

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA

**FACULTAD DE INGENIERIA DE PETROLEO GAS
NATURAL Y PETROQUIMICA**



**EQUIPO DE BOMBEO
ELECTROSUMERGIBLE EN EL LOTE 8**

**TITULACION POR ACTUALIZACIÓN DE
CONOCIMIENTOS PARA OPTAR EL
TITULO PROFESIONAL DE INGENIERO
DE PETRÓLEO**

**ELABORADO POR:
JOHN ALEX CHIRA OLIVA**

**PROMOCION
1999-0**

**LIMA – PERU
2007**

INDICE

	Página
RESUMEN	1
INTRODUCCIÓN	2
CAPITULO I METODOS DE LEVANTAMIENTO ARTIFICIAL	3
I.1 Bombeo Neumático	4
I.2 Bombeo Mecánico	5
I.3 Bombeo Hidráulico	5
I.4 Bombeo Electrosumergible	6
CAPITULO II BOMBEO ELECTROSUMERGIBLE	7
II.1 Equipo de Fondo	7
II.1.1 Motor	7
II.1.2 Protector o Sección Sellarte	11
II.1.3 Separador de Gas Rotativo	15
II.1.4 Bomba Electrosumergible	16
II.1.5 Descarga	20
II.1.6 Cables	20
II.2 Equipos de Superficie	23
II.2.1 Transformador	23
II.2.2 Tablero	24
II.2.3 Variador de Frecuencia	24
II.2.4 Caja de Venteo	24
CAPITULO III DISEÑOS DE EQUIPOS ELECTROSUMERGIBLES	25
III.1 Diseños para pozos con altos cortes de agua	25

III.1.1 Diseños para Pozos Verticales	27
III.1.1.1 Datos Generales	27
III.1.1.2 Presión de Entrada de la Bomba	29
III.1.1.3 Columna Dinámica Total	31
III.1.1.4 Selección de la Bomba	35
III.1.1.5 Selección del Sello	38
III.1.1.6 Selección del Motor	39
III.1.1.7 Selección del Cable de Potencia	41
III.1.1.8 Selección de Accesorios y Equipos Adicionales	46
III.1.2 Diseños para Pozos Desviados	51
III.1.2.1 Datos Generales	51
III.1.2.2 Presión de Entrada de la Bomba	54
III.1.2.3 Columna Dinámica Total	56
III.1.2.4 Selección de la Bomba	57
III.1.2.5 Selección del Sello	60
III.1.2.6 Selección del Motor	60
III.1.2.7 Selección del Cable de Potencia	61
III.1.2.8 Selección de Accesorios y Equipos Adicionales	62
CAPITULO IV MEJORAS EN LOS EQUIPOS ELECTROSUMERGIBLES	66
IV.1 Mejoras en el Motor	66
IV.2 Mejoras en el Sello	66
IV.3 Mejoras en la Bomba	67
IV.4 Mejoras en el Cable de Potencia	67
CAPITULO V APLICACIONES DEL SISTEMA ELECTROSUMERGIBLE	68
V.1 Configuración con camisa de refrigeración	68
V.2 Bomba de alimentación o refuerzo	69
V.3 Bombas Horizontales	69
V.4 Bombeo electrosumergible con herramienta “Y”	69

CONCLUSIONES

70

BIBLIOGRAFIA

72

RESUMEN

El sistema de levantamiento artificial aplicable en el Lote 8 de la Selva del Perú es el Bombeo Electrosumergible, debido a que tiene yacimientos con altos volúmenes de fluido, altos porcentajes de agua y baja relación gas – petróleo.

El presente trabajo describe los componentes básicos del equipo de bombeo electrosumergible y se realiza diseños de equipos electrosumergibles para pozos verticales y desviados aplicados en el Lote 8. Una vez que el equipo de bombeo electrosumergible ha sido diseñado correctamente y su operación ha sido monitoreada adecuadamente, el equipo instalado empieza a ser relativamente económico y libre de problemas. Para disminuir las fallas prematuras, se mencionan algunas mejoras en los equipos electrosumergibles utilizados en el Lote 8, El equipo puede ser modificado, ensamblado e instalado de diferentes maneras dando lugar a diferentes configuraciones de instalación para los distintos casos. Las aplicaciones del sistema electrosumergible en el Lote 8 son configuración de Bombeo electrosumergible con camisa de refrigeración, bomba de alimentación o refuerzo, Bombas Horizontales, Bombeo electrosumergible con herramienta “Y”.

INTRODUCCIÓN

Los componentes del sistema de bombeo electrosumergible pueden ser clasificados en dos partes, el equipo de fondo y el equipo de superficie.

El equipo de fondo se cuelga de la tubería de producción y cumple la función de levantar la columna de fluido necesaria para que el pozo produzca, consiste principalmente de un motor eléctrico, un protector o sección sellante, un separador de gas (incluye la succión) y una bomba electrocentrífuga. Un cable de potencia que transmite la energía eléctrica desde la boca de pozo hasta el motor.

El equipo de superficie provee energía eléctrica al motor electrosumergible y controla su funcionamiento. Los principales componentes del equipo de superficie son: el transformador, el tablero o variador de frecuencia, caja de venteo.

Varios componentes adicionales normalmente incluyen el sensor de fondo, válvulas de retención y de drenaje, centralizadores, camisas de refrigeración, protectores metálicos, canaletas, zunchos, etc.

El diseño de instalación de bombeo electrosumergible, al igual que otros métodos de levantamiento artificial, no es una ciencia exacta e involucra un gran número de factores. El procedimiento varía considerablemente con las condiciones del pozo y con los fluidos que van a ser bombeados. Es muy importante obtener información detallada acerca del estado mecánico del pozo, la historia de la producción y las condiciones del yacimiento. La obtención de buenos datos acerca de estas condiciones antes de realizar el diseño es esencial para un diseño exitoso

CAPITULO I METODOS DE LEVANTAMIENTO ARTIFICIAL

La fuerza de empuje que desplaza el petróleo de un yacimiento proviene de la energía natural de los fluidos comprimidos almacenados en el yacimiento. La energía que realmente hace que el pozo produzca es el resultado de una reducción en la presión entre el yacimiento y la cavidad del pozo. Si la diferencia de presión entre el yacimiento y las instalaciones de producción de la superficie es lo suficientemente grande, el pozo fluirá naturalmente a la superficie utilizando solamente la energía natural suministrada por el yacimiento.

La producción de petróleo por métodos artificiales es requerida cuando la energía natural asociada con los fluidos no produce una presión diferencial suficientemente grande entre el yacimiento y la cavidad del pozo como para levantar los fluidos del yacimiento hasta las instalaciones de superficie, o es insuficiente para producir a niveles económicos. Los métodos de levantamiento artificial son los siguientes:

- I.1. Bombeo Neumático
- I.2. Bombeo Mecánico
- I.3. Bombeo Hidráulico
- I.4. Bombeo Electrosumergible

I.1. BOMBEO NEUMATICO

El Bombeo Neumático o Gas Lift es un método de levantamiento artificial que usa gas a presiones relativamente altas (250 psi) para el levantamiento de fluidos.

El Bombeo Neumático utiliza la tubería de producción que se ubica al nivel de las formaciones productivas. En este punto, generalmente se sella el anular entre la tubería de producción y la tubería de revestimiento con un empaque, para permitir el uso de válvulas de inyección, insertados en los lados del tubería de producción. El compresor de superficie se usa para inyectar gas a alta presión a través del anular. De esta manera el gas es forzado a ingresar a la tubería de producción por medio de las válvulas, para luego mezclarse con el petróleo: como consecuencia, el fluido en la tubería de producción se hace más ligero y puede ser levantado hacia la superficie.

Este método de Bombeo Neumático es aplicado donde existen grandes cantidades de gas para asegurar el suministro de potencia para activar este sistema.

Las características del pozo más importantes son presión de fondo, índice de productividad, Relación Gas-Petróleo, porcentaje de agua, profundidad, diámetro de la tubería y tubería de revestimiento y tipo de mecanismo de reservorio.

El Bombeo Neumático es logrado de dos formas:

1. Bombeo Neumático Continuo, es la inyección continua de gas a través del tubería de revestimiento a una profundidad determinada para reducir la presión de formación.
2. Bombeo Neumático Intermitente, es la inyección intermitente de gas a través de la tubería de revestimiento a un volumen y presión suficiente para levantar el fluido por encima de la válvula.

I.2. BOMBEO MECÁNICO

Este es el método de levantamiento artificial más utilizado. El Bombeo Mecánico tiene su principal aplicación en la producción de crudos pesados y extrapesados, aunque también se usa en la producción de crudos medianos y livianos. No se recomienda en pozos desviados, y tampoco es recomendable cuando la producción de sólidos y/o la relación gas – líquido sea muy alta, ya que afecta considerablemente la eficiencia de la bomba. Este método de levantamiento se usa generalmente en pozos de baja producción como aquellos que producen de reservorios depletados.

Este sistema utiliza un movimiento vertical transmitido por contrapesos y un brazo mecánico que sube y baja. La energía proviene de un motor la cual moviliza una unidad de superficie mediante un sistema de engranajes y correas.

La bomba en sí misma se encuentra en el fondo y se le transmite el movimiento a través de varillas que hacen su recorrido por dentro de la tubería de producción. Al descender, la válvula inferior se cierra y el pistón de la bomba baja llenándose de petróleo. Al subir, la válvula inferior se abre y mientras el pistón jala el petróleo que tiene dentro hacia arriba, a la vez llena la parte inferior por succión con una nueva carga que posteriormente elevará.

I.3. BOMBEO HIDRAÚLICO

El Sistema de Bombeo Hidráulico transmite su potencia mediante el uso de un fluido presurizado que es inyectado a través de la tubería. Este fluido conocido como fluido de potencia o fluido motor, es utilizado por una bomba de subsuelo que actúa como un transformador para convertir la energía de dicho fluido a energía potencial o de presión en el fluido producido que es enviado hacia la superficie. Los fluidos de potencia más utilizados son agua y crudos livianos que pueden provenir del mismo pozo.

El sistema de bombeo hidráulico requiere de un fluido motriz en superficie almacenado en tanques, líneas de transferencia y bombas de subsuelo.

Las ventajas es que cuando es aplicado a un grupo de pozos resulta económico ya que emplea una sola unidad de superficie para asistir a todas las bombas de subsuelo, es aplicado para producir grandes volúmenes de fluido, se puede aplicar en pozos ubicados en locaciones remotas, puede ser empleado para pozos verticales o desviados.

Las desventajas es la pérdida de eficiencia en presencia de gas, a grandes profundidades el sistema requiere unidades de superficie más costosas.

I.4. BOMBEO ELECTROSUMERGIBLE

El bombeo elctrosumergible o electrocentrífugo es un método más moderno para llevar fluidos a la superficie. El levantamiento se lleva a cabo por medio de una bomba electrosumergible, la cual convierte la energía provista por un motor en energía de presión dentro del líquido que se bombea.

La instalación de fondo de una unidad electrosumergible consta de un motor, sello, bomba, cable de potencia. La instalación de superficie está constituida por el controlador, transformador y caja de venteo.

Básicamente el funcionamiento de una bomba electrosumergible depende del motor que conectado a la bomba, va ubicado al final de la tubería de producción. El motor acciona la bomba y ésta fuerza al petróleo ascender desde el fondo del pozo hasta la superficie a través del interior de la tubería de producción. La electricidad se provee por medio de un cable de potencia que corre por un lado de la tubería de producción y va conectado al motor eléctrico.

Las bombas electrosumergibles son usadas donde es necesario levantar grandes volúmenes de fluido hacia la superficie, más aplicable en yacimientos con empuje de agua y baja relación Gas-Petróleo.

CAPITULO II BOMBEO ELECTROSUMERGIBLE

II.1 EQUIPO DE FONDO

II.1.1 MOTOR

El motor electrosumergible utilizado para la operación de las bombas electrosumergibles es un motor eléctrico con estator bobinado de inducción bipolar trifásico y rotor tipo jaula de ardilla el cual opera a una velocidad de 3600 revoluciones por minuto a una frecuencia de 60 Hz.

El motor trabaja en baño de aceite dieléctrico, este aceite es de tipo mineral altamente refinado el cual posee una alta rigidez dieléctrica (30 Kv) y provee una buena lubricación en los cojinetes de motor y conjunto de empuje. Otra propiedad es que tiene una alta conductividad térmica por lo que facilita la refrigeración del motor.

En la fabricación de motores electrosumergibles las dimensiones exteriores están limitadas al diámetro interior del pozo (tubería de revestimiento), por esta razón se construyen motores de mayor potencia en dos piezas para un mismo diámetro exterior, conectados interiormente.

Los motores están diseñados para operar con un voltaje tan bajo como 230 voltios o tan alto como 5000 voltios y requerir un amperaje entre 12 a 200 amperios.

El largo de los motores ensamblados como motores simples llegan aproximadamente a los 10 m, mientras que los motores ensamblados las longitudes llegan aproximadamente a 27.4 m.

Los motores trifásicos tienen tres bobinas separadas a 120° entre sí, una por cada fase y distribuidas uniformemente alrededor de la circunferencia interna de un tubo cilíndrico con laminaciones de acero.

EL ESTATOR

Las bobinas y las laminaciones se las conocen conjuntamente como ESTATOR.

El estator está bobinado con un alambre de cobre electrolítico calibrado de máxima pureza y posee una doble capa de cinta aislante de "Kapton" solapada al 50% del ancho de la misma.

El estator está compuesto de un grupo de electroimanes individuales colocado de tal modo que ellos forman una cavidad cilíndrica.

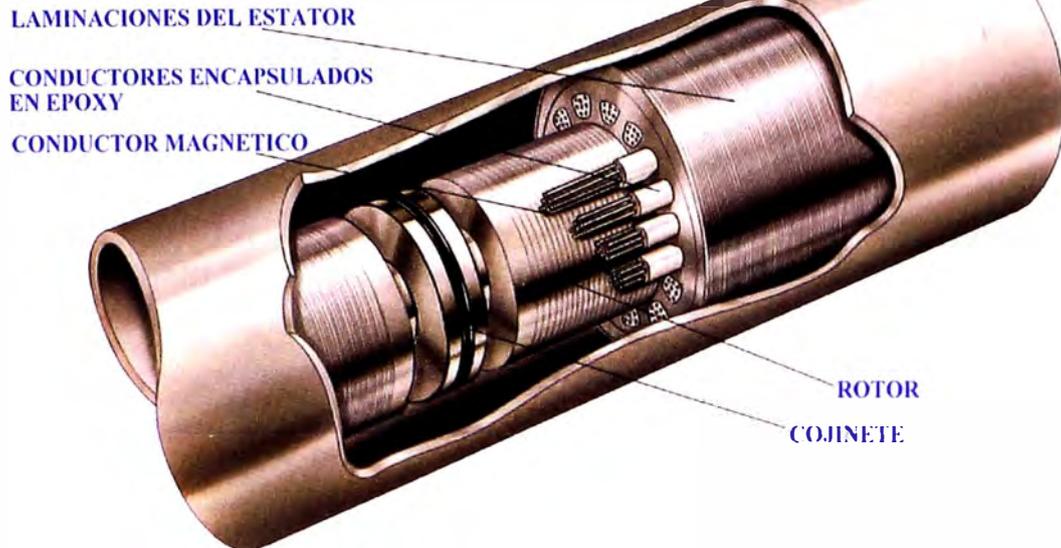
Aún cuando el estator no tiene movimiento físico, el movimiento eléctrico es creado por el cambio progresivo de la polaridad en los polos del estator, de manera que el campo magnético gira.

Esto es fácilmente cumplido por un motor de corriente alterna, ya que cada medio ciclo cambiará la polaridad de cada polo del estator automáticamente.

El estator está compuesto por láminas prensadas de hierro silicio y latón en las zonas donde trabajan los cojinetes de motor.

Las laminaciones del estator tienen orificios que permiten el pasaje del alambre de la bobina, cintas aislantes y la resina epóxica.

ENCAPSULAMIENTO EPOXICO SUPERA EN RENDIMIENTO EL BARNIZADO CONVENCIONAL DEL CONDUCTOR



Encapsulado con epóxica

EL ROTOR

Dentro de la circunferencia interna del estator se encuentra localizado lo que se llama el ROTOR. El rotor también está fabricado de un tubo cilíndrico de laminaciones de hierro silicio dejando un espacio mínimo entre el diámetro exterior del rotor y el diámetro interior del estator. Este espacio se lo conoce como entrehierro.

Los rotores van montados sobre el eje y fijados frente al campo magnético del estator. Alojados en las regiones externas del rotor se encuentran los conductores eléctricos, o barras, que corren en forma paralela al bobinado del estator y están unidas o en cortocircuito por anillos de cobre.

El rotor simplemente gira por atracción y repulsión magnética, ya que sus polos intentan seguir el campo eléctrico giratorio generado por el estator.

No hay ninguna conexión externa al rotor, sin embargo el flujo de corriente de los polos eléctricos del rotor son inducido por el campo magnético creado en el estator.

EL CONJUNTO ROTORICO

Está compuesto por el Eje de motor, Cojinete de motor, anillos en forma "T", manguito para el cojinete de motor, Chavetas de manguito, Arandelas de micarta o CL10, Rotores y Chavetas de rotor.

El peso del conjunto rotórico de un motor está soportado por dos piezas y están compuestos por una zapata sólida, está se afirma en el cabezal de motor y un rodete de empuje fijado al eje.

El peso propio del conjunto rotórico hace que el rodete de empuje apoye sobre la zapata de empuje. Esta posición es muy importante porque no solo permite mantener una extensión del eje correcta sino que mantiene al conjunto rotórico en posición, haciendo coincidir al rotor con la zona de hierro silicio y a los cojinetes en la zona de latón.

Por otro lado el eje de motor está soportado en forma radial en varios puntos de apoyo, como lo son los cojinetes de motor y bujes que tiene el cabezal y base de motor.

Los componentes internos del motor están diseñados para resistir temperaturas de 260 °C (500 °F).

En la parte superior del motor se encuentra la conexión, que es el espacio más reducido por donde pasan las tres fases de alimentación.

El eje de motor es un eje hueco mecanizado y perforado para hacer llegar aceite a todos los cojinetes del motor, como así también la de soportar los esfuerzos del torque.

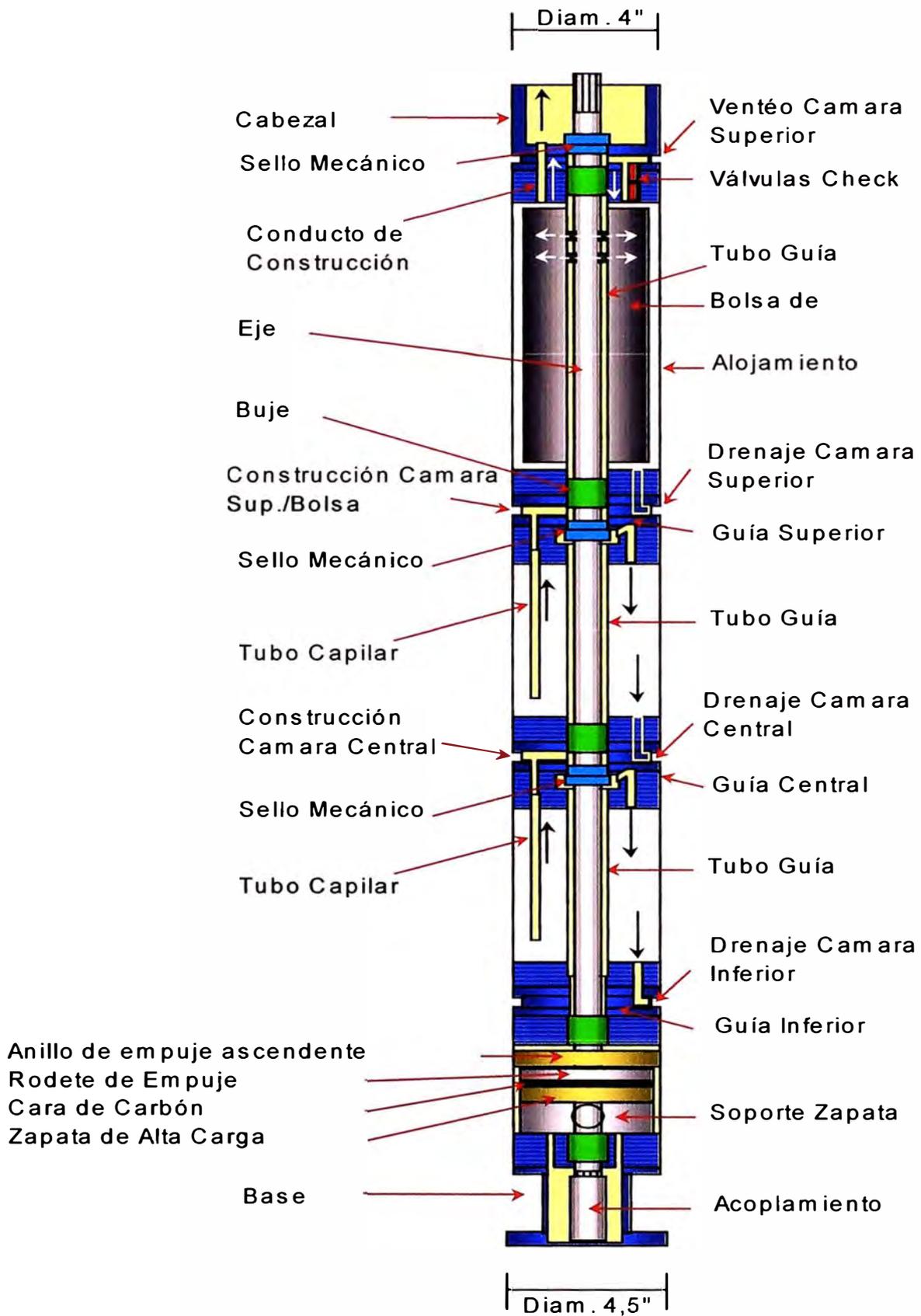
La base de motor está diseñada para poder incorporar accesorios como por ejemplo un ánodo de sacrificio, centralizador o Sensor de Fondo.

II.1.2 EL PROTECTOR O SECCION SELLANTE

El protector o sección sellante está ubicado entre la parte superior del motor y la parte inferior de la bomba, puede ser instalado como una unidad simple o como una unidad ensamblada. El sello esta diseñando para proteger al motor por medio de cuatro funciones básicas, las cuales son:

1. Provee el volumen necesario para permitir la expansión del aceite dieléctrico contenido en el motor. La expansión se debe al incremento de temperatura del motor cuando la unidad está en operación y a la temperatura del fondo del pozo.
2. Ecuilizar (igualar) la presión externa del fondo de pozo con el fluido dieléctrico interno del motor. Esta ecuilización de presiones a lo largo del motor evita que el fluido del pozo pueda infiltrarse por las uniones selladas del motor. El ingreso de fluidos del pozo al motor causará una falla dieléctrica prematura.
3. Protege al motor de la contaminación de los fluidos del pozo. La sección sellante contiene múltiples sellos mecánicos montados en el eje que evitan que el fluido del pozo ingrese por el eje. Las cámaras laberínticas proporcionan separación del fluido en base a la diferencia de densidades entre el fluido del pozo y el aceite del motor. Cualquier fluido del pozo que pase por los sellos superiores del eje o por la cámara superior es contenido en las cámaras laberínticas inferiores como un medio de protección secundario.
4. Absorbe el empuje axial descendente de la bomba. Esto se lleva a cabo por medio de un cojinete de empuje deslizante. El cojinete utiliza una película hidrodinámica de aceite para proporcionarle lubricación durante la operación. El empuje descendente es el resultado de la presión desarrollada por la bomba actuando sobre el área del eje de la bomba y el empuje residual transferido por cada impulsor individual al eje.

Sección Sellante S-400 Modelo B3



BASE DE LA SECCION SELLANTE

Comenzando la descripción de abajo hacia arriba, encontramos en primer lugar a la Base del Sello, esta es quien va a soportar a todo el conjunto de empuje y va a estar roscada al alojamiento Intercambiador de Calor.

LA CAMARA DE EMPUJE AXIAL E INTERCAMBIADOR DE CALOR

Está conformada por cuatro partes soporte de zapata, zapata de Alta Carga Sólida o Estándar, rodete de empuje con o sin Cara de Carbón y anillo de empuje ascendente

Esta cámara también se la llama como cámara Intercambiador de Calor, debido a que es en el lugar donde vamos a retardar la circulación del aceite y hacerlo pasar en contacto con las paredes del alojamiento, esto se logra por medio del sinfín que posee el soporte zapata. Por otro lado también es un lugar donde se genera mayor temperatura.

LA CAMARA INFERIOR

Es del tipo laberíntico, que impide el ingreso del fluido del pozo hacia el motor. Esta cámara está compuesta por la guía inferior y el alojamiento inferior. La guía inferior a su vez está compuesta por el tubo guía, por donde va a pasar el eje del sello.

LA CAMARA CENTRAL O CAMARA SUPERIOR

Puede ser Laberíntica o con bolsa, que permite variar el volumen interno del sello cuando el aceite de motor varía con la temperatura.

CABEZAL DE LA SECCION SELLANTE

El Cabezal del Sello con Bolsa, posee las válvulas check de compensación de presión, estas trabajan en un rango de 3 – 8 psi y como su denominación lo dice son unidireccionales.

No todos los sellos poseen los mismos componentes enunciados anteriormente, esto depende directamente del modelo del sello.

Las Guías, Inferior, Central, Superior, Cabezal (solo Venteo) poseen orificios que permiten un fácil llenado, drenaje y venteo de las cámaras.

Los sellos vienen en varios tamaños para unir motores y bombas de diámetros diferentes.

El eje del motor es conectado al eje de la bomba por medio del eje del sello, el cual tiene una terminación con estrías en cada extremo y mediante un acoplamiento.

El Cabezal, Guía Central y Guía Superior, poseen sellos mecánicos dispuestos de forma tal que impiden el paso del fluido de pozo por el eje.

Las sección sellante posee tres orificios en cada cámara (excepto en la cámara inferior) de comunicación llamados Construcción, Venteo y Drenaje, estos permiten el llenado con aceite, extremando la precaución de que no se entrapen burbujas de aire en el interior.

II.1.3 SEPARADOR DE GAS ROTATIVO

La capacidad de la bomba centrífuga para el manejo eficiente del gas, es limitada. Por esta razón en las instalaciones de bombeo electrosumergible, para pozos con elevada relación gas - petróleo, es necesario emplear separadores de gas para evitar que el gas libre dentro de la bomba no supere el 10%.



Separador de gas rotativo

La eficiencia de la bomba es afectada notablemente con la presencia de gas libre, esta puede producir los fenómenos de cavitación o bloque por gas.

Si el gas presente en la bomba está en solución, es decir que la presión existente se encuentra por encima del punto de burbuja del gas, la bomba operará normalmente como si estuviese bombeando un líquido de baja densidad.

El fluido de pozo y gas ingresa por los orificios de la base entrando directamente al inductor, luego es canalizado al rotor separador a través de los alabes guía.

El rotor separador ejerce una fuerza centrífuga al rotar desplazando al fluido del pozo hacia las paredes y al gas hacia el centro del rotor.

El fluido de pozo y gas separado ingresan a la reducción-difusor, en esta parte el gas es expulsado al exterior por los agujeros del cabezal y el fluido de pozo es encaminado hacia la bomba en forma axial al eje.

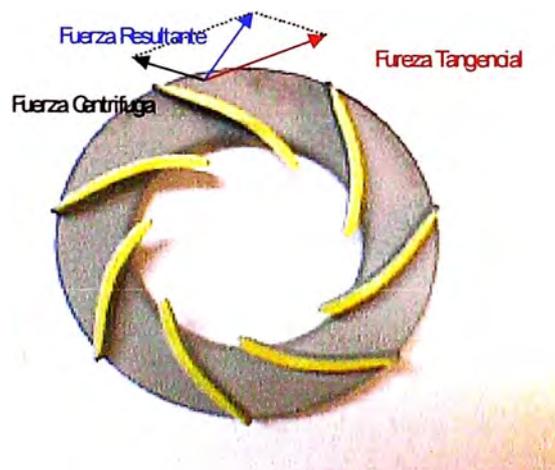
II.1.4 BOMBA ELECTROSUMERGIBLE

Las bombas electrosumergibles son bombas centrífugas multietapas, diseñadas para cubrir una amplia gama de volúmenes y están construidas y aplicadas en diferentes diámetros dependiendo del espacio disponible en el pozo (diámetro de la tubería de revestimiento).

Cada etapa está compuesta por un impulsor rotatorio y un difusor estacionario.

La bomba centrífuga trabaja por medio de la transferencia de energía del impulsor al fluido, desplazándolo como si fuera un acelerador de partículas, esta energía o fuerza tangencial se produce en los álabes del impulsor cuando la bomba está en funcionamiento (girando), el cambio de presión a energía se lleva a cabo mientras el líquido bombeado rodea al impulsor, a medida que el impulsor gira, este imparte un movimiento giratorio al fluido el cual se divide en dos componentes. Uno de estos movimientos es radial hacia afuera del centro del impulsor y es causado por una fuerza centrífuga.

El otro movimiento va en la dirección tangencial al diámetro externo del impulsor. La resultante de estos dos componentes es la dirección del flujo.

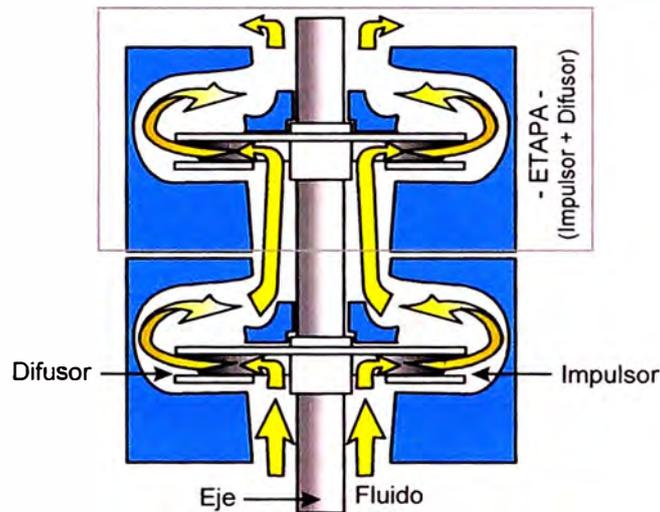


Esquema de la fuerza resultante del movimiento del flujo en un impulsor

La parte rotativa, el impulsor, genera fuerzas centrífugas que aumentan la velocidad del fluido (energía potencial más energía cinética).

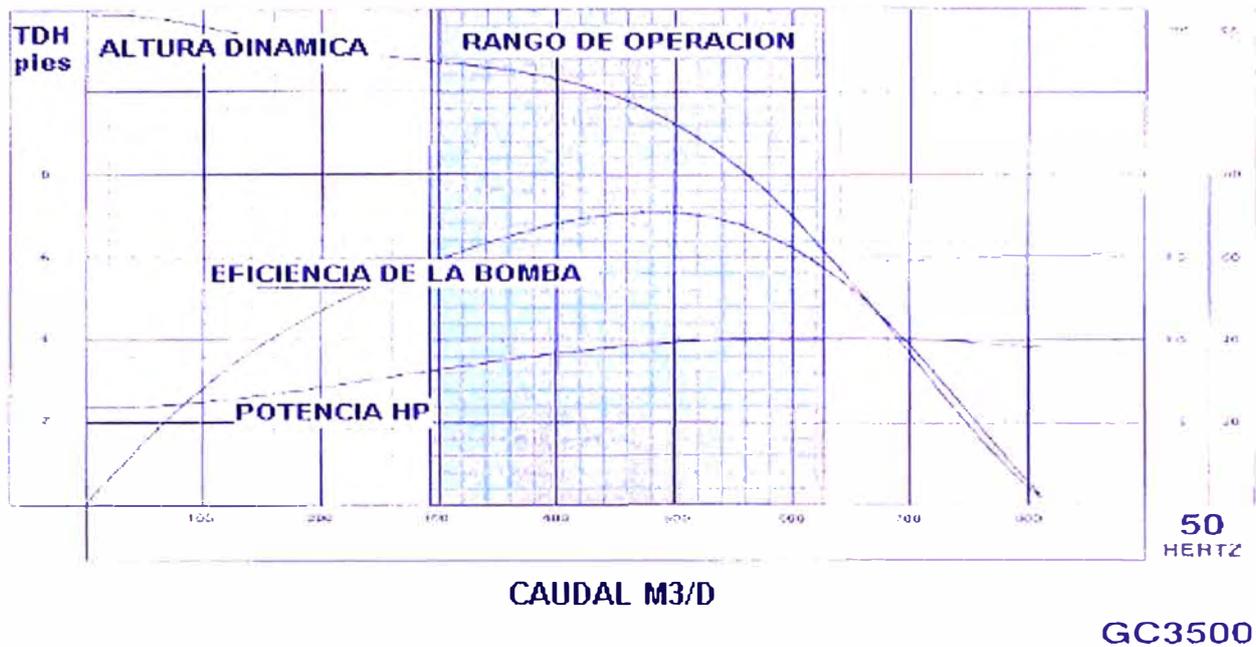
La parte estacionaria, el difusor, dirige el fluido de la forma adecuada al siguiente impulsor. Transforma parte de la energía cinética en energía potencial o presión.

El fluido entra al impulsor por medio de un orificio interno, cercano al eje y sale por el diámetro exterior del impulsor.



El número de etapas en la bomba (bombas multietapas) va a estar determinado por la presión requerida en la cabeza del pozo, la profundidad de levantamiento y el volumen de fluido a ser producido.

CURVA TIPICA DE UNA ETAPA



En la curva de una bomba está representada el desempeño de una etapa para un diámetro mínimo de tubería de revestimiento a 50Hz o 60Hz (Ver extremo inferior), utilizando agua (Gravedad Específica = 1) como fluido de ensayo.

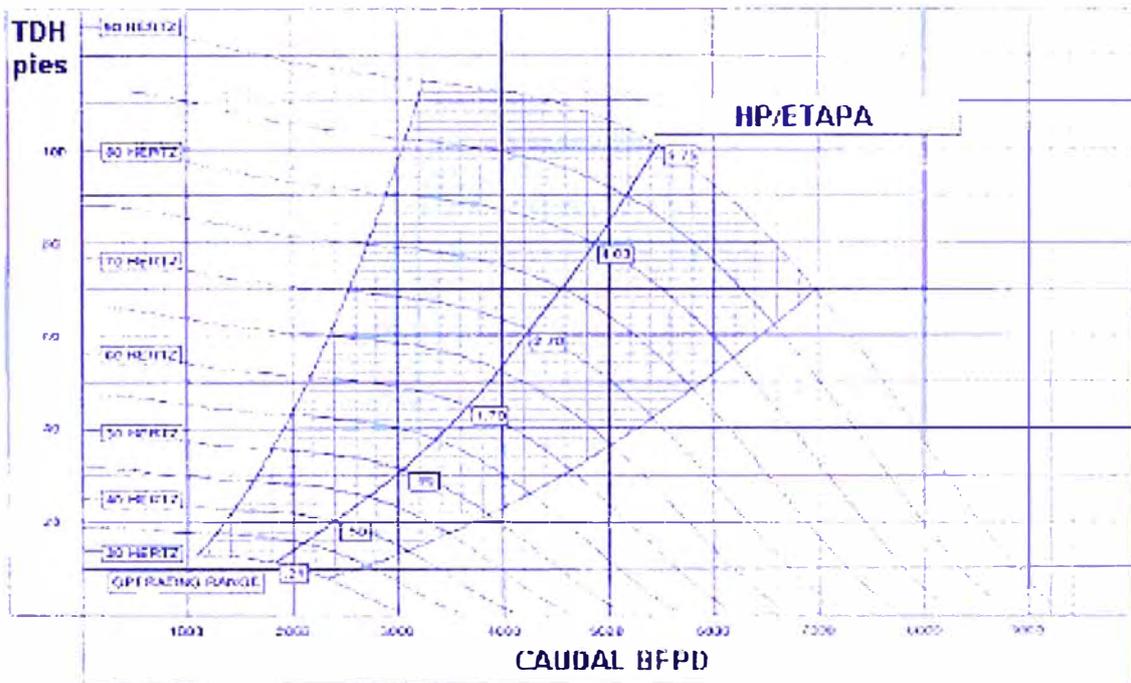
En el eje Y lado izquierdo está representado en Metros lo que se denomina altura de elevación, y es la capacidad de elevación de la etapa en función del caudal siendo este valor máximo para caudal cero (válvula cerrada). En el eje X está representado el caudal de la etapa.

La curva de consumo nos indica los HP que requiere cada tipo de etapa en función del caudal producido.

La curva de eficiencia nos da en porcentaje de cuan eficiente es la transformación de la energía mecánica en energía hidráulica, en función del caudal, para cada tipo de etapa.

CURVAS DE BOMBAS A FRECUENCIA VARIABLE

Este tipo de gráfico se denomina "Tornado". En esta gráfica se representa el desempeño de una etapa para un diámetro mínimo de tubería de revestimiento a distintas frecuencias de funcionamiento, utilizando agua (Gravedad Específica = 1) como fluido de ensayo.



GC3500

En el eje Y está representado la capacidad de elevación en Pie.

En el eje X está representado el caudal en Barriles por día.

Cada curva representada es identificada con la frecuencia. El consumo (HP) están valorizados para los puntos de máxima eficiencia para distintas frecuencias dentro del rango operativo.

II.1.5 DESCARGA

La Descarga empernada es una adaptación por la que cuelga todo el conjunto de fondo, esta a su vez permite el acople con la tubería de de producción.

Las roscas de la descarga más usuales son: 2 3/8" EUE 8RD, 2 7/8" EUE 8RD, 3 1/2" EUE 8RD y 5 1/2" EUE 8RD



Descarga

II.1.6 CABLES

II.1.6.1 CABLE DE EXTENSION

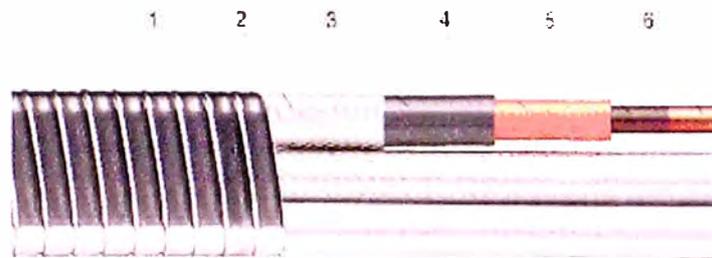
El cable de extensión del motor es un cable construido especialmente para ser instalado en toda la longitud del equipo de fondo debido a que este es más delgado y disminuye el diámetro exterior del conjunto que un cable común, posee un enchufe que va conectado al motor en uno de sus extremos y por el otro extremo se empalma al cable de potencia.

El cuerpo del enchufe tiene inyectado goma "EPDM" que no permite el ingreso del fluido del pozo a través de los conductores y terminales fijados, también realiza un perfecto sellado en el cabezal de motor.

El cable de extensión y el cable de potencia se clasifican según la sección del conductor y se los nombran según "AWG" (American Wire Gauge o Tamaños de cable americano).

CABLE DE EXTENSIÓN PLANO

- | | | | |
|---|------------------------|---|---|
| 1 | Armadura | : | Monel o acero galvanizado. |
| 2 | Maya | : | Entretejido sintético. |
| 3 | Chaqueta plomo | : | Chaqueta de plomo para pozos problemas de gases y fluidos ácidos. |
| 4 | Aislamiento | : | Goma "EPDM", Alto módulo y alta rigidez dieléctrica. |
| 5 | Película de poliamida: | | Doble capa solapada al 50% para mejores propiedades eléctricas. |
| 6 | Conductor | : | Barra sólida de cobre. |



II.1.6.2 CABLE DE POTENCIA

La energía eléctrica es transmitida al motor electrosumergible a través de un cable de potencia trifásico el cual se fija a la tubería de producción por medio de flejes o con protectores sujetadores especiales.

Este cable debe ser pequeño en diámetro, bien protegido de golpes mecánicos y resistente al deterioro de sus características físicas y eléctricas por efecto de los ambientes calientes y agresivos de los pozos.

Los cables están disponibles en una variedad de tamaños de conductor, que permiten una eficiente adecuación a los requerimientos del motor.

Estos pueden estar fabricados en configuraciones redondas o planas con armaduras de acero galvanizado, acero inoxidable, o de monel, capaces de soportar los ambientes agresivos de un pozo petrolífero o de agua. Todos los

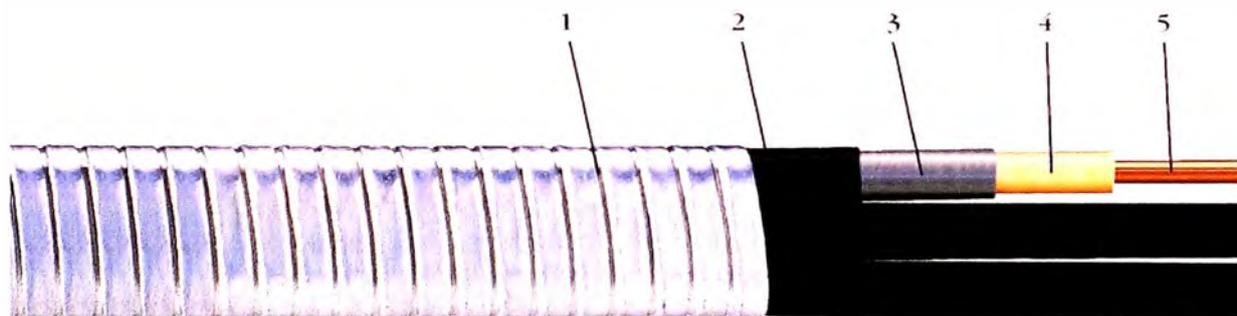
cables están fabricados con especificaciones rigurosas, empleando materiales especialmente diseñados para diferentes aplicaciones.

CABLE DE POTENCIA CEL

El cable de potencia “CEL” (Centrilift EPDM Lead o Cable Centrilift con plomo) está diseñado para operar en un rango de temperatura desde - 40°C a 232°C.

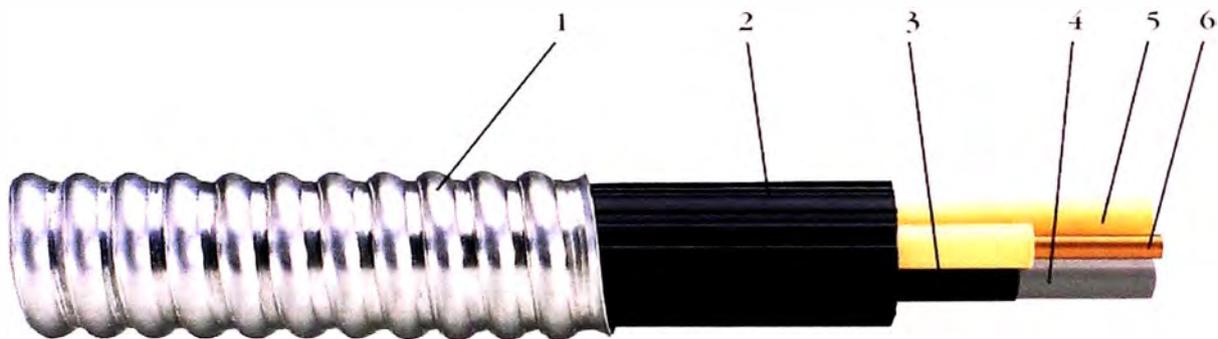
Cable Plano

- | | | | |
|---|--------------------|---|---|
| 1 | Armadura | : | Acero galvanizado. |
| 2 | Cinta | : | Capa protectora para daños mecánicos. |
| 3 | Chaqueta de Plomo: | | Capa de plomo protectora en imprevistos de fluidos y gases. |
| 4 | Aislamiento | : | Goma “EPDM” baja dilatación, alta rigidez dieléctrica. |
| 5 | Conductor | : | Barra de cobre sólido. |



Cable Redondo

1	Armadura	:	Acero galvanizado
2	Camisa	:	Goma "EPDM" respirable, alto modulo.
3	Cinta	:	Capa protectora para daños mecánicos.
4	Chaqueta de plomo:		Capa de plomo protectora en imprevistos de fluidos y gases.
5	Aislamiento	:	Goma "EPDM" baja dilatación, alta rigidez dieléctrica.
6	Conductor	:	Barra de cobre sólido.



II.2 EQUIPOS DE SUPERFICIE

II.2.1 TRANSFORMADOR

La distribución de energía eléctrica en los campos petroleros se realiza generalmente a voltajes intermedios, tal como 6000 voltios o más. Debido a que el equipo electrosumergible funciona con voltajes entre 250 y 4000 voltios, se requiere la transformación de voltaje de distribución.

II.2.2 TABLERO

El tablero consiste de un arrancador de motor, sistemas de circuito de estado sólido para la protección de sobrecarga o baja carga, un interruptor de desconexión manual o automático, un circuito temporizador y un amperímetro registrador.

II.2.3 VARIADOR DE FRECUENCIA

El variador de frecuencia fue diseñado para reducir los esfuerzos eléctricos y mecánicos. La operación básica del variador es convertir la potencia de trifásica de entrada, típicamente a 480 voltios, a un suministro de potencia continua. Luego, utilizando los semiconductores de potencia del tipo SCR (rectificadores de control de silicio) invierte secuencialmente este suministro de corriente continua para generar fases de salida en corriente alterna de potencia pseudo-sinusoidal, cuya frecuencia y voltaje son controlables.

II.2.4 CAJA DE VENTEO

La caja de venteo realiza tres funciones:

1. Proporcionar un punto para conectar el cable proveniente del controlador al cable del pozo
2. Proporcionar un desfogue a la atmósfera para el gas que pueda migrar por el cable de potencia desde el fondo
3. Proporcionar puntos de prueba fácilmente accesibles para la revisión eléctrica de los equipos.

CAPITULO III DISEÑOS DE EQUIPOS ELECTROSUMERGIBLES

III.1 DISEÑO PARA POZOS CON ALTO CORTE DE AGUA

El procedimiento de selección es simple y directo y se basa en la suposición de que el fluido producido es incomprensible, la gravedad específica del fluido no varía con la presión. En tal caso, el siguiente procedimiento se puede utilizar paso a paso:

1. Obtener y analizar los datos disponibles.

2. Determinar la capacidad de producción, la profundidad de admisión de la bomba y la presión de entrada en la bomba requerida para el pozo. Dependiendo de los datos, se pueden hacer varias combinaciones. Si se conoce el caudal de flujo deseado y la profundidad de admisión de la bomba, la presión de entrada a la bomba para el caudal de flujo deseado puede ser calculada en base a la relación del comportamiento de afluencia del pozo. Por otro lado, se puede establecer el caudal óptimo para una profundidad de admisión de la bomba dada, graficando la presión de fondo del pozo fluyente (o el nivel de fluido) en función del caudal de flujo.

En pozos con alta producción de gas, la presión de entrada a la bomba puede ser limitada por la cantidad de gas y la presión de burbuja.

3. Calcular la altura de columna dinámica total requerida (TDH) que es igual a la sumatoria del levantamiento neto (la distancia vertical desde el nivel de fluido producido hasta la superficie), la pérdida por fricción en la tubería de producción

medida en pies y la presión en la cabeza del pozo, todo expresado en términos de altura de columna de fluido.

4. Basándose en las curvas de la bomba, seleccionar un tipo de bomba de manera tal que el diámetro exterior del mismo entre dentro de la tubería de revestimiento del pozo y que la tasa de producción deseada se ubique dentro del rango de capacidad recomendado de la bomba. Si dos o más bombas cumplen estos requisitos, será necesario un análisis económico antes de finalizar la selección. En la práctica, la bomba con la eficiencia más alta a la tasa de producción deseada será generalmente la que deba seleccionarse. Con la curva de la bomba seleccionada, determinar la altura de la columna generada y la potencia de freno requerida por cada etapa.

El número de etapas es igual a la altura de columna dinámica total dividida por la altura generada por cada etapa. La potencia del motor es la potencia al freno por etapa multiplicado por el número total de etapas y por el valor promedio de la gravedad específica del fluido que se está bombeando.

5. Seleccionar el tamaño y modelo adecuado de la sección sellante. Seleccionar un motor que sea capaz de entregar los requerimientos de potencia total para la bomba y el sello.

6. Determinar si se ha excedido alguna limitación de carga, por ejemplo la carga del eje, la carga de los cojinetes de empuje, la velocidad de fluido que pasa por el motor, etc.

7. Seleccionar el tipo y tamaño de cable de potencia en base a la corriente del motor, la temperatura del conductor y las limitaciones de espacio. Calcular el voltaje de superficie y los requerimientos de potencia.

8. Seleccionar los accesorios y el equipo opcional.

III.1.1 DISEÑO PARA POZO VERTICAL

III.1.1.1 DATOS GENERALES

Es importante comenzar este diseño del equipo con una discusión sobre los datos requeridos para el diseño correcto de una instalación de un equipo electrosumergible. La selección de una unidad de bombeo electrosumergible, en la mayoría de las condiciones, no es una tarea difícil, especialmente si los datos son confiables. Pero si la información, especialmente la pertinente a la capacidad del pozo, es pobre, el diseño generalmente será marginal. Los datos erróneos traen como resultado una bomba mal diseñada y una operación costosa. Una bomba mal seleccionada puede funcionar fuera del rango recomendado, sobrecargándolo al motor o haciéndolo trabajar por debajo de la carga o bajar muy rápidamente el nivel del pozo trabajando con un caudal excesivo que puede causar daño en la formación., Por otra parte, la bomba puede que no sea lo suficientemente grande para proporcionar el rango de producción deseado.

Muy frecuentemente se utilizan los datos de otros pozos en el mismo pozo o en un área cercana, suponiendo que los pozos del mismo horizonte de producción tendrán características similares. Desafortunadamente para el ingeniero que debe diseñar las instalaciones electrosumergibles, los pozos de petróleo, no hay dos que sean iguales. A continuación se halla la lista de datos requeridos para un buen diseño de un equipo electrosumergible.

POZO

- CO-1003

PROPIEDADES DEL FLUIDO

- API = 23
- % AGUA = 94.7
- Gravedad específica del agua = 1.1
- Gravedad específica del gas = 0.81
- Relación Gas-Petróleo de Producción = 190 SCF/STB

- Relación Gas-Petróleo en Solución = 105 SCF/STB
- Presión de burbuja (Pb) = 750 psi

TEMPERATURA

- Temperatura del fluido en superficie = 200 °F
- Temperatura del fluido en el fondo = 230 °F

VISCOSIDAD

- Viscosidad del petróleo a 200 °F = 7.578 cp.
- Viscosidad del petróleo a 230 °F = 5.692 cp.

DATOS DE PRUEBA

- Profundidad de referencia = 9842 pies VD
- Intervalo de los perforados = 9842 pies VD (hueco abierto Formación Cético 2)
- Presión estática (Pr) = 4230 psi
- Presión fluyente del pozo (Pwf) = 2690 psi
- Caudal máximo deseado = 6500 BPD

DESCRIPCION DE LA SARTA

- Diámetro interno de la tubería de revestimiento de 9 5/8 pulg. = 8.681 pulg.
- Profundidad de la tubería de revestimiento de 9 5/8 pulg. = 7139 pies TVD, 7139 pies MD
- Diámetro interno de la tubería de revestimiento de 7 pulg. = 6.184 pulg.
- Profundidad de la tubería de revestimiento de 7 pulg. = 9900 pies TVD, 11425 pies MD
- Diámetro interno de la tubería de producción 3 1/2 pulg. = 2.992 pulg.

III.1.1.2 PRESION DE ENTRADA DE LA BOMBA (PIP)

En las operaciones con bombas electrocentrífugas nos interesa saber los pies de fluido sobre la bomba o la presión de entrada a la bomba. Para definir correctamente este dato, es importante saber la gravedad específica o gradiente del fluido en el espacio anular de la tubería de revestimiento. Si se conoce el gradiente del fluido o la gravedad específica, podemos estimar la presión de entrada de la bomba o el nivel de fluido sobre al bomba.

Una determinación exacta de la presión de entrada de la bomba se puede derivar estableciendo los pies de fluido en el espacio anular sobre la entrada de la bomba y sumando cualquier presión en la tubería de revestimiento aplicada en la superficie.

Para reducir la cantidad de gas que entra a la bomba, se debe procurar mantener la presión de entrada a la bomba por encima de la presión de burbuja.

Predecir el comportamiento del pozo es una tarea difícil y compleja, pero es probablemente uno de los pasos más importantes en le diseño de un sistema de bombeo eléctrosumergible. El conocimiento de la presión de flujo en el fondo del pozo (P_{wf}) con el correspondiente caudal de producción (q_o) es la mínima información necesaria. Resulta conveniente encontrar una relación entre el flujo de líquidos en el pozo y la fuerza causada por la diferencia entre la presión promedio del yacimiento (P_r) y la presión de flujo en el fondo del pozo, esta es la relación del comportamiento de afluencia o capacidad de producción IPR.

Para calcular la capacidad de producción se puede utilizar el método del Índice de Productividad (PI o J) en yacimientos en los cuales la presión de flujo es mayor o igual a la presión de burbuja ($P_{wf} \geq P_b$). Esta es la forma más simple de construir la curva de la relación del comportamiento de afluencia (IPR), la cual resulta de la suposición de que el IPR es una relación lineal. Es decir, el caudal del pozo (q_o) es directamente proporcional a la reducción de presión "drawdown" en el fondo del pozo ($P_r - P_{wf}$). La constante de proporcionalidad que mide la productividad del pozo se le conoce como el Índice de Productividad (PI)(J).

- Calculo el Indice de Productividad

$$IP = \frac{Qd}{Pr - Pwf}$$

$$IP = \frac{6500}{4230 - 2690}$$

$$IP = 4.22 \text{ BFPD/psi}$$

- El caudal máximo de producción del pozo (a $Pwf = 0$ psi) es el siguiente:

$$Q_{max} = IP \times (Pr - 0)$$

$$Q_{max} = 4.22 \times (4230 - 0)$$

$$Q_{max} = 17\,851 \text{ BFPD}$$

- Calculo la Gravedad específica del petróleo (SG_o)

$$SG_o = \frac{141.5}{131.5 + API}$$

$$SG_o = \frac{141.5}{131.5 + 23}$$

$$SG_o = 0.92$$

- Calculo la Gravedad específica del líquido (SG_l)

$$SG_l = SG_o \times \% \text{Petróleo} + SG_w \times \% \text{Agua}$$

$$SG_l = 0.92 \times (1 - 0.947) + 1.1 \times 0.947$$

$$SG_l = 1.09$$

- La Profundidad de sentado de la bomba se calcula teniendo como nivel mínimo la presión de burbuja y como nivel máximo la presión fluyente del pozo

$$\text{Altura columna (pies)} = \frac{\text{Presión (psi)} \times 2.31 \text{ (pies/psi)}}{\text{Gravedad específica del fluido}}$$

$$\text{Nivel mínimo} = \frac{750 \times 2.31}{1.09} = 1589 \text{ pies}$$

$$\text{Nivel máximo} = \frac{2690 \times 2.31}{1.09} = 5700 \text{ pies}$$

Selecciono una profundidad de sentado de la bomba a 5237 pies

- Calculo la Presión de Entrada de la Bomba (PIP)

$$\text{PIP} = \frac{(\text{Prof. de la bomba} - \text{Nivel de fluido}) \times \text{SGI}}{2.31 \text{ pies / psi}} + \text{P forros}$$

$$\text{PIP} = \frac{(5237 - 3720) \times 1.09}{2.31} + 50$$

$$\text{PIP} = 816 \text{ psi}$$

La presión de entrada de la bomba es mayor que la presiona de burbuja

III.1.1.3 COLUMNA DINAMICA TOTAL (TDH)

Es la altura total requerida para bombear la capacidad de fluido deseada. Esta altura hace referencia al trabajo requerido para levantar una columna vertical de fluido determinada, desde la descarga de la bomba hasta la superficie. La columna dinámica total se calcula de la siguiente forma:

$$TDH = H_d + F_t + P_d$$

- $H_d =$ Distancia vertical entre el cabezal del pozo y el nivel de fluido

$$H_d = \text{Prof vertical de la bomba} - \frac{(\text{PIP} \times 2.31 \text{ pies / psi})}{\text{SGI}}$$

$$H_d = \frac{5237 - (517 \times 2.31)}{1.09}$$

$$H_d = 4141 \text{ pies}$$

- $F_t =$ Pérdida por fricción en la tubería.

La fricción en la tubería variará con el tamaño, longitud y capacidad de la misma, y la viscosidad del fluido. A continuación se observa la Fórmula Hazen - Williams para calcular la pérdida por fricción en la tubería:

$$\text{Fricción} = \left[\frac{V}{1.32 C \left(\frac{D}{48} \right)^{0.63}} \right]^{1.54} \times \text{Profundidad de la Bomba}_M$$

donde: $Fricción =$ Pérdida por fricción en la tubería, pies

$V =$ Velocidad del fluido, pies/segundo

$D =$ Diámetro interior de la tubería, pulgadas

$C =$ Coeficiente de Fricción (120 para tubería nueva (menos de 10 años))

Utilizo la Gráfica de Pérdidas de fricción (Grafico N° 01) para tubería nueva de 3 1/2" a 6500 BFPD tengo 125 pies/1000

$$F_t = \frac{5237 \times 125}{1000}$$

$$F_t = 654 \text{ pies}$$

- Pd = Presión necesaria para superar la presión existente en la línea de flujo (presión deseada en la cabeza del pozo)

$$P_d = \frac{\text{Presión (psi)} \times 2.31}{\text{SGI}}$$

$$P_d = \frac{150 \times 2.31}{1.09}$$

$$P_d = 318 \text{ pies}$$

Entonces la Columna Dinámica total es:

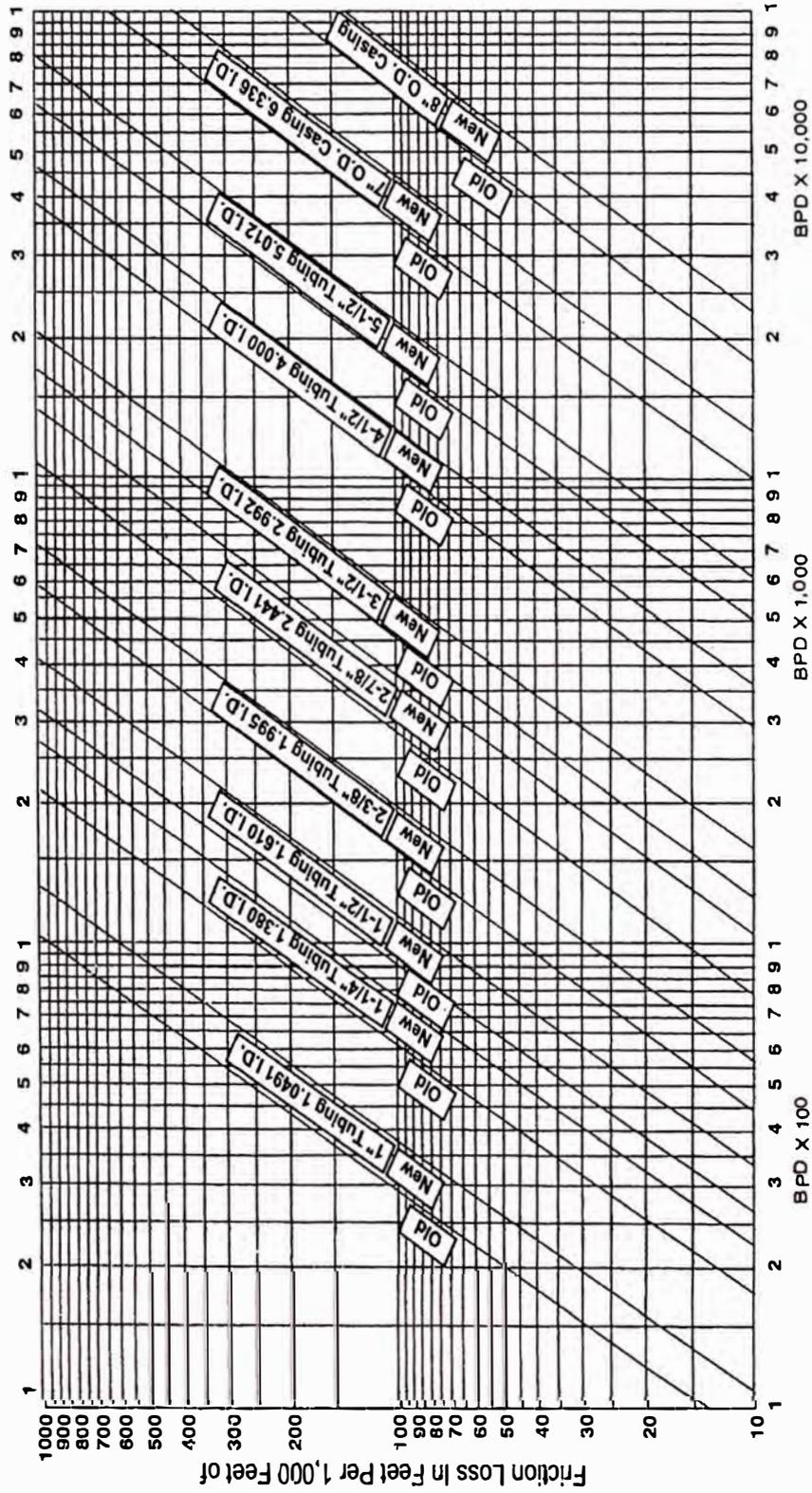
$$\text{TDH} = 4141 + 654 + 318$$

$$\text{TDH} = 5113 \text{ pies}$$

GRAFICO N° 01. PERDIDA DE FRICCION DE LA TUBERIA

Based on Hazen-Williams Formula
 For water: S.G. = 1.0, TEMP = 100°F, C=GPM, C=120 (New Pipe) 94 (Old Pipe 10 years)

$$F/1000' = 2.083 \left(\frac{100}{C} \right)^{1.85} \frac{Q^{1.85}}{I.D.^{4.8655}}$$



III.1.1.4 SELECCIÓN DE LA BOMBA

Selecciono una Bomba serie 538 de diámetro externo 5.38 pulg., ya que el tubería de revestimiento es de 9 5/8 pulg. De la Tabla N° 01, selecciono el tipo de Bomba P62 que tiene un rango de 4000 a 7700 BFPD a 60 Hz y está dentro del caudal deseado 6500 BFPD.

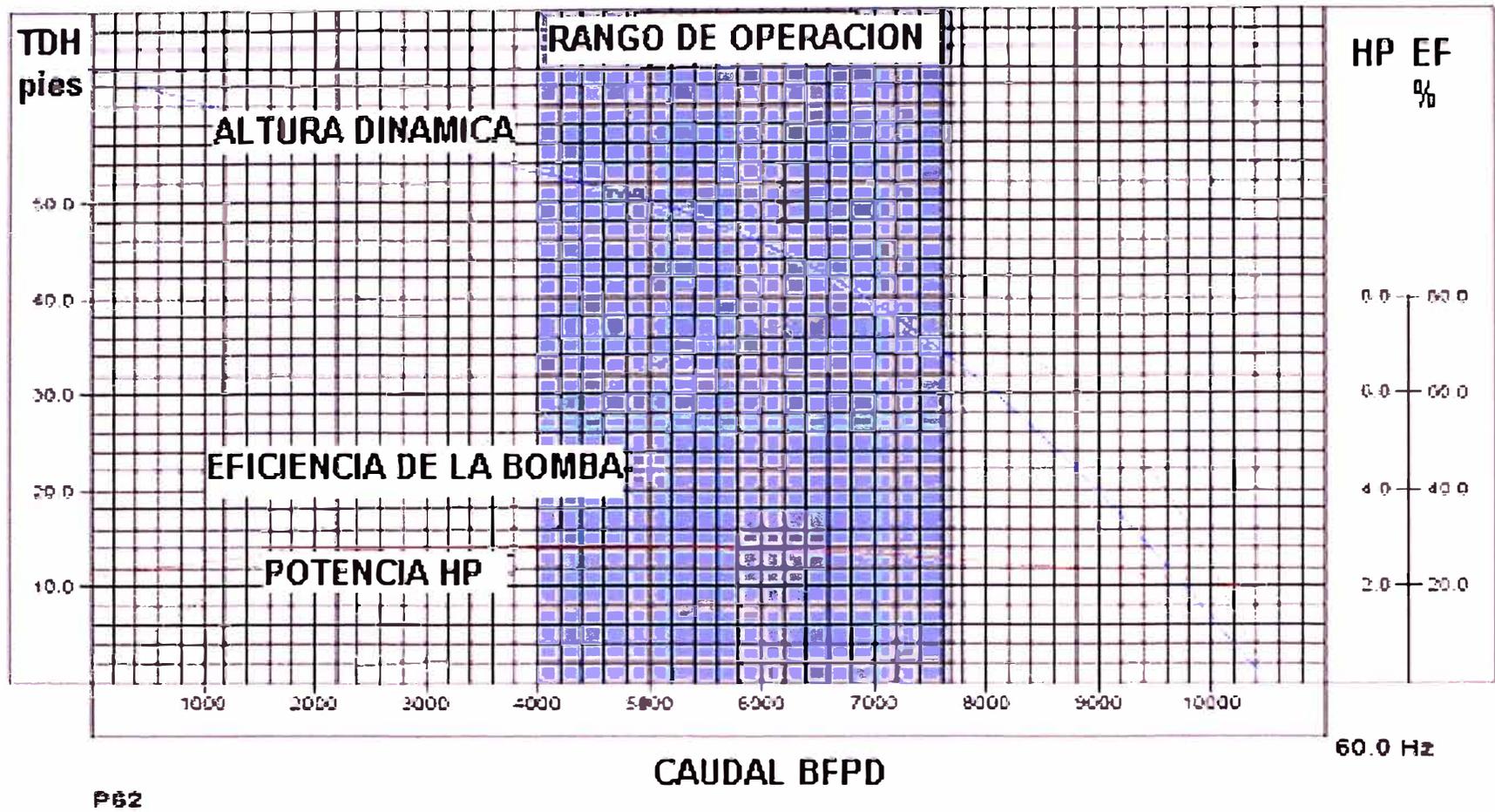
Utilizo la curva de desempeño de la bomba correspondiente a 60 Hz para la bomba tipo P62 (Gráfica N° 02), a la producción deseada de 6500 BFPD, la altura de columna por etapa es 43 pie/etapa y el consumo de potencia por etapa es 2.4

TABLAS N° 01. CARACTERISTICAS DE LAS BOMBAS

SERIES	DESCRIPCION
338	Diámetro externo de 3.38 pulg. opera de 340 a 3100 BFPD
400P	Diámetro externo de 4.00 pulg. opera de 120 a 6800 BFPD
538P	Diámetro externo de 5.38 pulg. opera de 750 a 12000 BFPD
675	Diámetro externo de 6.75 pulg. opera de 5000 a 48000 BFPD
875	Diámetro externo de 8.75 pulg. opera de 13700 a 33400 BFPD
1025	Diámetro externo de 10.25 pulg. opera de 22300 a 54900 BFPD

SERIE 538 MODELO DE BOMBA	BFPD MIN A 60 HZ	BFPD MAX A 60 HZ
P11	750	1500
P17	1400	2100
P23	1200	2900
P31	2000	4300
P37	2500	4800
P47	2800	5700
P62	4000	7700
P75	4750	8500
P100	5000	12000

GRAFICO N° 02. CURVA TIPICA DE LA BOMBA 538P62 A 60 HZ



- Cálculo el número de etapas

$$\text{Número de etapas} = \frac{\text{Altura Dinámica Total}}{\text{Altura / Etapa}}$$

$$\text{Número de etapas} = \frac{5113}{43} = 119$$

Con la Tabla N° 02 selecciono 02 Bombas Serie 538 Tipo P62 de 61 etapas cada una, en total 122 etapas

TABLA N° 02. ETAPAS DE LA BOMBA 538P62

HOUSING N°	LONGITUD (PIES)	PESO (LB)	ETAPAS MAX
1	2.4	155	4
2	3.9	215	8
3	5.4	280	13
4	6.9	345	18
5	8.4	410	23
6	9.9	475	28
7	11.4	540	32
8	12.9	600	37
9	14.4	665	42
10	15.9	730	47
11	17.4	795	52
12	18.9	860	56
13	20.4	925	61
14	21.9	985	66
15	23.4	1050	71
16	24.8	1115	76
17	26.4	1180	80
18	27.9	1245	85

- Calculo la potencia de la bomba (BHP)

$$\text{BHP} = \text{HP/Etapa} \times \text{Número de Etapas} \times \text{SGI}$$

$$\text{BHP} = 2.4 \times 119 \times 1.09$$

$$\text{BHP} = 311$$

III.1.1.5 SELECCIÓN DEL SELLO

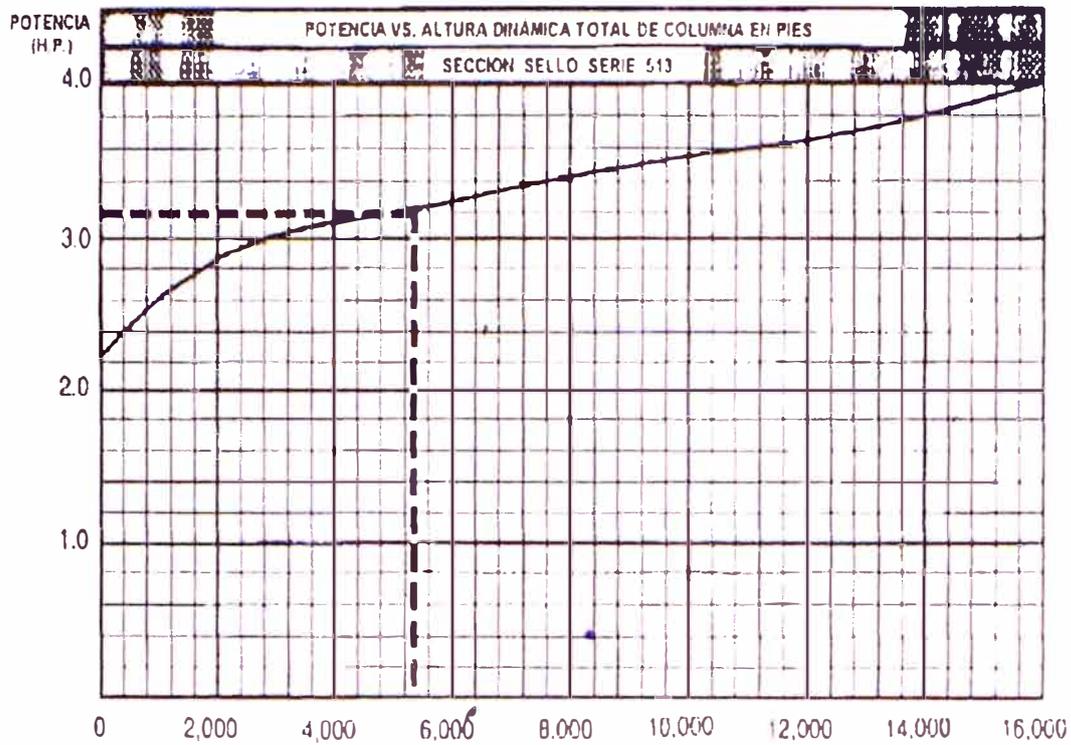
Selecciono Sello de la serie 513 de diámetro externo 5.13 pulg., ya que el diámetro del tubería de revestimiento es 9 5/8 pulg. y puede ser usado con una bomba serie 538, ya que su base es de 5.13 pulg. de diámetro.

La cabeza, la base y el housing del sello serie 513 son de acero inoxidable. El eje es de Inconel (alta resistencia).

La configuración de las cámaras del Sello es Laberíntico. Este arreglo combina la diferencia de densidad entre el aceite dieléctrico y los fluidos del pozo, lo que causa que el aceite dieléctrico que es más ligero quede en la parte de arriba de la cámara laberíntica para comunicarse con la otra cámara o con el motor. El fluido del pozo remanente que se encuentra en la parte de abajo se comunica con la cámara de arriba. Este efecto de tubo capilar funciona bien, para pozos verticales.

El requerimiento de potencia para el Sello es función de la altura dinámica total producida por la bomba. La Gráfica N° 03 indica una Potencia de 3 HP para el Sello Serie 513 a un TDH de 5113 pies. Por lo tanto, el requerimiento de potencia total es de 311 HP para la bomba más 3 HP para el Sello, o sea 314 HP.

GRAFICA N° 03. POTENCIA VS ALTURA DINAMICA TOTAL SELLO SERIE 513



III.1.1.6 SELECCIÓN DEL MOTOR

Utilizando las Tablas N° 03, para una Bomba de serie 538 y Sello serie 513, selecciono un motor de la serie 562, ya que su cabeza es de 5.13 pulg de diámetro externo. Para una potencia de 314 HP utilizaremos un motor de 390 HP.

TABLAS N° 03. CARACTERISTICAS DEL MOTOR

SERIE DEL MOTOR	DESCRIPCIÓN
375	3.75 pulg. de diámetro externo entre 19 y 195 HP a 60 Hz
450	4.5 pulg. de diámetro externo entre 15 y 400 HP a 60 Hz
562	5.62 pulg. de diámetro externo entre 30 y 1200 HP a 60 Hz
725	7.25 pulg. de diámetro externo entre 450 y 1600HP a 60 Hz

SERIE DEL MOTOR	HP	VOLT	AMP
375	46	665	53
450	185	1540	81
562	82	2015	25
	100	2105	29
	115	2175	32
	130	2240	35
	165	1650	61
	195	1710	69
	225	1770	77
	300	1915	95
	390	2025	115
	450	2105	133
500	2150	143	

III.1.1.7 SELECCIÓN DEL CABLE DE POTENCIA

DIAMETRO DEL CABLE

El diámetro adecuado del cable depende de la caída de voltaje, amperaje y espacio disponible entre la tubería de producción y la tubería de revestimiento.

Como la corriente del motor es 115 amp selecciono cable AWG N° 01 que tiene una corriente máxima de trabajo de 211 amp (Ver Tabla N° 04).

TABLA N° 04. TAMAÑO DE LOS CABLES

TAMAÑO AWG	DIAMETRO (pulg)	Ohms / 1000 pies	Máximo amps
1	0.2893	0.1239	211
2	0.2576	0.1563	181
3	0.2294	0.197	158
4	0.2043	0.2485	135
5	0.1819	0.3133	118
6	0.162	0.3951	101

➤ TIPO DEL CABLE

La selección del tipo de cable se basa principalmente en las condiciones de fluido y la temperatura de operación.

Selecciono un Cable de potencia redondo tipo CEL de rango de 5 Kvolts (ver Tabla N° 05), que tiene un rango de operación de -40 a 450 °F, la armadura es de acero galvanizado, tiene camisa goma "EPDM" respirable, alto modulo, cinta protectora para daños mecánicos, capa de plomo protectora en imprevistos de fluidos y gases, aislamiento goma "EPDM" baja dilatación, alta rigidez dieléctrica y conductor de cobre sólido.

La selección del cable redondo comparado con el cable plano es debido al balance de tensión y corriente, debido a su configuración del cable redondo.

La temperatura de operación puede ser determinada utilizando la Gráfica de la Temperatura del Conductor para el Cable de Potencia CEL AWG N° 01 (Gráfico N° 04), con la corriente del motor (115 amp) y la temperatura de fondo del pozo (230 °F) se encuentra que la temperatura de funcionamiento del cable es de 265 °F.

Para el amperaje del motor y la temperatura de fondo del pozo, la selección del cable es de asegurar una caída de voltaje de menos de 30 voltios por cada 1000 pies, para asegurar la capacidad de transporte de corriente del cable. Sin embargo, para los pozos profundos se recomienda buscar una caída de voltaje en el cable menor que el 15 % del voltaje de placa del motor.

La caída de voltaje para el cable AWG N° 01 es de 23.5 voltios por cada 1000 pies para la corriente del motor de 115 amp (Gráfica N° 05).

TABLA N° 05. CARACTERISTICAS DEL CABLE CENTRILIFT

Descripción							Aplicación		
Producto	Conductor	Aislamiento	Recubrimiento	Chaqueta	Configuración	Armadura	Min Temp	Max Temp	Gas
CPE	Cobre	Polipropileno		Polietileno	Redondo	Acero Galvanizado, Acero Inoxidable, Monel	-30°F (-34°C)	176°F (80°C)	Estándar
CTT	Cobre	Termoplástico		Termoplástico	Plano		-30°F (-34°C)	205°F (96°C)	
CPN	Cobre	Polipropileno		Nitrilo	Redondo o Plano		-30°F (-34°C)	205°F (96°C)	
CEN	Cobre	EPDM		Nitrilo	Redondo o Plano		-30°F (-34°C)	280°F (138°C)	
CEBN	Cobre	EPDM	Barrera	Nitrilo	Redondo	Acero Galvanizado, Acero Inoxidable, Monel	-40°F (-40°C)	280°F (138°C)	Barrera <3% H ₂ S
CEBE	Cobre	EPDM	Barrera	EPDM	Redondo		-40°F (-40°C)	300°F (149°C)	
CEBE (-HT)	Cobre	EPDM	Barrera	EPDM	Redondo		-60°F (-51°C)	400°F (204°C)	
CEE	Cobre	EPDM	Cinta y Malla	EPDM	Redondo o Plano	Acero Galvanizado, Acero Inoxidable, Monel	-60°F (-51°C)	400°F (204°C)	Moderado gas
CPL	Cobre	Polipropileno	Plomo		Plano	Acero Galvanizado, Acero Inoxidable, Monel	-40°F (-40°C)	257°F (125°C)	Plomo H ₂ S & CO ₂
CEL	Cobre	EPDM	Plomo		Redondo o Plano		-40°F (-40°C)	450°F (232°C)	

GRAFICO N° 04. TEMPERATURA DEL CONDUCTOR

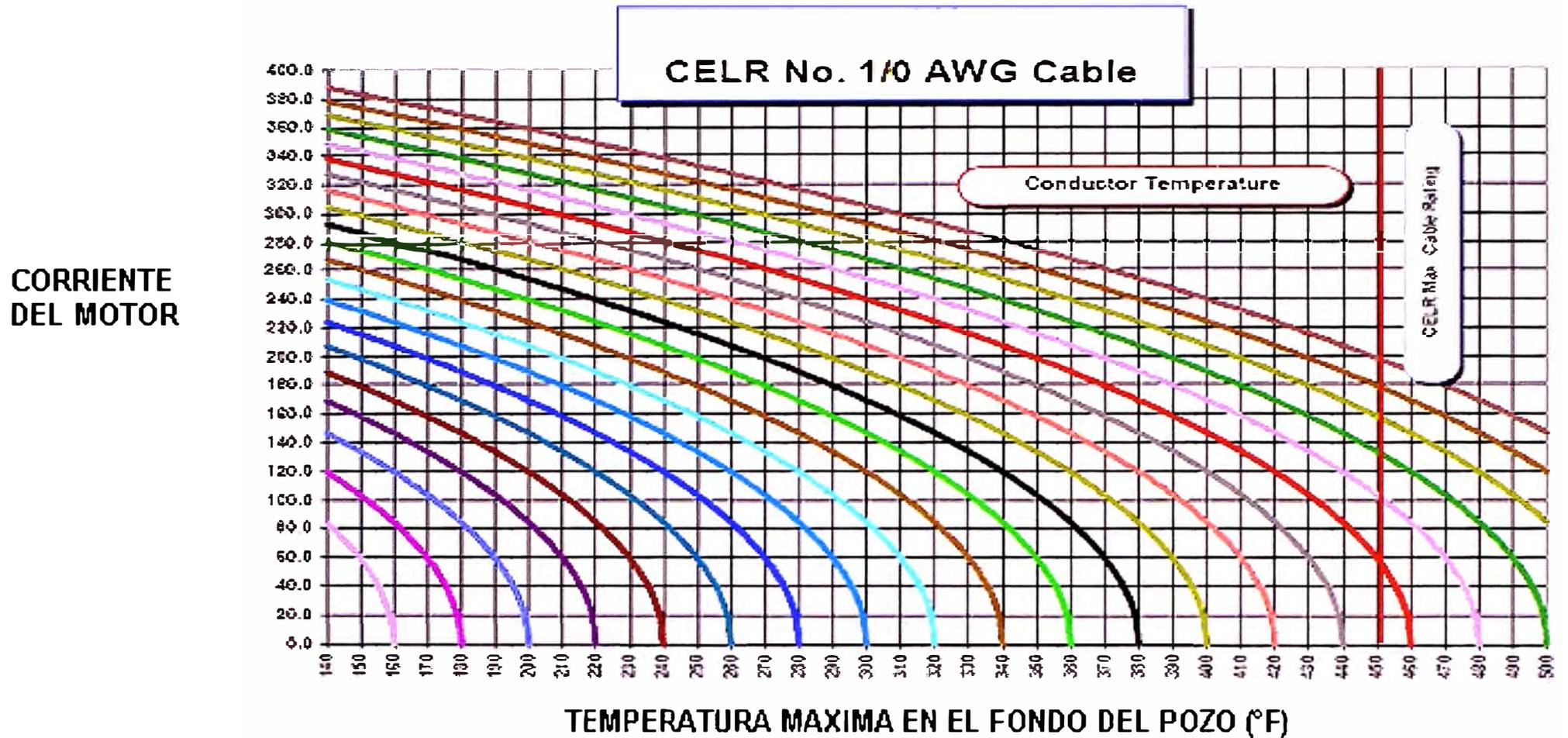
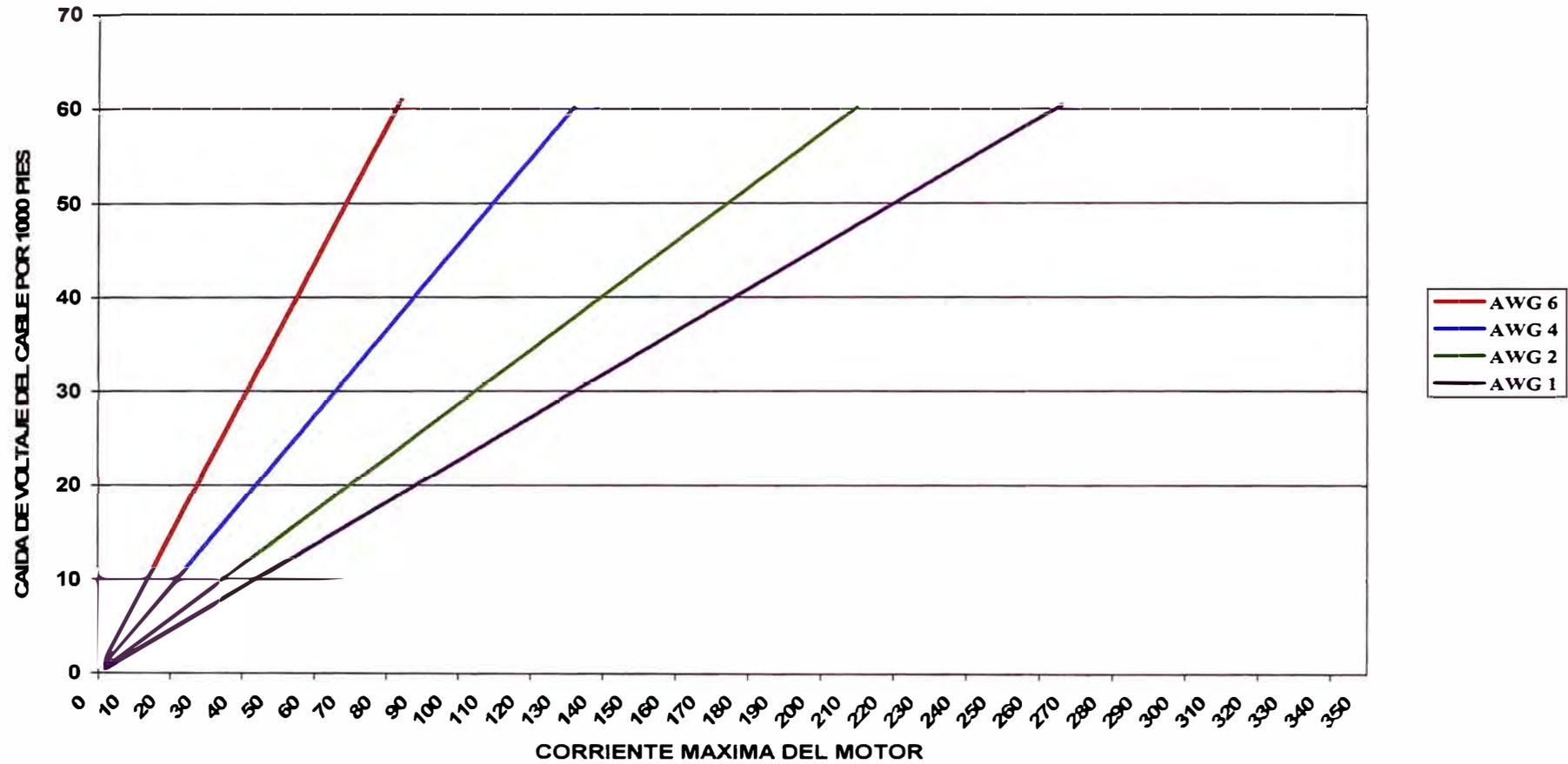


GRAFICO N° 05. CAIDA DE VOLTAJE DEL CABLE VS CORRIENTE DEL MOTOR



➤ LONGITUD DEL CABLE

La profundidad de sentado de la bomba es 5237 pies.

La distancia entre el cabezal del pozo a la caja de venteo es 140 pies y de la caja de venteo al controlador es 2300 pies, en total 2440 pies. El cable de la caja de venteo al controlador es para prevenir migraciones de gas al variador.

La caída de voltaje será:

$$\text{Caída de voltaje} = \frac{23.5 \times (5237 + 2440)}{1000}$$

$$\text{Caída de voltaje} = 180 \text{ voltios}$$

La caída de voltaje calculada es igual al 9 % del voltaje de placa del motor (2025 volts).

Luego, determino el voltaje de superficie requerido, que es igual al voltaje de placa del motor más la caída de voltaje:

$$\text{Voltaje de superficie} = 2025 + 180$$

$$\text{Voltaje de superficie} = 2205 \text{ voltios}$$

III.1.1.8 ACCESORIOS Y EQUIPO ADICIONAL

SENSOR DE FONDO

Instalar sensor de fondo para monitorear la temperatura del motor, presión del motor y presión de admisión.

El rango de presión del sensor de fondo es 5000 psi y el rango de temperatura es de 77 a 302 °F.

➤ **CABLE DE EXTENSION DEL MOTOR**

Selecciono un cable de extensión N° 4, que es de menor diámetro (Ver Tabla N° 04), para ser instalado en toda la longitud del equipo de fondo y disminuye el diámetro exterior del conjunto que un cable común.

El cable de extensión tiene armadura de monel, entretejido sintético, chaqueta de plomo, aislamiento "EPDM" alto módulo y alta rigidez dieléctrica, doble capa de "Kapton" solapada al 50% para mejores propiedades eléctricas y conductor de cobre.

La longitud del cable de extensión del motor es:

Longitud del Cable de Extensión	=	1 pie
Longitud del Sello	=	15 pies
Longitud de la Succión	=	1 pie
Longitud de la bomba	=	40 pies
Longitud del tubo	=	<u>15 pies</u>
		91 pies

Por lo tanto selecciono un cable de extensión de 91 pies de serie 562.

➤ **DESCARGA**

Selecciono una descarga de igual conexión que la tubería 3 1/2 pulg. EUE.

➤ **CANALETAS**

Selecciono canaletas de acero inoxidable de 8 pies de longitud, para proteger el cable de extensión en toda su longitud del equipo electrosumergible.

➤ **ZUNCHOS Y HEBILLAS**

Selecciono zunchos de material inoxidable de 3/4 pulg. de ancho y 0.025 pulg. de espesor. Los zunchos son para sujetar el cable de potencia. Colocar solo 3 zunchos con su respectiva hebilla, para prevenir que se quede la menor cantidad posible en el pozo.

➤ **TRANSFORMADOR**

La selección del transformador depende del voltaje de superficie y la potencia requerida.

Calculo los KVA:

$$\text{KVA} = \frac{\text{Voltaje de superficie} \times \text{Corriente del motor} \times 1.73}{1000}$$

$$\text{KVA} = \frac{2205 \times 115 \times 1.73}{1000}$$

$$\text{KVA} = 440$$

Selecciono un transformador trifásico de 500 KVA, con un voltaje cercano a 2205 voltios (Tabla N° 06).

TABLA N° 06. TAPS DE LOS TRANSFORMADORES

KVA	VOLT. PRIMARIO	VOLT. SECUNDARIO CONEX DELTA	VOLT. SECUNDARIO CONEX ESTRELLA
70	480	480 - 1097	831 – 1900
85	480	480 - 1097	831 – 1900
115	480	752 – 1719	1303 – 2978
130	480	752 – 1719	1303 – 2978
165	480	969 - 2215	1679 – 3837
200	480	969 - 2215	1679 – 3837
260	480	1120 -2560	1940 – 4434
325	480	1120 -2560	1940 – 4434
390	480	1120 -2560	1940 – 4434
455	480	1260 - 2880	2182 – 4988
500	480	1260 – 2880	2182 – 4988

➤ **CONTROLADOR**

La selección del controlador depende del voltaje de superficie, la corriente del motor y la potencia requerida.

Corriente del controlador = Corriente del motor x Relación de Transformación

$$\text{Corriente del controlador} = \frac{115 \times 2205}{480}$$

Corriente del controlador = 528 amperios

Selecciono un controlador de 518 KVA y 624 amperios de corriente de salida (ver Tabla N° 07).

TABLA N° 07. CONTROLADORES DE VELOCIDAD VARIABLE

MODELO	KVA	CORRIENTE DE SALIDA (AMPS)
1060 o 2060 VT	66	79
1075 o 2075 VT	83	100
1100 o 2100 VT	111	133
1125 o 2125 VT	130	156
2150 VT	163	196
2200 VT	200	241
2250 VT	260	313
4300 VT	325	391
4350 VT	390	469
4400 VT	454	546
4500 VT	518	624
8600 VT	624	750
8700 VT	748	900
8800 VT	873	1050
8900 VT	1000	1203
9311 VT	1150	1383
9313 VT	1350	1624
9315 VT	1550	1864
9417 VT	1750	2105
9420 VT	2000	2405

III.1.2 DISEÑO PARA POZOS DESVIADOS

III.1.2.1 DATOS GENERALES

POZO

- CO-1014

PROPIEDADES DEL FLUIDO

- API = 23.2
- % AGUA = 96.3
- Gravedad específica del agua = 1.09
- Gravedad específica del gas = 0.71
- Relación Gas-Petróleo de Producción = 97.01 SCF/STB
- Relación Gas-Petróleo en Solución = 82.46 SCF/STB
- Presión de burbuja (Pb) = 773 psi

TEMPERATURA

- Temperatura del fluido en superficie = 200 °F
- Temperatura del fluido en el fondo = 240 °F

VISCOSIDAD

- Viscosidad del petróleo a 200 °F = 4.9 cp.
- Viscosidad del petróleo a 240 °F = 3.203 cp.

DATOS DE PRUEBA

- Profundidad de referencia = 9610 pies MD
- Intervalo de los perforados = Pona 9971 – 9981 pies MD
Lupuna 10227 – 10329 pies MD
- Presión estática (Pr) = 3997 psi
- Presión fluyente del pozo (Pwf) = 3379 psi
- Caudal máximo deseado = 7540 BPD

DESCRIPCION DE LA SARTA

- Diámetro interno de la tubería de revestimiento de 9 5/8 pulg. = 8.681 pulg.
- Profundidad de la tubería de revestimiento de 9 5/8 pulg. = 8705 pies MD
- Diámetro interno de la tubería de revestimiento de 7 pulg. = 6.184 pulg.
- Profundidad de la tubería de revestimiento de 7 pulg. = 10578 pies MD
- Diámetro interno de la tubería de producción 3 1/2 pulg. = 2.992 pulg.

DATOS DE INCLINACION DEL POZO

MD	ANGULO DE DESVIACION	AZIMUTH
100.20	0.37	13.51
211.60	0.41	316.71
277.20	0.36	290.34
296.20	0.70	19.50
315.20	1.73	4.79
334.20	3.08	341.05
353.10	4.70	332.51
373.20	6.80	329.70
392.10	9.00	330.80
419.80	12.22	328.30
438.80	13.36	326.27
457.80	14.40	324.77
476.80	14.90	325.48
495.90	15.23	324.33
514.70	16.67	324.72
534.60	18.50	323.37
552.40	19.50	323.37
571.40	19.63	322.23
590.70	20.10	322.14
630.60	20.45	321.51
659.20	20.48	321.97
706.70	21.08	322.40
754.40	21.36	321.97
802.20	21.71	321.27
849.90	21.77	322.15
878.70	22.90	322.40
916.70	23.10	322.60
936.00	22.90	322.50
955.00	22.60	322.78
974.00	22.50	322.66
1002.00	22.68	322.70
1031.00	21.90	323.36

1040.50	21.58	323.51
1069.00	21.70	324.36
1097.00	21.50	324.20
1126.00	21.30	324.00
1154.70	20.89	324.00
1183.00	20.74	324.08
1202.00	20.48	324.08
1230.00	19.98	324.57
1258.50	19.69	324.78
1287.00	19.69	324.78
1315.40	19.09	324.71
1344.10	19.07	325.48
1373.00	18.64	326.18
1401.00	18.46	325.50
1430.00	18.19	326.19
1458.40	17.84	326.19
1487.10	17.65	326.89
1515.60	17.75	326.19
1544.40	18.08	326.70
1573.00	17.90	327.04
1606.60	17.99	326.17
1616.20	17.93	325.42
1636.00	18.05	322.70
1655.00	18.10	320.10
1673.20	18.41	319.96
1701.60	18.60	319.20
1730.30	18.80	320.90
1739.80	18.88	321.61
1749.20	19.00	321.00
1758.70	19.00	320.31
1777.70	18.73	318.00
1797.70	18.79	318.43
1815.90	18.94	318.30
1834.80	19.18	318.65
1844.40	19.47	318.53
1853.80	19.38	318.67
1863.50	19.44	318.94
1882.40	19.50	319.30
1901.40	19.46	319.80
1920.30	19.32	319.71
1939.30	18.63	319.16
1958.30	18.75	319.15
1986.80	18.84	319.90
2015.20	18.51	319.55
2034.10	18.60	320.42
2053.10	18.57	319.93
2073.60	18.17	317.91
2102.10	18.07	317.56
2149.50	17.83	318.62
2206.70	17.42	317.55

2263.70	17.14	317.75
2282.70	16.87	317.65
2330.20	16.88	317.75
2377.90	16.70	317.05
2425.40	16.64	317.88
2472.90	16.10	318.50
2529.80	15.20	319.20
2577.10	15.47	319.15
2634.00	14.80	320.30
2665.85	14.70	320.67
2694.74	15.10	320.56
2723.47	15.20	320.89
2751.95	15.48	321.63
2780.47	15.61	322.31
2809.14	16.12	322.60
2837.62	16.17	321.50
2866.26	16.26	321.97
2904.15	16.30	322.50
2929.61	16.74	324.06
2948.51	16.20	317.80
2967.67	14.20	303.68
2986.89	14.00	301.57
3005.85	14.33	301.58
3024.87	14.94	302.28
3043.86	15.29	301.58
3072.29	15.70	304.00
3101.50	15.50	304.90
3134.31	15.50	303.80
3171.90	15.29	303.69
3200.63	15.56	304.39
3210.15	15.38	303.69

III.1.2.2 PRESION DE ENTRADA DE LA BOMBA (PIP)

La presión fluyente (3379 psi) es mayor que la presión de burbuja (773 psi).

- Calculo el Indice de Productividad:

$$IP = \frac{Q_d}{Pr - P_{wf}}$$

$$IP = \frac{7444}{3997 - 3379}$$

$$IP = 12.05 \text{ BFPD/psi}$$

- Calculo la Gravedad específica del petróleo (SGo)

$$SGo = \frac{141.5}{131.5 + API}$$

$$SGo = \frac{141.5}{131.5 + 23.2}$$

$$SGo = 0.91$$

- Calculo la Gravedad específica del líquido (SGl)

$$SGl = SGox\%Petróleo + SGwx\%Agua$$

$$SGl = 0.91x(1-0.963) + 1.09x0.963$$

$$SGl = 1.08$$

- La Profundidad de sentado de la bomba se calcula teniendo como nivel mínimo la presión de burbuja y como nivel máximo la presión fluyente del pozo

$$\text{Nivel mínimo} = \frac{773x2.31}{1.08} = 1654 \text{ pies}$$

$$\text{Nivel máximo} = \frac{3379x2.31}{1.08} = 7227 \text{ pies}$$

Selecciono una profundidad de sentado de la bomba a 3543 pies

- Calculo la Presión de Entrada de la Bomba (PIP)

$$PIP = \frac{(\text{Prof. de la bomba} - \text{Nivel de fluido}) \times SGI}{2.31 \text{ pies / psi}} + P \text{ forros}$$

$$PIP = \frac{(3543 - 1940) \times 1.08}{2.31} + 50$$

$$PIP = 800 \text{ psi}$$

La presión de entrada de la bomba es mayor que la presión de burbuja

III.1.2.3 COLUMNA DINAMICA TOTAL (TDH)

La columna dinámica total se calcula de la siguiente forma:

$$TDH = H_d + F_t + P_d$$

- H_d = Distancia vertical entre el cabezal del pozo y el nivel de fluido

$$H_d = \text{Prof vertical de la bomba} - \frac{(PIP \times 2.31 \text{ ft / psi})}{SGI}$$

$$H_d = \frac{3543 - (800 \times 2.31)}{1.08}$$

$$H_d = 2384 \text{ pies}$$

- F_t = Pérdida por fricción en la tubería.

Utilizo la Gráfica de Pérdidas de fricción (Gráfica N° 01) para tubería nueva de 3 1/2" a 7444 BFPD tengo 150 pies/1000

$$Ft = \frac{3543 \times 150}{1000}$$

$$Ft = 531 \text{ pies}$$

- Pd = Presión necesaria para superar la presión existente en la línea de flujo (presión deseada en la cabeza del pozo)

$$Pd = \frac{\text{Presión (psi)} \times 2.31}{SGI}$$

$$Pd = \frac{240 \times 2.31}{1.08}$$

$$Pd = 513 \text{ pies}$$

Entonces la Columna Dinámica total es:

$$TDH = 2384 + 531 + 513$$

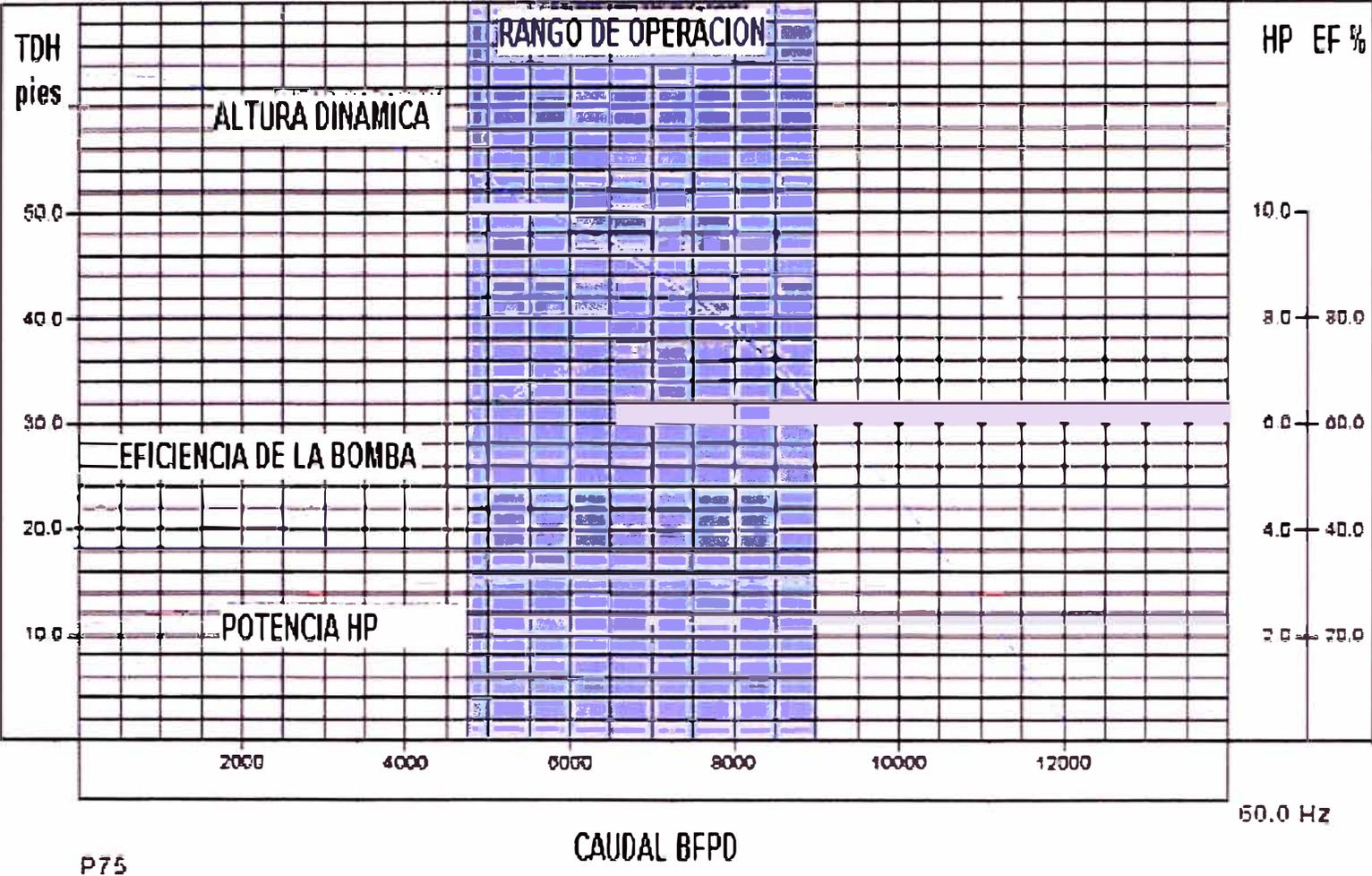
$$TDH = 3428 \text{ pies}$$

III.1.2.4 SELECCIÓN DE LA BOMBA

Selecciono una Bomba serie 538 de diámetro externo 5.38 pulg., ya que el tubería de revestimiento es de 9 5/8 pulg. De la Tabla N° 01, selecciono el tipo de Bomba P75 que tiene un rango de 4750 a 9000 BFPD a 60 Hz y está dentro del caudal deseado 7444 BFPD.

Utilizo la curva de desempeño de la bomba correspondiente a 60 Hz para la bomba tipo P75 (Gráfica N° 06), a la producción deseada de 7444 BFPD, la altura de columna por etapa es 37 pie/etapa y el consumo de potencia por etapa es 3.2

GRAFICO N° 06. CURVA TIPICA DE LA BOMBA 538P75 A 60 HZ



- Calculo el número de etapas

$$\text{Número de etapas} = \frac{\text{Altura Dinámica Total}}{\text{Altura / Etapa}}$$

$$\text{Número de etapas} = 3428/37 = 93$$

Con la Tabla N° 08 selecciono 02 Bombas Serie 538 Tipo P75 de 47 etapas cada una, en total 94 etapas.

TABLA N° 08. ETAPAS DE LA BOMBA 538P75

HOUSING	LONGITUD (PIES)	PESO (LB)	ETAPAS MAX
1	2.4	155	4
2	3.9	215	8
3	5.4	280	13
4	6.9	345	18
5	8.4	410	23
6	9.9	475	28
7	11.4	540	32
8	12.9	600	37
9	14.4	665	42
10	15.9	730	47
11	17.4	795	52
12	18.9	860	56
13	20.4	925	61
14	21.9	985	66
15	23.4	1050	71
16	24.9	1115	76
17	26.4	1180	80
18	27.9	1245	85

- Calculo la potencia de la bomba (BHP)

$$\text{BHP} = \text{HP/Etapa} \times \text{Número de Etapas} \times \text{SGI}$$

$$\text{BHP} = 3.2 \times 93 \times 1.08$$

$$\text{BHP} = 321$$

III.1.2.5 SELECCIÓN DEL SELLO

Selecciono Sello de la serie 513 de diámetro externo 5.13 pulg., ya que el diámetro del tubería de revestimiento es 9 5/8 pulg. y puede ser usado con una bomba serie 538, ya que su base es de 5.13 pulg. de diámetro.

La cabeza, la base y el housing del sello serie 513 son de acero inoxidable. El eje es de Inconel (alta resistencia).

La configuración del Sello Inferior es Laberíntico/Laberíntico/Bolsa y el Sello Superior la configuración de las cámaras son Laberíntico/Bolsa/Bolsa, la bolsas son de goma para darle una mayor protección al motor, permitiendo variar el volumen de aceite debido a su expansión por temperatura. Las Bolsas a utilizar son en serie.

La Gráfica N° 03 indica una Potencia de 3 HP para el Sello Serie 513 a un TDH de 3428 pies. Por lo tanto, el requerimiento de potencia total es de 321 HP para la bomba más 3 HP para el Sello, o sea 324 HP.

III.1.2.6 SELECCIÓN DEL MOTOR

Utilizando las Tablas N° 03, para una Bomba de serie 538 y Sello serie 513, selecciono un motor de la serie 562, ya que su cabeza es de 5.13 pulg. de diámetro externo. Para una potencia de 324 HP utilizaremos un motor de 390 HP.

III.1.2.7 SELECCIÓN DEL CABLE DE POTENCIA

➤ DIAMETRO DEL CABLE

Como la corriente del motor es 115 amp selecciono cable AWG No 01 que tiene una corriente máxima de trabajo de 211 amp (Ver Tabla N° 04).

➤ TIPO DEL CABLE

Selecciono un Cable de potencia redondo tipo CEL de rango de 5 Kvolts (ver Tabla N° 05), que tiene un rango de operación de -40 a 450 °F, la armadura es de acero galvanizado, tiene camisa goma "EPDM" respirable, alto modulo, cinta protectora para daños mecánicos, capa de plomo protectora en imprevistos de fluidos y gases, aislamiento goma "EPDM" baja dilatación, alta rigidez dieléctrica y conductor de cobre sólido.

La selección del cable redondo comparado con el cable plano es debido al balance de tensión y corriente, debido a su configuración del cable redondo.

Utilizo la Gráfica de la Temperatura del Conductor para el Cable de Potencia CEL AWG No 01 (Gráfico N° 04), con la corriente del motor (115 amp) y la temperatura de fondo del pozo (240 °F) se encuentra que la temperatura de funcionamiento del cable es de 265 °F.

La caída de voltaje para el cable AWG N° 01 es de 23.5 voltios por cada 1000 pies para la corriente del motor de 115 amp (Gráfica N° 05).

➤ LONGITUD DEL CABLE

La profundidad de sentado de la bomba es 3543 pies.

La distancia entre el cabezal del pozo al controlador es 300 pies. El cable de la caja de venteo al controlador es para prevenir migraciones de gas al variador.

La caída de voltaje será:

$$\text{Caída de voltaje} = \frac{22 \times (3543 + 300)}{1000}$$

$$\text{Caída de voltaje} = 85 \text{ voltios}$$

La caída de voltaje calculada es igual al 4 % del voltaje de placa del motor (2025 volts).

Luego, determino el voltaje de superficie requerido, que es igual al voltaje de placa del motor más la caída de voltaje:

$$\text{Voltaje de superficie} = 2025 + 85$$

$$\text{Voltaje de superficie} = 2110 \text{ voltios}$$

III.1.2.8 ACCESORIOS Y EQUIPO ADICIONAL

➤ CENTRALIZADOR

Debido a que es un pozo desviado utilizo un centralizador para tubería de revestimiento de 9 5/8 pulg., para ubicar el equipo en el centro del pozo, eliminar el daño externo y para asegurar la refrigeración uniforme del equipo. También utilizo un centralizador motor-sello.

➤ SENSOR DE FONDO

Instalar sensor de fondo para monitorear la temperatura del motor, presión del motor y presión de admisión.

El rango de presión del sensor de fondo es 5000 psi y el rango de temperatura es de 77 a 302 °F.

➤ **CABLE DE EXTENSION DEL MOTOR**

Selecciono un cable de extensión N° 4, que es de menor diámetro (Ver Tabla N° 04), para ser instalado en toda la longitud del equipo de fondo y disminuye el diámetro exterior del conjunto que un cable común.

El cable de extensión tiene armadura de monel, entretejido sintético, chaqueta de plomo, aislamiento "EPDM" alto módulo y alta rigidez dieléctrica, doble capa de "Kapton" solapada al 50% para mejores propiedades eléctricas y conductor de cobre.

La longitud del cable de extensión del motor es:

Longitud del cable de extensión	=	1 pie
Longitud del Sello	=	15 pies
Longitud de la Succión	=	1 pie
Longitud de la bomba	=	32 pies
Longitud del tubo	=	<u>15 pies</u>
		64 pies

Por lo tanto selecciono un cable de extensión de 64 pies de serie 562.

➤ **DESCARGA**

Selecciono una descarga de igual conexión que la tubería 3 1/2 pulg. EUE.

➤ **CANALETAS**

Selecciono canaletas de acero inoxidable de 8 pies de longitud, para proteger el cable de extensión en toda su longitud del equipo electrosumergible.

➤ **PROTECTORES METALICOS**

Debido a que es un pozo desviado, selecciono protectores metálicos para colocarlos en las uniones de las tuberías de producción de 3 1/2 pulg, para proteger y sujetar al cable en la zona de mayor riesgo, donde el diámetro de la tubería es mayor.

➤ **ZUNCHOS Y HEBILLAS**

Selecciono zunchos de material inoxidable de 3/4 pulg. de ancho y 0.025 pulg. de espesor. Los zunchos son para sujetar el cable de potencia. Colocar solo 3 zunchos con su respectiva hebilla, para prevenir que se quede la menor cantidad posible en el pozo.

➤ **TRANSFORMADOR**

Calculo los KVA:

$$\text{KVA} = \frac{\text{Voltaje de superficie} \times \text{Corriente del motor} \times 1.73}{1000}$$

$$\text{KVA} = \frac{2110 \times 115 \times 1.73}{1000}$$

$$\text{KVA} = 420$$

Selecciono un transformador trifásico de 500 KVA, con un voltaje cercano a 2110 voltios (Tabla N° 06).

➤ **CONTROLADOR**

Corriente del controlador = Corriente del motor x Relación de Transformación

$$\text{Corriente del controlador} = \frac{115 \times 2110}{480}$$

Corriente del controlador = 506 amperios

Selecciono un controlador de 518 KVA y 624 amperios de corriente de salida (ver Tabla N° 07).

CAPITULO IV MEJORAS EN LOS EQUIPOS ELECTROSUMERGIBLES

Estas mejoras se implementaron debido a las experiencias de las fallas de los equipos durante el periodo 2006 – Marzo 2007.

IV.1 MEJORAS EN EL MOTOR

- Utilización de Anillos en forma de T de mayor temperatura, no solo permite mantener una extensión del eje correcta sino que mantiene al conjunto rotórico en posición, haciendo coincidir al rotor con la zona de hierro silicio a los cojinetes en la zona de latón, y evita el rozamiento de los rotores con el estator.
- Bajar el equipo electrosumergible a una velocidad no mayor de 7 tubos por hora en ángulos de inclinación severos, para evitar arrastres y deflexiones del motor y cortocircuito entre el estator y rotor.

IV.2 MEJORAS EN EL SELLO

- Utilización de Bolsas de mayor rango de temperatura (300 °F) y mayor resistencia química y esfuerzo, para evitar se rompan las bolsas e invadan las cámaras con fluido del pozo.
- Utilización de ejes de alta resistencia para evitar se rompan.

IV.3 MEJORAS EN LA BOMBA

- Utilización de mayor número de etapas con materiales de carburo de tungsteno, resistentes a la abrasión para evitar el desgaste severo de las etapas.

IV.5 MEJORAS EN EL CABLE DE POTENCIA

- Realizar Empalmes de Transposición para cables planos para disminuir el desbalance de corriente.
- Utilización de cables de potencia usados con un tiempo no mayor de 1000 días de uso.
- Bajar el equipo electrosumergible a una velocidad no mayor de 7 tubos por hora, para evitar golpes a los cables.
- Colocar los protectores metálicos de forma adecuada, para evitar aplastar que la chaveta del protector metálico aplaste la armadura del cable de potencia.

CAPITULO V APLICACIONES DEL SISTEMA ELECTROSUMERGIBLE

Las aplicaciones del Sistema Electrosumergible en el Lote 8 son las siguientes:

- V.1 Configuración con camisa de refrigeración
- V.2 Bomba de alimentación o refuerzo
- V.3 Bombas Horizontales
- V.4 Bombeo electrosumergible con herramienta "Y"

V.1 CONFIGURACIÓN CON CAMISA DE REFRIGERACIÓN

En el caso en donde el espacio anular no permita alcanzar la velocidad de refrigeración o la posición del motor esté por debajo de los intervalos perforados, se emplea la Camisa de refrigeración, para forzar al fluido a pasar por sobre las paredes del motor como si estuviera en un espacio anular menor, y así aumentar la velocidad del fluido.

En el Lote 8 se utiliza camisa de refrigeración de extremo abierto, que se coloca por encima de la succión, cubriendo totalmente la longitud del motor, sello y bomba. El pozo Yanayacu 1201 tiene una camisa de refrigeración para tubería de revestimiento de 9 5/8 pulg.

V.2 BOMBA DE ALIMENTACIÓN O REFUERZO

La aplicación de la Bomba de Alimentación o Refuerzo (Bosster) en el Lote 8 es para bombear el agua producida a los Sistemas de Bombas Horizontales. La bomba de refuerzo incrementa la presión del agua producida, necesaria para ser reinyectada a los pozos. El agua se reinyecta para no contaminar el medio ambiente.

V.3 BOMBAS HORIZONTALES

El sistema de Bombas Horizontales son bombas de alto volumen y alta presión. El equipo mueve el fluido utilizando una bomba centrífuga superficial estándar, impulsada por un motor eléctrico superficial estándar, por intermedio de una cámara de empuje especialmente diseñada.

El lote 8 cuenta con Bombas Horizontales para reinyectar el agua producida, y así evitar la contaminación del medio ambiente.

Se conectan las bombas en paralelo para inyectar alrededor de 20 000 BWPD con presiones de succión de 150 psi y presiones de descarga de 150 psi. Los motores utilizados son de hasta 10 000 HP.

El Lote 8 cuenta con 03 bombas horizontales en el área de Corrientes, 03 en el área de Pavayacu y 01 en el área de Yanayacu.

V.4 BOMBEO ELECTROSUMERGIBLE CON HERRAMIENTA “Y”

La herramienta “Y” es una herramienta de producción que permite realizar registros con cable en el fondo del pozo. La herramienta se instala junto con la bomba y está diseñada para no afectar el funcionamiento normal de la misma.

Los registros que se bajan en el Lote 8 son de presión o temperatura, estos datos son utilizados para hallar y bloquear aportes indeseables de agua.

CONCLUSIONES

- La temperatura del motor en una instalación con equipo de bombeo electrosumergible está determinada por varios factores, principalmente por la velocidad y la viscosidad del fluido que circula alrededor de la parte exterior del motor y por la circulación interna del aceite dieléctrico del motor.
- El hecho de seleccionar equipos de mayor diámetro tiene la ventaja que el fluido recorre a una velocidad mayor, refrigera el motor y aumenta la vida del equipo.
- Es de suma importancia que la temperatura de operación del motor se mantenga por debajo de sus límites operacionales de sus componentes para prevenir fallas al sistema.
- El tamaño adecuado del cable depende de la caída de voltaje, amperaje y espacio disponible entre la tubería de producción y la tubería de revestimiento. El tipo de cable se basa principalmente en las condiciones de fluido y la temperatura de operación.
- Los componentes del equipo electrosumergible son construidos por una gran variedad de tamaños y pueden ser instalados en una gran variedad de combinaciones. Estas combinaciones deben ser cuidadosamente determinadas para operar el sistema de bombeo electrosumergible con los requerimientos de producción, materiales y límites de temperatura.

- El sensor de fondo es una herramienta muy importante que con los datos obtenidos te permite predecir y prevenir fallas del equipo de fondo.
- La toma de niveles de fluidos son datos importantes para calcular la presión fluyente y presión estática del pozo.
- La instalación del sistema de bombeo electrosumergible con la herramienta "Y", permite bajar registros de temperatura sin afectar el funcionamiento normal de la bomba. Estos datos permiten determinar zonas de invasión de agua y aislarlas.
- Antes de realizar un diseño se debe evaluar el análisis de falla del equipo instalado anteriormente.
- Las mejoras en los equipos electrosumergibles han disminuido las fallas prematuras.
- Con las Bombas Horizontales se está reinyectando el agua producida y se evita la contaminación ambiental.

BIBLIOGRAFÍA

- The Technology of Artificial Lift Methods
Kermit E. Brown
- Well Design Drilling and Production
B. C. Craft and W. R. Holden and E.D. Graves, Jr
- Petroleum Engineering Handbook
Howard B. Bradley
- Manual Básico para Sistemas de Bombeo Electrosumergible –
Baker Hughes Centrilift
- Field Service Manual
Baker Hughes Centrilift
- Especificaciones Técnicas del Equipo Electrosumergible
Baker Hughes Centrilift