

3  
2es.



# UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE INGENIERIA

"SISTEMA DE SUPERVISION Y CONTROL PARA UNIDADES DE BOMBEO MECANICO"

## T E S I S

PARA OBTENER EL TITULO DE:  
INGENIERO MECANICO ELECTRICISTA

P R E S E N T A N :

ISIDRO ALEJANDRE PEREZ  
SANTIAGO IVAN MAYA REYES



DIRECTOR: ING. ENRIQUE GOMEZ ROSAS

MEXICO, D. F.

268314

1998

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

*Sistema de Supervisión y Control  
Para Unidades de Bombeo Mecánico*

*Isidro Alejandro Pérez  
Santiago Juan Maya Reyes  
Noviembre 1998*

## AGRADECIMIENTOS

---

Antes que todo quiero dar mis más grandes y sinceros agradecimientos a dos seres tan maravillosos que entregan incondicionalmente su vida, no importando pasar hambres, desvelos, angustias y sufrimientos con tal de que sus hijos se hagan mujeres y hombres de bien. Estos seres tan especiales son mis Padres, que me dieron todo su apoyo y que están siempre pendientes de mí.

Este trabajo se lo dedico a mi hermano Juan Alejandro que siempre luchó y persistió a su manera para que sus hermanos se superaran. Gracias a mis padres y a él, hoy puede verse que no fue en vano su lucha.

En especial a mi esposa Ana y mi pequeña Daira les doy las gracias por los momentos llenos de amor y felicidad que me brindan y la paciencia que me tienen los cuales motivan cada día para seguir adelante.

A mi estimado amigo Jorge Montejo que siempre me insistió y recordó en todo momento que éste trabajo se concluyera.

A todos mis hermanos Epifania, Jacinto, Alfonso, Angela, Lucía, Emilio, Arturo y Guillermina que siempre me motivaron para seguir adelante.

A mis apreciables amigos Ingenieros del Instituto de Ingeniería, Rodolfo Peters, Enrique Gómez, Valente Vázquez, Lauro Santiago, y Margarita Luna que siempre me brindan su confianza y amistad incondicional, mostrando su interés en concluir esta meta.

Quisiera nombrar a todos mis amigos y amigas que incondicionalmente me han brindado su apoyo en todo momento, pero aunque no pueda hacerlo en esta ocasión ellos saben quienes son.

*Isidro Alejandro Pérez*

## AGRADECIMIENTOS

---

Primeramente a Dios por permitirme cumplir con esta meta. Por todas las bendiciones que me ha dado y por acompañarme en todos los momentos de mi vida. Por que nada podría hacer sin Él.

A mis padres, Araceli y Santiago, por la educación, su ejemplo, su enorme cariño y la confianza que han depositado en mi. Por que siempre he sentido su respaldo y amor en mi vida, siempre estaré con ustedes, los amo.

A mis abuelos Olga y Alejandro por que son parte muy importante en mi ser, por que me han enseñado mucho y por que sé que están orgullosos de mis logros. Los quiero mucho.

A mis hermanos René, Myrna, Miriam e Hiram por que han llenado mi vida y han aportado cada uno enseñanzas invaluable, agradezco a Dios el tenerlos. Con mucho cariño a mi pequeña Aylin por que Dios la envió para alegría de toda la familia.

Muy en especial a mi Karla por que siempre me alentó y apoyó para cumplir este objetivo, su amor me ayuda para no desistir de nuestros anhelos. Te amo mucho preciosa, quédate siempre a mi lado.

A mis tíos y primos: Alejandro, Mary, Arlina, Antonio, Marilyn, Daniel, Isaac, Einar, Nohemi, José Luis, Eder y Adair por su cariño.

A mis compañeros de Tecnosuelo con los que compartí grandes momentos y experiencias, realmente los aprecio mucho.

A mis amigos de todos lados que siempre han creído en mi y me han apoyado. A todos aquellos con los que disfrute mientras no estuve con mi familia.

A la Universidad Nacional Autónoma de México y en especial a la Facultad de Ingeniería por la formación que me ha permitido descubrir lo maravilloso de este mundo con la confianza de poder realizar lo que me proponga.

Al equipo de Instrumentación del Instituto de Ingeniería de la UNAM: Enrique, Rodolfo, Valente, Francisco, Lauro y Margarita por su paciencia, apoyo y confianza.

*Bendice, alma mía, á Jehová;  
Y bendigan todas mis entrañas su santo nombre.  
Bendice, alma mía, á Jehová,  
Y no olvides ninguno de sus beneficios.  
Salmos 103: 1-2*

*Santiago Ivan Maya Reyes*

**“ SISTEMA DE SUPERVISION Y CONTROL PARA UNIDADES DE BOMBEO MECANICO”**

**C O N T E N I D O**

1. INTRODUCCION . . . . .	2
2. ANTECEDENTES . . . . .	3
2.1 EXTRACCION DE CRUDO . . . . .	4
2.2 SISTEMA DE BOMBEO POR VARILLA . . . . .	5
2.2.1 TIPOS DE UNIDADES DE BOMBEO . . . . .	6
2.2.2 FUERZA MOTRIZ PRIMARIA . . . . .	10
2.3 SISTEMA DE BOMBEO MECANICO . . . . .	13
2.3.1 ACCION DE BOMBEO POR VARILLA DE SUCCION . . . . .	13
2.4 ANALISIS DE CARGA, BALANCEO Y FACTOR DE TORQUE . . . . .	15
3. DEFINICION DE LA PROBLEMÁTICA . . . . .	17
3.1 PROBLEMAS DE OPERACION DE LA U.B.M. EN FORMA TRADICIONAL . . . . .	18
3.2 IMPACTO AMBIENTAL Y SOCIAL . . . . .	19
3.3 RESUMEN . . . . .	20
4. OBJETIVO . . . . .	20
5. PLANTEAMIENTO DEL PROYECTO . . . . .	21
5.1 DESCRIPCION DEL PROYECTO . . . . .	21
5.2 IDENTIFICACION DE EQUIPO . . . . .	21
5.3 METODO DE SUPERVISION Y ANALISIS . . . . .	25
5.4 SELECCION DE EQUIPO . . . . .	27
6. DESARROLLO DEL PROYECTO . . . . .	29
6.1 TRABAJOS PREVIOS . . . . .	29
6.2. DESCRIPCION E INSTALACION DE EQUIPOS . . . . .	30
6.2.1 CONTROLADOR DE BOMBEO POR VARILLA (ROD PUMP CONTROLLER, "RPC") . . . . .	31
6.2.2 SENSOR DE CARGA MONTADO EN LA VIGA (BEAM MOUNTED LOAD SENSOR, "BMLS") . . . . .	36
6.2.3 SENSOR DE POSICION . . . . .	38
6.2.4 SENSOR DE FUGAS EN EL ESTOPERO . . . . .	39
6.2.5 SENSOR DE PRESION . . . . .	40
6.2.6 DETECTOR DE PERDIDA DE FASE . . . . .	41
6.2.7 ESTACION MAESTRA . . . . .	41
6.2.8 SISTEMA DE COMUNICACIONES . . . . .	48
6.3 PROGRAMACION DE RPC (INICIALIZACION) . . . . .	50
6.4. INICIALIZACION ESTACION MAESTRA . . . . .	54
6.5. PRUEBAS Y PUESTA EN SERVICIO . . . . .	55
7. RESULTADOS Y CONCLUSIONES . . . . .	56
8. BIBLIOGRAFIA . . . . .	57
9. APENDICES . . . . .	58

## 1. INTRODUCCION

El presente trabajo fue realizado como respuesta a una importante necesidad de Petróleos Mexicanos (PEMEX) en su sector Exploración y Producción (PEP) por mejorar el rendimiento de su sistema de bombeo mecánico instalado, en su fase inicial, en el Distrito Poza Rica en el estado de Veracruz.

Este trabajo representa todo un proyecto de automatización de procesos, ya que involucra sensores, señales de entrada analógicas y digitales, unidades de procesamiento de información y salidas de control, así como un sistema de comunicaciones. De manera paralela representa un estudio del sistema de bombeo mecánico utilizado en los campos petroleros para la extracción del aceite crudo. La unión de las dos áreas da como resultado un sistema que en su primera fase ha dado muy buenos resultados, pero que requiere una dedicación total para explotar todas las ventajas que ofrece el mismo. Como cualquier sistema las mejoras se harán necesarias con el mayor conocimiento del proceso y los avances tecnológicos.

El material se presenta en siete secciones que conforman el proceso de planeación, instalación y operación, así como los resultados obtenidos del sistema de monitoreo y control.

Primeramente revisaremos los conceptos básicos del proceso de extracción del aceite y gas del subsuelo, para llegar al método de extracción artificial más usado en los campos petrolíferos mexicanos: bombeo con varilla de succión. Posteriormente obtendremos un panorama sobre las unidades superficiales más usadas en los sistemas de bombeo, para detenemos en la descripción de las unidades que se han solicitado por PEP como objetivos de supervisión: Unidades de bombeo mecánico Mark II y Convencional y la unidad aerobalanceada.

Una vez que hemos conocido someramente el entorno objeto del proyecto, proseguiremos con el estudio de la problemática que presentan las unidades de bombeo mecánico durante su operación. Esta información nos da la pauta para planear la estrategia a seguir para la solución de dicha problemática, definiendo de ésta forma el equipo y métodos de supervisión, análisis y control que son los apropiados para establecer el sistema. La selección del equipo a instalar nos permite definir todos los demás accesorios que faltan para la integración completa del sistema de supervisión y control.

Finalizada la etapa de planeación, el sección seis nos describe de manera clara todo el proceso de instalación, haciendo resaltar los cuidados necesarios y las consideraciones especiales que deben tenerse durante su desarrollo para garantizar el correcto funcionamiento del sistema. Incluye las pruebas que se realizaron para que el cliente, PEP, comprobara el cumplimiento de los objetivos del sistema.

Los resultados obtenidos nos permiten hacer algunas reflexiones sobre el sistema en donde el deseo de mejorar nos hace proponer algunas alternativas que promueva el interés para una segunda propuesta de un sistema de supervisión y control de unidades de bombeo mecánico.

## 2. ANTECEDENTES

México no es un desconocido en la escena internacional como importante productor mundial de hidrocarburos. El petróleo mexicano se incorporó al comercio internacional – y, en consecuencia, a la política mundial – durante la primera década de este siglo. Actualmente, a finales de los 90's México se encuentra entre los principales productores de petróleo.

En la economía interna del país el sector petrolero contribuye de manera importante en el Producto Interno Bruto, de allí la importancia de Petróleos Mexicanos (PEMEX) como empresa paraestatal. Siendo México un país con gran reserva de yacimientos es importante la correcta explotación de los mismos. Los trabajos exploratorios efectuados en la República Mexicana desde fines del siglo pasado hasta 1982, permitieron descubrir más de 1,100 yacimientos en 400 campos, en la planicie costera del Golfo de México y en el área de Coahuila, en la sonda de Campeche, frente a las costas de Tabasco, y en Campeche y en Vizcaino, Baja California Sur, como se muestra en la figura 2.1.

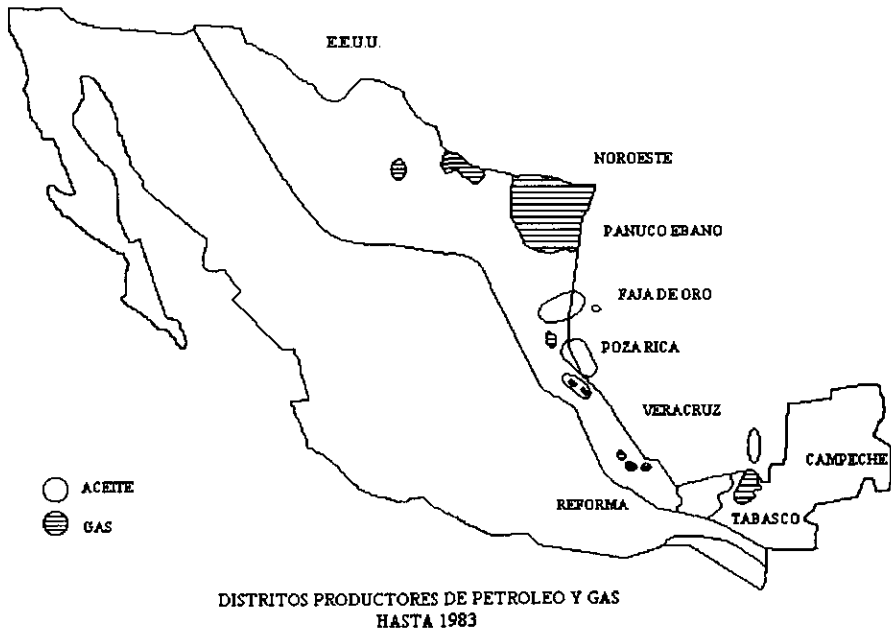


Fig. 2.1 Yacimientos de hidrocarburos en la República Mexicana

La exploración y producción del crudo ha constituido un reto constante para PEMEX, en los últimos tiempos la tecnología ha alcanzado este sector, proveyéndolo de mejores equipos para facilitar o mejorar sus actividades; no obstante, existen varias etapas de los procesos de exploración y producción que no han incluido sistemas automáticos y/o de control para hacer más eficientes las actividades.

En este capítulo revisaremos algunos conceptos sobre el proceso de producción del crudo y enfocaremos nuestro análisis en los sistemas de bombeo mecánico, ya que los procesos y las



problemáticas relacionadas con estas unidades serán nuestros puntos de partida para el planteamiento del proyecto.

## 2.1 EXTRACCION DE CRUDO

Debido a la reducción de presión que ocurre cuando se termina un pozo, el gas que está en solución es liberado en forma de burbujas que eventualmente se unen formando canales continuos que permiten el flujo simultaneo de petróleo y gas en tales pozos. La producción de petróleo de flujo natural resulta por la expansión volumétrica del petróleo. En las primeras etapas de la producción por agotamiento (depleción), la sustitución del petróleo en el yacimiento por gas en expansión está equilibrada, pero a medida que la presión disminuye y se forma una fase gaseosa mayor, se requiere más gas de expansión por unidad volumétrica de petróleo producido como consecuencia del flujo libre de la etapa gaseosa. Debido a la facilidad del gas libre de fluir simultáneamente con el petróleo en el yacimiento, la eficiencia del proceso de recuperación por depleción se reduce considerablemente. En gran parte la eficiencia del proceso de recuperación se controla por las características del yacimiento, como también por las propiedades de los fluidos a las condiciones que prevalecen en el yacimiento. La producción por depleción presupone que no existe intrusión de agua ni expansión de la capa de gas.

Aparte del desplazamiento de petróleo de la roca de acumulación como consecuencia del efecto de expulsión por la expansión interna del gas en solución (empuje por depleción), el petróleo también puede ser recuperado por un desplazamiento similar al ocasionado por un pistón. Este tipo de desplazamiento se debe a la aplicación de fuentes externas de energía, como es el caso en la intrusión de agua (empuje hidrostático) o en la expansión de la capa de gas, o sea, empuje externo de gas, el cual puede operar con contraflujo de petróleo con o sin gas, bajo el efecto de flotabilidad de las fuerzas de gravedad (empuje por segregación). Este método se conoce como recuperación secundaria o mejorada, con lo cual se busca conservar la presión del yacimiento o al menos disminuir la velocidad de abatimiento de la misma. Mediante la implantación de métodos de recuperación secundaria o mejorada, se incrementa el volumen recuperable del petróleo y consecuentemente las reservas probadas en un 40 % o 50 % (a veces más) del petróleo original.

Frecuentemente, el porcentaje de petróleo no recuperable de un yacimiento sobrepasa el 70 % del volumen original. El 30 % (a veces un poco más) se obtiene mediante la llamada explotación primaria como consecuencia de la energía propia del yacimiento (expansión de gas y/o empuje hidráulico).

De igual forma, el porcentaje de gas recuperable de un yacimiento fluctúa entre 30 % y el 90 % (en ocasiones un poco más), y depende de que el gas esté o no asociado al petróleo, así como las presiones originales del yacimiento.

Cuando un pozo de aceite deja de fluir por su propia energía y un método de recuperación secundaria no es suficiente, entonces es requerido un método artificial de producción. Cerca del 85 % de todos los sistemas secundarios o artificiales de producción de aceite están acompañados por el uso de varillas de succión para elevar el fluido.

## 2.2 SISTEMA DE BOMBEO POR VARILLA DE SUCCION

El sistema de bombeo por varilla de succión es el sistema artificial de extracción más usado en el ámbito petrolero. Este sistema provee el medio para transferir energía desde la superficie hacia el fondo del pozo y por tanto transfiere la energía a los fluidos del pozo para elevarlos a la superficie. El aceite es bombeado por medio de un pistón y una válvula viajera que se mueven arriba y abajo dentro de un cilindro pulido con una válvula en el fondo, el cilindro es llamado barril de bomba. El pistón es accionado por medio de una cadena de varillas de succión, las cuales se extienden hasta la superficie.

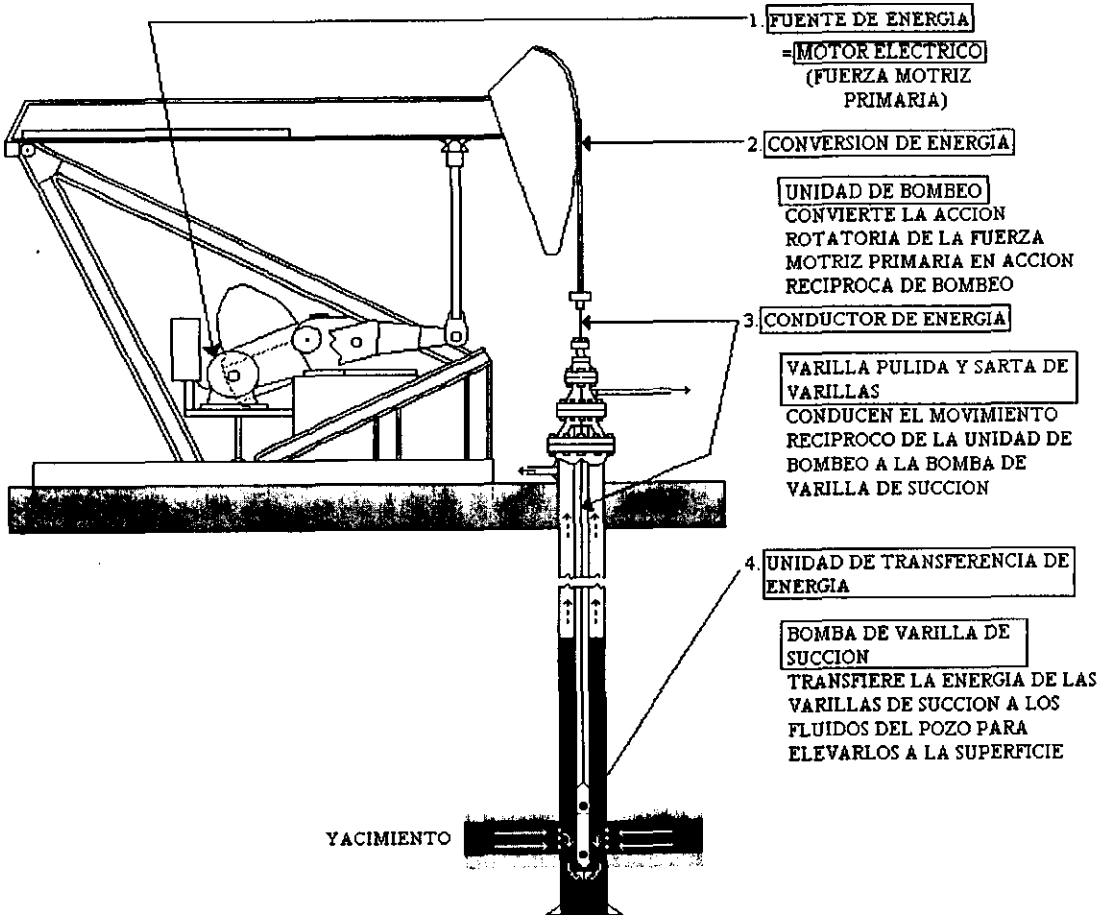


Fig. 2.2 Sistema de bombeo por varilla

La terminación superior de la sarta de varillas está conectada a una varilla pulida, la cual se mueve arriba y abajo por medio de una unidad de bombeo.

Una **unidad de bombeo** es un mecanismo que imparte recíprocamente el movimiento a una varilla pulida. Muchos tipos de unidades de bombeo están disponibles hoy en día. Los componentes de la mayoría de las unidades son básicamente los mismos, el arreglo de las partes difieren. La selección del tipo y tamaño apropiado de la unidad de bombeo para una aplicación en particular es muy importante. La construcción de la mayoría de las unidades de bombeo esta en relación con algún método de balanceo, consistente en un peso ajustable o un sistema de fuerza opuesto al peso de la sarta de varillas y el fluido del pozo. Se le llama carga actual del pozo a la suma del peso de la sarta de varilla más el peso del fluido bombeado y las fuerzas de fricción del sistema en el pozo, esta carga en una unidad de bombeo es usualmente medida y analizada para asegurar que la carga y el torque de la unidad no sean excedidos.

## 2.2.1 TIPOS DE UNIDADES DE BOMBEO

Las unidades de bombeo están generalmente referidas de acuerdo a la localización o método de balanceo. De esta forma tenemos unidades balanceadas por manivela, aerobalanceadas, balanceadas en el balancín e hidráulicas de larga carrera.

La **unidad de bombeo balanceada por manivela** es la más común hoy en día. Esta sirve en muchos campos para diversas demandas de carga. La figura 2.3 muestra una unidad balanceada por biela. La rotación de las manivelas ocasiona que el balancín de la unidad gire en su centro de rotación y realice un movimiento arriba y abajo que es transferido a la varilla pulida por medio de las conexiones mecánicas a la cabeza de caballo de la unidad. Los contrapesos localizados en las manivelas son de fundición y se pueden recorrer sobre las manivelas para ajustar el peso requerido para cada pozo. En la figura 2.4 se ilustra el mecanismo de balanceo.

La **unidad de bombeo aerobalanceada** es muy similar a la balanceada por biela, en donde la rotación de las bielas producen un movimiento en la viga para mover la varilla pulida hacia arriba y hacia abajo, se muestra en la figura 2.5 una unidad de bombeo aerobalanceada. La unidad aerobalanceada es compacta y relativamente ligera. El tanque cilíndrico en el frente de la unidad alberga un pistón y un cilindro de aire. La fuerza ejercida por el aire comprimido en el cilindro es usada para balancear la carga del pozo. Deben hacerse provisiones especiales para evitar fugas de aire excesivas entre el pistón y el cilindro. La figura 2.6 muestra como la fuerza de balanceo del cilindro trabaja para anular la carga del pozo. Un compresor auxiliar de aire es usado para proveer al sistema con la presión alta del nivel de trabajo. La operación del compresor es normalmente controlada por una válvula a fin de mantener la presión del aire en el nivel requerido para un balance perfecto, aún cuando las condiciones del pozo cambien de un día para otro.

La **unidad balanceada en el balancín** es muy similar a la unidad balanceada por biela excepto que el contrapeso esta montado en una extensión del balancín de la unidad como lo muestra la figura 2.7. El uso de este tipo de unidades ha sido limitado en general a tamaños pequeños. Una razón de esto es que si se incrementa la masa del peso montada sobre el balancín, la inercia llega a ser tal que provoca un esfuerzo excesivo al mecanismo.

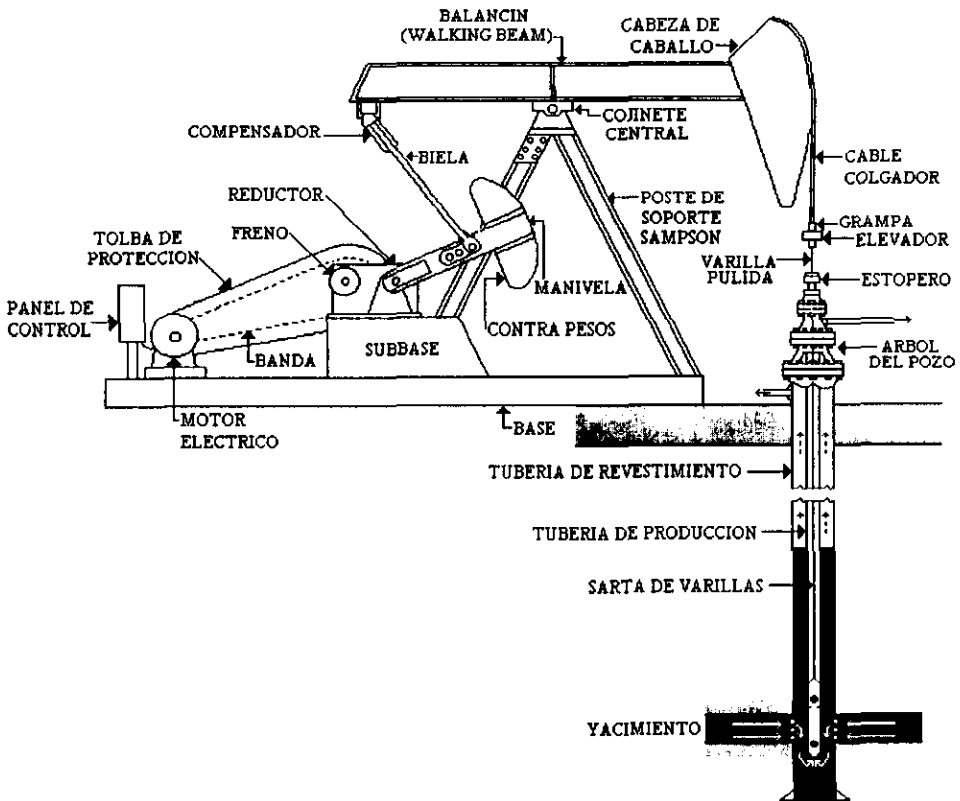


Fig. 2.3 Unidad Balanccada por Manivela

A los tres tipos de unidades de bombeo descritos se les denominan unidades de bombeo mecánico.

La **unidad de bombeo hidráulica de carrera larga** consiste de un pistón, un cilindro y una fuente de alimentación hidráulica. El pistón es conectado a la varilla pulida y movido arriba y a abajo por la acción de la bomba hidráulica. Se le llama longitud de carrera a la distancia que recorre el pistón dentro del cilindro de la unidad, en la unidad hidráulica esta longitud está dentro del rango de 20 a 40 pies y la capacidad de la varilla pulida es de 35,000 libras. El largo cilindro localizado al frente de la unidad alberga al pistón y está posicionado directamente sobre el pozo. Los tanques siguientes al cilindro son los tanques de balanceo y están interconectados en la parte superior. Uno de los tanques está lleno de aire bajo presión y el otro tanque contiene aceite hidráulico y aire. Un compresor de aire es usado para suministrar la presión necesaria. La presión del aire en el aceite hidráulico proporciona la fuerza necesaria para balancear la carga del pozo. La bomba y el elemento primario de movimiento están localizados en la parte posterior de la unidad. La bomba suministra el volumen necesario de aceite bajo presión para elevar la varilla pulida. El mecanismo está constituido directamente dentro de la bomba. Un sistema de engranes rota el cuerpo de la bomba en su alojamiento. El alojamiento tiene un puerto de entrada y uno de salida. Cuando la bomba descarga a través del puerto de salida, el fluido es bombeado al cilindro y la varilla pulida se eleva. Cuando la bomba descarga a través del puerto de entrada, el fluido es bombeado del cilindro y la varilla pulida baja. En la carrera descendente el fluido

del cilindro es bombeado dentro del tanque de balanceo. El aire en el tanque está comprimido y sirve como una fuente de energía para asistir a la bomba para el próximo movimiento ascendente.

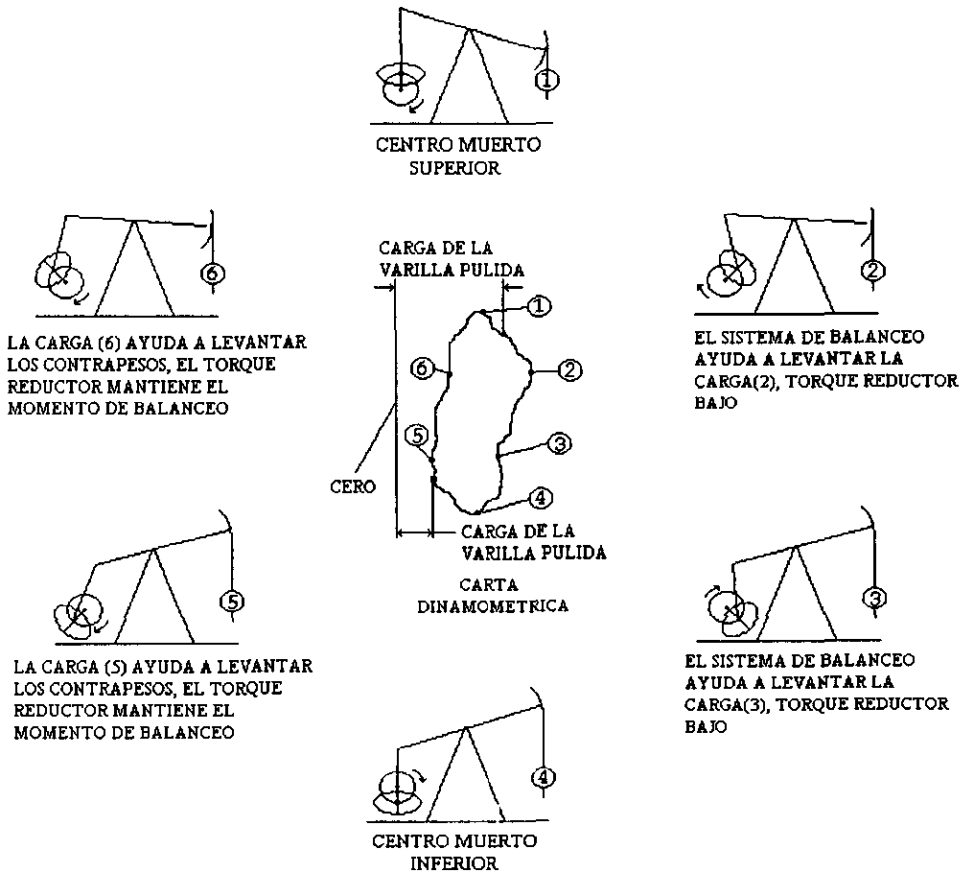


Fig. 2.4 Ciclo de bombeo, balanceo por contrapesos

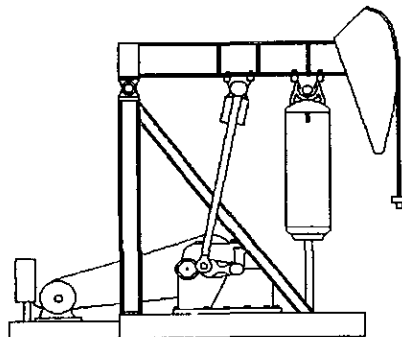


Fig. 2.5 Unidad de bombeo aerobalanceada

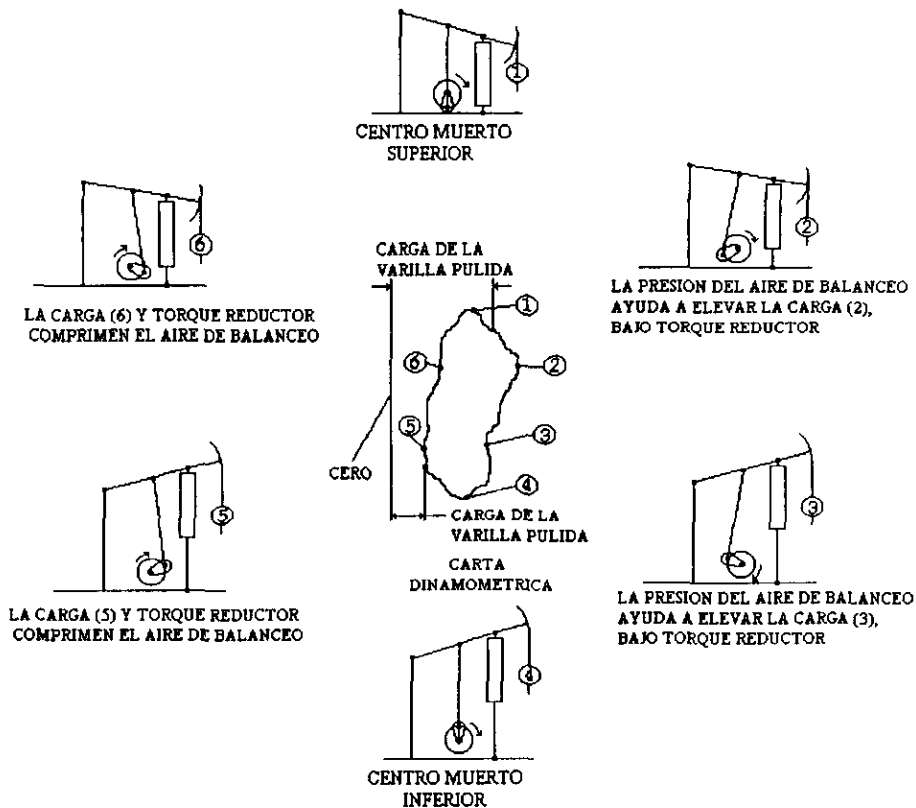


Fig. 2.6 Ciclo de bombeo, balanceo por aire

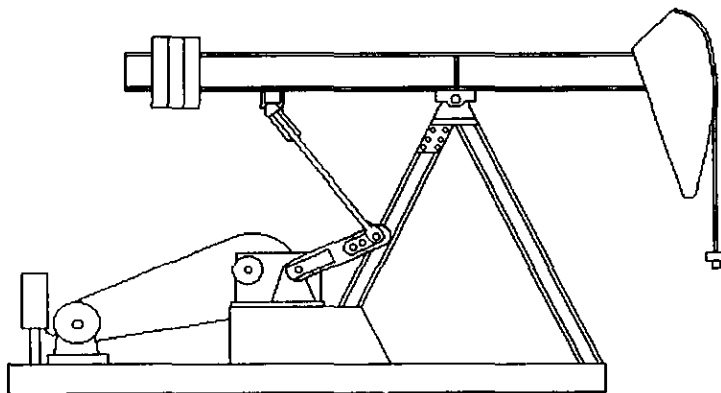


Fig. 2.7 Unidad de bombeo balanceada en la viga

Para nuestro proyecto consideraremos exclusivamente las unidades de bombeo mecánico, que son las más comunes usadas por PEMEX, del tipo de balanceo en biela, ya sean Convencionales o Mark II, y las Aerobalanceadas.

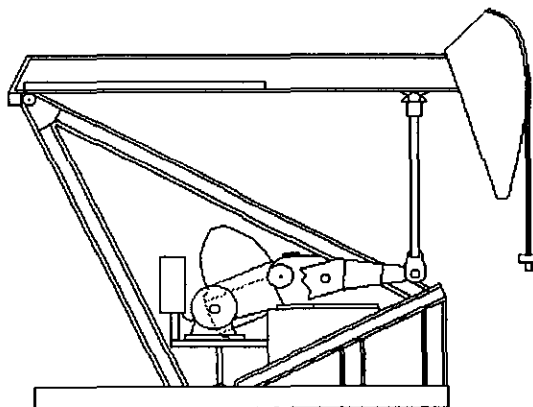


Fig. 2.8 Unidad de bombeo Mark II

## 2.2.2 FUERZA MOTRIZ PRIMARIA

La fuerza motriz primaria es la fuente de energía del sistema de bombeo por varilla y es en ella donde inicia todo el proceso de bombeo.

Un motor de combustión interna o eléctrico es normalmente la fuerza motriz primaria para las unidades de bombeo. Los motores de combustión interna para el bombeo de pozos de aceite están clasificadas en dos tipos:

1. - Motores de baja velocidad
2. - Motores de alta velocidad

Los motores de baja velocidad son aquellos de uno o más cilindros que tienen una velocidad máxima de 750 r.p.m. o menos. Los motores de alta velocidad son aquellos con uno o más cilindros (usualmente multicilíndricos) que tienen una velocidad mayor a 750 r.p.m.

Los elementos de fuerza motriz primaria pueden ser clasificados dentro de 6 tipos:

1. - Motores de gas de baja velocidad sencillo o doble cilindro de doble ciclo
2. - Motores de gas de baja velocidad un cilindro de cuatro ciclos
3. - Motores de gas de alta velocidad múltiple cilindro cuatro ciclos
4. - Motores de baja velocidad de aceite quemado o diesel
5. - Motores diesel de alta velocidad
6. - Motores eléctricos

Para nuestro proyecto en particular solo consideraremos al motor eléctrico como fuerza motriz primaria para las unidades de bombeo.

Hoy en día PEMEX tiene prácticamente electrificados todos sus pozos con líneas trifásicas, por lo cual se tienen instalados más motores de inducción de jaula de ardilla que cualquier otro tipo. Estos

motores son preferidos por su construcción más sencilla, no tiene colector, ni anillos rozantes ni contactos móviles entre el rotor y el estator. Esta construcción determina muchas ventajas entre las que pueden citarse el funcionamiento sin necesidad de mantenimiento, aplicación en lugares inaccesibles, funcionamiento en ambientes adversos en los que el polvo y otros materiales abrasivos constituyen un factor a considerar, además de su adaptación a los requerimientos de carga de los pozos, costo inicial bajo, disponibilidad de entrega y sus largos registros de seguridad de funcionamiento de servicio en los campos petroleros.

Los motores de inducción para campos petroleros operan usualmente con 440 Volts, tres fases y 60 ciclos proveniente del secundario de los transformadores de distribución para los pozos localizados en las cercanías de cada uno de ellos, y cuyos primarios están alimentados por las líneas de transmisión de alto voltaje (usualmente en el rango de 9 a 15 kV) de energía comercial.

Existen muchas clasificaciones y estándares para los motores de inducción jaula de ardilla de acuerdo con los estándares de la Asociación Americana de Estándares (ASA) y la Asociación Nacional de Fabricantes Eléctricos (NEMA). En general, los motores son clasificados por sus características de diseño, estándares de voltaje, tipos de gabinete, aislamiento y aumento de temperatura.

Un motor de inducción tendrá un promedio de factor de potencia y eficiencia menor que los valores a plena carga especificados en la placa de datos del motor, aún cuando esté operando a temperatura normal. Esto es cierto ya que el motor esta mecánicamente bajo de carga durante la mayor porción del ciclo de bombeo, a pesar del hecho de que el promedio de la corriente r.m.s. de la línea puede ser igual a la corriente estimada a plena carga.

En general los motores de inducción tiene curvas de eficiencia planas desde el 50 % hasta 125% de la carga. Ahora bien, los motores diseñados con deslizamiento más alto a plena carga tendrán ligeramente menor eficiencia bajo estas condiciones. El promedio de la eficiencia a carga cíclica de un motor en una unidad mecánica es difícil de medir y puede determinarse mejor por medio de las curvas características de operación del motor

Como se puede ver el motor es solamente un eslabón en la cadena de la eficiencia total del sistema de superficie, ya que también hay que considerar las pérdidas en las bandas de transmisión, engranes del reductor, chumaceras, etc. Por lo tanto, la mejor manera de determinar la eficiencia de un motor para bombeo de aceite es el cambio en la eficiencia total del sistema con la misma carga en caballos de potencia de la varilla pulida. Esto se puede determinar con una unidad de medición base en kilowatt por hora por barril, midiendo la potencia consumida por el motor en kilowatts durante un periodo de tiempo y cuantificando exactamente la producción total de barriles para el mismo periodo de tiempo.

Es importante que el motor seleccionado tenga una potencia (caballos de fuerza) nominal semejante a los requerimientos de carga de la unidad de bombeo. Obviamente un motor muy pequeño para la carga se sobrecalentará y posiblemente se quemará, de igual forma un motor muy grande para la carga no solo representa una mayor e innecesario costo inicial sino que operará con muy baja eficiencia y un indeseable factor de potencia.

Al usar un motor eléctrico como fuerza motriz inicial para un equipo de bombeo de aceite es necesario el uso de un tablero de control que provea tanto control de operación y protección al motor, así como al equipo asociado. Siendo ésta una instalación a la intemperie, es necesario que los componentes de control sean instalados en una caja metálica a prueba de agua, NEMA 4X. Normalmente un tablero de control incluye los siguientes componentes:



1. - Para control:

- Conmutador de tiempo programable
- Conmutador selector Manual – Fuera - Automático (H-O-A)
- Conmutador interruptor de línea
- Contactador de tres líneas

2. - Para protección:

- Relevador térmico de sobrecarga de tres elementos
- Apartarrayos
- Temporizador de secuencia de reinicio
- Relevador de bajo voltaje
- Fusibles de línea

Las funciones de estos componentes son las siguientes:

- **Conmutador de tiempo programable**

Este dispositivo es esencialmente un reloj eléctrico y es usado para una operación automática de los pozos petroleros, para arrancar o detener el motor en una base de ciclo de tiempo preestablecido. El selector de tiempo es considerado un equipo estándar para el control tipo de un pozo, excepto donde una operación de 24 horas es deseada.

- **Conmutador selector H-O-A**

Este selector permite elegir el modo de operación de la unidad de bombeo para una operación manual, un control automático con el conmutador de tiempo programable o el paro del motor dependiendo de la posición de la perilla del selector.

- **Conmutador interruptor de línea**

El conmutador interruptor de línea es un conmutador interruptor de fusión que controla la energía que alimenta al motor y al mismo tiempo brinda protección al usar fusibles de corriente limitada. Un sustituto para este conmutador puede ser el circuito interruptor, el cual usualmente tiene tres elementos de disparo térmicos.

- **Contactador de tres líneas**

El contactador de línea es un circuito de potencia de apertura y cierre que arranca o para el motor de acuerdo con la señal del circuito de control en la bobina del contactador.

- **Relevador térmico de sobrecarga de tres elementos**

Este dispositivo protege al motor en todas las condiciones de sobrecorriente sostenida provocada por condiciones de bajo voltaje de línea, desbalance en las fases de voltaje, pérdida de fase, o sobrecarga en el propio motor. Este es usualmente una lámina de tipo bimetálico. Este relevador de sobrecarga es disparado por la deformación de la lámina bimetálica causada por el calor, lo cual manda a paro el motor.

**- Apartarrayos**

Las descargas eléctricas atmosféricas son una de las principales causas de falla de un motor, debido a la sobretensión enviada a través de las líneas de energía eléctrica cuando se produce el fenómeno. Este dispositivo debe estar conectado a terminales de línea justo antes del interruptor de línea. Adicionalmente es indispensable una tierra física apropiada para este elemento, normalmente se usa una conexión a la tubería de revestimiento del pozo.

**- Temporizador de secuencia de nuevo arranque**

Cuando muchos pozos están conectados a un solo transformador o ramal de distribución, es deseable una secuencia de reinicio de operación de los motores después de una falla de energía, si los pozos están operando en modo automático. La secuencia de reinicio es con la finalidad de evitar que todos los motores entren al mismo tiempo produciendo una carga muy grande para el sistema de alimentación que puede activar las protecciones de sobrecarga del sistema de distribución. De tal forma que si los motores arrancan con un retardo de unos segundos el sistema de alimentación no lo resentirá. Esta función puede ser realizada con un dispositivo de reinicio de secuencia definido o "Timer".

**- Relevador por bajo voltaje**

Este es un dispositivo de protección que detiene la operación del motor si el voltaje de alimentación desciende de una cantidad predeterminada.

**- Fusibles de línea**

Los fusibles de línea se queman bajo condiciones de sobrecarga para proteger el resto del sistema. Los circuitos interruptores de aire realizan la misma función al dispararse cuando alcanzan una determinada temperatura. Estos dispositivos se colocan en la toma de energía para el circuito de control, antes que otro componente para proteger el resto del equipo.

**2.3 SISTEMA DE BOMBEO MECANICO**

Básicamente un sistema de bombeo esta compuesto de los siguientes elementos:

- Unidad de Bombeo Mecánico
- Tubería de producción
- Tubería de revestimiento
- Barril de bomba
- Pistón de bomba
- Válvula viajera
- Válvula estacionaria

**2.3.1 ACCION DE BOMBEO POR VARILLA DE SUCCION**

Una vez que la unidad de bombeo levanta la sarta de varillas, el pistón de la bomba es elevado en el barril de la bomba. El fluido del pozo a través de la válvula viajera mantiene la válvula cerrada, y cuando la presión en el interior del barril de la bomba es más baja que la presión en la toma de la bomba (Pump Intake Pressure, PIP), la válvula estacionaria se abre y el fluido del pozo llena el barril de la bomba. Ver figura 2.9 para detalles en la acción de bombeo.

Cuando la unidad de bombeo alcanza el punto más alto de su movimiento (Top Of Stroke, TOS) y llega a un alto antes de comenzar su movimiento descendente, el pistón de la bomba alcanza el punto más alto de su carrera y se detiene. Como la unidad de bombeo comienza su movimiento descendente, la sarta de varillas se mueve hacia abajo y con ella el pistón de la bomba, hasta el punto más bajo del movimiento (Bottom Of Stroke, BOS) como se muestra en la figura 2.10.

Si el barril de la bomba esta completamente lleno en el movimiento ascendente, el pistón hará contacto con el fluido inmediatamente en la carrera descendente. Si el pistón esta justo iniciando su movimiento descendente este se moverá muy despacio cuando contacte el fluido.

La presión en el barril de la bomba entre la válvula estacionaria y la válvula viajera se incrementa conforme el pistón continúa bajando, hasta que la presión en el barril es más grande que la presión debajo de la válvula viajera y está se abre. El fluido del pozo en el barril de la bomba fluye a través de la válvula viajera y sube al espacio anular entre el diámetro exterior de la varilla de bombeo y el diámetro interior de la tubería de producción. Conforme la acción de bombeo continúa, el pistón alcanzará el fondo de su carrera, se detiene momentáneamente, y entonces comienza el movimiento hacia arriba tal como la unidad de bombeo eleva la sarta de varillas. En el movimiento ascendente del pistón, la válvula estacionaria se abrirá otra vez y el fluido del pozo llenará el barril de la bomba.

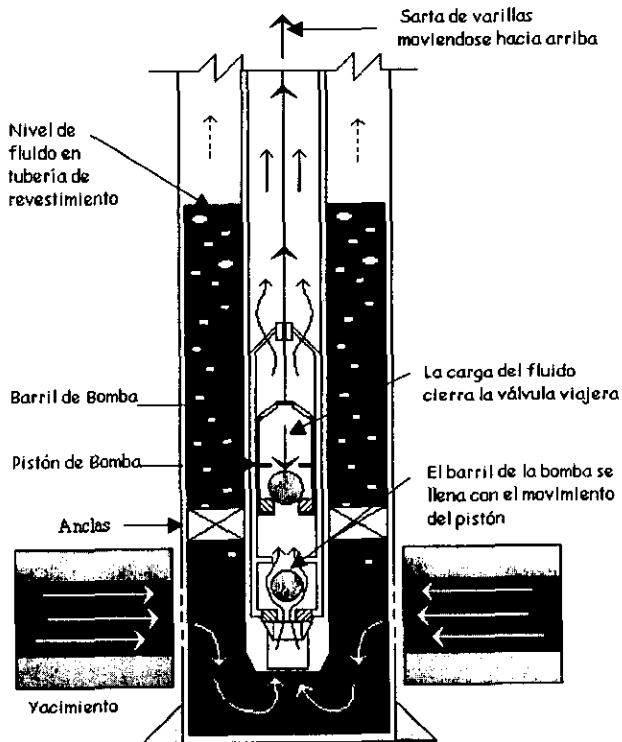


Fig. 2.9 Bombeo por varilla de succión Carrera de toma (ascendente)

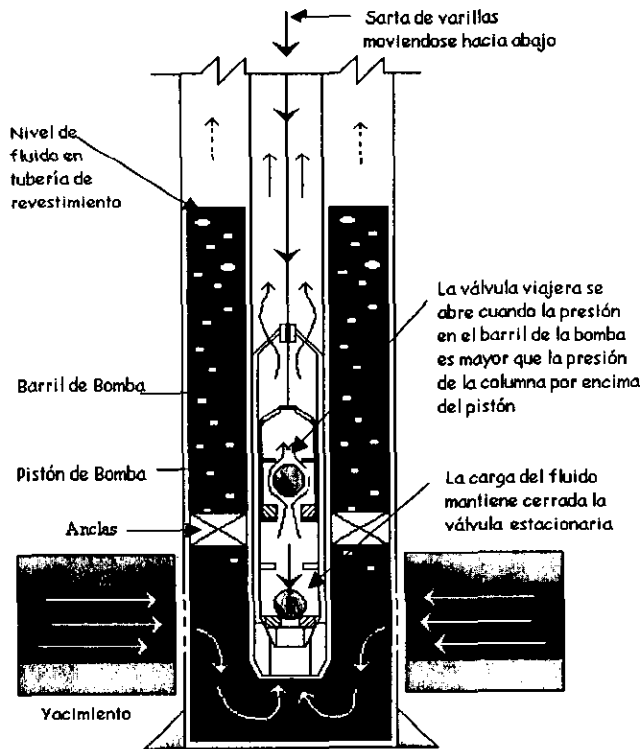


Fig. 2.10 Bombeo por varilla de succión Carrera de descarga (descendente)

## 2.4 ANALISIS DE CARGA, BALANCEO Y FACTOR DE TORQUE

La carga de operación actual en una unidad de bombeo puede diferir de las cargas anticipadas y usadas para la selección del tamaño de la unidad. Cuando las condiciones indican que existe una sobrecarga puede ser necesario un análisis de la carga en la unidad.

Un dinamómetro es un instrumento usado para medir y almacenar la actual carga del pozo en todos los puntos del ciclo de bombeo. El análisis de una carta dinamométrica nos puede revelar el desbalance, el pico máximo de torque en el reductor y la carga máxima de la varilla pulida. Otra información que se puede obtener de una carta dinamométrica incluye las condiciones en el fondo del pozo o directamente en la bomba.

Las unidades Mark II y Convencional están balanceadas por medio de unos pesos ajustables montados en las manivelas. El balanceo ideal es igual al peso de la sarta de varillas más la mitad del peso del fluido soportado por la bomba en el fondo. Cuando esta condición existe, el torque requerido en la subida (o en la bajada) necesita ser mayor que la fuerza de inercia debido a la aceleración y desaceleración de las varillas y el fluido.

Muchos métodos están disponibles para determinar el correcto balanceo de una unidad. El sonido del motor en el movimiento ascendente y descendente es un muy buen indicador de desbalance. En las

unidades con motores eléctricos se puede emplear un ampermetro para medir y comparar la corriente que demanda en la carrera ascendente y descendente.

Un balanceo inapropiado no solo incrementa la potencia que debe suministrar el motor sino incrementa la carga en los dientes de los engranes del reductor. Para lograr una eficiente operación de la unidad es necesario contar con un correcto balanceo.

De igual forma el desbalance en una unidad de bombeo es el factor que más afecta la carga del torque. La caja de engranes o reductor proporciona el torque que la unidad de bombeo necesita para bombear el fluido. El torque neto del reductor depende de la carga de la varilla y el momento de balanceo. Esta interacción se lleva a cabo debido a que la carga de la varilla pulida actuando sobre la estructura de la unidad de bombeo aplica una fuerza al poste de soporte. Esta fuerza genera un torque  $T_p$  en la flecha del reductor. El peso de la manivela y los contrapesos producen un torque  $T_w$  sobre la flecha del reductor en la dirección opuesta de  $T_p$ . Por lo tanto el torque neto del reductor es la suma de esto dos torques:

$$T_{net} = T_p - T_w \quad (1.1)$$

Donde  $T_p$  = Torque causado por la carga en la varilla pulida  
 $T_w$  = Torque del contrapeso

Si se conocen  $T_p$  y  $T_w$  para diferentes posiciones de la manivela, entonces se puede calcular el torque neto del reductor con la ecuación 1.1. Para calcular  $T_p$  se debe convertir la carga de la varilla pulida al torque del reductor. Esto se puede hacer usando los factores de torque. Un factor de torque es un número que cuando se multiplica por la carga de la varilla pulida nos da el torque en el reductor. Se puede pensar en el factor de torque como un brazo de palanca ficticio en el reductor, en el cual se aplica la carga de la varilla pulida.

El factor de torque de una unidad de bombeo se vuelve más importante conforme métodos más eficientes o producción de petróleo es demandada. El factor de torque esta derivado de la geometría de la unidad y depende de la longitud del balancín (walking beam), la relación de los centros de trabajo, longitud de la carrera, el peso de los postes de soporte, y las posiciones relativas del cojinete central, la viga compensadora y la cabeza de caballo. Esto es dado como un valor numérico para cada incremento de 15 ° de la rotación de la manivela durante el ciclo de bombeo. El factor de torque multiplicado por la carga del pozo es igual al torque bruto. Este es usado frecuentemente para el análisis de las cartas dinamométricas.

Toda organización productora de petróleo desea obtener una cantidad optima de carga y utilidad de sus equipos de bombeo. La carga variable de la varilla pulida al ser elevada por la unidad de bombeo no puede ser adecuadamente observada o escuchada y los cálculos preliminares hechos están equivocados debido al desconocimiento de las condiciones del subsuelo. Un dinamómetro es un instrumento usado para medir la variación de la carga de la varilla pulida y relaciona esta carga con su localización en la carrera. El resultado de una carta dinamométrica puede ayudar en gran medida con el análisis de las condiciones del subsuelo; de cualquier forma, la carta con una cantidad nominal de cálculos puede dar información pertinente sobre la superficie tales como el pico de carga de la varilla pulida, carga mínima de la varilla pulida, torques picos y torque inverso. Una unidad sobrecargada desde el punto de reposo del torque tendrá una gran reducción en el tiempo de vida útil del reductor y potencialmente problemas con los dientes de los engranes. El dinamómetro provee la información

básica sobre la carga, la cual puede ser usada para establecer el tamaño de la unidad de bombeo en pozos similares.

Un tipo de dinamómetro, de uso común, tiene dos anillos de carga cuidadosamente calibrados que son insertado en cualquier lado de la varilla pulida entre el elevador y la grampa y soporta la carga entera de la varilla pulida. La deflexión de estos anillos, la cual es proporcional a la carga que soportan, es amplificada y registrada por un estilete (punzón, aguja) de metal sobre una carta dinamométrica de cera mostrando la variación de la carga de la varilla pulida. Simultáneamente con el registro de la carga de la varilla, la carta es rotada o movida por medio de un rotor el cual relaciona la posición vertical de la carta con la posición en la carrera actual de la unidad a través del sistema de engranes del dinamómetro.

Otro tipo de dinamómetro utiliza dos abrazaderas que están sujetas firmemente a la varilla pulida en una distancia aparte especificada. Cuando la carga de la varilla pulida es inducida, la distancia entre las dos abrazaderas en la varilla variará dependiendo del módulo de elasticidad y el esfuerzo resultante, o elongación, en la varilla. Este diminuto esfuerzo es amplificado y registrado por el estilete sobre la carta dinamométrica de cera de manera similar como se mencionó anteriormente.

La medición de la carga de la varilla pulida con un dinamómetro es la suma de todas las fuerzas actuando en la varilla pulida en cualquier instante durante una embolada, ya sea de la superficie o del subsuelo.

A pesar de la dificultad en separar estas fuerzas, las cuales hacen la interpretación actual de la forma de una carta dinamométrica un verdadero problema, el dinamómetro es una excelente herramienta para el estudio del comportamiento de un pozo.

Es impráctico tratar de catalogar las cartas dinamométricas por su forma, debido al hecho de que cualquier condición puede ser enmascarada por el efecto combinado de todos los otros factores que contribuyen en la forma de la carta. Estos factores son:

1. - Peso de las varillas y fluido
2. - Factores de aceleración- carrera ascendente y descendente
3. - Fuerzas de fricción -- en varillas, tuberías y fluido
4. - Armónicos de acción vibratorio de la sarta de varillas
5. - Geometría de la unidad -- incluyendo balanceo
6. - Impulsos de la fuerza motriz primaria
7. - Condiciones del pozo -- tales como golpe de fluido, candado de gas, bomba sucia, semiflujo, bomba desanclada, etc.

El uso sensato de un dinamómetro en el establecimiento de la carga de un equipo de bombeo puede ayudar para determinar si ha sido instalado el tamaño adecuado de unidad de bombeo, lo cual reducirá problemas de mantenimiento.

### 3. DEFINICION DE LA PROBLEMÁTICA

Como se vio en el capítulo anterior el sistema de bombeo por varilla es el sistema artificial de extracción más usado en el ámbito petrolero en aquellos pozos que requieren estimulación para obtener el flujo de aceite. La Unidad de Bombeo Mecánico (U.B.M.) es el equipo superficial del sistema de bombeo. La forma de operación tradicional se basa principalmente en la habilidad y experiencia de los

ingenieros y personal de campo de Pemex Exploración y Producción (PEP). El número de pozos existentes en un distrito dado es repartido entre las cuadrillas de operadores de campo disponibles. La cantidad de pozos varía para cada cuadrilla dependiendo de la distribución geográfica, batería que le corresponde y otras características del pozo.

Por lo general se dice que un pozo está en buenas condiciones cuando puede estar operando las 24 horas del día, sin embargo, como ya se vio en capítulos anteriores, existen varios factores que afectan la correcta operación de un U.B.M. y reducen el tiempo efectivo de operación. Aun cuando PEP planea y genera los programas de mantenimiento de las U.B.M., es responsabilidad de los operadores de campo obtener la información necesaria que indique las condiciones en las que operan sus unidades. Sobre la base de esto es menester que los operadores realicen varias inspecciones a sus unidades durante su turno, para detectar los problemas existentes o intuir algún problema potencial; y cuando es necesario, obtener cartas dinámométricas de manera manual para los pozos donde se requiera verificar algún posible problema.

Enseguida revisaremos los principales problemas que surgen durante la operación manual o tradicional de las U.B.M.

### 3.1. PROBLEMAS DE OPERACIÓN DE LAS U.B.M. EN FORMA TRADICIONAL

Como se vio en la sección 2.4 la carga del pozo es una variable de mucha importancia en el funcionamiento de una U.B.M. Con el análisis de la carga se pueden determinar o prevenir varios de los problemas de un pozo. En la forma de operación tradicional es sumamente difícil detectar los problemas de carga de un pozo hasta que se provoca una falla mayor. El mejor ejemplo es el desprendimiento en algún tramo de la sarta de varillas, como consecuencia de una sobrecarga por un "atorón" durante el movimiento que afecta directamente las partes más débiles de la sarta de varillas. En forma manual no se puede determinar fácilmente un desprendimiento de varilla si éste ocurrió cerca del fondo del pozo.

Regularmente la tubería de producción (TP) de un pozo está sujeta en el fondo por unas anclas mecánicas que impiden el movimiento de la TP con la carrera de la U.B.M., en el caso de una bomba desanclada la TP se moverá en conjunto con la sarta de varillas tanto en la carrera ascendente como la descendente, reduciendo de esta forma la carrera efectiva del pistón de la bomba y por consecuencia la producción. Es probable determinar el problema cuando el operador tiene la suficiente experiencia para detectarlo con el sonido que produce el pozo y con el movimiento de la unidad de bombeo. Sin embargo no se podrá intervenir el pozo hasta efectuar pruebas que confirmen la suposición.

Por varias razones es posible que el barril de la bomba no se llene completamente durante la carrera ascendente de la U.B.M.. Cuando esto ocurre se dice que la bomba está "parcialmente llena". Los resultados de esta condición de operación se reflejan en que el pistón no está en contacto con el fluido cuando la carrera descendente comienza y hace contacto con el fluido en una parte más baja del movimiento descendente. Al producirse el contacto con el fluido, el pistón se mueve a mucho mayor velocidad y el impacto del pistón sobre el fluido es muy significativo. A este fenómeno se le conoce como "golpe de fluido" y puede ser muy perjudicial para el sistema de bombeo.

Los problemas de sobrecarga, desprendimiento de varilla, candados de gas o golpe de fluido tienen en común que el pozo deja de fluir o producir mientras estén presentes estas condiciones, lo cual implica un desperdicio de energía eléctrica al estar operando el motor innecesariamente, así mismo se producen desgastes en las piezas de la U.B.M que se podrían evitar.

Por otro lado, si la U.B.M. de un pozo que está produciendo adecuadamente presenta una falla en el tablero de control del motor, que ocasionara el paro de la unidad, sería una producción perdida al suspender el bombeo de crudo por una falla ajena al pozo. Tal es el caso del problema de pérdida de fase de las líneas de energía que alimentan al motor de la U.B.M. Cuando se presenta esta condición el motor puede continuar operando aún con todas las protecciones del tablero de control e inclusive se puede llegar a quemar. El cambio de motor en una U.B.M. es una maniobra que puede durar hasta varias horas dependiendo de la ubicación del pozo y disponibilidad de equipo de repuesto, personal y equipo de maniobras (hiab).

Otra falla que no se puede detectar fácilmente es la fuga en alguna (o en ambas) de las válvulas de la bomba, situación que reduce significativamente la producción del pozo. En estos casos también es necesario obtener la carta dinamométrica del pozo.

De igual forma una unidad desbalanceada reduce la eficiencia del sistema y produce un estrés adicional al funcionamiento del sistema mecánico de la U.B.M. El desbalance se puede percibir con el sonido que produce el motor en la carrera ascendente y en la descendente, así como con la velocidad de la manivela en estas fases de cada embolada. Con un poco de mayor precisión se puede detectar el desbalance con un ampermetro para medir la corriente en la alimentación del motor durante las dos etapas de la embolada.

### **3.2. IMPACTO AMBIENTAL Y SOCIAL.**

Si bien, durante la operación de un pozo se presentan problemas que disminuyen la producción, no menos importantes son los problemas que afectan al medio ambiente y a las comunidades aledañas durante el proceso de producción.

Como se vio en la sección 2.2, en la parte superficial de la tubería de producción se encuentra el estopero con los empaques que impiden que el fluido extraído salga de lo que es la tubería y se ponga en contacto con el medio ambiente. Estos empaques están en contacto con la varilla pulida y por lo tanto su desgaste depende de las condiciones de operación de la U.B.M. Cuando un pozo tiene problemas para fluir por sí mismo al inicio o durante la operación, la varilla pulida queda sin lubricación y en movimiento. Esta condición provoca un calentamiento en la varilla pulida al estar en contacto con los empaques que ejercen una presión sobre ella. Este calor por fricción desgasta los empaques haciendo que pierdan presión sobre la varilla al perder material. Si esta condición se mantiene por un tiempo considerable sin que se haga algo para mejorarla o eliminarla (trabajar el pozo) se producirá una fuga en la parte superior del estopero cuando el pozo comience a fluir y al continuar la unidad en operación, el mismo movimiento de la varilla ocasionará una dispersión de aceite en un radio alrededor del pozo.

Otro tipo de fugas se presenta cuando por alguna razón la tubería que conduce el fluido hasta los tanques de almacenamiento se encuentra obstruida y en consecuencia la presión en la misma va incrementándose en medida que el pozo sigue bombeando. Si no se detecta el problema y se libera la presión acumulada se puede llegar a fracturarse la tubería y comenzaría a salir el fluido con alta presión, la mayor preocupación es que la línea de esta tubería en ocasiones, pasa de manera subterránea muy cerca de casas habitación, aumentando el riesgo de otro percance.



El tiempo que transcurre entre la presencia de una fuga y su detección y control puede variar según el momento del percance, pero en ocasiones puede tomar varios minutos; tiempo suficiente para que el daño ocasionado al medio ambiente y a la comunidad sea de consideración.

El número de fugas mensuales varía según las condiciones de los pozos y los empaques, pero con una sola fuga es suficiente para prestar atención en la prevención de este problema.

Una vez controlada una fuga es necesario revisar los empaques para ajustarlos o cambiarlos, limpiar el árbol del pozo y toda la maquinaria que haya sido afectada, así como limpiar perfectamente el aceite que se encuentre sobre el terreno. Todas estas actividades significan un costo en mano de obra, materiales y producción diferida al estar la U.B.M sin producir.

El impacto social que trae como consecuencia una fuga se refleja en la inconformidad de la población que ve afectada su propiedad o el entorno donde vive ya que cada vez que ocurre una fuga de aceite no solo se ensucia el terreno circundante del pozo, sino puede ensuciar depósitos de agua, alimentos, casas, animales, vehículos e inclusive personas. Estas molestias producen en la gente que las han sufrido cierto rechazo a las cuestiones relacionadas con PEMEX (instalaciones, personal, maniobras, equipos, etc.).

### 3.3 RESUMEN

De las secciones anteriores podemos resumir los principales problemas durante la operación de una U.B.M. que disminuyen la eficiencia del sistema de bombeo mecánico. Es verdad que existen muchos más problemas que se presenta cotidianamente, pero se puede considerar, con base en la experiencia, que si se llega a tener el control sobre los factores aquí analizados el incremento de la eficiencia será importante. Los demás problemas pueden ser causados por efecto del tiempo de vida de los componentes, malas instalaciones o condiciones fortuitas. En resumen podemos señalar:

1. - Sobretensión de varillas
2. - Desprendimiento de varillas
3. - Bomba desanclada
4. - Candados de gas
5. - Golpe de fluido
6. - Pozo no fluyente
7. - Fallas eléctricas (Se considerara la pérdida de fase como la más importante)
8. - Fuga en válvulas de la bomba
9. - Desbalance de U.B.M.
10. - Fugas en estopero
11. - Fugas en la línea de conducción de aceite

### 4.OBJETIVO

Es el objetivo de este trabajo el establecer un sistema de supervisión y control que permita aumentar la eficiencia de los sistemas artificiales de extracción de aceite y gas, específicamente aquellos que utilizan las unidades de bombeo mecánico, así como detectar rápidamente alguna falla y reducir los daños ecológicos.

El tiempo que transcurre entre la presencia de una fuga y su detección y control puede variar según el momento del percance, pero en ocasiones puede tomar varios minutos; tiempo suficiente para que el daño ocasionado al medio ambiente y a la comunidad sea de consideración.

El número de fugas mensuales varía según las condiciones de los pozos y los empaques, pero con una sola fuga es suficiente para prestar atención en la prevención de este problema.

Una vez controlada una fuga es necesario revisar los empaques para ajustarlos o cambiarlos, limpiar el árbol del pozo y toda la maquinaria que haya sido afectada, así como limpiar perfectamente el aceite que se encuentre sobre el terreno. Todas estas actividades significan un costo en mano de obra, materiales y producción diferida al estar la U.B.M sin producir.

El impacto social que trae como consecuencia una fuga se refleja en la inconformidad de la población que ve afectada su propiedad o el entorno donde vive ya que cada vez que ocurre una fuga de aceite no solo se ensucia el terreno circundante del pozo, sino puede ensuciar depósitos de agua, alimentos, casas, animales, vehículos e inclusive personas. Estas molestias producen en la gente que las han sufrido cierto rechazo a las cuestiones relacionadas con PEMEX (instalaciones, personal, maniobras, equipos, etc.).

### 3.3 RESUMEN

De las secciones anteriores podemos resumir los principales problemas durante la operación de una U.B.M. que disminuyen la eficiencia del sistema de bombeo mecánico. Es verdad que existen muchos más problemas que se presenta cotidianamente, pero se puede considerar, con base en la experiencia, que si se llega a tener el control sobre los factores aquí analizados el incremento de la eficiencia será importante. Los demás problemas pueden ser causados por efecto del tiempo de vida de los componentes, malas instalaciones o condiciones fortuitas. En resumen podemos señalar:

1. - Sobretensión de varillas
2. - Desprendimiento de varillas
3. - Bomba desanclada
4. - Candados de gas
5. - Golpe de fluido
6. - Pozo no fluyente
7. - Fallas eléctricas (Se considerara la pérdida de fase como la más importante)
8. - Fuga en válvulas de la bomba
9. - Desbalance de U.B.M.
10. - Fugas en estopero
11. - Fugas en la línea de conducción de aceite

### 4.OBJETIVO

Es el objetivo de este trabajo el establecer un sistema de supervisión y control que permita aumentar la eficiencia de los sistemas artificiales de extracción de aceite y gas, específicamente aquellos que utilizan las unidades de bombeo mecánico, así como detectar rápidamente alguna falla y reducir los daños ecológicos.

## 5. PLANTEAMIENTO DEL PROYECTO

### 5.1 DESCRIPCION DEL PROYECTO

Para cumplir con el objetivo del proyecto y cubrir las necesidades expuestas en el capitulo tres, es necesario establecer el diseño de las partes que componen el proyecto. En principio, el proyecto debe realizar las siguientes funciones:

- a) Efectuar el paro automático de la U.B.M. cuando la tensión en la varilla pulida sobrepase los límites de operación previamente establecidos, con lo que se logra evitar daños, disminuir el desgaste del equipo y ahorro en el consumo eléctrico del mismo.
- b) Graficar los valores de tensión en la varilla pulida contra las cartas dinamométricas, a fin de poder definir los parámetros de operación.
- c) Efectuar el paro y arranque automático de la unidad en periodos de tiempo previamente establecidos o por número consecutivo de emboladas, permitiendo optimizar la explotación de los pozos, reduciendo los tiempos de detección de falla.
- d) Alertar al personal cuando se presente una condición anormal en la operación de las U.B.M., evitando de esta manera daños a las instalaciones y disminuir los tiempos muertos en el funcionamiento de las unidades, estas anomalías son:
  - Falla eléctrica
  - Paro de la unidad por razones desconocidas
  - Sobretensión mecánica, "atorón" o sobreesfuerzo de la varilla pulida
  - Fuga en el estopero
  - Fuga o sobrepresión en la línea de descarga.
- e) Presentar de manera centralizada la información, generando archivos, reportes y gráficas de los parámetros de operación de los equipos de bombeo, de manera que permita el análisis detallado y el registro histórico del comportamiento, tanto de los equipos de bombeo como de los pozos.
- f) Permitir realizar el monitoreo de la U.B.M. de manera local en cada pozo, utilizando una computadora portátil o similar, la cual deberá realizar todas las funciones básicas de control de la estación maestra.

### 5.2 IDENTIFICACION DE EQUIPO

Para realizar las funciones descritas en la sección anterior, el proyecto deberá estar integrado por los elementos que cubran las necesidades de cada punto especificado. Realizando un análisis podemos describir los siguientes elementos como las soluciones respectivas.

Es necesario la instalación de elementos primarios de medición ubicados en los puntos de interés en el equipo de bombeo, y en cada una de las unidades de bombeo mecánico. Para recopilar la información de los sensores y realizar el control se requieren unidades terminales remotas (UTR) ubicadas también en cada una de las U.B.M. El sistema se implementará en varias unidades de bombeo por lo que se necesita de una Estación Maestra para la supervisión y control de todas y cada una de las

U.B.M., ésta estación se ubicará en las oficinas de producción de PEP. Para la supervisión y control local de cada pozo se requiere de una estación portátil que pueda ser utilizada para cualquiera de los pozos.

### 5.2.1 ELEMENTOS PRIMARIOS DE MEDICION

El sistema requiere de dos variables para controlar el bombeo: la carga en la varilla pulida y la posición del balancín o viga. Para obtener esta información, el equipo de bombeo deberá contar con los siguientes elementos de medición:

a) Medidor de tensión en varilla pulida

Este sensor debe registrar la carga en la varilla pulida en todo momento y puede ser una medición de manera directa, como una celda de carga, o de manera indirecta aprovechando alguna otra variable asociada a la carga en la varilla pulida. Debido a las condiciones de operación del equipo, éste debe ser intrínsecamente seguro, a prueba de agua y resistente a la corrosión, para un rango de operación de 0 a 50 mil libras según los registros de las unidades de bombeo, con temperatura de funcionamiento de - 40 a +80 °C, señal de salida analógica de preferencia de 4 a 20 mA.

b) Medidor de posición de balancín

Dispositivo capaz de determinar directa o indirectamente la posición del balancín así como la velocidad de operación de la unidad (emboladas por minuto). Debe ser a prueba de agua y resistente a la corrosión, para operar a temperaturas de - 40 a +80°C

Adicionalmente se requieren de los siguientes equipos para detectar las demás variables o parámetros de interés:

c) Detector de fugas en el estopero

Será instalado en la parte superior del estopero y detectará las posibles fugas de aceite en esta sección, evitando al máximo derrames. Entregará una señal digital con un contacto seco y herméticamente sellado.

d) Detector de fugas o sobrepresión ("represionamiento") en la línea de descarga.

Estas anomalías se detectarán por medio de un sensor de presión instalado en la línea de descarga. Una caída súbita de presión indicará una posible fuga y se evitara los represionamientos. El sensor de presión será de inserción, resistente al agua y a la corrosión, para trabajar en un rango de 0 a 1000 PSI y temperatura de 0 a 150 °C, señal de salida analógica 4 a 20 mA.

e) Detector de falla eléctrica

Se podrán detectar fallas en las líneas de energía eléctrica (perdida de fase) con un detector que se instalará en la llegada de las líneas eléctricas al tablero de control del motor, el sensor debe ser intrínsecamente seguro, para operar con 480 Vca, para manejar tres líneas y ajuste de sensibilidad, entregará una señal digital con contactos secos herméticamente sellados.

### 5.2.2 UNIDAD TERMINAL REMOTA

La unidad terminal remota será instalada próxima a la unidad de bombeo, obtendrá la información de los instrumentos, procesará la información y la enviará a la estación maestra mediante un enlace de comunicación por radio frecuencia, así mismo efectuará las siguientes funciones:

- a) Monitorear la carga de la varilla pulida y la posición del balancín
- b) Comparar los datos dinamométricos obtenidos contra los parámetros preestablecidos, efectuando el paro de la unidad cuando los límites sean rebasados.
- c) Detener la unidad de bombeo de acuerdo a periodos establecidos, para permitir la recuperación del producto en la tubería de producción.
- d) Efectuar el paro y arranque automático de la unidad de bombeo en base a: límites de operación preestablecidos, límite máximo y mínimo de tensión en la varilla pulida, tiempos programados, pérdida de fase, fuga en el estopero y fuga o represionamiento en la línea de descarga.

Debe cumplir con las siguientes especificaciones técnicas: Gabinete NEMA 4X, alimentación de 480 Vca., temperatura de operación de  $-40$  a  $+80$  °C, con una capacidad mínima de 6 entradas digitales, dos analógicas, salidas de control para el motor de la U.B.M., módem con velocidad de transmisión de datos de 1200, 900, 600 y 300 Baud, interfase de comunicación con estación portátil, equipo de comunicación.

### 5.2.3 ESTACION MAESTRA

Las funciones que efectuará la estación maestra serán:

- a) Presentar de manera centralizada las variables de operación de las unidades de bombeo mecánico.
- b) Generar y presentar las gráficas de tensión contra desplazamiento de la varilla pulida (carta dinamométrica), con base a los parámetros reales de operación de la unidad de bombeo.
- c) Generar y presentar las gráficas de tensión contra desplazamiento de la varilla pulida, en función de parámetros calculados, con los datos de construcción de las unidades de bombeo mecánico y características del yacimiento.
- d) Permitir el análisis comparativo de las gráficas obtenidas de los parámetros reales contra los calculados, así como con los datos históricos del comportamiento de las unidades de bombeo.
- e) Alertar al operador cuando una falla ha ocurrido o los límites de operación han sido rebasados.
- f) Permitir programar límites y parámetros de operación de una manera distante en la unidad terminal remota.
- g) Permitir el arranque o paro de la unidad de bombeo de manera manual o programada.
- h) Generar archivos de la información y gráficas de tendencias.
- i) Generar reportes escritos en tiempos preestablecidos y/o a solicitud del operador

Para realizar las funciones mencionadas la estación maestra estará basada en una computadora personal con las características necesarias para ofrecer la rapidez y capacidad de memoria de almacenaje suficientes para soportar el software de aplicación, preferentemente procesador Pentium, 16 Mb de RAM, 166 MHz de velocidad, disco duro de 1.0 GB, enlace de comunicaciones con capacidad de transferencia desde 300 Bauds, impresora láser. Por razones de operación y seguridad debe contar además con una fuente de alimentación de energía ininterrumpible, con regulador de voltaje integrado con la capacidad suficiente para soportar el equipo cuando menos una hora a plena carga

#### **5.2.4 ESTACION PORTATIL**

El sistema contará con cuando menos una estación portátil para efectuar de manera local en los pozos las funciones básicas de la estación maestra. Este equipo se conectará a la estación terminal remota en el puerto de comunicación, preferentemente interfase RS-232.

La estación portátil puede estar basado en una computadora personal tipo Laptop construida para soportar trabajo de campo, con la capacidad para soportar el programa de aplicación. Puede también ser una estación portátil propia del fabricante con las características necesarias para realizar la supervisión y control en campo. Debe incluir el cable y conector de la interfaz.

#### **5.2.5 SISTEMA DE COMUNICACIONES**

Se debe instalar un sistema de comunicaciones que permita el enlace entre todas y cada una de las unidades terminales remotas con la estación maestra. El enlace, por cuestiones propias de PEP, debe ser por radiofrecuencia en la banda de los Mega Hertz. En esta primera etapa del proyecto PEP solicito la instalación del sistema de supervisión en cien pozo. Estos pozos esta distribuidos en una basta zona de alrededor de 20 Km de radio y la ubicación de los pozos varia desde colinas hasta valles y zonas urbanas. Después de un estudio de línea de vista se observó la necesidad de instalar estaciones repetidoras para lograr la comunicación con todos los pozos.

#### **5.2.6 PROGRAMA DE APLICACIÓN**

De acuerdo a lo que hemos visto acerca de los problemas de operación de las unidades de bombeo mecánico y considerando los equipos que se han elegido para la solución de la problemática, es de mayor importancia seleccionar el programa de aplicación que conjunte todas las operaciones y análisis necesarios para la operación deseada del sistema. Por tanto, al analizar todo el equipo y funciones que deseamos realizar, el programa de aplicación debe cumplir como mínimo con lo siguiente:

- a) Será capaz de efectuar la exploración continua de las estaciones remotas, mediante poleo (pregunta - respuesta), con velocidad de comunicación ajustable para las necesidades del sistema. Con la capacidad de reintentar la comunicación con los pozos cuando estos no respondan a la primera interrogación, el número de veces que el operador requiera y no entorpezca el poleo.
- b) Deberá permitir efectuar un muestreo particular y más frecuente en caso de que un pozo registre una condición anormal de operación.
- c) Podrá excluir de la exploración de manera temporal o definitiva a aquellos pozos que se encuentren apagados o en mantenimiento, dándolos de alta cuando estén en condiciones de

operar. Esto con el fin de agilizar el poleo y dar seguridad al personal de mantenimiento y reparación.

- d) Será capaz de dar de alta y baja los pozos, así como renombrarlos.
- e) Deberá tener un registro de memoria donde se almacene la información y parámetros preestablecidos de cada pozo así como las gráficas dinamométricas de cada pozo en una librería de datos.
- f) El programa deberá ser amigable para el operador, utilizando menú de opciones, pantallas de ayuda y teclas funcionales.
- g) El programa deberá tener la capacidad de realizar los cálculos necesarios para el análisis del pozo y yacimiento.
- h) Cuando se presente alguna alarma, el programa deberá indicarlo para que sea reconocido por el operador.

### 5.3 METODO DE SUPERVISION Y ANALISIS

Hemos visto que un golpe de fluido (figura 5.1) y un paro de bombeo son condiciones de los pozos que producen una característica distinta en las cartas dinamométricas.

Si estas características se usan para detectar y controlar el paro de la unidad de bombeo, entonces una U.B.M. puede ponerse fuera de operación de una manera segura y eficiente, maximizando producción y minimizando la energía empleada.

Usando la carta dinamométrica de golpe de fluido dada en la figura 5.3, podemos demostrar como el método de control puede detectar y efectuar el paro de la unidad de bombeo.

La figura 5.2. Muestra la misma carta con la bomba llena (línea "A" a "C", incluye el área sombreada).

- a) Partiendo de una operación aceptable de bomba llena (A – C) a una condición inaceptable de golpe de fluido (línea A-B-C) la línea A-C se ha movido obviamente a través del área sombreada para llegar a ser A-B-C.
- b) Si este movimiento o cambio en la carta dinamométrica puede ser monitoreado y actuar sobre él, entonces es posible detener la operación de la unidad de bombeo.
- c) El punto de decisión está normalmente configurado en el controlador como un porcentaje del bombeo descendente (X) y un porcentaje de la carga máxima de la varilla pulida (Y).
- d) Una vez que la línea A-C de la carta dinamométrica viola el punto de decisión como se muestra por la línea A-B-C en la figura 5.3, el controlador puede detener la operación de la unidad de bombeo por un periodo de tiempo determinado por el operador del sistema de control.

e) Después de que el intervalo del tiempo de reposo ("Idle Time") ha concluido, el controlador automáticamente reiniciará la operación de la unidad de bombeo y se produce el fluido que se ha acumulado en el pozo durante el intervalo del tiempo de reposo.

- Una vez que el controlador detecta otra condición de paro de bomba otra vez, la unidad se detendrá otra vez.
- El periodo de bombeo más el tiempo de reposo es considerado un ciclo de bombeo completo.

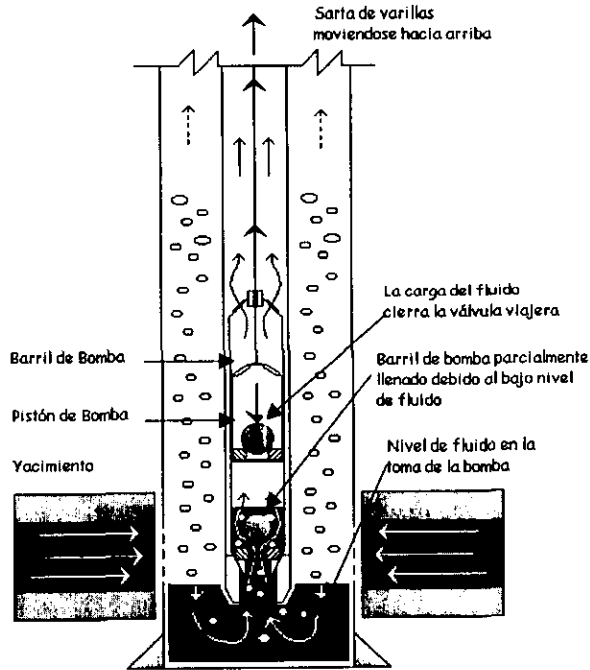


Fig. 5.1 Golpe de Fluido

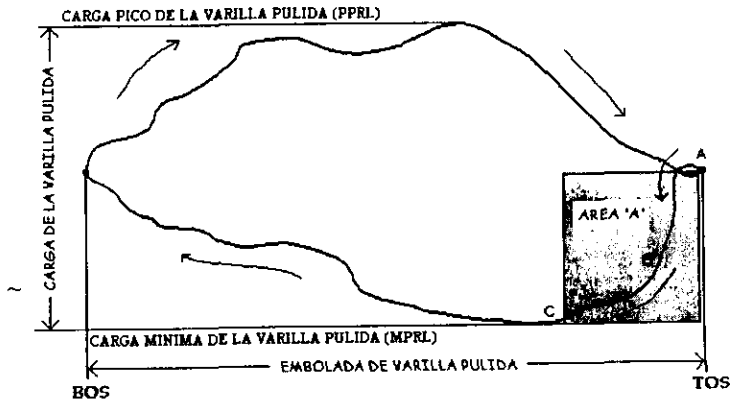


Fig. 5.2 Carta Dinamométrica típica de superficie



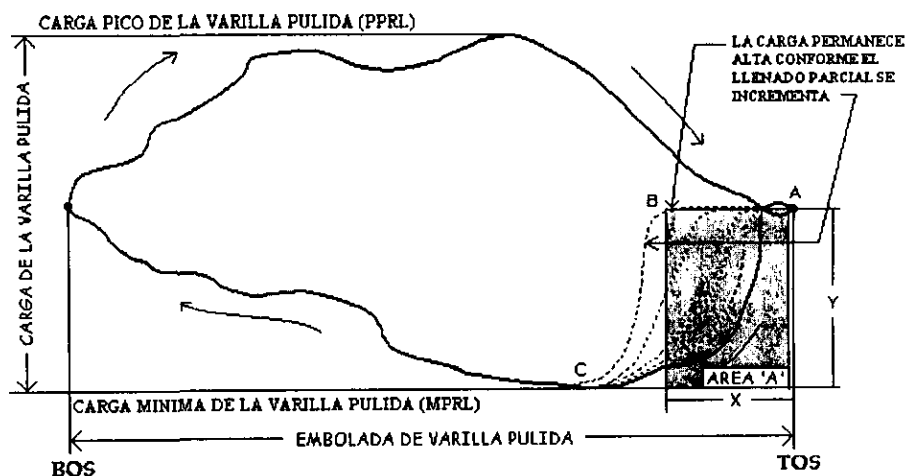


Fig. 5.3 Carta Dinamométrica. Llenado parcial

## 5.4 SELECCIÓN DE EQUIPO

El proyecto tratado en esta obra ha sido considerado en todos sus aspectos como la propuesta que mejor cumple con las necesidades de PEP, es por esto que se ha puesto mucha atención en todos los puntos importantes de la planeación del proyecto. De esta forma se realizó una investigación entre los principales proveedores de equipo electrónico con especialidad en el ramo petrolero para recabar la información suficiente para seleccionar el equipo que cumpla con las condiciones técnicas especificadas en el proyecto y al mismo tiempo sea la mejor oferta económica. Se revisaron las propuestas de los siguientes proveedores: Delta X, Theta Enterprises, Baker Cac y Pickford para las unidades terminales remotas y diferentes proveedores de sensores de presión, detectores de pérdida de fase, radios de telemetría y antenas de comunicación.

Finalmente se seleccionaron los equipos como sigue:

- Unidad terminal remota: Rod Pump Controller (RPC) 8800 de Baker Cac.
- Programa de aplicación: 8575 Central Monitoring and Control System (CMCS) de Baker Cac.
- Medidor de tensión en varilla pulida: Beam Mounting Load Sensor (BMLS) de Baker Cac
- Medidor de posición de balancín: Magnetic Position Switch de Baker Cac
- Detector de fugas en el estopero: Stuffing Box Leak Detector de Baker Cac
- Detector de fugas o represionamiento en la línea de descarga: Pressure Sensor de Wika
- Detector de falla eléctrica o en el motor: Detector de pérdida de fase de Solid State Advance Controls
- Sistema de comunicaciones: Motorola, Kenwood, Maxrad

Todos estos equipos cumplen con las características que se mencionaron en la sección 5.2 y son los que en conjunto ofrecen la mejor oferta económica del mercado consultado. Como se puede observar la parte fundamental del sistema lo integran los equipos de la marca Baker Cac. Esto es necesario para ésta primera fase del proyecto ya que nos garantiza la compatibilidad entre los equipos y por lo tanto la correcta operación del sistema, adicionalmente la ventaja de que un solo fabricante

brinde el soporte y las partes de repuesto para la mayoría del sistema. El sensor de presión y el detector de pérdida de fase son equipos más comerciales. El sistema de comunicaciones se detalla en la sección 6.2.8 ya que requiere mayor estudio.

Una descripción más detallada de la operación y características técnicas de los equipos se presenta en la sección 6.2. La información aquí presentada debe ser complementada con los siguientes documentos, si se pretende profundizar más en el sistema:

- Model 8800 Rod Pump Controller. Installation and Operation Manual.
- Model 8575 Central Monitoring and Control System. Installation and Operation Manual
- Model 8575 CMCS Analysis Software Option. Installation and Operation Manual.

Ya que el fabricante Baker Cac suministra la parte fundamental del sistema, a continuación mencionaremos algunas ventajas que el fabricante señala del conjunto en general, aunque solo lo maneja como el controlador de bombeo por varilla.

El controlador de bombeo por varilla (Rod Pump Controller "RPC") es el equipo electrónico que satisface nuestra necesidad de supervisión y el método de control de apagado de bomba (Pump-Off Control "POC") es el indicado para prevenir situaciones como el golpe de fluido.

Al contar con un sistema que automáticamente determine, basándose en sensores, la condición de operación de un pozo, se puede programar de tal forma que incremente la eficiencia del pozo.

El RPC y el método POC han comprobado, en otros campos petroleros alrededor del mundo, sus beneficios en eficiencia y costos. Generalmente los beneficios esperados cuando se instalan controladores son los siguientes:

## 1. AHORRO DE ENERGIA

El ahorro de energía resulta de la reducción del tiempo de operación de la U.B.M., manteniendo la producción. La cantidad de ahorro de energía es obtenida en función, primeramente, de cómo el pozo trabajó anteriormente a la instalación del RPC (con un "timer" mecánico, una operación de 24 horas al día o controlado manualmente por un operador).

En segundo lugar depende de la habilidad del operador para definir el punto de paro de la unidad para el golpe de fluido, donde se pueda asegurar que al momento del paro existe un nivel de fluido mínimo. El pozo puede ahora obtener el llenado máximo antes de que el flujo de fluido del yacimiento dentro del pozo sea limitado por el incremento de presión.

La cantidad de energía ahorrada es incrementada si se configura el RPC para obtener el tiempo mínimo de bombeo y el tiempo máximo de reposo sin perder producción.

## 2. INCREMENTO DE PRODUCCION

Generalmente cualquier incremento en la producción de un pozo es el resultado de la información de operación que proporciona el RPC, de manera que se pueda detectar e identificar a tiempo problemas potenciales en el equipo, lo que permite al operador minimizar tiempos muertos debidos a fallas y por consecuencia producción diferida.

Con esta información el RPC puede también automáticamente incrementar el ciclo de operación para compensar una disminución en la eficiencia de la bomba. Al monitorear diariamente el tiempo de operación de un pozo estable (con tiempos más o menos constantes), el operador puede rápidamente identificar un problema potencial cuando los tiempos de operación comienzan a cambiar significativamente.

### 3. AHORRO DE MANTENIMIENTO

Dos beneficios resultan del monitoreo a un pozo con un RPC:

- a) Primeramente, el controlador esta diseñado para detectar golpe de fluido cuando el sistema de paro trabaja y puede configurarse para que la cantidad de golpe de fluido sea limitada. Esto previene daños en todos los componentes del sistema de bombeo y extiende el tiempo de vida del equipo.
- b) El RPC también monitorea el valor máximo, mínimo y margen de la carga de la varilla pulida, de tal forma que si algún componente del sistema tiene una falla (p.ej. sobretensión en la varilla, fuga en válvulas, pozo sin fluir, varilla partida, etc.) el controlador apagará la unidad. Esto previene daños al equipo y también provee ahorro de energía si la unidad no esta produciendo.

Si adicionalmente se instalan sensores que detectan anomalías para proteger el equipo y/o el medio ambiente, el RPC se convierte en un equipo muy poderoso en la prevención y detección de fallas.

### 4. FUERZA DE TRABAJO

Para el personal operador de las U.B.M es de gran ayuda que el RPC tenga la señalización del tipo de fallas detectadas. De esta forma tendrá un mayor control de sus unidades y dedicará mayor tiempo a las unidades con problemas, y al mismo tiempo sabrá de antemano el material y equipo que necesita para resolver el problema.

Es importante señalar que el beneficio que aporta el sistema para el personal operador es el conocimiento oportuno y preciso de la situación diaria de las unidades a su cargo, optimizando de esta forma su desempeño como encargado.

## 6. DESARROLLO DEL PROYECTO

### 6.1 TRABAJOS PREVIOS

Para la instalación de los equipos en sitio y debido a las condiciones de la zona, es necesario realizar trabajos previos a esta actividad. Los trabajos consisten en la protección de los equipos mediante la canalización subterránea de los cables de control y fuerza, así como la instalación elevada del RPC, el poste para la instalación de la antena de comunicaciones y pararrayo. La figura 6.1 ilustra la instalación y trabajos previos en una unidad Mark II como típica.

Como se puede observar el RPC, la antena y el pararrayos están montados sobre una torre estructural para lograr una altura de 4.5 metros para el RPC y 8.55 metros con el apartarrayos para

Con esta información el RPC puede también automáticamente incrementar el ciclo de operación para compensar una disminución en la eficiencia de la bomba. Al monitorear diariamente el tiempo de operación de un pozo estable (con tiempos más o menos constantes), el operador puede rápidamente identificar un problema potencial cuando los tiempos de operación comienzan a cambiar significativamente.

### 3. AHORRO DE MANTENIMIENTO

Dos beneficios resultan del monitoreo a un pozo con un RPC:

- a) Primeramente, el controlador está diseñado para detectar golpe de fluido cuando el sistema de paro trabaja y puede configurarse para que la cantidad de golpe de fluido sea limitada. Esto previene daños en todos los componentes del sistema de bombeo y extiende el tiempo de vida del equipo.
- b) El RPC también monitorea el valor máximo, mínimo y margen de la carga de la varilla pulida, de tal forma que si algún componente del sistema tiene una falla (p.ej. sobretensión en la varilla, fuga en válvulas, pozo sin fluir, varilla partida, etc.) el controlador apagará la unidad. Esto previene daños al equipo y también provee ahorro de energía si la unidad no está produciendo.

Si adicionalmente se instalan sensores que detectan anomalías para proteger el equipo y/o el medio ambiente, el RPC se convierte en un equipo muy poderoso en la prevención y detección de fallas.

### 4. FUERZA DE TRABAJO

Para el personal operador de las U.B.M es de gran ayuda que el RPC tenga la señalización del tipo de fallas detectadas. De esta forma tendrá un mayor control de sus unidades y dedicará mayor tiempo a las unidades con problemas, y al mismo tiempo sabrá de antemano el material y equipo que necesita para resolver el problema.

Es importante señalar que el beneficio que aporta el sistema para el personal operador es el conocimiento oportuno y preciso de la situación diaria de las unidades a su cargo, optimizando de esta forma su desempeño como encargado.

## 6. DESARROLLO DEL PROYECTO

### 6.1 TRABAJOS PREVIOS

Para la instalación de los equipos en sitio y debido a las condiciones de la zona, es necesario realizar trabajos previos a esta actividad. Los trabajos consisten en la protección de los equipos mediante la canalización subterránea de los cables de control y fuerza, así como la instalación elevada del RPC, el poste para la instalación de la antena de comunicaciones y pararrayo. La figura 6.1 ilustra la instalación y trabajos previos en una unidad Mark II como típica.

Como se puede observar el RPC, la antena y el pararrayos están montados sobre una torre estructural para lograr una altura de 4.5 metros para el RPC y 8.55 metros con el apartarrayos para

protección del equipo. La torre a su vez esta montada sobre un dado de concreto armado que esta enterrado en el terreno aledaño a la U.B.M., quedando fija con cuatro tuercas con rondanas de presión.

A través de los tubos que forman la torre y pasando por el dado de concreto se realiza la canalización del cableado a tubos conduit, los cuales tendrán por salida tubo licuatite para llegar a las diferentes zonas donde se instalan los sensores.

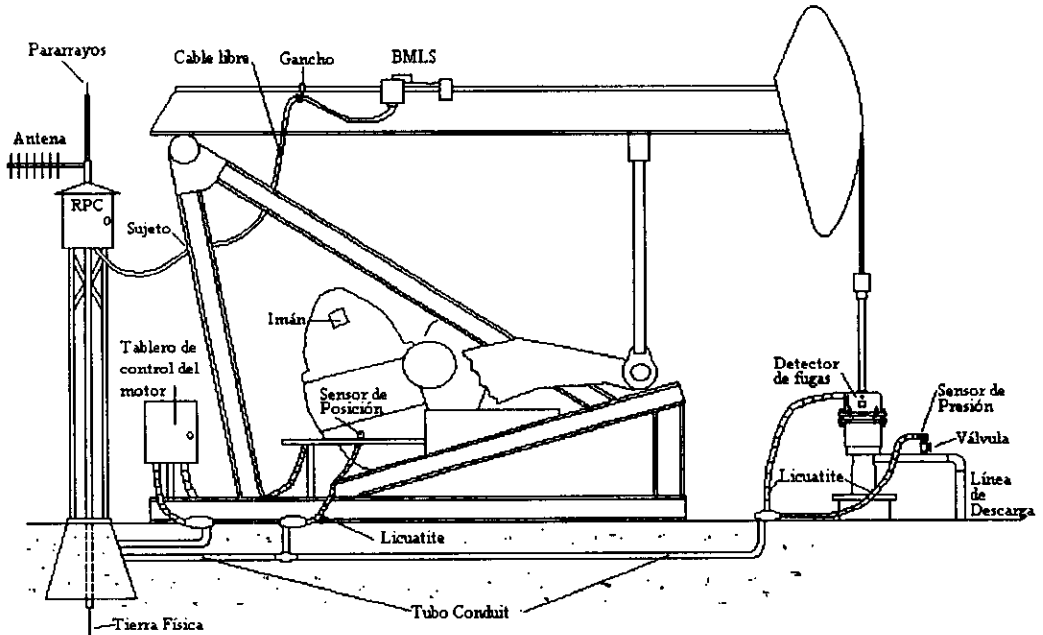


Fig. 6.1 Instalación típica de equipo en unidad Mark II

El arreglo de la tubería subterránea y el dado de concreto nos permite desmontar fácilmente los sensores, el tubo licuatite y la torre en el momento que así se requiera, quedando enterrada en el sitio la infraestructura para posteriormente volver a instalar rápidamente todos los equipos.

El pararrayos que se encuentra en la punta de la torre, está formado por una punta de cobre que esta soldada a un cable de cobre desnudo calibre 1/0. El cable de cobre se conduce a través del tubo de 1", contando con separadores de material dieléctrico distribuidos a lo largo del cable para evitar cualquier contacto con el tubo.

En la parte inferior del dado de concreto se tiene la salida para el cable de tierra, del cual se separan los hilos que lo conforman, teniendo un área mayor de contacto con la tierra física.

## 6.2 DESCRIPCION E INSTALACION DE EQUIPOS

Los equipos son en su mayoría electrónicos, pero diseñados de tal forma que soportan el trabajo continuo y el medio ambiente. Se debe aclarar que los sensores deben instalarse antes que el RPC para

tener los cables de los mismos listos para su conexión con el RPC. A continuación se describen cada uno de los sensores, con sus principales características y el proceso para su instalación.

### 6.2.1 CONTROLADOR DE BOMBEO POR VARILLA (ROD PUMP CONTROLLER "RPC")

El controlador de bombeo por varilla (RPC) es el equipo electrónico que monitorea y controla automáticamente a la unidad de bombeo mecánico (U.B.M.), mediante la adquisición de datos provenientes de diversos sensores instalados en la U.B.M.

#### a) CARACTERISTICAS

El RPC esta constituido por los siguientes componentes:

- Gabinete NEMA 4X
- Tarjeta fuente de alimentación electrónica
- Tarjeta fuente de alimentación radio
- Tarjeta CPU
- Tarjeta módem
- Tarjeta de entradas y salidas analógicas y digitales
- Transformador de control 480 – 24 VCA
- Filtro EMI
- Relevador watch dog (transferencia de control)
- Relevador de control

El RPC tiene un diseño modular en sus componentes, por lo que pueden ser reemplazados fácilmente. La figura 6.2 muestra una vista del RPC.

Las especificaciones técnicas del RPC son:

- Alimentación: 440 Volts AC, 60 Hz.  
24 Volts AC, 60 Hz hacia la tarjeta fuente de poder.
- Potencia requerida: 5 Watts, sin opciones instaladas.
- Señales de entrada: 2 entradas analógicas (carga de la varilla y posición continua)  
(control básico) 1 entrada digital (sensor interruptor de posición)
- Salidas de control: 2 contactos de relevadores de alto voltaje (25 @ 277 VCA o 10 @ 600 VAC)  
para arranque y paro del motor y transferencia de control en caso de falla.
- Puertos de comunicación: 2 puertos RS-232-C, uno para el analizador portátil y el otro para la interface con el módem.
- Protección de sobrevoltaje o transitorios: Cumple con la especificación ANSI/IEEE C37.90.1-1989
- Rango de temperatura: -30°C a +80°C
- Gabinete de montaje: No metálico Nema 4X

- Tamaño y peso: 15 " de ancho x 17 " de alto x 7 " de profundidad con 29 libras.
- Módem de comunicación: Bell 103 o 202
- Radio de comunicación: RNET 450S
- Entradas analógicas auxiliares: 2 configurables como 0-5 V o 4-20 mA. Una para el sensor de presión y la otra disponible.
- Entradas y salidas digitales auxiliares: 8 módulos individualmente configurables como entrada o salida, ópticamente aislados con módulos reemplazables. Uno para el sensor de la puerta, otro para el detector de fugas en el estopero y otro para el detector de pérdida de fase.
- Interface controlador de motor (MCI): montado dentro del RPC.

## b) INSTALACION

Como se mostró en la sección 6.1, el RPC está montado dentro de una caja metálica sobre la torre estructural. A esta caja llegan todos los cables de señal y fuerza, así como el cable de la antena.

El RPC se alimenta con 480 Vca, la cual se toma de dos fases de la llegada del interruptor principal al contactor del motor en el tablero de control. La figura 6.3 muestra las conexiones en la parte de un tablero típico y en el RPC.

Las conexiones de las señales de control y fuerza se realizan en la parte señalada como MCI (Motor Controller Interface) las cuales están conectados al panel del control del motor para lograr el paro y arranque de la U.B.M..

**Es importante tener mucho cuidado en la instalación, mantenimiento y reparación de estas secciones, ya que se manejan potenciales de hasta 500 VCA que causan graves lesiones.**

El interruptor principal debe estar en la posición abierto antes de realizar cualquier movimiento en estas zonas, una vez terminada la instalación se debe colocar la tapa metálica de protección junto con el relevador de protección contra pérdida de fase en el RPC antes de cerrar el interruptor principal.

La figura 6.3 también muestra como en las fases marcadas como L1 y L2 se conectan los cables de color negro que alimentan al RPC, pasando por los fusibles de 2 amperes.

Para lograr el control sobre el motor de la U.B.M. se conectan los relevadores de guardia y control como se indica en la figura 6.3. Del selector Manual - Off (fuera) - Automático (MOA) del panel de control del motor se desconecta y retira el cable que esta a la salida del contacto que cierra en la posición auto, no en el lado del contacto que tiene el puente con el otro contacto del selector. En el lugar donde se retiró el cable anterior, se conecta el cable rojo proveniente del RPC.

El cable que quedó suelto se empata con el cable azul del RPC. En el contacto restante del selector, en el lado de la salida (¡no donde esta el puente entre contactos!) se anexa la punta del cable blanco del RPC, de tal forma que en este punto se encuentran dos cables.

Por su parte, en el RPC, se conecta el cable rojo al borne número 3 del relevador de guardia, el cual servirá como común para el control automático y la transferencia de control. El cable azul se conecta en el borne 5 del relevador de control para realizar el paro y arranque de la U.B.M.. El cable blanco se conecta a un extremo del contacto normalmente abierto del relevador R1, el otro extremo se conecta al borne 3 del relevador de guardia.

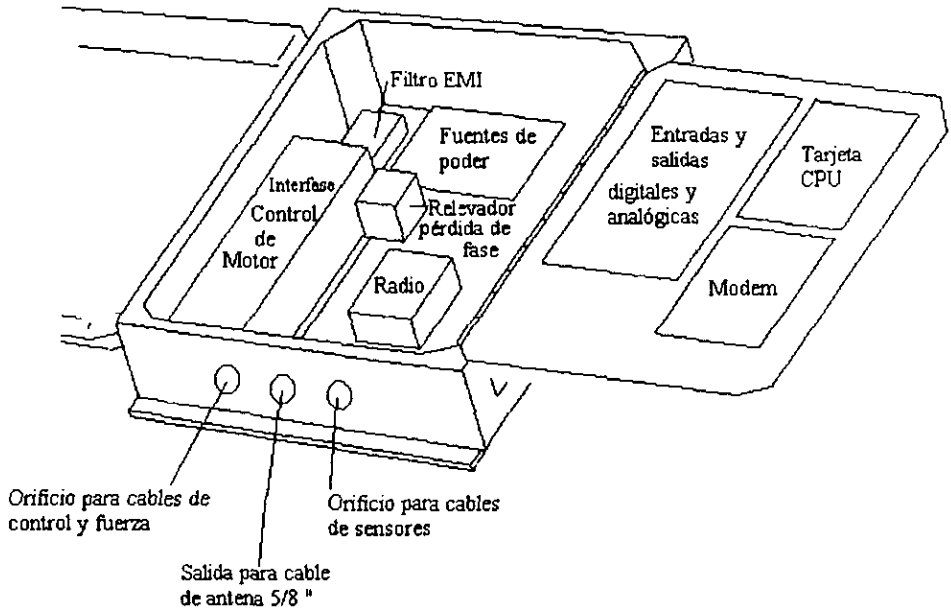


Fig. 6.2 Rod Pump Controller

Las señales de medición de los sensores utilizados en este proyecto llegan a la caja metálica y se introducen al RPC por el orificio correspondiente, para conectarse en la tarjeta de entradas y salidas digitales y analógicas, como se muestra en la figura 6.4. Para las entradas digitales del sensor de fugas en el estopero y switch de la puerta es necesario colocar los puentes que se ilustran con el conector TB2. Para la entrada digital del detector de pérdida de fase se realizan los puentes mostrados en la figura.

El cable proveniente del BMLS contiene los cables de las señales de posición continua (inclinómetro) y del sensor de carga, por tanto debe introducirse al RPC la longitud necesaria para realizar las conexiones, pero evitando dejar un excedente que interfiera con los demás cables.

Siempre que un cable sea conectado a la tarjeta se debe asegurar que la conexión sea firme para una correcta operación.

El radio de comunicaciones del RPC debe estar previamente programado en las frecuencias a utilizar para la transmisión y recepción de datos con la estación repetidora correspondiente. La



instalación de la antena direccional se realiza según la figura 6.1. La orientación de la antena estará basado en la posición que guarde el pozo con la estación repetidora que le corresponda.

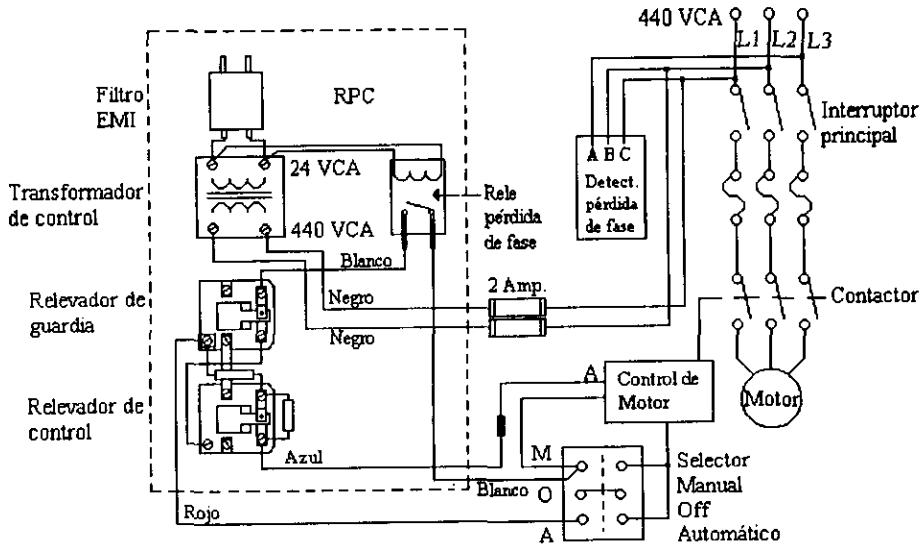


Fig. 6.3 Conexiones de fuerza y control

### c) OPERACION DEL RPC

La función principal del RPC es la de monitorear la carga en la varilla pulida y la posición durante el movimiento de la U.B.M. Con estos valores el RPC desarrolla las cartas dinamométricas (Carga vs. Posición), las cuales son la base para el método de control de paro de unidad (Pump - Off Control "POC").

Adicionalmente a las señales de carga y posición, se instalaron los siguientes equipos:

- Inclinómetro (sensor de posición continuo)
- Detector de fugas en el estopero
- Detector de pérdida de fase
- Protección contra robo de RPC
- Sensor de presión

El RPC recolecta los datos de carga y posición a una velocidad de 20 pares por segundo, de esta forma las gráficas se van generando en forma continua.

En la gráfica de carga contra posición en porcentaje se visualiza la indicación del cuadrante de control de paro de la unidad, ya sea el método de cuadrante o de punto, según las necesidades del pozo. Al configurar los parámetros relativos al método de control, se delimita el área o zona de control de

paro, ver gráficas del apéndice B. De esta forma cuando las curvas generadas por los datos de carga y posición pasen fuera de las áreas de control, la unidad se irá a paro durante un tiempo definido por el operador (idle time). El número de curvas consecutivas que violen los límites del método de control, permitidas antes de mandar a paro, también queda establecido por el operador, según sus necesidades.

Una vez transcurrido el paro temporal iniciará operación la U.B.M., en ese momento el RPC no recolectará datos de carga y posición hasta un tiempo determinado por el operador, en donde se espera que el pozo se estabilice del periodo de arranque.

Lo relativo a los números de los parámetros aquí mencionados, así como su manejo y modificación se detallará en la sección 6.3.

El objetivo del método de control es determinar el momento en que el pozo presenta candados de gas o golpe de fluido. Al detectar estas situaciones el paro de la unidad nos ahorrará energía, desgaste de piezas y daños al equipo. De lo anterior se deduce que las señales de carga y posición son indispensables para el funcionamiento del RPC, por lo que cualquier daño en estos equipos inhabilita al control del RPC, transfiriendo a la U.B.M. de nueva cuenta al modo manual.

La gráfica de carga contra posición en libras nos permite establecer límites máximos y mínimos de carga para detectar sobretensión en varillas y/o desprendimientos de las mismas. Cuando el número de curvas consecutivas establecidas crucen cualquiera de los límites, la unidad se detendrá automáticamente y se observará la señalización correspondiente. La unidad no operará hasta que la falla haya sido eliminada y el operador dé la orden correspondiente.

El detector de fugas en el estopero esta conectado al RPC como señal digital (normalmente DI-1), y esta configurada de tal modo que cuando esta entrada se cierra, automáticamente se detendrá la unidad para detener la fuga detectada. La unidad no operará hasta que la falla haya sido eliminada y el operador de la Estación Maestra dé la orden correspondiente.

La protección contra robo del RPC, solo quedará señalada en la RPC como apertura de la entrada digital correspondiente (por lo general DI-2), pero no afectará la operación de la U.B.M.

El sensor de presión se registrará en el RPC como una señal analógica, lo cual significa que obtendremos el valor de la presión en PSI como la lectura de la entrada analógica seleccionada (por lo general AI-1). Al igual que la carga, se pueden establecer límites de operación, y cuando alguna lectura de presión viole cualquiera de los límites se irá a paro, ya que si es por el límite alto se considera una sobrepresión en la línea de descarga y cuando sea por límite bajo se interpretará como una posible fuga en la línea, siempre y cuando la unidad haya estado operando en forma normal y fluyendo. La unidad no iniciará operaciones hasta que, una vez efectuadas todas las actividades necesarias para verificar y corregir la falla, el operador dé la orden correspondiente.

El detector de pérdida de fase será identificado en el RPC como una señal digital proveniente del sensor y será configurada para que al detectar el cierre de la entrada correspondiente (regularmente DI-3) el RPC mande a paro la unidad hasta que se corrija la falla y se dé la orden correspondiente.

El inclinómetro esta montado junto con el BMLS y detecta la posición de la viga durante la operación, la señal es analógica, por lo que su medición es más directa. El inclinómetro se utiliza para generar la gráfica de carga vs. posición en libras. Cuando no está instalado o dado de alta el inclinómetro, entonces la gráfica en libras se genera por medio del interruptor de posición.

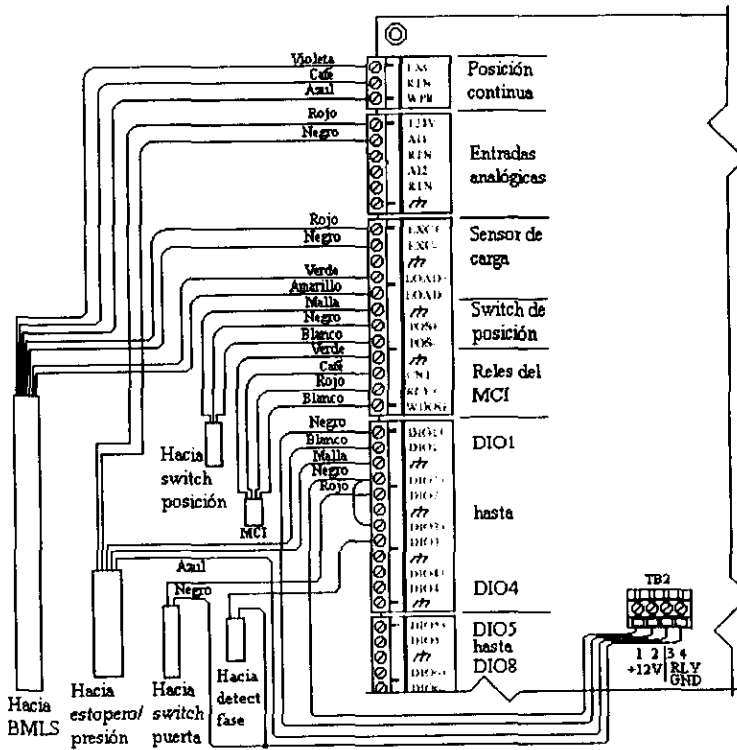


Fig. 6.4 Tarjeta de entradas y salidas analógicas y digitales

### 6.2.2 SENSOR DE CARGA MONTADO EN LA VIGA (BEAM MOUNTED LOAD SENSOR "BMLS")

El sensor de carga montado sobre la viga es una entrada de carga cualitativa que proporciona una señal de voltaje correspondiente a la carga de la varilla pulida.

El transductor de esfuerzo o carga esta montado en la caja pequeña que está sobre el brazo del BMLS. La figura 6.5 muestra un BMLS, en donde se puede apreciar la parte estrecha del sensor que funciona como protección de sobrecarga para el transductor. Tomando como referencia el lugar de la instalación del BMLS, figura 6.1, se llega a la conclusión de que el BMLS mide la deflexión en la viga de la U.B.M. debido en forma directa a la carga en la varilla pulida.

Es importante cuidar que la posición de instalación del BMLS sea en la parte de mayor deformación de la viga, como se muestra en la figura 6.6, y siempre con la parte estrecha apuntando hacia la cabeza de la U.B.M.

Debido a que este sensor esta instalado en una parte móvil de la U.B.M., es muy importante que la ruta del cable hacia el RPC este asegurado en todo punto critico y con la tolerancia necesaria para no sufrir daños durante el movimiento.

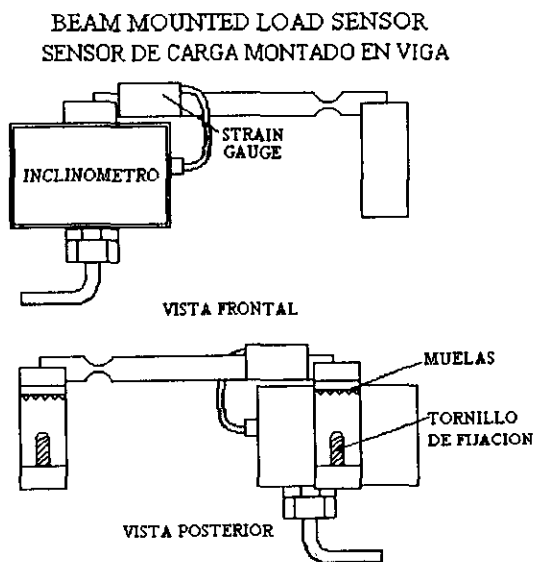


Fig. 6.5 Sensor de carga montado en viga

Se debe cuidar que al instalar el sensor, éste sólo tengan contacto en la viga con los tornillos de fijación y las muelas que están opuestas a los tornillos, en ninguna otra parte más.

El gancho que se ilustra al lado izquierdo del BMLS en la figura 6.6, sirve para colgar el cable y evitar dejar que el peso de éste afecte al conector. Este accesorio debe estar próximo al BMLS como se observa en la figura 6.6.

Es importante recordar que mientras no este instalado, el BMLS deberá tener una pieza de madera completamente recta, con la forma y dimensiones necesarias para mantener rígido el BMLS y así evitar un daño al equipo.

El cable del BMLS llega al RPC a través del orificio de la caja metálica de la torre estructural, tal como se indica en la figura 6.1

El BMLS se alimenta de la excitación del RPC y regresa la lectura mediante dos cables que se conectan en la tarjeta de entradas y salidas digitales y analógicas, como se ilustra en la figura 6.4. Dependiendo de la deformación en la viga, el BMLS proporciona una señal que varía de 0.25 a 25.00 mV.

Montado sobre el BMLS se encuentra el sensor de posición continuo o inclinómetro, en la figura 6.5 se señala el inclinómetro como la caja metálica donde se encuentra el conector del cable del BMLS. Los cables de la señal del inclinómetro van en conjunto con los del sensor de carga y se

conectan como se ilustra en la figura 6.4. Dependiendo de la posición de la viga durante el movimiento de la U.B.M. la señal varía de 0.25 hasta 25.00 mV.

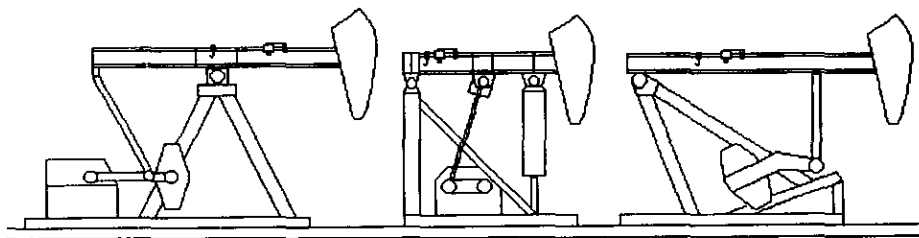


Fig. 6.6 Ubicación BMLS

### 6.2.3 SENSOR DE POSICION

El sensor de posición consiste en un interruptor de proximidad magnético que está montado sobre la base de la unidad de bombeo, complementado con un imán que se coloca en la cara interna del contrapeso que pasa frente al sensor.

El sensor se fija a la U.B.M. por medio de un perno disparado en la estructura, nunca en el reductor. El sensor se ajusta en su posición hasta que esté lo suficientemente cerca del paso del imán, para detectarlo. El cable del sensor se guía a través de la U.B.M. hasta salir por la parte posterior y pasar por el tubo licuatite, teniendo cuidado en que la ruta debe prevenir cualquier daño o accidente debido al movimiento durante la operación de la U.B.M.

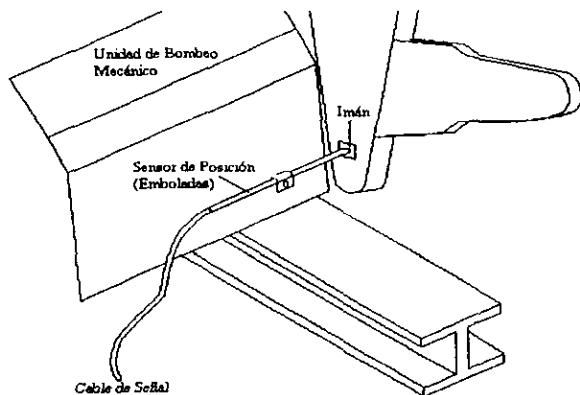


Fig. 6.7 Sensor de posición

Cada vez que el imán pase frente al sensor, este cierra un contacto, mandando la señal al RPC, lo cual indica que se ha cumplido una embolada. Después de varias emboladas se procede a indicar por medio del parámetro 6 el momento en que la unidad se encuentra en su posición más alta. De esta forma, mediante el conteo del tiempo transcurrido entre el cierre del contacto con la posición alta, el RPC determina donde se debe encontrar la unidad en cada instante del tiempo.

Al llegar el cable al RPC este debe entrar por el orificio adecuado y se conecta en la tarjeta de entradas y salidas analógicas y digitales, según la figura 6.4.

### 6.2.4 SENSOR DE FUGAS EN EL ESTOPERO

Para detectar una fuga en la parte superior del estopero se instala el sensor que se muestra en la figura 6.8. La posición del sensor se puede observar en la figura 6.1, el sensor se fija mediante dos cables que pasan por el espacio entre el preventor y el porta hules y se aseguran con los prisioneros. La tensión de estos cables debe ser la suficiente para asegurar un correcto sellado del sensor con el estopero.

En las caras internas del sensor se debe colocar una capa de sellador antes de cerrarlo perfectamente. Dependiendo del tipo de empaque, es necesario el paro de la U.B.M. para poder colocar el sensor. En la salida del desfogue se conecta una manguera que dirige el excedente y el gas hacia el contrapozo.

Para la conexión de los cables que llevarán las señales a la RPC, es necesario destapar el condulet tipo T y realizar la interconexión entre los cables del sensor y los cables hacia el RPC, empatando el cable blanco del sensor con el blanco del RPC y el cable negro del sensor con el azul del RPC.

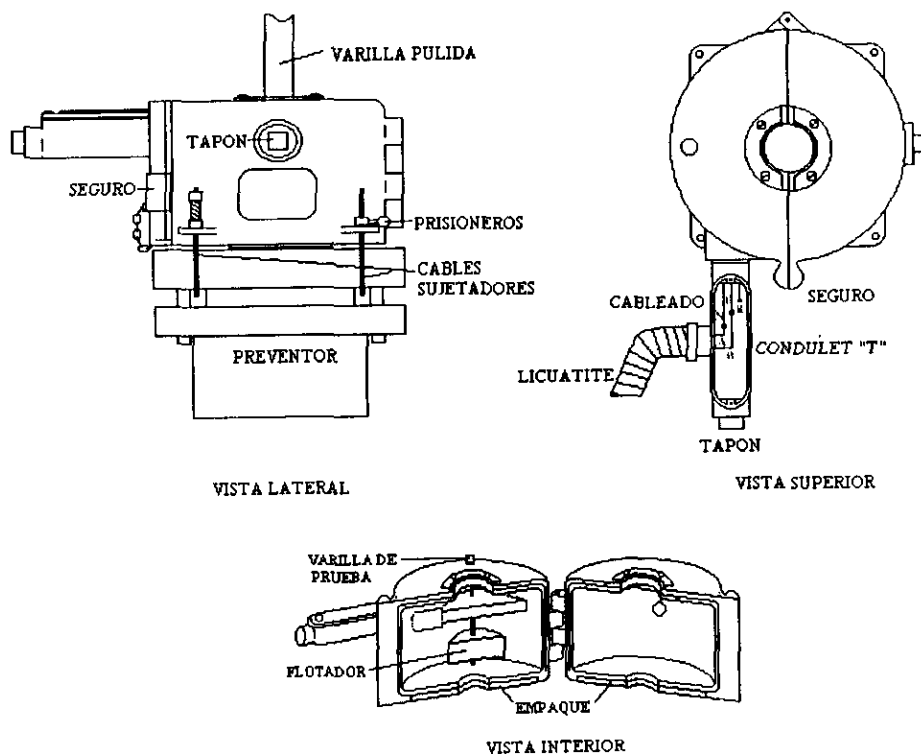


Figura 6.8 Detector de fugas en el estopero

Al colocar el sensor sobre el estopero cualquier fuga en el mismo será contenida en el detector, de tal manera que, cuando el nivel del fluido eleve el flotador hasta el límite, se cerrará el contacto mandando esta señal al RPC.

Una vez ocurrida una fuga es necesaria la limpieza del sensor para asegurar su funcionalidad. Después de realizar las pruebas de aceptación es necesario deshabilitar la varilla de prueba, para prevenir falsas alarmas.

### 6.2.5 SENSOR DE PRESION

El sensor de presión instalado en este proyecto es de la marca WIKA modelo ECO-TRONIC, la figura 6.9 ilustra el sensor de presión. El sensor se alimenta con dos hilos del RPC por medio de la tarjeta de entradas y salidas analógicas y digitales, para regresar por los mismos cables una señal de 4-20 mA proporcional a la presión en la línea de descarga, el rango de medición del sensor es de 0-750 PSI y de 0-1000 PSI, dependiendo de las necesidades del pozo.

Para montar el sensor es necesario hacer el arreglo que se muestra en la figura 6.10, el cual consta de un niple, una válvula y una reducción para conectar el sensor; el arreglo va enroscado y soldado sobre un niple en la línea de descarga. Todo el material utilizado en el arreglo es de alta presión para cumplir con las especificaciones de seguridad de PEMEX. Posteriormente se conectan los cables en la caja para este fin y teniendo en cuenta el colocar el tubo licuatite de tal forma que quede lo más hermético posible.

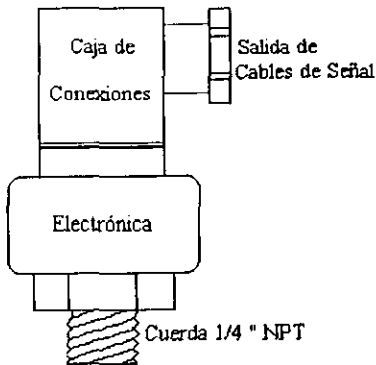
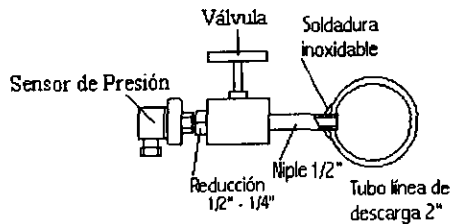
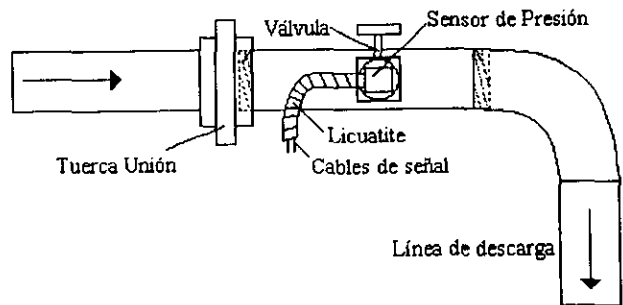


Fig. 6.9 Sensor de Presión



CORTE SOBRE TUBERIA

Fig. 6.10 Instalación típica de Sensor de Presión

La ubicación del arreglo debe ser en un lugar donde no quede expuesto a golpes por maniobras en el pozo, ya que por ser un equipo electrónico es susceptible a daños por golpes fuertes.

## 6.2.6 DETECTOR DE PERDIDA DE FASE

Cuando ocurre la pérdida de una de las fases que alimentan al motor de la U.B.M., debido a una compensación de voltajes en el transformador, el motor continua trabajando con dos fases. Si no se detecta a tiempo esta situación, se producen daños al motor que incluso pueden quemarlo. Para detectar a tiempo esta contingencia se instala el detector de pérdida de fase como parte del sistema.

El detector se muestra en la figura 6.3 y se complementa con el relevador R1 para evitar que el motor siga trabajando cuando exista una pérdida de fase y una falla en el RPC al mismo tiempo, esto se debe a que cuando el RPC esta apagado transfiere el control de la unidad al modo manual, pero colocando a R1 en la alimentación del RPC podemos asegurar que no se irá a la transferencia de control si existe pérdida de fase.

### CARACTERISTICAS

- Marca: Solid State Advanced Controls
- Modelo: RLM911
- Rango de operación: 400-480 VCA
- Desbalance de voltajes: 2-6%
- Tiempo de acción: 2-20 segundos

Al detectar la pérdida o desbalanceo de voltajes el detector cerrará su contacto normalmente abierto mandando esta señal a la entrada digital DI 3 del RPC, el cual esta configurado para que al presentarse esta situación mande la unidad a paro hasta que se corrija la falla y se dé la orden de arranque.

La pérdida de alguna de las fases que alimentan al RPC ocasiona el apagado del mismo, reflejándose en la estación remota como pérdida de comunicación con el pozo. Al recuperarse la energía se podrá observar en la estación maestra como el RPC señala la indicación "DI 3 CLOSED ALARM" que esta relacionada a la pérdida de fase.

Esta protección trabaja única y exclusivamente cuando el selector HOA esta la posición de automático, en el modo manual queda anulada la protección.

## 6.2.7 ESTACION MAESTRA

La Estación Maestra es el equipo que reúne la información proveniente de todos los RPC instalados y tiene la facultad de controlar la operación de los pozos a consideración del operador.

### a) CARACTERISTICAS.

La estación maestra o central esta constituida de los siguientes componentes:

- Modulo de comunicaciones (incluye radio, fuente y módem)
- Antena y cable
- Torre de comunicaciones
- Computadora personal Pentium
- Monitor a color VGA



- Impresora láser
- Interface RS232
- Software de monitoreo, control de análisis "8575 CMCS"

La disposición de los equipos se muestra en la figura 6.11. La antena es del tipo omnidireccional y esta orientada hacia la estación repetidora de Mecatepec, la antena esta montada sobre una torre arriostrada de 18 metros de altura en las inmediaciones de las oficinas de Pemex Exploración y Producción. En el interior de las oficinas de PEP se localiza el cubículo que aloja a los demás equipos que componen la estación maestra.

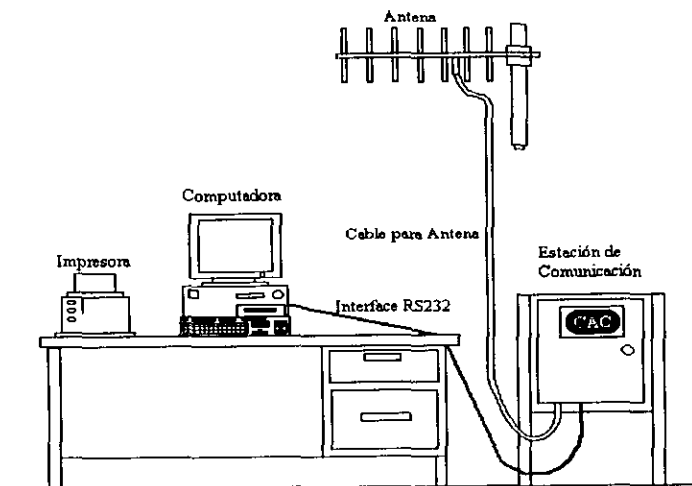


Fig. 6.11 Estación maestra, configuración

## b) INSTALACION

Primeramente se debe contar con una torre de comunicaciones para montar la antena omnidireccional, posteriormente se enruta el cable de transmisión hasta el sitio donde se encuentra la estación de comunicaciones.

En el cubículo designado para la estación maestra se instalan los demás equipos que conforman la estación. Se conecta el cable de la antena en el conector de la parte inferior de la estación de comunicaciones.

Internamente la estación de comunicaciones esta formada por una fuente de alimentación, un módem FSK y el radio de telemetría. El enlace entre el módem y el puerto serial de la computadora se realiza con una interface RS232 DB25-DB9.

Las conexiones de la computadora y sus periféricos se realizan de manera estándar o convencional.

El encendido de la estación de comunicaciones se encuentra en el interruptor que esta en la fuente de alimentación.

El software de aplicación, Central Monitoring and Control System 8575 "CMCS" (Sistema Central de Monitoreo y Control) se instala de manera sencilla, copiando los archivos de los discos flexibles del software.

c) OPERACIÓN.

La estación maestra, representada por el CMCS, es el equipo que recibe la información proveniente de cada uno de los RPC instalados en campo, al mismo tiempo tiene la facultad de enviar comandos de control a los mismos.

El CMCS consta de una serie de pantallas con funciones específicas. La pantalla principal o de escaneo es donde se encuentra ordenados por orden alfabético todos los pozos que están dados de alta en el sistema. El número de páginas de monitoreo depende del número de pozos, considerando que por pantalla se pueden monitorear 40 pozos y hasta 250 pozos en total. En esta pantalla se tiene la información más importante de cada uno de los pozos y aparecen como abreviaturas, las cuales son:

- \*= Monitoreo suspendido.
- R= Unidad operando.
- I= Unidad inoperante.
- + = Error de máximo tiempo de operación.
- F= Falla en el pozo.
- A= Información de falla salvada.
- OFF= Unidad inoperante hasta restablecer.
- SOFT= Tiempo programado de operación.
- XFER= Control transferido a manual.
- C= Comunicación menor a 90%.
- T= Prueba de escaneo.

Comenzando en el pozo número 1, el sistema inicia la secuencia de monitoreo en orden ascendente. El CMCS solicita la información general del pozo en turno, si no se tiene respuesta se vuelve a hacer la solicitud de datos, considerando un tiempo de respuesta establecido. El número de intentos que el CMCS realiza para establecer contacto, queda establecido por el operador y puede ser de una a 5 veces.

Una vez establecida la comunicación con el pozo, en la línea correspondiente aparecen las leyendas que identifican el estado actual del pozo. Si por alguna razón después de reintentar las veces establecidas no se obtiene la respuesta del RPC, aparece la leyenda " NO RESP" (Sin respuesta).

El CMCS cuenta con opciones de comandos de funciones accesibles con las teclas de funciones, estas opciones se encuentran señaladas en la parte inferior de la pantalla principal y para acceder a ellas solo se presiona la tecla correspondiente, para salir de las funciones se utiliza la tecla "ESC". Las funciones son las siguientes:

I) F1= UTILITIES (Utilidades).

Al oprimir la tecla F1 se despliega el menú de los procesos de utilidades usados para la configuración y acciones del CMCS. Las funciones de este menú son: añadir, eliminar o renombrar un pozo, habilitar el despliegue de mensajes, configurar tiempo y día del CMCS, configurar los parámetros del CMCS y lista de reportes disponibles.

## II) F3= ALL CALL (Llamada general)

Al oprimir la tecla F3 aparece el menú de comandos que pueden ser aplicados a todos los pozos simultáneamente. Se cuentan con 8 comandos para esta función: parar todos los pozos, restaurar los valores de comunicación de CMCS y RPC, borrar los valores máximos y mínimos guardados, transmitir un parámetro, sincronizar el tiempo y fecha de los RPC con el CMCS, borrar todos los errores, prueba de lámpara a todas las unidades por 15 segundos y configurar la hora del día en que comienza un nuevo periodo de reportes. Se debe tener mucho cuidado con esta función ya que se puede detener la operación de TODAS las unidades al mismo tiempo, algo que NO es permitido.

## III) F5= TEST SCAN (Prueba de monitoreo)

Esta función permite al operador señalar ciertos pozos (hasta 10) para tener prioridad de escaneo por medio de la asignación del estado de prueba del monitoreo. Después de cada 10 ciclos de monitoreo, los pozos señalados son monitoreados una vez más adicionalmente. Para activar la función se debe de posicionar el cursor o apuntador de selección de pozos (<) en el pozo deseado y oprimir F5 y ENTER. Para desactivar la función se repite la misma operación.

## IV) F7=SCAN BYPASS. (Desvío de monitoreo)

Esta función permite al operador cambiar cualquier pozo del estado de monitoreo al estado de no monitoreo o viceversa. Esto es de gran utilidad cuando algún pozo está *inoperante por periodos prolongados*, ya sea por mantenimiento o reparación. Al colocar un pozo con desvío de monitoreo, no se tendrá información sobre el mismo, ya que se nulifica la comunicación con el pozo. De esta forma el ciclo de monitoreo ignorará los pozos marcados y reducirá el tiempo del ciclo de monitoreo. No hay límite para el número de pozos que pueden tener el estado de desvío de monitoreo.

## V) F9= KEY-ON WELL (Acceso al pozo)

Al seleccionar esta función aparecen en la pantalla el menú de comandos que pueden ser usados para observar datos o dar comandos de acción a un pozo en particular, seleccionado por el operador con el apuntador de selección de pozo. Las opciones que tiene esta función son:

## 1. - Remote Keyboard &amp; Display (Teclado y despliegue remoto).

Esta función permite que el controlador del pozo sea operado en forma remota usando un simulador del teclado y pantalla de despliegue que aparecen en la pantalla de la estación maestra. Se pueden introducir comandos, valores de parámetros y visualizar mensajes de la misma manera que en sitio con el analizador portátil.

Para operar los comandos del teclado se pulsan las letras correspondientes a los comandos: X para examinar parámetros, M para modificar parámetros, A para abortar una acción, E para borrar errores, P para despliegue de posición, O para arrancar la U.B.M., C para borrar, N para despliegue normal, e I para tiempo de paro temporal.

## 2. - Parameter Tables (Tablas de parámetros)

Esta función es ejecutada para desplegar los valores actuales de los parámetros del pozo seleccionado. Dentro de esta función existen 13 opciones de páginas de tablas de parámetros. La selección de cada página se hace al oprimir el número correspondiente a la opción deseada.

Cada una de las páginas tienen las funciones de visualizar, modificar o imprimir los parámetros que contiene. En el menú de las 13 páginas, al seleccionar la opción 0, el sistema imprimirá todas las 13 tablas de parámetros automáticamente. Todas las páginas cuentan en la parte inferior con las instrucciones para imprimir, actualizar, salir, etc.

A continuación se describe los aspectos básicos de cada tabla de parámetros:

- a) PUMP-OFF CONTROL/ MOTOR MOISTURE (Control de Paro de Bomba/ Humedad del Motor). Despliega los valores actuales del RPC y de archivo de los parámetros P20, P21, P23, P24, P25 y P26 relativos a la configuración del método de control y sus acciones, así como la configuración y habilitado de la protección contra humedad en el motor.
- b) LOADS & LOAD LIMITS (Carga y Limites de Carga). Incluye los valores actuales del controlador y archivo de los parámetros P210, P211, P212, P214, P222, P223 y P225 y reportes de baja, alta y margen de carga.
- c) DAILY & AVERAGE RUN TIMES (Tiempo de Operación Diario y Promedio). Contiene la información de los parámetros P237, P238 y P429, reporta los tiempos de operación diaria del pozo acumulado de los últimos 7 días, por día y el promedio del tiempo de operación de los últimos dos días.
- d) CYCLE RUN TIMES (Tiempos de Ciclos de Operación). Reporta los tiempos de operación de los últimos 17 ciclos del controlador y archivo.
- e) 8500 STATUS AND ACTION (Estados y Acciones del RPC). Incluye los valores de los parámetros P204, P205, P230, P231, P260, P261 y los reportes de tiempo y fecha de la última falla de alimentación y cambio del control.
- f) COMMUNICATION PARAMETERS (Parámetros de Comunicación). Incluye los valores de los parámetros P2, P601, P602, P609, P610 y P611 y reporta el número de mensajes enviados al CMCS desde el ultimo restablecimiento y la actual versión del software.
- g) AIR BALANCE/ PEAK ENERGY (Acrobalanceo/Pico de Energía). Despliega los parámetros y valores calculados usados para el control de los pozos que utilizan compensación aerobalanceada (P40 al P46, P178 y P179). Estas pantallas también contienen los parámetros relacionados con el control de picos de energía.
- h) SENSOR TYPE/CALIB & FAULT ACTION (Tipo/Calibración de Sensores y Acción de Falla). Abarca los parámetros relacionados a la configuración de los sensores de posición y de carga, así como la configuración de la acción por falla de los mismos.
- i) AUXILIARY I/O (Entradas/Salidas Auxiliares). Despliega la configuración de las entradas digitales y los valores de los acumuladores.

- j) EXTRA ANALOG INPUTS USED AS DIGITAL (Entradas Analógicas Adicionales Usadas Como Digitales). Despliega el estado de las entradas adicionales para la tarjeta de entradas y salidas analógicas auxiliares cuando están usadas como digitales.
- k) EXTRA ANALOG INPUTS CHANNELS 1-3 (Entradas Adicionales Canales 1, 2 y 3). Abarca las páginas 11, 12 y 13 de las tablas de parámetros. Estas páginas despliegan los valores de los parámetros relacionados a las entradas analógicas, como son: número de decimales, etiqueta de medición, escala, tipo de entrada, límites y acciones por violación de límites.

3. - Collect 8500 Dynamometer Data (Recolección de datos dinamométricos).

Esta función permite al operador recolectar los datos de las cartas dinamométricas desde la memoria del controlador del pozo seleccionado. Si en el CMCS esta cargado el software de análisis de fondo, entonces la opción 3 del menú de Key-on Well aparecerá como "Pump Analysis & Graph Functions"(Análisis de bomba y funciones gráficas). Las funciones de las cartas dinamométricas del menú son las siguientes:

- a) Start-Up & Shut Down in Percent (Arranque y paro en porcentaje). Grafica los datos del último arranque y paro en porcentaje. Incluye el cuadrante de control. La gráfica de arranque aparece en color verde y la de paro en rojo.
- b) Start-Up & Shut Down in Pounds (Arranque y paro en libras). Grafica los datos del último arranque y paro en libras. Incluye los límites mínimo y máximo de carga. La gráfica de arranque aparece en color verde y la de paro en rojo.

Al seleccionar las opciones c, d o e aparecen en la parte inferior de la pantalla las opciones para el tipo de graficación: P= Percent (Por ciento) y L= Pounds (Libras). En caso de tener instalado el software de análisis, las opciones serán: P= Percent (Por ciento) y L= Pounds (Libras), A= Allowable loading (Carga permisible), N= Net Torque (Torque Neto) y D= Downhole (De fondo). Al hacer la selección del tipo de gráfica deseada, se debe seleccionar también el número de curvas deseadas, ya sea E= Entire (Continua, últimas 5 curvas), o de 1-3 Cards (de una a tres cartas).

- c) Start-Up (Arranque). Transfiere una, dos o tres (hasta 27.5 segundos) de las más recientes cartas de arranque, guardadas en la memoria del RPC.
- d) Shut Down (Paro). Transfiere una, dos o tres (hasta los últimos 60 segundos) de las más recientes cartas dinamométricas de paro de la unidad.
- e) Live-action Snapshot (Acción instantánea). - Transfiere una, dos o tres (hasta 60 segundos) las cartas en tiempo real para su despliegue.

Después de que la graficación ha terminado, aparecen en la parte inferior de la pantalla las opciones de imprimir, salvar, salir o continuar con la graficación.

#### 4. - Replay 8575 stored well library (Visualizar la librería del pozo almacenada).

Esta función permite al operador desplegar las cartas dinamométricas guardadas en la librería del pozo en el CMCS. Como se vio anteriormente, el operador tiene la posibilidad de guardar las cartas de su interés. Se pueden almacenar hasta 8 cartas por pozo.

El noveno espacio para archivar en la librería esta reservado para el "Fault Buffer" (Acumulador de falla), donde se guarda la carta dinamométrica de paro automáticamente por medio del "Autosave" (Auto salvado). Cuando una falla de autosalvado se presenta en un pozo, aparece la letra A en la línea del pozo en la pantalla de monitoreo. Esto significa que en el acumulador hay una carta de falla, la cual debe ser analizada y a criterio del operador salvarla en alguno de los ocho espacios disponibles de la librería, o borrarla para dejar el acumulador disponible para otra carta de falla. Si el acumulador esta ocupado cuando se presente otra falla, la carta no se salvará.

Las condiciones que originan una carta de autosalvado son:

##### a) Autosalvación mostrada en libras:

1. - Violación por baja carga
2. - Violación por alta carga
3. - Bajo porcentaje de carga
4. - Falla en el interruptor de posición
5. - Falla por múltiple interruptor de posición
6. - Falla en el interruptor de posición borrada
7. - Falla por múltiple interruptor de posición borrada
8. - Bajo margen de carga
9. - Falla del sensor de posición continuo
10. - Falla del sensor de posición continuo borrada

##### b) Autosalvación mostrada en porcentaje:

1. - Falla de control
2. - Paro inmediato

#### 5. - Pump Information (Información de la bomba).

Esta función contiene dos páginas de información sobre datos específicos de la unidad de bombeo mecánico, datos del pozo y su producción. Existe una tercera página para apuntes como hoja de texto.

Parte de la información es introducida por el operador y la otra parte es resultado del análisis de fondo, torque neto y carga permisible, si la opción esta instalada. Con el software de análisis cargado, es importante llenar todos los datos requeridos para los cálculos, de lo contrario el análisis no se realizará, de la misma forma, si los datos son erróneos, el programa arrojará resultados erróneos. Los comandos para esta función se encuentran en la parte inferior de la pantalla.

Para introducir o modificar un dato en estas pantallas se procede como sigue: se utiliza la tecla TAB para avanzar de dato en dato hasta el campo del dato deseado (para regresar se oprime SHIFT más TAB). Una vez posicionado el cursor en el campo del dato deseado se oprime la tecla M de MODIFY (modificar), se introduce el valor y se acepta con la tecla ENTER.

Cuando un análisis de fondo, torque o carga permisible es realizado, los datos que son producto del análisis cambian su valor dependiendo de las condiciones del pozo.

6. - CMCS Utilities (Utilidades del CMCS).

Esta función contiene un menú para cambiar algunos parámetros de comunicación del pozo, para afinar la sintonización del sistema en la variación de las condiciones de transmisión.

Los parámetros que se pueden modificar son:

- 1) Alter current Baud Rate (modificar la actual velocidad de transmisión)
- 2) Alter current Pre-Key delay (modificar el actual retardo Pre-Key)
- 3) Alter current PostKey delay (modificar el actual retardo PostKey)
- 4) Alter min. Run time (modificar el tiempo de operación mínimo)
- 5) Alter max. Run time (modificar el tiempo de operación máximo)

7. - List Current 8500 Faults (Lista de fallas actuales del RPC). Esta función permite al operador observar cualquier falla que esta ocurriendo actualmente en el pozo. Esta es una operación de tiempo real y no un dato del estado guardado en la memoria del controlador.

8. - Parameter Backup/ Restore (Respaldo/restauración de parámetros del RPC). Esta utilidad es usada para leer todos los valores de los 650 parámetros del controlador al CMCS para guardarlos en un archivo maestro de parámetros del pozo en el disco duro.

A esta acción se le llama respaldo de parámetros del RPC y es usado para actualizar los valores de los parámetros del pozo seleccionado para que, en caso de que el RPC tenga fallas, se puedan restaurar estos valores del archivo del CMCS al controlador.

## 6.2.8 SISTEMA DE COMUNICACIONES

### a) COMPONENTES DEL SISTEMA:

1. - 70 Unidades de Monitoreo (RPC) con:

- a) Radio Motorola RNET 450S, sintetizado Modelo K24NXF1001A, de 4 Watts de Potencia.
- b) Antena Yagi direccional de 12 dB de ganancia. UHF
- c) Cable heliax y accesorios.

2. - Dos Estaciones repetidoras (Mecatepec y Polutla), cada una con:

- a) Radio repetidor Kenwood modelo TKR-820K1. 450-470 MHz. 20 Watts.
- b) Duplexor Celwave de 6 cavidades, 440-470 MHz
- c) Antena Hustler omnidireccional de 6 dB UHF.

d) Cable heliax y accesorios.

3. - Estación Maestra de control con:

- a) Torre arriostrada de 18 metros de altura
- b) Radio Motorola RNET 450S, sintetizado Modelo K24NXF1001A, de 4 Watts de Potencia.
- c) Antena Yagi direccional de 12 dB ganancia
- d) Cable heliax y accesorios.

b) DESCRIPCION DEL SISTEMA

El sistema esta compuesto por los equipos descritos en el apartado anterior y están distribuidos como lo muestra la figura 6.12

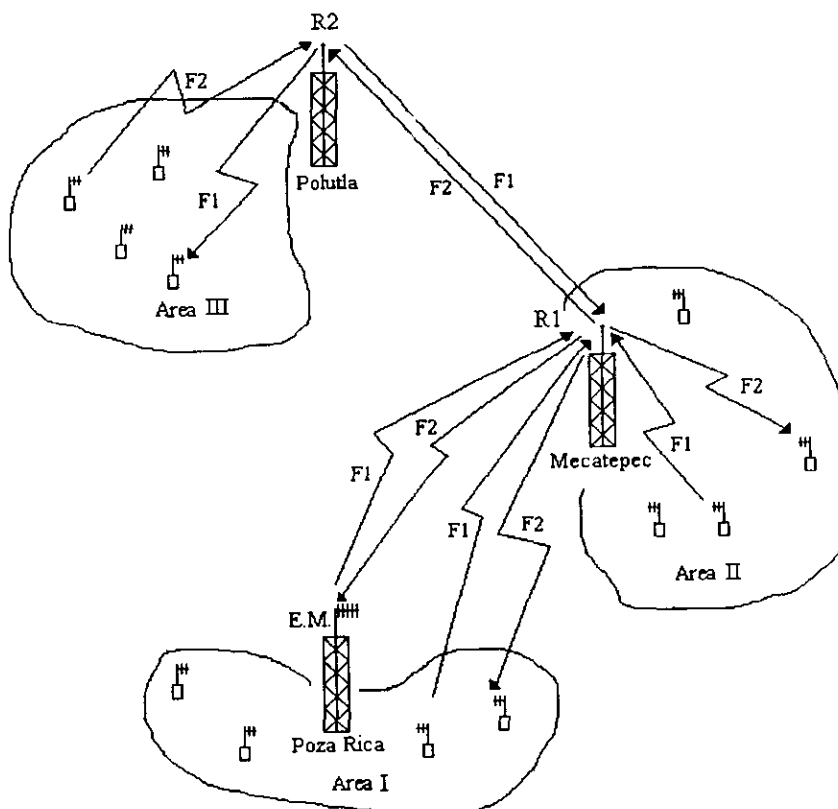


Fig. 6.12 Sistema de comunicaciones

La Estación Maestra (EM) de Control esta ubicada en las oficinas del departamento de Operación de Pozos e Instalaciones de Pemex en Poza Rica, la cual recibirá y transmitirá la información de la estación repetidora en Mecatepec.



La primera Repetidora (R1) esta ubicada en las instalaciones del departamento de telecomunicaciones en el cerro de Mecatepec y cubre los pozos de la región conurbana y Mecatepec (Zonas I y II), así mismo activará la repetidora de Polutla.

La segunda repetidora (R2) se localizará en las instalaciones de telecomunicaciones en el cerro de Polutla y cubrirá las unidades en el área de Papantla (Zona III).

### c) SECUENCIA DE OPERACION

- a) La Estación Maestra transmite la solicitud de datos en la frecuencia F1 a la repetidora R1, que a su vez activará a la repetidora R2 para que transmitan a las zonas I, II y III, respectivamente.
- b) Si el RPC solicitada esta en la zona I o II, el RPC contestará a la E.M. vía Mecatepec con la frecuencia F2.
- c) Para el caso en que el RPC se encuentre en la zona III, la solicitud la enviará R2 en F2 y contestará el RPC por F1 a R2 para que la transmita a R1, posteriormente R1 lo transmitirá a la EM por F2.

### 6.3. PROGRAMACION DE RPC (INICIALIZACION)

Los controladores RPC no cuentan con teclado ni display para su programación, esto es con la finalidad de que *personal no autorizado realice cambios o interfiera en la operación del equipo.*

La programación y visualización del RPC se realiza mediante un programador portátil. El programador portátil tiene la forma de una carpeta metálica, lo cual lo hace apto para uso rudo. Cuenta con un teclado de 32 teclas, 10 alfanuméricas y 22 funcionales (comandos), un display de gráficos aumentado (Enhanced Graphics Display) y una interface que se conecta al puerto del RPC.

La programación del RPC tiene que ser en forma local, ya que hay varios parámetros que necesitan una visualización local por parte del operador, además de los parámetros de comunicación que permiten el enlace con la estación maestra. Es preferente que cuando se programe el RPC se tengan instalados todos los sensores que componen el sistema y la U.B.M. trabajando en forma manual.

El programador portátil sirve como intermediario entre el operador y el CPU (unidad central de proceso) del controlador, de tal forma que la información generada en la pantalla, así como las acciones, corresponde al RPC y no al programador en sí.

La pantalla principal o de estados del CMCS contiene la siguiente información:

- Tiempo de operación del día
- Operación de ayer
- Estado actual de la U.B.M.
- Tiempo de operación actual
- Errores presentes
- Posición del POC (punto de ajuste y actual)
- Carga del POC (punto de ajuste y actual)

- Número de emboladas para paro temporal
- Velocidad de la unidad (emboladas por minuto)

Adicionalmente, al oprimir la tecla "MENU", se despliega la pantalla del menú principal, donde vienen las diez diferentes pantallas con sus funciones. Estas pantallas son:

1. Dynamometer Cards (Cartas dinamométricas). Donde se encuentran los comandos para graficar las diferentes cartas que se comentaron anteriormente. Para seleccionar la opción deseada, basta con oprimir el número correspondiente y luego ENTER. Para salir se oprime EXIT hasta la pantalla que se desee.
2. Cycle Run Times (Tiempos de ciclos de operación). La opción del menú principal nos muestra la pantalla donde aparecen los últimos 17 tiempos de ciclos de operación y el actual tiempo del ciclo de operación si la unidad esta operando. Se observa también el porcentaje del actual ciclo de operación, el tiempo máximo límite y el tiempo mínimo límite de operación. Al oprimir la tecla "enter" se graficará el historial en una gráfica de tiempo contra ciclos.
3. Daily Run Times (Tiempos de operación diarios). La opción 3 del menú principal permite al operador visualizar el tiempo de operación de los pasados 29 días y el tiempo de operación del día actual. También se puede fijar el límite máximo de operación diario, ver el promedio y la gráfica tiempo vs. días.
4. Load vs. Time Graph (Gráfica carga contra tiempo). Esta opción nos permite visualizar la gráfica carga contra tiempo en tres intervalos de tiempos: 30, 45 y 60 segundos. Esta gráfica es utilizada para determinar fugas en las válvulas de la bomba.
5. Setup Menu (Menú de configuración). Esta pantalla despliega cuatro grupos de parámetros relacionados con la configuración del RPC, los cuales son:
  - a) Time and Date Setup (Configuración de hora y fecha)
  - b) Pum-off Control Setup (Configuración de control de paro). Contiene los parámetros relacionados con el método de control, tales como: tiempo de paro temporal, posición en %, carga en %, número de emboladas consecutivas para paro, retardo en arranque de bomba, método de control, configuración del punto alto de carrera y tipo de sensor de posición.
  - c) Communication Setup (Configuración de comunicación). La pantalla despliega lo referente a los parámetros de comunicación, como son: velocidad de transmisión, formato, retardo de pre-key, retardo de post key y tiempo máximo de transmisión.
  - d) Command Menu (Menú de comandos). Esta pantalla contiene todos los parámetros de comandos que el operador puede usar. Un parámetro de comandos es aquel que al modificarlo se efectúa una acción específica como borrar un historial, borrar límites, actualizar valores de velocidad, etc. Esta lista de parámetros nos facilita su modificación sin tener que ir a buscarlos a la tabla de parámetros.

6. **Parameter Tables (Tabla de parámetros).** La selección 6 del menú principal, tabla de parámetros, abarca todos los parámetros que maneja el RPC, comenzando con el P001 en orden ascendente, mostrando el valor actual del parámetro. El cursor en forma de > señala el parámetro seleccionado. En la parte inferior de la pantalla aparecen las instrucciones para manejar esta función ("use up/dn o escriba el número para seleccionar, oprima modify para cambiar, exit para salir"). Al oprimir modify aparecerá otra pantalla con las opciones de valores para el parámetro, así como las instrucciones correspondientes.
7. **Loads and Load Limits (Cargas y límites de carga).** Esta pantalla aloja toda la información actual de carga y los límites de la misma, además de las acciones por violación de carga y margen de carga. Para modificar los límites o acciones se procede de igual forma que el punto anterior.
8. **Auxiliary I/O Status (Estados de las entradas/salidas auxiliares).** Con esta pantalla el operador puede observar el estado de los ocho canales de entradas o salidas digitales y los dos canales de entradas analógicas. La pantalla solo muestra el estado de los canales, las modificaciones en las configuraciones se realizan con los parámetros correspondientes.
9. **Fault Status (Estado de Fallas).** Si el sistema tiene una falla, el controlador lo señalará con la indicación intermitente "FAULT", desplegada en la parte superior izquierda de la pantalla. Por su parte la pantalla de estados indicará en la línea de errores el error presente. Otra manera más rápida de visualizar todas las fallas presentes en el sistema en forma de listado es mediante la pantalla de estado de fallas, opción nueve del menú principal. También se visualizará el estado actual de la U.B.M..
10. **User Defined Screen (Pantalla definida por el usuario).** En esta pantalla el operador puede seleccionar los doce parámetros de mayor interés para él. Solo se posiciona el cursor en el número de la lista, se oprime modify, se introduce el número de parámetro y se oprime enter. De esta manera, al acceder a esta pantalla se visualizarán los parámetros y sus valores de los que el operador haya seleccionado.

Una vez descritas las funciones que ofrece el RPC, comentaremos sobre el manejo y listado de los parámetros y sus valores para inicializar un RPC.

Para acceder a un parámetro deseado (ver lista de parámetros en el apéndice A del manual de la referencia 0.1) se puede hacer con las diferentes pantallas descritas anteriormente. Para seleccionar un parámetro o una posición en la pantalla se utilizan las teclas con las flechas o las teclas Pg/up y Pg/dn para avanzar más rápidamente y se aceptan con la tecla ENTER. Si se desea modificar el valor de un parámetro se oprime la tecla MODIFY, se introduce el nuevo valor y se acepta con la tecla ENTER.

Cuando un error o falla se presenta, la indicación en el RPC no desaparecerá hasta que, una vez eliminada la falla física, se dé la orden de borrar con la tecla CLEAR ERROR.

Es posible forzar un estado en la U.B.M. mediante las teclas PUMP-ON, cuando se fuerza el arranque de la unidad, IDEL TIME cuando se quiere un paro temporal forzado.

A continuación se enlistan los parámetros y sus valores que deben introducirse al RPC para configurarlo para nuestro sistema:

PARAMETRO		
No.	DESCRIPCION	VALOR
2	Dirección de comunicación	Ver asignación
3	Hora actual	En forma militar
4	Fecha actual	Actual
5	Día actual	Actual
* 6	"Top Of Stroke (TOS)" Posición alta de la carrera	Ver manual
20	Tiempo mínimo de recuperación "Idle Time"	00:05:00
21	Línea límite de posición en % del método de control "POC"	70
23	Línea límite de carga en % del método de control "POC"	30
24	Emboladas máximas consecutivas permitidas para mandar a "Idle Time"	2
25	Tiempo de retardo para adquisición de datos al arrancar la U.B.M.	0:00:30
26	Método de control de bomba "POC"	0
35	Tipo de sensor de carga (BMLS)	1
200	Acción para la falla del sensor de posición y/o carga	3
210	Límite bajo de carga en libras	Ver diseñobomba
211	Límite alto de carga en libras	Ver diseñobomba
213	Violaciones de carga consecutivas antes de tomar acción	3
214	Acción por violación de carga	3
283	Entrada Analógica 1 (AI 1) Sensor de presión. Tipo de entrada.	2 (4-20mA)
284	Número de decimales AI 1	0
285	Etiqueta de la AI 1. Libras por pulgada cuadrada (PSI)	2 (PSI)
286	Escala baja de la AI 1 (cero PSI)	0
287	Escala alta de la AI 1 (1000 PSI) (Depende del sensor)	1000
288	Límite bajo de la AI 1. Valor (PSI)	Según operación
289	Bajo valor de la AI 1. Acción de Alarma 1	0
290	Bajo valor de la AI 1. Acción de Alarma 2	3
291	Límite alto de la AI 1. Valor (PSI)	Según operación
292	Alto valor de la AI 1. Acción de Alarma 1	0
293	Alto valor de la AI 1. Acción de Alarma 2	3
496	Configuración de las entradas analógicas usadas	1 (sólo AI1)
560	Entrada Digital 1, Fugas en estopero (DI 1), acción al estar cerrada	3
561	Entrada Digital 1 (DI 1) acción al estar abierta	7
562	Entrada Digital 2, Puerta metálica (DI 2), acción al estar cerrada	7
563	Entrada Digital 2 (DI 2) acción al estar abierta	3
564	Entrada Digital 3, Falla motor (DI 3), acción al estar cerrada	3
565	Entrada Digital 3 (DI 3) acción al estar abierta	7
601	Bits de datos y paro remotos (8 datos, 1 paro)	2
602	Velocidad de transmisión (1200 BPS)	7
609	Radio pre-key (en ticks)	60
610	Radio post-key (en ticks)	12
619	Tipo de sensor de posición	1

Tabla 6.1. Valor de Parámetros de iniciación

\* El parámetro 6 debe modificarse una vez que la unidad haya trabajado unos minutos.

## 6.4. INICIALIZACION ESTACION MAESTRA.

Posterior a la instalación de los equipos en forma local (RPC y sensores) y la estación maestra, se realiza la inicialización de ésta última.

Es importante que los RPC's instalados estén configurados con los parámetros de comunicación acordados para el sistema, estos son: velocidad de transmisión (1200 bauds), retardo de prekey y post key, formato de datos (8 de datos y 1 de paro) y la dirección de comunicaciones que le corresponda de acuerdo al listado definido por el operador (cada RPC tiene su propia identificación con la estación maestra, por lo cual no se deben repetir). Si estos parámetros no están programados en el RPC no se podrá establecer comunicación con él.

Después de instalar el software CMCS se tiene que ir dando de alta cada uno de los pozos en el sistema. Como forma inicial el CMCS tiene cargado un pozo ficticio para generar archivos iniciales. Se procede a eliminar este pozo por medio de la función F1 UTILIDADES, se oprime la tecla 2 "BORRAR UN POZO" y aparece una leyenda "INTRODUZCA EL NÚMERO DE LISTA DEL POZO PARA BORRAR", se tecldea el número del pozo y se oprime ENTER, aparecerá un mensaje de confirmación, si esta de acuerdo se oprime Y de lo contrario se oprime N.

Una vez limpia la lista de pozos se procede a dar de alta pozo por pozo como sigue:

- a. En la pantalla principal o monitoreo se oprime la tecla F1.
- b. Se oprime la tecla con el número 1 "AÑADIR UN NUEVO POZO". Un mensaje "INTRODUZCA NOMBRE 5-16 CARACTERES" es desplegado en la parte inferior de la pantalla.
- c. Se escribe el nombre del pozo y oprima ENTER cuando este correcto. Un mensaje "INTRODUZCA DIRECCION DE POZO 1 - 4093" significa que el nombre del pozo fue aceptado.
- d. Se escribe el número de la dirección de comunicación asignada al pozo por el operador y se acepta con ENTER.
- e. Aparece un mensaje de confirmación con el nombre y dirección del pozo, para aceptar se oprime Y, para cancelar se oprime N.

El sistema regresará a la pantalla del menú de utilidades y se procede a dar de alta el siguiente pozo de la misma manera hasta concluir con todos los pozos. Se oprime ESC del menú de utilidades para regresar a la pantalla de monitoreo. En la pantalla principal empezarán a aparecer los pozos que se dieron de alta, ordenados en forma alfabética.

Se deja correr el sistema de monitoreo por unos minutos en la pantalla principal para observar el funcionamiento del sistema. Debe haber respuesta de cada pozo al pasar la barra de monitoreo, si no la hay se procede a variar los parámetros de PREKEY y POST KEY del pozo en particular, hasta lograr una comunicación aceptable. Al azar se escogen algunos pozos para verificar la obtención de los datos provenientes del RPC y ajustar detalles de operación.

Otro parámetro que se debe configurar en la iniciación de la estación maestra es el GAUGE TIME o la hora del día en la cual inicia un nuevo periodo de reportes. Este parámetro se configura en el menú

de la función F3 LLAMADA GENERAL en la opción 8. Al ejecutar esta función el operador puede visualizar y cambiar, si así lo desea, el Gauge Time para el sistema, resincronizando en forma automática todos los pozos con el CMCS.

Si el software de análisis esta instalado, se deben llenar las páginas correspondientes a la información de los pozos que se encuentran en la opción 5 INFORMACION DE POZO del menú de la función F9 ACCESO AL POZO. La información debe ser llenada para cada uno de los pozos y abarca datos como tipo de U.B.M., profundidad de pozo, profundidad de bomba, tipo de bomba, tipo de varilla pulida, número de varillas, producción de aceite, de gas, de agua, balanceo, etc. Esta información sirve para que con los datos provenientes del RPC (carga y posición) se realicen los cálculos necesarios para establecer el comportamiento de la bomba en el fondo del pozo, el torque en el reductor y la carga permisible según el diseño de la unidad. La información de los pozos debe ser verificada para asegurar que los cálculos realizados por el sistema sean confiables.

## 6.5. PRUEBA Y PUESTA EN SERVICIO.

Una vez finalizado el periodo de instalación y ajuste de los equipos que componen el sistema, es necesario realizar una serie de pruebas encaminadas a verificar la correcta operación de los equipos para poner en servicio el sistema.

De acuerdo a las bases del contrato, el sistema debe reunir y cumplir con una serie de características y funciones que permitan al sistema alcanzar sus objetivos. Estas características y funciones se concentran en forma concisa y resumida en los protocolos de pruebas generados por el contratista y aprobados por Pemex.

Se elaboraron 3 protocolos de pruebas, ya que el sistema cuenta con 3 modos de operación. El protocolo número PARPC-01 se refiere a las funciones que realiza el controlador de manera local. Con este protocolo se revisa la adquisición de datos de los sensores instalados en la U.B.M. y su relación con los parámetros límites de seguridad de operación de la unidad. Los valores que pueden ser comparados con medidores de referencia son los referentes a la presión y velocidad de la unidad. Se verifica también la graficación de las cartas dinámicas de interés y las acciones que debe tomar el controlador al presentarse una violación en cualquier límite establecido.

Debido a que estas pruebas se realizan en sitio con la U.B.M. operando normalmente, la verificación de las condiciones de violación de límites o parámetros, son simulados modificando o provocando valores de falla.

Para comprobar el funcionamiento del detector de fugas en el estopero se realizan maniobras en el preventor del pozo para provocar una fuga real. Al llenarse el depósito del detector se registra la falla y se detiene la unidad. Se elimina la fuga y se da orden de arranque. Se limpia y se coloca nuevamente el detector en condiciones de operación automática.

En el caso del detector de pérdida de fase, se requiere la intervención del departamento eléctrico de PEP para que actúen sobre las canillas de la llegada de las líneas de transmisión de energía eléctrica al transformador que alimenta a la U.B.M.. Al ir bajando una a una las canillas de las tres fases, se comprueba en cada fase que el RPC detecta la falla y detiene la operación de la unidad. Solo hasta que las tres fases estén presentes y se dé la orden de restablecer, la U.B.M. operará.

Es importante señalar que para que las pruebas se realicen en forma correcta, la U.B.M. debe estar operando en modo automático y se debe contar con el personal adecuado de PEP y del contratista para actuar en caso de algún imprevisto.

Durante la realización de las pruebas, las acciones de paro y arranque de la U.B.M. son esenciales, por lo que es necesario que se cuente con el tablero de control en buenas condiciones y sin temporizador.

En la prueba en modo local el supervisor de PEP y el realizador de las pruebas por parte del contratista estarán en sitio y si todo resulta como lo esperado, y a criterio del supervisor, la U.B.M. quedará operando en modo automático.

El protocolo número PARPC-02 verifica la operación del sistema en forma remota para cada pozo. En estas pruebas el supervisor y ejecutante estarán en las instalaciones de la estación maestra, por otro lado personal del contratista estará en sitio para simular las violaciones y confirmar el estado de la unidad durante el desarrollo de las pruebas.

Se verifica que en modo remoto se tenga la visualización y control como el controlador en forma local, así como las funciones de graficación, almacenamiento e impresión de datos.

La realización de estas pruebas debe estar bien coordinada en el tiempo de ejecución y duración, ya que durante el tiempo que se realice la prueba con un pozo, el sistema sólo estará atendiendo al pozo en particular. El controlador es independiente de la estación maestra para la ejecución de los comandos programados para el control del pozo, es decir, las funciones de supervisión y control de un pozo las realiza el RPC en sitio y la estación maestra funciona como receptora y solicitante de comandos hacia el RPC. Puede dejar de operar la estación maestra y el pozo estará bajo control si el RPC esta operando normalmente.

El protocolo PARPC-03 contiene las pruebas que se realizan a la estación maestra en conjunto, donde se verifica el monitoreo de varias unidades y su respuesta a las diferentes situaciones como son: falla en uno o varios pozos, estado de la U.B.M., almacenamiento de información, generación e impresión de reportes de comunicación, fallas, tiempos de operación, etc.

El apéndice A contiene los tres protocolos de pruebas de aceptación.

## **7. RESULTADOS Y CONCLUSIONES**

El sistema de monitoreo y control se implementó en 70 unidades. Desde los primeros días de operación resultó relevante la oportuna detección de fallas de energía y fugas por el estopero. En los casos de falla de energía el operador del monitoreo detectó la falla casi en forma inmediata al suceso, reportando al personal de PEP. La intervención del sistema permitió que el personal de PEP hiciera todos los movimientos necesarios para proveer de energía a los pozos de mayor producción y reportar la anomalía a la C.F.E. En los casos de fugas en el estopero la respuesta del sistema fue altamente satisfactoria ya que en todos los casos la U.B.M. se detuvo automáticamente, cosa que se registro en la estación maestra y al presentarse el personal de PEP se observó que el escurrimiento en la unidad era mínimo ya que solo abarcaba la sección de descarga de la tubería de producción .

Por otra parte, la posibilidad de obtener una carta dinamométrica en cualquier momento es una ventaja de la cual el personal de PEP ha recurrido con satisfacción debido a la facilidad que esto

Es importante señalar que para que las pruebas se realicen en forma correcta, la U.B.M. debe estar operando en modo automático y se debe contar con el personal adecuado de PEP y del contratista para actuar en caso de algún imprevisto.

Durante la realización de las pruebas, las acciones de paro y arranque de la U.B.M. son esenciales, por lo que es necesario que se cuente con el tablero de control en buenas condiciones y sin temporizador.

En la prueba en modo local el supervisor de PEP y el realizador de las pruebas por parte del contratista estarán en sitio y si todo resulta como lo esperado, y a criterio del supervisor, la U.B.M. quedará operando en modo automático.

El protocolo número PARPC-02 verifica la operación del sistema en forma remota para cada pozo. En estas pruebas el supervisor y ejecutante estarán en las instalaciones de la estación maestra, por otro lado personal del contratista estará en sitio para simular las violaciones y confirmar el estado de la unidad durante el desarrollo de las pruebas.

Se verifica que en modo remoto se tenga la visualización y control como el controlador en forma local, así como las funciones de graficación, almacenamiento e impresión de datos.

La realización de estas pruebas debe estar bien coordinada en el tiempo de ejecución y duración, ya que durante el tiempo que se realice la prueba con un pozo, el sistema sólo estará atendiendo al pozo en particular. El controlador es independiente de la estación maestra para la ejecución de los comandos programados para el control del pozo, es decir, las funciones de supervisión y control de un pozo las realiza el RPC en sitio y la estación maestra funciona como receptora y solicitante de comandos hacia el RPC. Puede dejar de operar la estación maestra y el pozo estará bajo control si el RPC esta operando normalmente.

El protocolo PARPC-03 contiene las pruebas que se realizan a la estación maestra en conjunto, donde se verifica el monitoreo de varias unidades y su respuesta a las diferentes situaciones como son: falla en uno o varios pozos, estado de la U.B.M., almacenamiento de información, generación e impresión de reportes de comunicación, fallas, tiempos de operación, etc.

El apéndice A contiene los tres protocolos de pruebas de aceptación.

## **7. RESULTADOS Y CONCLUSIONES**

El sistema de monitoreo y control se implementó en 70 unidades. Desde los primeros días de operación resultó relevante la oportuna detección de fallas de energía y fugas por el estopero. En los casos de falla de energía el operador del monitoreo detectó la falla casi en forma inmediata al suceso, reportando al personal de PEP. La intervención del sistema permitió que el personal de PEP hiciera todos los movimientos necesarios para proveer de energía a los pozos de mayor producción y reportar la anomalía a la C.F.E. En los casos de fugas en el estopero la respuesta del sistema fue altamente satisfactoria ya que en todos los casos la U.B.M. se detuvo automáticamente, cosa que se registro en la estación maestra y al presentarse el personal de PEP se observó que el escurrimiento en la unidad era mínimo ya que solo abarcaba la sección de descarga de la tubería de producción .

Por otra parte, la posibilidad de obtener una carta dinamométrica en cualquier momento es una ventaja de la cual el personal de PEP ha recurrido con satisfacción debido a la facilidad que esto



represente, ya no es necesario trasladarse al pozo, detenerlo, frenar la unidad para colocar el dinamómetro y retirar el equipo. De esta forma el personal de PEP puede consultar la carta dinamoétrica para verificar alguna inquietud o sospecha, o simplemente para programar su recorrido del día. De igual forma cuando un pozo ha sufrido una reparación mayor (cambio de bomba, varillas, etc.) es importante observar continuamente el comportamiento del pozo inmediatamente después de reiniciar operación para verificar que la reparación haya tenido éxito.

La información obtenida diariamente de los pozos ha permitido determinar algunas acciones en aquellos pozos en donde su tendencia histórica más los datos del personal de campo indican fallas actuales o potenciales. Estos casos han ocurrido con mucha frecuencia y junto con lo mencionado en el párrafo anterior hacen patente el ahorro de energía por que las unidades están operando solo cuando así se requiere.

El continuo monitoreo ha permitido llevar un mayor control sobre las acciones que se realizan en el pozo, algunos casos que se han presentados son: Se puede saber con exactitud cuando una unidad ha sido detenida para realizarle alguna reparación, así como el tiempo que ésta dura; se detectó una falla de energía en un pozo que resultó ser un robo de un tramo de una de las líneas de alta tensión, la oportuna detección y participación del personal de PEP evitaron que el robo fuera mayor.

El sistema de comunicaciones se tuvo que ir afinando sobre la operación para encontrar los parámetros que mejor se adaptan al proyecto, actualmente se puede asegurar que el funcionamiento del sistema de comunicaciones esta entre el 90 y 100 por ciento para cada pozo, debido a la cantidad de sistemas de radiocomunicaciones que funcionan en la zona.

En realidad los ajustes que tuvieron que hacerse no fueron tan alejados de lo que se había planeado, por ejemplo, se tuvieron que sellar perfectamente los sensores de presión, así como la tubería de conducción del cableado, se tuvieron que pegar los imanes para el detector de posición para evitar su robo y fue necesario poner un sello adicional al detector de fugas en el estopero, entre otros.

Respecto a los valores de incremento de producción, costos de reparación y ahorro de energía no se pueden precisar debido a la política de PEMEX, sin embargo es indudable que en lo que se refiere a los dos últimos rubros el ahorro se ha llevado a cabo durante el funcionamiento del sistema.

Como se puede observar el sistema esta trabajando al cien por ciento. La correcta planeación en unión con la dedicación y esfuerzo humano lograron cumplir cabalmente con los objetivos y expectativas del proyecto. Sin embargo se reconoce que se puede aprovechar todavía más el sistema una vez que se ha familiarizado con el proceso de producción.

## 8. BIBLIOGRAFIA

- ❏ "PETROLEUM PRODUCTION HANDBOOK". VOLUME 1  
THOMAS C. FRICK  
McGRAW - HILL BOOK COMPANY, INC. 1962
- ❏ "FUNDAMENTOS DE PRODUCCION Y MANTENIMIENTO DE POZOS PETROLEROS"  
T.E.W. NIND  
LIMUSA. 1987 PRIMERA EDICION

represente, ya no es necesario trasladarse al pozo, detenerlo, frenar la unidad para colocar el dinamómetro y retirar el equipo. De esta forma el personal de PEP puede consultar la carta dinamométrica para verificar alguna inquietud o sospecha, o simplemente para programar su recorrido del día. De igual forma cuando un pozo ha sufrido una reparación mayor (cambio de bomba, varillas, etc.) es importante observar continuamente el comportamiento del pozo inmediatamente después de reiniciar operación para verificar que la reparación haya tenido éxito.

La información obtenida diariamente de los pozos ha permitido determinar algunas acciones en aquellos pozos en donde su tendencia histórica más los datos del personal de campo indican fallas actuales o potenciales. Estos casos han ocurrido con mucha frecuencia y junto con lo mencionado en el párrafo anterior hacen patente el ahorro de energía por que las unidades están operando solo cuando así se requiere.

El continuo monitoreo ha permitido llevar un mayor control sobre las acciones que se realizan en el pozo, algunos casos que se han presentados son: Se puede saber con exactitud cuando una unidad ha sido detenida para realizarle alguna reparación, así como el tiempo que ésta dura; se detectó una falla de energía en un pozo que resulto ser un robo de un tramo de una de las líneas de alta tensión, la oportuna detección y participación del personal de PEP evitaron que el robo fuera mayor.

El sistema de comunicaciones se tuvo que ir afinando sobre la operación para encontrar los parámetros que mejor se adaptan al proyecto, actualmente se puede asegurar que el funcionamiento del sistema de comunicaciones esta entre el 90 y 100 por ciento para cada pozo, debido a la cantidad de sistemas de radiocomunicaciones que funcionan en la zona.

En realidad los ajustes que tuvieron que hacerse no fueron tan alejados de lo que se había planeado, por ejemplo, se tuvieron que sellar perfectamente los sensores de presión, así como la tubería de conducción del cableado, se tuvieron que pegar los imanes para el detector de posición para evitar su robo y fue necesario poner un sello adicional al detector de fugas en el estopero, entre otros.

Respecto a los valores de incremento de producción, costos de reparación y ahorro de energía no se pueden precisar debido a la política de PEMEX, sin embargo es indudable que en lo que se refiere a los dos últimos rubros el ahorro se ha llevado a cabo durante el funcionamiento del sistema.

Como se puede observar el sistema esta trabajando al cien por ciento. La correcta planeación en unión con la dedicación y esfuerzo humano lograron cumplir cabalmente con los objetivos y expectativas del proyecto. Sin embargo se reconoce que se puede aprovechar todavía más el sistema una vez que se ha familiarizado con el proceso de producción.

## 8. BIBLIOGRAFIA

- ❏ "PETROLEUM PRODUCTION HANDBOOK". VOLUME 1  
THOMAS C. FRICK  
McGRAW - HILL BOOK COMPANY, INC. 1962
- ❏ "FUNDAMENTOS DE PRODUCCION Y MANTENIMIENTO DE POZOS PETROLEROS"  
T.E.W. NIND  
LIMUSA. 1987 PRIMERA EDICION

- ▣ "BAKER CAC MODEL 8800 ROD PUMP CONTROLLER TRAINING"  
BAKER CAC, INC. 1989
- ▣ "EL PETROLEO EN MEXICO Y EN EL MUNDO"  
CONACYT  
SEGUNDA EDICION 1980
- ▣ "TECNOLOGIA DEL PETROLEO"  
DOUGLAS M. CONSIDINE  
PUBLICACIONES MARCOMBO, S.A. 1988
- ▣ "MODEL 8800 ROD PUMP CONTROLER. INSTALLATION AND OPERATION  
MANUAL."  
BAKER CAC, INC.
- ▣ "MODEL 8575 CENTRAL MONITORING AND CONTROL SYSTEM. INSTALLATION  
AND OPERATION MANUAL"  
BAKER CAC, INC.
- ▣ "MODEL 8575 CMCS ANALYSIS SOFTWARE OPTION. INSTALLATION AND  
OPERATION MANUAL."  
BAKER CAC, INC.
- ▣ "ARTIFICIAL LIFT"  
PUBLISHED BY THE SOCIETY OF PETROLEUM ENGINEERS OF AIME  
DALLAS, TEXAS. 1975 EDITION
- ▣ "INGENIERIA DE YACIMIENTOS PETROLIFEROS"  
SYLVAIN J. PIRSON. TRAD. HERNANDO VAZQUEZ-SILVA  
EDICIONES OMEGA, S.A.  
SEGUNDA EDICION 1965

## 9. APENDICES

- ▣ "BAKER CAC MODEL 8800 ROD PUMP CONTROLLER TRAINING"  
BAKER CAC, INC. 1989
- ▣ "EL PETROLEO EN MEXICO Y EN EL MUNDO"  
CONACYT  
SEGUNDA EDICION 1980
- ▣ "TECNOLOGIA DEL PETROLEO"  
DOUGLAS M. CONSIDINE  
PUBLICACIONES MARCOMBO, S.A. 1988
- ▣ "MODEL 8800 ROD PUMP CONTROLER. INSTALLATION AND OPERATION  
MANUAL."  
BAKER CAC, INC.
- ▣ "MODEL 8575 CENTRAL MONITORING AND CONTROL SYSTEM. INSTALLATION  
AND OPERATION MANUAL"  
BAKER CAC, INC.
- ▣ "MODEL 8575 CMCS ANALYSIS SOFTWARE OPTION. INSTALLATION AND  
OPERATION MANUAL."  
BAKER CAC, INC.
- ▣ "ARTIFICIAL LIFT"  
PUBLISHED BY THE SOCIETY OF PETROLEUM ENGINEERS OF AIME  
DALLAS, TEXAS. 1975 EDITION
- ▣ "INGENIERIA DE YACIMIENTOS PETROLIFEROS"  
SYLVAIN J. PIRSON. TRAD. HERNANDO VAZQUEZ-SILVA  
EDICIONES OMEGA, S.A.  
SEGUNDA EDICION 1965

## 9. APENDICES

## APENDICE A

### PROTOCOLOS DE PRUEBAS DE PUESTA EN SERVICIO

**PROTOCOLO DE PRUEBAS EN MODO LOCAL**

PARPC-01

POZO No. : \_\_\_\_\_

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

No.	ACCION PREVIA	RESULTADO ESPERADO	CUMPLE	
			SI	NO
	<b>INDEPENDENCIA DEL MODO DE OPERACION MANUAL</b>			
1.	Colocar el selector "MOA" en manual y el RPC apagado.	La UBM opera normalmente.		
2.	Encender el RPC.	La UBM continua operando.		
3.	Apagar el RPC.	La UBM continua operando.		
4.	Colocar el selector "MOA" en la posición Off (fuera).	La UBM se detiene.		
5.	Encender el RPC.	La UBM sigue sin operar.		
6.	Apagar el RPC.	La UBM sigue sin operar.		
7.	Colocar el selector "MOA" en la posición auto.	La UBM inicia operación.		
8.	Conectar analizador portátil, colocar el imán de prueba en el detector de la puerta de la caja metálica. Encender el RPC	La UBM se detiene y aparece en la pantalla de estados del analizador: " Pump will start in 00:01:00" (La bomba arrancará en 00:01:00).		
	<b>PROTECCION CONTRA ROBO DE RPC</b>			
9.	Después de un minuto, observar en la pantalla de estados del analizador el estado de la UBM.	La UBM inicia operación automáticamente y se observa "normal, running" (normal, funcionando).		
10.	Retirar el imán de prueba del detector de robo y observar la pantalla de estados.	Aparece la indicación "DI 2 open alarm" (DI 2 alarma abierta).		
11.	Colocar el imán nuevamente y dar la orden "Clear error"(Borrar error).	Desaparece la indicación.		
	<b>GRAFICACION CARGA VS POSICION</b>			
12.	Entrar al menú principal y seleccionar la opción 1 "Dynamometer cards" (Cartas dinamométricas), seleccionar la carta en porcentaje, en el modo 6 "Live" (en vivo).	Aparece la carta dinamométrica con la señalización del cuadrante del "POC" (Pump Off Control - Control de apagado de bomba).		

CONTROL DE BOMBA	
13.	<p>Modificar el cuadrante del control (POC), de tal forma que las curvas pasen fuera del mismo.</p> <p>Después de que pasen dos curvas fuera del cuadrante, la UBM se detiene al mandar el RPC el tiempo de espera o "Idle time". Aparece en la pantalla de estados "Pump will start in 00:01:00" con una cuenta regresiva de un minuto hasta cero. Al llegar a cero inicia operación la UBM. La UBM sigue operando.</p> <p>Aparece la carta con los límites máximo y mínimo de carga.</p>
14.	<p>Regresar los límites del POC a la posición inicial.</p>
15.	<p>Seleccionar la carta en libras en el modo "Live" (En vivo).</p>
	<p>MEDICION DE VELOCIDAD (SPM)</p>
16.	<p>Medir en forma directa las emboladas por minutos de la UBM y verificar la velocidad registrada por el RPC en la parte inferior de la pantalla de estados</p> <p>La velocidad medida directamente y la calculada por el RPC son iguales con un error de 5%.</p>
	<p>PROTECCION CONTRA BAJA CARGA</p>
17.	<p>Modificar el límite de baja carga (parámetro 210), de tal modo que la curva cruce el límite.</p> <p>Después de que pasen dos curvas fuera del límite, se detiene la UBM, en la pantalla de estados aparece en la línea de error: "Low load limit" (Bajo límite de carga), "Off until reset" (Fuera hasta restablecer).</p>
18.	<p>Restablecer el límite bajo de carga a su posición inicial y dar el comando "Clear error" (Borrar error).</p> <p>Inicia operación la UBM y las indicaciones de error desaparecen.</p>
	<p>PROTECCION CONTRA ALTA CARGA</p>
19.	<p>Modificar el límite de carga alto (P211), de tal forma que la curva cruce el límite.</p> <p>Después de que pasen dos curvas fuera del límite, se detiene la UBM y en la pantalla de estados aparece en la línea de error: "High load limit" (Alto límite de carga), "Off until reset" (Fuera hasta restablecer).</p>
20.	<p>Restablecer el límite alto de carga a su posición inicial y dar "Clear error" (Borrar error).</p> <p>Inicia operación la UBM y la indicación de error desaparece.</p>
	<p>PROTECCION CONTRA FUGAS EN ESTOPERO</p>
21.	<p>Simular una fuga en el estopero, hasta que el detector se llene al nivel de alarma.</p> <p>Se detiene la UBM y aparece: "DI 1 closed alarm" (DI 1 alarma cerrado).</p>

22.	Eliminar la fuga y dar "Clear error" (Borrar error).	Inicia operación la UBM y desaparece el error.
	<b>PROTECCION CONTRA FUGA EN LINEA DE DESCARGA</b>	
23.	Colocar un manómetro de referencia en la válvula de toma de muestra.	Al abrir la válvula se registra la lectura: _____
24.	Revisar el valor de la entrada del sensor de presión (P282) y contrastar con el manómetro.	En la línea del parámetro 282 aparece el valor de presión actual en PSIG: _____, el cual es igual a la lectura del manómetro, +/- 10% de error.
25.	Modificar el límite bajo del sensor de presión (P288) a un valor tal, que el valor actual sea más bajo.	Se detiene la UBM y aparece "AI 1 low limit" (AI 1 límite bajo), "Off until reset" (Fuera hasta restablecer).
26.	Regresar el valor de (P288) al valor inicial y dar "Clear error" (Borrar error).	Inicia operación la UBM y desaparece el error.
27.	Modificar el límite alto del sensor de presión (P291) a un valor tal, que el valor actual sea más alto.	Se detiene la UBM y aparece "AI 1 high limit" (AI 1 límite alto), "Off until reset" (Fuera hasta restablecer).
28.	Regresar el valor de (P291) al valor inicial y dar "Clear error" (Borrar error).	Inicia operación la UBM y desaparece el error.
	<b>PROTECCION CONTRA FALLA DE FASE</b>	
29.	Con la UBM operando, bajar el interruptor principal y retirar un fusible del interruptor.	Se detiene la UBM.
30.	Con el selector "MOA" en la posición "Auto", subir el interruptor.	La UBM continúa detenida.
31.	Colocar el fusible y repetir el paso 27 y 28, para cada uno de los fusibles restantes (fases).	La UBM continúa detenida para todas las fases.
32.	Colocar todos los fusibles y subir el interruptor. Observar la pantalla de estados.	Aparece "Pump will start in 00:01:00", un minuto después inicia operación la UBM.
	<b>CONTROL DE ARRANQUE Y PARO</b>	
33.	Dejar pasar unos minutos y dar orden de paro temporal con "Idle time".	La UBM se detiene y en la pantalla de estados aparece la indicación correspondiente.
34.	Antes de que termine la cuenta regresiva, oprimir la tecla "Pump on" (arranque de bomba) para forzar el arranque.	La UBM inicia operación.
35.	Dejar pasar unos minutos y dar orden de paro definitivo con el parámetro 31 (Dando "modify" y "enter" en el parámetro).	La UBM se detiene y aparece "Off until reset" (Fuera hasta restablecer).
36.	Dejar pasar el tiempo necesario para observar que la UBM no inicia operación, hasta que se dé la orden "Clear error" (Borrar error).	La UBM inicia operación sólo hasta que se le da la orden.



37.	Si el funcionamiento es el adecuado, desconectar el programador, dejar el RPC encendido, cerrar la caja metálica y el selector "MOA" en la posición "Auto".	La UBM queda operando en modo automático.	
-----	---	---	--

REALIZÓ

SUPERVISÓ

APROBÓ

CONTRATISTA

PEMEX EXPLORACION Y PROD.

PEMEX EXPLORACION Y PROD.

# PROTOCOLO DE PRUEBAS EN MODO REMOTO

PARPC-02

POZO No. : \_\_\_\_\_ FECHA: \_\_\_\_\_

No.	ACCION PREVIA	RESULTADO ESPERADO	CUMPLE	
			SI	NO
	<b>GRAFICACION</b>			
1.	Ubicar el cursor en el pozo seleccionado, oprimir F9 para el menú del pozo, elegir la opción 3 "Pump Analysis & Graph Functions" (Análisis de bomba y funciones gráficas); Seleccionar la opción 5 "live-action snapshot" y pedir una a una las cartas para análisis: Percent (por ciento), pounds (libras), allowable loading (carga permisible), net torque (torque) y downhole (gráfica de fondo).	Se van presentando los menús correspondientes a las selecciones, hasta obtener las gráficas deseadas.		
2.	Salir hasta el menú de F9, elegir la opción 1 "Remote keyboard & display" (Teclado y pantalla remoto).	Aparece la simulación de teclado con la línea de despliegue de mensajes.		
3.	Modificar el límite de posición (P21) y de carga (P23) del cuadrante de control a un valor tal que la gráfica actual en porcentaje cruce fuera del cuadrante.	Se observa la aceptación de las modificaciones		
4.	Oprimir la tecla "N" para tener el despliegue normal y observar la línea de despliegue.	Después que dos curvas pasen fuera del cuadrante de control, en la línea de despliegue se observa la fecha y otros datos hasta que aparece: "Start: 00:00:XX" (Inicio en: 00:00:XX). Significa que la UBM paso a paro en el modo "Idle time" (Tiempo de espera).		
5.	Confirmar en sitio que la UBM esta detenida.			
6.	Regresar los parámetros (P21) y (P23) a sus valores iniciales.	Después de un minuto aparece en el despliegue: "Run: 00:00:XX" (Funcionando: 00:00:XX).		
7.	Confirmar en sitio que la UBM arrancó.			

	<b>PROTECCION CONTRA ROBO DE RPC</b>	
8.	En forma local, abrir la puerta metálica de la torre.	Aparece "DI 2 Open alarm" (DI 2 Alarma abierta) y la UBM sigue operando.
9.	Cerrar la puerta y oprimir la tecla E de "Clear Error" (Borrar error).	Aparece "Error(s) cleared" (Error(es) borrado(s)).
	<b>PROTECCION CONTRA BAJA CARGA</b>	
10.	Observar el parámetro de la carga mínima (P79) después del último dato. Modificar el límite bajo de carga (P210) a un valor tal, que la carga actual sea menor.	Después de que pasen dos curvas fuera del límite, se detiene la UBM y aparece "Low load limit" (Límite bajo de carga), "Off until reset" (Fuera hasta restablecer).
11.	Confirmar en sitio que la UBM se detuvo.	
12.	Restablecer el límite bajo de carga a su posición inicial y dar el comando "Clear Error" (Borrar error).	Inicia operación de UBM e indicación de error desaparece.
13.	Confirmar en sitio que la UBM está operando.	
	<b>PROTECCION CONTRA ALTA CARGA</b>	
14.	Observar el parámetro de la carga máxima (P80) después del último dato, modificar el límite de carga alto (P211) a un valor tal, que la carga actual sea mayor.	Después de que pasen dos curvas fuera del límite, se detiene la UBM y aparece: "High load limit" (Límite alto de carga), "Off until reset" (Fuera hasta restablecer).
15.	Confirmar en sitio que la UBM se detuvo.	
16.	Restablecer el límite alto de carga a su posición inicial y dar "Clear Error" (Borrar error).	Inicia operación de UBM e indicación de error desaparece.
17.	Confirmar en sitio que la UBM está operando.	
	<b>PROTECCION CONTRA FUGAS EN ESTOPERO</b>	
18.	En sitio simular fuga en el estopero.	Se detiene la UBM y aparece: "DI 1 closed alarm" (DI 1 Alarma cerrada), "Off until reset" (Fuera hasta restablecer).
19.	Eliminar la fuga y dar "Clear Error" (Borrar error).	Opera la UBM y desaparece la falla.
20.	Confirmar en sitio que la UBM está operando.	
	<b>PROTECCION CONTRA FUGA EN LINEA DE DESCARGA</b>	
21.	Examinar la lectura actual del sensor de presión (P282).	Aparece la lectura actual de presión en PSIG.
22.	Examinar la presión promedio (P297) y modificar el límite bajo de presión (P288) a un valor tal que la lectura actual sea menor al límite.	Se detiene la UBM y aparece: "AI 1 low limit" (AI 1 límite bajo), "Off until reset" (Fuera hasta restablecer).
23.	Regresar el valor de P288 al valor inicial y dar "Clear Error" (Borrar error).	Opera la UBM y desaparece el error.

24.	Modificar el límite alto del sensor de presión (P291) a un valor tal que el valor actual sea más alto.	Se detiene la UBM y aparece "AI 1 high limit" (AI 1 límite alto), "Off until reset" (Fuera hasta restablecer).	
25.	Regresar el valor de P291 al valor inicial y dar "Clear Error" (Borrar error).	Opera la UBM y desaparece el error.	
<b>CONTROL DE ARRANQUE Y PARO</b>			
26.	Dejar pasar unos minutos y dar orden de paro temporal con "Idle time".	La UBM se detiene y aparece la indicación correspondiente.	
27.	Antes de que termine la cuenta regresiva, oprimir la tecla "Pump on" para forzar el arranque.	La UBM inicia operación.	
28.	Dejar pasar unos minutos y dar orden de paro definitivo con el parámetro P31.	La UBM se detiene.	
29.	Dejar pasar el tiempo necesario para observar que la UBM no opera hasta la orden "Clear Error" (Borrar error).	La UBM opera sólo hasta la orden.	

**REALIZÓ**

**SUPERVISÓ**

**APROBÓ**

**CONTRATISTA**

**PEMEX EXPLORACION Y PROD.**

**PEMEX EXPLORACION Y PROD.**

# PROTOCOLO DE PRUEBAS ESTACION MAESTRA

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

PARPC-03

No.	ACCION PREVIA	RESULTADO ESPERADO	CUMPLE	
			SI	NO
	<b>MONITOREO DE POZOS E INDICACIONES DE FALLAS Y ESTADO</b>			
1.	En la pantalla principal de monitoreo de la estación maestra, observar que los pozos que estén en "Scan" (monitoreo) tengan información del estado de los mismos.	Los pozos cuentan con comunicación e indicación del estado del último registro.		
2.	Simular una falla (fuga en el estopero, alta carga, etc.), ya sea en sitio o por programación, para observar la señalización de la misma.	En él (los) pozo(s) con falla aparece una letra "F" parpadeante en color rojo.		
3.	Eliminar la falla y dar "Clear error" (Borrar error) en los pozos con falla.	Desaparece la letra "F".		
4.	Provocar en sitio una falla que mande a "Idle time" (tiempo de espera) al pozo.	Aparece la letra "I" y la "F", indicando "Idle time" y falla.		
5.	Eliminar la falla dando "Clear error" (Borrar error) e iniciar operación de la UBM.	Desaparece las letras "I" y "F" y aparece la "R" de running (funcionando).		
	<b>ALMACENAMIENTO E IMPRESION DE INFORMACION</b>			
6.	Del pozo seleccionado obtener las gráficas disponibles, salvarlas e imprimirlas.	El sistema acepta guardar las gráficas y se obtiene la impresión de las mismas.		
7.	Observar en la librería del pozo (F9, opción 4 "Replay 8575 stored well library" (Obtener la librería guardada del pozo)) que se hayan guardado las cartas.	Aparecen las cartas con sus comentarios.		
	<b>FUNCIONES ESPECIALES</b>			
8.	Con la función F1 Menú de utilerías, seleccionar la opción 7 "Reports", seleccionar opción por opción para obtener una impresión de cada reporte.	Se imprimen los reportes seleccionados.		
9.	Con la función F3 "All call" (Llamada para todos) seleccionar la opción 8 para modificar el tiempo automático de reportes "Gauge time" (Tiempo de reportes)	Al modificar el Gauge time a una hora aproximada a la actual, se imprimen los reportes al cumplirse el tiempo determinado		

10.	Con la función F3 "All call" (Llamada para todos) seleccionar el envío de un parámetro a todos los pozos en monitoreo. Por ejemplo "Idle time = 3 min."	Al verificar el valor del parámetro enviado en cada pozo corresponde el mismo.	
11.	Con la función F5 "Test scan" (Prueba de monitoreo) seleccionar un pozo y aplicar.	Se realiza la secuencia de monitoreo de forma normal pero después de 10 interrogaciones regresa al pozo con la marca "T" del lado izquierdo del nombre del pozo.	
12.	Seleccionar F5 otra vez sobre el pozo con "Test scan".	Desaparece la "T" y continua la secuencia de monitoreo en forma normal.	
13.	Seleccionar un pozo y aplicar la función F7 "Scan bypass" (Fuera de monitoreo).	Se introduce el comentario de la salida de monitoreo. La secuencia de monitoreo ignora el pozo con el comentario y no se tiene acceso a su función F9.	
14.	Aplicar nuevamente la función F7.	El pozo se incorpora a la secuencia de monitoreo y desaparece el comentario.	
<b>PROTECCION DE PANTALLA</b>			
15.	Dejar pasar unos minutos sin oprimir ninguna tecla	La pantalla se vuelve negra sin despliegue	
16.	Oprimir cualquier tecla (preferentemente tecla de espacio)	Regresa la pantalla de monitoreo de pozos	

**REALIZÓ**

**SUPERVISÓ**

**APROBÓ**

**CONTRATISTA**

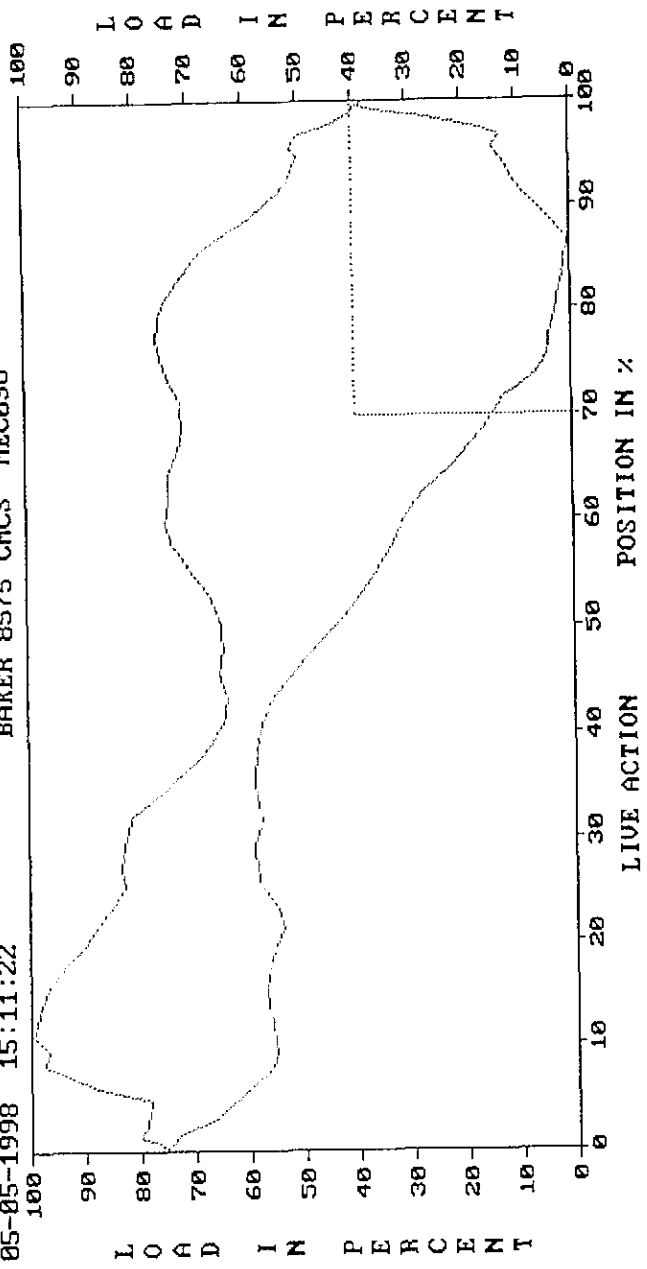
**PEMEX EXPLORACION Y PROD.**

**PEMEX EXPLORACION Y PROD.**

## APENDICE B

### CARTAS DINAMOMETRICAS

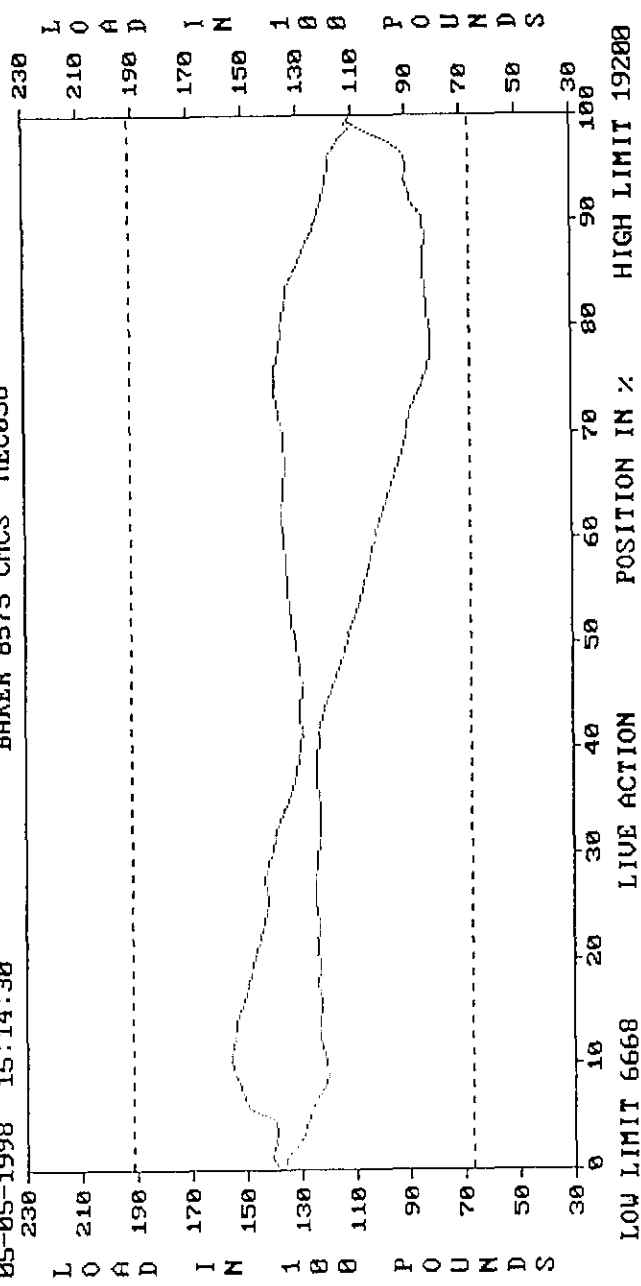
05-05-1998 15:11:22 BAKER 8575 CMCS MEC036





05-05-1998 15:14:30

BAKER 8575 CMCS MEC036



230  
 210  
 190  
 170  
 150  
 130  
 110  
 90  
 70  
 50  
 30

L  
 O  
 A  
 D  
 I  
 N  
 1  
 0  
 0  
 P  
 O  
 U  
 N  
 D  
 S

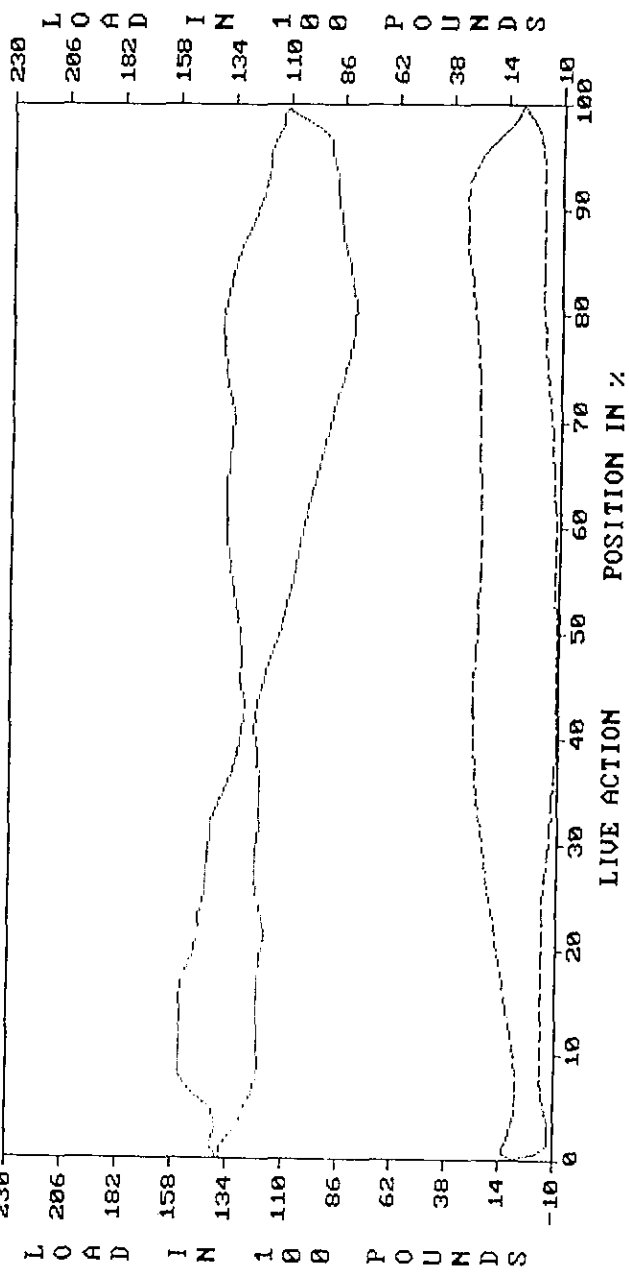
230  
 210  
 190  
 170  
 150  
 130  
 110  
 90  
 70  
 50  
 30

L  
 O  
 A  
 D  
 I  
 N  
 1  
 0  
 0  
 P  
 O  
 U  
 N  
 D  
 S

LOW LIMIT 6668      LIVE ACTION      POSITION IN %      HIGH LIMIT 19200

05-05-1998 15:24:31

BAKER 8575 CMCS MEC036



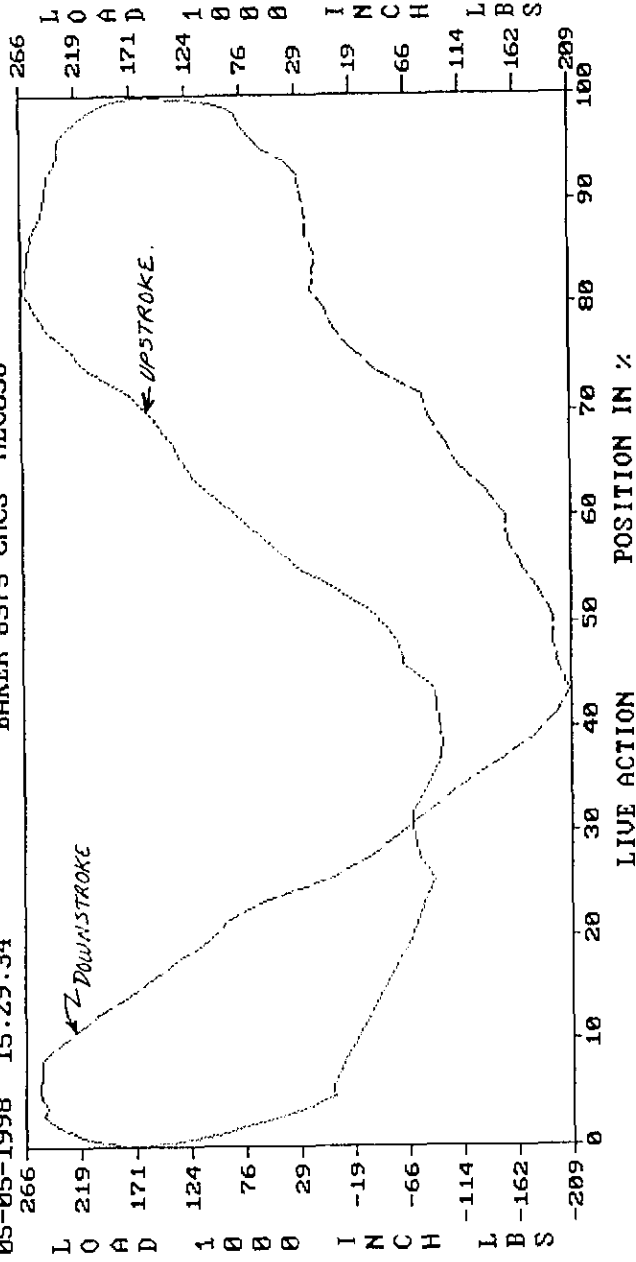
230  
206  
182  
158  
134  
110  
86  
62  
38  
14  
10

L  
O  
A  
D  
I  
N  
1  
0  
0  
P  
O  
U  
N  
D  
S

LIVE ACTION POSITION IN %

05-05-1998 15:29:34

BAKER 8575 CMCS MEC036



L O A D 1 0 0 0 I N C H L B S

05-05-1998 15:31:54

BAKER 8575 CMCS MEC036

