

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA

FACULTAD DE INGENIERIA DE PETROLEO

PROGRAMA COMPUTARIZADO PARA BALANCEAR
EQUIPOS DE BOMBEO MECANICO MULTIPLE

TESIS

PARA OPTAR EL TITULO PROFESIONAL DE
INGENIERO PETROQUIMICO

PEDRO UENTOSILLA RODRIGUEZ

PROMOCION 85-II

LIMA-PERU

1990

SUMARIO

En las operaciones de producción Nor-Oeste talara, existen pozos que producen por el mecanismo de gas disuelto en el final de su vida productiva y por segregación gravitacional. Estos pozos por su producción marginal y por el bajo volumen que aportan son susceptibles de producir con equipos de bombeo mecánico múltiples. La antigüedad de estos equipos data de los primeros equipos de producción que se diseñan con este propósito.

Requerimientos de balanceo del equipo de bombeo mecánico múltiple para su óptima operación y mayor vida media útil del mismo, se obtiene partiendo de un esquema vectorial y desarrollando un programa de cómputo se determina los contrapesos necesarios para alcanzar el equilibrio mecánico del sistema.

INDICE GENERAL

1. SUMARIO
2. INDICE
3. ANTECEDENTES 1
 - 3.a Sistemas de producción 1
 - 3.b Historia de producción 7
4. INTRODUCCION 8
 - 4.a Equipos de Bombeo Mecánico en Operaciones Nor-Oeste 8
 - 4.a.1 El motor 10
 - 4.a.2 Unidades de bombeo 11
 - 4.a.2.1 Unidades Convencionales-API 12
 - 4.a.2.2 Unidades Balanceadas por aire 13
 - 4.a.2.3 Unidades con Montaje Frontal 14
 - 4.a.3 Las varillas de succión ó bombeo 18
 - 4.a.4 La bomba de subsuelo 19
 - 4.b El balanceo, su importancia en la óptima operación de equipos de bombeo múltiple en operaciones Nor-Oeste 48
5. EQUIPOS DE BOMBEO MULTIPLE 21
 - 5.a Diseño de instalaciones de bombeo mecánico 21
 - 5.a.1 Diseño del equipo de bombeo mecánico múltiple 26
 - 5.a.1.1 Análisis 27
 - 5.b Niveles de fluido 31
 - 5.c Pruebas manométricas y de producción 34
 - 5.d Pruebas dinámométricas 37
 - 5.d.1 Dinógrafo de la bomba 38
 - 5.d.2 Dinógrafo Superficial 41
 - 5.d.3 Interpretación cualitativa de las gráficas 44
 - 5.d.4 Fuerzas de aceleración 45
 - 5.d.5 Vibraciones de las varillas 46
6. APLICACIONES 48
 - 6.a Problemas en los equipos de superficie y subsuelo 48
 - 6.b Problemas causados por parafina, arena y carbonatos 50
 - 6.b.1 Problemas causados por parafina 50
 - 6.b.2 Problemas causados por arena 54
 - 6.b.3 Problemas causados por carbonatos 55

7.	EVALUACION ECONOMICA	56
7.a	Economía en la instalación de equipo de bombeo mecánico	59
7.b	Economía en la instalación de bombeo mecánico múltiple	62
7.c	Economía incremental ó comparada	66
8.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	67
9.	ANEXOS	70
9.a	Diagrama de flujo	71
9.b	Programa de calculo-BASIC	72
9.b.1	EJEMPLO 1-Cálculo para determinar contrabalance de una catalina con tiras independientes	73
9.b.1.1	Introducción, consideraciones y resultados	73
9.b.1.2	Datos generales - Catalina Nº 1 La Brea	75
9.b.1.3	Diagrama de ubicación - Catalina Nº 1 La Brea	76
9.b.1.4	Cálculo del contrapeso requerido	77
9.b.1.5	Comprobación del resultado	78
9.b.2	EJEMPLO 2-Cálculo para determinar contrabalance de una catalina con tiras no independientes	79
9.b.2.1	Introducción, consideraciones y resultados	79
9.b.2.2	Datos generales - Catalina Nº 175 Batanes	81
9.b.2.3	Diagrama de ubicación - Catalina Nº 175 Batanes	82
9.b.2.4	Cálculo de fuerza en la "V" de los pares de pozos (3676-3623 y 3574-3578)	83
9.b.2.5	Cálculo del contrapeso requerido	84
9.b.2.6	Comprobación del resultado	85
9.c	Gráficos y tablas utilizados	86
10.	REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS	

3. ANTECEDENTES

3.a. SISTEMAS DE PRODUCCION.

Existen tres grandes sistemas de producción para la explotación de pozos de petróleo en reservorios con mecanismo de impulsión por gas en solución:

Sistema de Bombeo Mecánico

Sistema de Bombeo Neumático

Sistema de Bombeo Hidráulico

El sistema de BOMBEO MECANICO es el método de producción artificial más utilizado para producir pozos de petróleo en el Nor-oeste. Su éxito se debe fundamentalmente a su simplicidad eficiencia y confiabilidad.

Este sistema se caracteriza también por ser relativamente seguro ya que no requiere líquido ó gas de alta presión para su operación; así mismo casi siempre es el sistema más económico que puede utilizarse para producir un pozo.

El sistema de BOMBEO NEUMATICO es el método para extraer el petróleo, mediante la inyección de gas a presión.

Este método básicamente se clasifica en dos tipos: gas lift continuo y gas lift intermitente.

El gas lift continuo es de características similares a un pozo surgente consiste en inyectar ininterrumpidamente el gas a presión, con el fin de aligerar la columna de petróleo desde el punto de inyección de gas hasta la cabeza del pozo, permitiendo de esta manera que el petróleo fluya a la superficie.

El gas inyectado es controlado por un estrangulador ó por una válvula de aguja instalado en la línea de inyección.

El gas lift intermitente es el tipo de gas lift, que comúnmente se usa en pozo de baja producción ó en pozos de baja presión.

Consiste en inyectar gas debajo de la columna de fluido, a través del punto de inyección, a una presión y volumen suficientes para levantar el petróleo hasta la superficie.

La inyección de gas se realiza por ciclos, permitiendo al petróleo acumularse en la tubería ó cámara, una cantidad determinada que puede ser levantada por el gas; la presión debe ser suficiente para levantar el "pistón" de petróleo acumulado en la tubería.

Para el tipo gas lift continuo se tiene las siguientes ventajas:

1. Se aprovecha ventajosamente la energía del pozo.
2. El sistema se puede centralizar.
3. Se obtiene altos volúmenes de extracción.
4. Las válvulas pueden ser cambiadas con cable.
5. Se puede extraer arena y sólidos.

Dentro de las desventajas para el tipo de gas lift continuo tenemos:

1. No se puede secar el pozo y el mínimo BHPP obtenible aumenta con la profundidad y el volumen de producción.
2. Se debe contar con una fuente de gas.
3. El suministro de gas a presión debe ser continuo.
4. Se requiere personal calificado.
5. La inversión requerida inicialmente es alta.

Para el tipo gas lift intermitente se tiene las siguientes ventajas:

1. El sistema se puede centralizar.
2. Las válvulas pueden ser cambiadas con cable.
3. Se puede extraer bajos volúmenes.
4. Tiene amplio margen de producción.
5. Los gastos de operación son menores que otros sistemas
6. Se adapta a pozos desviados ó torcidos.

Dentro de las desventajas para el tipo con gas lift intermitente:

1. No se puede secar el pozo.
2. Se debe contar con una fuente de gas.
3. El suministro de gas a presión debe ser continuo.
4. Tiene limitaciones para producciones altas.
5. Se requiere personal calificado.
6. Se requiere inversión inicial alta.
7. Favorece la formación de parafina.

Para todo proyecto de instalación de gas lift es necesario contar con suficiente volumen ó cantidad de gas de alta presión.

Este gas se obtiene de pozos gasíferos de alta presión ó mediante la instalación de estaciones de compresión en diferentes lugares, generalmente cerca de las baterías.

El gas proveniente de los separadores de la batería de producción pasa al depurador (Scrubber) con el fin de separar el petróleo ó agua que puede contener el gas.

Del depurador, el gas previamente medido y regulado entra a la succión de los compresores, donde es comprimido por etapas, el gas a alta presión de la descarga, se pasa a la torre de enfriamiento, donde se condensa la gasolina natural y el gas seco nuevamente medido, entra al manifold de distribución, del cual mediante una red de tuberías de alta presión es conectado a todos los pozos que trabajan con gas lift.

A través de las líneas de flujo ó líneas de producción, el petróleo y gas se recolectan en los manifolds de campo ó manifolds de baterías y pasan a los separadores, el petróleo producido es descargado a los tanques de almacenamiento; el gas que sale de los separadores, inicia en ese momento su nuevo ciclo. Dispuesto de esta manera, decimos que el sistema es un circuito cerrado.

El sistema de BOMBEO HIDRAULICO es un método de producción relativamente nuevo en la industria. El primer sistema de bombeo hidráulico comercial fue introducido en 1932.

Se basa en la ley de Pascal que establece que "cualquier presión ejercida sobre un fluido contenido en un recipiente se transmite con igual intensidad a todos los puntos del recipiente, que contiene el fluido". El bombeo hidráulico es pues la aplicación de este principio; se eleva la presión de un líquido en una Central de Fuerza y se transmite a través de tuberías a las unidades de subsuelo de cada uno de los pozos que integran el sistema.

El sistema de bombeo hidráulico se clasifica:

a.- De acuerdo al fluido motriz en:

a.1. Abiertos, es decir que el fluido producido se mezcla con el fluido motriz en el fondo del pozo y retorna conjuntamente por la línea de flujo a la batería y luego al tanque de fluido motriz.

a.2. Cerrado, en este caso el fluido producido viaja hacia la batería por la línea de flujo y el fluido motriz, separadamente llega al tanque de fluido motriz, es decir no se mezcla.

b.- De acuerdo al equipo de subsuelo:

b.1. Convencional o de instalación fija, en el cual la bomba está instalada en la punta de la sarta empleada para inyectar el fluido motriz.

b.2. Instalación de bomba libre en este caso la bomba se introduce ó se levanta del conjunto de fondo circulando el fluido motriz en uno y otro sentido.

Para el sistema de bombeo hidráulico se tiene las siguientes ventajas:

1. Es posible producir mayores volúmenes grandes profundidades.
2. Es posible secar el pozo.
3. El sistema se puede centralizar y automatizar.
4. Las bombas pueden ser cambiadas sin requerir servicio de pozos.
5. La longitud de la carrera no varia.
6. Se varia con facilidad la capacidad de extracción según la producción del pozo.
7. Se puede usar con ventaja en pozos torcidos ó desviados.
8. Se puede conocer el comportamiento del equipo por simple lectura de manómetros.
9. La eficiencia en el bombeo es alta.
10. Puede trabajar pozos con parafina.

Dentro de las desventajas tenemos:

1. Susceptible a la formación de gas libre.
2. Problemas con la arena y sedimento.
3. Problemas en el tratamiento de aceite motriz producido
4. Altos costos de reparación.
5. Demanda personal especializado.
6. Inversión inicial alta.

3.b HISTORIA DE PRODUCCION

Por la década de los años 40 eran tiempos que las compañías petroleras de la I.P.C. y la Lobitos operaban los campos petroleros de la provincia de Talara y con la caída de los precios del crudo muchos pozos que producían por debajo del límite económico de 5 BPD, se les retiró todas las facilidades de producción y se los dejó cerrados temporalmente. Por estos años todo el campo producía con equipos de catalinas. Existieron catalinas en los campos de Central, Taiman, Organos, Hualtacal y Ballena en el área norte y la Brea y Parifias en el sur. En El Alto y en Negritos existían instalaciones de fundición donde fabricaban los equipos de catalinas.

Las nuevas tecnologías permitieron que un pozo trabajara con su propio motor y los equipos de catalinas quedaron en desuso y por consiguiente se desmantelaron más de 100 catalinas y en el año 1983 trabajaban 37 catalinas y en 1988 solo trabajan 15 catalinas que accionan 103 pozos que producen 250 BPD.

4. INTRODUCCION

4.a EQUIPOS DE BOMBEO MECANICO EN OPERACIONES NOR-OESTE.

En operaciones Nor-oeste de un total de 2,116 pozos con equipo de producción artificial 1,439 producen por bombeo mecánico. Por lo tanto un diseño y mantenimiento adecuado en las instalaciones del equipo de bombeo mecánico puede conducir a una mejora **importante** en el campo de la producción de petróleo.

Un pre-requisito necesario para resolver los problemas de diseño y análisis, es un buen conocimiento de las partes componentes de la instalación de los equipos de bombeo mecánico.

Estas partes principales son:

- 1.El motor ó fuente de potencia.
- 2.La Unidad de Bombeo Mecánico.
- 3.La sarta de varillas de bombeo.
- 4.La bomba de subsuelo.

Este método es común y simple mecánicamente, tiene muchas características interesantes, pero quedan aún varias interrogantes que todavía no se resuelven satisfactoriamente como por ejemplo, la determinación de la profundidad para la colocación de la bomba de subsuelo y el diámetro del émbolo que puede llevar el máximo gasto con bombeo de un pozo particular.

Otro problema interesante es el de las anclas separadoras de gas (separadores en el fondo del pozo); y la interpretación de los resultados obtenidos con los dispositivos de mediciones físicas para determinar la profundidad del nivel de fluido en el espacio anular durante el bombeo. La necesidad de un mayor entendimiento del proceso de bombeo y de la capacidad para diseñar las instalaciones de bombeo a un grado aceptable de tolerancia se acentúa por la tendencia a utilizar el bombeo en profundidades cada vez más grandes.

Los problemas que son relativamente insignificantes cuando se instala una bomba de subsuelo a 2,000 pies, pueden volverse importantes en extremo cuando la bomba se coloca a 10,000 pies de profundidad.

4.a.1 EL MOTOR (La fuente de potencia)

Los dos tipos básicos de máquina motriz son motores eléctricos y motores de combustión interna. La tendencia es equipar cada pozo con su propio motor, aún cuando están todavía en uso algunos sistemas de potencia múltiple en estos la potencia se genera en una planta central y se transmite los pozos por medio de líneas encadenadas de movimiento alternativo. Las ventajas principales de los motores eléctricos sobre los motores de gas se encuentran en sus costos inicial y de mantenimiento más bajos, servicio confiable en cualquier clima, y la facilidad con que se puede adaptar aun sistema automático; por otra parte, los motores de gas tienen la ventaja de un control más flexible de velocidad, operación en un amplio margen de condiciones de carga y combustible barato (frecuentemente, el gas del cabezal de la tubería de revestimiento).

4.a.2 UNIDADES DE BOMBEO

Son equipos de Producción que con mecanismos convierten la energía del motor en movimiento recíprocante vertical (ascendente y descendente) y lo transmite a través de la sarta de varillas hasta la bomba de subsuelo. Básicamente se compone de : Una base de armazón de perfiles laminados en la que van instalados el motor, el reductor y el poste maestro. Sobre el poste Maestro va instalada la viga balancín ó viga viajera. En la parte delantera de ésta, va fijada la cabeza de caballo a la cual se conecta al porta vástago que es el enlaza y acciona el varillón pulido y lo mantiene vertical en todo momento. Al otro extremo de la viga balancín van conectados dos brazos verticales (pitman) uno a cada lado del compensador, que a su vez se fijan por medio de pivotes rotativos (pines) al crank que corresponden a longitudes de carrera diferentes.

El reductor ó caja de transmisión reduce la velocidad del motor a velocidades de bombeo que pueden variar de 4 a 40 SPM; las más usadas son las cajas de transmisión doble para motores de alta velocidad de 600 a 1200 rpm(G.R. 7.59, 57.6) y las de transmisión simple para motores de baja velocidad de 200 a 500 rpm.(G.R. 1.22, 7.59).

El G.R. ó relación de giro se define como el cociente entre la velocidad del rotor y la velocidad del eje de salida del reductor. La capacidad de torque máximo de un reductor es un factor importante en el diseño de unidades y la designación API para unidades de bombeo está basada en el máximo torque permisible del reductor. Así, una unidad API 160 tiene un torque máximo de 160,000 pulg-lb, el API ha estandarizado 16 tipos de unidades con capacidades de torque que varían de 6.4 a 1824 mil pulg-lb.

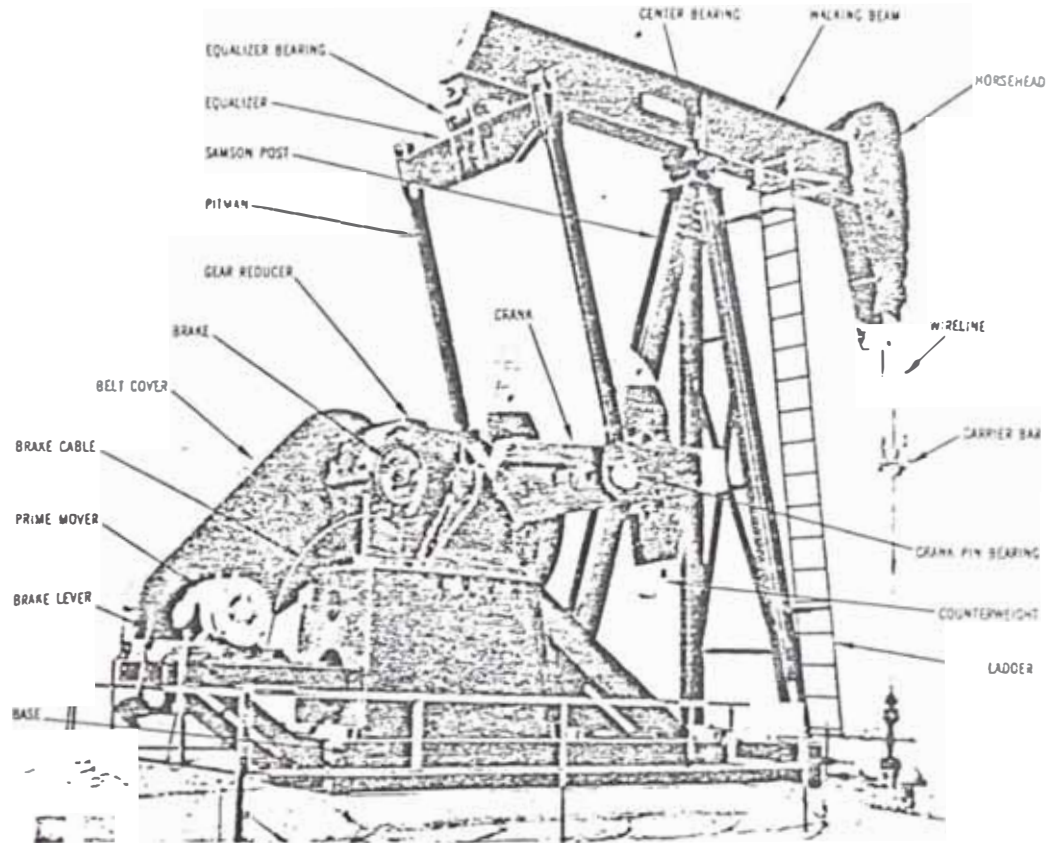
La polea de la unidad es la que recibe, a través de las fajas, la potencia del motor; la relación de diámetros de las poleas del motor y de la unidad y la relación de giro determinan la velocidad de la unidad.

Los diferentes tipos de unidades de bombeo se distinguen de acuerdo a la ubicación ó método de contrabalanceo.

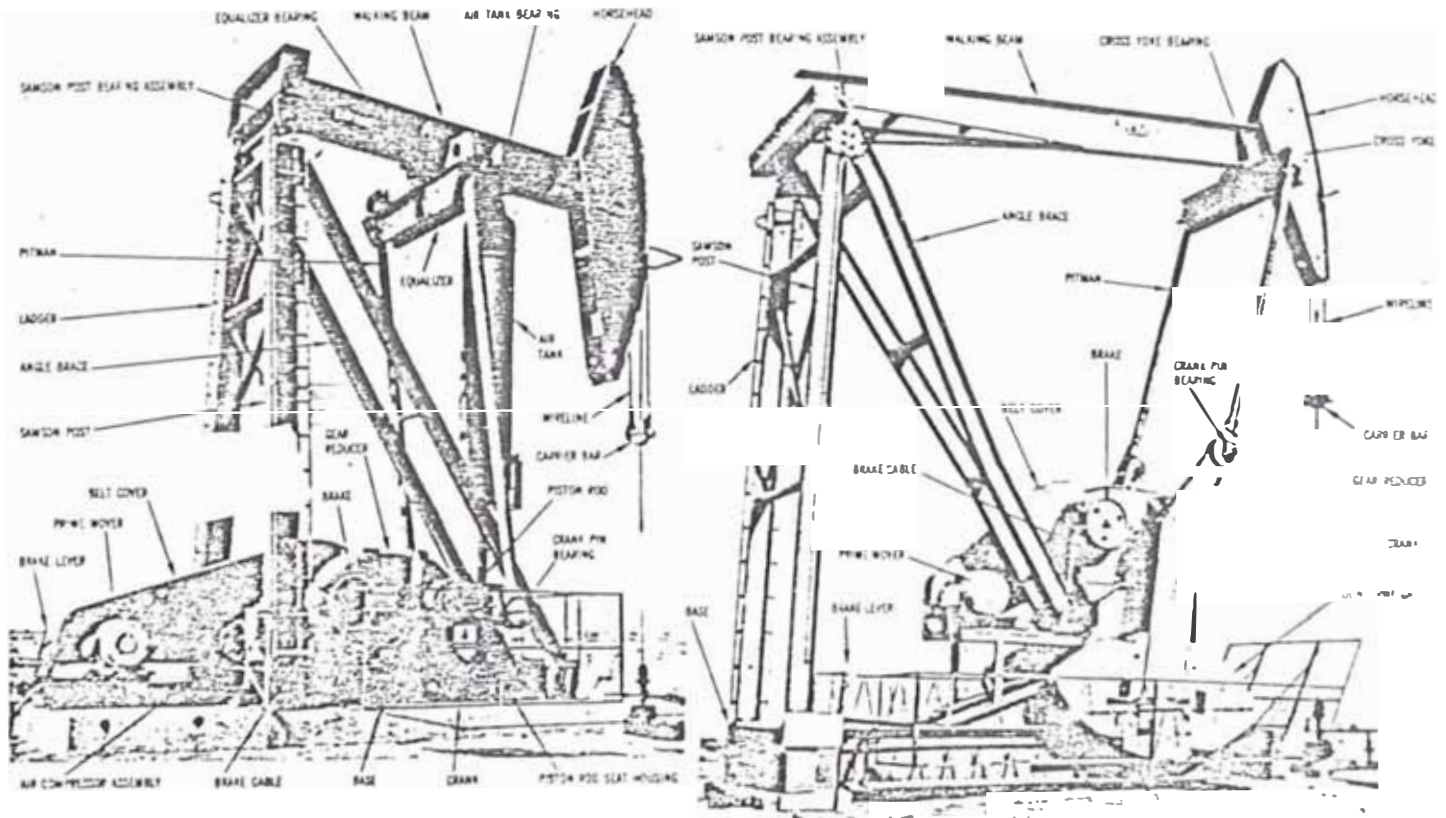
4.a.2.1 UNIDADES CONVENCIONALES - API

Estas unidades tienen contrapesos en el extremo del balancín. La rotación de los contrapesos hace que el balancín pivote en el eje de la montura central, moviendo el varillón y abajo a través de sus conexiones. Los contrapesos son de hierro fundido, van montados sobre los cranks y pueden desplazarse a lo largo de ellos para producir mayor ó menor efecto de contrapeso (ver figura 4.a.2).

PUMPING UNITS NOMENCLATURE



Conventional Pumping Unit



Air Balanced Pumping Unit

Mark II Pumping Unit

4.a.2.2 UNIDADES BALANCEADAS POR AIRE

Son unidades de geometría diferente a las convencionales, tiene el reductor instalado entre el poste maestro y el pozo, y un cilindro de contrapeso neumático (ver figura 4.a.2). Cuando el sistema no tiene suficiente aire para un contrabalance normal, un regulador automático activa el embrague neumático, que a su vez hace funcionar el compresor de aire el cual automáticamente para cuando el aire contenido en la botella neumática alcanza la presión de contrabalance a la que esta regulada. Si la unidad trabaja con motor eléctrico, es necesario instalar un compresor de aire con su motor propio.

Estas unidades se usan para operar pozos profundos; en muchos casos no hay otra alternativa que usarlas por que sería impráctica la construcción de unidades convencionales grandes por el tamaño de los contrapesos. Así, la unidad convencional de mayor tamaño construida por LUFKIN es la C912-D-356-168 y en tipo de montaje frontal es la MII-1280D-427-192. En cambio la unidad balanceada por aire que se fabrica es la A-3648-D-300-55 que tiene 3'468,000 pulg-lb de torque.

4.a.2.3 UNIDADES CON MONTAJE FRONTAL

Son unidades de geometría similar a las balanceadas por aire, sus contrapesos son del tipo rotativo (ver fig. 4.a.2).

Analizando en un gráfico los torques producidos por una unidad convencional (ver figura 4.a.2.a), se ve que el torque producido por el contrabalance de la unidad describe una senoide durante todo el ciclo de bombeo. Cuando los contrapesos están en el tope superior no existe torque de contrabalanceo en el eje del crank. En la mitad de la carrera ascendente, se crea el contrabalanceo máximo. Cuando están en el tope inferior, otra vez no hay torque. El segundo de estos momentos de torsión, producido por las cargas en el pozo, es también cero al fondo de la carrera descendente, luego el torque aumenta a su máximo a la mitad de la carrera ascendente, cuando el peso máximo de las varillas, fluido y la acción han obtenido su valor máximo. Al tope de la carrera ascendente, el torque vuelve a tener un valor cero, luego alcanza su valor máximo a la mitad de su carrera descendente y luego termina en cero al fondo de la carrera descendente.

La diferencia de estos torques (del pozo y del contrabalance) da el torque neto y es el que se aplica al reductor y motor del equipo. El área entre las curvas de estos dos torques es proporcional al trabajo efectuado durante una revolución; y la capacidad del reductor, que se requiere efectúe este

trabajo, es proporcional al máximo tamaño de la curva, esto es, a las ordenadas B y E de la figura 4.a.2.a.

En este mismo gráfico se representan las curvas de torque neto, que como se vé, varían de cero a un máximo dos veces durante una rotación completa. Así mismo, superpuesto a las curvas de torque neto, se ha dibujado un rectángulo de torque ideal que tiene un área equivalente a las dos curvas de torque neto e indica trabajo equivalente para su altura máxima ó torque máximo es más bajo. Debido a la diferencia no uniforme y desproporcionada de los torques tanto del pozo y del contrabalanceo, es necesario diseñar el tamaño del reductor y del motor basados en las ordenadas de máxima altura B y E de la figura 4.a.2.a.

Las unidades con montaje frontal estan diseñadas para que las curvas del torque del pozo y el contrabalanceo estén más proporcionadas (ver figura 4.a.2.b), de tal manera que el trabajo se realice a una rotación más constante y se produzca un torque neto resultante que se aproxime más al rectángulo ideal que se muestra en la figura 4.a.2. Este tipo de diseño fue desarrollado por LUFKIN INDUSTRIES y entre sus características podemos indicar las siguientes:

a. Los contrapesos están colocados en forma excéntrica en el crank lo cual produce un torque de contrabalanceo que al empezar la carrera ascendente se retarda del torque del pozo por 7.5 grados aproximadamente. Igualmente al principio de la carrera descendente el torque de contrabalanceo queda adelantado aproximadamente 7.5 grados.

b. El compensador se desplaza hacia adelante en dirección a la cabeza, en vez de estar colocado directamente encima del reductor. Esto origina una carrera ascendente de 195 grados, así mismo la carrera ascendente de 195 grados reduce la aceleración cuando la carga es máxima y logra reducir esta carga en aproximadamente 10 % de la requerida normalmente con las unidades convencionales.

También con el compensador instalado hacia adelante se obtiene una ventaja mecánica al levantar la carga y se reduce esta ventaja mecánica durante la carrera descendente, es decir el factor máximo de torque disminuye y se incrementa en ambas carreras, respectivamente; de esta manera se logra que la unidad trabaje igualmente durante las dos carreras, obteniéndose un torque uniforme que origina una reducción del torque máximo requerido hasta en un 40%. Debido a la reducción de torque el caballaje requerido, también se disminuyen los costos de instalación inicial y operación.

Otras ventajas de estas unidades es que se reducen los problemas por roturas de varillas y permiten un mayor tiempo de llenado de la bomba debido a la disminución de la aceleración al comenzar la carrera ascendente.

4.a.3 LAS VARILLAS DE SUCCION ó DE BOMBEO.

El principal material de todas las varillas de succión es el hierro, el cual constituye más del 90 % de la composición de la varilla. Sin embargo, el hierro en su estado puro es suave y débil, así que se agregan otros elementos para mejorar la resistencia, la dureza y resistencia a la corrosión de las varillas. Entre los elementos de aleación puede mencionarse especialmente al carbono (para aumentar la resistencia, la dureza y la susceptibilidad al tratamiento térmico), el manganeso ó el silicio (para reducir la formación de óxidos de hierro, los cuales debilitan la aleación), el níquel (para combatir las condiciones corrosivas), molibdeno (para aumentar la resistencia) y el cobre (para resistir los ambientes atmosféricos y corrosivos). En general se ha observado que no deben permitirse esfuerzos que excedan 30,000 libras/pulgada cuadrada, en las varillas pulidas, este valor disminuye conforme aumentan las propiedades corrosivas del fluido que se va a bombear. Esta cifra de 30,000 libras/pulgada cuadrada, se basa en pruebas de laboratorio que relacionan la llamada vida infinita, de 10 millones de ciclos contra esfuerzos alternados, pero debe observarse que a una velocidad típica aceptable de bombeo de 15 emboladas/minuto, se realizan 10 millones de ciclos ó esfuerzos alternados en 15 meses. Las varillas de succión están disponibles en diversos tamaños, los tamaños estándar son: 5/8, 3/4, 7/8, 1 y 1-1/8 pulgada de diámetro.

4.a.4 LA BOMBA DE SUBSUELO.

Las bombas de subsuelo instaladas en los pozos de petróleo tiene por función admitir dentro de la tubería de producción el fluido de la formación y levantarlo hasta la superficie. Para lograr esto, cualquier bomba debe tener cuatro elementos esenciales : El Barril, El Pistón, La Válvula Estacionaria y la Válvula Viajera.

El ciclo de funcionamiento de una bomba puede describirse como sigue : al iniciarse la carrera ascendente del pistón tanto la válvula viajera como la estacionaria se encuentran cerradas; mientras el pistón se mueve elevando el fluido hacia arriba, la válvula viajera permanece cerrada, se produce una liberación de la presión dentro de la cámara por debajo de la válvula viajera, permitiendo la apertura de la válvula estacionaria y el ingreso de fluido de la formación a dicha cámara. Al final de la carrera ascendente una columna de fluido igual al desplazamiento del pistón ha sido elevada en la tubería de producción (tubing) hasta la superficie.

Una vez finalizada la carrera ascendente e iniciada la carrera descendente se incrementa la presión en la cámara entre ambas válvulas, lo que origina el cierre de la válvula estacionaria y la apertura de la válvula móvil, haciendo que la carga total del fluido sea transferida de las varillas de bombeo a la tubería de producción y el fluido dentro de la cámara es desplazado a través de la válvula viajera, dicho

fluido será elevado en la próxima carrera ascendente, reiniciándose de esta manera el ciclo de bombeo, como se muestra en el grafico 4.a.1.

Las bombas de subsuelo son de dos tipos principales, aunque hay muchas variantes. Los diseños básicos son la bomba para tubería de producción y la bomba de varillas; la ventaja de la última, es que el ensamble completo de la bomba, incluyendo la válvula viajera y la válvula estacionaria, se corre en la sarta de varillas; el reemplazo y la reparación constituyen entonces una operación relativamente barata, ya no es necesario subir la tubería de producción.

La desventaja de la bomba de varillas en comparación con la bomba para la tubería de producción es que el diámetro del émbolo debe ser más pequeño (para un tamaño dado de tubería de producción) Lo cual reduce la capacidad de la bomba. Los diámetros de los émbolos pueden variar entre 5/8 y 4-3/4 pulgadas, el área del émbolo varía de 0.307 a 17.721 pulgadas cuadradas.

Las velocidades normales de bombeo con varilla de succión varían de 4 a 40 emboladas/minuto, dependiendo de la diferente producción de los pozos y propiedades de los fluidos.

5. EQUIPOS DE BOMBEO MECANICO MULTIPLE.

5.a DISEÑO DE INSTALACIONES DE BOMBEO MECANICO

El diseño adecuado de una instalación de bombeo mecánico no puede hacerse sin considerar todas las partes del equipo de bombeo (bomba, varillas, unidad y motor) y su relación entre ellas.

Los datos básicos necesarios que se deben conocer para el diseño son:

Producción de fluido y profundidad de la bomba. El conocimiento de estos factores facilita la determinación del pistón que origine cargas mínimas en las varillas y el equipo de superficie, torque mínimo en el reductor y menos caballaje requerido en el motor. La determinación del pistón permite seleccionar el diámetro de la tubería de producción, el diámetro y longitud de varillas, la velocidad de bombeo, el torque de la unidad y la potencia del motor.

La interdependencia de estos factores hace extremadamente difícil el diseño de instalaciones de unidades de bombeo y aún cuando se usan algunas ecuaciones teóricas como guías, a menudo es necesario recurrir a ecuaciones empíricas y/o técnicas basadas en la experiencia de campo.

A continuación se indican un conjunto de fórmulas estandar usadas en el diseño de instalaciones de equipo de bombeo mecánico.

5.I FACTOR DE ACELERACION ó IMPULSO (F)

$$F = \frac{S N^2}{70,500} \quad \dots(5.I)$$

Donde : S longitud de carrera del varillón en pulg.
N emboladas por minuto (SPM).

El factor de impulso es el factor que multiplicado por el peso de las varillas de la carga máxima de aceleración y se obtiene considerando que el movimiento recíprocante de las varillas es del tipo armónico simple.

5.II CARRERA EFECTIVA ó NETA DEL PISTON

$$S_p = S + \frac{40.8 L^2 F}{E} - \frac{5.2 G D A_p}{E} \left(\frac{L}{A_t} + \frac{L_1}{A_1} + \frac{L_2}{A_2} + \dots \right) \quad \dots(5.II)$$

Donde : S_p en pulg.

L longitud total de varillas, pie

E módulo de elasticidad, 30×10^6 lb/pulg²

G gravedad específica del fluido.

A_p área del pistón pulg²

A_t área de la sección transversal de la pared de la tubería, pulg²

D profundidad del nivel de líquido, pies.

L_1 longitud de varillas de A_1 , pies.

L_2 longitud de varillas de área A_2 , pies.

La longitud de carrera del émbolo de la bomba difiere de la del varillón pulido, debido al estiramiento de las varillas, tubería y sobreviaje del émbolo.

Durante la carrera descendente, al cerrar la válvula estacionaria y abrir la válvula viajera, la carga de fluido se transfiere de las varillas a la tubería y esta experimenta un estiramiento. Al empezar la carrera ascendente la válvula viajera cierra y origina un estiramiento de las varillas. Consecuentemente, la carrera efectiva del pistón disminuye en una cantidad igual a la suma de las elongaciones de las varillas y tubería, por efecto de la carga de fluido.

Por efecto de la carga de varillas (peso muerto de varillas más carga de aceleración), las varillas también experimentan estiramiento en las carreras descendente y ascendente y la elongación neta da el sobreviaje (overtravel).

5.III DESPLAZAMIENTO DE LA BOMBA

$$V = 0.1484 A_p S_p N \quad \dots(5.III)$$

Donde : S_p carrera efectiva del pistón, pulg.
 V en Bbl/día.

5.IV EFICIENCIA VOLUMETRICA DE LA BOMBA.

$$E_v = \frac{q}{V} \quad \dots(5.IV)$$

Donde : q volumen de fluido producido en Bbl/día.
 E_v en %

5.V PESO DE VARILLAS (En el aire)

$$W_R = W_1 L_1 + W_2 L_2 + \dots \quad \dots(5.V)$$

Donde : W_1 peso de varillas en lb/pie

L_1 longitud de la sarta de varillas W_1 , pies

5.VI CARGA DINAMICA DE VARILLAS (en lbs.)

$$= (1+F) W_R \quad \dots(5.VI)$$

5.VII PESO ESTATICO DEL FLUIDO (en lbs)

$$W_F = 0.433 G(L A_D - 0.294 W_R) \quad \dots(5.VII)$$

5.VIII CARGA MAXIMA DEL VARILLON (en lbs.)

$$PPRL = W_F + W_R(1+F) \quad \dots(5.VIII)$$

En esta fórmula no se consideran el efecto de las fuerzas de fricción del fluido y el de las cargas de vibración.

5.IX ESFUERZO MAXIMO EN VARILLAS (en lb/pulg²)

$$= \frac{PPRL}{A_R} \quad \dots(5.IX)$$

Donde : A_R área de la varilla en pulg².

5.X CARGA MINIMA DEL VARILLON (en lbs.)

$$MPRL = W_R(1 - 0.1276 - F) \quad \dots(5.X)$$

5.XI RANGO DE CARGAS (en lbs.)

$$R_{PR} = PPRL - MPRL \quad \dots(5.XI)$$

5.XII RELACION DE CARGAS (en %)

$$= \frac{(FPRL - MPRL)}{FPRL} 100 \quad \dots(5.XII)$$

5.XIII EFECTOS DE CONTRAFESO IDEAL

$$CB = \frac{1}{2} (FPRL + MPRL) \quad \dots(5.XIII)$$

5.a.1 DISEÑO DEL EQUIPO DE BOMBEO MECÁNICO MÚLTIPLE

El sistema de bombeo mecánico múltiple "catalina", se aplica para operar simultáneamente dos ó más pozos superficiales de baja producción.

El diseño de una instalación de bombeo mecánico debe considerar todas las partes del equipo y su relación entre ellas.

En este sistema de producción se usan equipos tipo balancines simples llamados "jack" que se instalan en la superficie de los pozos y son accionados por líneas de tracción "tiras", desde una central de fuerza.

El diseño computarizado para el equipo de bombeo mecánico múltiple "catalinas", es un método que calcula la dirección y el valor de los contrapesos necesarios para llegar al contrabalance adecuado que permita el óptimo funcionamiento de la catalina.

El método calcula la distancia de un pozo a la catalina, determinando la menor distancia entre estos dos puntos, denominada "distancia relativa", continuación calcula la carga de un pozo de catalina, que es el resultado de sumar la carga de un pozo más la fricción. Finalmente calcula la fuerza total de contrabalance, basado en el principio del equilibrio "sumatoria de fuerzas en los ejes coordenados debe ser igual a cero".

5.a.1.1 ANALISIS

La máxima y mínima carga en las líneas de tracción aplicadas en la excentrica de una catalina es función de tres factores:

1. Carga del pozo.
2. Fricción de las líneas de transmisión de fuerza de los pozos.
3. Inercia de las líneas de transmisión de fuerza a los pozos.

Las cargas de los pozos se calculan en forma similar al diseño para Unidad de Bombeo Mecánico convencional; aplicando las ecuaciones 5.VIII, 5.X y 5.XIV :

$$PFRL = W_F + W_R (1 + F) \quad (5.VIII)$$

$$MFRL = W_R (1 - 0.0127 * G - F) \quad (5.X)$$

$$F = \frac{S * SPM}{5400} \quad (5.XIV)$$

Considerando la relación de jack como:

$$J = \text{carrera del jack} / \text{carrera de la tira}$$

Luego multiplicando estas cargas PFRL y MFRL por la relación "J" se obtiene la carga efectiva en la línea de tracción.

Las cargas máxima y mínima se calculan aplicando las fórmulas :

$$RLP_{max} = PRL_{max} + 0.2 W + W (1 / J) (S * SPM/5400) \quad (5.XV)$$

$$RLP_{min} = PRL_{min} * J - 0.2 W - W(1 / J) (S * SPM / 5400) \quad (5.XVI)$$

Donde:

RLP_{max}	Carga máxima en la línea de tracción (lbs)
RLP_{min}	Carga mínima en la línea de tracción (lbs)
PRL_{max}	Carga máxima en el vástago pulido (lbs)
PRL_{min}	Carga mínima en el vástago pulido (lbs)
J	Relación de jack
W	Peso de la línea de tracción (lbs)
S	Carrera del vástago pulido (pulg)
SPM	emboladas por minuto
PPRL	Carga máxima del varillón (lbs)
MPRL	Carga mínima del varillón (lbs)
W_p	Peso estático del fluido (lbs/pie)
W_r	Peso de varillas (en el aire)
F	Factor de aceleración e impulso
G	Gravedad específica del fluido

Las cargas de fricción, dependen del peso de la tira, velocidad de bombeo, topografía del terreno, métodos de lubricación usados. Para fines prácticos el coeficiente de fricción se considera igual a 0.2 .

Las cargas de aceleración debido a la inercia de la línea de tracción se calcula aplicando el factor de aceleración para velocidades ± 15 SPM. Teniendo en consideración lo anterior, las cargas máxima y mínima se calculan aplicando las formulas 5.XIV y XV.

El contrabalanceo adecuado de una catalina es un factor muy importante para aumentar la vida de servicio del motor, excéntrica y líneas de tracción. Las condiciones de contrabalance cambian con el tiempo debido a variaciones en el número de pozos o cambios en las cargas de cada pozo, debido a esto es necesario verificar con frecuencia las condiciones de contrabalance a fin de efectuar los ajustes necesarios.

Hay varios métodos para determinar las condiciones de contrabalance los cuales según el mismo patrón general de cálculo :

1. Se determina la magnitud de las fuerzas que actúan en la catalina, haciendo uso del dinamómetro ó aplicando las fórmulas de cálculo de cargas máxima y mínima de las líneas de tracción.
2. Se determina el efecto de esas fuerzas sobre la catalina, esto por lo general se hace gráficamente.
3. Se hace el arreglo o ajuste necesario de fuerzas para obtener condiciones de contrabalance adecuado.

La potencia necesaria para accionar una catalina se calcula sumando las potencias requeridas en cada pozo más la potencia necesaria para vencer las cargas de fricción en las líneas de tracción, equipo auxiliar y a través de la catalina misma.

La potencia para vencer las cargas de fricción de las tiras se calcula aplicando la fórmula :

$$HP = \frac{C L W SPM ST}{33000 \times 12} \quad (5.XVII)$$

Donde :

- C Coeficiente de fricción de la tira 0.2
- L Longitud de la tira (pies)
- SPM emboladas por minuto
- ST Carrera de la tira.

La potencia necesaria para operar un jack de catalina es casi despreciable varia de 0.5 a 1.0 HP.

5.b. NIVELES DE FLUIDO

Por diversas razones, muchos pozos se bombean con el espacio anular entre la tubería de revestimiento y la tubería de producción cerrado en la superficie. Esta es una práctica aceptable en tanto que haya poco ó ningún gas libre en los fluidos producidos en la toma de la bomba (por ejemplo, cuando la BHP fluyendo es mayor que la presión de punto de burbujeo ó muy cercana a ésta ó cuando los porcentajes de agua son muy altos), pero en otra forma es un método ineficaz.

La razón es que todo el gas libre presente en la corriente de líquido en la zapata de la tubería de producción se hace entrar al cilindro de la bomba, y este gas reduce la eficiencia volumétrica de ésta. Evidentemente, la determinación mediante un registro del nivel del fluido en el espacio anular en dicho pozo mostrara que la tubería de revestimiento está llena de gas hasta la toma de la bomba (a menos que el volumen de gas libre sea tan bajo a la BHP que ningún gas sea capaz de subir al espacio anular) de tal manera que el pozo da la falsa apariencia de que está agotado por el bombeo. Aún cuando la determinación de la BHP fluyendo, al igual que la IFR, se simplifica considerablemente cuando el espacio anular está lleno de gas, esta es una pequeña compensación por el alto precio pagado por la baja eficiencia volumétrica de la bomba y, por lo tanto, un bajo gasto de salida, especialmente cuando el gasto de producción puede incrementarse significativamente

por el simple hecho de abrir el espacio anular en la superficie entre la tubería de revestimiento y la tubería de Producción. Puede aún incrementarse el gasto con la instalación de una ancla separadora de gas para desviar el gas libre al espacio anular.

El resultado de abrir el espacio anular es permitir que una columna de líquido se forme en su interior, y que el gas libre burbujeando a través de este líquido produzcan una mezcla espumosa. La presencia de esta mezcla, ó fluido del espacio anular, complica la interpretación de los resultados del registro del nivel de fluido en el espacio anular. Con respecto a los instrumentos que se usan en los registros del nivel de fluido, el principio general relacionado es generar una onda de energía en la superficie y registrar el tiempo entre la emisión de esta onda y el regreso de su reflexión a la superficie.

La energía se proporciona comúnmente descargando un cartucho de salva, pero en aquellos pozos que operan con una CHF razonablemente alta (mayor de 75 lb/pulg²) algunas veces, puede ser más conveniente el uso de una botella de acero. Esta botella puede hacerse con un pie ó dos de tubería de revestimiento de 5 pulg. ó alguna otra cosa similar, y se equipa con una válvula de apertura rápida, lo cual permite que el gas de la tubería de revestimiento se expanda repentinamente dentro de la botella, estableciendo una sucesión de ondas en el espacio anular. Si se quiere una

serie de lecturas de un pozo particular, entonces, la válvula de alivio simplemente tiene que abrirse entre cada prueba.

Un punto de importancia práctica al correr el registro de nivel de fluido es asegurarse de que todas las juntas de la tubería de Producción en el agujero sean aproximadamente del mismo largo, es decir, que todas sean de 20 pies ó todas de 30 pies. La razón para esto es que, en lugar de usar la velocidad del sonido en el espacio anular junto con la diferencia de tiempo entre la emisión de la sucesión de ondas y la recepción de la primera reflexión, es común determinar la profundidad de nivel de fluido por reflexiones secundarias en las juntas de la tubería de Producción. La dificultad con el planteamiento que utiliza la velocidad del sonido es que esta velocidad depende de la composición, temperatura y presión del gas, las cuales no se conocen con precisión.

Por otra parte, las reflexiones secundarias tienen lugar en las juntas de la tubería de producción, de modo que el registro del nivel de fluido se parece algo al mostrado en la figura 5.b.9. Si se sabe que cada junta de la tubería de producción está aproximadamente a 20 pies de longitud, por ejemplo, entonces, puede establecerse inmediatamente una escala de profundidad y la profundidad del nivel del fluido puede leerse directamente en el registro.

5.c. PRUEBAS MANOMETRICAS Y DE PRODUCCION

El correcto control de producción de un pozo que tiene un equipo de bombeo mecánico significa chequear el buen funcionamiento de su equipo de superficie y subsuelo; y además analizar la producción de los fluidos del pozo como son; petróleo, gas y agua. Cuando un pozo esta produciendo petróleo, quiere decir que su bomba de subsuelo esta trabajando, (En que medida esta funcionando bien?. Esta respuesta se obtiene realizando pruebas manométricas, por que el funcionamiento de una bomba decae con el transcurso del tiempo, por los problemas inherentes al trabajo de la misma. La pregunta de (cuando es necesario solicitar un cambio de bomba al pozo? Se satisface con un control periódico de pruebas manométricas al pozo en cuestión. Las Pruebas de Producción de los pozos se realizan en las baterías de Producción. Una operación importante realizada en una batería de Producción es la de controlar la producción de petróleo, agua y gas obtenida de los pozos. La función que cumple una batería de producción es la de reunir la producción de un grupo de pozos con el objeto de realizar las siguientes operaciones: 1-Separar el gas y el agua del petróleo; 2-Controlar la producción total de la batería; 3-Controlar la producción de petróleo, agua y gas de cada pozo; 4-Deshidratar el gas para el consumo ; 5-Bombear el fluido a las plantas de tratamiento y/o Patio de Tanques.

Para llevar un correcto control de producción de un pozo que tiene equipo de bombeo mecánico es necesario que este cuente en la cabeza de pozo con un puente de producción (figura 5.C.1), donde eventualmente se instala un manómetro para medir la presión en la tubería de producción, siendo esta la presión que levanta la bomba de subsuelo en un período de tiempo. Luego que la producción del pozo abandona el puente de producción, continúa rumbo a la batería de producción por tubería de 2 pulg. de diámetro estandar (O.D. STD) que se le llama línea de flujo. La línea de flujo al ingresar a la batería de producción lo hace conectando al manifold de producción (equipo formado por dos tubos de 4" O.D., un tubo canaliza la producción del pozo que se está probando y el otro tubo canaliza el resto de los pozos que se miden a totales), que tiene hasta 11 entradas. El manifold de producción se conecta al separador de prueba ó separador de fases (líquido-gas). Por la parte superior del separador de prueba sale una línea de 2" O.D., que conduce el gas y se dirige al Scrubber (separador de líquidos ó deshidratador del gas). Para medir el gas del pozo que está en prueba se coloca un registrador de gas entre el separador de prueba y el separador de líquidos. Este registrador es colocado y conectado a una brida (porta orificios), que aloja unos platos de orificios que permiten medir y registrar la presión estática y la presión diferencial en el tubo conductor. A partir la lectura del disco del registrador se

puede calcular los miles de pies cúbicos (MFC) de gas que produce el pozo que está en prueba.

Por la parte inferior del separador de prueba sale una línea de 2" O.D. que se conecta a un Vol-U-meter que es medidor por ciclos de acumulación, separación y descarga de volúmenes iguales, este vol-u-meter contabiliza el número de barriles de mezcla de petróleo y agua que produce el pozo. A su vez este vol-u-meter transfiere el volumen medido (el gas de la batería de producción se utiliza en el vol-u-meter para impulsar el volumen medido, comúnmente funciona con 25 libras de presión), y se conduce hacia el tanque lavador ó GUN BARREL (equipo cuya finalidad es separar el petróleo del agua), por la parte superior del tanque lavador sale una línea de O.D. que se conecta a un vol-u-meter (que contabiliza el número de barriles de Petróleo que producen todos los pozos que llegan a la batería de producción), que a su vez transfiere y se conecta al Tanque Operativo que contiene la producción de petróleo de la batería. De la parte inferior del tanque operativo sale una línea de 4" O.D. que se conecta a la succión de una bomba de transferencia que bombea la producción al patio de tanque donde se fiscalizará la producción de petróleo. En los casos de presencia de emulsión en la mezcla de petróleo, agua y gas que ingresa a la Batería se le agregan desemulsificantes en puntos de alta agitación de los fluidos como son los manifolds de producción, allí es donde se agregan dosis calculadas para el volumen a tratar en la batería.

5.d. PRUEBAS DINAMOMETRICAS.

Dentro de los instrumentos que se usan en el bombeo de pozos y que permiten el análisis del comportamiento del pozo con bombeo, esta el dinamómetro de varilla pulida (en la superficie).

El conocimiento de los resultados obtenidos con el dinágrafo de la bomba nos ayudara a una correcta interpretación de las gráficas del dinamómetro de la superficie. El dinágrafo de la bomba, el cual se ilustra esquemáticamente en la figura 5.d.1., fue diseñada por Gilbert, para registrar la carrera del émbolo durante el ciclo de bombeo. El instrumento se usa con una bomba del tipo varilla y se localiza inmediatamente arriba de la varilla de tensión. El movimiento relativo entre el tubo de la cubierta, el cual esta conectado a la camisa de la bomba y por lo tanto anclado a la tubería de producción y la varilla calibrada, la cual es una parte integral de la sarta de varillas de succión, se registra como una línea horizontal en el tubo registrador. Este se lleva a cabo mediante el montaje del tubo registrador en una tuerca de mariposa atornillada en la varilla calibrada. El movimiento vertical del conjunto del émbolo con relación a la camisa genera la rotación de este tercer tubo, y el estilo graba una línea horizontal en el tubo registrador. Cualquier cambio de carga en el émbolo genera un cambio en la longitud de la sección de la varilla calibrada entre la tuerca de mariposa que soporta al tubo registrador y los cojinetes autoalineantes que soportan al tubo rotatorio, por

lo que el estilo marca una línea vertical en el tubo registrador.

Cuando la bomba está en operación, el estilo marca una serie de tarjetas, una arriba de la otra. Con objeto de obtener una serie nueva de graficas, se gira la varilla pulida en el cabezal del pozo. Esta rotación se transmite al émbolo en una pocas carreras ó emboladas de la bomba. Al término de una serie de pruebas, el tubo registrador (que tiene 36 " de longitud), se saca y forma parte del registro permanente de la prueba.

Es importante observar que, aunque el dinógrafo del fondo del agujero registra la carrera del émbolo y las variaciones en la carga de éste, no se obtiene una línea cero; por lo tanto, la interpretación cuantitativa de las gráficas se vuelve algo especulativa a menos que se corra simultáneamente un medidor de presión.

5.d.1 DINAGRAFO DE LA BOMBA: INTERPRETACION DE LOS RESULTADOS

Se puede esperar que la gráfica de un dinógrafo de la bomba sea rectangular, como se muestra en la figura 5.d.2.a, en la cual la flecha indica la dirección de la carrera ascendente. La carga más alta durante la carrera hacia arriba es debida a la carga estática de la columna de fluido en la tubería de producción. La suposición de una carga constante durante la carrera ascendente implica que no hay carga inercial debida a la aceleración impartida a la columna de fluido, y los

resultados de las pruebas han mostrado que es completamente cierto parece probable que la razón de que no se impongan cargas por la aceleración del fluido se apoya en la compresibilidad relativamente alta del fluido y en la larga columna de fluido que es usual en los pozos petroleros.

La grafica ideal mostrada en la figura 5.d.2.a, supone una acción instantánea de la válvula en la parte superior y la parte inferior de la carrera. En general, se obtiene cierto gas libre dentro de la bomba en la carrera hacia arriba, de modo que hay un período de compresión de gas en la carrera hacia abajo antes de que se abra la válvula viajera. Esto da por resultado disminución gradual en al carga de la sarta de varillas arriba del émbolo y se obtiene una gráfica parecida a la ilustrada en la figura 5.d.2.b.

En ciertas circunstancias, particularmente si es grande el claro de volumen en el fondo de la carrera hacia abajo puede haber un incremento gradual en la carga en la carrera hacia arriba debido a la expansión de cualquier gas libre entrampado en este claro, al gas que se desprende de la solución conforme se reduce la presión, a la compresibilidad del líquido y al efecto de estrangulación de la válvula estacionaria. El resultado puede ser cierta curvatura de línea de incremento de carga como se muestra en la figura 5.d.2.c, pero dicho efecto será, en general pequeño

Otro fenómeno posible es el golpeteo por fluido. En este

caso, el pozo esta casi ó completamente agotado mediante el bombeo y el desplazamiento del émbolo es más alto que el potencial de líquido de la formación. Como resultado, hay un volumen de gas a baja presión en la cámara de la bomba en la parte superior de cada carrera. Conforme el émbolo se mueve hacia abajo, este gas se comprime, pero abajo de la válvula viajera se acumula presión insuficiente para superar la carga estática del fluido en la tubería de producción antes de que el émbolo toque el líquido relativamente libre de gas en la parte inferior de la cámara. El resultado es una brusca caída del esfuerzo en la sarta de varillas y el choque repentino puede ser dañino al sistema mecánico. Tal condición con golpeteo por fluido, que se ilustra en la figura 5.d.2.d, frecuentemente, es difícil de diferenciar de la compresión de gas en la carrera hacia abajo. En ciertas instancias, la carga de choque impuesto resultante del golpeteo por el fluido puede mostrarse en la carta de la bomba(figura 5.d.2.e). Si la bomba esta operando a una eficiencia volumétrica muy baja, es decir si casi toda la carrera de la bomba se pierde en la compresión del gas y expansión, puede resultar una gráfica del tipo mostrado en la figura 5.d.2.f. En el límite, cuando no se bombea líquido alguno, no tiene lugar la acción de las valvulas y el área dentro de la carta puede desaparecer del todo; en este caso se dice que la bomba tiene candado de gas. Dicha condición es solo temporal, ya que la fuga continua del petróleo al émbolo aumenta gradualmente el volumen del fluido en el

cilindro de la bomba, con el resultado de la presión máxima en el fondo de la carrera hacia abajo se eleva hasta que, al final, hay suficiente presión para abrir la válvula viajera y se inicia otra vez la acción del bombeo.

5.d.2 DINAMOMETRO SUPERFICIAL : DESCRIPCION GENERAL

El uso del dinógrafo de la bomba implica extraer del agujero las varillas y la bomba para la instalación del instrumento y la recuperación del tubo registrador; además, el dinógrafo descrito antes no puede usarse en un pozo equipado con una bomba para tubería de producción. Se concluye que este tipo de instrumentos es más bien para la investigación que para utilizarse como herramienta operacional, pero una vez que se ha comprendido la gráfica de la bomba, es posible aplicar este conocimiento a la interpretación de las gráficas del dinamómetro superficial que son relativamente simples de tomar, pero frecuentemente, difíciles de analizar. El dinamómetro superficial, ó de varilla pulida, es una herramienta que registra el movimiento de la varilla pulida durante el ciclo de bombeo y la variación de la carga. Aún cuando esta varilla está obligada, por la acción de la unidad de bombeo, a seguir un patrón de tiempo regular comparado con la posición, la gráfica de la carga está distorsionada severamente debido a que la sarta de varillas de succión separa la varilla pulida del punto en el cual ocurren regularmente las variaciones de carga durante cada carrera, a saber, el émbolo.

Debe mencionarse que las tarjetas ó gráficas superficiales tienen tres usos principales: para obtener información que se utilizará como base para hacer cambios en el equipo de bombeo y en particular, para determinar los requisitos de carga, par de torsión y caballos de fuerza; para mejorar las condiciones de operación por ajustes en la velocidad de bombeo y la longitud de la carrera; y para verificar las condiciones del pozo, después de la instalación del equipo, para evitar ó dignosticar diversos problemas de operación. En lo que respecta al mismo instrumento, están disponibles modelos mecánicos, hidráulicos y eléctricos. Uno de los instrumentos mecánicos más comunes es el dinamómetro de anillo; este se instala entre el cable de jalón y la grampa de la varilla pulida de tal modo que el anillo pueda soportar la carga entera del pozo. La deflexión en el anillo es proporcional a la carga impuesta, y esta deflexión se amplifica y transmite al brazo registrador mediante una serie de palancas. Un estilo en el brazo registrador traza un registro de las cargas impuestas en una tarjeta de papel encerado localizado en un tambor. Las cargas se obtienen en términos del desplazamiento de la varilla pulida haciendo que el tambor oscile de un lado a otro para reflejar el movimiento de la varilla pulida.

Un modo de lograr esto es conectando el tambor a una polea cargada con resorte de la cual se fija una cinta a algún objeto estacionario, tal como el cabezal del pozo. En la carrera hacia arriba, la cinta hace girar la polea y por lo

tanto, el tambor contra un resorte; en la carrera hacia abajo, la rotación del tambor se invierte por la acción del resorte. Puede trazarse una línea cero ó línea-base que corresponde a la carga cero poniendo el estilo en contacto con la carta de papel encerado después de instalar el dinamómetro en el pozo pero con la PRL soportada por una grampa colocada entre el cable de jalón y el anillo. Las técnicas del diagnóstico de las tarjetas superficiales usando los análisis de computadora requieren un registro gráfico en cinta del desplazamiento de la varilla pulida y la carga graficada contra el tiempo. La celda de medición de la fatiga por carga del dinamómetro se monta, como se mencionó anteriormente, entre el cable de jalón y la grampa, y la señal eléctrica de la celda se pasa a un lado del registrador de dos canales.

El desplazamiento de la varilla pulida se mide con un potenciómetro acoplado a una polea retraíble con par de torsión constante en la cual se devana un cable, el extremo libre del cable se fija a la varilla pulida. La señal de salida del potenciómetro se transfiere al segundo canal del registrador.

5.d.3 INTERPRETACION CUALITATIVA DE LAS GRAFICAS OBTENIDAS CON EL DINAMOMETRO SUPERFICIAL.

La PRL máxima y mínima pueden leerse directamente de la tarjeta de la superficie utilizando la calibración de instrumento y línea-base de modo que, fácilmente, pueden calcularse los requisitos de la carga, par de torsión y caballos de fuerza de la instalación en la superficie. El alargamiento y contracción de las varillas este fenómeno afecta a la gráfica del dinamómetro superficial. Al fondo de la carrera, la tensión en la sarta de varillas aumenta constantemente conforme la varilla pulida se mueve hacia arriba por la acción de la unidad de bombeo y conforme cierra la válvula viajera. Cuando esta tensión es suficiente para levantar la columna del fluido soportada por el émbolo, el mismo émbolo principia el viaje hacia arriba. La tensión aumentada en las varillas en la carrera hacia arriba da como resultado el alargamiento de las varillas. En la parte superior de la carrera, la tensión se alivia gradualmente en la sarta de varillas conforme el cabezal del balancín se mueve hacia abajo y las varillas sufren cierta contracción. Estos efectos modifican la cantidad de aumento de carga vertical y liberación de carga de la gráfica ideal de la bomba (figura 5.d.2.a), y la gráfica ideal de la superficie ⁴ sera como se muestra en la figura 5.d.3.a.

5.d.4 FUERZA DE ACELERACION

El principal efecto de la fuerza de aceleración en las varillas, es hacer girar la gráfica en el sentido de las manecillas del reloj, es decir, elevar las PRL en el fondo de la carrera y bajarlas en la parte superior de la carrera. Con referencia a la figura 5.d.3.b, al fondo de la carrera (punto A), la PRL necesaria para acelerar la sarta de varillas hacia arriba es la máxima. En la mitad de la carrera (punto B) es cero, y durante la última mitad de la carrera hacia arriba las varillas se desaceleran; la desaceleración máxima la experimentan las varillas en la parte superior de la carrera hacia arriba (punto C). La gráfica en la carrera hacia abajo es similar, la máxima carga de aceleración otra vez se requiere en el fondo de la carrera (punto F).

Se observará que los valores del peso de las varillas en el fluido, a saber $W_r - W_{rb}$, y de este peso más el peso del fluido en el área total del émbolo, a saber $W_r - W_{rb} + W_f$, ya no se obtienen inmediatamente de la gráfica del dinamómetro superficial. Por esta razón, se hacen algunas veces las verificaciones de válvula viajera (TV) y válvula estacionaria (SV), en un pozo con bombeo.

5.d.5 VIBRACIONES DE LAS VARILLAS

Un factor que viene a complicar la interpretación de las gráficas del dinamómetro superficial lo introducen las armónicas amortiguadas que ocurren en la sarta debido a los cambios repentinos en la carga en las varillas causadas por la recuperación (el cierre de la válvula viajera) y por el golpeteo por el fluido. Ya que la velocidad de la propagación de esta onda de esfuerzos a través de la sarta de varillas de succión es finita, del orden de 15,000 pies/segundo, hay un retraso del tiempo entre el inicio de una secuencia de esfuerzos en el émbolo y su llegada a la superficie. Además, ya que el extremo inferior de la sarta está abierto, hay una inversión de esfuerzos cada vez que la onda se refleja desde el extremo. Esto conduce a esfuerzos altos y bajos, que se amortiguan con el tiempo, en la varilla pulida, y que los registra el dinamómetro superficial. El intervalo entre las altas y bajas de cualquier secuencia es una constante (igual en segundos al doble de la longitud de la sarta de varillas en pies dividida entre 15,000), pero debido a que la gráfica del dinamómetro se registra contra una abscisa de intervalos iguales de desplazamiento de la varilla pulida y a que la velocidad de la varilla pulida varía a través de toda la carrera, los esfuerzos máximos y mínimos no aparecen en la gráfica a intervalos regulares. De hecho la varilla pulida se mueve lentamente cerca de los centros muertos superior e inferior, de modo que las fluctuaciones de esfuerzos se

mostrarán cercanas y juntas en cualquier extremo de la tarjeta. Quedarán espaciados más ampliamente en el centro ya que las varillas tienen su máxima velocidad en la mitad de la carrera.

6. APLICACION

6.a. El sistema de Bombeo Mecánico Múltiple "Catalina", se aplica para operar simultáneamente dos ó más pozos superficiales de baja producción.

El diseño de una instalación de Bombeo Mecánico debe considerar todas las partes del equipo y su relación entre ellas.

En este sistema se usan balancines simples llamados "jacks" que se instalan en los pozos y son accionados por líneas de tracción "tiras", desde una central de fuerza denominada "Catalina".

El sistema de E.B.M. múltiple "Catalinas", requiere el buen funcionamiento de todas sus partes; el adecuado balanceo solo es posible si todas las partes funcionan en buen estado. La falla de uno de ellos no permitiría un adecuado balanceo.

El correcto balanceo permitiría una mayor vida útil de los equipos.

La central de fuerza ó "Catalina" es un equipo sometido a fuerzas en las direcciones de los pozos. La excéntrica es la parte de la catalina que recibe directamente estas fuerzas, el estado de los agujeros donde enganchan las tiras de tracción de cada pozo, evidencian el trabajo de la catalina, si la catalina a trabajado con un correcto balanceo, la excéntrica presentara un desgaste uniforme y regular en el estado de sus agujeros y si a trabajado deficientemente la excéntrica presentara un desgaste irregular por lo general

se destruye el agujero y a corto plazo se tendrá que reemplazar la excéntrica.

El sistema de tracción permite transmitir la fuerza que requiere el equipo de la bomba de subsuelo a través de las líneas de tracción las mismas que están soportadas sobre varios postes con su polea respectiva, la falta ó el deterioro del conjunto poste-polea altera el buen funcionamiento del sistema.

6.b. PROBLEMAS CAUSADOS POR PARAFINA, ARENA Y CARBONATOS

6.b.1. PROBLEMAS CAUSADOS POR PARAFINA.

La acumulación rápida y abundante de parafina en tuberías de producción y líneas de flujo, es uno de los mayores problemas operativos de la producción de crudo en O.N.O. Los primeros 1,500 pies de tubing y los 500 pies iniciales de línea de flujo son generalmente, los más vulnerables. En sus paredes se adhieren fuertemente gruesas capas de cera que restringen paulatinamente el flujo de crudo hasta anularlo.

Al extremarse la acumulación el pozo entra en "well service" para remover la parafina y restaurar el nivel de producción.

Un depósito parafinoso, es un depósito que inhibe la producción de crudo. Su composición puede incluir materiales diversos tales como: compuestos asfálticos, resinas, true wax (parafina verdadera), emulsión, productos de corrosión, scales (incrustaciones), arena, arcilla, sales, etc. En el sentido estricto el término parafina engloba a un grupo de hidrocarburos no saturados de fórmula C_nH_{2n+2} , con +/- 20 a 50 átomos de carbono, puntos de fusión-congelación entre 100 a 200 °F y pesos moleculares en el rango de 350 a 800.

Dentro de los inconvenientes que ocasiona la parafina; limita la producción de crudo (por restricción del flujo y presurización del pozo que frena el aporte del reservorio), disminuye la vida útil y reduce la eficiencia del equipo de subsuelo y superficie. Promueve la corrosión y dificulta el tratamiento desemulsionante del crudo, forma depósitos en el "

fondo de los tanques, reduce la presión y eleva la viscosidad del crudo dificultando el bombeo en oleoductos.

(Como se forma y depósita la parafina?. Antes del baleo de un pozo los materiales parfinosos están por lo general disueltos en el petróleo. Hay un equilibrio en el aceite y el gas en el reservorio. Cuando la formación es penetrada y el pozo se pone en producción el equilibrio se altera por la producción de volátiles con el gas causando pérdida de solubilidad de la parafina que comienza a precipitar. El efecto combinado del enfriamiento y el menor poder disolvente del crudo despojado de livianos disminuye la solubilidad de la parafina produciéndose la precipitación. La precipitación ó cristalización ocurre cuando la temperatura desciende por debajo del "cloud point" ó punto de nube del crudo.

Materiales en suspensión como arena, asfaltenos, productos de corrosión etc, aceleran la precipitación actuando como núcleos de cohesión de las pequeñas partículas de cera. La rugosidad del tubing ó línea de flujo conjuntamente con la baja tensión superficial de la parafina frente al agua y al aceite, que la convierte en hidrofóbica y oleofóbica, determinan su fácil adherencia a la pared metálica de los tubos.

(Como se resuelven los problemas de parafina? Las diversas técnicas disponibles se agrupan usualmente en tres grupos: método mecánico, método térmico y método químico.

Método mecánico; remoción directa de depósitos por arrastre mecánico; mediante barrenos, scrapes, corrida de "chanchos", etc.

Método térmico; calentamiento por encima del punto de fusión para disolver la parafina y/o mantenerla en solución; con aceite caliente, calentadores "Botton hole", barras de magnesio, etc.

Método químico; mediante productos químicos, los mecanismos de acción son diversos; pueden ser solventes, dispersantes, inhibidores, surfactantes, etc.

El método químico de control de parafina, representa la tendencia moderna en la solución de los problemas de la parafina. Comparados con los clásicos procedimientos térmicos y mecánicos, es más económico y fácil de usar. Los productos solventes devuelven al crudo su poder disolvente disminuido por la fuga de hidrocarburos livianos. Los agentes dispersantes cubren las partículas de cera impidiendo que se junten o peguen a la tubería. Los inhibidores o modificadores de cristales coprecipitan conjuntamente con los cristales de parafina impidiendo y modificando su crecimiento, actúan sobre la viscosidad y "pour point" del crudo mejorando su bombeabilidad. Los surfactantes o detergentes reducen la tensión superficial del agua facilitando el mojado del depósito parafinoso y la

pared de la tubería. Esto debilita las fuerzas de atracción parafina-parafina y parafina-metal con lo cual el depósito es ablandado y removido.

6.b.2 PROBLEMAS CAUSADOS POR ARENA.

En los ajustes del émbolo: se pueden utilizar émbolos de metal a metal con claros entre cilindros y émbolo en los diámetros de 0.001", 0.002", 0.003", 0.004" y aún 0.005". Se refiere a estos ajustes como menos uno (-1), menos dos(-2), etc; que significa que el émbolo es 0.001", 0.002", etc. menor que el diámetro nominal interior del cilindro. Al seleccionar un émbolo es muy importante considerar la viscosidad del aceite que se va bombear. Un émbolo con un ajuste flojo puede operar con eficiencia aceptable en un pozo que produce aceite muy viscoso y cuando se instala a la misma profundidad, fallar en el suministro de aceite que se envía a la superficie en un pozo que produce aceite de baja viscosidad.

a) El aceite de baja viscosidad de 1 a 20 centipoise puede bombearse con ajuste de émbolo de metal a metal de -0.001".

b) El aceite de alta viscosidad (más de 400 centipoise) arrastrará probablemente arena en suspensión; en la mayoría de los casos donde se usa un émbolo de ajuste flojo de metal de -0.005", las partículas de arena se deslizarán al pasar el émbolo en lugar de atascarlo ó rayarlo.

Para evitar que la arena llegue a ingresar a la bomba utilizan los filtros de arena, estos tienen la forma tubular y concéntrica de tal manera que el fluido sin arena pase por el niple de asiento hasta la succión de la bomba de subsuelo.

6.b.3. PROBLEMAS CAUSADOS POR CARBONATOS.

Las incrustaciones en las operaciones de producción de petróleo en O.N.O. son principalmente de carbonato de calcio.

Estas se presentan debido a la variación del contenido de CO_2 disuelto en el agua de formación, por el tiempo de residencia en los equipos de producción y el contenido de los sólidos totales en el agua de producción. Adicionalmente, incremento de la temperatura del fluido en los tratamientos térmicos aumentan las incrustaciones en estos equipos y en las líneas de transferencia a los tanques.

El tratamiento químico resuelve el problema de las incrustaciones donde estas ocurran; usando el principio de inhibición umbral que impide el crecimiento de los cristales incrustantes por distorsión y dispersión de los macrocristales deformados.

Los productos inhibidores se seleccionan de acuerdo a tres consideraciones fundamentales:

1-Temperatura del fluido. 2-Contenido de sales disueltas incrustantes, especialmente calcio. 3-Método de aplicación.
estos inhibidores químicos pueden ser del tipo inorgánico, orgánico ó polimeros.

7. EVALUACION ECONOMICA

En la economía de la producción, el objetivo final del desarrollo de la ciencia de la ingeniería de yacimientos se ha definido por Muskat como el logro de la máxima eficiencia en la explotación de yacimientos petrolíferos, donde la frase eficiencia máxima indica la máxima recuperación del aceite a costo mínimo.

Con el objeto de alcanzar la máxima eficiencia en la operación de los pozos productores perforados en un yacimiento petrolífero; el ingeniero de producción no solamente debe conocer como analizar el comportamiento del pozo, sino que debe ser también capaz de decifrar y verter los resultados de la interpretación para asegurar que la recomendación de inversión de dinero conduce al máximo beneficio.

El conocimiento de indicadores económicos para un análisis de proyectos, como son; la inversión total de capital, período de cancelación, porcentaje de ganancia y vida de un proyecto es un mínimo esencial requerido por la gerencia para tomar decisiones.

Aunque el uso de valores sin actualizar conduce a resultados excesivamente favorables al proyecto (ganancia más alta, período de cancelación más corto), también hay una desventaja mayor en el uso de valores actualizados. Esto se presenta por la pregunta: ¿que tasa de descuento debe usarse?

Si la compañía ha reunido la mayor parte del capital requerido por medio de un préstamo entonces el sentido común puntualiza el uso de la tasa de interés del préstamo como la tasa de descuento. Si, como es frecuentemente el caso en la industria petrolera, la compañía genera su propio capital, entonces la tasa de descuento debe reflejar el poder ó la potencialidad de ganancia de las inversiones actuales de capital de la compañía. Pero esta no es una cifra fácil de encontrar y frecuentemente dentro de una compañía habra diferencias considerables de operación en relación a la tasa de descuento que debe usarse.

Puede demostrarse que la tasa de ganancia ó retorno (T.I.R), es la tasa de interés sobre el capital invertido. Es evidente que, mientras más alta la tasa de retorno más atractivo sera el proyecto. Muchos partidarios del uso de la tasa de retorno parecen contemplarla como el único criterio de decisión que necesita la gerencia: los proyectos propuestos se listarían en el orden de la tasa decreciente de retorno, y los proyectos emprendidos iniciando con el superior y trabajando hacia abajo en la lista. Pero la tasa de retorno (TIR) no suministra información suficiente por si misma. Por ejemplo, no da idea respecto a las cantidades de dinero invertidas, de modo que debe reportarse siempre la inversión estimada de capital y el beneficio máximo (o por ciento); no da una idea clara de que tanto tiempo pasará antes de que el gasto de capital retorne a la compañía por el camino de la utilidad de la operación (período de

recuperación); y no da idea de la vida del proyecto o del tiempo durante el cual el dinero tiene que invertirse sin que se recuperen cantidades suficientes. Esta información están esencial a la gerencia como lo es el criterio de rango, tasa de retorno, para tomar decisiones finales respecto a qué proyectos se ponen en efecto y cuales difieren o rechazan.

En consecuencia es evidente que, con objeto de decidir entre los proyectos, la gerencia requiera, como mínimo los siguientes seis valores:

1-inversión total del capital. 2-período de inversión. 3-ganancia(o porcentaje de utilidad). 4-período de recuperación. 5-vida productiva del proyecto. 6-tasa de retorno.

7.a. ECONOMIA EN LA INSTALACION DE EQUIPO DE BOMBEO MECANICO

Para el cálculo económico se ha considerado un Fozo de profundidad de 2,500 pies.

EQUIPO DE BOMBEO MECANICO :

Costos de las siguientes partes :

A. Unidad de bombeo C-40D-89-42	US \$	15,000
B. Motor eléctrico 7 Hp		4,280
C. Vigas de concreto		46
D. Varillón pulido y prensa estopa		30
E. Varillas de bombeo 5/8" O.D. STD		2,450
F. Tubing 2-3/8" O.D. EUE		8,000
G. Bomba de subsuelo 2x1-1/4x11 RWTC		610
H. Línea de flujo 2" O.D. STD		2,900
TOTAL :	USA \$	34,000

COSTOS UNITARIOS

1. Varillas 5/8" O.D. STD 0.98 \$/pie x 2,500 pie/pozo
2. Tubing 2-3/8" O.D. EUE 3.20 \$/pie x 2,500 pie/pozo
3. Línea de flujo 2" O.D. STD 1.81 \$/pie x 1,600 pie/pozo

COSTOS DE PRODUCCION (Por año)

a. Servicio a los pozos (75 \$/hr x 8hr/pozo x 2 serv/año)	US. \$	1,200
b. Servicio y mantenimiento de equipos (3500 \$/pozo)		3,500
TOTAL :	US \$	4,700

LINEAMIENTOS ECONOMICOS.

Se han considerado los siguientes valores para los cálculos económicos.

1. Un pozo de 2,500 pies de profundidad con 5 barriles p
día de producción ó una reserva de 9,125 barriles.
2. Precio de barril de crudo : 18 \$/barril
3. Tasa de descuento : 20 %
4. Tasa de impuesto : 35 %
5. La depreciación de los activos fijos : método lineal
6. Vida productiva media del proyecto : 5 años

EVALUACION ECONOMICA - PROYECTO DE INSTALACION DE EQUIPO DE BOMBEO MECANICO
(US \$)

ANOS	0	1 - 5
INVERSION (US \$)	(34,000)	
PRODUCCION (Bls)		1,825
<u>INGRESOS</u> (18 \$/Bls)		32,850
<u>EGRESOS</u>		
COSTO OPERATIVO		(4,700)
DEFRECIACION		(6,800)
INGRESO ANTES DE IMPUESTO		21,350
INGRESO DESPUES DE IMPUESTO		<u>13,880</u>
DEFRECIACION		6,800
FLUJO EFECTIVO		20,680
FACTOR DESCUENTO (20 %)	1.0000	2.9906
FLUJO EFECTIVO DESCONTADO	(34,000)	61,840
<u>V. A. N.</u> (20 %)		(+27,840)
<u>TIR</u>	:	54 %
<u>PAY OUT</u>	:	3 años, 3 meses y 11 dias

7.6 ECONOMIA EN LA INSTALACION DE EQUIPO DE BOMBEO MECANICO
MULTIPLE.

Para el cálculo económico se esta considerando la Reactivación de la Catalina N° 175 Batanes que trabaja con 9 pozos, cuyos datos generales que se presentan en el apéndice.

EQUIPOS DE BOMBEO MECANICO MULTIPLE

Costos de las siguientes partes :

A. Catalina OIL WELL No 30 A-SC Geared Power	US \$	45,000
B. Motor eléctrico 42 Hp.		15,000
C. Cimentación y techado		5,000
D. Pumping jack OKLAHOMA No 3 (2000 \$/pozo x 9 pz)		18,000
E. Juego de vigas de concreto (250 \$/pozo x 9 pozo)		2,300
F. Varillón pulido y prensa estopa (305 \$/pozo x 9 pozos)		2,700
G. Varillas de Bombeo 5/8" O.D. STD. (0.98 \$/pie x 21,683 pies/9 pozos)		21,2
H. Bomba de subsuelo 2x1-1/4x11 RWTC (610 \$/pozo x 9 pozos)		5,500
I. Tubing 2-3/8" O.D. EUE. (3.20 \$/pie x 21,683 pie/9 pozos)		69,400
J. Línea de Flujo 2" O.D. STD. (1.81 \$/pie x 13,590 pie/9 pozos)		24,600
K. Tiras (0.35 \$/pie x 10,500 pie/9 pozos)		3,700
L. Postes, poleas y platinas (10 \$/juego x 510 juegos /9 pozos)		5,100
TOTAL :	US \$	217,500

COSTOS UNITARIOS.

1. Pumping Jack Oklahoma No 3	2,000 \$/pozo
2. Varillas 5/8" O.D. STD.	0.98 \$/pie
3. Tubing 2-3/8" O.D. EUE.	3.20 \$/pie
4. Linea de Flujo 2" O.D. STD	1.81 \$/pie
5. Tiras de Tracción	0.35 \$/pie

COSTO DE PRODUCCION (Por año)

a. Servicio a los Pozos (75 \$/hr x 8 Hr/pozo x 9 pozos x 2 serv/año)	10,800
b. Servicio y mantenimiento de equipo (5,000 \$/catalina)	5,000
TOTAL :	US \$ 15,800

LINEAMIENTOS ECONOMICOS

Se han considerado los siguientes valores para los cálculos económicos.

1. Se ha considerado el Proyecto de Reactivación de 9 Pozos de la catalina Nº 175 que tiene reservas de 82,500 barriles de petróleo ó 5 barriles de petróleo por día y por pozo.
2. Precio del barril de crudo : 18 \$/barril
3. Tasa de descuento : 20 %
4. Tasa de impuesto : 35 %
5. La depreciación de los activos fijos : método lineal
6. Vida productiva media del proyecto : 5 años.

EVALUACION ECONOMICA - PROYECTO DE INSTALACION DE EQUIPO DE
BOMBEO MECANICO MULTIPLE " CATALINA ".

(US \$)

<u>ANO</u>	<u>0</u>	<u>1 - 5</u>
INVERSION (US \$)	(218,000)	
PRODUCCION (Bls.)		16,500
<u>INGRESOS</u> (18 \$/Bls.)		297,000
<u>EGRESOS</u>		
COSTO OPERATIVO		(15,800)
DEFRECIACION		(43,600)
INGRESOS ANTES DE IMPUESTO		237,600
INGRESOS DESPUES DE IMPUESTO		154,400
DEFRECIACION		43,600
FLUJO EFECTIVO		198,000
FACTOR DESCUENTO (20 %)	1.0000	2.9906
FLUJO EFECTIVO DESCONTADO	(218,000)	592,140
<u>V.A.N.</u> (20 %)		(+374,140)
<u>T.I.R.</u>	:	87 %
<u>PAY OUT</u>	:	1 año, 4 meses y 19 días

7.c. ECONOMIA INCREMENTAL o COMPARADA

entre los items 7.a. y 7.b.

ANALISIS ECONOMICO

METODO : INDICE DE RENTABILIDAD INCREMENTAL

ALTERNATIVA "A": INSTALACION DE E.B.M MULTIPLE TIPO ATALINASALTERNATIVA "B": INSTALACION DE E.B.M. CONVENCIONAL.

<u>ALTERNATIVA</u>	<u>" A "</u>		<u>" B "</u>	
	<u>0</u>	<u>1 - 5</u>	<u>0</u>	<u>1 - 5</u>
INVERSION (US \$)	(218,000)		(306,000)	
COSTO OPERATIVO		(15,800)		(42,300)
DEPRECIACION		(43,600)		(61,200)
INGRES.ANT.IMPST.		(59,400)		(103,500)
INGRES.DESP.IMPST.		(38,610)		(67,280)
DEPRECIACION		43,600		61,200
FLUJO EFECTIVO	(218,000)	4,990	(306,000)	(6,080)
FACT.DESC.(20 %)	1.0000	2.9906	1.0000	2.9906
FLUJO EFECTIVO				
DESCONTADO	(218,000)	14,920	(306,000)	(18,180)
V.A.N.	(203,080)		(324,180)	
VAN INCREMENTAL :	(203,080)		(324,180)	+121,100
TIR INCREMENTAL :	25.6 % mayor "A" que "B".			

8. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

1. El método de cálculo computarizado para contrabalancear catalinas da una solución más rápida y precisa para el contrabalance deseado.
2. El método de cálculo computarizado para contrabalancear catalinas nos permite diseñar nuevas catalinas y rediseñar las existentes, además nos permite contrabalancear adecuada y periódicamente a las 20 catalinas operativas en O.N.O.
3. De los resultados de la evaluación económica para el proyecto de instalación de equipo de bombeo mecánico para nueve pozos los indicadores económicos para una inversión total de US \$ 306,000 dólares dan un VAN de US \$ 250,560 dólares, un TIR de 54 % y un PAY OUT de 3 años, 3 meses y 11 días, siendo el factor de descuento 20 %.
4. De los resultados de la evaluación económica para el proyecto de instalación de equipo de bombeo mecánico múltiple "Catalina" para nueve pozos los indicadores económicos para una inversión total de US \$ 218,000 dólares, dan un VAN de US \$ 374,000 dolares, un TIR de 87 % y un PAY OUT de 1 año, 4 meses y 19 días, siendo el factor de descuento 20 %.

5. De los resultados del análisis económico para una economía incremental ó comparada utilizando el método del índice de rentabilidad incremental entre dos alternativas A y B (siendo la alternativa "A" la instalación de Catalinas y "B" la instalación de equipo de bombeo mecánico) los indicadores económicos dan un VAN incremental de 121,100 favorable a la alternativa "A", y un TIR incremental 25.6 % mayor "A" que "B" Este resultado favorable a la alternativa "A" sobre la alternativa "B" se debe principalmente a la mayor inversión de "B" sobre "A" en 40 % y el mayor costo operativo de "B" sobre "A" en 168 % debido a la naturaleza de los equipos.

6. El método más acertado de determinar la magnitud de las fuerzas de los pozos que llegan a la excéntrica son empleando el dinamómetro, que no está implementado en nuestra operación. Debe estudiarse una implementación para usarla con nuestros equipos actuales.

7. En la mayoría de nuestras catalinas el sistema se siente afectado por la falla de uno de los componentes o más, ya sea tiras de tracción, postes ó falta de poleas, esto constituyen elementos esenciales para que el sistema resulte afectado y la central de fuerza trabaje en desbalance y se afecte mecánicamente a todo el equipo y por lo tanto tenga menor tiempo de vida útil.

8. La falta de repuestos, como son poleas, jacks, platinas, postes, etc., son determinantes para que trabajen estos equipos en estado de deterioro y con baja eficiencia disminuyendo la producción esperada. Se recomienda solicitar que se fabriquen los repuestos necesarios para atender nuestras catalinas.

9. Ante la situación drámatica de no contar con reservas de petróleo suficientes para cubrir nuestra demanda interna se hace perentorio tomar en cuenta estos proyectos de reactivación de pozos de baja producción a pesar que frente a otros proyectos de indicadores económicos más rentables se ven postergados. Dada la situación apremiante de nuestra realidad petrolera es mejor producir que importar petróleo.

BIBLIOGRAFIA

1. Cap. 3 de tesis, referido al cap. Unidades de Bombeo paq.IV.D.1 del manual TECNOLOGIA SOBRE OPERACIONES DE PRODUCCION . Centro de Capacitación PETROPERU 1976.
2. Cap. 4, titulo 4.a.1 y 4.a.2 de tesis, referido al cap 7 Sucker rod Pumping del PRINCIPLES OF WELL PRODUCTION T.E.W. Nind 1981. y el titulo 4.a.3 de tesis, referido al cap 5 Sucker Rod Pumping del WELL DESIGN DRILLING AND PRODUCTION B.C. Craft 1962.
3. Cap 5 , titulo 5.a de tesis, referido al cap 2 Beam pumping: design and analisis del TECHNOLOGY OF ARTIFICIAL LIFT METHODOS. Kermit E. Brown, Vol. 2a. y titulo 5.b y 5.c de tesis, referido al cap 10 Pumping Well Instruments del PRINCIPLES OF WELL PRODUCTION T.E.W. Nind 1981 y del INTRODUCCION AL ANALISIS DE SISTEMAS DE BOMBEO CON VARILLAS occidental Peruana 1982.
4. Cap 6, titulo 6.b de tesis, referido a los informes técnicos de Hallco S.A. sobre control de parafina en Portachuelo 1986 y control de carbonatos en operaciones Nor-Oeste 1984. Dpto. Técnico de Petróleo U.N.O.
5. Cap. 7 de tesis referido al Cap. 12 Production Economics del PRINCIPLES OF WELL PRODUCTION T.E.W. Nind 1981. y el NORMAS PARA ELABORAR Y EVALUAR PROYECTOS DE INVERSION. Centro de Capacitación PETROPERU 1987.