada de realizarlo y de la información disponible puede ir desde un par de horas hasta un día entero.

El proceso de selección por correlación es usado para pozos de desarrollo. Aunque podría ser utilizado para pozos exploratorios no sería de mucha ayuda y podría resultar contraproducente ya que posiblemente los pozos más cercanos estén a varios kilómetros de distancia.

Este proceso involucra conocimiento y análisis de muchas situaciones, herramientas y procedimientos para poder realizar la selección óptima de las barrenas.

Los factores que comúnmente se toman en cuenta para realizar la selección con:

- § Litología.
- § Estado mecánico del pozo a perforar.
- § Barrenas utilizadas en pozos cercanos.
- § Equipo que va a perforar el pozo.
- § Decisión de las características de las posibles barrenas seleccionadas.
- § Decisión de la ROP esperada.

4.5 Factores importantes para la selección y operación de las Barrenas.

Con muchas opciones disponibles en la actualidad, seleccionar una barrena adecuada para una aplicación en particular puede llegar a ser muy confuso. Existen códigos de IADC que describen categorías suaves, medianas y duras para cada barrena, así como las características que poseen, las cuales nos ayudan a la selección de éstas. A continuación se sugiere un enfoque sistemático que servirá como clave al momento de seleccionar una barrena en la perforación de un pozo:

Identificar - Tipo de suelo y/o roca (s).

Clasifique - Categoría del m y/o roca.

Seleccione - Tipo de barrena dentro de la categoría.

Optimizar y Ajustar - Parámetros operacionales / posterior a la selección.

Identificar.- Esta parte del proceso es la más importante cuando se hace de la manera correcta, ya que con ella se asegurará la selección adecuada de la herramienta y su aplicación. En algunos casos, los propietarios suelen proveer a los contratistas propiedades de formación precisos incluyendo resistencias a la compresión de la roca.

Clasificar.- Definir la categoría de suelo y/o roca. Este punto se refiere a conocer las propiedades de la roca que será perforada, como lo son el rango de dureza y la resistencia a la compresión.

Seleccionar. – Se refiere a la selección de una barrena dentro de la categoría que corresponda a los puntos anteriores. Las opciones de barrenas progresan de más suave a más fuerte en orden descendente. Las opciones se enumeran dentro de cada categoría deben producir resultados rentables. Sin embargo, no puede haber superponer entre categorías de dureza. El uso de un motor de fondo de pozo puede influir en la elección de barrenas.

Optimizar. – Para utilizar y/o ajustar la selección de barrenas es importante saber que los proveedores y fabricantes de estas herramientas pueden proporcionar parámetros de funcionamiento recomendados para su óptimo uso.

Cuando se está perforando, los recortes obtenidos en superficie pueden ser observados e identificados, lo cual es clave para ayudar en la limpieza de la barrena removiendo los recortes con un buen diseño hidráulico, haciendo así una buena y eficaz perforación del pozo.

Capítulo 5. Daño a las Barrenas.

Los reportes de las características de desgaste de la barrena son muy útiles. Ellos proporcionan información sobre la compatibilidad del diseño con las formaciones y dan pistas de lo que pasó durante la perforación. El sistema de evaluación de desgaste del IADC para barrenas de cortadores fijos fue introducido en 1987 para facilitar la visualización de las condiciones físicas del desgaste de la barrena a través de una evaluación estándar. Las mejoras en el Sistema fueron hechas en 1992 en dos áreas específicas:

- § Evaluación del desgaste del Cortador PDC
- § Códigos de Características de Desgaste

5.1 Determinación del daño.

Los factores que afectan el desgaste de las barrenas se puede dividir en: geológicos, operativos, de manejo y de transporte. Los dos últimos parámetros pueden obviarse; pero el primero debe ser bien estudiado antes de definir el tipo de barrena que se va a utilizar. Esto permitirá minimizar el desgaste y determinar su rendimiento de operación sobre las formaciones que se van a perforar.

§ Factores geológicos

El factor más importante para la selección y operación de una barrena es el conocimiento de la geología del sitio que se va a perforar; es decir las propiedades físicas de la formación, entre las que se pueden mencionar:

Abrasividad. La composición de materiales abrasivos en la constitución de la roca (pirita pedernal, magnetita, etc.) son la causa del desgaste prematuro en toda la estructura de una barrena; el calibre es el parámetro más afectado.

Resistencia específica de la roca. Está relacionada con la litología y los eventos geológicos que se hayan experimentado. Existen rocas que fueron confinadas a gran profundidad y que posteriormente quedaron a profundidades someras debido a levantamientos tectónicos. Por esto son más compactas que las de tipos similares, pero que no han cambiado de profundidad. La resistencia específica de la roca también depende de la cementación de los granos, forma y tamaño.

§ Factores operativos

Estos factores deben de ser diseñados de acuerdo con la geología por atravesar y con la geometría del agujero. Pueden ser modificados en el campo en función del

desempeño observado. A continuación se mencionan los principales factores operativos así como las consecuencias inherentes a una inadecuada selección:

Peso sobre barrena. A medida que la barrena perfora, los dientes o cortadores se desgastan, por lo que generalmente se le aplica cada vez más peso. Éste es recibido por los conos o por la cara de la barrena. Este aumento de peso puede hacerse hasta lograrse un ritmo de penetración aceptable o hasta llegar al límite prescrito en las recomendaciones de operación de la barrena; en caso contrario la barrena, de conos o de diamante, tendrá un desgaste prematuro.

Velocidad de rotación. La velocidad de rotación suele expresarse con el término “RPM”, o sea Revoluciones Por Minuto. La alta velocidad de rotación, por sí sola, no limita el funcionamiento de las barrenas, principalmente a las de diamante, ya que por su diseño pueden ser usadas como motor de fondo o turbina. En cuanto a las barrenas de conos hay algunas especiales para altas velocidades de rotación; sin embargo, hay otros factores que imponen un valor práctico máximo de RPM en ciertas aplicaciones. Las causas de la limitación son la sarta de perforación y el mecanismo impulsor. Para evitar velocidades críticas debe usarse el sentido común: la velocidad de rotación más adecuada es aquella que produzca un máximo ritmo de penetración, pero sin causar problemas. Debe observarse que en formaciones blandas el aumento de la velocidad de rotación resulta en un aumento proporcional del ritmo de penetración. Es posible que en algunas formaciones más duras ocurra lo contrario debido a que los dientes o cortadores no pueden perforar la roca si se sobrepasa cierto límite de velocidad de rotación y se afecte así el desgaste de las barrenas.

Un caso particular son las barrenas de conos diseñadas para ser usadas con motor de fondo o turbina. En estas condiciones la velocidad de rotación es alta (los motores de fondo, dependiendo de su diámetro, tipo, gasto, marca etc., pueden dar una velocidad de rotación de 50 hasta 600 rpm, mientras que las turbinas pueden dar una velocidad de rotación mayor a 1000 rpm), y el diseño específico consiste en mejoras en el sistema de rodamiento e hidráulica; recubrimiento de carburo de tungsteno para proteger de la abrasión las piernas; y mantener el sello durante condiciones de carga extrema: sello y grasa para operaren condiciones de alta temperatura, permite operarlas con seguridad.

Limpieza en el fondo del pozo. La limpieza de fondo es también uno de los puntos que afectan el desgaste de las barrenas debido a que el fluido de perforación limpia el pozo al desalojar los recortes. De esta manera evita que la barrena se embole y se deban usar entonces otros parámetros de perforación. También enfría los dientes o cortadores para que permanezcan a menor temperatura; efectúa, además, el enfriamiento y lubricación de la barrena y evita el desgaste por exceso de temperatura.

Geometría del agujero. En función de la experiencia, en ciertas situaciones como la de empezar a desviar a un pozo, es necesario utilizar condiciones de operación no tan recomendables como el peso sobre barrena, revoluciones por minuto, la utilización de sartas navegables para aumentar, disminuir o mantener ángulo. En estos casos el desgaste prematuro de la barrena es inevitable, por lo que la experiencia de campo es indispensable para detectar el desgaste que se está ocasionando.

§ Manejo–Transporte.

Otro factor no menos importante de desgaste de las barrenas es su manejo y transporte. Sin importar el tipo de barrena, de conos o de diamante, debe tratarse bajo ciertos cuidados: se debe remover de su embalaje y colocarse sobre madera o alguna alfombra de caucho; nunca se debe rodar una barrena sobre la cubierta metálica del piso de perforación porque en el caso de las barrenas de diamante los cortadores son muy frágiles y pueden astillarse fácilmente.

Si la barrena se deja caer por descuido y se rompen algunos dientes o cortadores, es posible que se acorte drásticamente su duración. En ese caso se debe anotar su número de serie, así como su tipo y su diámetro; revisarla en busca de daños que le pudieron haber ocurrido en tránsito y finalmente inspeccionar su interior para determinar si hay objetos extraños que pueden obstruir las toberas.¹¹

5.1.1 Sistema General de Evaluación del daño.

La International Association of Drilling Contractors (Asociación Internacional de Contratistas de Perforación IADC), ha desarrollado una metodología estándar para describir las barrenas usadas. Esta información es esencial para el análisis detallado para la operación de las barrenas.

La metodología está compuesta de un código de 8 caracteres que describe el desgaste de la barrena y la razón que se tuvo para sacarla del agujero.

Estructura de Corte				B	G	Comentarios	
HILERS INTERIORES	HILERS EXTERIORES	CARACT. DE DESGASTE	UBICACION DESGASTE	CONDICIÓN COJINETES	CALIBRE 1/16"	OTRAS CARACTERÍSTICAS DE DESGASTE	RAZON PARA SACAR LA BARRENA

Tabla 7 Tabla General de evaluación.

¹¹ Escuela de Perforación, Capítulo 10 “Barrenas”, pág. 216-218, Documento Electrónico.

§ (I) = (Inner Rows) Hileras Interiores.

Usada para reportar el promedio de desgaste de los cortadores ubicados en los dos tercios internos del radio de la barrena. El desgaste es reportado usando una escala lineal del 0 al 8, donde 0 representa ningún desgaste y 8 significa que no queda diamante en los cortadores.

El desgaste del cortador PDC se mide a lo largo de la capa de diamante sin importar la forma, tamaño, tipo y exposición.

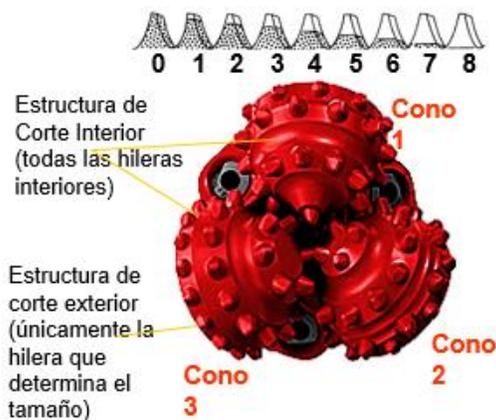


Figura 35 Barrena Tricónica/Desgaste en las Hileras externas

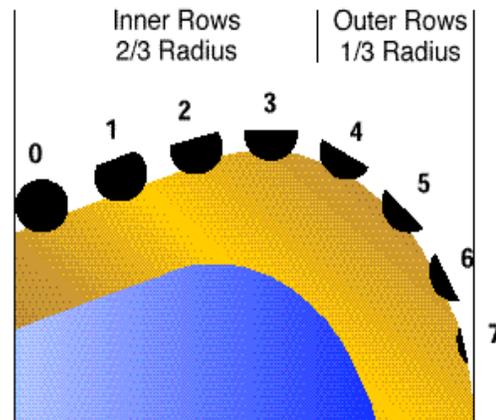


Figura 36 Barrena de Cortadores fijos/Desgaste en la hilera externa.

§ (O) = (Outer Rows) Hileras Exteriores

Usada para reportar el promedio de desgaste de los cortadores ubicados en el tercio exterior del radio de la barrena. El desgaste es reportado usando una escala lineal del 0 al 8, donde 0 representa ningún desgaste y 8 significa que no queda diamante en los cortadores, al igual que en el caso anterior.

§ (D) = Característica de Desgaste - Estructura de Corte

Usa un código de dos letras para indicar la característica principal de desgaste de la Estructura de Corte.

Esta columna es sólo para los códigos que se aplican a la estructura de Corte.

Nomenclatura del código de desgaste

Barrenas cortadores fijos	Barrenas Tricónicas
BF – Falla de Adherencia	BC – Cono Roto
BT – Cortadores Rotos	BF – Falla de Hueso
BU - Embolada	BT – Dientes/Cortadores Rotos
CT – Cortadores cincelados	BU – Barrena embolada
ER - Erosión	CC – Cono Agrietado
HC – Dañada por Calor	CD – Cono atascado
JD - daño por chatarra metálica	CI – Interferencia de cono
LN – Tobera Perdida	CR - Cortado de núcleos
LT – Cortador perdido	CT – Dientes/cortadores cincelados
NR – No se puede volver a correr	ER - Erosión
PN – Tobera tapada	FC – Desgaste en crestas planas
RG – diámetro externo desgastado	HC – Dañanda por calor
RO - desgaste anillado	JD - daño por chatarra metálica
RR – Se puede volver a correr	LC – Cono perdido
SS – Desgaste de autoafilado	LN – Tobera perdida
TR – “Tracking”	LT – Dientes/Cortadores perdidos
WO – barrena lavada	OC – Desgaste descentrado
WT – Cortadores gastados	PB – Barrena deformada
NO - No tiene características de desgaste	PN – Tobera tapada/pasaje de flujo tapado
	RG – Calibre redondeado
	RO - desgaste anillado
	SD – Faldón dañado
	SS – Desgaste de autoafilado
	TR - Tracking
	WO – barrena lavada
	WT – Dientes/cortadores desgastados
	NO - No tiene características de desgaste

Tabla 8 Nomenclatura del desgaste

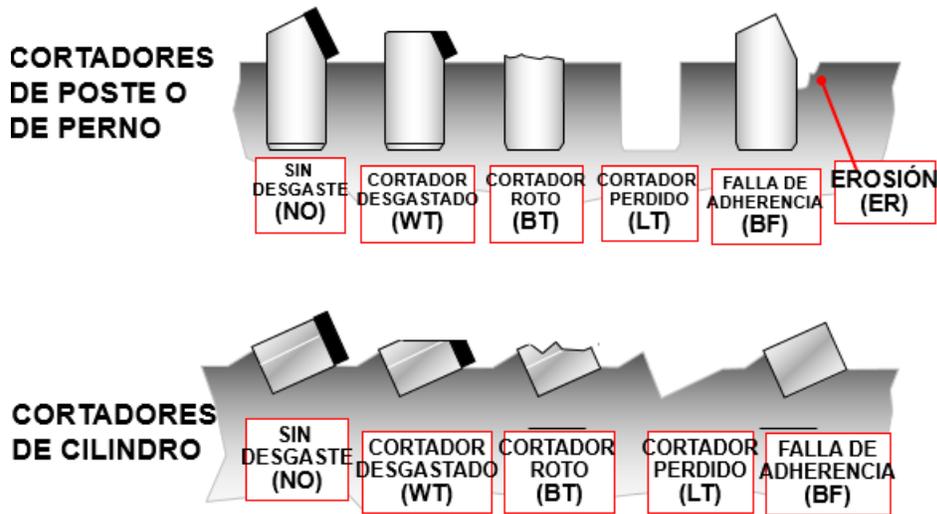


Figura 37 Ejemplo de la nomenclatura del desgaste.

§ (L) = (Location) Ubicación

Usa un código de una letra para indicar la ubicación en la cara de la barrena donde el desgaste principal ocurrió.

Barrenas de cortadores fijos	Barrenas tricónicas
C - Cono N - Nariz T - Ahusamiento S - Hombro G - Diámetro	N – Hileras de la Nariz M – Hileras intermedia G – Hileras del calibre A – Todas las Hileras

Tabla 9 localización del desgaste

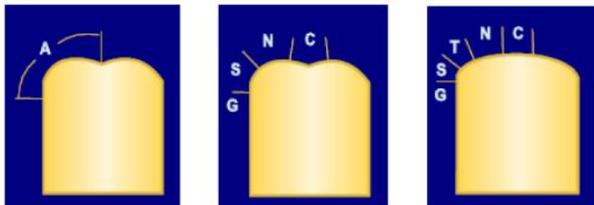
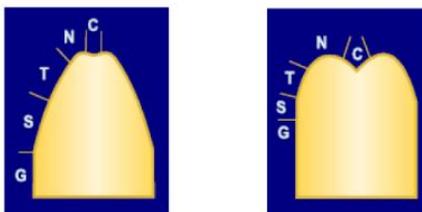


Figura 38 Ubicación del desgaste



§ (B) = (Bearings / Seals) Cojinetes / Sellos

Este cuadro es para barrenas tricónicas. Las barrenas de cortadores fijos siempre van a estar designadas con una "X".

Cojinetes no sellados	Cojinetes Sellados
Una escala lineal que estima la vida usada del cojinete. (0 –No se ha usado la vida útil, 8 – Se usó toda la vida útil, es decir no queda vida útil en el cojinete)	E – Sellos siguen Efectivos F – Fallaron los Sellos N – No se pudo calificar

Tabla 10 desgaste en los cojinetes

§ (G) = (Gauge) Calibre

Usada para reportar la condición del calibre de la barrena. Se basa en la medida nominal del anillo de calibración. Asegurarse que el anillo de calibración es de PDC y no de barrenas de conos, debido a las diferencias de tolerancia.

Es usado cuando la barrena está en calibre.

La cantidad de desgaste del calibre es reportada en 16 avos (1/16") de pulgada. Por ejemplo, si la barrena tiene 1/8" menos de diámetro, indica que tiene un desgaste de 2/16" y se reporta: desgaste de calibre = 2 (se entiende que son dieciseisavos de pulgada) .

§ (O) = (Other Dull Characteristics) Otras Características de Desgaste

Usada para reportar otra característica de desgaste como una evidencia secundaria del desgaste de la barrena. Esta evidencia puede servir para identificar la causa de la característica de desgaste principal que se reportó en la tercera columna.

El código usado en esta columna es el mismo que el utilizado en la columna D (tercera columna)

§ (R) = Razón de Salida del Hoyo

En esta columna se indica la razón por la cual la barrena salió del agujero con la siguiente nomenclatura, esta nomenclatura es general, tanto para barrenas tricónicas como barrenas de cortadores fijos:

- BHA – Cambiar el ensable de fondo de pozo
- DMF – Falla del motor en el pozo
- DSF – Falla de la sarta de perforación
- DST – Prueba de la Sarta de perforación
- DTF – Falla de la herramienta de fondo de pozo
- RIG – Reparación del equipo de perforación
- CM – Condición del lodo

CP – Punto para sacar núcleos
DP – Taponamiento del pozo
FM – Cambio de formación
HP – problemas de pozo
HR - Horas
PP – Presión de Bombeo
PR – Velocidad de perforación
TD – Profundidad total / Punto para tubería de revestimiento
TQ - Torque
TW – Torque excesivo
WC – Condiciones climáticas
WO – Rotura de la sarta de perforación por fuga hidráulica

5.2 Tipos y causas del daño en las barrenas.

5.2.1 Barrenas PDC.

§ Falla de Adherencia. (BF)

Esta falla resulta cuando se despega la superficie entre los dos substratos de carburo de tungsteno. Se caracteriza por presentar una superficie plana y suave en el substrato secundario.

La falla es típicamente causada por altas cargas axiales aplicadas durante la perforación. También puede ser causada por controles inadecuados durante el proceso de manufactura.



Figura 39 Falla de Adherencia

§ Cortadores Rotos. (BT)

La rotura es el resultado de fuertes choques, como por ejemplo, contra chatarra en el hoyo, equipo de cementación no compatible, de impactos resultado de vibraciones (axiales o whirl), del resultado de erosión extrema o desgaste por fatiga del sustrato de carburo de tungsteno.



Figura 40 Cortadores rotos.

§ Barrena Embolada. (BU)

Se caracteriza por la obstrucción de uno o más canales de flujo que disminuye o impide el flujo de lodo. Puede ser causada por:

1. tipo de formación
2. pobre diseño hidráulico
3. intercalaciones
4. alto WOB
5. baja tasa de flujo
6. toberas mal calculadas

Se identifica en la superficie por un aumento de la presión de la bomba y la rápida caída de la tasa de penetración.



Figura 41 Barrena embolada

§ Desgaste en el Centro . (CR)

Se caracteriza porque la estructura de corte del centro está completamente removida. Puede ser causado por:

1. intercalación dura
2. perfil inadecuado
3. poca densidad de
4. cortadores
5. chatarra en el fondo
6. mal procedimiento de inicio* de perforación

Es también el resultado final de un anillamiento si la barrena no es sacada a tiempo.



Figura 42 Desgaste en el centro

§ Cortadores Astillados: (CT)

Estos cortadores muestran signos de astillamiento. Esto es usualmente evidencia de daños por impactos causados por vibraciones o cambios de formación. Se puede notar que el cortador superior muestra desgaste tipo auto-afilado y astillado. El de abajo muestra poco auto-afilado y astillado alrededor de su periferia. El astillado circunferencial es causado por cargas de impacto y los esfuerzos internos remanentes en el cortador desde la fabricación del mismo.

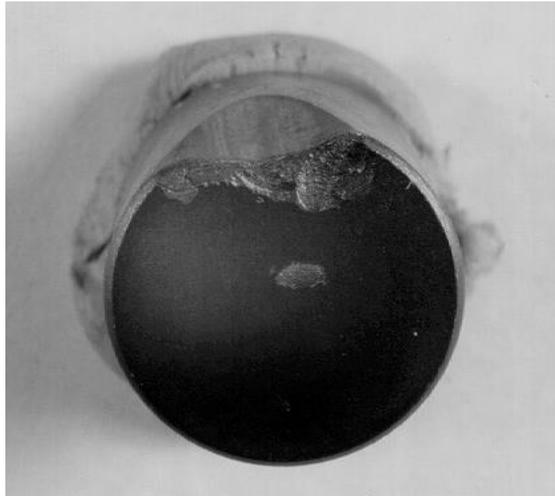


Figura 43 Cortador astillado

§ Erosión. (ER)

Se presenta por la acción del fluido de perforación fluyendo alrededor del poste o del cilindro. El carburo de tungsteno puede ser erosionado a altas velocidades de flujo debido a altos contenidos de sólidos, arena o de material de peso en el lodo.



Figura 44 Desgaste por erosión

§ Fatiga Térmica. (HC)

Estos cortadores muestran los efectos de insuficiente enfriamiento. El carburo detrás del cortador está desgastado y presenta las fisuras características de fatiga térmica (heat checking) que es el resultado del sobrecalentamiento del carburo. Esto también puede ser detectado en las mechas de cuerpo de acero por la coloración azulada del metal.



Figura 45 Fatiga Térmica

§ Daño por Chatarra. (JD)

El daño causado por perforar sobre chatarra puede reducir el rendimiento y la vida de la barrena. Esta situación se presenta típicamente cuando:

1. La barrena anterior dejó partes
2. Herramientas de la barrena que caen en el hoyo
3. Partes del BHA

Cuando la barrena trabaja sobre chatarra se presenta torque errático y se reduce la ROP. Puede causar debilitamiento y daño a los cortadores.



Figura 46 Desgaste por chatarra

§ Pérdida de Tobera(s). (LN)

Reduce la eficiencia de limpieza, causando tasas de penetración más bajas de lo normal. La barrena se puede embolar con el nuevo patrón de flujo. Puede ser causado por instalación inadecuada o tipo de tobera equivocado. La vibración puede aflojar y hacer perder una tobera. Se identifica en la superficie por pérdida de presión y caída de la ROP.



Figura 47 Pérdida de toberas

5.2.2 Barrenas Tricónicas.

§ Cono Roto (BC).

Se considera cono roto a partes del cuerpo separadas del cono o se ha roto en dos o más piezas. Puede ser provocado por excesivas cargas de impacto, prácticas inapropiadas o por el ambiente de perforación (presencia de H₂S, mala selección de lodo, etc.).



Figura 48 daño por cono roto en barrena tricónica.

§ Dientes Rotos (BT).

Se considera elemento de corte roto cuando más de 1/3 de este cuerpo se ha ido. Puede ser causado por características de la formación, selección inapropiada de la barrena, peso excesivo sobre la barrena, mayor rpm para el tipo de barrena, inapropiado asentamiento de la barrena, fatiga térmica, interferencia de conos, etc.



Figura 49 daño por dientes rotos.

§ Barrena Embolada (BU).

El embolamiento es una condición donde los cortes de la formación se depositan entre los elementos de corte, afectando la tasa de penetración. Es causada por

características de la formación, hidráulica inadecuada, mala distribución del flujo o malas prácticas de perforación, entre otras.



Figura 50 barrena embalada.

§ Cono Fisurado (CC).

En una barrena con uno o más conos que muestran fisuras, pero los conos permanecen en su lugar.

Es causado principalmente por la aplicación de excesivo peso sobre la barrena, tiempo excesivo de uso, impactos excesivos, fatiga térmica o por el ambiente de perforación.



Figura 51 cono fisurado.

§ Cono Trancado (CD).

Se presenta cuando uno o más conos no giraron durante parte de la corrida, causando desgaste plano en ellos. De entre sus posibles causas están: falla en el cojinete, barrena embolada, trabajo sobre chatarra, interferencia de los conos o insuficiente peso sobre la barrena.



Figura 42 cono trancado.

§ Interferencia de Conos (CI).

Es cuando la estructura de corte de al menos un cono ha impactado a uno de los conos adyacentes. Sus posibles causas son: falla en el cojinete/balero y/o sello, forzar a la barrena, malas prácticas de perforación, etc.



Figura 53 conos interferidos.

§ **Coroneado (CR)**

Se le nombra así a una barrena cuando los elementos cortantes del centro están desgastados, rotos o perdidos hasta la nariz del o los conos que exhiben esta característica. Es causado por un inapropiado proceso de inicio, daño por chatarra, erosión, mala selección de la barrena, demasiadas horas trabajando, entre otras.



Figura 54 coroneado de una barrena tricónica.

§ **Dientes Astillados (CT)**



Un diente es considerado astillado cuando menos de 1/3 del elemento de corte se ha ido cualquiera sea su causa. Las posibles causas son: mala selección de la barrena, excesivo peso sobre la barrena, excesivas rpm, excesivas cargas de impacto, inadecuado asentamiento de la barrena, etc.

§ **Erosión (ER)**

Es la pérdida de material en la estructura de corte y es considerado desgaste normal y es causado por una mala hidráulica, excesiva tasa de flujo, por formaciones abrasivas (con alto contenido de arenas), por el ambiente en el fondo del pozo.



Figura 55 barrena erosionada

§ Crestas Achatadas (FC)

Las crestas achatadas o desgaste plano es una reducción pareja de la altura de los cortadores en toda la superficie de estos. Es causado por muy bajo rop o porque los cortadores están repitiendo el corte o cayendo en el mismo surco.



Figura 56 crestas achatadas.

§ Sobre calentamiento (HC)



Figura 57 sobre calentamiento de una barrena

Ocurre cuando un cortador es calentado a muy altas temperaturas debido a la perforación y después enfriado con el fluido de perforación. Es causado principalmente por insuficiente peso sobre la barrena, por ampliaciones del agujero, perforar a altas rpm o por características de la formación.

§ Daño por Chatarra (JD)

Se nombra así cuando la barrena presenta marcas causadas por el contacto con objetos diferentes a la formación (chatarra).



Figura 58 barrena con daño por chatarra.

§ Cono Perdido (LC)

Es cuando uno o más conos están faltantes. Todas las condiciones que pueden ocasionar conos rotos o fracturados pueden resultar en conos perdidos. Además pueden ocurrir si se opera la barrena con excesivas horas después de la falla del cojinete.



Figura 59 barrena con pérdida de cono.

§ Tobera Perdida (LN)

Es cuando a una barrena le falta una o más toberas debido a la mala instalación de estas, tobera dañada, tipo de tobera equivocada o por daño por erosión a la tobera.



Figura 60 daño por tobera perdida.

§ Dientes Perdidos (LT)

Es la ausencia de uno o más de los cortadores debido principalmente a excesivo peso sobre la barrena, excesivas horas de uso, erosión, cono figurado, cono roto o por el ambiente de perforación.



Figura 61 daño por diente perdido.

§ Desgaste excéntrico (OC)

Ocurre cuando el centro geométrico de la barrena y el del agujero no coinciden, esto es causado por una baja tasa de penetración, inadecuado peso sobre la barrena, drill collar doblado, inadecuada estabilización, sistemas direccionales con motor de fondo, etc.

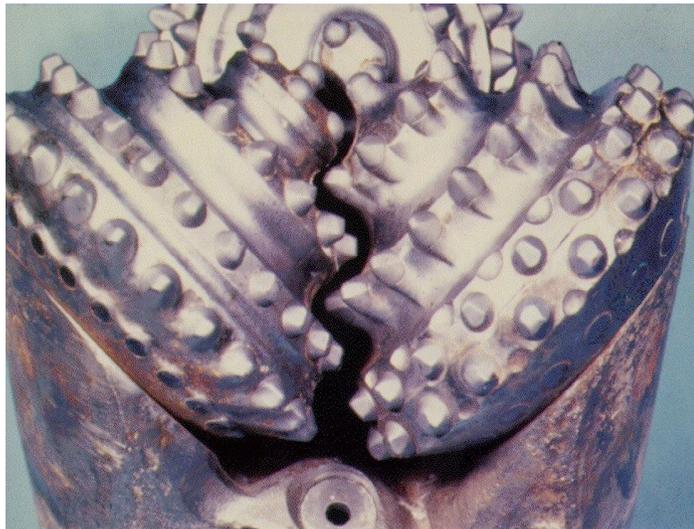


Figura 62 desgaste excéntrico en barrenas tricónicas.

§ Barrena Forzada (PB)

Es cuando la barrena ha sido forzada a pasar por un diámetro menor de su tamaño nominal.



Figura 63 Daño por forzamiento de barrena

§ Tobera Tapada (PN)

Una característica donde una o más de las toberas están obstruidas. Esta característica es usada solo en la columna de "Comentarios de Otras Características de Desgaste".

Esto se llega a presentar por inadecuadas condiciones de la perforación, como puede ser el atascamiento de la barrena por que la bomba este apagada, o por materiales solidos bombeados en la sarta de perforación, al igual que por los recortes que se generan de la formación.



Figura 64 toberas tapadas

§ Calibre Redondeado (RG)

El calibre redondeado es una condición donde la punta más exterior del elemento de corte del calibre se ha redondeado tal que este no es el calibre de corte nominal. El calibre redondeado puede ocurrir sin tener en cuenta si la barrena está en calibre nominal. Un elemento de corte del calibre típico no solo perfora el hueco de fondo, sino perfora (raspa) la pared del pozo. La pared del pozo raspada crea un desgaste plano más largo que la perforación del pozo de fondo. El calibre redondeado disminuye las ROP y puede incrementar el torque. El calibre redondeado puede ser una típica característica de desgaste en formaciones abrasivas.



Figura 65 calibre redondeado

§ Daño a la Pierna (SD)

Es una condición en la cual el daño debido al desgaste, erosión o basura ocurre en el área de la pierna. El daño de la pierna puede llevar a fallas del sello. El Daño de Pierna (SD) no es usado en la columna de "Características de Desgaste en la Estructura de Corte ". Las principales causas de este tipo de daño son: la caída de basura al pozo desde la superficie, basura desde la sarta de perforación.



Figura 66 barrena con daño en la pierna.

§ Desgaste Autoafilado (SS)

Esta característica de desgaste es reservada para barrenas de dientes. Esta es una condición que ocurre cuando el desgaste del diente en una manera tal que estos retienen una forma de cresta filosa. Esta característica es considerada una indicación de selección de la barrena adecuada en barrenas con una característica de autoafilado en operaciones con parámetros normales. La disposición del revestimiento autoafilado es cuando más revestimiento es aplicado en los flancos traseros del diente que en el flanco de la cabeza del diente. El revestimiento del flanco principal desaparece más rápido que el flanco trasero dando como resultado y manteniendo un filo agudo de corte. Esta es una característica de desgaste deseable. Las barrenas con dientes totalmente recubiertos prevendrán prematuros desgastes de dientes en intervalos con propiedades abrasivas.



Figura 67 desgaste autoafilado.

§ Perfil sobre huella.(TR)

Es una condición donde los elementos de corte en una fila dada impactan en el mismo sitio del pozo de fondo con cada revolución del cono sucesivamente. La acción del elemento de corte es deslizar en el patrón formado previamente, generalmente produce un patrón asimétrico de desgaste, el cual puede ser individual y distintivo entre las filas en los diferentes conos. El desgaste no está limitado a un área particular en el elemento de corte, ni el desgaste en la carcasa del cono tiene que ocurrir. Si el desgaste de la carcasa del cono ocurre este es un resultado del contacto del cono con el fondo del pozo o contacto / erosión con los cortes.

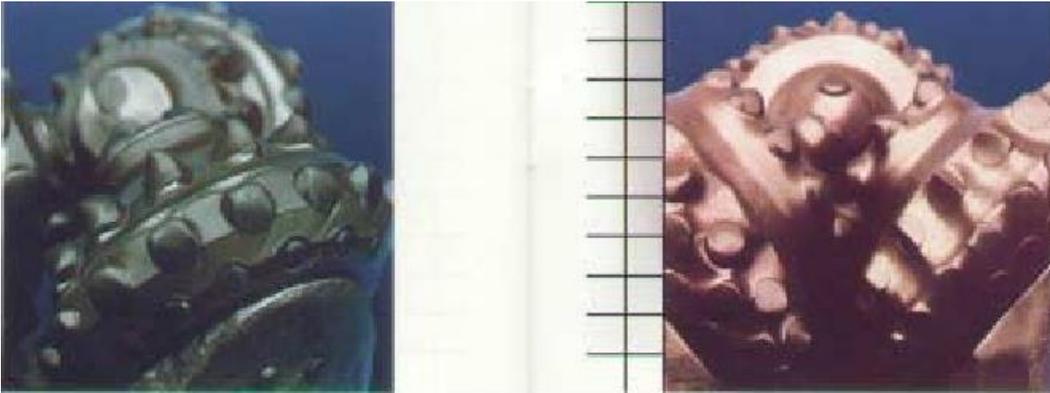


Figura 68 perfil sobre huella de una barrena.

§ Lavado (WO)

Un lavado es cuando el fluido de perforación ha erosionado un pasaje desde un área de flujo interna hasta el exterior del trépano. Esto no está limitado a soldar. Esta característica es usada solo en la columna de “Comentarios de Otras Características de Desgaste”.

Con frecuencia las soldaduras están selladas pero se agrietan durante la corrida de la barrena debido al excesivo impacto. Cuando una fractura ocurre y la circulación comienza a través de la fisura, el lavado es establecido muy rápidamente. Las causas de impacto excesivo son:

- Caída de la sarta de perforación.
- Constatar fondo muy fuertemente.
- Golpear un filo mientras se realiza un viaje o cuando se realiza una conexión.
- Correr el trépano sobre basura.



Figura 69 daño por lavado.

§ **Acuñado (PB).**

Una condición en la cual un cono o conos en la barrena han sido mecánicamente forzados uno con otro disminuyendo de esta manera la condición del calibre original en el mismo punto durante la corrida. La evidencia de contacto del elemento de corte en la carcasa del cono entre los conos opuestos podría o no ser vista. La barrena podría o no tener un menor calibre nominal cuando se lo mide. Los sellos / cojinetes podrían o no estar efectivos cuando el desgaste es visto, pero estos estuvieron intactos cuando el acuñado ocurrió. Si el contacto de la carcasa del cono no ocurre y uno o más fallas de cojinetes / sellos han ocurrido, no hay evidencia externa concluyente de acuñamiento. Las barrenas acuñadas pueden conducir a fallas de cojinete / sello, dientes rotos, dientes astillados, interferencia de conos, arrastre de cono y muchas otras características de desgaste de la estructura de corte. El acuñado (PB) no es usado en la columna de “Características de Desgaste de la Estructura de Corte “.

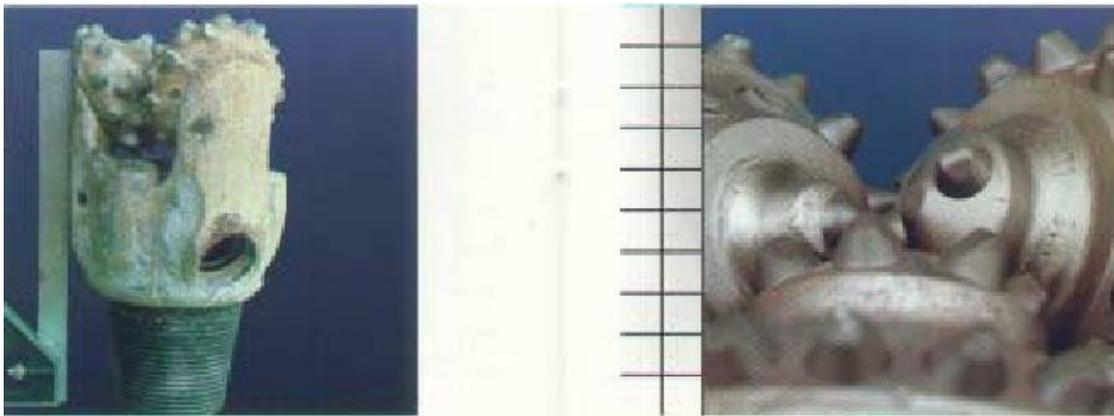


Figura 70 Daño por acuñamiento.

5.3 Forma de prevenir el daño en las barrenas.

5.3.1 Factores que influyen en el rendimiento de las barrenas.

Existen parámetros que pueden influir de diferentes maneras en el rendimiento de una barrena al momento de perforar. Estos parámetros pueden ser decisivos no solo en el rendimiento de la barrena, sino también en cuestiones administrativas y financieras.

Muchos de estos parámetros no recaen únicamente en las herramientas usadas sobre la barrena, características geológicas y de la selección misma de la barrena, sino principalmente de cuestiones operativas las cuales, dependiendo de la persona que las opere, pueden ayudar o perjudicar al rendimiento y comportamiento de la barrena.

5.3.1.1 Herramientas Sobre la Barrena.

El tipo motor de fondo, junto con la selección de la barrena suele ser un factor importante en las operaciones.

El uso de un buen motor de fondo, junto con la buena selección de barrena puede provocar que el desgaste de la barrena sea mínimo, además de poder mantener o incrementar la tasa de penetración (ROP). Al contrario, una mala selección de ambos elementos puede resultar en daño excesivo de la barrena, baja tasa de penetración, provocar embolamiento, e incluso provocar pescados.

Esto último también puede ocurrir con una buena selección de barrena y un mal motor de fondo. La única diferencia al utilizar un buen motor de fondo con una mala barrena sería el desgaste excesivo en la estructura de corte, cortadores rotos, fatiga térmica, y demás problemas que eso conlleva.

El uso de equipo especial para direccional como el Power Drive proporciona un comportamiento de la barrena diferente.

Cuando se utiliza Power Drive se obtiene una tasa de penetración más alta, pero la barrena sufre mayor desgaste en el calibre que cuando se utiliza motor de fondo, por lo que seleccionando una barrena con cortadores en esta posición ayuda a tener un buen trabajo direccional sin necesidad de exponer a la barrena a un desgaste mucho mayor al normal. Pero si el Power Drive fallara podría provocar todos los problemas anteriormente descritos cuando falla el motor de fondo. Si la barrena es la que falla, puede provocar los mismos problemas que si fallara con motor de fondo, agregándole un mal direccionamiento del pozo.

Otra herramienta comúnmente utilizada es el estabilizador, el cual se utiliza para mantener verticalidad y ayuda a disminuir la vibración. Esto es una ventaja para la barrena, ya que reduce el desgaste por impacto, previniendo que se astillen, rompan o desprendan cortadores, además que estabilizan la tasa de penetración. Algunas cosas que se tiene en contra el uso de esta herramienta es que la misma vibración ayudaría a aumentar la tasa de penetración, incluso el estabilizador, al provocar

fricción con las paredes del agujero podría provocar una disminución en la ROP o incluso derrumbes de las paredes del pozo.

5.3.1.2 Área total de Flujo (TFA).

Es la suma de las secciones transversales de los orificios de las toberas. Esto puede influir a favor o en contra del rendimiento de la barrena, y por consiguiente, de la perforación.

El área total de flujo puede o no ser grande, eso depende principalmente del programa hidráulico que se pretenda utilizar. Si el TFA es muy grande, al igual que el peso del lodo y se excede el régimen de flujo, la velocidad a la que saldrá el chorro es alta, esto podría contribuir a una buena limpieza en el fondo del pozo, pero causa desgaste excesivo a las toberas. También, dependiendo del tipo de barrena a utilizar es posible que dañe las aletas o los conos, dependiendo que orientación de salida tenga la boquilla de las toberas, ya que si el chorro impacta directamente a una aleta o cono producirá desgaste innecesario.

Si la caída de presión es baja para las condiciones anteriores, la velocidad del chorro será baja, esto está bien, al igual que el caso anterior, si va de acuerdo al programa de perforación, pero de lo contrario es posible que la limpieza en el fondo del pozo sea pobre y pueda provocar el embolamiento de la barrena, disminuyendo a casi cero la tasa de penetración (ROP), aunque el desgaste de las toberas sería menor.

5.3.1.3 Peso sobre la Barrena (WOB)

El peso sobre la barrena suele ser un factor importante para la perforabilidad de los diferentes intervalos, para aumentar o disminuir la tasa de penetración, así como optimizar la vida de la barrena.

Las exigencias del WOB dependen del tipo y dureza de la formación, cuando haya un aumento en la fuerza compresiva de la formación es necesario aumentar el WOB y bajar las RPM. El WOB no debe ser aumentado más de lo que recomiendan las directrices, ya que esto podría romper los elementos de corte en las barrenas tricónicas y/o PDC, o en un caso peor, romper una aleta o cono y causar la formación de chatarra en el fondo del pozo.

Si hay aumento de abrasión, es necesario mantener o reducir ligeramente el WOB y bajar las RPM. Esto es porque si se utilizaran muchas RPM comenzaría a limar los dientes de la barrena como si fuera una lija.

El WOB generalmente deberá aumentar en la medida que los elementos de corte se desgasten para mantener un óptimo ROP y la estabilidad de la barrena aumenta generalmente cuando se aumenta el WOB. Esto es lógico, ya que con poco peso empezaría a bailar en el agujero y podría provocar vibración.

Siempre se debe optimizar el WOB para reducir daños en la barrena, causados por vibraciones.

5.3.1.4 Revoluciones por minuto (RPM)

Las la cantidad de RPM dependen de la dureza y abrasión de la formación. Al aumentar la fuerza compresiva de la formación es necesario bajar las RPM. Ya que con RPM más altas es más eficiente la perforación en formaciones blandas. Al contrario, un RPM más bajo es eficiente en formaciones duras o abrasivas ya que minimiza vibraciones y desgaste de los elementos de corte. Algunas formaciones pueden ser considerablemente blandas pero abrasivas. Siempre es necesario optimizar las RPM para prevenir vibraciones dañinas.

5.3.1.5 Tipos de litología

En muchas ocasiones, los ingenieros de perforación e incluso los de diseño no están conscientes de que el rendimiento de las barrenas no solo depende de su tipo o diseño, sino principalmente de las formaciones a perforar, ya que no sirve de nada una barrena la cual resiste muy bien la abrasión si es que se desea perforar un tipo de roca que responde al impacto. Esto se traduce en un desgaste temprano de la barrena, provocando un número mayor de viajes que el diseñado.

5.3.2 Como prevenir el daño en las barrenas tricónicas.

Barrena Tricónica	
Tipo de Daño	Forma de prevenirlo.
Cono Roto.	Evitar exceso de carga sobre la barrena
Diente o inserto roto.	Seleccionar de forma adecuada el tipo de barrena a utilizar de acuerdo al tipo de formación presente.
	Para formaciones duras, utilizar una barrena con menor longitud de diente.
	Evitar cologar un excesivo peso sobre la barrena.
	Utilizar las RPM según el tipo de formación.
Embolamiento	Emplear la hidráulica adecuada para el tipo de formación a perforar.
	Se recomienda utilizar toberas centralizadas para garantizar una mejor limpieza de los conos.
	En caso que se presente este daño, se recomienda aumentar la energía hidráulica, con el objetivo de revertir dicho daño.
	Utilizar barrenas con dientes largos, para evitar el embolamiento.

Cono Fisurado.	Evitar el sobrecalentamiento de la barrena.
	No exceder el peso recomendado sobre la barrena.
Cono arrastrado.	Seleccionar barrenas que soporten altas RPM.
	Colocar el suficiente peso sobre la barrena.
	Limpiar y engrasar la barrena, entra corrida y corrida de esta.
	Realizar un correcto ensamble de fondo.
Interferencia de conos.	Evitar introducir la barrena en un diámetro de pozo demasiado estrecho en comparación al diámetro de la barrena.
	Utilizar un bajo WOB y bajas RPM, cuando se repasa un pozo de bajo calibre.
Coroneado.	Mantener un pozo limpio, para evitar que la chatarra dañe la barrena.
	Colocar un excesivo WOP sobre la barrena.
	Seleccionar de forma adecuada el tipo de barrena, de acuerdo a la formación que se vaya a perforar.
	Utilizar un amortiguador en el BHN.
Diente Astillado.	Evitar excesivas RPM.
	Para formaciones duras utilizar unas barrenas con menor longitud de diente.
Erosión.	Reducir los sólidos presentes en el pozo.
	Seleccionar la hidráulica adecuada.
Temperatura.	Evitar perforar con altas RPM.
Daño por cuerpo extraño.	Colocar una canasta chatarrera, para evitar que la chatarra dentro del pozo dañe la barrena.
	Procurar que no caigan herramientas desde la superficie del pozo al interior de este.
Cono perdido.	No realizar excesivas horas de perforación, posterior a una falla de un cojinete.
	Abstenerse de utilizar un alto torque durante la perforación.
Boquilla perdida.	Reducir los sólidos presentes en el pozo.
	Colocar una canasta chatarrera, para evitar que la chatarra dentro del pozo dañe la barrena.
Inserto perdido.	Aplicar un apropiado WOB.
	Reducir las horas de operación.
Fuera de centro.	Colocar estabilizadores en la sarta.
	Procurar trabajar con una ROP alto.

Acuñado.	Abstenerse de introducir la barrena dentro de un diámetro de pozo demasiado estrecho, en comparación al diámetro de esta.
Tobera tapada.	Utilizar filtros para toberas, cuando se realice un viaje.
	Aumentar la hidráulica, para evitar que los sólidos se depositen en las toberas.
Calibre redondeado.	Aplicar las RPM adecuadas, de acuerdo al tipo de barrena.
	Deficiente selección de la barrena, de acuerdo al tipo de formación presente.

5.3.3 Como prevenir el daño en las barrenas PDC.

Barrena PDC	
Tipo de Daño	Forma de prevenirlo.
Falla de adherencia	Evitar cargas axiales excesivas durante la perforación. Revisar el proceso de manufacturación de la barrena. Evitar las fallas de fábrica.
Cortador roto	Evitar la acumulación de chatarra dentro del fondo. Controlar la vibración durante la perforación, no exceder en la vibración.
Embolamiento	Emplear la hidráulica adecuada para el tipo de formación a perforar.
	Se recomienda hacer un bien diseño de las toberas, para evitar este tipo de daño.
	En caso que se presente este daño, se recomienda aumentar la energía hidráulica, con el objetivo de revertir dicho daño.
Evitar altos WOB	
Cortadores astillados	Seleccionar de forma adecuada el tipo de barrena a utilizar de acuerdo al tipo de formación presente.
	No exceder el peso recomendado sobre la barrena.
Erosión	No utilizar lodos de perforación con gran concentración de sólidos.
	Evitar la aplicación de altas velocidades de flujo durante la perforación.

Fatiga térmica	Evitar sobre calentar la barrena , no forzarla
Coroneado.	Mantener un pozo limpio, para evitar que la chatarra dañe la barrena.
	Colocar un excesivo WOP sobre la barrena.
	Seleccionar de forma adecuada el tipo de barrena, de acuerdo a la formación que se vaya a perforar.
Pérdida de tobera	Evitar excesivas RPM.
	Hacer una adecuada instalación de las toberas
Pérdida de cortador	Mantener el pozo limpio, evitar la caída de chatarra al fondo del pozo.
	Tener un adecuado control de los aspectos de fabricación, verificar la calidad de los cortadores.
Temperatura.	Evitar perforar con altas RPM.
Daño por cuerpo extraño.	Colocar una canasta chatarrera, para evitar que la chatarra dentro del pozo dañe la barrena.
	Procurar que no caigan herramientas desde la superficie del pozo al interior de este.
Anillamiento.	Colocar una canasta chatarrera, para evitar que la chatarra dentro del pozo dañe la barrena.
	Contar con una correcta planeación correcta del “inicio” de la barrena.
Aleta rota.	Tener un control del WOB, no aplicar altos WOB durante la perforación, así como no aplicar altos torques.
	Colocar una canasta chatarrera, para evitar que la chatarra dentro del pozo dañe la barrena.
Tobera tapada.	Utilizar filtros para toberas, cuando se realice un viaje.
	Aumentar la hidráulica, para evitar que los sólidos se depositen en las toberas.

CONCLUSIONES

Para poder realizar una adecuada selección de la barrena, es importante conocer el tipo de formación en la cual se empleara dicha barrena, la profundidad, la desviación del pozo, así como la presión que tiene el pozo, entre otros.

Sin embargo aun conociendo estos parámetros no serán de mucha utilidad para la selección adecuada de la barrena, si no conocemos las características físicas de cada tipo de barrena. Por tal motivo es de suma importancia estar familiarizado con los parámetros operativos, las características físicas y las limitaciones de los diferentes tipos de barrenas que podemos encontrar en la industria petrolera.

Otro factor importante a considerar en la selección adecuada de la barrena, son los costos que se generaran en la utilización de la barrena en la perforación, al igual es indispensable hacer un análisis de los parámetros de perforación, ya que actualmente los pozos son cada vez más costosos , a este tipo de reto nos enfrentaremos donde tendremos que optimizar los recursos tanto económicos, como recuerdos humanos, ahorrar recursos sin sacrificar seguridad, eficacia, eficiencia y sobre todo tiempo. Estos factores no depende de en su totalidad de la barrena, aunque esta sea la parte más importante dentro de la perforación, se ven incluidos otros factores como son por mencionar algunos: el BHA o arreglo de fondo este factor incluye diferentes tipos de tuberías con características específicas y variadas para cada tipo de formación, profundidad, presión, etc. Si el diseño del BHA no es el adecuado se verá reflejado en las bajas tasas de penetración, la cual a su vez traerá como consecuencia un mayor tiempo en profundizar el pozo, y siguiendo la cadena este retraso traerá altas en los costos, ya que la situación actual de la industria es variada y los costos dependen mucho del tipo de contrato con el que se esté trabajando.

Ya que cada pozo es distinto es de suma importancia contar con las barrenas adecuadas para llevar a cabo los trabajos en el pozo. Sin embargo, no todas las barrenas disponibles dentro del mercado son adecuadas para el trabajo, así que para cumplir los requerimientos operativos, es necesario hacer un diseño del tipo de barrenas que se utilizaran, para dicho diseño es necesario conocer las partes que constituyen a las barrenas, así como las ecuaciones que se emplean para los cálculos del diseño de la barrena, contando con estas herramientas se podrá realizar el mejor y optimo diseño que cumpla con los parámetros requeridos en la perforación.

Para poder seleccionar adecuadamente una barrena, es importante conocer los distintos métodos de selección, aunque la mayoría de veces, esta acción se realiza correlación de los datos de pozos ya existentes que tienen características similares,

al igual se emplean varias modificaciones de los métodos existentes, o se llega a hacer la combinación de algunos, por lo que es de gran importancia conocer los distintos factores que involucran cada uno al igual que su metodología.

Un correcto diseño y una buena selección de la barrena garantiza una operación exitosa de perforación, sin embargo existen situaciones donde esta operación se complica, debido al daño sufrido por la barrena durante la perforación. Este daño hasta cierto punto es natural, ya que mientras se perfora los dientes y/o insertos se desgastan. A pesar de ser algo natural no debemos pasar por alto estas situaciones ya que esto nos puede generar un problema grave, si no tenemos conocimiento de los tipos de daño que las barrenas ya sea tricónicas o PDC pueden llegar a presentar, así como de la manera en que podemos evitar y prevenir el daño, si no en su totalidad, si en gran medida para tener un óptimo funcionamiento de la herramienta.

BIBLIOGRAFIA.

- Baker Hughes, “Fundamentos de Trépanos de perforación”, documento electrónico, 2003.
- Baker Hughes. “Drill Bit Catalog”. Documento electrónico.2010.
- Barrenas e Hidráulica de perforación”. Tomo 4. Pág. 6. Documento electrónico.
- Burintekh. Catalog Drilling Tools. Documento electrónico 2012.
- Drilling Technology. “Turbine technology”. 2007.
- HALLIBURTON. “Dull Grading Manual”. Documento electrónico. 2009.
- PEMEX. “Guía para la perforación, selección de barrenas”. 2006.
- Historia de la Perforación en México. Documento Electrónico.
- PDVSA. “Curso de mechas de perforación básico”. Documento Electrónico. 2011.
- Schlumberger. “ Selección y evaluación de barrenas”. Documento Electrónico.2006.
- Schlumberger. “ Introduccion al Equipo de Perforación”. Documento Electrónico.
- Universidad de Sonora. “Petrología de rocas detríticas”. Documento Electrónico.
- Schlumberger. “Oilfield Glossary”.
- Schlumberger. “ Oilfield Review”. Volumen 23.Nº2.
- Schlumberger. “Tecnología de Perforación”. Capítulo 6. 2004.
- José Melean. “Principios de barrenas tricónicas”. Documento electronico.2013.
- REEDHYCALOG. “Introducción y Aplicación de Barrenas. Documento electrónico. 2005.
- REEDHYCALOG. ”Principios básicos de las barrenas”. Documento electrónico.
- OTS International INC. “Barrenas PDC”. Documento electrónico.2006.