

DISEÑO Y CONSTRUCCION DE UNA MAQUINA PERFORADORA DE POZOS DE  
AGUA

PANTALEON ANTONIO FARELO ROMERO

FABIAN ENRIQUE PEREZ VÁRELA

IVAN RAFAEL TOVAR OSPINO

CORPORACION UNIVERSITARIA TECNOLOGICA DE BOLIVAR

FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA

CARTAGENA

2000

DISEÑO Y CONSTRUCCION DE UNA MAQUINA PERFORADORA DE POZO DE  
AGUA

PANTALEON ANTONIO FARELO ROMERO

FABIAN ENRIQUE PEREZ VÁRELA

IVAN RAFAEL TOVAR OSPINO

Proyecto de trabajo de grado presentado como requisito parcial para optar el titulo de  
ingeniero mecánico

Director

HELBERT CARRILLO

Ingeniero Mecánico

CORPORACION UNIVERSITARIA TECNOLOGICA DE BOLIVAR

FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA

CARTAGENA

2000

Cartagena de Indias 9 de Abril de 1999

Señores:

COMITÉ DE EVALUACION DE PROYECTOS

Programa de Ingeniería Mecánica

Corporación Universitaria tecnológica de Bolívar

L.C.

Respetados Señores.

Por medio de la presente nos permitimos presentarles a ustedes para que sea puesto a consideración el estudio y aprobación del proyecto de grado que lleva por nombre “DISEÑO Y CONSTRUCCION DE UNA MAQUINA PERFORADORA DE POZOS DE AGUA”, para poder optar por el título de Ingeniero Mecánico.

Agradeciendo de antemano la atención prestada por la presente.

Atentamente,

PANTALEON A.FARELO ROMERO

COD: 9503352

FABIAN E. PEREZ VÁRELA

COD: 9303049

IVAN R.TOVAR OSPINO

COD: 9203551

Cartagena de Indias 9 de Abril de 1999

Señores:

COMITÉ DE EVALUACION DE PROYECTOS

Programa de Ingeniería Mecánica

Corporación Universitaria tecnológica de Bolívar

L.C.

Respetados Señores.

Por medio de la presente nos permitimos presentarles a ustedes para que se

## **CONTENIDO**

	<b>Pág.</b>
<b>INTRODUCCION</b>	
1. CONCEPTOS BASICOS DE PERFORACION	1
1.1 DEFINICIONES BASICAS	1
1.1.1 CLASES DE POZOS DE SONDEO	5
1.1.2 Pozos de Exploración geológica	6
1.1.3 Pozos de Explotación	7
1.1.4 Pozos Técnicos	7
1.2 PERFORACION DE POZOS DE BUSQUEDA Y EXPLORACION POCO PROFUNDOS	9
	11
2. PERFORACION POR PERCUSION Y ROTACION	12
2.1 PERFORACION DE PERCUSION	12
2.1.1 Procedimientos Manuales	12
2.1.1.1 Barrenos para voladura	12
2.1.1.2 Procedimientos Norton	14
2.1.2 Procedimiento Mecánico	14
2.1.2.1 Martillo de Percusión	17
2.1.2.2 Martillo de fondo	19
2.1.3 Hinca de tubería	26

2.1.4	Perforación por percusión con cable	28
2.2	PERFORACION POR ROTACION	
		29
2.2.1	Procedimientos manuales	29
2.2.2	Procedimientos mecánicos	31
2.2.2.1	Perforación con hélice o tornillo transportador	34
2.2.2.2	Rotary	35
2.2.2.3	Triconos	38
2.2.3	Perforación con tajo anular. Obtención de testigo	42
2.2.3.1	Coronas Widias	43
2.2.3.2	Coronas de diamante	46
3.	PARAMETROS DE DISEÑO	47
3.1	OBJETIVOS DE LA PERFORACION	48
3.1.1	Obtención de muestras testigo ( opcional en el diseño)	48
3.1.2	Prospección y explotación de aguas subterráneas	50
3.2	Clasificación de los suelos	50
3.2.1	Perforabilidad	53
3.2.2	Dureza de la rocas	53
3.2.3	Resistencia unitaria a compresión de la roca	55
3.3	HERRAMIENTAS PARA SONDEAR	56
3.3.1	Coronas de aleación duras y coronas de diamante	58
3.3.1.1	Perforación con coronas de aleación duras	58

3.3.1.2 Coronas de diamante	63
3.3.2 Perforación con Triconos	66
3.3.2.1 Vida de un tricono	67
3.3.2.2 Orificios lavadores	68
3.3.3 Herramientas para perforación por percusión	70
3.4 PARAMETROS CINEMATICOS DE PERFORACION	70
3.4.1 Limites cinéticos para perforación por percusión	70
3.4.1.1 Percusión manual	70
3.4.1.2 Percusión Mecánica	71
3.4.2 Limite cinético para la rotación por percusión	71
3.4.2.1 Velocidades recomendadas para coronas de diamante	75
3.4.2.2 Velocidades recomendadas para perforación con tricono	77
3.4.2.3 Velocidades recomendadas para la perforación con coronas de aleaciones duras	77
	79
3.4.2.4 Perforación rotativa con tornillo transportador	79
3.5 LODOS DE PERFORACION	80
3.5.1 Requisitos que deben cumplir un liquido lavador	80
3.5.2 Clasificación de los líquidos lavadores	81
3.5.2.1 lodos a base de agua	81
3.5.2.2 lodos a base de productos petrolíferos	83
3.5.3 Espumas Estables o Espumantes	86
3.5.4 Velocidades de operación del fluido lavador	87

3.5.5	Procedimientos de lavado	87
3.6	RESUMEN DE LOS PARAMETROS DE PERFORACION	88
3.6.1	Parámetros de perforación	88
3.6.2	Herramientas de perforación	89
3.6.3	Fluido de perforación	90
3.6.4	Cargas axiales y velocidades de las herramienta	90
4.	PARTES DE UN EQUIPO DE PERFORACION POR ROTACION	92
4.1	ASPECTOS GENERALES DE LAS PARTES DEL EQUIPO	92
4.1.1	Plataforma	93
4.1.2	Sistema de elevación	94
4.1.2.1	Torre de elevación	94
4.1.2.2	Malacate	95
4.1.2.3	Sistema de aparejo de poleas	95
4.1.2.4	Equipo de elevación misceláneos	95
4.1.3	Sistema motriz	95
4.1.3.1	Unidad de potencia	96
4.1.3.1	Transmisión	97
4.1.3.2	Mesa rotativa	97
4.1.4	Sarta de perforación	97
4.1.4.1	Tubería de perforación	98
4.1.4.1	Barra kelly	98
4.1.4.2	Lastrasbarrenas	90
4.1.4.3	Brocas o barrenas	99

4.1.5	Sistema de Bombeo (sistema de agua o lodo)	100
4.1.5.1	Bombas	102
4.1.5.2	Inyectores de Agua Giratoria (swivel)	102
5	CALCULOS FINALES DEL EQUIPO DISEÑADO	104
5.1	Potencia de rotación	106
5.1.1	Calculo para la perforación con tricono	107
5.1.1.1	Análisis del fenómeno físico	109
5.2	Selección del motor	109
5.3	Diseño y selección del sistema de transmisión	115
5.3.1	Selección de la caja de velocidad	116
5.3.2	Selección de la mesa rotativa	116
5.4	Selección de los componentes de la sarta	117
5.4.1	Selección de las brocas o barrenas	118
5.4.2	Selección de la tubería de perforación y sus acoples	119
5.4.3	Selección del lastrabarrenas	119
5.4.4	Selección de la barra kelly	119
5.5	Selección de los diferentes elementos del sistema de elevación	121
5.5.1	Selección del swivel (Gancho giratorio)	121
5.5.2	Selección de la roldana de maniobra o polea viajera	129
5.5.3	Selección y diseño del cable, tambor y polea de elevación	137
5.5.4	Mecanismo de elevación (Diseño)	147
5.6	Selección de la bomba	147
6	Presupuesto del diseño	148

6.1	Presupuesto	148
6.1.1	Costos directos	148
6.1.2	Costos indirectos	149
6.2	Otros costos indirectos	150
6.3	Costo total del diseño	
6.3.1	A.U.I	
7	Conclusión	
8	Recomendaciones	

## BIBLIOGRAFIA

## ANEXOS

## **INTRODUCCION**

El objetivo de este proyecto es aportar una síntesis de la investigación llevada a cabo con el fin de diseñar, calcular y construir un equipo de perforación, para sondear pozos de inspección y explotación hidrológica.

Las razones que motivaron este estudio fueron: El insuficiente abastecimiento de agua a regiones marginadas y alejadas de los centros de distribución en todo el país y en particular de nuestro departamento. Finalmente la dificultad de importación de equipos de perforación, invita a desarrollar una tecnología con recursos nacionales que suplan las anteriores necesidades.

En el diseño se hace énfasis en el cumplimiento de los parámetros de la maquina, pues es allí donde se puede observar el resultado de la investigación con el fin de construir y adaptar un equipo adecuado para nuestra región.

# **1. CONCEPTOS BASICOS DE PERFORACION**

## **1.1 DEFINICIONES BASICAS**

Se llama "perforación de pozos" el conjunto de trabajos para realizar excavaciones de sección redonda en la tierra o en una construcción, por medio de equipos técnicos especiales sin que haya acceso del hombre a dichas excavaciones.

El tipo de agujero depende del fin que se persiga; es muy distinto un agujero petrolífero a uno efectuado para reconocimiento del suelo, por lo tanto, es muy variada la maquinaria que deberá emplearse en uno u otro caso, así como la técnica a seguir.

La perforación de pozos distingue dos conceptos a saber: La técnica y la tecnológica de perforación.

La técnica de perforación incluye los conocimientos sobre los medios técnicos para perforar pozos.

La tecnológica consiste en el dominio de los conocimientos que estudia los procesos tecnológicos debido a los cuales se perforan los pozos.

Se define como pozo de sondeo a una excavación minera cilíndrica que se construye sin el acceso del hombre a ella y que tiene el diámetro varias veces menores que su longitud.

El diámetro de los pozos varia según su aplicación desde 16 a 1500mm; la profundidad puede variar desde unos pocos metros hasta varios miles de metros. La profundidad de los pozos para obtener petróleo y gas ha alcanzado hasta 9550 m.

La reducción del diámetro de sondeo con intervalos de 1.5, 3 o 6 m es una norma cuando se perforan pozos de explotación. El diámetro inicial no pasa de 900 mm y el final rara vez es inferior a 76 mm, con el fin de colocar una columna de entubación.

La perforación de pozos se puede realizar desde la superficie terrestre, excavaciones mineras subterráneas, o desde la superficie de los depósitos de agua.

Los elementos de un pozo de sondeo son:

- Boca (1): Es el origen del pozo.
- Paredes (2): Son las superficies cilíndricas.
- Eje (3): Línea imaginaria que une los centros de las secciones transversales.
- Fondo (4): La parte mas baja.
- Tajo del pozo (5): Es el fondo de éste que se desplaza por la acción de la herramienta. La distancia desde la boca hasta el fondo por el eje de la

excavación determina la longitud del pozo y, por la proyección del eje en la vertical, su profundidad.

- Tubería de revestimiento (6): Es una columna de entubación concéntrica que se destina para fijar las paredes del pozo. Si las paredes son de rocas firmes, la tubería de revestimiento no es necesaria.

Según el método de excavación del fondo de perforación de los pozos se divide en perforación sin testigo y con corona sacatestigos.

En la perforación sin testigo de sondeo, la roca se tritura por toda el área del fondo, (ver fig. 1.a) en forma de círculo.

La perforación con corona sacatestigo destruye la roca por el fondo anular conservándose el testigo de sondeo (5). (véase fig. 1.b).

El testigo de sondeo (7): Es la muestra del suelo originada por la desagregación anular del tajo del pozo. Después de perforada la muestra de sondeo ésta se desprende del tajo y se extrae del pozo para investigarla y confeccionar el corte geológico del terreno.

## 1.2 CLASES DE POZOS DE SONDEO

Todos los pozos que se perforan tienen un propósito determinado; investigar geológicamente la región, efectuar búsqueda, exploración y/o explotación de yacimientos minerales, por este motivo se han clasificado en tres grandes categorías a saber:

1.2.1 Pozos de exploración geológica. Se perforan para estudiar la estructura geológica, investigar la presencia de yacimientos minerales.

Los pozos de exploración geológica se subdividen según su destino en las siguientes variedades:

- Los pozos cartográficos, se perforan para realizar levantamientos geológicos y confeccionar mapas donde las rocas están recubiertas por depósitos aluviales.
- Los pozos de búsqueda, sirven para establecer la presencia o ausencia de algún mineral.
- Los pozos de prospección, útiles para determinar las reservas de mineral en un yacimiento dado.
- Los pozos hidrogeológicos, útiles en el estudio de aguas subterráneas, las condiciones de su concentración, posible rendimiento y composición química.
- Los pozos artesianos: se perforan para obtener aguas intersticiales a presión.
- Los pozos ingeniero-geológicos: se perforan para destapar horizontes superiores de la corteza terrestre con el fin de confeccionar cortes geológicos, y realizar ensayos de propiedades físico-mecánicas útiles en la industria de la construcción.
- Los pozos sísmicos: Con el fin de efectuar explosiones subterráneas, y con ayudas de sismógrafos, determinar la profundidad y la inclinación de filones.
- Los pozos paramétricos, destinados para estudiar detalladamente la estructura geológica del corte, sobre todo a grandes profundidades en posibles zonas de acopio de petróleo y gas natural.
- Los pozos estructurales: Sirven para estudiar los elementos de estratificación (potencias, ángulos de buzamiento y dirección) de las capas, el carácter del yacimiento y determinar la edad de las rocas que integran el corte.

- Los pozos de apoyo, utilizados para evaluar con anticipación las perspectivas de presencia petrolífera y gasífera.

1.2.2 Pozos de explotación. Se perforan en el yacimiento totalmente explorado y preparado para la extracción de minerales líquidos (agua potable o mineral, petróleo) y gaseosos. Existen las siguientes variedades:

- Pozos de toma del agua para ser suministrada a sectores en donde es de difícil consecución.
- Pozos de petróleo y gas natural para la extracción de estos minerales.
- Pozos de gasificación subterránea del carbón con el fin de obtener gases combustibles.
- Pozos de extracción de salmueras
- Pozos geotecnológicos, se operan para la desagregación hidrodinámica de las rocas que contienen minerales.

1.2.3 Pozos técnicos. Perforados para diversos fines técnicos, tales como:

- Los pozos de explosión destinados para colocar carga explosiva y separar el mineral de las rocas
- Los pozos manuales y de mina
- Los pozos de congelación del suelo: Su objetivo es poder congelar las rocas acuíferas antes de que éste se excave.

- Los pozos para consolidar los terrenos: Para inyección de cemento, distintas resinas o vidrio líquido.
- Los pozos de drenaje: Con el fin de bajar el nivel de las aguas subterráneas.
- Los pozos de desagüe: En la evacuación de agua en un horizonte subterráneo
- Los pozos de inyección: Útiles en la impulsión de agua, aire o gas de petróleo, con el propósito de ejercer presión sobre el petróleo y aumentar el flujo de este mineral al pozo de explotación.
- Los pozos de observación: Se construyen para llevar a cabo el control sistemático de los cambios de presión.
- Los pozos auxiliares: Para labores de apoyo en una excavación difícil de elaborar.

El principal objetivo del presente proyecto es el diseño y construcción de un equipo de perforación para alcance medio y útil en la prospección de aguas subterráneas, como en la obtención de muestras testigo; ; por lo tanto, de acuerdo con la anterior clasificación de los pozos de sondeo, este estudio se ubica en la primera categoría de pozos o sea "pozos de exploración geológica" y más específicamente en dos subgrupos de dicha categoría, estos son: Los pozos de búsqueda y los pozos hidrogeológicos.

### **1.3 PERFORACION DE POZOS DE BUSQUEDA Y EXPLORACION POCO PROFUNDO.**

Los pozos de profundidad hasta de 60 metros, han obtenido la máxima difusión al efectuar labores de exploración geológica, en la búsqueda de metales no ferrosos y raros, en las prospecciones ingeniero-geologicos e hidrogeologicos, así como también al construir pozos poco profundos para obtener agua.

Para la exploración de algunos minerales sólidos se recomienda excavar los pozos con diámetro de 46 a 93mm aplicando la perforación de tajo anular (con testigo).

Durante la prospección de materiales de construcción y de materia prima se perforan pozos de diámetro entre 93 a 200mm.

La prospección de oro y platino se realiza por pozos de diámetro 150 a 200mm, a condición de que los datos se verifiquen por labores en los pozos a mano.

Al realizar investigaciones ingeniero-geologicas se perforan de modo prevaleciente pozos de diámetro 112 a 219mm.

En las prospecciones hidrogeologicas los diámetros de los pozos se determinan por las dimensiones de los equipos de elevación de agua y oscilan en los limites de 100 a 219 o mas.

Los diámetros de los pozos de explotación para obtener agua se determinan por el rendimiento requerido y comúnmente no son menores de 168 a 300mm.

La mayoría de estos pozos se perforan en diferentes suelos no consolidados, blandos y de solidez media. Estos suelos son propensos al derrumbe. Se choca con rocas tipo de arena fluente. Por eso, en el proceso de profundización es necesario consolidar el pozo con los tubos de revestimiento. En este caso, pese a la pequeña profundidad, el pozo puede tener una, dos o tres columnas de tubería de revestimiento, mientras que el diámetro inicial del pozo supera considerablemente el diámetro final.

En cuanto a los métodos de desagregación de las rocas del fondo, se puede destacar los siguientes grupos principales de equipos de perforación para el sondeo de exploración poco profundo.

- Equipos ligeros de perforación por percusión con cable.
- Instalaciones de perforación rotatoria sin lavado con tornillo transportador de roca desagregada.
- Instalaciones de sondeo por vibración y vibropercusión.
- Para excavar pozos poco profundos en las rocas duras se aplica la perforación rotatoria de corona. Este método se examinará en el siguiente capítulo.

## **2. PERFORACION POR PERCUSION Y ROTACION**

Se puede desagregar las rocas por procedimientos mecánicos, térmicos y físico-químicos, por chispeado y otros métodos. Sin embargo, solamente los métodos mecánicos de desagregación de la roca encuentran aplicación industrial.

La desagregación mecánica de la roca se realiza utilizando la fuerza muscular del hombre (perforación manual) o motores (perforación mecánica). La perforación manual a veces se usa durante la prospección ingeniero-geológico y la construcción de pozos hasta de 15 metros, y diámetros entre 25 y 200 milímetros, para la obtención de agua.

La perforación mecánica se efectúa por percusión, rotación y por doble efecto de percusión y de rotación, de acuerdo como trabaje la herramienta que se emplea para hacer el agujero.

Si la herramienta va haciendo el agujero golpeando contra el fondo de él, se dice que el sondeo es por percusión.

Si lo hace sin golpear, sino girando sobre el fondo, se dice que es un sondeo de rotación.

## **2.1 PERFORACION POR PERCUSION**

los sondeos a percusión, a excepción de la hincada de tubos, se emplea cuando no interesa obtener una muestra cilíndrica del terreno, llamada testigo. Existen diversos procedimientos para esta clase de perforación que se pueden clasificar en:

### 2.1.1 Procedimientos manuales.

2.1.1.1 Barrenos para voladura. Se hacen a mano, golpeando sobre una barrena a la vez que se gira después de cada golpe. De vez en cuando hay que parar para sacar el detritus con una cuchara. Es conveniente echar un poco de agua en el fondo, para facilitar el quebramiento de la roca.

Este procedimiento se emplea en pequeñas obras, como pozos de agua en pequeñas fincas. El número de golpes por minutos de jornada de ocho horas y maza de unos 3 Kg, puede ser de unos 20 en granito semiduro.

2.1.1.2 Procedimiento Norton. Se emplea para buscar agua en terrenos poco coherentes que no contengan trozos de roca grande. Se puede alcanzar una profundidad de unos 30 metros.

El equipo de perforación consta de una zapata cónica roscada a un tubo roscado de unos 6mm de espesor. El tubo esta perforado lateralmente con el objeto de dejar pasar el agua del terreno a la parte interna del tubo como se ve en la figura 3.

La zapata con el tubo se introduce en el terreno, al ser golpeado por una maza, cuyo peso puede variar entre 30 y 100Kg, dependiendo de la naturaleza del terreno y del diámetro del tubo a emplear. La maza, de forma cilíndrica desliza sobre una varilla que le sirve de guía y golpea sobre una reducción roscada a la tubería.

## 2.1.2 Procedimientos mecánicos

2.1.2.1 Martillos de percusión. Manualmente el número de golpes que se puede lograr es muy bajo (20 golpes/minuto), comparado con los martillos de percusión que hace el mismo trabajo en forma rápida y automática lográndose hasta 5000 golpes/minuto.

El giro de la barrena se hace automáticamente, girando después de cada golpe cierto ángulo y la expulsión de detritus se efectúa mecánicamente, sin necesidad de sacar la barrena.

Estos martillos pueden ser neumáticos o hidráulicos.

Un martillo neumático tiene un pistón de acero y una barrena que determina en un corte. La energía procedente del pistón se transmite al mango de la barrena, llegando a través de su corte, bajo forma de percusiones. (ver figura 4)

El movimiento del pistón se consigue mediante la inyección de aire comprimido, que a su vez, tiene la misión de retornarle a su punto de partida, una vez liberada la energía que se le comunico y dejarle en condiciones de efectuar un nuevo recorrido útil.

Entre dos percusiones consecutivas la barrena y corte giran un determinado ángulo, por lo que el ataque a la roca se realiza sobre toda la sección del agujero.

Martillos hidráulicos se diferencian con el anterior, es que en lugar de ser aire comprimido el medio de producir la energía se utiliza un líquido suministrado a gran presión (ver figura 5).

Existen algunas ventajas en estos martillos comparados con los neumáticos, por ejemplo:

- En un martillo hidráulico puede aprovecharse mayor porcentaje de energía para producir el impacto.







- Las conducciones de aire comprimido tienen pérdidas de carga y fugas, lo cual disminuye el rendimiento energético.
- El martillo hidráulico tiene una velocidad de avance perforando, superior al neumático.
- El nivel de ruido es inferior en el hidráulico.

2.1.2.2 Martillos de fondo. Trabajando con un martillo neumático normal, el impacto en el fondo se va amortiguando cada vez mas según la longitud del agujero. Las varillas absorben parte del choque. Para conservar la misma energía seria necesario ir aumentando el tamaño del martillo y como consecuencia, el diámetro de las barras de empalme.

La mejor solución consiste en utilizar un martillo más pequeño y meterlo por el agujero que se va haciendo, por medio de una sonda.

Al golpear el martillo directamente en el fondo del agujero, los sondeos se desvían menos. El ruido que se produce es también menor que en un sondeo con martillo en el exterior. La cantidad de aire es aproximadamente la tercera parte.

El martillo normal tiene ventaja sobre el de fondo en sondeos cortos (15 m) y con diámetros pequeños (menor de 50 mm), ya que por estar en el exterior puede ser menos voluminoso, y por lo tanto más potente que el de fondo.

Los martillos de fondo, como todos los procedimientos de percusión, tienen su principal empleo en rocas duras. Si se perforan rocas blandas que sean arcillosas, el martillo avanza muy poco.

2.1.3 Hince de tubería. En obras publicas es preciso efectuar pequeños sondeos de reconocimiento del terreno en suelo poco coherente. Eso se consigue hincando en el terreno una columna de tubos cuyas longitudes varían de 1 a 3 mm.

El primer tubo va provisto de una zapata cortante, cuyo bisel puede ser exterior o interior del tubo según que no importe se comprima o no la muestra del terreno que va entrando en el tubo.

El equipo necesario para hincar estos tubos se compone de un pequeño castillete o trípode, una maza de unos 100Kgs de peso y una cabeza de cabestrante accionada por un motor de 10 C.V.

La maza se maniobra por medio de una cuerda de manila de una pulgada, la cual después de pasar por la polea del castillete de dos o tres vueltas a la cabeza del cabestrante. Tensando el extremo de la cuerda, la cabeza actúa por rozamiento sobre la cuerda y eleva la maza.

Aflojando el extremo de la cuerda, la maza cae libremente y produce un impacto sobre la reducción roscada a la parte superior de la tubería. Esta maza va guiada por una varilla que se enrosca a la misma reducción. Con el objeto de no tener un consumo excesivo de

cuerdas es conveniente que la cabeza del cabestrante este lo suficientemente refrigerada, lo que se consigue en principio haciendo de paredes delgadas la cabeza, y mejor aun organizando un circuito de refrigeración por agua.

El ensayo normalizado de penetración, proporciona una idea de la magnitud para conocer la resistencia de un suelo y compararla con otra conocida es el numero de golpes que hay que dar para introducir un tubo en el terreno.

El equipo utilizado para realizar este ensayo es el mismo que para el hincado de tubería.

El tubo es el tomamuestras de 2"x1/3/8" con tubo bipartido.

l golpe es el producido por la maza de 63.6 Kg cayendo desde una altura de 76.2 cm.

La longitud que hay que profundizar golpeando es de 30cms.

El numero de golpes que hay que dar para que el tubo avance 30 cm es la medida de penetración.



Para realizar la prueba se comienza por limpiar el fondo del agujero. A continuación se introduce el tubo. Se dan unos golpes pequeños para asentarlo. Se hace una marca en la varilla con punto de referencia fijo, que puede ser el extremo de la tubería. Otra marca mas arriba y una al final a 30 cm de esta última.

Se comienza a golpear dejando caer la maza desde 7602 cm en caída libre hasta que se ha introducido los primeros 15 cm. A partir de este momento se comienza a contar los golpes hasta que se han introducido los 30 cm restantes. Si hubiese que dar mas de 100 golpes se suspende la prueba.

Tanto para esta prueba como la toma de muestras por hinca, hay que hacerla empleando un tubo de 2"x13/8" en suelos formados por arena, limos y arcillas.

Cuadro 1. Interpretación de resultados en un ensayo normalizado de penetración.

SUELO	DESIGNACION	NUMERO GOLPES	CARGA APLIC. Kg/cm <sup>2</sup>
Arena y Limo	Muy suelta	0-4	Menor 0.2
	Suelta	0-10	0.2-1.1
	Media	11-30	1.1-2.9
	Compacta	31-50	2.9-5.1
	Muy compacta	más de 50	5.1-6.3
Arcilla	Muy blanda	0-2	Menor 0.27
	Blanda	3-5	0.27-0.55
	Media	6-15	0.55-2.2
	Firme	16-25	2.2-4
	dura	más de 25	4-8.8

Los anteriores resultados se obtuvieron utilizando un tubo de 2"x13/8"; una maza de 63.6 Kg y 76.2 cm de caída.

Cuadro 2. Clasificación de suelos según ensayos de penetración normalizados.

CLASE	TIPO DE TERRENO	CARGA MAX. Kg/cm <sup>2</sup>
1	Lechos masivos de rocas cristalinas, granitos.	100
2	Rocas blandas; lechos rocosos de rocas blandas como pizarras, areniscas, calizas.	14
3	Roca de arenisca muy compacta.	11
4	Mezcla de arena y grava compacta.	6.6
5	Gravas firmes; arcilla compacta; mezcla de arcilla y arenas muy compactas.	5.5

6	Grava suelta; arena gruesa compacta.	4.4
7	Arena suelta de grano grueso o medio; arena fina compacta; arcilla firme; mezcla arena y arcilla firme.	3.3
8	Arena fina firme; limos compactos inorgánicos; arcillas medias.	2.2
9	Arenas finas sueltas; limos inorgánicos firmes.	1.65
10	Suelos de arena y arcilla; limos arcillosos inorgánicos sueltos	1.1

2.1.4 Perforación por percusión con cable. Al perforar pozos de profundidad hasta de 30 metros en rocas no consolidadas y movedizas obtuvo difusión una de las variedades del sondeo por percusión con cable: La perforación con empleo de herramienta especial (barreno cebado de hincar, casquillos de percusión, tubos de fondo de válvula plana) que asegura la desagregación simultánea de la roca por el fondo anular y la extracción de muestras con la estructura poco perturbada a la superficie. Los equipos de perforación ligeros que funcionan por dicho método, tienen estructura sencilla. (ver figura 11).

El órgano de trabajo principal de estos equipos es el malacate de fricción o planetario de capacidad de carga 500-1000 Kgf y con una velocidad de arrollamiento del cable sobre el tambor de 0.5-1.2 m/s.

El accionamiento del malacate se realiza por un motor de combustión interna de potencia 4-6 Kw.

Las instalaciones se equipan con un mastil ligero o trípode de altura 3-6 m. No tienen mecanismo percutor especial.

La masa de los equipos oscila en los límites de 250-1200 Kg

Para la perforación en rocas blandas con frecuencia se emplean los casquillo-barrenos fallidos de percusión.

El barreno fallido, unido con la varilla de sondeo con ayuda del malacate se eleva sobre el fondo del pozo a una altura de 0.6-1.2 m y se deja caer libremente. La frecuencia de percusión es de 15-20 golpes/minuto.

Los tipos de barrenas para la perforación por percusión con cable son las que se ven a continuación.

## 2.2 PERFORACION POR ROTACION

Durante la perforación rotativa desagregación de la roca ocurre a consecuencia de la influencia simultánea de la carga y el momento torsional sobre el trépano. Bajo la acción

de la carga, el trépano se introduce en la roca, hendiéndola bajo la influencia del momento torsional.



Existen dos métodos de perforación rotativa: Procedimientos manuales y procedimientos mecánicos.

2.2.1 Procedimientos manuales. Se emplean en perforación de terrenos poco coherentes o de baja dureza. Se utilizan taladros y barrenas (tipo tornillo transportador) de diversas formas, que permiten desagregar el terreno y subir el detritus hasta la superficie.

En suelos ligeramente coherentes se pueden lograr sondeos hasta de unos 10 metros y de 30 a 40 mm de diámetro.

2.2.2 Procedimientos mecánicos. Se entiende por procedimientos mecánicos, aquellos que utilizan un motor para entregar la energía necesaria para hacer girar la herramienta. Un equipo de estas características estará compuesto fundamentalmente por:

$$\text{Util cortante} \left\{ \begin{array}{l} \text{Tubo testigo} \\ + \\ \text{Barra de carga} \end{array} \right. + \text{Varillas} + \text{Sonda} + \text{Giratoria de} + \text{inyección} \left\{ \begin{array}{l} \text{Bomba} \\ \text{o} \\ \text{Compresor} \end{array} \right.$$

De la obtención o no de muestras testigo, se define la clase de herramienta a emplear la cual utilizara cierto tipo de varilla.

La broca es la encargada de cortar la roca. Si se quiere obtener testigo se debe emplear corona de diamante o widias sacatestigo, que ira roscada al tubo testigo. Si no se quiere obtener testigo se emplea una corona de diamantes maciza, un tricono, o un trépano de aletas.

Cuando el diámetro de la perforación es mayor de 100mm, se deben emplear barras de

a para dar empuje axial a la herramienta de corte. Si el sondeo es poco profundo (50 m) en agujeros de diámetro grande (9"), el empuje axial lo puede suministrar la propia sonda.

Las varillas cumplen dos misiones importantes:

- 
- 
-

- iento de rotación que le entrega la cabeza de perforación desde afuera del agujero.
- Permitir el paso interior del agua (lodo) hasta el borde cortante de la corona, con el fin de refrigerarla y expulsar al exterior, por el espacio anular, entre el diámetro del agujero y el diámetro exterior de las varillas, las partes desagregadas de las rocas (detritus).

El aumentar el diámetro de las varillas es siempre una ventaja para realizar la perforación porque:

- Da mayor robustez. Menor número de tubería averiada.

- Menor pérdida de carga al pasar el fluido por su interior.
- Mayor velocidad de ascenso del detritus.
- Sondeo siempre mas limpio.

Se llama sonda la maquina encargada de hacer girar la tubería. Consta de un cabestrante, que permite introducir o extraer la tubería con ayuda de una estructura metálica llamada torre de perforación.

En investigaciones mineras, el empuje axial sobre la herramienta lo crea la sonda. En el método Rotary (mesa de perforación) para perforaciones de pozos de petróleo o gas el empuje se da por medio de barras de carga.

Después de la sonda viene la giratoria de inyección o swivel, que sirve de unión, entre la manguera de impulsión de la bomba y las varillas, de modo que se permita el giro de estas sin girar la manguera.

Finalmente viene la bomba de lodos o compresor, cuya misión es refrigerar la herramienta cortante, corona o tricono, y elevar el detritus que se producen, a la superficie.

En capítulos posteriores se analizará más detalladamente cada uno de los componentes de estos equipos.

Algunos tipos de perforación rotativa pueden ser:

2.2.2.1 Perforación con hélice o tornillo transportador. La importancia de la perforación rotativa de entornación por tornillo sinfín radica en que la roca desagregada por el trépano (broca) se eleva a la superficie al mismo tiempo que se profundiza, sin necesidad de bomba de lodos o compresor.

La hélice o barrena helicoidal se forma por una banda de acero, la cual compacta las paredes del agujero, ayudando a su sostenimiento. Si se emplea helicoidales huecas es factible tomar muestras por su interior y la misma hélice hace de tubería de revestimiento. Un esquema de la herramienta utilizada se representa en la figura 13.

Los vástagos de tornillos transportadores van de 1 a 3 metros, y los diámetros oscilan en los límites de 75-300mm.

La gran desventaja de este método consiste en el limitado campo de aplicación, es decir, solo se puede emplear en terrenos sedimentarios blandos y en zonas de grava no cementadas, y terrenos poco consolidados. Normalmente la profundidad que se puede alcanzar es de unos 30m.

La perforación en arcilla compacta es poco eficaz a causa de la formación de tapones en el trépano y en los tornillos transportadores.

La perforación en rocas duras va acompañada de una carga axial forzada sobre el trépano de 8000 a 10000 N, y con frecuencias de rotación bajas de 80 a 130 r.p.m.

#### 2.2.2.2 Rotary.

Se emplea para hacer agujeros verticales con diámetros más grandes que los empleados en investigaciones mineras.

Se emplean triconos que son herramientas formadas por tres conos dentados que al rodar sobre el fondo del agujero van rompiendo la roca, aunque en ocasiones hay necesidad de emplear coronas de diamante.

El movimiento de rotación se origina por una pieza hueca de sección cuadrangular hexagonal, animada por un movimiento rotativo. A través de ella se desliza una varilla que exteriormente es de igual sección. Esta varilla especial recibe el nombre de barra de arrastre (Kelly). En la parte superior se conecta la giratoria de inyección y en la inferior el tren de varillas.

El peso sobre la corona o tricono se da por medio de una serie de barras especiales llamadas lastrabarras o barras de carga.

En capítulos posteriores se hablara detenidamente sobre los elementos que se emplean en este método.

2.2.2.3 Triconos. Es la herramienta que se emplea casi exclusivamente en la perforación Rotary.

Salvo en caso de que haya necesidad de perforar rocas muy duras a partir de cierta profundidad se dejaría de emplear y entrarían en competencia las coronas de diamante y vidias de tungsteno.

En la figura 15 puede verse un corte esquemático de un tricono.

El tricono está formado por tres conos que tienen cada uno anillos dentados.

Al girar el cuerpo del tricono con el tren de perforación, los conos ruedan en el fondo del agujero y con sus dientes deshacen la roca.

Cuando la perforación se realiza en terreno blando, se utilizan triconos en los cuales los ejes de los conos no pasan por el eje de rotación del tren de perforación, lo cual hace que los dientes no rueden solamente sino que también deslizan y arrancan un trozo de terreno. (Véase figura 16).

En cambio cuando la roca es dura este descentrado es casi nulo, entonces los dientes del cono rompen el terreno por impacto.

En el capítulo 3 se tratará lo referente a la selección de triconos de acuerdo con el trabajo a realizar y el terreno a perforar.

2.2.3 Perforación con tajo anular. Obtención de testigo. El sondeo de tajo anular es el medio técnico principal de prospección de los yacimientos de minerales explotables sólidos.

Por este método se pueden perforar pozos de pequeña sección y de exploración.

Su amplia difusión se debe a las siguientes razones:

- Permite extraer del pozo columnas de la roca, llamadas testigos de sondeo.

- Se pueden perforar pozos de pequeña sección a gran profundidad empleando equipos relativamente ligeros.
- Se pueden perforar pozos bajo diferentes ángulos y con distintas herramientas cortantes en rocas de resistencia y dureza cualquiera.

El esquema de una instalación de sondeo de tajo anular se observa en la figura 17 y recibe el nombre de perforación con husillo.

Una perforación para obtener tajo anular se realiza de la siguiente manera:

Mediante el malacate, se baja el dispositivo de sondeo ensamblado tal como se observa en la figura 17. Todas las partes se unen entre sí con empalmes de rosca.

El tubo de sondeo superior conductor, pasa por el husillo rotator de la maquina perforadora y se fija con mandriles. En su extremo superior se enrosca la cabeza giratoria y a ella unida la manguera de inyección con la bomba de sondeo. Con el sistema de lavado y estando en giro la corona se llega hasta el tajo y se empieza la perforación.

El lodo de lavado limpia el tajo, refrigera las cuchillas de las coronas y transporta las partículas de roca desde el tajo hacia la superficie. El lodo es aspirado por la bomba de sondeo desde el tanque de lodos y se inyecta al tajo por una manguera impelente.

Una vez lleno el tubo sacatestigo, se inicia la subida de la herramienta, pero antes debe ser acuñado en la parte inferior del dispositivo portatestigos y arrancado.

Después de acuñado el testigo, se desconecta la bomba y el dispositivo de sondeo y por medio del malacate se sube la tubería a la superficie, desenroscándose la sarta de tubería en tramos aislados. La longitud de estos tramos está limitada por la altura de torre de sondeo.

En el sondeo a rotación puede obtenerse testigo, cualquiera que sea la dureza de la roca.

En general puede decirse que el sondeo a rotación es un procedimiento universal para obtener testigo en toda investigación minera o geológica.

Una sonda puede variar en su concepción de acuerdo con el empleo que se le va a dar. Cuando se necesita hacer sondeos cortos (50 m) no se requiere que la sonda sea muy sólida, ya que los esfuerzos a que estará sometida son pequeños. Al contrario si se requieren sondeos más profundos por ejemplo 300 m, la sonda deberá ser más sólida pues los esfuerzos son mayores.

Los tipos de equipos perforadores, se clasifican según el sistema de ejercer peso o fuerza sobre la corona. Existen:

- De avance manual
- De avance diferencial. Se obtienen por diferencia de velocidades entre el husillo de la cabeza de rotación y la tuerca de avance.
- De avance hidráulico

La maquina perforadora consta de tres partes fundamentales:

- Sonda: constituida por motor, embrague y caja de cambio. La caja de cambio tiene la doble misión de disminuir la velocidad de rotación y distribuir el movimiento rotacional en dos direcciones, una hacia la cabeza de rotación y otra hacia el cabestrante.
- Bomba de lodos: La cual cumple la función de refrigerar la herramienta y expulsar el detritus.
- Torre de perforación: Estructura útil para poder levantar la sarta de tubería.

Respecto del útil cortante que se emplea en el sondeo a rotación, en la actualidad solamente se emplean coronas widias y coronas de diamantes. Las coronas de todo tipo constan de un cuerpo de acero y los elementos cortantes.

#### 2.2.3.1 Coronas Widias.

Una widia es carburo de wolframio; con un 10% de cobalto añadido para darle resistencia al impacto.

La resistencia al desgaste es de 12 a 30 veces la del acero rápido y 12 veces la del acero cementado. Es un metal caro alrededor de 100 veces la del acero.

Las coronas widias deben emplearse en terrenos blandos, nunca en duros o semiduros. En los últimos es más económico emplear diamante.

#### 2.2.3.2 Coronas de Diamante

La calidad principal del diamante es su dureza. La corona adiamantada de perforación consta de una matriz, armada con diamantes y un cuerpo de acero con rosca que se unen entre sí sólidamente en el proceso de fabricación.

En el capítulo 3, se estudiara la herramienta para sondear, como parámetro de diseño del equipo.

La tabla 3 presenta un completo resumen de los diversos métodos de perforación.

Puede observarse en este resumen, que el método mas adecuado para cumplir con los requerimientos establecidos en este proyecto es la "PERFORACION POR ROTACION ", ya que se diseñan para sondeos entre 15 y 100 m, así como para un variado tipo de terreno, este equipo es de mas accesibilidad debido a su costos y mantenimiento. El avance lo

efectúa la sarta de perforación por su propio peso o mediante el empleo de lastra o barras de peso debido al terreno

Cuadro 3. Métodos de perforación.

<b>METODOS DE PERFORACION</b>					
<b>PERCUSION</b>					
<b>PROCEDIMIENTOS MANUALES</b>	<b>PROF. (m)</b>	<b>DIAM. (mm)</b>	<b>TERRENO</b>	<b>TAJO</b>	<b>LIMPIEZA POZO</b>
1.Barrenos para voladura	4-6	Apr.30	Blandos	Continuo	Cuchara
2.Procedimiento Norton	Máx. 30	30	Blandos y poco coherente	Continuo	Cuchara
<b>PROCEDIMIENTOS MECANICOS</b>					
1.Martillos neumáticos	15	50	Rocas pétreas, blandas incoherentes	Continuo	Aire. agua a presión
2.Martillos hidráulicos	15	50	Blandas incoherentes	Continuo	Aire. Agua a

					presión
3.Martillos de fondo	25-30	150-200	Rocas duras	Continuo	
4.Hincado de tubería	Máx. 20	60-100	Poco coherentes	continuo	Agua
5.Percusion con cable	30	145	Blandos no consolidados	continuo	cuchara
<b>ROTACION</b>					
<b>PROCEDIMIENTOS MANUALES</b>	10	30-40	Baja dureza	Continua	Cuchara
<b>PROCEDIMIENTOS MECANICO</b>					
1.Tornillo transportador	Máx. 30	75-300	Muy blandos	Continua	Tornillo
2.Rotary (Equipo pesado)	Menos de 100	100	Todo tipo	Continuo o anular	Lodos de perforación
3.Con husillo (equipo ligero)	15-100	300	Todo tipo	Continuo o anular	Lodos o agua
3.1 Tricono			Dureza media y blanda	Continuo	Lodos o agua
3.2 Aleaciones duras		76,59,92	Blandos	Continuo	Agua
3.3 Diamante		46,59,76	Alta dureza	Continuo y anular	Agua

### **3.PARAMETROS DE DISEÑO DEL EQUIPO**

Habiéndose determinado en el capítulo anterior que el sondeo a rotación con tajo continuo, es necesario reconocer los parámetros de diseño que intervienen en los cálculos y operaciones de los equipos de perforación capaces de realizar este trabajo.

Se había anotado que una sonda puede variar en su concepción, según el empleo que se le vaya a dar:

- El primer factor que surge en este estudio es la longitud que van a tener los sondeos (100 m).
- El segundo factor que interviene en la elección de la sonda es el diámetro que va a tener el agujero de sondeo.

Se diseña el equipo teniendo en cuenta las recomendaciones entregadas en la tabla 4 y de acuerdo con el objetivo de la perforación que se hace a continuación.

Estos dos factores están ligados entre sí, y de las combinaciones posibles entre ellos, se obtendrá un rango de las potencias de trabajo para el equipo seleccionado.

Los restantes parámetros de perforación son determinantes en la selección y cálculos de mecanismos que realizan una función particular dentro del equipo. Estos son:

- Objetivo del sondeo: Pozos de prueba para prospección de aguas subterráneas.
- Clasificación de los suelos: Según dureza, resistencia a compresión y perforabilidad.
- Herramientas para sondear: Según clase de terreno.
- Velocidades de rotación y penetración de la herramienta.(Recomendadas por el fabricante, catálogos Varel manufacturing company )
- Cargas de penetración según la herramienta y el terreno a perforar.

- Fluido de perforación

### 3.1 OBJETIVOS DE LA PERFORACION

Como se determino desde un principio, se pretende que el equipo a diseñar, realice diversas operaciones, pero fundamentalmente que pueda utilizarse para la explotación de aguas subterráneas y en algunos casos especiales se puede emplear el equipo para recoger muestras mediante el uso de coronas saca testigo ( coronas Widias).

Se hace énfasis en este punto porque los diámetros recomendados para cada caso varían como lo muestra el cuadro 4.

Cuadro 4. Diámetros recomendados según la operación a efectuar.

<b>OBJETIVOS DE LA PERFORACION</b>	<b>DIAMETROS RECOMENDADOS (mm)</b>
1. Exploración de minerales sólidos	46-93 (tajo anular)
2. Prospección de materiales de construcción	93-200
3. Prospección de oro y platino	150-200
4. Investigaciones ingeniero-geologicas	112-219
5. Prospecciones hidrogeologicas	100-219
6. Explotación de pozos de agua	168-300 (diámetro piloto 203)

3.1.1 Obtención de muestra testigo (opcional en el diseño). Se puede hacer unas consideraciones sobre el diámetro de perforación así: A mayor diámetro de perforación, mejor es la recuperación de testigo, pero se eleva el costo de metro perforado.

Según las recomendaciones de los fabricantes y la teoría existente en este campo, el rango ideal para la obtención de testigo es el primero de 46 a 93 ( $\phi_s$ ).

La elección de la herramienta y el método, se estudiara en este capítulo.

3.1.2 Prospección y explotación de aguas subterráneas. Cuando se perfora un pozo, a menos que la cuenca hidrográfica sea muy conocida, se hace de un diámetro menor. Una vez asegurados de la existencia de agua se procede a ensanchar el pozo al diámetro requerido por el equipo de succión.

El diámetro del pozo suele ser de unas 8" (203 mm) <sup>1</sup>

El ensanchamiento de este pozo depende del equipo de bombeo que se disponga para la explotación del mismo.

Los pozos para obtener agua se perforan generalmente a rotación, rara vez, por percusión con cable.

Los pozos de poca profundidad, con condiciones geológicas favorables, se pueden perforar por las maquinas con tornillo transportador. Los pozos hidrogeológicos en rocas firmes se sondean generalmente por la perforación con tajo anular.

La perforacion a rotación para obtener agua se recomienda aplicar:

- Siendo bien estudiada la hidrogeología de la región.
- Existiendo horizontes acuíferos de presión.

La perforación por percusión con cable, al construir pozos para obtener agua, se recomienda aplicar:

- En las regiones con pocos estudios hidrogeológicos.
- Al perforar para conseguir horizontes acuíferos de poca presión.

### **3.2 CLASIFICACION DE SUELOS.**

La clasificación de suelos solo se hace en la parte concerniente a las propiedades fisico-mecánicas, determinantes en el proceso de perforación, tales como dureza, resistencia a compresión y perforabilidad.

Inicialmente se define teóricamente en que consiste cada una de estas propiedades.

Las propiedades físico-mecánicas, involucran el estado físico de las mismas como peso específico, densidad, porosidad, etc. y las fuerzas mecánicas externas que determinan su resistencia a la perforación y desagregación.

El estudio de estas propiedades es necesario para:

- Determinar el tipo de herramienta (broca) y el método de perforación.
- Determinar si el terreno es consolidado o se requiere un revestimiento del pozo para evitar su derrumbamiento.
- Diseñar y calcular los mecanismos que sean capaces de realizar la perforación.
- Obtener conocimientos geológicos del terreno, para posterior explotación.

3.2.1 Perforabilidad. Es la resistencia de la roca a la penetración de la herramienta cortante.

Depende del procedimiento de la perforación, del tipo y diámetro de la herramienta cortante, y de las propiedades mecánicas y abrasivas de las rocas.

La perforabilidad de la roca se mide como la velocidad mecánica media de perforación ( $V_{mec}$ ).

$$V_{mec} = L / T$$

Donde:

L= profundidad del pozo (m)

T= tiempo de perforación (horas)

Otra forma de medir la perforabilidad de una roca es tomando el tiempo (t), consumido para perforar un metro de un pozo con una herramienta dada.

En la perforación rotatoria de tajo anular se distinguen doce categorías según la perforabilidad de las rocas, utilizando el criterio de velocidad mecánica de perforación.

La perforabilidad de las rocas es uno de los factores principales que determinan la productividad del trabajo en el proceso de perforación de pozos de prospección geológica.

Cuadro 5. Perforabilidad de las rocas.

<b>CATEGORIA</b>	<b>ROCAS TIPOS</b>	<b>DUREZA (N/mm<sup>2</sup>)</b>	<b>FACTORES DE SOLIDIDAD (f)</b>	<b>VEL. DE PERFORACION (m/h)</b>	<b>INDICE UNIFICADO (ρm)</b>
I	Turba, creta debil, arena, tierras arenosas guija y cascajo	< 100	0.3-1	23-30	-----
II	Turba, capa vegetal.arena densa, arcilla densidad media, tierra arcillosa compacta, creta, arena	100-250	1-2	11-15	-----

	fluyente sin presión				
III	Areniscas débilmente cementadas, marga, caliza conchifera, arcilla compacta, terrenos arenoso-arcillosos (20% guija), arena fluyente a presión.	250-500	2-4	507-10	2-3
IV	Pizarra arcillosa, areno-arcillosa, carbonífera, sercítica. Arenisca débil. Marga compacta. Dolomita y caliza no consolidada. Serpentina	500-1000	4-6	3.5-5	3-4.5
V	Terrenos guijarreños y cascajosos. Pizarras cloríticas, talcoso-cloríticas, sercíticas, micaseas. Filitas. Argilitas. Calizas mármoles, dolomitas, etc.	1000-1500	6-7	2.5-3.5	4.5-6.8
VI	Pizarras arcillosas, cuarzo-cloríticas, cuarzo-sercíticas. Areniscas feldespáticas. Conglomerados de rocas sedimentarias, apatitas.	1500-2000	7-8	1.5-2.5	6.8-10
VII	Pizarras de hornblenda y cloritocorneanas. Calizas silicificadas. Gabro y dioritas de grano grueso. Conglomerados con guija (50%) de roca eruptiva.	2000-3000	8-10	1.9-2	10-15
VIII	Areniscas cuarzosas. Pizarras silicificadas, escarnes de gránate.	3000-4000	11-14	1.3-1.9	15-23
IX	Sienitas, granitos de grano grueso. Calizas fuertemente silicificadas. Conglomerados de rocas eruptivas. Basaltos.	4000-5000	14-16	0.75-1.2	23-24
X	Granitos, granodioritas, liparitas. Escarnes silicificadas. Cuarzo filoniano. Depósitos guijarreños de canto rodado de roca eruptiva.	5000-6000	16-18	0.5-0.75	34-51
XI	Cuarcitas, jaspilitas. Corneanas ferruginosas.	6000-7000	18-20	0.3-0.5	51-77
XII	Cuarcitas fusionadas en monolitos, corneanas, rocas con corindón	> 7000	>25	0.15-0.25	77-120

3.2.2 Dureza de las Rocas. Se entiende por dureza la resistencia que la roca opone a la penetración en ella de otro sólido.

La dureza de las rocas es el principal tipo de resistencia a vencer, durante la perforación rotatoria al penetrar la herramienta cortante en la roca. tras la penetración o al mismo

tiempo transcurre la fracturación. La penetración en la roca es más difícil, el fraccionamiento se desarrolla con mayor facilidad.

La dureza se determina por el método de penetración del punzón, donde

$P_t$  = resistencia de la roca a la penetración

$P_{máx.}$  = carga en el momento cuando el punzón desagrega la roca (N)

$S$  = área de la base de apoyo del punzón ( $mm^2$ ).

$P_t = P_{máx.}/S$

En el cuadro 5 se da la clasificación de las rocas según la perforabilidad y la dureza de las mismas.

.2.3 Resistencia Unitaria a Compresión de la Roca. Se define resistencia mecánica como la propiedad del sólido de oponerse a la destrucción bajo la acción de una carga, estática o dinámica.

Se llama límite de resistencia o tensión de rotura ( $\sigma$ ) de una roca el valor de la tensión con la cual se destruye la roca.

La resistencia mecánica relativa de las rocas a diversos tipos de formación es variada (ver cuadro 6).

Cuadro 6. Resistencia mecánica de algunas rocas.

ROCAS	RESISTENCIA RELATIVA DE LAS ROCAS A LA PERFORACION			
	COMPRESION UNIAxIAL	TRACCION	FLEXION	CIZALLAMIENTO HENDIDURA
Granitos	1	0.02-0.04	0.08	0.09
Areniscas	1	0.02-0.05	0.06--0.2	0.1-0.12
Calizas	1	0.04-0.1	0.08-0.1	0.15

Las rocas ofrecen mayor resistencia a la compresión, y ésta se determina en una prensa hidráulica de acuerdo con:

$$\sigma_c = P_{\text{máx}}/A$$

$P_{\text{máx.}} = p_{\text{máx.}} \cdot S = \text{Fuerza que aplasta la muestra (N)}.$

$S = \text{Area del embolo de la prensa (cm}^2\text{)}.$

$A = \text{Area de la sección transversal de la muestra antes de la prueba (cm}^2\text{)}.$

$P_{\text{máx}}$  = presión leída en la prensa ( $\text{N}/\text{cm}^2$ )

En el cuadro 7 se muestran los valores de resistencia a compresión para algunas rocas.

Cuadro 7. Propiedades físicas de algunas rocas.

<b>ROCAS</b>	<b>RESISTENCIA A LA COMPRESION (<math>\text{Kg}/\text{cm}^2</math>)</b>	<b>RESISTENCIA A LA TRACCION (<math>\text{KG}/\text{cm}^2</math>)</b>	<b>DUREZA (Grados Shore)</b>
Caliza dura	960	66	39
Granito dureza media	1320	59	87
Cuarcita	2210	156	93
Diorita	2460	220	95
Granito duro	2480	135	92
Grano-Diorita	3280	217	93

### 3.3 HERRAMIENTAS PARA SONDEAR

Las herramientas destinadas para la perforación de pozos, se denominan de sondeo y se dividen en tecnológica, auxiliar, de emergencia y especial. Se constituye en un parámetro de diseño puesto que de ella depende la potencia necesaria para desagregar la roca.

- La herramienta tecnológica o dispositivo de perforación consta de (barrena, tubos de perforación, barra kelly, unión giratoria, lastra) siendo ésta junto al equipo de perforación la encargada de sondear los pozos.

- La herramienta auxiliar es la destinada para la manutención de la herramienta tecnológica sirve para efectuar operaciones de descenso y ascenso de los dispositivos de sondeo.

La figura 21 representa las herramientas de perforación tecnológica y auxiliar

En el conjunto de juego sacatestigo, se destaca la corona de perforación, que es la herramienta cortante que sirve para desagregar las rocas durante la perforación con tajo anular (capítulo 1.1), o triturarla si la perforación es por percusión.

De acuerdo con su destino, las herramientas cortantes de perforación se pueden clasificar así:

- Para perforación con tajo anular, que perforan la roca por la periferia del fondo.
- Para perforación con tajo continuo, que perforan la roca en un plano.
- De uso especial.

Las dos primeras se emplean para profundizar el pozo, y las de uso especial, para trabajar en el pozo perforado (ensanchamiento y enderezamiento del mismo).

### 3.3.1 Coronas de Aleación Dura y Coronas de Diamante.



Perforación con Coronas de Aleación Dura. Cerca del 50% de todo el volumen de perforación exploratoria con tajo anular se realiza por medio de coronas armadas con cuchillas de aleaciones duras. Casi todas las rocas clasificadas entre las categorías I a VII, según su perforabilidad, se sondan con coronas de aleaciones duras, cuya parte integrante es el carburo de tungsteno (WC).

También existen aleaciones llamadas Wideas que son carburo de wolframio, con 10% de cobalto, para darle resistencia al choque.

Las coronas Wideas deben emplearse únicamente en terrenos blandos, nunca duros o semiduros. en éstos últimos es más económico emplear diamante.

En la sección 3.4.2.3 se puede observar las características de las coronas de aleación dura.

3.3.1.2 Coronas de diamante. La perforación con tajo anular en las rocas de las categorías VIII-XII, se realiza generalmente, por medio de coronas adiamantadas.

Al profundizar pozos de exploración profundos la perforación con coronas adiamantadas se ejerce también en las rocas de las categorías VI A VII.

La corona adiamantada de perforación consta de una matriz armada con diamantes y un cuerpo de acero con rosca que se unen entre sí sólidamente en el proceso de fabricación.

La matriz puede suplirse en tres grados de dureza:

BLANDA (B): 20-30 Rc

DURA (D): 30-40 Rc.

EXTRADURA (E): 40-50 Rc.

La matriz debe tener dos características fundamentales que son:

- Resistencia a la fractura y unir bien al cuerpo de acero de la corona.
- Resistencia al desgaste durante la perforación.

Según la forma geométrica exterior las coronas pueden ser:

- Coronas ciegas o para tajo continuo.
- Coronas para sacar testigo.

El tamaño de las coronas de diamante se da en piedras/quilate (p.p.q.) siendo un quilate igual a 0.2 gramos.

De acuerdo con lo anterior, se puede diferenciar dos clases de corona:

- Las coronas de inserción superficial, cuyo tamaño varia de 10 a 80 p.p.q. y los diamantes se disponen en las superficies de la matriz, tanto interior como exteriormente. Los diamantes de este tipo de corona son recuperables (reafilables). Se usan en formaciones blandas a duras y compactas.
- Las coronas de concreción o impregnadas, tienen tamaño de 80 a 1000 p.p.q. y los diamantes se distribuyen regularmente en el cuerpo de la matriz. Se recomienda usarlas en las siguientes situaciones:
  - Perforaciones a través de rocas muy fracturadas o peñones, donde el uso de una corona de inserción superficial seria peligroso.
  - Perforaciones en rocas compactas, pero extremadamente duras, tales como cuarcita, granitos, etc.

Las figuras 22,23 y 24 muestran diversas clases de coronas.

Las brocas, ya sean con coronas de inserción superficial o de concreción, se fabrican en todos los estándares mundiales: D.C.D.M., C.D.D.A., etc.

Las coronas ciegas o para tajo continuo están destinadas para perforar pozos sin explotar los testigos. Existen tres tipos de coronas ciegas:

- TIPO PILOTO: se emplea para sondeos donde se colocan explosivos.
- TIPO CONCAVA: produce buenas ratas de penetración en diferentes formaciones.

- TIPO ANILLO: se fabrican para todos los tubos testigos en todos los tamaños y configuraciones de roscas.

Todas estas coronas tienen el mismo diámetro exterior que las brocas de la misma designación que para tajo anular.

Finalmente todas las coronas tienen unos agujeros practicados en el cuerpo de las mismas y sirven para dar paso al líquido lavador del pozo.

El rendimiento de la perforación con diamante, si se elige la corona correctamente depende de los parámetros del régimen de perforación:

De la carga axial sobre la corona, la frecuencia de rotación de ésta, la cantidad y calidad del líquido lavador.

Sobre el proceso de perforación con diamante influyen numerosos factores variables, por lo tanto, los regímenes de sondeo, se estudian por separado según los grupos de rocas con propiedades físico-mecánicas semejantes.



3.3.2 Perforación con Triconos. Para la perforación con tajo continuo se fabrican fundamentalmente los trépanos de rodillos o triconos.

Cuando el trépano gira en sentido de las agujas del reloj, los rodillos, ruedan por el fondo en sentido contrario, realizando un movimiento giratorio complejo.

Como resultado, sus elementos cortantes golpean la roca, triturándola y hendiéndola.

para cuya perforación se destina el trépano los rodillos tienen diferentes elementos cortantes (dientes), fabricados con el cuerpo del rodillo por fresado o estampado, o, separadamente de aleaciones duras especiales.

Estos últimos tienen una superficie de contacto esférico o cuneiforme y se meten a presión en las muescas taladradas en el cuerpo del rodillo.

En general los elementos cortantes de todos los rodillos se sitúan en forma de coronas concéntricas.

Los trépanos de rodillos se fabrican de diferentes tipos para la perforación en rocas con distintas propiedades mecánicas.

El cuadro 8 indica esta clasificación.

Cuadro 6. tipos de trépanos de rodillos, para diversas categorías de rocas.

TIPO DE LOS TREPANOS CATEGORIA DE LAS ROCAS DIAMETRO DEL TRÉPANO (mm)			REGIMEN DE PERFORACION		
			C (KN)	n (r.p.m.)	Q (l/min)
M	I-IV	112	15-20	150-300	300-400
		132	20-25	150-300	
		151	25-30	150-300	
		93	15-25	100-200	200
		112	25-30	150-300	200
S	IV-VI	132	30-50	150-300	300
		151	40-60	150-300	400
		93	15-30	100-200	150
		112	30-45	150-300	200
T	IV-VII	132	35-60	150-300	300
		151	45-70	150-300	300
		75	15-25	100-200	60-80
		93	20-35	100-200	80-100
		112	30-50	150-300	100-120
K	VIII-X	132	40-70	150-300	120-150
		151	50-80	150-300	150-200
		112	30	120-250	120
OK	XI-XII	112	80	100	200

Los trépanos de tipo M se construyen solo con dos conos y se emplean en la perforación de rocas blandas.

Los de tipo K trabajan de modo más eficaz en las rocas frágiles firmes de grano grueso.

Los trépanos de tipo T trabajan en calizas, dolomitas, areniscas abrasivas, etc.

La cinemática de estos trépanos garantiza la rodadura sin deslizamiento de los rodillos por el tajo del pozo.

Como parámetro de perforación se tiene en cuenta el peso sobre el tricono, que depende fundamentalmente de cuatro factores:

- Del tipo de varillas que se emplean.
- El grado de desviación del sondeo.
- Peso que puede soportar un tricono
- 
- 
- 
- 
- 
- 
- 
- 
-

- 
- 
- 
- 
- Del tipo de formación a perforar y capacidad de la bomba que se tenga.

Datos de estos factores se incluyen en la sección 3.4.2.2 de este proyecto

3.3.2.1 Vida de un Tricono. Un tricono se debe retirar de servicio por tres causas:

- **POR DESGASTE DE LOS COJINETES.** Los cojinetes de apoyo son el eslabon mas débil de la estructura de trépanos de rodillos, por lo tanto el 90% de todos los trépanos se ponen fuera de servicio a causa del desgaste de los cojinetes de apoyo.
- **POR DESGASTE DE LOS DIENTES.** El desgaste se mide por la altura perdida del diente. La unidad de medida es la octava parte del diente. En la figura 26 se explica este fenómeno.
- **POR PERDER DIAMETRO Y HACER MÁS PEQUEÑO EL AGUJERO.** Sucede mas en las formaciones duras que en las blandas.

3.3.2.2 Orificios Lavadores. El trabajo eficiente de los triconos en el fondo depende en gran medida del grado de limpieza de este con liquido lavador.

Por este motivo los triconos se fabrican con orificios lavadores ya sea en el centro del trépano o con disposición lateral de los mismos.

En el primer caso el fluido lavador se dirige a los rodillos asegurando su refrigeración y limpiándolos de las partículas de la roca perforada.

La mayoría de modelos de triconos se fabrican con la disposición lateral, donde los chorros del liquido se dirigen al fondo entre los rodillos, garantizándose la refrigeración adecuada

de estos, la evacuación oportuna de los detritos y condiciones favorables para la desagregación de la roca.

3.3.3 Herramientas para Perforación por Percusión. La herramienta que golpea directamente sobre el fondo del agujero se llama trépano, y desempeña cuatro funciones:

- Romper la roca en trozos al golpear sobre ella
- Triturar esos trozos.
- Avanzar manteniendo un diámetro constante de agujero.
- Mezclar, con el agua que se le añade, todo lo triturado, formando un lodo que luego se saca con cuchara.

En la figura 27 se observan las diferentes partes de un trépano para el procedimiento de perforación por percusión. Estas partes son:

- ROSCA CONICA: Para unión con la herramienta que tiene encima, llamada barra de carga.
- CUELLO: que es una parte cilíndrica.



- 
- 
- 
- 
- 

- SUPERFICIE DE DESGASTE: Encargada de mantener el diámetro del agujero.
- BOCA: Parte que golpea contra la roca.

### **3.4 PARAMETROS CINEMATICOS DE PERFORACION.**

Entre los parámetros más importantes en el campo de la perforación se encuentran los relacionados con las velocidades de accionamiento de las herramientas; ya sea en forma axial (velocidad de avance) o rotacional (frecuencia de rotación); pero estos son dependientes de otros factores como clase de herramienta, dureza del terreno y método de sondeo.

3.4.1 Límites Cinemáticos para Perforación por Percusión. La velocidad de un equipo de perforación por percusión, se mide por el número de golpes/minuto, que emplea para profundizar una medida tomada como patrón.

3.4.1.1 Percusión Manual. En la percusión manual el número de golpes/minuto, es muy bajo; se puede lograr hasta 20 golpes/minuto, en granito semiduro, con una maza de 3 Kg.

3.4.1.2 Percusión Mecánica. Cuando el procedimiento de percusión es mecánico, aumenta considerablemente el rendimiento; así por ejemplo para el mismo material granito semiduro se puede alcanzar hasta 5000 golpes/minuto, con martillos neumáticos; y se puede llegar hasta 9000 golpes/minuto con martillos hidráulicos, en sondeos no mayores de 15 m.

3.4.2 Limites Cinematicos para la Perforación por Rotación. Aunque las condiciones de perforación de un terreno varían considerablemente respecto a otro, se pueden clasificar dentro de unos rangos aproximados, las velocidades de penetración y rotación apropiadas para cada tipo de herramienta, según las recomendaciones dadas por los fabricantes.

3.4.2.1 Velocidades Recomendadas para Coronas de Diamante. Las frecuencias de rotación dependen del terreno a perforar, así por ejemplo, cuando se perfora un material duro se debe utilizar frecuencias altas y peso moderado; en materiales blandos ocurre lo contrario, se requiere mayor carga axial y un número de revoluciones menor. Los valores de las frecuencias recomendadas se pueden obtener de la tabla 7 y del cuadro que aparece al final de este capítulo.

En cuanto a la velocidad de penetración de la corona, se establecen dos rangos de acuerdo con el tipo de la herramienta, así:

Las coronas de concreción tienen un avance lento, variando de 2 a 5 cm/minuto.

Las coronas de inserción superficial pueden avanzar mas rápidamente, o sea, valores mayores de 5 cm/minuto.

Otra forma de evaluar la frecuencia rotacional es con la velocidad periférica en donde interviene el diámetro medio ( $D_m$ ).

Donde:

$$D_m = (D_e + d_i)/2$$

a velocidad periférica ( $V_c$ ) se toma como:

$$V_c = (\pi * D_m * n)/60$$

Siendo:

n = numero de revoluciones/minuto

$D_m$  = diámetro en metros





De esta forma la velocidad periférica se puede suplir en dos rangos.

- Para coronas de concreción de 1 a 2 m/s.
- Para coronas de inserción superficial de 2 a 3 m/s.

Finalmente una norma aconsejable es que hasta 150 m de sondeo y diámetro menor de 100 mm, se trabaje con una frecuencia de 400 r.p.m., y al aumentar la profundidad se disminuye el número de revoluciones.

Cuadro 7. Valores recomendados de carga axial, velocidad de rotación y caudal para coronas adiamantadas.

CATEGORIA DE PERFORABILIDAD	DIAMETRO DE LAS ROCAS (mm)			
	36	46	59	76
	<b>CARGA AXIAL SOBRE LA CORONA C (N)</b>			
VI-VII	2500-3000	3000-5000	4000-8000	5000-10000
VIII-IX	3000-5000	5000-7000	6000-10000	8000-13000
IX-XI	5000-7000	6000-9000	8000-12000	10000-17000
XI-XII	6000-8000	7000-10000	10000-16000	13000-18000
	<b>FRECUENCIA DE ROTACION n (r.p.m.)</b>			
VI-VII	700-1000	500-900	400-700	300-500
VIII-IX	900-1500	600-1200	500-900	400-700
IX-XI	1400-2000	1000-1500	800-1400	600-1000
XI-XII	800-1200	800-1300	600-1000	400-700
	<b>SUMINISTRO DEL LIQUIDO LAVADOR Q (L/min.)</b>			

VI-VII	25-35	30-50	50-70	60-70
VIII-IX	20-30	30-40	40-60	50-80
IX-XI	15-25	20-30	35-50	40-60
XI-XII	10-15	15-20	25-35	30-40
	<b>VELOCIDAD DE PENETRACION DE LA CORONA (cm/min.)</b>			
	CORONAS DE CONCRECION 2-5			
	CORONAS DE INSERCIÓN SUPERFICIAL >5			

Se deben tener en cuenta las siguientes recomendaciones:

- Al perforar rocas fisuradas, abrasivas y de dureza variable la frecuencia de rotación y la carga axial se disminuyen el 25-40%
- Las rocas pertenecientes a las categorías I a IV, se perforan con coronas de aleaciones duras y triconos.

3.4.2.2 Velocidades Recomendadas para Perforación con Triconos. El peso y el número de revoluciones que debe darse a un tricono de dientes, según la dureza del terreno, se encuentran en el cuadro 8.

Cuadro 8. Velocidades recomendadas para perforación con triconos de dientes.

TIPO DE FORMACION	PESO POR PULGADA DE DIAMETRO (lb)		REVOLUCIONES POR MINUTO r.p.m.	VELOCIDAD PERIFERICA (m/s)
	AGUJERO VERTICAL	CUALQUIER TIPO DE AGUJERO		
Muy blandas	600-1200	1200-2500	125-300	1.3-3.14
Blandas	1200-2400	2500-4000	100-150	1.05-1.58
Medias	2400-4000	4000-6000	75-125	0.78-1.3

Duras	4000-6000	6000-8000	40-80	0.42-0.84
-------	-----------	-----------	-------	-----------

En los triconos, las velocidades periféricas bajas están comprendidas entre 0.5 y 1 m/s, mientras que las altas entre 1.5 y 3 m/s.

Para otros tipos de triconos, los cuales se clasifican según el código IADC, y que pertenecen a un fabricante en particular, el cuadro 9 indica los mismos parámetros de peso y velocidad de rotación.

Las características de estos trépanos es el tipo de cojinete empleado en su fabricación (Hughes Tool Company).

Cuadro 9. Formaciones, velocidades de rotación y pesos recomendados para los trépanos con cojinete JOURNAL y dientes de acero.



<b>TIPO DE TRÉPANO</b>	<b>DIAMETRO (pulg)</b>	<b>FORMACIONES COMUNMENTE PERFORADAS</b>	<b>PESO NORMAL * DIAMETRO DE TRÉPANO (Kg./mm)</b>	<b>VELOCIDAD DE ROTACION NORMAL</b>
J1	77/8, 81/2, 83/4, 91/2, 97/8, 121/4.	Esquistos muy blandos, arcillas, areniscas rojizas, sales y arenas no consolidadas.	55-90	120-90
J2	6. 61/2, 63/4, 81/2, 83/4, 91/2, 97/8, 121/4.	Esquistos blandos, arcillas, areniscas rojizas, sales, calcáreos blandos y arenas no consolidadas.	60-100	120-70
J3	57/8, 6, 61/4, 61/2, 77/8, 83/8, 81/2, 83/4, 121/4	Esquistos consistentes, anhidrita, calcáreo blando, arenas y formaciones quebradas.	60-110	100-60
JD3	81/2, 83/4, 121/4	Esquistos consistentes, areniscas y calcáreo blando.	60-110	100-60
J4	43/4, 57/8, 6, 61/277/8, 83/4, 91/2, 97/8, 121/4	Esquistos duros, areniscas y calcáreos.	70-140	100-40
JD4	77/8, 81/2 83/4 121/4	Esquistos arenosos duros alternados con esquistos, arenas medianas y calcáreos.	70-140	100-40
J7	43/4, 77/8, 81/2, 121/4, 83/4	Arenas duras, calcáreo con pedernal, dolomita y pedernal.	80-140	80-45
J8	77/8	Pedernal, cuarcita y pirita	110-140	70-50
JD8	81/2, 97/8,121/4	Granito y arenisca dura.		

### 3.4.2.3 Velocidades Recomendadas para la Perforación con Coronas de Aleaciones Duras.

Al igual que en los trépanos de rodillos (triconos), las velocidades rotacionales en las

coronas de aleaciones duras, están directamente relacionadas con el peso o carga axial que debe aplicarse a la corona. Estos valores están clasificados en el cuadro 10.

En esta clasificación, la velocidad circunferencial corresponde a una frecuencia rotacional, para cada diámetro medio, calculado de los diámetros exterior e interior de la corona, de igual forma que en las coronas de diamante. (Sección 3.4.2.1).

La alimentación del líquido lavador se determina partiendo del diámetro del pozo; para este tipo de coronas los valores de la velocidad del flujo ascendente varían entre 0.25 y 0.6 m/s.

3.4.2.4 Perforación Rotativa con Tornillo Transportador. Las barrenas helicoidales necesitan un gran par de rotación. Esto hacen que deban girar a pocas revoluciones, pues sino los motores necesarios serian de una potencia excesiva.

Las frecuencias de rotación mas usadas son de 200 a 300 r.p.m.

Cuadro 10 Velocidades recomendadas para perforación con coronas de aleaciones duras.

CORONA	CATE. DE ROCA	CARACTERÍSTICA DE LA ROCA	ROCAS TÍPICAS	DIÁMETRO (mm)		NÚMERO DE CUCHILLA		Carga axial en cuchilla p/l. (N)	Vel. Circunf. d corona (m/s)
				ext	int	Princ.	corte		
M1	I-III	Blandas homogéneas	Tierras arcillosas, arcillas, turba, creta.	151	112	8	-	500-600	1-1.5
				132	92	8	-		
				112	73	8	-		
				93	57	8	-		
M2	II-IV	Blandas con interstratificaciónes sólidas.	Arcillas, areniscas débiles/te cementadas, margas calizas deleznales.	151	113	14	-	600-800	1-1.5
				132	93	14	-		
				93	58	12	-		
M5	II-IV	Blandas homogéneas	Arcillas, areniscas débiles/te cementadas, anhidritas, esquistos arcillosos.	151	107	24	6	300-600	1-1.5
				132	88	24	6		
				112	68	16	4		
				93	53	16	4		
CM3	IV-VI	Poco abrasivas monolíticas	Argilitas, aleurolitas esquistos arcillosos, dolomitas, yesos, calizas.	151	133	12	9	600-1000	1-1.6
				132	114	12	9		
				112	94	8	6		
				76	59	6	3		
				46	31	6	-		
CM4	V-VI	Poco abrasivas monolíticas y con alteración de la dureza	Aleurolitas, argilitas, esquistos arcillosos y arenosos, calizas, basaltos, dunitas.	151	132	12	4	500-800	0.8-1.5
				132	113	12	4		
				112	93	9	3		
				76	58	9	3		
CM5	VI-VII	Poco abrasivas monolíticas y fisuradas	Dolomitas, calizas, serpentinitas, peridotitas.	151	133	24	8	500-700	1-1.6
				132	114	24	8		
				112	94	18	6		
				93	75	18	6		
				59	44	12	4		
46	31	12	2						
CA1	VI-VIII	Abrasivas monolíticas, densas, de granulado fino y finísimo	Areniscas, aleurolíticas bastas, gabro, porfiríticas, esquistos arenosos.	132	113	20	20	500-800	0.8-1.5
				112	93	16	16		
				93	75	16	16		
				76	59	12	12		
				46	31	8	8		
36	21	6	6						
CA2	VI-VIII	Abrasivas monolíticas y alternantes.	Areniscas, aleurolíticas, dioritas, gabro, porfiríticas, calizas silicificadas.	76	59	20	12	500-600	0.6-1.5
				59	44	15	9		
				36	21	10	6		
CA4	VI-IX	Abrasivas monolíticas y agrietadas	Piroxenitas, basaltos, gabro	112	94	20	5	500-600	0.6-1.5
				93	75	20	5		
				76	59	16	4		
				46	31	12	3		

### 3.5 LODOS DE PERFORACION

Los lodos de perforación son emulsiones o suspensiones coloidales, compuestas fundamentalmente por agua, con adición de productos tales como bentonita, aceites petrolíferos, etc., de modo que cumpla con funciones específicas en los trabajos de sondeo.

#### 3.5.1 Requisitos que deben cumplir un Líquido Lavador.

- Refrigerar suficientemente la corona o tricono.
- Asegurar la limpieza completa y eficiente del lodo evacuando a la superficie las partículas perforadas.
- Mantener las partículas perforadas en estado de suspensión y evitar su precipitación en el fondo al interrumpir el lavado.
- Impedir que entren al agujero del sondeo, avenidas de agua o fluidos de la formación.
- Resguardar las paredes del pozo contra el desmoronamiento
- Debe poseer propiedades lubricantes para aminorar el desgaste del tren de perforación (corona, barras de carga y varillas)
- Componerse fundamentalmente de materiales baratos y no escasos.
- Dar una buena velocidad de avance.
- Responder a las contaminaciones que le afecten.
- Facilitar la destrucción de la roca del fondo con el trépano.

#### 3.5.2 Clasificación de los Líquidos Lavadores.

- LODOS LIGEROS: Aquellos cuya densidad está comprendida entre 0 y 12 lb./galón.
- LODOS PESADOS: Aquellos cuya densidad está comprendida entre 12 y 20 lb./galón

De acuerdo con la composición coloidal, se ubican en cinco grandes grupos:

- LODOS basándose en AGUA (base acuosa)
- LODOS a partir de PRODUCTOS PETROLIFEROS.
- ESPUMAS ESTABLES (aireados)
- NIEBLA.
- AIRE O GAS.

3.5.2.1 Lodos a base de Agua.. El agua se puede emplear para perforar, cuando ésta no afecta las condiciones del terreno.

- AGUA TECNICA: En la que se incluye el agua dulce, de mar y salmueras. Se usa para perforar rocas resistentes.
- LODOS basándose en ARCILLAS NATURALES: Se utiliza para hacer sondeos poco profundos como máximo 100 m; en formaciones arcillosas, no consolidadas y rocas fisuradas.
- LODOS basándose en BENTONITA: Son aptos para sondeos tipo medios (600m).
- LODOS basándose en CAL: Tiene la ventaja de que puede contener gran cantidad de arcillas sin que aumente la viscosidad demasiado. Util hasta unos 135 °C.

- **LODOS CON DISPERSANTES:** para profundidades medias y temperaturas inferiores a 95°C.
- **LODOS NO DISPERSOS:** Se emplean actualmente en sondeos profundos.

3.5.2.2 Lodos a base de Productos Petrolíferos. Poseen propiedades lubricantes que alargan la vida del trépano. Su viscosidad es fácilmente controlable. Se pueden emplear solos o mezclados con agua. Los casos más corrientes son:

- **CRUDO TRATADO:** Con un emulsionante y adición de agua entre el 2% y 20%. Puede emplearse hasta 93°C.
- **EMULSION INVERSA:** Contiene de un 20% a un 75% de agua salada más un emulsionante adecuado. Resiste hasta 200°C. Son muy buenos para perforar emulsiones salinas.

3.5.3 Espumas Estables o Espumantes. Los espumantes, son fluidos que operan a velocidades muy bajas, entre 40y 80 pies/minuto, pero a pesar de esto, tienen la propiedad de subir muy bien el detritus.

Su mayor aplicación se logra en las perforaciones de grandes diámetros o ensanchamientos de pozos.

Las espumas mas empleadas son:

- **ESPUMA SOCIAL:** Se fabrica inyectando una solución de agua dulce o salada en la fase gaseosa de un agente generador de espuma. Las velocidades de penetración del tricono o corona son muy buenas. Se emplea hasta 200°C.
- **ESPUMANTE DE LA COMISION DE ENERGIA ATOMICA:** Es similar al anterior, pero no tolera agua salada y sus cualidades son inferiores. Buen comportamiento hasta 120°C.

La NIEBLA se forma inyectando pequeñas cantidades de lodo o agua, con un espumante de superficie activa a las corrientes de aire que se inyecta cuando se perfora con él. Se usa hasta 150°C.

Si no existe agua y el diámetro del agujero no es muy grande, se emplea aire o gas. Su inconveniente consiste en la necesidad de grandes caudales lo cual provoca erosiones en las paredes del pozo. Util hasta unos 250°C.

Para el presente diseño, se selecciono como fluido lavador los lodos basados en arcilla natural el cual es el mas recomendados para perforaciones hasta 100 metros y para sondeos con tajo continuo.

Los pozos perforados por el método de rotación con lodo tienden a derrumbase, a menos que las propiedades de perforación sean tales que proporcionen soportes adecuados para las paredes del agujeros.

Usualmente, los lodos de perforación son mezclas viscosas de agua con arcilla natural o comercial y otros materiales para propósitos específicos. El peso de este lodo de

perforación en el agujero debe bastar para suministrar suficiente presión que exceda a la de la tierra y cualquier presión en la capa acuífera que pueda causar derrumbes. Además, el lodo de perforación forma una especie de capa o recubrimiento sobre la pared del agujero que se sostiene en su lugar e impide el aporte del agua del acuífero hacia el agujero.

Los perforadores deben tener cuidado en no aumentar la velocidad de bombeo hasta el punto que causen destrucción del recubrimiento del lodo y se produzca derrumbe en agujero.

El lodo de perforación también debe ser de tal naturaleza que la arcilla no se separe de la mezcla cuando sesee el bombeo, si no que permanezca un poco elástica manteniendo así los cortes en suspensión. No toda la arcilla natural exhibe estas propiedades, conocidas como "gelificación". Las arcillas de bentonitas muestran fuerzas de gel satisfactorias y se agregan a las naturales para aproximar sus propiedades de gel a los niveles deseados.

Existen dos elementos importantes que el perforador de pozo puede usar en la práctica para comprobar las características de lodo y ejercer el control necesario. Estos son: una balanza para determinar la densidad del lodo y un embudo Marsh para medir la viscosidad.

Para la mayoría de los perforadores de pozo de agua, suele ser satisfactorio un fluido con densidad aproximadamente 9 Lts por galón ( 1.1 Kg \* Lts).

Para determinar la viscosidad del lodo de perforación, se toma el embudo Marsh, se sella el extremo inferior con un dedo y se procede a llenar hasta alcanzar un volumen de 1000 c.c., luego se para el dedo del embudo para permitir la salida del embudo cronometrando el tiempo en segundos que gasten en descargar dicho volumen. Un lodo de perforación apropiado de trabajo de perforación tiene una densidad de 1.1 Kg \* Lts y una viscosidad de embudo de 30 a 40 seg.

#### 3.5.4 Velocidades de Operación del Fluido Lavador.

En cuanto a la velocidad del lodo, se tienen diversos rangos de acuerdo al tipo de varillaje a emplear y la corona seleccionada.

Sin embargo, se puede establecer, ciertas pautas generales que sirven de guía para la selección de la bomba de lodos.

" La velocidad del flujo ascendente entre el varillaje y las paredes del pozo ha de estar dentro de los límites de  $0.4-0.8 \text{ m/s}^1$ . Para perforación con diamante. En la tabla 11 figuran otros valores.

En la figura 29 se encuentran los valores recomendados para la velocidad ascensional del lodo en la rotación con obtención de testigo.

Se recomienda tomar:

- Para perforaciones blandas: 50-65 m/min.
- Para perforaciones duras: 35-50 m/min.

Para los demás tipos de herramientas, la velocidad del flujo ascendente esta dada en el cuadro 11.

Cuadro 11 Velocidades recomendadas del liquido lavador para diversas herramientas.

<b>TIPO DE LA HERRAMIENTA CORTANTE</b>	<b>VELOCIDAD APROX. DEL FLUJO ASCENDENTE DEL LIQUIDO LAVADOR (cm/s)</b>	
	<b>CON AGUA</b>	<b>CON SOL. ARCILLOSA</b>
• Trépanos puntiagudos en rocas blandas (hasta la V categoría)	80-10	60-80
• Trépanos de rodillos en rocas duras (mas de V categoría)	60-80	40-60
• Coronas de aleación dura	30-60	25-50
• Coronas adiamantadas	60-80	30-60

### 3.5.5 Procedimiento de Lavado.

Existen tres métodos para evacuar el líquido lavador a la superficie de la tierra: Directo, inverso y combinado.

El recorrido del líquido lavador se aprecia en la figura 30.

El lavado directo se aplica principalmente en la perforación exploratoria.

El lavado inverso se aplica en forma limitada a causa de que su organización es muy complicada.

La aplicación del lavado combinado tiene como propósito el aumento de la salida del testigo.

### **3.6 RESUMEN DE LOS PARAMETROS DE PERFORACION**

#### 3.6.1 Parámetros de Perforación.

- LONGITUD DE SONDEO: Hasta profundidades de 30 m.
- OBJETIVOS DE LA PERFORACION:
  - Toma de muestras testigo
  - Exploración y explotación de aguas subterráneas.
- DIAMETROS RECOMENDADOS DE PERFORACION (mm).
  - Toma de muestras testigo: 46-93
  - Exploración de pozos de agua: 100-219
  - Explotación de pozos de agua: 168-300
- CLASE DE TERRENO A PERFORAR: Se diseña para todas las categorías de profundidad (tabla4)

### 3.6.2 Herramientas de Perforación.

<b>HERRAMIENTAS DE PERFORACION</b>			
<b>METODO DE PERFORACION</b>	<b>TERRENO</b>	<b>OPERACION</b>	<b>HERRAMIENTA DE CORTE</b>
• Percusión hincas de tubería	Muy blandos y poco coherentes. Arcillas	Toma de muestras, sondeos cortos	Tubo bipartido
• Percusión con cable	Poco coherentes y blandos	Sondeos de tajo continuo	Trépanos de paletas.
• Rotación	Muy blandos y blandos. Dureza media y muy duros (cuarzo)	Tajo continuo y tajo anular	Coronas de aleación dura (widias), triconos y coronas de diamante.

### 3.6.3 Fluido de Perforación.

- Agua técnica.
- Velocidad ascensional del fluido:
  - Formaciones blandas: 50-65 m/min.
  - Formaciones duras: 35-50 m/min.

### 3.6.4 Carga Axial y Velocidades de la Herramienta.

<b>CARGA AXIAL Y VELOCIDADES DE LA HERRAMIENTA</b>			
<b>HERRAMIENTAS</b>	<b>FRECUENCIA DE ROTACION (r.p.m)</b>	<b>VELOCIDAD DE PENETRACION</b>	<b>CARGA AXIAL</b>
• Aleaciones duras	90-220		Tabla 2
• Triconos	100-300	0.15-33 m/h	Tablas 8 y 9
• Coronas de diamante.	400-750		
• De concreción		2-5 cm/min.	Tabla 8
• Inserción superficial		5 cm/min.	

#### 3.6.4 Velocidad de Extracción de la Tubería

0.25 a 2 metros por segundo.

## 4. PARTES DE UN EQUIPO DE PERFORACION POR ROTACION

Este capítulo tiene por objeto describir las partes constitutivas de un equipo de perforación, que supla las necesidades planteadas en el anteproyecto.

#### **4.1 ASPECTOS GENERALES DE LAS PARTES DEL EQUIPO.**

la figura 32 muestra las partes más importantes de un equipo de perforación por rotación.

- Plataforma
- Sistema de elevación
- Sistema de transmisión de potencia
- Sarta de perforación
- Sistema de bombeo

4.1.1 Plataforma. La plataforma proporciona una base estable al equipo de perforación; permite resistir las presiones bajas de rotación, y absorbe las vibraciones debidas a las repetidas extracciones y penetraciones del varillaje, barrenas o tubo sacatestigo.

La plataforma de trabajo debe ser robusta, firme y debe construirse en el sitio de operación.

La plataforma desarrolla dos funciones principales:

- Sirve de base a la maquinaria de perforación
- Se constituye en lugar de trabajo del perforador y de los operarios.

4.1.2 Sistema de elevación. El sistema de elevación tiene como función meter y sacar los implemento necesarios al agujero tan rápida y económicamente como sea posible. Los principales componentes de un sistema de elevación son los siguientes (ver figura 33 ) :

- Torre de elevación
- Malacate.
- Sistema de aparejo de poleas.
- Equipos de elevación misceláneos.

4.1.2.1 Torre de elevación. La función de la torre es proporcionar una estructura para retirar e insertar el equipo de trabajo de adentro del agujero y también para colocar convenientemente las herramientas de perforación del agujero.

La torre convencional es una pirámide de cuatro lado truncada ordinariamente construida con acero estructural, aunque para ciertas partes de la torre se usa a veces acero tubular. La principal consideración que se toma en cuenta en el diseño de una torre es soportar con seguridad todas las cargas que se vayan a usar en los pozos sobre los cuales se colocan.

Esta es la resistencia al colapso causado por cargas verticales, o sea la capacidad de carga muerta de la torre.

4.1.2.2 Malacate. La función del malacate es manejar el gancho giratorio y la barra Kelly, para izar la tubería de perforación y sus acoples.

El principal componente del malacate es un tambor de elevación en el cual se devana el cable de perforación. Otro componente auxiliar del malacate es el freno el cual permite interrumpir la elevación o descenso de la sarta en un instante dado.

4.1.2.2 Sistema de aparejo de poleas. El sistema de aparejo de poleas está compuesto de un caballete porta poleas, una polea viajera y el cable de perforación. La principal función de este sistema de aparejo de polea es suministrar el medio para sacar el equipo de , o meter el equipo al agujero. El sistema de aparejo de polea desarrolla una ventaja mecánica, permitiendo el manejo más fácil de cargas más grandes. La colocación en posición del equipo de perforación del agujero es también una función del sistema de aparejo de poleas, así como el suministro de un medio de bajar gradualmente la columna de perforación en el agujero a medida que se va profundizando con la barrena.

4.1.2.4 Equipo de elevación misceláneos. Además de la polea viajera se necesitan otras piezas de equipo para el manejo adecuado de la tubería de perforación y otras partes del equipo que puedan usarse en el agujero. Otros elementos importantes son: Ganchos y unión giratoria (swivel).

El gancho es una conexión entre la polea viajera y la unión giratoria. Esta es un dispositivo que permite que la tubería de perforación gire sin hacer girar los cables.

4.1.3 Sistema motriz. El sistema motriz es el corazón de la torre de perforación. La energía producida por la planta motriz del equipo de perforación se usa principalmente para la rotación de la sarta de perforación. El sistema motriz está conformado por una unidad de potencia y los diferentes mecanismos de transmisión de potencia.

4.1.3.1 Unidad de potencia. La potencia o primer movimiento se suministra desde una unidad motriz o motor. Las unidades de potencia más comunes son motores de gasolina o motores diesel.

La unidad de potencia suministrada generalmente se protege del agua encerrándola en una caja metálica, y si el arranque es eléctrico se instala una caja aparte para la batería en la base del perforador.

4.1.3.2 Transmisión. Es una parte esencial del perforador. La transmisión consigue variar la velocidad de rotación y el torque (para diferentes esfuerzos) del perforador, mientras que la velocidad del motor se conserva más o menos constante.

Las diferentes operaciones de perforación, requieren diversas combinaciones de torque y velocidad. Por ejemplo:

Al perforar con trépanos de rodillos o barrenas se requieren bajas r.p.m. y un torque alto.

La transmisión no puede aumentar la energía del motor, únicamente transmitir la potencia necesaria para cada operación; por lo tanto, no puede incrementarse la velocidad y el torque al mismo tiempo.

En otras palabras, cuando se utiliza la transmisión para incrementar el torque, se debe aceptar las pérdidas de velocidad.

La variación de estos parámetros, se realiza generalmente, con transmisiones tipo automóvil con cuatro velocidades, así como una neutra y la reversa. Ejemplo de este caso se puede observar en la figura 34

En algunos casos se usa una transmisión auxiliar de doble velocidad consiguiéndose con esto seleccionar hasta ocho velocidades.

4.1.3.3 Mesa rotativa. La función principal de la mesa rotativa es transmitir el momento de torsión a la sarta de perforación, por intermedio de la barra Kelly recibéndola a través de un eje proveniente de la caja de velocidades que es la que regula la velocidad de la mesa. La reducción de velocidad de la mesa rotativa es del orden de 4 o 5 a 1.

4.1.4 Sarta de perforación. La finalidad principal de la sarta de perforación es la transmitir tensión del buje impulsor de la mesa rotativa y la barra Kelly hasta la broca situada al fondo del pozo, también sirve para circular el fluido de perforación a fin de mantener fría y lubricada la broca.

La sarta de perforación la constituyen los siguientes elementos:

- Tubería de perforación
- Barra kelly
- Lastrabarrenas
- Brocas o barrenas

4.1.4.1 Tubería de perforación. Es la herramienta principal en la perforación; su longitud y diámetro dependen de las características generales del equipo. Una buena regla para seleccionar el tamaño correcto de tubería de perforación es utilizar una unión aproximadamente  $2/3$  del hueco que se perfora.

4.1.4.2 Barra kelly. Es la encargada de transmitir la rotación de la mesa rotativa a la sarta de perforación y por ende a la broca. Puede ser cuadrada, redonda o hexagonal y se suministra en las longitudes apropiadas para usar con distintas longitudes de la torre.

La barra kelly es hueca y su extremo superior esta colgado de la unión giratoria.

4.1.4.3 Lastrabarrenas. Conocidas comúnmente como barras de peso o collares, se utilizan para agregar peso ala sarta de perforación y a la broca, con el propósito de obtener mayor rendimiento en la perforación, mantener vertical el pozo y tener en tensión la sarta.

4.1.4.4 Brocas o barrenas. Es el elemento de corte que hace verdaderamente la perforación. Existen una gran variedad de diseños de barrenas para perforar en formaciones blandas, medianas y duras; para estas perforaciones generalmente se utilizan dos tipos de barrenas que son: brocas con dientes de carburo y brocas con dientes de acero.

Se ha comprobado que en la perforación los operadores que emplean menor tiempo para efectuar un trabajo utilizan varios tipos de brocas.

4.1.5 Sistema de Bombeo (Sistema de Agua o Lodos). La perforación en general requiere un sistema continuo de alimentación de fluido bajo presión para refrigerar la broca y limpiar los desechos del terreno alojados en el fondo del agujero enviándolos a la superficie.

El fluido actualmente es el agua o lodo.

El sistema de circulación de agua (o lodo) esta compuesta por:

- Bomba
- Manguera
- Inyector de agua o "swivel"
- Filtro.

4.1.5.1 Bombas. Se utilizan varios tipos de bombas, pero los dos mas comunes son:

- Las bombas de desplazamiento positivo progresivo tipo "moyno", las cuales en su parte interna llevan un mecanismo similar a un tornillo transportador sinfin (figura 13). Al avanzar este tornillo desplaza el lodo de perforación y lo envía al circuito de lavado de pozos.
- Las bombas de pistón tipo triples, para sistemas que requieren alta presión.

La bomba tipo "moyno" se usa generalmente para bombear grandes cantidades de lodo de perforación.

La selección del tamaño de la bomba depende principalmente del diámetro y la longitud del agujero que se está perforando.

Existen cartas para seleccionar la estación de bombeo; según el diámetro de la broca y el diámetro de la tubería, como puede observarse en el cuadro 14.

En cuanto al montaje del sistema de bombeo, algunos diseños incluyen las bombas, sujetadas solidariamente al perforador, y otros utilizan la estación de bombeo, en forma separada sobre una base propia.

Cuadro 14 Ejemplo de carta para seleccionar las estaciones de bombeo.

<b>RECOMENDACIONES PARA SELECCIONAR ESTACIONES DE BOMBEO</b>					
<b>VEL. FLUJO= 100ft/min. VEL. ASCENSIONAL = (30-48 m/min.)</b>					
<b>TAMAÑO DE LA BROCA</b>	<b>TAMAÑO DE LA TUBERIA</b>				
	<b>EW (1-3/8")</b>	<b>AW (1-3/4")</b>	<b>BW (2-1/8")</b>	<b>NW (2-5/8")</b>	<b>HW (3-1/22)</b>

EWG	1.2 G.P.M.				
EWM					
AWG	6.8 G.P.M.	1.9 G.P.M.			
AWM					
BWG	14.8 G.P.M.	10 G.P.M.	402 G.P.M.		
BWM					
NWG	28.3 G.P.M.	23.5 G.P.M.	17.6 G.P.M.	7.9 G.P.M.	
NWM					
HWG (63.5*98.8 mm)			40 G.P.M.	29.1 G.P.M.	7.2 G.P.M.
100.8*139.6 mm)				93 G.P.M.	71 G.P.M.
151.6*196.8mm)					189 G.P.M.

4.1.4.2 Inyectores de Agua Giratorios. Los inyectores de agua se acoplan en el extremo superior de los tubos de perforación y reciben el fluido suministrado desde la bomba, no permitiendo movimiento rotacional de las mangueras.

En el mercado existen inyectores para trabajo liviano y pesado, como los que aparecen en la figura 39.

Luego de realizarse la descripción general de las partes constitutivas del equipo, que podrían cumplir con los parámetros de perforación, se procede en adelante a estudiar los diversos diseños que pueden satisfacer dichas exigencias.

## **5. CALCULOS FINALES DEL EQUIPO DISEÑADO**

Para realizar los cálculos definitivos de las piezas y mecanismos del equipo, es preciso conocer la curva de funcionamiento del motor, ya que el número de revoluciones por minuto del eje de salida, constituye uno de los parámetros de diseño, más importante en casi todos los casos.

Por consiguiente a continuación, se incluye la carta de operación de un motor Renault 4, probado directamente en los laboratorios del concesionario SOFASA de Duitama-Boyaca.

Para poder utilizar dicho motor en una ciudad diferente de donde fue probado, es necesario introducir un factor de corrección de potencia, pues la misma varía con la altura sobre el nivel del mar, según el sitio de trabajo.

- FORMULA DE CORRECCION DE POTENCIA.

$$\frac{\Delta P}{P_o} = \frac{P}{P_o} * \frac{T_o}{T} - 1$$

Ecuaciones básicas:

$$m = \frac{dT}{dZ}$$

- Variación lineal de la temperatura con la altura:

$$\frac{dP}{dZ} = -\rho * g$$

$$P = \rho * R * T$$

Se asume que:

- el aire se comporta como gas ideal
- fluido estático

por sustitución de 3 en 2 se tiene:

$$\frac{dP}{dZ} = -\frac{P * g}{R * T}$$

para variación lineal de la temperatura con la altura:

$$T = T_0 - m * (Z - Z_0)$$

$$\frac{dP}{P} = -\frac{g * dZ}{R(T_0 - m(Z - Z_0))} = \frac{g}{mR} * \frac{-m * d(Z - Z_0)}{(T_0 - m(Z - Z_0))}$$

Integrándose desde  $p_0$  (Cartagena), hasta  $p$  (Duitama).

$$\ln\left[\frac{P}{P_0}\right] = \frac{g}{m * R} * \ln\left[\frac{T_0 - m(Z - Z_0)}{T_0}\right] = \frac{g}{mR} * \ln\left[\frac{T}{T_0}\right]$$

sacando logaritmo a cada lado de la igualdad.

$$\frac{P}{P_0} \left[\frac{T}{T_0}\right]^{\frac{g}{mR}}$$

$h_0$  Cartagena = nivel del mar (0 pies).

$h$  Duitama =

$T$  Temperatura Cartagena = 28°C

$T_0$  Temperatura Duitama =

$$m = \frac{dT}{dZ} = \frac{T_0 - T_{B / manga}}{Z_0 - Z_{B / manga}}$$

Los rangos de velocidad angular del motor, se pueden ajustar de acuerdo al valor requerido, ya sea para perforación con triconos o diamante, con la válvula de paso, tipo mariposa del propio motor.

Las velocidades angulares seleccionadas, se encuentran modificadas con las diversas relaciones de transmisión, en los siguientes cuadros para ambas clases de herramientas. (tricono y broca de diamante).

18/10/98			BANCO DE POTENCIA		TIPO R4-1129				N° MOTOR 42379						
CLASE ACEITE: Mobil			BUJIAS: AC 43 FS		GASOLINA EXTRA				P At. 560 mm Hg T=16°C						
T Agua entrada 62 °C T Agua salida 94°C			CANTIDAD HORAS DE ROTACION 38.2		Ralenti a 4000 R.P.M.				TORQUE = 974Kw/r.p.m						
RPM	TEMPE.		Presión aceite	POTENCIA					TORQUE CORREG	CONSUMO GASOLINA					Fuera al cuadrante
	°C	°C		BRUTO	CORREGIDOS			t		t	Temp. o.pr. om.	Q	Consumo espe.		
				2600	0 m	900 m									
Unid	aire	acei	bar	C.V.	C.V.	C.V.	Kw	HP	Kgm	S	S	S	cm <sup>3</sup> /	2600	Kg
1500	24	75	2.6	9.45	13.7	12.5	9.17	12.3	5.95	192.	191	192	1.04	302.	6.3
2000	24	76	3.4	13.4	19.5	17.7	13.1	17.5	6.34	136	137	137	1.46	298	6.7
2500	24.4	85	3.5	16.7	24.3	22.1	16.3	21.8	6.34	118	118	118	1.69	276	6.7
3000	26.4	90	3.6	19.5	28.3	25.8	18.9	25.4	6.15	108	108	109	1.85	260	6.5
3500	27	93	3.7	21.7	31.5	28.7	21.1	28.3	5.87	99.7	101	100	1.99	252	6.2

4000	27.2	95	3.8	23.6	34.4	31.2	22.9	30.7	5.58	88	88.5	88.3	2.26	263	5.9
4500	26.8	95	3.8	24.8	35.9	32.7	24.1	32.3	5.2	73.4	73.5	73.5	2.72	301	5.5
5000	26.7	95	3.4	25	36.3	33.0	24.3	32.6	4.73	69.8	69.7	69.8	2.86	313	5
5250	26.7	98	3.5	25.2	36.6	33.4	24.5	32.8	4.54	67.9	67.8	67.9	2.94	320	4.8
5500	27	100	4	24.8	35.9	32.7	24.1	32.3	4.26	65.8	66.4	66.2	3.02	334	4.5
5750	27.2	100	4.23	24.2	35.1	31.9	23.5	31.5	3.97	65.5	65.2	65.4	3.06	346	4.2
6000	28	102	4.3	23.4	34	30.9	22.7	30.5	3.69	64.7	64.9	64.8	3.08	361	3.9

TABLA 13 Datos de ensayo de potencia realizado en SOFASA ( Duitama 2600m)

<b>PERFORACION CON TRICONOS</b>						
	<b>M1</b>	<b>R.P.M.</b>	<b>M2</b>	<b>R.P.M.</b>	<b>M3</b>	<b>R.P.M.</b>
<b>2500 R.P.M.</b>	3.833	652.3	1: 3.125 1: 3.111	208.8/209.7	1:2	104.4/104.9
	2.235	118.6		358/359.6		179/179.8
	1.458	1714.7		549/551.2		274.5/275.6
	1.026	2436.6		780/783.2		390/391.6
	3.545	705.5		225/226.7		112.5/113.4
<b>PERFORACION CON BROCA DE DIAMANTE</b>						
<b>3000 R.P.M.</b>	3.833	782.6	1: 3.125	250.5/251.6	1:2	125.25/125.8
	2.235	1342.3		429.5/431.5		214.75/215.7
	1.458	2057.6		658.4/661.4		329.2/330.7

	1.026	2923.9	1: 3.111	935.6/939.8		467.8/469.9
	3.545	846.3		270.8/272		135.4/136

TABLA 14. Rangos de velocidad seleccionados para perforación con Triconos y brocas de Diamante.

Los valores subrayados corresponden a la relación de velocidad ajustada debido a los engranajes helicoidales (1:3.111).

M1: relación de velocidad motor/caja de velocidades

M2: relación de velocidad engranajes helicoidales

M3: relación de velocidad transmisión por cadenas.

## 5. CALCULOS FINALES DEL EQUIPO DISEÑADO

### 5.1 POTENCIA DE ROTACION

La potencia total requerida para poner en rotación la herramienta cortante en el proceso de perforación es igual a:

$$PRT = P_{rv} + P_{tajo} \quad (\text{Kw})$$

Donde:

PRT: Potencia total de rotación

$P_{rv}$ : potencia de rotación en vacío del tren de perforación.

$P_{tajo}$ : potencia para desagregar el tajo.

La potencia de rotación de la tubería, se determina principalmente por las fuerzas de resistencia distribuidas a lo largo de la tubería.

Los factores variables que determinan el valor del PRT son:

- diámetro real del pozo en cada zona del mismo
- estado de las paredes del pozo
- Valor del coeficiente de rozamiento entre la tubería y el pozo

- Combinación de la curvatura del tren de perforación, con la del pozo, la cual determina el valor de las fuerzas resistivas.

$$P_{rv} = \alpha * \gamma * L^K * d^f * n^m$$

L = profundidad del pozo (m)

d = diámetro de la tubería (cm)

n = r.p.m.

$\alpha$  = coeficiente experimental dependiente del diámetro y peso de las tuberías.

$\gamma$  = peso específico del líquido lavador.

K, F, m = exponentes experimentales.

$$P_{rv} = (2.5 * 10^{-9})(K1 * K2)(0.9 + 0.02 * \delta)q * d * n^{1.83} * L^{0.75} \text{ (Kw)}$$

K1:

- 0.65 para acoples con pequeña curvatura inicial
- 1.0 para acoples sin curvatura inicial.

K2:

- 0.6 para emulsiones o grasas amortiguadoras de vibraciones
- 0.75 para tubos de revestimiento
- 1.5-2.0 para cortes geológicos complejos

$\delta$  : holgura entre la tubería de sondeo y las paredes del pozo (mm)

d: diámetro de los tubos de sondeo (mm)

q : peso de un metro de tubería (Kg)

Cuando el sondeo se realiza con tricono; esto es en terrenos de duración media y de baja dureza. Los valores de potencia varían ostensiblemente.

Para perforación con triconos se utiliza la siguiente formula empírica:

$$P_{\text{tajo}} = 10^{-3} * K * d^{2.5} * w^{1.5} \text{ (CV)}$$

$d$  = diámetro del agujero en mm

$W$  = peso sobre el tricono en miles de Kg.

$n$  = R.P.M.

$K$  = constante de perforación que varía entre  $4 \cdot 10^{-5}$  y  $14 \cdot 10^{-5}$ .

Una buena regla para seleccionar el tamaño correcto de tubería de perforación es utilizar un diámetro aproximadamente de  $2/3$  del diámetro de la broca a utilizar. También existe una relación entre el diámetro final de pozo y el diámetro de la tubería la cual es:

Diámetro final del pozo = 3 diámetro de tubería

5.1.1 Cálculo para la perforación con triconos.

$n = 300$  rpm (valor crítico tomado de la tabla # 10)

$L = 100$  mts

$D$ . final del pozo = 203 mm (valor recomendado, ver tabla # 4 )

Diam. Tuberia = 67.6 mm

$K_1 = 1.0$

$K_2 = 1.0$

$\alpha = (101.5 - 67.6) / 2 = 16.95 \text{ mm}$

$q = 12.75 \text{ (kg / mts) . ver anexos}$

**$P_{rv} = 4.78 \text{ kw (6.4 hp)}$**

$W = 2.93$

**$P_{tajo} = 6.2 \text{ CV (6.1 hp)}$**

**$PRT = 12.5 \text{ hp}$**

5.2 Selección del motor.

El primer paso para seleccionar la unidad motriz del equipo de perforación a diseñar, consiste en estimar el valor de la potencia requerida.

Realizados los cálculos preliminares, se concluyo que este valor es cercano a los 13 hp.

Ya se expuso en capítulos anteriores , que las unidades mas comunes de potencia son los motores de gasolina y los motores diesel; teniendo en cuenta que un motor eléctrico requiere una fuente eléctrica cercana al mismo , y el equipo de perforación se planea para trabajar en el campo , donde no se garantiza la disponibilidad de dicha fuente.

Dado el valor de 13 hp , como potencia requerida , se procede a calificar algunos factores en la selección de la unidad motriz , estos son :

- Factor económico
- Disponibilidad en el mercado
- Tamaño y peso
- Facilidad de acoplamiento al sistema
- Disponibilidad de información técnica

Los anteriores limitantes sirven para ir disminuyendo el conjunto de posibles soluciones .

El sistema de transmisión de potencia necesita una caja de velocidades , pues entre los parámetros de diseño (cap.3,seccion 3.4.2.2), se puede observar que según al terreno a perforar y de acuerdo con la operación , las velocidades de rotación del equipo varían.

Un motor diesel , suministra la potencia requerida , pero tiene algunas desventajas importantes : Son muy costosos ; es necesario acoplarse la caja de velocidades adecuadas ; lo cual incluye un costo adicional si es preciso construirlas (en caso de no conseguirse en el mercado ) ; tiene un tamaño y peso mayor que los motores a gasolina.

Después de analizar estos aspectos se llega al conclusión : conseguir un motor en el mercado que tuviese acoplado directamente a la caja de velocidades ; un motor de automóvil es la solución mas indicada .

Finalmente se selecciono un motor a gasolina de Renault 4, con su caja de velocidades acoplada directamente. Las curvas de funcionamiento se adquieren por intermedio de SOFASA. Este motor entrega una potencia de 35 hp y tiene ventaja sobre los demás por su fácil consecución en el mercado, si como por su precio.

Las características de este motor se detallan en la tabla # 15, y las curvas características del anterior en la figura 34 .

### 5.3 Selección de la caja de velocidades

Teniendo en cuenta los parámetros de perforación descritos en los capítulos anteriores, se puede concluir que las velocidades rotacionales de la herramienta son muy bajas comparadas con las angulares ala salida del motor, como se puede ver en la curva de funcionamiento que aparece en la figura 34 . Lo anterior indica que las relaciones de velocidades en estos equipos son muy altas.

Pueden observarse que las relaciones de velocidad que aparecen en la caja acoplada al motor de Renault 4, no satisface la gama de velocidad que se requiere en las diversas operaciones. (ver tabla 16 ).

**PERFORACION CON TRICONOS**

	<b>M1</b>	<b>RPM</b>
<b>2500 rpm</b>	3.833	652.3
	2.2351	1118.5
	1.458	1714.7
	1.026	2436.5
	3.545	705.2

TABLA 16. Rango de revoluciones a la salida de la caja de velocidad.

La anterior aseveración implica la necesidad de adaptar una caja de velocidades secundaria de las mismas características de la caja seleccionada, para así disminuir mas aun la rotación de la herramienta.

A continuación se puede ver la variación de las revoluciones en cada uno de los mecanismos utilizados en la transmisión de velocidad. (Ver tabla 17).

PERFORACION CON TRICONOS												
	M1	Rpm	M2					M3 (1:5)				
			3.83	2.23	1.45	1.02	3.54					
<b>2500 rpm</b>	3.833	652.3	170	292	448	636	184	34	58	90	127	36
	2.235	1118.5	292	500	767	1090	315	58	100	153	218	63
	1.458	1714.7	448	767	1176	1671	483	90	153	235	334	96
	1.026	2436.5	635	1090	1671	2374	687	127	218	334	475	137
	3.545	705.2	184	315	483	687	199	36	63	96	137	40

TABLA 17. Variación de las revoluciones a lo largo de la transmisión.

M1: Relación de velocidad; motor / caja de velocidad 1

M2 : Relación de velocidad; caja de velocidad 1/ caja de velocidad 2

M3: Relación de velocidad; caja de velocidad 2 / mesa rotativa

5.1.1 Calculo para Perforación con "Broca de Diamante".

Categoría: VI a XII

TuberiA: nw

$D_{EXT.} : 66.7 \text{ MM}$

$D_{int.}: 57.2 \text{ MM}$

Peso con acoples: 8.1 Kg/m

Broca: NW

$D_{BROCA}: 75.8 \text{ mm}$

N: 330 R.P.M.

L: 30 m

$\delta = (75.8-66.7)/2 = 4.55 \text{ mm}$

$P_{RV} = 2.5 \cdot 10^{-9} \cdot k_1 \cdot k_2 \cdot k_3 (0.9 + 0.02\delta) q \cdot d \cdot n^{1.83} \cdot L^{0.75}$

$K_1 = K_2 = K_3 = 1.0$

$\delta = 4.6; \quad q = 8.1 \text{ Kg}; \quad d = 66.7 \text{ mm}; \quad n = 330 \text{ R.P.M.}$

$$P_{rv} = 0.7 \text{ Kw}$$

$$P_s = (8.0 * 10^{-7}) * C_a * n \text{ (Kw)}$$

$$C_a = 18000 \text{ N}$$

$$P_s = 4.75 \text{ Kw}$$

$$P_t = \frac{1.2 * \mu * C_a * n (R1 + R2)}{1950000}$$

$$R1 = 7.53$$

$$R2 = 5.47$$

$$\mu = 0.25$$

$$P_t = 5.94 \text{ Kw}$$

$$PRT = P_{rv} + P_s + P_t$$

$$PRT = 0.7 + 4.75 + 5.94 = 11.39 \text{ Kw (11.4 Kw)}$$

## CALCULO PARA PERFORACION CON TRICONOS

CATEGORIAS: I a VI

N: 104.9 R.P.M.

Diametro agujero = 95.3 mm

Carga axial =  $C_a = 30$  KN

Tuberia : NW

$D_{EXT.} = 66.7$  mm

$D_{INT.} = 57.2$  mm

$\delta = (95.3 - 66.7) / 2 = 14.3$  mm

peso con acoples 8.1 Kg/m

$$P_{IV} = (2.5 \cdot 10^{-9})(1.0 \cdot 1.0 \cdot 1.0)(0.9 + 0.02 \cdot 14.3) \cdot 8.1 \cdot 66.7 \cdot (104.9)^{1.83} (30)^{0.75}$$

$$P_{rv} = 0.1025 \text{ Kw}$$

$$P_s = (8.0 \cdot 10^{-7})(30000 \text{ N})(104.9 \text{ R.P.M.})$$

$$P_s = 2.52 \text{ Kw}$$

$$P_t = 10^{-3} * K * n * d^{2.5} * W^{1.5} \text{ (CV)}$$

$$P_t = (10^{-3})(4 * 10^{-5})(104.9 \text{ R.P.M.})(95.3)^{2.5} \text{ mm}(3.061)^{1.5}$$

$$P_t = 2 \text{ CV} = 1.47 \text{ Kw}$$

$$PRT = P_{rv} + P_s + P_t$$

$$PRT = 0.1025 + 2.52 + 1.47 \text{ (Kw)}$$

$$PRT = 4.1 \text{ Kw}$$

## 5.2 CALCULO DE ENGRANAJES CONICOS

Parametros de diseño

Angulo de presion:  $20^\circ$

Angulo primitivo del piñon ( $\phi_p$ ) = Angulo primitivo de corona ( $\phi_g$ ) =  $45^\circ$

$$\text{Tg } \phi = 1$$

Numero de dientes del piñon ( $Z$ ) = 18 minimo recomendado

Ancho de cara del diente ( $b$ ) =  $0.3L$  o  $b \leq L/3$  valor recomendado

Relacion de velocidades ( $m$ ) = 1

Longitud de la generatriz:

$$L = \frac{1}{2} \sqrt{D_{pc}^2 + D_{pp}^2}$$

$$L = \frac{1}{2} \sqrt{2D_{pp}^2}$$

se asume un valor para el paso diametral ( $P_d$ ) = 6

diametro primitivo:

$$D_p = \frac{Z}{P_d}$$

se asume un numero de dientes ( $Z$ )  $>18$

$$Z = 38$$

$$D_p = 38/6 = 6.33 \text{ pulgadas.}$$

$$L = \frac{1}{2} \sqrt{2 * 6.33^2}$$

$$L = 4.47 \text{ plg.}$$

$$b \leq L/3, \quad b = 0.3L \Rightarrow b = 1.35 \text{ plg.}$$

El diametro interno del engranaje conico conducido, se ve afectado por los diametros de la tuberia, barra de arrastre y el casquillo como se ve en el plano 2.

En la figura 57, se observan las caracteristicas de un engranaje conico.

#### ECUACIONES DE DISEÑO

$$D_e = D_p + 2A_p \cos\phi$$

$$A_p = h - A_g$$

$$H = 2/P$$

$$A_g = \frac{0.54}{P} - \frac{0.46}{P * \text{Tg}\phi^2}$$

$$X = D_{p/2} + A_p \text{Sen}\phi$$

$D_e$  = diametro exterior

$D_p$  = diametro primitivo (6.33 plg)

$A_p$  = adendo del piñon

$A_g$  = Adendo de la corona

$h$  = Altura de trabajo

$\phi$  = angulo primitivo

$P$  = paso diametral

$X$  (ver figura)

$$h = 2/6 = 0.333 \text{ Plg}$$

reemplazando

$$A_g = 0.54/6 + 0.46/6(1)^2$$

$$A_g = 0.167 \text{ Plg}$$

$$A_p = 0.333 - 0.167$$

$$A_p = 0.167 \text{ Plg}$$

$$D_e = 6.33 + 2(0.167)\text{Cos}45^\circ$$

$$D_e = 6.57 \text{ Plg}$$

$$X = 6.33/2 - (0.167)\text{Sen}45^\circ$$

$$X = 3.047 \text{ Plg}$$

$$WD = 2.188/p$$

$$WD = 2.188/6 = 0.3657$$

$$D_{ed} = WD - A_G$$

$$D_{ed} = 0.3657 - 0.167$$

$$D_{ed} = 0.1987$$

$$OCD = \frac{D_p}{2\text{Sen}\phi}$$

$$OCD = 6.33/2\text{Sen}45^\circ$$

$$OCD = 4.475 \text{ Plg}$$

$$\lambda_p = \text{Tg}^{-1}\left[\frac{D_{ed}}{OCD}\right]$$

$$\lambda_p = \text{Tg}^{-1}(0.1987/4.475)$$

$$\lambda_p = 2.54^\circ$$

$$\varphi_p = \phi + \lambda_p$$

$$\varphi_p = 45^\circ - 2.54^\circ$$

$$\varphi_p = 42.46^\circ$$

$$F = 0.3OCD$$

$$F = 0.3*4.475$$

$$F = 1.343 \text{ Plg}$$

$$Pc = \frac{\pi D_p}{Z}$$

$$Pc = \pi *6.33/38$$

$$Pc = 0.523$$

$$E = 0.56(Pc)$$

$$E = 0.56*0.523$$

$$E = 0.293$$

WD = profundidad total

D<sub>ed</sub> dedendo

OCD = longitud exterior del cono

$\lambda_p$  = ángulo dedendo

$\phi_p$  = ángulo frontal

F = ancho de cara

E = espesor mínimo del engranaje

$P_c$  = paso circular

### 5.2.1 Selección del Material para el Engranaje Cónico

los engranajes pueden fabricarse de una cantidad de materiales diferentes y pueden tratarse térmicamente por una variedad de procesos, pero en la experiencia común, aquellos fabricados con acero aleado y tratados térmicamente por cementación tienen la mayor capacidad de soportar carga.

p

## **6. PRESUPUESTO DEL DISEÑO**

Ahora se realizará la evaluación de los costos en los que incurrirá el diseño de la máquina perforadora de pozo.

## TIPO MESA ROTATIVA

Hay que tener en cuenta que los valores siguientes son promedios a los diferentes precios del mercado.

La evaluación de los costos que demanda el diseño se hace bajo los siguientes aspectos:

- Costos directo: conformados por todo el personal que forman parte integral del diseño del proyecto. Incluye los sueldos de los Ingenieros del Asesor, dibujante mecánico.
- Costos Indirectos, implican los gastos propios de la oficina central para darle logística a la obra como son: papelería, servicios públicos, transporte, fotocopias, servicio de mensajería, arriendo, etc.. Además los costos de la secretaria y el mensajero.

### 6.1 PRESUPUESTO DE DISEÑO

#### 6.1.1 Costos Directos

Descripción	Unidad	hora/hombre	Horas trabajo total	Costo Total
Ingenieros	3	\$ 7.750 *	250	5.812.500

Asesor	1	\$ 35.000 *	15	525.000
Dibujante mecánico	1		3	450.000
			Subtotal	6.787.500

### 6.1.2 Costos Indirectos

Descripción	Unidad	hora/hombre	Horas trabajo total	Costo Total
Secretaria	1	2.740 *	200	548.000
Mensajero	1	2.055 *	50	102.750
			Subtotal	650.750

### 6.2 OTROS COSTOS INDIRECTOS

Servicios Públicos:

Energía eléctrica 350.000

Agua, aseo y alcantarillado 20.000

Teléfono 10.000

Gas domiciliario 5.000

Subtotal \$70.000

Arriendo 100.000

Transporte 300.000

Útiles de oficina	45.000
Aseo	20.000
Papelería	35.000
Otros	<u>150.000</u>
Subtotal	720.000

Total costos indirectos

Subtotal 1	\$650.750
Subtotal 2	<u>\$720.000</u>
Total	\$1.370.750

### **6.3 COSTOS TOTAL DE DISEÑO**

Costos Directos	\$6.787.500
Costos Indirectos	<u>\$1.370.750</u>
Total	\$8.158.250

#### **6.3.1 A.U.I**

##### **Administración :**

Los costos administrativos del proyecto son :

Servicios públicos	\$70.000
--------------------	----------

Arriendo	\$100.000
Utiles de oficina	\$20.000
Papelería	\$35.000
Otros	\$80.000
Secretaria	\$548.000
Mensajero	<u>\$102.750</u>
	\$1.00.0750

$$\% \text{ Administración} = \frac{\text{Costos administrativos}}{\text{Total del proyecto}}$$

$$\% \text{ Administración} = \frac{1.000.750}{8.158.250} * 100 = 12.2\%$$

### Utilidades :

Para ser el proyecto una obra para Beneficio Social la empresa considera una utilidad del 7%

### Imprevistos

Tomaremos el máximo imprevisto recomendado (5%)

Administración (12.2%)	\$ 995.306.5
<b><u>Utilidades (7%)</u></b>	<b><u>\$ 571.077.5</u></b>
Imprevistos (5%)	<u>\$ 407.912.5</u>
Total A.U.I	\$1.974.296.5
Subtotal A.U.I	4.928.880
Subtotal proyecto sin impuestos	\$10.132.547
I.V.A (16%)	<u>\$ 1.621.208</u>
<b>Precio total del diseño del proyecto</b>	<b>\$11.753.755</b>

## 7. CONCLUSIONES

- Para determinar el diseño de este equipo, no solo la parte teórica suministrada por la información recopilada en textos y catálogos sobre el tema, sino también las recomendaciones dadas por profesionales, técnicos y operarios de empresas dedicadas a la perforación en nuestro país, v.g. Maquisuelos Ltda., Colpozos, Eta, Distrito de obras públicas y especialmente ECOPETROL.
- Se observaron equipos de igual y mayor alcance en funcionamiento, permitiendo conocer las dificultades más frecuentes y sus posibles soluciones. Estas se tuvieron en cuenta en la etapa de la selección y cálculos de los mecanismos constitutivos del equipo diseñado.
- Una de las partes de mayor atención prestada, fue la selección de la unidad motriz debido a los costos de motores de combustión interna tipo DIESEL. Al seleccionarse un motor estacionario, se obvió la consecución de una caja de velocidades adjunto la cual incrementaría en alto grado su valor. Además este motor fue de fácil consecución en el mercado y de fácil acople al reductor.

- Todas las piezas a construir se evaluaron en los talleres de mayor confiabilidad, donde garantiza no solo la calidad del trabajo sino igualmente la ejecución de los tratamientos térmicos necesarios.
- En el transcurso de la elaboración del proyecto se presentaron obstáculos que fueron solucionados gracias al esfuerzo y dedicación de los autores de este proyecto. De acuerdo a los resultados del análisis tanto de cálculos como económicos podemos concluir que es un proyecto atractivo debido desde el punto de vista de su rentabilidad y que mejora la calidad de vida en nuestra región.

## **8. RECOMENDACIONES**

- El sistema de lavado de pozos, en la mayoría de equipos analizados, cuenta con una bomba de pistones, pero ésta solo es necesaria en sondeos de más de 50 m. Un inconveniente de estas bombas es que no asimila fácilmente las partículas desagregadas, deteriorándose frecuentemente. Por este motivo las empresas mencionadas anteriormente recomienda la utilización de una estación de bombeo independiente, tipo centrífuga.

- Para el levantamiento de tubería y dada la magnitud de la carga se recomienda utilizar un malacate manual, sacrificándose la velocidad de extracción pero igualmente disminuyéndose los elevados costos de un sistema mecánico.
- El período de vida de éste equipo depende principalmente de la frecuencia con que el operador, efectúe una correcta revisión y lubricación del equipo. Así como la observación periódica de las piezas expuestas a desgaste debido al uso frecuente. Entre estas piezas tenemos el Sistema Generador de Potencia (Planta Motriz), el Sistema de Transmisión como son Caja de Velocidad, Embrague, Cardan, Gancho giratorio.

El modo de lubricación se efectúa según se muestra a continuación.

DESCRIPCIÓN DE LA UNIDAD A LUBRICAR.	FIGURA	<b><u>LUBRICANTE USADO</u></b>	MÉTODO Y LUBRICACIÓN
		TEMPERATURA ENTRE 0 – 45°C	
SISTEMA MOTRIZ	34	5 de 20 W 40	Vigile diariamente el nivel refrigerador. El cambio después de 1250 horas de op
EMBRAGUE	34	80 W 90	Inspeccione periódicamente fuga. Efectuar el cambio.
CAJA DE VELOCIDAD	34	80 W 90	Controle constantemente e fugas por los retenedores. aceite agregar dos litros.
MESA ROTATIVA	37	80 W 90	Controle constantemente el de cambio agregue 6 litros a
GANCHO GIRATORIO (SWIVEL)	36	Grasa para extrema presión.	Inspección visual. Aplique periódicamente gra
CARDAN	---	Grasa	Inspección visual. Aplique periódicamente gra
ACOPLES DE TUBERÍAS	----	A.C.P.M.	Limpie y lubrique con A. acople la tubería.

## BIBLIOGRAFIA

ACKER. Catálogo. "Caution". Pennsylvania, Acker Drill Company, Vol. 5 No. 10, 1978.

BROWNING MANUFACTURING DIVISION. Catálogo. Kentucky, Emerson Electric Co., 1975.

CARDONA GRANADOS, Afranio., Ing. "Selección de Aceros para Engranajes". Bucaramanga, Universidad Industrial de Santander, Departamento de Ingeniería Mecánica, 1983. Conferencias.

CERNICA, John N. Resistencia de los Materiales. 2ª. Ed. México, Editorial Continental, 1979. Pág. 175.

CORE DRILL OPERATOR'S. Conferencias. Unidades 1,2,3. s.f.

DIAMCO. Catálogo. "Brocas de Diamantes". Standards, DCDMA. , s.f.

DUBBEL, H. Manual del Constructor de Máquinas. Barcelona, Editorial Labor, S.A., 1979. Pág 86

FAIRES, Virgil Moring. Diseño de elementos de Máquinas. Barcelona, Montainer y Simón, S.A., 1977. Pág 135

HUGHES TOOL DIVISION. Catálogo. "Trépanos de dientes de acero con conjinetes". JOURNAL. Houston, 24-9-1980.

GENERAL EQUIPMENT COMPANY, OM Operator's manual. s.f.

INGERSOLL RAND. Catálogo. "The Reska Rotary Drill Range". Cagliari, Italia, 1983.

HELLMUT, ERNST. Aparatos de Elevación y Transporte. Barcelona, Editorial Blume, 1970. Tomo I, pp. 9-84.

LECOEUR, E. Tecnología de las Fabricaciones MECÁNICAS. Madrid, Ediciones Tea, 1940. Fascículo 8.

LONGYEAR. Catálogo. Diamond Core Drill. "Longyear 24 Standard Drill., s.f.

MANUAL DE REPARACION. M.R.1. 4<sup>a</sup>.ed. Paris, Renault, 1970.

MORENO GIRARDOT, Gary, y HERNANDEZ OTERO, Nestor. "Diseño de un Equipo de perforación para Minería". Bucaramanga, Universidad Industrial de Santander, Departamento de Ingeniería Mecánica, 1985. Proyecto de Grado.

NATIONAL DRILLERS O BUYERS GUIDE. Oklahoma, AMCA Internacional, 1986. Vol. 7 No. 7, July (1986).

PARADA CORRALES, Abel Antonio, Ing.M.Sc. "Sistemas Oleohidráulicos". Bucaramanga, Universidad Industrial de Santander, Departamento de Ingeniería Mecánica, 1983. I parte.

PUY HUARTE, Jesús. Procedimientos de Sondeos. Teoría, práctica y aplicaciones. Madrid, Publicaciones JEN, 1977.

OM. Operator's Manual. "Hole Digger". Minnesota, General Equipments Company, 1978. P.440.

ROJAS GARCIA, Hernán. Ing "Tolerancias y Ajustes". Bucaramanga. Universidad Industrial de Santander, Departamento de Ingeniería Mecánica, 1983. Conferencias.

ROJAS GARCIA, Hernán. Ing. "Rodamientos". Bucaramanga, Universidad Industrial de Santander, Departamento de Ingeniería Mecánica, 1984. Conferencias.

SEREDA, N.G. Perforación de pozos de petróleo y de gas natural. Moscú, Editorial Mir, 1978. Pág 347

SKF. Catálogo General. Alemania, Carl Gerber, 1982.

SHIGLEY, Joseph Eduard. Diseño en Ingeniería Mecánica. 2<sup>a</sup>.ed. México, McGraw-Hill. 1980. Pág 126

Terpel. Información Técnica. "Lubricantes". Bucaramanga, s.p.i.

ROTARY DRILLING BITS. Catálogo. "Facts on Hughes Journal Bearing Bits". Houston, Texas, Hughes Tool Company, 1972. Pág 96

VICKERS. Manual de Sistemas Oleohidráulicos.

VOZDVIZHENSKI, B.I., GOLUBINTSEN, On.N y NOVOZHILOV, A.A. Perforación de Exploración. Moscú, Editorial Mir, 1979. Pág 425

- Costo real del equipo = costo del diseño + costo de construcción y montaje
  
- Costo de construcción y montaje = estos costo implican tanto los costos de los materiales y alquiler del equipo empleado en el maquinado, de estos se deriva el costo real en el mercado de la máquina perforadora de pozos.
  
- Costo de construcción y montaje = 7.925.000 (ver tabla 1)
  
- Costo real del equipo = 19.678.755

**Tabla 1. Costo de construcción y montaje**

ELEMENTO Y MATERIAL	COSTO
➤ Motor	1.950.000
➤ Caja de velocidad	375.000
➤ Housing 600	275.000
➤ Refacciones (rodamientos, soldadura, grasa, aceite, valvulina, bujía, cinta)	145.000
➤ Tubería de 1" y 1 3/4"	230.000
➤ Mangueras de succión y descarga	350.000
➤ Acoples	98.000
➤ Eje de mando (cardan)	175.000
➤ Lámina de 1/16"	85.000
➤ Bomba	575.000
➤ Sistema de contrapeso (diferencial, cable de 1/4" y accesorios)	120.000
➤ Retenedores	65.000
➤ Terminales	30.000
➤ Chasis	255.000
➤ Masas y llantas	450.000
➤ Tornillería	74.000
➤ Eje de 5"	95.000
➤ Oxígeno y gas	398.000
➤ Sellos	95.000
➤ Mano de obra	850.000
➤ Sistema de elevación (malacate, gancho)	750.000
➤ Angulos	135.000
➤ Ensamble y pintura	350.000
<b><u>TOTAL</u></b>	<b>7.925.000</b>