

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA DE PETROLEO**



**“MEJORAS DEL SISTEMA B.E.S. FRENTE AL  
DESGASTE POR ARENA”**

**TESIS**

**BACHILLER**

**VICTOR HUGO VILLACORTA FELIX**

**CODIGO UNI**

**890066A**

**Lima – Perú**  
**1999**

*Dedicado a*  
*Mis Padres Abel y Teresa*  
*Mi esposa Rocio y mis hijas.*

# **" MEJORAS DEL SISTEMA B.E.S. FRENTE AL DESGASTE POR ARENA "**

## **I.- INTRODUCCION**

## **II.- DESAROLLO DEL TEMA**

### **II. 1 - ANTECEDENTES**

### **II. 2. - DESCRIPCION DEL SISTEMA ELECTROSUMERGIBLE**

#### **A.- Descripción de los principales equipos de subsuelo**

- a.- Generalidades**
- b.- Motor Eléctrico**
- c.- Sección Sellante**
- d.- Bomba Centrifuga**
- e.- Admisión / Separador de gas**
- f.- Cable de potencia**

#### **B.- Breve descripción de los equipos de superficie**

- a.- Transformador**
- b.- Panel de Control**
- c.- Amperímetro Registrador**
- d.- Medición de Presión de Fondo**
- e.- Caja de Conexiones**
- f.- Cabezal de Pozo**

### **II. 3. - OPERACION DE EQUIPOS EN MEDIOS AMBIENTES HOSTILES.**

## II. 4. - SISTEMA DE BOMBEO RESISTENTE A LA ABRASION

### II. 4.1.- DEFINICION DE BOMBA AR (Bomba resistente a la Abrasión)

II. 4.1.1 .- Bomba con soporte Radial (estabilizada) "S"

II. 4.1.2 .- Bomba resistente a la Abrasión de soporte radial "ARS"

II. 4.1.3 .- Bomba de Compresión resistente a la Abrasión "ARC"

II. 4.1.4 .- Bombas de Compresión "C"

II. 4.1.5 .- Bombas de Compresión Estabilizadas

### II. 4.2 .- FUNCIONES DE LA BOMBA AR

### II. 4.3 .- APLICACIONES DE LA BOMBA AR EN LOS CAMPOS DE LA SELVA NORTE

### II. 4.4 .- VENTAJAS SOBRE BOMBAS ESTANDAR

### II. 4.5 .- SELECCION DEL EQUIPO

### II. 4.6 .- APLICACION DE LA BOMBA DEACUERDO AL MRI.

II. 4.6 .1 .- BOMBA ESTANDAR (MRI 0-12)

II. 4.6 .2 .- BOMBA ESTABILIZADA "S" (MRI 0-15)

II. 4.6 .3 .- BOMBA DE COMPRESION "C" (MRI 0 - 20)

II. 4.6 .4 .- BOMBA RESISTENTE A LA ABRASION ESTABILIZADA "ARS" (RANGO MRI 0-30)

II. 4.6 .5 .- BOMBA DE COMPRESION RESISTENTE A LA ABRASION "ARC" (RANGO MRI 0-86)

II. 4.6 .6 .- BOMBA MODULAR RESISTENTE A LA ABRASION "ARM" (RANGO MRI 0-86)

II. 4.6 .7 .- BOMBA RESISTENTE A LA ABRASION "AR" (RANGO MRI 0-100)

**II. 5 .- INSTALACION**

**II. 6 .- CAUSAS PRINCIPALES DE LAS FALLAS DE BOMBAS "AR".**

**II. 7 .- ANALISIS DE FALLAS REALIZADOS A BOMBAS "AR"**

**II. 8 .- CASOS : POZOS SELVA NORTE**

**III .- COSTOS**

**IV .- CONCLUSIONES**

**V .- RECOMENDACIONES**

**VI .- BIBLIOGRAFIA**

**VII .- ANEXO**

# " MEJORAS DEL SISTEMA B.E.S. FRENTE AL DESGASTE POR ARENA "

## I.- INTRODUCCION

Desde 1979, en la selva peruana se viene utilizando en las operaciones de producción de petróleo equipos de bombeo electrocentrífugo, al inicio y aún actualmente, en algunos casos, con equipos simples con tablero de frecuencia fija trabajando según curvas de catalogo @ 60 Hz. y en otros casos con variadores de frecuencia debido al desconocimiento de la capacidad de aporte de la formación o para tener la posibilidad de manejar una amplia gama de caudales.

En la actualidad los métodos de levantamiento artificial que se usan en la selva peruana son el Sistema de Bombeo Electrosumergible, Sistema de Bombeo Mecánico y el Sistema de Gas Lift. Dentro de un total aproximado de 170 pozos produciendo a Setiembre-99, el sistema de Bombeo Electrosumergible representa el 97 % de los pozos en producción operando en la selva peruana.

Es de resaltar que solo dos Compañías que fabrican y comercializan electrosumergibles, han podido desarrollar tecnología para las condiciones de alta temperatura, corrosión y **alto contenido de arena de algunos pozos.**

En mérito a los resultados obtenidos, se ha realizado este estudio sobre la base de las "corridas" (tiempo de vida de cada instalación BES, en días) realizadas por equipos de estas dos compañías.

El problema que estudiamos es producido principalmente por la gran migración de finos de formación desde el reservorio hacia la bomba Electrosumergible que terminan por desgastarla rápidamente, investigaciones realizadas por las empresas manufactureras, desarrollaron un producto que desaparece este tipo de problema o atenúa el daño producido.

Inicialmente se desarrolla este producto para trabajar en condiciones de alta producción de arena en campos Petrolíferos de Colombia, Mar del Norte y USA.

## II.- DESAROLLO DEL TEMA

### II. 1 - ANTECEDENTES

Los reservorios de los campos de la Selva Norte del Perú son del tipo de Impulsión por Agua (Activo), con permeabilidad promedio de 1500 md. y porosidades promedias de 25 %, con índices de productividad que varían entre 0.5 y 100 Bls/psi. En el Anexo No. 1 se muestran las características promedio de los reservorios de la Selva Norte.

Estas propiedades, los sistemas de levantamiento artificial, facilidades operativas brindadas por las compañías de servicio especializadas y el amplio rango de operación de las bombas electrocentrifugas hacen de este sistema el más adecuado para la producción de petróleo en la selva norte.

Fue marzo de 1979 en que se inicio a operar con este sistema en el pozo 72D-Pavayacu de los campos de Petroperú actualmente explotado por Pluspetrol

Fue desde esa época que se desarrolla en el Perú el sistema de Bombeo Electrosumergible teniendo como objetivo incrementar el tiempo de vida debido a los altos costos que involucra un servicio de pozo para reemplazar un equipo BES, cada servicio cuesta alrededor de \$250,000.00 dólares americanos.

La primera alternativa para controlar los pozos con producción moderada de arena fue el uso de los insertos de mayor dureza dentro de la bomba teniendo un resultado excelente, el cual fue aplicado para el grueso de las instalaciones obteniéndose al momento resultados realmente excelentes.



## **II. 2. - DESCRIPCION DEL SISTEMA ELECTROSUMERGIBLE**

El Sistema de Bombeo Electrosumergible comprende dos grandes grupos:

### **A.- Descripción de los principales equipos de subsuelo**

- a.- Generalidades
- b.- Motor Eléctrico
- c.- Sección Sellante
- d.- Bomba Centrifuga
- e.- Admisión / Separador de gas
- f.- Cable de potencia

### **B.- Breve descripción de los equipos de superficie**

- a.- Transformador
- b.- Panel de Control
- c.- Amperímetro Registrador
- d.- Medición de Presión de Fondo
- e.- Caja de Conexiones
- f.- Cabezal de Pozo

## **A) EQUIPO DE SUBSUELO**

### **a) Generalidades**

La bomba ESP convierte la energía entregada por un motor eléctrico en energía hidráulica. El componente potencial (presión) de esta energía contenida en el fluido impulsa el fluido hacia la superficie. Existe una amplia gama de equipos para las diferentes necesidades, publicadas en los catálogos de las compañías fabricantes.

En la figura 1 se puede observar una instalación típica.

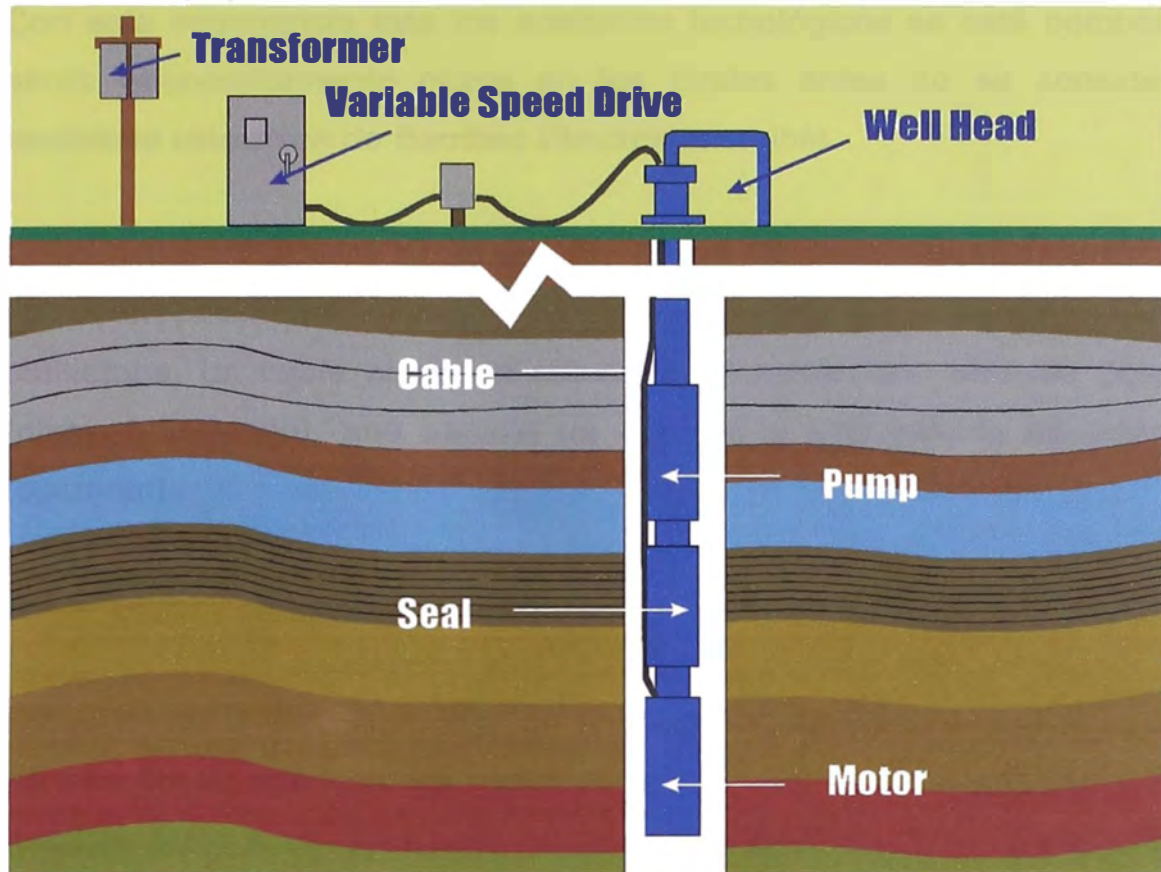


Fig. # 1

Se considera al Bombeo Electrosumergible como un sistema de extracción artificial para volúmenes relativamente altos, mayormente aplicables en reservorios que están bajo la influencia de empuje natural de agua o en reservorios con inyección de agua, y que además tienen altos porcentajes de la misma y bajo GOR.

A través de los años, las compañías dedicadas al Bombeo Electrosumergible (BES) conjuntamente con las principales compañías productoras de petróleo han obtenido una considerable experiencia en la producción de fluidos de alta viscosidad (Venezuela Campo de Urdaneta

Oeste), en pozos gasíferos (México), pozos de alta temperatura (PERU), etc.

Con esta experiencia más los adelantos tecnológicos se está bombeando ahora económicamente pozos en los cuales antes no se consideraba posible la utilización de Bombeo Electrosumergible.

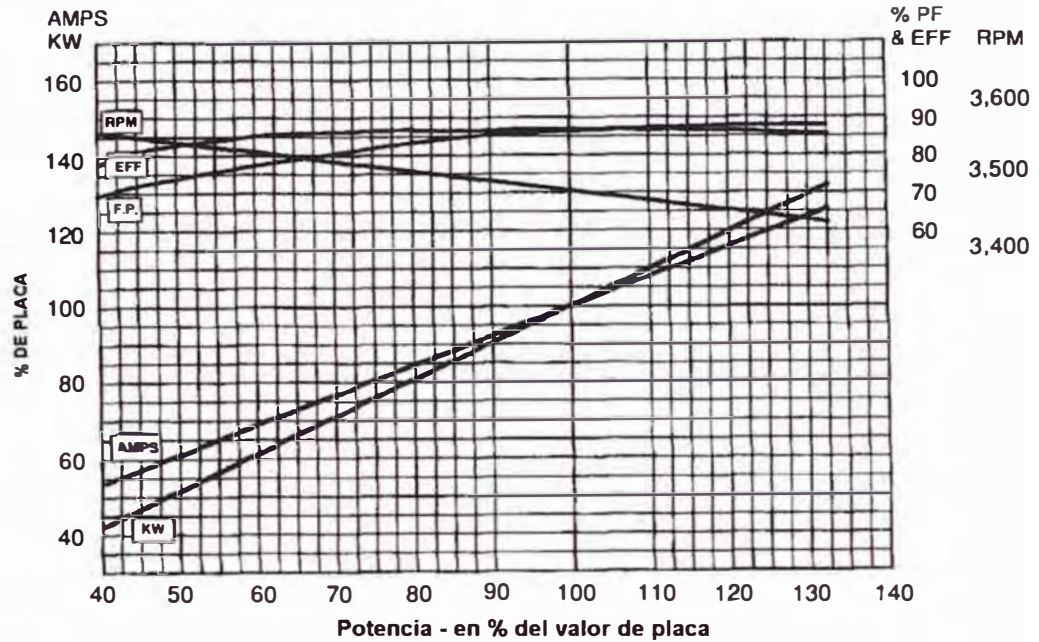
La instalación típica de fondo de una unidad Electrosumergible consiste de un motor eléctrico trifásico, una Sección Sellante, una bomba centrífuga multietapa, un cable plano de extensión al motor, un cable de potencia (plano o redondo), una válvula de drenaje, y una válvula de retención (opcional).

#### b) Motor Eléctrico Sumergible

Los motores eléctricos usados en operaciones de bombeo sumergible son de dos polos, trifásico, tipo jaula de ardilla, del tipo de inducción. Estos motores giran a 3475 r.p.m. a 60 hertz y a 2900 r.p.m. a 50 hertz; están llenos de aceite altamente refinado con alta resistencia dieléctrica. El voltaje de diseño y operación de estos motores puede ser tan bajo como 230 V, o tan alto como 5000 V. Los requerimientos de amperaje pueden variar entre 12 y 120 amps. La cantidad de HPs se alcanza simplemente incrementando la longitud del motor. El motor consta de rotores, usualmente de 12 a 18 pulgadas de largo, montados sobre un eje y ubicados en el campo magnético (estator) construido dentro del alojamiento de acero. El motor individual más grande alcanzará unos 33 ft de longitud con una potencia de hasta 400 HP, mientras que los tandem alcanzaran hasta 90 ft de longitud con una potencia de hasta 1000 HP en 60 hertz.

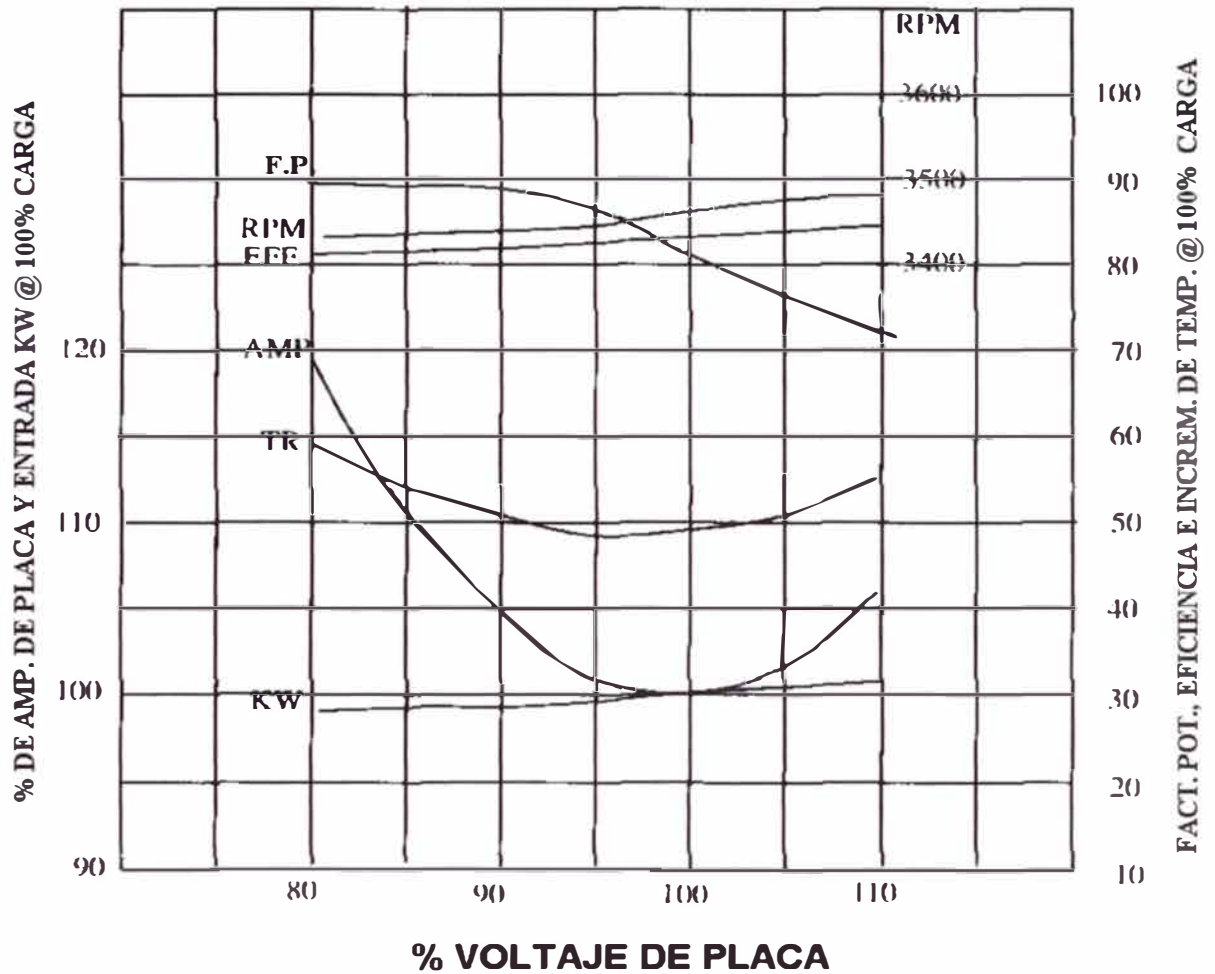
La figura 2 muestra las curvas características de los motores sumergibles, en función del estado de carga(% HP), y al voltaje nominal.

Fig. # 2



La figura 3 a continuación, nos muestra los cambios de velocidad, eficiencia, factor de potencia, amperaje y kilowatts de entrada para una carga de bomba determinada variando el voltaje. Si se opera a un voltaje menor que el nominal se obtiene una menor velocidad y mayor corriente.

**Fig. # 3**



Menor velocidad implica menor caudal a la salida de la bomba dado que el volumen varía directamente con la velocidad y la altura de la columna generada varía con el cuadrado de la velocidad. Si se opera a un voltaje mayor que el nominal, se afecta la corriente y los KW con una reducción en el factor de potencia. Esto es una consideración importante si existen penalizaciones referidas al factor de potencia.

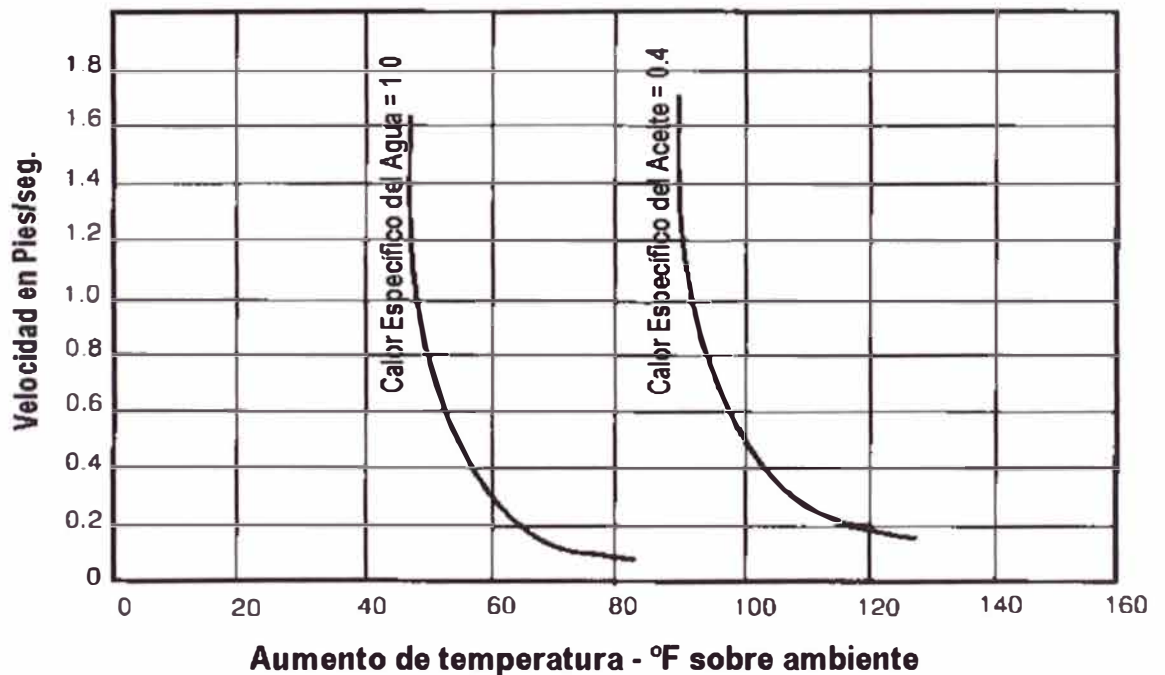
La práctica ideal consiste en tratar de obtener un 100% del voltaje requerido en superficie, mas o menos 2%, esto nos dará el mejor funcionamiento en general.

En la figura 4 se muestra el aumento de temperatura para el 100% de carga del motor en agua (calor especifico = 1.0), y en petróleo crudo (calor especifico = 0.4).

Puede verse en la figura 4 que para caudales que permitan una velocidad de circulación del fluido del pozo (medio refrigerante) alrededor del motor del orden de 1 pie/seg. , O mayores; el incremento de temperatura del motor por encima de la del pozo, toma valores definidos. Pero para caudales de producción que no lleguen a permitir una velocidad de circulación de 1 ft/sg la temperatura en el interior del motor crece rápidamente. La temperatura de trabajo del motor será la suma de la temperatura del fluido en el pozo mas el incremento de temperatura obtenido en la figura 4.

**Fig. # 4**

**Incremento de calor vs. Velocidad del Fluido  
Curva Generalizada @ 100% Carga**



El motor tiene un cojinete de empuje que debe soportar todas las cargas de empuje del eje del motor que soporta el conjunto rotatorio con cojinetes. Tal como el cojinete de la Sección Sellante, este también es un cojinete de zapata sólida.

Si el voltaje aplicado al motor instalado es mayor que el voltaje nominal, el motor girará más rápido, tendrá un menor factor de potencia, y debido a la mayor velocidad desarrollará mas potencia para alimentar la demanda creciente de la bomba centrifuga. Si el voltaje es muy bajo se producirá el caso opuesto.

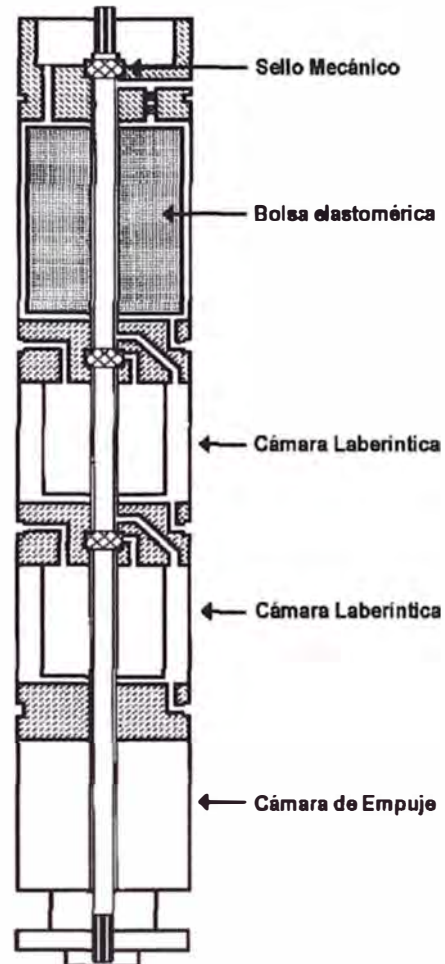
Los materiales para los aislamientos del bobinado están clasificadas para 180 °C (356 °F), o clase H los motores también están impregnados interiormente con resina Epóxyca. Este sistema de impregnación de ranuras mejora la transferencia de calor desde el motor, hacia el fluido del pozo (medio refrigerante).

El diseño actual de motores para instalación en forros de 5.5" de OD incluye un rango amplio hasta un máximo de 240 HP; en 7" de OD hasta 450 HP, y para forros de 8.625" y mayores, hasta 1000 HP. Se dispone de mayores potencias a pedido.

c) Sección Sellante

La Sección Sellante (Fig. # 5) realiza cuatro funciones básicas:

**Fig. # 5**



1. Conecta el cuerpo del motor con el cuerpo de la bomba y el eje del motor con el eje de la bomba.
2. Aloja el cojinete de empuje de la bomba o "thrust bearing".
3. Aísla al motor de los fluidos del pozo, permitiendo un balance de presiones entre el interior del motor y los fluidos del pozo
4. Provee el volumen necesario para la expansión del aceite de la unidad debido al calor generado cuando el motor está en operación y a la temperatura del pozo.



Durante la instalación, algo de fluido del pozo entra en la parte de arriba de la cámara superior del sello a medida que la bomba se baja en el pozo; sin embargo dado a que hay comunicación (aunque no hay contacto) entre el fluido del pozo y la unidad llena de aceite, la presión interna del motor es aproximadamente igual a la presión de sumergencia.

El "Seal Section" o Sección Sellante, utiliza una bolsa elástica para separar los fluidos del pozo del aceite especial que llena el motor y la Sección Sellante. Justo antes de ser bajada al pozo la bolsa elástica se colapsa hidráulicamente bombeando aceite en el espacio anular entre dicha bolsa y el alojamiento del sello y permitiendo que se desaloje el fluido del interior de la bolsa.

De lo anterior se obtienen dos características importantes:

1. No se ejerce presión en la bolsa elástica debido a la expansión/contracción del aceite del motor a medida que se calienta y/o enfría
2. Como la bolsa elástica se colapsa a temperatura ambiente y ahora puede absorber la expansión/contracción del aceite del motor se requiere una válvula de retención para aliviar la presión del interior de la bolsa.

Durante la Operación:

Con el motor operando el aceite se expande debido al incremento de temperatura del mismo. El aceite se mueve hacia arriba dentro de la bolsa elástica, y la expande parcialmente, el volumen de la bolsa es suficientemente grande para contener la expansión desde la temperatura ambiente hasta la temperatura de fondo, y hasta la temperatura de operación, sin ejercer presión sobre dicha bolsa.

Cuando la Sección Sellante esta detenida:

Cuando el motor para y se enfría, el aceite se contrae, la bolsa elástica absorbe ese cambio en volumen sin mayor esfuerzo, debido a que el volumen reducido de aceite permite que la bolsa se contraiga, y el fluido del pozo acompañe esta contracción en el espacio anular entre la bolsa y el interior del alojamiento de la Sección Sellante.

Los fabricantes proveen conjuntos Sellantes de varias medidas para adaptarse a varios dimensionamientos de bomba y motor. Es de gran importancia al seleccionar una Bomba y Sección Sellante que queden suficiente lugar entre el diámetro exterior del sello y el diámetro interior del "casing" para permitir el pasaje del cable plano que se conecta al motor, ubicado abajo del conjunto Bomba y Sección Sellante. El eje del motor se conecta al eje de la bomba mediante el eje del sello con acoplamientos estriados en ambos extremos. El extremo inferior del eje del sello se acopla con el eje del motor. El extremo superior del eje del sello se acopla en el eje de la bomba de tal manera que el peso del eje de la bomba, la carga hidráulica longitudinal en el eje de la bomba, y cualquier carga fija longitudinal de los impulsores sea transmitida desde la bomba al conjunto Sellante. Estas cargas son transmitidas a su vez al cojinete de empuje.

### Cojinetes de empuje

El diseño de los cojinetes de empuje responde al tipo llamado de "zapata sólida" o al de "zapata pivotante". El cojinete consiste usualmente, de seis zapatas individuales montadas en pedestales ubicados en el centro de dichas zapatas. Cada pedestal no es tan rígido como para no poder deflexionar un poco, y en efecto esto es lo que sucede. La operación de cualquier cojinete, ya sea plano o cilíndrico, depende del desarrollo de una película de aceite permanente a través de las superficies en contacto. En el caso de la zapata pivotante, o en el de la zapata sólida, el patín de la zapata arrastra aceite consigo sobre el cojinete. En ambos casos se desarrolla y se mantiene una película de aceite, amenos que ocurra una falla catastrófica (rotura).

Tanto la zapata pivotante, como la montada fija sobre el pedestal producen una deflexión en el ángulo de entrada, permitiendo de esta manera que se forme la película lubricante. Como la zapata debe deflecionar, la capa de aceite se acuña por lo que cada zapata no debe ser tan larga como para que el aceite sea estrujado antes de llegar al fin de la zapata. Para cada diámetro hay un número óptimo de zapatas de un largo y ancho dados. Un cambio en cualquiera de estas dimensiones implica un cambio en las otras dos.

La zapata sólida admite menos desalineamiento que la zapata pivotante. Esto conjuntamente con su limitación por resistencia a la deflexión, hace que la zapata sólida sea diseñada para menores cargas.

Uno de los factores usados en la determinación de la carga admisible en los cojinetes, es una expresión llamada "número de operación"

Viscosidad x velocidad del patín

5 x presión x long de zapata

Un incremento de presión disminuye el número de operación y también el espesor de la película de aceite dado que la presión se encuentra en el denominador. Un incremento de temperatura disminuye la viscosidad y correspondientemente disminuye el espesor de la película de aceite dado que viscosidad está en el numerador. De acá puede observarse que la viscosidad del aceite usado es un factor muy importante en la vida del cojinete de empuje.

Resumiendo, puede decirse que los enemigos de los cojinetes de empuje son:

1. Reducción de viscosidad por temperatura
2. Falta de alineamiento
3. Partículas extrañas, y
4. Vibración. La vibración y la falta de alineación pueden destruir la película de aceite permitiendo el contacto metal con metal, y el desgaste de los cojinetes.

d) La Bomba

Las bombas sumergibles son bombas centrifugas de etapas múltiples; cada una de estas etapas consta de un impulsor rotativo y un difusor estacionario (figura 6)

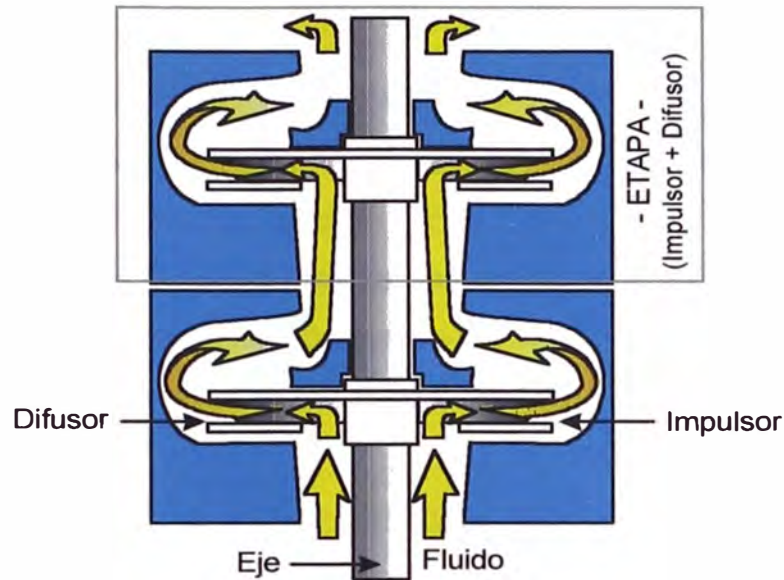


Fig. # 6

Los impulsores son del tipo llamado "flotantes o balanceados" y para las unidades de altos volúmenes son "de tipo fijo". Los impulsores del tipo "flotante" son los usados mas comúnmente a raíz de que los impulsores del tipo "fijo" tienen asociada una gran carga de empuje axial sobre los cojinetes de empuje axial.

Los impulsores tienen un diseño de álabe curvo y son totalmente cerrados; su máxima eficiencia es función del diseño y tipo del impulsor, y su eficiencia de operación es función del porcentual de la capacidad de diseño al cual se opera la bomba.

La relación matemática entre altura de columna, capacidad, eficiencia y potencia al freno esta expresada como:

$$\text{BHP} = \frac{Q \times H \times \text{Sp Gr}}{\text{Eff.} \times K} = \frac{Q \text{ (M}^3\text{/D)} \times H \text{ (M)} \times \text{Sp Gr}}{\text{Eff.} \times 6480} = \frac{Q \text{ (BPD)} \times H \text{ (ft)} \times \text{Sp Gr}}{\text{Eff.} \times 136000}$$

Donde:

BHP(Brake Horse Power) = Potencia al freno (HP)

Q = caudal; medido en (M<sup>3</sup>/H), (M<sup>3</sup>/D), (GPM), (BPD)

H = altura de columna; medida en (M), (ft)

Sp,Gr.(Specific Gravity) = peso especifico relativo

Eff = Eficiencia de la bomba (tanto por uno)

K = constante según unidades empleadas; 274, 6480, 3960, 136000

### Dimensiones Externas del Equipo Electrosumergible

La configuración y diámetro del impulsor de la bomba determina la cantidad de energía que se transmite al fluido. El diámetro exterior del impulsor esta restringido por el diámetro interno del "housing" o alojamiento de la bomba, el cual a su vez está restringido por el diámetro interno de los forros, y este a su vez por el del pozo. El diámetro interno del impulsor depende del diámetro exterior del eje el cual debe ser lo suficientemente fuerte como para transmitir potencia a todas las etapas de la bomba. Las bombas centrífugas sumergibles se construyen para distintos diámetros de los forros de los pozos; estos diámetros de los forros pueden ser 4.5 o mayores.

La tabla 1 presenta los diámetros exteriores aproximados de los equipos disponibles para las diferentes medidas de diámetro exterior de casing. Para cualquier diámetro dado de alojamiento y eje de bomba el diámetro de impulsor será constante.

TABLA 1

TABLA 1			
CASING (OD)	PESO #/FT	MOTOR (OD)	BOMBA (OD)
5 1/2"	20	4 1/2"	4"
	17		
	15.5		
7"	28	4 1/2" , 5 1/2"	4" , 5 1/8"
	26		
	24		
	20		
8 5/8" O >	TODOS LOS PESOS	4 1/2" , 5 1/8" , 7 1/4"	4" , 5 1/8" , 6 3/4"

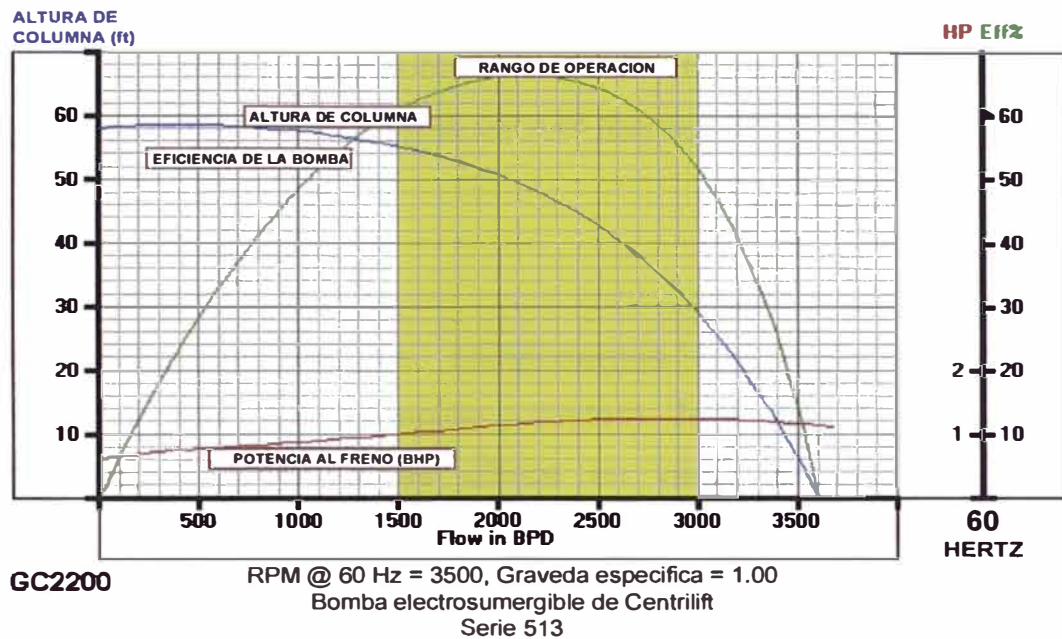
### Empujes Axiales

Los impulsores están diseñados de tal manera que la fuerza en cada lado de la etapa (succión y descarga) esta balanceada aproximadamente en el "pico de eficiencia". Un impulsor que trabaja a una capacidad mayor que la de diseño, presentara un empuje hacia arriba ; inversamente cuando la bomba trabaja en un caudal menor que el de diseño dará un empuje hacia abajo.

Por estas razones es que una bomba se debe operar dentro de ciertos rangos de volumen para minimizar el desgaste de impulsores y cojinetes de empuje estos rangos de volumen varia con los diferentes tipos de bombas pero una buena regla a seguir indica que la capacidad al mínimo rango no debe ser inferior al del 75% del pico de eficiencia (eficiencia máxima de la bomba ) , y que la capacidad al máximo rango no debe exceder el 125% de la capacidad en el pico de eficiencia.

En la figura 7 se muestra un ejemplo de este rango optimo. Se minimiza el desgaste operando dentro de este rango.

Fig. # 7



#### e) Admisión / Separador de Gas

Admisión es el dispositivo por el cual se acopla la Sección Sellante a la bomba y permite el ingreso del fluido a través de él.

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 relativa elevada relación gas-aceite (alto GOR de producción), es necesario emplear separadores de gas en lugar de simples Admisiones. La eficiencia de la bomba es afectada notablemente con la presencia de gas libre. 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 liquido de baja densidad.

El diseño de la Bomba Electrosumergible le permite operar normalmente con un porcentaje de gas libre de hasta el 10% por volumen. Si el gas libre presente en la entrada de la bomba es de más del 10%, afectará su funcionamiento e incrementará la posibilidad de cavitación o bloqueo por gas en la bomba. Cuando el gas libre presente en la entrada de la bomba se aproxima a este rango es recomendable el uso del separador de gas o etapas especialmente diseñadas para el manejo de gas libre.

f) Cable de potencia

Es sin duda uno de los componentes fundamentales del Equipo Electrosumergible (por su función y costos). Todos los cables cumplen con estrictas especificaciones; se ofrece en varios tamaños de conductor (A.W.G. No1, No 2, No 4, No 6) y materiales, tanto en configuraciones redondas como planas. El conductor es de cobre de uno o más hilos por fase los materiales aislantes y el diseño de construcción del cable son de continuo cambio y mejoramiento por parte de las empresas líderes en este campo. Existen cables especiales para altas temperaturas (hasta 450°F) y para pozos con altos GOR.

**B) EQUIPO DE SUPERFICIE**

El equipo típico de superficie consiste de:

a) Transformador

Transformador trifásico que transforma el voltaje enviado por gruesos cables desde un generador a la entrada de el transformador conocido como el primario en alto voltaje el cual servirá para abastecer al motor sumergible dentro de el pozo

Ej.: Ingresamos al transformador 480VAC y en conexión WYE tendremos en el secundario 3845VAC.



b) Controlador del motor (VSD frecuencia variable o Switchboard frecuencia fija)

**VSD.-** El Variador de frecuencia Es un tablero de control de alta tecnología que permite al operador, como su mismo nombre lo indica, variar la frecuencia de giro de la bomba enviando señales al motor a través del cable trifásico sin tener que parar el equipo de fondo, entre un rango nominal de 10-120 Hertz.

El “Electrosped ICS” (modelo con que actualmente operamos), está clasificado como un inversor de voltage variable, porque convierte la tensión alterna en tensión directa variable.

**“Switchboard”.-** El controlador del motor estándar es un control de operación y dispositivo protector que consiste en: el arrancador del motor, protección de sobrecarga y baja carga, una llave manual para desconectarlo, retardo de tiempo y amperímetro registrador. También puede instalarse en el gabinete el equipo de superficie que se usa en conjunción con el sensor de presión de fondo. Están provistos los fusibles para protección por cortos circuitos, estos fusibles están instalados internamente. Generalmente los fusibles deben ser del menor rango que permita hacer arrancar el motor. El breve tiempo de aceleración de un motor sumergible, cuando esta instalado en el pozo, es de menos de 0.5 seg. ; los fusibles y “Relays” de protección de sobrecarga deben ser rápidos como para proteger el equipo de fondo. Los dispositivos externos de control deben estar en interfase con el controlador, tal como esta recomendado y/o aprobado por el fabricante de las bombas para brindar una operación mejor y libre de problemas. Todos los dispositivos externos de control están conectados a un retardador de tiempo, el cual activa o desactiva el controlador.

Los dispositivos externos de control más usuales son el control de nivel alto o bajo del tanque de descarga, o llave de presión de línea, es necesaria

una protección por baja carga, o agotamiento de nivel dado que un flujo escaso a través del motor no enfriará a este lo suficiente. En todos los controladores esta provisto el re arranque automático después de una detención por baja carga; si la detención fue por sobrecarga en el motor el controlador no permitirá que re arranque nuevamente hasta que no se verifique con personal de servicio especializado que produjo dicha sobrecarga.

Se dispone también de controladores de motores de estado sólido; estos reemplazan los mecanismos convencionales de corte por sobrecarga, baja carga y falta de fase. Estos controladores de estado sólido ofrecen una protección retardada por baja carga en las tres fases, protección retardada por sobrecarga, y protección automática contra condiciones de voltaje desbalanceado (fase única es el caso extremo).

c) Amperímetro registrador

El Amperímetro Registrador es un instrumento importante en la medida que provee de un registro continuo del amperaje consumido por el motor. Siendo capaz de medir corrientes, el registrador puede ser usado para analizar las condiciones de bombeo, ya que es un reflejo de lo que sucede con el motor en el fondo del pozo.

Aunque no se pueden determinar las condiciones exactas de potencia mediante la carta amperométrica, las lecturas nos dan una indicación inmediata de posibles problemas u operación normal por esta razón todas las instalaciones de bombas eléctricas sumergibles deben estar equipadas con el amperímetro registrador.

d) Medición de presión de fondo

Mediante el uso de indicadores de presión de fondo se dispone de una valiosa información del reservorio y del funcionamiento de la bomba. Correlacionando la presión dinámica del pozo con el régimen de extracción,

un operador puede considerar la necesidad de cambiar el tamaño de la bomba o el régimen de inyección o la reparación del pozo.

Hay tipos de dispositivos para indicar la presión de fondo, disponibles de los fabricantes de bomba; el método convencional es un sistema patentado, llamado "Sistema PHD". Este sistema tiene la capacidad de:

1. Monitorear continuamente la presión de fondo del pozo a la profundidad de operación de la bomba, y
2. Detectar fallas eléctricas, tales como cortos a tierra. O solamente falta de aislamiento en algún punto del sistema eléctrico.

Este sistema no requiere cables especiales dado que todas las señales son enviadas a los instrumentos de superficie a través del cable de potencia regular. Puede usarse un registrador portátil opcional para obtener un registro permanente de presiones.

e) Caja de conexiones

La caja de conexiones también llamada caja de venteo, cumple las siguientes funciones:

1. Provee un lugar donde conectar el cable de potencia que viene del controlador, con el cable de potencia que viene del pozo;
2. Provee un venteo a la atmósfera para que el gas pueda migrar a la superficie por el interior del cable de potencia del pozo.

f) Cabezal de boca de pozo

Este elemento sirve para colgar todo el equipo de fondo (motor, sello, bomba, cable), así como también la cañería de producción (tubing). El cabezal de boca de pozo debe estar equipado con un dispositivo que permita sellar alrededor del cable y el tubing, para evitar las fugas de gas o la surgencia imprevista del pozo.

Se dispone de varios métodos diferentes de sellado de los distintos proveedores de cabezales. Dependiendo del método usado, el sello soportará entre 500 y 3000 psi, o más.

### II. 3. - OPERACION DE EQUIPOS EN MEDIOS AMBIENTES HOSTILES.

El incremento de las unidades ESP en el mundo han hecho que empresas líderes en la investigación realicen estudios para desarrollar equipos electrosumergibles que sean rentables para operar en medios como:

- Alta Temperatura.
- Fluidos altamente abrasivos.
- Fluidos Corrosivos.
- Alta Producción de Gas.
- Altos Volúmenes en Diámetros de Casing reducidos.

Casos que merecen un comentario aparte pero este trabajo estará dirigido a **Fluidos altamente abrasivos** por ello solo tomaremos el tema superficialmente.

#### **Alta Temperatura.**

Debido a la necesidad de incrementar los regímenes de extracción en pozos que tienen la capacidad de aporte no explotada profundizamos la bomba a niveles que pueden estar muy cerca de la temperatura de reservorio, temperatura que alcanza los 292 °F.

Los equipos electrosumergibles fueron inicialmente diseñados para operar hasta 250°F diseños que están siendo mejorados en los últimos años llegando a soportar temperaturas del orden de 500°F en los pozos donde existe recuperación secundaria con inyección de vapor.

Por esta razón importantes cambios se han realizado en los equipos por ejemplo:

**Motor.-** Se han mejorado los materiales aislantes para la fase conductor-conductor y conductor-tierra, material epoxyco reemplazando al barniz clásico, muchas tolerancias en los espacios anulares de bushing/ sleeves han sido modificadas por el efecto de la dilatación térmica, un especial Fluopolimero ha sido desarrollado para soportar esfuerzos eléctricos, magnéticos y altas temperaturas en los cables conductores del motor.

Es necesario recalcar que el material aislante mejorado deberá exceder el valor que presentarían la suma de la temperatura del fluido(muy semejante a la temperatura de reservorio) y el incremento de temperatura por el trabajo del equipo mismo (aproximadamente 100°F).

El tiempo de operatividad del aislamiento dieléctrico sigue la regla de Arrhenius que dice que el tiempo de vida del equipo es reducido a la mitad por cada 10°C sobre el límite térmico máximo, el tiempo de vida máximo del sistema de aislamiento operando dentro de sus límites de temperatura es de 15 años.

Debido a los volúmenes de extracción, la complejidad del bombeo de fondo y el crecimiento en el uso de "VSD" en algunos pozos será necesario la instalación de motores de alto caballaje. Para seleccionar el adecuado motor para la aplicación de alta temperatura deberá tomar en cuenta que la temperatura es función de la carga del motor, diseño del motor, Voltaje del motor, forma de onda del voltaje de ingreso al "VSD" y Transformador de potencia, disipación de calor y características dimensionales del pozo.

Para un Motor BES al incrementar la carga incrementará la temperatura de la misma forma si bajamos la carga bajará la temperatura, el equipo adecuado se escogerá entre una gama de motores que las compañías de servicio ofrecen para la carga solicitada por el resto del equipo y no sobrecargar el motor o trabajar muy por debajo del valor de placa pues esto hará que el valor de la temperatura se incremente a valores por encima del máximo permisible.

Tres importantes factores de diseño impactan en el incremento de temperatura.

El primer factor de diseño es la eficiencia, a mayor eficiencia un menor calor será generado en el motor.

El Segundo factor es la eficiencia de la conductividad térmica, como ya había escrito líneas arriba es reconocida como la eficiencia del encapsulado epoxyco.

El ultimo factor es asociado al medio ambiente de operación del equipo, como el motor es enfriado por el fluido producido que a su vez tiene mucha influencia dependiendo de el calor especifico, tendencia del fluido a formar capas de incrustaciones, % de corte de agua, gravedad del fluido, cantidad de gas libre pasando frente al motor, tendencia a formar emulsiones y otros. Cada una de estos factores puede tener mayor o menor incidencia sobre el calor especifico del fluido, propiedad que es determinante en el incremento de temperatura.

La forma de la onda del voltaje es importante para casos donde se use "x/l" o "VSD" la distorsión de estas ondas se conocen como armónicos y en mayor o menor magnitud afectan al incremento de la temperatura de el motor aproximadamente 10% de incremento en la temperatura por el fenómeno conocido como armónicos.

Aparte de cambios en el motor también se deben hacer modificaciones en las bombas, Sección Sellante y otros asociados a esta operación. En todos los casos redimensionaron las tolerancias por dilatación térmica y el uso del EPDM para aplicaciones en equipos diseñados para alta temperatura. En muchos de los casos es necesario la implementación de forros de plomo en el cable principal debido a la invasión de fluidos asociado a la temperatura.

**Fluidos altamente Abrasivos** - Estudiaremos en detalle mas adelante.

### **Fluidos Corrosivos**

Debido a la presencia de aguas con el petróleo y a las altas temperaturas notamos la presencia de la corrosión asociada al H<sub>2</sub>S, CO<sub>2</sub>, no solo por su

presencia en el crudo si no también por la inyección de CO<sub>2</sub> en la recuperación secundaria, ha sido entonces necesario en algunos casos cambiar el material de acero al carbono a acero Ferrítico y cables con chaqueta de plomo con excelentes resultados en nuestras operaciones, obviamente se probó en el Perú el uso de recubrimientos para las bombas y otro tipo de recubrimiento en el cable sin resultados positivos.

### **Alta Producción de Gas**

El problema básico es que una bomba BES no es un eficiente compresor, entonces al quedar un porcentaje de gas libre en la bomba (siendo el máximo aceptable 10%) la bomba no trabaja con una correcta eficiencia desgastándose de manera no uniforme las etapas, las etapas inferiores con más desgaste que las etapas superiores, el desgaste de las partes internas produce alta vibración que finalmente terminan por perder el ensamblaje milimétrico de fábrica produciéndose así una baja en el caudal, baja de consumo en Amperios, etc.

Soluciones para este tipo de problema encontramos en el mercado mediante la aplicación de:

- Separadores de Gas Centrifugo.
- Profundización de la unidad ESP.
- Ubicar la bomba debajo de los perforados con Motor Jacket.
- Uso de "Tapered Pump".

### **Altos Volúmenes en Diámetros de Forros reducidos.**

Pozos perforados en años pasados completados con casing de diámetros reducidos 5 ½" o menos cuyas producciones estaban limitadas hasta los 3500 bpd son ahora perfectamente rentables con equipos ESP de 4" o menos produciendo sobre los 6500 bpd.

## II. 4. - SISTEMA DE BOMBEO RESISTENTE A LA ABRASION

La producción de fluidos abrasivos causa el desgaste acelerado de algunos componentes vitales del sistema de Bombeo Electrosumergible, lo cual disminuye notablemente el tiempo útil de operación de el sistema. Muchos factores deben ser tomados en cuenta para la selección de un sistema de Bombeo Electrosumergible resistente a la abrasión (AR). Cuando una bomba es operada en condiciones abrasivas, se pueden presentar diferentes variables como:

- Cantidad de Arena.
- Solubilidad de el ácido presente
- Distribución de el tamaño de las partículas.
- Cantidad de cuarzo.
- Geometría de la arena.

Todos estos factores deben ser tomados en cuenta para la selección de la bomba AR que mas se adapte a las condiciones de el pozo a un costo razonable.

El manejo de fluidos abrasivos es perjudicial para el equipo Electrosumergible y especialmente para la bomba. En pozos con características abrasivas por lo general se observan tres patrones de desgaste:

- Desgaste Radial en el “bushing” del cabezal y base de la bomba al igual que las etapas.
- Desgaste axial en las superficies de empuje de las etapas.
- Desgaste erosivo en el área de flujo de la bomba como en el separador de gas si fuese usado.

Para combatir el desgaste de la bomba y prolongar el tiempo de operación, se ha desarrollado una amplia gama de bombas resistentes a la abrasión las cuales incorporan materiales de mayor resistencia y diseños especiales para alargar la vida del equipo cuando es operado en fluido abrasivo.



La mayoría de bombas son diseñadas con impulsores flotantes, en los cuales el impulsor se mueve axialmente en el eje tocando las superficies de empuje del difusor. La etapa soporta y absorbe el empuje del impulsor. Normalmente el empuje es transferido a través de arandelas de empuje al difusor y al alojamiento, es en este lugar donde se hace evidente el primer desgaste de la bomba. Un desgaste progresivo tendera a destruir las arandelas de empuje causando el contacto metal-metal entre el impulsor y el difusor destruyendo las etapas y posteriormente trabando la bomba.

Las bombas de impulsores fijos (de compresión) poseen mayor resistencia al desgaste radial ya que los impulsores están fijos sobre el eje de tal forma que no es posible el desplazamiento axial sobre el eje. Los impulsores están localizados de manera tal que están girando dentro de un espacio limitado por una distancia mínima entre los difusores ubicados arriba y abajo de estos. En este tipo de bombas el empuje de el impulsor es transferido al eje de la bomba. El empuje total es absorbido por el "thrust bearing" de la Sección Sellante.

El desgaste radial comienza a desarrollarse en los "bushings" de la bomba, causando una rotación excéntrica de los impulsores la cual crea vibración en la bomba. Si el desgaste axial de las superficies de empuje no causan la falla de la bomba, la vibración creada por el desgaste radial terminará traduciéndose en una falla de los sellos mecánicos lo cual permitirá la invasión prematura de fluidos al motor.

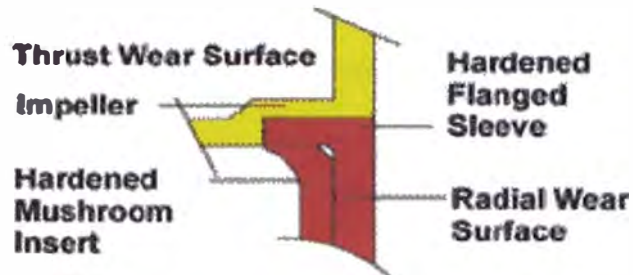
Los siguientes tipos de bomba son diseñadas especialmente para disminuir el proceso de desgaste que ocurre en la operación de equipos Electrosumergibles en medios abrasivos.

#### **II. 4.1 DEFINICION DE BOMBA AR (Bomba resistente a la Abrasión)**

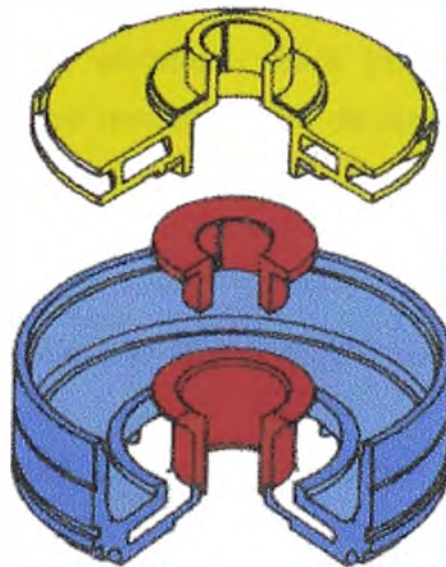
Bomba diseñada para trabajar en medios desde leve hasta altamente abrasivos dependiendo de la configuración a la cual se construya, usa impulsores flotantes con inserciones de metalurgia especial (fig. # 8) en

cada una de sus etapas para minimizar el desgaste radial y axial dentro de cada etapa.

**Fig. # 8**



**Fig. # 9**



Existe una gama de materiales resistentes a la abrasión en el mercado siendo la mejor el carburo de tungsteno, sin embargo otros materiales son usados dependiendo de la severidad de la aplicación. Una superficie de contacto reforzada en forma de hongo extiende la vida de soporte radial de

cada una de las etapas. La otra superficie contacto reforzada gira con el impulsor y su diseño especial provee protección contra el desgaste axial de el impulsor y el difusor (fig. # 9).

Este tipo de bombas resistentes a la abrasión fueron originalmente desarrolladas para aplicaciones en el mar de el norte, las cuales luego de un continuo plan de desarrollo e investigación han mejorado notablemente el tiempo de operación con respecto a los modelos convencionales.

#### **II. 4.1.1 .- Bomba con soporte Radial (estabilizada) “S”**

Este tipo de bomba esta diseñada para ser operada en condiciones de flujo abrasivo moderado. Utiliza impulsores de el tipo flotante estándar a lo largo de la bomba con inserciones de metalurgia especial en la parte superior e inferior de la bomba. Dependiendo en el modelo de la bomba, el soporte en la parte inferior puede ser obtenido por un cojinete de diseño especial o por una etapa resistente a la abrasión. Este tipo de bomba es bastante económico pero solo provee resistencia al desgaste radial la resistencia al desgaste axial causado por el empuje de las etapas no mejora con este diseño.

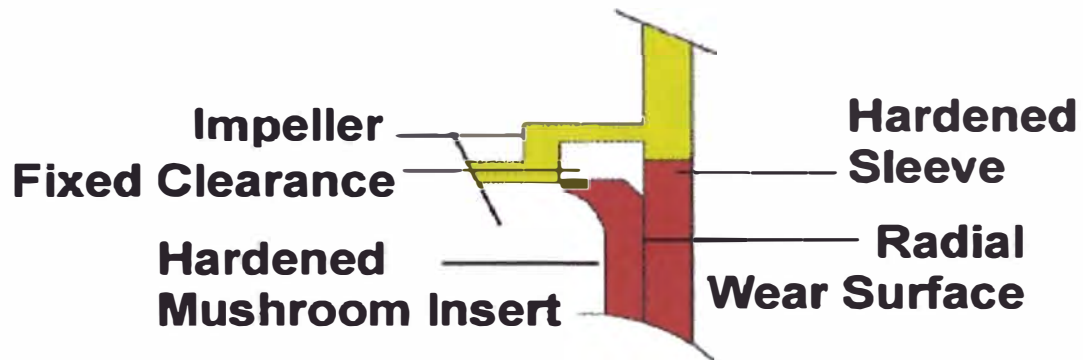
#### **II. 4.1.2 .- Bomba resistente a la Abrasión de soporte radial “ARS”**

Este es un diseño para ser usado en pozos con moderado flujo abrasivo. Utiliza impulsores flotantes de el tipo estándar a lo largo de la bomba pero cuenta con por lo menos una etapa AR, la proporción de etapas AR que se incluyan en la bomba dependerá de las características de el pozo (abrasividad, temperatura, etc.) y de el presupuesto disponible.

Las etapas AR usadas en este tipo de bombas contienen superficies de contacto reforzadas, las cuales son rectas (fig. # 10 “straight sleeve”) y proveen soporte radial a las etapas. Las etapas AR pueden ser distribuidas en la configuración deseada, cuanto mayor sea el numero de etapas AR en

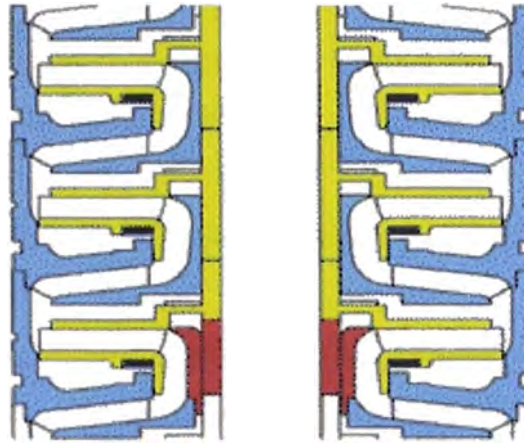
proporción a las etapas estándar, mayor será la protección al desgaste y a su vez aumentaran el costo de la bomba. Este diseño provee protección contra el desgaste radial a bajos costos, alargando la vida útil de la bomba.

**Fig. # 10**



#### **II. 4.1.3 .- Bomba de Compresión resistente a la Abrasión “ARC”**

En este diseño de bomba los impulsores están fijos al eje transmitiendo el empuje axial de las etapas a la cámara de empuje del sello, la cual se encuentra aislada de los fluidos abrasivos de el pozo. Las bombas de compresión eliminan el contacto de empuje entre el difusor e impulsor lo cual previene el desgaste axial de las etapas (fig. 11). Dependiendo de las condiciones de el pozo, mayor soporte radial puede ser requerido. Materiales especialmente reforzados pueden ser utilizados para reducir el desgaste radial en las superficies de contacto a un costo mínimo.

**Fig. # 11**

#### **II. 4.1.4 .- Bombas de Compresión “C”**

Estas son bombas en las cuales los impulsores están fijos al eje, eliminando el desgaste axial de las etapas ya que el empuje de la bomba es transmitido a la cámara de empuje del sello. Este tipo de bomba no contiene materiales especiales resistentes a la abrasión, sin embargo previene el desgaste por medio de su diseño de compresión en el cual las etapas de la bomba no se encuentran en contacto con los impulsores. Las bombas de compresión pueden ser usadas económicamente en condiciones en las cuales las cantidades de arena de el pozo es moderada.

#### **II. 4.1.5 .- Bombas de Compresión Estabilizadas**

Estas son bombas de compresión estándar con impulsores fijos al eje. Se diferencian de las bombas de compresión “C” en los soportes adicionales de materiales resistentes a la abrasión en la parte superior e inferior de la bomba los cuales brindan mayor resistencia contra el desgaste radial de la bomba.

## **II. 4.2 .- FUNCIONES DE LA BOMBA AR**

Como hemos referido líneas arriba, la principal función de la bomba AR es soportar mejor el ataque de abrasivos en sistemas electrosumergibles.

## **II. 4.3 .- APLICACIONES DE LA BOMBA AR EN LOS CAMPOS DE LA SELVA NORTE**

La aplicación ha sido determinada para lo siguiente:

1. Estabilización de las bombas que da un notable incremento de el tiempo de vida.
2. Uso de el tipo ARSX en el 60 % de los pozos de la selva norte que incrementaron el tiempo de vida en 32%.
3. Instalación de bombas 50%AR en pozos moderadamente abrasivos incrementando el tiempo de vida en 178 %. (4J)
4. Instalación de 100% AR en pozos altamente abrasivos incrementando el tiempo de vida en 414 %. (11J).

## **II. 4.4 .- VENTAJAS SOBRE BOMBAS ESTANDAR**

Incrementa el tiempo de vida en un 312 % según nuestra base de datos.

## **II. 4.5 .- SELECCION DEL EQUIPO**

Muchos factores se deben tener en cuenta para escoger el correcto ESP AR para un medio abrasivo en particular. Desde que todos los pozos son diferentes. Diseños especializados son necesarios para conseguir la aplicación correcta en pozos económicos. Esto es el porque las compañías de servicio ofrecen una amplia gama de bombas resistentes a la abrasión. Sabemos que los tres tipos de desgaste son:

1. Desgaste radial en todos los bujes.

2. Desgaste en las superficies de contacto en las etapas sea este por Empuje hacia arriba o Empuje hacia abajo.
3. Desgaste erosivo en los pasajes de flujo debido a la alta velocidad con flujo de abrasivos.

Los factores a ser considerados son:

1. Cantidad de arena usualmente representada por peso/volumen (mg/l) o porcentaje.
2. Porcentaje de muestra no soluble en ácido concentrado.
3. Porcentaje de la muestra que pasaría a través de los espacios libres entre impulsor/difusor; sleeves/bushing. Esto es equivalente al porcentaje de muestra retenida a través de una malla USA standard No 100, ASTM E11. Equivalente a la malla Tyler 100.
4. Porcentaje de cuarzo en la muestra.
5. Forma de el grano de arena (angularidad), determinado por exámenes en microscopio. Mientras mas afilados sean los bordes de el grano de arena mayor será el desgaste por abrasión. Las compañías de servicios están en la capacidad de analizar una muestra de arena para determinar las características arriba mencionadas. Teniendo toda esta información la compañía de servicios recomendará la mejor alternativa.
6. Para determinar el mejor material que reducirá los problemas de abrasión se desarrollo una formula llamada "MATERIAL RECOMMENDATION INDEX-MRI"

$$\text{MRI}=(\text{SAN} \times \text{SOL}) \times (\text{PSD} + \text{QTZ} + \text{ANG})$$

\*Ver gráfico #12A (SAN-SOL) para hallar este valor

Donde:

- SAN Cantidad de arena producida mg/L ver tabla de conversión de unidades.
- SOL Porcentaje de muestra no soluble en ácido concentrado.
- PSD Porcentaje de muestra la cual pasaría por los espacios libres de las etapas y bujes.
- QTZ Porcentaje de cuarzo en la muestra.
- ANG La angularidad de los granos de arena.

- MRI "Material Recommendation Index".

La naturaleza erosiva de la arena puede ser definida como: pobre, moderada y agresiva. Estas cantidades son determinadas por adición de PSD, QTZ y ANG.

- POBRE (3-5)
- MODERADO (6-8)
- AGRESIVO (9-11)

## EJEMPLO

Datos	Valores
SAN =100 mg/l	SAN/SOL graph.
SOL =100 %	SAN/SOL graph.
PSD =55%	3
QTZ =60%	3
ANG =Moderado	2

MRI= (3.4) \* (3 + 3 + 2) = 27.2      Seleccionando el material "AR" para este MRI la selección cae dentro de cojinetes con soporte radial de carburo de tungsteno.

- Una variable importante no es incluida en el MRI el costo de la Instalación /Pulling si este costo es muy alto, se debería pensar en seleccionar un modelo de bomba que tenga un soporte incrementando respecto al recomendado por el MRI con el objetivo de incrementar el tiempo de vida de los equipos.
- Aplicación de frecuencia variable.- otro factor que se debería considerar es la velocidad de rotación de la bomba. El rate de desgaste es proporcional al cuadrado de la velocidad de rotación ( $V^2$ ). Por lo tanto si la velocidad aumenta el rate de desgaste aumenta.



**VALORES DE LOS PARAMETROS**

<b>SAN:</b>	<b>mg/l</b>	<b>Valor</b>
	100	Ver gráfico SAN/SOL
	200	
	300	
	400	
	500	
	600	

<b>SOL:</b>	<b>% de material NO SOLUBLE en ácido Determinado analíticamente</b>	<b>Valor</b>
	<b>0-100</b>	<b>Ver tabla SAN/SOL</b>

<b>PSD:</b>	<b>% de partículas que pasan entre los espacios libres de bujes, etapas</b>	<b>Valor</b>
	<b>0-100</b>	
	0-25	1
	26-50	2
	51-75	3
	76-100	4

<b>QTZ:</b>	<b>% de Cuarzo en la muestra</b>	<b>Valor</b>
	<b>0-100</b>	
	0-25	1
	26-50	2
	51-75	3
	76-100	4

<b>ANG:</b>	<b>Angularidad</b>	<b>Valor</b>
	Suave	1
	Moderado	2
	Afilado	3

Para determinar la mejor opción, obtener la muestra de el material abrasivo y enviar esta a la base de la compañía de servicios para su análisis. Se recomienda enviar la máxima información posible de el pozo, tipo de bomba que se esta instalando, tiempo de vida operativas, datos de operación, etc. Abajo encontrara la relación de bombas que hay disponibles para ayudar en aplicaciones en pozos abrasivos.

## **II. 4.6 .- APLICACION DE LA BOMBA DEACUERDO AL MRI.**

### **II. 4.6 .1 .- BOMBA ESTANDARD (MRI 0-12)**

Esta bomba es la bomba estandard en el mercado, protegida con washers sintéticos para el desgaste por “Empuje hacia abajo” y “Empuje hacia arriba”, no tiene protección adicional por desgaste radial.

Diseñada hasta la serie 562.

#### **Resumen**

- Bomba estandard flotadora.
- Protección “Empuje hacia abajo” atravez de los washer sintéticos.
- Ofrece protección en un muy ligero ambiente abrasivo.

### **II. 4.6.2 .- BOMBA ESTABILIZADA “S” (MRI 0-15)**

Aplicable en pozos con bajo ataque de abrasivos, similar a la bomba estandard con la diferencia que usa insertos de AR en los extremos base y tope. Es susceptible a desgaste radial debido a que se protegen solo los extremos.

Usada básicamente cuando la estabilización del “shaft” es requerida, disponible en todas las series.

**Resumen:**

- Bomba estandar flotadora.
- Protección de desgaste “Empuje hacia abajo” por los washers.
- Ofrece baja protección en medio ambientes abrasivos.

**II. 4.6.3 .- BOMBA DE COMPRESION “C” (MRI 0-20)**

Esta bomba es para medio ambientes con pobre presencia de abrasivos, ensamblada con etapas estándar con la característica que los impulsores no tienen desplazamiento axial por separado si no que estos están fijos en el eje. En este tipo de bombas se evita el desgaste por Empuje hacia abajo, no hay fricción entre el “pad” inferior del impulsor con el “pad” del difusor. Este tipo de bombas transmite mas carga a la zapata de la Sección Sellante que en una bomba de impulsores flotantes por lo que se tiene que seleccionar el tipo de zapata que pueda soportar el empuje de la bomba. Las compañías de servicio han desarrollado zapatas de alta capacidad para estas aplicaciones.

**Resumen:**

- Ofrece protección por “Empuje hacia abajo” limitada por protección radial.
- Buena aplicación cuando la bomba corre un tanto a la izquierda de el punto de máxima eficiencia.
- Ofrece una buena protección en aplicaciones con pobre presencia de abrasivos.
- Revisar y seleccionar adecuadamente la zapata de la Sección Sellante.

**II. 4.6.4 .- BOMBA RESISTENTE A LA ABRASION ESTABILIZADA “ARS”  
(MRI 0 - 30 )**

Esta bomba es aplicada para operaciones donde hay moderado ataque de abrasivos. Los “AR bearing” son colocados en la bomba cada cierto numero de

etapas estándar, cada 1 en X (1:X) etapas, ó las etapas acumuladas en la bomba.

Este equipo esta disponible en todas las series.

**Resumen:**

- Usa etapas flotadoras.
- Ofrece protección hasta moderados ambientes abrasivos.
- Ofrece protección "Empuje hacia abajo" por los washer sintéticos.

**II. 4.6.5 .- BOMBA DE COMPRESION RESISTENTE A LA ABRASION  
"ARC" ( RANGO MRI 0-86 )**

Esta bomba tiene su aplicación hasta medios ambientes agresivos. Este modelo combina el soporte radial con el soporte de bomba de compresión. Los insertos AR son colocados dentro de la bomba en la configuración 1:X, con muy poca tolerancia por ser de compresión.

El costo varia de acuerdo al numero de insertos "AR" usados y es muy solicitada por no tener que usar otro "housing" mas grande para la estabilización de la bomba.

Las limitaciones se basan en la capacidad de carga del "thrust bearing".

Disponible en todas las series.

**Resumen:**

- Es una bomba de compresión con la protección radial de una bomba ARS.
- Ofrece protección hasta medios abrasivos agresivos.
- Verificar los requerimientos de "thrust bearing" en el "Seal Section".

**II. 4.6.6 .- BOMBA MODULAR RESISTENTE A LA ABRASION  
"ARM" ( RANGO MRI 0-86 )**

Aplicable hasta medios ambientes agresivos. Es una combinación de una bomba "AR" flotante. Las etapas "AR" son colocadas en la bomba en la disposición equidistante, uno en X (1:X). Esto dará un soporte radial excelente y los esfuerzos de carga son transferidos al "housing" de la bomba vía etapa

"AR". El inserto "AR" es de carburo de Tungsteno. Pruebas de campo han demostrado que el carburo de tungsteno es el mejor material desarrollado para aplicaciones en medio ambiente abrasivos.

El costo varia de acuerdo al numero de etapas "AR" que se necesiten, no es necesario un "housing" mas largo para mas etapas "AR"

Existe un máximo numero de etapas por modulo.

Disponible en todas las series

**Resumen:**

- Ofrece la protección de una bomba "AR" con protección "Empuje hacia abajo" por módulos.
- Ofrece protección hasta medios ambientes agresivos de abrasividad.
- La mejor opción cuando no es necesario el uso de 1:1 AR .

**II. 4.6.7 .- BOMBA RESISTENTE A LA ABRASION "AR"  
( RANGO MRI 0-100 )**

Esta bomba es buena para medios abrasivos agresivos. Esta bomba tiene insertos y cojinetes de soporte en cada etapa para manejar tanto el desgaste radial como el desgaste por empuje, esta bomba se ha empleado con rotundo éxito en regiones agrestes donde los trabajos de "pulling" e instalación son muy costosos además del agresivo medio abrasivo de los pozos.

**Resumen:**

- Ofrece todas las ventajas juntas de las bombas mencionadas anteriormente, protegiendo cada etapa por desgaste radial y "Empuje hacia abajo".
- Ofrece protección en ambientes agresivos de pobre a altamente agresivos.

**TABLA 2**

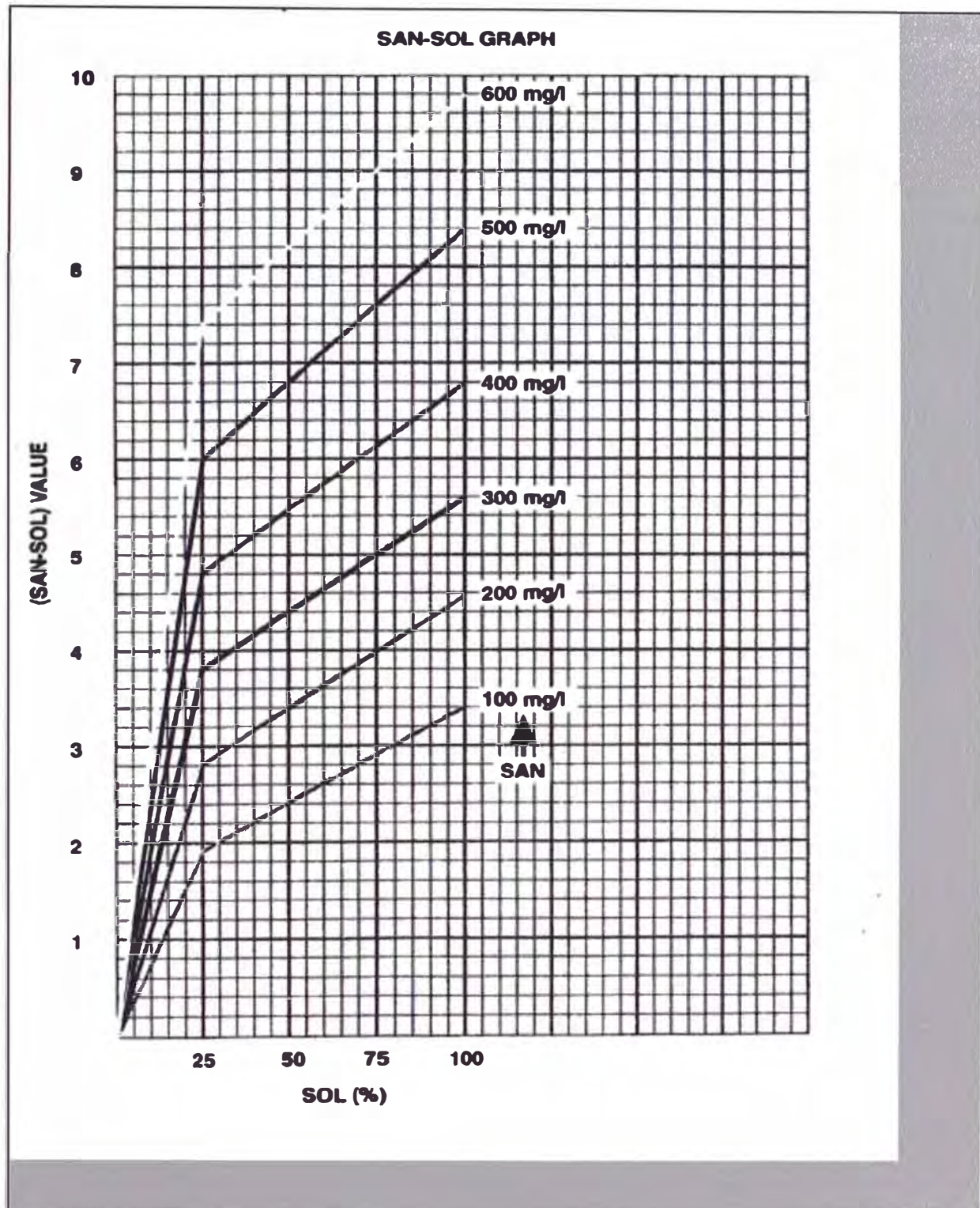
## Tabla de Conversión

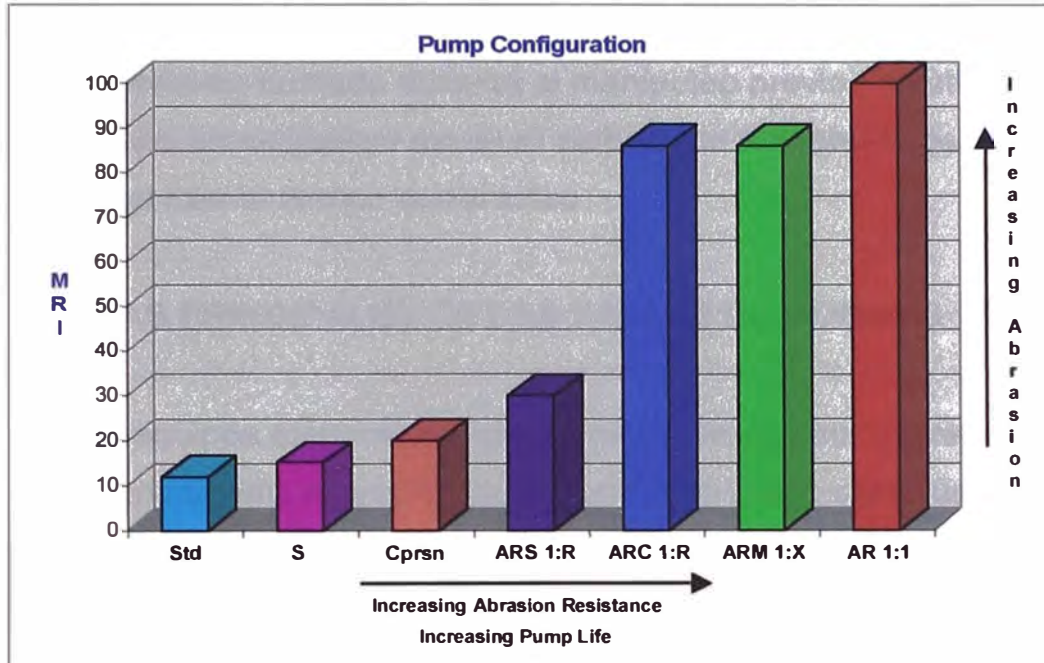
Para convertir de	@	Acción
mg/l <sup>*1</sup>	ppm	multiplicar por 1000
ppm	% <sup>*2</sup>	multiplicar por 0.0001
% <sup>*2</sup>	ppm	multiplicar por 10,000
gal/barril	%	divida galones por 42 y multiplique por 100
lbs/barril	%	determine la masa de el fluido en libras y divida el numerador de este numero y multiplique por 100

Para agua  $\text{mg/l} = \mu\text{g/g} = \text{mg/kg} = \text{ppm}$

- \*1 Cuando la densidad de el fluido es 1 es una conversión directa. De otro lado, la densidad de el fluido tiene que ser tomada en consideración o usar una aproximación.
- \*2 El porcentaje puede ser peso/peso, volumen/volumen o peso/volumen. Cuando el porcentaje es expresado en peso/volumen la densidad de el fluido debe ser tomado en consideración.

Fig. 12A Gráfico SAN-SOL



**Figura 12B** Gráfico Pump configuration MRI.



## II. 5.- INSTALACION

No existe un procedimiento especial para la instalación de las bombas AR, solo tener el máximo cuidado durante el manipuleo previo y posterior a la instalación pues en su interior existe el carburo de tungsteno resistente a la fricción pero al mismo tiempo quebradizo.

## II. 6 .- CAUSAS PRINCIPALES DE LAS FALLAS DE BOMBAS “AR”.

Las fallas en equipos electrosumergibles se presentan por diferentes razones teniendo como mayor incidencia el orden que a continuación se presenta:

Sección Sellante Invasado y Motor Quemado.

Motor quemado

Empalme mal hecho.

Falla en cable principal

**Bomba desgastada**

**Bomba trabada**

Sello trabado

Motor trabado

Corrosión

Mala procedimiento de instalación

**Mal armado de equipos**

**Sentado de Equipos en zona con severo “dog leg”.**

**Mal trabajo de manipuleo y transporte**

Como se puede notar las bombas principalmente fallan por desgaste producido por el paso de fluidos y cuando no hay cuidado con el equipo en el manipuleo y transporte, es necesario recordar que existen partes que tienen la consistencia de cerámica siendo ésta resistente a la abrasión pero no a los fuertes impactos, si este se rompiera durante el manipuleo y

transporte y aun así se instalara en los pozos lo mas probable es que se rompa el eje a la altura de la rotura del "Bushing" pues el material de el "AR" es mas duro que el material de el eje.

## **II. 7 .- ANALISIS DE FALLAS REALIZADOS A BOMBAS "AR"**

Después de analizar los reportes de desarmado de las bombas AR tenemos que principalmente se nota un desgaste en los pasajes de flujo, en los orificios de balanceo, y en las bombas flotadoras en los "Thrust Washers" que coinciden con nuestra teoría de tener las bombas AR estabilización radial al no presentar juego radial y en las bombas de compresión no presentan desgaste por "Empuje hacia abajo" debido a que nunca debe llegar a haber contacto a menos que el "Thrust Bearing" de la Sección Sellante se desgaste severamente permitiendo que el conjunto de ejes sobre el "Thrust Bearing" se deslice hacia abajo produciéndose así el contacto metal - metal terminando en una destrucción progresiva y cada vez mas severa de los componentes internos de la bomba sea esta "AR" o estándar.

## **II. 8.- CASOS : POZOS SELVA NORTE**

Los siguientes son ejemplos de pozos considerados productores de arena:

POZO 13C

POZO 4J

POZO 11J

POZO 22J

POZO 26J

POZO 4Y

POZO 16Y

Todos estos casos se pueden resumir promediando los tiempos de vida de los equipos antes y después de la instalación de una bomba "AR", notará usted un cambio drástico positivo en su tiempo de vida, así mismo se presenta el promedio del pozo tomando en consideración todas las corridas que se produjeron en cada pozo,

### III.- COSTOS

Los costos de las bombas estándar en comparación con las bombas AR se puede incrementar en un 400 %.

El valor diferencial entre una bomba estándar y una bomba AR no significa un alto porcentaje dentro del presupuesto de un servicio de pozos principalmente si este se lleva a cabo en plataformas marinas o en la selva donde un servicio de pozos cuesta alrededor de \$ 250,000.00 (alto costo producto de las difíciles condiciones de transporte y logística asociados a las condiciones climatológicas) significando la diferencia de precios de una bomba estándar y una bomba AR el 10% de el valor de el servicio de pozos. Esto es perfectamente justificable si el tiempo de vida se incrementa en un 12.5 % manteniendo el costo por día a un valor constante.

Pero si vemos la experiencia adquirida en este tipo de trabajo el tiempo de vida puede incrementarse hasta un 1120 % (11.67 veces mas, 11J, corrida actual y corrida 2) pasando así los costos de servicio de pozo de 1835 \$/día a 177 \$/día existiendo así menos numero de intervenciones a los pozos por año, menos pérdida por producción diferida por año, en consecuencia menor valor de presupuesto y mayores márgenes de ganancias.

Seguidamente se mostrará dos tablas en el que claramente se refleja el efecto de la bomba AR en el costo de una instalación y también el efecto de costo en la durabilidad del equipo en \$/día.

TABLA 3

## Bomba STD

Well Service Economic Analysis				
Well	xxx			
Description		Untis	Cost/Unit	Total
Rig Cost	U-Y2	3	5500	16,500
Fuel/Oil & Diessel		3	400	1,200
Workover Fluid		400	2	800
ESP Technician		3	500	1,500
ESP ASSY				-
	Tubing Hanger	1	0	-
	4.5 Tubing SEC, 12.6 #/ft	200	142	28,400
	Discharge Head	1	1150	1,150
	<b>Upper Pump</b>	<b>1</b>	<b>12347</b>	<b>12,347</b>
	<b>Lower Pump</b>	<b>1</b>	<b>20830</b>	<b>20,830</b>
	Intake	1	2000	2,000
	Seal Section	1	18100	18,100
	Upper Motor	1	45000	45,000
	Lower Motor	1	45000	45,000
	Motor guide	1	500	500
	Cable	6000	4.5	27,000
	Superbands	350	1.8	630
	Cable Guard	8	26	208
	Protectolizer	50	29	1,450
	Saddles	350	0.8	280
	Splice	1	165	165
	Epoxy	1	150	150
	FCE	1	2030	2,030
	Metallic Protectolizer	2	2500	5,000
<b>SUBTOTAL</b>				<b>230,240</b>
Others	Contingency (10%)			<b>23,024</b>
<b>TOTAL</b>				<b>253,264</b>
C:\Victor Hugo Villacorta Felix\PERSONAL\TESIS\[Costos de Well Service.xls]Bomba Standard				
Promedio de Vida de Equipos Estandar en pozos con alto contenido de Arena				255
Costo promedio de el well service				<b>993.19</b>

**TABLA 4**  
**Bomba AR**

Well Service Economic Analysis				
Well	xxx			
Description		Untis	Cost/Unit	Total
Rig Cost	U-Y2	3	5500	16,500
Fuel/Oil & Diessel		3	400	1,200
Workover Fluid		400	2	800
ESP Technician		3	500	1,500
ESP ASSY				-
	Tubing Hanger	1	0	-
	4.5 Tubing SEC, 12.6 #/ft	200	142	28,400
	Discharge Head	1	1150	1,150
	<b>Upper Pump AR</b>	<b>1</b>	<b>22473</b>	<b>22,473</b>
	<b>Lower Pump AR</b>	<b>1</b>	<b>39881</b>	<b>39,881</b>
	Intake	1	2000	2,000
	Seal Section	1	18100	18,100
	Upper Motor	1	45000	45,000
	Lower Motor	1	45000	45,000
	Motor guide	1	500	500
	Cable	6000	4.5	27,000
	Superbands	350	1.8	630
	Cable Guard	8	26	208
	Protectolizer	50	29	1,450
	Saddles	350	0.8	280
	Splice	1	165	165
	Epoxy	1	150	150
	FCE	1	2030	2,030
	Metallic Protectolizer	2	2500	5,000
	<b>SUBTOTAL</b>			<b>259,417</b>
Others	Contingency (10%)			<b>25,942</b>
	<b>TOTAL</b>			<b>285,359</b>
C:\Victor Hugo Villacorta Felix\PERSONAL\TESIS\[Costos de Well Service.xls]Bomba AR				
Promedio de Vida de Equipos Estandar en pozos con alto contenido de Arena				783
Costo promedio de el well service				<b>364.44</b>
Para mantener el mismo costo por dia de 993.19				= 285,395/993.19 = 287
La inversion se justificaria solo con incrementar 32 dias de operacion al equipo ESP.(287-255)				
Pozo	Costo	Dias	\$/dia	
11J AR Current	285,359	1611	177	
11J STD R2	253,264	138	1,835	

#### IV.- CONCLUSIONES

1. Bomba de Gran cuidado durante el manipuleo y Transporte.
2. Bomba de gran aceptación en el mercado con un crecimiento del 35 % por año.
3. Las fallas se deben principalmente a desgaste de los pasajes de flujo.
4. La frecuencia de fallas es muy inferior a las bombas estándar.
5. El tiempo de vida promedio de este tipo de bomba es 625 días.
6. Existe una manera de determinar la bomba apropiada, la aplicación apropiada para cada pozo arenoso en función a la cantidad, solubilidad y calidad de arena. Llamado MRI.
7. El mejor material hasta el momento es el carburo de tungsteno para fabricar los insertos AR.
8. Las bombas de insertos AR en las mismas etapas son un excelente diseño que nos permite usar los alojamientos estándares con el mismo número de etapas en su configuración.
9. Existe una gama de bombas electrosumergibles que se adecuan a cada aplicación por difícil que parezca.
10. En las bombas AR existen dos tipos de compresión y flotantes, las de compresión protegen básicamente del empuje hacia abajo pero cargan demasiado a la Sección Sellante, por otro lado las bombas flotadoras no ofrecen protección mecánica contra el empuje hacia abajo pero trabajan sin cargar excesivamente a la Sección Sellante.
11. Bombas que no presentan incrustaciones, corrosión u otro agente químico externo que pueda generar que los bujes AR se traben si fuera 100%, por no adherirse a la superficie del carburo de tungsteno estos problemas químicos.
12. El costo dependerá de que tan estabilizada queramos la bomba..
13. Cuando hablamos de bomba 100%AR el costo de esta estará en el orden de 90% mayor que una bomba estándar
14. Existe diferencia entre bombas S, ARSX, ARS, AR etc.

## **V.-RECOMENDACIONES**

1. Se recomienda para la selva norte del Perú el uso de bombas AR en cualquiera de sus modalidades dependiendo de la necesidad, relacionado directamente de el MRI.
2. Se envíe a las bases de las compañías manufactureras muestras de las arenas producidas periódicamente solo si pudiesen ser recolectadas.
3. Adoptar el uso de estas bombas como algo estándar y solucionar el problema del material quebradizo del "AR".
4. Extremado cuidado con el manipuleo y transporte.

## VI.- BIBLIOGRAFIA

1. Handbook Centrilift.
2. AR Pumps
3. Base de datos de equipos instalados en la selva norte de el Perú
4. Extending electrical submersible pump run lives Carson Creek North Field. 1993. Author: TP Comeau - Mobil Oil Canada.
5. Electric Submersible pump System Failure Análisis 1997 Author Mike Swatek - Centrilift.
6. New Recomendations and comparasions for Artificial Lift Method Selection. Author J.D. Clegg. Consultant.
7. Challenges of a short term offshore production Project. Author Ian Wallace and Jeff Hurley. 1996
8. Dealing with harsh pumping conditions in the Dos Cuadras Field, offshore California Author Ronald J. Krupa.1997
9. Operational Probles and their solutions Electrical Submersible Pumps. By J.F. Lea -Amoco and J.L. Bearden Centrilift.



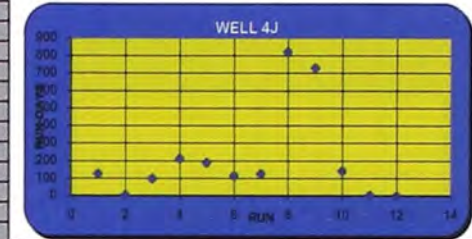
## VII.- ANEXO

## Anexo 1

<b>Propiedades de Reservorios - Selva*</b>		
Espesor de Reservorio	ft	<10-140>
Porosidad	%	<10-20>
Permeabilidad	md	<40-4500>
Salinidad de el Agua	ppm	<55K-85K>
Presion de Reservorio	psi	<3870-4368>
Temperatura de Fondo	Celcius	<107-110>
Densidad de el Gas	#/pc	<0.051-0.066>
Densidad de Petroleo	#/pc	<56.2-57.1>
Punto de Burbuja	psi	<350-760>
FVFo	v/v	<1.03-1.09>
Viscosidad de el Petroleo	cP	<2.8-8.7>
Saturacion de Agua	%	<18-40>

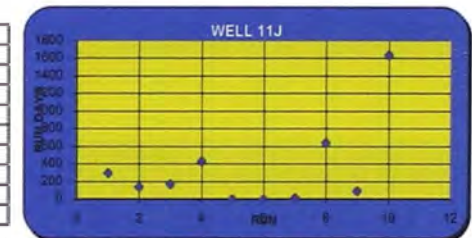
\* Corrientes

WELL	RUN	STG.	PUMP	MOT	MOTOR MFG	CABLE MFG	INTK	INSTALL DATE	FAILURE DATE	RUN LIFE	STATUS	RAZON	REMARKS
4J	1	132	GN-4000	380	Reda	Redalead	5994	12-Sep-87	17-Jan-88	128	1	BOMBA	Pumps with impellers and diffusers destroyed. Lower motor with
4J	2	66	GN-4000	380	Reda	Redalead	4492	19-Jul-89	20-Jul-89	2	0	OTHER	FCE was cut around sand stopper hanger due to bad seal around
4J	3	66	GN-4000	380	Reda	Redalead	4492	08-Aug-89	14-Nov-89	99	0	OTHER	Sand stopper shroud collapsed around ESP Assy.
4J	4	108	GC-8100	390	Cntrfl	Redalead	4508	27-Nov-89	02-Aug-90	215	1	BOMBA	Pumps worn out.
4J	5	45	HC-9000	390	Cntrfl	Redalead	3800	20-Aug-90	28-Feb-91	191	0	NO FAILURE	Hole in tubing.
4J	6	44	HC-9000	390	Cntrfl	Kente	3511	05-Mar-91	28-Jun-91	118	0	F.C.E	FCE shorted out two phases due to mechanical damage at the
4J	7	44	HC-9000	380	Reda	Redalead	3594	04-Jul-91	09-Nov-91	128	1	MOTOR	Motors grounded (no water).
4J	8	44	HC-9000AR100%	380	Reda	Kerite	3556	29-Nov-91	08-Mar-94	824	1	MOTOR	Upper motor grounded
4J	9	44	HC-9000AR50%	390	Cntrfl	Redalead	3013	16-Mar-96	24-Mar-96	735	1	SELLO	Seal with water. Motor burned
4J	10	44	HC-9000AR50%	390	Cntrfl	Redalead	2949	23-May-96	15-Oct-96	143	0	MOTOR	Lower motor broken shaft.
4J	11	70	JN-1000AR50%	450	Cntrfl	Redalead	2899	03-Jan-97	05-Jan-97	2	0	BOMBA	Lower pump broken shaft.
4J	12	70	JN-1000AR50%	540	Reda	Cel	2867	06-Jan-97	06-Jan-97	0	0		



TOTAL	SOLO STD	SOLO AR
TYPICAL 406	TYPICAL 157	TYPICAL 780

11J	1	360	KA-100	380	Reda	Redalead	4975	10-Sep-84	08-Jul-85	302	1	MOTOR	Motors grounded. Tbg joint No 35 with hole due to corrosion.
11J	2	128	GN-5800	380	Reda	Redalead	4494	21-Jul-85	05-Dec-85	138	1	CABLE-MAIN	Flat cable grounded.
11J	3	128	GN-5800	380	Reda	Redalead	4016	08-Feb-86	26-Jul-86	171	1	BOMBA	Lower pump stuck - intake with erosion/corrosion - upper pump
11J	4	128	GN-5800	380	Reda	Redalead	4002	10-Aug-86	12-Oct-87	429	0	OTHER	Hole in tubing. Main cable cut at hole level.
11J	5	128	GN-5800	380	Reda	Redalead	3898	06-Nov-87	08-Nov-87	3	1	SELLO	Pump stuck. Motors grounded (Re-used). Protectors w/ water.
11J	6	116	GC-4100	380	Reda	Redalead	3204	13-Jan-92	13-Jan-92	0	0	NO FAILURE	Not considered as a failure. Well not inflow.
11J	7	116	GC-4100	380	Reda	Redalead	3130	02-Feb-92	13-Feb-92	12	1	BOMBA	Pumps with excessive axial play. Perforations were plugged.
11J	8	116	GC-4100	380	Reda	Redalead	3095	14-Mar-92	23-Apr-94	842	1	BOMBA	Stuck pump.
11J	9	128	GN-7000AR100%	360	Reda	Redalead	3068	09-Jan-95	19-Apr-95	97	1	BOMBA	Pumps bushings worn out. (Severe radial play).
11J	10	118	GC-8200AR100%	390	Cntrfl	Redalead	3203	07-May-95		1641	1	RUNNING	



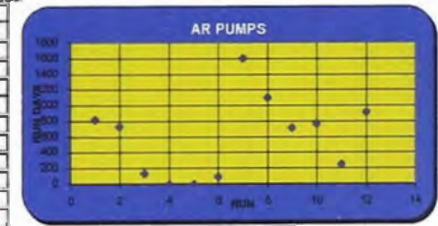
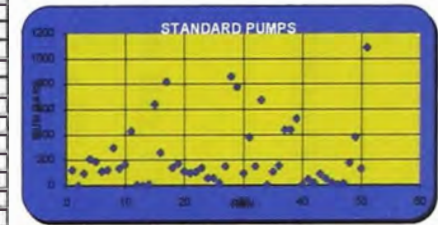
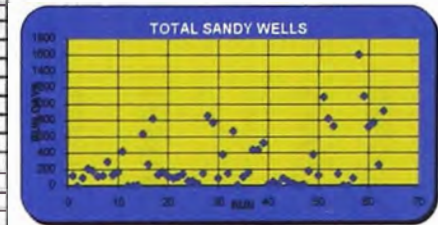
TOTAL	SOLO STD	SOLO AR
TYPICAL 372	TYPICAL 211	TYPICAL 854

22J	1	132	GN-4000	380	Reda	Redalead	6053	11-Nov-84	30-Jul-85	262	1	SEPARADOR DE GAS	Gas separator corroded. Recovered part of ESP assembly.
22J	2	132	GN-4000	380	Reda	Redalead	5998	01-Nov-85	03-Feb-88	825	1	CORROSION	Lower pump was parted due to corrosion. Both motors grounded
22J	3	132	GN-4000	380	Reda	Redalead	5781	29-Jul-88	15-Dec-88	140	1	CABLE-MAIN	Main cable with one phase grounded.
22J	4	128	GN-7000	380	Reda	Phillips	4934	04-Jan-89	25-Jun-89	173	0	NO FAILURE	All ESP Assy in good condition.
22J	5	128	GN-7000	380	Reda	Redalead	4808	09-Jul-89	01-Nov-89	118	1	BOMBA	Low production, hole in tubing. ESP in good condition.
22J	6	128	GN-7000	380	Reda	Redalead	4890	04-Nov-89	07-Feb-90	98	1	MOTOR	Motors grounded (no water). Main cable unbalanced.
22J	7	112	GC-8200	390	Cntrfl	Redalead	4902	14-Feb-90	02-Jun-90	109	1	F.C.E	Flat cable extension with low electrical readings.
22J	8	112	GC-8200	390	Cntrfl	Kerite	4738	07-Jun-90	25-Oct-90	141	1	BOMBA	Lower pump shaft broken.
22J	9	118	GC-8200	380	Cntrfl	Redalead	4403	28-Oct-90	28-Dec-90	82	0	NO FAILURE	Shut-in due to high WC.
22J	10	118	GC-8200	380	Cntrfl	Redalead	4001	23-Apr-91	23-Jun-91	62	0	NO FAILURE	All ESP Assy was in good condition.
22J	11	118	GC-8200	380	Reda	Redalead	4004	15-Jul-91	05-Aug-91	23	1	BOMBA	Intake with broken shaft. Pumps stuck
22J	12.1	118	GC-8200	380	Reda	Redalead	4004	19-Jan-92	17-Jun-92	151	0	NO FAILURE	S.I. due to no fluid to surface.
22J	12.2	118	GC-8200	380	Reda	Redalead	4004	28-Jun-92	18-Jun-94	861	1	BOMBA	Severe worn pumps. Upper motor grounded.
22J	13	118	GC-4100	380	Reda	Redalead	3493	08-Jul-94	03-Sep-96	780	1	BOMBA	S.I. Worn pumps.
22J	14	132	GN-4000AR100%	380	Reda	Redalead	3495	25-Sep-96		1134	1	RUNNING	



TOTAL	SOLO STD	SOLO AR
TYPICAL 405	TYPICAL 335	TYPICAL 1104

WELL	RUN	STG.	PUMP	AR	MOT	MOTOR MFG	CABLE MFG	INTAKE	INSTALLATION DATE	FAILURE DATE	RUN LIFE	STATUS	RAZDN	REMARKS
4J	1	132	GN-4000	NO	360	Reda	Redaleac	5994	12-Sep-97	17-Jan-98	128	1	BOMBA	Pumps with impellers and diffusers destroyed. Lower motor with FCE was cut around sand stopper handle due to bad seal around
4J	2	86	GN-4000	NO	360	Reda	Redaleac	4492	19-Jul-99	20-Jul-99	2	0	OTHER	Sand stopper around collapsed around ESP assy.
4J	3	86	GN-4000	NO	360	Reda	Redaleac	4492	08-Aug-99	14-Nov-99	99	0	OTHER	Pumps worn out.
4J	4	108	GC-6100	NO	360	Critfr	Redaleac	4506	27-Nov-99	02-Aug-00	215	1	BOMBA	Hole in tubing.
4J	5	45	HC-6000	NO	360	Critfr	Redaleac	3600	20-Aug-90	28-Feb-91	191	0	NO FAILURE	FCE shorted out two phases due to mechanical damage at the Motors grounded (no water).
4J	6	44	HC-6000	NO	360	Critfr	Karite	3511	05-Mar-91	28-Jun-91	118	0	F.C.E	Motors grounded. Tbg joint No 35 with hole due to corrosion.
4J	7	44	HC-6000	NO	360	Reda	Redaleac	3594	04-Jul-91	08-Nov-91	128	1	MOTOR	Flat cable grounded.
11J	8	360	KA-100	NO	360	Reda	Redaleac	4975	16-Sep-84	08-Jul-85	302	1	MOTOR	Flat cable grounded.
11J	9	128	GN-5600	NO	360	Reda	Redaleac	4494	21-Jul-85	05-Dec-85	138	1	CABLE-MAIN	Lower pump stuck - intake with erosion/corrosion - upper pump
11J	10	128	GN-5600	NO	360	Reda	Redaleac	4016	06-Feb-86	26-Jul-86	171	1	BOMBA	Hole in tubing. Main cable cut at hole level.
11J	11	128	GN-5600	NO	360	Reda	Redaleac	4002	10-Aug-86	12-Oct-87	429	0	OTHER	Pump stuck. Motors grounded (Re-used). Protectors w/ water
11J	12	128	GN-5600	NO	360	Reda	Redaleac	3896	06-Nov-87	08-Nov-87	3	1	SELLO	Not considered as a failure. Well not inflow.
11J	13	116	GC-4100	NO	360	Reda	Redaleac	3204	13-Jan-92	13-Jan-92	0	0	NO FAILURE	Pumps with excessive axial play. Perforators were plugged.
11J	14	116	GC-4100	NO	360	Reda	Redaleac	3130	02-Feb-92	13-Feb-92	12	1	BOMBA	Stuck pump.
11J	15	116	GC-4100	NO	360	Reda	Redaleac	3095	14-Mar-92	23-Apr-94	642	1	BOMBA	Gas separator corroded. Recovered part of ESP assembly.
22J	16	132	GN-4000	NO	360	Reda	Redaleac	6053	11-Nov-84	30-Jul-85	282	1	SEPARADOR DE GAS	Lower pump was parted due to corrosion. Both motors grounded.
22J	17	132	GN-4000	NO	360	Reda	Redaleac	5998	01-Nov-85	03-Feb-86	825	1	CORROSION	Main cable with one phase grounded.
22J	18	132	GN-4000	NO	360	Reda	Redaleac	5781	29-Jul-88	15-Dec-88	140	1	CABLE-MAIN	All ESP assy in good condition.
22J	19	128	GN-7000	NO	360	Reda	Redaleac	4934	04-Jan-89	25-Jun-89	173	0	NO FAILURE	Low production. hole in tubing. ESP in good condition.
22J	20	128	GN-7000	NO	360	Reda	Redaleac	4808	09-Jul-89	01-Nov-89	118	1	BOMBA	Motors grounded (no water). Main cable unbalanced.
22J	21	128	GN-7000	NO	360	Reda	Redaleac	4680	04-Nov-89	07-Feb-90	96	1	MOTOR	Flat cable extension with low electrical readings.
22J	22	112	GC-8200	NO	360	Critfr	Redaleac	4802	14-Feb-90	02-Jun-90	109	1	F.C.E	Lower pump shaft broken.
22J	23	112	GC-8200	NO	360	Critfr	Karite	4738	07-Jun-90	25-Oct-90	141	1	BOMBA	Shut-in due to high WC.
22J	24	118	GC-8200	NO	360	Critfr	Redaleac	4403	28-Oct-90	28-Dec-90	82	0	NO FAILURE	All ESP assy was in good condition.
22J	25	118	GC-8200	NO	360	Critfr	Redaleac	4001	23-Apr-91	23-Jun-91	82	0	NO FAILURE	Intake with broken shaft. Pumps stuck.
22J	26	118	GC-8200	NO	360	Reda	Redaleac	4004	15-Jul-91	05-Aug-91	23	1	BOMBA	S.I. due to no fluid to surface.
22J	27	118	GC-8200	NO	360	Reda	Redaleac	4004	19-Jan-92	17-Jun-92	151	0	NO FAILURE	Severe worn pumps. Upper motor grounded.
22J	28	118	GC-8200	NO	360	Reda	Redaleac	4004	28-Jun-92	16-Jan-94	861	1	BOMBA	S.I. Worn pumps.
22J	29	116	GC-4100	NO	360	Reda	Redaleac	3483	08-Jul-94	03-Sep-95	780	1	BOMBA	Pothead/FCR shorted. pothead with 1/8" OD hole. Motor Up grounded.
26J	30	118	GC-6100	NO	390	Critfr	Phillips	6000	11-Aug-93	19-Nov-93	96	1	F.C.E	S.I. to change desiring (Perforator)
26J	31	118	GC-6100	NO	390	Critfr	Phillips	5010	09-Dec-93	29-Dec-94	382	0	NO FAILURE	Worn pumps.
26J	32	118	GC-8200	NO	390	Critfr	Redaleac	6017	01-Jan-95	05-Jun-95	154	1	BOMBA	HOLE IN TUBING.
26J	33	44	HC-9000	NO	390	Critfr	Redaleac	5812	12-Jun-95	01-May-97	678	1	NO FAILURE	Pumps stuck (sandy well).
4Y	34	200	DN-1750	NO	180	Trico	Phillips	8009	14-Sep-82	18-Sep-82	5	1	BOMBA	Motors grounded. Splice grounded and intake plugged.
4Y	35	312	DN-3000	NO	360	Trico	Phillips	8985	05-Oct-92	19-Jan-93	107	1	MOTOR	Splice main cable to FCE grounded. Protectors with water.
4Y	36	200	DN-1750	NO	240	Reda	Redaleac	8888	30-Jun-93	08-Jul-93	158	1	CABLE-SPLICE	Seal section full water. Mot. base w/water.
4Y	37	137	GC-1700	NO	360	Critfr	Redaleac	8997	14-Jul-93	04-Oct-94	444	1	SELLO	Seal sect. and motor with water.
4Y	38	137	GC-1800	NO	195	Critfr	Redaleac	8848	27-Oct-94	15-Jan-96	442	1	SELLO	Pumps worn.
4Y	39	117	GC-1700	NO	195	Critfr	Redaleac	8782	04-Feb-96	17-Jul-97	527	1	BOMBA	All ESP assy in good condition. Oversized pumps.
16Y	40	108	GC-6100	NO	390	Critfr	Phillips	5394	11-Nov-89	16-Nov-89	6	0	NO FAILURE	Pumps with rough rotation and sand in discharge head. Well
16Y	41	120	KA-100	NO	390	Critfr	Phillips	7589	03-Dec-89	20-Jan-90	49	0	NO FAILURE	FCE with two phases grounded.
16Y	42	148	Y-62B	NO	390	Critfr	Redaleac	7416	03-Mar-90	23-Mar-90	21	1	F.C.E	Main cable grounded. Upper pump stuck. Did not find the sus-
16Y	43	148	Y-62B	NO	390	Critfr	Phillips	7505	06-Apr-90	08-Jul-90	94	1	BOMBA	Pump worn. Sand in discharge head.
16Y	44	107	GN-2000	NO	360	Reda	Kente	7000	25-Jul-90	16-Sep-90	54	1	BOMBA	Upper motor grounded (no water).
16Y	45	107	GN-2000	NO	360	Reda	Redaleac	6953	27-Sep-90	19-Oct-90	23	1	MOTOR	Shaft of lower pump nailed at the top of coupling with intake
16Y	46	222	GC-2200	NO	390	Critfr	Redaleac	7185	19-Jan-91	21-Jan-91	3	1	BOMBA	Pump stages worn out or destroyed due to sand production.
16Y	47	107	GN-2000	NO	360	Reda	Redaleac	7194	01-Feb-91	14-Feb-91	14	1	BOMBA	Lower motor grounded (with water).
16Y	48	312	DN-3000	NO	360	Reda	Redaleac	7308	12-Mar-91	08-Sep-91	181	1	SELLO	Motors grounded (with water). Upper motor with holes in hsg.
16Y	49	312	DN-3000	NO	360	Trico	Redaleac	6614	18-Sep-91	02-Oct-92	381	1	SELLO	Lower motor grounded and with water inside.
16Y	50	312	DN-3000	NO	360	Reda	Redaleac	6894	09-Oct-92	17-Feb-93	131	1	SELLO	Main cab. and splice unbalance. Pumps w/radial elav.
16Y	51	312	DN-3000	NO	360	Trico	Redaleac	6859	28-Feb-93	02-Mar-96	1093	1	CABLE-MAIN	Upper motor grounded.
4J	52	44	HC-9000AR100%	YES	360	Reda	Karite	3556	29-Nov-81	08-Mar-94	824	1	MOTOR	Seal with water. Motor burned.
4J	53	44	HC-9000AR50%	YES	390	Critfr	Redaleac	3013	16-Mar-94	24-Mar-96	735	1	SELLO	Lower motor broken shaft.
4J	54	44	HC-9000AR50%	YES	380	Critfr	Redaleac	2949	23-May-96	15-Oct-96	143	0	MOTOR	Lower pump broken shaft.
4J	55	70	JN-10000AR50%	YES	450	Critfr	Redaleac	2889	03-Jan-97	05-Jan-97	2	0	BOMBA	
4J	56	70	JN-10000AR50%	YES	540	Reda	Cal	2857	06-Jan-97	06-Jan-97	0	0		
**J	57	228	GH-7000AR100%	YES	360	Reda	Redaleac	3068	09-Jan-95	19-Apr-95	97	1	BOMBA	Pumps bushings worn out (Severe radial play).
**J	58	118	GC-8200AR100%	YES	390	Critfr	Redaleac	3203	07-May-95		1610	1	RUNNING	
22J	59	132	GH-4000AR100%	YES	360	Reda	Redaleac	3495	25-Sep-96		1103	1	RUNNING	
22J	60	86	HU-13000ES	YES	734	Reda	CEL II	4006	11-Oct-97		722	1	RUNNING	
4Y	61	274	GC-1700AR50%	YES	390	Critfr	Redaleac	8838	17-Aug-97		777	1	RUNNING	
16Y	62	224	GC-3500ES	YES	390	Critfr	Redaleac	7413	15-Mar-96	27-Nov-96	254	1	bomba	Counting between pumps worn. Only one pump works.
16Y	63	210	GC-3500AR	YES	390	Critfr	CEL II	7712	25-Mar-97		922	1	RUNNING	



### SOLICITUD MRI

SOLICITANTE: \_\_\_\_\_ FECHA: \_\_\_\_\_

SBU: \_\_\_\_\_

ENVIAR EL REPORTE @:  
\_\_\_\_\_

**INFORMACION DEL CLIENTE:**

**POZO (CAMPO, # DE POZO, etc.):**  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

**CANTIDAD DE ARENA PRODUCIDA (PORCENTAJE O peso/volumen):**  
\_\_\_\_\_

**CONDICION DEL EQUIPO AL SER DESARMADO (Alojamiento, Etapas, etc.) :**

\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

**ENVIAR POR LO MENOS 50 gramos DE MATERIAL SOLIDO PARA UN COMPLETO MRI. NO ENVIE FLUIDO!!!**

**OTROS COMENTARIOS:**

\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

ENVIE ESTA INFORMACION , TAN COMPLETA COMO FUERA POSIBLE A : Claremore Engineering: **Atención: Dan Adams o en Perú Atención: Victor Villacorta**