

Universidad Nacional de Ingeniería

FACULTAD DE INGENIERIA DE PETROLEO



**“Análisis Técnico para Re-Usar Equipos
de Bombeo Electrosumergible con falla
Prematura en la Selva Norte del Peru”**

Titulación por Exámen Profesional

PARA OPTAR EL TITULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO DE PETROLEO

Marcial Cruz Velásquez

Promoción 1978 - 1

LIMA - PERU - 1995

**ANALISIS TECNICO PARA RE-USAR EQUIPOS DE BOMBEO
ELECTROSUMERGIBLE CON FALLA PREMATURA EN LA
SELVA NORTE DEL PERU**

I. INTRODUCCION

II. SISTEMA DE BOMBEO ELECTROSUMERGIBLE

A) DESCRIPCION DE LOS PRINCIPALES EQUIPOS DE
SUBSUELO.

1. GENERALIDADES
2. MOTOR ELECTRICO
3. PROTECTOR/SECCION SELLANTE
4. BOMBA CENTRIFUGA
5. SEPARADOR DE GAS U ORIFICIO DE ENTRADA
6. CABLE DE POTENCIA

B) BREVE DESCRIPCION DE EQUIPOS DE SUPERFICIE

1. TRANSFORMADOR
2. PANEL DE CONTROL
3. CORRIENTE ELECTRICA
4. CAJA DE VENTEO O DE EMPALMES

III. CAUSAS DE FALLAS PREMATURAS - EQUIPOS

CANDIDATOS PARA REUSAR.

1. GENERALIDADES
2. MOTOR
3. PROTECTOR /SECCION SELLANTE
4. BOMBA
5. CABLE DE POTENCIA

IV. PRUEBAS DE BANCO

A) BOMBA

A.1 CHEQUEO

A.2 LIMPIEZA Y VAPORIZACION

A.3 ACIDIFICACION

A.4 PRUEBA DE BANCO

A.5 ANALISIS DE DATOS - DECISION

B) MOTORES

B.1 TIPOS DE ENSAYOS

B.2 PRUEBA DE BANCO

B.3 REPARACION

B.4 SECADO DEL ESTATOR

B.5 ANALISIS DE DATOS - DECISION

V. COSTOS

VI. CONCLUSIONES

VII. RECOMENDACIONES

VIII. BIBLIOGRAFIA

IX. APENDICES

X. GRAFICOS

**ANALISIS TECNICO PARA RE-USAR EQUIPOS DE BOMBEO
ELECTROSUMERGIBLE CON FALLA PREMATURA EN LA
SELVA NORTE DEL PERU**

I. INTRODUCCION

Anteriormente, cuando un equipo del conjunto de bombeo electrosumergible fallaba, se sacaba del pozo todo el equipo y se enviaba a los talleres de los fabricantes para su respectiva reparación, no importando el número de días de trabajo ni el tipo de falla. Actualmente, cuando un equipo es sacado del pozo hay dos opciones a seguir:

- 1.- Seleccionar equipo, tanto bombas como motores, para hacer prueba de banco y luego reusarlo; esto implica, un ahorro de $\pm 90\%$ del costo de reparación. Esta decisión se toma dependiendo si el equipo estuvo trabajando satisfactoriamente antes de ser sacado. La limpieza y prueba de banco de las bombas y motores son desarrollados para determinar sus rendimientos.

Con estos datos el usuario facilmente determina si la bomba y/o motor puede ser reusado o reparado. Precisamente, el presente trabajo trata de los procedimientos técnicos que se sigue para seleccionar a los equipos usados para la prueba de banco, análisis y decisión según los datos obtenidos de ellos. La otra opción es.

2. Enviar el equipo a los talleres para su respectiva inspección y reparación, esto se hace cuando no hay posibilidad de reusar. Esta opción es también aprovechado por la compañía usuaria, enviando un representante a los talleres de reparación de los fabricantes, con la finalidad de investigar la causa de la falla; de tal manera que las instalaciones posteriores pueden ser más adecuados y pueden resistir la causa de la falla identificado en el desarmado e inspección.

II. SISTEMA DE BOMBEO ELECTROSUMERGIBLE

A). DESCRIPCION DE LOS PRINCIPALES COMPONENTES

1.- GENERALIDADES.

Un sistema de bombeo electrosumergible es considerado como un tipo de levantamiento artificial de altos volúmenes y la de mayor aplicación en pozos que están bajo la influencia de un reservorio de empuje de agua (water drive), campos que están con inyección de agua para recuperación secundaria y/o que tienen alto corte de agua o bajo GOR.

Sin embargo, a través de los años, las compañías fabricantes de estos equipos han ido desarrollando mejoras, conjuntamente con las compañías operadoras de petróleo (usuarios) y han ganado considerable experiencia en producir fluidos de alta viscosidad, pozos de gas, alta temperatura, etc. Con esta experiencia y el avance tecnológico, pozos que fueron considerados no aplicables para bombas "BES" son ahora producidos económicamente.

El típico equipo "BES" consiste en: Motor eléctrico trifásico, protector o sección sellante, bomba centrífuga de multietapa, y el cable principal redondo o plano. Ver figura N° 1.

La bomba, el protector/sello y el motor son directamente acoplados a través de sus alojamientos e internamente sus ejes por medio de coples. La energía es transmitida al equipo del subsuelo a través de un cable eléctrico trifásico lo cual es sujetado a la tubería con abrazaderas de acero (1/4" x 3/8").

Asimismo, cabe señalar que la bomba y el motor pueden ser instalados a cualquier profundidad, pues están diseñados para trabajar bajo cualquier presión de inmersión en los pozos.

2.- MOTOR ELECTRICO.- El motor del sistema de bombeo electrosumergible es trifásico, inducido de barras, asíncronico, bipolar con rotor tipo jaula de ardilla, enfriado y lubricado por un aceite mineral dieléctrico especial que llena totalmente al alojamiento (Housing). El motor eléctrico está constituido de dos partes fundamentales, el Estator y el Rotor/eje.

El Estator.- Está confeccionado por un gran número de láminas individuales comprimidos todas juntas. Cada lámina está hecha de un material de acero al silicio. Estas láminas son adheridas en el interior del alojamiento y son bobinados con cobre aislado eléctricamente.

El Rotor.- Es similar al Estator en ambos aspectos salvo que no recibe energía desde la superficie, los rotores están hechos de barras largas de cobre que van dentro de laminaciones. Estas laminaciones son del mismo tipo que el estator y tienen propiedades magnéticas, cada extremo de estas barras están juntos por un aro de cobre. Sin las láminas las barras dan apariencia de jaula de ardilla.

El motor tiene casco o alojamiento de acero ferrítico, las secciones del motor y las camisas de bronce de los cojinetes son armados y se acoplan a un eje hueco de acero de gran resistencia. El eje es hueco para la circulación del aceite a lo largo del motor con el fin de brindar lubricación y enfriamiento.

El motor trabaja a una velocidad nominal de 3,500 RPM con 60 HZ de frecuencia y 2,900 RPM con 50 HZ. El motor es llenado con un aceite mineral refinado para proveer la resistencia dieléctrica, lubricación de los cojinetes y buena conductividad térmica. Los cojinetes del motor asimilan la carga de los rotores aunque adicionalmente pueden asimilar la carga total cuando falla de los protectores.

El aceite mineral no eléctricamente conductivo lubrica el cojinete del motor y transfiere el calor del motor al alojamiento. El calor del alojamiento es disipado por el fluido de formación cuando pasa

por el entorno. Por esta razón, el motor nunca debe ser sentado debajo de las perforaciones a menos que la dirección del fluido esté orientado para que el fluido pase por el motor antes de pasar por el punto de succión de la bomba (si la velocidad de fluido es menor de un pie/segundo). Para orientar la dirección de flujo se usa funda para motores que se prolonga hasta el tope de la succión, esto permite que el flujo necesariamente pase por el motor antes de llegar a la succión de la bomba. Figura N016 muestra motores con camisa o funda.

Los diámetros nominales de los motores varían de 3.74" hasta 7.25" en potencias desde 5 HP hasta 700 HP @ 60HZ. Los voltajes de operación pueden ser tan bajos como 230 voltios o tan altos como 5000 voltios y los amperajes pueden ser de 12 a 128 amperios.

La instalación del motor puede ser simple o conectados en serie para alcanzar los HP requeridos. Un esquema de un motor típico es mostrado en la figura N° 2 y 3 indicando sus componentes.

El motor es capaz de trabajar continuamente largos períodos de tiempo dependiendo de las condiciones del pozo y de la temperatura.

3. PROTECTORES O SECCIONES SELLANTES.

El protector o sección sellante está conectado al motor y a la bomba a través del eje y el alojamiento. Por lo tanto, el empuje que genera la bomba es transmitido al rodete de empuje el cual se transmite a la zapata, éste absorbe la carga evitando que el motor se sobrecargue.

El sello va lleno de aceite dieléctrico que cumple la función principal de lubricar la zapata de empuje, bujes, guías, etc. Por eso el aceite mineral debe conservar sus propiedades de constante dieléctrica.

Hay dos compañías que proporcionan sus productos, uno de ellos protectores y el otro sección sellante, pero ambas cumplen la misma función. La figura Nº 4 muestra el esquema de un protector.

En resumen podemos decir que las funciones del protector o sección sellante son las siguientes:

- a). Permite la unión del motor con la bomba conectando el alojamiento y el eje.
- b). Ecuiliza presiones, manteniendo la igualdad entre la presión interna y la presión del pozo.
- c). Absorve los empujes generados por el funcionamiento de la bomba, además soporta el peso de la columna hidráulica del fluido bombeado.
- d). Aisla el fluido de formación del motor.

Previene la entrada del fluido de formación en los motores.

e). Proporciona expansión térmica del aceite del motor debido al calor generado durante el trabajo y contracción térmica del aceite durante las paradas.

f). Suministrar un sello mecánico para el eje.

4. **LA BOMBA.** Es el elemento que da energía al fluido, la bomba electrosumergible es de tipo centrífugo, y está conformado por múltiples etapas las que se comunican hidráulicamente unas con otras. Una etapa consta de un impulsor que es la parte dinámica (rotante) y un difusor que es la parte estática.

El tamaño de etapa utilizado determina el volumen del fluido que va bombear, y el número de etapas determina la altura hidráulica y los HP que requerirá del motor.

El material usado para la fabricación de las impulsores y difusores es el níquel resistente (Ni-Resist) un acero especial que resiste la corrosión. El material del que está fabricado los ejes normales son de k-monel; sin embargo, en la selva norte se usa de alta resistencia (High Strength Shaft) de inconel.

Cuando es necesario usar más etapas de las que entran en un solo alojamiento, entonces las bombas se instalan en Tandem. Las bombas en Tandem son dos o más bombas simples las cuales están mecánica e hidráulicamente conectadas en serie para proveer la altura total de levantamiento requerido.

Durante su trabajo la bomba tiene un rango de operación óptima. Si opera por encima o por debajo de ese rango, el empuje ascendente o descendente reduce la duración efectiva de la bomba, razón por la cual es muy importante determinar la productividad del pozo para poder elegir la bomba adecuada. La figura N° 5 muestra el esquema de una bomba y la figura N° 6 muestra el esquema de un impulsor de una bomba.

5. **SEPARADOR DE GAS U ORIFICIO DE ENTRADA.**— Este equipo está instalado entre el protector o sección sellante y la bomba. Su función principal del separador de gas es de separar una porción significativa de gas libre del fluido producido y suministrar fluido a la entrada de la bomba. Sin embargo, no se tratará más de este equipo ya que se ha descontinuado su uso en las operaciones de la selva norte por bajo GOR del fluido producido. Solo se usa un pequeño equipo que sirve como orificio de entrada del fluido a la bomba (intake), este equipo tiene solamente un pie de largo. La figura N° 7 muestra un esquema de un

separador de gas y la figura N^o 8 de un simple orificio de entrada a la bomba.

Cabeza de Descarga.- Conecta la bomba superior con la tubería y/o aditamiento especial, herramienta "Y" invertida (Y- tool).

El principio básico de la herramienta "Y" es proveer dos conexiones en la base, es decir una conexión con la bomba (cabeza de descarga) y otra con tubería de 2 3/8" de diámetro externo. El paso por la tubería sirve para tomar registros de producción, registros eléctricos, baleos, etc., sin necesidad de sacar el equipo BES del pozo. Durante el trabajo normal del equipo "BES", el pase de la tubería tiene un tapón para evitar la recirculación. Las figuras 15 y 15A muestran diagramas de la herramienta.

6. **CABLE DE POTENCIA.**- A todo lo mencionado falta agregar un equipo que es el cable especial con tres conductores (trifásico). A través del cable se suministra la corriente eléctrica a los motores para hacer girar o trabajar a la bomba. Por lo tanto, este cable debe ser lo suficientemente capaz de conducir corriente en condiciones muy severas, debe ser resistente a altas temperaturas y a la presión; además, entregar máxima corriente con mínima caída

o pérdida de corriente, en algunos pozos debe ser capaz de resistir condiciones corrosivas. El cable es adherido a la tubería para amortiguar su peso y daño con abrazaderas de acero.

El cable de potencia puede ser de configuración plana o redonda con una variedad de tamaños de los conductores y cada conductor puede ser trenzado ó sólido. Varios tipos de armaduras y aislamientos son disponibles para protección contra los fluidos corrosivos y condiciones de trabajo muy severo.

Para seleccionar el cable uno tiene que basarse en las condiciones del pozo y del fluido, como: temperatura de fondo, limitaciones del pozo, etc.

En la configuración del cable usado en las operaciones de la selva norte del Perú se puede apreciar los siguientes elementos:

1. Conductor de cobre (trenzado) Nº 1
2. Aislamiento - polipropileno EPDM (ethylene, propolyene, diene, methylene).
3. Chaqueta de plomo.
4. Sobre chaqueta (hilo trenzado)
5. Armadura de acero galvanizado.
6. Temperatura de operación 450° F.

La figura N° 9 muestra las especificaciones del cable principal.

Cable de extensión.— Es un cable especial de corta longitud (55, 70 90 y 100 pies) y conductor N° 4 que tiene la función y versatilidad de tener un aditamiento en un extremo para conectar al motor (sea este encintando cada fase o tipo enchufe) y el otro extremo sirva para empalmar al cable principal. El cable de extensión es plano y ésta longitud tiene una armadura especial (monel) de menor diámetro estandarizado en N° 4.

Este cable tiene menor diámetro para ser usado encima del equipo de bombeo electrosumergible debido a la limitación del espacio entre éste y el diámetro interno del pozo (forros). Tiene la misma configuración que el cable principal solamente que usamos con el conductor sólido y la armadura de monel.

Protector de cable de extensión.— Estos protectores son canaletas de acero que proveen protección mecánica al cable de extensión.

B. EQUIPOS DE SUPERFICIE (Figura N° 1)

1. Transformadores. Son unidades trifásicas autoenfriantes, llenas de aceite, diseñadas para bajar o subir el voltaje, del sistema eléctrico de una corriente alterna a condición de operación de las unidades de variadores de frecuencia o de subsuelo.

Panel de control. Sirve para controlar automáticamente el funcionamiento de la unidad del subsuelo. Generalmente se fabrican en una gran variedad de tamaños; los más simples están compuestos de botón de contacto magnéticos y protección contra sobrecarga mientras los más elaborados, constan de fusibles amperímetros, protectores de baja o sobrecarga, luces indicadoras, variador de frecuencia e instrumentos para operaciones de control automático.

Entre los controles automáticos, el más importante es el registrador amperimétrico donde se coloca, carta de registro. Las cartas amperimétricas constituyen el historial permanente de las condiciones del fondo del pozo; pues con ellas puede determinarse si la bomba ha estado funcionando correctamente o tiene alguna anomalía, lo cual nos permitirá hacer las correcciones que fueran posibles, también nos sirve para determinar las posibles causas de las fallas para hacer el servicio.

- 3. Corriente eléctrica.** La energía eléctrica puede ser tomada de la red de distribución, si existiera en ese lugar de trabajo; caso contrario será necesario utilizar generadores individuales por pozo o para un grupo de pozos. El tipo de generador o generadores dependen

básicamente de la potencia del motor requerida en cada pozo y el número de pozos.

- 4. Caja de Venteo.** Por seguridad una caja de venteo es siempre instalado entre el controlador del motor y la cabeza del pozo. Esto es para ventear la migración de gas a travez de las capas del cable eléctrico hacia el controlador o variador de frecuencia, porque podría dañarlos.

III. CAUSAS DE FALLAS PREMATURAS- EQUIPO CANDIDATOS PARA REUSAR.

1. GENERALIDADES

Quando algún equipo de sub-suelo falla prematuramente se hace un reporte detallado del funcionamiento del equipo desde que arrancó en el último servicio hasta su falla. Estos datos son muy importantes porque nos permitirán diagnosticar el tipo de falla y por ende escoger los candidatos para re-usar. El reuso de todo el equipo o parte de ello, redundará en el ahorro del costo de la reparación o la compra de un equipo nuevo.

Si la falla no es en el motor, bomba o protector (cable a tierra, hueco en la tubería, cable del minimandril a tierra), se vuelve a bajar la misma instalación. La decisión se toma según el tipo de falla o después de sacar el equipo del pozo e inspeccionar visualmente.

Si la falla a afectado parte del equipo es preferible cambiar todo el conjunto y enviar el motor, la bomba, y la sección sellante al taller de los fabricantes - Iquitos, con la finalidad de inspeccionar y hacer pruebas de banco. Prueba de banco es el ensayo que se

practica con los equipos simulando condiciones de trabajo. Como medida de seguridad las pruebas de banco se estan haciendo a los motores y bombas, los protectores son reparados ya que éstos cumplen un papel importante en la vida útil de los motores, porque alguna gota de agua atrapada en las cámaras puede migrar al motor.

Actualmente se están usando 3 protectores en tandem (6 cámaras) ó un sello en tandem (6 cámaras), obviamente el uso de protector o sello depende del tipo de motor que se instala. Se usa tres protectores con la finalidad de evitar en lo posible, falla de los motores por invasión de agua a travez de los protectores.

Los siguientes datos no deben faltar:

- Lectura eléctrica en la caja de venteo, fase a fase medida en ohmios y fase a tierra en megaohmios. Ver apéndice "B".
- Toda las cartas amperimétricas para hacer un estudio detallado de como estuvo trabajando y en forma especial las últimas, es decir antes de fallar porque ese dato nos dará indicios para pronosticar el tipo de falla.

- Performance o rendimiento de la bomba, si estuvo trabajando en la zona recomendada y/o determinar en que zona estuvo trabajando.
- El tipo de controlador de motor que estuvo trabajando (arrancador o variador de frecuencia)
- Frecuencia de servicios y tipo de fallas anteriores (durante la sacada del pozo como desarmado e inspección).
- Cuantos arranques tuvo cuando salió de servicio; asimismo, cuantas paradas y arranques durante su trabajo.
- Historial del cable, nuevo o usado (días de trabajo, Nº de inspecciones y bajadas al pozo)
- Los últimos caudales de producción, corte de agua y nivel de fluido.
- Condiciones severas del pozo (temperatura, ambiente corrosivo, productor de arena, gas, petroleo pesado, patas de perro, forros dañados o angostos, etc.)

2. EL MOTOR PUEDE FALLAR POR:

- a). Bomba desgastada.- El empuje de una bomba operando fuera del rango recomendado es transmitido al cojinete de empuje del protector, adicionalmente al motor.

- b). Picos de voltaje.- Pueden ser causantes de acortar la vida de los motores, cable, variador de frecuencia (VSD) y los transformadores: sin embargo, el uso de controlador de motor automático (VSD), puede ayudar a la eliminación de este tipo de voltajes para que no se transmita al equipo del subsuelo.
- c). Sección sellante y/o protector.- Migración del fluido de formación a los motores.
- d). Condiciones del pozo.- Alta temperatura, alto corte de petróleo, falta de movimiento del fluido por el motor causará falla del motor, esto ocurre si el motor está sentado debajo de las perforaciones y/o el volumen del fluido pasando por el motor no es suficiente para enfriar (debería ser por lo menos 1 pie/seg). Fluido muy pesado también causa sobrecarga al motor.
- e). Corrosión en el alojamiento del motor o sello, ocasiona falla en el motor, aunque esta falla es casi cero debido a que se está usando acero ferrítico debido a las condiciones severas de corrosión.
- f). Falla de equipo o una pobre instalación.- Una instalación adecuada es importante para el período de vida útil del motor. Ocasionalmente una fabricación defectuosa es enviado al campo y no es detectado hasta que trabaja el equipo.

Motores candidatos para re-usar.- Según su historial y si la falla no ha afectado al motor y tiene buena lectura de resistencia fase a fase y fase a tierra, se seleccionará para re-usar. Para ello se tapará adecuadamente, luego será enviado al taller de los fabricantes - Iquitos, para su respectiva prueba.

3. LOS PROTECTORES O SELLOS PUEDEN FALLAR POR:

- a). Empuje hacia abajo de la bomba como hacia arriba también causa desgaste en el cojinete del empuje del protector/sello.
- b). Vibración del paso de materiales abrasivos a través de la bomba u operación fuera de sus rangos causa falla de los sellos.
- c). Rotura de sellos por el descuido o inadecuado manipuleo durante la instalación, en pozos desviados y/o en presencia de patas de perro, el sello puede trabajar en poseción incorrecta lo que ocasiona que la superficie de los sellos no están bien alineados ocasionando migración de fluido de pozo por los sellos.
- d). Calor por la falta del paso de fluido insuficiente o alta temperatura.
- e). Sello defectuoso por mala manufactura.
- f). Cuando el motor es arrancado y parado muchas veces el sello puede sufrir una invasión prematura de fluido de pozo.

4. LA BOMBA PUEDE FALLAR POR :

La razón más importante para que una bomba falle es que trabaje fuera del rango recomendado, desgaste de la parte mas baja es la más común, desgaste de la parte superior puede ser también causante.

- b). Arena, carbonato y otros elementos abrasivos, acortan la vida útil de una bomba.
- c). Taponamiento en la succión o en las etapas por la formación de depósitos, parafinas y/o asfaltenos.
- d). Eje roto o torcido.- Esto puede ser causado por atascamiento, torque alto de arranque, arrancar en reversa antes de que se detenga totalmente.
- e). Corrosión causa problema en el alojamiento. Este problema ha sido resuelto con el uso del alojamiento de todo el ensamble de tipo ferrítico.

" BOMBAS CANDITADOS PARA REUSAR"

Quando se recupera del pozo se chequea el giro del eje, juego radial, formación de depósitos, etc, si todo está en buenas condiciones se llena con diesel y se tapa adecuadamente. Tomar las precauciones necesarias durante el transporte a su destino.

5. EL CABLE PUEDE FALLAR POR:

- a). Daño mecánico, causado durante la bajada por los forros, en la boca del pozo por el manipuleo o sobrestiramiento acortan la vida útil del cable.
- b). Altas temperaturas.- Si la temperatura del pozo excede la temperatura de trabajo del cable, el cable fallará en un período de tiempo muy corto.
- c). El gas puede penetrar la chaqueta de protección del cable conductor y por lo tanto, generar una falla prematura. Ahora hay en el mercado cables que pueden bajarse en pozos de alto GOR.
- d). Corriente excesiva causará también la falla del cable, también cuando el conductor es más pequeño para manejar lo recomendado.
- e). Picos de voltaje son comunes para la falla de cable.
- f). Cable de extensión por daño mecánico durante la instalación, en muchos casos el cable de extensión y la bomba (luz), son mínimos, esto hace que el daño sea por rozamiento durante la bajada. También calentamiento de cable de extensión. Asimismo, conexión de éste en el motor puede ser dañado durante la instalación.
- g). Daños mecánicos durante el transporte y manipuleo. Asimismo, ataque de elementos químicos corrosivos.

IV. PRUEBA DE BANCO - PROCEDIMIENTOS

A). BOMBA

A.1) CHEQUEO.- En los talleres de las compañías fabricantes se procede a destapar, inspeccionar, y a limpiar externamente, luego se revisa el giro del eje, juego radial y se mide el juego axial. Si todo está dentro de la tolerancia se procede a hacer una limpieza interna.

A.2) VAPORIZACION.- Limpieza interior de la bomba. Se vaporiza con la finalidad de retirar en lo posible hidrocarburos que puedan estar cubriendo algunos depósitos de carbonato y/o sulfato de fierro. Dejando así listo para proceder a inyectar ácido para la remoción de depósitos.

A.3) ACIDIFICACION.- Se le bombea ácido sulfámico al 10% con un inhibidor de corrosión y esperar un máximo de 12 horas para que pueda actuar el ácido. La reacción de este ácido es lento en comparación al HCL, pero se puede manipular con menor riesgo. (ver apéndice A)

Después de haber hecho la limpieza se procede a instalar la bomba en el banco de prueba, para esto se acopla una cabeza especial que va estar conectada con la cabeza de descarga; asimismo,

una manguera para recircular. En la base se conecta la succión conectando el eje del motor y la alimentación. Antes de iniciar la prueba se recircula con agua limpia hasta que se note en el visor que ya está limpio.

A.4) Prueba de banco propiamente dicha.- La prueba de banco se hace con la bomba en posición horizontal. Esto es manipulando desde una consola equipada con un variador de frecuencia, motor de 300 HP a 60 ciclos/segundo o 3500 RPM.

Se inicia la prueba con todas las válvulas abiertas obteniendo así un máximo caudal para la bomba que estamos probando. De ahí se va estrangulando la válvula hasta obtener 6 puntos o valores más, siendo el de punto medio (Nº 4) de la mejor eficiencia (BEP), cubriendo de esta manera todo el rango de operación de dicha bomba.

Los datos que se toman son RPM (3500) a la que está girando el eje de la bomba, BPD, presión de succión (debe ser constante), presión de descarga (variable) y Torque (variable).

Todos los datos que se han tomado durante la prueba son ingresados a la computadora para

obtener datos calculados y el gráfico comparativo con la curva publicada del fabricante. En las figuras N° 10, 11 y 12, se muestran los gráficos de la curva de rendimiento de las bombas publicadas por el fabricante, tipo: GN-4000, GN-7000 y JN-10000. Así como estas curvas existen para cada tipo de bomba. La tabla N° 1 y figura N° 13, están indicando los 7 valores obtenidos de la prueba de banco.

A.5) ANALISIS DE DATOS - DECISION.- Todos los datos tomados de la prueba sirven para obtener los siguientes valores.

BPD, TDH (Cabeza dinámica total). BHP (los HP que la bomba está tomando del motor). HYD. HP (estos son los HP's que la bomba esta entregando al fluido). La tabla N° 1, muestra los datos obtenidos en una prueba de banco de una bomba usada. Asimismo, indica como se obtiene los datos calculados.

$$BHP = [(RPM \times TORQUE) / 5252]$$

$$TDH = \frac{(Pres. descarga - Presión succión) \times 2.31 \text{ pies/psi}}{\text{Grav. Esp.}}$$

Después de obtener los datos e ingresar a la computadora y obtener el gráfico encima de la curva del fabricante de la bomba, (figura N° 13), viene la parte más importante que es la decisión. Según los datos obtenidos se debe decidir si pasa la prueba o no. Sin estos parámetros es difícil decir que esta bomba debe bajarse de nuevo ú ordenar que desarmen y reparen. Sin embargo, con todos los datos obtenidos es más fácil decidir cual es bueno o malo.

Para tal efecto nos valemos de los límites de variación permisible aceptados por el API:

- **Variación permisible de cabeza dinámica-flujo.**

Es una región en ambos lados de la curva publicada por el fabricante (5%), lo cual significa un rango de variación de 10% . Los límites en esta banda están definidos por una serie de vectores que unen el origen de la curva, ver figura N° 13.

$$dHD - FL = \frac{\overline{OA-OB}}{OB} = \frac{13.38 \text{ cm} - 13.80 \text{ cm}}{13.80 \text{ cm}} \times 100 = -3\%$$

Esto significa que está dentro de la región permisible.

- **La variación de los HP requeridos por la bomba.**
Esta variación debe estar dentro de la región limitada de $\pm 8\%$ a ambos lados de la curva de los fabricantes, significando que el rango de variación sea 16%. El cálculo es simplemente la diferencia en línea recta.

Ejemplo de la figura N^o 13: Para $Q = 4046.6$ BFPD, HP que requiere la bomba es 97.1 HP, pero en la prueba N^o 4 requiere solamente de 99.3 HP; por lo tanto:

$$\text{dBHP} = \frac{(99.3 - 97.1)100}{99.3\text{HP}} = 0.0222 \times 100 = +2.22\%$$

Ese valor también indica que está dentro de la región permisible.

- **La variación de eficiencia de la bomba.**- Este rango es de -10% de variación, significando que el valor mínimo debe ser 90% del valor de la curva publicada por los fabricantes. Ejemplo de la tabla N^o 1 (columnas C y B)

$$\begin{aligned} \text{EFICIENCIA} &= \frac{(\text{Carga} \times \text{Flujo}) * 100}{136,000 \times \text{BHP}} = \\ &= \frac{(2,079.7 \times 4046.6) * 100}{136,000 \times 99.3} \end{aligned}$$

$$\text{EFICIENCIA} = 0.623 \times 100 = 62.3\% \quad \text{ó}$$

$$\text{EFICIENCIA} = 100 \times 62.3\% / 67.85\% = 91.82\%$$

$$\begin{aligned} \text{VARIACION DE EFICIENCIA} &= \text{Deff} = \frac{62.3\% - 67.85\%}{67.85\%} \\ &= -8.18\% \end{aligned}$$

Esto indica que está dentro del valor permisible de 0 a -10%.

Otra forma de calcular: La eficiencia es la medida de la potencia entregada por la bomba al fluido entre la potencia requerida por la bomba.

La figura Nº 13 muestra el gráfico con los datos de la prueba sobre la curva publicada por los fabricantes, en este caso ha sido ensayado una bomba tipo GN - 4000 . Asimismo, la figura Nº 14 muestra los límites permisibles para carga dinámica, eficiencia y BHP (HP que requiere la bomba).

En caso encontráramos un consumo mayor de HP a caudales menores del punto medio. (Desviación fuera del punto límite permisible); pero después del punto medio está dentro del límite se re-usará ya que por experiencia diseñamos para que la bomba trabaje a la derecha del

punto medio. Por lo tanto, nunca llegaremos a la zona donde tiene un alto consumo. De la misma manera, para los demás, en este caso prima la experiencia los límites permisibles muchas veces son referenciales. Si pasa la prueba se ordena retornar al campo para su instalación.

En caso no pasara la prueba se ordenará desarmar y reparar la bomba con la finalidad de que ésta inspección nos pueda conducir a encontrar las fallas y por lo tanto, diagnosticar correctamente. Además, nos puede servir para corregir y hacer instalaciones más adecuadas que puedan resistir la fallas.

TABLA # 1

**PRUBA DE BANCO DE UNA
BOMBA USADA**

TEST N°	1	COMPANIA :	MAR
FLUID	WATER	POZO :	EJEMPLO
S.G.+	1.0	S/N :	21B6E74166FSHSSPA

DATOS OBTENIDOS DE LA PRUEBA

IMPUT FOR		66 STAGE(S)		MODEL	GN4000
TEST POINT	BDP	PSI(suct)	PS(disch)	RPM	FT-LBF
1	2081.4	46.8	1319.0	3500.0	134.00
2	2510.0	45.8	1247.0	3500.0	142.00
3	3232.4	45.9	1162.0	3500.0	151.00
4	4046.6	45.7	946.0	3500.0	149.00
5	4824.1	45.5	684.0	3500.0	148.00
6	5289.4	44.1	544.0	3500.0	146.00
7	6388.4	44.3	34.0	3500.0	130.00

DATOS CALCULADOS

IMPUT FOR		66 STAGE(S)		MODEL	GN4000
TEST POINT (A)	BDP (B)	FT (C)	BHP (D)	Hyd HP (E)	%(EFF) (F)
1	2081.4	2938.8	89.3	45.0	50.4
2	2510.0	2774.8	94.6	51.2	54.1
3	3232.4	2578.2	100.6	61.3	60.9
4	4046.6	2079.7	99.3	61.9	62.3
5	4824.1	1474.9	98.6	52.3	53.0
6	5289.4	1154.8	97.3	44.9	46.2
7	6388.4	-23.8	86.6	-1.1	-1.3

T A B L A N O 1

**EJEMPLO DE COMO SE OBTIENEN LOS DATOS
CALCULADOS DE LA PRUEBA N° 4 (PUNTO DE LA MEJOR
EFICIENCIA)**

A: NUMERO DE PRUEBAS O PUNTOS

$$\begin{aligned}
 B: \quad \text{CAUDAL (BPD)} &= \text{BPD (Prueba)} \times \frac{\text{RPM (Motor)}}{\text{RPM (Bomba)}} = \\
 &= 4046.6 \text{ BPD} \times \frac{3500}{3500} = 4046.6 \text{ BPD}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 C: \quad \text{CARGA DINAMICA} &= \frac{(\text{Pre.Desc.} - \text{Pre.succión}) \text{Psi} \times 2.31 \text{pies/psi}}{\text{Grav. Especifica}} \\
 &= \frac{(946 - 45.7) \text{ Psi} \times 2.31 \text{ pies/psi}}{1.00} \\
 &= 2079.7 \text{ pies}
 \end{aligned}$$

D: HP REQUERIDA POR LA BOMBA (BHP)

$$\begin{aligned}
 &= \frac{\text{RPM} \times \text{TORQUE}}{5252} \left(\frac{\text{RPM bomba}^3}{\text{RPM motor}^3} \right) \times \frac{\text{N etapas bomba referido}}{\text{N etapas bomba prueba}} \\
 &= \frac{3500 \times 149}{5252} \left(\frac{3500^3}{3500^3} \right) \times \left(\frac{66 \text{ etapas}}{66 \text{ etapas}} \right) = 99.3 \text{ HP}
 \end{aligned}$$

E: Hyd HP = HP entregado a fluido por la bomba

$$= \frac{\text{RPD}(\text{Corregido @ 3500}) \times \text{Carga dinámica} \times \text{Grav. esp.}}{136,000}$$

$$= \frac{4046.6 \text{ RPD} \times 2079.7 \text{ pies} \times 1.0}{136,000} = 61.9 \text{ HP}$$

F: EFICIENCIA DE LA BOMBA

$$= \frac{\text{HP Entregado por la bomba}}{\text{HP Requerida por la bomba}} \times 100$$

$$= \frac{\text{Hyd HP}}{\text{BHP}} \times 100 = \frac{61.9 \text{ HP}}{99.3 \text{ HP}} \times 100 = 62.3 \%$$

B. MOTORES

B.1) Según su historial si la falla no ha afectado el motor y tiene buena lectura \geq a mil megohms (1000 M Ω) se hará el ensayo de banco. Para este caso específico se han clasificado los ensayos como tipo I, II y reparación. Previo a cualquier tipo de ensayo se hace la prueba de hermeticidad con 15 psi.

Ensayo tipo I consiste en:

- a. Lectura de la resistencia del conductor fase a fase esto debe ser balanceado.
- b. Lectura de la resistencia del aislamiento fase a tierra (megómetro). La lectura debe ser \geq 1000 M Ω .
- c. La lectura de resistencia (Hypot) del aceite, esto debe superar los 10 KV la tensión de ruptura.
- d. Si pasa la pruebas de a hasta c, debe recircularse el aceite probando la tensión de ruptura hasta tener un mínimo de 20 kv., para luego efectuar el llenado de aceite final en vacío.

B.2) PRUEBA DE BANCO

- a. Colocar el motor en el banco de prueba y arrancarlo.

- b. Tomar lectura de voltaje, amperaje, KW y temperatura. La temperatura se toma de 5° en 5° C hasta los 60° C, tiempo total de prueba debe ser mayor de 15 minutos.
- c. Cortar la alimentación y medir: marcha por inercia en segundos, los límites mínimos permisibles se encuentran en la tabla Nº 2, estos datos son en posición vertical pero como la prueba se hace en forma horizontal se hace la corrección en -10%.

Si el tiempo de prueba y marcha por inercia en segundos son aceptables, el motor se aprobará como "bueno" para su instalación. En caso contrario pasa al ensayo tipo II.

Ensayo tipo II es igual al tipo I,

Solamente tiene los siguientes agregados.

Aceite con bajo KV, tiene partículas de bronce en el aceite, por lo tanto, se saca el cabezal y se hace limpieza de la zapata de empuje, lapear o cambiar. Asimismo, se cambia el aislamiento del bloque del motor superior.

Después de todo esto se hace el ensayo en el banco de pruebas la decisión se toma igual que en "I".

B.3 REPARACION

Cuando no pasan los ensayos I ni II. Se desarma el motor totalmente y se cambia si es necesario conjunto de cojinetes, rotores, base, cabezal, adaptadores, manguitos espezadores, zapata, aislamiento del bloque, o'ring, etc. menos el estator. Asimismo, se hace reparación y/o inspección de los terminales, aislantes, cambio del eje cuando muestra desgaste que esté fuera del permisible (0.003") terminales del eje torcido, el desgaste ocurre a la altura de los bujes del cabezal y de la base.

B.4 SECADO DEL ESTATOR

El proceso de secado se hace al estator, para ello se toma las lecturas de aislamiento. Se lava con un solvente (SS-25) para remover la humedad, y nuevamente se tomen las lecturas, estas deben ser mayores que la primera.

- Se procede a instalar para el secado durante 24 horas.
- Se conectan las tres fases del motor al secador que está seteado al amperaje de la placa del estator, ejemplo 96 amperios, los motores de 195 HP y 1175 voltios. También la temperatura está seteado a 150° F, además el motor tiene una conexión a una bomba de vacío la cual se

encarga de absorber todo el vapor de la humedad.

- Como la temperatura está seteada a 150 °F cuando la temperatura alcanza los 150°F, automáticamente se desconecta la corriente, cuando baja un diferencial de temperatura nuevamente se conecta, así está a esta temperatura todo el tiempo que dura el secado, la bomba de succión también está regulado al automático de tal manera que trabaja en el rango de 15-22 psi, se prende y apaga en ese rango.
- Se toma las lecturas, y la medida de las fases a tierra por encima de 2000 MΩ. Con esta lectura y los cambios y/o reparaciones hechos se procede a armar el motor para ensayar en el banco de prueba.

B.5 ANALISIS DE DATOS - DECISION

Después del ensayo se chequean los datos tomados, los parámetros determinantes para decidir si el motor pasa la prueba son: el tiempo de marcha por inercia (en segundos), éste debe ser ≥ 0.0711 para motores de 195 HP, y el tiempo de prueba para alcanzar los 60° C , debe ser mayor de 15 minutos. Los demás datos de la prueba solamente son referenciales.

T A B L A # 2

AFTER EXTENSIVE ANALYSIS OF CENTRILIFT - HUGHES MOTOR PERFORMANCE, THE MINIMUM COAST TIMES FOR IDLE TESTING HAVE BEEN ADJUSTED AS SET FORTH IN THE TABLE BELOW. ALL COAST TIME DATA BELOW PERTAIN TO MOTORS TESTED IN THE VERTICAL POSITION. HORIZONTAL COAST TIMES WILL BE SOMEWHAT LOWER.

ENSAYO AL 100% 375 SERIES			ENSAYO AL 100% 450 SERIES			544 SERIES			562 SERIES @ 80% NP VOLTS.			725 SERIES		
HP	NORM	MIN.	HP	NORM	MIN.	20	NORM	MIN.	HP	NORM	MIN.	HP	NORM	MIN.
10	0.080	0.053	15	0.049	0.041	20	0.072	0.058	25	0.098	0.07	50	0.0129	0.119
20	0.081	0.056	20	0.054	0.046	30	0.088	0.073	40	0.099	0.072	100	0.137	0.127
30	0.084	0.058	25	0.057	0.048	40	0.093	0.076	55	0.11	0.074	150	0.142	0.132
35	0.096	0.062	30	0.058	0.050	50	0.095	0.080	70	0.115	0.075	200	0.148	0.136
			35	0.059	0.051	60	0.096	0.082	83	0.117	0.076	250	0.148	0.139
			40	0.060	0.052	75	0.098	0.093	95	0.13	0.077	300	0.15	0.14
			50	0.081	0.052	85	0.099	0.084	110	0.131	0.078	350	0.151	0.141
			60	0.062	0.053	100	0.100	0.085	140	0.132	0.078	400	0.152	0.142
			75	0.063	0.054	125	0.101	0.097	165	0.133	0.079			
			85	0.083	0.055	150	0.102	0.086	195	0.135	0.079			
			100	0.084	0.056	175	0.104	0.089	220	0.136	0.08			
			120	0.065	0.057	180	0.104	0.089	250	0.137	0.081			
						200	0.104	0.090	275	0.138	0.082			
						225	0.105	0.090	300	0.140	0.085			

V. ANALISIS DE COSTOS.

Al principio todo el equipo que salía del pozo, no importando el número de días de trabajo, se enviaba a los talleres de los fabricantes en Iquitos, para su respectiva inspección y reparación (Bombas y protectores), los motores se devolvían a los fabricantes por lo que se obtenía un crédito de 10% de su valor.

Con la finalidad de reducir costos de operación, se inició el programa de re-usar parte del equipo: bombas y motores). Para poder re-usar se hace una revisión minuciosa y un ensayo de banco con la finalidad de chequear si las bombas y motores están en rango permisible y si no fuera así se rechaza, ordenando que se desarme y se repare (bombas) pero los motores son vendidos como chatarra o devueltos como crédito.

El costo promedio de desarmado y reparación de una bomba cuesta \$ 14,000. El costo promedio por limpieza y prueba de banco \$ 700.00 (5% del costo de reparación); por lo tanto, el ahorro es de \$ 13,300.

Si no pasara la prueba de banco o se quiere mejorar su rendimiento, se desarma y se hace la limpieza

arenando las etapas y cambiando las arandelas tanto del lado superior como inferior, luego se arma y nuevamente se hace la prueba de banco. Este trabajo cuesta el 10% del costo de reparación es decir \$ 1,400.00. siendo el costo acumulado de \$ 2,100.00 (15% del costo de reparación).

En el caso de los motores, la prueba I cuesta \$ 800.00 para cada motor. Costo de un motor nuevo descontado el crédito es \$ 32,000.00; por lo tanto, el ahorro es de \$ 31,200.00 (97.5%). Cuando se hace la prueba II, el costo es de \$ 1500.00 pero más la prueba I, el costo acumulado es de \$ 2,300.00 , el ahorro es de \$ 29,700.00 (92.8%).

La reparación sin cambio de estator cuesta \$ 21,000.00 c/u acumulado \$ 23,300.00; siendo el ahorro de \$ 8,700 (27.2%).

El costo promedio de un servicio de pozo es ± \$ 200,000. En la mayoría de los pozos se usa 2 motores y 2 bombas; en este caso el ahorro es de 44.5% a 20.6% del costo de servicio normal con 2 motores nuevos y 2 bombas reparados.

B O M B A S

	C O S T O S			A H O R R O	
	UNIT.	ACUM	REPARAC.		
Ensayo de banco	700	700	14,000	13,300	95%
Desarmado+ensayo	1,400	2,100	14,000	11,900	85%

M O T O R E S

PRUEBAS	C O S T O S			A H O R R O	
	UNIT.	ACUM	NUEVO		
I	800	800	32,000	31,200	97.5%
II	1,500	2,300	32,000	29,700	92.8%
REPARACION	21,000	23,300	32,000	8,700	27.2%

VI. CONCLUSIONES

- Las bombas y motores que han sido probados en el banco de prueba y luego reusados, estan demostrando un buen rendimiento y buen tiempo de trabajo útil. Es cierto que algunos de ellos han sido sacados del pozo, pero por otras fallas como hueco en la tubería, cable a tierra, rotura de eje, etc. Estos equipos no han sido considerados como candidatos para probar nuevamente aunque hayan sido sacado por falla prematura. Todo esto solamente como medida de seguridad.
- Limpieza y prueba de las bombas es una alternativa económica con costos promedios de 5% a 15% del costo de reparación. Este programa ha permitido hacer un ahorro por reparación de bombas y adquisición de motores nuevos.
- El uso de la prueba de banco, nos permite recuperar bombas y motores que han sido sacados del pozo por otras fallas que no han comprometido a ellos.
- Con el re-uso de bombas y motores debidamente ensayados, el costo de un servicio de pozo se reduce en 44.5% a 20.6% del costo normal.

VII. RECOMENDACIONES

Un ingeniero de experiencia de la compañía (usuario) debe estar necesariamente presente cuando el equipo BES es sacado del pozo. Esto permitirá observar en detalle cualquier falla de instalación del equipo. Permitiendo de esta manera confirmar y/o hacer reclamo de garantía después del desmantelado e inspección.

Es necesario hacer limpieza y prueba de banco a las bombas usadas, con la finalidad de saber su verdadero performance y se puede reusar con seguridad. Porque una mala elección puede afectar al resto del conjunto y por ende un servicio repetitivo y costoso. Por ello, es necesario que todo el conjunto del equipo que bajamos esté en buenas condiciones operativas.

Es recomendado tener todos los cuidados necesarios con los equipos que hemos seleccionado para ensayo y limpieza, con la finalidad que llegue a los talleres de los fabricantes en buenas condiciones. Con los motores se debe tener un especial cuidado con el aceite y taparlos adecuadamente porque el tiempo que demoran en llegar a su destino, puede demorar dos semanas ó meses. La

dificultad para mover de los pozos a la base y de ahí a los talleres de los fabricantes por las condiciones del tiempo (mucho o falta de lluvia). Si todo está acondicionado en su respectiva caja no habrá problemas y cuando llegue a su destino tendremos tal como lo hemos sacado del pozo.

Referente a los motores ampliar los límites para probar y ensayar, el caso de motores que tienen lecturas menores de 1000 MΩ, ya que se cuenta con un secador. El taller de uno de los fabricantes en el país está en condiciones de probar casi todos los motores con fallas prematuras, se entiende debidamente clasificado. Ir cambiando poco a poco la mentalidad de confiar solamente en motores nuevos.

Motores quemados no deben ser elegidos para ser reusados, porque el daño por mas que se cambie la parte afectada puede ser más severo y podría fallar cuando esté operando.

Llegar a un acuerdo con los fabricantes para cambiar solamente las partes que son necesarias y así reusar. De esta manera es posible recuperar más bombas y motores que tienen

mínimas partes dañadas. Haciendo este trabajo más barato que desarmar y reparar totalmente.

Tomar el índice de polarización a todo los motores a probarse, con la finalidad de saber si tienen humedad y requieren el secado. El índice de polarización es la relación de la resistencia del aislamiento a 10 minutos a la resistencia del aislamiento a 1 minuto. Índice de polarización debe ser mayor de 2, si es menor de 2 indica motor mojado, por lo tanto requiere secado.

Reducir los costos en los motores con humedad, solamente haciendo el secado sin necesidad de desarmar y sacar el conjunto de rotores, ni cambiando partes. El secado se haría al rotor y estator conjuntamente por un período de 24 a 48 horas. Obviamente para hacer este trabajo se seleccionan motores que no tengan limaduras de metal.

VIII. BIBLIOGRAFIA

- ELECTRICAL SUBMERSIBLE PUMP WORKSHOP - 1994
- SUBMERSIBLE PUMP PERFORMANCE TESTING RESULTS by H. Beady, Dr. E.B. Brookbank.
- REDUCING COSTS THROUGH THE ROUTINE MAINTENANCE AND TESTING OF SUBMERSIBLE MOTORS AND PUMPS, by D.L. Divine, workshop - 89.
- THE EFFECTS OF VARIABLES IN APPLICATION DESIGN ON MOTOR PERFORMANCE by R.E. Pankratz, B.L. Wilson & J.C. Liu. Workshop - 1991
- RECOMMENDED PRACTICE FOR SIZING AND SELECTION OF ELECTRIC SUBMERSIBLE PUMP INSTALLATIONS - API. Recommended practice - 1986.
- ELECTRIC SUBMERSIBLE PUMPING by David P.E. Raymond A. Johnson - 1990.
- SUBMERSIBLE PUMP HANDBOOK - CENTRILIFT.
- MAQUINAS ELECTRICAS TOMO II - por M.P. Kostenko y L.M. Piotrovski.
- THE DOMINATOR - REDA MOTORS.
- SERVICE MANUAL - REDA A CAMCO COMPANY.
- WHAT IS AN ELECTRICAL SUBMERSIBLE PUMPING SYSTEM AND HOW DOES IT WORK? by Martin C. Bailey.
- OPERATING RANGES AND LIMITS OF THE ESP SYSTEM by Martin C. Bailey and John Bearden.
- HOW THE SYSTEM IS PROTECTED by Martin C. Bayley and David Divine.
- SYSTEM DESIGN by Gary Halstead.
- APPLICATION OF ELECTRICAL SUBMERSIBLE PUMPS IN HOSTILE ENVIRONMENTS by John Beavers.
- HOW THE ESP IS HANDLED, SERVICED, AND INSTALLED by Lewis Beck.
- APPLYING VARIABLE FREQUENCY DRIVES TO ESPS by Lewis Beck.
- UNDERSTANDING DOWNHOLE ELECTRIC MOTORS: A TUTORIAL by Joe Vandevier - workshop 1992

ROUTINE MAINTENANCE OF SUB-PUMP MOTORS IMPROVE MTBF
AT SACROC FIELD by Robert W. Lannom, Terry Hurst &
David Divine - Workshop - 1992

WATER - FORMED SCALE DEPOSITS by Jack C. Cowan and
Donald J. Weintritt.

IX. - APENDICE

"A"

ACIDO SULFAMICO. El ácido sulfámico ($\text{NH}_2 \text{SO}_2 \text{OH}$) es el mono-amida del ácido sulfúrico. Este ácido es usado para remover depósitos, limpiar metales, etc. El ácido sulfámico se encuentra en estado sólido, no es volátil, no higroscópico, inodoro, blanco, sólido y cristalino.

Este puede disolverse en agua para hacer solución ácida. Inhibidor de corrosión puede ser agregado al ácido o a la solución. El ácido sulfámico no reacciona tan rápido como el HCl. Es fácil de usar y transportar sin riesgo, es menos corrosivo que el HCl y no emana gas ácido.

Una ventaja adicional del ácido sulfámico es de ser más seguro y fácil de manipular comparado con el ácido clorhídrico.

Algunas reacciones importantes del ácido sulfámico en remover depósitos son:

1.- CARBONATO DE CALCIO



2.- CARBONATO DE MAGNESIO



3.- OXIDO DE FIERRO



4.- SULFATO DE FIERRO



5.- Para sulfato de calcio, sulfato de bario, y silicatos de calcio, no es efectivo.

TABLA Nº 3

Gravedad específica y densidad del ácido sulfámico a 72°F.

PORCENTAJE POR PESO	SP. GR.	DENSID. Lb/gal
2	1.010	8.41
4	1.020	8.50
6	1.030	8.58
8	1.040	8.66
10	1.055	8.80
12	1.065	8.88
14	1.0675	8.95
16	1.090	9.08
18	1.100	9.16

TABLA Nº 4

Cálculos y mezclas para solución de ácido sulfámico:

VOLUMEN DE ACIDO	PESO APROXIMADO DE ACIDO
5 Gal	50 Lbs
1 Gal	10 Lbs
1/4 Gal	2.5 Lbs
1 pinta	1.25 Lbs

Los siguientes son cálculos para determinar cantidad de agua y ácido sulfámico para 10% de solución.

Para 100 Gal de un 10% de ácido sulfámico.

- 1) Multiplicar el volumen por la densidad.

$$100 \text{ Gal} \times 8.8 \text{ Lb/gal} = 880 \text{ lb.}$$

- 2) 10% del total de 880 lb será ácido sulfámico.

$$880 \text{ lb} \times 0.10 = 88 \text{ lb.}$$

- 3) 880 lb. menos 88 lb será el peso de agua.

$$880 - 88 = 792 \text{ lb. de agua}$$

- 4) Dividir los 792 lb. de agua entre la densidad del agua 8.33 lb/gal para determinar el volumen de agua requerida.

$$792 \text{ lb} / 8.33 \text{ lb/gal} = 96 \text{ gal de agua}$$

- 5) Por lo tanto, 88 lb de ácido sulfámico y 96 galones de agua son requeridos.

APENDICE

"B"

1. PRUEBA DE LA RESISTENCIA DEL AISLAMIENTO.

Esta prueba se hace al aplicar voltaje de 100 a 5000 voltios. El instrumento usado es un megómetro, el cual mide la resistencia del aislamiento en megaohmios, la calidad del aislamiento es evaluado basado sobre el nivel de resistencia. El aislamiento es variable dependiendo de la temperatura, humedad y otros factores ambientales.

Esta prueba de la resistencia del aislamiento se toma conectando un terminal de una fase al megómetro y la otra a tierra; por lo tanto, se tiene tres valores y los tres deben de estar balanceados. En caso se obtuviera desbalanceado implica que hay humedad y/o la impedancia ha bajado.

2. PRUEBA DE LA RESISTENCIA DEL CONDUCTOR

Esta prueba se hace con un instrumento llamado multitester y se realiza fase a fase y se mide en ohmios. Estos valores deben estar bien balanceados.

3. IMPEDANCIA.- La propiedad de cualquier material que se opone al flujo de electricidad a través de él, se llama impedancia. La unidad de medida de la impedancia u oposición al flujo de corriente es ohm.

Aún los mejores conductores de corriente tienen algo de impedancia, los conductores pobres tienen mayor impedancia, los aislantes tienen alta impedancia, la unidad para medir este es el megohm que es igual a un millón de ohmios.

$I = E/Z$ donde I = Corriente en amperios

E = Voltaje en voltios

Z = Impedancia en Ohms.

- 4. INDICE DE POLARIZACION.-** El índice de polarización es una aplicación especializada en la absorción dieléctrica. El índice de polarización es la relación de la resistencia del aislamiento a 10 minutos a la resistencia del aislamiento en 1 minuto. El índice de polarización menor que 2 indica deterioración del equipo o mojado; por lo tanto, requiere un mantenimiento y/o chequeo inmediato. Esta prueba es usada para cables, transformadores, motores, etc.

5. **MAQUINAS DE CORRIENTE ALTERNA.**- Existen 2 tipos principales de máquinas de corriente alterna:

- a) Sincrónica
- b) Asincrónica.

La máquina sincrónica es una máquina cuya velocidad de rotación n está en rigurosa y constante relación con la red f , es decir:

$$f = pn.$$

Donde P es el número de pares de polos.

La máquina asincrónica es una máquina cuya velocidad de rotación n , estando la frecuencia f dada depende de la carga y en la cual

$$f \neq pn$$

En la máquina asincrónica el campo magnético lo crea la corriente alterna aplicada a la misma desde cualquier fuente de corriente alterna.

El motor electrosumergible es asincrónico, con el rotor en cortocircuito o de jaula de ardilla.

El motor electrosumergible está compuesto de dos partes fundamentales: El Rotor y El Estator.

- **El Estator.**- Está confeccionado por un gran número de láminas individuales comprimidas todas juntas. Cada lámina está hecha de un material de acero al silicio normalmente laminado en frío, no son magnéticos permanentes, estas laminaciones se alojan en el interior de una carcasa (HOUSING) y reciben el nombre de "ESTATOR sin bobinado" las láminas están

presionadas fuertemente para que estas permanescan juntas y tratar de meter la mayor cantidad de material laminado en el motor reduciendo al máximo espacio libre entre cada lámina. Cuanto más material magnético tenga un motor éste será más eficiente. Estas láminas colocadas así son bobinadas con cobre aislado eléctricamente. En estos motores sumergibles se utilizan tres bobinas separadas con las cuales constituyen cada fase, cada laminación tiene 18 espacios y cada fase utiliza un total de 6 espacios.

El Rotor.- Es un cuerpo cilíndrico compuesto de láminas de acero al silicio con ranuras para instalar el devanado. El motor es similar al estator, salvo que no recibe energía desde la superficie.

Principio del funcionamiento de una máquina asíncrona.-

El funcionamiento de una máquina asíncrona, se basa en el principio de la interacción electromagnética, entre el campo magnético giratorio creado por un sistema de corriente trifásico suministrada desde la red al devanado del estator, y las corrientes que se inducen en el devanado del rotor cuando el campo giratorio cruza sus hilos conductores.

Uno de los problemas principales en el funcionamiento del motor asincrónico es la transformación de la energía eléctrica consumida de la red, en energía mecánica. La energía se transmite del estator al rotor a través del campo magnético del espacio de aceite. La transmisión de la energía a través del espacio de aceite está relacionado en las fuerzas de origen electromagnéticas que se desarrollan en el motor, los cuales crean un momento de rotación, que es el momento electromagnético de la máquina.

Fuga de corriente.- Este fenómeno es en forma radial de cada fase: por lo tanto, habrá fuga de un conductor a otro y a tierra. Esta condición no deseada resulta porque el material aislante no es perfecto.

APENDICE

"C"

El performance o rendimiento de una bomba a cualquier frecuencia puede ser obtenido de las curvas a 60 ciclos/segundo con la ayuda de las "LEYES DE AFINIDAD". La velocidad del motor es casi proporcional a su frecuencia para rangos prácticos. Las leyes de afinidad hace que en todo punto de una curva de rendimiento el flujo (1) varía linealmente con la velocidad la carga (2) varía con el cuadrado de la velocidad y la potencia (3) varía con el cubo de la velocidad, según las ecuaciones siguientes:

$$1) \quad \frac{Q_2}{Q_1} = \left(\frac{N_2}{N_1} \right)$$

$$2) \quad \frac{H_2}{H_1} = \left(\frac{N_2}{N_1} \right)^2$$

$$3) \quad \frac{BHP_2}{BHP_1} = \left(\frac{N_2}{N_1} \right)^3$$

Las curvas describen el performance de una etapa de una bomba. Todo los fabricantes describen sus impulsores con este tipo de curvas. El eje vertical izquierdo está graduado en pies y metros de cabeza o levantamiento. El eje horizontal está en BPD y metros cúbicos por día.

La curva marcado con "HEAD CAPACITY" define levantamiento o cabeza del impulsor que puede producir a todo los flujos disponibles. Como un ejemplo a 7000 BPD 100 etapas GN 7000 producirá 3120 pies de levantamiento o cabeza:

Debe ser notado que las bombas centrífugas son medidos por la cabeza que ellos producen y no por la presión. Los 3120 pies de levantamiento en el ejemplo representa 1350.6 psi para un fluido de gravedad específico de 1.0 Sin embargo, los impulsores producirán la misma altura de 3120' con una gravedad específica de 0.85 de fluido. Con una presión asociado de 1148 psi. Esto ocurre porque la fuerza centrífuga actuante sobre el fluido son las mismas a pesar de la densidad del fluido.

La densidad afecta los HP requerido para levantar el fluido.

curva en la figura N^o 11 marcados como Horse power motor carga, define los HP requerido para este impulsor a diferentes cantidades de flujo. El primer eje vertical de derecha está graduado en HP, este caballaje está basado en el fluido bombeado cuya gravedad es 1.0 . Como un ejemplo a 7000 BPD de 100 etapas de bomba en la figura requerirá 240 HP si la gravedad específica del fluido es 1.00 .

Para una gravedad específica de 0.85 del fluido, la bomba solamente requerirá 0.85 (240) o 204 HP.

Los HP que la bomba entrega al fluido es también llamado los HP hidráulicos (HHP) estos pueden ser calculados de la curva de capacidad de cabeza y algún BPD.

Los HP que requiere la bomba del motor (BRAKE HORSEPOWER) puede ser determinado del caballaje de la carga del motor en la curva y a cada BPD; asimismo, la eficiencia de la bomba es como sigue:

$$\text{HHP} = \frac{7000 \times 3120}{136,000} \times 1.00 = 160.58$$

$$\text{BHP} = 240 \text{ (de la curva fig. N° 11)}$$

$$\text{Eff} = \frac{\text{HHP}}{\text{BHP}} \times 100$$

$$\text{Eff} = \frac{160.58}{240} \times 100 = 66.9\%$$

El eje vertical derecho el mas alejado de la figura N° 11 indica la eficiencia de la bomba. Algunas veces las curvas no estarán de acuerdo con los cálculos debido a errores en la lectura y por la reproducción de las curvas. Debido a esto, API ha establecido que los coeficientes matemáticos deben ser usados para determinar la cabeza de un impulsor, HP y la eficiencia.

Estos coeficientes son mostrados en la tabla N° 5. El rendimiento de la curva son oficialmente descritos por un grupo de coeficientes usados con las siguientes ecuaciones polinomiales.

$$H = C_5 Q^5 + C_4 Q^4 + C_3 Q^3 + C_2 Q^2 + C_1 Q + C_0$$

Donde:

H =Cabeza en pies

Q =Flujo en BSP

C_N =Coeficiente de cabeza por el tipo de etapa y,

$$BHP = C_5 Q^5 + C_4 Q^4 + C_3 Q^3 + C_2 Q^2 + C_1 Q + C_0$$

Donde :

BHP = Brake horse power.

Q = Flujo en BFD

C_N = BHP coeficiente por cada etapa



THE SYSTEM

ENGINEERING PUMP COEFFICIENTS

3-24-1986

SERIES	STAGE		C ₅	C ₄	C ₃	C ₂	C ₁	C ₀
338	U23	HEAD	-3.858756E-14	+8.118378E-11	-7.647868E-08	+2.392918E-05	-4.550423E-03	+1.897003E+01
		BHP	-8.700378E-16	+2.863993E-12	-3.443100E-09	+1.575870E-06	-9.030091E-05	+8.627286E-02
338	T36	HEAD	-4.601297E-16	+3.063445E-12	-7.991481E-09	+5.522838E-06	-4.949573E-03	+2.079602E+01
		BHP	-1.397555E-17	+1.209927E-13	-3.039395E-10	+2.265583E-07	+4.696689E-05	+1.537140E-01
400	B11W	HEAD	-5.505324E-13	+9.474922E-10	-6.187493E-07	+7.932765E-05	-8.236547E-03	+2.942146E+01
		BHP	-9.241263E-15	+1.961213E-11	-1.443231E-08	+4.056912E-06	-2.709259E-04	+1.027217E-01
400	W18	HEAD	-5.317759E-14	+1.704277E-10	-2.225192E-07	+8.310545E-05	-8.713127E-03	+3.034820E+01
		BHP	+1.110794E-15	-2.671342E-12	+1.968355E-09	-5.688683E-07	+1.896422E-04	+1.211662E-01
400	H27	HEAD	+1.959857E-14	-6.539543E-11	+5.757069E-08	-2.456669E-05	+1.362776E-03	+2.988184E+01
		BHP	-6.453916E-17	+3.124267E-13	-5.496849E-10	+2.670135E-07	+1.133009E-04	+1.421812E-01
400	M34	HEAD	+7.249922E-15	-2.888744E-11	+3.265348E-08	-1.812117E-05	+2.294669E-03	+2.952021E+01
		BHP	+1.196870E-16	-3.838524E-13	+3.229880E-10	-8.927863E-08	+1.534320E-04	+1.750849E-01
400	G48	HEAD	-1.030924E-15	+7.426106E-12	-2.066808E-08	+2.081667E-05	-9.837820E-03	+2.967238E+01
		BHP	-5.919875E-18	+5.059090E-14	-1.470971E-10	+1.139935E-07	+1.344703E-04	+2.185177E-01
400	J61	HEAD	+1.780769E-16	-1.325391E-12	+3.156313E-09	-4.872860E-06	-4.535749E-04	+2.992599E+01
		BHP	+8.917991E-19	-1.933338E-14	+7.977977E-11	-1.517709E-07	+2.306641E-04	+2.564705E-01
400	Z69	HEAD	-3.111841E-17	+1.024828E-13	+3.912412E-10	-3.625291E-06	+1.729191E-03	+2.914771E+01
		BHP	-1.962781E-18	+1.754256E-14	-5.642711E-11	+5.200411E-08	+9.552470E-05	+3.226490E-01
400	N80	HEAD	-1.689996E-16	+1.643977E-12	-5.459105E-09	+5.835576E-06	-3.296573E-03	+2.890977E+01
		BHP	-1.373516E-18	+1.626080E-14	-7.275616E-11	+1.262196E-07	+5.022769E-06	+3.894400E-01
400	T100	HEAD	+5.115513E-17	-7.556404E-13	+3.794008E-09	-8.408044E-06	+5.377039E-03	+2.618410E+01
		BHP	-7.220205E-19	+9.553968E-15	-4.937376E-11	+1.037764E-07	+2.984230E-05	+5.026398E-01
400	F6000	HEAD	+4.292135E-18	-9.183840E-14	+5.533952E-10	-9.595701E-07	-1.106296E-03	+2.698712E+01
		BHP	+2.508695E-19	-5.111856E-15	+3.195547E-11	-6.590061E-08	+1.342677E-04	+7.048441E-01
513	F35	HEAD	-6.226550E-16	+1.771229E-12	-4.205819E-09	-5.145844E-06	-2.519155E-03	+5.234052E+01
		BHP	+1.247689E-16	-5.773712E-13	+7.889425E-10	-3.172896E-07	+1.137617E-04	+4.873659E-01
513	I42B	HEAD	-2.669333E-15	+1.393557E-11	-2.763228E-08	+1.602100E-05	-4.773078E-03	+5.341028E+01
		BHP	-2.059664E-17	+1.357269E-13	-3.776556E-10	+3.881892E-07	+1.236359E-04	+3.800964E-01
513	Y62B	HEAD	+2.911828E-16	-2.879597E-12	+8.015683E-09	-1.092872E-05	+2.933813E-03	+5.561648E+01
		BHP	-5.275764E-18	+4.354184E-14	-1.482160E-10	+1.836073E-07	+1.797484E-04	+5.204780E-01
513	K70	HEAD	+6.153293E-17	-7.080643E-13	+2.329543E-09	-3.753944E-06	-2.621662E-03	+5.402283E+01
		BHP	+2.048619E-18	-2.594413E-14	+1.055274E-10	-1.887116E-07	+2.315107E-04	+8.493758E-01
513	KA100	HEAD	+2.415064E-17	-2.825773E-13	+5.995282E-10	+6.807592E-07	-6.501298E-03	+5.956184E+01
		BHP	-9.396055E-19	+1.441375E-14	-9.174544E-11	+2.470368E-07	-1.451035E-05	+7.851244E-01
513	E127	HEAD	-2.258594E-18	+6.092530E-14	-6.430804E-10	+2.072606E-06	-6.316403E-03	+5.750029E+01
		BHP	+3.298224E-19	-4.541920E-15	+1.171667E-11	+2.269093E-08	+5.386694E-05	+1.007504E+00
513	S175	HEAD	-3.058515E-19	+6.161038E-15	-3.619793E-11	-2.375000E-07	-1.274051E-03	+4.939715E+01
		BHP	+3.811882E-20	-1.032414E-15	+8.710989E-12	-3.005070E-08	+1.075020E-04	+1.735251E+00
513	D225B	HEAD	-6.648930E-20	-7.953013E-15	+1.540076E-10	-8.390334E-07	-7.162763E-04	+4.085354E+01
		BHP	-3.160934E-20	+8.359665E-18	-1.109900E-11	+6.887018E-08	-2.096125E-05	+1.401627E+00
562	K15000	HEAD	+1.031742E-20	-2.717302E-16	-1.206252E-11	+3.276880E-07	-2.953920E-03	+6.076497E+01
		BHP	-2.111969E-21	+1.834480E-16	-6.394278E-12	+9.073150E-08	-2.259641E-04	+4.411141E+00
675	A177	HEAD	-3.469243E-18	+8.786709E-14	-8.462938E-10	+3.021143E-06	-4.610825E-03	+1.009368E+02
		BHP	+1.981601E-20	-4.204810E-16	-1.182125E-12	+1.673564E-08	+4.858203E-04	+2.429949E+00
675	P320A	HEAD	+5.832739E-20	+2.872277E-17	-8.669780E-13	-2.125510E-07	+4.579928E-04	+9.295316E+01
		BHP	+1.201946E-20	-3.003012E-16	+5.606798E-13	+2.473243E-09	+3.848121E-04	+4.031824E+00
675	R330	HEAD	-1.396351E-19	+5.682957E-15	-9.676718E-11	+5.719134E-07	-1.991973E-03	+8.534748E+01
		BHP	+1.330903E-20	-4.717394E-16	+3.310440E-12	+5.506110E-09	+3.221413E-04	+3.531013E+00
675	L500	HEAD	-4.717657E-21	-2.260235E-16	+1.677905E-11	-2.757675E-07	-4.916800E-04	+9.224684E+01
		BHP	+0.000000E+00	-7.900914E-18	-2.141235E-13	+1.030663E-08	+9.993832E-05	+7.965580E+00
875	IA600	HEAD	-1.758224E-21	+1.781464E-16	-9.507566E-12	+1.632298E-07	-4.184818E-03	+1.744431E+02
		BHP	+0.000000E+00	+3.586902E-17	-3.143396E-12	+7.144539E-08	-2.346539E-04	+1.575755E+01
875	IB700	HEAD	+7.629027E-21	-8.217007E-16	+2.950336E-11	-4.598600E-07	+3.235465E-04	+1.837401E+02
		BHP	+0.000000E+00	-1.660081E-17	+8.905085E-13	-1.759105E-08	+5.048091E-04	+1.922311E+01
1025	JA1100	HEAD	-1.019561E-21	+7.289378E-17	-1.261744E-12	-1.733650E-08	-2.709171E-03	+2.496614E+02
		BHP	+0.000000E+00	+8.534879E-18	-1.384415E-12	+5.642688E-08	-3.664083E-04	+3.794619E+01
1025	JB1300	HEAD	+3.263530E-22	-8.304100E-17	+5.776215E-12	-1.553778E-07	-8.347292E-04	+2.657650E+02
		BHP	+0.000000E+00	-2.187737E-18	-3.631105E-14	+1.299687E-08	+1.221361E-04	+4.802353E+01

H = C₅Q⁵ + C₄Q⁴ + C₃Q³ + C₂Q² + C₁Q + C₀ using head coefficients.
 BHP = C₅Q⁵ + C₄Q⁴ + C₃Q³ + C₂Q² + C₁Q + C₀ using BHP coefficients.

$$\text{Efficiency} = \frac{Q(H)}{1360(\text{BHP})}$$

Rev. 1
 EFFECTIVE
 30 AUGUST 1987

GRAFICOS

1. SISTEMA DE BOMBEO ELECTROSUMERGIBLE (BES), muestra equipo de subsuelo y de superficie.
2. MOTOR ELECTRICO, muestra su ubicación en la instalación y sus partes.
3. MOTOR ELECTRICO, muestra el ESTATOR Y EL ROTOR.
4. PROTECTOR, muestra su ubicación y sus partes.
5. BOMBA CENTRIFUGA, muestra su ubicación y sus partes.
6. IMPULSOR DE UNA BOMBA, muestra sus partes.
- 6A. Comportamiento de un impulsor flotante en el rango de operación.
7. SEPARADOR DE GAS, y sus partes.
8. ORIFICIO DE ENTRADA A LA BOMBA, sus partes.
9. CABLE DE POTENCIA N° 1, sus partes.
10. CURVA DE RENDIMIENTO DE UNA BOMBA tipo 4,000.
11. Similar al N° 10 pero para tipo 7,000.
12. Similar al N° 10 pero para tipo 10,000.
13. CURVA DE RENDIMIENTO DE UNA BOMBA USADA, tipo 4,000 después de una prueba de banco. Muestra las variaciones de carga dinámica-flujo, HP y eficiencia de la bomba. Los puntos con aspa son los valores encontrados de la prueba de banco.
14. LOS LIMITES PERMISIBLES DE EFICIENCIA, CABEZA Y HP requeridos de la bomba.
- 14A. Los límites permisibles indicando la zona recomendada.
15. Detalle de la Instalación de una herramienta "Y" con equipo "BES".
- 15A. Herramienta "Y" en el pozo.
16. MOTOR ELECTRICO con funda, muestra la dirección del fluido pasando por el entorno del motor.

ESP SYSTEM DOWNHOLE AND SURFACE EQUIPMENT

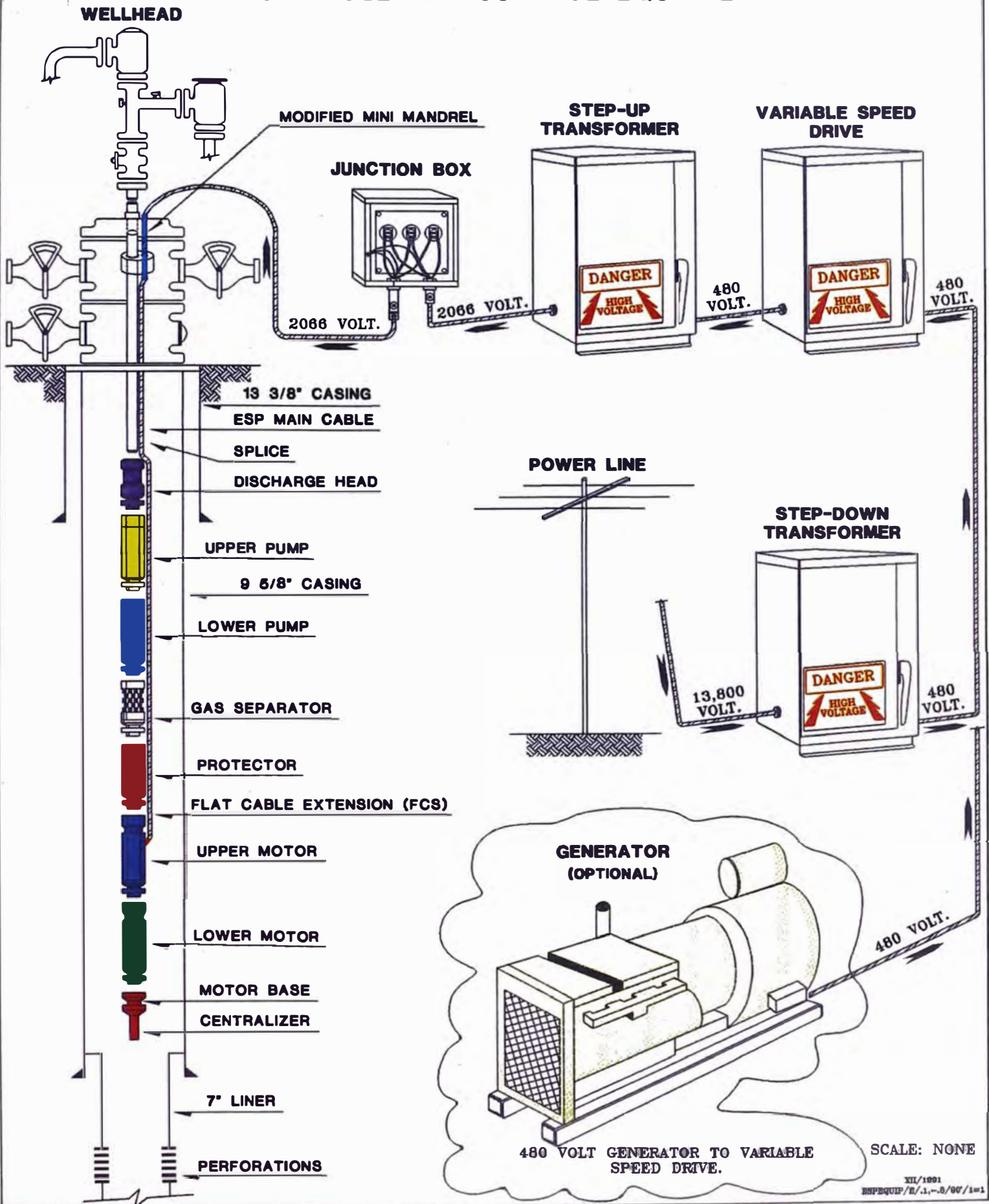


Figura # 2

M O T O R

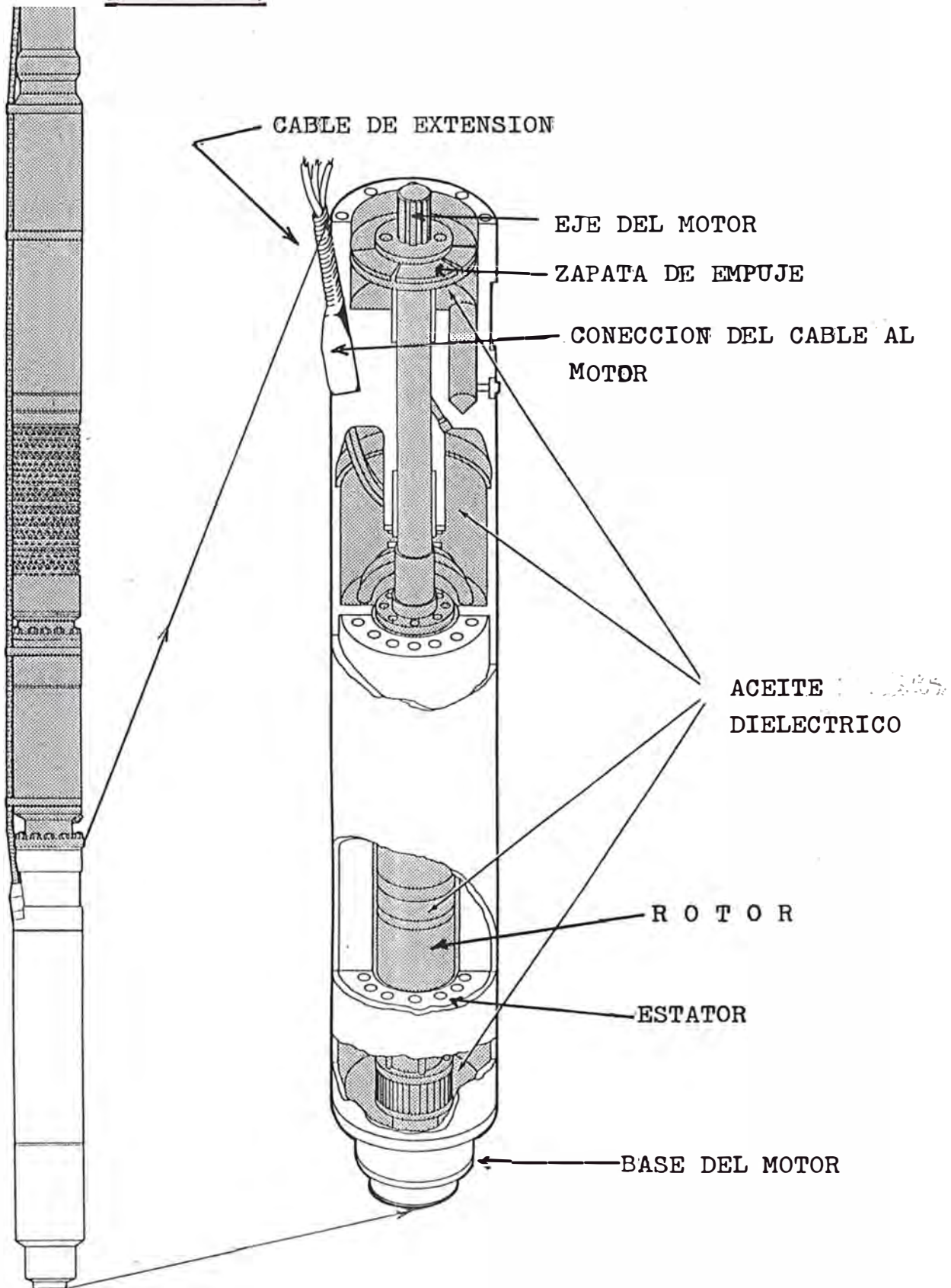


Figura # 3

M O T O R - V I S T A I N T E R N A

LAMINACIONES

ESTATOR

BOBINADO AISLADO

CTOR

ROTOR

COJINETE

ARO DE COBRE

ALOJAMIENTO

P R O T E C T O R

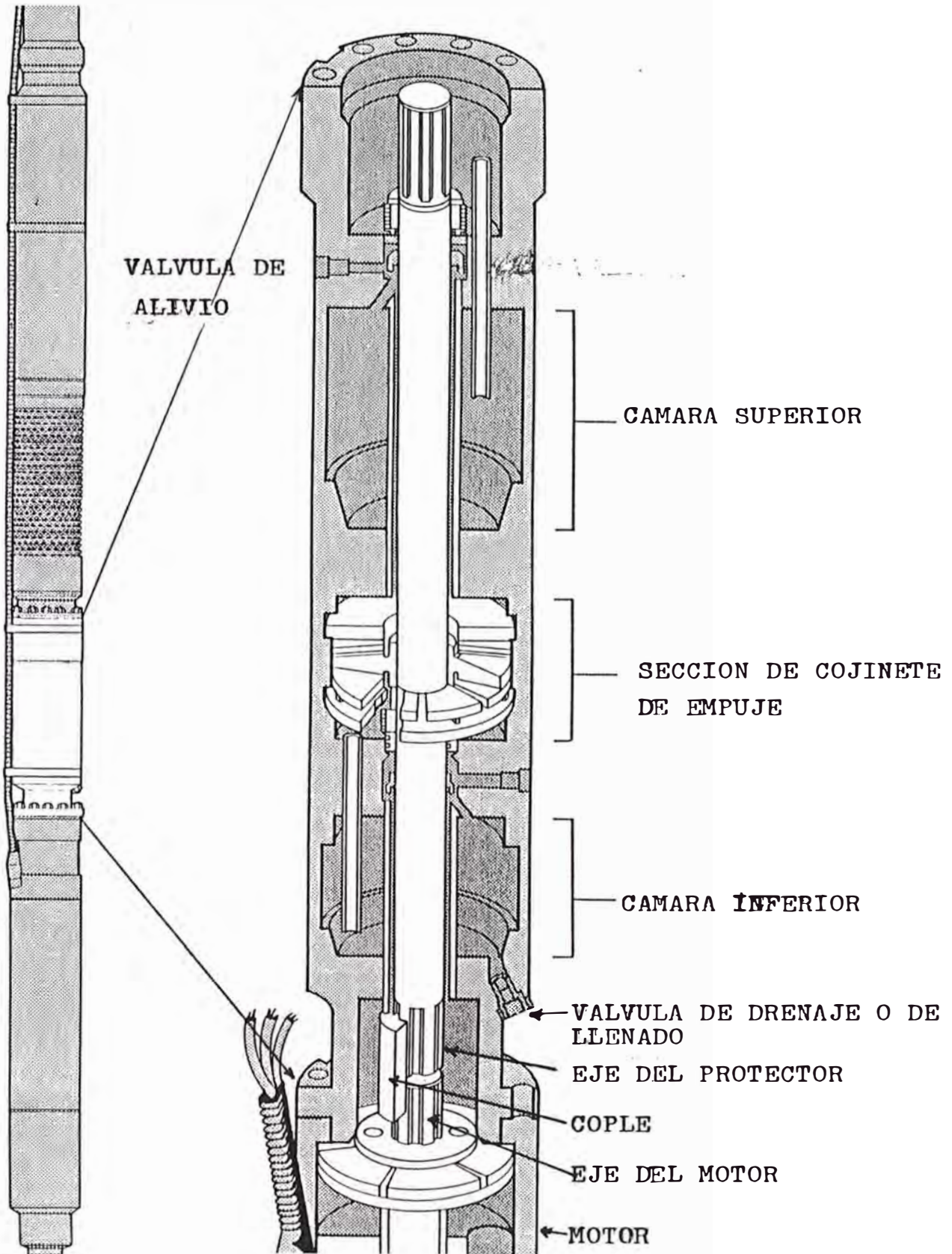
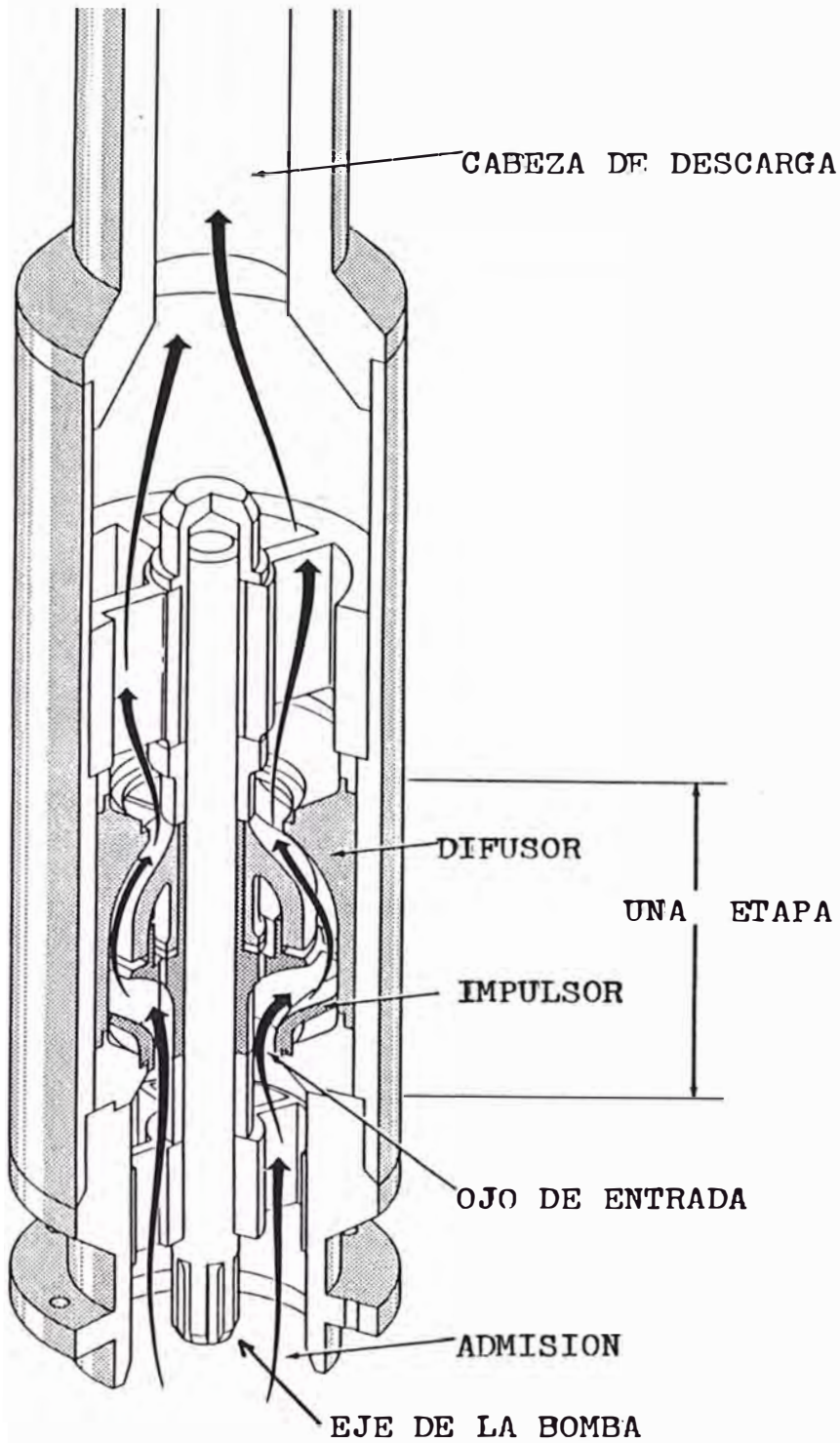


Figura # 5

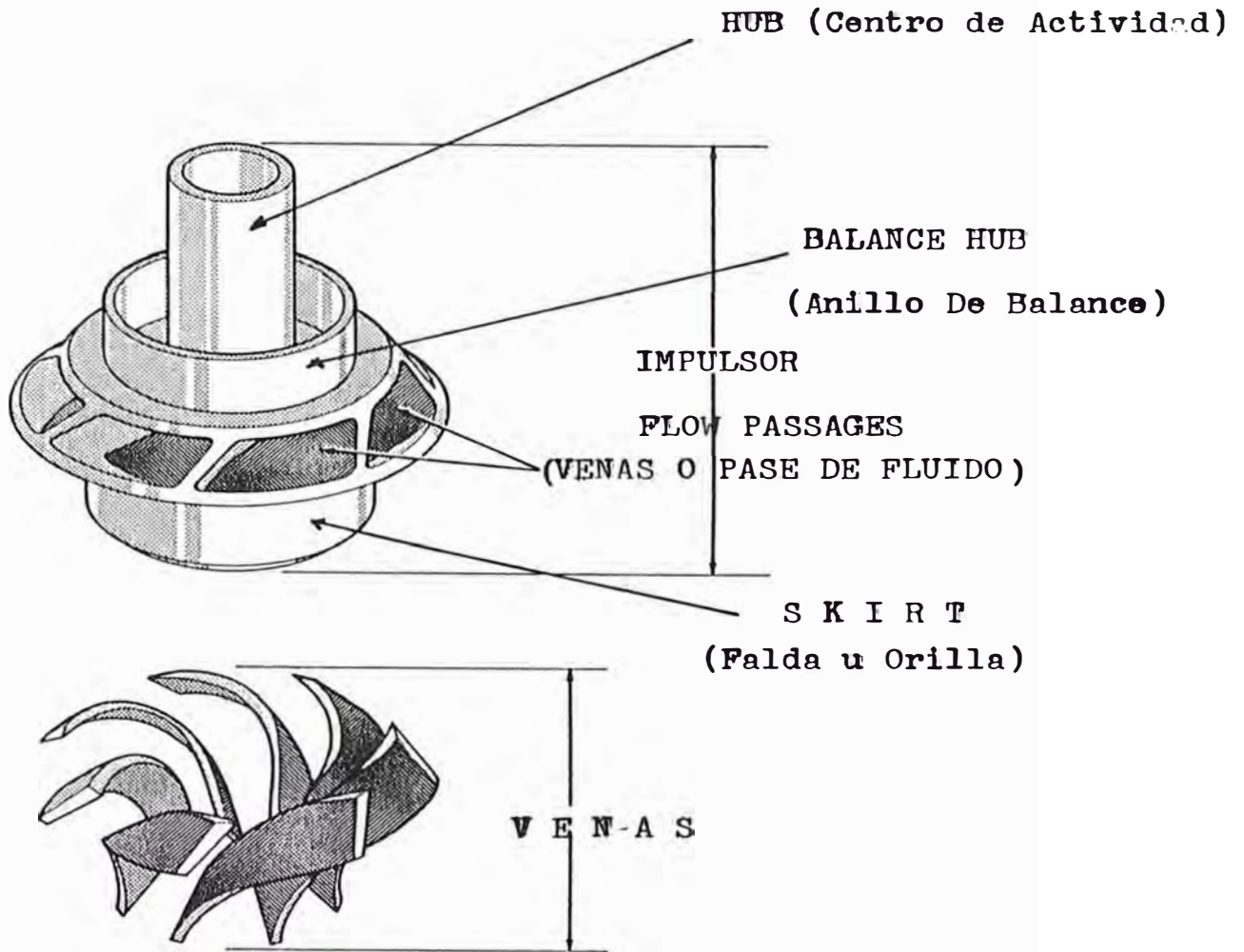
Pump Stages

B O M B A



Impellers and Diffusers

IMPULSOR



POSIBLE POSICION DE LOS IMPULSORES

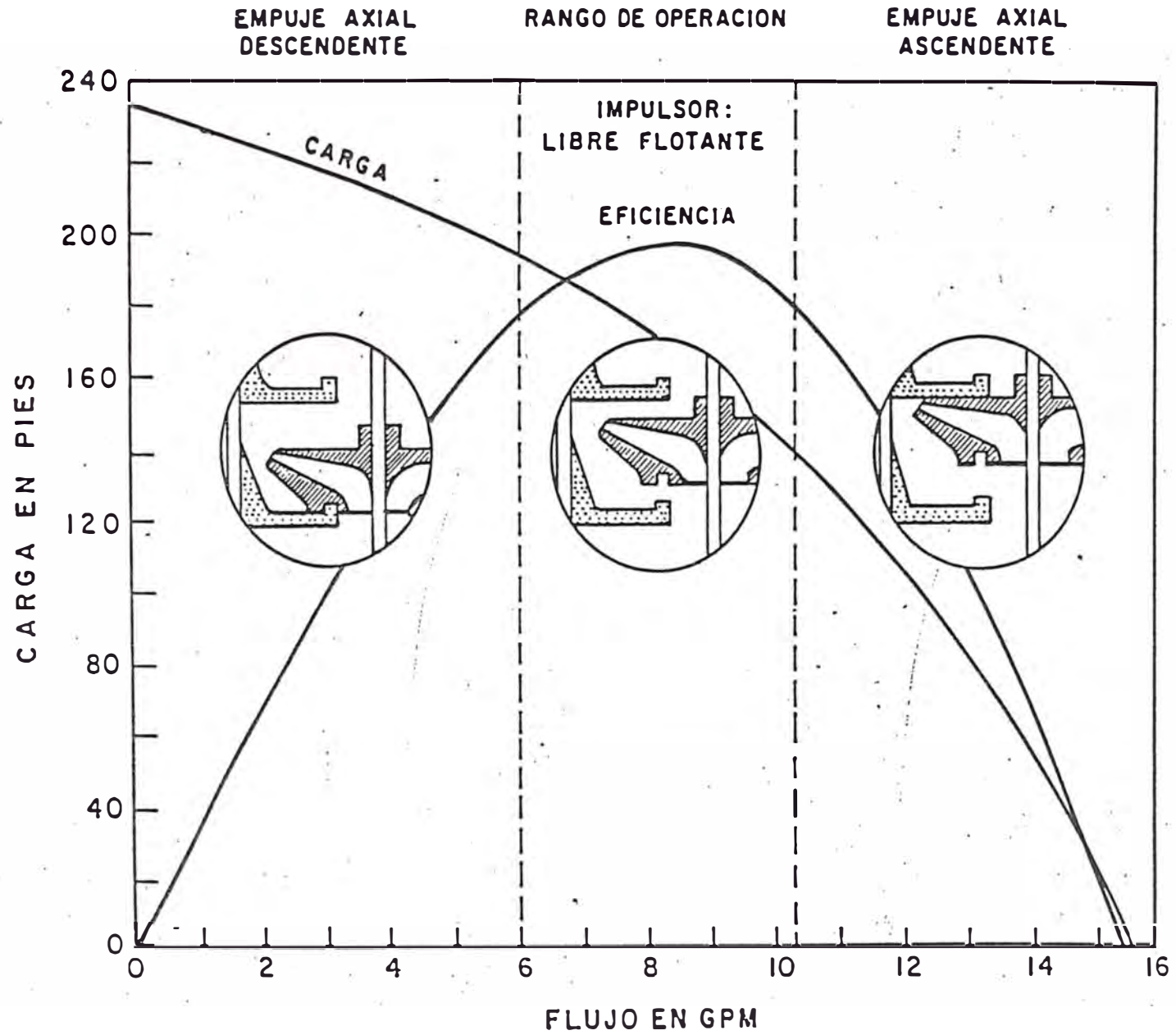
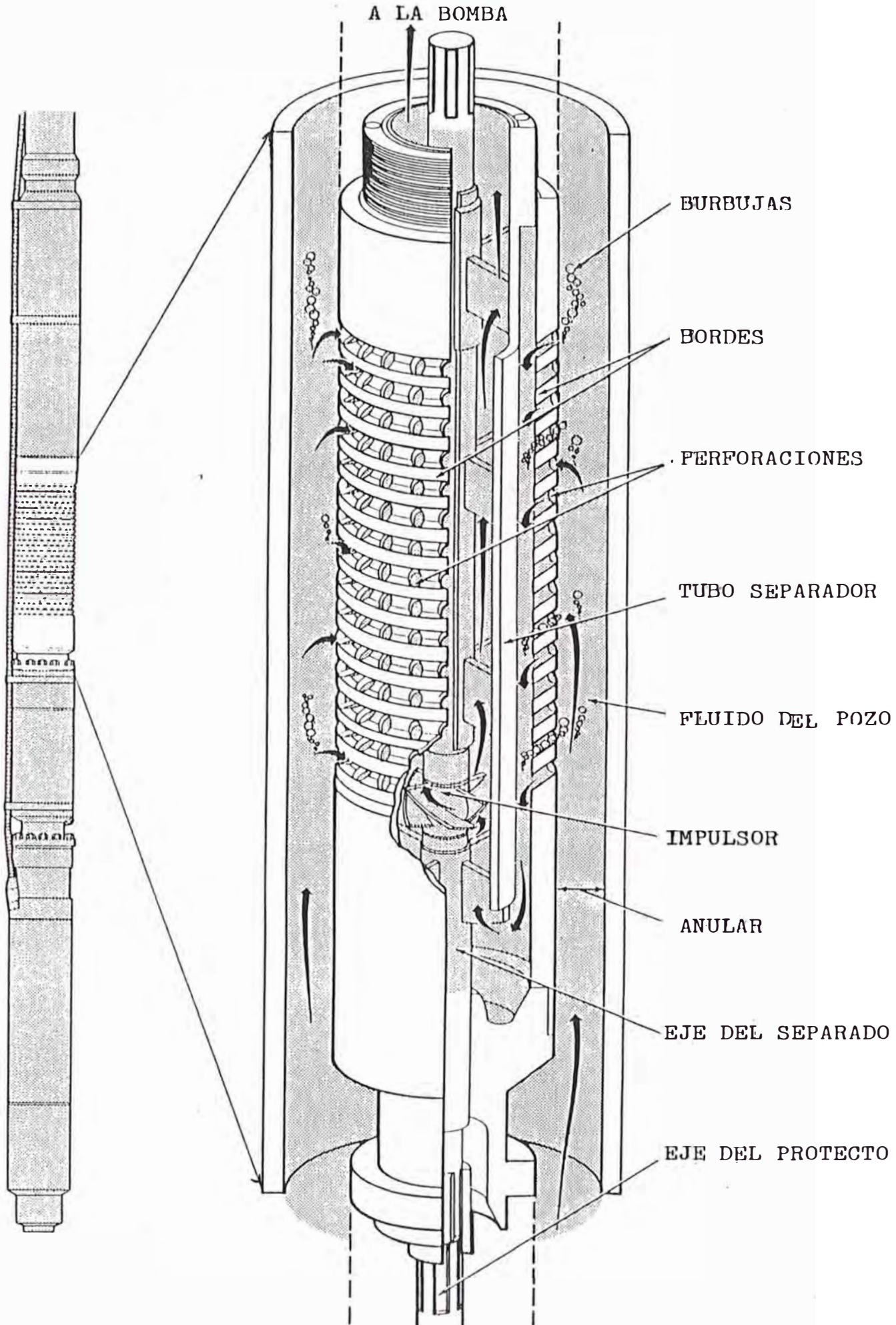


FIG. 6A-

Figura # 7

SEPARADOR DE GAS



ORIFICIO DE ENTRADA COMUN

STANDARD INTAKE

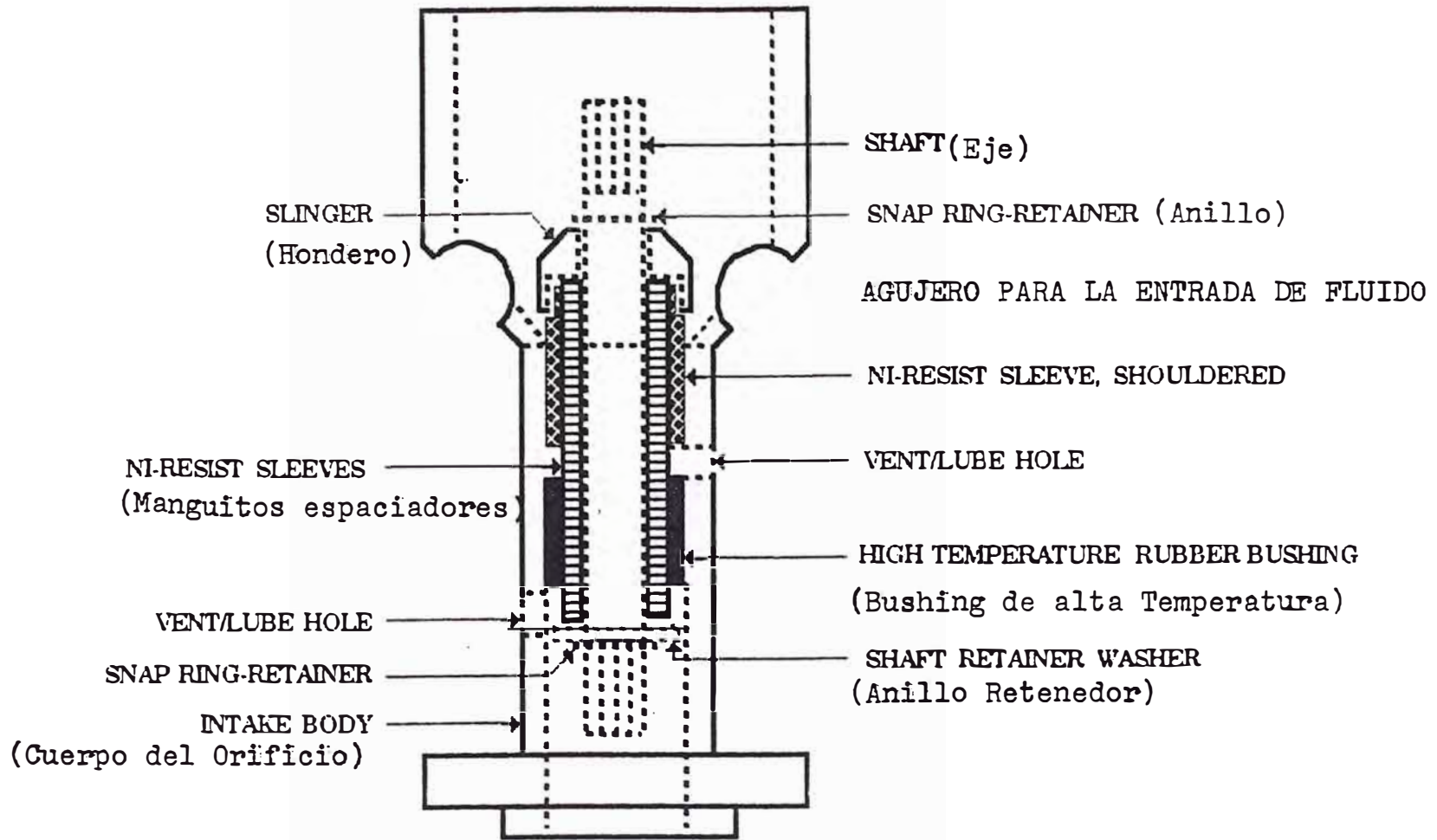
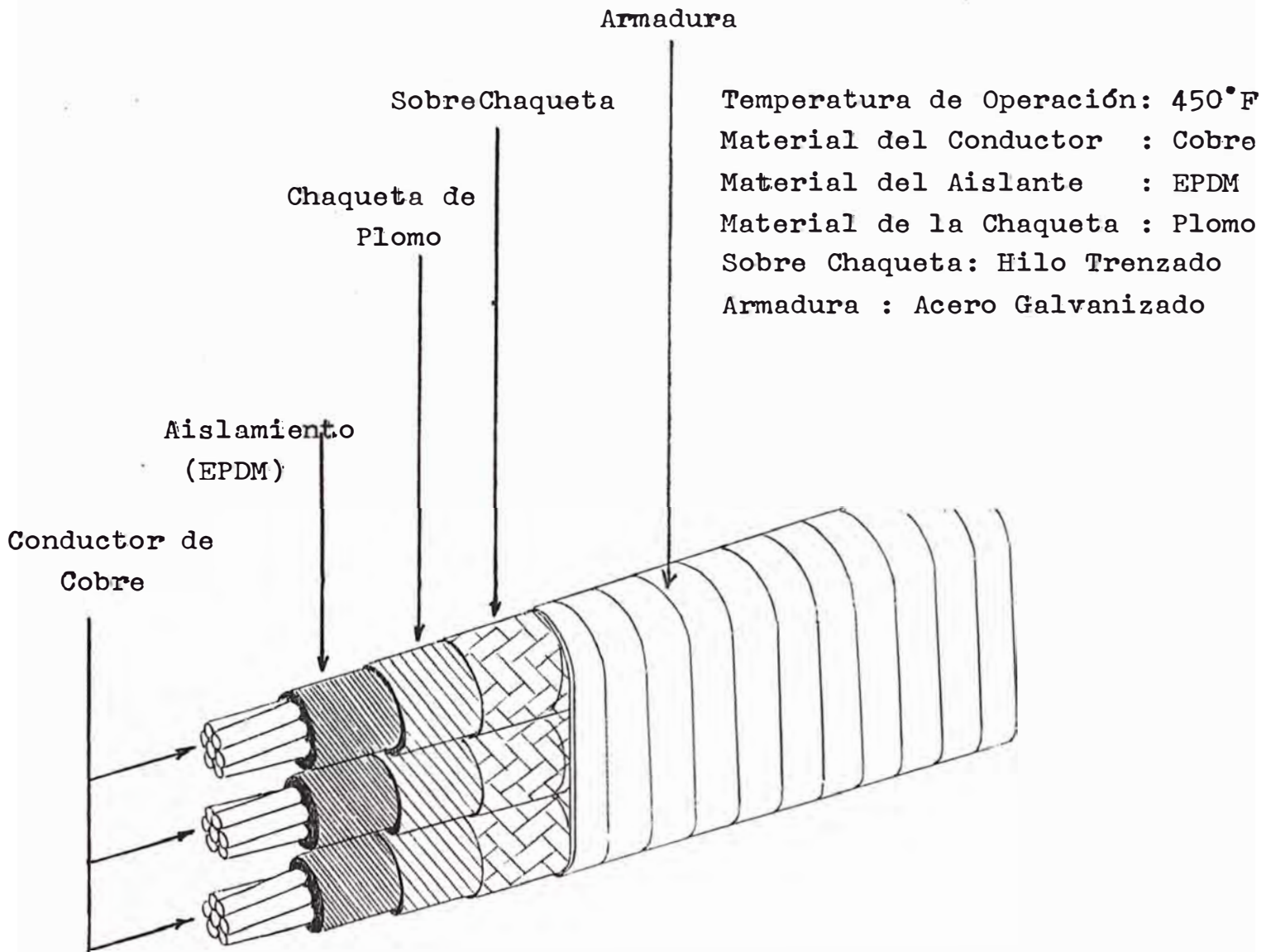


Figura # 9

C A B L E D E P O T E N C I A , 5 K V (P L A N O)



Tamaño del Conductor (AWG)	Diámetro Conductor (Pulg.)	Diám. del Aislamiento (Pulg.)	Diám. de Chaqueta (Pulg.)	Peso Unitario (Lbs/ft)	Armadura
1	.297	.477	.587	2.31	Galvaniza
4	.204	.340	.420	1.55	Monel
6	.162	.298	.378	1.29	Monel

Pump Performance Curve

100 Stage — GN4000

540 Series — 3500 RPM

Minimum Casing Size 6 5/8 IN OD Check Clearances

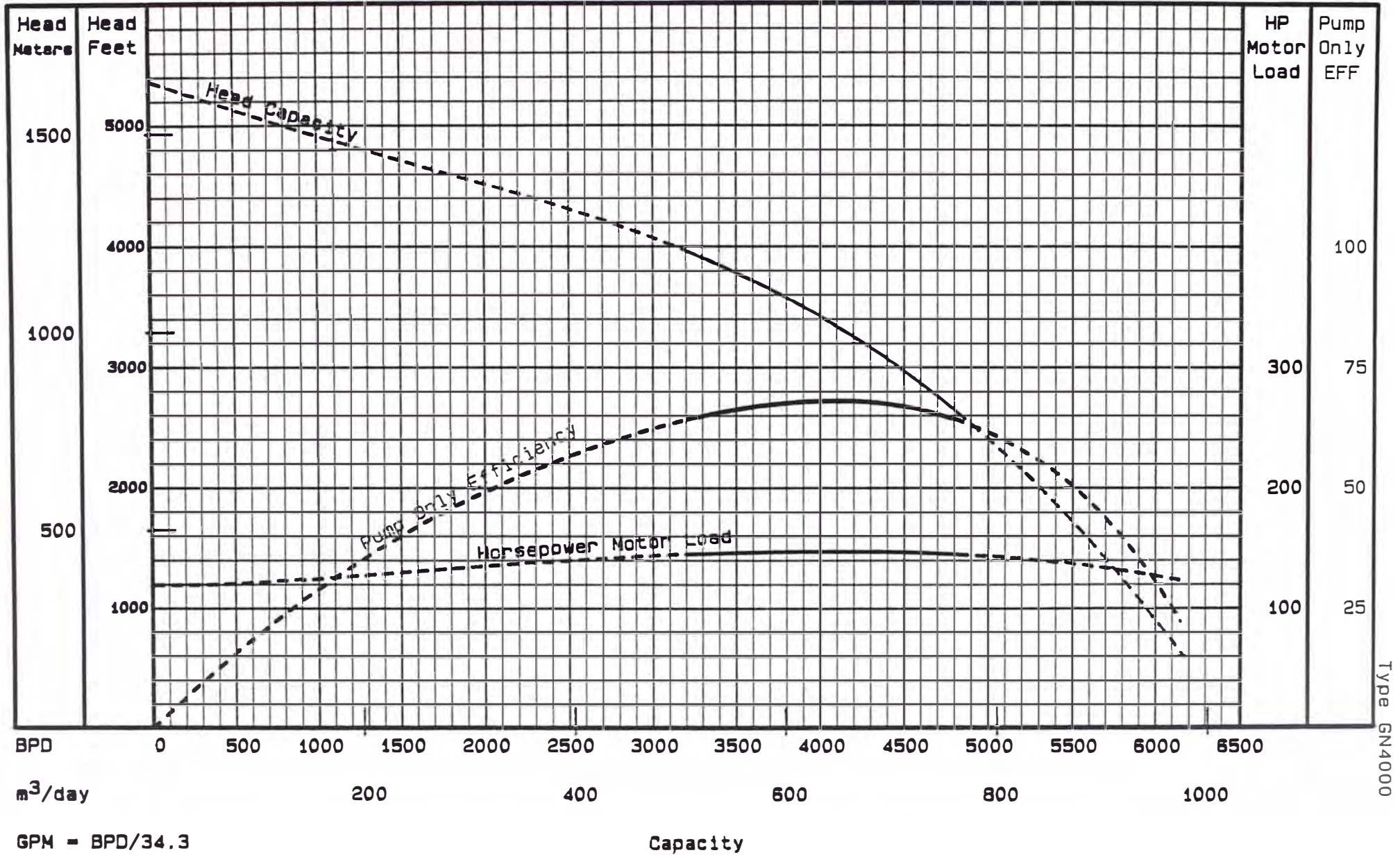


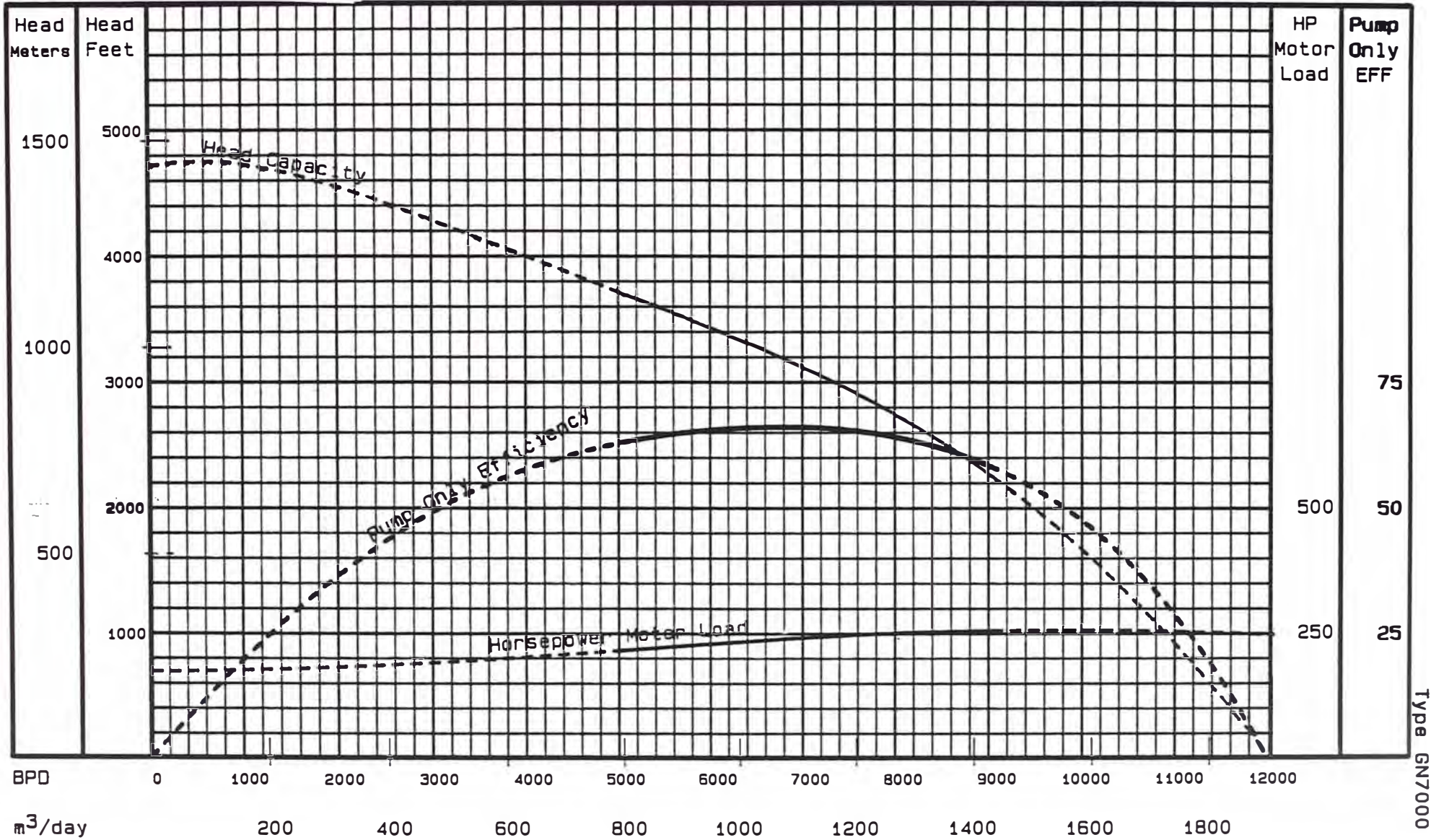
Figura # 11

Pump Performance Curve

100 Stage — GN7000

540 Series — 3500 RPM

Minimum Casing Size 6 5/8 IN OD Check Clearances



BPD

m³/day

GPM = BPD/34.3

Capacity - 73 -

Type GN7000

Figura # 12

Pump Performance Curve
100 Stage — JN10000
675 Series — 3500 RPM

Minimum Casing Size 8 5/8 IN OD Check Clearances

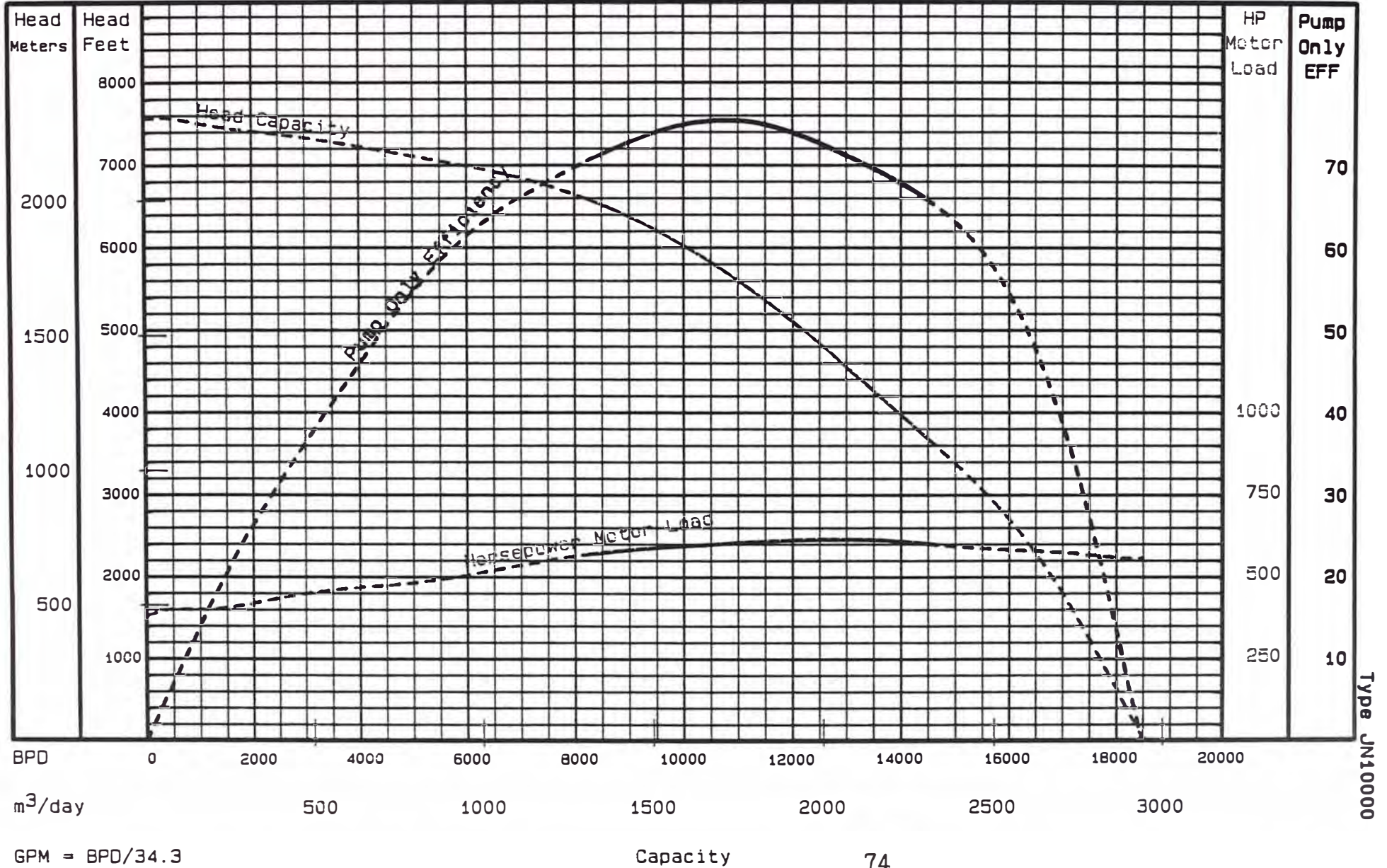


Figura # 13

Pump Performance Curve
 66 Stage - GN4000
 540 Series - 3500 RPM

Minimum Casing Size 6 5/8 IN OD Check Clearances

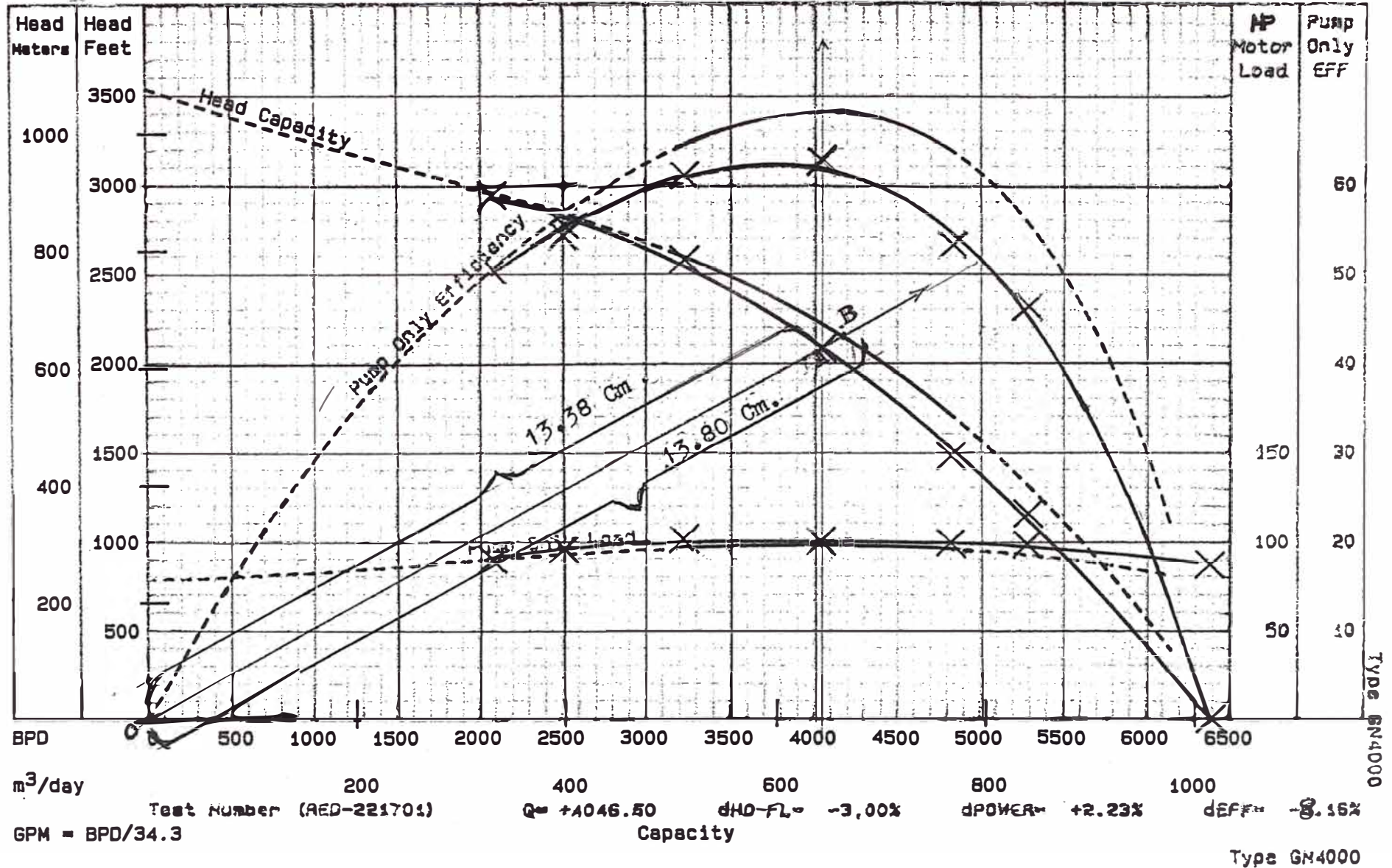
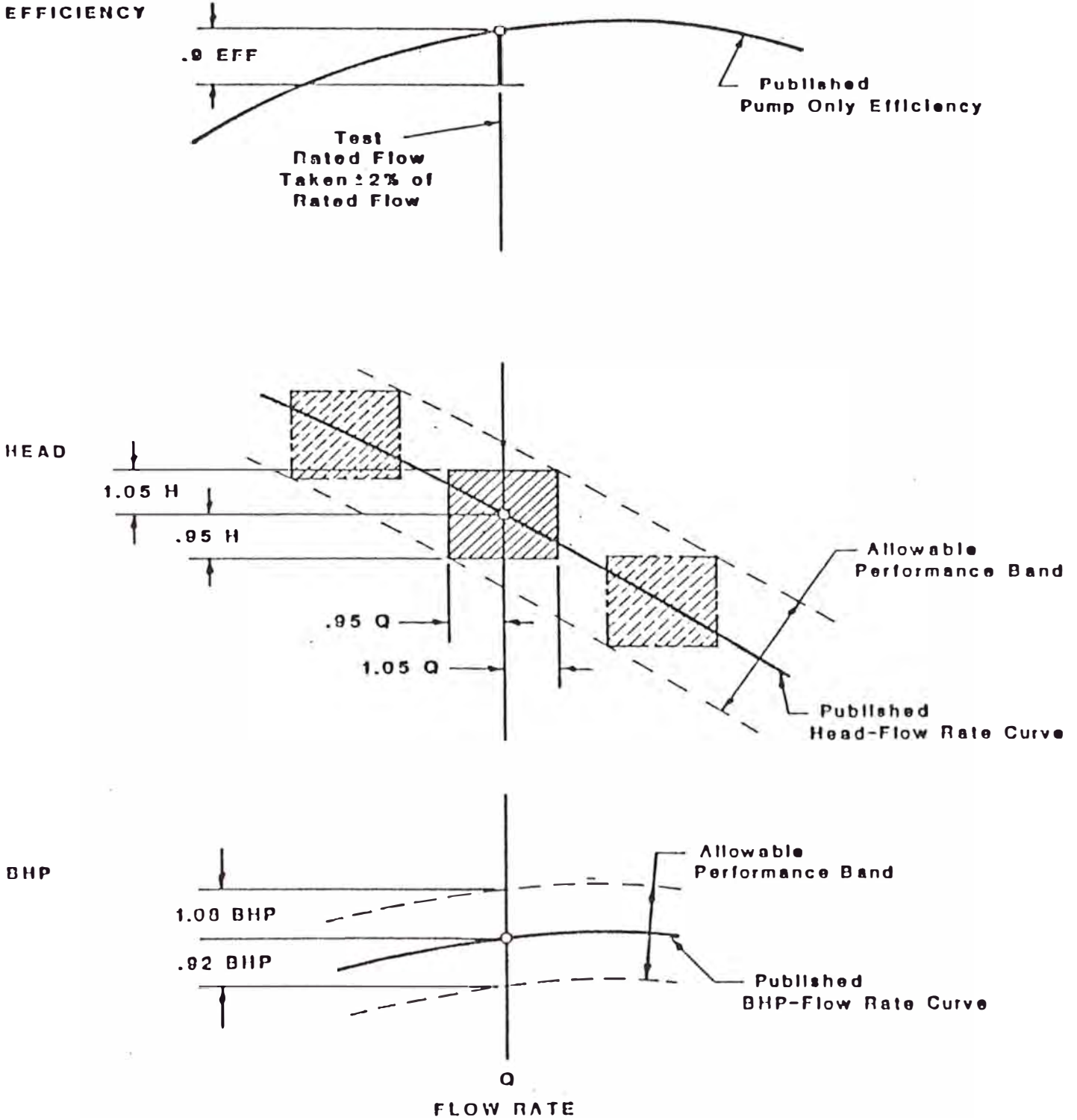


FIGURE # 14

Pump Test Acceptance Limits From Published Curve



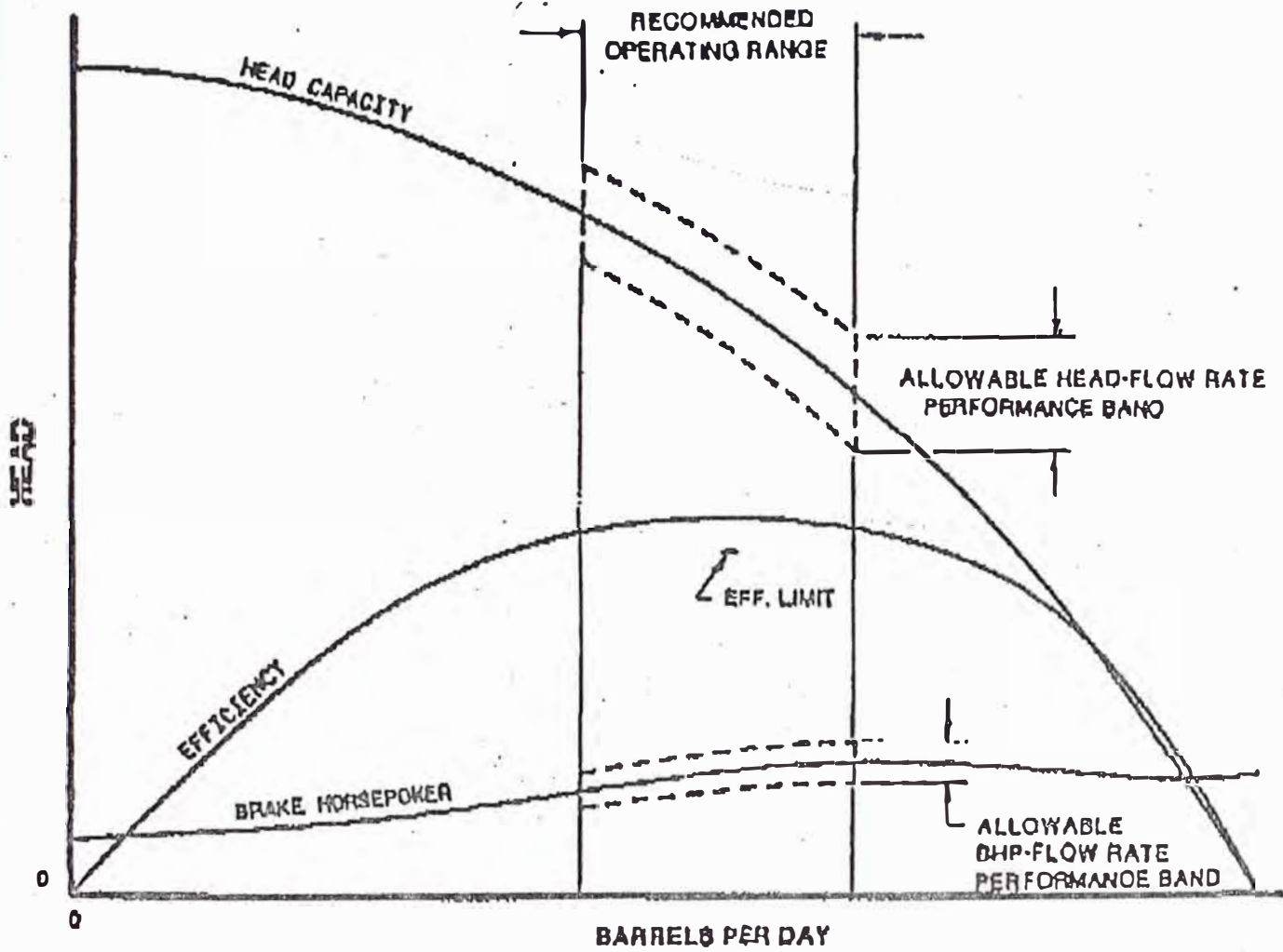


FIGURE 4.2
TYPICAL PUMP PERFORMANCE CURVE SHOWING TOLERANCE BANDS

FIGURA # 15

VISTA DE UNA HERRAMIENTA "Y" INSTALADO CON EQUIPO "BES"

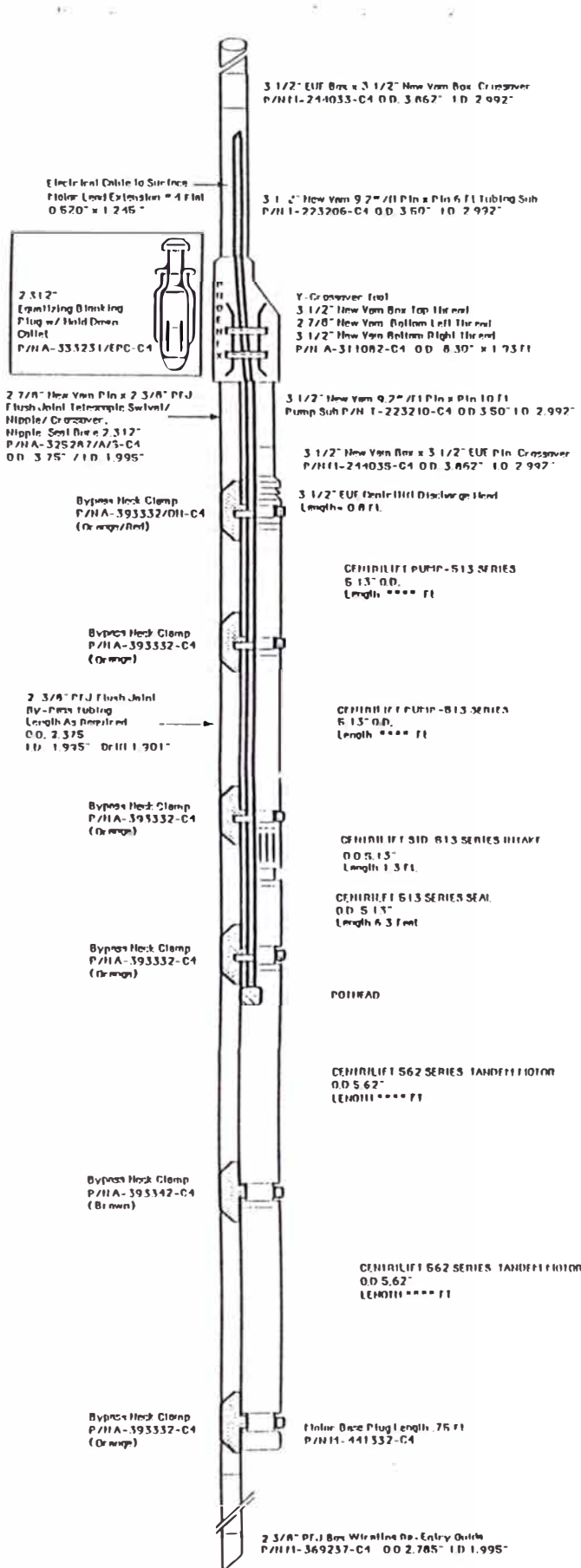
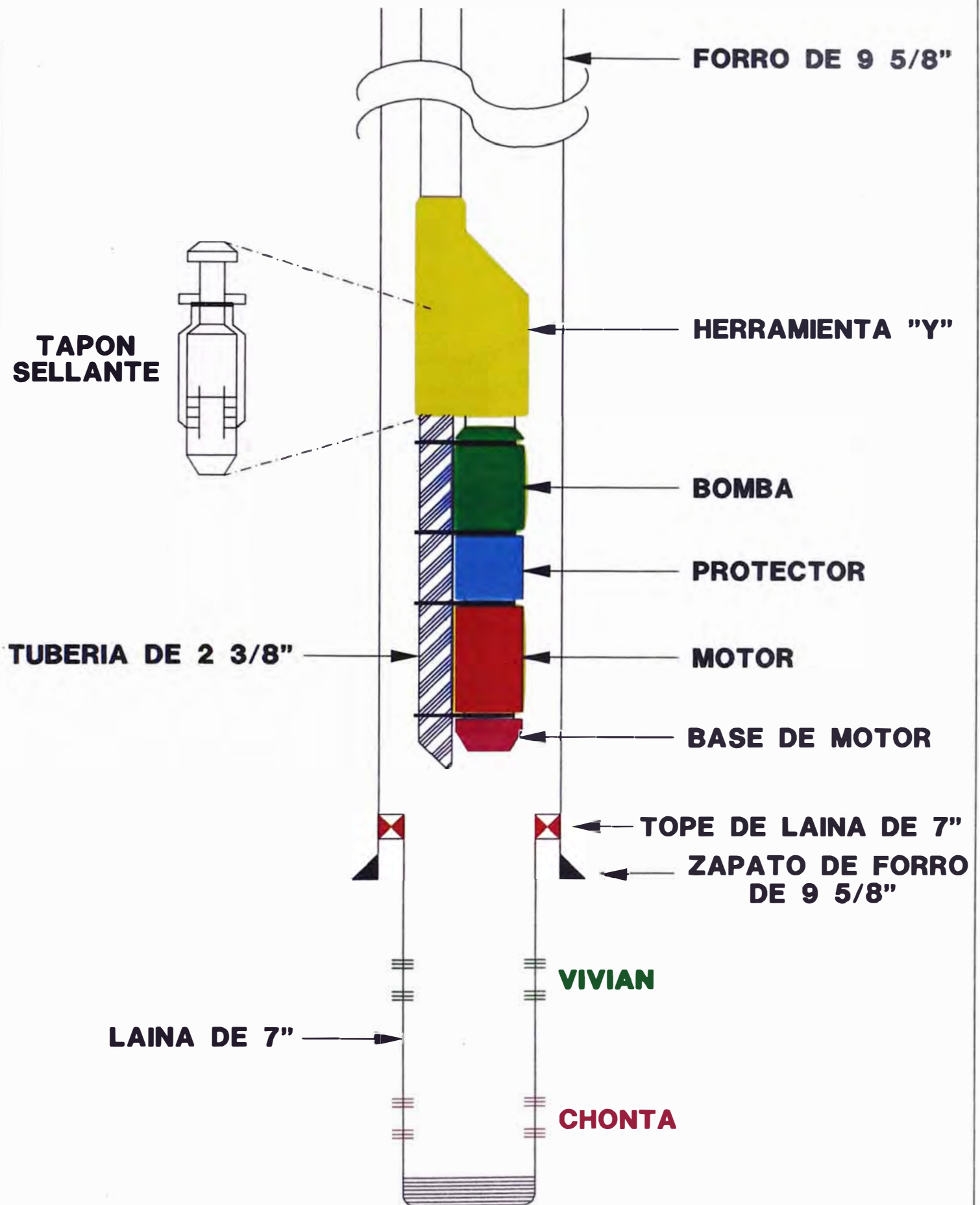


FIGURA # 15A

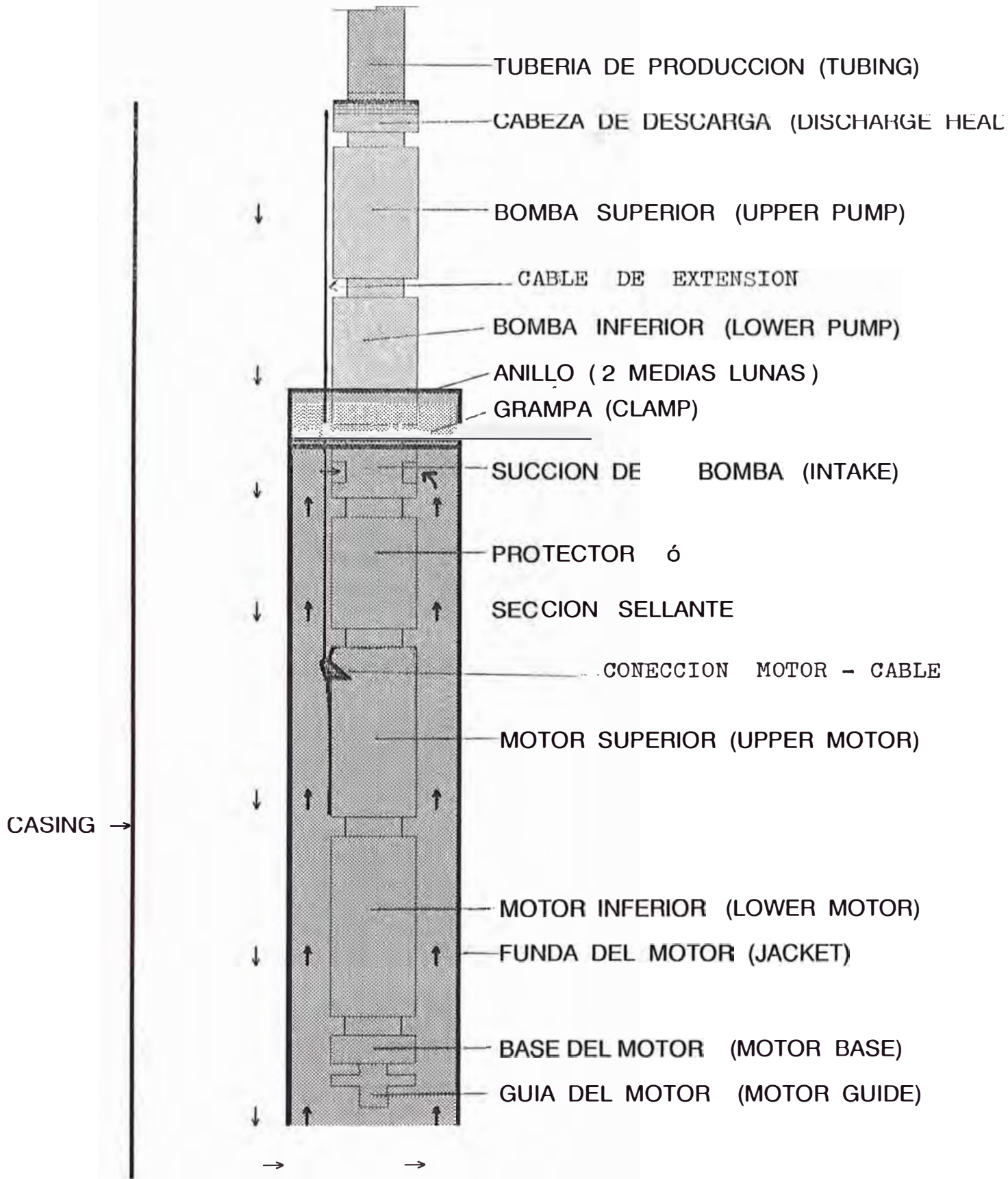


HERRAMIENTA PARA MONITOREO DE FONDO DE POZO



MOTORES "BES" CON FUNDA

(ESP MOTORS WITH JACKET)



T A B L A #

R E P O R T E

E N S A Y O D E M O T O R

MOTOR MODELO: SUPERIOR

SERIE: 582

N° SERIE: 21 K

CLIENTE: MAR

POZO : MAR 2

HP : 195		VOLTS: 1175		AMPS: 98		CICLOS : 80			
P A R A M E T R O S		O/P							
		TEMP °C	35	40	45	50	55	60	
VOLTS ENTRE FASES	A-B		977	980	979	979	980	980	
	B-C		979	981	982	982	982	982	
	C-A		974	978	977	978	978	977	
AMPS. ENTRE FASES	A		24.5	23.5	23.9	22.8	21.2	21.9	
	B		23.2	22.9	22.2	21.9	21.5	21.2	
	C		21.3	21.8	21.3	21.0	20.4	20.2	
TIEMPO DE ENSAYO (MIN)/O/C			2.1	4.1	5.2	8.0	8.7	10.8	
POTENCIA CONSUMIDA (KW)			18.0	17.5	18.2	15.4	13.7	12.9	
RPM			3547	3548	3552	3552	3554	3554	
MARCHA POR INERCIA (SEG)								0.07	
ARRANQUE BAJA TENSION		RPM	3538	VOLT.	844	AMP.	17.9	KW	12.2
								INERCIA	0.078
RESIST. AISL. FRIO			20000						
MEG OHMS CALIENTE			15000						
RESISTENCIA BOBINADO ESTATOR	A-B	FRIO	0.4	CALIENTE	0.42				
	B-C		0.4		0.42				
	C-A		0.4		0.42				
CONST. DIELEC. ACEITE (KV)		CALIENTE	18						

OBSERVACIONES: CONDICIONES INICIALES: 31° C. 3540 RPM, 30 KW

CONST. DIELEC. ACEITE (KV) : 22

NO PASO EL ENSAYO I, PORQUE TIEMPO DE ENSAYO MENOR DE 15' Y MARCHA POR INERCIA < DEL PERMISIBLE.

T A B L A # 7

REPORTE

ENSAYO DE MOTOR

MOTOR MODELO: KMUGX SERIE: 582 N° SERIE: 21K CLIENTE: MAR
POZO : MAR 2

TIP : 105		VOLTS: 1175			AMP3: 08			CICLOS : 60		
PARAMETROS		C/P								
		POZO: 28°C	30°C	35°C	40°C	45°C	50°C	55°C	60°C	
VOLTS ENTRE FASES	A-B	864	865	865	865	867	868	867	867	
	B-C	867	868	868	870	870	870	871	871	
	C-A	882	885	885	885	888	887	885	888	
AMP3. ENTRE FASES	A	28.0	25.3	24.1	23.1	22.4	22	21.5	21.3	
	B	25.8	24.7	23.4	22.8	22.2	21.7	21.5	21.1	
	C	24.5	23.2	22.3	21.4	20.8	20.8	20.2	20.2	
TIEMPO DE ENSAYO (MIN)/oC		1'	2'	4'	8'	8'	10'	13'	18'	
POTENCIA CONSUMIDA (KW)		24	21.3	18.8	18.8	14.8	13.8	12.3	11.4	
RPM		3592	3595	3588	3597	3588	3600	3600	3600	
MARCHA POR INERCIA (SEG)									0.087	
ARRANQUE BAJA TENSION		835 V	15.8 A	10.3 KW	83°C	3597 RPM			0.087	
RESIST. AISL. FRIO MEG OHMS CALIENTE		? 0	5050 VDC	20222 M?						
RESISTENCIA BOBINADO ESTATOR		A-B B-C C-A	0.35 ?							
CONST. DIELEC.ACFITE(KV)		24								

OBSERVACIONES: ENSAYO CON REPARACION, LAVADO Y SECADO DEL ESTATOR.
LA PRUEBA SE HIZO EN PRESENCIA DEL INGENIERO DE LA COMPAÑIA MAR.