

20
29



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE INGENIERIA

APLICACIONES DE CAMPO DE LA BOMBA MULTIFASICA EN EL TRANSPORTE DE HIDROCARBUROS

TESIS PROFESIONAL

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE

INGENIERO PETROLERO

P R E S E N T A:

ROBERTO REYES CRUZ

DIRECTOR DE TESIS:

M. EN I. JOSE ANGEL GOMEZ CABRERA

MEXICO, D. F.

1993

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN



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 está 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.

INDICE

	página
INTRODUCCION	1
CAP. I FLUJO MULTIFASICO	4
CAP. II ANTECEDENTES HISTORICOS	9
CAP. III CLASIFICACION DE LAS BOMBAS MULTIFASICAS	21
BOMBA DE DOBLE TORNILLO	21
BOMBA ROTODINAMICA	35
CAP. IV APLICACIONES DE CAMPO	51
CAP. V PERSPECTIVAS DE APLICACION EN MEXICO	63
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	73
BIBLIOGRAFIA	76

INTRODUCCION

El presente trabajo se ha desarrollado con el deseo de contribuir, aun cuando sea en forma mínima, a la difusión de las actividades cada vez mayores que está desarrollando una de las compañías más grandes y más importantes de la República Mexicana: Petróleos Mexicanos.

El tema desarrollado, "Aplicaciones de Campo de la Bomba Multifásica en el Transporte de Hidrocarburos", se inicia haciendo una explicación de lo que es el Flujo Multifásico, para que el lector del presente trabajo pueda conocer los problemas que se requiere vencer para transportar este tipo de fluidos.

En el Cap.II, se hace una breve reseña de la diferentes bombas que se han usado durante la historia de la explotación petrolera mundial, enumerando algunas de las bombas utilizadas. Se hace también una explicación de las partes principales de ellas y del funcionamiento de las mismas.

Sin intentar agotar el tema de los Antecedentes Históricos en el equipo convencional de bombeo, se manejan los tres tipos más representativos como son: Las bombas reciprocantes de diafragma o de pistón; las bombas rotativas y las bombas rotodinámicas.

Después de ubicar el trabajo, con la explicación de lo que es el flujo multifásico y los Antecedentes Históricos, el tema principal es el de las Bombas Multifásicas, desarrolladas bajo dos principios diferentes, como son la Bomba de Doble Tornillo y la Bomba Rotodinámica. De cada una de ellas se hace una descripción de acuerdo a lo publicado en la literatura especializada, de artículos técnicos y conferencias que se pudieron recopilar en México, pues como se expone en el capítulo de dichas bombas, éstas son de procedencia extranjera, (una británica y la otra francesa) y jamás se han probado en territorio mexicano.

Sin embargo, se pueden manejar las Aplicaciones de Campo en algunos lugares en los que no solamente se han hecho pruebas, sino que a la fecha están trabajando y, a decir de los informes recibidos, con magníficos resultados en todos los campos donde se encuentran, con el atractivo para las empresas petroleras de modificar la filosofía actual de explotación de los hidrocarburos y con el ahorro económico que ésto significa en equipo, instalaciones y mano de obra en la instalación, operación y mantenimiento del mismo.

De aquí se derivan las Perspectivas de Aplicación en México, las cuales se presentan atractivas y con muchas posibilidades de que a corto y mediano plazos, se inicien pruebas piloto en campos petroleros de la Región Marina y, de ser positivos los resultados, se podrían ir aplicando estas bombas en todos los campos nuevos y sustituir los equipos ya obsoletos o adecuar las instalaciones de producción en una etapa de compactación de baterías.

Finaliza el presente trabajo con las Conclusiones y Recomendaciones que son derivadas de la investigación y análisis de este equipo, con la posible aplicación en nuestras instalaciones petroleras, considerando que es un tema de innovación tecnológica.

CAPITULO. I

FLUJO MULTIFASICO

Cuando se maneja o transporta un fluido único, el cual pudiera ser: agua, aceite, gas, etc., se dice que se trata de un fluido monofásico y se considera que este fluido está sin otro componente; en teoría, este fluido es 100 % puro. Si mezclamos dos o más de estos fluidos monofásicos, entonces a este nuevo fluido, resultante de la mezcla, se le da el nombre de FLUIDO MULTIFASICO.

Todos los pozos de aceite producen una mezcla de fluidos hidrocarburos con burbujas de gas cuando se reduce la presión. Las proporciones de gas y líquido variarán de pozo a pozo desde el 99 % de líquido hasta el 99 % de gas y aún en un mismo pozo, la razón gas/líquido cambiará progresivamente de acuerdo a la producción del pozo.

La fracción de gas en la cabeza del pozo aumenta con el tiempo de explotación y la presión baja en el mismo lapso.

Paralelamente a la producción de gas y aceite, regularmente el pozo producirá, en algunas ocasiones, agua con alguna cantidad de arena, que puede variar de pozo a pozo, durante su vida productiva. La producción

de un pozo no sucede de manera estable y predecible en cualquier momento; el flujo "normal" puede ser interrumpido por baches del 100 % de aceite, de gas o de agua, con duración variable.

El aceite puede ser amargo o dulce y, si es amargo (por ejemplo que contenga sulfhídrico), únicamente puede ser manejado por equipo fabricado con materiales especiales.

El equipo necesario, con suficiente resistencia a estos productos en su amplia variedad de proporciones y condiciones, ha sido tradicionalmente muy complejo, muy pesado y de alto costo; en suma, todo pozo tiene serios inconvenientes y costos, especialmente si se trata de una plataforma marina.

El equipo típico podría incluir separadores para separar el gas del aceite, filtros de arena, rectificadores de gas y planta de tratamiento de agua. Después de la separación se podrían necesitar: bombas y tuberías para entregar el aceite a una terminal, mientras el gas, por otro lado, podría ser quemado -ésto está siendo restringido por las autoridades de protección al ambiente- o enviado a un compresor y tendría que ser instalada una tubería adicional para enviar el gas a una estación de compresión o a una planta de tratamiento de gas.

En estas circunstancias, obviamente hay un fuerte incentivo para desarrollar sistemas capaces de manejar mezclas de gas/líquido y enviarlo

a la estación de recolección o central de tratamiento, que podría localizarse en un sitio conveniente. Este sistema es ahora conocido como "multifásico".

¿POR QUE MULTIFASICO?

En la actualidad, el precio del aceite es cada vez más bajo y los campos petroleros que están siendo descubiertos, son cada vez más escasos y pequeños, motivos por los cuales las compañías petroleras del mundo, tienen la imperiosa necesidad de encontrar nuevos métodos de producción de aceite cada vez más económicos. Al mismo tiempo, las autoridades ecologistas y de conservación de energéticos se oponen a la quema del gas, desafiando los actuales métodos convencionales de producción de aceite.

El sistema de producción multifásico, un arma potencial para las compañías petroleras para reducir su CAPEX (gasto de capital) y su OPEX (gasto de operación), mientras al mismo tiempo solucionan el problema del gas, ahorros que sin duda, salvarán la situación específica actual.

Obviamente, los ahorros más grandes se darán sobre los desarrollos de los nuevos campos, donde los ahorros en CAPEX , serían del rango del 10 % al 40 % del costo del capital. El bombeo multifásico puede

proporcionar también importantes reducciones en costos de operación, permitiendo además prolongar la vida fluyente del o los pozos, ya que puede succionar hasta 0.5 Kg/cm² y descargar a la presión que se requiera (aproximadamente 40 Kg/cm² de incremento de presión.).

Las aplicaciones serán: en tierra, en plataformas marinas y submarinas, e incluirán:

Pozos fluyentes

Pozos con sistemas artificiales de producción

Desarrollo de pozos remotos

Desarrollo de campos marginales

Complemento de sistemas de producción

El bombeo multifásico está cambiando rápidamente dentro de la categoría de prueba de tecnología y, las compañías petroleras tienen en él una nueva herramienta para producir aceite sobre tierra, en plataforma o submarino.

Los beneficios del bombeo multifásico se especificarán "in situ" y la más útil herramienta será la que sea más flexible, más adaptable y más formal.

Diferentes conceptos y sistemas multifásicos proporcionarán la mejor solución a varios problemas específicos, pero con su inherente superioridad de funcionamiento hidráulico en condiciones de flujo multifásico; así tenemos la Bomba de desplazamiento positivo de Doble Tornillo, y la Bomba Rotodinámica de Rotor Helicoidal, que están llamadas a ser, probablemente, los tipos de bombas de más amplias aplicaciones, capaces de resolver los problemas actuales y futuros.

CAPITULO II

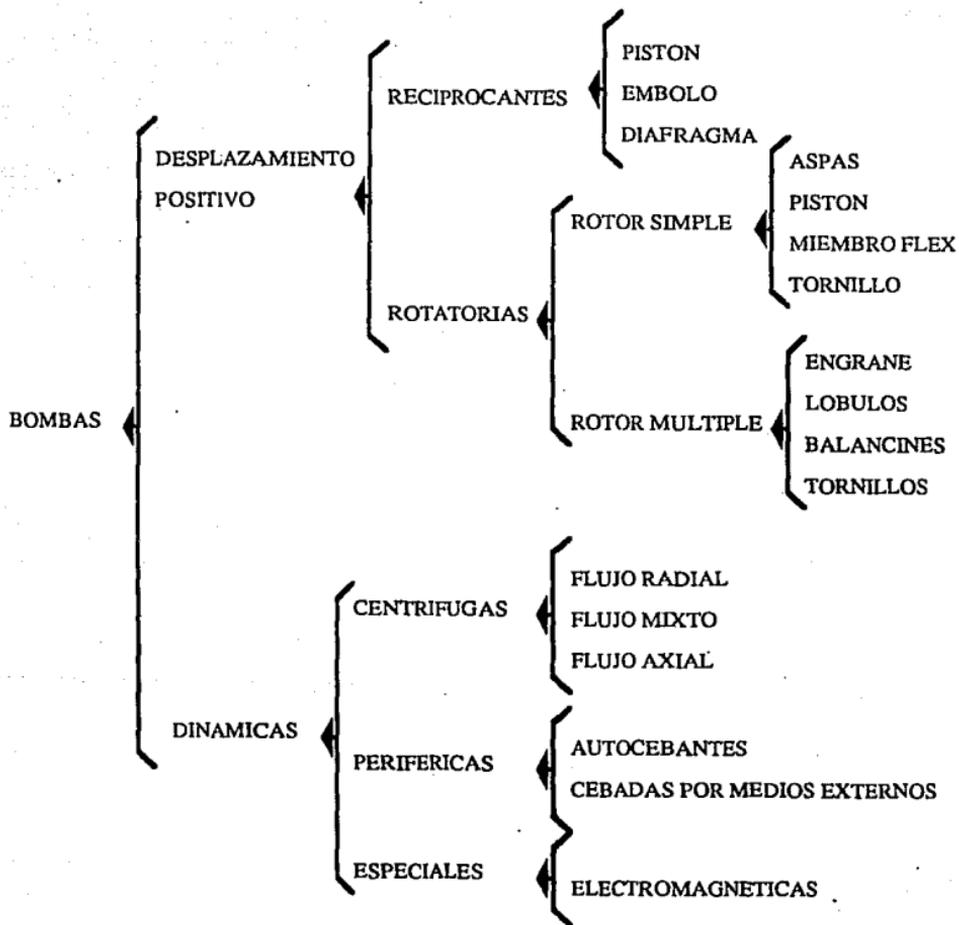
ANTECEDENTES HISTORICOS

Hasta antes de la aparición de las Bombas Multifásicas, solo existían dos formas de transportar los hidrocarburos desde el pozo a la Bateria de Separación. Estas dos maneras son:

1o. Por energía propia del yacimiento, la cual depende en mucho de las condiciones propias de presión que tenga el yacimiento y de las características del fluido para que éste pueda llegar a los tanques de almacenamiento. La energía propia del pozo, en la mayoría de los casos, es capaz de impulsar los fluidos a cortas distancias.

2o. Con la ayuda de algún Sistema Artificial de Producción son enviados los fluidos del pozo a la Bateria de Separación. Estos sistemas requieren del tendido de las líneas para el gas así como para el aceite, el equipo compresor de gas y la instalación de la bomba para el aceite.

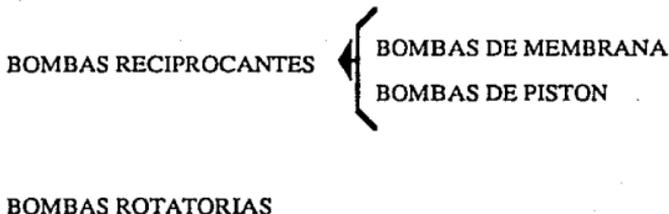
Existe en el mercado una gran variedad de bombas, de las cuales se presenta en la siguiente página una clasificación de las mismas.



CLASIFICACION DE LAS BOMBAS

Bombas de Desplazamiento Positivo.

Las bombas de desplazamiento positivo, a su vez se pueden clasificar en:



Bombas de Membrana o Diafragma

En este sistema, el fluido es impulsado por un movimiento recíprocante de una membrana flexible, hecha de elastómero o de metal.

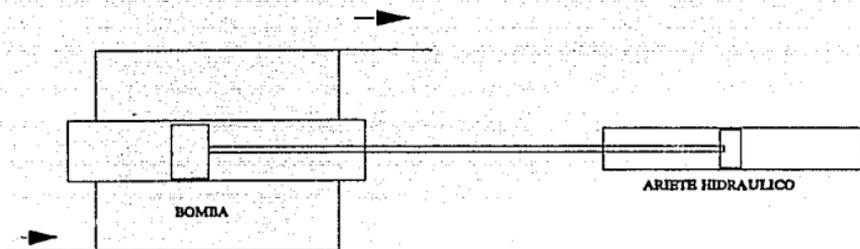
En el caso de elastómeros, como en las bombas tipo Moineau, es muy difícil seleccionar un producto compatible con hidrocarburos líquidos y gaseosos. El desgaste aparece cuando el gas, disolvente del elastómero, es rápidamente despresurizado, creando pequeñas rupturas en la textura, para finalmente provocar fallas mecánicas bajo el movimiento alterno.

El diafragma metálico, por otra parte, produce un pequeño levantamiento de presión por etapa. Así es que son necesarios muchos bombeos y además, la capacidad de cada uno debe ser adaptada permanentemente al volumen producido por la etapa previa. Esto significa que la composición del fluido sería fija para cada bomba. La aplicación de este tipo de bombas en la industria petrolera, por lo antes expuesto, parece muy difícil de lograr.

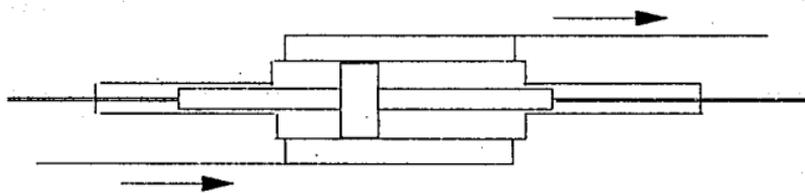
Bombas de Pistón.

Diferentes sistemas están basados en el principio de uno o dos pistones lineales, empujando el fluido multifásico y manejando el o los pistones por arietes hidráulicos o motores eléctricos. En posición horizontal, normalmente pueden tener dos pistones en sentidos opuestos (Framo Engineering) en el mismo carro: En dos cilindros separados, o en un cilindro sencillo con un pistón de doble acción, manejado por una o dos varillas (Fig. 1). El IFP (Instituto Francés del Petróleo) está desarrollando también una bomba de pistón de doble cámara con una carrera vertical del émbolo y manejada por arietes hidráulicos (Fig. 2).

Las bombas de pistón horizontal sufren desde el efecto de gravedad hasta el desgaste de sellos. La parte superior del cilindro, la más fría, se cubrirá por el condensado de vapor de agua durante la fase de succión. La parte más baja colectará agua y sedimentos con los consecuentes efectos de corrosión.



BOMBA DE PISTON DE DOBLE EFECTO



**BOMBA DE PISTON SENCILLO
DE DOBLE EFECTO**

FIG 1 BOMBAS HORIZONTALES

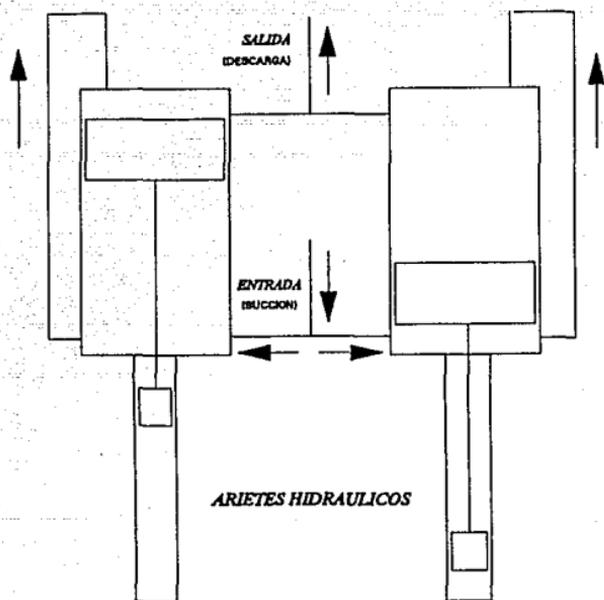


FIG 2 BOMBA VERTICAL DE DOBLE PISTON

Para bombas horizontales o verticales, los sellos trabajan bajo alta diferencial de presión con aceleración del desgaste en sus partes compuestas por elastómeros.

En suma, para todos los equipos, el comportamiento de las válvulas de línea interior o exterior bajo mezcla multifásica tiene que ser revisado.

Bombas Rotatorias.

Estas bombas, también conocidas como de fluidos monofásicos, son ligeras, baratas y los espacios libres en su carrera, dan una gran capacidad para resistir arena o partículas sólidas. Pero algunas bombas típicas centrifugas multietapas pueden aceptar porcentajes del 2 al 4 % de gas, sufriendo la reducción de la cabeza muy rápidamente. Cuando se incrementa la proporción del 15 al 20 % de gas, pierden su eficiencia.

En este tipo de máquina, en cada etapa, el fluido es acelerado por las hojas giratorias del impulsor y la energía cinética es convertida en presión interna; cuando el fluido fluye, es diseminado dentro de las hojas rectificadoras fijas al estator. Pero cuando se maneja fluido multifásico, el líquido es acelerado y el gas no, de aquí que ocurra la separación de líquido - gas y la conversión de la energía cinética en presión ya no pueda ocurrir.

Bombas de Tornillo

Las Bombas de Tornillo pertenecen al grupo de las Bombas de Desplazamiento Positivo. Estos equipos fueron ideados en sus inicios para el manejo de fluidos viscosos.

Existen diferentes configuraciones, entre las que se puede seleccionar la adecuada al tipo de fluido que se requiere manejar, aunque su diseño generalmente cae dentro de alguna de las siguientes categorías:

- Bombas de tornillo de canales abiertos.
- Tornillo axial rotatorio con un cilindro rígido.
- Tornillo axial rotatorio con estator flexible.
- Tornillos paralelos engranados internamente.
- Tornillos múltiples engranados internamente.

La bomba de tornillo rotatorio en canal abierto fue una de las primeras bombas mecánicas para agua y a la fecha se siguen usando para este propósito

Las aplicaciones modernas de las bombas de tornillo han realizado un diseño especial de alta eficiencia con espiral o sinfin metálico, introducido en un cilindro de acero, el cual, debido a su ajuste con el tornillo, permite mejorar el funcionamiento de estas bombas.

Las bombas de tornillos paralelos comprenden a las de dos o más tornillos del tipo convencional, montados en un rotor sobre ejes separados. Generalmente, un tornillo es movido directamente por la energía de un motor y el otro u otros tornillos son movidos por el primer tornillo. El flujo es manejado entre los tornillos a lo largo de sus ejes, estando la descarga al final de los mismos.

De aquí surge la bomba de Doble Tornillo (twin screw) que en la actualidad es una de las bombas multifásicas con un futuro prometedor, la cual se describe con mayor amplitud en el capítulo tercero.

Bombas de Triple Tornillo.- Estas bombas están disponibles con baleros internos y externos, de configuración horizontal o configuración vertical y unidades con tanque acoplado o sin él. Estas bombas están diseñadas para todo tipo de fluidos, teniendo razonables propiedades de lubricación. Se fabrican para manejar líquidos viscosos o ligeros.

En la Conferencia de BP (British Petroleum), dictada en octubre de 1986 y publicada en la revista S. P. E. (Society of Petroleum Engineers), se presentaron algunos de los problemas que producen las bombas convencionales y que se presentan en la siguiente tabla:

Tipo de Bomba	Observaciones
Centrífuga Rotodinámica	Problemas con gas
Embolo de Pistón	Baja capacidad
Veleta de Triple Tornillo	Problemas de abrasión
Engrane Lobular	Baja diferencial de presión y capacidad
Cavidad Progresiva o de Rotor Helicoidal	Elastómeros, capacidad de presión y generación
Doble Tornillo	Potencial en desarrollo

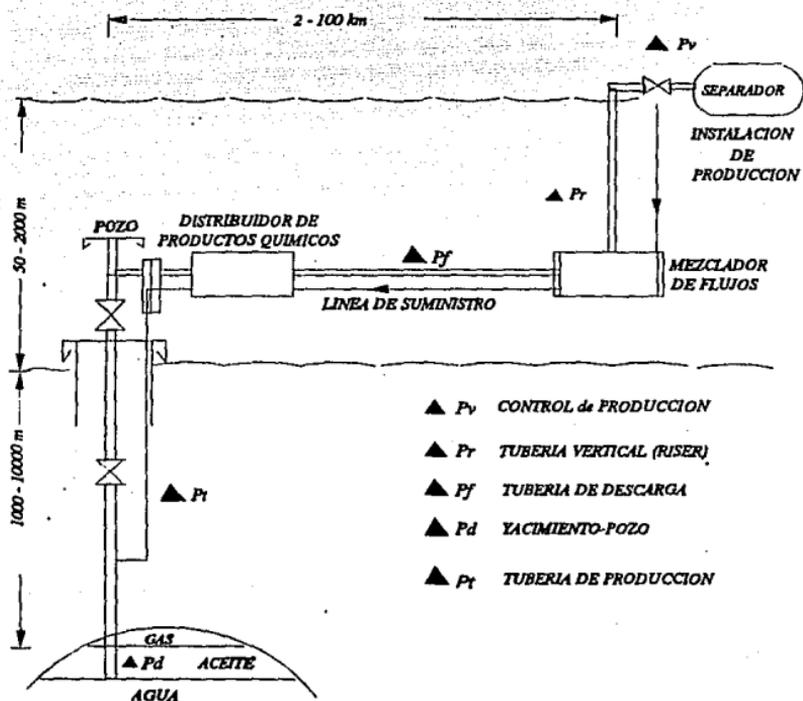
Como resultado de estas observaciones, S & P (Storther and Pitt) buscó la confirmación de las pruebas en una pequeña unidad y, de acuerdo con algunas compañías petroleras, llegó a las conclusiones sobre bombas de doble tornillo que se presentan en las "Conclusiones y Recomendaciones" del presente trabajo.

Otra tendencia ha sido la separación submarina, siempre en busca de mejorar el sistema de producción y minimizar el costo de operación, lo cual es ya un hecho en el costo de Análisis de Sistemas y la Simplificación del Equipo.

Los separadores submarinos no son nuevos: BP, TOTAL, ZAKUM SUBSEA y EXXON SPS en los años setentas y aun más recientemente, el separador de gas TEXACO HIGHLANDER o el Receptor de Baches (slug catcher) han abierto el camino.

La industria petrolera está preocupada por la correcta operación de la tecnología de vanguardia, obligando a las compañías petroleras a reemplazar la tecnología antes aceptada, reconsiderando los nuevos conceptos muy seriamente.

En la Fig. 3 se presenta un diagrama de los principios de producción submarina.



**FIG 3 DIAGRAMA DE FLUJO DE UNA INSTALACION
DE PRODUCCION SUBMARINA**

CAPITULO III

BOMBAS MULTIFASICAS

Las bombas que tienen capacidad para manejar los fluidos multifásicos (definidos en el Capítulo I) son precisamente las llamadas Bombas Multifásicas. En el mercado existen diferentes tipos de bombas multifásicas basadas en principios diferentes (ver Tabla 1). Dos de ellas han obtenido los mejores resultados en sus pruebas, y ellas son: LA BOMBA DE DOBLE TORNILLO y LA BOMBA ROTODINAMICA, las cuales se encuentran en desarrollo continuo, a fin de seguir mejorando el funcionamiento en todas y cada una de sus partes.

BOMBA DE DOBLE TORNILLO.

Existen en operación dos bombas de Doble Tornillo. Una de ellas alemana, fabricada por J. H. Bornemann y cuyas pruebas se realizaron en Túnez. La otra bomba de doble tornillo es inglesa y sus principales campos de prueba han sido de Italia y de Malasia, la compañía fabricante es Multiphase Systems.

FABRICANTES Y CARACTERISTICAS DE BOMBAS MULTIFASICAS

COMPAÑIA	TIPO DE BOMBA	LUGAR DE INSTALACION	CAPACIDAD VOLUMEN DE MEZCLA			GASTO ACEITE NETO MANEJADO BPD	RGA M3/M3	PRESION DESCARGA LB/PG2	OBSERVACION
			MBPD	EQUIVALENTE					
				M3/h	FGV %				
J.H.BORNEMANN (ALEMANIA)	DOBLE TORNILLO	SIDI EL ITAYEM (TUNEZ 1992)	HASTA 115	750	96	4529	65	1000	PRUEBA FINIQUITADA EN JUNIO 92 CON 3000 Hrs DE OP.
MULTIPHASE SYSTEMS (INGLATERRA)	DOBLE TORNILLO	NUEVO PIGNONE (ITALIA) MIRI-SARAWAR (MALASIA)	HASTA 210	1581	97	8000	65	700	PRUEBAS CONCLUIDAS CON 7000 Hrs DE OP.
POSEIDON PROJECT (FRANCIA)	ROTO DINAMICA	SIDI EL ITAYEM (TUNEZ 1992) (FRANCIA 1993) (MAR DEL NORTE 1993)	HASTA 130 *HASTA 400	861 2649	98 96	5283 16000	65	700 928	*EN PRUEBA A UNA GRAN VARIEDAD DE CONDICIONES DE OPERACION
WARREN PUMPS (U. S. A.)	DOBLE TORNILLO	CALIFORNIA (U. S. A.)	HASTA 140	917	96	5600	65	700	OPERANDO 12 BOMBAS DE TORNILLO MODIFICADAS
DISCFLO CORPORATION SANTEL CAL.	IMPULSORES DE DISCOS PLANOS	PETROQUIMICAS	HASTA 102	681	65	2390	--	455	NO CUENTAN CON PRUEBAS EN EL AREA DE HIDROCARBUROS
P M B/BECHTEL Y NEPTUNIA GROUP	RODINA- MICA NEPTUNIA PUMPS	--	10 - 40*	--	--	--	0 - 15	--	CONSORCIO JOINT INDUSTRY PROJECT (JIP) *ESTA DESARROLLAN- DO LA INGENIERIA PARA ESA CAPACIDAD

TABLA 1

La separación y tratamiento de las mezclas de gas/líquido cercanas a la cabeza del pozo pueden ser incómodos o molestos desde el punto de vista de costos de operación. El transporte en un ducto multifásico hasta una estación de tratamiento es posible pero puede requerir de una presión mas alta que la que se encuentra disponible en la cabeza del pozo. En estos casos, es necesario aplicar alguna de las técnicas siguientes:

1o. Separar el líquido, comprimir el gas y volver a combinar las corrientes.

2o. Consiste en separar el gas del aceite. Después de la separación, el aceite se envía por medio de una bomba y a través de una tubería especial hasta una planta para su tratamiento. El gas se comprime y se envía al través de otra tubería a la planta para su tratamiento o a una estación de compresión mas cercana

Como se puede observar, en estas técnicas se requieren dos tuberías, la bomba para el líquido y el compresor para el gas, con los gastos de instalación y los accesorios necesarios para cada una.

Una bomba multifásica ofrece otra alternativa que posiblemente tenga un costo de capital más bajo, además de algunas ventajas que se irán enumerando en el presente trabajo.

La bomba multifásica está construida con los materiales mas apropiados tecnológicamente. Puede ser utilizada para requerimientos NACE (National Association of Corrosion Engineers) para aceite crudo amargo, agua de la formación, fluidos con arena y en baches

El proceso multifásico disgusta a otros sistemas, pues no requiere ninguna preparación en la mezcla de fluidos, ni homogeneizadores, alineadores o trampas.

Las unidades multifásicas con doble tornillo, tienen un contador de vueltas en sentido contrario al movimiento de las manecillas del reloj que está incorporado especialmente al desarrollo de los elementos de bombeo. La relación entre espacios internos y la geometría interna es el elemento clave para el éxito de la operación. No existe contacto entre los elementos de bombeo, ésto debido al encamizado de acero inoxidable. El volumen de fluido es desplazado axialmente desde cada extremo, a través de un banco central de ramales de liberación por los elementos rotativos intermedios. La alta precisión de los engranes garantizan la sincronización de la rotación de los tornillos.

La bomba está sellada desde su fabricación por juegos de sellos mecánicos que son especialmente diseñados para cada aplicación y uno que permitirá la carrera total en seco. Los sellos mecánicos, baleros y dispositivos de tiempo, son enfriados y lubricados independientemente para este propósito.

Los equipos de bombeo pueden utilizar todo tipo de conductores, pero para velocidad variable, es preferible optimizar ambos desempeños: de pozo y de bomba. El tamaño preciso y la configuración de la bomba serán determinadas por las necesidades del campo y las especificaciones que desee el cliente.

De acuerdo a las pruebas realizadas y de las observaciones de las mismas, los requerimientos en la salida de la bomba, confirmaron la necesidad de un material que tuviera buena resistencia a la corrosión en general, junto con la inmunidad contra ataques selectivos como perforaciones o rupturas por efecto de corrosión. Además del daño por erosión debido a la entrada de arena, se consideró también el posible daño de desgaste por el contacto entre los tornillos y la línea.

Las dificultades anteriores fueron superadas utilizando el doble acero inoxidable (24-26 % cromo; 4.5-6.5 % níquel; 2-4 % molibdeno y 1.3-4 % cobre) que ofrece la mejor combinación de propiedades mecánicas y de resistencia a la corrosión en general, igual o mejor que la del acero inoxidable Austro y es significativamente menos susceptible a la ruptura por corrosión de clorhídrico. La experiencia ha demostrado que este acero es aceptable también para manejar crudos amargos. A fin de prevenir el daño en los bordes de los tornillos, éstos fueron cubiertos con acero Stellite.

Finalmente, se debe hacer notar que el acero inoxidable de doble rango proporciona una resistencia al esfuerzo al menos del doble que el acero inoxidable Austro.

El Ferraliun 255, se recomienda para componentes húmedos por las siguientes razones:

a) De las aleaciones disponibles, tiene la más grande resistencia al esfuerzo.

b) Los diseñadores de la Bomba Multifásica de doble tornillo tienen gran experiencia en este tipo de aleaciones

Una de las primeras cosas que debe entenderse es que, las características precisas del flujo multifásico no están completamente entendidas en su comportamiento de flujo en la tubería o dentro de la bomba hidráulica.

Sin embargo, de la aplicación práctica de STOTHERT & PITT, el conocimiento de las bombas de doble tornillo con desplazamiento positivo, cuando manejan aceite con aire, bajo condiciones severas, y de las pruebas de comportamiento, se puede hacer la aseveración fundamental de que el comportamiento hidráulico sería equivalente aproximadamente a aquél con puro líquido de viscosidad comparable.

Usando los datos empíricamente, es posible derivar una combinación de -velocidad/cabeceo/tamaño- para encontrar la salida requerida de la bomba, dando por resultado una velocidad alta (3,000 RPM) y un tamaño intermedio del tornillo de la bomba para dar a la unidad una eficiencia volumétrica (85 %) cuando se maneja alta fracción de gas.

Cuando se emprendió el proyecto de la bomba de doble tornillo, había algunas áreas mayores en que la bomba tenía carencias como las siguientes:

- a) La tendencia de la velocidad de la flecha era excesiva para el máximo aceptado previamente. Las áreas de estudio de la empresa eran: las cavidades periféricas y la rotación de la flecha.
- b) El efecto de la pérdida en la entrada sobre la relación de gas.
- c) Las combinaciones del material de operación para las condiciones que pertenecen a la velocidad y presión.
- d) El perfil de presión interna cuando se maneja alta fracción de gas.
- e) La manufactura de los componentes de acero inoxidable de la aleación requerida.

A continuación se analizan algunos componentes que debieron ser modificados para ayudar al mejor funcionamiento de la bomba de doble tornillo.

Tubería de Revestimiento.

Para iniciar los trabajos en varios pozos a la vez a condiciones del cabezal y rangos de la tubería de trabajo, se requiere un cuerpo de tubería de revestimiento Clase 900. La especificación del material para el manejo de arena y el crudo amargo eran de primera importancia y se necesitó el uso de acero inoxidable duplex.

Los efectos combinados de estas necesidades, dieron por resultado el diseño de una Tubería de Revestimiento (CASING) con un gran espesor, en la operación, influenciando la estabilidad del material, los procedimientos de maquinación y el manejo en general..

Para minimizar algunos de los problemas antes mencionados y darle una mayor flexibilidad a la selección del material y mantenimiento dentro del campo, se decidió incorporar a la Línea de Producción (LINER) dentro de la tubería de revestimiento. Esta línea de producción se diseñó para minimizar la diferencial de presión a lo largo de su extensión, adaptada desde el otro extremo de la tubería de revestimiento. Su

localización axial se determinó por el sello principal de la cubierta de rodamiento para facilitar la alineación en general de la unidad.

Engranés.

La caída de velocidad en la línea del equipo es aproximadamente 2 1/2 veces la normal para bombas de doble tornillo, la energía transmitida es también relativamente alta (0.25 MV). Para transmitir estas cargas, se consideran 3 tipos de equipos:

(1) Helicoidal

(2) Espina de arenque

(3) Espuela

La selección final fue el uso de un equipo directo de Espuela del más alto grado de calidad disponible. Los otros tipos de equipos podrían ser usados, sin embargo, con el primer empuje de carga que podría afectar adversamente al balero de carga, se decidió por el equipo de Espina de Arenque para las necesidades adicionales, de acuerdo a la tolerancia de los componentes.

Flecha.

La configuración de las dimensiones de la flecha, centros de rodamiento y velocidad, dan una "velocidad crítica calculada", lo suficientemente cercana a las condiciones de trabajo de algunas empresas. Se decidió que para minimizar el riesgo, la flecha debería ser balanceada a ISO 1940 G 2.5 (International Standard Oil), para anular cualquier excitación auto inducida. En forma semejante, se seleccionó el acoplamiento de la flecha para darle una característica de torsión suave con suficiente humedad, y a la vez, para minimizar el riesgo de resonancia a severas torsiones y cualquier velocidad, dentro del rango de trabajo del motor de velocidad variable.

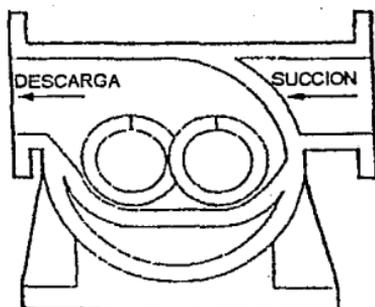
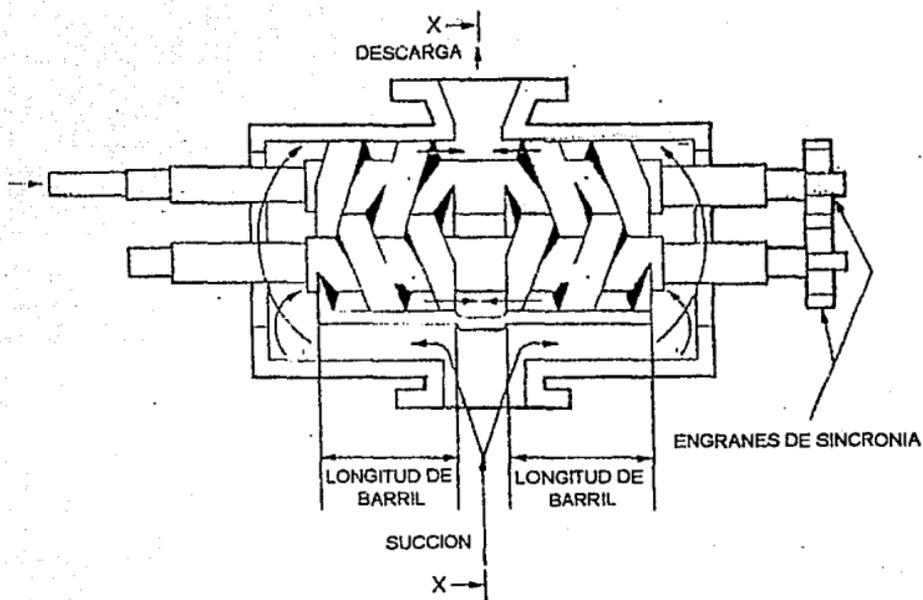
La velocidad, carga y perfil de presión variable esperados dentro de la bomba, impuso una selección estricta de los baleros para cumplir con estos requerimientos. Algunas fábricas de empaques mayores estaban en contacto con un estudio profundo realizado dentro de la confiabilidad del balero. El tipo de rodamiento resultante finalmente seleccionado, necesitó los requerimientos de 3 años de vida, al mismo tiempo, alcanzar las características de rigidez de la flecha, porque en las condiciones de trabajo, los baleros y equipos son lubricados por un sistema de lubricación forzada.

Sellos Mecánicos.

La condición impuesta en la producción, para la especificación de la bomba, inmediatamente sugiere que el doble sello de respaldo trasero se use con un sello independiente al sistema de aceite. La presencia de abrasivos refuerzan esta conclusión. Los sellos seleccionados han tenido un rango de presión estática igual a aquella en la Tubería de Revestimiento (máxima presión de trabajo 2160 psi (14.9 MPa)) y ser capaz de trabajar a 550 psi (3.79 MPa). Además, tienen que ser capaces de continuar con una fluctuación de presión de 400 psi/min (2.76 MPa/min). Nuevamente el reto fue otro diseño en detalle y un programa de prueba, antes de que el sello ensamblado de doble cartucho fuera seleccionado. (La Fig. 4 muestra un corte seccional de la bomba).

Manejo.

La formalidad de las pruebas ejecutadas sobre un equipo de recirculación parcial "in situ" con una cantidad de energía limitada, mostraron que el principal problema consistía en conseguir un arranque "suave" de este sistema. Se consideraron varios métodos; sin embargo, por lo que concierne a la velocidad crítica y a la utilidad de la investigación en el perfil de presión, se decidió el uso de un variador de velocidad entre 1,500 a 3,000 rpm.



SECCION X - X

FIG. 4 PRINCIPIO DE OPERACION

CARACTERISTICAS.

Desde 1986, cuando la bomba (MP 40) tenía la capacidad de manejar 40,000 BPD, el tamaño de esta bomba ha sido expandido, comprendiendo en su historial los siguientes modelos: MP 5, 10, 20, 40, 100 y 200. El número de cada caso representa la capacidad nominal de la bomba en barriles por día (BPD) de mezclas.

Sin embargo, cada medida de la bomba tiene 4 posibles configuraciones internas, cada configuración diseñada para maximizar el comportamiento de la bomba en cada faceta diferente (por ejemplo: salida, manejo de alto porcentaje de gas, resistencia a la arena, alto diferencial de presión, etc.). Con los cambios de configuración, hechos en la salida de la bomba, una bomba MP 40 puede manejar entre 30,000 y 100,000 BPD y el rango disponible de tamaños proporciona una generosa combinación de capacidades Fig. 5.

La disponibilidad de diferentes configuraciones no solamente hace posible una bomba provista con óptimo desempeño para satisfacer los requerimientos prioritarios del transporte de hidrocarburos, sino también por sus cambios internos, es posible adaptar la bomba para encontrar el perfil de producción de un pozo durante toda su vida.

MODELO	DIMENSIONES PRINCIPALES (mm)									PERO TOTAL MOTOR BOMBA	BOMBA SERVICIO PERO PATIN	TAMANO RAMAL		VELOCIDAD MAXIMA (RPM)	POTENCIA MOTOR (KW)
	A	B	C	D	E	F	G	H	I			SUC	DESC		
MP 5	3500	1100	2000	1500	1350	1000	305	748	900	4800	1800	12 inch	12 inch	3600	150
MP 10	4600	1100	2500	2000	1500	1400	381	850	1000	5800	2500	6 inch	6 inch	3600	150
MP 20	5200	1350	2500	2000	2270	1550	381	1300	1400	8500	2500	8 inch	8 inch	3600	545
MP 40	5632	1440	3000	2500	2320	1700	432	1231	1500	10500	3200	10 inch	10 inch	3600	545
MP 100	6500	1600	4000	4000	2630	2000	530	1550	1880	18000	4000	14 inch	14 inch	3000	1600
MP 300	8000	2100	4000	4000	3450	2350	610	1850	2250	30000	4000	16 inch	16 inch	2000	2400

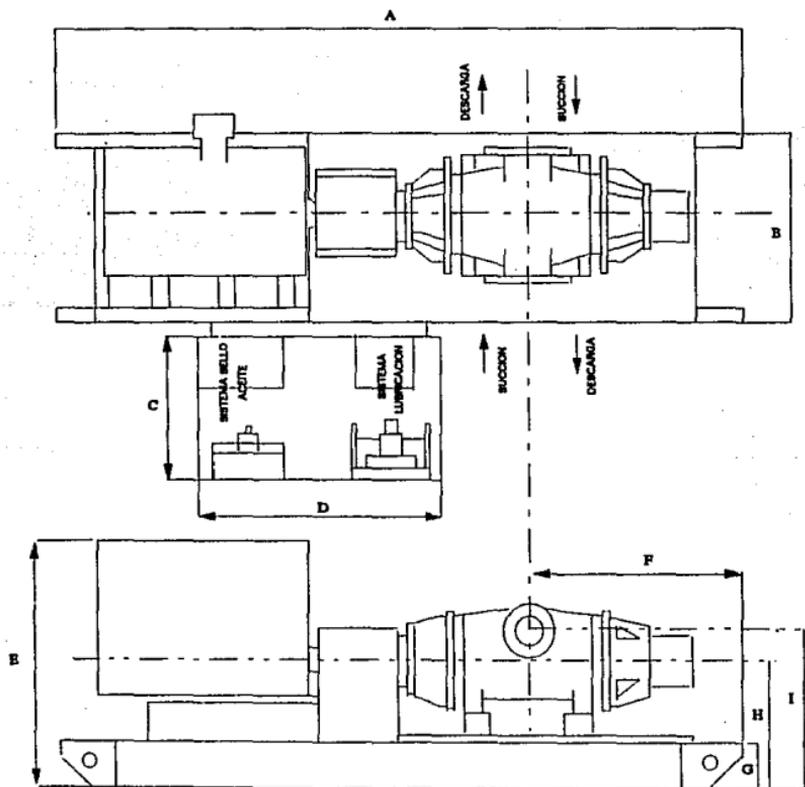


FIG 5 SISTEMA MULTIFASICO

Desempeño Hidráulico.

La información recabada durante los últimos 2 años ha proporcionado un patrón libre de demandas, resultando un programa de desarrollo de trabajo que considera los siguientes puntos principales:

- 1) Reducir costos de trabajo, así como de la energía requerida.
- 2) Incrementar el comportamiento de la diferencial de presión.
- 3) Manejo de muy alta fracción de gas.
- 4) Presión baja en la cabeza del pozo.
- 5) Proporcionar un sistema submarino.

BOMBA ROTODINAMICA

Existen en el mercado algunas otras bombas del tipo multifásico que también se encuentran a disposición de las Compañías Petroleras Mundiales, una de las cuales es la conocida con el nombre de BOMBA ROTODINAMICA.

Desde mayo de 1991, esta bomba de tipo rotodinámico ha estado trabajando en el campo SIDI EL ITAYEM en TUNEZ durante más de 3,500 horas (hasta fines de noviembre de 1991) sin mayores problemas. Esta bomba es uno de los resultados prácticos del proyecto POSEIDON, iniciado en 1984 por TOTAL, IFP y STATOIL, para desarrollar el concepto de bombeo multifásico; siendo el objetivo final una estación marina multifásica.

Al inicio del proyecto, los socios no tenían preferencia en ninguna bomba manufacturada en particular, unicamente el deseo de seleccionar o manejar un producto conocido, a fin de tener una herramienta disponible para sus futuros desarrollos marinos, la selección fue una bomba del tipo rotatorio, sobre la cual se trabajó hasta lograr una Bomba Multifásica.

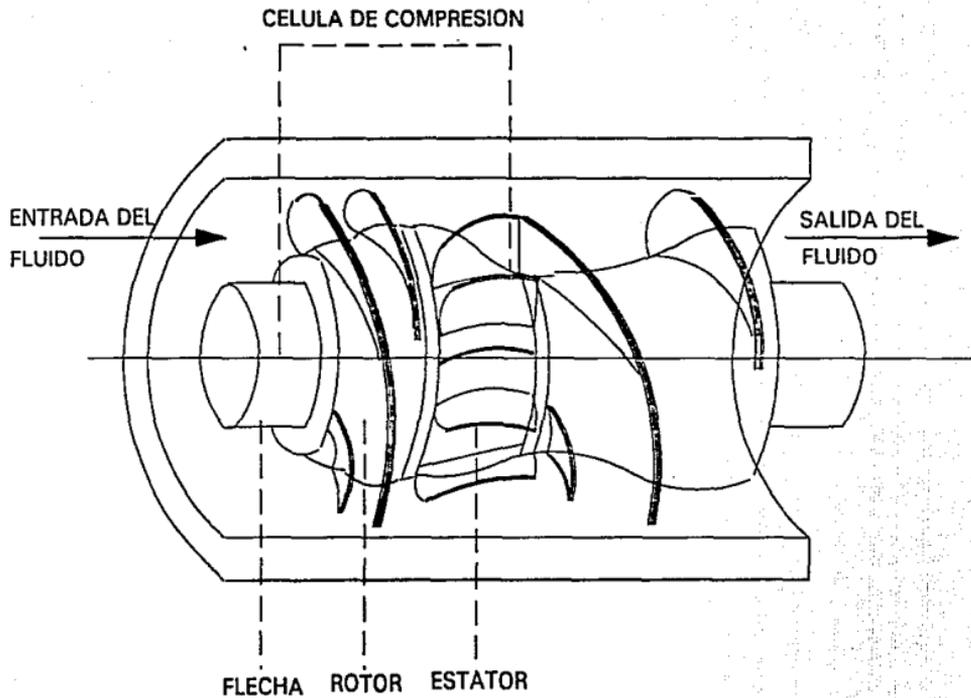
Antes de la prueba en un campo de Tunez, esta bomba habia sido probada satisfactoriamente con dos fases enlazadas, por el IFP en SOLAIZE (Francia) y esto fue lo que decidió a los socios a enviar el prototipo, sin ninguna modificación para la actividad real de Prueba de Campo, en un campo especialmente preparado para acoplar el equipo multifásico.

Bombas Rotatorias

Estas bombas, también conocidas como de fluidos monofásicos, son ligeras, y los espacios libres en su carrera, dan una gran capacidad para resistir arena o partículas sólidas. Algunas bombas típicas centrífugas multietapas, pueden aceptar del 2 al 4 % de gas, sufriendo la reducción en la cabeza muy rápidamente. Cuando se incrementa el porcentaje de gas del 15 al 20 %, pierden completamente su eficiencia.

En este tipo de máquinas, cada etapa del fluido, es acelerada por las hojas giratorias del impulsor y la energía cinética es convertida en presión interna; cuando el fluido fluye, es diseminado dentro de las hojas rectificadoras fijas al estator (Fig. 6). Pero cuando se maneja fluido multifásico, el líquido es acelerado y el gas no, de aquí que ocurra la separación de gas-líquido y la conversión de la energía cinética en presión ya no puede ocurrir; en el lenguaje de los trabajadores de la industria petrolera, se dice que la bomba se "engaso", es decir, se llena de gas y ya no puede más impulsar los fluidos.

Investigadores y científicos combinaron las conductas de las pruebas de laboratorio hechas por IFP y TOTAL en los años setentas, siendo complementadas por las realizadas en 1981 en un modelo completo a escala para aplicaciones en el fondo del pozo. Este modelo era capaz de bombear 15000 bbl/d con un porcentaje del 30 % de gas. En 1980, Pompes Guinard obtuvo la patente para el uso de esta tecnología



38

FIG 6 BOMBA ROTATORIA

multifásica, conocida generalmente como la Primera Generación Hidráulica. Con la inspección de Manufacturera de Bombas de Fondo de Pozo, para producir aceite con una relación gas líquido (RGL) por debajo de 3. Esta bomba fue seleccionada en 1987 por SHELL para ser el corazón de una estación de bombeo marinizada completamente. Cuando se lanzó el proyecto SMUBS (Shell Multiphase Underwater Booster Station) donde FRAMO ENGINEERING está a cargo de la integración submarina.

Otras Bombas Rotodinámicas

Basado en el mismo principio de etapas rotodinámicas hélico-axial, diferentes tipos de bombas están siendo desarrolladas principalmente en Noruega.

- Un sistema donde dos manivelas giran en direcciones opuestas. El empuje de las fuerzas de reacción dinámica compensa cada una y el diseño del empuje en el eje es grandemente simplificado.

- Una bomba contra-rotatoria: El estator (donde se encuentra el rectificador), gira en dirección opuesta al rotor. De aquí, incrementando la velocidad relativa de las partículas entre las hojas del impulsor y las hojas del rectificador, dan una mayor capacidad para el manejo de fluidos multifásicos.

PROYECTO POSEIDON

En 1984, STATOIL se unió a TOTAL y a IFP en un grupo de investigación creado nuevamente con el ambicioso fin de desarrollar equipo para abatir el costo de la producción de hidrocarburos costa fuera, particularmente en aguas profundas y campos marginales. Una importante parte de la investigación fue dedicada a la mejora de la Primera Generación de Bombas Hidráulicas, a fin de crear una verdadera bomba multifásica, capaz de resistir baches del 100 % de gas. El resultado es la bomba POSEIDON, la cual se describe a continuación.

Bomba Poseidón

Se necesitó desarrollar una máquina confiable para que fuera útil a la industria petrolera.

El concepto Hélico-Axial ha mostrado también sus principales ventajas como son:

- Habilidad para bombear un fluido con mucho gas.
- Simplicidad mecánica, y por lo tanto, confiabilidad.

- Equipo compacto y de facil instalación marina futura.
- Baja sensibilidad a partículas sólidas y larga carrera en su desempeño.
- Autoadaptación a las condiciones del fluido.
- Flexibilidad en el sistema de manejo (el cual puede ser hidráulico, eléctrico o mecánico) dependiendo de su localización: sobre la costa, en plataforma o submarina.

El Proyecto Rotodinámico

Este puede simplificarse en las 2 fases siguientes:

De 1984 a 1986.- De la Primera Generación de Bombas Hidráulicas, modificadas y probadas.

La primera generación de bombas (patentada en 1981 por Guinard) fue probada a 6,000 RPM con una RGL de 4.5 (a condiciones de entrada).

Simultáneamente, una segunda generación de bombas hidráulicas se desarrolló y nuevas celdas de compresión (impulsor- rectificador) fue

probado para reducir el espesor de las hojas, mejorar la textura de la superficie y optimizar el momentum de trabajo, de acuerdo al número de hojas impulsoras.

Para hacer posible la prueba de esas mejoras de las celdas de compresión en condiciones reales, otras pruebas se realizaron en la sucursal del SOLAIZE sobre las premisas de IFP.

Un modelo de bombeo equipado con 29 niveles de compresión (primera generación) de 122 mm fue probada en 1985 entre 6,000 y 8,000 RPM y con una RGL de 12.5 (a condiciones de entrada).

Un segundo módulo equipado con 15 novedades en el diseño de las celdas de compresión (segunda generación) de 134 mm, fue probada en 1986 con una RGL de 22 y a una presión de succión de 40 bars, dando un muy alto incremento de eficiencia: del 40 al 50 %.

CARACTERISTICAS

Los resultados obtenidos en las pruebas efectuadas con esta unidad, aseguraron la posibilidad de una unidad industrial, cuya fabricación fue autorizada en 1987, dando origen a la bomba llamada P-300, construida

por **TECHNICATOME**, dicha unidad tiene las siguientes especificaciones de diseño (obtenidas en la prueba del Circuito Solaize):

Rango de flujo de 25,000 a 40,000 bbl/d en flujo con baches.

Presión de entrada de 10 a 40 bars.

RGL de 10 a 20 en la presión de succión.

Presión Diferencial de 20 bars para RGL de 10.

Máxima velocidad de rotación: 6,600 RPM.

Fue diseñada como una versión marina.

Sus Componentes Básicos son:

-Un eje isostático de 1.8 m de longitud, equipado con 13 niveles de celdas de compresión (8 impulsores de 250 mm y 5 impulsores de 232 mm).

-Dos baleros para trabajo pesado.

-Un balero de esfuerzo y dos sellos mecánicos sencillos y compensados.

Las dimensiones totales de esta bomba compacta es de 2.4 m de longitud con un diámetro de 0.5 m.

Un tanque de amortiguamiento (Buffer Tank) se construyó junto a la succión de la bomba, con el fin de aumentar la cantidad de líquido contenido en el gas y así poder regular la RGL y las fluctuaciones en el rango del fluido causado por severos baches. Este tanque de amortiguamiento también se usa como unidad para humedecer el gran bache de gas, que viene desde la cabeza del pozo durante su inicio.

Modelo Computarizado

En paralelo con la investigación sobre las celdas de compresión, se desarrolló un modelo matemático computarizado, con la finalidad de describir el comportamiento Físico-Químico de los fluidos multifásicos dentro del nivel Impulsor-Rectificador y de la ayuda que pudiera proporcionar en el diseño de las futuras celdas de compresión hidráulica.

En este modelo se aplicó toda la información obtenida en mas de 2,000 puntos durante las pruebas efectuadas en las celdas de compresión y después , sobre la bomba en su totalidad.

La correlación semi-empírica, combinada con el modelo matemático dió una herramienta que describe el resultado de cada celda de compresión en términos de Potencia, Levantamiento de Presión y Eficacia Multifásica. (El término eficacia-multifásica se define como la razón del levantamiento de presión experimental al levantamiento de presión computarizada, obtenida en condiciones ideales, sin pérdida de energía debida a la no homogeneidad del fluido). Un fluido homogéneo ideal tendría una razón de eficiencia de 1.

El modelo eventualmente puede dar los resultados de compresión en cada nivel y por lo tanto, el valor acumulado por cada serie de niveles diferentes y por la bomba en forma íntegra. Los datos necesarios son: La geometría de las celdas, análisis PVT del fluido, rangos de flujo y condiciones de entrada, incluyendo la RGL y la presión.

Prueba de Banco del Equipo

Una reproducción de un campo, fue simulado por medio de un Circuito Artificial Multifásico, manejando un manifold de 35,000 b/d a 40 bars de presión con un porcentaje de gas mayor al 95 %. Se aumentó un

bache generado para simular las condiciones momentáneas del inicio y acercándolas tanto como fue posible a las condiciones reales del campo (Fig. 7).

El tanque de amortiguamiento, diseñado y optimizado durante la primera fase de investigaciones, fue instalado sobre el flujo de salida a la bomba. Este aparato reduce el tamaño de los baches y las variaciones de presión a la entrada de la bomba y de aquí, los posibles efectos que pueden causar perjuicios mecánicos. En suma, es una especie de acumulador o capacitor en que el fluido entra a través de una tubería de perforación y donde la homogeneidad del fluido multifásico es mantenido lo mas estable posible. Es también un aparato estático, sin ninguna parte en movimiento.

Resultado de las Pruebas de Banco

Uno de los principales objetivos de las primeras pruebas ejecutadas completamente en una bomba de la segunda generación fue reproducir las características de la bomba en condiciones normales y también poder investigar las variaciones en fases con baches y condiciones transitorias. La segunda finalidad fue verificar el comportamiento mecánico de la única bomba en observación para una posible prueba de campo, bajo las condiciones mas severas.

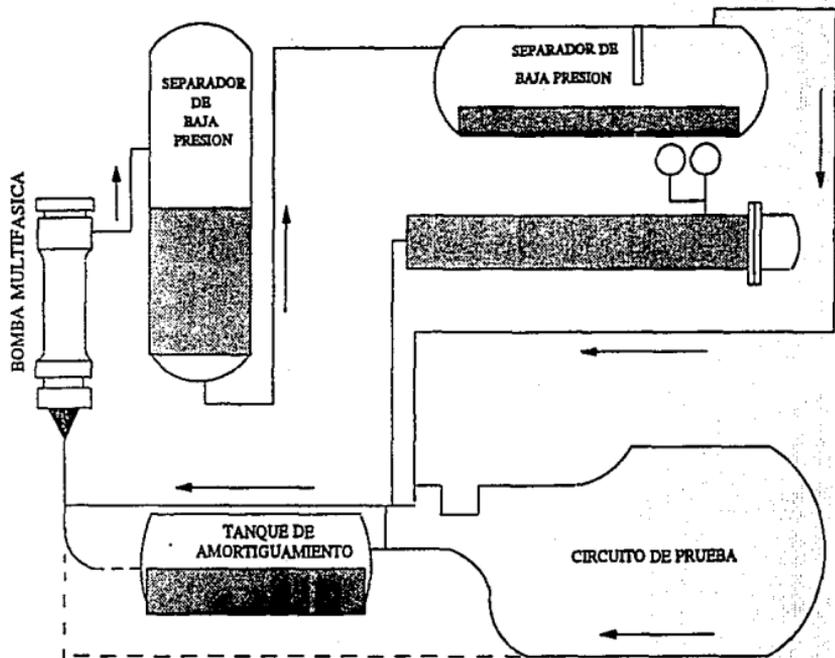


FIG 7 BANCO DE PRUEBA

Un fluido en condiciones estables, auxiliado con el tanque de amortiguamiento, se usó para graficar las características de la bomba (Fig. 8).

Se obtuvieron diferentes curvas, dependiendo de la RGL y de la Presión de Succión. El comportamiento de la bomba con diferente RGL dió también una idea de la reacción futura durante un régimen de fluido con baches.

Este régimen fue probado con y sin tanque de amortiguamiento. Sin él, la variación del contenido de gas indujo importantes variaciones de torque, como la presión remanente de salida estable mientras en la presión de entrada seguía el porcentaje de gas. Usando el tanque de amortiguamiento, las variaciones de torque eran sensiblemente mas bajas, lo que probó el real efecto húmedo y el resultado positivo para el comportamiento mecánico de la bomba.

Arranque del Pozo

En esta simulación, el bache de gas fue mas grande y completamente separado de la fase líquida. Aquí el tanque de amortiguamiento tenía un efecto regulatorio; su volumen es llenado lentamente por una sola fase, mientras la bomba mantiene un rango de presión constante por el ajuste de la velocidad de rotación.

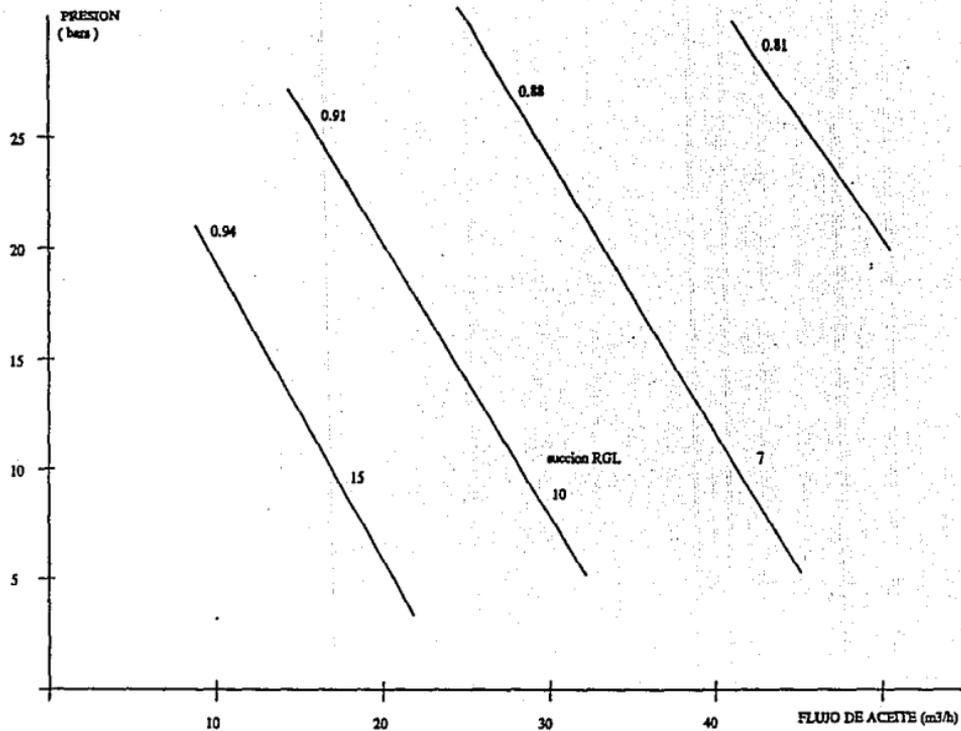


FIG 8 CARACTERISTICAS DE LA BOMBA POSEIDON
(P 300)

Después de estas pruebas, la bomba se desmanteló y no fue detectada ninguna señal de uso anormal o fatiga, tampoco aparecieron sobrecalentamiento ni vibraciones durante la operación.

Estos resultados satisfactorios de pruebas sobre un circuito artificial, confirmó los siguientes aspectos de los datos de diseño:

- Ejecución del diseño, alcanzado.

- Capacidad para manejar baches de gas puro.

- Confirmación de la función del tanque de amortiguamiento en términos de regulación y limpieza del fluido.

- Excelente comportamiento mecánico.

De acuerdo a los resultados obtenidos en estas pruebas, los socios decidieron instalar la bomba en un campo real, sin adaptaciones especiales de la bomba para las características del campo.

CAPITULO IV

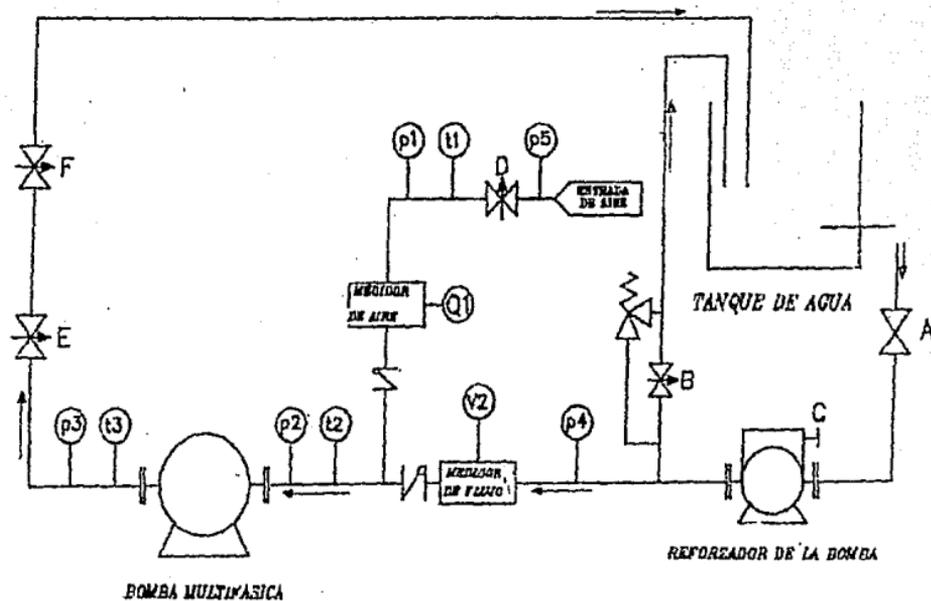
APLICACIONES DE CAMPO

La segunda etapa de prueba de la Bomba de Doble Tornillo, consistió en el trabajo de la bomba en el campo de prueba construido especialmente para trabajar con una mezcla de aceite crudo y gas. (El equipo de prueba se muestra en la Fig. 9). Este equipo ofrece la facilidad, entre otras ventajas, de operar sobre recirculación total o mantener en una alimentación continua de aceite fresco desde el cabezal de tuberías y reinyectar una cantidad semejante. La primera intención de estas pruebas era evaluar la vida de la bomba en un medio ambiente realista.

Para ayudar en esta evaluación se usó un circuito de pruebas anterior, reacondicionándolo para este evento.

Las pruebas efectuadas sobre el aparejo dieron resultados semejantes a aquéllos obtenidos en las pruebas de trabajo y nuevamente demostraron que el desempeño sobre mezclas de agua/aire era semejante a aquél sobre hidrocarburos mixtos.

El crudo en el sitio de prueba era de 40° API; 16-23 % de contenido de agua y eventualmente, no contenía sólidos.



A,B,C,D,E, F Válvulas
 p (i) Medidores de presión
 t (i) Medidores de temperatura

FIG 9 SISTEMA MULTIFASICO

Las pruebas se efectuaron a 3 velocidades: 1650, 2250 y 3000 RPM, contra una diferencial de presión ligeramente menor que el límite impuesto por la potencia del motor. La diferencial de presión fue de 230, 330, y 450 psi, respectivamente.

Las pruebas se continuaron durante un período de aproximadamente 6 meses, imponiendo altas velocidades y potencias conforme avanzaba el tiempo. Los resultados de la prueba a las condiciones dadas del proceso, muestran una típica dispersión de $\pm 5\%$ durante el curso de los ensayos. Esta dispersión se atribuyó a las variaciones en la composición de hidrocarburos, contenido de agua y viscosidad del fluido. Sin embargo, no hubo una desviación considerable durante el período de funcionamiento de las pruebas (2,800 Hrs). Esta conclusión se confirmó por los resultados de los análisis en los residuos.

La prueba fue realizada también para evaluar el efecto que pudiera producir un bache de gas libre en el líquido que entra a la bomba, demostrándose que la bomba por sí misma no se afectaba.

Si la bomba estaba operando contra la válvula reguladora parcialmente cerrada, el equipo de protección eléctrico tenía la capacidad de proteger la bomba.

Para las últimas 3 semanas de operación de la bomba, se inyectó arena intencionalmente, dentro del fluido de bombeo. La medida de los análisis de la arena fue semejante al que ocurrió en campo Forties y se realizaron concentraciones por encima de 200 lbs/1000 bbl (536 g/m³). Esto es 2 y 1/2 veces lo ocurrido en el aceite de ese campo. La tendencia en los resultados fue enmascarada por los cambios en la composición de los fluidos, pero hubo señales de una pérdida en la eficiencia volumétrica de aproximadamente 5 % en el modo multifásico. Los subsecuentes exámenes de estos trabajos de Stothert & Pitt confirmaron, por su medida, este resultado.

En total, cerca de 3,500 Hrs de operación se realizaron durante las pruebas de resistencia. La Fig. 10 muestra algunos de estos resultados.

Prueba del Aparejo de la Bomba Rotodinámica

El aparejo de prueba fue construido por TOTAL y STATOIL en 1989 en un campo sobre la costa de Túnez (SIDI EL ITAYEM), éste operado por CFTP (Compagnie Franco Tunisienne des Petroles) en que TOTAL tiene el 50 % de las acciones.

Este circuito multifásico brinda la posibilidad de probar equipos bajo condiciones reales de campo, sin exponerse la producción a daños que pudiera provocar una válvula automática de paso (bypass) aislando al

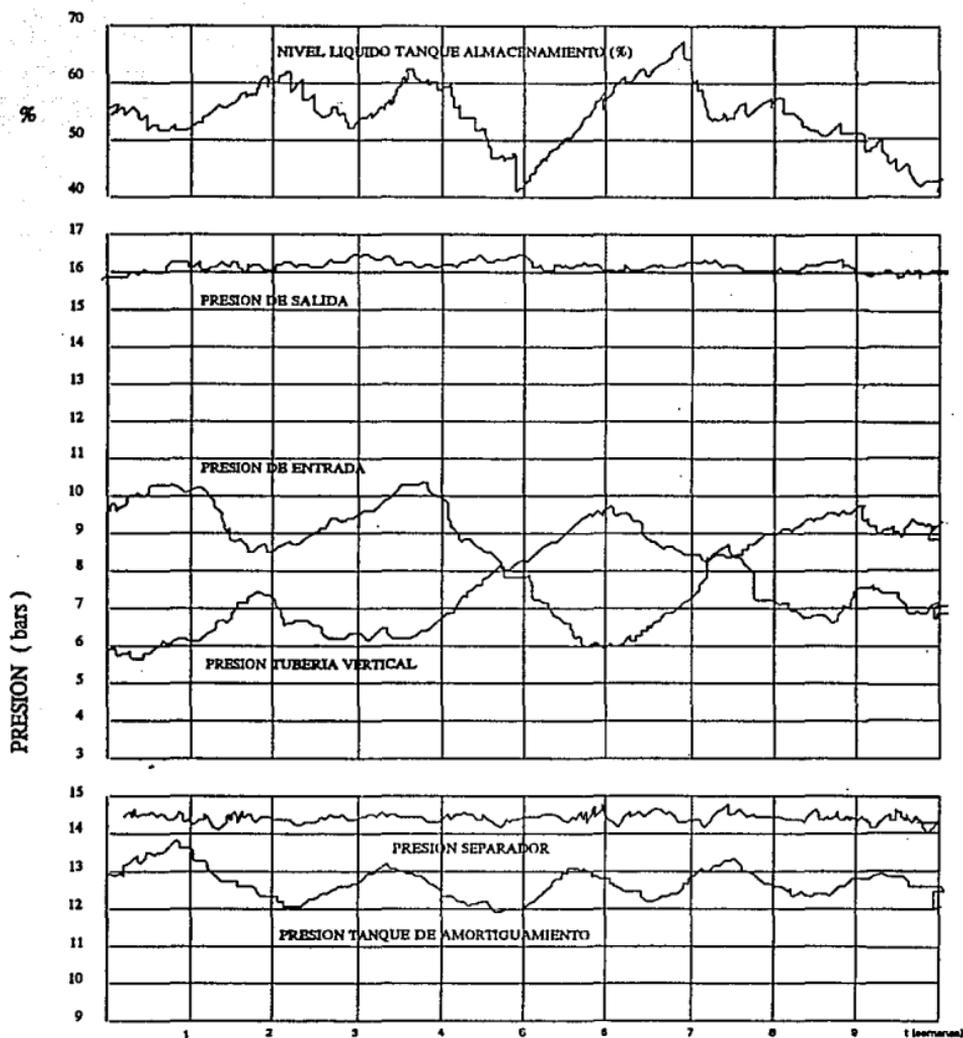


FIG 10 RESULTADOS PRUEBA DE CAMPO FORTIES

circuito en caso de algún problema en el mismo y con un cabezal que controla un promedio de 5,000 bbl de líquido fluyente por día, con un alto contenido de agua y un volumen de gas de alrededor del 95%.

La estación se usó para una campaña de mediciones multifásicas, aprovechando la flexibilidad ofrecida por las dos líneas de tubería de 6" y de 4" de diámetro ya existentes en esta estación de bombeo.

Fueron ejecutadas dos pruebas: una para registrar los datos de las condiciones de flujo y el balance de masa, a fin de ajustar los estados transitorios y fijos de los modelos desarrollados por STATOIL y TOTAL; la otra tenía la finalidad de probar los aparatos de medición y detección de baches con sensores no intrusivos, principalmente densitómetros y sensores de vibración.

Durante las pruebas de la Bomba Poseidón en Solaize (Francia), en los años de 89/90, una bomba Bomemann de doble tornillo se compraba e instalaba en SIT EL ITAYEM (Túnez) a fin de mejorar el conocimiento sobre otros equipos disponibles. Hoy, SIT es el único campo donde es posible encontrar equipos multifásicos de los dos tipos manejados en el presente trabajo, esto es: el tipo de doble tornillo y una de tipo rotodinámico (Poseidón), instaladas en un campo vivo, más varios aparatos de medición multifásica.

Poseidón y Sit

La bomba Poseidón es el prototipo construido y probado en Solaize. Fue diseñada directamente en su versión marina, incluyendo un sistema de lubricación integrado. El tanque de amortiguamiento, diseñado y desarrollado durante los estudios, se instaló en la succión de la bomba.

La primera revisión mayor en su lugar de prueba, se realizó a mediados de julio del 91, después de 1,000 Hrs de trabajo. Es conveniente hacer la observación de que durante todo este tiempo, no ocurrió ninguna suspensión de trabajo debida al mal funcionamiento de la bomba por ella misma.

Comparados los resultados desde el campo artificial multifásico, el campo de prueba produce mayores dificultades, como son: mayor fracción de gas, RGL mayor de 30; debido principalmente a la baja producción y a la proporción del fluido y a la variación de presión; creando variaciones de torque mas fuertes que las esperadas.

Cuando se presentó un cambio en la composición del fluido, por ejemplo, una modificación de la relación gas-líquido (RGL), se necesitó un ajuste de la velocidad de rotación, ya que una reacción lenta induce a un rápido incremento de torque, siendo necesaria la instalación de un variador de velocidad. Con la operación de este equipo de protección, no se necesita volver a arrancar la bomba. Estas correcciones han sido

hechas también para la regulación de la velocidad de rotación en relación con la variación de torque que representa de hecho la variación de la RGL.

Otras suspensiones de trabajo resultaron principalmente del hecho de que la bomba está ahora en un lugar donde los parámetros externos no están tan bien controlados como sobre un circuito artificial.

Finalmente, esta otra prueba en amortiguamiento artificial, simulando las condiciones naturales de campo, no incluyó todas las dificultades de un centro de producción actual.

Factor Humano

El factor humano en particular con alto nivel, no fue subestimado como un factor que no puede aumentar el buen desempeño del equipo. Así por ejemplo, el personal especializado de un centro de investigación como lo es el Solaize-IFP trabajando con operadores de un campo normal de SIT, y donde no fue necesario que este personal recibiera entrenamiento especial cuando fueron transferidos al circuito multifásico. Los resultados obtenidos de esta prueba, también serán integrados al diseño de futuras estaciones.

Resultados de las Pruebas de Campo

Tres objetivos principales se buscaban durante la prueba:

-Comprobar el comportamiento multifásico del sistema bomba-tanque amortiguador.

-Comprobar el comportamiento en una prueba de resistencia de todos y cada uno de los componentes mecánicos.

-Mejorar el conocimiento sobre la estación completa de bombeo multifásico.

El primero de diciembre de 1991, después de más de 4,000 Hrs acumuladas de trabajo, se pudieron dar las siguientes conclusiones:

-La bomba ha dado con el afluente real, las mismas características de aquéllas graficadas en el banco de pruebas de Solaize. el comportamiento hidráulico fue confirmado a pesar de las escasas facetas y de las condiciones inestables (rango de flujo, presión y RGL).

-La recirculación de una cantidad limitada de líquido espumoso a condiciones de entrada (disminuyendo la RGL de 30 a 10) y devolviendo los parámetros de flujo dentro del rango de diseño de la bomba.

-La asociación Bomba-Tanque de amortiguamiento, provó ser especialmente satisfactoria en régimen de flujo con baches. Las curvas impresas en la Fig. 11, muestran como el nivel del líquido en el tanque de amortiguamiento decrece cuando la presión de gas se incrementa, humedeciendo la bomba en condiciones de entrada.

-Sin hacer caso de la variación de presión de succión, la presión de salida se mantiene razonablemente estable.

-El sistema se adapta por si mismo a las condiciones de salida. En la Fig. 12, la curva impresa, muestra como el empuje de presión en la bomba se incrementa después del incremento de presión del separador de salida.

-En una presión constante de salida, el empuje debido a la presión se incrementa contra la velocidad de rotación, de aquí el decremento de rapidez y presión de succión sobre la producción en la cabeza del pozo.

-Para una presión dada de la salida, fijada por el separador y la caída de presión en la tubería, la velocidad de rotación (RPM) regula todos los parámetros de producción corriente arriba, el rango de flujo y la presión.

-Desde un punto de vista mecánico, la motobomba no mostró ningún problema inusual de operación.

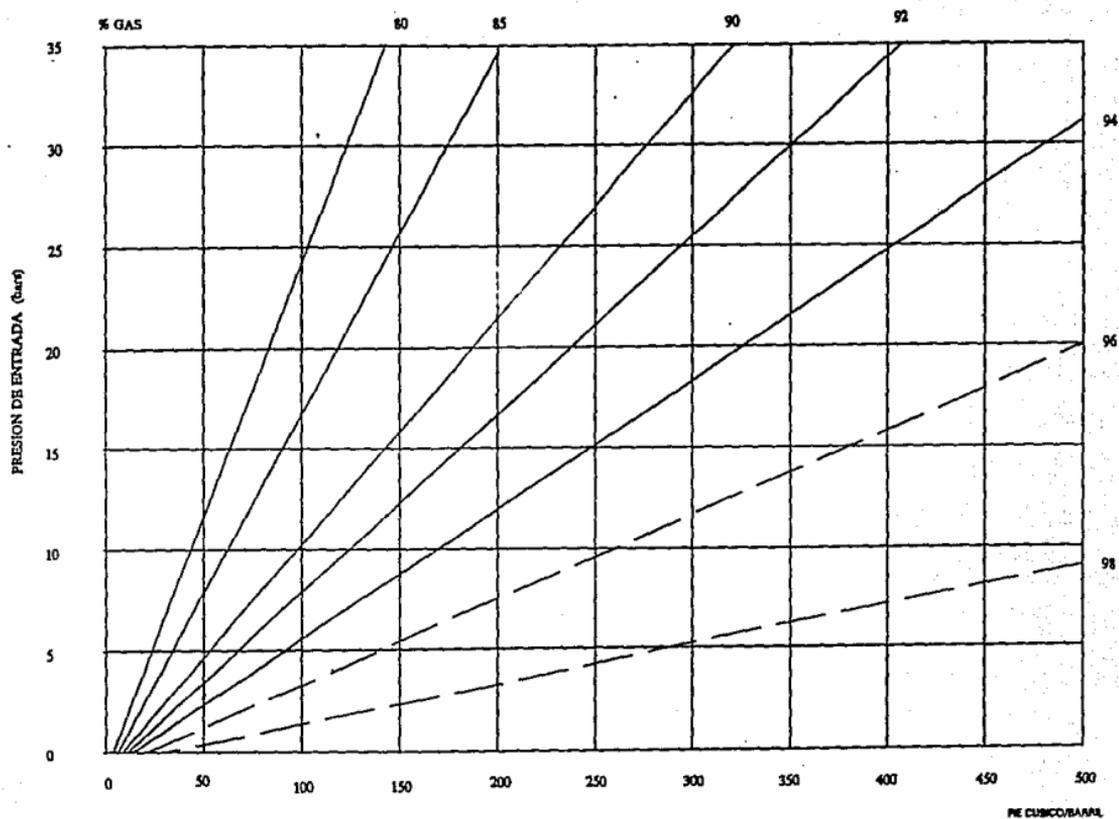


FIG 11 RELACION GAS - LIQUIDO (vol/vol std).

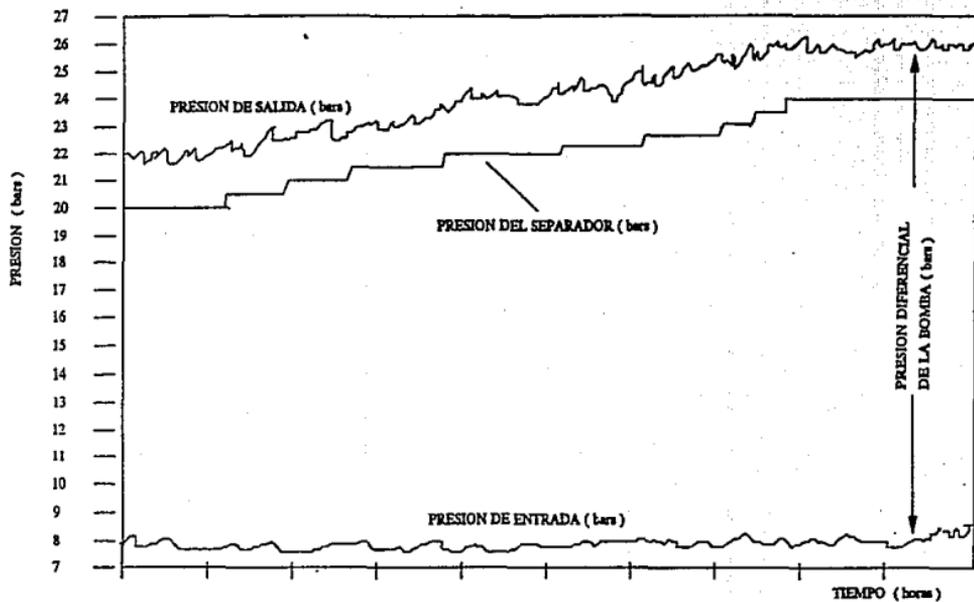


FIG 12 ADAPTACION A LAS CONDICIONES DE LA LINEA

CAPITULO . V

PERSPECTIVAS DE APLICACION EN MEXICO

En la Región Marina de PEMEX, se manejan actualmente dos filosofías de explotación de hidrocarburos que son:

Primera Filosofía Actual de Explotación.

Esta forma de explotación de los hidrocarburos en México, consiste en que a partir de la plataforma de producción, ésta se envía hasta el Complejo de Producción a través de un oleogasoducto; es decir, por una sola línea, siempre y cuando la energía natural del pozo lo permita.

En el complejo de producción, los hidrocarburos se reciben en un separador de "primera etapa", el gas se manda a un compresor y el aceite se envía a otro separador para una "segunda etapa" de separación. De aquí, el aceite se envía a una bomba para transportarlo a la Línea de Comercialización y el gas se envía a otro compresor o bien, directamente a la Línea de Comercialización. En la Fig. 13 se indica un ejemplo concreto, incluyendo las diferentes presiones que se manejan en el

19

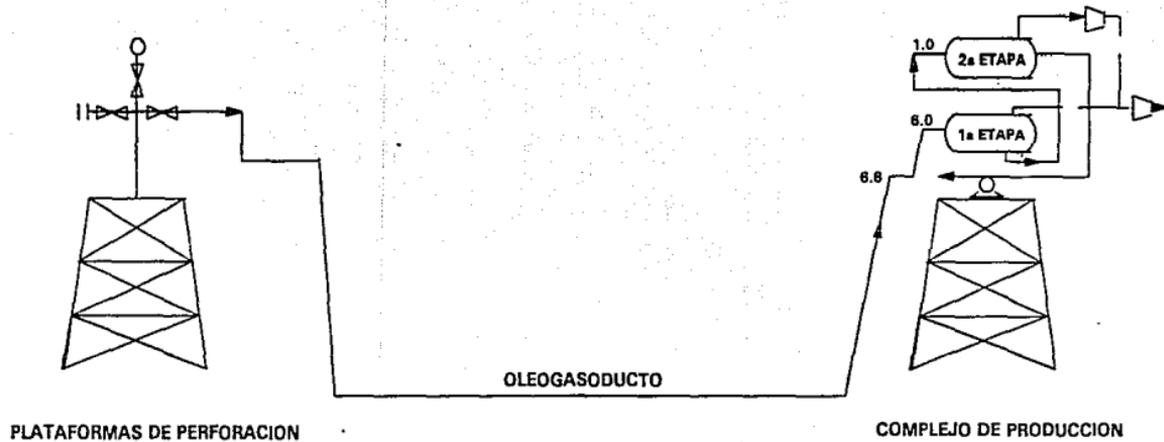


FIG 13 FILOSOFIA ACTUAL DE EXPLOTACION

Plataforma de Perforación al Complejo de Producción, así en este ejemplo, a la salida del pozo se tiene una presión de 7.5 Kg/cm², la cual, debido a la Tubería Vertical (Riser), llega con una presión de 6.0 Kg/cm² al segundo separador.

Para poder enviar el aceite al sitio donde se requiera, es necesaria la instalación de una bomba a la salida del separador, para que incremente la energía hasta una cantidad suficiente para su transporte, y en forma semejante, el gas requiere de la instalación de compresores para el mismo fin.

Segunda Filosofía Actual de Explotación.

Esta segunda filosofía de explotación que también es actual en México, se conoce con el nombre de Proyecto Cantarell y se encuentra a su vez dividida en dos etapas.

Primera Etapa.

A partir de la Plataforma de Perforación, conocida también con el nombre de Satélite, a donde llega la producción de varios pozos y ésta se envía a través de un oleogaseoducto hasta otra plataforma llamada Plataforma Modular que contiene un separador remoto y desde el cual se

envía el aceite a través de un oleoducto y el gas a través de un gasoducto hasta el Complejo de Producción, en donde el aceite pasa por otras dos etapas en igual número de separadores, para de ahí enviar el gas resultante a un compresor que se instala a la salida de cada separador y el aceite se envía a una bomba instalada también a la salida de los separadores (Fig. 14) y a continuación, enviarlos a los sitios en que se requieran.

Cuando la presión en la cabeza del pozo es alta, se puede hacer casi cualquier cosa para el transporte de sus hidrocarburos, como se muestra en las Figs. 13 y 14.

La situación cambia cuando la presión no es suficientemente alta para ayudar al transporte de los hidrocarburos y para ello, en México se tienen otros proyectos como son los que a continuación se describen:

Segunda Etapa.

Esta segunda etapa del Proyecto Cantarell es semejante a la primera etapa del mismo proyecto, con la diferencia de que en la Plataforma Modular se instala el separador de donde el aceite es enviado a una bomba, para darle energía y transportarlo a través de un oleoducto al Complejo de Producción. El gas que se obtiene en el separador de la Plataforma Modular, se recibe a continuación en un Rectificador para que

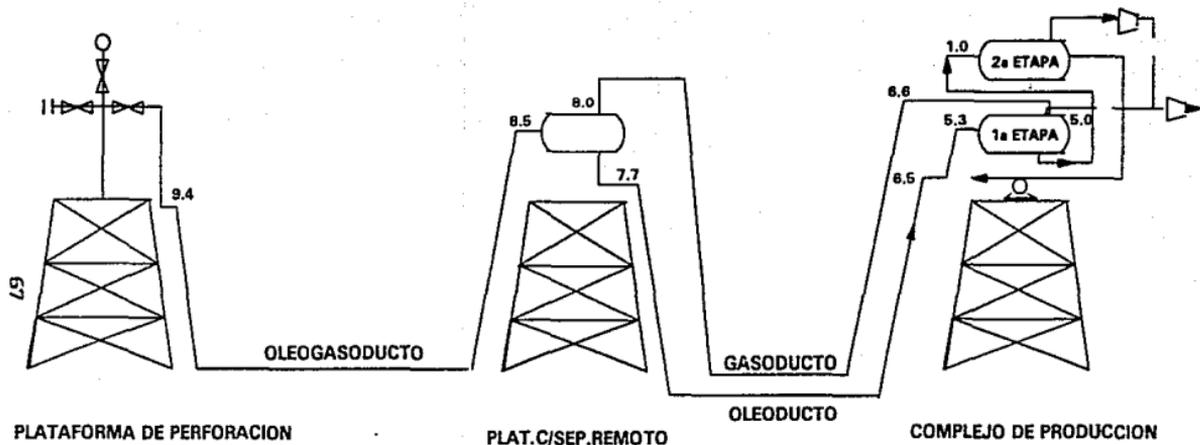


FIG 14 FILOSOFIA ACTUAL DE EXPLOTACION

(PROYECTO CANTARELL)

Primera Etapa

con ayuda de un Compresor, se envíe a través de un gasoducto al Complejo de Producción , el cual, al igual que en la Primera Etapa, se recibe en dos separadores en batería. De cada uno de ellos, con ayuda de compresores, se envía el gas al sitio en que se requiera, y el aceite, por medio de una bomba, también se envía al sitio que se necesite.

Como podemos observar en esta segunda etapa, la presión al llegar los fluidos al separador de la plataforma modular, ha disminuido casi en un 50 %, energía que se ha perdido sobre todo en la tubería vertical, lo cual se compensa con una bomba a la salida del separador para incrementar la energía del aceite. Por otro lado, se coloca un compresor a la salida del rectificador, lo cual pennitrirá que el gas llegue con buena presión al Complejo de Producción.

La Fig. 15 muestra en un esquema este tipo de instalación, marcando la presión en la cabeza del pozo de un ejemplo en particular, así como las presiones a las que se reciben los fluidos en los separadores y a la salida de las bombas o compresores.

Instalación de Bombas Multifásicas

La instalación de Bombas Multifásicas en las Plataformas de Producción tiene muchas ventajas con respecto a las instalaciones antes descritas.

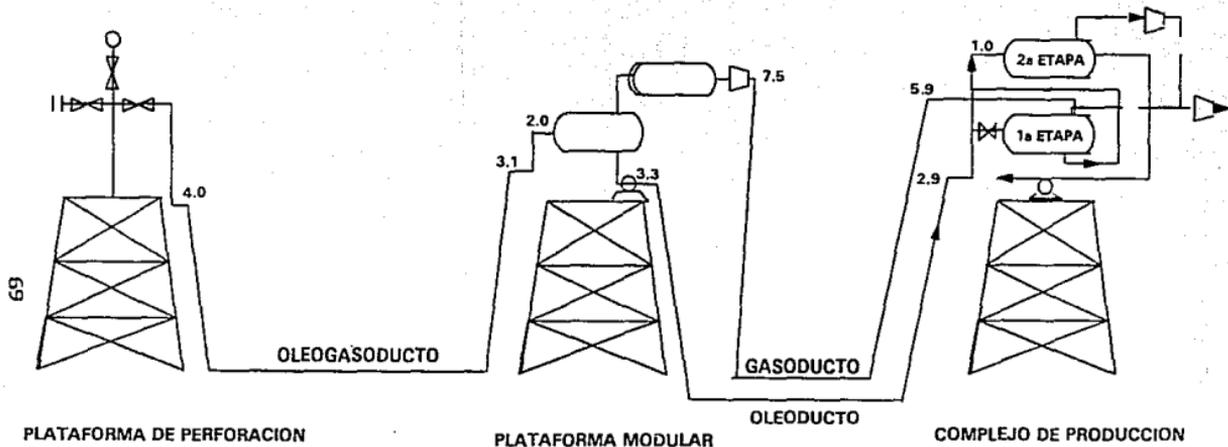


FIG 15 FILOSOFIA ACTUAL DE EXPLOTACION

(PROYECTO CANTARELL)

Segunda Etapa

ESTA TESIS NO DEBE
SALIR DE LA BIBLIOTECA

Entre las ventajas se encuentran las siguientes:

- Una primera bomba multifásica es capaz de transportar los fluidos hasta una distancia de 50 Km, pudiendo las siguientes bombas multifásicas aumentar dicha distancia a 60 Km o más, cada una.
- La instalación de producción requiere de una sola tubería (oleogasoducto) en lugar de las dos que se han venido manejando para transportar el aceite en una tubería y el gas en otra.
- Ya no se necesita hacer la instalación doble para bombas y compresores; ahora será una sola instalación para la bomba multifásica.
- Todo el ahorro de estas instalaciones se traduce en ahorro económico, el cual será hasta de un 35, % únicamente en los requerimientos materiales; a ello podemos aumentar el ahorro de personal en número sensiblemente menor que se requiere para el mantenimiento y vigilancia del nuevo equipo. Como se manejó en el capítulo de las Bombas Multifásicas, este personal podría recibir un curso de capacitación para el manejo y cuidados del nuevo sistema, pero no es indispensable, ya que como se ha podido comprobar, las bombas se han instalado y están operando (un ejemplo es la que está operando en el Mar del Norte) en campos donde el personal encargado no recibió ningún tipo de

entrenamiento y las bombas se encuentran trabajando en perfectas condiciones.

La Fig. 16 muestra el diagrama de la Instalación de Producción requerida para una Bomba Multifásica.

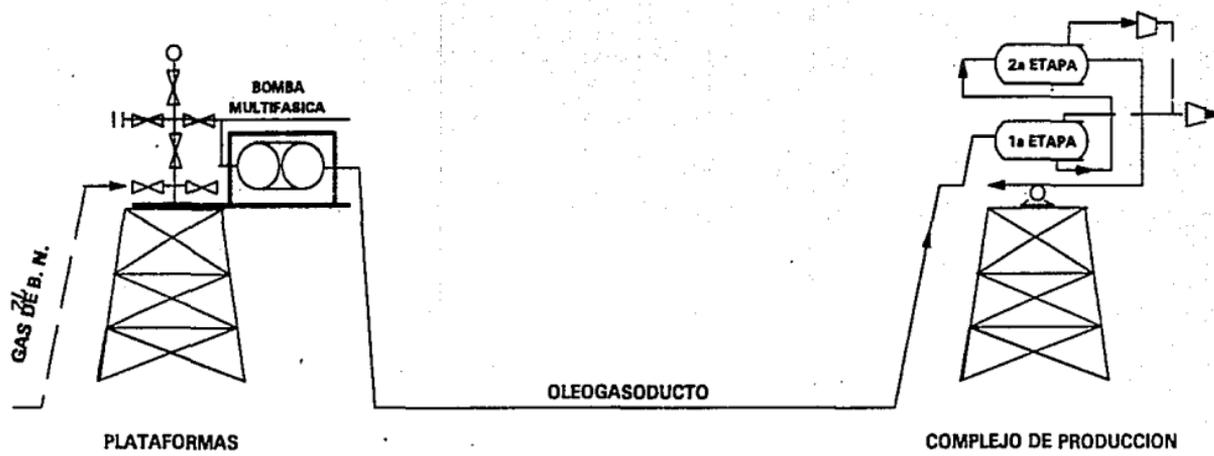


FIG 16 PROYECTO A FUTURO DE EXPLOTACION
(APLICACION DEL BOMBEO MULTIFASICO)

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

-El bombeo multifásico está cambiando rápidamente dentro de la categoría de prueba de tecnología. En la actualidad, las compañías petroleras tienen una nueva herramienta disponible para producir aceite en tierra, en plataformas marinas o lecho marino.

-La habilidad de la bomba de Doble Tornillo y de la Bomba Rotodinámica para bombear flujo multifásico con muy altas fracciones de gas, ha sido exitosamente demostrada.

-La capacidad para construir las bombas arriba mencionadas, que llenen las especificaciones de un campo productor de aceite, ha sido demostrada, y día con día se obtienen mejores resultados en sus aplicaciones de campo.

-Las pruebas de resistencia sobre estas bombas en cuanto a su diseño y manufactura han sido completamente satisfactorias.

Los beneficios del bombeo multifásico se especifican "in situ" y la herramienta más útil será la que sea más flexible, más adaptable y más resistente.

Varios conceptos y sistemas multifásicos proporcionarán la mejor solución a varios problemas específicos, pero la que demuestre superioridad de funcionamiento hidráulico en condiciones de flujo multifásico y su más grande flexibilidad será la única capaz de resolver los problemas del transporte de hidrocarburos.

Analizando los diferentes tipos de bombas, las limitaciones y problemas que presentan para un mejor desempeño en el transporte de hidrocarburos, se puede concluir que, pese a los adelantos que se han conseguido en la materia, éstos pueden y deben ser mejorados de acuerdo con el avance tecnológico a nivel mundial que ofrecen los dos tipos de bombas multifásicas. Ambas tienen muy buenas perspectivas de funcionamiento para flujo multifásico. Lo anterior de acuerdo a los artículos técnicos publicados en las revistas especializadas y los informes que las mismas compañías comercializadoras de estas bombas, proporcionan a los diferentes organismos de PEMEX.

Por lo tanto, en este momento, se presenta la posibilidad de hacer uso de las Bombas Multifásicas, las cuales deberán probarse en los campos petroleros de la República Mexicana, para que se observe en forma directa, después de un plazo razonable, su comportamiento y análisis de los registros correspondientes al transporte, horas de trabajo sin suspensión debida a fallas de la bomba, así como los análisis en cuanto a

los desgastes de sus partes y de la forma en que mantengan o disminuyan la diferencial de presión.

Solamente después de hacer dichas pruebas en los pozos petroleros de México y de acuerdo al comportamiento que tenga la Bomba Multifásica con los fluidos de las características que aquí se manejan, se podrá determinar cuál de las dos bombas (Bomba de Doble Tomillo; Bomba Rotodinámica), es la que tiene un mejor desempeño y en consecuencia, ofrece mayores ventajas para el transporte de los hidrocarburos y para la mejor y mayor recuperación de los yacimientos, traduciéndose lo anterior en un incremento económico para una de las empresas más grandes de México.

La recomendación concreta que se hace por medio del presente trabajo es: Si se tienen los recursos económicos y en base a los informes de su buen funcionamiento que se han conocido a través de diferentes medios, se deben probar ambas bombas y después de un plazo razonable de trabajo, decidir cuál es la bomba que por sus ventajas conviene al transporte de hidrocarburos , y sólo entonces, elaborar proyectos de aplicación a los nuevos campos de explotación.

BIBLIOGRAFIA

Viejo Zubicaray, Manuel: "Bombas; Teoría, Diseño y Aplicaciones"
Editorial Limusa Méx. (2a. edición 1979).

Karassik, Igor J. et al.: "Bombas Centrifugas; Selección Operación y
Mantenimiento" Cía. Edit. Continental S. A. Méx. (7a. Edición 1978).

Addison, M.: "Centrifugal and Other Rotodynamic Pumps" The Petroleum
Publishing Co.; Tulsa, Oklahoma U.S.A. (1966)

Associate Editors of Pumps, Pompes, Pumpen: "Pumping Manual" Trade
and Technical Press LTD. England. (third edition 1968)

Snyder, Robert E. "Multiphase Pumping Advanced by Poseidon Sea Trials"
Ocean Industry. JPT (Journal of Petroleum Technology), SPE (Society of
Petroleum Engineers). (Jun, 1988).

Goodridge, Ray. "Multiphase Pump Advancements Prompt Commercial Applications" JPT. SPE. (november,1990).

Leggate, J.S. "Oil Production Using Pumped Multiphase Systems" JPT. SPE. (may 1991).

Gie, Pierre. "Field Tests of the Poseidon Pump" JPT. SPE. (march, 1992).

Gie, Pierre et al. "Poseidon Multiphase Pump: Field Test Results" JPT. SPE. (may, 1992).