



**INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL  
ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA Y  
ARQUITECTURA  
UNIDAD TICOMÁN**



***SEMINARIO DE INGENIERÍA DE FLUIDOS DE CONTROL.***

***“IMPORTANCIA DEL SISTEMA DE BOMBEO EN EL  
DESPLAZAMIENTO DE FLUIDOS DE CONTROL  
EMPLEADOS EN LA CONSTRUCCIÓN DE POZOS  
PETROLEROS.”***

***TRABAJO QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:  
INGENIERO PETROLERO.***

***INTEGRANTES:***

***ANTONIO DÍAZ RIGEL.***

***MARTÍNEZ FLORES JOSSEL ALBERTO.***

***RAMÍREZ TORRES CÉSAR ALBERTO.***

***RODRÍGUEZ TIERRABLANCA GUSTAVO.***

***ASESOR:***

***QUÍMICA ROSA DE JESÚS HERNÁNDEZ ÁLVAREZ***



Autorización de uso de obra

INSTITUTO POLITECNICO NACIONAL.

Presente.

Bajo protesta de decir verdad los que suscriben **Antonio Díaz Rigel**, **Martínez Flores Jossel Alberto**, **Ramírez Torres César Alberto** y **Rodríguez Tierrablanca Gustavo**, manifestamos ser autores y titulares de los derechos morales y patrimoniales de la obra titulada "*Importancia del Sistema de Bombeo en el Desplazamiento de Fluidos de Control Empleados en la Construcción de Pozos Petroleros*" en adelante "TRABAJO FINAL" de la cual se adjunta copia, por lo que por medio del presente y con fundamento en el artículo 27 fracción II inciso b) de la ley federal del derecho de Autor, otorgo al Instituto Politécnico Nacional, en adelante el IPN, autorización no exclusiva para comunicar y exhibir públicamente total o parcialmente en medios digitales (publicación en línea) "TRABAJO FINAL" por un periodo de (un año) contando a partir de la fecha de la presente autorización, dicho periodo se renovara automáticamente en caso de no dar aviso expreso a el IPN de su terminación.

En virtud de lo anterior el IPN deberá reconocer en todo momento nuestra calidad de autores de "TRABAJO FINAL". Adicionalmente y en nuestra calidad de autores y titulares de los derechos morales y patrimoniales de "TRABAJO FINAL", manifestamos que la misma es original y que la presente autorización no contraviene ninguna otorgada por el suscrito respecto de "TRABAJO FINAL" por lo que nos deslindamos de toda responsabilidad a el IPN en caso de que el contenido de "TRABAJO FINAL" o la autorización concedida afecte o viole derechos autorales, industriales, secretos industriales, convenios o contratos de confidencialidad o en general cualquier derecho de propiedad intelectual de terceros y asumimos las consecuencias legales económicas de cualquier demanda o reclamación que pueda derivarse del caso.

Ciudad de México, 3 de Noviembre del 2021

Atentamente

Rigel Antonio Díaz

Gustavo Rodríguez Tierrablanca

Jossel Alberto Martínez Flores

César Alberto Ramírez Torres



**Folio**  
DES/2077/2021

85 Aniversario del Instituto Politécnico Nacional  
70 Aniversario del CECyT 11 "Wilfrido Massieu"  
60 Aniversario de la Escuela Superior de Física y Matemáticas  
50 Aniversario del CECyT 12 "José Ma. Morelos" y del CECyT 13 "Ricardo Flores Magón"

**Asunto**  
Impartición de Seminario

CDMX, 24 de agosto de 2021

**DR. ARTURO OZTIZ UBILLA**  
**DIRECTOR DE LA ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERIA**  
**Y ARQUITECTURA (ESIA), UNIDAD TICOMÁN**  
**P R E S E N T E**

Con fundamento en el Artículo 34, Fracción VIII del Reglamento Orgánico; Artículo 5, Fracción III del Reglamento General de Estudios; Artículo 12 del Reglamento de Titulación Profesional del Instituto Politécnico Nacional; en atención a su oficio DET/0825/2021, le comunico que se autoriza la impartición del Seminario de Actualización con Opción a Titulación:

**"INGENIERIA DE FLUIDOS DE CONTROL"**

Folio de Autorización: DES/ESIA-TIC/S/001-18/2011 - 2021  
Vigencia del Seminario: 09 de marzo de 2020 al 09 de marzo de 2022  
Duración: 200 horas.  
Periodo de impartición: Del 13 de septiembre al 10 de noviembre de 2021  
Horario: lunes, martes y miércoles de 09:00 a 17:00 horas.  
Sede: ESIA TIC. Se imparte a distancia  
Expositores: Ing. Quim. Rosa de Jesús Hernández Álvarez, Ing. Manuel Torres Hernández e Ing. Rubén Miranda Arias.

Debiendo observar lo siguiente:

- Enviar en formato electrónico la lista inicial oficial de participantes, firmada y sellada por el Coordinador del Seminario y el Subdirector Académico dentro de los primeros diez días hábiles posteriores a la fecha del inicio del seminario.
- En la lista inicial se debe anexar el expediente digitalizado de cada participante, será enviado en un disco anexo, cada archivo deberá contener: Carta de pasante, Carta de cumplimiento del servicio social, Constancia de liberación del inglés e Inscripción del seminario.
- Dar a conocer a los participantes el folio de autorización correspondiente, para trámites de titulación ante la Dirección de Administración Escolar.
- Al concluir el programa del seminario enviar la relación de asistencia, de evaluación final y de trabajos finales, en un plazo no mayor a 20 días hábiles, para la emisión de las constancias a los participantes.





Folio  
DES/2077/2021

85 Aniversario del Instituto Politécnico Nacional  
70 Aniversario del CECyT 11 "Wilfrido Massieu"  
60 Aniversario de la Escuela Superior de Física y Matemáticas  
50 Aniversario del CECyT 12 "José Ma. Morelos" y del CECyT 13 "Ricardo Flores Magón"

- Debido a la contingencia y por única ocasión el recibo de pago del dictamen técnico académico podrá ser entregado una vez que se hayan normalizado las actividades.
- Una vez reanudada las actividades se deberá enviar la información correspondiente en físico y firmada por el Coordinador del Seminario, Subdirector Académico y el Director de la Unidad Académica.
- Se deberá enviar la liga y contraseña para realizar la supervisión de la plataforma y las sesiones a distancia que se realizarán.

Cabe señalar que tanto la información emitida para la autorización de vigencia, como los datos de los participantes utilizados en la emisión de constancias, está sustentada en los anexos adjuntos al oficio enviado por usted, por lo que solicito verificarla a detalle previamente a su trámite.

Sin otro particular, le envío un cordial saludo.

**ATENTAMENTE**

"La Técnica al Servicio de la Patria"



*J. Manuel Velázquez Peto*  
ING. JUAN MANUEL VELÁZQUEZ PETO  
DIRECTOR

INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL  
Dirección de Educación Superior

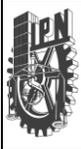
c.c.p. Dr. David Jaramillo Viguera. Secretario Académico del IPN.  
Lic. Fabiola Guadalupe Rodríguez Jiménez - Directora de Administración Escolar DAE.

T. s/t

JMVP/EGCV/ymvn

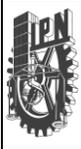
Página 2 de 2



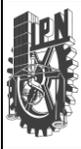


## Índice

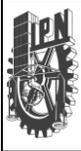
Resumen. ....	1
Abstract.....	2
Objetivo General. ....	3
Objetivos Específicos. ....	3
Justificación.....	4
Introducción.....	5
Capítulo 1.- Construcción de pozos.....	6
Capítulo 1.1.- Definición de pozo. ....	6
Capítulo 1.2.- Objetivo de un pozo. ....	6
Capítulo 1.3.- Construcción de un pozo. ....	7
Capítulo 1.3.1.- Etapas. ....	7
Capítulo 1.3.1.1.- Perforación. ....	8
Capítulo 1.3.1.2.- Cementación.....	8
Capítulo 1.3.1.3.- Terminación.....	9
Capítulo 2.- Fluidos de Control. ....	10
Capítulo 2.1.- Definición.....	10
Capítulo 2.2.- Ciclo típico de los fluidos de control.....	11
Capítulo 2.3.- Clasificación de los fluidos de control. ....	12
Capítulo 2.3.1.- Lodos Base Agua: .....	13
Capítulo 2.3.2.- Lodos Inhibidos.....	14
Capítulo 2.3.3.- Lodos de Bajo Contenido de Sólidos .....	14
Capítulo 2.3.4.- Lodos Base Aceite (Emulsión Inversa).....	15
Capítulo 2.4.- Propiedades de los fluidos de control.....	16
Capítulo 2.4.1.- Densidad.....	16
Capítulo 2.4.2.- Reología.....	17
Capítulo 2.4.3.- Tixotropía. ....	18
Capítulo 2.4.4.- Impermeabilidad.....	19
Capítulo 2.5.- Funciones básicas de los fluidos de control. ....	19
Capítulo 2.5.1.- Suspensión y acarreo de recortes:.....	19
Capítulo 2.5.2.- Control de las presiones de la formación: .....	20
Capítulo 2.5.3.- Estabilidad y control de infiltración en las paredes del agujero: .....	20
Capítulo 2.6.- Funciones complementarias del fluido de control.....	21
Capítulo 2.6.1.- Enfriamiento y lubricación de la barrena: .....	21
Capítulo 2.6.2.- Factor de flotación de la sarta.....	21
Capítulo 2.6.3.- Transmisión de la potencia hidráulica a la barrena: .....	22
Capítulo 3.- Bombas.....	23



Capítulo 3.1.- Definición.....	23
Capítulo 3.2.- Elementos principales de las bombas utilizadas en la perforación de pozos. .....	23
Capítulo 3.2.1.- Parte Mecánica. ....	23
Capítulo 3.2.2.- Parte Hidráulica. ....	24
Capítulo 3.3.- Clasificación.....	24
Capítulo 3.3.1.- Clasificación de Bombas volumétricas en relación con su principio. 25	
Capítulo 3.3.1.1.- Rotatorias.....	26
Capítulo 3.3.1.1.1.- Bombas de émbolos.....	26
Capítulo 3.3.1.1.2.- Bombas lobulares. ....	27
Capítulo 3.3.1.1.3.- Bombas de tornillo. ....	27
Capítulo 3.3.1.1.4.- Bombas de engranajes. ....	27
Capítulo 3.3.1.2.- Recíprocantes. ....	28
Capítulo 3.3.1.2.1.- Bombas de Diafragma. ....	28
Capítulo 3.3.1.3.- Desplazamiento positivo. ....	29
Capítulo 3.3.1.3.1.- Bombas Dúplex. ....	29
Capítulo 3.3.1.3.1.1.- Funcionamiento ..... 30	
Capítulo 3.3.1.3.2.- Bombas Tríplex. ....	31
Capítulo 3.3.1.3.2.1.- Funcionamiento. ....	32
Capítulo 3.3.1.3.3.- Tabla comparativa entre las bombas Dúplex y Tríplex..... 33	
Capítulo 3.3.1.4.- Desplazamiento no positivo. ....	34
Capítulo 3.3.1.4.1.- Bombas centrífugas. ....	34
Capítulo 3.4.- Afectaciones en las bombas.....	34
Capítulo 3.4.1.- Desgaste.....	35
Capítulo 3.4.1.1.- Tipos de desgaste.....	35
Capítulo 3.4.1.1.1.- Erosión.....	36
Capítulo 3.4.1.1.2.- Corrosión. ....	37
Capítulo 3.4.1.1.3.- Abrasión. ....	37
Capítulo 3.4.2.- Cavitación.....	38
Capítulo 3.4.2.1.- Cavitación general. ....	38
Capítulo 3.4.2.2.- Cavitación local. ....	38
Capítulo 3.4.2.3.- Cavitación transitoria. ....	38
Capítulo 3.4.2.4.- Cavitación permanente. ....	38
Capítulo 3.5.- Mantenimiento.....	39
Capítulo 3.5.1.- Tipos de mantenimiento ..... 40	
Capítulo 3.5.1.1.- Mantenimiento Regular.....	40
Capítulo 3.5.1.2.- Mantenimiento Preventivo ..... 40	
Capítulo 3.5.2.- Medidas de seguridad ..... 40	
Capítulo 4.- Análisis matemático aplicado para la selección de sistemas de bombeo en fluidos de control.....	41
Capítulo 4.1.- Análisis matemático y conceptos generales considerados para determinar la selección de sistemas de bombeo. ....	41



Capítulo 4.1.1.- Gasto.....	41
Capítulo 4.1.2.- Tiempo de atraso. ....	42
Capítulo 4.1.3.- Velocidad Anular. ....	42
Capítulo 4.1.3.1.- Ritmos de circulación. ....	42
Capítulo 4.1.4.- Eficiencia.....	45
Capítulo 4.1.5.- Potencia. ....	46
Capítulo 4.1.6.- Gasto mínimo recomendable.....	46
Capítulo 5.- Adquisición de los sistemas de bombeo para las operaciones de PEMEX durante el periodo 2007-2018.....	48
Capítulo 5.1.- Bombas Centrifugas. ....	48
Capítulo 5.2.- Bombas de desplazamiento positivo. ....	49
Capítulo 5.3.- Bombas Reciprocantes. ....	50
Capítulo 5.4.- Bombas rotatorias.....	51
Capítulo 5.4.1.- Bombas de Tornillo.....	51
Capítulo 5.4.2.- Bombas de engranes.....	52
Capítulo 5.5.- Demanda por tipo de bomba.....	53
Conclusiones.....	54
Diagramas, Graficas y Tablas.....	55
Figuras. ....	56
Bibliografías. ....	57

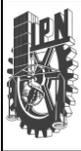


## Resumen.

Este trabajo de carácter informativo pretende dar a conocer la importancia de los sistemas de bombeo en la circulación de fluidos de control empleados en la construcción de pozos petroleros en sus diferentes etapas.

Este trabajo consta de los siguientes capítulos:

- En el capítulo 1 se definirá lo que es un pozo, su objetivo, así como se explicará a detalle cada una de las etapas de su construcción.
- En el capítulo 2 se definirán y clasificarán los fluidos de control en función de las condiciones del pozo, se mencionará las funciones y propiedades del lodo de perforación.
- En el capítulo 3 se definirá lo que es una bomba y sus distintas clasificaciones, se explicará e ilustrará a detalle el funcionamiento de cada elemento dentro de una bomba, los respectivos mantenimientos de las bombas y una comparación entre ventajas y desventajas de cada equipo.
- En el capítulo 4 se definen los conceptos matemáticos para la selección de un sistema de bombeo, se describen las fórmulas utilizadas para cada parámetro de la bomba.
- Y por último en el capítulo 5 se mostrarán las bombas más utilizadas en la industria petrolera en México.

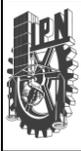


## Abstract.

This informative work aims to publicize the importance of pumping systems in the circulation of control fluids used in the construction of oil wells in their different stages.

This work consists of the following chapters:

- Chapter 1 will define what a well is, its objective, and each stage of its construction will be explained in detail.
- Chapter 2 will define and classify control fluids based on well conditions, mentioning the functions and properties of drilling mud.
- Chapter 3 will define what a pump is and its different classifications, it will explain and illustrate in detail the operation of each element within a pump, the respective maintenance of the pumps and a comparison between advantages and disadvantages of each equipment.
- Chapter 4 defines the mathematical concepts for the selection of a pumping system, describes the formulas used for each parameter of the pump.
- And finally in chapter 5 the most used pumps in the oil industry in Mexico will be shown.

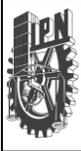


## Objetivo General.

Éste trabajo de carácter bibliográfico pretende dar a conocer la importancia de los sistemas de bombeo empleados en el desplazamiento de los fluidos de control aplicados en las diferentes etapas que se llevan a cabo en la construcción de pozos petroleros con el propósito de llegar a las formaciones productoras.

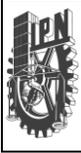
## Objetivos Específicos.

- Conocer los principios que rigen el funcionamiento de un sistema de bombeo.
- Determinar el tipo de bomba más adecuada de acuerdo con las propiedades que tienen los fluidos a emplear.
- Conocer las afectaciones de las bombas por operatividad.
- Conocer los conceptos matemáticos que rigen a las bombas.



## Justificación.

Con el desarrollo de esta investigación se podrá estudiar a detalle los tipos de bombas que se utilizan en la construcción de pozos petroleros. Así como dar a conocer los elementos que depende la bomba para su completo funcionamiento, se desglosa las clasificaciones de las bombas dependiendo de la relación con su principio.



## Introducción.

Durante la perforación de pozos, es de suma importancia llevar a cabo una operación adecuada, teniendo en cuenta siempre utilizar buenos materiales y que los equipos se encuentren en buen estado. Se debe tener la certeza de que nuestra operación se encuentra asegurada, esto se logra llevando un control de nuestro sistema de bombas y manteniendo íntegro el sistema de circulación, analógicamente tan esencial como las venas en nuestro cuerpo, por lo que podemos decir que el fluido de control será como la sangre del pozo, de manera que siempre debemos mantener un control en su composición y propiedades relacionadas a la formación a intervenir, procurando siempre evitar el daño a la formación.

Sin embargo, poco nos sirve tener venas fuertes y una buena sangre, si nuestro corazón (sistema de bombeo) no funciona o no se conoce adecuadamente. Se vuelve fundamental conocer e identificar todas las partes importantes del sistema, empezando por las presas de lodo y reconociendo todo el recorrido que conducirá nuestro fluido, hasta repetir el ciclo regresando a las presas.

Pero *¿Qué es una bomba de lodos?*, esa es la pregunta por responder, es aquel mecanismo que nos permitirá desplazar y circular un fluido, inyectándolo al interior del pozo directamente a través de la tubería (Sarta, aparejo de fondo, barrena) hasta la formación y en su retorno por el espacio anular.

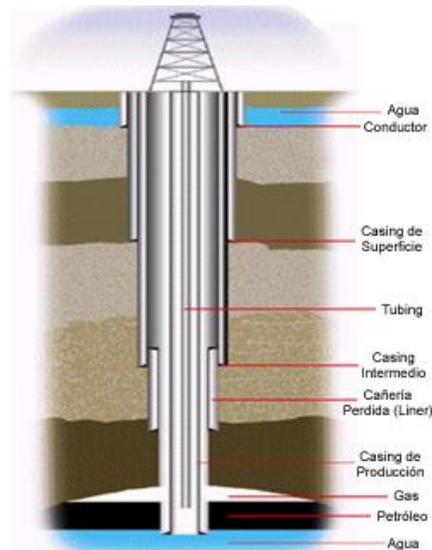
Entre estos equipos existen diferentes tipos que se utilizan en la Industria Petrolera para la construcción de pozos, los cuales se abordarán y explicarán a lo largo del escrito.

## Capítulo 1.- Construcción de pozos.

### Capítulo 1.1.- Definición de pozo.

En términos generales, un pozo es una obra de ingeniería en forma de orificio, túnel vertical o perforación que se realiza en la tierra con el fin de conectar una formación específica con la superficie.

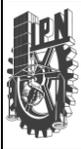
Los pozos procuran una forma cilíndrica, dependiendo del propósito será necesario asegurar las paredes con tuberías de revestimiento de acero, cemento (Cementación de pozos), piedra o madera para evitar derrumbes en las paredes del pozo. *Ver Figura 1.1*



*Figura 1.1.- Ejemplo de un Pozo (petrolero)*

### Capítulo 1.2.- Objetivo de un pozo.

Existen varias razones y objetivos por los que se construye un pozo, van desde la exploración de formaciones rocosas, extracción de recursos (hídricos o energéticos), aprovechamiento de energía geotermal (pozos geotérmicos), auxiliares en desastres (pozos de alivio), hasta la deposición de residuos (pozos letrina). En general todos tienen la premisa de alcanzar un objetivo en una formación a una determinada profundidad.



### Capítulo 1.3.- Construcción de un pozo.

Dentro de la construcción de un pozo existen diferentes técnicas dependientes al tipo de pozo, teniendo una geometría prevaleciente cilíndrica, con diámetros diferidos, para poder aprovechar al máximo el efecto de capilaridad y así nuestros energéticos fluyan a superficie de manera idónea, algo que tienen en común son los equipos empleados, que se describirán a continuación (Diagrama 1.1).

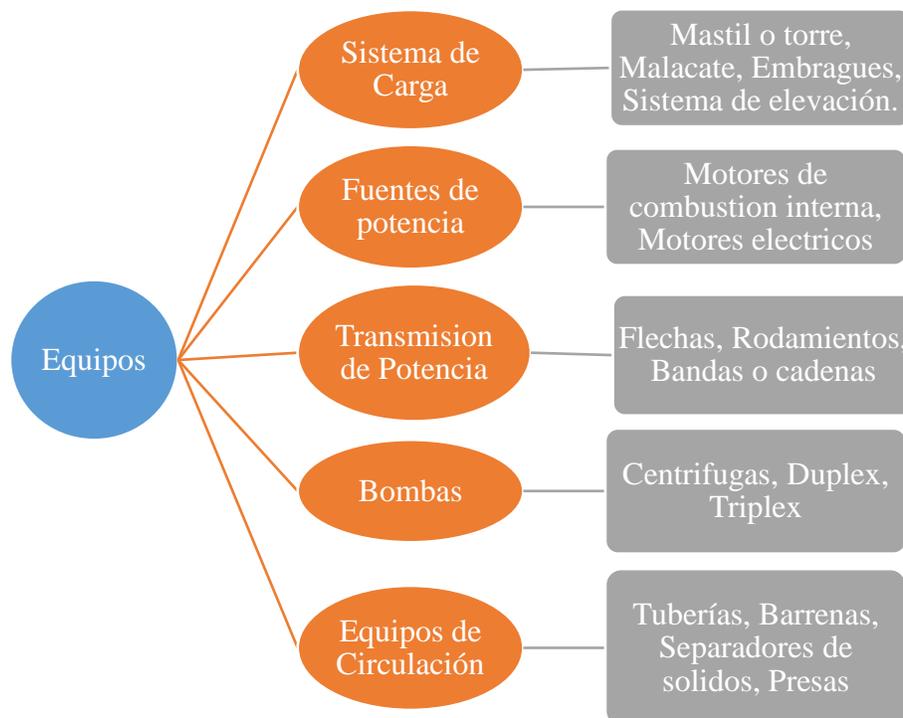


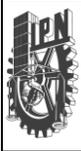
Diagrama 1.1.- Equipos empleados en la construcción de pozos.

Fuente: Apuntes Seminario de ingeniería de Fluidos de Control IPN.

#### Capítulo 1.3.1.- Etapas.

Las etapas en la construcción de un pozo son las siguientes:

- Perforación.
- Cementación.
- Terminación.



A continuación, se describirán cada una de las etapas de la construcción de pozos para la extracción de los energéticos.

#### Capítulo 1.3.1.1.- Perforación.

Se define de manera simple como el proceso en el cual se construye un agujero atravesando un medio, con el objetivo de alcanzar un recurso de interés generalmente de carácter energético a una determinada profundidad en la tierra, sin embargo, es una tarea bastante compleja y delicada, por lo que debe ser planeada y ejecutada cuidadosamente de una forma segura, eficaz y eficiente de manera que resulte en un pozo económicamente rentable y productivo.

#### Capítulo 1.3.1.2.- Cementación.

La cementación de pozos es el proceso por el cual se bombea en un pozo una lechada de cementación entre la formación rocosa y el pozo con diversos objetivos:

- Para proteger de la contaminación a acuíferos y fuentes subterráneas de agua. (previniendo la transferencia de agua entre zonas)
- Para mantener la presión y calidad de los acuíferos atravesados.
- Para aislar la zona productora objetivo de otras formaciones. (Protege el Casing de formaciones y fluidos corrosivos)
- Remediación.

Las principales operaciones de cementación incluyen:

- La cementación de Tuberías de Revestimiento.
- La cementación de los liners
- La colocación de tapones de cementación.
- Realización de trabajos de reparación de pozos.



Figura 1.2.- Corte transversal de un proceso de cementación.

El proceso de cementación incluye la preparación de una lechada de cemento compuesta principalmente de tres elementos: cemento en polvo, agua y aditivos químicos para controlar

las propiedades del cemento. Posteriormente al mezclado, la lechada se bombea al pozo mediante bombas de alta presión.

Las operaciones en la cementación de un pozo son divididas en dos secciones conocidas como: cementación primaria y secundaria con fines de remediación. En cualquier caso, es necesario conocer algunos criterios de fabricación y composición de los cementos, así como los aditivos que contienen, que nos ayudarán a permitir la selección correcta del cemento de acuerdo con nuestras necesidades o adecuaciones al pozo perforado.

### Capítulo 1.3.1.3.- Terminación.

Se entiende por terminación de un pozo a las actividades encaminadas a explotar el yacimiento, a través de las tuberías de revestimiento de explotación contando con la introducción, anclaje y empacamiento del aparejo de producción para dejar produciendo el pozo por el método más conveniente.

Las operaciones de terminación en un pozo iniciaran al tener contacto con el intervalo productor y así no afectar las propiedades petrofísicas de la formación.

En términos básicos una terminación consiste en establecer de forma controlada un conducto y asegurar la comunicación entre el yacimiento y la superficie cuidando de proteger la tubería de revestimiento que representa la vida del pozo, aprovechando así óptimamente la energía del yacimiento. Ver Figura 1.3

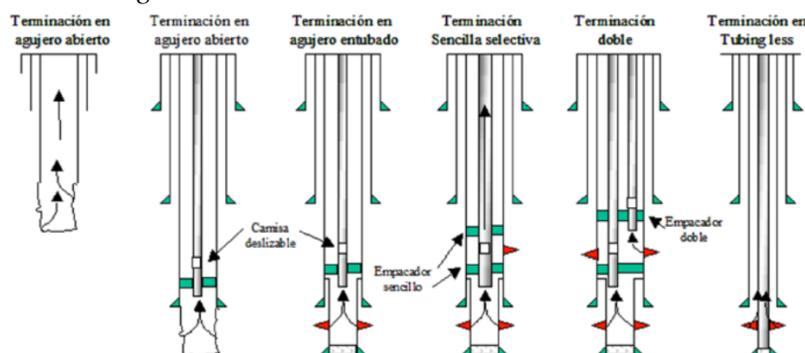
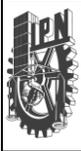


Figura 1.3.- Evolución en las terminaciones.



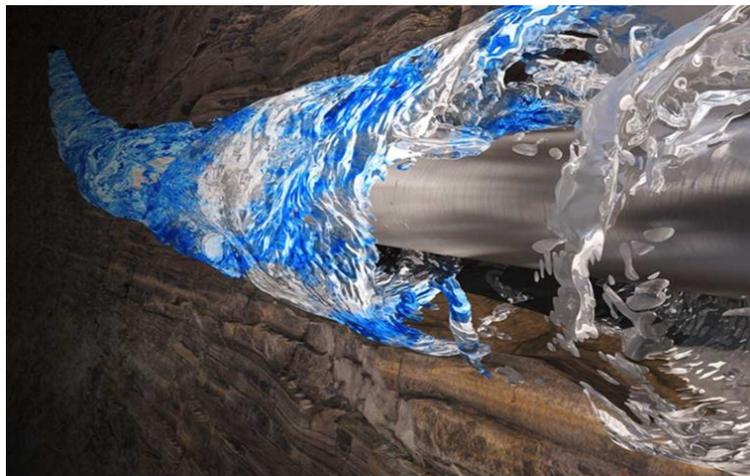
## Capítulo 2.- Fluidos de Control.

En este capítulo se abordarán los temas relacionados a los fluidos de control, desde ¿Qué son?, ¿Cómo se componen?, sus principales funciones y propiedades, y los tipos de fluidos de control.

### Capítulo 2.1.- Definición

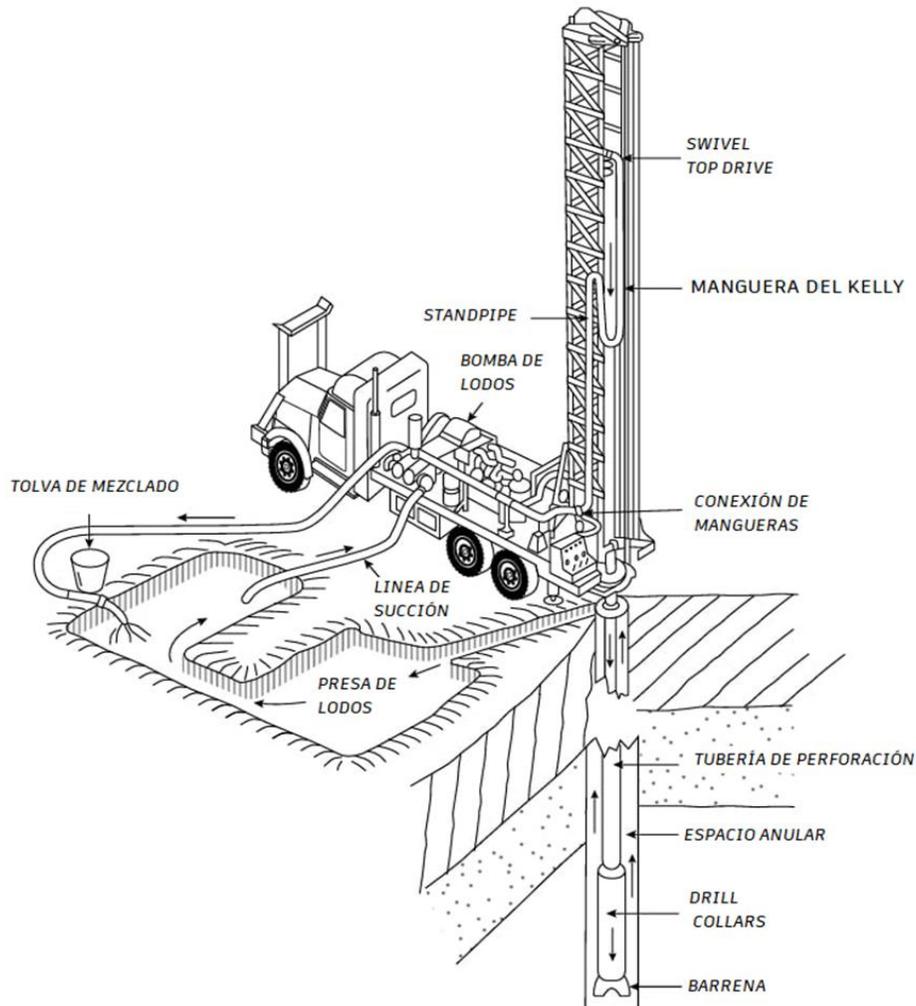
Un fluido de control es aquel sistema de fluidos líquidos y/o gaseosos que combinados con ciertos materiales de tamaño coloidal y aditivos químicos adquiere las propiedades físicas y químicas idóneas para controlar las condiciones de la formación intervenida o eventualidad presentada en su recorrido de retorno a la superficie durante cualquier operación en un pozo.

Estos están constituidos por una fase continua (agua, gas, aceite) y una dispersa (partículas coloidales).



*Figura 2.1.- Imagen representativa de un fluido de control durante la perforación.*

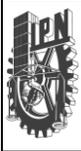
## Capítulo 2.2.- Ciclo típico de los fluidos de control.



SISTEMA TÍPICO DE CIRCULACIÓN DE LODOS

Figura 2.2.- Sistema de circulación.  
Fuente: *The drilling manual*, ADITC (2015)  
p. 328.

El lodo se bombea desde la presa de succión, asciende por el standpipe hacia la manguera del Kelly, swivel y top drive consecutivamente, desciende por la tubería de perforación hasta la barrena. El esfuerzo de cizalla (corte) y la temperatura afectan el lodo a medida que éste es bombeado hacia a barrena a alta velocidad y presión.



El fluido impacta la formación y la controla a medida que el lodo retorna por el espacio anular, pierde condiciones de fondo de pozo afectado por la deshidratación, y solidos de la formación.

En superficie el fluido fluye por la tubería de descarga hacia los equipos de control de solidos (desarenadores y desarcilladores), donde los residuos más grandes son removidos, a medida que el fluido fluye por las presas de lodo, se produce un reacondicionamiento de las propiedades del lodo, se mezclan aditivos nuevos en el sistema, se repone la fase continua y se ajusta la densidad del lodo, preparando el fluido para continuar su ciclo de regreso al fondo del pozo. *Ver Figura 2.2*

### Capítulo 2.3.- Clasificación de los fluidos de control.

En la industria petrolera se tienen diversos fluidos de control, desde el más sencillo hasta el más complejo, todos dependientes de las formaciones a intervenir durante el intervalo a perforar, así como también de la etapa en la que estemos en la construcción de un pozo.

En el diagrama (2.1) se clasifican los fluidos de control según su medio portador:

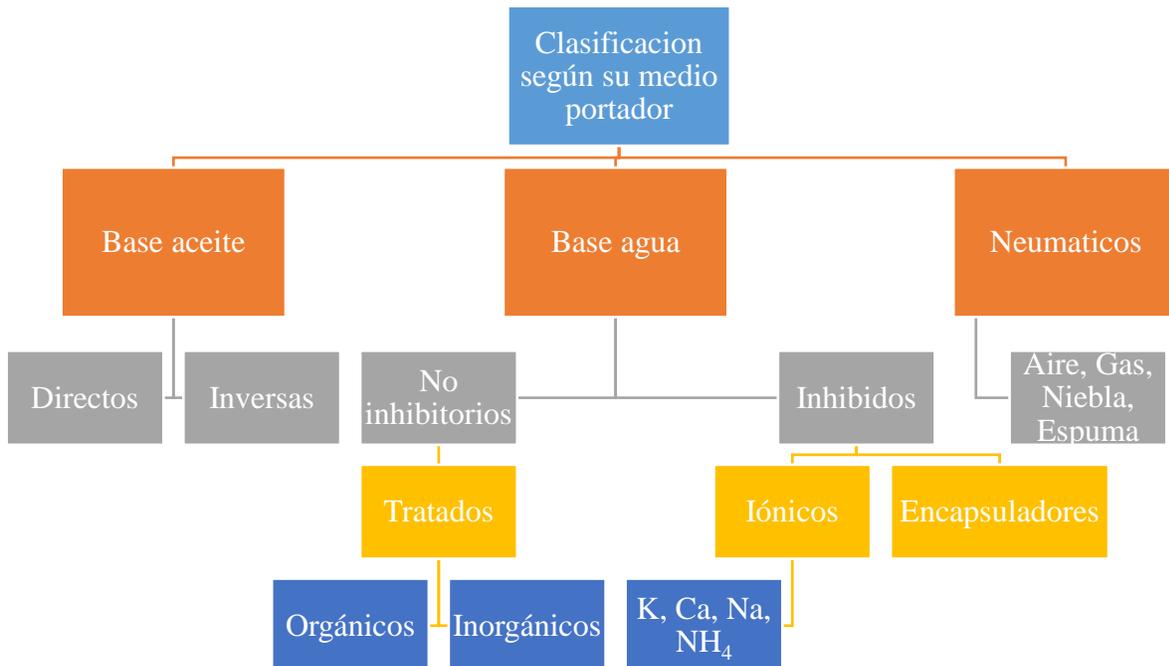
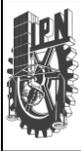


Diagrama 2.1.- Clasificación de los fluidos de control según su medio portador.

Fuente: Apuntes del Seminario de Fluidos de Control.



Cada tipo de fluido cuenta con una fase continua y dispersa diferente, así como los aditivos añadidos para que este cumpla su función.

Los lodos de perforación están hechos de tres principales componentes:

- Un líquido base.
- Sólidos activos.
- Sólidos inertes.

**Líquido base:** El aceite, agua salada y agua dulce pueden ser utilizados como líquido base en los lodos de perforación. Los fluidos base aceite y agua salada están casi totalmente restringidos a la etapa de perforación de zonas productoras, mientras los lodos base agua dulce son ampliamente utilizados en el resto de las etapas.

**Sólidos activos.** Son aquellas arcillas o polímeros que son añadidos a los fluidos base para producir una suspensión coloidal. Estos determinan la viscosidad del lodo y son conocidos como viscosificantes.

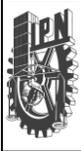
**Sólidos inertes:** Son sustancias añadidas al lodo, principalmente como material densificante, aumentan la densidad del lodo sin afectar de manera significativa la viscosidad. Sin la presencia de los materiales viscosificantes, estos sólidos inertes se precipitarían rápidamente en el sistema.

De lo anterior, los lodos más utilizados en las actividades de perforación son:

- Lodos base agua.
- Lodos inhibidos.
- Lodos de bajo contenido de sólidos.
- Lodos base aceite.

### Capítulo 2.3.1.- Lodos Base Agua:

Se denomina lodos base agua con dispersantes orgánicos, y cuando se les agrega aceite se denominan emulsionados. Los primeros son los más utilizados y se clasifican de acuerdo con el dispersante usado en su control. Los lodos base agua emulsionados requieren en su



preparación aceite, diésel o crudo en cantidad de 5 a 10% del volumen total del lodo. Las ventajas de este tipo de lodo son:

- Aumentar el avance de la perforación.
- Prolongar la vida de la barrena.
- Reducir la torsión y embolamiento de la barrena.
- Prevenir pegaduras por presión diferencial.
- Mejorar el enjarre.
- Incrementar el poder de lubricación de la barrena.

Sin embargo, los lodos base agua pueden provocar no sólo disminución de la densidad y el filtrado sino aumento de la viscosidad.

### **Capítulo 2.3.2.- Lodos Inhibidos**

En algunas operaciones de perforación, los lodos base agua no resultan efectivos, sobre todo cuando se requieren altas densidades sin alterar la viscosidad o gelatinosidad. En estos casos, se recomienda el uso de los lodos inhibidos tales como los cálcicos, base yeso, de agua de mar y de agua saturada de sal.

Dentro de las ventajas de los lodos inhibidos tanto cálcicos como base yeso se pueden mencionar la protección que brindan a la tubería de perforación de la corrosión y suspensión de la actividad biológica; sin embargo, tienen la desventaja de solidificarse a temperaturas de fondo mayores de 120° C. Por otra parte, los lodos de agua de mar y de agua saturada de sal se usan generalmente para evitar los problemas de perforación provocados por la presencia de sal en la columna litológica.

### **Capítulo 2.3.3.- Lodos de Bajo Contenido de Sólidos**

Se define como un lodo de perforación, terminación o reparación al que cumple ciertos requisitos de densidad, viscosidad y control de filtración con un contenido mínimo de arcilla. Dentro de este tipo de lodos se pueden nombrar los siguientes: gomas, asbestos finamente

divididos, arcilla beneficiada, combinados (bentonita prehidratada-lignosulfonato) y lodo no dispersivo. En áreas donde este tipo de lodos es aplicable, se obtienen grandes ahorros por:

- Aumentar el grado de penetración.
- Incrementar la vida de la barrena.
- Mejorar la estabilidad el agujero.

Por otra parte, el uso de este tipo de lodos es delicado (por la estabilidad del pozo), por lo que deben tomarse ciertas consideraciones en su uso tales como: reducción del uso de bentonita para controlar la viscosidad y el filtrado, control del filtrado con polímeros orgánicos, y el uso de doble malla en las temblorinas para una mejor eliminación del recorte y del funcionamiento del sistema de control de sólidos.

#### Capítulo 2.3.4.- Lodos Base Aceite (Emulsión Inversa)

El lodo base aceite se refiere a lodos preparados en aceite con un porcentaje de 1 a 5% de volumen de agua, mientras que el lodo de emulsión inversa se usa para designar un lodo con más del 5% y hasta con 40% de volumen de agua; éste se puede dispersar y emulsificar con aceite. Estos fluidos son estables a altas temperaturas, inertes a la contaminación química y pueden ser densificados después de ser ajustada la relación aceite-agua. Estos tipos de lodo se utilizan en los siguientes casos:

- Formaciones con altas temperaturas.
- Formaciones con lutitas hidrófilas (arcillas deshidratadas)
- Formaciones con anhídrita o yeso.

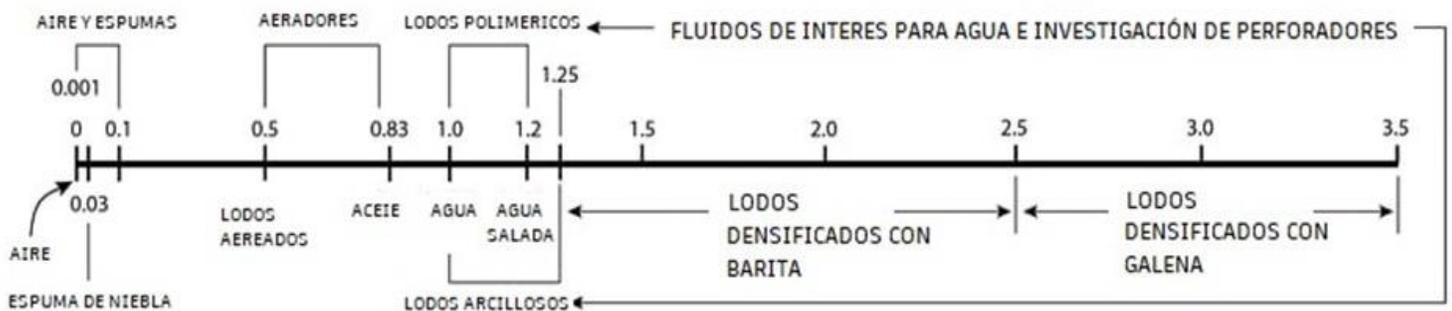
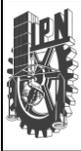


Figura 2.3.- Fluidos de perforación y sus gravedades específicas.



## Capítulo 2.4.- Propiedades de los fluidos de control.

Un fluido de control debe contar con ciertas propiedades para que pueda cumplir con su función y sus principales son:

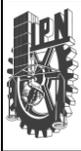
### Capítulo 2.4.1.- Densidad.

Se define como la relación de masa dividida por unidad de volumen. Las unidades comunes de densidad son las libras por galón (lb/gal), libras por pie cúbico (lb/ft<sup>3</sup>), kilogramos por centímetro cúbico (kg/cm<sup>3</sup>) y gramos por centímetro cúbico (gr/cm<sup>3</sup>); siendo esta última la más utilizada en el campo.

Los lodos de perforación pueden tener un rango de densidades de 1.07 a 2.50 gr/cm<sup>3</sup> lo que permite una óptima velocidad de penetración al contrarrestar la presión de formación, sin provocar pérdidas de circulación.

La densidad máxima del lodo que se requiere en la perforación de un pozo está determinada por el gradiente de presión, la presión de poro a una profundidad dada excede la presión ejercida por el peso de la formación sobre la profundidad evaluada (presión de sobrecarga).

Para prevenir la entrada de fluidos desde la formación al agujero, el lodo debe proveer una presión mayor a la presión de poros encontrada en los estratos a ser perforados. Un exceso en la densidad del fluido puede ocasionar la fractura de la formación.



### Masa de materiales de lodo pulverizados en un contenedor de 1 litro

Material del lodo	Masa de polvo (kg)
Polímero	0.6
Bentonita	1.1
Bentonita de alta cedencia	1.1
Carbonato sódico	0.8
Sal	1.1
Químico rompe polimeros	1.4
Barita	2.2
Espumante	1.1
Cemento	1.5

*Tabla 2.1.-Masa de materiales de lodo pulverizados en un contenedor de 1 litro.*

### Capítulo 2.4.2.- Reología.

La reología se define como la parte de la física que estudia la relación entre el esfuerzo y la deformación en los materiales capaces de fluir. La reología es una parte mecánica de medios continuos.

La ciencia de la reología estudia las relaciones esfuerzo-deformación de los materiales, de los avances más importantes es el desarrollo de las teorías para el estudio del comportamiento del flujo de suspensiones en tuberías y otros conductos.

La forma más usada para el análisis esfuerzo-deformación es a partir de grafica llamadas “reogramas” o “curvas de comportamiento de flujo” o “curvas de consistencia”.

Esta propiedad se mide en laboratorio con ayuda de equipos de medición como los viscosímetros rotacionales FANN 35, auxiliares en la verificación del comportamiento de nuestro fluido.

### Capítulo 2.4.3.- Tixotropía.

La Tixotropía es la propiedad de algunos fluidos no newtonianos, los cuales muestran un cambio dependiente del tiempo en su viscosidad; cuanto más se somete el fluido a esfuerzos de cizalla o corte, más disminuye su viscosidad.

Esta propiedad nos ayuda a entender el comportamiento que tendrá el fluido cuando sea bombeado o cuando por alguna razón se tenga que parar la circulación, el fluido deberá tener la capacidad de mantener el sistema y sus propiedades estables en cualquiera de los casos.

En la siguiente imagen se puede observar el comportamiento de dos fluidos relacionados a su viscosidad aunado a la tixotropía de estos.

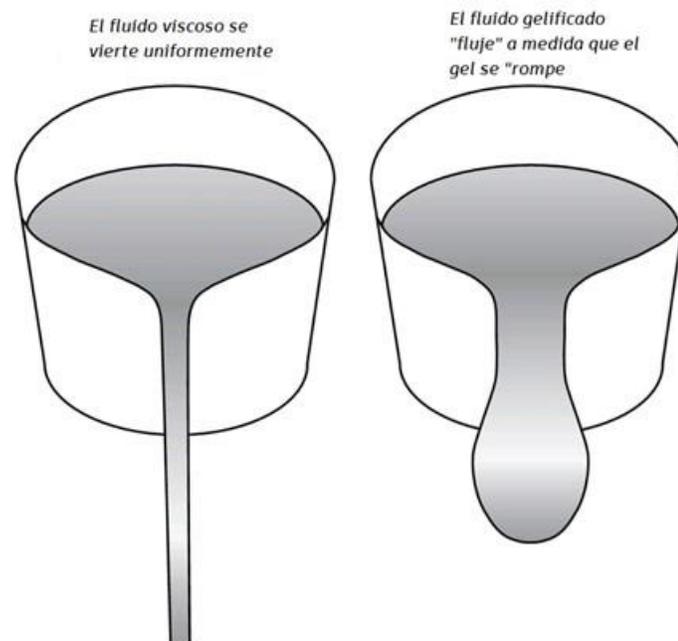
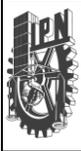


Figura 2.4.- Característica de flujo de algunos fluidos



#### **Capítulo 2.4.4.- Impermeabilidad.**

Un buen fluido de perforación debe depositar una película delgada y de baja permeabilidad (enjarre o mudcake) en la pared del agujero frente a las formaciones permeables para consolidarlas y para retardar el paso del fluido desde el agujero del pozo hacia la formación permeable.

El control de filtración se logra en los fluidos de perforación mediante la adición de arcilla bentonítica, polímeros para control de pérdida de fluidos, lignitos, resinas, etc.

La presión diferencial resultará en invasión del fluido, la cual en ausencia de un revoque empujará al lodo a su filtrado hacia la formación.

La pérdida de lodo o de filtrado causará daños a la formación.

#### **Capítulo 2.5.- Funciones básicas de los fluidos de control.**

Las siguientes funciones básicas de los fluidos de perforación son de vital importancia que se incluyan en el programa operativo de perforación ya que sin estas funciones no se tendría una construcción de pozo exitosa.

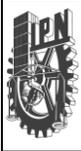
##### **Capítulo 2.5.1.- Suspensión y acarreo de recortes:**

La capacidad del fluido para acarrear o suspender los recortes depende de cuatro factores:

1. Ritmo de flujo del fluido.
2. Viscosidad del fluido.
3. Forma y tamaño de los recortes.
4. Gravedad específica de los recortes y el fluido.

Además de la tixotropía de la solución coloidal, justo como la viscosidad es una medida de la fuerza requerida para mantener un fluido fluyendo, la fuerza gel, es una medida de la fuerza requerida para romper el gel y comenzar a hacer fluir el fluido. Este comportamiento de gel es el que mantiene suspendidos los recortes.

El espesor de una solución coloidal es medida por su viscosidad plástica, la viscosidad plástica es la parte de la resistencia al flujo causada por la fricción mecánica, es afectada por



la temperatura, el ritmo de agitación o bombeo, contenidos sólidos y la forma y tamaño de las partículas sólidas. Por lo tanto, el punto de cedencia es el segundo componente de resistencia al flujo de un fluido de perforación, es la medida de una fuerza electro- química o de atracción en un lodo. Estas fuerzas son el resultado de cargas positivas o negativas localizadas cerca de la superficie de las partículas.

Las mediciones de la viscosidad plástica y del punto de cedencia son extremadamente útiles para determinar la causa de viscosidades anormales en los fluidos de perforación.

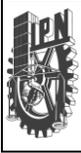
Altas concentraciones de solidos llevan a una alta fricción que aumentará la viscosidad plástica. El disminuir el tamaño de los sólidos a volumen constante también aumenta la viscosidad plástica debido a que hay un aumento en el área de contacto entre las partículas lo que aumenta la fricción.

#### **Capítulo 2.5.2.- Control de las presiones de la formación:**

Otra función del lodo es la de controlar las presiones de la formación, siendo ésta con un rango normal de  $0.107 \text{ kg/cm}^2$  por metro. A esto se le denomina “Gradiente de Presión de Formación”; el lodo genera una presión (Presión Hidrostática) que contrarresta la presión de la formación. La presión hidrostática está en función de la densidad del lodo y de la profundidad del agujero. La densidad del fluido de perforación debe ser adecuada para contener cualquier presión de la formación y evitar el flujo de los fluidos de la formación hacia el pozo.

#### **Capítulo 2.5.3.- Estabilidad y control de infiltración en las paredes del agujero:**

Esto se refiere a la propiedad que tiene el lodo para formar un enjarre o película que se forman en las paredes del agujero que sea liso, delgado, flexible y de baja permeabilidad; lo cual ayuda a minimizar los problemas de derrumbes y atascamiento de la tubería, además de consolidar a la formación. Así mismo, este proceso evita las filtraciones del agua contenida en el lodo hacia las formaciones permeables y reduce la entrada de los fluidos contenidos en la formación al ejercer una presión sobre las paredes del agujero P.H (Presión hidrostática).



Normalmente, la densidad del agua más la densidad de los sólidos obtenidos durante la perforación es suficiente para balancear la presión de la formación en las zonas superficiales de baja presión.

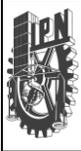
## **Capítulo 2.6.- Funciones complementarias del fluido de control.**

### **Capítulo 2.6.1.- Enfriamiento y lubricación de la barrena:**

Durante la perforación se va produciendo un calor considerable debido a la fricción de la barrena y herramienta con la formación que tiene una temperatura natural llamada “Gradiente Geotérmico (Relación que existe entre la temperatura y la profundidad del pozo; donde dicho gradiente promedio es de 1° Centígrado por cada 30 metros (100 pies) de profundidad)”. Debido a esto, el lodo debe tener suficiente capacidad calorífica y conductividad térmica para permitir que el calor sea recogido desde el fondo del pozo para ser transportado a la superficie y dispersado a la atmósfera; el lodo también ayuda a la lubricación de la barrena mediante el uso de emulsionantes o aditivos especiales que afecten la tensión superficial. Esta capacidad lubricante se demuestra en la disminución de la torsión de la sarta, aumento de la vida útil de la barrena, reducción de la presión de la bomba, etc.

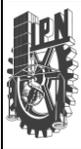
### **Capítulo 2.6.2.- Factor de flotación de la sarta.**

Con el incremento de las profundidades perforadas, el peso que soporta el equipo de perforación se hace cada vez mayor, y con base en el Principio de Arquímedes la tubería recibe un empuje ascendente al estar sumergida en el fluido de perforación. A este fenómeno también se le conoce como efecto de flotación donde el empuje depende de la profundidad a la que se encuentra la tubería y la densidad del fluido sustentante. El peso de la sarta de perforación y el de la tubería de revestimiento en el lodo, es igual a su peso en el aire multiplicado por dicho factor de flotación. El aumento de la densidad del lodo conduce a una reducción del peso total que el equipo de superficie debe soportar.



### **Capítulo 2.6.3.- Transmisión de la potencia hidráulica a la barrena:**

El fluido de perforación es el medio para transmitir la potencia hidráulica requerida a través de las salidas del lodo en la barrena (toberas), donde gran parte de esta potencia producida por las bombas se utiliza para mover la columna del lodo existente en el espacio anular y así establecer una circulación pertinente; ayudando a perforar la formación y limpiar el fondo del agujero. Las propiedades químicas del flujo del lodo (viscosidad plástica, punto cedente, etc.), ejercen una considerable influencia sobre las propiedades hidráulicas y deben ser controladas con los valores apropiados. El contenido de sólidos en el lodo también debe ser controlado en un nivel óptimo para lograr los mejores rendimientos.



## Capítulo 3.- Bombas.

### Capítulo 3.1.- Definición.

Una bomba se puede definir como un mecanismo que absorbe energía mecánica y que la transfiere al fluido que la atraviesa (energía hidráulica), la cual permite al fluido ser transportado de un lugar a otro, a un mismo nivel y/o a diferentes niveles y/o a diferentes velocidades.

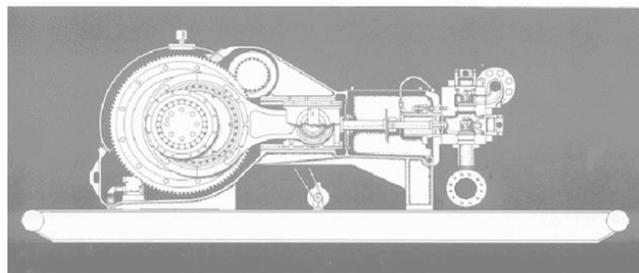
### Capítulo 3.2.- Elementos principales de las bombas utilizadas en la perforación de pozos.

Las bombas están formadas por dos partes fundamentales que son:

- La parte mecánica.
- La parte hidráulica.

#### Capítulo 3.2.1.- Parte Mecánica.

Está compuesta por uno o dos motores de alta potencia, capaces de mover los engranes y componentes que forman la parte sólida de la bomba y que en conjunto ponen en movimiento los sistemas de succión e inyección de la parte hidráulica. Ver Figura 3.1.



*Figura 3.1.- Vista lateral de una bomba.*

*Fuente: Manual de Capacitación “Tiempo de atraso e hidráulica de las bombas”*

### Capítulo 3.2.2.- Parte Hidráulica.

Esta se refiere a los espacios vacíos de las camisas por donde se desplazan los pistones movidos por los vástagos y cuyos movimientos de avance y retroceso completan el ciclo de llenado y vaciado del lodo o succión e inyección. Ver Figura 3.2.

Para calcular el gasto se requiere conocer las dimensiones de la parte hidráulica.

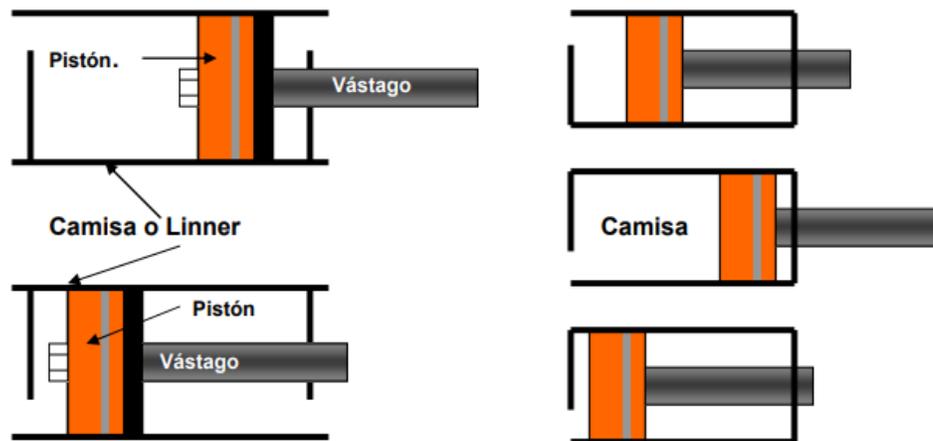


Figura 3.2.- Representación gráfica de la parte hidráulica.

Fuente: Manual de Capacitación "Tiempo de atraso e hidráulica de las bombas"

### Capítulo 3.3.- Clasificación.

Las bombas son empleadas para una diversidad de usos, existen desde las de uso doméstico hasta las de nivel industrial, como es el caso de las que son usadas en la industria petrolera. Cada bomba responde a una necesidad específica por lo que existe alta variedad de diseños, materiales y capacidades que en general se agrupan conforme a la siguiente clasificación (Diagrama 1.1). Las dos principales clasificaciones de bombas son:

- De desplazamiento positivo.
- Dinámicas.

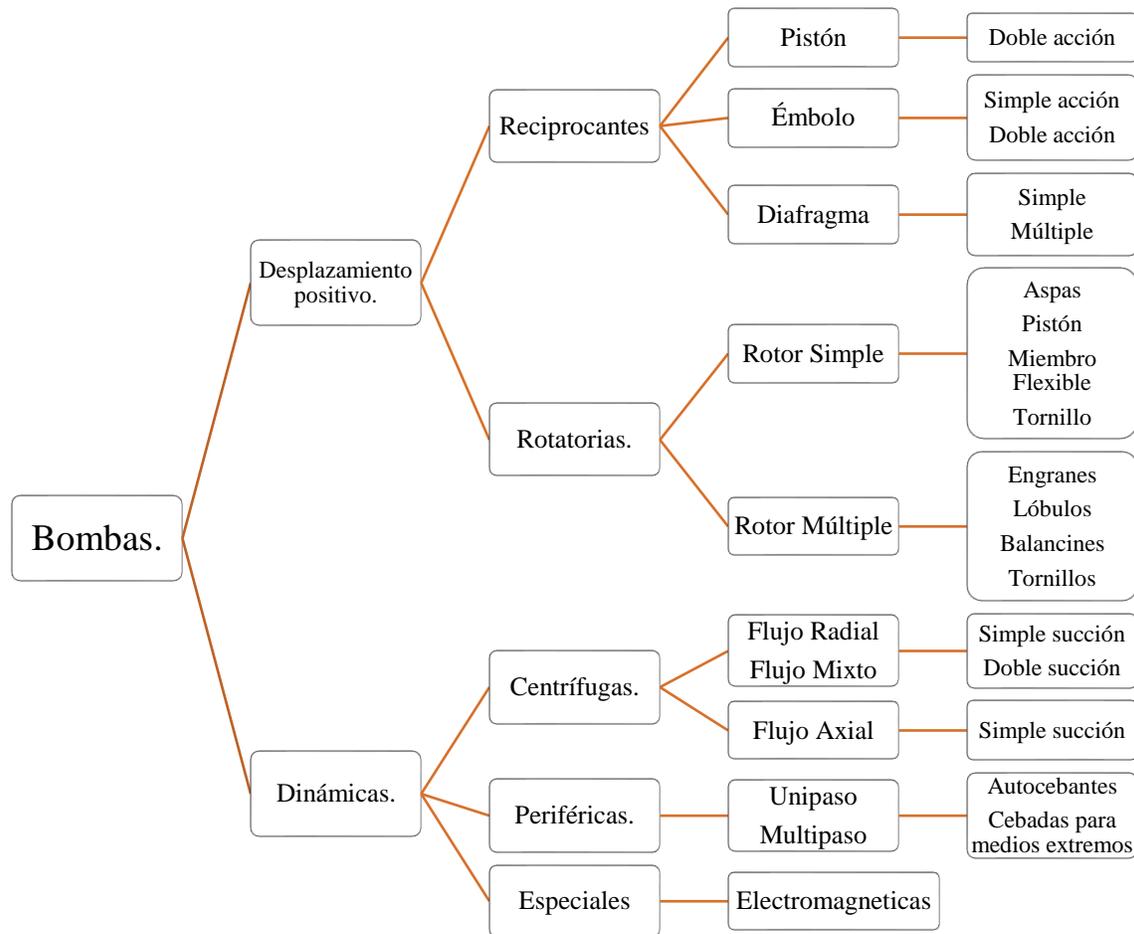
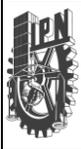


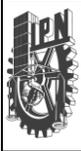
Diagrama 3.1 Clasificación general de Bombas.

Fuente: Hydraulic Institute

### Capítulo 3.3.1.- Clasificación de Bombas volumétricas en relación con su principio.

Las bombas son utilizadas para impulsar toda clase de líquidos (agua, aceites, combustibles, ácidos, etc.), a diferencia de los gases o vapores donde se utilizan compresores para que estos sean desplazados.

Como sabemos las bombas son de suma importancia en el sistema de circulación, ya que es uno de los métodos más utilizados en la construcción de pozos, el cual se caracteriza por utilizar una unidad de bombeo para transmitir la energía al fluido dentro de la sarta.



Dentro de la industria petrolera las bombas se dividen en 3 tipos:

- Perforación.
- Producción.
- Transporte.

En la Industria Petrolera las bombas de desplazamiento positivo son las más utilizadas ya que son equipos hidrostáticos. Bombeán un volumen definido independiente de las revoluciones del motor, pero de manera prácticamente independiente de la presión.

Hay dos clases de bombas de desplazamiento positivo.

- Rotatorias.
- Reciprocantes.

#### Capítulo 3.3.1.1.- Rotatorias.

Las bombas rotatorias, que son unidades de desplazamiento positivo consisten en una caja fija que contiene engranes, aspas, pistones, levas, segmentos, tornillos, etc. Pueden manejar casi cualquier líquido que esté libre de sólidos abrasivos. Incluso puede existir la presencia de sólidos duros en el líquido si una chaqueta de vapor alrededor de la caja de la bomba los puede mantener en condición fluida.

Existen diferentes tipos de bombas rotatorias que son explicados a continuación:

##### Capítulo 3.3.1.1.1.- Bombas de émbolos.

Este tipo de bombas consisten en un eje excéntrico con un brazo ranurado en la parte superior. La rotación de la flecha hace que el eje excéntrico atrape el fluido contra la caja. Conforme continua la rotación, el fluido se libera de la caja a través de la ranura de salida de la bomba.

Ver Figura 3.3

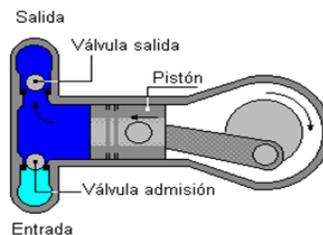


Figura 3.3.- Diagrama de Bomba de embolo.

### Capítulo 3.3.1.1.2.- Bombas lobulares.

Las bombas lobulares son bombas volumétricas rotativas. El bombeo está producido por 2 lóbulos que giran en sentido contrario, para conducir el líquido al espacio entre el cuerpo y un lóbulo (Ver Figura 3.4) El efecto es suave, con buena aceptación de grandes partículas en suspensión. Son equipos de una gran fiabilidad y de bajo costo de mantenimiento.

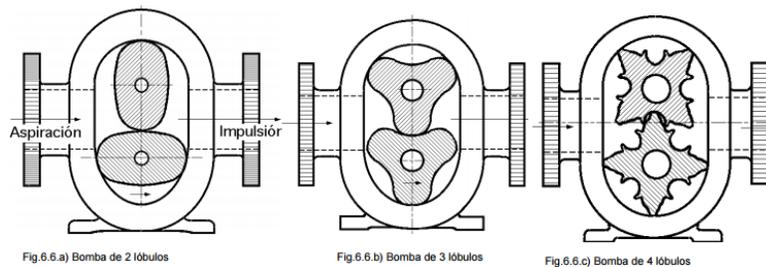


Figura 3.4.- Diagrama de Bombas de lóbulos.

### Capítulo 3.3.1.1.3.- Bombas de tornillo.

Esta es un tipo de bomba hidráulica considerada de desplazamiento positivo, que se diferencia de las habituales. Esta bomba utiliza un tornillo helicoidal excéntrico que se mueve dentro de una camisa y hace fluir el líquido entre el tornillo y la camisa.

En la siguiente figura se muestran los diferentes tipos de bombas:

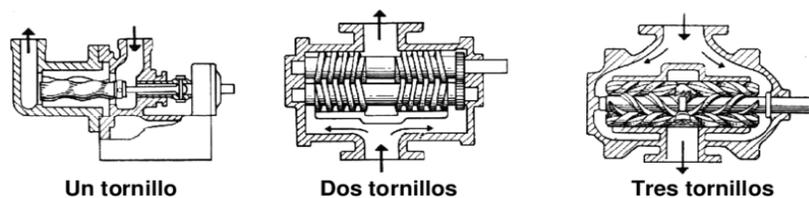


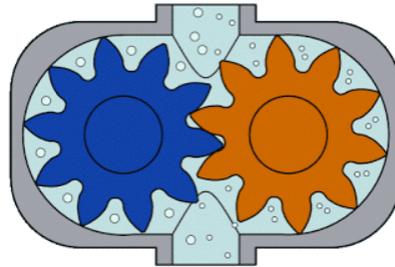
Figura 3.5.- Diagrama de los diferentes tipos de bomba de tornillos

### Capítulo 3.3.1.1.4.- Bombas de engranajes.

Las bombas de engranajes basan su funcionamiento en el aprovechamiento de la fuerza de sus engranajes para transferir fluidos.

Los engranajes actúan con la carcasa de la bomba, creando una fuerza de succión en la entrada que hace que el fluido sea aspirado. Una vez dentro de la carcasa no puede pasar entre los engranajes porque están entrelazados entre sí.

Esta situación hace que se reduzca el volumen para que el fluido sea arrastrado y finalmente expulsado a una presión superior a la que ha entrado dentro de la cavidad. Ver Figura 3.6.

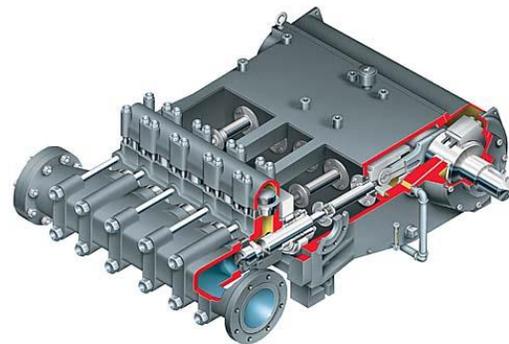


*Figura 3.6.- Diagrama de bomba de engranes.*

#### **Capítulo 3.3.1.2.- Reciprocantes.**

Llamadas también de émbolo alternativo, en estas máquinas, el elemento que proporciona la energía al fluido lo hace en forma lineal y alternativa. La característica de funcionamiento es sencilla. En estas que existe uno o varios compartimentos fijos, pero de volumen variable, por la acción de un émbolo o de una membrana.

En estas máquinas, el movimiento del fluido es discontinuo y los procesos de carga y descarga se realizan por válvulas que abren y cierran alternativamente. Algunos ejemplos de este tipo de bombas son la bomba alternativa de pistón, la bomba rotativa de pistones o la bomba pistones de accionamiento axial. Ver Figura 3.8.



*Figura 3.8.- Bomba reciprocante*

##### **Capítulo 3.3.1.2.1.- Bombas de Diafragma.**

Las bombas de diafragma son bombas aspirantes – impelentes, que trabajan sólo por una de sus caras. La aspiración e impulsión se produce por medio de un diafragma deformable, generalmente conformado por un círculo de goma sintético (teflón, neopreno, poliuretano) fuertemente sujeto en su periferia, que permite la deformación en su centro hacia arriba y

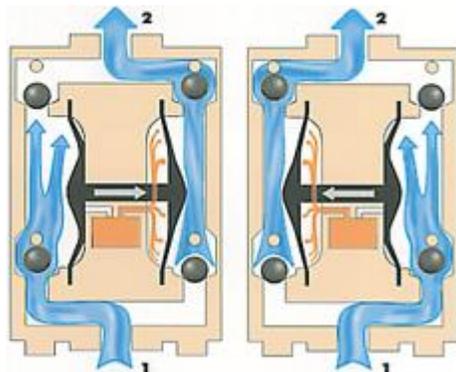


Figura 3.7.- Vista lateral de una bomba de diafragma.

abajo, causando una variación en el volumen de la cámara. La entrada y salida son controladas mediante válvulas de operación alternante que abren y cierran. Son autocebantes, es decir, no requieren ser llenadas con fluido previo a operación, por lo que pueden operar aun con aire en los conductos de succión. Son accionadas mediante motores eléctricos o por activación neumática. Ver figura 3.7.

### Capítulo 3.3.1.3.- Desplazamiento positivo.

El principio consiste en el movimiento de un fluido causado por el intercambio de energía desde el elemento intercambiador al fluido en forma de energía de presión creada por una variación del volumen en una cámara.

En una máquina de desplazamiento positivo, el órgano intercambiador de energía no tiene necesariamente movimiento alternativo, sino que también puede tener movimiento rotativo. Ambos cuentan con una cámara que aumenta de volumen (succión) y disminuye de volumen (impulsión). Son también conocidos como maquinas volumétricas.

#### Capítulo 3.3.1.3.1.- Bombas Dúplex.

Estas bombas poseen 2 cilindros con doble acción, lo cual significa que los pistones se mueven hacia atrás tomando lodo de perforación a través de la válvula de admisión. Estos pistones empujan el lodo hacia afuera por las válvulas de descarga. En este tipo de bombas se manejan altos gastos, pero a una baja presión de descarga. Ver figura 3.8.



Figura 3.8.- Bomba Dúplex.

### Capítulo 3.3.1.3.1.1.- Funcionamiento

En las siguientes figuras (Figura 3.9 y 3.10) se demuestra cómo trabaja la bomba dúplex.

En la figura 3.9 se logra apreciar que cuando el vástago se mueve hacia adelante, una de las válvulas de entrada se levanta para permitir que el fluido entre y una de las válvulas de descarga se abre para que el fluido salga de la bomba

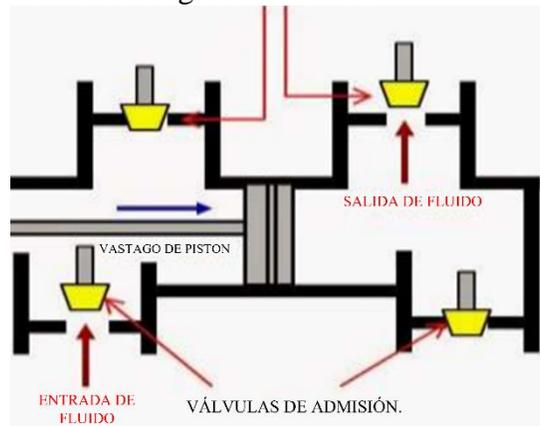


Figura 3.9.- Posición 1 del vástago en una bomba dúplex.

Por otro lado, en la figura 3.10 se logra observar que cuando el vástago del pistón se mueve hacia atrás, aun se bombea fluido. Las otras válvulas de admisión y descarga se abren

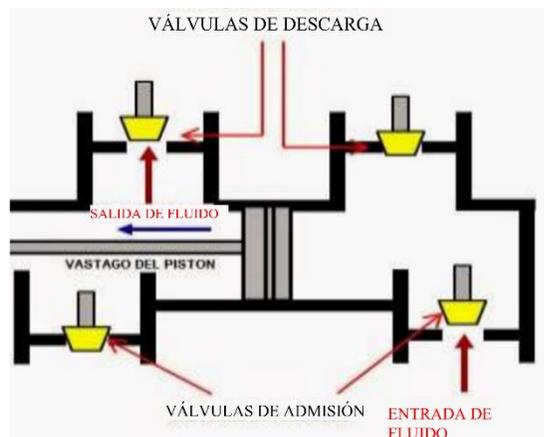


Figura 3.10.- Posición 2 del vástago en una bomba dúplex.

### Capítulo 3.3.1.3.2.- Bombas Tríplex.

Estas poseen 3 cilindros de simple acción. En esta los pistones realizan un movimiento de atrás hacia adelante, al moverse hacia atrás se genera una admisión del fluido y al moverse hacia adelante el fluido admitido es empujado hacia afuera por la válvula de descarga.

Estas bombas presentan ciertas ventajas en contra de las bombas dúplex:

- Pesan un 30% menos
- Manejan alta presión y alto volumen.
- Son de fácil mantenimiento.
- Resultan menos costosas.
- A mayor diámetro de camisa mayor gasto.
- A mayor diámetro de pistón menos presión.



*Figura 3.11.- Vista lateral de una Bomba Tríplex.*

*Fuente: White Star Pump Company.*

### Capítulo 3.3.1.3.2.1.- Funcionamiento.

En las siguientes figuras (3.12 y 3.13) se demuestra el funcionamiento de los pistones dentro de las bombas tríplex, cada figura representa la acción de un cilindro.

En esta primera figura (3.12) se puede apreciar como cuando el pistón va hacia adelante la válvula de descarga se abre para permitir el flujo fuera de la bomba mientras que la de descarga se mantiene cerrada.

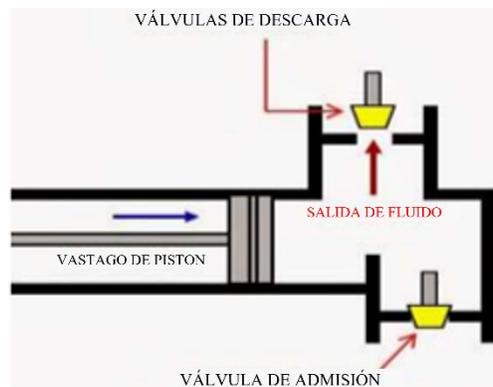


Figura 3.12.- Movimiento hacia adelante del pistón.

Por el contrario, en la figura 3.13 se puede observar cuando el pistón hace el movimiento hacia atrás la válvula de admisión se abre para que el fluido entre a la cámara y la válvula de descarga se cierra.

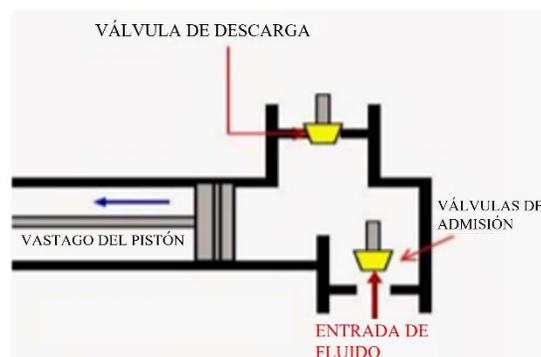
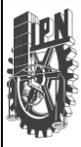


Figura 3.13.- Movimiento del pistón hacia atrás.



**Capítulo 3.3.1.3.3.- Tabla comparativa entre las bombas Dúplex y Tríplex.**

Dúplex	Tríplex
Dos pistones	Tres pistones
Doble acción	Simple acción
Altos gastos	Altos gastos
Maneja baja presión de descarga (<3000 lb/in <sup>2</sup> )	Maneja altas presiones de descarga
Fácil operación y mantenimiento	Fácil operación y mantenimiento
Resultan costosas en mantenimiento, debido a que sus repuestos son más costosos, como consecuencia del principio de funcionamiento que es más complejo (doble acción)	Resultan menos costosas debido a su principio de funcionamiento es más simple al igual que los repuestos.
Manejo de fluidos con alto contenido de solidos	Manejo de fluidos con alto contenido de solidos
Carreras más largas (10-8 pulgadas)	Carreras más cortas (6-12 pulgadas)
Velocidad de operación (40-80 emboladas/min)	Velocidad de operación (60-120 emboladas/min)
Descarga de lodo con más turbulento	Descarga del lodo más suave
Son 30% más pesadas que las Tríplex, ya que tienen más componentes	Son más ligeras debido a su funcionamiento simple
Mas usada en plataformas de remediación, reparación y rehabilitación de pozos	Usadas en perforaciones más modernas, debido a la alta presión que maneja es usada en pozos más profundos.

*Tabla 3.1.- Comparativa ente Bombas Dúplex y Tríplex*

### Capítulo 3.3.1.4.- Desplazamiento no positivo.

Este tipo de bombas suministran una carga pequeña y una descarga grande donde se clasifican dependiendo el tipo de flujo y por consiguiente a su forma en tres grupos principales.

#### Capítulo 3.3.1.4.1.- Bombas centrífugas.

Es una máquina que sirve para transportar líquidos y consiste en una pieza rotatoria llamada impulsor dispuesto dentro de una carcasa, el cual imparte energía al fluido por la fuerza centrífuga. Esta máquina consta de dos elementos principales: Un elemento giratorio incluyendo un impulsor y una flecha y un elemento estacionario compuesto por una carcasa, estoperol y chumaceras. Ver figura 3.13.

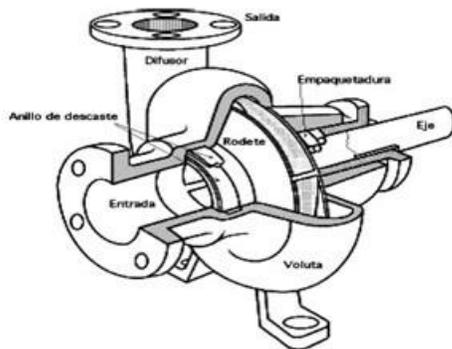


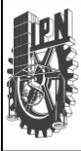
Figura 3.14.- Bomba centrífuga

Una bomba centrífuga transforma la energía mecánica de un impulsor rotatorio llamado rodete en energía cinética y potencial requeridas. Aunque la fuerza centrífuga producida depende tanto de la velocidad en la periferia del impulsor como de la densidad del líquido, la energía que se aplica por unidad de masa del líquido es independiente de la densidad del líquido. Por tanto, en una bomba dada

que funcione a cierta velocidad y que maneje un volumen definido de líquido, la energía que se aplica y transfiere al líquido, (en pie-lb/lb de líquido) es la misma para cualquier líquido sin que importe su densidad. Por tanto, la carga o energía de la bomba en pie/lb se debe expresar en pies o en metros y es por eso por lo que se denomina genéricamente como "altura".

### Capítulo 3.4.- Afectaciones en las bombas.

En la industria de construcción de pozos las bombas son de suma importancia, ya que nos ayudan a desplazar el fluido desde superficie a el fondo del pozo y retornando, con una



concentración de sólidos diferente al de la entrada, por lo que es necesario contar con buenos equipos de control de sólidos y así mantener un correcto funcionamiento de nuestras bombas.

Por lo que al momento de seleccionar una bomba tenemos que considerar el tipo de material, ya que las bombas están sometidas a diferentes tipos de desgaste debido a los sólidos que se encuentran presentes en el momento en el que el fluido retorna.

Cuando tenemos afectaciones en nuestras bombas, su capacidad de bombeo se verá reducida y se puede llegar a provocar una falla en ellas, tenemos que tratar de evitar este tipo de problemas para que su rendimiento no se vea afectado, y llevar a cabo las operaciones de manera exitosa, a su vez se debe mantener un mantenimiento continuo en las bombas para que estas trabajen de la mejor manera.

### **Capítulo 3.4.1.- Desgaste.**

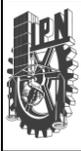
El desgaste se refiere a la acción de consumir o deteriorar algo de poco a poco por su utilización o por algún tipo de contacto o roce. La noción de desgaste puede utilizarse en sentido físico o de manera simbólica. La interacción entre dos materiales puede provocar la erosión de uno de ellos o de ambos: esa degradación física, concreta, es el desgaste. A medida que un automóvil circula, por citar un caso, sus neumáticos van experimentando un desgaste por el roce con el pavimento y la tierra. Después de un cierto tiempo, se hace necesario reemplazar los neumáticos desgastados por otros nuevos.

En relación con lo anterior al interior de nuestras bombas, por la misma acción del bombeo estas sufren un desgaste, y también si existe algún cambio en las propiedades del fluido bombeado, como lo podría ser el contenido de sólidos, esto generara un desgaste en los componentes de nuestras bombas.

#### **Capítulo 3.4.1.1.- Tipos de desgaste.**

En las bombas para fluidos el impulsor y el interior de la carcasa están siempre expuestas al desgaste y por lo tanto siempre deben de estar protegidas.

El desgaste de la bomba se puede presentar en 3 diferentes casos que son:



- Erosión.
- Corrosión.
- Abrasión.

#### Capítulo 3.4.1.1.1.- Erosión.

Este tipo de desgaste es el principal que sufren las bombas para lodos, esto debido a que las partículas que contiene el lodo golpean la superficie del material en ángulos diferentes. Ver figura 3.14.

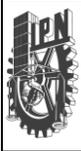
El desgaste por erosión se hace presente en el régimen de funcionamiento de la bomba, donde es desgaste por erosión se mantiene en el mínimo por lo general en el punto de mayor eficacia y aumentara tanto en caudales bajos como altos.

También se puede producir cuando la bomba funciona en forma de aspiración es decir permitiendo la entrada de aire, este tipo de desgaste también se puede producir por cavitación, por vibración debido a las burbujas que se forman al momento de fluir el fluido.



*Figura 3.15.- Ejemplo de desgaste por erosión.*

El impulsor es la parte principal que se desgasta dentro de la bomba ya que este se encuentra en constante desgaste por el impacto del flujo.



### Capítulo 3.4.1.1.2.- Corrosión.

La corrosión es el principal desgaste de todos los elementos metálicos por lo que las bombas no se encuentran exentas de este tipo de desgaste debido a que las partes que se encuentran en constante contacto con el agua y oxígeno se verán afectadas a lo largo del tiempo. Ver figura 3.15.



*Figura 3.16.- Ejemplo de desgaste por corrosión.*

### Capítulo 3.4.1.1.3.- Abrasión.

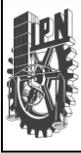
El desgaste en las bombas por abrasión se produce principalmente por baja tensión y trituración. El grado de abrasión dependerá del tamaño y dureza de las partículas. Ver figura 3.16.

En las bombas de lodos la abrasión se produce principalmente en dos zonas que son:

- Entre el impulsor y la entrada estacionaria.
- Entre el casquillo del eje y la empaquetadura estacionaria.



*Figura 3.17.- Ejemplo de desgaste por abrasión.*



### **Capítulo 3.4.2.- Cavitación.**

Esta ocurre cuando la presión absoluta dentro de un impulsor cae por debajo de la presión de vapor del líquido, generándose burbujas de vapor. Estas se contraen más adelante en los alabes del impulsor cuando llegan a una zona de presión más alta.

La cavitación es un fenómeno identificable por algunas señales como: ruido, vibración, caída en la capacidad de carga y eficiencia y se determina que una bomba está cavitando cuando después de comprobar alineación, presenta ruido excesivo y vibración.

Los tipos de cavitación se explicarán a continuación:

#### **Capítulo 3.4.2.1.- Cavitación general.**

Se presenta cuando la presión media del sistema alcanza la presión de saturación del líquido, esto se debe a:

- a) Disminución de la altura de succión de la bomba.
- b) Disminución de la presión atmosférica.
- c) Aumento de la temperatura del líquido.

#### **Capítulo 3.4.2.2.- Cavitación local.**

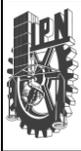
Es aquella que se provoca cuando el flujo encuentra alguna obstrucción ó accidente (rugosidad de las paredes interiores de la carcasa) que produzca un cambio de velocidad y de presión que conduzca a la formación de cavitación

#### **Capítulo 3.4.2.3.- Cavitación transitoria.**

Se presenta, por ejemplo, cuando se tiene un arranque súbito del equipo o cuando hay una disminución momentánea de la altura de succión.

#### **Capítulo 3.4.2.4.- Cavitación permanente.**

Es el que se presenta de forma continua y en donde las partes de la bomba están expuestas a sus consecuencias permanentemente.

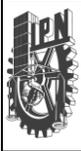


### Capítulo 3.5.- Mantenimiento.

La mayoría de las actividades de mantenimiento de la bomba se centran en la verificación de empaques y sellos mecánicos para fugas, así como la validación y funcionamiento correcto del motor, sin embargo, es necesario considerar el rendimiento, la fiabilidad y la eficiencia durante el período de vida útil, el cual se ve afectado por el entorno ambiental al que es expuesta y a los diferentes fluidos con los que trabaja.

El mantenimiento debe comprender los siguientes puntos:

- Monitorizar las temperaturas de los cojinetes, el nivel de lubricante y la vibración. Para comprobar la verificación el lubricante debe ser transparente y sin signos de formación de espuma.
- Revisar cualquier enfriamiento de agua para una operación efectiva. Prueba manual en enfriadores, chaquetas e intercambiadores, si es necesario desarme y limpie.
- Los sellos mecánicos no deberían mostrar signos de fugas visibles. Algunas fugas en el empaque son normales, pero esto no debe exceder una tasa de aproximadamente 40 a 60 gotas por minuto.
- Observar si hay vibración en la bomba, ya que si es excesiva puede ser el resultado de un cambio en la alineación de la bomba o resonancias de cavitación entre la bomba, su base o las válvulas ubicadas en las líneas de succión y / o descarga.
- Diariamente verifique la operatividad del trazado de calor generado, debido al embalaje.
- Monitorizar los cambios en el nivel de presión, ya que una disminución gradual en la presión de cabeza desarrollada de la bomba puede indicar que la holgura del impulsor se ha ampliado.



## Capítulo 3.5.1.- Tipos de mantenimiento

### Capítulo 3.5.1.1.- Mantenimiento Regular

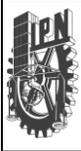
Se lleva a cabo de acuerdo con un programa de mantenimiento fijo y se hace para mantener funcionando la bomba de manera optimas, entre estas actividades tenemos: lubricación, embalaje, y mantenimiento de los sellos mecánicos.

### Capítulo 3.5.1.2.- Mantenimiento Preventivo

Tiene como objetivo específico la prevención de una parada de emergencia no planificada de la bomba, alargar el tiempo de ejecución entre las reparaciones ya que esto implica costosas interrupciones en las actividades de producción, entre estas actividades tenemos: lubricación regular, alineación, reequilibrio y monitoreo.

## Capítulo 3.5.2.- Medidas de seguridad

- Verificar que opere debidamente en la succión la válvula de pie (Check con rejilla) para evitar que se quemel motor.
- Verificar que la temperatura del agua que succiona no alcance la temperatura de ebullición, ya que esto impide al impulsor expulsar el agua que succiona.
- Los manómetros que se instalen a la salida de las bombas deben tener amortiguadores de presión para evitar lecturas erróneas.
- En el caso de bombas acopladas verificar un correcto alineamiento con el motor, para evitar vibraciones y fallas futuras.
- Las bombas no revisten mayor peligro para los usuarios, sin embargo, no hay que tocar los ejes acoplados con el motor mientras esté en funcionamiento y en el caso de bombeo programado en ningún momento mientras esté conectado, ya que en cualquier instante puede arrancar y causar daño al usuario.



## Capítulo 4.- Análisis matemático aplicado para la selección de sistemas de bombeo en fluidos de control.

### Capítulo 4.1.- Análisis matemático y conceptos generales considerados para determinar la selección de sistemas de bombeo.

En este capítulo se describirán los diversos cálculos que se emplean para la correcta selección de bombas para la construcción de pozos petroleros en las diferentes etapas que la constituyen.

- Desplazamiento
- Gasto
- Tiempo de atraso
- Velocidad Anular
- Eficiencia
- Potencia

#### Capítulo 4.1.1.- Gasto.

Se define como gasto a la cantidad de volumen de fluido impulsado por la bomba en cada embolada. Este volumen depende directamente del diámetro interior de la camisa o liner y de la distancia de recorrido del pistón en el interior de esta. Y se calcula de la siguiente manera:

$$Q = 0.0386 * L * D^2 = [lt/emb]$$

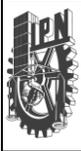
$$Q = 0.0102 * L * D^2 = [gal/emb]$$

Donde:

Q= Capacidad de la bomba (Litros/Emboladas o Galones/Embolada).

L= Longitud de la carrera (pulgadas).

D<sup>2</sup>= Diámetro de la camisa (pulgadas).



### Capítulo 4.1.2.- Tiempo de atraso.

Se define como el tiempo que tarda el lodo en circular desde el fondo del pozo, hasta la superficie, por el espacio anular. Este tiempo, es el mismo que tarda la muestra en desplazarse en la misma trayectoria.

El cálculo es crucial en el registro de todos los datos que son transmitidos a través del lodo. Este fluido lleva toda la información que se requiere. El tiempo que le toma en llegar de la barrena a superficie, es el cálculo básico que se elabora. Y se calcula con la siguiente formula:

$$\text{Tiempo de atraso} = \frac{\text{Profundidad actual}(m) * 3.28}{\text{Velocidad en el Anular}(ft/min)} = [\text{minutos}]$$

El factor de 3.28 nos ayuda a convertir de metros a pies.

### Capítulo 4.1.3.- Velocidad Anular.

La velocidad anular es aquella con la que se desplaza el fluido a través del espacio anular antes de salir a la superficie.

$$\text{Vel. anular} = \frac{24.5 * Q}{D^2 - d^2} = [ft/min]$$

Donde:

Q= Gasto de la bomba (gal/min).

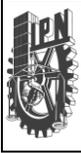
D= Diámetro del agujero (pulgadas).

d= Diámetro de la TP (pulgadas).

#### Capítulo 4.1.3.1.- Ritmos de circulación.

El objetivo de la circulación de fluidos es transportar los recortes, éste transporte involucra la suspensión de los recortes del pozo.

La tendencia gravitatoria natural de los recortes es la de caer por el agujero. La caída o asentamiento dependerá de la densidad, tamaño y forma de los recortes, así como la densidad y viscosidad del fluido, por ejemplo:



- Los recortes pesados y redondos asentarán rápido.
- Los recortes ligeros, en forma de ojuela “revolotean” en lugar de hundirse, por ello se asientan más lento.

Una vez que el ritmo de asentamiento es determinado, el ritmo de flujo de ascenso en el agujero debe ser mayor que el ritmo de asentamiento para que los recortes sean elevados. Como es deseable una limpieza rápida del agujero, en la practica el ritmo de ascenso debe ser mucho mayor que el ritmo de asentamiento.

### **Aplicación del volumen-velocidad: velocidad anular (AV)**

La velocidad de flujo en el anular es un factor crítico en el levantamiento y limpieza de recortes de un agujero perforado, la velocidad de ascenso AV depende de los siguientes factores:

- El volumen de fluido dado por la bomba o compresor.
- El diámetro del agujero.
- Diámetro de la lingada o tubería de perforación.

El tamaño del anular determinará la AV cuando se tiene un suministro volumétrico constante de fluido, lo que significa que la AV será mayor en anulares pequeños y menor en anulares grandes con el mismo volumen de fluido.

Por ello, la selección del diámetro de lingadas de perforación en comparación con el diámetro del agujero es muy importante. Decisión que tendrá un efecto directo en la Velocidad Anular.

$$AV [m/min] = (1274 \times (L/min)) / (D^2 - d^2 [mm])$$

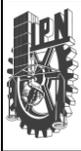
Donde:

AV es expresado en metros por minuto y;

L/min = Gasto de salida de la bomba (en litros por minuto).

D = Diámetro del agujero (en milímetros)

d = Diámetro de la tubería (en milímetros)



**Nota:** El aire libre suministrado de un compresor es comúnmente expresado en pies cúbicos por minuto (cfm), o metros cúbicos por minutos ( $m^3/min$ ).

Los siguientes valores son óptimos para la velocidad anular para varios medios de limpieza:

- Aire/Niebla: 1500-2100 m/min
- Agua: 36 m/min
- Lodo (medio): 30 m/min
- Lodo (espeso): 18 m/min
- Espuma: 12 m/min

Ejemplo 1.: Encontrar la velocidad anular en un pozo con diámetro de agujero de 125mm y una tubería de perforación de 100mm de diámetro exterior, si el compresor estaba bombeando 250 cfm de aire.

Conversión cfm a L/min. Multiplicar cfm por 28.3

Conversión  $m^3/min$  a L/min. Multiplicar  $m^3/min$  por 1000.

$$L = 250 \times 28.3 \text{ L/min.}$$

$$= 7075 \text{ L/min.}$$

$$VA = (1274 \times 7075) / (125^2 - 100^2)$$

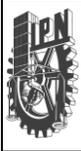
$$= 9\,013\,550 / (15\,625 - 10\,000)$$

$$= 9013550 / 5625$$

$$= 1602 \text{ L/min}$$

Este ejemplo se ...

*Ejemplo capturado de "ADITC The drilling manual (2015) CRC Press Taylor & Francis Group" p. 26.*



Las velocidades recomendadas de flujo (también conocidas como velocidades de limpieza) son mostradas en la tabla siguiente.

Fluido circulado	Velocidades de limpieza	
	Métrico (mm/sec)	Inglés (in/min)
Aire y neblina	25	5000
Agua	0.6	120
Lodo normal	0.5	100
Lodo muy espeso	0.3	60
Espuma	0.2	40

*Tabla 4.1.- Velocidades de limpieza recomendadas para fluidos circulados*

Las velocidades excesivas pueden erosionar las paredes del agujero en materiales quebradizos, de manera que los siguientes límites no deberían ser excedidos:

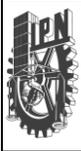
- Velocidades de agua- 2m/seg (400 ft/min).
- Velocidades de aire- 35m/seg (7000ft/min).

Las velocidades menores son necesarias si el aire está acarreado agua. Para medir el tiempo real de retorno de recorte:

1. Circula la barrena apenas despegada del fondo.
2. Comience a perforar.
3. Tome el tiempo del intervalo antes de la aparición de recortes en el cuello.

#### **Capítulo 4.1.4.- Eficiencia.**

Esta fórmula sirve para calcular la eficiencia del motor y del extremo de la bomba como un valor total. También se denomina eficiencia combinada, ya que calcula la entrada de potencia al motor en relación con la salida de potencia de la bomba. No se puede comparar con el



valor reflejado en la documentación de la bomba, ya que dicho valor se refiere únicamente a la eficiencia de la bomba.

$$\eta = \frac{H * Q}{367 * P_1}$$

Donde:

$\eta$ = Eficiencia de la bomba.

Q= Caudal de la bomba (m<sup>3</sup>).

H= Altura o presión de la bomba (m).

P<sub>1</sub>= Consumo de potencia (Kilovatios).

#### Capítulo 4.1.5.- Potencia.

Esta es la cantidad de trabajo que genera una bomba en un segundo, se calcula con la siguiente formula:

$$HHP_B = \frac{Q_B * P_B}{1714}$$

Donde:

HHP<sub>B</sub>= Potencia de la bomba (Caballos de potencia “HP”).

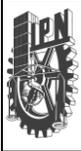
P<sub>B</sub>= Presión (lb/pg<sup>2</sup>).

Q<sub>B</sub>= Caudal de bombeo (gal/min), (GPM).

1714= Factor de conversión para un resultado en HP. \*incluir referencia\*

#### Capítulo 4.1.6.- Gasto mínimo recomendable.

La limpieza del agujero es importante en cada una de las etapas de la construcción del pozo, el gasto deberá ser suficiente para evitar que los recortes se acumulen dentro del agujero.



La fórmula para el gasto mínimo recomendable es:

$$Q_{min} = \frac{57.72 * (D_a^2 - D_{TP}^2)}{D_a * \rho_l}$$

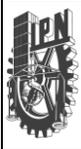
Donde:

$Q_{min}$  = Gasto mínimo recomendable [gal/min].

$D_a$  = Diámetro del agujero (diámetro de la barrena) [in].

$D_{TP}$  = Diámetro de la TP [in].

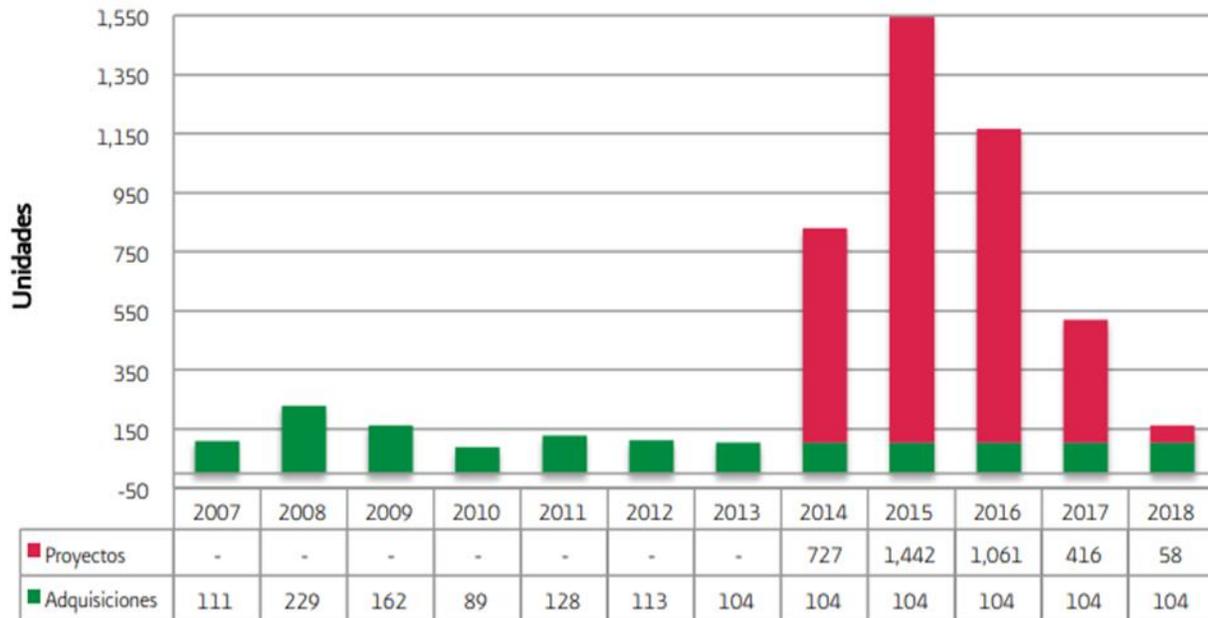
$\rho_l$  = Densidad del lodo [gr/cm<sup>3</sup>] \*donde aplica\*



## Capítulo 5.- Adquisición de los sistemas de bombeo para las operaciones de PEMEX durante el periodo 2007-2018.

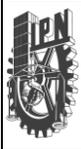
### Capítulo 5.1.- Bombas Centrifugas.

La demanda agregada de bombas centrífugas representa el 55% de la demanda total de los organismos subsidiarios de PEMEX. Del 2014-2018, se estiman compras por 4,224 unidades, de las cuales 3,704 serán requeridas en nuevos proyectos de inversión y 520 unidades para cubrir las necesidades de operación de los organismos subsidiarios de PEMEX, siendo el 2015 el año con mayores requerimientos con 1,546 unidades (Gráfica 5.1). La demanda principal para nuevos proyectos de inversión se concentra en 57% en PEMEX Exploración y Producción, y un 20% en PEMEX Refinación.



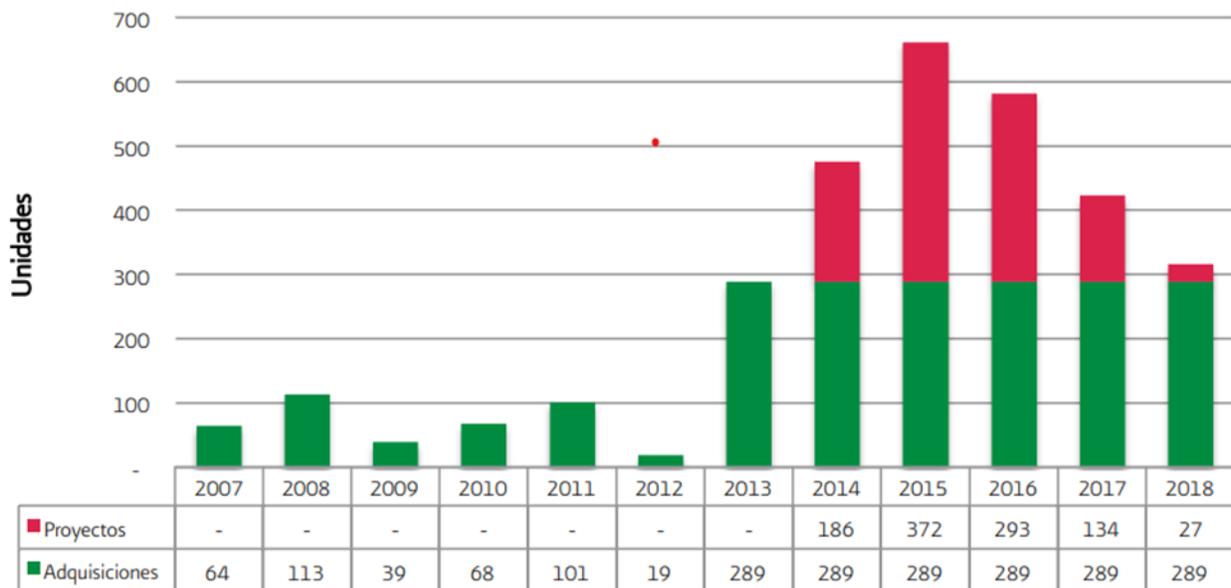
Gráfica 5.1.- Grafica de adquisiciones 2007- 2018 de Bombas Centrifugas.

Fuente: Estudio Sectorial: Bombas utilizadas en la industria Petrolera, PEMEX.



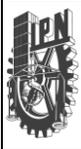
### Capítulo 5.2.- Bombas de desplazamiento positivo.

La demanda agregada de bombas de diafragma representa el 32% de la demanda total de PEMEX. En el período 2014-2018, se estima requerimientos por 2,457 unidades, de las cuales 1,445 serán atender necesidades de operación de los organismos subsidiarios de PEMEX y 1,012 para nuevos proyectos de inversión, siendo el 2015 el año con mayores requerimientos con 661 unidades. La demanda principal para nuevos proyectos de inversión se concentra en 53% en PEMEX Exploración y Producción, y un 42% en PEMEX Refinación. Ver Grafica 5.2



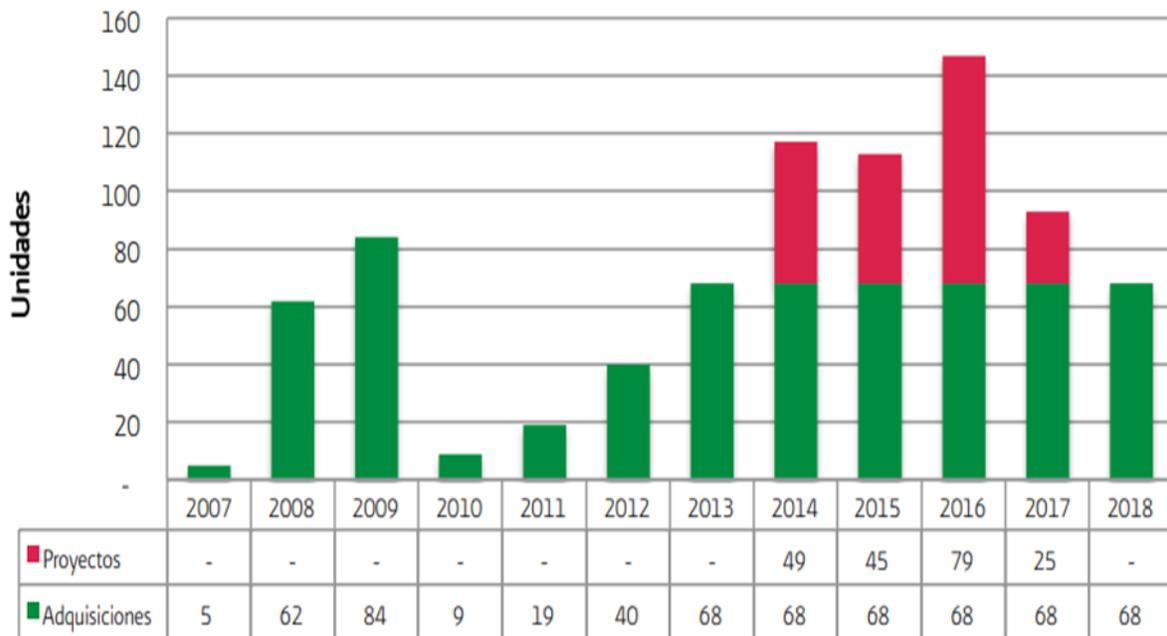
Gráfica 5.2.- Grafica de adquisiciones 2007- 2018 de Bombas de Diafragma.

Fuente: Estudio Sectorial: Bombas utilizadas en la industria Petrolera, PEMEX.



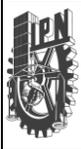
### Capítulo 5.3.- Bombas Reciprocantes.

La demanda agregada de bombas de tipo émbolo representa el 7% de la demanda total de bombas de los organismos subsidiarios de PEMEX. En el período 2014-2018, se estima requerimientos por 538 unidades, 340 unidades para operación y 198 para nuevos proyectos de inversión, siendo el pico de demanda en 2016 de 151 unidades (Gráfica 5.3). La demanda principal para nuevos proyectos de inversión se concentra en 79% en PEMEX Exploración y Producción.



Gráfica 5.3.- Grafica de adquisiciones 2007- 2018 de Bombas Reciprocantes.

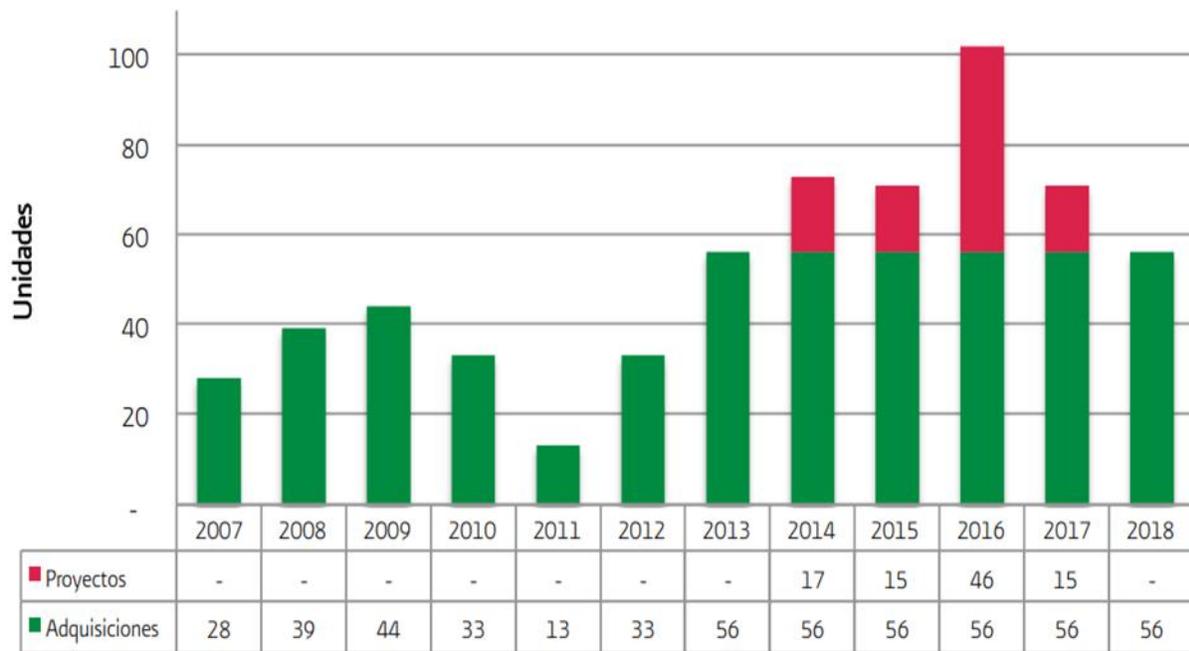
Fuente: Estudio Sectorial: Bombas utilizadas en la industria Petrolera, PEMEX.



### Capítulo 5.4.- Bombas rotatorias.

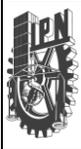
#### Capítulo 5.4.1.- Bombas de Tornillo

La demanda agregada de bombas de tornillo participa con el 5% de la demanda total de bombas. En el período 2014 – 2018, se estima requerimientos por 373 unidades, 280 para operación y 93 en nuevos proyectos de inversión, siendo el pico de demanda en 2016 de 102 unidades. El 100% de la demanda para nuevos proyectos de inversión se concentra en PEMEX Exploración y Producción (Gráfica 5.4).



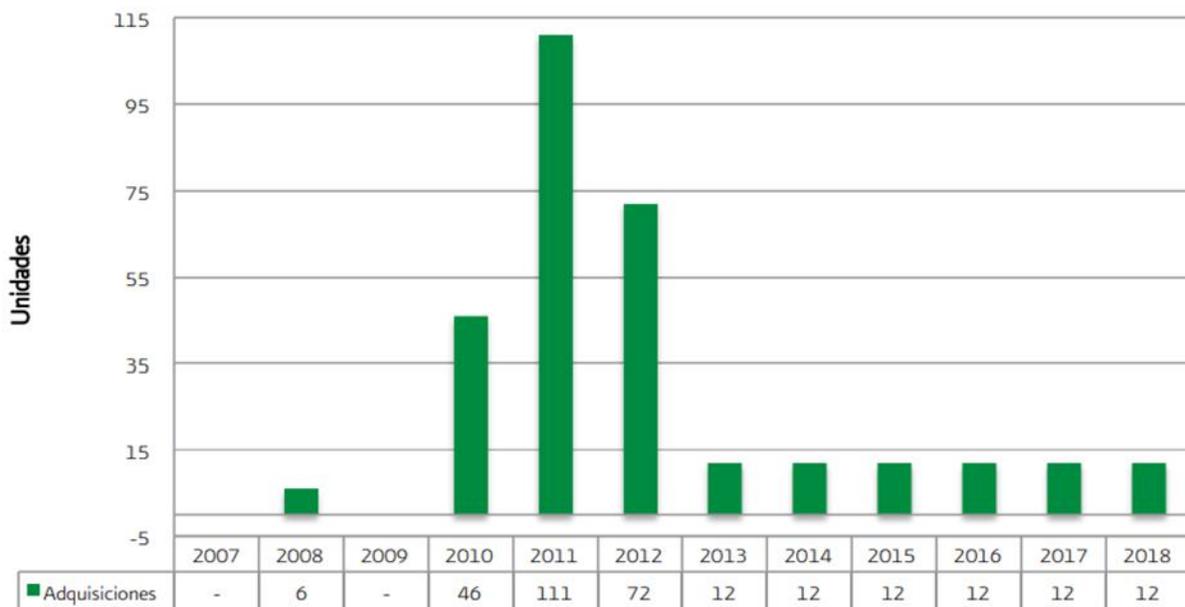
Gráfica 5.4.- Grafica de adquisiciones 2007- 2018 de Bombas Centrifugas.

Fuente: Estudio Sectorial: Bombas utilizadas en la industria Petrolera, PEMEX.



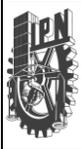
### Capítulo 5.4.2.- Bombas de engranes

La demanda agregada de bombas de engranes representa el 1% de la demanda total de bombas de PEMEX. En el período 2014-2018, se estima requerimientos por 60 unidades, para atender necesidades continuas de operación de organismos subsidiarios en dicho período (Gráfica 5.5).



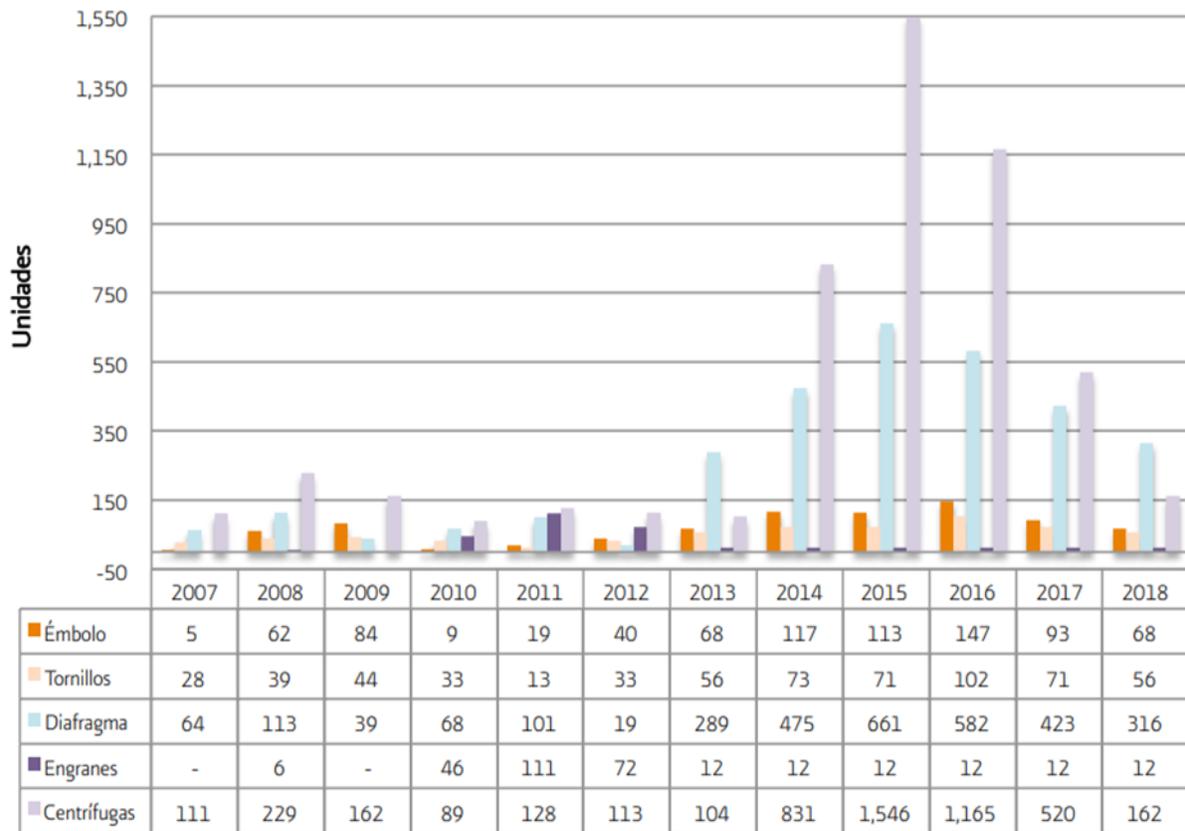
Gráfica 5.5.- Grafica de adquisiciones 2007- 2018 de Bombas de Engranes.

Fuente: Estudio Sectorial: Bombas utilizadas en la industria Petrolera, PEMEX.



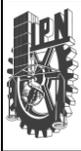
### Capítulo 5.5.- Demanda por tipo de bomba.

En la siguiente grafica se puede observar en conjunto el número de adquisiciones de 2007-2018 por cada tipo de bomba abordado anteriormente.



Gráfica 5.6.- Grafica de adquisiciones 2007- 2018 por tipo de bomba.

Fuente: Estudio Sectorial: Bombas utilizadas en la industria Petrolera, PEMEX.



## Conclusiones.

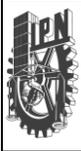
La correcta selección de los equipos de bombeo es de suma importancia, ya que, si los requerimientos de funcionamiento de la bomba no son correctamente calculados, se tendrá un sistema de bombeo deficiente que podría no ser suficiente para satisfacer las necesidades de flujo, llevando a complicaciones como atrapamiento de sarta, deficiencia en la limpieza de pozos, arranques de pozo o invasión de fluidos.

El sistema de bombeo más utilizado para desplazar fluidos de perforación con alto contenido de sólidos requiere del uso de bombas de desplazamiento positivo a base de émbolos o pistones.

Dentro de la industria petrolera las segundas más usadas son las bombas centrifugas, pero al referirse a el rendimiento, la eficiencia de esta en el manejo de fluidos con alto contenido de sólidos se verá afectada ya que estos fluidos provocan abrasión y erosión en los impulsores y carcasa.

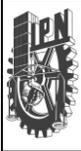
Es necesario mantener las bombas empleadas en el sistema de bombeo de fluidos de control en las mejores condiciones de acuerdo con los programas establecidos para prever posibles fallas y deficiencias en su funcionamiento, aplicando adecuadamente las técnicas de mantenimiento preventivo, evitando así incidentes que puedan detener la operación.

Con ayuda de la información obtenida referente a las adquisiciones de los sistemas de bombeos realizadas por PEMEX para sus operaciones en sus diferentes áreas, podemos darnos cuenta de la gran importancia que tienen las bombas, así como la demanda que surge a través de los años para las diferentes operaciones que se van presentando.



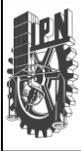
## Diagramas, Graficas y Tablas.

Diagrama 1.1.- Equipos empleados en la construcción de pozos.....	7
Diagrama 2.1.- Clasificación de los fluidos de control según su medio portador.....	12
Tabla 2.1.-Masa de materiales de lodo pulverizados en un contenedor de 1 litro.....	17
Diagrama 3.1 Clasificación general de Bombas.....	25
Tabla 3.1.- Comparativa ente Bombas Dúplex y Tríplex.....	33
Tabla 4.1.- Velocidades de limpieza recomendadas para fluidos circulados .....	45
Gráfica 5.1.- Grafica de adquisiciones 2007- 2018 de Bombas Centrifugas. ....	48
Gráfica 5.2.- Grafica de adquisiciones 2007- 2018 de Bombas de Diafragma. ....	49
Gráfica 5.3.- Grafica de adquisiciones 2007- 2018 de Bombas Reciprocantes. ....	50
Gráfica 5.4.- Grafica de adquisiciones 2007- 2018 de Bombas Centrifugas. ....	51
Gráfica 5.5.- Grafica de adquisiciones 2007- 2018 de Bombas de Engranés. ....	52
Gráfica 5.6.- Grafica de adquisiciones 2007- 2018 por tipo de bomba.....	53



## Figuras.

Figura 1.1.- Ejemplo de un Pozo (petrolero) .....	6
Figura 1.2.- Corte transversal de un proceso de cementación. ....	8
Figura 1.3.- Evolución en las terminaciones. ....	9
Figura 2.1.- Imagen representativa de un fluido de control durante la perforación. ....	10
Figura 2.2.- Sistema de circulación. Fuente: The drilling manual, ADITC (2015) p. 328... 11	
Figura 2.3.- Fluidos de perforación y sus gravedades específicas.....	15
Figura 2.4.- Característica de flujo de algunos fluidos.....	18
Figura 3.1.- Vista lateral de una bomba.....	23
Figura 3.2.- Representación gráfica de la parte hidráulica. ....	24
Figura 3.3.- Diagrama de Bomba de embolo.....	26
Figura 3.4.- Diagrama de Bombas de lóbulos. ....	27
Figura 3.5.- Diagrama de los diferentes tipos de bomba de tornillos.....	27
Figura 3.6.- Diagrama de bomba de engranes. ....	28
Figura 3.8.- Bomba reciprocante .....	28
Figura 3.7.- Vista lateral de una bomba de diafragma.....	29
Figura 3.8.- Bomba Dúplex. ....	29
Figura 3.9.- Posición 1 del vástago en una bomba dúplex. ....	30
Figura 3.10.- Posición 2 del vástago en una bomba dúplex. ....	30
Figura 3.11.- Vista lateral de una Bomba Triplex. ....	31
Figura 3.12.- Movimiento hacia adelante del pistón. ....	32
Figura 3.13.- Movimiento del pistón hacia atrás. ....	32
Figura 3.14.- Bomba centrifuga.....	34
Figura 3.15.- Ejemplo de desgaste por erosión. ....	36
Figura 3.16.- Ejemplo de desgaste por corrosión. ....	37
Figura 3.17.- Ejemplo de desgaste por abrasión.....	37



## Bibliografías.

- ❖ “Manual para ayudante de perforador (cabo), perforador y malacatero”
- ❖ Un Siglo de la Perforación en México Terminación y Mantenimiento de Pozos, Unidad de Perforación y Mantenimiento de Pozos, Pemex Exploración y Producción.
- ❖ Aguilar Reyes, Jaime. (1997) Análisis de bombas, Curso Abierto de la Facultad de Ingeniería de la UNAM.
- ❖ Comisión Nacional de Hidrocarburos (2017) “Lineamientos para la perforación de pozos”, <https://cnh.gob.mx/media/2556/pozos-anexo-iii.pdf>.
- ❖ Universidad De Aquino Bolivia UDABOL, Apuntes de “Introducción a los fluidos de perforación”.
- ❖ Apuntes del Seminario de Fluidos de Control (2021).
- ❖ Estudio Sectorial: Bombas Utilizadas en la Industria Petrolera. Pemex. CANACINTRA.
- ❖ Flow Control and Measurement S.A de C.V. (2020, 24 abril). *Bombas Centrífugas y su Mantenimiento*. Recuperado 14 de octubre de 2021, de <https://www.fcmmex.com/fcm/article/bombas-centrifugas-y-su-mantenimiento-i/25>
- ❖ Garcia A. Mario (2011), Texto: turbomáquinas -Turbinas hidráulicas, universidad nacional de callao, Facultad de ingeniería eléctrica y electrónica. Recuperado el 12 de Octubre de 2021 de: [https://unac.edu.pe/images/documentos/organizacion/vri/cdcitra/Informes\\_Finales\\_Investigacion/2011/Noviembre/IF\\_GARCIA%20PEREZ\\_FIEE.pdf](https://unac.edu.pe/images/documentos/organizacion/vri/cdcitra/Informes_Finales_Investigacion/2011/Noviembre/IF_GARCIA%20PEREZ_FIEE.pdf)
- ❖ Mataix Claudio (1975) Turbomaquinas hidráulicas. (2ª ed), Madrid: Editorial ICA
- ❖ ADITC Australian Drilling Industry Training Committe Limited (2015) “The drilling manual” (5<sup>th</sup> edit.) CRC press imprint of Taylor & Francis group.
- ❖ Schlumberger inc. (2015) Programa de entrenamiento acelerado de supervisores. Recuperado 15 de octubre de 2021 de: <https://www.slideshare.net/MagnusMG/24-introduccion-a-los-fluidos-de-perforacion>