

2ej. 6
UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE INGENIERIA



BARRENAS TRICONICAS PARA LA PERFORACION DE POZOS

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:

INGENIERO PETROLERO

P R E S E N T A

LEONARDO JAVIER CERVANTES ORTIZ



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

INDICE

	PAG.
CAPITULO I	X
INTRODUCCION	2
CAPITULO II	
FACTORES QUE INTERVIENEN EN EL DISEÑO DE UNA BARRENA	8
CAPITULO III	
PARTES DE LA BARRENA	26
CAPITULO IV	
CONSIDERACIONES PARA LA SE- LECCION DE BARRENAS	47
CAPITULO V	
CLASIFICACION DE BARRENAS	53
CAPITULO VI	
CONDICIONES DE OPERACION	65
CAPITULO VII	
EVALUACION DEL DESGASTE DE BARRENAS	84
CAPITULO VIII	
COSTOS DE PERFORACION	97
CAPITULO IX	
SELECCION DE BARRENAS CON BASE EN COSTOS POR METRO PERFORADOS	103
BIBLIOGRAFIA	112

CAPITULO I

INTRODUCCION

C A P I T U L O I

INTRODUCCION:

La Industria Petrolera nació porque la iluminación era muy deficiente y "molesta", ya que, se obtenía principalmente de las velas de cebo o del aceite de ballena.

Alrededor de 1850 se buscaba con ahínco un mejor iluminante; en varias ciudades de Europa se introdujo el gas obtenido a partir del carbón mineral, que ya representaba un avance significativo.

Todavía pasarían bastantes años, antes de que la electricidad se usase en forma práctica para propósitos de iluminación.

En Escocia, James Young produjo un iluminante llamado "Aceite Parafinoso", obtenido a partir del petróleo que escurría de una mina de carbón.

Pero el volumen de petróleo era insuficiente, por lo que destiló carbón mineral y patentó el procedimiento en Inglaterra. Casi al mismo tiempo un canadiense, el Dr. Abraham Gesner desarrolló un procedimiento similar, obteniendo una patente en los E.U.A. Llamó a su producto "Kerosina" (una corrupción de las palabras griegas para cera y aceite).

En 1859 había más de 50 plantas de "Kerosina" en E.U.A., produciendo aceite para lámparas a partir del carbón, lutita bituminosa, o asfalto natural.

El barril de petróleo crudo se pagaba a 20.00 dólares,-

lo cual indujo e impulsó la búsqueda de este recurso en volúmenes grandes, pensándose en perforar pozos en busca de petróleo.

Edwin L. Drake (Coronel por Cortesía) fue uno de un grupo de hombres de negocios que formaron la Pennsylvania Rock Oil Co. en 1854 y arrendaron terrenos con afloramientos de petróleo (Chapopoteras), cerca de Titusville, Pa. Después de casi 3 años de desnatar el aceite de la salmuera, la compañía quebró. Se reorganizó como la Seneca Oil Co. y se comisionó a Drake para buscar algo mejor.

Drake decidió perforar en busca de petróleo. Contrató perforadores y compró un equipo de perforación (percusión) de los que se usaban para perforar pozos de Salmuera, y una máquina de vapor para generar energía. Construyó una torre y empezó a perforar en el verano de 1859. En agosto 27, de 1859, al llevar perforados 69 1/2', el petróleo subió hasta la superficie.

Se instaló una bomba, y el pozo produjo 30 bbl/día de petróleo, Drake demostró que se podía encontrar petróleo en grandes volúmenes perforando pozos. En ese lugar y en ese momento, nació la Industria Petrolera.

Durante la década de 1890, al perforar en busca de agua, se descubrió el campo petrolero de Corsicana, Texas. En este lugar, los equipos de perforación de percusión no podían perforar satisfactoriamente, pues el subsuelo era blan-

do, húmedo y deleznable.

En 1895 se aplicó en Corsicana la perforación rotatoria que se basa en la acción de una broca que gira y es empujada, requiriendo de la circulación de un líquido enfriador y removedor de roca desintegrada.

Las brocas, ahora llamadas barrenas, eran del tipo de arrastre (Alas) y se circulaba lodo natural. El sistema tuvo éxito y su uso se extendió rápidamente a otras áreas.

El sistema de perforación rotatorio se usó para perforar el pozo de Lucas, en Spindletop, Texas. El 10 de enero de 1901, al perforar aproximadamente a 1,100', "reventó" con una producción que se estimó entre 75,000 y 80,000 bbl/día. Este fue el pozo que impulsó a la industria petrolera al lugar que ocupa hoy en día en la economía y cultura del mundo.

Este pozo también probó que las formaciones blandas y jóvenes, las cuales se encuentran en todo el mundo, podían contener petróleo en volúmenes grandes. Antes, los operadores petroleros y muchos geólogos creían que el petróleo se podría encontrar principalmente en las formaciones más duras y de mayor edad de la tierra, como en Pennsylvania.

Los equipos de perforación rotatorios tenían muchos -- problemas para perforar las formaciones duras. Esto dió lugar al desarrollo del equipo de perforación combinado "rotatoria-pulseta". También muchos consideraban que el lodo que se usa en la perforación rotatoria obstruía las formaciones productoras de petróleo, por lo que muchos pozos se perfora-

ban por el método rotatorio hasta antes de llegar a la formación productora donde se introducía una tubería de revestimiento. Después, la formación productora se perforaba -- con pulseta en seco, lo que ocasionaba que el pozo brotara hasta la superficie. Esta práctica persistió por largo -- tiempo en muchas áreas.

En 1909, el señor Howard R. Hughes diseñó, construyó patentó y usó con éxito la barrena de conos dentados.

Era una herramienta muy rudimentaria con conos reemplazables. Su diseño fue mejorando progresivamente para lograr la perforación eficiente de todo tipo de formaciones.

La barrena de conos dentados fue determinante en la eliminación del sistema de perforación de percusión, debido a las limitaciones de profundidad de ésta.

Por razones análogas prácticamente desterró el uso de las barrenas de arrastre en la perforación de pozos petroleros.

De 1920 a 1930, los métodos de perforación casi no -- cambiaron. La perforación de pozos estaba bajo control de técnicos de formación práctica; los ingenieros todavía no -- habían entrado a la perforación. Tampoco se habían escrito trabajos técnicos sobre la materia. De hecho, la perforación de pozos no se había considerado un problema de ingeniería. Había ingenieros que diseñaban y construían equipos de perforación, pero ésto no se relacionaba con el aspecto operativo.

En 1925, el American Petroleum Institute (API) organizó los primeros comités para estandarizar los equipos de perforación. El fin básico era asegurar que las partes contruidas por un fabricante fueran equivalentes a las partes similares construidas por otro.

A fines de la década de 1930, un número considerable de equipos de perforación a vapor fueron cambiados por equipos diesel y diesel eléctricos. Estos equipos fueron superiores a los de vapor en capacidad, flexibilidad y eficiencia. Para 1950 habían desaparecido de México los equipos de perforación a vapor.

El continuo avance de la tecnología de perforación de pozos petroleros necesariamente originó la incorporación de ingenieros a esta actividad.

Hoy en día la planeación y ejecución de la perforación de pozos está a cargo de ingenieros, la mayoría ingenieros petroleros. Esto ha hecho posible mejorar notablemente la velocidad de perforación, reducir los costos, y perforar pozos cada vez más profundos.

C A P I T U L O I I

FACTORES QUE INTERVIENEN
EN EL DISEÑO DE UNA BARRENA

C A P I T U L O I I

FACTORES QUE INTERVIENEN EN EL DISEÑO DE UNA BARRENA

El diseño de una barrena fig. II.1 está sujeta a los requerimientos metalúrgicos, de tamaño y de la estructura de corte o sea los conos dentados. Los materiales que componen la barrena deben cumplir con requisitos extraordinariamente severos; y por ésto, en su fabricación se deben seguir especificaciones químicas y de endurecimiento muy precisas. Los principales componentes deben recibir un tratamiento térmico cuidadoso a fin de producir una corteza dura y resistente a los impactos. Además, como cada elemento de la barrena está confinado dentro del círculo formado por el diámetro del pozo, las dimensiones de éstos están por lo tanto restringidas.

El diseño de una barrena para utilizarse en un tipo específico de formación, requiere el estudio y comportamiento de cada una de sus partes para obtener el mejor rendimiento de la misma. Como ejemplo de las partes que deben ser variadas para cada tipo de barrena están: las características de rodamiento de los conos o cortadores, el tipo de rodamiento, la altura, espaciamiento y configuración de los dientes, el tipo de inserciones de carburo de tungsteno en el caso de barrenas de inserciones, la protección a la hilera de dientes de la base de los conos y otros.

Como resultado de las grandes diferencias que presen--

tan las distintas formaciones que van a ser perforadas, es necesario hacer uso de una gran variedad de tipos de barrenas que combine diversas características de diseño.

Cada barrena debe ser diseñada para un trabajo específico. El conocimiento de estas características de diseño y su aplicación es importante para poder hacer una selección y evaluación óptima.

II.1.- Metalurgia de la barrena.- Las características metalúrgicas de los elementos que constituyen una barrena son determinantes para lograr las propiedades necesarias, como son: dureza, resistencia mecánica y otros.

En esto los aspectos mas importantes son la composición del acero y los tratamientos térmicos, aspectos interdependientes ya que las deficiencias en uno afectarían notablemente el otro.

II.1.1.- Composición del acero.- Los requerimientos de los materiales que constituyen una barrena son muy estrictos. El acero que se utiliza debe cumplir con especificaciones comerciales en cuanto a propiedades químicas, de dureza, de limpieza y de forja.

La mayoría de los fabricantes utilizan acero al molibdeno (Mo) con alto contenido de níquel (Ni), para fabricar los conos de las barrenas. Para que se tenga una respuesta adecuada y uniforme al tratamiento térmico, este acero debe cumplir con especificaciones de dureza, como las mostradas -

en la fig. II.2, la cual es una reproducción de las especificaciones de dureza para este tipo de acero, aceptada y seguida por todos los productores de aleaciones de acero designada como 4815 H. En esta especificación se ve una banda de restricción típica, dentro de la cual deben caer los aceros utilizados para conos de barrena. La posición de esta banda puede diferir ligeramente de un fabricante a otro, dependiendo de los métodos de tratamiento térmico; pero si se desea uniformidad en el producto, el ancho de la banda debe ser -- aproximadamente el mostrado.

Similarmente los aceros que se utilizan en los demás componentes de las barrenas, se especifican con restricciones más severas que las comerciales.

Los aceros al níquel-cromo-molibdeno para la sección de las piernas se utilizan con durezas (referido a la curva) que produzcan muñones endurecidos superficialmente con propiedades óptimas de resistencia a la trepidación y al desgaste.

Un acero especialmente duro es utilizado por todos los fabricantes de barrenas, para los rodamientos de bolas y de rodillos; este acero se caracteriza debido a que, aún cuando tiene una gran dureza, sigue siendo altamente resistente al astillamiento o rotura, aún cuando se le someta a las cargas de impacto, que son comunes en las barrenas.

II.1.2.- Tratamiento térmico.- Aún cuando la mayoría -

de los materiales de la barrena deban ser tratados térmicamente, se debe aplicar en diferente forma para cada una de las partes de la barrena, para lograr un máximo rendimiento de la misma.

Los principales componentes de la barrena que son los conos y los muñones fig. II.3, deben recibir un tratamiento muy especial con el fin de obtener una superficie (corteza) dura y resistente al desgaste, y un núcleo (sección central) sólido y resistente al impacto. Las especificaciones y el control del proceso de carburización son de extrema importancia; la cantidad de carbón añadido cerca de la superficie debe ser mantenido dentro de límites muy estrictos para obtener la mejor combinación de resistencia al desgaste y al impacto. La profundidad de penetración del carburo de tungsteno determina lo que se llama "Profundidad de la Corteza" y debe ser especificada y controlada para cada tamaño y tipo de cono y muñón.

La fig. II.4, muestra un ejemplo de carburización para conos de barrenas. La profundidad de la corteza ha sido definida limitando el contenido de carbón. Especificaciones similares se aplican a los muñones.

La extensión y profundidad de las cortezas carburizadas en conos y muñones se muestra en las figuras II.5 y II.6 respectivamente.

En la fig. II.5, se observa claramente la corteza dura que rodea al núcleo más suave.

La fig. II.6, muestra los resultados de una carburización selectiva; mediante esta práctica, ciertas áreas de sección delgada o propensas a astillarse, no son carburizadas y permanecen relativamente suaves.

La fig. II.5, nos muestra secciones de un cono para formación dura en el cual se observa la corteza altamente carburizada necesaria para que los dientes soporten altas cargas.

Para obtener la corteza, con la dureza deseada en conos y muñones, es importante tener en cuenta el templado, así como el forjado de las piezas para añadir carbón en la cantidad correcta.

En el procedimiento de templado, para obtener las especificaciones adecuadas, es necesario un control muy estricto, a fin de obtener uniformidad en la dureza.

11.2.- Necesidades físicas en el diseño de una barrena de tres conos.

La primera consideración en el diseño físico de cualquier barrena es de espacio o lugar; cada elemento de la barrena, debe ser confinado dentro de un círculo representativo del pozo por perforar. La fig. II.7, muestra este confinamiento en donde se observan dos piernas de la barrena de 3 conos, en las cuales han sido ensamblados los conos (cono No. 1 y No. 2).

El círculo que rodea la figura inferior define el diámetro de la barrena.

Como se ve por el tamaño del cono y de las piernas, - el espacio utilizable se ha aprovechado a su máximo.

Cualquier incremento en el tamaño de uno de los elementos debe ir necesariamente acompañado de una disminución en uno o mas de los otros elementos.

Un prerequisite para el diseño de cualquier barrena - de 3 conos es la determinación del ángulo del muñón (Journal Angle) y la excentricidad (Offset).

II.2.1.- Angulo del muñón.- El término ángulo del muñón que se ilustra en la fig. II.8, puede decirse que el -- ángulo formado por una línea perpendicular al eje del muñón y al eje de la barrena.

II.2.2.- Excentricidad.- La excentricidad tal y como se ilustra en la fig. II.9, puede definirse como la distancia horizontal entre el eje de la barrena y un plano vertical que contenga al eje del muñón.

Normalmente los valores de estos parámetros están basados en la experiencia previa del fabricante y en las características de las formaciones que la barrena ha de perforar.

El efecto de las variaciones en estos valores serán - mencionados más adelante.

II.2.3.- Geometría básica del cono.- La geometría -- básica del cono es afectada directamente por un aumento o

una disminución en los valores del ángulo del muñón y de la excentricidad.

El ángulo "A" de la fig. II.7, formado por los ejes de los muñones es una función del ángulo "B". Por lo tanto, es obvio que un aumento en el ángulo del muñón dará como resultado una disminución del ángulo "A".

Si las holguras entre los conos se mantienen constantes, entonces el ángulo "B" de los conos también deberá disminuirse. En consecuencia, se puede afirmar que un aumento en el ángulo del muñón dará como resultado una disminución del ángulo básico del cono.

La Fig. II.10; representa un plano de diseño en el cual se observa que los conos No. 1 y No. 2, al igual que los mostrados en la fig. II.7, muestra los ángulos "A" y "B"

El círculo formado en el centro indica el desplazamiento de los conos con relación al centro de la barrena (excentricidad).

Para maquinar los dientes en el cono, es necesario retirar acero del cuerpo del cono, lo cual deja reducido el espesor de la pared del cono.

Cuando se necesita maquinar dientes largos para formaciones suaves, el espesor de pared se reduce considerablemente. Las barrenas para formaciones suaves se trabajan con poco peso, por lo cual una pared poco gruesa del cono puede --

resistir los correspondientes esfuerzos.

Si fuese necesario mantener un mayor espesor de pared del cono, podría lograrse reduciendo el espesor del cojinete.

Las barrenas para formación dura se trabajan con mucho peso, sin embargo siendo sus dientes cortos conservan un espesor de pared en los conos suficientemente grande para resistir los correspondientes esfuerzos.

La forma y tamaño físico de los conos, están gobernados hasta -- cierto punto por el ángulo del muñón y la excentricidad. Sin embargo, la geometría final de los conos se determina basándose en las siguientes consideraciones:

El diámetro obligado de la base de los conos en cualquier diámetro de agujero, es función del ángulo del muñón y la excentricidad, como se muestra en la figura II.11.

El desplazamiento que debe tener el cono hacia el centro de la -- barrena, para eliminar condiciones de sobre medida debido a la excentricidad, como se observa en la figura II.12.

Las limitaciones de tamaño y forma de los conos, mostrados en la fig. II.13, en donde se observa la holgura entre los dientes letra "A", la base del cono está indicada por la letra "B", las líneas punteadas -- en el cono No. 1, representan lo que pudiera considerarse la forma óptima del cono antes de maquinar los dientes, la letra "C" indica el desplazamiento del cono con respecto al centro de la barrena (excentricidad).

II.2.4.- Características de los dientes.-

Las características de la formación a ser perforada, determina --

el tamaño y grado de recubrimiento de carburo de tungsteno de los dientes de la barrena.

Este grado puede tener un rango de casi nada a un recubrimiento total de las cuatro caras de los dientes.

Generalmente, cuando menos en una de las caras de los dientes, endurecidas superficialmente, se le aplica un recubrimiento de carburo de tungsteno.

En el caso de barrenas de inserciones de carburo de tungsteno, como es lógico, no llevan recubrimiento alguno, pero en función al tipo de formación que van a perforar, el diseño y tamaño de las inserciones cambia.

ESPECIFICACIONES DE DUREZA 4815 H

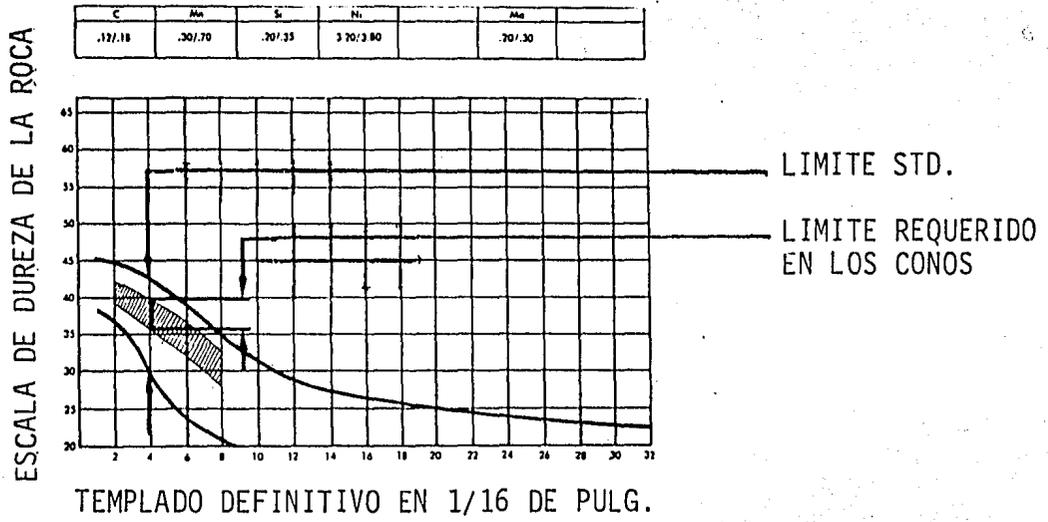
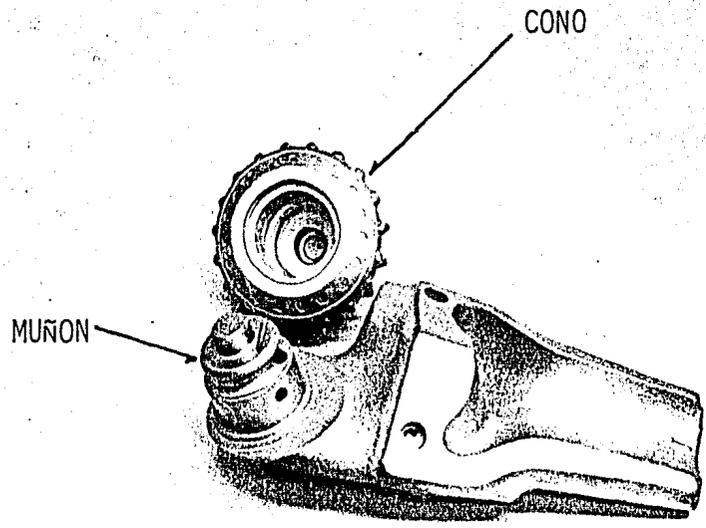


FIGURA II.2



PRINCIPALES COMPONENTES DE LA BARRENA

FIGURA II.3

CARBON REQUERIDO EN EL PROCESO DE CARBURIZACION DE CONOS

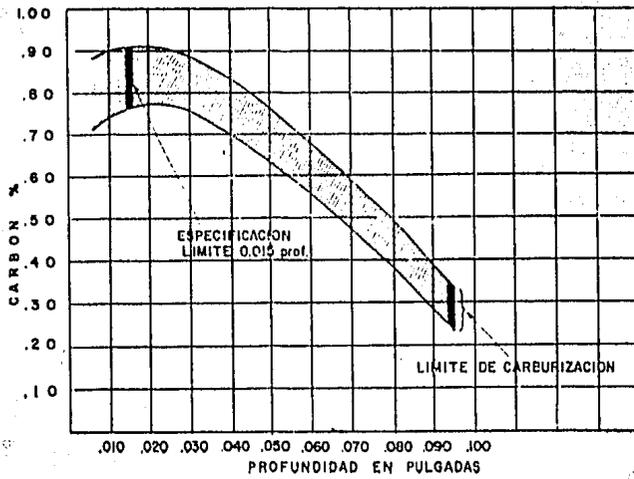
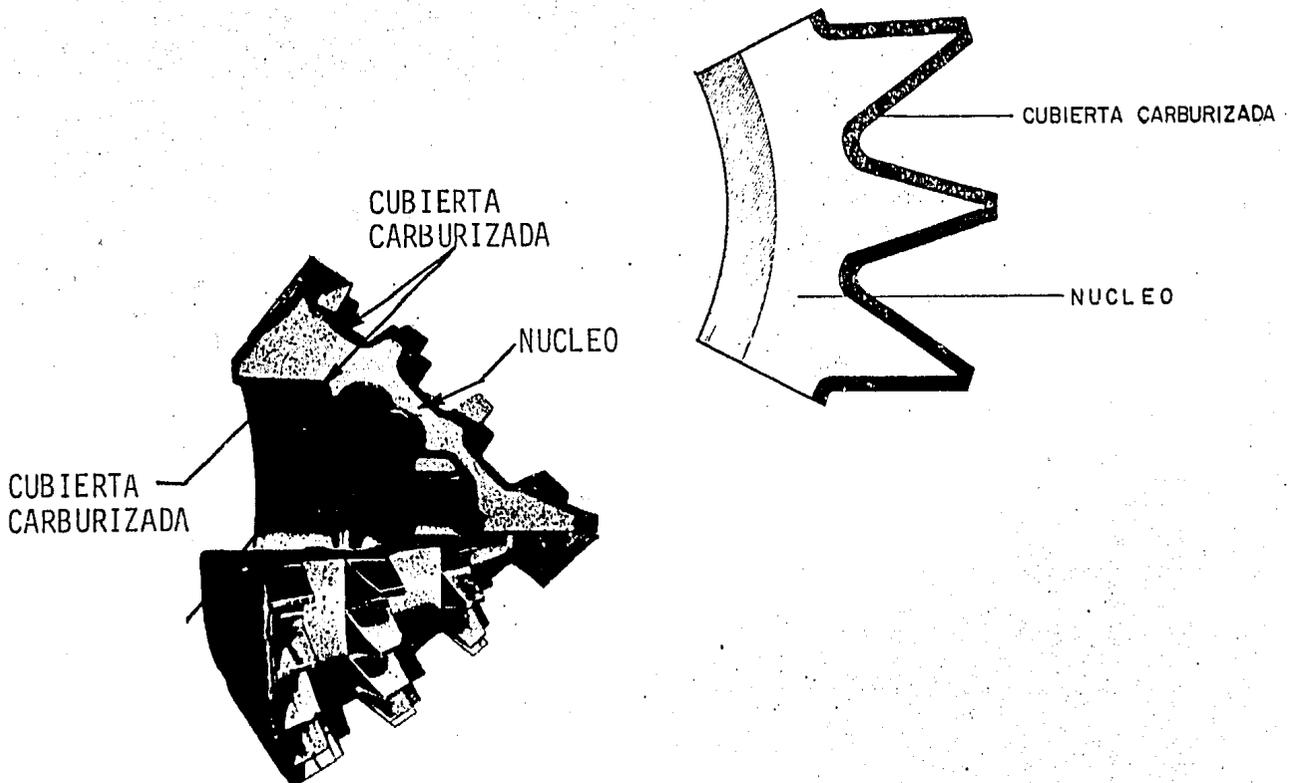
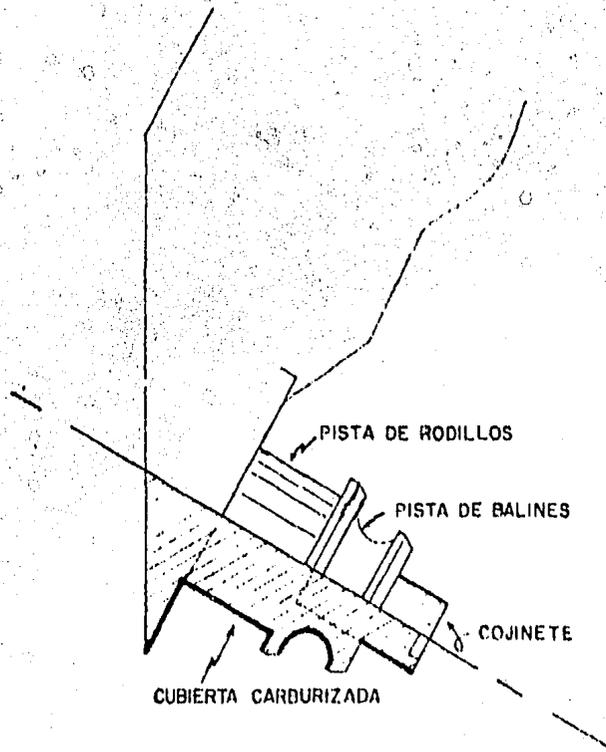


FIGURA II.4



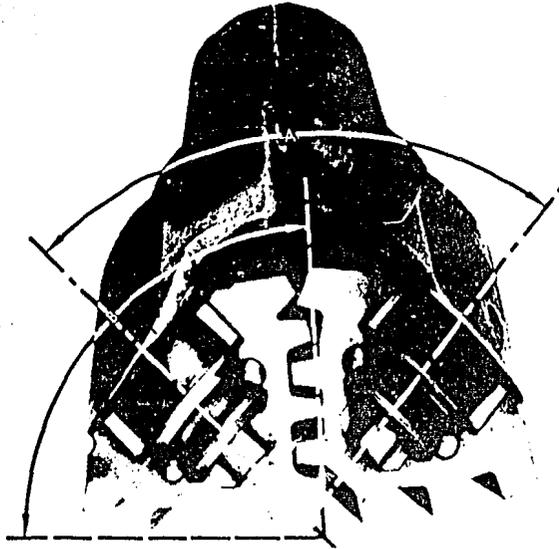
CUBIERTA CARBURIZADA EN EL CONO

FIGURA II.5

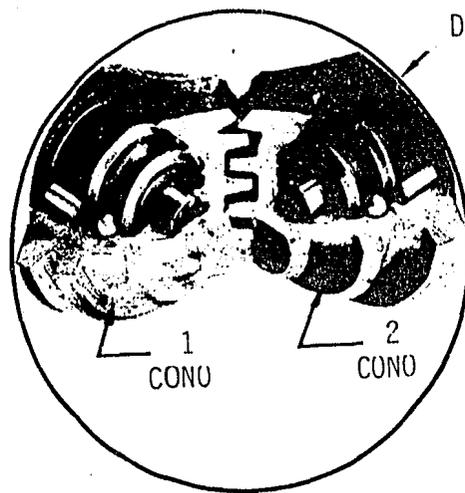


CUBIERTA CARBURIZADA EN EL MUÑON

FIGURA II.6

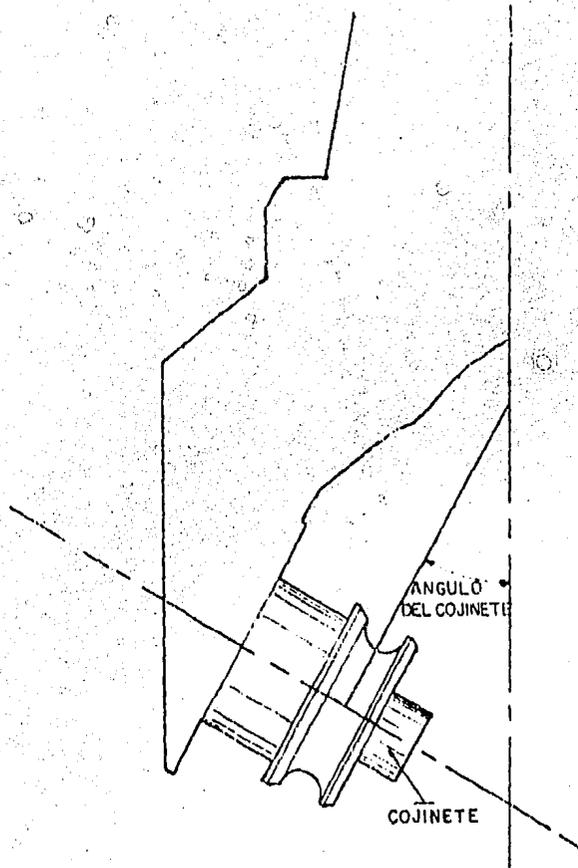


CORTE DE UNA BARRENA DE TRES CONOS



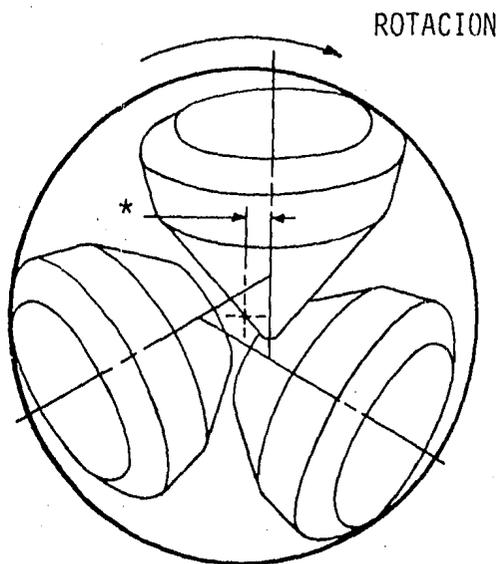
DIAMETRO DE LA BARRENA

FIGURA II.7



ANGULO DEL MUÑÓN

FIGURA II.8



EXCENTRICIDAD (*)

FIGURA II.9

ARREGLO EN EL DISEÑO DE UNA BARRENA

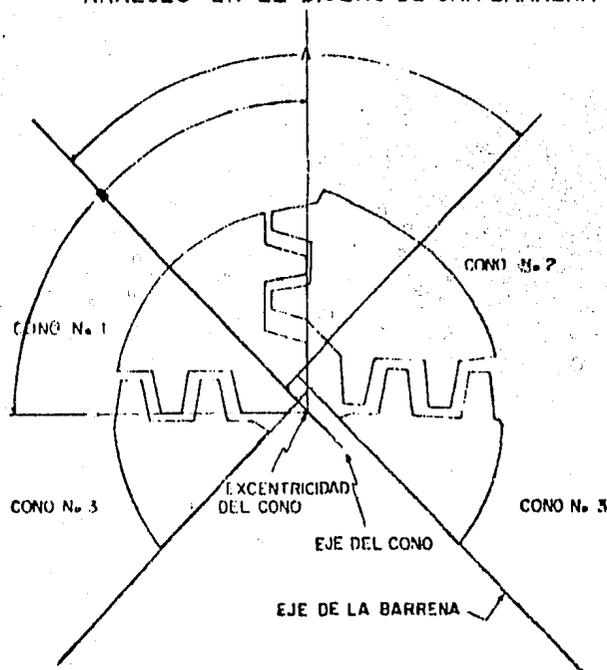
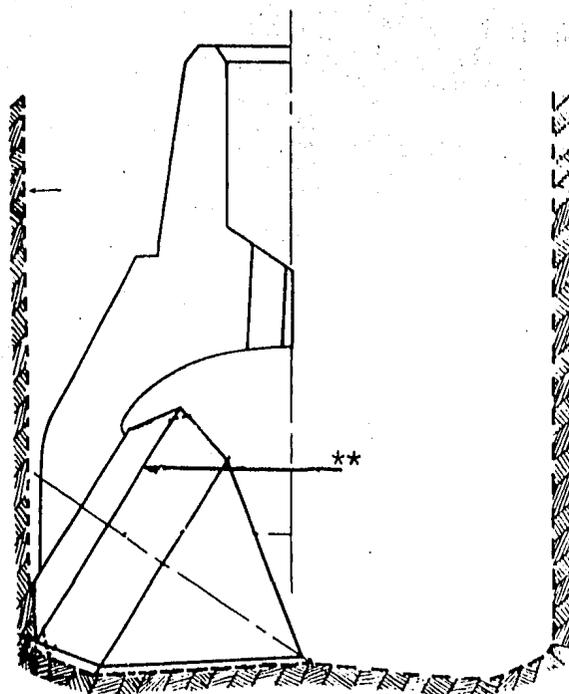
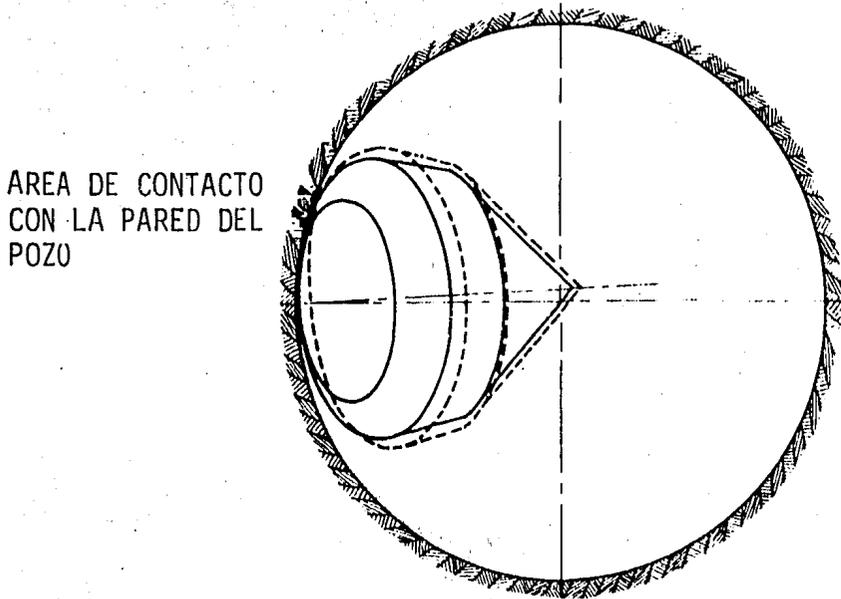


FIGURA II.10



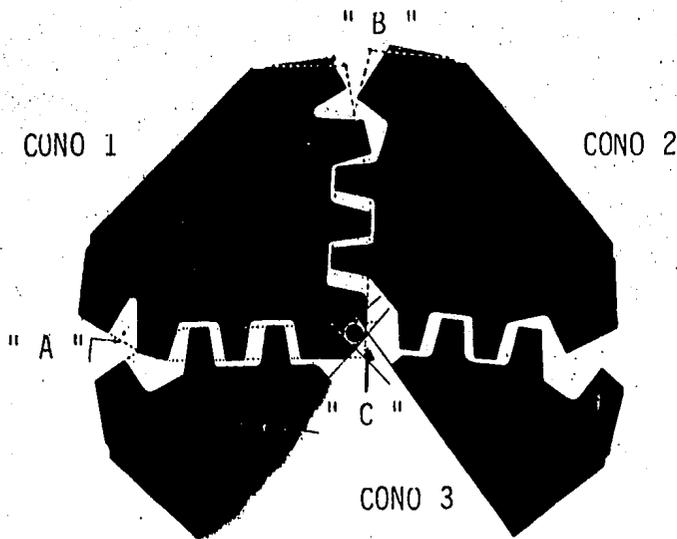
DIAMETRO DE LA BASE DE LOS CONOS (**)

FIGURA II.11



DESPLAZAMIENTO DEL CONO HACIA EL CENTRO DE LA BARRENA.

FIGURA II.12



LIMITACION DE TAMAÑO Y FORMA DE LOS CONOS

FIGURA II.13

C A P I T U L O I I I

PARTES DE LA BARRENA

C A P I T U L O III

PARTES DE LA BARRENA

Las barrenas tricónicas fig. 1, se caracterizan por su elemento de ataque; está formado por tres conos dentados que giran libremente sobre su eje, letra "A", tres piernas letra "B", que en su parte inferior sostienen a los conos, mientras que su parte superior al estar acopladas y soldadas entre sí forman el piñón letra "E" y como última parte fundamental de la barrena están los orificios de descarga del fluido de perforación, letra "D".

Actualmente se cuenta con barrenas de dientes maquinados en el cuerpo de los conos fig. III.2, y barrenas de inserciones de carburo de tungsteno fig. III.3.

Dentro de estos dos tipos de barrenas se tiene; por el tipo de balero, que pueden ser de rodamientos o de chumacera; por el tipo de descarga de fluido de perforación, pueden ser de toberas (3 orificios distribuidos), o convencionales (1 orificio en el centro). Estas últimas actualmente sólo se utilizan en casos muy especiales.

Las barrenas se fabrican para perforar formaciones suaves, medio duras y extremadamente duras, aparte de las características de dureza las formaciones tienen otras propiedades como son: abrasividad, plasticidad, fragilidad, diversos grados de consolidación o compactación.

Las partes que componen a una barrena son (figs. III.2 y III.3):

1. Piñón
2. Pierna
3. Hombro de la pierna
4. Faldón de la pierna
5. Cono No. 1
6. Cono No. 2
7. Cono No. 3

8. Dientes maquinados en el cono
9. Crestas de los dientes
10. Valle entre dientes
11. Flanco exterior del diente
12. Flanco interior del diente
13. Lado anterior del diente
14. Lado posterior del diente
15. Ranuras
16. Inserciones de carburo de tungsteno
17. Base de los conos (hilera que determina el diámetro de la barrena)
18. Punta de lanza
19. Orificios de descarga del fluido de perforación (toberas)
20. Tapón de grasera
21. Soldadura cubriendo el tapón de los baleros de bolas
22. Depósito de grasa

Para cada tipo de formación que se tiene que perforar, el diseño de los dientes maquinados cambia, siendo las características generales de este cambio, que para formaciones suaves, los dientes son largos con un ángulo agudo mínimo en su cresta y lo más posible espaciados entre sí; por el contrario para formaciones duras, los dientes son cortos, anchos y poco espaciados entre sí, como se aprecia en las figs. III.4 y --- III.5.

Las características de la formación a ser perforada, como se mencionó en el capítulo anterior, determinan el grado de recubrimiento de carburo de tungsteno en los dientes. La aplicación en soló uno de los lados permite que la superficie suavemente carburizada del lado opuesto se desgaste más rápidamente y desarrolle un efecto de autoafilamiento.

En vista de las crestas de los dientes en la barrena -- son relativamente delgados, el efecto de autoafilamiento al tratar una sola de las caras no es efectivo hasta que el diente se ha desgastado parcialmente. Bajo estas condiciones, puede prolongarse la vida del diente tratando la cara opuesta a lo largo de un pequeño tramo desde la cresta del diente.

Tratando de esta manera los dientes, se reduce la rapidez del desgaste, y el ancho de la cresta no se hace demasiado grande hasta que el diente se ha desgastado más allá de la superficie tratada; cuando el desgaste ha llegado hasta este punto el tratamiento que se le proporcionó a la cara que se trató completamente, produce el efecto de autoafilado que se desea, como se observa en la fig. III.6. Para ciertos tipos de barrena, se requiere una aplicación adicional de carburo de tungsteno a los flancos exteriores de los dientes de la hilera de calibre para prevenir el desgaste acelerado de estas superficies.

Sin recubrimiento, el desgaste sobre estas áreas reduce el diámetro del fondo del pozo; como consecuencia se tendrá un agujero descalibrado y un fondo imperfecto. Bajo tales condiciones, habrá una reducción en la velocidad de penetración, la vida de la barrena se acortará y al proceder a cambiar la barrena por una nueva se presentará el problema de que no bajará libremente, fig. III.7.

El recubrimiento total es algunas veces aplicado a las cuatro caras de los dientes. Generalmente, las barrenas con este tipo de recubrimiento son aquellas, las cuales son usadas en formaciones suaves que contienen una cantidad considerable de material abrasivo, ya que el efecto de autoafilamiento es retardado por el doble recubrimiento; estas barrenas podrían usarse en formaciones de bajo esfuerzo a la compresión para permitir una adecuada penetración de los dientes.

En ciertas formaciones, el recubrimiento de los dientes es más dañino que benéfico ya que los dientes se vuelven quebradizos y el material de recubrimiento se descascara con las cargas de impacto, generalmente encontradas en formaciones duras. Como resultado de este descascaramiento, muchas veces se presenta un fracturamiento y un astillamiento acelerado de las superficies endurecidas de los dientes y subsecuentemente, una reducción en la vida de los dientes.

Por esta razón a las barrenas para formación dura no se les aplica recubrimiento.

Para la hilera de dientes de la base del cono, existen diferentes diseños para protegerla de los efectos de la abrasión de la formación, como se muestra en la fig. III.8. En casos donde la abrasión es muy considerable, es necesario aplicar un recubrimiento extra, tanto en el flanco exterior de los dientes, como en el faldón de las piernas o colocar inserciones planas de carburo de tungsteno para que cumplan con el mismo fin.

Para el caso de barrenas de inserciones a diferencia de las de dientes maquinados, las inserciones se fabrican por separado y dentro de los orificios hechos previamente en los conos, se fijan las inserciones por medio de prensa hidráulica .

Las inserciones, igual que los dientes maquinados, en función al tipo de formación que han de perforar es su diseño, siendo las inserciones largas, en forma de cincel, para formaciones suaves, tendiendo a redondearse y disminuir su altura a medida que las inserciones sean para formación más dura; en la fig. III.9, se observan los diferentes tipos de inserciones que hay.

El espaciamiento de las inserciones sigue el mismo criterio que los dientes maquinados, espaciados para formaciones suaves y muy poco espaciado para formaciones duras, como se aprecia en la fig. III.10 y III.11.

Tanto para las barrenas de dientes maquinados como de inserciones, la parte interior de los conos fig. III.12, está formada por tres pistas; la pista de rodamientos o de chumacera letra "A", la pista de baleros letra "B" y la pista del extremo del muñón letra "C", sobre las cuales giran los conos.

El muñón es la parte fija a la pierna fig. III.13, en la cual se aprecian las pistas, complemento de las pistas de los conos y el conducto por el cual se introducen las bolas de balero para alojarse en su respectiva pista; el conjunto de pista y balero sirven de candado para evitar que el cono se safe del muñón.

Las pistas que forman el rodamiento o chumacera fig. III.14, son sobre las que se apoya todo el peso aplicado a la barrena y por consiguiente las que trabajan sometidas a los máximos esfuerzos a la compresión.

La pista se encuentra en el extremo del muñón, la cual trabaja sobre un botón de carburo de tungsteno fig. III.14, para permitir que absorba las cargas de empuje axial para evitar un desgaste excesivo.

Al introducirse al mercado las barrenas de chumacera que sustituyen a los rodamientos, se tuvo la necesidad de diseñar un sello que evitara la pérdida prematura de lubricante, que es la base para la vida de la chumacera fig. III.15; como consecuencia a esto se le tuvo que añadir aparte del sello en la base del cono, un depósito de grasa, fig. III.15, localizado en el hombro de cada una de las piernas de la barrena, con un conducto que comunica a los baleros, el cual a base de presión del fluido de perforación y un diafragma que separa el fluido del lubricante, mantiene constantemente lubricados los baleros.

La descarga del fluido de perforación de las barrenas tricónicas está diseñado, de modo que el fluido de perforación cumpla con sus funciones relativas a la mecánica de perforación, fig. III.16 y III.17.

Estas funciones del fluido de perforación son: mantener limpio el fondo del pozo, enfriar la barrena, acarrear a la superficie los recortes de la formación producidos por la barrena.

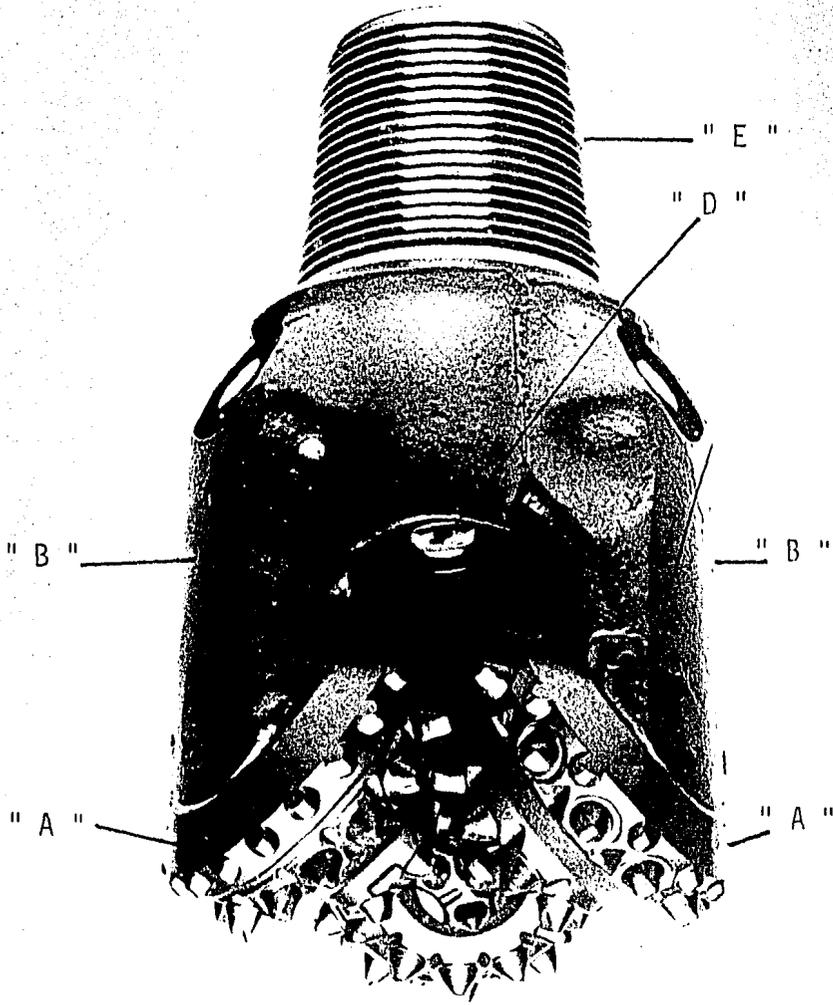
Como se observa en la fig. III.16, las barrenas cuentan actualmente con tres orificios, llamados porta-toberas, en los cuales se aloja una pieza llamada tobera, como se observa en la fig. III.18, la cual está fabricada de carburo de tungsteno para poder resistir la acción abrasiva del fluido de perforación que fluye a alta velocidad a través de ella.

Los orificios dirigen los chorros del fluido de perforación contra el fondo del pozo, cerca de su periferia, sin que interfieran con los conos.

Las toberas son intercambiables, fijas con una grapa de seguridad o enroscadas, fig. III.19; tienen la característica de que el orificio de descarga del fluido puede ser de diferentes medidas, ocasionando diferentes caídas de presión, en función al diámetro o tamaño del orificio, lo que permite elaborar programas de hidráulica de perforación, optimizando la perforación y por consiguiente el rendimiento de la barrena.

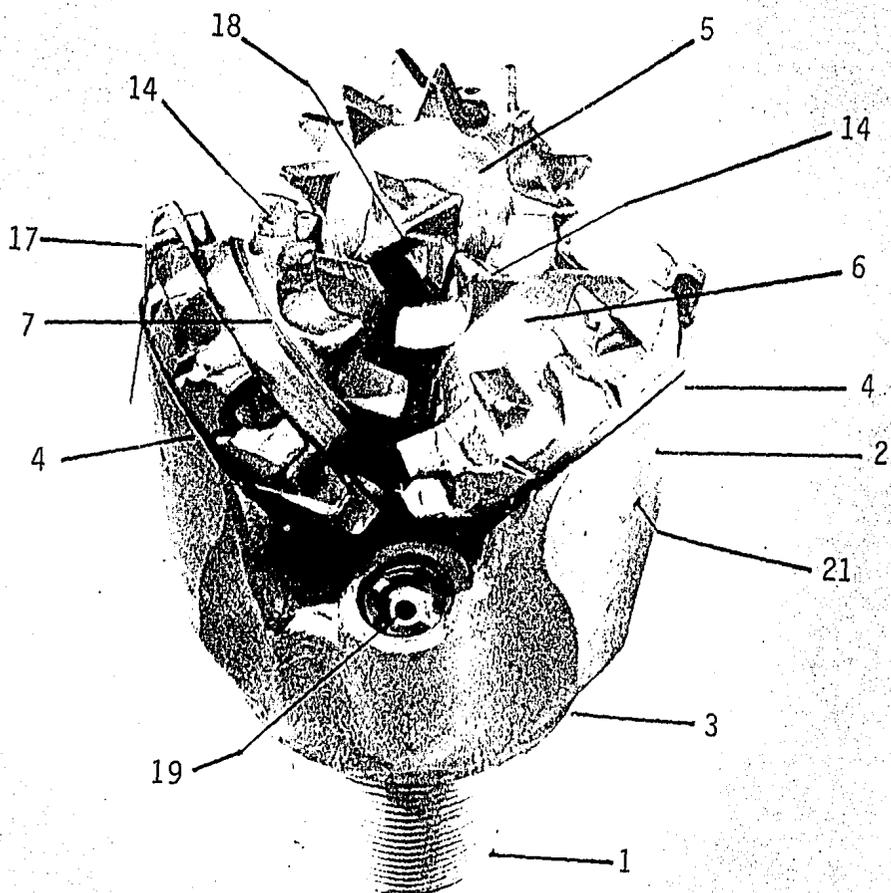
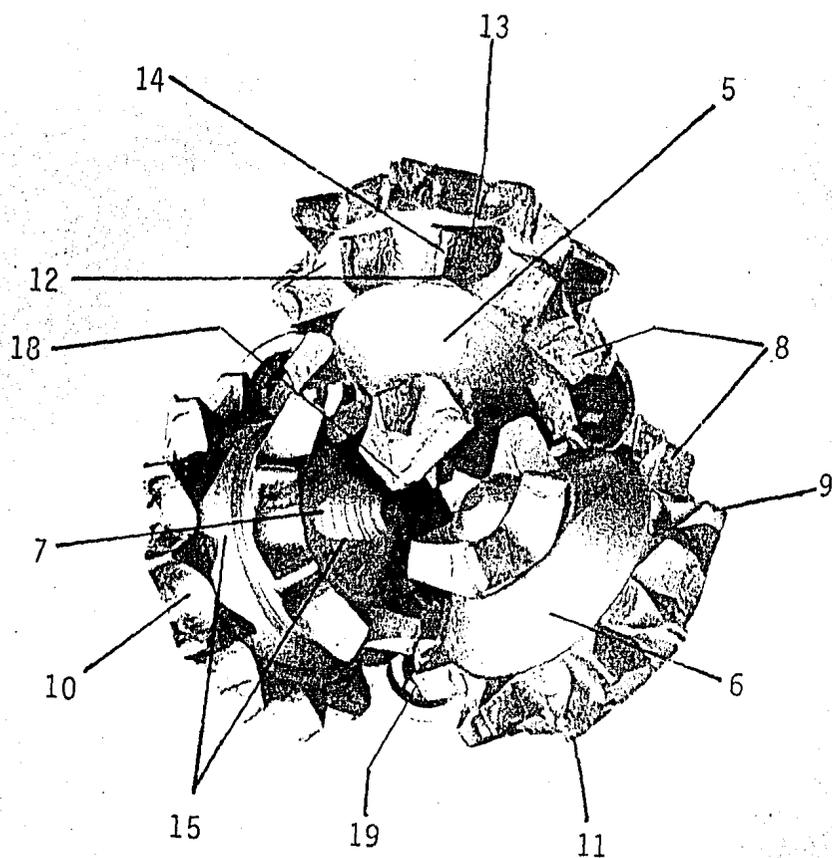
Es obvio pensar que las diferentes características de diseño de las barrenas, que van, desde una barrena estandar de dientes maquinados hasta una de las barrenas más sofisticadas que es la barrena de inserciones de carburo de tungsteno, de chumacera, con sello en el balero, autolubricante y protección en la base de los conos para proteger el calibre, el costo de la primera varía considerablemente con relación a la segunda.

Siendo el rendimiento mucho mayor en esta última, es conveniente hacer un estudio de costos y rendimientos, en función a las características de cada pozo, antes de decidir qué barrena utilizar.

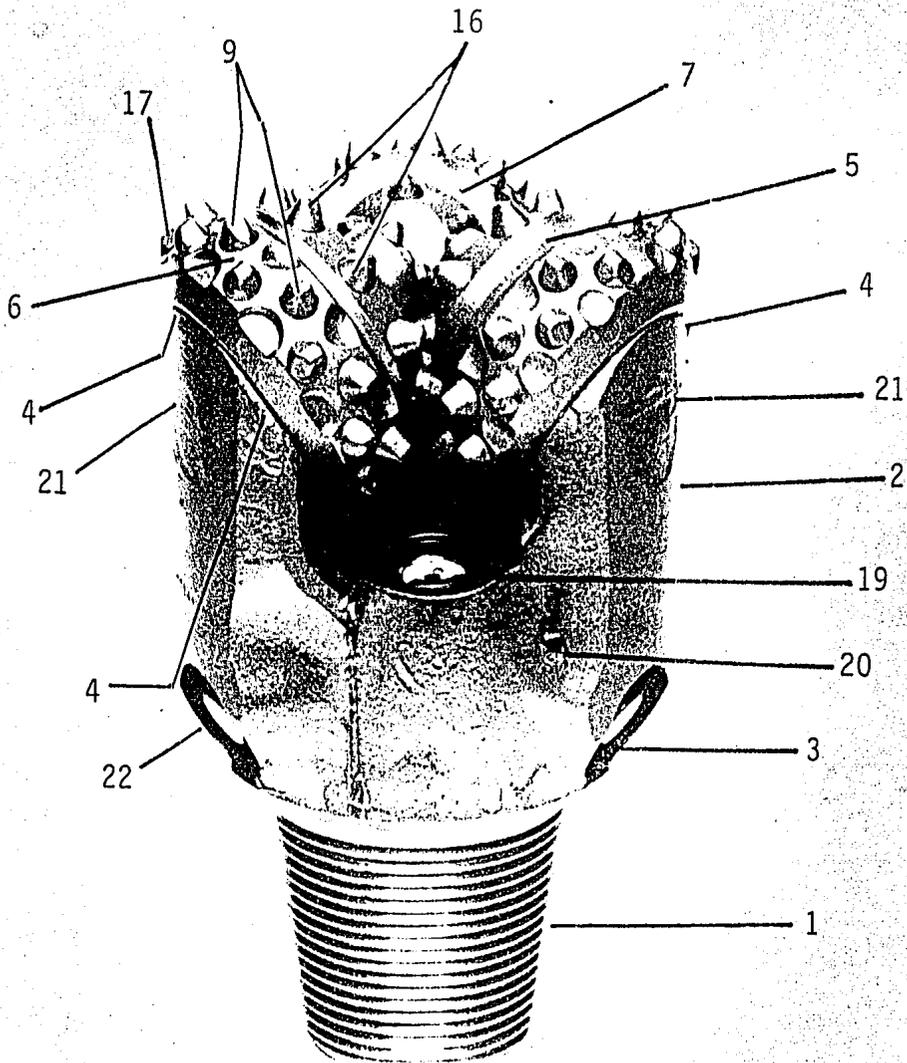
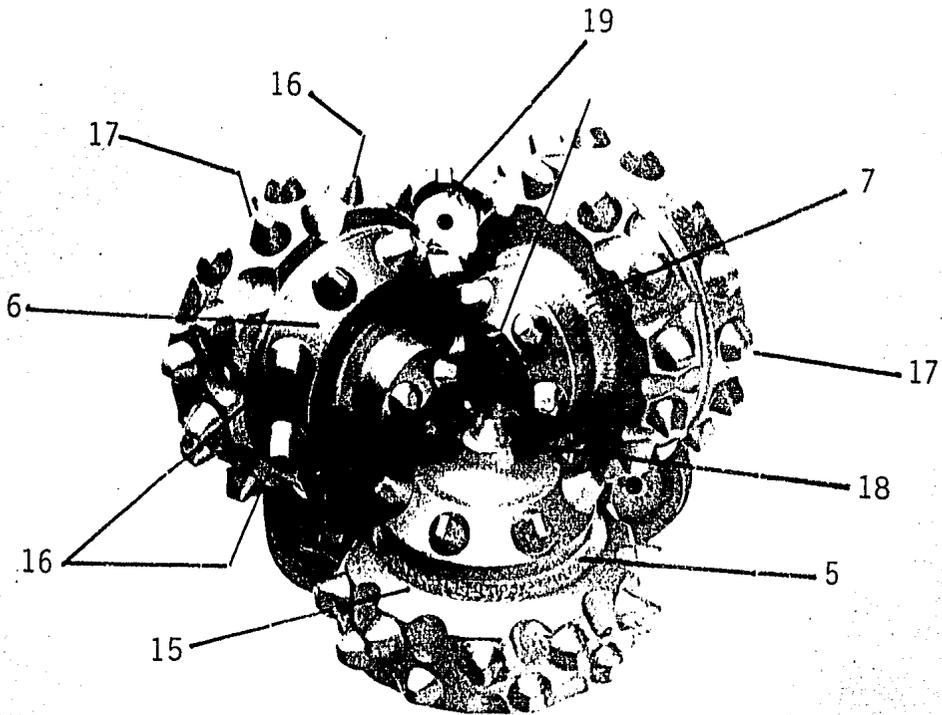


BARRENA TRICONICA

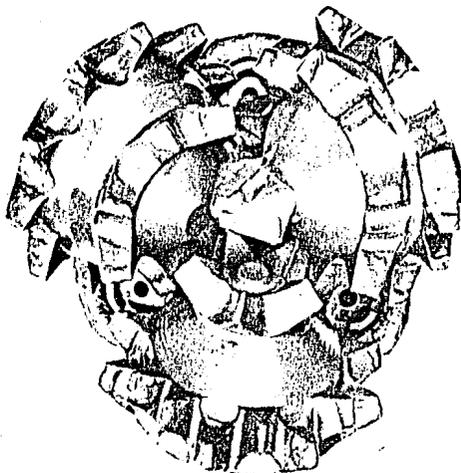
FIGURA III.1



BARRENA DE DIENTES MAQUINADOS EN EL CONO



BARRENA DE INSERCIÓNES DE CARBURO DE TUNGSTENO



BARRENA DE DIENTES MAQUINADOS EN EL CONO PARA FORMACIONES SUAVES

FIGURA III.4



BARRENA DE DIENTES MAQUINADOS EN EL CONO PARA FORMACIONES DURAS

FIGURA III.5

FORMACION SUAVE FORMACION SEMI-DURA FORMACION DURA

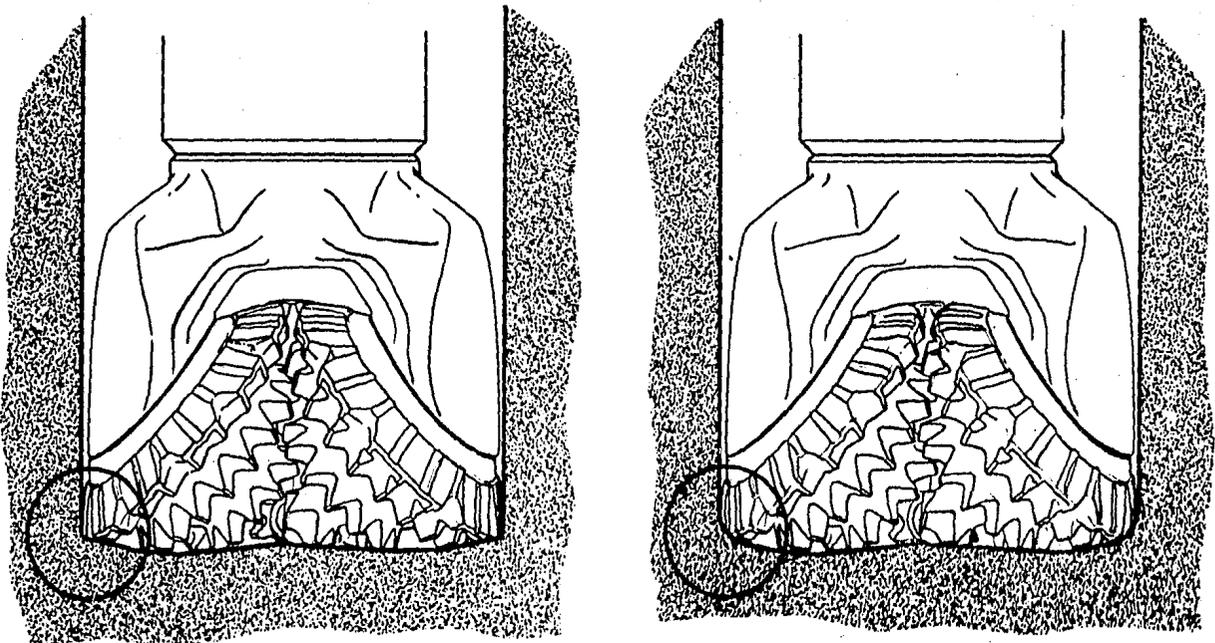


GRADO DE RECUBRIMIENTO DE CARBURO DE TUNGSTENO EN DIENTES MAQUINADOS



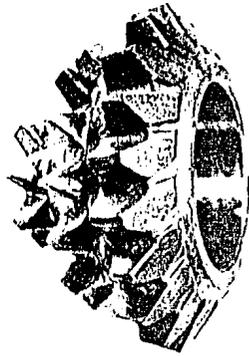
EFFECTO DE AUTOFILAMIENTO EN DIENTES MAQUINADOS EN EL CONO

FIGURA III.6

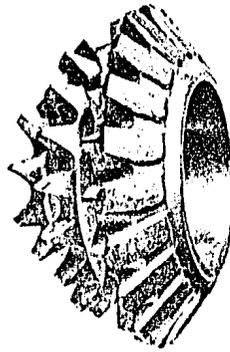


DESGASTE EN LA HILERA DE CALIBRE REDUCE EL DIAMETRO DEL POZO

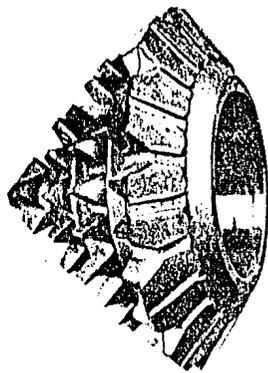
FIGURA III.7



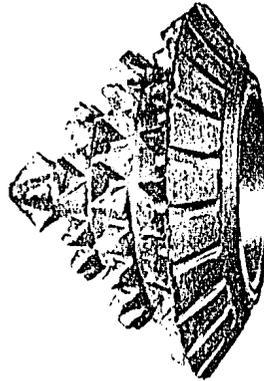
DISEÑO REGULAR



DISEÑO TIPO T



DISEÑO TIPO U



DISEÑO DE TEJIDO



INSERCIONES

PROTECCION ADICIONAL DE INSERCIONES DE CARBURO DE TUNGSTENO
DIFERENTES TIPOS DE DIENTES MAQUINADOS EN LA HILERA DE LA BASE DEL CONO
PARA PROTEGER EL DIAMETRO DE LA BARRENA

FIGURA III.8



INSERCIONES DE CARBURO DE TUNGSTENO PARA FORMACIONES SUAVES

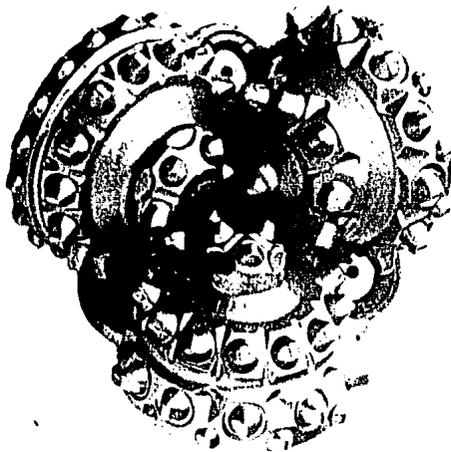


INSERCIONES DE CARBURO DE TUNGSTENO PARA FORMACIONES MEDIO DURAS



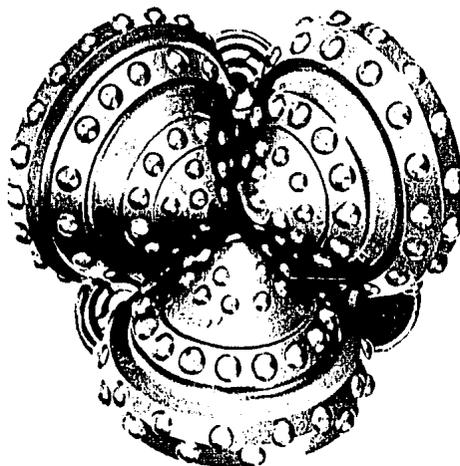
INSERCIONES DE CARBURO DE TUNGSTENO PARA FORMACIONES DURAS

FIGURA III.9



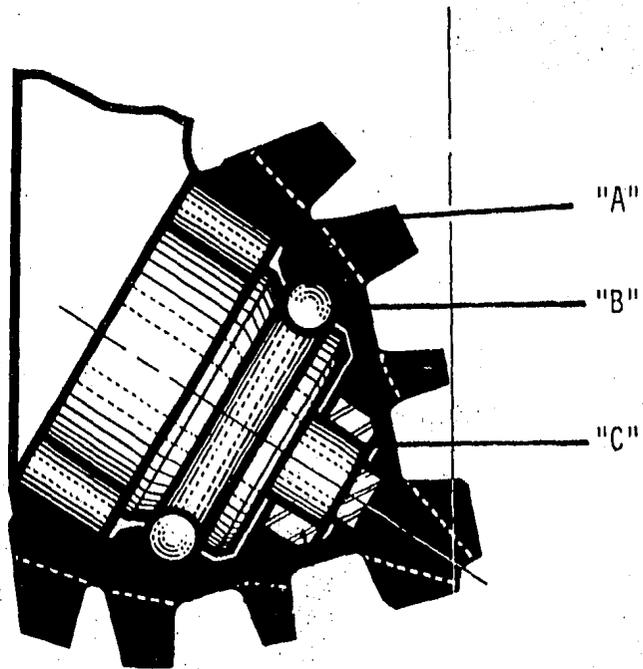
BARRENA DE INSERCIONES DE CARBURO DE TUNGSTENO PARA FORMACIONES SUAVES

FIGURA III.10



BARRENA DE INSERCIONES DE CARBURO DE TUNGSTENO PARA FORMACIONES DURAS

FIGURA III.11



CORTE DE UN CONO DONDE SE APRECIAN LOS
DIFERENTES TIPOS DE RODAMIENTOS

FIGURA III,12

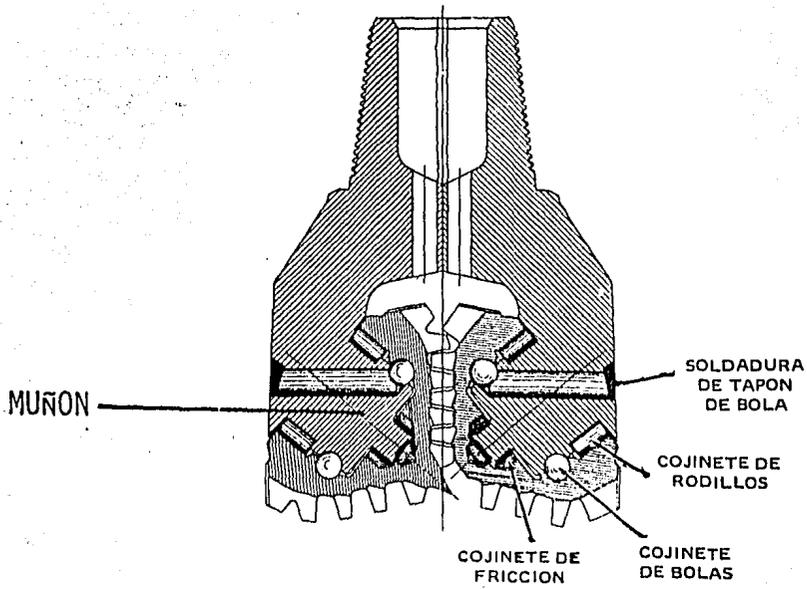


FIGURA III.13

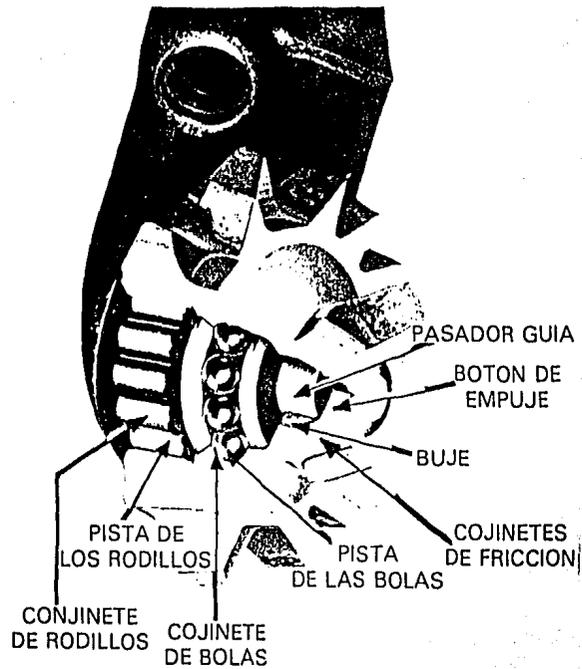
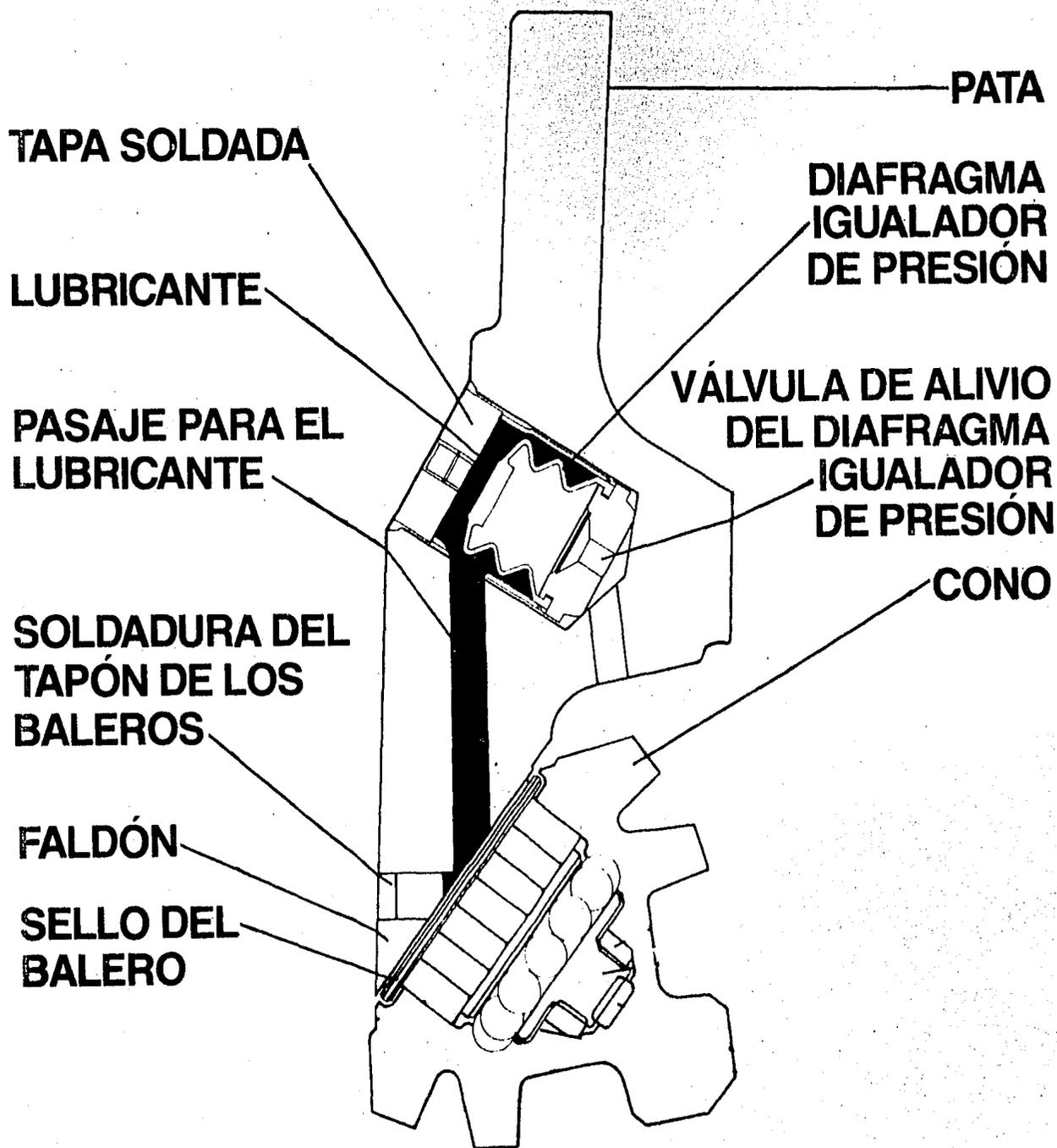
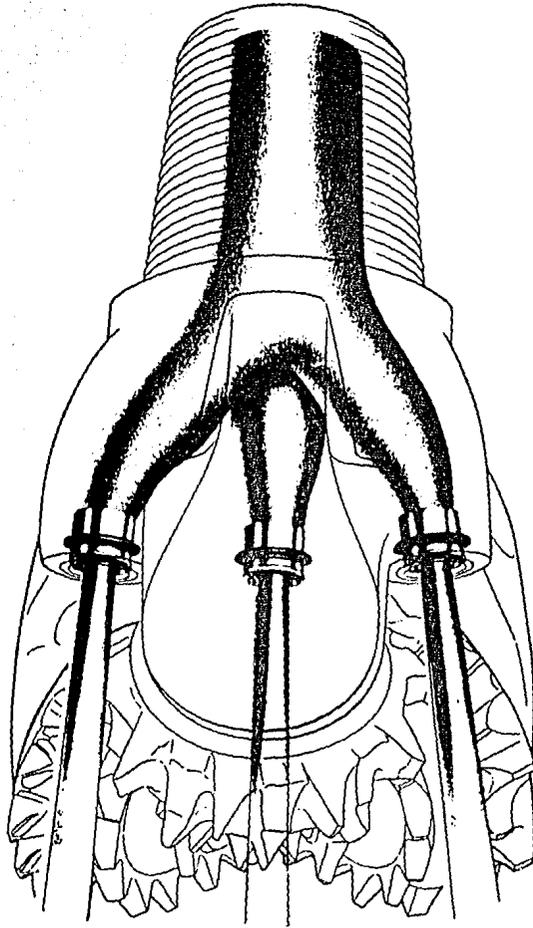


FIGURA III.14



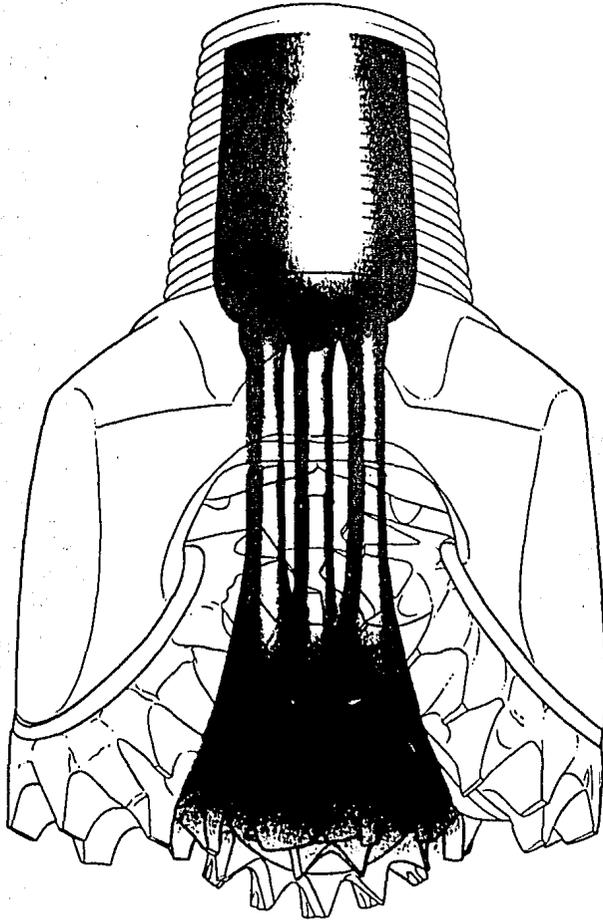
CORTE DE UNA PIERNA DONDE SE APRECIA EL SISTEMA DE AUTO-LUBRICACION

FIGURA III.15



BARRENA DE TOBERAS

FIGURA III,16



BARRENA DE DESCARGA DE FLUIDO CONVENCIONAL

FIGURA III.17

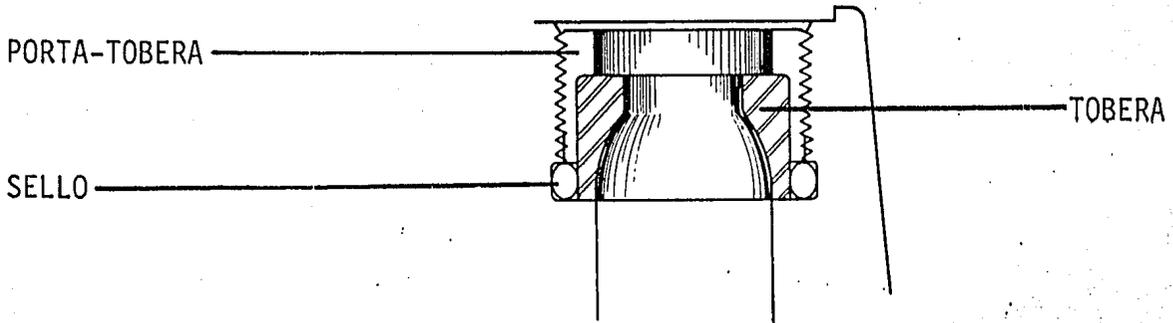
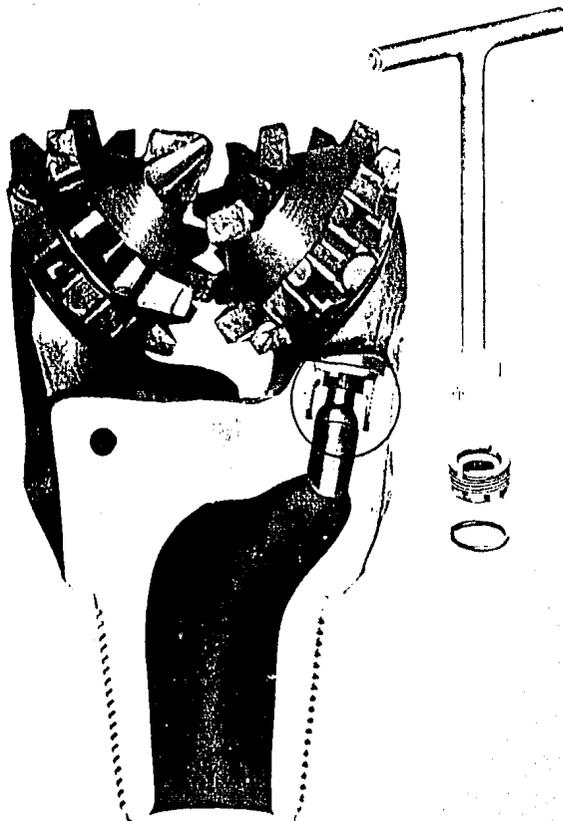


FIGURA III.18



TOBERAS INTERCAMBIABLES

C A P I T U L O I V

CONSIDERACIONES PARA LA SELECCION DE

BARRENAS

C A P I T U L O I V

CONSIDERACIONES PARA LA SELECCION DE BARRENAS

Antes de entrar a la selección de una barrena se debe considerar el hecho de que el ingeniero tiene que contar con --- cierta experiencia en esta área, debido a que una barrena se comporta en diferente forma dependiendo del tipo de formación y las condiciones de operación a las que esté trabajando.

Actualmente se cuenta con la ayuda en la selección de barrenas de catálogos, artículos técnicos, tablas de tipo de barrenas y otros.

Ahora bién, cuando se comprenden las variaciones de diseño y las limitaciones de la barrena, es más fácil lograr la efectiva selección de la barrena y la adecuada evaluación de - la misma.

En la perforación de pozos se ha seguido el criterio - de que, para una perforación rápida en el tramo inicial del - pozo, se use una barrena que rinda el máximo régimen de pene- tración, y para una perforación intermedia o profunda en la - que los viajes de la sarta son mas costosos debido a la pro- fundidad, se use una barrena que dé el máximo metraje en lu- gar de máximo régimen de penetración.

El criterio que se debe emplear para seleccionar una - barrena será primordialmente buscar la barrena que reduzca -- los costos de perforación lo más que sea posible y una máxima velocidad de penetración. Para que esto suceda se deben con- siderar los siguientes puntos:

IV.1.- El tipo de formación.- Siendo esta variable - la más importante, se debe buscar la manera de tener un máximo de información dado que el diseño depende del tipo de roca -- que va a cortar o sea que entre más suave es una formación, - el espaciamiento y tamaño de los dientes es mayor, - - - -

y el desplazamiento de los conos en relación al centro de la barrena aumenta (excentricidad), para generar un efecto de arrastre o desplazamiento horizontal al girarla; por el contrario, para formaciones tendiendo a duras, el espaciamiento y tamaño de los dientes se reduce, y el desplazamiento de los conos en relación al centro de la barrena tiende a ser menor, esto es con el fin de ejercer un efecto de golpe sobre la formación al girar la barrena. En la tabla IV.1, se presenta una relación entre el tipo de formación y las características de la barrena recomendable

Los datos geológicos de la zona aportados por los trabajos de exploración que pueden incluir pozos exploratorios, auxilian en el conocimiento de las formaciones por perforar.

IV.2- Condiciones de operación.- Como resultado de las diferencias que presentan las formaciones que van a ser perforadas, es necesario emplear distintos tipos de barrenas, las cuales se han diseñado, combinando diferentes características mecánicas, para diferentes condiciones de operación; el conocimiento de éstas es importante para poder hacer una selección óptima. Los factores que intervienen en las condiciones de operación son los siguientes:

IV.2.1.- Velocidad de Rotación.- Está en función de las características mecánicas de la barrena y de las propiedades abrasivas de la formación, las cuales podrán desgastar prematuramente el perímetro calibrador de la barrena o los baleros, cuando la velocidad de rotación sobrepasa los rangos de operación de las barrenas.

IV.2.2.- Peso sobre la Barrena.- El máximo peso que se puede aplicar a una barrena depende del diseño de ésta (diámetro, geometría, metalurgia, etc.). Al igual que la velocidad de rotación, está limitado por los rangos de operación de cada barrena. Los lastrabarrenas se consideran como

la herramienta que sostiene, guía y da la fuerza necesaria contra la formación.

El peso está ligado a la velocidad de rotación por la resistencia física de los elementos mecánicos de las barrenas, por lo que se deberá tomar en cuenta la estrecha relación de estas dos variables. Los esfuerzos en la barrena impuestos por las condiciones de operación, aumentan de acuerdo al peso aplicado en la barrena y a la velocidad de rotación. Por consiguiente a medida que se aumenta el peso en la barrena, se recomienda disminuir la velocidad de rotación, o viceversa.

De aquí que para cada barrena se tengan límites de operación.

IV.2.3.- Efecto del lodo y la hidráulica.- No es posible, al menos a la fecha, describir matemáticamente el comportamiento de una barrena.

Algunos investigadores han intentado relacionar la velocidad de penetración con los diferentes parámetros que la afectan; dos de estos parámetros son las características del fluido de perforación y la hidráulica; las ecuaciones empíricas desarrolladas no reflejan adecuadamente el efecto del fluido de perforación, principalmente: la densidad, el contenido de sólidos, el filtrado, las propiedades reológicas, etc., sobre la velocidad de penetración. En consecuencia la utilidad de estas ecuaciones reside únicamente en la apreciación cualitativa de estos efectos.

Se ha observado en casi toda la literatura relacionada con la vida de la barrena, que una buena hidráulica y un control del contenido de sólidos en el fluido de perforación ayudan a un alargamiento en la vida de la barrena.

Como el contenido de sólidos en el fluido de perforación está en función de la densidad, en un sistema determinado, el fluido de perforación y la hidráulica pueden ser combinados para proteger la vida de la barrena.

IV.3.- Evaluación de barrenas usadas.- Este aspecto es de vital importancia en la selección de barrenas, debido a que una evaluación correcta del desgaste de barrenas, proporciona datos de la zona que se está perforando y además -- permite juzgar la adecuada operación de las barrenas; el capítulo VII menciona la manera de evaluar el desgaste de las barrenas.

IV.4.- Record de barrenas.- Los record de barrenas, los registros geológicos y geofísicos así como los registros de perforación de pozos vecinos, ayudan a hacer una comparación del comportamiento de las barrenas a diferentes profundidades y determinadas condiciones de operación.

La recopilación del máximo de datos, así como su adecuada interpretación, hacen posible la selección óptima de -- barrenas.

CARACTERISTICAS DE LAS BARRENAS SEGUN EL TIPO DE FORMACION

Tipo	Serie A.P.I.	Tipo de Formación	Descripción del diente	Excentricidad
Barrenas de dientes maquinados	1-1, 1-2	Muy suave	Punta endurecida	3-4°
	1-3, 1-4	Suave	Flanco endurecido	2-3°
	2-1, 2-2	Medio dura	Flanco endurecido	1-2°
	2-3	Medianamente dura	Endurecido totalmente	1-2°
maquinados	3	Dura	Endurecido totalmente	0
	3-4	Muy dura	Endurecido totalmente	0
Barrenas de Insertos de	5-2	Suave	Cinzel largo, sin filo 64°	2-3°
	5-3	Medianamente suave	Cinzel largo, con filo de 65-80°	2-3°
de	6-1	Lutita mediana	Cinzel mediano, de 65-80°	1-2°
	6-2	Calizas medianas	Proyectil mediano, 60-70°	1-2°
Carburo de	7-1	Medianamente dura	Cinzel corto, de 80-90°	0
	7-2	Medio Dura	Proyectil corto, de 60-70°	0
Tungsteno	8	Pedernal duro	Cónico o hemiesférico 90°	0
	8-3, 8-4	Muy duro	Cónico o hemiesférico 120°	0

TABLA IV. 1

C A P I T U L O V

CLASIFICACION DE BARRENAS

C A P I T U L O V

CLASIFICACION DE BARRENAS

En el año de 1973, la IADC (International Association Of Drilling Contractor) introdujo una tabla de identificación para poder clasificar y seleccionar barrenas.

Esta clasificación se originó por la necesidad de tener un sistema que permitiera comparar y seleccionar barrenas sin importar el fabricante, ya que cada uno utilizaba su propia terminología que no correlacionaba con la de los otros fabricantes.

La clasificación por medio de tres dígitos indica para qué tipo de dureza de la formación es la barrena y sus características de diseño.

En la tabla de clasificación fig. V.1; se observa que los tipos de barrenas que tienen similitud en cuanto a perforabilidad de las formaciones, se muestran en renglones horizontales.

Los tipos de barrenas en las columnas verticales, están ordenadas de acuerdo con el grado de perforabilidad, colocándose en la parte superior, aquellas barrenas que se utilizarán en la perforación de formaciones suaves y, colocándose en la parte inferior, aquellas barrenas que se utilizarán en formaciones duras.

Se observa que cada uno de los tipos de barrenas ha sido diseñado para ser usado en un tipo de formación específica; en muchos casos, sin embargo; la mayoría de estos tipos de barrenas pueden ser ventajosamente usados en formaciones para las cuales no fueron necesariamente diseñados pero de características parecidas.

La limitación de las operaciones y las condiciones en el pozo, dictaminan con frecuencia estas variaciones en la selección.

Sin embargo, la necesidad de un número tan grande de tipos de barrenas puede no ser obvio. Pero un análisis en los tipos de formación, justifica tal necesidad, por ejemplo: una formación homogénea suave requiere el uso de un tipo específico de barrena a fin de obtener un máximo rendimiento. Si en esta misma formación se interponen unos estratos de roca de mayor dureza, las características de perforabilidad de estos estratos pueden requerir el uso de barrenas de diferente tipo.

Asímismo, una formación dura requerirá el uso de un tipo específico de barrena, mientras que si la misma formación contiene estratos de roca suave, podría imponer el uso de barrenas de diferente tipo.

De la misma manera, si se presenta un tipo de roca suave pero altamente abrasiva, se tendría que usar una barrena que tenga las características de diseño para perforar formaciones suaves pero con una protección adicional para soportar la abrasividad de la formación a perforar.

Es evidente de lo anterior, que algunos tipos de barrenas no solo deben diseñarse para ser utilizadas en formaciones homogéneas específicas, sino que también deben tener características intermedias que les permitan tener cuando menos una velocidad de penetración razonable a través de los estratos más duros o más suaves o abrasivos. Si las formaciones consistieran únicamente de secciones gruesas de materiales homogéneos, se justificaría una reducción en el número de tipos de barrenas.

Desafortunadamente la áreas en donde se presentan estas condiciones son bastante escasas.

El hecho de que una barrena no pueda usarse siempre bajo condiciones óptimas, es otra causa más de que se tengan disponibles un gran número de tipos de barrenas.

A menudo las variaciones en los parámetros de operación de la perforación, hace necesario el uso de diferen-

tes tipos de barrenas aún cuando la perforabilidad de las formaciones sea aproximadamente igual. Los pozos desviados generalmente hacen necesario el uso de pesos sobre barrena ligeros y mayores velocidades de rotación.

Bajo estas condiciones puede ser necesario usar otro tipo de barrena del que se utilizaría para esa misma formación bajo condiciones que permitieran un mayor peso sobre la barrena y una menor velocidad de rotación. De igual manera, otros factores pueden imponer limitaciones de peso y de velocidad de rotación y por lo tanto pueden tener un efecto análogo en el tipo de barrena requerido. Basándose en estas consideraciones, es obvia la necesidad de tener variaciones en el diseño de las barrenas a fin de perforar las formaciones bajo condiciones variadas.

La variedad de tipos de barrenas que se fabrican actualmente proporciona las alternativas necesarias para poder hacer una selección adecuada a fin de perforar la mayoría de las formaciones a diferentes condiciones de operación.

Aún cuando en casos aislados se podría obtener un mejor rendimiento mediante otros tipos de barrenas que no aparecen en la tabla, estos diseños tendrían un uso tan restringido que no sería práctico fabricarlas desde el punto de vista económico.

En vista de que la perforación de cada tipo de formación, requiere un tipo de barrena que combine determinadas características de diseño, es obvio que cada tipo de barrena debe diseñarse para un fin específico. El conocimiento de estas características de diseño y su manejo, en distintos tipos de barrenas es importante para obtener una adecuada selección y por lo tanto un buen rendimiento de las barrenas. Si bien los métodos de diseño de los diferentes fabricantes no son exactamente iguales, se siguen ciertas ---

normas generales que a continuación se muestran:

Barrenas para formaciones suaves.- En la fig. V.2, se ilustra una barrena típica de tres conos diseñada para perforar el tipo de formación antes mencionada.

Debido a que las formaciones más blandas se perforan mejor cuando el efecto de arrastre horizontal y desplazamiento, es máximo, las características de rodamiento de los conos deben ser tales que sean completamente distintas de un rodamiento libre.

Por esta razón en barrenas para formaciones suaves, el ángulo del muñón con respecto al eje de la barrena es más pequeño, la excentricidad más grande y tiene la mayor variación en ángulos del perfil del cono que cualquier otro tipo de barrena de tres conos.

La altura del diente o inserción debe ser máxima y el ángulo agudo que se forma en la cresta del diente o inserción mínimo, el espaciamiento entre dientes o inserciones debe ser el mayor posible.

La fig. V.3, muestra un modelo que ilustra la huella dejada en el fondo del pozo de una barrena para formación suave. El efecto de la acción de arrastre horizontal está representada por la superficie más lisa en el centro, mientras que el efecto de escarbado está representado por la porción más áspera en la periferia.

Barrenas para formación semi-dura.- La fig. V.4, ilustra una barrena típica de tres conos para perforar este tipo de formación. El diseño de esta barrena le proporciona una mayor protección a su perímetro debido a que es necesario para contrarrestar los efectos de las mayores cantidades de material abrasivo que generalmente se encuentran en esta clase de formaciones.

Esta barrena generalmente tiene un poco menor el ángulo del muñón con respecto al eje de la barrena y un poco

menor también la excentricidad que la barrena para formación suave; los ángulos del perfil de los conos son también ligeramente diferentes, sin embargo, se mantiene un efecto de -- arrastre horizontal para perforar este tipo de formaciones.

A fin de perforar estos estratos de mayor dureza, se -- utilizan dientes con un menor espaciamiento y una altura menor que las barrenas para formación suave y por lo tanto el ángulo de la cresta del diente es menos agudo. Estas barrenas tienen una mayor protección en los dientes que conforman el perímetro del pozo a fin de obtener una mayor resistencia a la abrasión.

La fig. V.5, muestra un modelo que ilustra la huella -- dejada en el fondo del pozo de una barrena para formación se mi-dura. El efecto de la acción de escarbado es muy similar al de las barrenas para formación suave, con la diferencia -- de que tiene mayor cantidad de dientes, los cuales son de me nor tamaño.

Barrenas para formación dura.- En la fig. V.6, que -- ilustra las barrenas de tres conos diseñadas para perforar -- este tipo de formación. Debido a que la formación dura re-- quiere, para poder ser perforada una acción eficiente de --- fracturamiento, el diseño de la barrena cuenta con un máximo ángulo de muñón con respecto al eje de la barrena.

En virtud de que no se requiere arrastre horizontal, -- la excentricidad de los conos es cero y una mínima variación en el ángulo del perfil de los mismos.

El diente debe tener en la cresta un ángulo mayor, para que pueda soportar altas cargas por impacto, la altura de los mismos será reducida ya que no requiere penetrar mucho -- en la formación, y por lo tanto siendo relativamente peque-- ños pueden estar poco espaciados entre sí y cada cono tendrá un mayor número de dientes o inserciones que barrenas para -- formaciones menos duras.

Este tipo de diseño proporciona una mayor protección a la hilera del diente del cono que determina el diametro de la barrena, utilizando, ya sea recubrimiento de carburo de tungsteno o inserciones planas del mismo material. Se omite el recubrimiento del diente en el caso de barrenas de dientes maquinados para evitar el fracturamiento de las superficies previamente endurecidas.

La capacidad de los rodamientos es mayor que los de las barrenas para formaciones suaves y semi-duras con el fin de obtener una mayor resistencia a las cargas a las que va a estar sometida la barrena.

La fig. V.7, muestra un modelo que ilustra la huella dejada en el fondo del pozo de una barrena para formación dura. Se puede apreciar que en este tipo de barrena no existe la acción de arrastre.

Como se mencionó al principio de este capítulo, la IADC introdujo una clave formada por tres dígitos; a continuación se muestra las características de cada una de ellas:

El primer dígito indica el tipo de formación, correspondiendo: 1 (suave), 2 (mediana), 3 (dura), 4 (muy dura); para barrenas de dientes maquinados en el cono, y 5 (suave), 6 (mediana), 7 (medio dura), 8 (dura), 9 (extremadamente dura), para barrenas de inserciones de carburo de tungsteno.

El siguiente dígito corresponde a una sub-clasificación dentro de cada una de las anteriores dependiendo de las características de cada tipo de formación siendo: 1 (muy suave), 2 (suave), 3 (mediana) y 4 (dura).

El tercero y último dígito está en función de las características de diseño de la barrena, correspondiendo: 1 (baleros no sellados sin protección en los dientes de la base de los conos), 2 (baleros no sellados con protección en los dientes de la base de los conos, dientes en forma de "T") 3 (baleros no sellados con mayor protección en los dientes de la base de los conos), 4 (baleros sellados sin protección en los dientes de la base de los conos), 5 (baleros sellados

con protección en los dientes de la base de los conos y autolubricante), 6 (chumacera, autolubricante y sello), 7 (chumacera, autolubricante, sello y protección en los dientes de la base de los conos).

BARRENAS DE DIENTES MAQUINADOS

COD. IADC	SMITH						HUGHES						REED					
	STD. (1)	PROT. (3)	SELLO (4)	S. PRO. (5)	CHUM. (6)	CH. PRO. (7)	STD. (1)	PROT. (3)	SELLO (4)	S. PRO. (5)	CHUM. (6)	CH. PRO. (7)	STD. (1)	PROT. (3)	SELLO (4)	S. PRO. (5)	CHUM. (6)	CH. PRO. (7)
1-1-	DS		SDS		FDS		OSC3A		X3A		J1		Y11		S11		F11	
1-2-	DT		SDT		FDT		OSC3		X3		J2		Y12		S12		FP12	
1-3-	DG	DGH	SDG	SDGH	FDG	FDGH	OSC1G	ODG	X1G	XDG	J3	JD3	Y13G	S13	S13G			
1-4-	K2	K2H					OSC										F14	
2-1-	V1/V2	V1H/V2	SV	SVH	FV1	FV1H	OW4	ODV	XV	XDV		JD4	Y21	Y21G	S21	S21G	F21	
2-3-	T2	T2H	ST2	ST2H			OWC		XC				Y23	Y23G	S23	S23G	F22	
3-1-	L4	L4H	SL4	SL4H	FL4	FL4H	W7	WD7	X7	XD7		JD7	Y31	Y31G	S31	S31G		F31G
3-2-	W4	W4H																
3-4-	WC	WCH	SWC	SWCH	FWC	FWCH	WR	WDR	XWR	XDR	J8	JD8	Y34	Y34G	S34	S34G	F34	

BARRENAS DE INSERIONES DE CARBURO DE TUNGSTENO

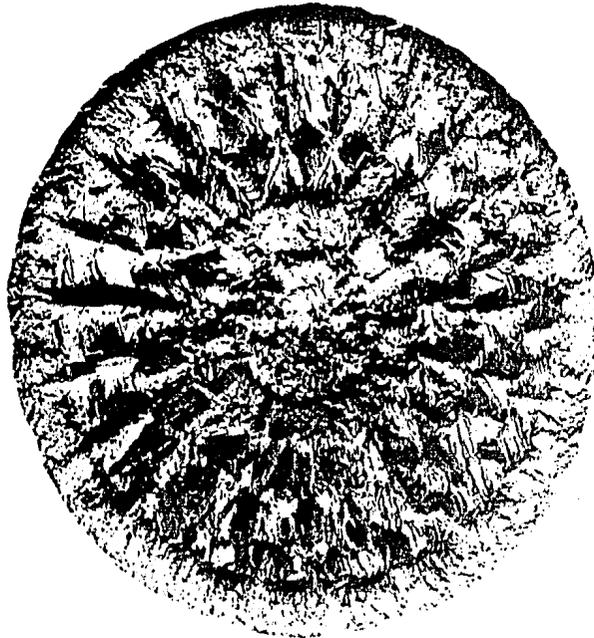
COD. IADC	SMITH		HUGHES		REED	
	BALEROS (5)	CHUMACERA (7)	BALEROS (5)	CHUMACERA (7)	BALEROS (5)	CHUMACERA (5)
5-1-						
5-2-	2JS	F1/F2		J22		FP51/FP52
5-3-	3JS	F3		J33	S53	FP53
6-1-	4JS	F4/F45	X44	J44	S62	FP62
6-2-	5JS	F5	X55R	J55R	S62B	FP62B
6-3-		F57		J55	S63	FP63
7-2	6JS	F6			S72	FP72
7-3	7JS	F7	RG7X	J77	S73	FP73
7-4-	8JS	F8	RG1X	J88	S74	FP74
8-3-	9JS	F9		J99	S83	FP83

FIGURA V.1. TABLA DE IDENTIFICACION DE BARRENAS



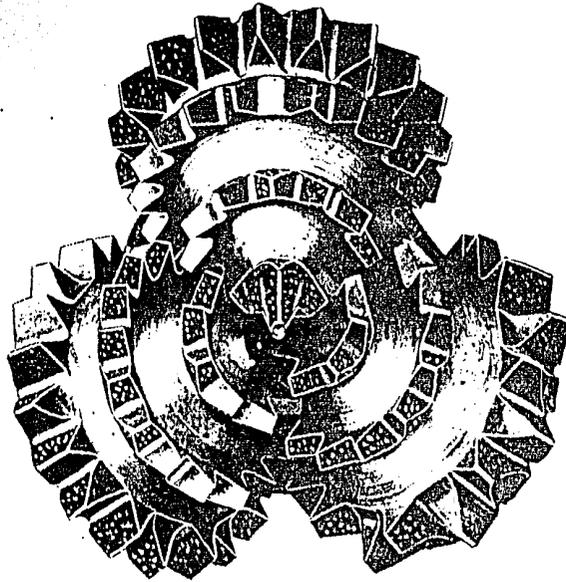
BARRENA PARA FORMACIONES SUAVÉS

FIGURA V.2



MODELO DE HUELLA DE BARRENA PARA FORMACIONES SUAVES

FIGURA V.3



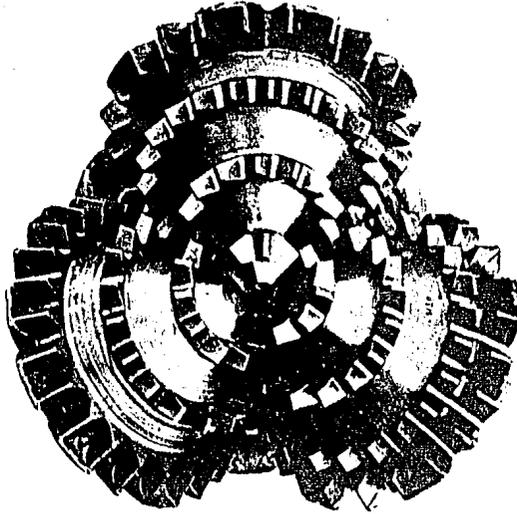
BARRENA PARA FORMACION SEMI-DURA

FIGURA V.4



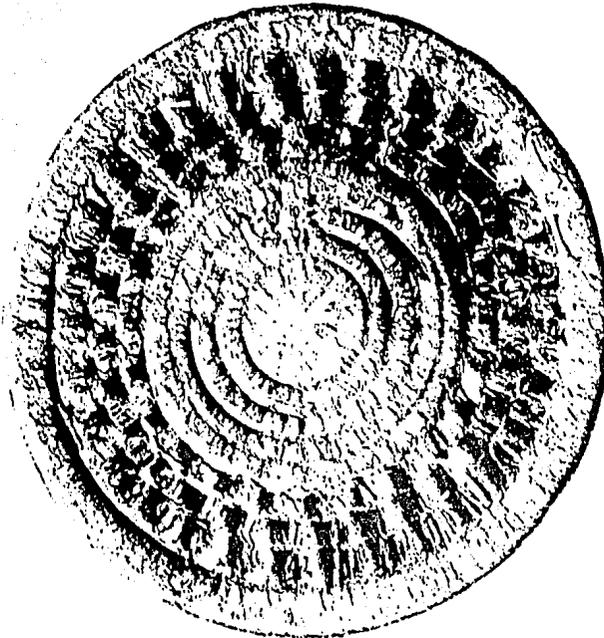
MODELO DE HUELLA DE BARRENA PARA FORMACION SEMI-DURA

FIGURA V.5



BARRENA PARA FORMACION DURA

FIGURA V.6



MODELO DE HUELLA DE BARRENA PARA FORMACION DURA

FIGURA V.7

C A P I T U L O VI

CONDICIONES DE OPERACION

C A P I T U L O VI

CONDICIONES DE OPERACION

En capítulos anteriores se ha mencionado la gran importancia que tiene una adecuada selección de barrenas, el siguiente paso sería utilizar las barrenas lo mejor que sea posible con el fin de evitar que una mala utilización de las mismas ocasiona una reducción en la vida de las barrenas y por consiguiente un incremento de costos aún cuando hayan sido seleccionadas adecuadamente.

Las condiciones de operación que son fundamentalmente: peso sobre la barrena, revoluciones por minuto e hidráulica de perforación. Si se logra combinar adecuadamente estos parámetros, se logrará un mejor rendimiento de las barrenas como consecuencia se abatirán los costos de perforación.

VI.1.- Peso sobre la barrena.- Como se mencionó anteriormente, es la carga aplicada sobre la barrena por medio de los lastra-barrenas, para que la barrena efectúe la penetración de las rocas.

La penetración de las rocas se logra cuando la carga aplicada a la barrena supera la resistencia de compresión de las formaciones.

La resistencia de la formación al peso sobre la barrena se mide a través de la velocidad de perforación.

La fig. VI.1., muestra la variación de la velocidad de perforación con respecto al peso sobre la barrena; se observa que la velocidad de perforación se encuentra en proporción directa con el peso sobre la barrena. Las letras A y B muestran las zonas en donde la limpieza en el fondo del pozo es insuficiente, ocasionando que la barrena se esté atascando (embolando) o que esté remoliendo los recortes en el fondo del pozo.

Para esta gráfica se consideran las revoluciones por minuto constantes y dos líneas que representan dos tipos de dureza de las formaciones, correspondiendo "1" a formaciones suaves y "2" a formaciones duras.

VI.2.- Revoluciones por minuto.- Es la cantidad de vueltas por minuto que dá la barrena a la cual le son transmitidas por medio de la sarta de perforación y la mesa rotatoria.

La fig. VI.2., muestra la variación de la velocidad de perforación con respecto a las revoluciones por minuto aplicadas a la barrena.

En tal figura anterior se observa que la velocidad de perforación es directamente proporcional a las revoluciones por minuto, en formaciones suaves, mientras que en formaciones duras el incremento en las revoluciones por minuto disminuye la velocidad de perforación.

De los incisos VI.1. y VI.2., se concluye que en formaciones suaves es más importante las revoluciones por minuto que el peso sobre la barrena y viceversa en formaciones duras.

En la tabla VI.3., se observa los rangos de operación de algunos diámetros de barrenas, tanto de peso sobre la barrena, como de revoluciones por minuto.

Estas limitaciones son debidas a las características mecánicas de cada barrena.

VI.3.- Hidráulica de perforación.- La función del fluido de perforación, en cuanto a la mecánica de perforación, es la limpieza del fondo del pozo y el acarreo de los recortes hasta la superficie.

La capacidad de remoción de los recortes por el fluido de perforación, está en función, tanto de la presión a la salida de las toberas, como del gasto de circulación. Parámetros que se ligan en el concepto de potencia hidráulica.

Cuando la potencia hidráulica, producto de presión por gasto, es máxima, será óptima la capacidad de remoción de recortes.

El gasto por supuesto, es proporcional a la velocidad del fluido de perforación a la salida de las toberas; por otra parte, la presión representa la energía necesaria para impulsar la masa de fluido contra el fondo del pozo.

Por lo tanto debe hacerse el cálculo hidráulico del circuito del fluido de perforación, para poder definir el diámetro óptimo de las toberas (actualmente se usa la medida de 1/32 de pulgada), esto es, el que dé lugar a la máxima potencia hidráulica del flujo del fluido de perforación a la salida de las toberas.

El cálculo toma en cuenta una serie de parámetros que son: densidad y viscosidad del fluido de perforación, geometría del pozo y sarta de perforación.

Situaciones imprevisibles cuyo efecto no es cuantificable como, erosión de las paredes del pozo, derrumbes o perforación de formaciones extremadamente suaves o poco consolidadas, no se toma en cuenta para definir el diámetro de las toberas.

VI.3.1.- Máxima potencia hidráulica en la barrena.- La efectividad de las barrenas se mejora aumentando la potencia hidráulica de la bomba. Esto se debe a que la velocidad de la penetración aumenta; sin embargo, una vez que se llega a nivel de "limpieza perfecta" (recortes que se levantan del fondo a medida que se generan), cualquier incremento en la potencia hidráulica ya no trae consigo un aumento en los avances, fig. VI.4.

La potencia hidráulica desarrollada por la bomba se utiliza en parte en vencer la resistencia ofrecida al fluido de perforación por el sistema circulatorio destinándole el resto a la barrena.

Si se aumenta indiscriminadamente la potencia superficial, en general, se aumentará el gasto, incrementándose por lo tanto las caídas de presión en el sistema. Esto trae como consecuencia (para una misma combinación de toberas) que aumente la potencia destinada a vencer la resistencia por circulación en todo el circuito sin mejorar en forma significativa la potencia hidráulica en la barrena; lo cual significa que para optimisarse, la potencia hidráulica en la barrena, se logra a través del diametro de las toberas.

En general se tiene la máxima potencia hidráulica en la barrena cuando las caídas de presión en la barrena son del orden de un 65% de la presión total de bombeo.

De este criterio se ha derivado el que se conoce como índice de caballaje hidráulico aplicado al fondo del pozo.

Se expresa como potencia hidráulica en el fondo del pozo (HHP)/pulgadas cuadradas (P_g^2) del área del fondo.

Observaciones en el campo y pruebas han dado como resultado la fig, VI.5; la cuál relaciona la velocidad de penetración contra la potencia hidráulica en el fondo del pozo sobre pulgadas cuadradas del área del fondo del pozo.

Se puede observar que para velocidades de penetración menores de 10 pies/hora el valor de 2.5 a 3 HHP/ P_g^2 en el mínimo requerido para lograr una adecuada limpieza en el fondo del pozo; por el contrario, para un caballaje hidráulico arriba de 5 HHP/ P_g^2 puede ocasionar fallas prematuras en la barrena por efecto de la abrasión. Se podrían utilizar rangos más altos, cuando por razones de velocidad de penetración más altas justifiquen los costos de viaje y cambio de la barrena.

VI.4.- Formulas comunmente empleadas para el cálculo hidráulico de perforación.- Para obtener la presión de bombeo (P_b) en (PSI):

$$P_b = \sum P \text{ circuito} \quad \text{----- ec. (VI.1)}$$

donde $\sum P$ circuito en la suma de todas las caídas de presión en cada una de las secciones del pozo, fig. VI.6;

$P \text{ circuito} = PES + PIT.P. + PIL.B. + PTob + PA$ -----ec. (VI.2)
donde;

PES = caída de presión en el equipo superficial (bomba-boca del pozo) (PSI).

PIT.P. = caída de presión en el interior de la tubería de perforación (PSI).

PIL.B.= caída de presión en el interior de los lastra-barrenas (PSI).

PTob = caída de presión en las toberas (PSI).

PA = caída de presión en el espacio anular (PSI)

El cálculo individual de estas presiones depende del patrón de flujo (laminar, transición o turbulento) que se tenga en cada sección.

Generalmente en el interior de la tubería de perforación y los lastra-barrenas, la barrena y las conexiones superficiales, el flujo es turbulento. En el espacio anular el flujo es laminar, aunque en algunas ocasiones se llega a tener turbulencia en la sección agujero-lastra-barrenas, sin embargo, esta condición no es deseable debido a que la erosión ocasionada por el fluido de perforación en las paredes del agujero, especialmente en formaciones delesnables o con echados muy inclinados.

Las caídas de presión en conexiones superficiales son un factor variable debido a que los equipos de perforación raras veces están con idéntico equipo superficial (conexiones superficiales). Se podrían medir las caídas de presión trabajando la bomba únicamente con la flecha en el agujero pero esta práctica es muy rara y no se recomienda. Lo más adecuado es estimar estas caídas considerando solamente la tubería de pie, la manguera, el tubo lavador de la unión giratorio y la flecha, así como el cambio de dirección que sufre el fluido de perforación en la parte superior de la tubería de pie y en el cuello de ganso. La tabla, VI.7; muestra la

longitud equivalente de tubería de perforación de varios diámetros a cuatro combinaciones comunes de equipo superficial, o bien con ayuda de una gráfica como la de la fig. VI.8.

Dicha gráfica se ha obtenido con un lodo de 3 cps. de viscosidad y una densidad de 1.14 libras/galón por lo tanto; la caída de presión corregida es:

$$P_{cs} = P_{cs}^* \left(\frac{\mu}{3} \right)^{0.14} \left(\frac{\rho}{1.14} \right) \text{-----ec. (VI.3)}$$

en donde:

P_{cs}^* = caída de presión (PSI) leída en la gráfica. fig. VI.8.

μ = viscosidad equivalente = $\rho/3.2$

ρ = densidad del fluido de perforación (libras/galón).

Para el cálculo de las caídas de presión en el interior de la tubería de perforación:

$$PIT.P. = \frac{6.1 \times 10^{-5} \rho L Q^{1.86}}{d^{4.86}} \text{-----ec. (VI.4)}$$

donde:

ρ = densidad del fluido de perforación (libras/galón)

L = longitud de la tubería (pies)

Q = gasto de la bomba de fluido de perforación (galones/minuto)

d = diámetro interior de la tubería de perforación (pulgadas)

Para el cálculo de las caídas de presión en el interior de los lrastra-barrenas se puede emplear la ecuación anterior.

Para el cálculo de las caídas de presión en las toberas:

$$PTob = \frac{\rho Q^2}{10858 (Atob)^2} \text{-----ec. (VI.5)}$$

Esta ecuación se emplea cuando se conoce el área de las toberas en donde:

Atob = área total de las toberas (pulgadas cuadradas)

O la segunda forma es:

$$P_{Tob} = P_b - P_{\text{sistema}} \quad \text{-----ec. (VI.6)}$$

lo cual implica, calcular las caídas de presión en el sistema. Esto se hace cuando no se tienen datos sobre la barrena y se desea calcular la presión disponible en la barrena para calcular las toberas requeridas.

Para el cálculo de las caídas de presión en el espacio anular:

$$P_A = \frac{8.6 \times 10^{-5} L Q^2}{(DA - DT) (DA^2 - DT^2)^2} \quad \text{-----ec. (VI.7)}$$

donde:

DA = diámetro del agujero (pulgadas)

DT = diámetro exterior de la tubería (pulgadas)

Para el cálculo del área total de las toberas:

$$A_{tob} = \frac{Q}{104.2} \left(\frac{L}{P_{tob}} \right)^{0.5} \quad \text{-----ec. (VI.8)}$$

Aún cuando con esto, quedan definidas las características hidráulicas del sistema, es necesario conocer la velocidad del lodo en las toberas, el caballaje hidráulico en la barrena, la velocidad anular; los cuales se calculan en las siguientes formulas:

Para calcular la velocidad en las toberas (Vtob):

$$V_{tob} = \frac{0.32 Q}{A_{tob}} \quad \text{-----ec. (VI.9)}$$

Para calcular el caballaje hidráulico en la barrena (BHHP):

$$BHHP = \frac{P_{tob} \times Q}{1714} \quad \text{-----ec. (VI.10)}$$

La cual se puede relacionar con el peso sobre la barrena y las revoluciones por minuto por medio de la fig. VI.9. - Para prevenir el embolamiento de la barrenas, se utiliza principalmente en formaciones relativamente suaves.

Para calcular la velocidad anular óptima (AV) (pies/mi nuto):

$$AV = \frac{11,800}{DA} \quad \text{-----ec. (VI.11)}$$

Si por cualquier motivo, se tiene que cambiar la hi---dráulica del circuito, sera necesario calcular nuevamente estos parámetros para normar la operación, en la forma corres--pondiente.

VI5.- Para obtener el rendimiento óptimo de las ba--rrenas se sugieren las siguientes recomendaciones:

VI.5.1.- Control del fluído de perforación.- Después del aire y del agua, el mejor fluído circulante que se puede usar para obtener vida óptima de baleros y sus sellos, es lo do con bajo contenido de sólidos. Este lodo debe ser de la menor densidad posible y tener la menor viscosidad que permita la extracción de recortes del pozo. El lodo con alto contenido de arena erosiona los sellos de los rodamientos, causando-que fallen los sellos y que se reduzca la vida de los mismos.

VI.5.2- Bailoteo de la barrenas alrededor de su eje. Es importante evitar que la barrenas gire fuera de su centro , este bailoteo causa el desgaste anormal de los dientes.

También es importante evitar el bamboleo. El desali- neamiento angular consecuente causa que el peso sobre la ba--rrenas se cargue alternativamente a cada cono y resulta en la-

falla rápida, tanto de la estructura de corte como de los rodamientos de la barrena. Al mejorar la estabilización de la barrena, su rendimiento mejora.

VI.5.3.- Cargas de impacto y trepidación.- Al perforar en formaciones duras y fracturadas, las cargas bruscas y las trepidaciones excesivas pueden causar que se rompan las inserciones de carburo de tungsteno y que fallen los rodamientos. Debido a los atorones y brincoteos al perforar algunas de estas formaciones, no se puede usar el peso y la velocidad de rotación apropiados. Los amortiguadores de impactos, pueden ser benéficos para ayudar a obtener velocidades de penetración más rápidas y para alargar la vida de la barrena.

VI.5.4.- Golpear contra los rebordes o el fondo del pozo.- Tener cuidado al bajar con barrena nueva para evitar golpear contra rebordes o contra el fondo del pozo, es muy fácil que la barrena golpee contra el fondo del pozo debido al alargamiento de la tubería de perforación cuando si al hacer conexión se baja y se frena bruscamente.

VI.5.5.- Daño al apretar la barrena.- Se debe usar el tipo y tamaño apropiado de canasta para aflojar o apretar la barrena en la sarta.

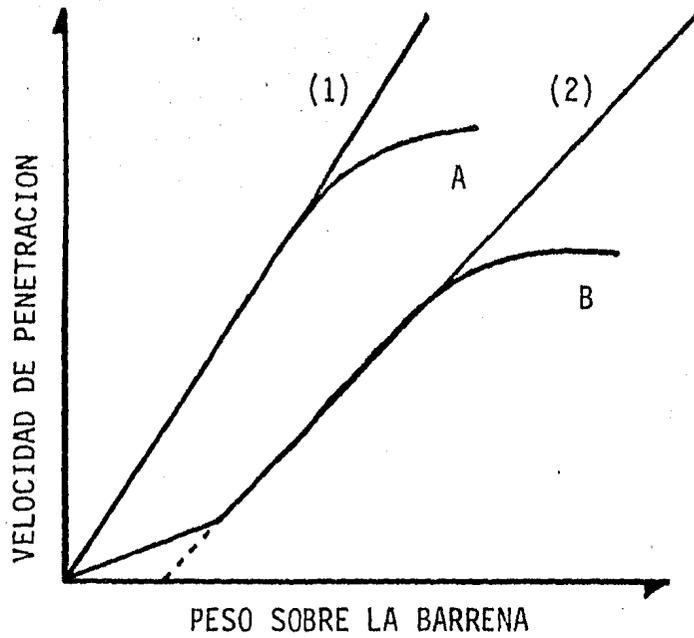
VI.5.6.- Daño a la estructura de corte a una barrena.- Al reanudar la perforación con una barrena nueva perforar aproximadamente treinta centímetros con poco peso y poca rotación, a fin de que la barrena nueva pueda ser su propia hue-lla.

VI.5.7.- Escojer la barrena adecuada para la formación a perforar.- Seleccionar la barrena correcta para la formación a perforar, esto se basará en la información correcta de pozos cercanos.

VI.5.8.- Definición adecuada de los parámetros de operación.- Como una regla general, un aumento en la velocidad de rotación mejora la velocidad de penetración al perforar --

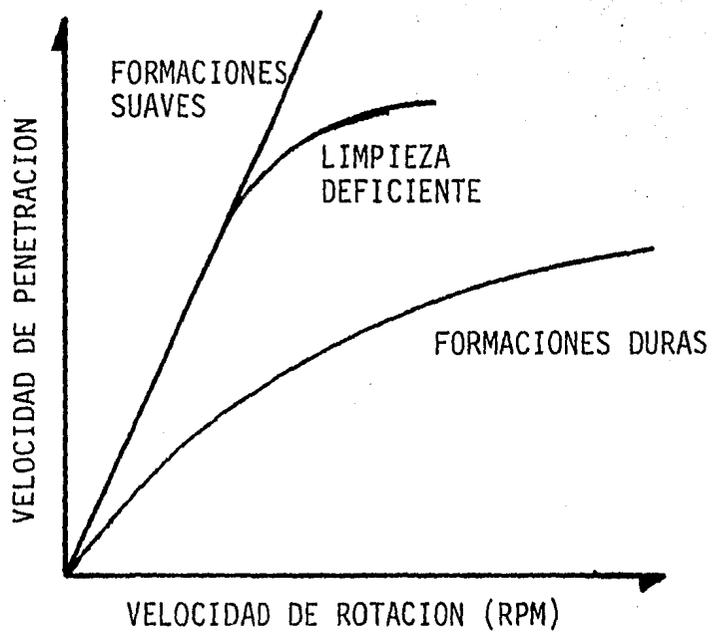
lutitas (suaves), y un aumento en el peso mejora la velocidad de penetración al perforar calizas (duras). En las formaciones arenosas y abrasivas, a menudo es necesario reducir la velocidad de rotación para evitar el desgaste de los sellos y rodamientos. En formaciones mixtas o fracturadas donde se tiene vibración excesiva con frecuencia es necesario reducir la velocidad de rotación a un nivel donde se elimine la vibración. La recomendación u orientación del fabricante de barrenas puede servir de punto de partida para la definición de estos parámetros.

VI.5.9.- Utilización óptima de las bombas de fluido de perforación.- Es muy importante la influencia de la potencia hidráulica en la eficiencia de perforación y su efecto en el rendimiento de la barrena. El fluido de perforación no destruye la roca; algunas de sus funciones son: sacar los recortes del fondo del pozo tan pronto como se generan para evitar retrabajarlos; limpiar la barrena para que los dientes estén libres para penetrar la roca; y elevar a la superficie los recortes para que no interfieran con la acción de la barrena. Cuando la limpieza del fondo del pozo es inadecuada, la barrena se embolará y los aumentos en el peso y en la rotación no producirán un aumento en la velocidad de perforación.



GRAFICA DE VELOCIDAD DE PENETRACION VS. PESO SOBRE LA BARRENA
A VELOCIDAD DE ROTACION CONSTANTE

FIGURA VI.1



GRAFICA DE VELOCIDAD DE PENETRACION VS. VELOCIDAD DE ROTACION
CON PESO SOBRE LA BARRENA CONSTANTE

FIGURA VI.2

TABLA

BARRENA TIPO 5-2-(5)

FORMACION: LUTITA

TAMAÑO DE LA BARRENA	PESO POR PULG. DE DIAM. TONS.	RPM
6-1/2	1-1.5	65 - 50
8-1/2	1.2-1.7	65 - 50
9-1/2	1.2-1.7	65 - 50
12-1/4	1.1-1.6	65 - 50
14-3/4	1.1-1.5	65 - 50

FORMACION: CALIZA O DOLOMITA

6-1/2	1.6-1.8	55 - 45
8-1/2	1.8-2.0	55 - 45
9-1/2	1.8-2.0	55 - 45
12-1/4	1.7-1.9	55 - 45
14-3/4	1.6-1.9	55 - 45

BARRENAS TIPO 7-1-(5) y 7-2-(5)

FORMACION: CAPAS DE LUTITA Y CALIZA

6-1/2	1.8-2.0	55 - 40
8-1/2	2.1-2.3	55 - 40
9-1/2	2.1-2.3	55 - 40
12-1/4	2.0-2.2	55 - 40
14-3/4	1.9-2.1	55 - 40

FORMACION: CAPAS DE LUTITA ARENOSA Y CALIZA

6-1/2	1.6-2.0	50 - 35
8-1/2	1.8-2.3	50 - 35
9-1/2	1.8-2.3	50 - 35
12-1/4	1.8-2.2	50 - 35
14-3/4	1.8-1.9	50 - 35

BARRENA TIPO 6-2-(5)

FORMACION: LUTITA

TAMAÑO DE LA BARRENA	PESO POR PULG. DE DIAM. TONS.	RPM
6-1/2	1.6-1.8	60 - 50
8-1/2	1.8-2.1	60 - 50
9-1/2	1.8-2.1	60 - 50
12-1/4	1.7-2.0	60 - 50
14-3/4	1.7-1.9	60 - 50

FORMACION: CALIZA

6-1/2	1.8-2.0	50 - 40
8-1/2	2.1-2.3	50 - 40
9-1/2	2.1-2.3	50 - 40
12-1/4	2.0-2.2	50 - 40

FORMACION : ARENISCA

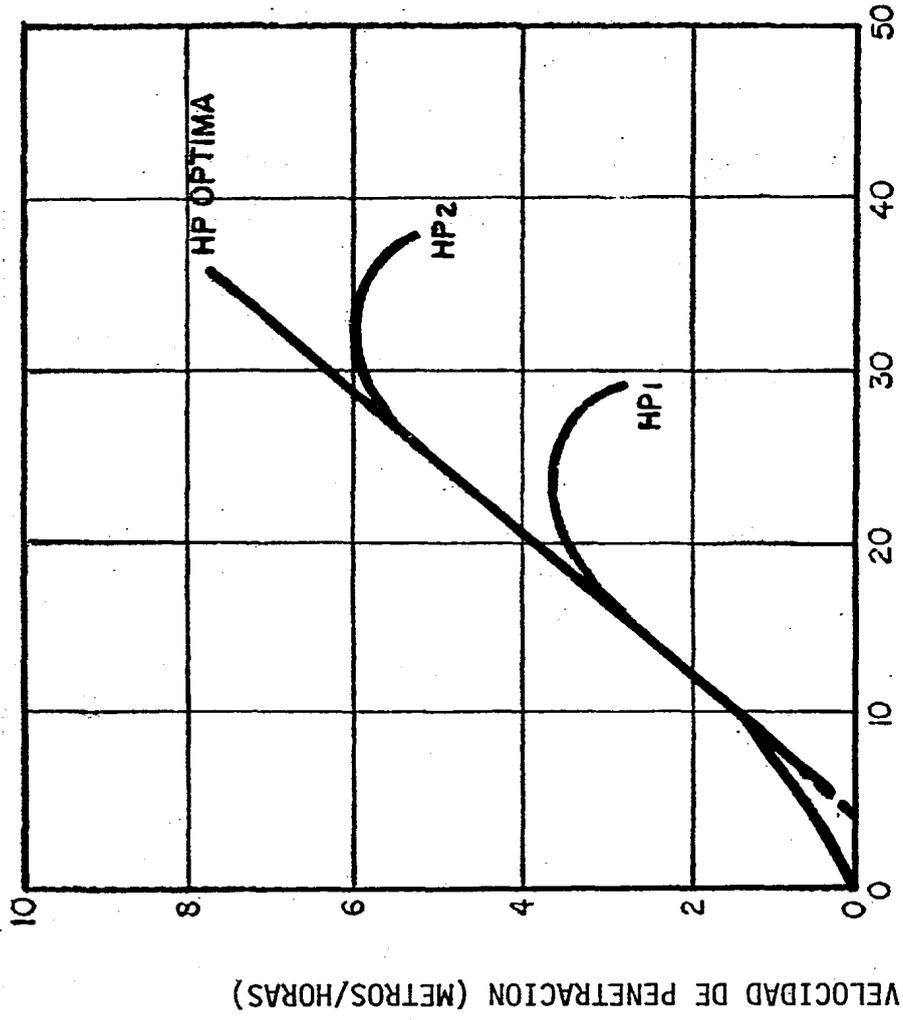
6-1/2	1.8-2.0	45 - 35
8-1/2	2.1-2.3	45 - 35
9-1/2	2.1-2.3	45 - 35
12-1/4	2.0-2.2	45 - 35
14-3/4	1.9-2.1	45 - 35

BARRENA TIPO 8-3-5

FORMACION: LUTITA Y CALIZA ARENOSA DURA, PIRITA, DOLOMITA, FORMACIONES ABRASIVAS.

6-1/2	1.5-1.8	45 - 35
8-1/2	1.7-2.1	45 - 35
9-1/2	1.7-2.1	45 - 35
12-1/4	1.6-2.0	45 - 35
14-3/4	1.6-1.9	45 - 35

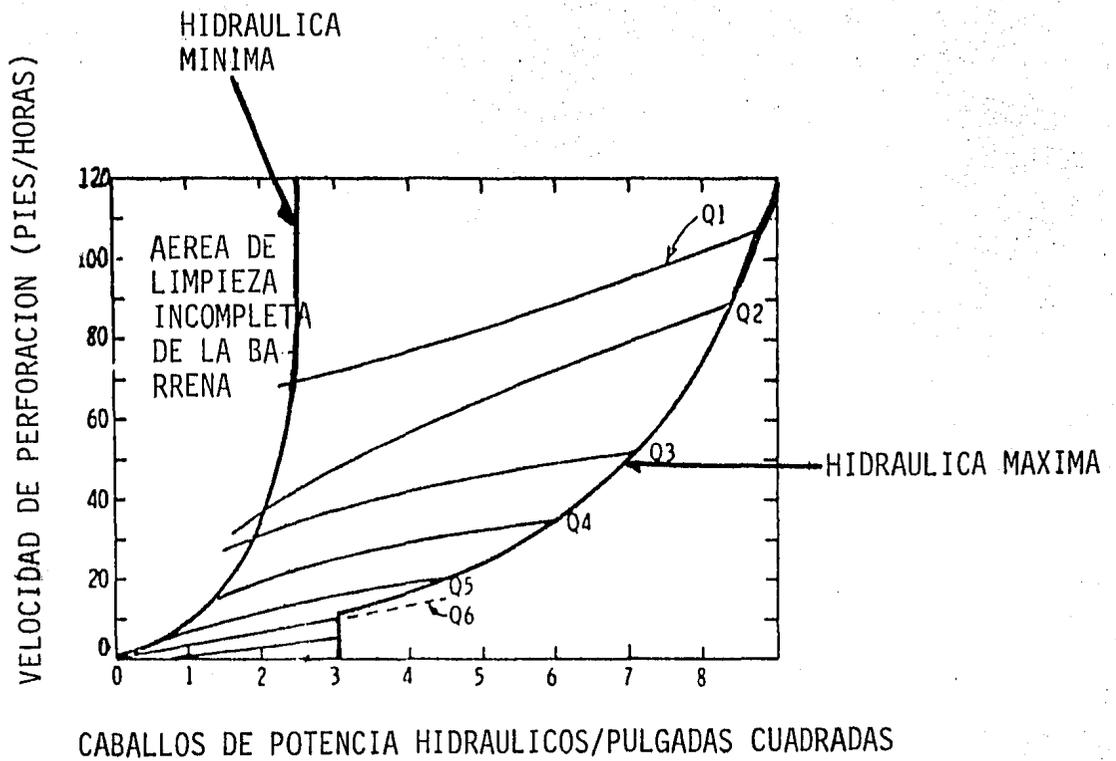
FIGURA VI.3



PESO SOBRE LA BARRENA (TON)

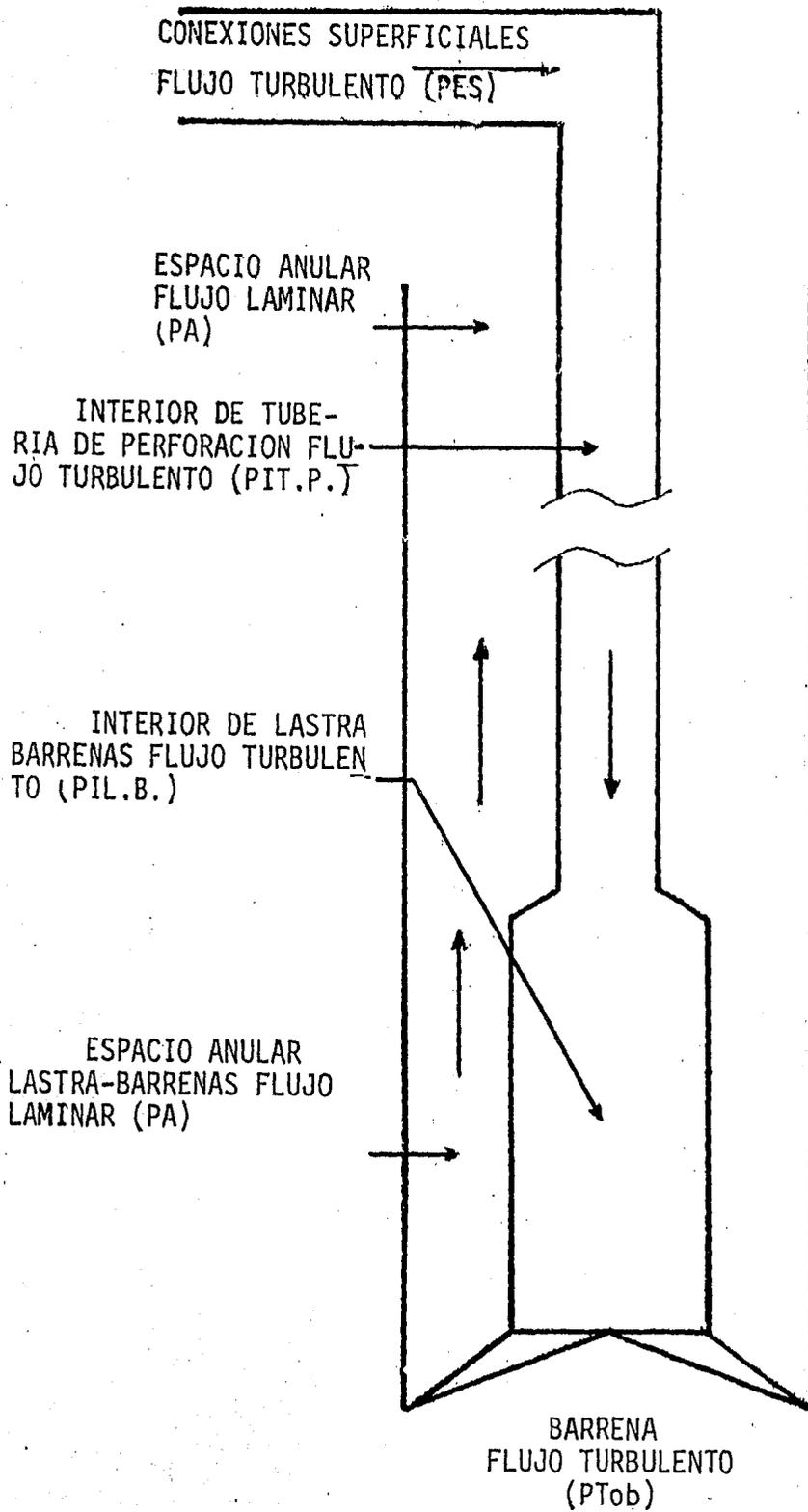
EFFECTO DE LA POTENCIA HIDRAULICA SOBRE LA VELOCIDAD DE PENETRACION

FIGURA VI.4



CURVAS DE PERFORABILIDAD HIDRAULICA

FIGURA VI.5



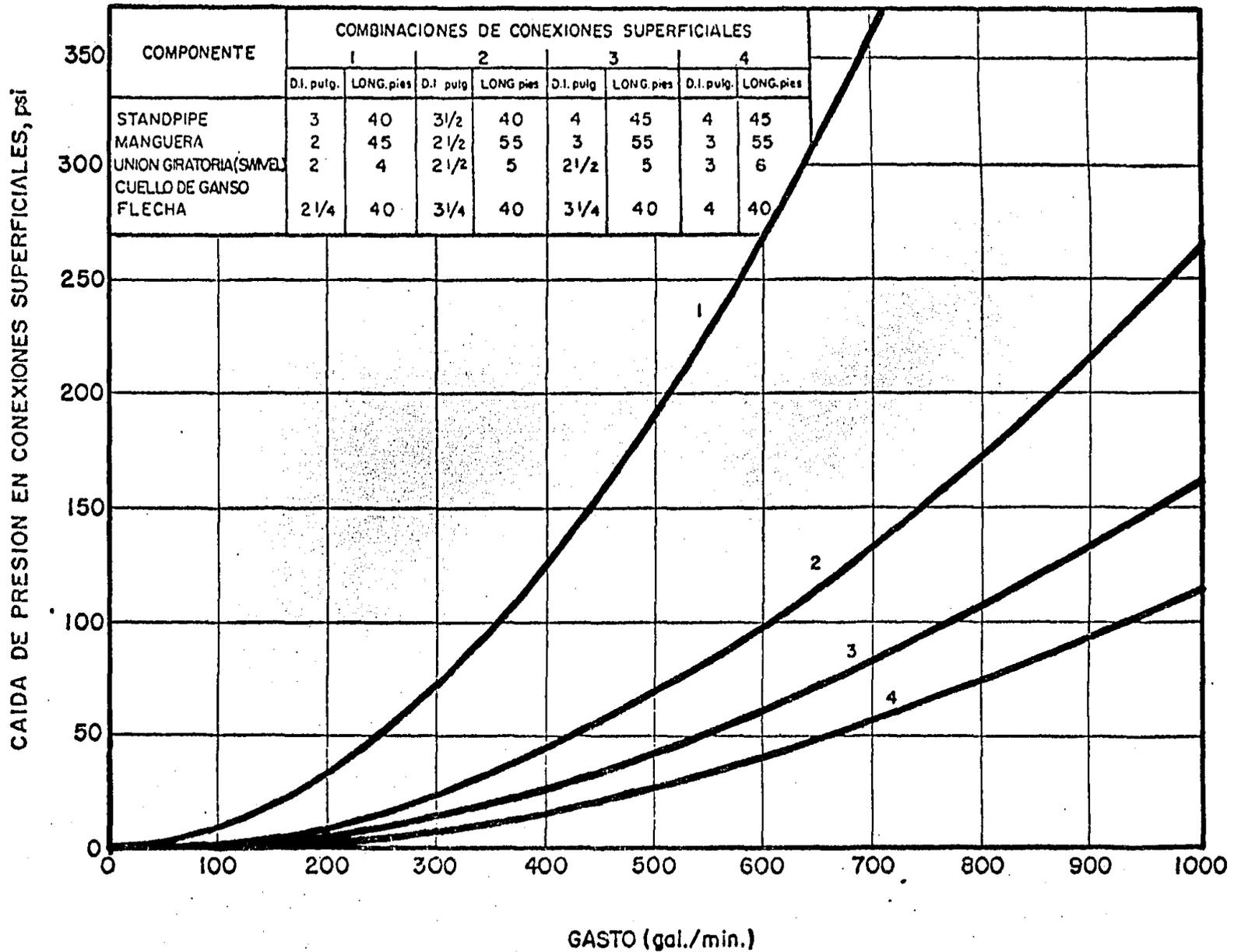
SISTEMA DE CIRCULACION Y REGIONES DE FLUJO TIPICAS

FIGURA VI.6

Componentes de las conexiones superficiales.	Combinación típica (casos)							
	No.1		No.2		No.3		No.4	
	D _i pg	L metros	D _i pg	L metros	D _i pg	L metros	D _i pg	L metros
Tubería de pie	3	12.2	3 1/2	12.2	4	13.7	4	13.7
Manguera	2	13.7	2 1/2	16.8	3	16.8	3	16.8
Tubo lavador de la unión giratoria y - cuello de ganso	2	1.2	2 1/2	1.5	2 1/2	1.5	3	1.8
Flecha	2 1/4	12.2	3 1/4	12.2	3 1/4	12.2	4	12.2
Tubería de perf. DE, pg Peso lb/pie	Longitud equivalente de conexiones superficiales en metros de tubería de perforación.							
3 1/2 13.3	133.2		4 1/2 16.6	49.1	5 19.5	146	103.7	248.8
4 1/2 16.6			5 19.5	232		248.8	176.5	
5 19.5								

CONEXIONES SUPERFICIALES

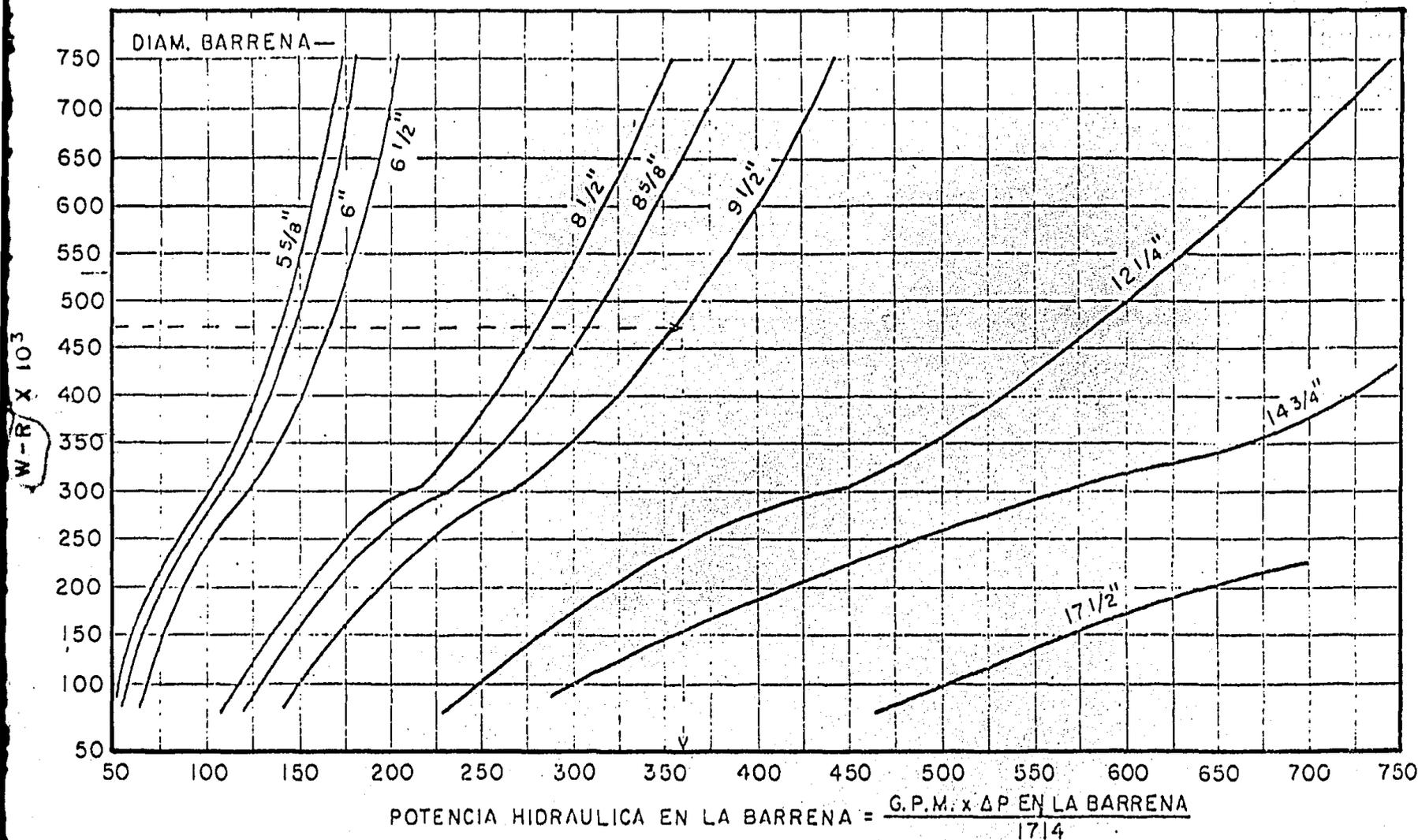
TABLA VI,7



GRAFICA DE P_c EN CONEXIONES SUPERFICIALES

FIGURA VI.8

MINIMA POTENCIA HIDRAULICA EN LA BARRENA (BHHP) VS. W-R PARA PREVENIR EL EMBOLAMIENTO DE LA BARRENA
(FORMACIONES RELATIVAMENTE SUAVES)



EJEMPLO: BARRENA DE 9 1/2"
 PESO SOBRE LA BARRENA 50000 lb. (5263 lb./pulg.)
 VELOCIDAD ROTARIA 90 R.P.M.
 W-R = (5260) (90) = 473 x 10³
 BHHP REQUERIDA = 360

FIGURA VI.9

C A P I T U L O V I I

EVALUACION DEL DESGASTE DE BARRENAS

C A P I T U L O VII

EVALUACION DEL DESGASTE DE BARRENAS

La evaluación del desgaste de las barrenas juega un papel muy importante en la selección adecuada de barrenas. Además, esta evaluación dicta cambios en otros factores -- que están asociados con el rendimiento de las barrenas.

Algunos de estos factores son: peso sobre la barrena, velocidad de rotación, tiempo total de la barrena perforando, estabilización de la barrena, forma de iniciar la barrena, condiciones del fluido de perforación e hidráulica de la perforación.

VII.1.- Falla de los cojinetes o chumaceras.- El desgaste excesivo o falla de los cojinetes o chumaceras, como se observa en la fig. VII.1, puede deberse a varias causas; Se debe tomar en cuenta que cada cono de la barrena dá aproximadamente 2 1/2 vueltas por cada revolución de la barrena, por lo que el número total de revoluciones --- hecho durante el tiempo de trabajo de la barrena puede ser excesivo según el tipo de barrena usada.

Una combinación de una alta velocidad de rotación y muchas horas de trabajo, a menudo son la causa de tal desgaste de los cojinetes o chumaceras que reduce la vida de la barrena antes que los dientes sufran un deterioro considerable. Como es de esperarse, un alto peso sobre la barrena también causaría un desgaste acelerado de los cojinetes o chumaceras, especialmente si el tipo de barrena usado es inadecuado.

Bajo estas circunstancias, se debe de usar un tipo de barrena con alta capacidad en los cojinetes o chumaceras, o si esto no es posible, se usará en menor peso sobre

la barrena. Los lastra-barrenas no estabilizados también pueden causar desgaste acelerado de los cojinetes o chumaceras, ésto se observa cuando el desgaste es mayor en uno o dos de los conos de la barrena. Este problema se puede resolver usando lastra-barrenas de mayor diámetro o estabilizar los que están usando para distribuir el peso sobre la barrena en los tres conos.

Cuando se presentan fallas en la parte exterior del cojinete o chumacera, pueden ser causadas por un tiempo muy prolongado de rotación sumado a un peso excesivo sobre la barrena. Algunas señas de que a habido fallas en la parte exterior del cojinete o chumacera, es cuando se presentan huellas de arrastre en los conos por el hecho de que uno o dos de los conos se traban mientras que los otros giran libremente.

Otras causas que producen este tipo de falla son la presencia de materias o materiales abrasivos o corrosivos en el fluído de perforación como son: arena, agua o gas sulfídrico y otros.

La eliminación de los materiales abrasivos y corrosivos en el fluído de perforación, la reducción del tiempo durante el cual la barrena gira y la reducción del peso sobre la barrena son factores que pueden solucionar este problema.

Las fallas en la parte interior del cojinete o chumacera, pueden ocurrir cuando una barrena es utilizada en una formación demasiado dura para el diseño de la barrena. Los dientes se desgastan hasta que las puntas se aplanan y para poder mantener un buen régimen de penetración, se aumenta aún más peso sobre la barrena, lo cual llega a ocasionar fallas en la parte interior del cojinete o chumacera.

Otra causa de fallas se relaciona con la introducción forzada de la barrena en agujeros de diámetro reduci

do durante operaciones de repaso.

Este problema puede ser solucionado mediante el uso de una barrena diseñada para formaciones más duras con protección en la hilera de calibre, reduciendo las horas de rotación y disminuyendo la velocidad de rotación.

Una falla en ambas partes, interior y exterior del cojinete o chumacera puede ocurrir debido a un peso excesivo sobre la barrena, una velocidad de rotación exagerada, demasiado tiempo de rotación o la presencia de un fluido de perforación demasiado abrasivo.

VII.2.- Desgaste de los dientes o inserciones.- Los dientes de la barrena tienden a desgastarse y la evaluación de la señas de desgaste pueden indicar ciertas anomalías como desgaste prematuro y sugerir pasos correctivos.

Uno de los problemas más serios, es el desgaste del flanco exterior de los dientes de la hilera de calibre. La reducción significa que los dientes se han desgastado o astillado a tal grado que comienzan a perforar un agujero de diámetro menor a lo estipulado como se observa en la fig. - VII.2.

Esta situación ocasiona que la próxima barrena deberá escariar el agujero hasta el tamaño apropiado, lo cual ocasiona daños a la barrena, así como pérdida de tiempo y esfuerzo.

Cuando se presenta un astillamiento o rotura de los dientes, es decir que la barrena entra en una formación nueva que la hace trepidar, ocasionando un astillamiento o rotura de los dientes, como se observa en la fig. VII.3.

Es deseable que ocurra un poco de astillamiento en los dientes de las barrenas para formaciones duras, además, puede ser un indicio de que se eligió la barrena apropiada.

En algunas barrenas, parte del diente es recubierto con carburo de tungsteno mientras que la otra parte no recibe tratamiento; como resultado se produce un efecto que ---

permite que los dientes se autoafilen. Si la abrasión de los dientes es excesiva, esto puede ser indicación de que el flujo de perforación es demasiado abrasivo o que la velocidad de circulación es demasiado alta.

Cuando la cresta de un diente queda aplanada se debe a un peso sobre la barrena tan alto que causa que el diente se deforme. Esto ocurre al iniciar la barrena y aplicarle un peso excesivo, lo cual afecta a los dientes más débiles situados en la filas interiores de los conos. Este tipo de deformación tan severo generalmente se asocia con la pérdida de dientes.

El desgaste descentrado o irregular de los dientes resulta cuando la barrena gira onduladamente y permite que se formen resaltes en el agujero, fig. VII.4. Esto se debe al uso inapropiado de la barrena o sea peso y velocidad de rotación equivocados, se puede solucionar el problema utilizando una barrena para formaciones más suaves.

El embolamiento de la barrena ocurre cuando a los dientes se les adhiere materia de las formaciones blandas y pegajosas. Esto sucede cuando hay demasiado peso sobre la barrena, lo cual causa que los dientes se entierren demasiado en las formaciones blandas o cuando la velocidad del fluido de perforación no es suficiente como para desalojar los recortes. El remedio consiste en disminuir el peso sobre la barrena o en aumentar la velocidad del fluido de perforación.

Las barrenas con inserciones de carburo de tungsteno muestran poco desgaste en las operaciones normales de perforación, fig. VII. 5. La mayor parte del daño que sufre este tipo de barrena se debe a prácticas de perforación inadecuadas o a condiciones anormales en el agujero o en la formación.

La rotura de las inserciones es la falla más común que sufren las barrenas de inserciones, como se observa en la fig. VII.6; la rotura de las inserciones resulta del empleo de una

barrena para formaciones suaves usada en formaciones duras. Las barrenas de inserciones para formaciones blandas tiene inserciones más largas y una excentricidad máxima.

Las cargas tangenciales excesivas en las inserciones interiores, que se producen cuando se tropieza con formaciones más duras, causan que las inserciones se rompan. La mejor manera de evitarlo consiste en seleccionar una barrena que resista la máxima dureza de la formación que se espera atravesar.

Como varios tipos de formaciones pueden encontrarse y las barrenas con inserciones trabajan durante períodos muy largos, mientras estén atravesando formaciones duras, puede emplearse la misma barrena que se usa para formaciones blandas, solamente aumentando el peso sobre la barrena y disminuyendo la velocidad de rotación.

La pérdida de las inserciones debido a la erosión de los conos, ocurre cuando el fluido de perforación desgasta el cono alrededor de la inserción.

Generalmente se produce cuando se perfora con gas o aire, donde los regímenes de flujo elevados se combinan con los efectos de los recortes abrasivos para desgastar el cono. Casi nada se puede hacer con respecto a este problema que es frecuente en la perforación con aire o gas como se había mencionado anteriormente.

Uno de los problemas más serios que se presenta en la perforación con barrenas con inserciones es que, una vez que las inserciones se rompen se producirán mayores daños debido a la presencia de los pedazos rotos en el fondo del pozo. El carburo de tungsteno es tan denso que resulta casi imposible circular los pedazos rotos fuera del agujero; por consiguiente los fragmentos en el fondo del pozo rompen la inserciones que quedan.

VII.3.- Sistema para determinar el desgaste de barrenas.- La Asociación Internacional de Contratistas de Perforación (IADC) introdujo un sistema para determinar el grado de desgaste de barrenas basado en las siguientes consideraciones.

VII.3.1.- Desgaste de los dientes.- El desgaste de los dientes se mide en octavos, tomando como base la altura original del diente, como se observa en la fig. VII.7.

Para lograr mayor exactitud, si es posible se debe comparar la barrena usada con una nueva. Esta comparación es de gran ayuda especialmente cuando se ha realizado un cambio en el tipo de barrenas.

La evaluación de barrenas con inserciones se reporta igual el desgaste o sea en octavos, con la diferencia de que las inserciones se evalúan de la siguiente manera:

$$T = 8 \left(1 - \frac{B}{L} \right) \text{ -----ec. (VII.1)}$$

en donde:

T = Clasificación en octavos

B = Número de inserciones rotas o desprendidas

L = Número total de inserciones de la barrena

VII.3.2.- Desgaste de los rodamientos o chumaceras. La evaluación de un rodamiento o chumacera usado representa la parte más difícil en la evaluación de barrenas usadas, fig. VII.8.

La duración útil de un rodamiento o chumacera se expresa en octavos de la duración gastada, debe conocerse el número de horas que la barrena ha perforado y las condiciones bajo las cuales ha operado.

Por ejemplo, si la barrena ha perforado durante 25 horas y si la condición de los rodamientos o chumaceras -

es tal que aún pueden lograrse 15 horas adicionales de uso, entonces la clasificación de la barrena debe ser B5 (es decir 25/40, ó 5/8 de la duración útil se ha gastado).

Las barrenas con sello en el rodamiento o chumacera también deben clasificarse según el desgaste. Los sellos funcionan o no funcionan; no existen incrementos de desgaste intermedios, para clasificar sellos se emplea; SE para indicar sellos buenos, SF para indicar sellos que fallaron y SQ para indicar sellos cuya condición es dudosa. Estas letras son seguidas por el número del cono del sello que se está evaluando.

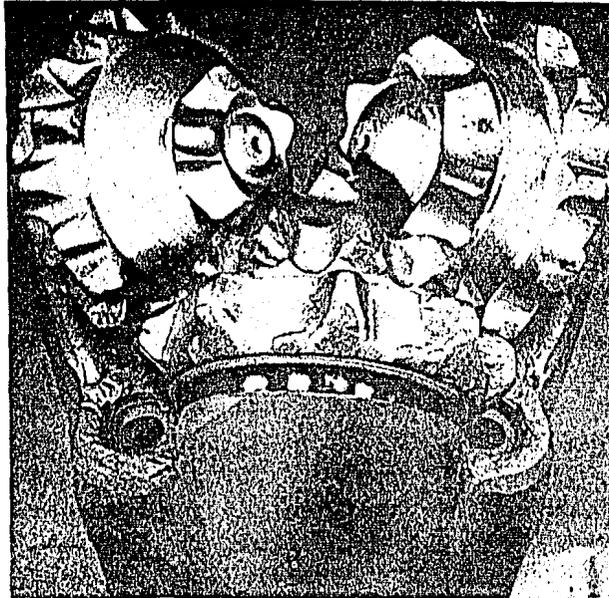
El reporte de la evaluación de los sellos es por separado, por lo demás, se evalúan en la forma ya indicada.

La vibración de los conos en sí no puede utilizarse, como medición de la duración útil de la barrena. Mientras los sellos mantengan su efectividad, es probable que los conos no vibren.

VII.3.3.- Desgaste de la base de los conos, "calibre". El desgaste del calibre de la barrena se determinan mediante el uso de un aro calibrador y una regla; existen dos métodos fig. VII.9; en el primero y más comunmente usado de los dos métodos consiste en, empujar el aro calibrador contra los puntos de calibre de dos conos y se mide el espacio entre el aro y el tercer cono, "A". Generalmente, esta medida es aceptable; sin embargo, para obtener mayor exactitud, la medida debe multiplicarse por 2/3.

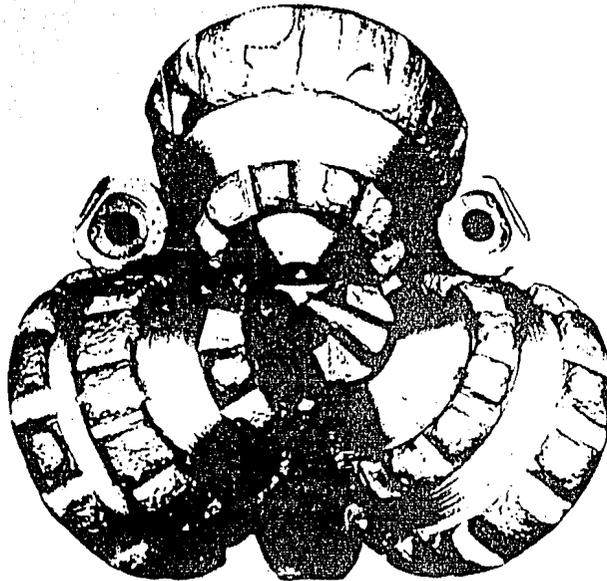
El segundo y más exacto, la barrena es centrada en el aro calibrador. Se emplea una regla para medir la distancia entre el aro y la superficie externa, o superficie de calibre, de un cono, "B".

Esta medida puede multiplicarse por dos para dar el diámetro de la barrena y por consiguiente la reducción total del calibre de la barrena.



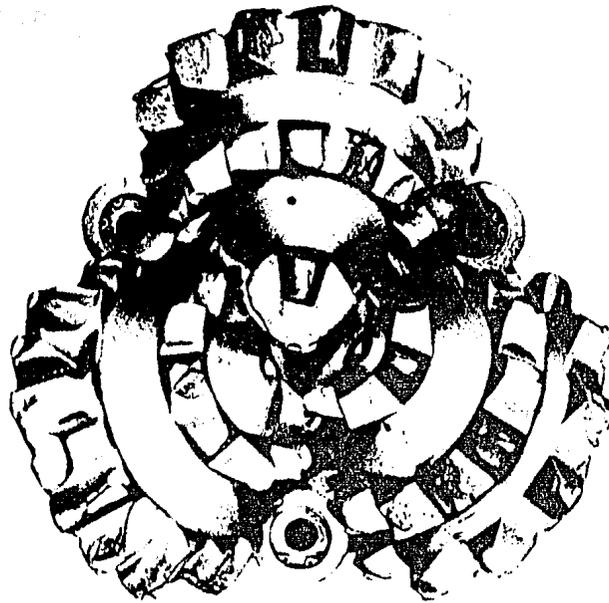
FALLA DE COJINETES O CHUMACERAS

FIGURA VII.1



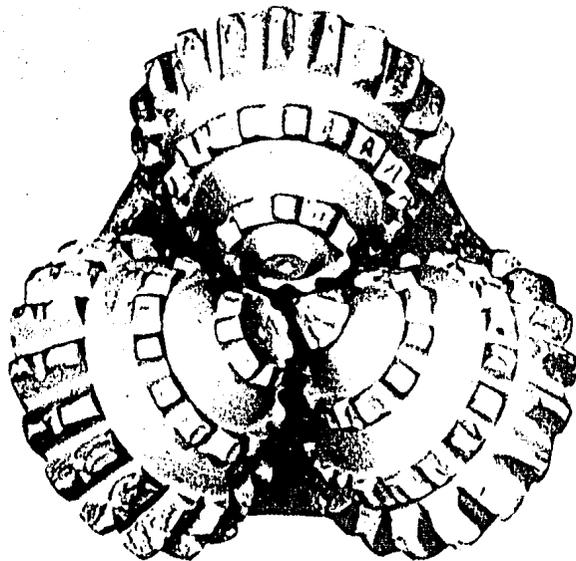
DESGASTE DE DIENTES DE LA HILERA DE CALIBRE

FIGURA VII.2



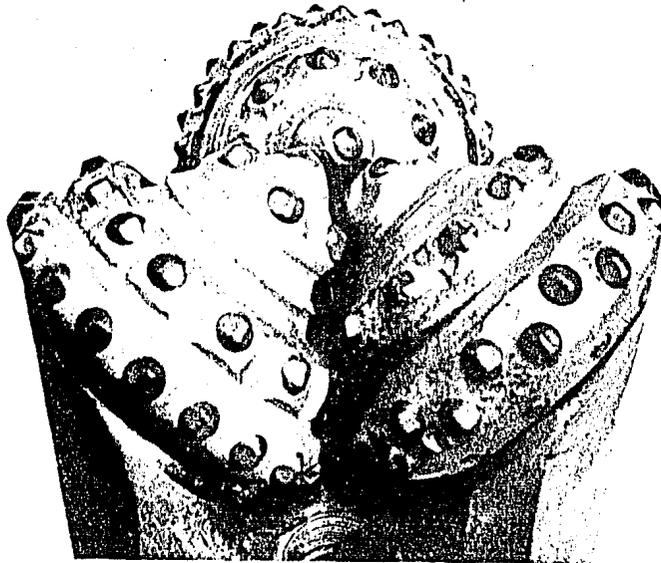
ASTILLAMIENTO O ROTURA DE LOS DIENTES

FIGURA VII.3



DESGASTE IRREGULAR DE DIENTES

FIGURA VII.4



BARRENA DE INSERCIONES DE CARBURO DE TUNGSTENO

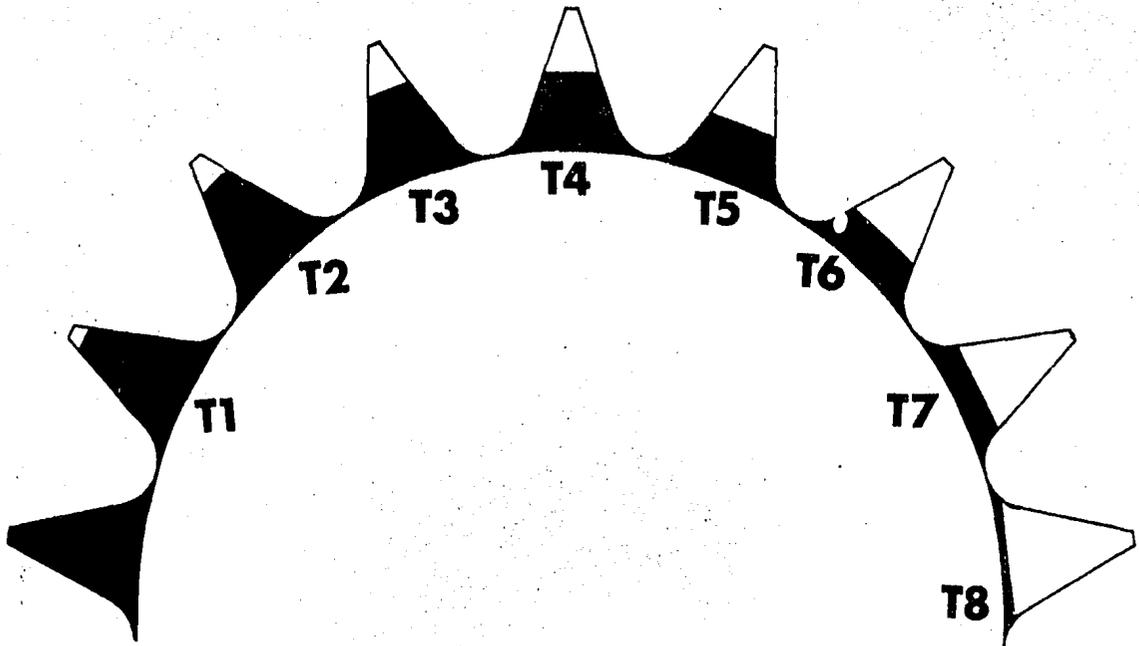
FIGURA VII.5



INSERCIONES ROTAS

EXCESIVAS INSERCIONES DE CARBURO DE TUNGSTENO ROTAS

FIGURA VII.6



- T1...altura del diente $1/8$ gastado.
- T2...altura del diente $1/4$ gastado.
- T3...altura del diente $3/8$ gastado.
- T4...altura del diente $1/2$ gastado.
- T5...altura del diente $5/8$ gastado.
- T6...altura del diente $3/4$ gastado.
- T7...altura del diente $7/8$ gastado.
- T8...altura del diente todo gastado.

NOTA: Si cualquier hilera tiene la mayoría de los dientes rotos agreg las letras ("BT")

DESGASTE DE DIENTES

FIGURA VII.7

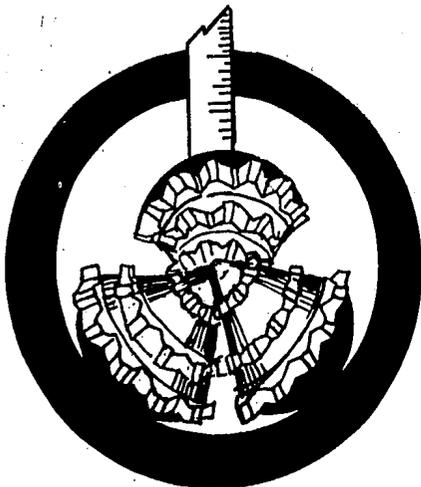
CONDICIONES DE LOS RODAMIENTOS (Revise el peor cono):

- B1...vida del rodamiento utilizada 1/8
- B2...vida del rodamiento utilizada 1/4 (apretado)
- B3...vida del rodamiento utilizada 3/8
- B4...vida del rodamiento utilizada 1/2 (mediano)
- B5...vida del rodamiento utilizada 5/8
- B6...vida del rodamiento utilizada 3/4 (flojo)
- B7...vida del rodamiento utilizada 7/8
- B8...vida del rodamiento agotada (pegado o desaparecido)

DESGASTE DE RODAMIENTOS O CHUMACERAS

FIGURA VII.8

"A"



"B"



DESGASTE DE LA BASE DE LOS CONOS "CALIBRE"

FIGURA VII.9

C A P I T U L O V I I I

C O S T O S D E P E R F O R A C I O N

C A P I T U L O VIII

COSTOS DE PERFORACION

Las barrenas através de sus costos y sus rendimientos son los elementos determinantes de los costos de perforación de los pozos.

Los costos se pueden considerar por pozo ó por barrena, en ambos casos se puede calcular el costo total así como el costo por metro.

Los costos por pozo son útiles para efectos de contabilidad y estadística, y los costos por barrena los son para tecnología de perforación.

El costo de perforación para una barrena puede obtenerse como promedio de su rendimiento total ó por tramos de finidos de pozo según convenga.

Los conceptos, todos muy importantes que configuran el costo de perforación por metro son: el costo de la barrena, el tiempo de trabajo de la barrena, el costo de operación del equipo de perforación, el tiempo de viaje redondo para cambio de barrena y la longitud perforada por la barrena. Es con la siguiente fórmula como se calcula el costo por metro perforado;

$$C1 = \frac{B1 + R1 (T1 + t)}{M1} \quad \text{-----ec. (VIII.1)}$$

en donde:

C1 = Costo por metro perforado (pesos/metro)

B1 = Costo de la barrena (pesos)

R1 = Costo de operación del equipo por hora (pesos/hora)

T1 = Horas totales de perforación (vida de la barrena) (hrs)

t = Tiempo de viaje redondo (horas)

M1 = Longitud perforada (metros)

En esta ecuación se aprecia la importancia de tener un máximo de metros perforados a un mínimo de tiempo de perforación, para que el costo por metro perforado sea el mínimo posible.

Uno de los costos más importantes en el uso de barrenas es el viaje redondo para cambiar barrena. Cuando se perfora a poca profundidad, no afecta sustancialmente, pero como la mayor parte del tiempo, los pozos se están perforando a profundidades considerables, de estos se deriva la gran importancia de tener el mínimo de tiempo. Así pues, la selección de la barrena adecuada, como una operación de perforación eficiente, es básica para que la barrena dure un máximo de tiempo y una mayor cantidad de metros perforados.

En esta evaluación económica del comportamiento de la barrena no se incluyen los tiempos empleados por otros motivos que no sean la perforación misma y los viajes para cambio de barrena.

Los tiempos empleados en actividades como acondicionar lodo, medir desviación, reparar equipo y otros que interrumpan en trabajo de perforación, deben tomarse en cuenta en la determinación del costo de perforación por pozo.

A esta forma de calcular el costo por metro perforado antes de terminar la vida útil de la barrena da un valor irreal del costo por metro perforado, pero es muy útil para determinar el momento que deja de ser costeable el seguir perforando con esa barrena, se vuelve real el costo por metro en el momento en que la barrena termina su vida útil.

Si se quisiera calcular el costo por metro real, metro por metro, se podrá hacer hasta que la barrena haya terminado su función, ya que en cada momento se deberá tomar el porcentaje utilizado por barrena hasta ese momento.

Esto sirve para calcular el costo por metro de cada metro de pozo perforado, el cual se utiliza para correlaciones de formación, cambio de costos con el tipo de formación,

para tecnología de perforación y otros.

Si a lo largo de la vida de la barrena se lleva un registro de costos por metro perforado, se podrá observar que mientras la barrena esté trabajando correctamente, los costos se irán abatiendo, en el momento en que la barrena empieza a dar muestras de desgaste o la velocidad de perforación se reduce, el costo por metro perforado comenzará a elevarse siendo esto indicativo de que hay que cambiar la barrena para evitar ya sea un incremento en los costos de perforación o un posible pescado de partes de la barrena que se hayan soltado. Con los datos obtenidos se puede elaborar una gráfica, de costo por metro perforado vs. tiempo, fig. VIII.1; en la que se puede apreciar la tendencia mencionada.

Para determinar el rendimiento requerido de la siguiente barrena que se utilizará para obtener cuando menos el mismo costo por metro perforado se usa la siguiente ecuación:

$$T_2 = \frac{B_2 + R_1 (t)}{C_1 \left(\frac{M_1}{T_1} \right) - R_1} \quad \text{-----ec. (VIII.2)}$$

en donde:

T₂ = Tiempo en horas que debe perforar la barrena que se va a usar para obtener el mismo costo por metro.

B₂ = Costo de la nueva barrena que se va a usar (pesos)

Una vez obtenidas las horas ("para salir a mano") T₂, el siguiente paso es saber cuántos metros por lo menos debe perforar dicha barrena, para ello se utilizará la siguiente ecuación:

$$M_2 = \left(\frac{M}{T} \right) T_2 \quad \text{-----ec. (VIII.3)}$$

en donde:

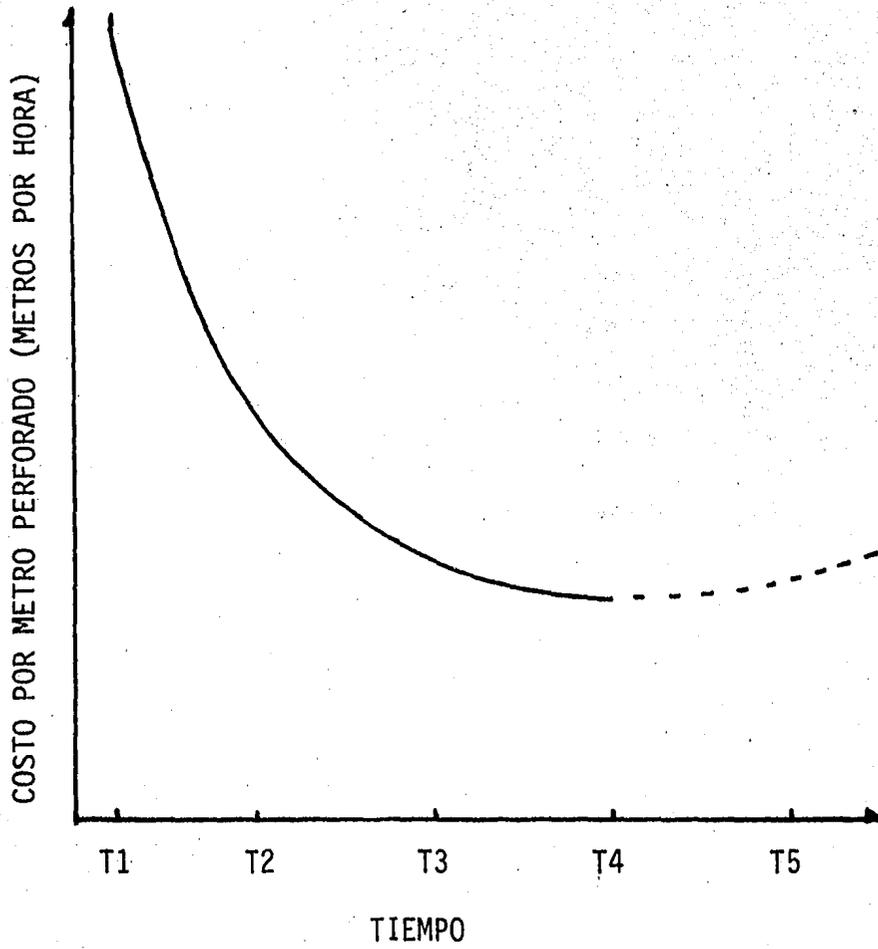
M₂ = Metros esperados por perforar de la siguiente barrena.

$\frac{M}{T}$ = Velocidad de perforación (metros/hora).

En las fórmulas anteriores se hace notar que cuando hay cambios en los tiempos de barrenas, por lo regular, de barrenas de dientes maquinados a barrenas de inserciones de carburo de tungsteno, las velocidades de penetración son diferentes, por lo tanto la velocidad de perforación se puede hacer variar conforme convenga para aplicarse en la ecuación VIII.3.

Este tipo de cálculos se vuelven muy importantes en pozos que requieren muchas barrenas para alcanzar la profundidad programada o final.

Las barrenas de inserciones de carburo de tungsteno con chumacera, sello y autolubricantes, son de las más caras que existen actualmente en el mercado, pero se justifican por durar más horas y perforar más metros.



GRAFICA DE COSTO POR METRO PERFORADO VS. TIEMPO

FIGURA VIII.1

CAPITULO IX

**SELECCION DE BARRENAS CON BASE
EN COSTO POR METRO PERFORADO**

C A P I T U L O IX

SELECCION DE BARRENAS CON BASE EN COSTOS POR METRO PERFORADO

En la perforación de pozos, el costo final de perforación, dependerá principalmente de la adecuada selección y condiciones de operación de las barrenas.

El trabajo de la barrena en un momento dado depende fundamentalmente de las características de perforabilidad de la roca que se está perforando.

La eficiencia del trabajo de la barrena en cuanto a costo no se puede conocer en ese momento ya que la combinación de parámetros de operación fundamentalmente peso sobre la barrena y revoluciones por minuto, seguramente no será la óptima. Esto significa que no se puede saber en ese momento como incrementar la eficiencia de la perforación, así como tampoco se puede anticipar cambios en las características de la formación que se perfora, que obligaría a nuevos ajustes en los parámetros de operación.

Dados estos factores de insertidumbre y el hecho de que -- las barrenas se tienen que seleccionar y adquirir con bastante anticipación a su uso, resulta lo más eficaz elaborar programas que contemplen marcas y tipos de barrenas con base en datos estadísticos del área correspondiente, adecuadamente interpretados.

Suponiendo que en un campo se tiene de un grupo de pozos perforados, una cierta cantidad de barrenas " N_a " obtenidas de un grupo "a" de barrenas, con esta cantidad " N_a " de barrenas se calcula el costo por metro perforado promedio " C_a ". Este mismo procedimiento se emplea para otra cantidad de barrenas " N_b " de un grupo "b" de barrenas del mismo campo obteniendo el promedio " C_b ", suponiendo que " C_a " sea menor que " C_b ", " $C_a < C_b$ ".

Si se tratara de valores ciertos se diría que el grupo "a" es mejor que el grupo "b", pero como " C_a " y " C_b " son magnitudes aleatorias debido a que fueron obtenidas en condiciones de trabajo diferentes pero en las mismas capas, se debe ver si la diferencia no se debe a que por azar, las condiciones de perforabilidad hayan favorecido al grupo "a".

Ya que a " C_a " y " C_b " se les puede calcular la probabilidad de que estén comprendidas dentro de un intervalo de confianza basado en métodos de cálculo estadístico y fijando un nivel de confianza predeterminado, podrá definir cual de los dos grupos es mejor.

Para que el análisis tenga un sentido práctico, es necesario que las barrenas de los 2 grupos hayan trabajado en el mismo campo y en condiciones tan vecinas como sea posible para que la comparabilidad sea factible.

Debido a que la dureza de la formación, aún homogénea, aumenta con la profundidad no sería factible comparar costos por metro perforado a diferentes profundidades; el análisis se basará en la correlación de la variación del costo por metro perforado conforme aumenta la profundidad. Si se grafica el "Costo por Metro Perforado Vs. Profundidad" como se observa en la fig. IX.1; se podrá observar que sigue una ley exponencial; esta curva tiene la particularidad de no pasar por el origen.

La ecuación para este tipo de curva es:

$$Y = 2C^{mx} \quad \text{-----ec. (IX.1)}$$

Para poder facilitar el análisis conviene convertir esta curva en una recta, fig. IX.2; ésto se logra pasando a logaritmos la ecuación y tomando arbitrariamente $C = 10$, por lo que tendremos:

Log. Y = mx + Log. a -----cc.(IX.2)

Con esta ecuación se podrá determinar más fácilmente el valor de "Y" (Costo por metro perforado), partiendo de "X" (profundidad) utilizando el método de mínimos cuadrados.

Si la hipótesis sobre la ley de variación del costo por metro perforado contra la profundidad es correcto, se deberá observar la dispersión en coordenadas semi-log. como rectas escalonadas, fig. IX.3.

Si no se aprecia esta distribución, es un indicador de que la profundidad topográfica no correlaciona correctamente el costo por metro, esto es debido a una pronunciada variación de las capas geológicas con respecto a la profundidad. En este caso se estudiarán por separado las barrenas que trabajaron en cada una de las capas atravesadas. Lo anterior se logra tomando un pozo de referencia y corrigiendo la profundidad de los demás pozos.

Obteniendo el costo por metro perforado "Y" con la ecuación:

CT = (B + R (t + T)) / M ec(VII.I)

Se obtendrá el log. "Y" con el fin de poder graficar log "Y Vs. X" para determinar si el lineamiento de la faja de dispersión cubre la totalidad del intervalo, fig. IX.4.

Es importante notar que el coeficiente angular de la recta debe ser positivo, en caso contrario se debe a que la profundidad correlacionante ha sido mal elegida o la profundidad topográfica habrá que reemplazarla por la profundidad correlacionante. Generalmente se alcanzará una solución aceptable, pero en caso de no ser así, se debe a que hay una variación sistemática de algún parámetro, como por ejemplo: el lodo de perforación, en este caso ese intervalo será eliminado, fig. IX.4.

Por apreciación visual de la gráfica log. "Y Vs. X", fig. IX.2; se eliminarán los puntos no representativos de la recta.

Como es conveniente manejar números prácticos, el parámetro X (profundidad) se dividirá entre 1000.

$$x = \frac{X}{1000} \quad ; \quad y = \log. Y$$

Para calcular el coeficiente angular "m" y la ordenada al origen "Q" de la recta de regresión se emplean las siguientes ecuaciones:

$$m = \frac{\sum xy - \frac{\sum x \sum y}{N}}{\sum x^2 - \frac{(\sum x)^2}{N}} \quad \text{-----ec. (IX.3)}$$

$$Q = \frac{\sum y - m \sum x}{N} \quad \text{-----ec. (IX.4)}$$

donde Q = log. a

Una vez obtenidos los valores de "m" y "Q", se verificará que el centro de gravedad se ubique en la recta de regresión - obtenida a partir del grupo de valores. La verificación se podrá hacer con la siguiente ecuación:

$$\frac{\sum y}{N} = m \frac{\sum x}{N} + \log. a \quad \text{-----ec. (IX.5)}$$

Para calcular el coeficiente de correlación de cada recta de regresión se emplean las siguientes formulas:

$$r = \frac{m \sqrt{x}}{\sqrt{y}} \quad \text{-----ec. (IX.6)}$$

donde:

$$\sigma_x = \left[\frac{\sum x^2 - \frac{(\sum x)^2}{N}}{N - 1} \right]^{1/2} \text{-----ec. (IX.7)}$$

$$\sigma_y = \left[\frac{\sum y^2 - \frac{(\sum y)^2}{N}}{N - 1} \right]^{1/2} \text{-----ec. (IX.8)}$$

Si el coeficiente de correlación es menor a 0.2, indica una tendencia a la falta de correlación, un análisis detallado de los datos podrá indicar cual es el factor que está afectando el análisis. Una correlación perfecta sería el valor + 1.0, a menos que se trate de un grupo de corridas de barras muy grandes.

Para determinar si este coeficiente no se debe solamente al azar, se determina el valor de la distribución "student t" el cual se obtiene mediante una tabla que correlaciona los conceptos nivel de confianza y t misma que se evalua con la siguiente formula:

$$t = \frac{r \sqrt{n - 2}}{\sqrt{1 - r^2}} \text{-----ec. (IX.9),}$$

en que se considera (n - 2) grados de libertad.

El nivel de confianza en este trabajo se considera del 95%.

Si "N" es el número de individuos (corridas) y " r_c " el coeficiente de correlación calculado para que tenga la significación estadística al nivel de 95% elegido, es necesario -- que "r" sea menor que " r_c ". Los valores de "r" se obtienen de la tabla IX.5.

Por último, se necesitará calcular la faja de confianza de la dispersión al nivel elegido al 95%, o sea, hay que determinar los valores de " $y_{max.}$ " y " $y_{min.}$ " para cada valor de "x" con la probabilidad elegida, con las siguientes formulas

$$y_{max} = m x + \log. a + \log. \epsilon_1 \quad \text{-----ec. (IX.10)}$$

$$y_{min} = m x + \log. x - \log. \epsilon_1 \quad \text{-----ec. (IX.11)}$$

donde:

$$\pm \log. \epsilon_1 = \hat{S}_{y,x} \cdot t / n \quad \text{-----ec. (IX.12)}$$

$$\hat{S}_{y,x} = \sqrt{\frac{(Y - Y_{est})^2}{N}} \quad \text{-----ec. (IX.13)}$$

$$Y_{est} = m \cdot X + \log. a \quad \text{-----ec. (IX.14)}$$

donde:

Y_{est} correspondiente a cada valor de X

Como se trata de calcular " Y_{bmin} " y " Y_{bmax} " con el valor de " X_a ", se cambiarán los valores de "x" y "y" del grupo "a" al grupo "b" y viceversa.

Una vez calculados los valores, la conclusión es inmediata por comparación de magnitudes.

El "criterio F" de Snedecor es necesario para determinar o definir que la comparación de los grupos tiene sentido.

La ecuación IX.15, calcula el valor F el cual es comparado con el valor obtenido de la tabla IX.6, (valores de coeficiente F" de Snedecor) en el que interviene para el nivel de confianza de 95% y el valor del (n - 1) para la variación más grande y la más pequeña.

$$F = \hat{S}_{y,x}^2 \text{ (superior)} \div \hat{S}_{y,x}^2 \text{ (inferior)} \quad \text{-----ec. (IX.15)}$$

Si el valor F de esta formula es menor que el obtenido de la tabla, la comparación de los dos grupos si tiene sentido.

El análisis estadístico es con el fin de que el ingeniero cuente con una herramienta más en la formación de una base sólida en el difícil arte de seleccionar barrenas, teniendo la seguridad de que los costos de perforación no se elevarán, sino todo lo contrario.

Actualmente con la ayuda de mini computadoras, el análisis se efectúa en muy poco tiempo y con un mínimo de errores; inclusive se puede desarrollar en el campo, lo cual es un factor muy importante para el ingeniero.

Hay que tener muy en cuenta que la calidad de un producto, así como las condiciones de operación, con el tiempo van cambiando, por lo que un nuevo análisis posterior podría hacer que el criterio en cuanto a un cierto grupo cambie.

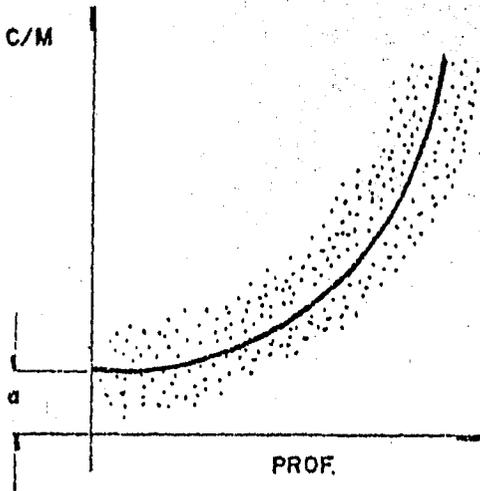


FIGURA IX.1

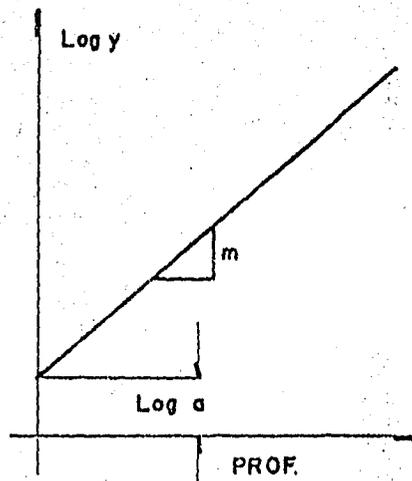


FIGURA IX.2

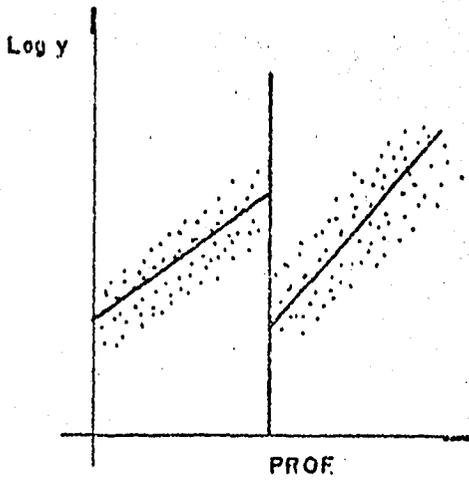


FIGURA IX.3

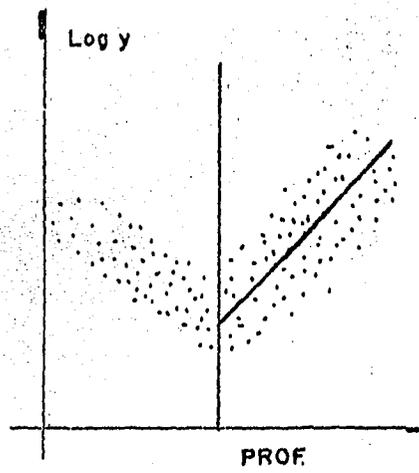


FIGURA IX.4

TABLA

Tabla de coeficientes de correlación mínimo														
N	3	4	5	6	7	8	9	10	15	20	30	40	50	100
r	0.99	0.96	0.89	0.82	0.77	0.73	0.69	0.65	0.52	0.44	0.33	0.31	0.28	0.20

FIGURA IX.5

TABLA

VALORES DEL COEFICIENTE " F " DE SNEDECOR

VALOR DE N-1 PARA EL GRUPO DE VARIANCIA MAS PEQUEÑA	VALOR DEL N-1 PARA EL GRUPO DE VARIANCIA MAS GRANDE							
	1	2	3	4	5	10	20	∞
1	161	200	216	225	230	242	248	254
2	18.5	19	19.2	19.3	19.4	19.4	19.4	19.5
3	10.1	9.6	9.3	9.1	9.0	8.8	8.7	8.5
4	7.7	6.9	6.6	6.4	6.3	6.0	5.8	5.6
5	6.6	5.8	5.4	5.2	5.0	4.7	4.6	4.4
10	5.0	4.1	3.7	3.5	3.3	3.0	2.8	2.5
20	4.3	3.5	3.1	2.9	2.7	2.3	2.1	1.8
∞	3.8	3.0	2.6	2.4	2.2	1.8	1.6	1.0

FIGURA IX.6

BIBLIUGRAFIA.

- Tecnología de la perforación de pozos petroleros.
Mc.Cray y Cole.
- Manual de interpretación y análisis para las unidades de registro continuo y procesamiento continuo de datos de perforación.
Instituto Mexicano del Petróleo.
- Considerations for Rock bit selection and operation.
James H. Allen. Smith Tool, Agosto 1973.
- How to get more Hole from Carbide Insert bits.
Claude K. Garner, Petroleum Engineer. Abril 1972.
- Proposed System Simplifies Rock bit Coding.
J.E.Kastrop. Petroleum Engineer. Marzo 1972.
- IADC standardizes system for identifying rock bits,
E.G.Durrett. World Oil Agosto 1972.
- Optimized Drilling in the '70s,
Compliments of Smith Tool.
- Breakthrough in drilling bits.
George Ives, Petroleum Engineer. Julio 1970.

- Dullis grading Key to bit economics.
Robert A. Jackson, The Oil and Gas Journal. Octubre 1973
- Reading the dull bit Appearance.
Claude K. Garner. Smith Tool.
- Development and application of Journal bearing bits.
Joe H. Cook and F.H.Mc.Elya, Hughes Tool Company,
Marzo 1973.
- Lowest cost-per-foot in ain of own calculation.
Don Murphy, The Oil and Gas Journal. Marzo 1969.
- New bit desings drill hand formations factor.
D.L. Goins and T.B. O'brien, World Oil. Junio 1970.
- Drilling Optimization.
James L. Lummus. Journal of Petroleum Technology.
Noviembre 1970
- Cost per Foot: Kay to economic Rock bit selection.
Drilling DWC, Abril, 1971.
- Metodo de control estadístico de los Trepanos Rotary.
Vladimir Edelberg, Reed International Inc.,
The Oil and Gas Journal, Abril 1961.
- Drilling Cost Chants.
Vladimir Edelberg, Reed International Inc.,
The Oil and Gas Journal. Abril 1961

- \$/ft - best bit performance indicator.
Robert A. Jackson, The Oil and Gas Journal,
Octubre 1973.
- Cost/foot: Key to economic selection of rock bits.
R.A. Jackson. World Oil, Junio 1972.
- Patented July 25, 1972, No. 2,678,883
- How to use the "code of bit condition"
AAODC, Octubre 1963.
- La barrena.
Publics servicio de extensión petrolera, Universidad de
Texas a Austin. 1981.
- Reading the dull bit appearance.
Claude R. Garner. Smith Tool.
- Rock bit design, selection and evaluation,
H.G. Bentson, Smith Tool.
- How to relate bit weight and rotary speed to bit hydraulic
horsepower.
James H. Allen, Smith Tool.
- Bit tips, catalogo volumen 2
Hughes Tool Company.
- Bit, Catalogo.
Smith Tool y Barrenas de México.