

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA
FACULTAD DE INGENIERIA DE PETRÓLEO
GAS NATURAL Y PETROQUIMICA**



**“APLICACIÓN DEL METODO DE SUPERVISION, CONTROL Y
ADQUISICION DE DATOS (SCADA) EN LOS CONTROLADORES
DEL SISTEMA DE REINYECCIÓN PARA DISPOSICIÓN DE AGUA
SALADA EN LA SELVA NORTE DEL PERU”**

TESIS

PARA OPTAR EL TITULO PROFESIONAL DE:
INGENIERO DE PETRÓLEO

ELABORADO POR:

ROBERTO LOZANO BAUTISTA

PROMOCIÓN 2008 - I

LIMA - PERU

2011

A mi Señor, Dios, quien me dio la fe, la fortaleza, la salud y la esperanza para terminar este trabajo.

A mis padres, Elvira y Herman quienes me enseñaron desde pequeño a luchar para alcanzar mis metas. Mi triunfo es de ustedes, ¡los amo!

A mí querida hermana, Kelly, ¡Gracias! Sin ustedes no hubiese podido hacer esto realidad.

A los profesores que supieron guiarme a través de los años que pase en las aulas, y a mi Alma Mater.

“APLICACIÓN DEL METODO DE SUPERVISION, CONTROL Y ADQUISICION DE DATOS (SCADA) EN LOS CONTROLADORES DEL SISTEMA DE REINYECCIÓN PARA DISPOSICIÓN DE AGUA SALADA EN LA SELVA NORTE DEL PERU”

INDICE

1. INTRODUCCION

- 1.1 Antecedentes
- 1.2 Justificación
- 1.3 Planteamiento del Problema
- 1.4 Formulación del Problema
- 1.5 Objetivo
- 1.6 Formulación de la Hipótesis
- 1.7 Metodología de Trabajo

2. MARCO TEORICO

- 2.1 Composición de los Hidrocarburos
- 2.2 Agua de Producción
- 2.3 Métodos para la Disposición de Agua Salada
- 2.4 Introducción al Sistema SCADA

3. SISTEMA SCADA

- 3.1 Conceptos Básicos del Sistema SCADA
 - 3.1.1 Los sistemas SCADA (Supervisory Control And Data Adquisition)
 - 3.1.2 Tipos de SCADA

4. FUNCIONES PRINCIPALES DEL SISTEMA SCADA

5. TRANSMISION DE LA INFORMACION

6. COMUNICACIÓN DE LOS DISPOSITIVOS

- 6.1 Elementos de la Comunicación

7. ELEMENTOS DEL SISTEMA SCADA

- 7.1 Interfaz Operador Maquina
- 7.2 Unidad Central (MTU)

- 7.3 Unidad Remota (RTU)
- 7.4 Sistema de Comunicación
- 7.5 Transductores

8. HIDRAULICA DE LA BOMBA CENTRIFUGA

- 8.1 Etapas de la Bomba Centrifuga
- 8.2 Clasificación de las Perdidas en la Bomba Centrifuga
- 8.3 Rango de Operación
- 8.4 Bomba Resistente a la Abrasión (AR)
- 8.5 Empuje Axial de la Bomba
- 8.6 Leyes de Afinidad
- 8.7 Cavitación
- 8.8 Bloqueo por Gas
- 8.9 Potencia Hidráulica
- 8.10 Potencia al Freno
- 8.11 Bomba Centrifuga

9. BOMBAS HORIZONTALES

9.1 Aplicaciones de la Bomba

- 9.1.1 Aplicaciones relacionadas con Campo
- 9.1.2 A la Industria de Facilidades
- 9.1.3 A la industria Química
- 9.1.4 A la Industria Minera
- 9.1.5 Al Medio Ambiente
- 9.1.6 Aplicado Agua y Disposición de Agua
- 9.1.7 Aplicado Agua y Disposición de Agua

9.2 Limites del Sistema

9.3 Recolección de Información de Dimensionamiento

9.4 Bombas Booster

9.5 Composición de la Bomba Centrifuga

9.6 Bomba de Compresión

9.7 Bomba Horizontal

10. HIDRÁULICA DE LA BOMBA CENTRÍFUGA

- 10.1. Selección de la Cámara de Empuje
- 10.2. Sellos Mecánicos
- 10.3. Sellos de Cartucho
- 10.4. Selección de Sello
- 10.5. Coples
- 10.6. Selección de Motor
- 10.7. Instrumentos de la Bomba Horizontal

11. EVALUACION ECONOMICA**12. CONCLUSIONES****13. MARCO LEGAL****14. BIBLIOGRAFÍA**

1. INTRODUCCION

1.1. Antecedentes.

El agua es el principal producto residual en la industria del petróleo y gas, por este motivo se desarrollará un estudio para la implementación del mejoramiento del sistema de control de los equipos que sirven para la reinyección de este subproducto o residual conocido como "salmuera de campo petrolero", "agua salada", "agua producida", etc., dado que, cada día deben manipularse millones de barriles de agua que mayormente contienen grandes cantidades de sales disueltas, sólidos en suspensión, metales pesados e hidrocarburos dispersos y disueltos. Además, se han generado muchos contratiempos de la manera como se viene trabajando en el control del desempeño de este sistema, por la identificación tardía de los problemas que se originan en las plataformas de producción. Es por esta razón en particular que el sistema SCADA sería de gran utilidad para atenuar la complejidad y mejorar la exactitud del manejo de este residuo.

1.2. Justificación.

La aplicación de este sistema se puede ver como parte integral de la mayoría de los ambientes industriales complejos o geográficamente dispersos. El sistema SCADA recopila información muy rápidamente de una gran cantidad de fuentes y la presenta a uno o varios operadores en una forma amigable, en tal sentido el uso del sistema SCADA no solo será de suma utilidad desde un punto de vista operacional, sino que también ayudara grandemente a disminuir el posible impacto ambiental. Los asuntos ambientales están recibiendo una creciente atención en todo el mundo, no solo como resultado de la creciente conciencia del público y de la preocupación y presión de los gobiernos, sino que además se está concentrando con mayor énfasis sobre las actividades individuales dentro de las compañías exploradoras y productoras de petróleo tanto privadas como públicas. En tal forma se ha solicitado a éstas compañías, que demuestren su compromiso con la protección del medio ambiente por medio de la adopción de políticas corporativas ambientales y a través de su actual desempeño en el campo.

Por tal motivo y para mejorar el control de los sistemas de reinyección es que se propone la implementación del sistema SCADA en los lotes petroleros de la selva norte del país, que entre otras cosas ofrece:

Supervisión remota de instalaciones y equipos: Permite al operador conocer el estado de desempeño de las instalaciones y los equipos alojados en las diversas plataformas de producción, lo que permite dirigir las tareas de mantenimiento y estadística de fallas.

Control remoto de instalaciones y equipos: Mediante el sistema se puede activar o desactivar los equipos remotamente (por ejemplo abrir válvulas, activar interruptores, prender motores, etc.), de manera automática y también manual. Además es posible ajustar parámetros, valores de referencia, algoritmos de control.

Procesamiento de datos: El conjunto de datos adquiridos conforman la información que alimenta el sistema, esta información es procesada, analizada, y comparada con datos anteriores, y con datos de otros puntos de referencia, dando como resultado una información confiable y veraz.

Visualización gráfica dinámica: El sistema es capaz de brindar imágenes en movimiento que representen el comportamiento del proceso, dándole al operador la impresión de estar presente dentro de una plataforma de producción. Estos gráficos también pueden corresponder a curvas de las señales analizadas en el tiempo.

Generación de reportes: El sistema permite generar informes con datos estadísticos del proceso en un tiempo determinado por el operador.

Representación de señales de alarma: A través de las señales de alarma se logra alertar al operador frente a una falla o la presencia de una condición perjudicial o fuera de lo aceptable. Estas señales pueden ser tanto visuales como sonoras.

Almacenamiento de información histórica: Se cuenta con la opción de almacenar los datos adquiridos, esta información puede analizarse posteriormente, el tiempo de almacenamiento dependerá del operador o del autor del programa.

Programación de eventos: Esta referido a la posibilidad de programar subprogramas que brinden automáticamente reportes, estadísticas, gráfica de curvas, activación de tareas automáticas

1.3. Planteamiento del Problema

El problema principal del agua producida no solo son los miles de barriles producidos diariamente sino además la toxicidad potencial de sus constituyentes y otros asociados con el manejo de la misma; además el alto contenido de cloruros es tóxico para las aguas y la vegetación, la cual prácticamente desaparecería en las vecindades de la descarga. Por este motivo el tratamiento y posterior disposición del agua producida es de suma importancia para la continuidad de la producción de petróleo.

Sin la implementación del sistema SCADA los tiempos de respuesta para la solución de las fallas de los controladores o variadores han sido altos y en algunos casos se ha tenido que detener la producción de petróleo para la solución de tales inconvenientes ya que la capacidad de los tanques no era la suficiente como para almacenar la cantidad de agua acumulada trayendo consigo pérdidas tanto de tiempo como económicas.

1.4. Formulación del Problema.

El sistema SCADA (control supervisor y adquisición de datos) utiliza tecnologías de comunicación para automatizar el monitoreo y control de procesos industriales; se plantea su aplicación y uso como una solución a los distintos problemas que surgen en los lotes donde se controlan grandes volúmenes de agua producida y que posteriormente serán reinyectados. Estos sistemas pueden tener una aplicación específica en los distintos lotes en la selva norte del país, donde se procesan grandes volúmenes de agua y que al no poder ser vertidos al medio ambiente, tienen que ser almacenados para luego ser reinyectados a pozos previamente acondicionados para tal fin.

Con la instalación del sistema SCADA en los sistemas de reinyección de agua producida, mejorará considerablemente la eficiencia del proceso de monitoreo y control proporcionando información oportuna para poder tomar decisiones operacionales apropiadas; en tal sentido las fallas que se presentan en los equipos de reinyección de agua serán apropiadamente identificados y en un tiempo mucho menor de lo que se ha estado manejando.

1.5. Objetivo

La producción de agua ha promediado históricamente seis veces el volumen de la producción de todos los pozos petroleros. El agua producida puede ser tratada y eliminada por varios métodos, la mayoría de los cuales ya han sido probados y aun se utilizan en varias partes del mundo.

En tal sentido el objetivo principal de este trabajo es hacer que la disposición de agua salmuera sea más eficiente, precisa y con una menor inversión de horas hombre trabajadas, de esta manera, se podrán controlar los sistemas de manera remota y en tiempo real para evitar el impacto ambiental ocasionado por derrames debido a las roturas de tuberías de conducción o fallas del sistema de reinyección.

1.6. Formulación de la Hipótesis

Con la aplicación de este método de control se espera identificar con exactitud y prontitud los posibles problemas que se puedan presentar a través de todo el sistema de reinyección del Lote 8.

1.7. Metodología de Trabajo

La dificultad principal que se presenta en los controladores del sistema de Reinyección es la obtención de datos que sean dados en forma precisa y en tiempo real, por lo tanto el primer paso a realizar es plantear una solución que sea viable, la cual pasa por presentar una propuesta que tenga las características de controlar parámetros desde un solo lugar hacia varias locaciones remotamente. En este contexto se formulo la puesta en prueba del sistema SCADA. Para lo cual se tiene que implementar en los controladores de los sistemas VDS el hardware y software adecuado, que permita, entre otras cosas, la visualización de la secuencia de arranque, control de sincronismo y puesta en paralelo, monitoreo de las variables medidas reales e históricas, eventos, tendencias, estados y alarmas, así como los parámetros de protección y lectura de las señales de los equipos y accesorios que conforman el sistema y su configuración remota.

La nueva arquitectura debe permitir la combinación de las funcionalidades de todo el sistema que estará compuesto por un moderno equipamiento de control el cual será adaptado al sistema operativo del Lote 8.

El SCADA y su posterior implementación estarán diseñados para cumplir con las exigencias de estas facilidades en particular.

Finalmente el sistema debe permitir un óptimo almacenamiento de información de los parámetros y registros de operación, tanto en capacidad, ventajas y facilidades.

En este tipo de sistemas usualmente existe un ordenador, que efectúa tareas de supervisión y gestión de alarmas, así como tratamiento de datos y control de procesos. La comunicación se realiza mediante buses especiales o redes LAN.

2. Marco Teórico

2.1. Composición de los Hidrocarburos.

No se puede hablar de petróleo sin mencionar el agua que coexiste con él, y que se le puede apreciar a través de todo el ciclo de formación del mismo. Los hidrocarburos son sustancias que se presentan en forma natural, cuya composición es una compleja mezcla de hidrógeno y compuestos de carbono. La materia orgánica, derivada de plantas microscópicas y animales en los mares antiguos se depositó en el lecho del océano en forma de sedimentos divididos finamente (lodo) bajo condiciones deficientes de oxígeno, esta mezcla se denomina "kerógeno". Al estar sepultado y por la acción del tiempo y los efectos de la temperatura y la presión, el kerógeno se convierte en petróleo. Estas condiciones también afectan los lodos depositados que resultan en rocas fuentes que son esquistos orgánicamente ricos y de un típico color oscuro.

El ambiente primario, con condiciones de falta de oxígeno durante un período, se encuentra en el fondo de un cuerpo de agua.

En la mayoría de los casos, este cuerpo de agua, que debe ser lo suficientemente grande como para generar cantidades económicamente significativas de petróleo, ha sido el agua salada del mar.

Durante la producción se requiere que los fluidos que ingresan al pozo encuentren condiciones favorables para fluir hacia la superficie donde son procesados, separados y despachados al mercado. Todos los pozos producen cierta cantidad de agua pero las cantidades son, generalmente al principio, lo suficientemente pequeñas como para mantenerse por debajo de los límites de refinación o de transporte, hasta 0,5% BS&W. Este "Sedimento Básico y Agua" es el agua producida inicialmente por el pozo

Conforme continúa la producción, la presión en el reservorio y en los alrededores de los pozos de producción disminuye. Se produce el movimiento de fluidos dentro del reservorio y el contacto establecido entre el petróleo y el agua es perturbado. Si la velocidad de caída de presión fuera demasiado pequeña se podría esperar que la superficie de contacto se desplazara uniformemente hacia arriba. Sin embargo, los criterios económicos determinan que la velocidad de producción debe ser considerablemente mayor que los flujos infinitamente pequeños necesarios para mantener el equilibrio. Los movimientos de fluidos que se presentan en el reservorio producen el cambio de contactos del petróleo con el

agua. Estos cambios pueden ir desde movimientos parejos hasta el desplazamiento no uniforme (digitación) del agua de mayor movilidad y hacia los puntos de baja presión creados por la extracción de petróleo del pozo. Son una función de los parámetros del reservorio, particularmente la transmisibilidad y el ritmo de extracción

2.2. Agua de Producción.

El agua que se mueve en el reservorio llegará tarde o temprano al pozo y será producida. Si no hay instalaciones en la superficie para manipular y tratar esta mezcla y si hay otros pozos en el conjunto con exceso de capacidad, los pozos que producen agua simplemente se cierran adecuadamente y se abandonan.

A medida que aumenta la demanda de petróleo y la producción de los mejores pozos declina, estos pozos se vuelven necesarios, debiéndose disponer de instalaciones para separar el agua del petróleo y eliminarla. La cantidad de agua que se puede tolerar por cada pozo productor varía significativamente.

En un proyecto de inyección de agua donde se manejan grandes volúmenes, el límite económico máximo puede ser de 50 a 1, es decir, 50 barriles de agua producida y eliminada por cada barril de petróleo. En otros casos, donde la eliminación del agua es limitada y cara y las regalías sobre el petróleo son altas, los límites económicos serán mucho menores, posiblemente tan pequeños como 2:1 ó 3:1.

En resumen, todos los pozos producen agua, cuya cantidad varía desde muy pequeña hasta varias veces el volumen de petróleo en los últimos períodos de vida del campo petrolífero. En la mayoría de los casos, la producción de agua es inevitable en la vida del pozo y los volúmenes pueden incrementarse drásticamente al producirse la filtración del agua a través del petróleo y después lentamente, hasta alcanzar el límite económico.

Los pozos de gas también producen agua, aunque por lo general, las cantidades son considerablemente más pequeñas que en los pozos de petróleo. El gas también es compresible y los campos de gas no están sujetos a inyección de agua. Se puede esperar que los volúmenes se encuentren entre los 0,5 y 5 barriles por millón de pies cúbicos pudiendo crear serios problemas en la manipulación, particularmente de hidratos, aún en bajos volúmenes. Estas aguas son a menudo separadas del gas en la misma área del pozo, mediante el uso de

deshidratadores, para luego ser evaporadas durante el ciclo de regeneración del equipo de deshidratación.

2.3. Métodos para la Disposición de Agua Salada

Existen varios métodos para disposición de agua salada las cuales se enumeran a continuación:

1. Descarga sin Control a la Superficie

En este caso, el agua producida original fue simplemente descargada de la concesión al suelo. El contenido de petróleo no fue medido o controlado y los efectos no fueron considerados. Esta costumbre llevó a la contaminación de las capas freáticas superficiales y del agua potable y a la acumulación de grandes cantidades de sal en el suelo, tornándolo inutilizable.

2. Descarga sin Control en Agua Dulce

La descarga de agua producida en arroyos, ríos y lagos ha conducido a la destrucción de estos cuerpos de agua, a la destrucción de peces y especies, a la matanza de otras especies acuáticas, y a paisajes deplorables. La contaminación de estas corrientes también ha llevado también a la polución de las aguas freáticas y de otras fuentes de agua potable.

3. Descarga Controlada en la Superficie

La descarga controlada en la superficie es practicada en algunas zonas. El agua producida es usada para rociar los caminos en el invierno y su contenido salino aprovechado para derretir el hielo y la nieve a temperaturas cercanas al punto de congelamiento. La descarga en la superficie también se practica en algunas zonas áridas del mundo en donde el agua es rociada sobre los caminos para controlar al polvo.

4. Descarga Controlada en Aguas Superficiales

La descarga controlada en aguas dulces superficiales se practica también en algunas zonas, por ejemplo. Se ejerce el control sobre la cantidad de sales disueltas totales en el fluido (límite es de 5000 ppm), en el uso del agua (por ejemplo, alimento para ganado).

5. Evaporación

En las zonas áridas donde las tasas de evaporación son altas, el agua producida se coloca en fosas y se deja para que se evapore. El agua se purifica por la evaporación pero las sales y sólidos disueltos permanecen en la fosa de

evaporación. Eventualmente, se deberá disponer de estos sólidos en forma segura.

6. Descarga sin Control en Ambientes Marinos Costeros

La descarga sin control en ambientes marinos costeros ha sido común debido a la ubicación de muchos campos de petróleo. Esto ha llevado a la concentración de metales y aceites pesados en la vida marina y a la contaminación costera.

7. Descarga Controlada en Ambientes Marinos Costeros

Las descargas controladas en ambientes marinos costeros comprenden principalmente un control del contenido del petróleo y del punto de descarga. Los objetivos principales son evitar las aguas muertas o estancadas y las zonas pesqueras.

8. Descarga en Aguas Profundas

Las descargas desde plataformas han sido comunes. Los controles en donde se han aplicado, han sido dirigidos principalmente al contenido de petróleo.

9. Inyección por el Espacio Anular

Se ha practicado la inyección de agua por el espacio anular de pozos productivos en varios campos. Esencialmente, es lo mismo que la inyección en pozo sumidero o poco profundo pues el fluido se dirige a la primera zona permeable debajo de la primera tubería de revestimiento. En algunos casos los controles de la cementación de la primera tubería de revestimiento no se adecuan a la disposición de las aguas, y la tubería de revestimiento, que ya se perforó hace algún tiempo, bien podría estar desgastada hasta el punto de falla.

10. Inyección en Pozo Poco Profundo

La inyección en pozos poco profundos es popular en algunas zonas. El riesgo de Contaminación de las capas freáticas poco profundas y del agua potable subterránea aumenta obviamente a medida que disminuye la profundidad de inyección.

11. Inyección en Pozo Profundo

La inyección de agua a zonas profundas, no asociadas (a una profundidad de más de 1.800 m.) se ha utilizado por varios años en muchas zonas.

En todos los métodos anteriormente mencionados el más recomendable y la que se usa en los campos del norte del país es la inyección en pozos profundos ya que ofrece un alto grado de confiabilidad de no contaminación del medio ambiente.

2.4. Introducción al Sistema SCADA

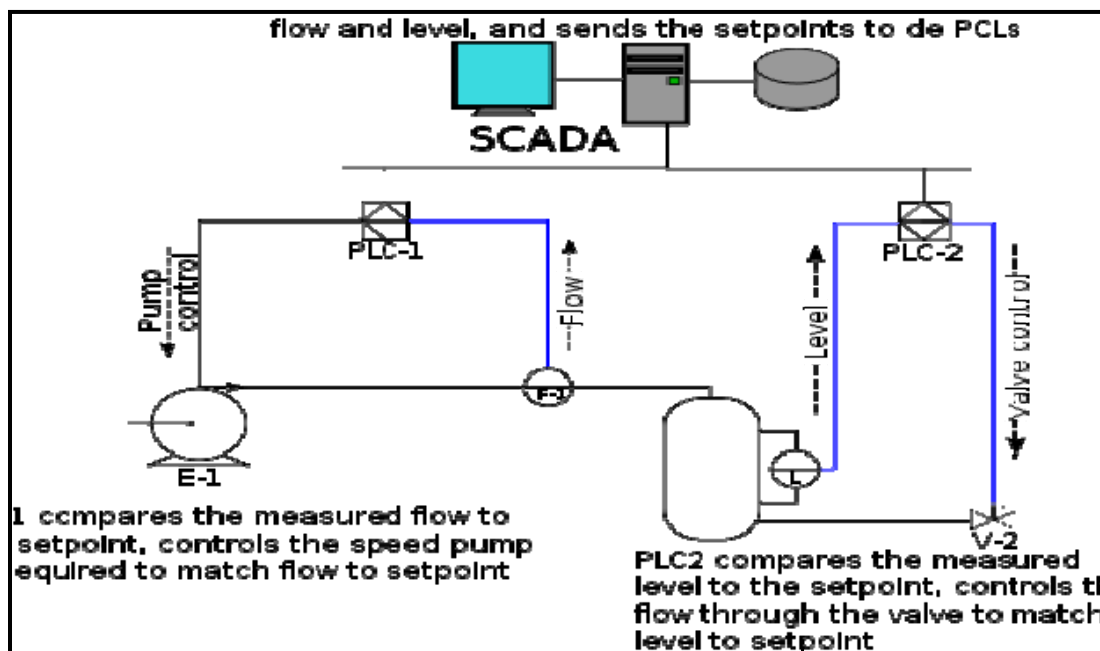
En este tipo de sistemas usualmente existe un ordenador, que efectúa tareas de supervisión y gestión de alarmas, así como tratamiento de datos y control de procesos. La comunicación se realiza mediante buses especiales o redes LAN.

Todo esto se ejecuta normalmente en tiempo real, y están diseñados para dar al operador de planta la posibilidad de supervisar y controlar dichos procesos.

Los programas necesarios y en este caso el hardware, se denomina SCADA.

El sistema SCADA usualmente presenta la información al personal operativo de manera gráfica, en forma de un diagrama de representación.

Esto significa que el operador puede ver un esquema que representa el equipo que está siendo controlado. Por ejemplo un dibujo de una bomba conectada a la tubería puede mostrar al operador cuanto fluido está siendo bombeado a través de la tubería en un momento dado o bien el nivel de líquido de un tanque o si la válvula está abierta o cerrada. Los diagramas de representación pueden consistir en gráficos de líneas y símbolos esquemáticos para representar los elementos del proceso, o pueden consistir en fotografías digitales de los equipos sobre los cuales se animan las secuencias.



Los bloques software de un SCADA (módulos), permiten actividades de adquisición, supervisión y control, estos son:

- *Configuración*: permite definir el entorno de trabajo del SCADA, adaptándolo a alguna aplicación en particular que se desea desarrollar.

- *Interfaz gráfica del operador*: proporciona al operador las funciones de control y supervisión de equipos. El proceso se representa mediante sinópticos gráficos almacenados en el ordenador de proceso y generados desde el editor incorporado en el SCADA o importados desde otra aplicación durante la configuración del paquete.
- *Módulo de proceso*: ejecuta las acciones de mando pre-programadas a partir de los valores actuales de variables leídas.
- *Gestión y archivo de datos*: almacenamiento y procesado ordenado de datos, de forma que otra aplicación o dispositivo pueda tener acceso a ellos.
- *Comunicaciones*: transferencia de información entre la planta y la arquitectura hardware que soporta el SCADA, y también entre ésta y el resto de elementos informáticos de gestión.

En conclusión los equipos que sean monitoreados por el sistema SCADA podrán operar de manera más segura con el consecuente ahorro de costos de reparación para los VSD, el cual representa en la actualidad un costo alto en el mantenimiento de los sistemas de reinyección de agua.

3.- SISTEMAS SCADA

3.1. Conceptos Básicos del Sistema SCADA

3.1.1 Los sistemas SCADA (Supervisory Control And Data Adquisition)

Son aplicaciones de software, diseñadas con la finalidad de controlar y supervisar procesos a distancia. Se basan en la adquisición de datos de procesos remotos.

Se trata de una aplicación de software, especialmente diseñada para funcionar sobre ordenadores en el control de producción, proporcionando comunicación con los dispositivos de campo (controladores autónomos, autómatas programables, etc.) y controlando el proceso de forma automática desde una computadora. Además, envía la información generada en el proceso productivo a diversos usuarios, tanto del mismo nivel como hacia otros supervisores dentro de la empresa, es decir, que permite la participación de otras áreas como por ejemplo: control de calidad, supervisión, mantenimiento, etc.

Cada uno de los ítems de SCADA (Supervisión, Control y Adquisición de datos) involucran muchos subsistemas, por ejemplo, la adquisición de los datos puede estar a cargo de un *PLC (Controlador Lógico Programable)* el cual toma las señales y las envía a las estaciones remotas usando un protocolo determinado, otra forma podría ser que una computadora realice la adquisición vía un hardware especializado y luego esa información la transmita hacia un equipo de radio vía su puerto serial, y así existen muchas otras alternativas.

Las tareas de Supervisión y Control generalmente están mas relacionadas con el software SCADA, en él, el operador puede visualizar en la pantalla del computador de cada una de las estaciones remotas que conforman el sistema, los estados de ésta, las situaciones de alarma y tomar acciones físicas sobre algún equipo lejano, la comunicación se realiza mediante buses especiales o redes LAN. Todo esto se ejecuta normalmente en tiempo real, y están diseñados para dar al operador de planta la posibilidad de supervisar y controlar dichos procesos.

Estos sistemas actúan sobre los dispositivos instalados en la planta, como son los controladores, autómatas, sensores, actuadores, registradores, etc. Además permiten controlar el proceso desde una estación remota, para ello

el software brinda una interfaz gráfica que muestra el comportamiento del proceso en tiempo real.

Generalmente se vincula el software al uso de una computadora o de un PLC, la acción de control es realizada por los controladores de campo, pero la comunicación del sistema con el operador es necesariamente vía computadora. Sin embargo el operador puede gobernar el proceso en un momento dado si es necesario.

Un software SCADA debe ser capaz de ofrecer al sistema:

- Posibilidad de crear paneles de alarma, que exigen la presencia del operador para reconocer una parada o situación de alarma, con registro de incidencias.
- Generación de datos históricos de las señales de planta, que pueden ser volcados para su proceso sobre una hoja de cálculo.
- Ejecución de programas, que modifican la ley de control, o incluso anular o modificar las tareas asociadas al autómeta, bajo ciertas condiciones.
- Posibilidad de programación numérica, que permite realizar cálculos aritméticos de elevada resolución sobre la CPU del ordenador.

3.1.2 Tipos de SCADA

Existen diversos tipos de sistemas SCADA dependiendo del fabricante y sobre todo de la finalidad con que se va a hacer uso del sistema, por ello antes de decidir cuál es el más adecuado hay que tener presente si cumple o no ciertos requisitos básicos:

- Todo sistema debe tener arquitectura abierta, es decir, debe permitir su crecimiento y expansión, así como deben poder adecuarse a las necesidades futuras del proceso y de la planta.
- La programación e instalación no debe presentar mayor dificultad, debe contar con interfaces gráficas que muestren un esquema básico y real del proceso
- Deben permitir la adquisición de datos de todo equipo, así como la comunicación a nivel interno y externo (redes locales y de gestión)
- Deben ser programas sencillos de instalar, sin excesivas exigencias de hardware, y fáciles de utilizar, con interfaces amigables para el usuario.

4.- FUNCIONES PRINCIPALES DEL SISTEMA SCADA

Las siguientes funciones del Sistema son:

A) Supervisión remota de instalaciones y equipos

Permite al operador conocer el estado de desempeño de las instalaciones y los equipos alojados en la planta, lo que permite dirigir las tareas de mantenimiento y estadística de fallas.

B) Control remoto de instalaciones y equipos:

Mediante el sistema se puede activar o desactivar los equipos remotamente (por ejemplo abrir válvulas, activar interruptores, prender motores, etc.), de manera automática y también manual. Además es posible ajustar parámetros, valores de referencia, algoritmos de control, etc.

C) Procesamiento de datos:

El conjunto de datos adquiridos conforman la información que alimenta el sistema, esta información es procesada, analizada, y comparada con datos anteriores, y con datos de otros puntos de referencia, dando como resultado una información confiable y veraz.

D) Visualización gráfica dinámica:

El sistema es capaz de brindar imágenes en movimiento que representen el comportamiento del proceso, dándole al operador la impresión de estar presente dentro de una planta real. Estos gráficos también pueden corresponder a curvas de las señales analizadas en el tiempo.

E) Generación de reportes:

El sistema permite generar informes con datos estadísticos del proceso en un tiempo determinado por el operador.

Representación de señales de alarma: A través de las señales de alarma se logra alertar al operador frente a una falla o la presencia de una condición perjudicial o fuera de lo aceptable. Estas señales pueden ser tanto visuales como sonoras.

F) Almacenamiento de información histórica:

Se cuenta con la opción de almacenar los datos adquiridos, esta información puede analizarse posteriormente, el tiempo de almacenamiento dependerá del operador o del autor del programa.

G) Programación de eventos:

Está referido a la posibilidad de programar subprogramas que brinden automáticamente reportes, estadísticas, gráfica de curvas, activación de tareas automáticas, etc.

5.- TRANSMISIÓN DE LA INFORMACIÓN

Los sistemas SCADA necesitan comunicarse vía red, puertos GPIB (estándar de conexión que permite la comunicación de un ordenador con instrumentos electrónicos de medida), telefónica o satélite, es necesario contar con computadoras remotas que realicen el envío de datos hacia una computadora central, esta a su vez será parte de un centro de control y gestión de información.

Para realizar el intercambio de datos entre los dispositivos de campo y la estación central de control y gestión, se requiere un medio de comunicación; existen diversos medios que pueden ser cableados (cable coaxial, fibra óptica, cable telefónico) o no cableados (microondas, ondas de radio, comunicación satelital).

Cada fabricante de equipos para sistemas SCADA emplean diferentes protocolos de comunicación y no existe un estándar para la estructura de los mensajes, sin embargo existen estándares internacionales que regulan el diseño de las interfaces de comunicación entre los equipos del sistema SCADA y equipos de transmisión de datos.

Un protocolo de comunicación es un conjunto de reglas y procedimientos que permite a las unidades remotas y central, el intercambio de información. Los sistemas SCADA hacen uso de los protocolos de las redes industriales.

La comunicación entre los dispositivos generalmente se realiza utilizando dos medios físicos: cable tendido, en la forma de fibra óptica o cable eléctrico, o radio. En cualquiera de los casos se requiere un MODEM, el cual modula y de-modula la señal.

Algunos sistemas grandes usan una combinación de radio y líneas telefónicas para su comunicación debido a que la información que se transmite sobre un sistema SCADA debería ser pequeña generalmente la velocidad de transmisión de los modem suele ser pequeño.

Muchas veces 300bps (bits de información por segundo) es suficiente.

Pocos sistemas SCADA, excepto en aplicaciones eléctricas, suelen sobrepasar los 2400bps, esto permite que se pueda usar las líneas telefónicas convencionales, al no superar el ancho de banda físico del cable.

6. COMUNICACIONES DE LOS DISPOSITIVOS

6.1 Elementos de la Comunicación.

En una comunicación deben existir tres elementos necesariamente:

- Un medio de transmisión, sobre el cual se envían los mensajes
- Un equipo emisor que puede ser el MTU
- Un equipo receptor que se puede asociar a los RTU's.

En telecomunicaciones, el MTU y el RTU son también llamados Equipos terminales de datos (DTE, Data Terminal Equipments). Cada uno de ellos tiene la habilidad de generar una señal que contiene la información a ser enviada. Asimismo, tienen la habilidad para descifrar la señal recibida y extraer la información, pero carecen de una interfaz con el medio de comunicación.

La figura siguiente muestra la conexión de los equipos con las interfaces para el medio de comunicación.

Los modem, llamados también Equipo de Comunicación de Datos (DCE, Data Communication Equipment), son capaces de recibir la información de los DTE's, hacer los cambios necesarios en la forma de la información, y enviarla por el medio de comunicación hacia el otro DCE, el cual recibe la información y la vuelve a transformar para que pueda ser leído por el DTE.

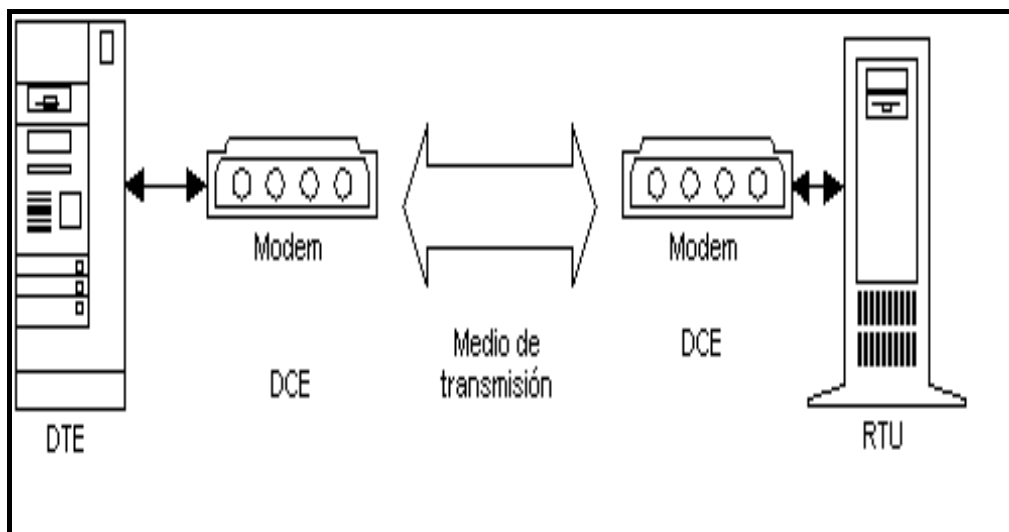


Figura 1: Esquema de conexión de equipos e interfaces de comunicación

7.- ELEMENTOS DEL SISTEMA SCADA

Un sistema SCADA esta conformado por:

7.1 Interfaz Operador Máquinas

Es el entorno visual que brinda el sistema para que el operador se adapte al proceso desarrollado por la planta. Permite la interacción del ser humano con los medios tecnológicos implementados.

7.2 Unidad Central (MTU)

Conocido como Unidad Maestra. Ejecuta las acciones de mando (programadas) en base a los valores actuales de las variables medidas.

La programación se realiza por medio de bloques de programa en lenguaje de alto nivel (como C, C++, Basic, etc.). También se encarga del almacenamiento y procesado ordenado de los datos, de forma que otra aplicación o dispositivo pueda tener acceso a ellos.

7.3 Unidad Remota (RTU)

Lo constituye todo elemento que envía algún tipo de información a la unidad central. Es parte del proceso productivo y necesariamente se encuentra ubicada en la planta.

7.4 Sistema de Comunicaciones

Se encarga de la transferencia de información del punto donde se realizan las operaciones, hasta el punto donde se supervisa y controla el proceso. Lo conforman los transmisores, receptores y medios de comunicación.

7.5 Transductores

Son los elementos que permiten la conversión de una señal física en una señal eléctrica (y viceversa). Su calibración es muy importante para que no haya problema con la confusión de valores de los datos.

En la siguiente figura N°2 y figura N°3 se observa un esquema referente a las conexiones del MTU y el operador, y del RTU con los dispositivos de campo (sensores, actuadores)

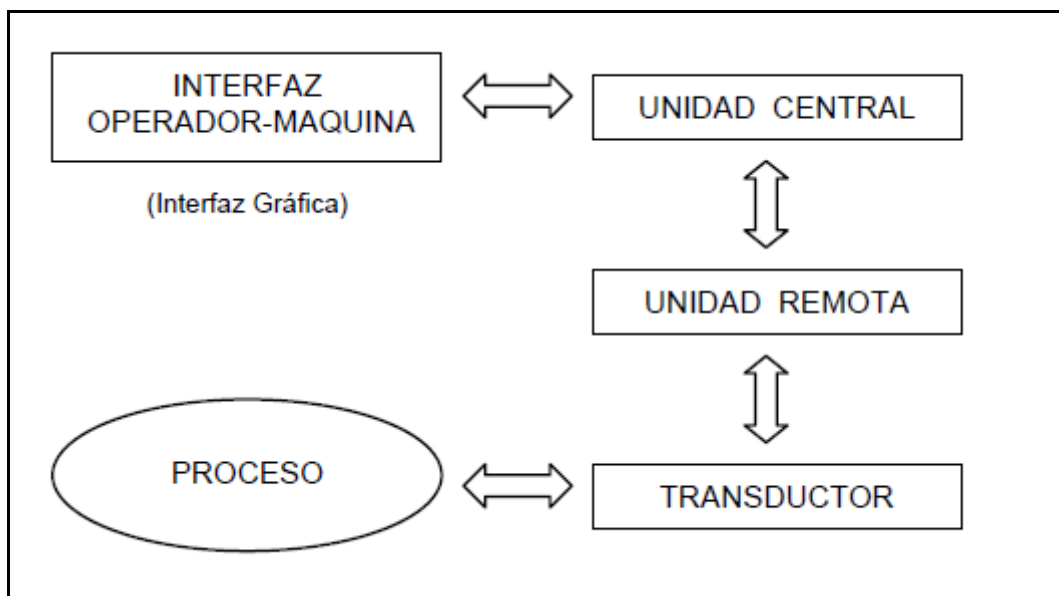


Figura 2: Esquema de los elementos de un sistema SCADA

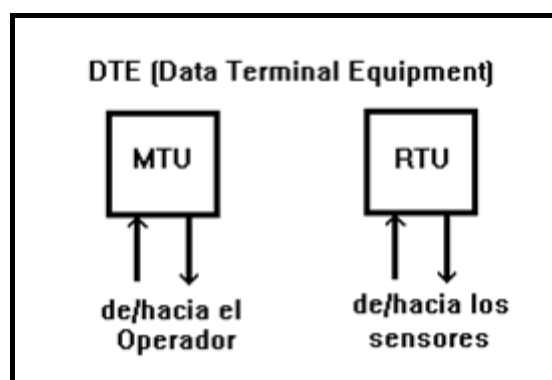


Figura 3: Esquema del conexionado para el MTU y el RTU

La RTU es un sistema que cuenta con un microprocesador e interfaces de entrada y salida tanto analógicas como digitales que permiten tomar la información del proceso provista por los dispositivos de instrumentación y control en una localidad remota y, utilizando técnicas de transmisión de datos, enviarla al sistema central.

Un sistema puede contener varios RTUs; siendo capaz de captar un mensaje direccionado hacia él, decodificarlo, respondiendo si es necesario, y esperar por un nuevo mensaje.

La MTU, bajo un software de control, permite la adquisición de la data a través de todas las RTUs ubicadas remotamente y brinda la capacidad de ejecutar comandos de control remoto cuando es requerido por el operador.

Normalmente el MTU cuenta con equipos auxiliares como impresoras y memorias de almacenamiento, las cuales son también parte del conjunto MTU.

En muchos casos el MTU debe enviar información a otros sistemas o computadoras. Estas conexiones pueden ser directas y dedicadas o en la forma de una red LAN.

La conexión entre el RTU y los dispositivos de Campo es muchas veces realizada vía conductor eléctrico. Usualmente, el RTU provee la potencia para los actuadores y sensores, y algunas veces éstos vienen con un equipo de soporte ante falla en la alimentación de energía (UPS, uninterruptible power supply). Ver figura N° 4 y figura N° 5.

La data adquirida por la MTU se presenta a través de una interfaz gráfica en forma comprensible y utilizable, y más aun esta información puede ser impresa en un reporte.

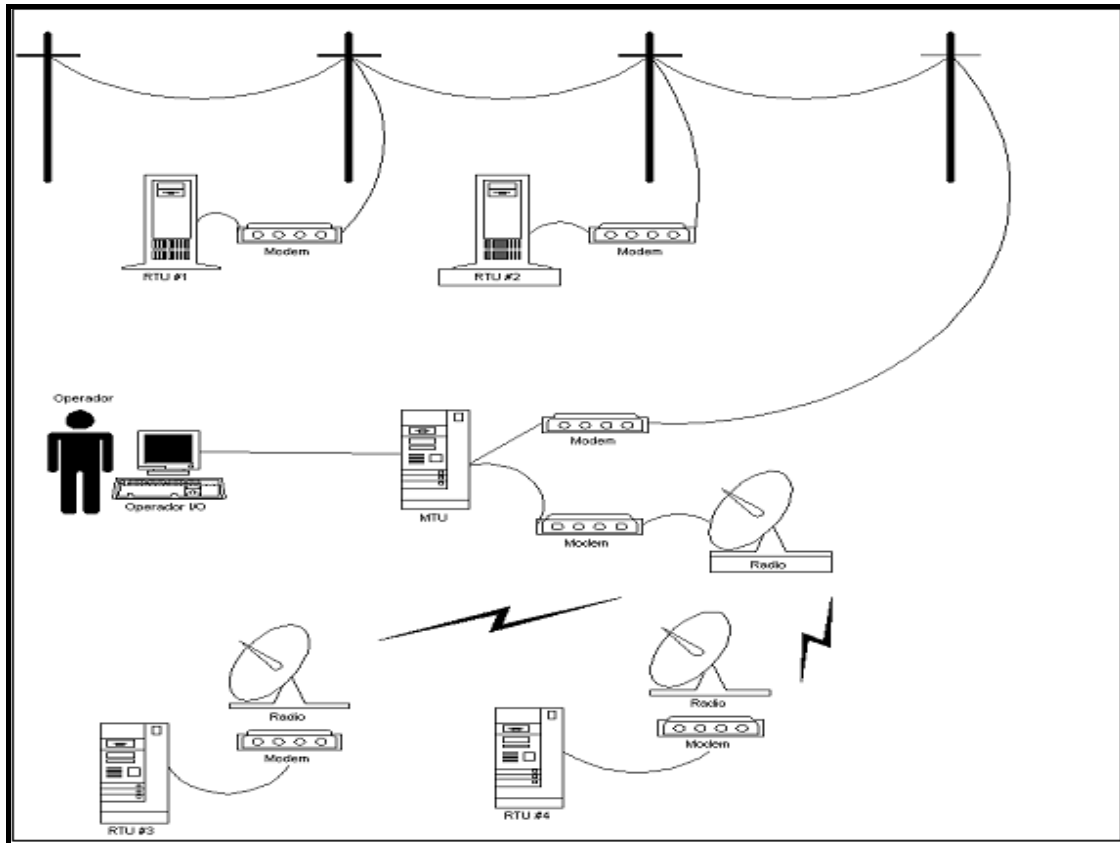


Figura Nº 4: Esquema de conexiones de los elementos de un sistema SCADA

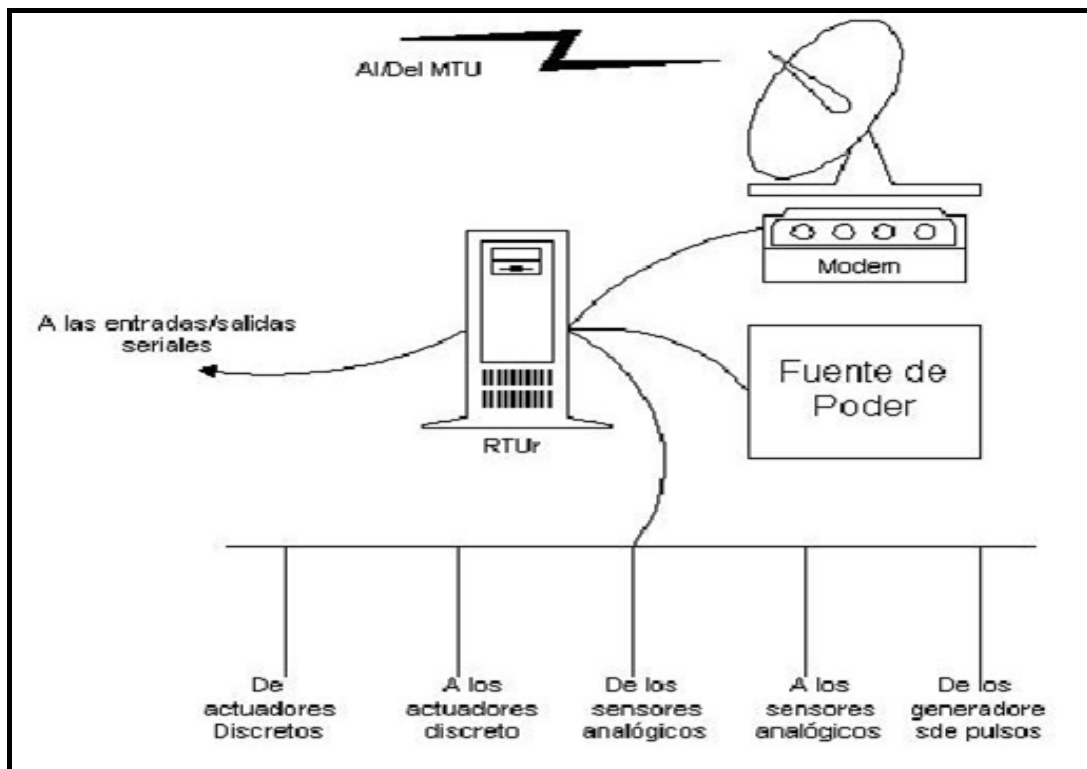


Figura 5: Esquema de conexiones de la RTU

8.- HIDRAULICA DE LA BOMBA CENTRIFUGA

8.1 Etapas de la Bomba Centrifuga.

Las bombas centrifugas en general, están construidas por una serie de etapas (impulsores y difusores) superpuestas una sobre otra para lograr obtener la altura de columna deseada. La bomba centrífuga convierte la energía mecánica en energía hidráulica en el seno del líquido que está siendo bombeado.

Esta energía se presenta como energía de velocidad, energía de presión, o ambas.

La bomba centrifuga opera con mayor eficiencia cuando solo líquidos son producidos a través de la bomba. La producción de gas libre, metales pesados y carbonatos a través de la bomba reduce su eficiencia y tiene un efecto negativo en la cantidad de columna generada. La magnitud de la degradación de columna dinámica de fluido (TDH) depende en parte de la presión de entrada a la bomba (PIP), al disminuir la presión PIP se magnifica el efecto de los contaminantes antes mencionados en la columna dinámica de fluido.

El aumento en esta cantidad de elementos extraños dentro de la bomba reduce la columna de fluido generada y aumenta el riesgo de que la bomba se trabe debido a diversas razones.

El flujo desarrollado dentro de un impulsor es un flujo inestable y tridimensional, la columna de fluido generada por un impulsor puede ser calculada teóricamente por medio de las ecuaciones de momento y energía usando balance de masas para obtener las velocidades de entrada y salida del fluido en el impulsor asumiendo un flujo uni-dimensional.

La columna TDH calculada teóricamente es una aproximación de la columna de fluido real generada por un impulsor. En el estudio teórico se asume un flujo uni-dimensional en el que se descartan movimientos secundarios y se asume que el fluido recorre exactamente los pasajes entre los alabes del impulsor y sale del impulsor con una dirección tangencial a la superficie de los alabes (numero infinito de alabes).

Al conjunto de ecuaciones para calcular la columna ideal de fluido generada por un impulsor se les conoce como la ecuación de Euler. La relación de la columna ideal de fluido desarrollada y la capacidad de circulación de la bomba se puede observar en la figura siguiente:

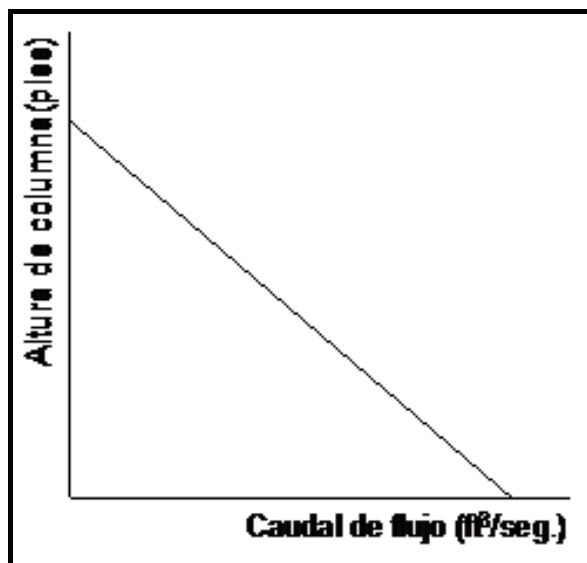


Figura N° 5

La columna actual de fluido desarrollada por la bomba es menor que la calculada teóricamente usando la ecuación de Euler. Debido a las pérdidas que ocurren dentro de cada etapa de la bomba las cuales no son consideradas en el análisis teórico.

8.2 Clasificación de las Pérdidas en la Bomba Centrífuga.

En general las pérdidas en la bomba pueden ser clasificadas en pérdidas por escape, hidráulicas, y pérdidas del impulsor.

- **Pérdidas por escape:** Estas ocurren cuando el fluido se filtra entre los espacios del impulsor y el difusor.
- **Pérdidas hidráulicas:** Estas se desarrollan debido a la complejidad del patrón de flujo dentro del impulsor. La magnitud de esta variable aumenta al introducir “agua sucia” dentro de la bomba.
- **Pérdidas del impulsor:** Estas ocurren debido a: la fricción entre las paredes del impulsor y el fluido, las pérdidas por los cambios en el área del impulsor ocupada por el fluido, y las pérdidas ocasionadas por la circulación del fluido dentro de las cavidades del impulsor. Este último puede ser teóricamente reducido mediante el uso de un mayor número de alabes en el impulsor, lo cual mejora la circulación del fluido.

La cantidad de columna actual desarrollada por una etapa es menor que la calculada teóricamente mediante la ecuación de Euler debido a los factores previamente descritos.

La curva que describe la relación entre el caudal de flujo y la altura de columna cambia de acuerdo a la geometría de la bomba. Ver figura N° 6

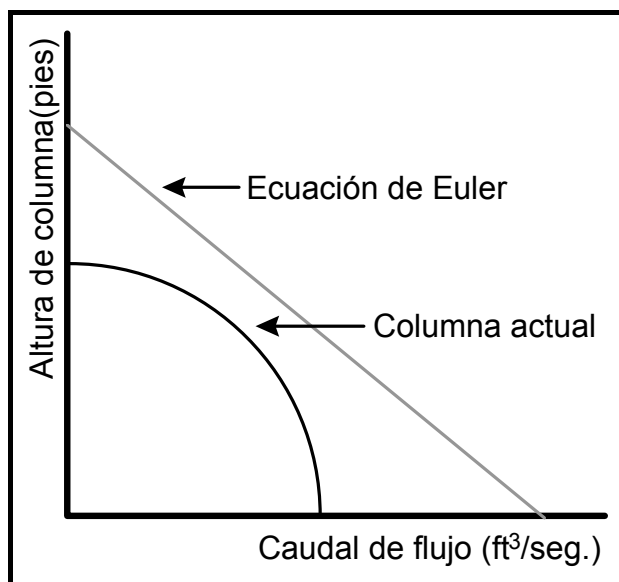


Figura N° 6

La bomba tiene, para una velocidad y una viscosidad del fluido estándares, una curva de desempeño que indica la relación entre la altura de columna desarrollada por la bomba y el gasto que circula a través de la bomba (Fig. 6), esta curva se basa en el desempeño actual de la bomba en condiciones específicas.

En una curva típica de rendimiento se puede apreciar el comportamiento de la eficiencia de la bomba, la potencia requerida y el rango óptimo de operación en función de la tasa de descarga, la cual depende de la velocidad de rotación, tamaño del impulsor, diseño del impulsor, número de etapas, la cabeza o columna dinámica en contra de la cual la bomba debe operar y las propiedades físicas del fluido a bombear.

La curva de Altura de columna es trazada utilizando los datos de desempeño reales. Como puede observarse, cuando la capacidad aumenta, la altura de columna total (o presión) que la bomba es capaz de desarrollar se reduce.

Generalmente, la columna más alta que una bomba puede desarrollar, se desarrolla en un punto en que no hay flujo a través de la bomba; esto es, cuando la válvula de descarga está completamente cerrada.

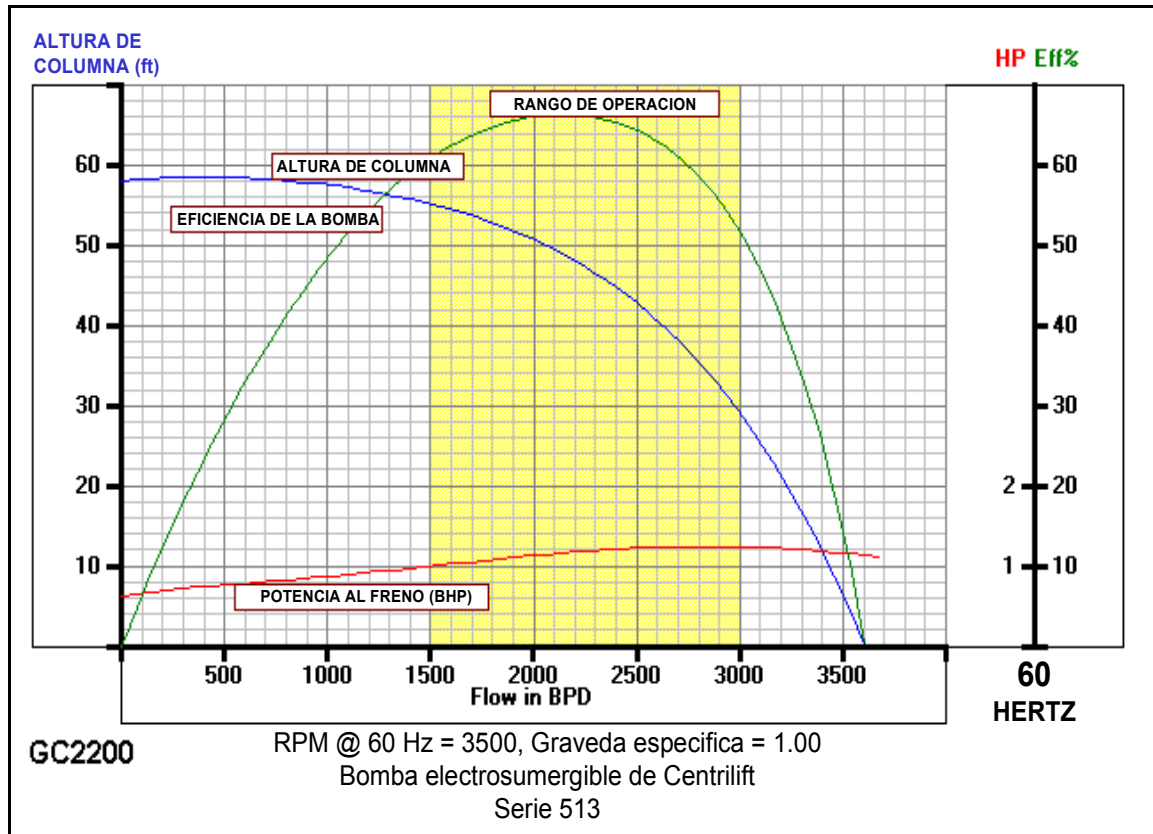


Figura N° 7 Curva característica para una etapa a 60 Hertz

La curva de Potencia al Freno (BHP) (figura N° 7), se traza con base en los datos de la prueba de desempeño real. Esta es la potencia real requerida por la bomba centrífuga, tomando como base los mismos factores constantes que se mencionaron anteriormente, para entregar el requerimiento hidráulico.

8.3. Rango de Operación:

La figura N° 7 es la curva del rango de operación en el cual la bomba opera con mayor eficiencia. Si la bomba se opera a la izquierda del rango de operación, a una tasa de flujo menor, la bomba puede sufrir desgaste por empuje descendente (downthrust).

Si la bomba se opera a la derecha del rango de operación, a una tasa de flujo mayor, la bomba puede sufrir desgaste por empuje ascendente (upthrust).

La Eficiencia de la bomba centrífuga no se puede medir directamente, debe ser computada de los datos de la prueba ya medidos. La fórmula para calcular el porcentaje de eficiencia es:

$$\text{Eficiencia (\%)} = \frac{\text{Alt. de columna} \cdot \text{Capacidad} \cdot \text{Gravedad Específica} \cdot 100}{3,960 \cdot \text{BHP}}$$

Donde:

Altura de la Columna = Pies

Capacidad = Galones/minuto

BHP = Potencia al freno (HP)

8.4. Bomba Resistente a la Abrasión ("AR")

Esta bomba es buena para los ambientes agresivos. Tiene insertos de Carburo de Tungsteno y cojinetes de soporte en cada etapa para manejar el desgaste radial y el originado por el empuje axial (figura N° 8). Las pruebas de campo han demostrado que este diseño tiene una vida útil notablemente superior al de las bombas estándar.

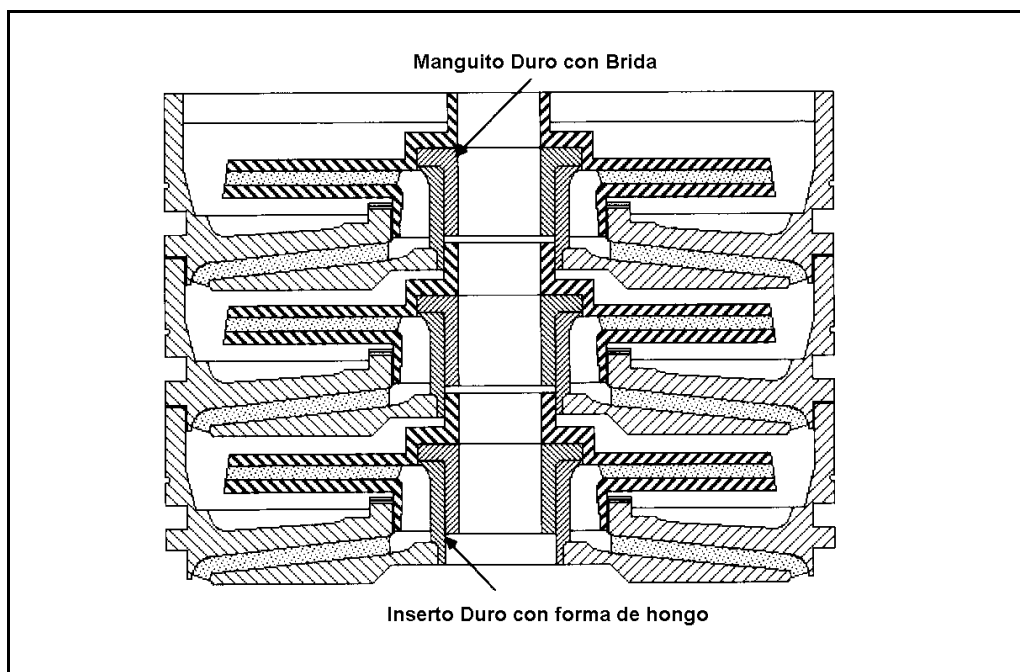


Figura N° 8 Bomba resistente a la corrosión

Este tipo de bombas resistentes a la abrasión fueron originalmente desarrolladas para aplicaciones en el Mar de Norte, las cuales luego de un continuo plan de desarrollo e investigación han mejorado notablemente su tiempo de operación con respecto a las bombas tradicionales. Este desarrollo está abriendo las puertas para la aplicación de las bombas centrífugas en ambientes aún más difíciles.

La clave para éste diseño fue la metalurgia especialmente endurecida ubicada estratégicamente a lo largo de la bomba y que es capaz de resistir la abrasión de la arena. La figura N° 8 representa un diseño de etapa de bomba resistente a la abrasión.

8.5. Empuje Axial en la Bomba

• Impulsor

Hay dos zonas donde se produce el empuje en una bomba. El primero es producido por las presiones del fluido (P_T & P_B) en el impulsor (Fig. 8). La presión del fluido en el área superior del cuerpo del impulsor (A_T) produce una fuerza hacia abajo en el impulsor. La presión del fluido en el área inferior del impulsor (A_B) y la fuerza de inercia (F_M) del fluido haciendo un giro de 90 grados en la entrada producen una fuerza hacia arriba. La sumatoria de estas se llama la fuerza de empuje del impulsor (F_I).

$$F_I = P_T A_T - P_B A_B - F_M$$

• Eje

La segunda zona de empuje es producida por las presiones del fluido actuando sobre el extremo del eje de la bomba (Fig. 1-5) y se conoce como empuje del eje (F_S). En este caso, la presión (P_D) producida por la bomba menos la presión de entrada de la bomba (P_E) actuando en el área del eje (A_S) produce una fuerza hacia abajo (F_S).

$$F_S = (P_O - P_E) A_S$$

- **Impulsor Fijo (o de Compresión) vs. Impulsor Flotante**

El método del manejo del empuje ejercido por una bomba varía dependiendo del tipo de impulsor. La etapa de la bomba de impulsor fijo tiene sus impulsores montados en el eje de tal forma que no se les permite moverse o deslizarse axialmente sobre el mismo. Los impulsores están localizados de manera tal que están girando dentro de un espacio limitado por una distancia mínima a los difusores ubicados arriba y abajo de estos. Por lo tanto, el empuje del impulsor (F_I) es transferido al eje de la bomba. El cojinete de empuje de la sección de sello tiene que llevar el empuje total ($F_T = F_I + F_S$) de la bomba.

La etapa de la bomba de impulsor flotante permite que su impulsor se mueva axialmente por el eje tocando las superficies de empuje del difusor. La etapa soporta y absorbe el empuje del impulsor (F_I). El empuje es transferido a través de las arandelas de empuje al difusor y al alojamiento.

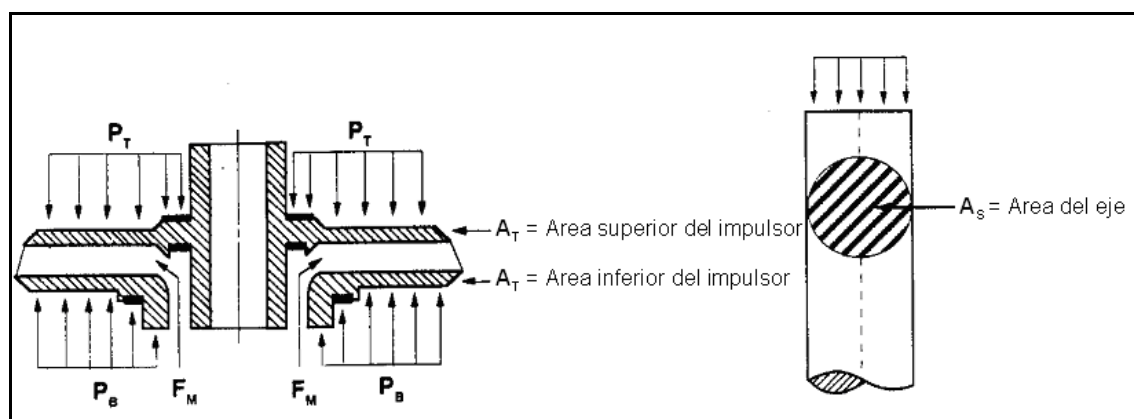


Fig. 8

Fig. 9

Es un concepto errado pero muy común pensar que el impulsor flota entre las superficies de empuje del difusor a un flujo óptimo. Cuando el impulsor alcanza o se acerca a su punto de empuje equilibrado ($F_I=0$), empezará a ser inestable y comenzará a oscilar hacia arriba y hacia abajo. Por este motivo los impulsores están diseñados para ser estables o para presentar un leve empuje hacia abajo a su volumen de diseño óptimo y para pasar por esta región de transición a un caudal más alto. En la figura 10 se observa una curva de empuje típica de una bomba centrífuga.

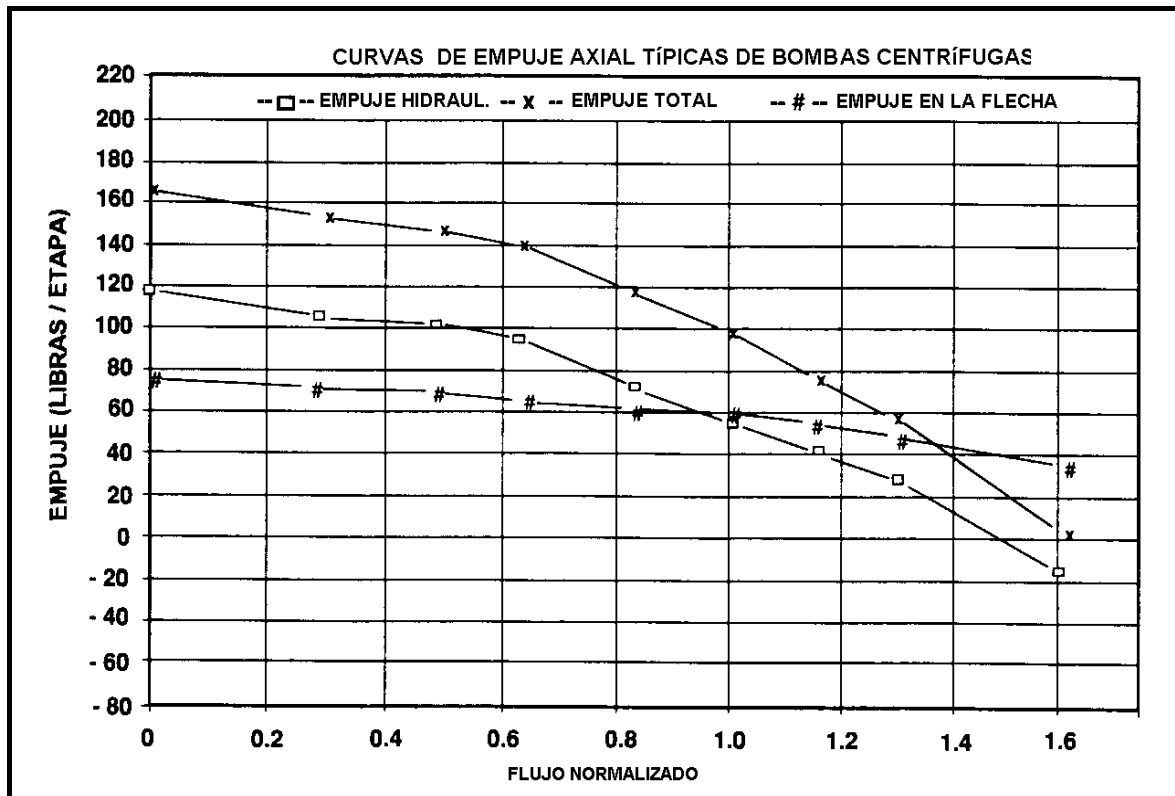


Fig. 10

8.6. Leyes de Afinidad

Al cambiar la velocidad operacional de una bomba centrífuga, las características de desempeño de la bomba cambiarán respectivamente. Estos cambios se pueden predecir mediante el uso de las Leyes de Afinidad, las cuales gobiernan el desempeño de la bomba centrífuga, a medida que ocurren cambios en la velocidad de operación. Las Leyes de Afinidad se derivaron del análisis adimensional de las máquinas rotativas.

Las leyes mostraron que para condiciones dinámicamente similares o relativamente comunes, algunos parámetros adimensionales permanecían constantes. Cuando se aplican a cada punto sobre una curva de desempeño altura de columna-caudal, estas leyes demuestran como con cambios de velocidad de operación: la capacidad es directamente proporcional a la velocidad; la altura de columna generada es proporcional al cuadrado de la velocidad; la potencia al freno es proporcional al cubo de la velocidad; y la potencia generada por el motor es directamente proporcional a la velocidad.

La relación matemática entre estas variables se puede ilustrar de la siguiente forma:

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

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

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

$$MHP_2 = MHP_1 \left(\frac{N_2}{N_1} \right)$$

Donde :

Q_1 , H_1 , BHP_1 , MHP_1 y N_1 = Valores iniciales de: Caudal de producción, Altura de columna, Potencia al freno, Potencia generada por el motor y Velocidad.

Q_2 , H_2 , BHP_2 , MHP_2 y N_2 = Valores nuevos de: Caudal de producción, Altura de columna, Potencia al freno y Velocidad.

Usando las leyes de afinidad se pueden construir las curvas de desempeño para cualquier velocidad dada, para predecir el comportamiento de la bomba partiendo de una velocidad determinada. Para cualquier punto en la curva de velocidad estándar, se pueden encontrar puntos equivalentes en las nuevas curvas de velocidad que tengan condiciones hidráulicas casi idénticas; patrón de flujo, equilibrio del empuje axial del impulsor y eficiencia de bombeo.

8.7. Cavitación

Se puede definir como el proceso de formación de una fase gaseosa en un líquido cuando es sujeto a una reducción de presión a una temperatura constante. Un líquido se encuentra en cavitación cuando se observa la formación y crecimiento de burbujas de vapor (gas) como consecuencia de reducción en presión:

En una bomba centrífuga este efecto se puede explicar de la siguiente forma. Cuando un líquido entra al ojo del impulsor de la bomba, es sometido a un incremento de velocidad. Este incremento de velocidad está acompañado por una reducción en la presión. Si la presión cae por debajo de la presión de vapor correspondiente a la temperatura del líquido, el líquido se vaporizará y por lo tanto se tendrá como resultado el flujo del líquido más zonas de vapor. A medida que

el fluido avanza a través de los sucesivos impulsores, el líquido alcanza una región de presión más alta y las cavidades de vapor implosionan.

Los efectos más obvios de cavitación son el ruido y la vibración, los cuales son causados por el colapso de las burbujas de vapor a medida que alcanzan la zona de alta presión del impulsor. La vibración causada por este efecto puede resultar en la ruptura del eje y otras fallas por fatiga en la bomba. La cavitación también puede dar origen al desgaste de los componentes de la bomba ocasionados por corrosión o erosión. En las bombas electrosumergibles usadas en la industria del petróleo, la cavitación raramente ocurre. Este problema no ocurrirá si la bomba está diseñada adecuadamente y opera con suficiente presión de entrada.

8.8. Bloqueo por Gas

En la industria petrolera el bloqueo por gas en una bomba centrífuga se presenta cuando existe una cantidad excesiva de gas libre en el fluido bombeado a la entrada de la bomba. El bloqueo por gas puede considerarse como una forma de cavitación, debido a la presencia de gas libre en la bomba. En un pozo que tenga una cantidad excesiva de gas libre, debe mantenerse una cierta presión de succión para controlar la cantidad que ingresa a la bomba y evitar el bloqueo por gas.

8.9. Potencia Hidráulica

La energía de salida de una bomba se deriva directamente de los parámetros de descarga (Caudal de flujo y altura de columna generada). La potencia hidráulica para el agua, con gravedad específica = 1.0, pueden ser determinada como sigue:

$$\text{Potencia hidráulica} = \frac{\text{Caudal} \cdot \text{Altura de Columna Generada}}{3,960}$$

Donde:

Caudal de flujo = Galones/Minuto (GPM)

Columna = Pies

8.10. Potencia al Freno

Es la potencia total requerida por una bomba para realizar una cantidad específica de trabajo. Se puede calcular de la siguiente forma:

$$\text{Potencia al Freno (BHP)} = \frac{\text{Potencia Hidráulica}}{\text{Eficiencia de la Bomba}}$$

$$\text{Potencia al Freno (BHP)} = \frac{\text{GPM} \cdot \text{Altura de Columna (ft)} \cdot \text{Gravedad Específica}}{3,960 \text{ Eficiencia de la Bomba}}$$

8.11. Bomba Centrífuga

Las bombas centrífugas son bombas multi-etapas las cuales están construidas en diferentes diámetros dependiendo del espacio disponible en el pozo. *Cada etapa consiste de un impulsor rotatorio y un difusor estacionario (Figura N° 11)*, se superponen varias etapas para obtener la altura de columna deseada. La bomba centrífuga trabaja por medio de la transferencia de energía del impulsor al fluido desplazado, el cambio de presión-energía se lleva a cabo mientras el líquido bombeado rodea el impulsor, a medida que el impulsor rota, imparte un movimiento rotatorio al fluido el cual se divide en dos componentes. Uno de estos movimientos es radial hacia fuera del centro del impulsor y es causado por una fuerza centrífuga. El otro movimiento va en la dirección tangencial al diámetro externo del impulsor. La resultante de estos dos componentes es la dirección de flujo. La función del difusor es convertir la energía de alta velocidad y baja presión, en energía de baja velocidad y alta presión.

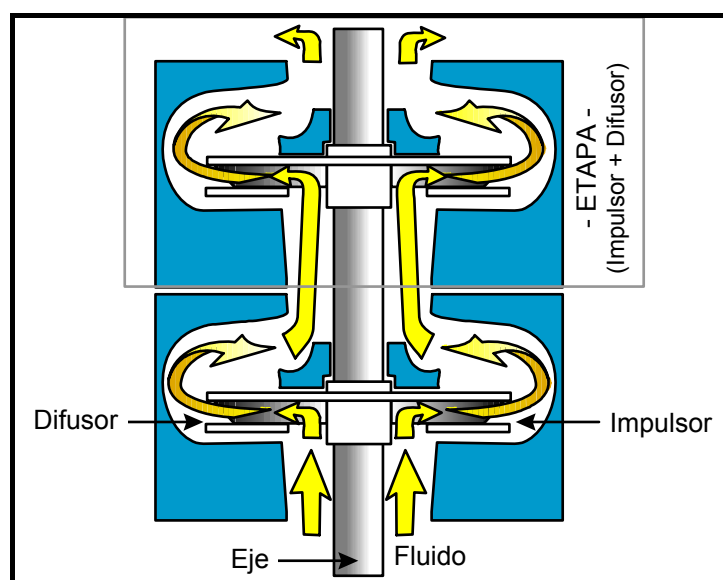


Fig. 11 - Etapa de una bomba

Las bombas centrífugas se pueden clasificar en dos categorías generales de acuerdo al diseño de sus impulsores; las de flujo radial, son por lo general bombas de bajo caudal. La figura 12a, muestra la configuración de este tipo de etapa. Se puede observar que el impulsor descarga la mayor parte del fluido en una dirección radial. Cuando las bombas alcanzan flujos de diseño del orden de aproximadamente 1,900 BPD (300 m³/d) en las bombas serie 400 y del orden de 3,500 BPD (550 m³/d) en bombas de mayor diámetro, el diseño cambia a un flujo mixto. La figura 12b, muestra esta configuración. El impulsor en este tipo de diseño de etapa le imparte una dirección al fluido que contiene una componente axial considerable, a la vez que mantiene una dirección radial.

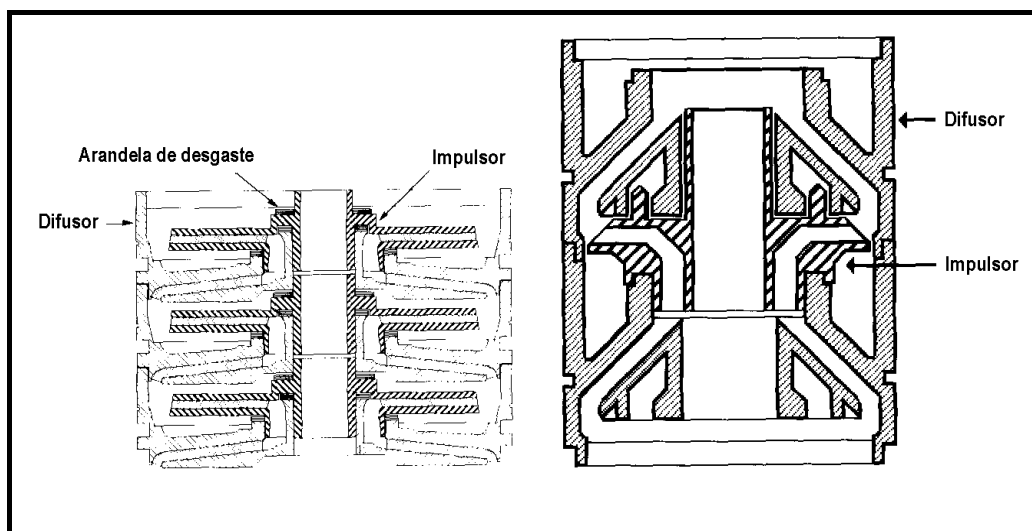


Fig. 12a - Flujo Radial

Fig. 12b - Flujo mixto

En muchos de los diseños de las bombas, los impulsores están diseñados para flotar axialmente sobre el eje, tocando las superficies de empuje del difusor. La carga individual de cada uno de los impulsores es absorbida por las arandelas de empuje localizadas en el difusor. Como resultado, las bombas pueden ser ensambladas con centenares de etapas individuales.

En este tipo de bomba la cámara de empuje de la sección sellante solamente soporta la carga del eje. Esta configuración es denominada bomba de etapa flotante. El beneficio de este diseño es que se pueden ensamblar bombas de muchas etapas sin necesidad de alinear los impulsores milimétricamente.

Cuando se tienen diámetros del orden de seis pulgadas (150mm), los impulsores están montados de tal forma que no se les permite moverse o deslizarse sobre el eje. Los impulsores están localizados de manera tal que se encuentran 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 del impulsor es transferido al eje de la bomba y no es absorbido por los difusores, sino por el cojinete de empuje de la sección sellante. Esta configuración se denomina de impulsor fijo o diseño de bomba de compresión.

Los impulsores tienen un diseño con alabes curvados totalmente cerrados, cuya máxima eficiencia es una función del diseño y tipo de impulsor y cuya eficiencia de operación es una función del porcentaje de la capacidad de diseño a la cual opera la bomba. La relación matemática entre la altura de columna, la capacidad o caudal, eficiencia y potencia al freno se expresa con la siguiente fórmula para la potencia:

$$\text{BHP} = \frac{Q \cdot H \cdot \text{Gravedad Especifica}}{\text{Eficiencia de la Bomba}}$$

Donde: Q = Volumen

H = Altura de columna

La configuración y los diámetros del impulsor de la bomba determinan la cantidad de energía de aceleración que es transmitida al fluido. El diámetro externo del impulsor está restringido por el diámetro interno del alojamiento de la bomba. El diámetro interno del impulsor depende del diámetro externo del eje, que debe ser lo suficientemente resistente para transmitir potencia a todas las etapas de la bomba. Las bombas centrífugas se fabrican para diferentes tamaños de tubería de revestimiento.

Las etapas están diseñadas de tal manera de mantener una fuerza de empuje axial descendente en el impulsor en todo su rango de funcionamiento. Esta fuerza puede variar desde un valor bajo en el punto de operación máximo con una fuerza de empuje creciente hacia el punto mínimo de operación. Están diseñadas de esta manera para asegurar un funcionamiento hidráulico estable. Por lo tanto, la bomba debe funcionar dentro del rango de operación recomendado para proporcionar una óptima vida útil. Las bombas que funcionan fuera de este rango, tendrán una vida útil reducida y pueden tener un efecto negativo en los otros componentes del sistema.

La capacidad de descarga de la bomba centrífuga depende de la velocidad de rotación (r.p.m.), del diseño de la etapa, la altura dinámica contra la cual debe funcionar y las propiedades físicas del fluido que está siendo bombeado. La altura de columna dinámica total de la bomba es el producto del número de etapas por la altura de columna generada por cada etapa. La figura N° 13 muestra una típica curva de desempeño para una bomba de una sola etapa, operando a 60 Hz, resaltando el rango de operación recomendado, además de otras características de la bomba.

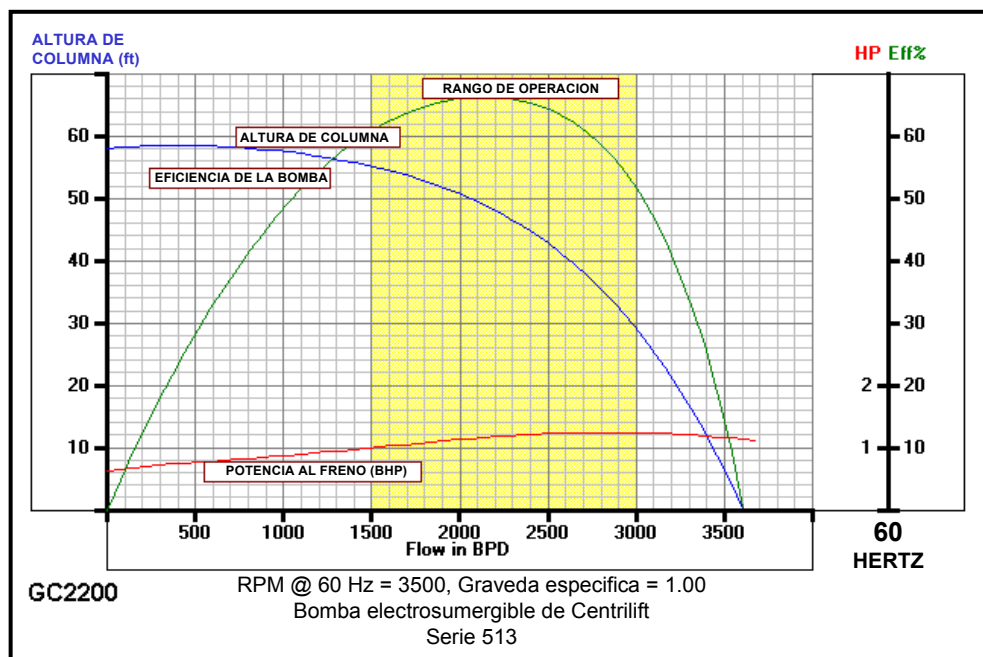


Fig.13 - Curva característica para una etapa a 60 Hertz.

- **La columna dinámica total (TDH)**

Es la altura total requerida para bombear la capacidad de fluido deseada. Esta altura hace referencia a los pies de líquido bombeado y se obtiene con la suma de la elevación neta del pozo, la pérdida de carga por fricción en la tubería y la presión de descarga en la cabeza del pozo.

$$TDH = H_d + F_t + P_d$$

Donde: H_d : Es la distancia vertical en pies o metros, entre la cabeza del pozo y el nivel estimado de producción

F_t : Es la columna requerida para vencer las pérdidas por fricción en la tubería.

P_d : Es la presión necesaria para superar la presión existente en la línea de flujo.

- **Paneles de Control (Velocidad Fija)**

El panel de control (arrancador directo a la línea) consiste de un arrancador de motor, sistemas de circuito de estado sólido para la protección de sobrecarga o baja carga, un interruptor de desconexión manual o automático, un circuito temporizador y un amperímetro registrador.

Algunos sistemas de control poseen equipos de superficie para uso con equipo de detección y registro de la presión y la temperatura en el fondo del pozo, instalados dentro del gabinete del controlador del motor. Se proveen fusibles para la protección por corto circuito.

Los dispositivos de control externos deben estar en interfase con el controlador según recomendación y/o aprobación del fabricante de la bomba para proveer un funcionamiento seguro y libre de problemas.

Todos los dispositivos de control externos están conectados a un temporizador el cual activa o desactiva el controlador después de un cierto intervalo de tiempo. Los dispositivos de control externo normalmente utilizados son controles de nivel de tanque o interruptores de presión de línea.

La mayoría de los controladores de estado sólido ofrecen protección de baja carga en las tres fases, protección por sobrecarga, y protección automática contra variaciones del balance de corriente o voltaje.

Es necesaria una protección por baja carga o agotamiento de nivel del pozo dado que un flujo pasante por el motor a baja velocidad no proporcionaría un enfriamiento adecuado. Se incluyen generalmente circuitos diseñados para arranques automáticos.

Cuando se arranca un sistema con un panel de control, la frecuencia y el voltaje son los mismos en las terminales de entrada y salida. Esto da como resultado un funcionamiento a velocidad fija. Cuando arranca, el motor alcanzará su velocidad de diseño en una fracción de segundo.

Durante la puesta en operación de un equipo con panel de control, si se aplica el 100% del voltaje de placa a las terminales del motor en el arranque, éste puede

consumir momentáneamente hasta 5 a 8 veces su corriente nominal. Esta alta corriente de arranque permite que el motor entregue varias veces su torque o par nominal, lo cual puede causar esfuerzos eléctricos y mecánicos excesivos en el equipo, especialmente en aplicaciones poco profundas.

Los equipos ESP se instalan generalmente a una profundidad que requiere varios miles de pies de cable de potencia. Durante el arranque, el tramo de cable produce una caída de voltaje al motor. Este arranque a voltaje reducido reduce la corriente inicial de arranque y el torque.

- **Controlador de Velocidad Variable (VSC)**

La Bomba Electro centrífuga es típicamente poco flexible cuando opera a una velocidad fija; el equipo está limitado a una gama fija de caudales de producción y a una altura de columna dinámica generada que es fija para cada caso. El Controlador de Velocidad Variable (VSC) ha ganado rápida aceptación como un accesorio del sistema y de gran valor para aliviar estas restricciones. Permitiendo que se varíe la velocidad del equipo entre 30 y 90 Hz. con lo cual se puede cambiar el caudal, la altura de columna dinámica o ambas, dependiendo de las aplicaciones. Estos cambios se logran con solo cambiar la velocidad de operación, sin modificaciones al equipo en el fondo del pozo.

La operación básica del VSC es convertir la potencia de trifásica de entrada, típicamente a 480 voltios, a un suministro de potencia directa, luego, utilizando los semiconductores de potencia como interruptores de estado sólido, invierte en forma secuencial este suministro de corriente continúa para regenerar 3 fases de salida en corriente alterna de potencia pseudo-sinusoidal, cuya frecuencia y voltaje son controlables.

La flexibilidad en el bombeo fue el propósito original de la aplicación de los VSC a los sistemas, pero se han logrado obtener muchos otros beneficios. De interés particular son aquellos que pueden alargar la vida del equipo superficial: el arranque apropiado, la velocidad controlada automáticamente, la supresión de transitorios de línea y la eliminación de los estranguladores en superficie.

El VSC aísla la carga de las interrupciones de entrada y transitorios causados por rayos; balancea el voltaje de salida para reducir el calentamiento del motor; ignora la inestabilidad en la frecuencia de los suministros con generador; compensa las caídas de tensión o desconecta la unidad de la línea; y minimiza la presión eléctrica y mecánica durante el arranque. Además, dependiendo de la aplicación,

el VSC puede mejorar la eficiencia total del sistema, reducir el tamaño del generador requerido, obviar la necesidad de un estrangulador, y proveer funciones de control inteligentes para maximizar la producción. Todos estos beneficios no pueden lograrse simultáneamente; sin embargo, el usuario puede elegir y seleccionar la combinación más adecuada para su aplicación.

- **Limitación del eje de la Bomba**

Debido a que la capacidad de potencia del eje es proporcional a la velocidad, mientras que la potencia requerida por la bomba es una función cúbica de la velocidad, para cualquier bomba habrá una velocidad por encima de la cual la capacidad nominal del eje será excedida. Esta capacidad nominal deberá ser revisada para cada frecuencia máxima de operación. Debe reconocerse que, operar un eje de bomba a altas frecuencias maximiza su capacidad para entregar potencia y esto puede ser significativo en las instalaciones donde la resistencia del eje es un factor limitante.

- **Límite del alojamiento de la Bomba**

La resistencia del alojamiento se define normalmente como una presión diferencial limitante para las roscas de la carcasa en la descarga de la bomba. Si este límite se excede, las roscas pueden colapsar. Cuando funciona a una frecuencia alta, la presión de válvula cerrada (flujo cero) generada por la bomba puede exceder este límite. No existe nunca la intención de operar el equipo contra una válvula cerrada, pero los accidentes pueden ocurrir por lo cual se toman precauciones para evitar esta situación. La detección normal de una baja carga no es suficiente. Un interruptor para alta presión, por ejemplo, puede proteger al menos contra los problemas provenientes de bloqueo en las líneas de producción.

- **Vibración y Desgaste**

La vibración se define como el movimiento de un cuerpo alrededor de un punto de equilibrio. La vibración hacia los lados con respecto a la longitud del equipo se denomina vibración lateral. La vibración que tuerce el eje del equipo es una vibración torsional. Puede ser el resultado de fuerzas causadas por desbalances, por fricción entre partes o fricción del fluido. Estas fuerzas se encuentran en cualquier máquina que tenga partes móviles.

Otros factores que afectan a la vibración son el tipo de movimiento en la máquina, la masa, la velocidad, la rigidez, y el amortiguamiento de la máquina.

Otra característica de la vibración es su periodicidad. Esto significa que puede ser representada por una sumatoria de funciones sinusoidales de frecuencias diferentes. Una gráfica de la amplitud de la onda sinusoidal contra la frecuencia de la onda se llama “espectro de vibración”. Una vibración de gran amplitud a una frecuencia particular, que es causada por una fuerza relativamente pequeña se llama “frecuencia natural” o “frecuencia crítica”. La vibración de amplitud grande puede ser potencialmente dañina para cualquier equipo mecánico.

Las frecuencias naturales están generalmente relacionadas con la raíz cuadrada de la relación de la rigidez dividida por la masa del sistema. En general, debido a la longitud y al diámetro pequeño del equipo de Bombeo superficial, la frecuencia natural del sistema es muy baja. La experiencia ha demostrado que en estas condiciones, cuanto menor sea la frecuencia natural menor serán los niveles de vibración.

- **Efecto de amortiguamiento**

Este es otro efecto que reduce la amplitud de la vibración a las frecuencias naturales. El amortiguamiento crítico es el amortiguamiento que completamente elimina el efecto de la frecuencia natural. Estos sistemas generalmente tienen un amortiguamiento alto debido al fluido que se encuentra siendo bombeado a través del mismo. Las frecuencias naturales no traen como resultado problemas de vibración excepto en condiciones muy especiales.

Las altas velocidades de operación, como las que se dan con un controlador de frecuencia variable, incrementarán la vibración debido al desbalance. Las fuerzas debidas a un peso desbalanceado son proporcionales al cuadrado de la frecuencia de operación. Los fabricantes toman precauciones para mantener la concentricidad requerida y prevenir el desbalance. También balancean las partes rodantes más pesadas, para minimizar los efectos del desbalanceo en el equipo. El desbalance excesivo, y la vibración resultante, provocarán el desgaste de cojinetes y el anillo sellante de las etapas.

El desgaste por abrasión es proporcional a la frecuencia de funcionamiento del equipo. Si el desgaste abrasivo es un problema en un área en particular, las velocidades de operación mayores incrementaran el desgaste, pero las

velocidades de operación más bajas producirán un desgaste mucho menor. El VSC se puede utilizar en estos casos para operar a velocidades más bajas a expensas del uso de una bomba y/o motor más grande. En las áreas donde los costos de remover el equipo son muy altos, esto puede dar como resultado una reducción de costos operativos totales.

- **Transformador**

Un transformador es un dispositivo en el cual el voltaje de un sistema de corriente alterna puede cambiarse. Consiste en un núcleo de acero rodeado por devanados de alambre aislado. Generalmente, tanto el núcleo como los devanados están inmersos en aceite que sirve de aislador y ayuda a enfriar el transformador.

Un transformador simple (Fig. 3-4) consta de dos devanados fuertemente enrollados alrededor de un núcleo de acero, pero eléctricamente aislados el uno del otro. Los devanados que se conectan a una fuente de voltaje alterno se llaman primarios. El devanado genera un campo magnético que pasa a través de las espirales del otro devanado, llamado secundario, y genera un voltaje en ella. Los devanados no están físicamente conectados el uno con el otro, están sin embargo magnéticamente acoplados uno con otro. Por lo tanto, un transformador transfiere potencia eléctrica de un espiral al otro por medio de un campo magnético alterno.

Asumiendo que todas las líneas magnéticas de fuerza del primario corten todas las vueltas del secundario, el voltaje inducido en el secundario (V_S) dependerá de la relación del número de vueltas en el secundario (N_S) por el número de vueltas en la primaria (N_P). Esto se expresa matemáticamente como:

$$V_S = \left(\frac{N_S}{N_P} \right) V_P$$

El voltaje es cambiado en proporción exacta al número de vueltas en cada devanado. Por ejemplo, si un devanado de alto voltaje tiene 1000 vueltas y está conectada a un circuito de 4160 voltios, un devanado de bajo voltaje de 100 vueltas dará 416 voltios.

En un Auto-transformador hay solo un devanado, parte de él es para el bajo voltaje y está conectado en sus extremos a un circuito de alto voltaje como lo

muestra la figura 3-5. En este transformador el circuito de alto voltaje no está aislado del circuito de bajo voltaje.

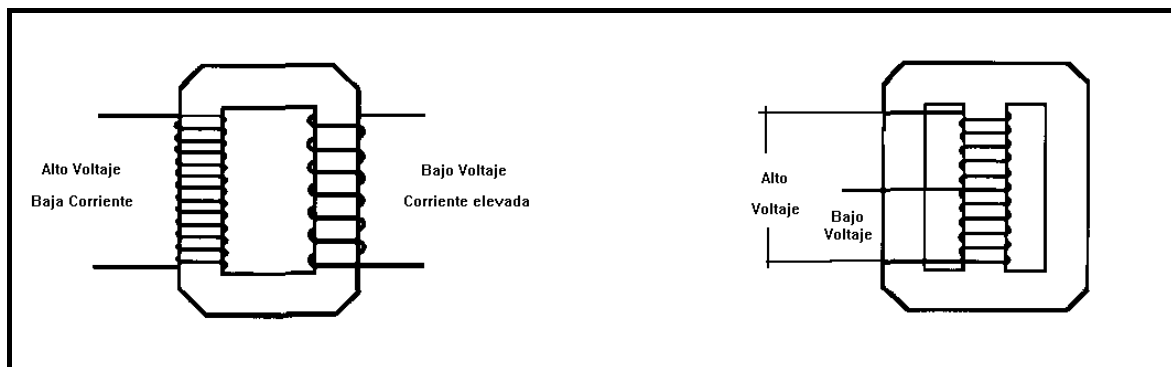


Fig.3-4

Fig. 3-5

Un transformador no genera potencia eléctrica. Simplemente transfiere la potencia eléctrica de un devanado a otro por inducción magnética. Aún cuando no es 100% eficiente, está muy cercano a serlo.

Ya que la potencia es igual al voltaje por la corriente (VI), si $V_P I_P$ representa la potencia primaria y $V_S I_S$ representa la potencia secundaria, la potencia primaria es igual a la potencia secundaria. Expresando estos enunciados en forma de ecuación para el transformador 100% eficiente, tenemos:

$$V_P I_P = V_S I_S$$

La distribución de la energía eléctrica en los campos petroleros se realiza generalmente a voltajes intermedios, tal como 6,000 voltios o más. Debido a que el equipo funciona con voltajes entre 250 y 4000 voltios, se requiere la transformación del voltaje de distribución.

Los transformadores se proveen generalmente en una configuración de tres máquinas monofásicas o en una máquina trifásica. Estos transformadores son unidades llenas de aceite, auto-refrigerantes y son poco comunes del punto de vista de que contienen un número considerable de derivaciones en el secundario que permiten un amplio rango de voltajes de salida. Este amplio rango de voltajes es necesario para poder ajustar el voltaje requerido en la superficie para una variedad de posibilidades de caídas de voltaje en el cable que ocurren debido a las diferentes profundidades en las cuales se instala el sistema.

9. BOMBAS HORIZONTALES

Las bombas horizontales proveen soluciones a una amplia gama de necesidades de bombeo las cuales se puede usar en distintas aplicaciones como en la Inyección y disposición de Agua por ejemplo.

Las bombas horizontales trabajan en las siguientes condiciones de operación (figura N° 1):

- Volumen 29,000 bpd
- Eficiencia 83%
- VSC, rango de capacidad 16000 -37000 BPD.



FiguraN°1: Bomba Centrifuga conectado **FiguraN°2:** Línea de flujo hacia el pozo a una sola línea.

Instalación de Bomba Centrifuga en Off Shore:

Estos equipos pueden trabajar en diversas actividades las cuales involucran no solo la producción y transporte de petróleo sino que además tiene otras aplicaciones (figura N° 3).



Figura N° 3: Instalación de la Bomba en Off Shore

9.1 Aplicaciones de la Bomba

9.1.1 Aplicaciones relacionadas al Campo

- Inyección de Agua
- Disposición de Agua
- Transferencia de Producción para Procesamiento
- Inyección de CO₂ / Transferencia
- LGN (Líquidos del Gas Natural)

9.1.2 A la Industria de Facilidades

- Prueba de Presión para Integridad
- Calibración y Limpieza
- Alimentación y Transferencia de Producto

9.1.3 A la industria Química

- Transferencia de Producto
- Descamamiento y Limpieza
- Mezclado

9.1.4 A la Industria Minera

- Deshidratación de mina profunda
- Deshidratación a tajo abierto
 - Boosting desde el pit floor de turbinas verticales
 - Boosting desde el pit floor de tanques / bombas LP
- Abastecimiento de gargantilla de alta presión
- Lavado Total
- Sistemas de Lavado de Planta y Agitación

9.1.5 Al Medio Ambiente

- Control de Contaminación:
 - Extra - Filtración
 - Esparcimiento
 - Descascarillado
 - Secado de Agua

9.1.6 Aplicado Agua y Disposición de Agua

- Desalinización
- Osmosis Inversa
- Abastecimiento, Distribución y Transferencia de Agua

9.2 Limites del Sistema

Los límites del sistema estarán determinados por:

- La máxima Presión de Trabajo Permisible de la bomba (MPTP).
- Volumen de Descarga requerido.
- Potencia del eje de la bomba (HP).
- Carga de empuje de la bomba.
- Cámara de empuje Horizontal (HTC).
- Capacidad de empuje máxima de Cámara de Empuje.
- Potencia de Motor.
- Agua o Petróleo Crudo a 175°F (Recomendado).

9.3 Recolección de Información de Dimensionamiento

Antes que un sistema HPump pueda ser diseñado, se debe de recopilar información específica del trabajo a desempeñar, de modo que se puedan deducir las condiciones de operación que se tendrán en la locación donde va a trabajar el sistema de inyección.

Una hoja de datos al detalle brindara toda la información pertinente para el dimensionamiento del equipo, que entre los cuales destacan:

- A) Propiedades de fluido
- B) Condiciones de operación
- C) Condiciones de Locación
- D) Condiciones eléctricas
- E) Pruebas requeridas
- F) Accesorios, repuestos y cables necesitados

A) Propiedades de Fluido

Para que se pueda discutir acerca de las aplicaciones de las bombas horizontales, es necesario, que las características del fluido sean comprendidas completamente.

Frecuentemente vemos fluidos mas agresivos en aplicaciones de superficie cuando el oxigeno se convierte en un factor constante.

Es importante conseguir tanta data de fluido como sea posible.

Si hay alguna duda realizar un análisis de los fluidos con el fin de asegurarnos de su composición.

Este análisis puede constar de los siguientes parámetros:

- Temperatura de Fluido
- Gravedad especifica
- Viscosidad
- Presión de Vapor
- Contenido de Sólidos
- Contenido de gas

- **Temperatura del Fluido**

La temperatura de fluido afecta a los componentes del sistema de inyección de la siguiente manera:

- Los elastómeros del sello pueden ser desfavorablemente afectados por altas temperaturas.
- Aumenta la habilidad de los fluidos para disolver sólidos
- Aumenta la agresividad de los fluidos corrosivos en materiales
- Ocasiona expansión termal de los componentes de la bomba en un tiempo relativamente corto
- Disminuye los rangos de presión de los componentes y la fortaleza de los materiales.
- La máxima temperatura de producto es 175°F (79°C) para un sistema de bomba

- **Gravedad específica**

La gravedad específica (sp.gr) de un líquido es la razón de su densidad a una temperatura específica con la del agua a una temperatura estándar de 60°F (15.5°C)

La densidad para el agua es 62.37 lb/ft³ a 60°F(15.5°C)

Todas las curvas de bombas son corregidas para agua fresca con sp.gr = 1.0 @ 3500 RPM.

La gravedad específica es un multiplicador directo en los cálculos de presión, empuje y potencia.

$$\text{Presión} = \frac{\text{head(ft)} \times \text{sp.gr}}{2.31} \qquad \text{Cabeza} = \frac{\text{psi} \times 2.31}{\text{sp.gr}}$$

$$\text{Empuje} = \text{Nominal HTC} \times \text{sp.gr}$$

$$\text{Potencia} = \frac{\text{BPD} \times \text{TDH} \times \text{sp.gr}}{36,000 \times \text{Eficiencia Bomba}}$$

Sin esta información, la selección del equipo será inexacta.

- **Viscosidad**

Es la propiedad de un fluido que tiende a oponerse a su flujo cuando se le aplica una fuerza. Los fluidos de alta viscosidad presentan una cierta resistencia a fluir; los fluidos de baja viscosidad fluyen con facilidad. La fuerza con la que una capa de fluido en movimiento arrastra consigo a las capas adyacentes de fluido determina su viscosidad, que se mide con un recipiente (viscosímetro) que tiene un orificio de tamaño conocido en el fondo. La velocidad con la que el fluido sale por el orificio es una medida de su viscosidad.

La viscosidad de un fluido bombeado afecta la cabeza de succión positiva neta requerida (NPSHR), presión, flujo, HP, y eficiencia.

Unidades normales para viscosidad son:

- Cp = centipoise
- Cst = centistokes
- cst = cp/sp. gr

La viscosidad es inversamente afectada por la temperatura

$$\begin{array}{l} \uparrow T = \downarrow V \\ \downarrow T = \uparrow V \end{array}$$

- **Presión de Vapor**

La presión de vapor o más comúnmente presión de saturación es la presión de la fase gaseosa o vapor de un sólido o un líquido sobre la fase líquida, para una temperatura determinada, en la que la fase líquida y el vapor se encuentran en equilibrio dinámico; su valor es independiente de las cantidades de líquido y vapor presentes mientras existan ambas.

El punto al cual el líquido hierve es la presión de vapor del mismo. La presión de vapor variará con los cambios de presión y temperatura.

La presión de vapor del fluido de la bomba será crítico en los cálculos de NPSH y en la selección de sello.

Esto se hace crítico cuando se lidia con hidrocarburos ligeros que están cerca del punto de burbuja o se llegara fácilmente con cambios de temperatura.

El relampagueo es un rápido cambio de fase, en este caso de líquido a gas.

- **Contenido de Sólidos**

El contenido de sólidos puede conducir a un daño interno de la bomba, por:

- Abrasión
- Erosión

En la mayoría de casos podría requerir sistemas de filtrado antes de la entrada de la bomba. Como se menciono anteriormente existen factores que se deben de considerar ya que estos influenciarian en la selección de la bomba.

Altas velocidades con alto contenido de sólidos incrementará el desgaste y reducirá el performance de la bomba

- **Contenido de Gas Entrante:**

El gas en solución que entre a la bomba generalmente estará compuesto, por:

- H₂S
- CO₂
- Además de la cantidad de gas libre en la entrada de la bomba (GOR – razón gas - petróleo)
- Oxigeno

Frecuentemente se observan una cantidad considerable de fluidos corrosivos en aplicaciones de superficie cuando el oxigeno se convierte en mas de un factor.

Se debe eliminar el contenido de oxigeno para evitar la oxidación.

Existen alternativas que pueden ser usadas para resistir los efectos de la oxidación. Para tal propósito se cuenta con recubrimientos especiales que evitan la corrosión por oxidación.

Consideraciones:

- Una caída de presión podría causar entrada o salida de gases.
- La entrada de estos gases podrían afectar el punto de burbuja de los fluidos.
- Se deben de considerar posibles complicaciones debido a reacciones químicas, como:
 - Explosiones
 - Daño de calor

Temperaturas del Ambiente de Trabajo

La temperatura del ambiente determinara si son necesarios requerimientos especiales, entre los cuales se tienen disponibles:

- Estructuras para proteger del frío o calor radiante
- Ventilación extra para reducir el calor
- Temperatura de Ambiente baja o humedad alta – considerar espacio para calentadores para operaciones detenidas o intermitentes de motor.

B) Condiciones de Operación

Las condiciones de Operación tendrán un efecto directo en la selección del componente en el diseño de la bomba, tales como:

- Presión de entrada
- Presión de descarga
- Presión diferencial
- Capacidad de bomba requerida (caudal de flujo y presión)
- Altitud/ Condiciones de Ambiente/ Condiciones de Locación
- NPSH

Presión de entrada (Pi)

- Presión del sistema medida en la entrada de la bomba en unidades psig.
- Asegurar que la presión de entrada sea la suficiente como para que los requerimientos de la bomba sean cubiertos.

- Esta presión influye cuando se tenga que hacer la selección del sello de de la bomba y la selección del intake.

Presión de descarga (Pd)

- Presión de sistema medida en la descarga de la bomba en unidades psig. Varía con la velocidad y razón de flujo.
Esta presión influye cuando se tenga que hacer la selección del housing de la bomba y de la descarga.

Cabeza de Succión Neta Positiva (NPSH)

NPSH es un acrónimo de (Net Positive Suction Head), también conocido como ANPA (Altura Neta Positiva en la Aspiración) *es la diferencia, en cualquier punto de un circuito hidráulico, entre la presión en ese punto y la presión de vapor del líquido en ese punto.*

La NPSH es un parámetro importante en el diseño: si la presión en el sistema de reinyección es menor que la presión de vapor del líquido, éste entrará en algo parecido a la ebullición: se vaporiza, produciéndose el fenómeno de cavitación, que puede dificultar o impedir la circulación de líquido, y causar daños en los elementos de todo la bomba y además del sistema.

En las instalaciones de bombeo se debe tener en cuenta la NPSH referida a la aspiración de la bomba, distinguiéndose dos tipos de NPSH.

NPSH requerida: es la NPSH mínima que se necesita para evitar la cavitación.

Depende de las características de la bomba, por lo que es un dato que debe proporcionar el fabricante en sus curvas de operación.

$$NPSH_r = H_z + \frac{V_a^2}{2g}$$

Donde:

H_z: es la presión mínima necesaria a la entrada del rodete.

V_a²/2g: es la presión cinética correspondiente a la velocidad de entrada del líquido en la boca de aspiración, (para V_a en m/s).

NPSH disponible: depende de las características de la instalación y del líquido a bombear.

$$NPSHd = \frac{Pa}{\gamma} - Ha - Pca - \frac{Pv}{\gamma}$$

Donde:

γ : gravedad específica del líquido (sin dimensiones).

Pa : presión en el nivel de aspiración.

Ha : altura geométrica de aspiración en metros.

Pca : pérdida de carga en la línea de aspiración, en metros.

Pv : presión de vapor del líquido a la temperatura de bombeo.

Por lo tanto la NPSH disponible debe ser mayor que la NPSH requerida para evitar la cavitación. Las causas más frecuentes de que esta condición no se cumpla son dos:

- Aumento de la pérdida de carga en la línea de aspiración, bien por obstrucción de la tubería o filtro de aspiración o bien por funcionamiento de la bomba con la válvula de aspiración semi-cerrada.
- Aumento de la presión de vapor del líquido al aumentar su temperatura, por ejemplo si el líquido a bombear se refrigera previamente, y esta refrigeración falla.

En otras palabras, la presión de entrada necesita ser mantenida arriba de la presión de vapor del líquido.

La cabeza de succión positiva neta disponible (NPSHA) es de acuerdo al uso que se le dará y basada en las facilidades del sistema.

Aspectos importantes sobre el NPSH

- Un adecuado margen de NPSH reducirá las posibilidades de fallas prematuras debido a cavitación.
- La cavitación conlleva a:
 - Alta vibración
 - Ruido
 - Desgaste prematuro
 - Performance reducido
 - Fallas de cojinetes y sellos
 -

Cavitación

- Cavitación es la implosión de burbujas de vapor dentro del líquido interno de una bomba. Esto es el resultado de una disminución rápida de presión local ocurriendo cerca del toque de la camisa de la bomba o impulsor. Cuando la reducción de presión continua, estas burbujas colapsan.
- La cavitación es acompañada por un importante ruido aleatorio dentro de la bomba.
- Las ondas de impacto que rasgan el metal dentro de la bomba pueden selectivamente picar el metal, liberando elementos duros debajo y atacando los elementos débiles en la aleación.
- Siempre que la implosión de cavitación ocurre, habrá daño. Vibraciones de alta frecuencia producto de la cavitación también dañaran consecuentemente sellos y cojinetes.

Componentes de NPSHA

$$\text{NPSHA} = P_s + H - F - V$$

Donde:

P_s = La presión en la superficie del líquido (ft absolutos).

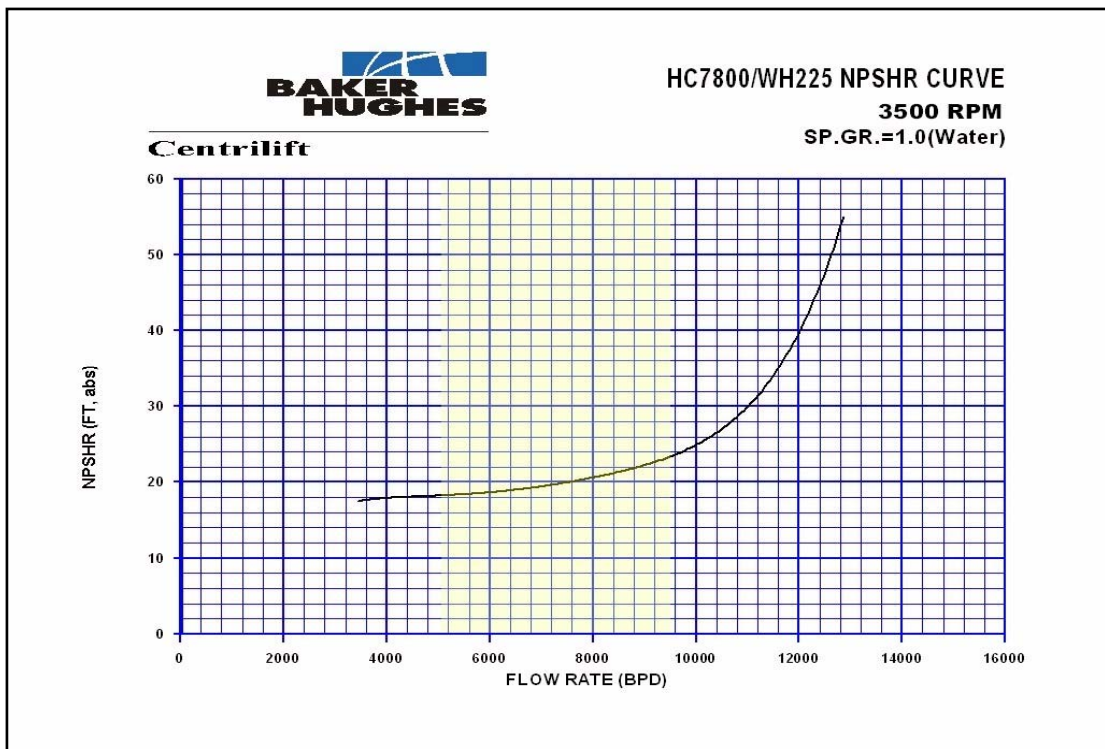
H = La distancia de la línea central de la bomba a la superficie del líquido (pies).

F = La pérdida de presión total en el sistema de succión (pies de líquido).

V = Presión de vapor del líquido a la temperatura máxima de operación (pies absolutos).

Cabeza de Succión Neta Positiva Requerida (NPSHR)

- El NPSHR (Cabeza de Succión Neta Positiva Requerida) es la mínima presión de entrada que una bomba requiere para evitar cavitación.
- Si $\text{NPSHA} > \text{NPSHR}$ por al menos 3 ft, la aplicación es generalmente aceptable.
- Si $\text{NPSHA} < \text{NPSHR}$ o bajo un margen de 3 ft, la aplicación debe ser modificada para evitar posible cavitación.



NPSHR vs Flow Rate

9.4. Bombas Booster

Es la bomba de superficie usada para incrementar la presión en la línea de agua, o extraer la misma de un tanque de almacenamiento y presurizar el sistema. Esta bomba debe poder proveer el flujo deseado sin problemas de cavitación. Las bombas Booster de presión deben ser activadas antes que el sistema de reinyección sea arrancado.

Hay varias formas de manipular la presión de descarga de la bomba o flujo:

- Capacidad de velocidad variable limitada arriba de los 63 Hz basados en motores de superficie.
- Válvula de control basada en presión deseada o flujo.
- Alivio de presión.
- Pase y retorno de circulación a la fuente.

El sistema de bombeo debe tener un medio de restricción.

- Sin la presión de retorno por una válvula, la bomba “se quedara” en la curva.
 - Opera a alto NPSHR
 - Operar en empuje hacia arriba
 - Compromete el trayecto de vida

Condiciones de Operación

Altitud:

- El estándar es a un máximo 3300 ft para motores eléctricos de superficie.
- Sobre los 3300 ft implica cambiar el rango del motor (o diseño de motor especial)
- Afecta el NPSHA, ya que la presión atmosférica decrece cuando se incrementa la altura.

Otros Factores que afectan las condiciones de operación:

- Viento
- Polvo
- Costa afuera
- Ruido
- Humedad

9.5 Composición de la Bomba Centrifuga

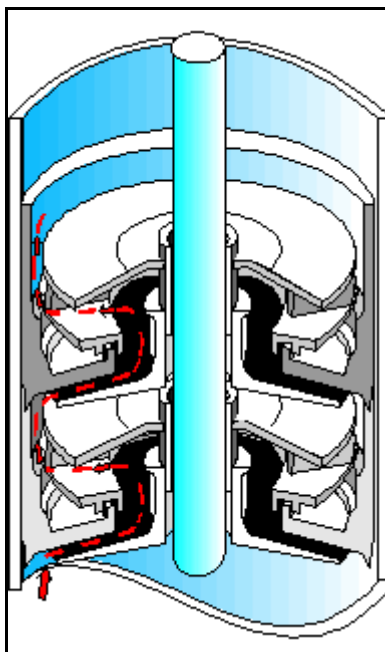
La composición de la centrifuga esta compuesto por:

- Impulsores
- Difusores
- Eje
- Centralizadores
- Camisas
- Cabezas y Bases
- Cojinetes

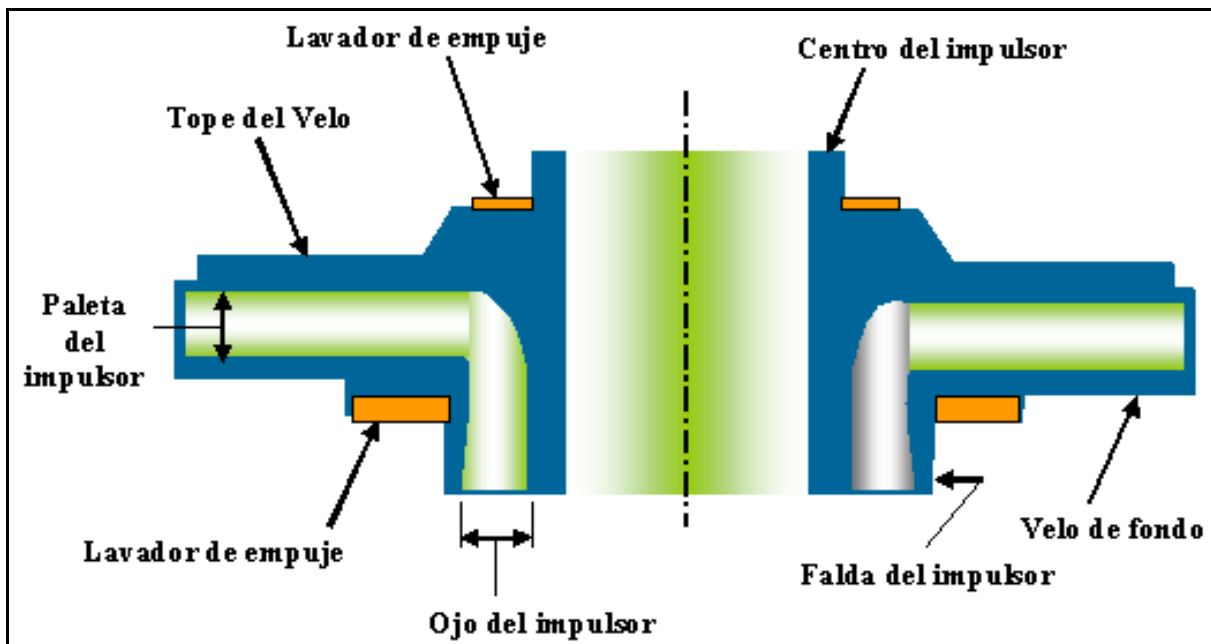
Impulsores y Difusores.

- Los impulsores rotan con el eje y giran con las revoluciones que da el motor.
- El difusor gira el fluido dentro del siguiente impulsor mientras este se queda estático.
- Las Bombas son ensambladas apilando etapas en el eje y dentro de un recubrimiento llamado camisa (housing).

- Una etapa producirá una cantidad dada de flujo y levante (cabeza) a un RPM del motor.



Impulsor y Difusor



Parte Lateral del Impulsor

Los Impulsores vienen en varios tipos diferentes, dependiendo del diámetro y taza de flujo. Pero principalmente se tienen dos tipos básicos: "flujo radial" y "flujo mezclado".

El tipo de impulsor es determinado en el proceso de diseño de la etapa.

Esto es dictaminado por cuanto flujo y cabeza del impulsor se desea obtener así como el diámetro dentro del cual tiene que trabajar.

Tipos de Impulsores

– Impulsor de flujo radial:

- Cantidades de flujo en las etapas son dirigidas radialmente al exterior del eje.
- Mientras mayor sea el diámetro de la etapa mayor será la cabeza dada por cada etapa.
- Es intrínsecamente menos eficiente (vs. Flujo mezclado)
- Cuenta con una arandela de empuje la cual evita el desgaste prematuro y fugas de fluido.

– Impulsor de flujo mixto:

- El fluido se mueve a través de la etapa, radial y axialmente.
- Este diseño de etapa tiene la más alta eficiencia. Además consta de huecos que ayudan a minimizar el empuje hidráulico.
- Podría no tener arandelas empuje.
- No presenta anillo de desgaste.



Figura de Flujo Radial: El patrón de flujo es generalmente perpendicular (radial) con respecto al eje de la bomba.

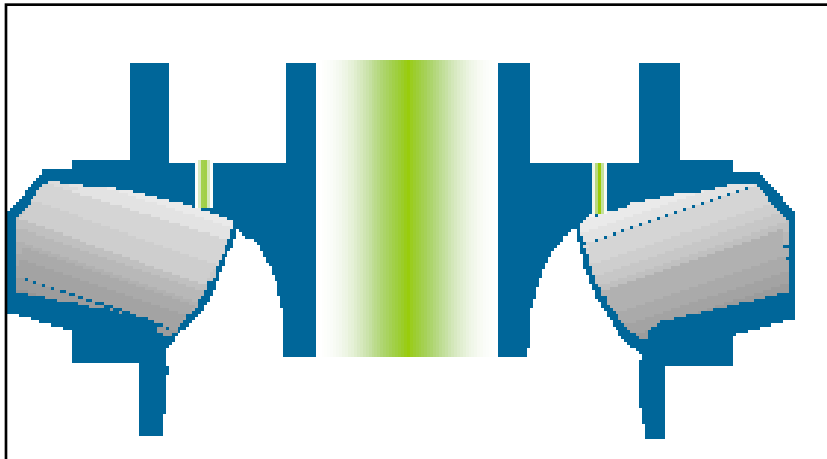


Figura de Flujo Mixto: Patrón de flujo tiene ambas direcciones axial y radial con respecto al eje de la bomba.

Perspectiva General de la Bomba

SERIES		DIAMETROS	
D	338	(3.38 in. O.D.)	
E	387	(3.87 in. O.D.)	
F	400	(4.00 in. O.D.)	++
400P	400	(4.00 in. O.D.)	++
G	513	(5.13 in. O.D.)	+
538P	538	(5.38 in. O.D.)	++
K	562	(5.62 in. O.D.)	
H	675	(6.75 in. O.D.)	+
H	725	(7.25 in. O.D.)	+
WIJ	862	(8.62 in. O.D.)	++
I	875	(8.75 in. O.D.)	++
WJJ	1000	(10.00 in O.D.)	++
J	1025	(10.25 in O.D.)	++

+ = Elección preferida para bomba Horizontal

++ = Elección secundaria para bomba Horizontal

Diseño de Bomba de Compresión

- Este diseño es el preferido para el caso de bombas horizontales.
- Los impulsores son fijados al y apiladas una tras otra
- Cualquier carga axial generada por los impulsores es transmitido a través del centro del impulsor adyacente al eje.
- Colocar espaciadores en el coupling (junta) entre la HTC y la bomba para que este transmita la carga a la cámara de empuje como down thrust.
- El espaciamiento incorrecto dará como resultado el contacto entre el impulsor y el difusor con la bomba.
- Podría no tener arandelas de empuje.
- Los anillos de desgaste no son reemplazables.
- El empuje de la bomba es dirigida hacia la cámara de empuje solo mediante el eje.

Diseño de Bomba Flotadora

- En este diseño en particular los impulsores son libres de deslizarse hacia arriba y abajo o 'flotar' en el eje.
- Todo el empuje generado por el impulsor es absorbido por las arandelas de empuje y/o los hoyos de balance hidráulico
- Solo la carga de empuje transmitida por el eje es la presión de descarga de la bomba.

Desetapando

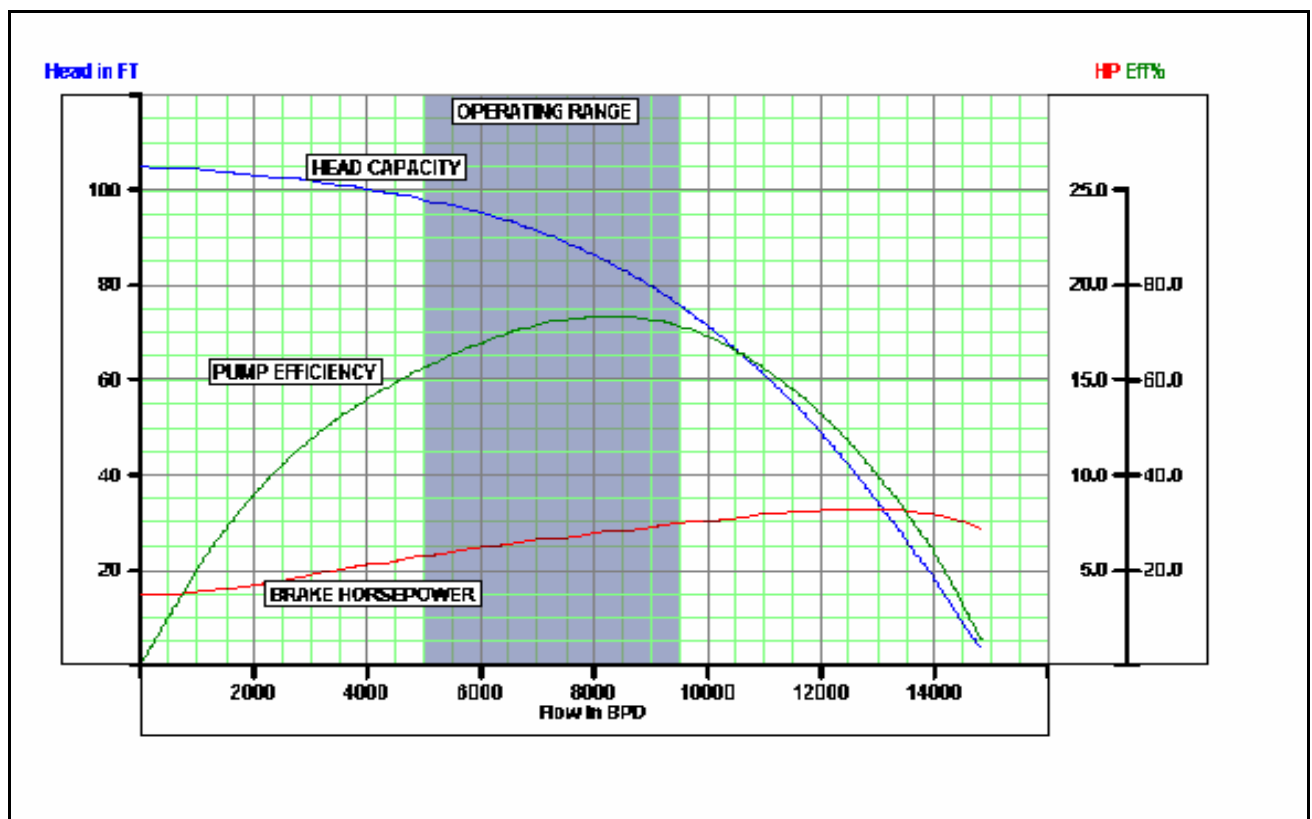
- Esta es una práctica estándar para reducir el número de etapas (impulsores / difusores) de un housing lleno de etapas, con el fin de cumplir un Head (presión) específico como requerimiento de una aplicación específica.
Se hace eliminando etapas y reemplazándolas con secciones espaciadoras apropiadas (tubo de compresión).
Se podría requerir apoyo radial adicional.
- En lugar de reducir la cantidad de etapas, se puede considerar operar el VSC de manera que se use una bomba de housing lleno.

Bombas en Tándem

- Si las bombas están en una configuración tándem (un solo cuerpo), la bomba más grande y más larga tendría que ser colocada lo más cerca posible al intake (entrada de la bomba).
- Siempre se trata usar bombas Tándem con número de etapas y longitudes de housing iguales.

Areas de Operación de Up Thrust & Down Thrust

- Rango de Operación:
 - Se debe tener de presente los rangos de operación recomendados para las bombas.
 - Las bombas de compresión tienen un rango de operación expandido (Izquierda) debido a que el empuje es absorbido en la HTC
 - La selección de la HTC es crítica basada en el desarrollo del down-thrust.



Eficiencia de la Bomba

Empuje hacia arriba (Upthrust)

- Empuje hacia la descarga
Típicamente se incrementa cuando el flujo se incrementa, alcanzando el máximo cuando la válvula abre completamente (flujo máximo). Como se ve generalmente durante el arranque.
- Cuando la bomba está operando demasiado hacia el lado derecho de la curva ocurre el empuje upthrust.
- La bomba “rueda libremente” durante el proceso de llenado de la línea y recibe fluido de la bomba de abastecimiento.
- La carga es transmitida a las arandelas de empuje superiores.

Empuje hacia Abajo (Downthrust)

- El empuje dirigido hacia el intake.
Usualmente se incrementa mientras el flujo se reduce, alcanzando el máximo cuando la válvula se cierra (Flujo cero).
- Cuando la bomba está operando demasiado hacia el lado izquierdo de la curva la carga es transmitida hacia la cámara de empuje (HTC)
- Este empuje hacia abajo varía de acuerdo a la serie de la bomba y se incrementa con la cantidad de etapas.

MAS ETAPAS = MAS EMPUJE

Materiales de Eje de Bomba

- El material que se usa en la manufactura del eje estándar es llamado Monel K500
- De otro lado se tiene el Inconel, el cual incrementara el rango de potencia de la bomba.
 - El eje tendrá las mismas dimensiones
 - Podría requerir un tiempo de ensamble mayor.
 - Requiere una inversión mayor.
- Si la aplicación requiere Bombas en tándem, usualmente solo la primera bomba requerirá Inconel.
 - En un ordenamiento en tándem, solo la primera bomba es la que será requerida para transmitir el pico de potencia.

- Es esencial tener buenos registros de la operación de las bombas para evitar problemas con reconstrucciones futuras.
- Se debe considerar usar el mismo tipo de material de eje en ambas bombas.

Housing de Bomba

- El housing es el dispositivo que almacena las etapas de la bomba.
Las etapas son comprimidas en el housing por la cabeza y la base.
- Los sistemas HPump (sistemas horizontales) requieren con frecuencia diseños de housing de ALTA PRESION.
- Pueden ser sujetados con abrazaderas en el housing para prevenir 'campaneo' y un consecuente goteo.
- Un espesor de pared mayor resultara en un rango de presión mayor para un diámetro OD dado.
- Opciones de material de housing disponible
 - Acero de carbón
 - 9Cr1Mo

Cabezas y Bases

- La cabeza y la base de la bomba son enroscados en el housing de la bomba.
- Opciones de material de cabeza y base de bomba disponible :
 - Acero al carbón (No recomendado para aplicaciones HPump).
 - 316SS (Reduce MAWP)
 - 416SS (Opción de aplicación de alto cloruro)
- La base solo esta diseñada para soportar la presión de intake y no así para la máxima presión de trabajo del sistema.

Cojinetes resistentes a la Abrasión (AR)

- Los cojinetes de bomba son colocados en el eje de la bomba a intervalos regulares a través de toda la longitud de la bomba para minimizar la deflexión del eje.
- Existen opciones para materiales de construcción y configuración de la bomba.

Resistencia a la Abrasión

La siguiente tabla se usa para la designación de cojinete:

- | | |
|------|-----------------------------|
| • S | Estabilizador |
| • C | Compresion |
| • CS | Estabilizador de Compresion |

- ARS Estabilizador Resistencia a la abrasión
- ARM Resistente a la Abrasión Modular
- ARC Resistente a la abrasion
- SP/SSP Bomba de arena / S- bomba de arena
- AR Flotador resistente a la abrasión (1:1)

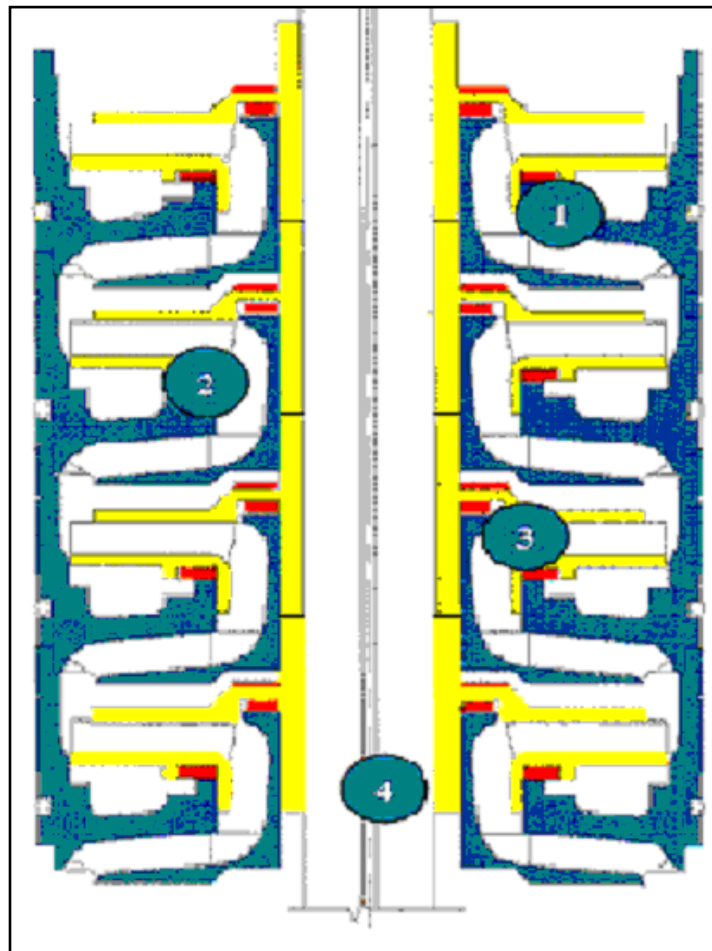
Disponible en varios rangos y puede ser especificada

- 1:1 1 AR Cojinete por etapa
- 1:2 1 AR Cojinete cada 2 etapas
- 1:3 1 AR Cojinete cada 3 etapas

Esto es de acuerdo al diseño, el cual depende de las condiciones de operación del sistema de reinyección y a las propiedades del fluido a tratar.

9.6. Bomba de Compresión

Las siguientes son las partes de la bomba de compresión:



1. Ni-Resist Tipo 1 (CL167) impulsores & difusores son metalúrgicamente etapas estándar.
2. Disponible en unidades series 400, 513, & 675
3. Diseño de compresión centro-centro transfiere el empuje de la carga de la bomba al cojinete de empuje de la HTC
4. Material opcional de eje disponible basado en las propiedades de fluidos y necesidades de diseño

Tiene su aplicación en condiciones abrasivas moderadas

Es beneficioso como soporte de down- thrust comparado con la unidad estándar.

Compresión de la Bomba.

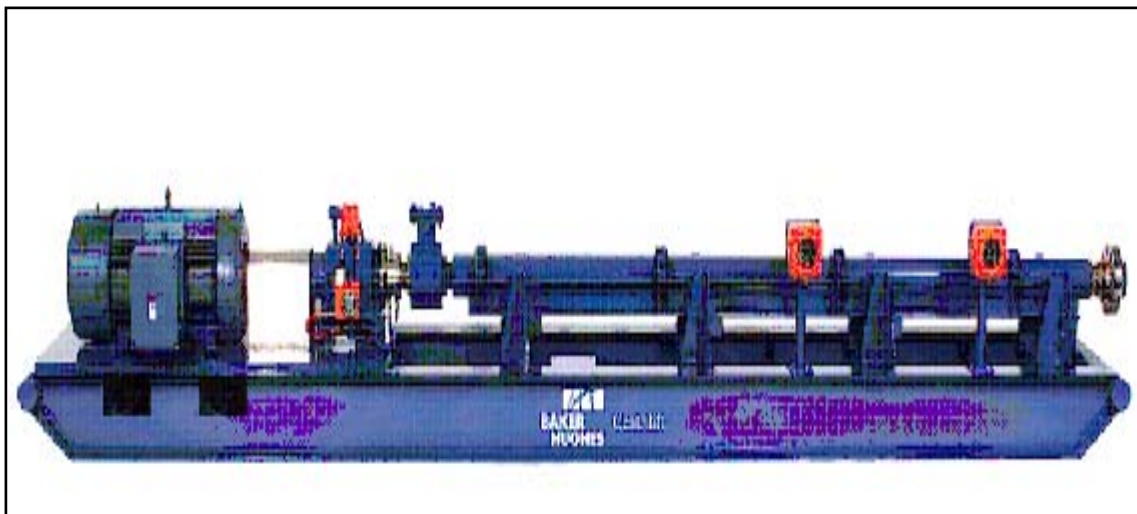
Ventajas:

- Protección contra el desgaste en cada etapa.
- Permite un rango de operación extendido
- Cuenta con protección para abrasivos moderados

Desventajas:

- Etapas de tolerancia cercana incrementan el costo versus una bomba estándar
- El anillo de balance la protección contra el desgaste incrementa la carga en el sello down thrust abajo en el sello del cojinete de empuje
- Esta bomba no cuenta con un eje radial ni tampoco con soporte para etapa

9.7. Bomba Horizontal



Para seleccionar una bomba, necesitamos conocer:

- Caudal de flujo deseado
- Presión de descarga deseada
- Presión de entrada disponible
- Gravedad específica del líquido a bombear
- Propiedades del fluido

Condiciones de operación:

Para los siguientes ejemplos, necesitamos usar las siguientes condiciones.

- Caudal de flujo deseado 8000 bpd
- Presión de descarga deseada 750 psi
- Presión de entrada disponible 100 psi
- Gravedad específica 1.0 s.g.

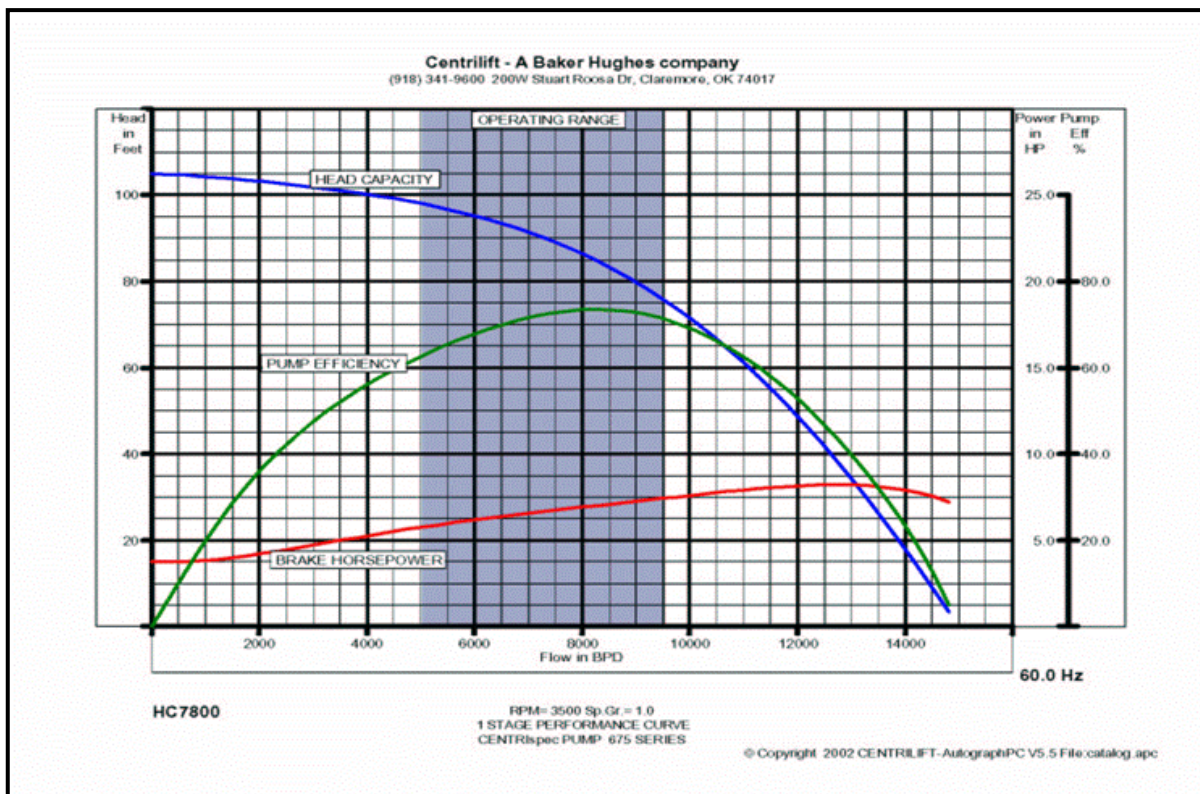
Curva de Performance de Bomba.

La curva representa 1 etapa a 3500 rpm con una gravedad específica de 1.0 en un gráfico Caudal de flujo vs Cabeza por etapa, HP requerido para generar flujo y cabeza por etapa.

Todos estos parámetros serán graficados en la siguiente figura. El flujo, cabeza en pies, potencia, y eficiencia de la bomba

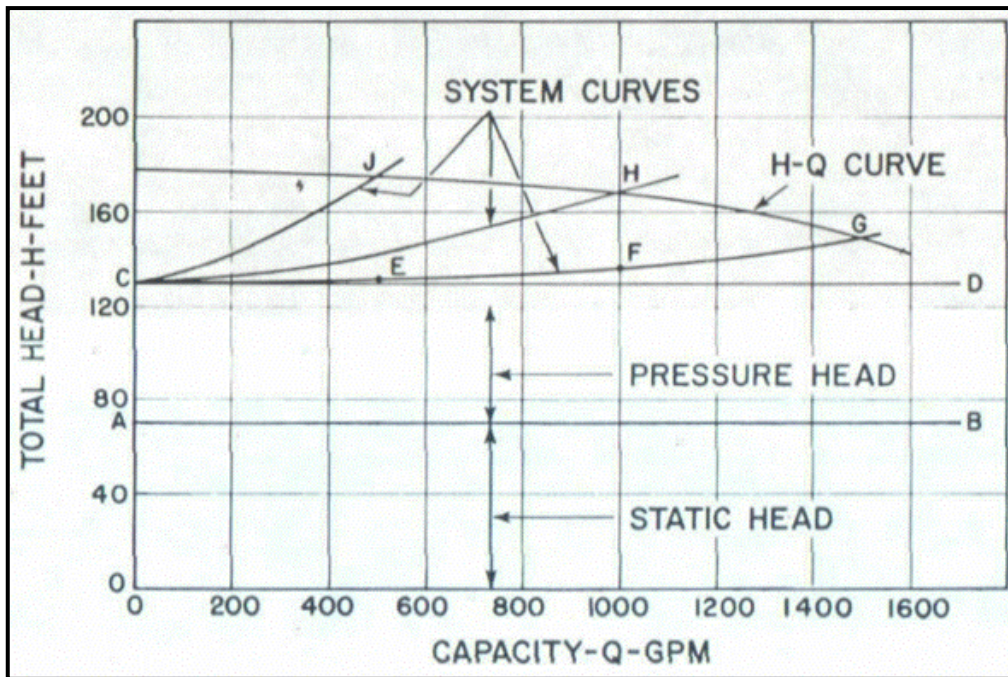
El rango de operación recomendado está sombreado

Seleccionar una bomba que entregue el flujo deseado a la más alta eficiencia



Alcances sobre el grafico:

- Este es el punto donde la bomba debe trabajar y el head de la bomba & la curva de performance del flujo se intersecan.
Esto establece el performance que la bomba debe lograr para encontrar las exigencias del sistema de tuberías.
- Esta curva se deriva del análisis de caída de presión en el sistema debido a:
 - Flujo
 - Tamaño de línea, encajando y dirigiéndola hacia la tubería (causas de fricción)
 - Propiedades de fluidos / condiciones de servicio
- El punto de trabajo requerido debe ser precisado por el cliente



AB = cabeza estática

CD = cabeza estática + cabeza de presión

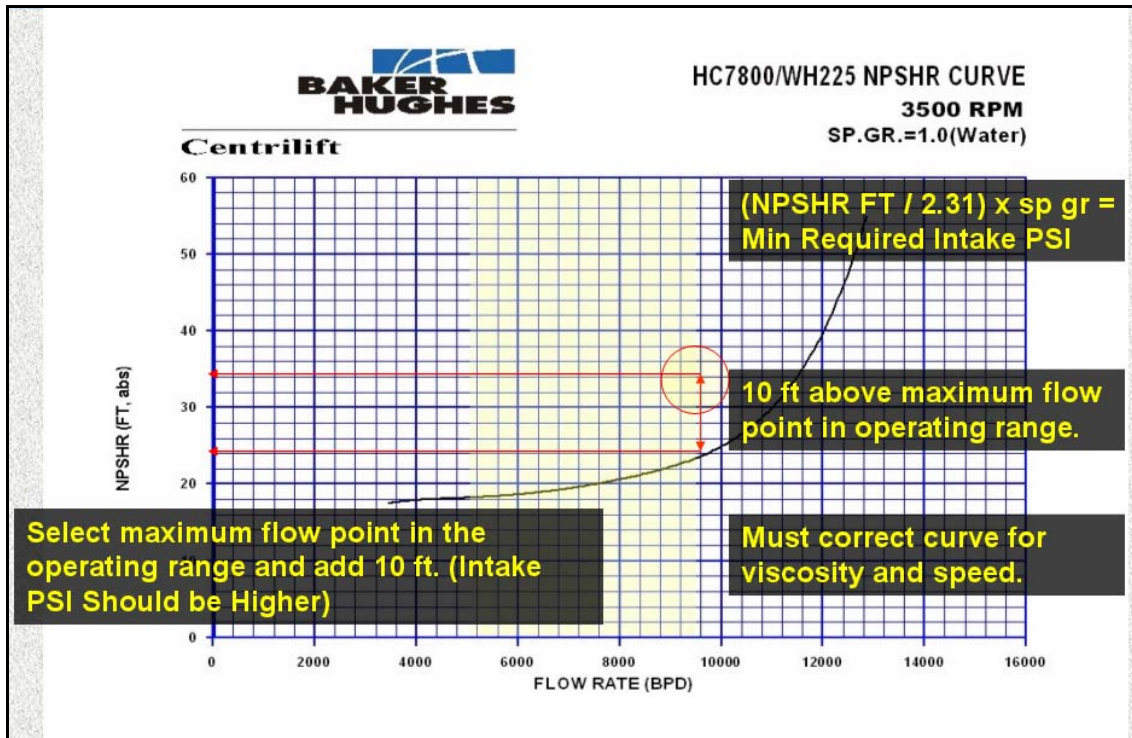
CEFG = cabeza estática + cabeza de presión + efectos de presión de fricción vs. Flujo.

Punto de producción **G** se mueve a **H**, luego a **J** con un incremento en la cabeza de presión

Condiciones de Entrada

- El caudal y la cantidad de etapas son solo una parte de la ecuación. También necesitamos considerar el intake para la bomba.
 - **NPSHA** – la cabeza de succión positiva neta disponible es El NPSH en pies disponibles en la línea central del ingreso de la bomba.
 - **NPSHR** –La cantidad de NPSH requerido para evitar vaporización en el intake de la bomba el cual es especificado por el fabricante.
 - **NPSHA** debe exceder el NPSHR para asegurar una operación apropiada por un margen de 3ft.
- Reducir la selección de la bomba por medio de la premisa que debe de coincidir con los requerimientos del flujo y nuestro NPSH para tal aplicación.
- Cuando se haga el cálculo del NPSHR y ya que la bomba podría trabajar fuera del rango de operación, se deberá adicionar un margen para reducir la potencial cavitación.

- Recordar que, la curva representa 3500 rpm @ sp. gr. de 1.0
- Convertir los ft. de cabeza a psi.
- El Intake en psi. debe exceder los psi. requeridos para evitar cavitación.

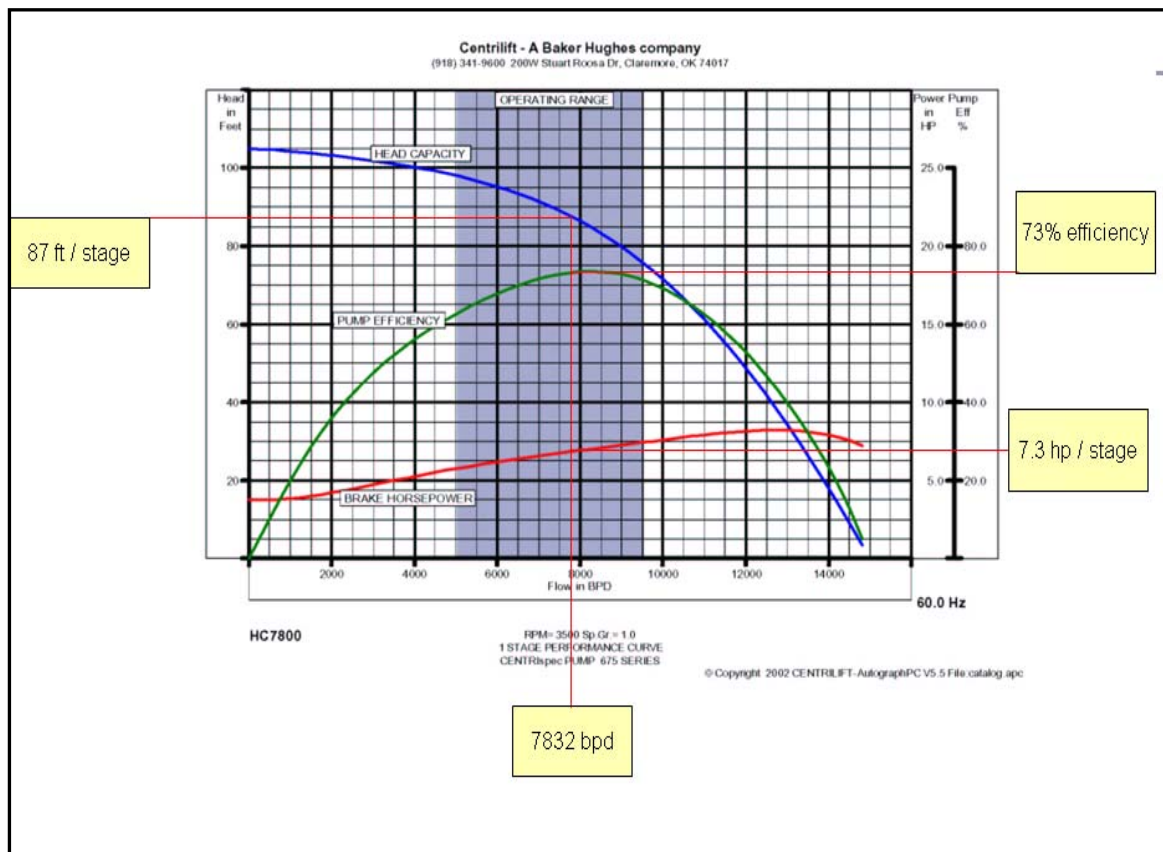


Explicación de la Curva

- A 8000bpd esta bomba generara 86ft de cabeza por etapas y requerirá 7.4 hp por etapa con una eficiencia de 74%.
- Esta curva representa condiciones a 3500rpm (60 Hz y sp gr de 1.0), por eso debemos convertir a nuestro rpm de trabajo porque podemos determinar las capacidad de la bombas a nuestro diseño rpm.
- Para nuestra aplicación, asumamos que estamos trabajando a 3575rpm y queremos 8000bpd como régimen de producción. Debemos usar la ley de afinidad de la bombas para nuestra conversión.
- La ley de afinidad de la bombas son reglas las cuales gobiernan el performance de una bomba centrifuga cuando la velocidad cambia, basándose en un diámetro de impulsión constante (asumir que no existe ningún cambio en las etapas que podrían variar capacidad).

Curva de Performance de la Bomba

Seleccionar una bomba que envía el flujo deseado a la más alta eficiencia posible



Ejemplo:

8000 bpd a 3575 rpm (sp gr 1.0). La curva a 60 Hz y 3500 rpm necesita ser graficada de tal manera que refleje las condiciones a un rpm deseado (nuevo head y brake horse power).

Solución:

$$\text{Nueva Head} = \text{Anterior Head} \left(\frac{\text{Nuevo RPM}}{\text{Anterior RPM}} \right)^2$$

$$\text{Nueva cabeza} = 87\text{ft por etapa} \left(\frac{3575\text{rpm}}{3500\text{rpm}} \right)^2 = 90.77\text{ft por etapa}$$

$$\text{Nuevo BHP} = \text{Anterior BHP} \left(\frac{\text{Nuevo RPM}}{\text{Anterior RPM}} \right)^3$$

$$\text{Nuevo BHP} = 7.3\text{hp por etapa} \left(\frac{3575\text{rpm}}{3500\text{rpm}} \right)^3 = 7.78\text{hp por etapa}$$

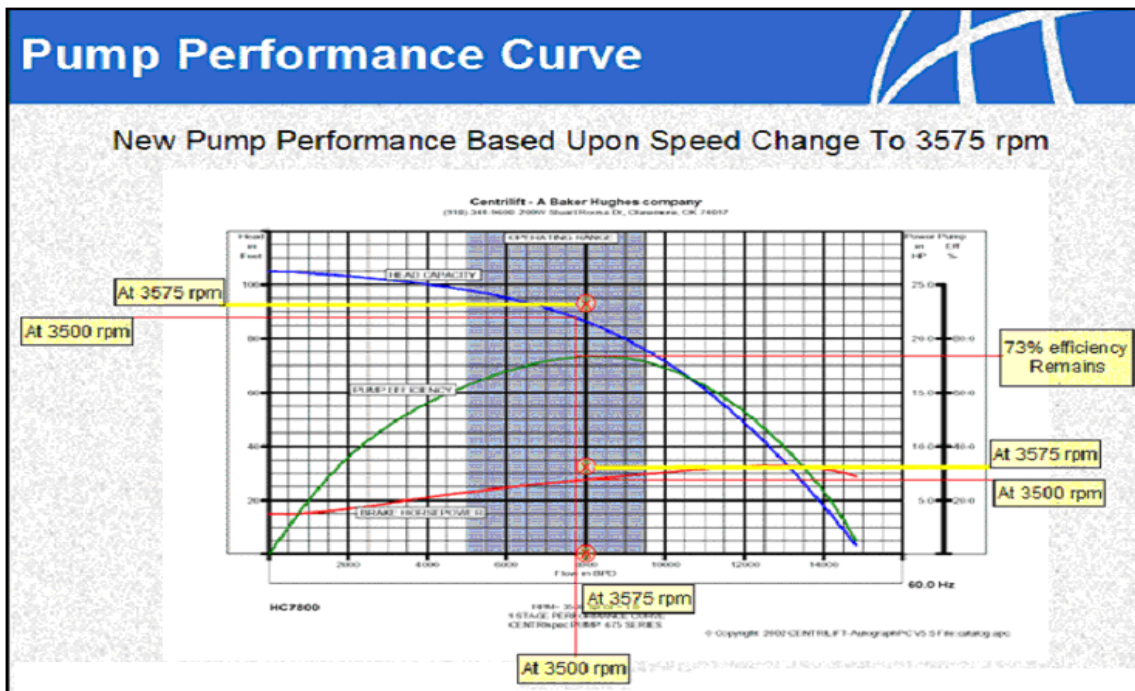


Figura: Curva de la Performance de la Bomba

Calculo del diferencial de Presión

El siguiente paso es descubrir cuantas etapas sean requeridas para abastecer la presión de descarga deseada.

Primero, determinar la caída de presión (ΔP).

ΔP , diferencial de presión, es la diferencia entre la presión de descarga y de entrada.

Recordar que la entrada es 100psi y la presión de descarga es 750psi. De este modo, Δ de presión es 650psi.

Luego la bomba debe desarrollar 650psi.

Convirtiendo la presión en Cabeza a Pies:

Para determinar cuantas etapas la bomba necesitara, la presión de descarga de la bomba requerida (psi) debe ser convertida a cabeza (ft).

$$\begin{aligned} \text{presión (psi)} &= \frac{\text{cabeza (ft)} \times \text{sp gr}}{2.31} \\ \text{cabeza (ft)} &= \frac{\text{psi} \times 2.31}{\text{sp gr}} \\ \text{cabeza (ft)} &= \frac{650 \text{ psi} \times 2.31}{1.0} = 1501.5 \text{ ft} \end{aligned}$$

Cabeza total requerida 1502ft.

Determinando la cantidad de Etapas

Recordar que la cabeza por etapa fue 90.77ft por etapa

El requerimiento de cabeza total es 1502ft.

Recordar que la cabeza por etapa fue 90.77ft por etapa

El requerimiento de cabeza total es 1502ft.

Determinar el número de etapas dividiendo la cabeza requerida por la cabeza por etapas requerida

$$1502\text{ft} / (90.77\text{ft por etapa}) = 16.55 \text{ o } 17 \text{ etapas}$$

Seleccionando la longitud del Housing

HOUSING NO.		LENGTH *		WEIGHT		MAX. NO. STAGES	PRICE	REPAIR PRICE
		FT.	M.	LBS.	KG.			
1	2.6	0.79	195	88	3	\$5,546	CONTACT CENTRILIFT SALES REPRESENTATIVE	
2	4.1	1.23	280	127	6	\$7,532		
3	5.6	1.71	380	172	10	\$11,298		
4	7.1	2.18	480	217	14	\$14,576		
5	8.6	2.62	585	260	17	\$17,647		
6	10.1	3.08	665	303	21	\$20,320		
7	11.6	3.53	750	344	24	\$22,294		
8	13.1	3.99	850	390	28	\$26,071		

675 SERIES MODEL HPMT PUMP 6.75 in. (171.5 mm) O.D.

* For shipping length - add 0.2 Feet (0.06 M) per length of housing 1-8

El housing A #5, acomodara las etapas requeridas.

Esto ayudara a determinar la longitud del Skid.

Disminución de etapas

Aunque no sea necesario en este ejemplo, la disminución de las etapas de una bomba es común.

Limitaciones

Las bombas serie 675 son limitadas en la cantidad de etapas que pueden ser colocadas. La limitación es debido a la cantidad de etapas que pueden ser comprimidas sin riesgos en la longitud de la camisa.

Calculando la Potencia

- El número de etapas permite que el brake horsepower requerido pueda ser calculado.
- El cálculo de potencia es necesario para determinar el material del eje de la bomba.
- La curva de performance toma en la cuenta la eficiencia de la bomba, multiplicando el número de etapas por la potencia ajustada por etapa.
- La potencia ajustada por etapa para una bomba seleccionada es de 7.8 hp por etapa.

Cantidad de etapas x Horse Power por etapa x sp gr = HP

Entonces con 17 etapas:

17 tapas x (7.78 HP por etapas) x (1.0)= 132.26 HP

Con esta información el motor y el material de bomba apropiada podrán ser definidos.

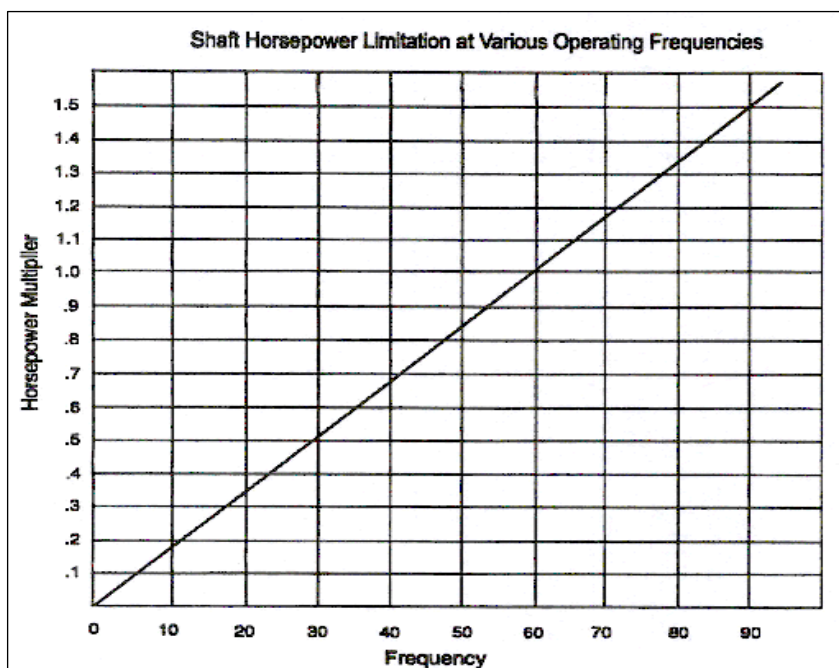
Calculando el Horsepower

- Mantener en mente las siguientes desviaciones cuando se calcula potencia.
- Aproximadamente + 8% de tolerancia para el Instituto Americano del Petróleo (API) cumplimiento de practica recomendada (RP)11S2
 - HTC y tolerancias de sellos
 - 1.X o 5.X permite 5hp
 - 3.X o 4.X permite 15hp
 - El motor debe poder entregar el HP requerido cubriendo el rango total de flujo de la bomba, no solo el punto de operación.
 - También se consideran condiciones futuras que pueden requerir más trabajo del motor.
 - Cambios en las propiedades de un fluido
 - Etapas adicionales de bomba
 - Cambio en la salida deseada

Seleccionando el eje de Bomba

- El material de eje estándar es Monel K500.
- El Inconel (Una aleación de níquel-cobre que combinado con su alta resistencia y propiedades anticorrosivos y no magnéticas) incrementará el rango de poder, de la siguiente manera:
 - El eje tendrá las mismas dimensiones
 - Podría requerir un mayor tiempo de funcionamiento
 - Requiere una mayor inversión
- Si la aplicación requiere bombas tándem solo la primera bomba requerirá Inconel, de la siguiente manera:
 - La primera bomba es la que esta sometida a una alta exigencia ya que transmite el pico de potencia
 - A menos que la composición química de un fluido lo especifique, el Inconel es metalúrgicamente necesario.
 - En general se debe de tomar en cuenta que cuando se diseña una bomba, la selección del eje se debe basar en limitaciones de Potencia del sistema.

Para obtener el límite de operación para frecuencias distintas a 60Hz, se debe de multiplicar los ratios 60Hz HP por un factor que muestra el siguiente grafico. Debido a las limitaciones del motor, la frecuencia no debe de exceder los 63Hz.



10. CÁMARA DE EMPUJE

Hay muchos modelos de cámara de empuje, entre ellos hablaremos del HTC 3.X

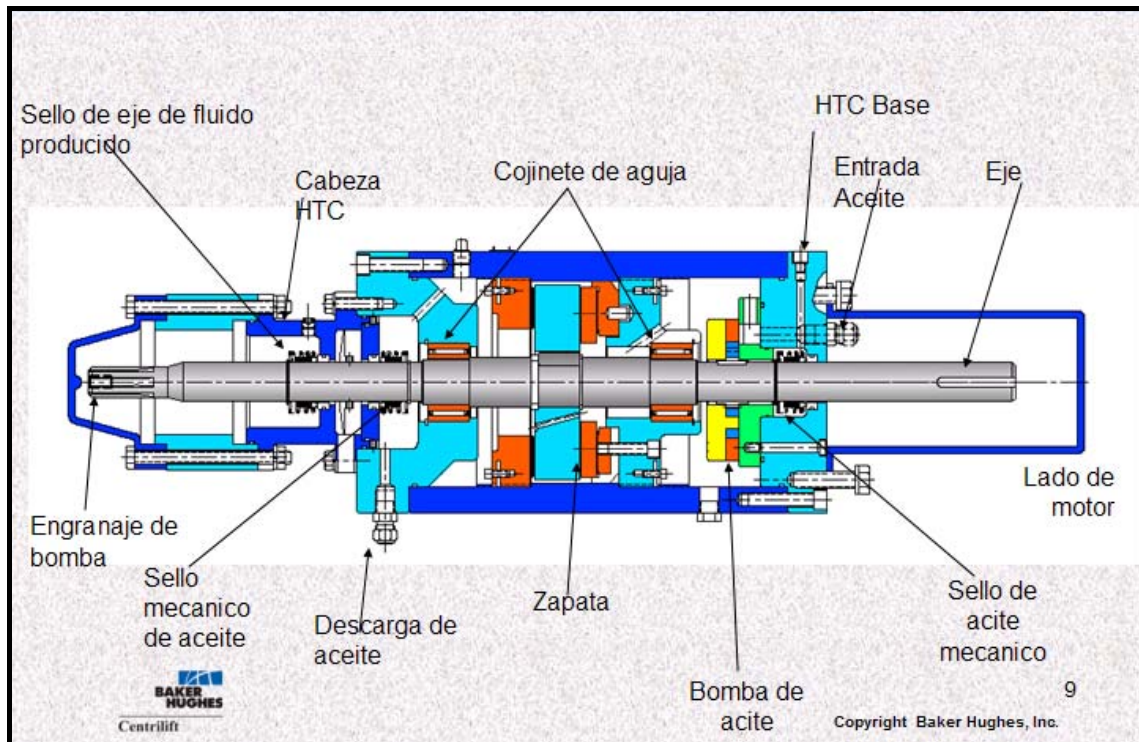
HTC 3.X

- Alto empuje de carga, este tipo de HTC está diseñada para dar empuje continuo de carga upthrust sobre los 18,000 lb.
- Posee un Cojinete zapato Pivot Glacier bi-direccional que absorbe la carga de empuje que caracteriza a un sistema enfriador de aceite externamente montado.
- Aceite presurizado es circulado por un engranaje de bomba externamente montado y que actúa como lubricador y enfriador de la HTC.



Cámara de empuje HTC 3.X

- El aceite HTC para este modelo es especialmente manufacturado, aceite sintético patentado.
Este HTC es ajustado al Skid con una abrazadera de montaje.
- Un sello mecánico previene fluido producido en la entrada de HTC.
Existen sellos disponibles dependiendo de la presión, temperatura y tipo de fluido.
La 4.X HTC es una opción que provee por un sello de cartucho. Esta opción requiere un eje de HTC mas largo en conjunción con el sello de cámara.



Partes Internas de la Cámara de Empuje

Lubrication Cooler

El 3.X HTC incorpora un sistema de enfriamiento que circula el aceite a través de un reservorio externo.



Lubricador Cooler

Características del Lubricador Cooler:

- Reservorio de aceite hecho a medida
- Intercambiador de calor de aire enfriado con un ventilador eléctrico (fase simple)
- Acero inoxidable y mangueras hidráulicas de jebe
- Filtro de aceite enroscado

10.1 Selección de Cámara de Empuje

- Para cálculos de medición usamos el máximo valor de empuje en el rango de operación de la curva
- Si el sistema no incluye una provisión para prevenir que la unidad opere sin fluido, se debe considerar dimensionar al extremo izquierdo de la curva (sin flujo).
- O consulte las cartas de empuje de bomba
- Cada bomba es listada con el número de etapas y empuje por etapa.

Conociendo el número de etapas podremos calcular el empuje producido por la bomba. Esto determinara cual HTC usaremos.

Las tablas son mostradas a 3500 rpm con una gravedad especifica de 1.0. La conversión de la bomba es mostrada abajo para otro rpm o Sp Gr.

Ejemplo:

$$\text{Empuje RPM2} = \text{Empuje RPM1} \times (\text{RPM2/RPM1})^2$$

$$\text{Empuje SpGr2} = \text{Empuje SpGr1} \times (\text{SG2/SG1})^2$$

Asumiendo una velocidad de operación de 3575 rpm y una bomba HC7800

H_{pump} que genera 125 lb/stg:

$$\text{Empuje}_{3575} = \text{Empuje}_{3500} \times (\text{rpm2/rpm1})^2$$

$$\text{Empuje}_{3575} = 125 \times (3575/3500)^2 = 130.4 \text{ lb/stg}$$

Asumiendo 17 etapas:


$$130.4 \text{ lb/etapa} \times 17 \text{ stg} = 2217 \text{ lb empuje total}$$

HTC Máxima Carga de Empuje

- El empuje fue calculado a 2217 lbs.
- Seleccionar el HTC que mejor encaje en los requerimientos.
- Cartas muestran las cargas de empuje permisible para cada HTC. Esta aplicación caerá bien dentro de los límites de un HTC 1.X
- Momentáneo es deseado para describir una condición de operación temporal y esta definido como duración de operación de solo minutos (menos de una 1 hora).

MODEL	CONTINUOUS	MOMENTARY ⁽¹⁾
1.x / 5.x	4,000 lbs.	6,000 lbs.
3.x / 4.x	18,000 lbs.	24,000 lbs.

(1) – INDICA MAXIMA CARGA TEMPORAL PARA SALIDA DE OPERACION DE L RANGO DE OPERACION DE BOMBA RECOMENDADO



17

Copyright Baker Hughes, Inc.

HTC Máxima Clasificación de HP

- Es necesario asegurar que los límites de potencia del eje de HTC no sean excedidos
- Seleccionar material de eje que encuentre los requerimientos de potencia.

PANEL / DIRECTO EN-LINEA (DOL)		
MODEL	Nitronics 50	Inconel
1.x / 5.x	400	N/A
3.x / 4.x	400	625
INICIO SUAVE/ VSD		
MODEL	Nitronics 50	Inconel
1.x / 5.x	800	N/A
3.x / 4.x	800	1,250

10.2 Sellos Mecánicos

La selección del Sello mecánico es de la siguiente manera:

- En un Sistema Hpump el sello mecánico es parte del HTC.
- Los sellos montados en el eje de la HTC tienen una cara rotatoria y una estática.
- Un resorte o fuelle provee la fuerza de cierre necesaria para encarar, cerrar o sellar.
- Todos los sellos mecánicos de fluido, sellan en contra presión.

La selección de sello esta basada en:

- Propiedades de fluidos
- Condiciones de operación
- Sellos de cartucho o No cartucho.
- Cada sello debe ser evaluado en base a cada caso.
- El sello es montado entre el intake de la bomba y el HTC, en el eje del HTC
- Generalmente el equipo horizontal usa sellos John Crane
 - Tipo 2
 - 8B1
 - 38BO
- Nota: El 8B1 y 38BO puede ser usado como de tipo cartucho. Un ensamble completamente auto contenido (incluyendo una cara rotatoria y estacionaria, o-anillos, resortes o fuelles, fundas y glándulas maquinadas), la cual es pre-ensamblada antes de la instalación.



10.3 Sellos de Cartucho

Las ventajas de los sellos de cartuchos son:

- Patrones mejorados y opciones flush
- Vida de sello de mas larga
- Fácil reemplazo
- Menos caída de tiempo por reparación
- Ventajas en aplicaciones de salmuera

Las Desventajas son:

- Alto costo inicial
- OPEX reducido

Los sellos de cartucho tienen un costo inicial más alto pero fácil de usar y reemplazar.

10.4 Selección del Sello

Sello Tipo 2:

El tipo estándar 2 es limitado por <150psi and <175°F



Característica del Sello Tipo 2

Para absorber la irrupción y corrida por causa de torque, los sellos son diseñados con una banda de manejo de muescas que elimina la sobre tensión de los fuelles del elastómero.

El movimiento es eliminado, protegiendo el eje y la funda del desgaste.

Capacidad de auto alineamiento

El ajuste automático compensa el juego en el eje, el desgaste del anillo primario, y aumenta la tolerancia del equipo. Los movimientos de eje axial y radial son compensados con una presión de resorte uniforme.

Balanceamiento Inicial

Permite que en aplicaciones de presiones más altas, velocidades de operación más altas el desgaste sea menor.

Es para evitar ruptura y torque en la corrida, los sellos son diseñados con una banda de muescas que elimina la sobre tensión de los fuelles del elastómero. El movimiento es eliminado, protegiendo el eje y la funda del desgaste y rayado.

Balanceamiento Especial

Para aplicaciones de alta presión, velocidades de operación más altas y desgaste menor se puede usar el Sello Tipo **8B1**.

Este tipo de sello ofrece una función industrial balanceada con un sello empujador donde el sello secundario esta mecánicamente empujado a lo largo del eje o camisa para compensar el uso de la cara.

El tipo estándar 8B1 es limitado para presiones menores que 600psi y temperaturas menores que 175°F

Diseño de O-ring

Permite el acomodamiento de distintos fluidos a través del uso de un variado rango de materiales.

Diseño compacto

Permite el uso en todos los tipos de equipos de rotación bombas centrifugas, agitadores y mezcladores.

10.5 Coples

- Los coples más comunes usados por Hpump para el acoplamiento Motor-HTC es del tipo Falk T10 acoplamiento de celda. Mientras otros coples están disponibles, el Falk es preferido por su tolerancia de alineamiento de eje y bajo mantenimiento
- Para un motor de cojinete de bola estándar, el acoplamiento de celda Falk puede ser usado.
- Para motores de cojinetes de camisa, encontrar un centro magnético es crítico para la operación. un limitado fin del kit flotador es disponible si es deseado.
- Los tres tipos de cople Falk T10 Grid acoplan tamaños de uso común:
 - 1070 Usado arriba de 400 Hp de potencia.
 - 1080 Usado arriba de 800 Hp de potencia.
 - 1090 Usado arriba de 1500 Hp de potencia.

Cople fleje acero	Eje de motor (pulgadas)
1070	1 5/8, 1 7/8, 2 1/8, 2 3/8
1080	2 5/8, 2 7/8
1090	2 7/8, 2 3/8, 3 7/8

Los materiales de cople Falk Tipo T10 Grid

- Hoyo 1146 acero al carbón
- Celda aleación de acero 6150
- Cubierta aleación de aluminio

Coples espaciadores necesarios para cumplir con el API 610

- Tipo Falk T31 (opcional)

Ventajas

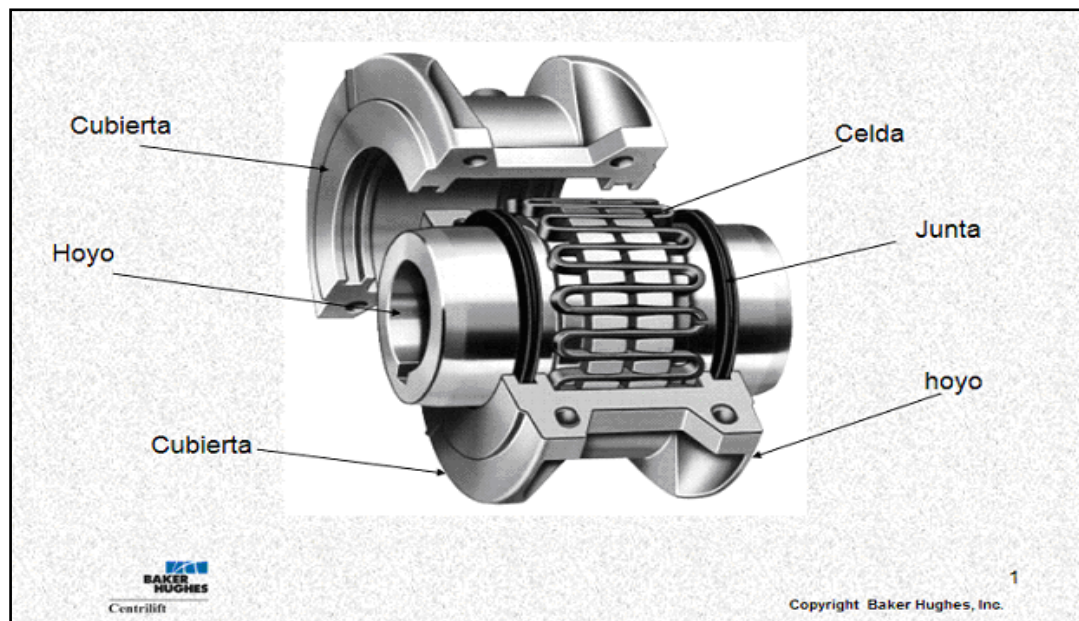
- Permite fácil acceso del motor, HTC y sellos para servicio
- Compatible con los motores de camisas cojinete.

Desventajas

- T10 hace cumplir con API (Sociedad Americana de Petróleo) API 610.
- Costo mas alto que los coples de tipo est andar

Falk es el cople preferido:

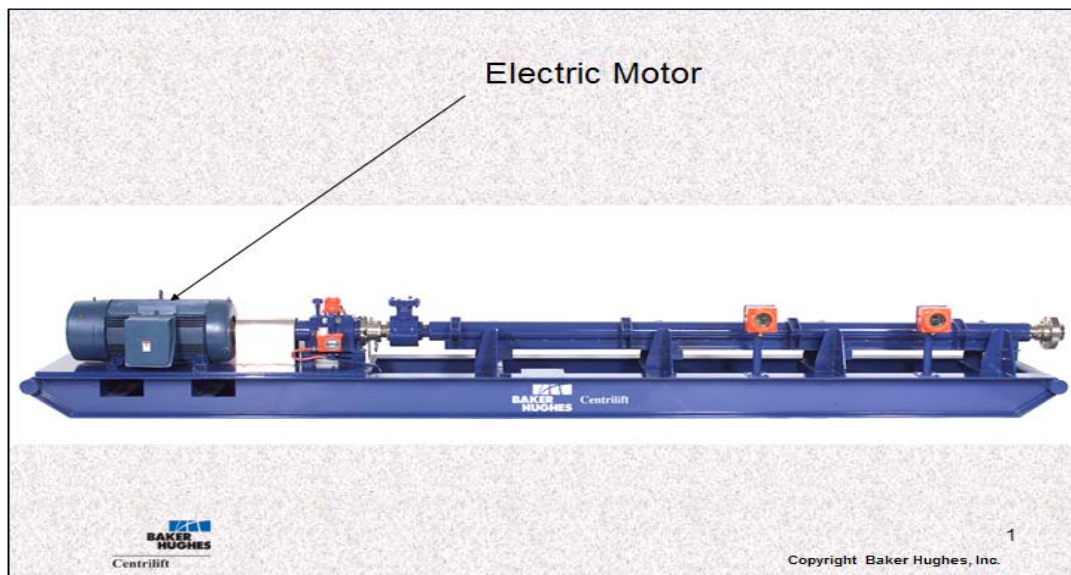
- Tolerancia de alineamiento de eje
- Bajo mantenimiento.



10.6 Selección del Motor

Los motores no son la única fuerza motriz de el sistema horizontal, solo representan el 30% de su costo.

Los motores horizontales tienen la medida para acomodarse a las aplicaciones y el requerimiento del lugar.



Estructura

La industria de motores provee dos estructuras dimensionalmente diferentes aceptadas por los estándares industriales, estas son:

NEMA: Usualmente en estándares diseñados para versiones posteriores a la 447.

IEC (International Electrotechnical Commission)

Diferencias con otros modelos

- Longitud del motor
- Altura de la línea eje central
- Diametro del eje
- Dimension del eje
- Tamaño de las conexiones eléctricas, locación y dimensiones
- Caja de motor

Tamaño de estructura y caja de motor varían para acomodarse a:

- Preferencia de uso
- Condiciones de Sitio
- Clasificación de área
- Consideraciones de costo

Protección Climática (Weather Protected – WP II)

- Aplicable para la mayoría de las aplicaciones externas
- Pasajes refrigerantes abiertos a la atmosfera
- Generalmente protegido por flujo de aire direccional cambiante que causa en mayor proporción humedad o sólidos que caen antes que alcancen el interior del motor (filtros opcionales).



Equipo WP II

A prueba de Explosión. (Explosion Proof)

Esta clasificación necesita ser suministrada por el cliente, generalmente Clase 1, Grupo D, División 1.

- El motor a prueba de explosión está diseñado para confinar una explosión interna dentro de la caja del motor.
- Más comúnmente usado en circunstancias donde pueda existir gas o líquido inflamable en la atmósfera.

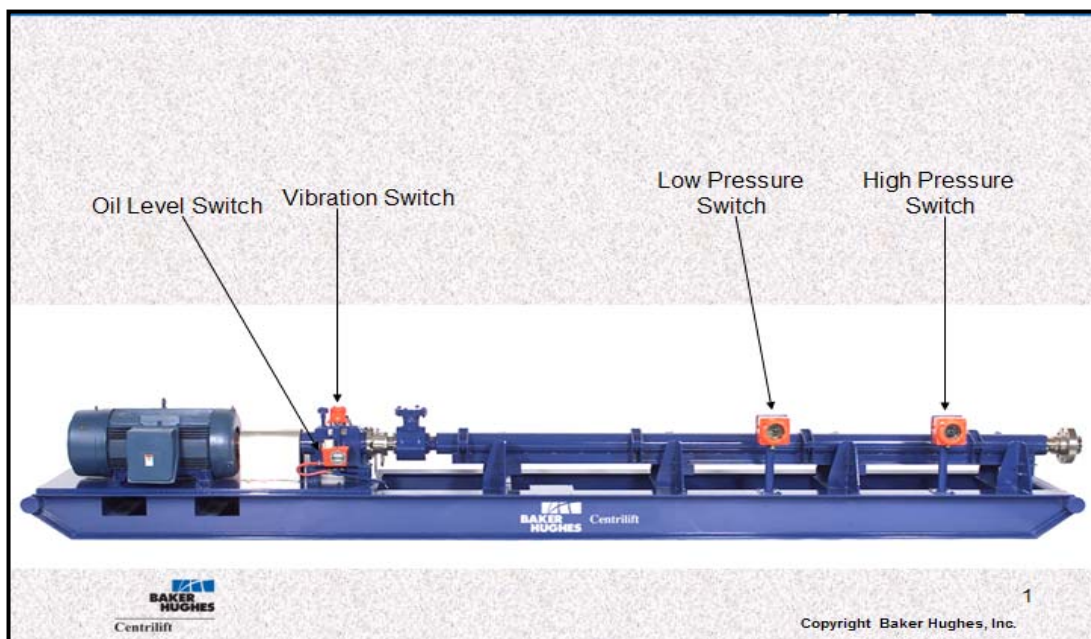


Fuente de Poder

- El poder suministrado al motor depende de los requerimientos para una aplicación específica ya además de la disponibilidad de: Voltaje, KVA disponible, frecuencia, tipo de fuente.



10.7 Instrumentos de la Bomba Horizontal



Para controlar y monitorear el sistema de la bomba horizontal, se requieren una serie de instrumentos e interruptores.

El sistema debería ser diseñado para anticipar una válvula cerrada o una línea de flujo rota, el sistema debe ser cerrado bajo ciertas condiciones, como:

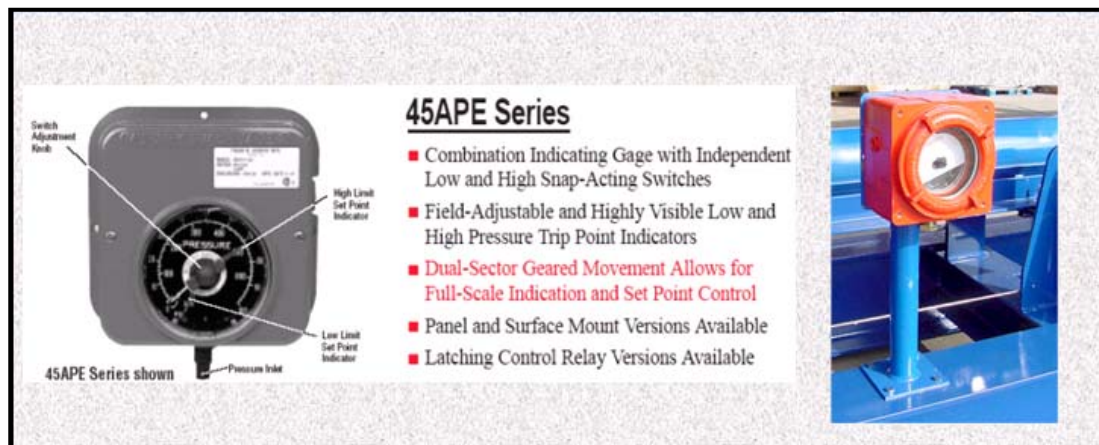
- Si el NPSHA cae a un nivel que puede causar una cavitación destructiva en la bomba
- Si la presión de descarga se mueve fuera de los límites aceptables.
- Si los niveles de vibración aumentan sobre los límites aceptables
- Si los niveles de aceite de la HTC se mueven fuera de los límites aceptables
- Si la temperatura de la HTC aumenta sobre los límites aceptables (no en todos los modelos)
- Conectando los instrumentos (eléctricos y de tuberías)
- Conexiones de los instrumentos hacia las tuberías del cliente

Modelos de Instrumentación Estándar

Intake Pressure *	45APE	
Discharge Pressure *	45APE	
Vibration Levels	VS2	
HTC Oil Level	1.X	3.X
	L129CK	L971C

Los accesorios Murphy (interruptores y manómetros) son plenamente usados debido a su simplicidad, confiabilidad disponibilidad y costo.

Interruptores de Presión Entrada y Descarga



Para monitorear la presión en la entrada/ descarga del sistema, se provee un instrumento Murphy, serie 45APE, Alta/baja presión.

Monitoreo de Seteo

- Generalmente los interruptores de alta y baja van juntos así que si se da ya sea una presión alta o baja esto apagará el sistema.
- Cada sistema puede tener algunas otras circunstancias especiales que pueden afectar el seteo de los interruptores de presión.
- Como la regla del pulgar, setear los dispositivos a condiciones normales de operación +/-10%, basado en el rango de operación recomendado.
- Una parada por baja carga de presión puede evitarse adicionando un tiempo de espera antes de que el sistema se apague, permitiendo que la presión aumente antes que sea monitoreada.
- Las opciones a prueba de explosión para indicadores de presión están disponibles.

Interruptor de nivel de aceite.

OIL LEVEL SWITCH L129

- Provisto de un interruptor de seguridad para asegurar que la unidad se apagara en caso de una eventual pérdida de aceite en la cámara de empuje.
- El Murphy Serie L129 es la opción común para esta función ya que el punto de nivel alto puede ser seteado.
- Note que este dispositivo es cerrado
- El L129 s usado en locaciones que no presenten peligro.

Monitoreo de nivel de aceite.



Monitor de Nivel de Aceite

- El monitor de nivel de aceite detecta nivel bajo de aceite en la cámara 3.X
- Protege la HTC cuando el nivel de aceite cae.
- A prueba de explosión.

Switch Monitor de Vibración



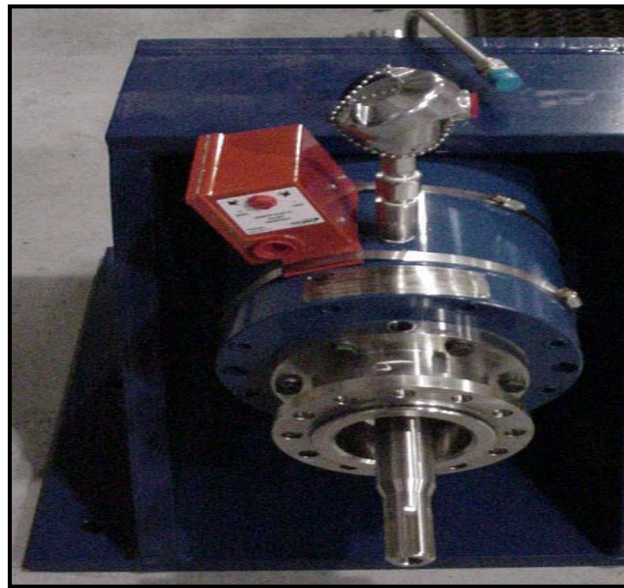
Switch Murphy VS2

Con el fin de apagar el sistema en un evento donde haya excesiva vibración, la HPump comúnmente usa un switch Murphy, serie VS2, de la siguiente manera:

- Como regla general del pulgar, antes de encender, ajustar la sensibilidad del instrumento hasta que la unidad se apague por vibración. Luego ajustar la perilla de 1/8 a 1/4 alejándola del apagado haciéndola de esta manera menos sensible.
- El VS2 tiene un reencendido manual.
- Montado:
 - El VS2 se monta sobre la HTC por medio de bandas de acero inoxidable (HTC 3.X).
 - Es posible montar el switch del VS2 en una abrazadera sobre la bomba para monitorear la vibración.
- La vibración máxima aceptable es 0.156 IPS (inches per second) en cada plano horizontal o vertical.
- Existe una opción a prueba de explosión

RTD de Temperatura del aceite de la 3.X HTC

- El RTD (resistance temperature device) mide la temperatura del aceite en la HTC.
- El rango normal de temperatura es a temperatura ambiente con un margen de más 50 °C
- Usa una termo-cupla del tipo 316 SS.
- El RTD debe ser cableado hacia un dispositivo de monitoreo externo. (Generalmente en el controlador del motor)



RTD de Temperatura del aceite de la 3.X HTC



Tablero ElectroStart.

- El tablero ElectroStart es un panel es un panel completo de tensión.
- El ElectroStart consiste en un fusible desconectado, un contactor de vacío y un transformador de control de rango completo, todo en un housing según el estándar de protección NEMA 3R.

Características:

- Amperímetro y registrador gráfico (opcional)

Distintos compartimentos para alta y baja tensión

- Pulsador y un interruptor de selección son estándar
- Luces piloto
- Programable controles de motor de estado sólido (Vortex u otro)



Tablero ElectroStart

Controlador de Motor Vortex

- El VORTEX GCS es un relay de protección de motor y un controlador programable.
 - Cuando se combina con sensores apropiados es configurable para usarlo en varios tipos de aplicaciones de controladores de motor programables.
- Provee de una interface de telemetría
- Comunicación interna a través de interfase de Telemetría (CITIBus)
 - Comunicación externa a través del puerto RS.
 - Permite y simplifica el control del sistema de expansión y personalización.

Vortex GCS

Comunicación:

- El controlador VORTEX GCS puede comunicar vía wireless o mediante cable serial a una computadora host para la implementación del sistema Supervisory Control and Data Acquisition (SCADA).
- Soporte para Protocolo Modbus RTU el cual está incluido como una característica estándar.



Vortex GCS

ElectroSpeed / GCS o VSC

Es un controlador de Velocidad Variable.

Ajusta la velocidad de la bomba, el rate de flujo y la cabeza necesaria.

Beneficios:

- Mejora la eficiencia promedio del sistema
- Reduce el tamaño de generador
- Puede eliminar la necesidad de una válvula de choque
- Provee un control inteligente para maximizar la producción.



ElectroSpeed / GCS o VSC

Los efectos del VSC en bombas centrifugas son:

- El desempeño de la bomba es presentada por la curva head vs. flow a un específico rpm. Si el rpm cambia una nueva curva se genera.
- La ley de Afinidad es usada para predecir los cambios.
- La frecuencia máxima es 63 Hz (Si el diseño lo permite)
- La selección del motor influye en la posterior selección de variador.
- La frecuencia mínima es dependiente del diseño del sistema.

11.- EVALUACION ECONOMICA

Los costos del sistema SCADA mayormente se dan en el servicio de transmisión satelital de la siguiente manera:

- La información de fondo de pozo es registrada por nuestro variador (GCS).
- Conectamos el sistema SCADA al variador.
- La vía de comunicación utilizada entre el variador y SCADA es Modbus.
- En una pantalla vía Satélite podremos apreciar todos los datos que podamos obtener de nuestro variador.
- Además de observar los datos podremos tener un control sobre el sistema (variación de valores, estadísticas y monitoreo).

SERVICIO	COSTO (mensual)
Transmisión Satelital	450 \$/pozo
	$450 \text{ \$/pozo} * 17 \text{ pozos} = 7650 \text{ \$}$

En el Lote 8 existen 75 pozos productores de petróleo, con una producción acumulada de 11613 BOPD.

Considerando que el corte de agua es de 95%, por lo que podemos decir que al dejar de inyectar 1000 BDWP dejamos de producir 50 BOPD y teniendo en cuenta además que el precio del barril de petróleo tiene un valor en el mercado de \$99.81 (dólares americanos), se tendría:

1bbl= \$99.81 lo que en 50bbl seria \$4991 (dólares americanos por día)

Esto es lo que se dejaría de percibir en caso de que el sistema de reinyección parase por alguna falla. Es por esto que es de suma importancia que los equipos de reinyección estén siempre operativos y que las fallas se detecten y sean resueltas lo antes posible.

12.-CONCLUSIONES

- Este sistema SCADA permite controlar el proceso desde una estación remota, para ello el software brinda una interfaz gráfica que muestra el comportamiento del proceso en tiempo real.
- La acción de control es realizada por los controladores de campo, pero la comunicación del sistema con el operador es necesariamente vía computadora.
- El sistema SCADA posee paneles de alarma, que exigen la presencia del operador para reconocer una parada o situación de alarma, con registro de incidencias.
- El sistema SCADA genera datos históricos de las señales de planta, que pueden ser volcados para su proceso sobre una hoja de cálculo.
- Ejecuta programas, que modifican la ley de control, o incluso anula o modifica las tareas asociadas al sistema automático, bajo ciertas condiciones.
- Posibilidad de programación numérica, que permite realizar cálculos aritméticos de elevada resolución sobre la CPU del ordenador.
- Permite identificar fallas en el sistema de reinyección para la realización de mantenimiento preventivo y así evitar pérdidas de producción.
- Evita el pago de multas por consecuencia de derrames y/o posibles roturas del sistema de tuberías del sistema de reinyección.
- En conclusión los equipos que sean monitoreados por el sistema SCADA podrán operar de manera más segura con el consecuente ahorro de costos de reparación para los VSD, el cual representa en la actualidad un costo alto en el mantenimiento de los sistemas de reinyección de agua.

13.- MARCO LEGAL

En noviembre de 1993, el Gobierno del Perú promulgó el nuevo "Reglamento para la Protección Ambiental en las Actividades de Hidrocarburos", Decreto Supremo N° 046-93-EM.

Esta norma fue la primera que delineó específicamente los requerimientos ambientales de los Proyectos Petroleros, sin embargo la ley que se refiere a la disposición de agua es la "Ley General de Aguas", también tiene aplicación en dichos proyectos, pero de una forma indirecta; por otro lado el Ministerio también ha publicado Protocolos de Monitoreo de Calidad de aire, Emisiones de Agua los cuales se desprenden de guías publicadas por la Organización de Asistencia Reciproca Petrolera Estatal Latinoamericana (ARPEL).

14.- BIBLIOGRAFÍA

- Guía Ambiental para la Disposición y Tratamiento de Agua Producida. Autor: MINEM – PERÚ.
- Disposición de Agua Salada relacionada a la extracción de Petróleo. Autor: F. Yáñez, Asesor en Tratamiento de Aguas Residuales.
- Surface Salt Water Disposal. Dallas, Texas, American Petroleum Institute. E- Paper.
- Collins, A.G. Here's How Producers Can Turn Brine Disposal into Profit. Oil and Gas Journal.
- Wrigth, C.C., and D.W. Davis. The Disposal of Oilfield Wastewater. American Petroleum Institute. E-Paper.
- David Bailey, Edwin Wright. Practical SCADA for Industry. IDC Technologies. 2003.