

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

IMPLANTACIÓN DE BANCO DE PRUEBA PARA BOMBAS DE CAVIDADES PROGRESIVAS (BCP)

Presentado ante la Ilustre
Universidad Central de
Venezuela para optar al Título
de Ingeniero de Petróleo
Por los Brs. Maldonado M. Franklin A.,
Monasterios P. Betsy C.

Caracas, Junio 2003

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

IMPLANTACIÓN DE BANCO DE PRUEBA PARA BOMBAS DE CAVIDADES PROGRESIVAS (BCP)

TUTOR ACADEMICO: Prof. Víctor Escalona

TUTOR INDUSTRIAL: Ing. Alexander Mendoza

Presentado ante la Ilustre
Universidad Central de
Venezuela para optar al Título
de Ingeniero de Petróleo
Por los Brs. Maldonado M. Franklin A.,
Monasterios P. Betsy C.

Caracas, Junio 2003

Los abajo firmantes, miembros del Jurado designado por el Consejo de Escuela de Ingeniería de Petróleo, para evaluar el trabajo especial de Grado presentado por los Bachilleres Franklin A. Maldonado M. Y Betsy C. Monasterios P., titulado:

“Implantación de Banco de Pruebas para Bombas de Cavidades Progresivas (BCP)”

Consideran que el mismo cumple con los requisitos exigidos por el plan de estudios conducente al Título de Ingeniero de Petróleo, y sin que ello signifique que se hacen solidarios con las ideas expuestas por los autores, lo declaran APROBADO.

Prof. Juan Carlos Villar
Jurado

Prof. Ovidio Suarez
Jurado

Prof. Víctor Escalona
Tutor Académico

Ing. Alexander Mendoza
Tutor Industrial

DEDICATORIA

BETSY

“Esta tesis quiero dedicársela a las personas más importantes de mi vida, quienes sin duda me han enseñado el secreto del amor la amistad y el éxito, y de las cuales aprendí que aunque haya un camino lleno de errores y dolores, caminar por él, es simplemente es el secreto para hacernos grandes y lograr el triunfo”

A mis padres Isaul y Cristina, por su amor, sacrificio y formación, elementos indispensables para poder llegar hasta aquí. De todo corazón mil veces gracias, “los amo”. Recuerden que este éxito es el fruto de todo el esfuerzo que han realizado por mí. Especialmente a ti papá quien has sido mi principal apoyo. Y por supuesto a mis hermanos Isaulito, Carlos Luis, Christopher y Alejandro por estar siempre a mi lado, por ser como son,” recuerden que son parte esencial de mi vida y que los quiero muchísimo”.

A mis amigas María G, Brenda, Andreina y Jennifer quienes siempre me han brindado su apoyo y su amistad incondicional, aún en los momentos más difíciles. Para ustedes simplemente de todo corazón “Gracias”.

A todos mis familiares, amistades y demás personas que en algún momento han formado parte de mi vida, apoyándome en cualquier situación.

Y A Dios porque estoy segura que tu secreto para guiarme fue caminar siempre a mi lado.

DEDICATORIA

FRANKLIN

Doy gracias a Dios todopoderoso, al Arcángel Miguel y a la Virgencita del Valle, por haber estado siempre en mi mente y guiarme en cada paso que di a lo largo de estos años, mil gracias por escuchar mis rezos.

A mi madre Zulay Martino, por haberme permitido existir y por todo su amor, dedicación, apoyo incondicional y sacrificios que es lo que me ha permitido culminar con el menor esfuerzo esta etapa de mi vida. Este logro es por ti y para ti. Mi éxito será tu éxito. Te amo con toda mi alma.

A mi hermano Gerard Maldonado, por todo su amor, confianza y apoyo incondicional que me ha brindado a lo largo de todos estos años. Este logro también es para ti.

A mi tío Horacio Chacín Ducharne, por haber estado presente con todos sus consejos y sabiduría a lo largo de mi carrera y mi vida. Eres el padre que nunca tuve. Te dedico este logro con todo mi cariño y mi gran admiración hacia ti.

A Ilman Suárez, por haber estado en los años más difíciles de mi carrera a mi lado, amándome, dándome fuerzas, apoyándome y otorgándome mucha fe para poder lograr todas mis metas. Espero poder seguir cosechando éxitos a tu lado.

A mi madrina Yarima Fernández, por todo su amor, cariño y consejos de madre que me ha brindado a través de todos mis actos. Por toda su fe, confianza y admiración que me ha demostrado, por todo esto y mucho más también te dedico este logro.

AGRADECIMIENTOS

A nuestro tutor industrial Ing. Alexander Mendoza, por darnos la oportunidad de participar en este proyecto.

A nuestro tutor académico Prof. Víctor Escalona, por su colaboración en el análisis, discusión y revisión continua de este trabajo.

Al Ing. Alexis Arteaga, por transmitirnos conocimientos indispensables para la culminación de este trabajo, y además porque siempre estuviste dispuesto a ayudarnos en cualquier ocasión.

Al Ing. Osvaldo Ferreira de la empresa NETZSCH Brasil, de quien recibimos información importante para la elaboración de este trabajo.

DE BETSY: A mi compañero de tesis Franklin, por su amistad, apoyo, empeño y gran sentido del humor "Frank lo logramos". Y a todos mis compañeros de estudio "grupo b" quienes sin duda contribuyeron al éxito esta etapa de mi vida.

DE FRANKLIN: A la Sra. Bella Cleotilde Valverde, por haberme abierto las puertas de su casa y depositar en mi toda su confianza y la de sus hijos Víctor José y Jorge Luis. A mi compañera de tesis Betsy Monasterios, por todo su empeño, dedicación, esfuerzo y constancia que hizo posible la culminación de esta meta "Eres una gran colega". A mis compañeros de estudio, Azocar, Carlos Cruces, Diego Maya, David Álvarez, Claudio, Arturo, Francisco Rodríguez, Frank Lee, Ondina, Omar, Patricia, Cesar, Elio, Frank Cestari, Sandrita, Moreira, Imanaida, Jhon, Pierluisi, Douglas, Rafucho, Wilmer, Ulises, Spartacus, Javier, Norgardi, Frank Torrealba. A mis otros amigos no menos importantes, José Tomas, Jeferson, Peter Ibáñez, Quesada, Pereda, Adrian, Otero y Lee (QEPD).

Maldonado M. Franklin A.
Monasterios P. Betsy C.

IMPLANTACION DE BANCO DE PRUEBA PARA BOMBAS DE CAVIDADES PROGRESIVAS (BCP)

**Tutor Académico: Prof. Víctor Escalona. Tutor Industrial: Ing. Alexander
Mendoza. Tesis. Caracas, UCV. Facultad de Ingeniería. Escuela de Ingeniería
de Petróleo. Año 2003, 128 p.**

Palabras claves: Bombas de Cavidades Progresivas, Banco de Prueba, CILA 2S,
Cartas Nomográficas, Curvas de Eficiencia.

Resumen: Durante muchos años los ingenieros de producción han utilizado las Bombas de Cavidades Progresivas (bomba rotativa de desplazamiento positivo compuesta principalmente por un rotor y un estator), como un método de levantamiento artificial de gran alternativa para la producción de hidrocarburo, confiando siempre en los procedimientos y controles de calidad que se le realizan a las bombas en los banco de prueba de los fabricantes, siendo este un mecanismo en forma de circuito cerrado en donde se simula un comportamiento real de la bomba.

El presente trabajo especial de grado describe la implantación de un banco de prueba para bombas de Cavidades Progresivas, con la instalación de un sistema de aplicación llamado CILA 2S basado en cartas nomográficas y curvas de eficiencia. La finalidad es la de verificar el comportamiento de la curva de Caudal, Torque y de Potencia, y así obtener una mejor visualización del régimen de trabajo de la bomba por medio de la carta nomográfica, con el objeto de comparar las curvas de performas que se obtuvieron en el banco de prueba de su fabricante. De los resultados obtenidos se recomienda la aplicación del CILA 2S a todos los bancos de pruebas existentes, para obtener un acertado comportamiento y vida útil de la bomba.

INDICE

INTRODUCCIÓN.....1

CAPITULO 1.- PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....3

1.1.- PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....3

 1.1.1.- OBJETIVO GENERAL.....3

 1.1.2.- OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....4

 1.1.3.- JUSTIFICACIÓN DEL TRABAJO.....4

CAPITULO 2.- MARCO TEÓRICO.....6

2.1.- BOMBAS DE CAVIDADES PROGRESIVAS.....6

 2.1.1.- Definición y Principio.....6

 2.1.2.- Descripción General.....7

 2.1.3.- Geometría.....8

 2.1.4.- Parámetros Geométricos.....10

 2.1.5.- Descripción del Rotor.....11

 2.1.6.- Descripción del Estator.....12

2.1.7.- Equipos que constituyen una BCP.....	13
2.1.7.1.- Equipos de Superficie.....	14
2.1.7.2.- Equipos de Subsuelo.....	16
2.1.8.- Selección de una BCP.....	19
2.1.9.- Ventajas y Limitaciones de la BCP.....	28
2.1.10.- Fallas típicas de Bombeo de Cavidades Progresivas.....	29
2.1.11.- Clasificación de las Bombas de Cavidades Progresivas.....	31
2.2.- BANCO DE PRUEBA.....	33
2.2.1.- Definición.....	34
2.2.2.- Importancia y Uso.....	34
2.2.3.- Funcionamiento.....	35
2.2.4.- Controles y Ensayos de las BCP a través de Bancos de Pruebas.....	36
2.2.5.- Descripción del Banco de Prueba.....	38
2.3.- CILA 2S 100. NUEVA TECNOLOGIA.....	39
2.3.1.- Introducción.....	39

2.3.2.- Definición.....	39
2.3.3.- Descripción del CILA 2S 100.....	40
2.3.4.- Características del CILA 2S 100.....	41
2.3.5.- Funciones.....	41
2.3.6.- Funcionamiento del CILA 2S 100.....	50
CAPITULO 3.- METODOLOGÍA.....	53
3.1.- TIPO DE INVESTIGACIÓN.....	53
3.2.- MUESTRA.....	53
3.3.- PROCEDIMIENTO.....	55
3.3.1.- Primera etapa: Revisión bibliográfica, Recopilación de información y Adiestramiento.....	55
3.3.2.- Segunda etapa: Ensamblaje del Banco de Prueba, Desarrollo del Protocolo del Banco de Prueba, Implantación del CILA 2S 100, Desarrollo de Curvas de Eficiencia, Desarrollo de Cartas Nomográficas y Comparación de las Bombas.....	57
CAPITULO 4.- ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....	71
4.1.- BANCO DE PRUEBA. PRODUCTO TERMINADO.....	71
4.2.- PROTOCOLO DE PRUEBA.....	73

4.3.- RESULTADOS OBTENIDOS DEL BANCO DE PRUEBA DEL FABRICANTE.....	75
4.4.- GENERACIÓN DE CARTAS NOMOGRÁFICAS.....	81
4.5.- RESULTADOS OBTENIDOS DEL BANCO DE PRUEBA CON SIMULADOR CILA 2S 100. CURVAS DE EFICIENCIA.....	93
CONCLUSIONES.....	97
RECOMENDACIONES.....	99
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	101
ANEXOS.....	103
GLOSARIO DE TÉRMINOS.....	109

INDICE DE FIGURAS

Figura 2.1 Geometría de una BCP 1-2.....	8
Figura 2.2 Comparación de BCP simple lóbulo y multi lóbulo.....	9
Figura 2.3 Geometría de una BCP simple lóbulo y multi lóbulo.....	9
Figura 2.4 Parámetro geométricos de una BCP.....	11
Figura 2.5 Rotores.....	12
Figura 2.6 Estatores.....	12
Figura 2.7 Partes de una BCP.....	14
Figura 2.8 Configuración de los cabezales de superficie.....	15
Figura 2.9 Motor eléctrico.....	15
Figura 2.10 Estator.....	17
Figura 2.1 Rotores.....	18
Figura 2.12 Curva de comportamiento de afluencia.....	21
Figura 2.13 Nivel Estático, Nivel Dinámico y Sumergencia.....	22
Figura 2.14 Factor de pérdidas por fricción.....	25

Figura 2.15 Carta para selección de elastómeros.....	28
Figura 2.16 Tipos de Bombas: Tubulares e Insertables.....	33
Figura 2.17 Curva de Comportamiento de Control de Presión.....	43
Figura 2.18 Curva de comportamiento de Control de alto torque.....	45
Figura 2.19 Curva de comportamiento de control de Temperatura y Velocidad.....	46
Figura 2.20 Curva de Comportamiento de Control Antiretorno.....	47
Figura 2.21 Diagrama de Control y Optimización.....	48
Figura 2.22 Diagrama funcional del CILA 2S.....	49
Figura 2.23 Pantalla Datos del Motor.....	50
Figura 2.24 Pantalla Relación de Reducción.....	51
Figura 2.25 Pantalla Sistema de Bombeo.....	51
Figura 2.26 Pantalla Historial de Eventos.....	52
Figura 3.1 Banco de Prueba Ensamblado.....	61
Figura 3.2 Vista frontal del interior del gabinete.....	63
Figura 3.3 Capacidad en función del levantamiento.....	66

Figura 3.4 Introducción de datos para generar Cartas Nomográficas.....**67**

Figura 3.5 Carta Nomográfica generada por el CILA 2S.....**68**

Figura 3.6 Gráfica que muestra los datos de Torque, Potencia y Caudal en tiempo real.....**69**

Figura 4.1 Eficiencia y torque en función de la Presión a 100 RPM para bomba NTZ238120*ST4.....**76**

Figura 4.2 Eficiencia y torque en función de la Presión a 200 RPM para bomba NTZ238120*ST4.....**76**

Figura 4.3 Eficiencia y torque en función de la Presión a 250 RPM para bomba NTZ238120*ST4.....**77**

Figura 4.4 Eficiencia y torque en función de la Presión a 100 RPM para bomba NTZ278120*ST14.....**79**

Figura 4.5 Eficiencia y torque en función de la Presión a 200 RPM para bomba NTZ278120*ST14.....**79**

Figura 4.6 Eficiencia y torque en función de la Presión a 250 RPM para bomba NTZ278120*ST14.....**80**

Figura 4.7 Datos suministrados al CILA 2S para desarrollo de Cartas Nomográficas a 100 RPM para bomba NTZ238120*ST4.....**81**

Figura 4.8 Carta Nomográfica obtenida del CILA 2S a 100 RPM para bomba NTZ238120*ST4.....**82**

Figura 4.9 Datos suministrados al CILA para desarrollo de Cartas Nomográficas a 200 RPM para bomba NTZ238120*ST4.....**83**

Figura 4.10 Carta Nomográfica obtenida del CILA 2S a 200 RPM para bomba NTZ238120*ST4.....**84**

Figura 4.11 Datos suministrados al CILA para desarrollo de Cartas Nomográficas a 200 RPM para bomba NTZ238120*ST4.....**85**

Figura 4.12 Carta Nomográfica obtenida del CILA 2S a 200 RPM para bomba NTZ238120*ST4.....**86**

Figura 4.13 Datos suministrados al CILA para desarrollo de Cartas Nomográficas a 100 RPM para bomba NTZ278120*ST14.....**88**

Figura 4.14 Carta Nomográfica obtenida del CILA 2S a 200 RPM para bomba NTZ278120*ST14.....**89**

Figura 4.15 Datos suministrados al CILA para desarrollo de Cartas Nomográficas a 250 RPM para bomba NTZ278120*ST14.....**90**

Figura 4.16 Carta Nomográfica obtenida del CILA 2S a 250 RPM para bomba NTZ278120*ST14.....**91**

Figura 4.17 Curvas de Eficiencia obtenidas a través del CILA 2S para bomba NTZ238120*ST4.....**93**

Figura 4.18 Curvas de Eficiencia obtenidas a través del CILA 2S para bomba NTZ278120*ST14.....**93**

INDICE DE TABLAS

Tabla 3.1 Tipos de BCP utilizadas.....**54**

Tabla 4.1 Resultados del banco de Prueba de la Bomba NTZ238120*ST4.0.....**75**

Tabla 4.2 Resultados del Banco de Prueba de la Bomba NTZ278120*ST14.0.....**78**

INTRODUCCIÓN

Actualmente las Bombas de Cavidades Progresivas (BCP) han demostrado ser un método de levantamiento artificial económico, efectivo, versátil y de gran actividad para un amplio rango de aplicaciones en la Industria Petrolera. Las BCP funcionan como un mecanismo rotativo de desplazamiento positivo y pulsante, cuyos componentes principales y/ o elementos son un rotor y un estator, en donde el crudo es desplazado en forma continua hasta la superficie por medio del rotor que gira excéntricamente dentro del estator, formando cavidades progresivas ascendentes. Este mecanismo de producción es a la fecha uno de los más ventajosos en comparación con los otros métodos de levantamiento artificial, pero para que sea exitoso la BCP debe ser verificada e inspeccionada una vez finalizada su fabricación para garantizar un buen funcionamiento antes de instalarse en el fondo del pozo, así como también después de haber realizado trabajo de producción, para predecir su tiempo de vida útil.

Durante muchos años los ingenieros de producción han utilizado este método de levantamiento artificial como alternativa de producción de hidrocarburo, confiando siempre en los procedimientos y controles de calidad que se le realizan a las bombas en los banco de prueba de los fabricantes, ocurriendo esto, antes de ser entregado el equipo a cada cliente y/o operadora. En repetidas oportunidades se han detectado problemas en las bombas de fondo (BCP), lo cual ha generado resultados negativos en el método de producción, producto del mal almacenamiento de estos equipos (estatores elastoméricos). Dentro de esos daños presentes se observan incremento en la dureza y envejecimiento del elastómero, pérdida del diámetro interno del estator, entre otros, lo cual se traduce en una disminución de la eficiencia y en muchos casos en la pérdida total de ella, así como un mal comportamiento mecánico de la bomba BCP, que son resultados desfavorables al momento de instalar este equipo en el pozo.

Considerando todos estos inconvenientes es necesario llevar a cabo alguna actividad que resuelva este tipo de problemas. Un estudio detallado de las características hidráulicas de bombas nuevas y usadas, concluye que es necesario el montaje y/o implementación de un Banco de Prueba en las empresas distribuidoras de bombas BCP, esto conducirá a que se pueda realizar una evaluación eficiente de las mismas, obteniéndose un registro de toda la información de medición del equipo (Estator: Serial, Modelo, Longitud, Dureza Elastomérica, Diámetro Interno de las Cavidades. Rotor: Serial, Modelo, Longitud, Diámetros de las Crestas Mayor y Menor, tipo de cromo duro), así como también, datos que sirven para construir curvas de performas y eficiencia de la bomba y que a su vez permitan predecir ciertos comportamientos de las mismas a través del desarrollo y validación de carta Nomográfica en las cuales se basa el programa de computación CILA 2S.

En este trabajo se utilizaron dos modelos de bombas diferentes a las que se le pudieron obtener parámetros, que sirvieron para construir curvas teóricas y prácticas que permitieron determinar detalladamente la performa y eficiencia que puede tener cada una de ellas, lo que permite a su vez, después de haber obtenido estos resultados sacar conclusiones sobre su futuro comportamiento en un determinado yacimiento, garantizando con este proceso una bomba con una alta eficiencia, y un buen uso de ella en su proceso de operación.

Parte de los resultados, que se muestran en este trabajo es una visión proyectada al conocimiento preciso de los parámetros básicos de operación de los equipos y el potencial esperado por pozo, lo cual permitirá mantener dichos equipos, en condiciones óptimas y apropiadas de operación, mejorando su eficiencia y expectativa de incremento de su vida útil.

Planteamiento del Problema.

1.1.- PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Uno de los mecanismos más utilizados como método de levantamiento artificial, es el de producir a través de Bombas de Cavidades Progresivas (BCP); éstas generalmente, presentan problemas de comportamiento y eficiencia a la hora de su activación en el campo. En muchos de los casos se instalan las mismas sin tomar en cuenta ciertos parámetros característicos de los yacimientos que ayudan a su rápido desgaste y pérdida del equipo. Y aunque algunos suplidores de estas bombas les realizan pruebas antes de venderlas, es necesario mejorarlas a través de la instalación y uso de un modelo matemático que permita optimizar el proceso de levantamiento artificial por medio de las bombas ya antes referidas.

1.1.1.- OBJETIVO GENERAL

El presente estudio tiene como finalidad implantar un Banco de Prueba para Bombas de Cavidades Progresivas (BCP), donde se permitirá evaluar y validar un modelo matemático para esta bomba a través de la aplicación de un Controlador Inteligente Subsuelo - Superficie llamado (CILA 2S), que basa los resultados en la construcción de una Carta Nomográfica para la BCP, con el firme propósito de conocer y a la vez de realizar procedimientos de optimización de la curva de comportamiento y eficiencia del equipo en referencia.

1.1.2.- OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Implantar un Banco de Prueba para Bombas de Cavidades Progresivas.
- Validar un modelo matemático del Controlador Inteligente de Levantamiento Artificial Subsuelo - Superficie (CILA 2S), que estará conectado al banco.
- Obtener parámetros que permitan construir curvas de eficiencia.
- Comparar curvas teóricas de eficiencia de la bomba obtenidas por el fabricante con los resultados obtenidos del comportamiento de la misma en el banco de prueba.
- Evaluar los resultados obtenidos de cada bomba probada y determinar la eficiencia de cada una de ellas para su posterior uso.

1.1.3.- JUSTIFICACIÓN DEL TRABAJO

Las Bombas de Cavidades Progresivas son bombas rotativas de desplazamiento positivo, a la fecha son de gran importancia y relevancia, debido a que forman parte de un equipo alterno dentro de las opciones de cambios de método de levantamiento artificial, con grandes resultados a la hora de la producción del petróleo. Están constituidas esencialmente por dos elementos: un rotor de acero cromado y un estator elastomérico, que son los que llevan a cabo el mecanismo de la bomba.

Estos elastómeros son vulnerables a parámetros como (presión, altas temperaturas, aromáticos polares: Tolueno- Benceno, fluido abrasivos, alto volumen gas, ácidos, entre otros), esto podría generar en la bomba daños mayores resultando en algunos casos en la pérdida del equipo en su totalidad; por lo tanto, es necesario llevar a cabo un control y ensayo de las BCP antes de ser instaladas, siendo este control esencial para asegurar el rendimiento de la bomba en el transcurso de la operación.

Una forma de maximizar la eficiencia de la bomba y minimizar el desgaste, debido a las condiciones del pozo durante su vida útil, es implementar un Banco de Prueba en donde se verifique que las características de la bomba cumplen con las condiciones del pozo antes de ser instaladas a producción, esto se llevará a cabo a través de la implantación del Cila 2S (nueva tecnología en sistema para BCP) que está soportado en Carta Nomográfica, que permite obtener parámetros para construir Curvas de Eficiencia y de procesos de optimización de cada una de ellas, éstas determinarán su comportamiento y de esta manera se asegura que la bomba se encuentra en óptimas condiciones de trabajo, además de conocer el tiempo de vida útil y eficiencia con que trabajará según la condición física que presente cada pozo.

Marco Teórico.

2.1.- BOMBAS DE CAVIDADES PROGRESIVAS (BCP)

2.1.1.-Definición y principio

Una bomba de Cavidades Progresivas es una bomba rotativa de desplazamiento positivo, cuyos componentes principales son un rotor y un estator. En ella el crudo es desplazado en forma continua hasta la superficie por medio del rotor que gira dentro del estator, formando cavidades progresivas ascendentes, esta bomba está constituida esencialmente por un espiral engranaje, compuesto de dos elementos helicoidales insertos el uno al interior del otro y con ejes longitudinales paralelos pero no confundidos. El elemento exterior (estator) tiene un paso o diente más que el interior (rotor). El número de pasos de dos elementos puede ser de cualquier valor bajo la condición que difiera una unidad.

El elemento interior está diseñado de tal manera, que cada uno de los pasos o dientes esté permanentemente en contacto con el elemento exterior. Los pasos de las hélices de ambos elementos están, para cada sección recta, en relación con el número de dientes.

Las secciones rectas de los elementos helicoidales están constituidas por perfiles conjugados obtenidos por la combinación de epicicloides e hipocicloides, cuyos círculos generadores tienen como diámetro el valor de la distancia entre los ejes longitudinales de dos elementos helicoidales.

El enrollamiento en hélice de los perfiles alrededor de los ejes de rotación crea entre los dos elementos helicoidales, una longitud igual al paso del elemento

exterior. Al hacer girar el elemento interior en el elemento exterior, los volúmenes se desplazan sin deformación siguiendo un movimiento helicoidal a lo largo del elemento exterior.

A condición que las hélices del elemento helicoidal exterior giren más de una vuelta, la bomba permite una descarga bajo presión o una expansión de un fluido sin que sea necesario el uso de válvulas de retención. La presión aumenta solamente después del primer giro de las hélices del elemento exterior.

Este movimiento origina la formación de cavidades, limitadas por el rotor y el estator, que se desplazan axialmente de la aspiración hacia el reflujo.

Según este principio se obtiene una bomba volumétrica rotativa:

- Reversible auto aspirante;
- Sin válvula de contrapresión;
- Con caudal uniforme sin impulsos ni sacudidas de tipo alguno;
- Capaz de desplazar productos de fluidez máxima a productos;
- De pastosidad. Incluso cargados de sólidos y conteniendo gas.

2.1.2.-Descripción general

Las bombas de cavidades progresivas están compuestas de dos elementos: el rotor y el estator. La geometría del conjunto constituye dos o más series de cavidades progresivas. Cuando el rotor gira en el interior del estator, las cavidades se desplazan axialmente a lo largo del estator, constituyendo así el mecanismo de bombeo. El sistema de accionado hace que el rotor gire sobre sí mismo. Cuando el rotor ha girado una vez, su eje ha girado otra en sentido contrario en torno al eje del estator manteniendo su paralelismo.

Este movimiento origina la creación de lóbulos delimitados por el rotor y el estator, que se desplazan axialmente de la aspiración al reflujo.

2.1.3.- Geometría

La geometría de las bombas está caracterizada a menudo por dos números, siendo el primero el número de lóbulos del rotor y el número de lóbulos del estator el segundo. Por ejemplo, la geometría de una bomba de un rotor a simple hélice y un estator a doble hélice se describe como una bomba 1-2.

El rotor no es concéntrico con el estator. Sin embargo, el movimiento del rotor en el interior del estator es el resultado de la combinación de dos movimientos:

- Una rotación alrededor de su propio eje en una dirección;
- Una rotación en dirección contraria a su propio eje alrededor del eje del estator.

La geometría del engranaje helicoidal formado por el rotor y el estator se define en la figura 2.1:

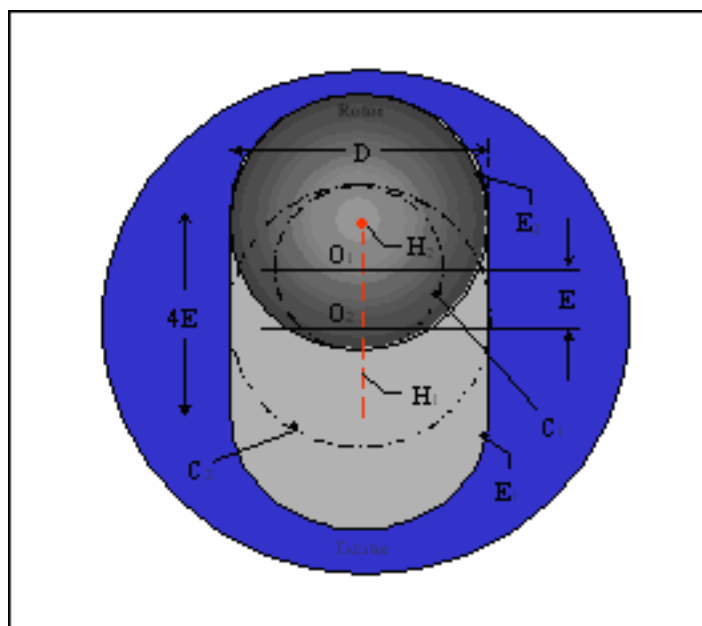


Fig.2.1 Geometría de una BCP 1:2.

Se han desarrollado dos tipos de geometrías para bombas de cavidades progresivas, la simple lóbulo y la multi lóbulo, siguiendo el principio de Moineau, basado en el ajuste geométrico entre la única parte móvil (rotor), la cual gira excéntricamente en el elemento estacionario (estator).

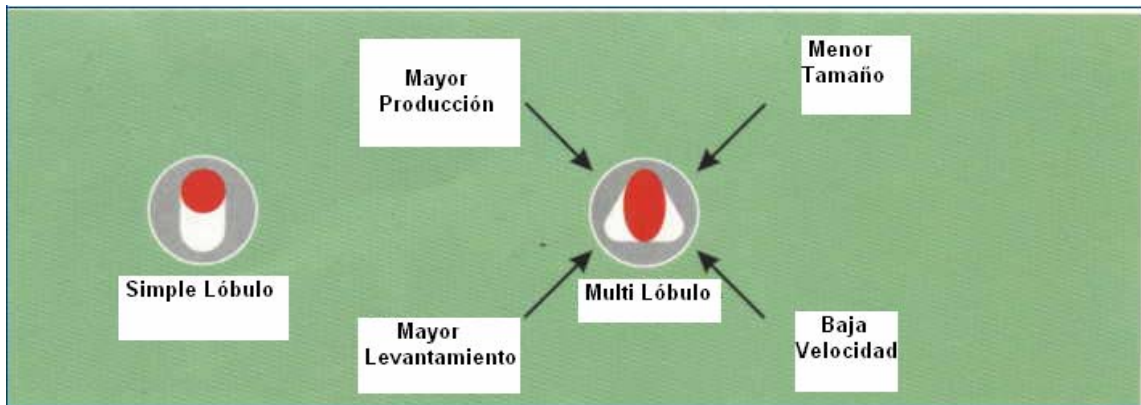


Fig.2.2.- Comparación de las BCP simple lóbulo y multi lóbulo.

En la geometría simple lóbulo, el rotor presenta una sección transversal circular, mientras en la multi lobular la sección transversal es elíptica.

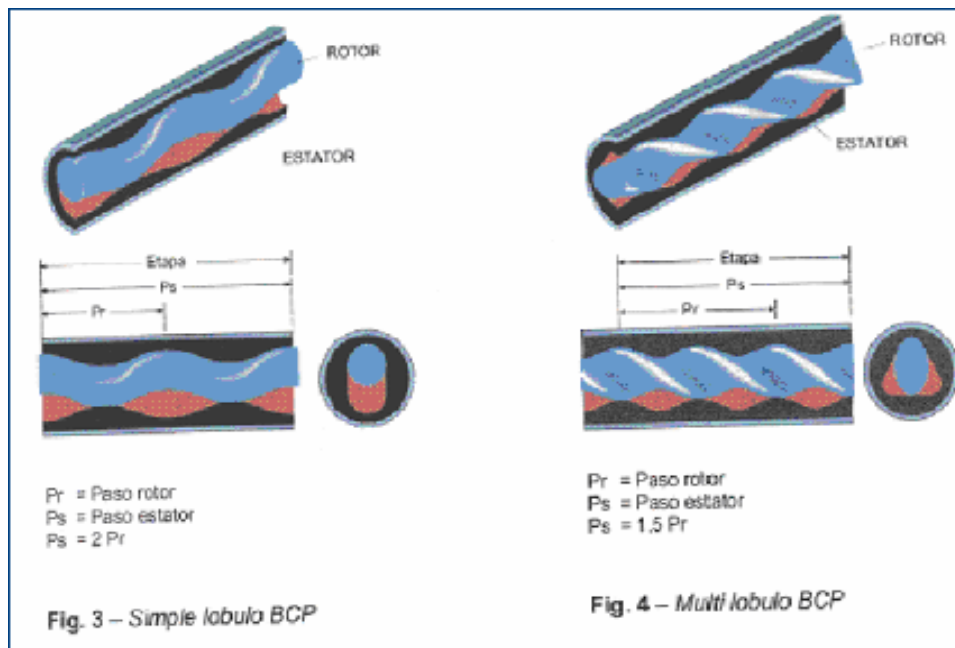


Fig. 2.3.- Geometría de una BCP Simple lóbulo y Multi lóbulo.

2.1.4.-Parámetros Geométricos

Diámetros y excentricidad

- El diámetro de la sección del rotor helicoidal (diámetro inferior) se define como D .
- La excentricidad de la hélice es la distancia entre el eje del rotor y el eje del estator y se define como E .
- El diámetro de la hélice del rotor (diámetro mayor) se define como $D + 2E$.
- Las dimensiones de la hélice roscada en el estator son D y $D + 4E$.

Longitud del paso

La longitud del paso se define como la longitud de un giro de 360° del trazado de la cresta de uno de los lóbulos de la hélice y se simboliza P .

Sin embargo, las longitudes de los pasos de los rotores y estatores se definen precisamente:

P_r : longitud del paso del rotor;

P_s : longitud del paso del estator.

Cavidad

Las cavidades son lenticulares, helicoidales y constituyen volúmenes separados entre el estator y el rotor cuando están ensamblados. Las cavidades son el resultado de una hélice adicional en el paso del estator. Cuando el rotor gira cada cavidad se desplaza helicoidalmente alrededor del eje del estator desde la admisión hasta el reflujo.

La longitud de una cavidad es igual a la longitud del paso del estator.

En la figura 2.4 se observa: diámetro, excentricidad, longitud de paso y las cavidades de la bomba.

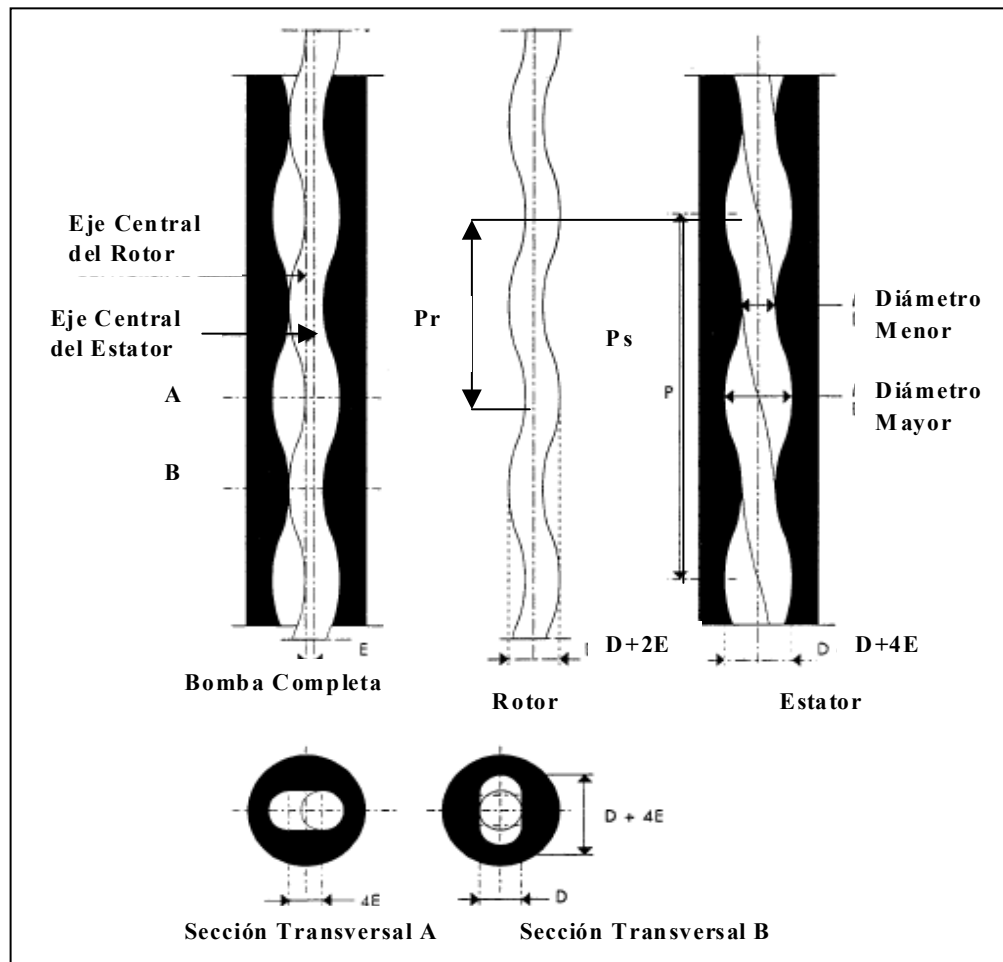


Fig.2.4.- Parámetros Geométricos de una BCP.

2.1.5.- Descripción del rotor

El rotor se construye en acero tratado de alta resistencia y se lo somete a un revestimiento superficial cromado (ver figura 2.5), de manera de minimizar el desgaste engendrado por el transporte de fluidos cargados de partículas sólidas y disminuir así el coeficiente de frotamiento rotor/estator. El diámetro final del rotor es función del posible hinchamiento del elastómero ligado a la presión, a la

temperatura y a los fluidos bombeados. El espesor del cromado depende del carácter abrasivo de los productos bombeados.



Fig.2.5.- Rotores.

2.1.6.-Descripción del estator

El estator se realiza con un elastómero formulado especialmente para poder resistir los efluentes petrolíferos (crudo, agua salada, gas y a la temperatura en fondo de pozo), (ver figura 2.6).

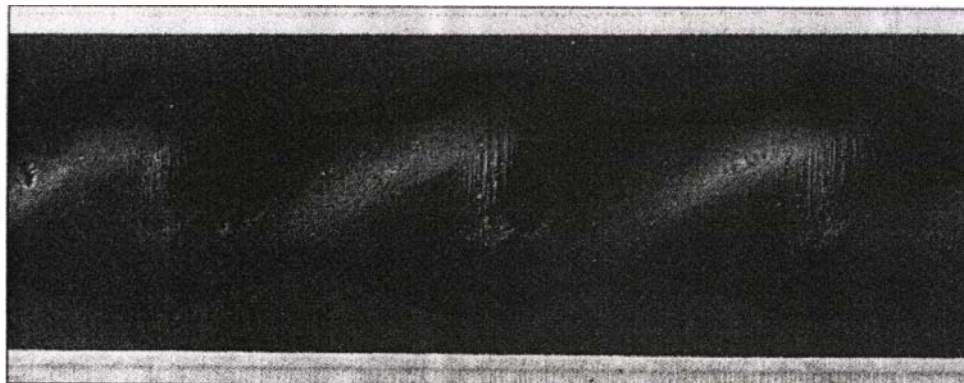


Fig.2.6.- Estator.

2.1.7.-Equipos que constituyen a una BCP

Las Bombas de Cavidad Progresiva están integradas por dos secciones de equipos: Equipos de Superficie y Equipos de Subsuelo. (Ver figura 2.7)

Equipos de superficie:

- Cabezal de Rotación.
- Motor eléctrico y/o moto reductor.
- Correa, polea, barra pulida y grapa y/o eje sólido.
- Prensa estopa.

Equipos de subsuelo:

- Tubería de producción.
- Cabezal de pozo
- “T” de bombeo
- Sartas de Cabillas.
- Bomba de Subsuelo conformada por:
 - 1.) Estator y niple de paro.
 - 2.) Rotor.
- Centralizadores para pozo desviado.
- Ancla o separador de gas (Opcional).
- Ancla de tubería (Opcional).

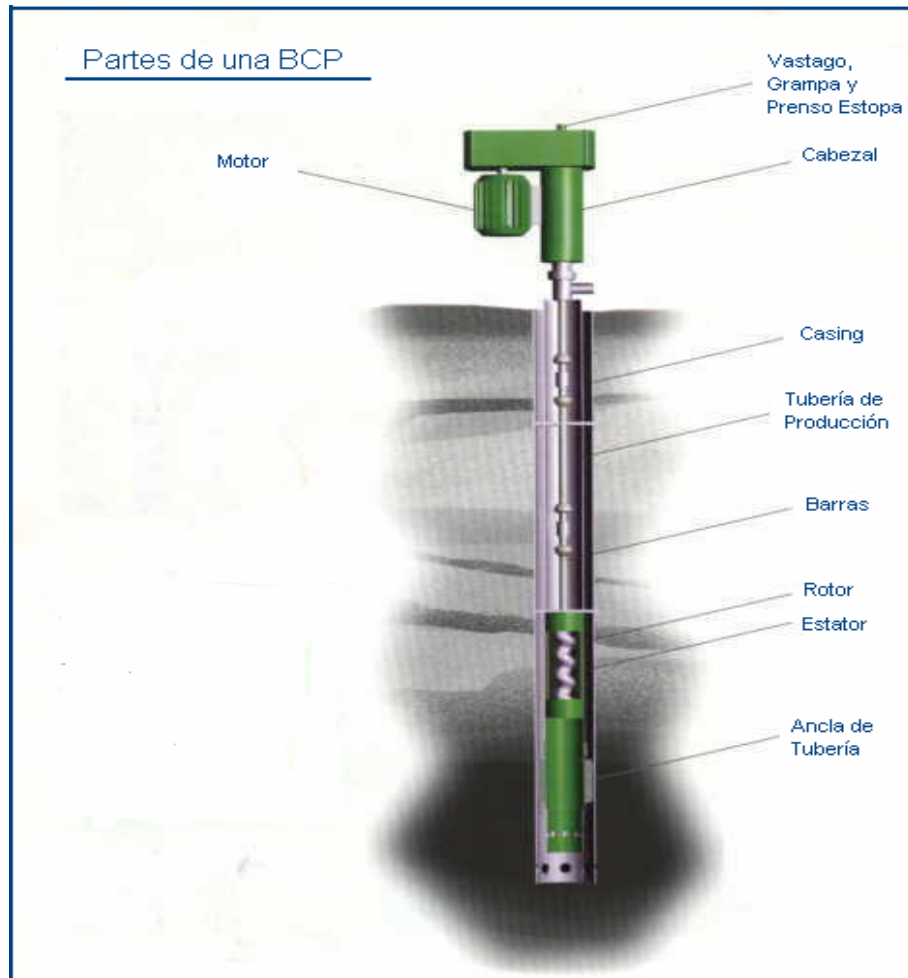


Fig.2.7.- Partes de una BCP.

2.1.7.1.- Equipos de superficie:

➤ **Cabezal de rotación:** Tiene como función principal aguantar el peso de la sarta de cabillas y hacer rotar la misma, esta ajustado a una caja de velocidad variable con su respectiva caja de engranajes (ver figura 2.8). Las principales funciones del cabezal giratorio son las siguientes:

- Transmitir a la sarta de cabillas el movimiento rotatorio que se origina del torque que suministra la unidad motriz.
- Soportar la carga axial ocasionada por:

- 1.- El peso de la sarta de cabillas y
- 2.- El fluido que se eleva del fondo del pozo.

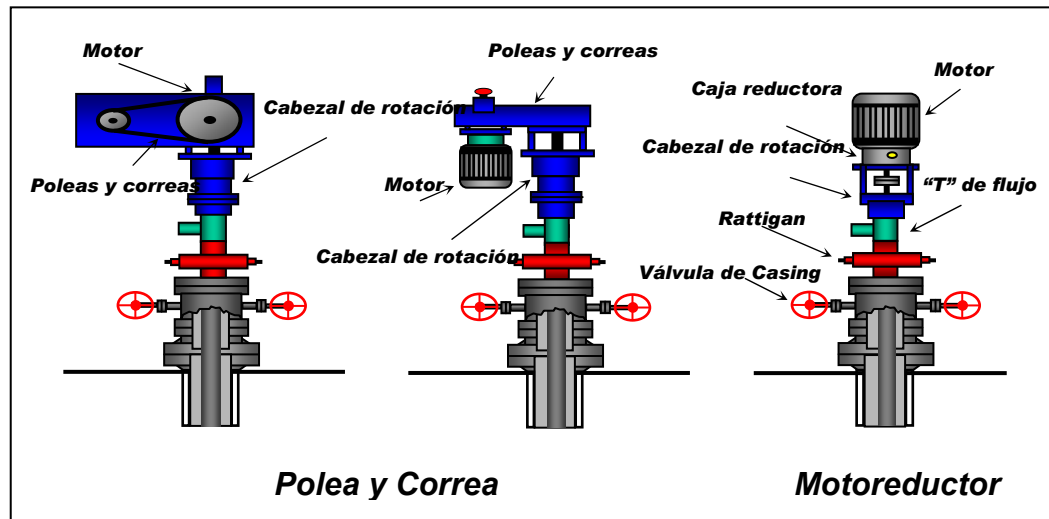


Fig.2.8.- Configuración de los cabezales de superficie.

- **Motor:** Se encarga de accionar el cabezal giratorio a través de un conjunto de poleas y cadenas. Este puede ser eléctrico, de combustión interna o hidráulicos. En la figura 2,9 se muestra un motor de tipo eléctrico.

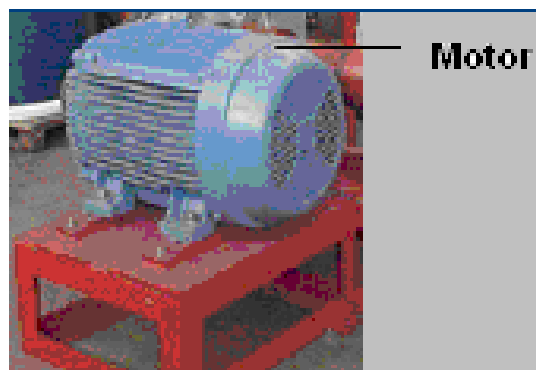


Fig.2.9.- Motor eléctrico.

- **Barra Pulida y su Grapa:** Es un tubo sólido de acero inoxidable, se conecta a la sarta de cabillas y es soportada en la parte superior del cabezal giratorio mediante la instalación de una grapa. Estas grapas son fabricadas con diámetros de 1/8", 1/4" y 1/2" con longitudes que varían entre 16 y 22 pies.
- **Prensa Estopa:** Tiene como función principal sellar el espacio entre la barra pulida y la tubería de producción, evitando con ello filtración y comunicación del área donde está ubicado el pozo. El diámetro interno del prensa estopa varía dependiendo del diámetro de la barra pulida.

2.1.7.2.- Equipos se subsuelo:

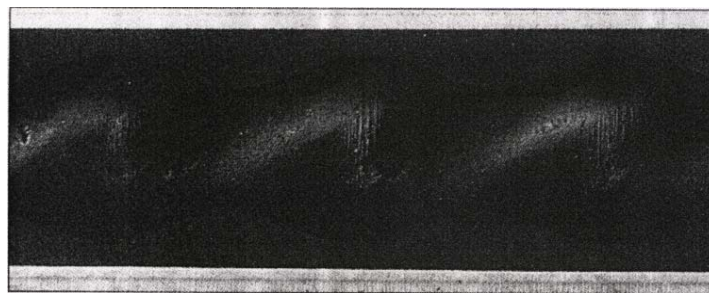
- **Tubería de Producción:** Es una tubería de acero que comunica la bomba de subsuelo con el cabezal y la línea de flujo.
- **Cabezal de pozo:** Es donde se cuelga la tubería de producción.
- **"T" de bombeo:** Es un accesorio que sirve para comunicar el fluido que viaja a través de la tubería de producción y la línea de flujo, además que sirve de apoyo o base al Cabezal de Rotación.
- **Sarta de Cabillas:** es un conjunto de cabillas unidas entre sí que se introducen en el pozo y forman parte integral del sistema de bombeo de cavidad progresiva. Es recomendable utilizar cabillas de un mismo diámetro para este tipo de diseño. Las cabillas se rigen según las normas API, y las más utilizadas para diseños con bombas de cavidad progresiva son las de grado "C", las de grado "D" pueden ser igualmente empleadas pero es necesario tomar en consideración que son afectadas en mayor grado por el sulfuro de hidrógeno o cualquier componente corrosivo. Tienen la función de transmitir la potencia desde el accionamiento de superficie hasta la bomba. Las cabillas transfieren al rotor el

movimiento rotatorio que se origina en el elemento motriz en superficie, estas sartas están sujetas a dos tipos de cargas:

- Una carga axial que no es cíclica como en las unidades de balancín, sino por el contrario es constante
- Una carga en un plano perpendicular a la sarta de cabillas. Esta carga produce un par de torsión y origina el movimiento rotatorio de las cabillas con el fin de transmitirlo al rotor de la bomba.

La resultante de estas dos fuerzas (carga axial continua y par de torsión) produce un esfuerzo en las cabillas. Este esfuerzo debe ser menor al valor del esfuerzo máximo permitido por la sarta de cabillas y siendo este valor suministrado por el fabricante.

- **Estator:** usualmente está conectado a la tubería, es una hélice doble interna, moldeado a precisión, hecho de un elastómero sintético el cual está adherido dentro de un tubo de acero, en la figura 2.10 se muestra un ejemplo de un estator (también se puede conseguir en acero inoxidable). En el estator se encuentra una barra horizontal en la parte inferior del tubo que sirve para sostener el rotor y a la vez es el punto de partida para el espaciado del mismo. Esta parte de la bomba se realiza con un elastómero formulado para resistir a los efluentes de los petrolíferos (crudo, agua salada, gas) y a la temperatura en el fondo del pozo.



2.10. - Estator

- **Rotor:** Suspendido y rotado por la cabilla, es la única pieza que se mueve en la bomba. Esta consiste en una hélice externa con un área de sección transversal redondeada, tornada a precisión, hecha de acero al cromo para darle mayor resistencia contra la abrasión, tal descripción es visible en la figura 2.11. Tiene como función principal bombear el fluido girando de modo excéntrico dentro del estator.



211. - Rotor.

- **Centralizadores:** Un centralizador ha sido concebido para ser colocado sobre las varillas de accionamiento de las BCP. Se coloca en el enlace de dos varillas y se comporta como un cojinete. En efecto, el eje centralizador es solidario de las varillas mientras que las aletas derechas del centralizador se apoyan contra la tubería de producción, favoreciendo el guiado y la estabilidad en giro de la varilla de accionamiento. Según este principio de funcionamiento, no hay contacto rotativo entre varillas y tuberías. Es pues preferible instalar centralizadores a aletas derechas y no helicoidales, con el fin de permitir un mejor apoyo contra la generatriz de la tubería de producción. Los centralizadores, concebidos en materia plástica, de gran resistencia, general

un bajo coeficiente de frotamiento entre el acoplamiento metálico y el centralizador.

- **Ancla o separador de gas:** Todos los separadores estáticos de gas, se basan en el mismo principio, que es el de flujo inverso. El efecto de separación se produce por la diferencia de velocidad que existe entre las burbujas de gas que ascienden y el líquido que desciende.

2.1.8.- Selección de una BCP

Las bombas a cavidades progresivas continúan evolucionando y encontrando así un vasto campo de aplicación en la industria petrolífera. Sin embargo cada bomba tiene sus límites, de ahí la necesidad de adaptar una bomba a un pozo determinado. Los criterios de selección de las bombas son función de:

- La geometría de los pozos;
- Las características de los yacimientos;
- Las características de los efluentes producidos;
- Los criterios de producción;
- Las condiciones operacionales.

Cada fabricante dispone de una gama de bombas respondiendo a condiciones variables de utilización. Para orientar correctamente su elección, se utiliza un operador que completa una ficha de datos con información del pozo en donde va a ser instalada.

Geometría del pozo

En función de las características deseadas, las BCP son en general adaptables a tuberías de producción diámetro comprendido entre 2 3/8" y 4 1/2".

El **estator** debe pasar al interior de la tubería de revestimiento y de todo otro órgano que pueda ser integrado en el equipamiento de la tubería de revestimiento. En particular, en los pozos fuertemente desviados es necesario:

- Asegurar el buen estado de la bomba en el perfil curvado de la tubería de revestimiento;
- Dejar espacio anular suficiente con la tubería de revestimiento, con el fin de permitir el eventual descenso de herramienta de intervención o pesca y la colocación de un separador de gas;
- Dejar un espacio anular suficiente, en el caso del posicionamiento por debajo de las perforaciones.

El **rotor** debe pasar a través de la tubería de producción y de todo otro órgano que le sea integrado. Es necesario un diámetro suficiente en el interior de la tubería de producción, para permitir el movimiento excéntrico del rotor en la parte inferior de la sarta de varillas de accionamiento. Si el diámetro interior de la tubería de producción no es suficiente, un tubo intermediario de diámetro interior, debe colocarse justo por encima del estator.

Características de los yacimientos

La capacidad de caudal de un pozo es un parámetro fundamental por sus aplicaciones económicas. Es importante poder evaluarlo. Sin embargo es un parámetro evolutivo que desgraciadamente tiende a disminuir con el tiempo.

El caudal de un pozo es función:

- De la diferencia entre la presión disponible, es decir la presión del yacimiento P_e y la contra presión ejercida en el fondo del pozo P_f ,

- Y de parámetros que tienen en consideración la naturaleza del yacimiento y los fluidos presentes.

En el caso de un líquido y a condición que el flujo pueda considerarse permanente y radial circular y además la velocidad del fluido no sea muy importante en las cercanías del pozo, la ecuación del caudal del pozo puede reducirse a:

$$Q = IP * (P_e - P_f)$$

Donde el índice de productividad IP es esencialmente función de la viscosidad del fluido, de la permeabilidad propia de la formación, de las perturbaciones en las cercanías del pozo y de la profundidad del yacimiento. En la siguiente figura se muestra la curva de comportamiento de afluencia (IPR) que es función del IP.

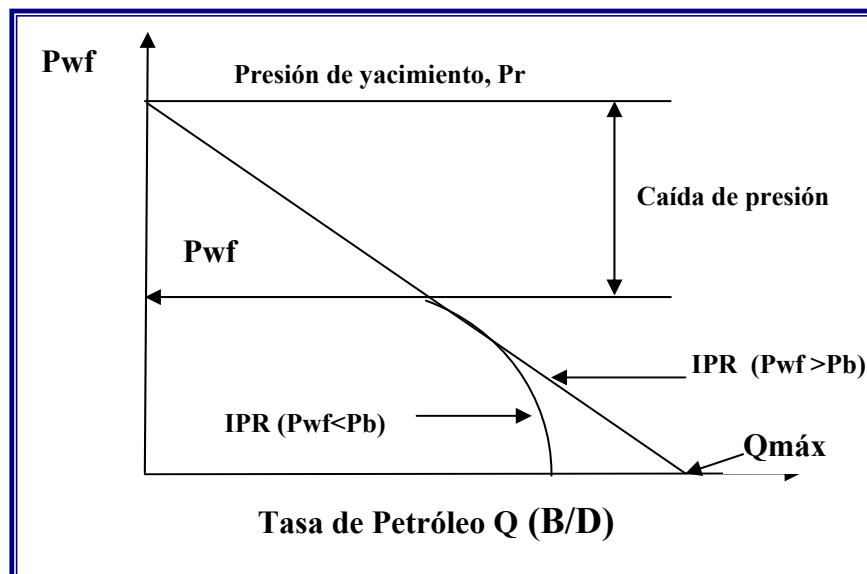


Fig.2.12.- Curva de comportamiento de afluencia.

En consecuencia, el conocimiento del nivel estático y del índice de productividad permite evaluar en función de un nivel dinámico óptimo, la capacidad de caudal del pozo, (ver figura 2.13). Se elige entonces el tipo de bomba que permita la obtención del caudal, con una velocidad de rotación relativamente baja.

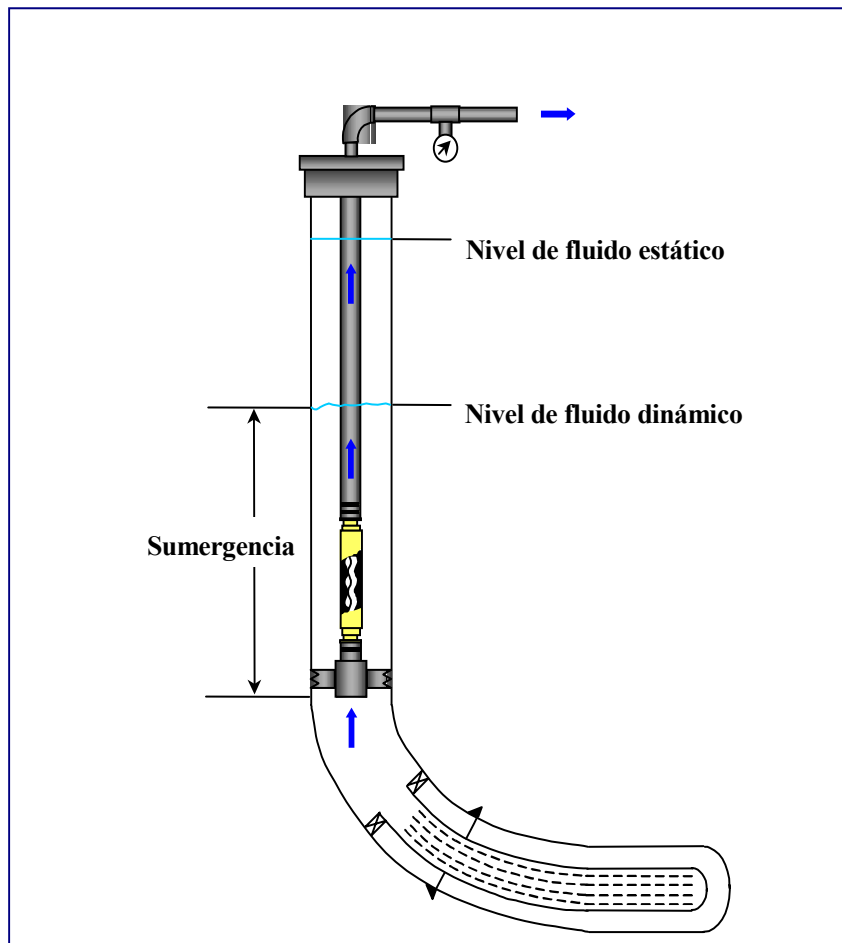


Fig.2.13.- Nivel Estático, Nivel Dinámico y Sumergencia.

Características de los efluentes producidos

Se estiman en 50% las reservas mundiales de hidrocarburo que provienen de yacimientos de crudo pesado cuya viscosidad varía entre 500 a 15000 cp. Estos crudos viscosos se extraen, en general, de yacimientos situados a baja profundidad y los más importantes de los conocidos actualmente están situados en Canadá, Venezuela, Rusia y China.

Estos yacimientos de crudo pesado, explotados a partir de pozos verticales, son de productividad baja ($< 5 \text{ m}^3/\text{día}$). La técnica de perforación horizontal y la de pozos a múltiples ramificaciones ha permitido incrementar sensiblemente la productividad de los pozos.

La formación de yacimientos de crudo pesado esta constituida a menudo por arena no consolidada que conduce a una producción de arena mezclada al crudo, generando de esta manera rendimientos bajos con las bombas a émbolos (o balancín).

La introducción en producción de la bomba a cavidades progresivas condujo a la utilización casi general de este procedimiento nuevo en la explotación de yacimientos de crudo pesado. La experiencia adquirida hoy día permite la explotación eficaz de estos yacimientos.

Los efluentes petrolíferos se caracterizan por sus propiedades físico-químicas y en particular por:

- la densidad y viscosidad del crudo. En general, un crudo es más pesado cuanto más viscoso;
- la presencia de gas en el crudo, libre o disuelto;
- la presencia de CO₂ y de H₂S;
- la temperatura del fluido a la admisión y en la superficie;
- la presencia de arena;
- la presencia de aromáticos.

Densidad y viscosidad del crudo

Los crudos pesados y viscosos originan pérdidas de carga por fricción en la tubería de producción, los cuales deben ser absorbidos por la bomba, esto provoca una disminución de los rendimientos de la bomba en altura de fluido a relevar. Conviene entonces evaluar estas pérdidas de carga y elegir una bomba a incremento de presión más elevado.

Por otra parte, la viscosidad aumenta el valor del par resistente de las varillas de accionamiento en la tubería de producción.

Perdidas de carga por fricción

El flujo de fluidos de alta viscosidad a través de la tubería de producción genera pérdidas de carga significativas que son proporcionales a la viscosidad del crudo. La evaluación de las pérdidas de carga y del par resistente debido a la viscosidad es importante para poder seleccionar:

- La bomba (incremento de presión admisible);
- Las varillas de accionamiento (par admisible)
- El motor (potencia necesaria).

En efecto, si el crudo de formación está a la temperatura de fondo de pozo al nivel de la admisión, esta temperatura decrece en función del gradiente geotérmico. La viscosidad aumenta sensiblemente así como las pérdidas de carga a lo largo de la tubería de producción. Una variación de presión engendrada por un aumento o disminución de pérdidas de carga se traduce en variaciones de potencia absorbida por el motor de accionamiento.

Sin embargo la viscosidad del crudo medida en el laboratorio a una temperatura determinada no es la de la formación. En efecto esta última contiene generalmente gas libre y disuelto contribuyendo a una viscosidad aparente mucha más baja del crudo. Esta viscosidad aparente deberá medirse en el laboratorio con el fin de evaluar con precisión las pérdidas de carga por fricción.

A continuación se presenta en la figura 2.14 un gráfico con el que se calcula las pérdidas por fricción:

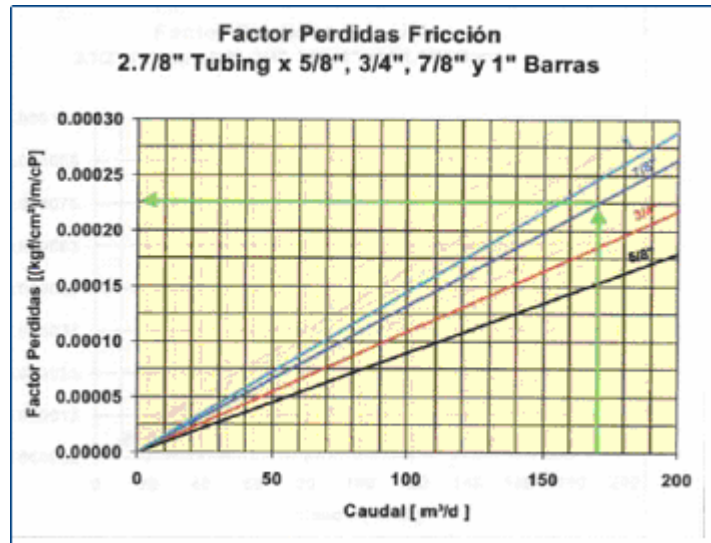


Fig.2.14.- Factor de pérdidas por fricción.

Selección del elastómero adecuado

La adaptabilidad y versatilidad de las Bombas de Cavidades Progresivas como método de Levantamiento Artificial depende de la selección y desarrollo de los materiales apropiados. El estator está constituido por un tubo de acero con un elastómero adherido a la superficie interna. El elastómero se moldea en forma de hélice mediante la inyección. Estos elementos junto al rotor deben ser capaces de ofrecer resistencia a la abrasión. Esta característica es indispensable para la producción de crudos con alto contenido de arena o fluidos abrasivos.

La selección adecuada del elastómero es fundamental para garantizar el buen desempeño de la bomba. El fluido que maneja el elastómero al tener cierta afinidad química con éste se produce un fenómeno de hinchamiento, el cual se caracteriza por un incremento del volumen y una disminución de la dureza del material. Bajo estas condiciones se produce un incremento de la interferencia rotor-estator, lo cual origina un aumento en el torque, y en casos muy severos, del giro del rotor puede llegar a desgarrar al estator causando su destrucción.

La metodología de selección del tipo genérico de elastómero a ser utilizado en la fabricación del estator de una bomba debe incluir diversos análisis de distintos parámetros. Particularmente, los criterios de selección deben considerar los siguientes factores:

- Ambiente químico (tipo de crudo).
- Gravedad API.
- Contenido de agentes corrosivos: Aromáticos, CO₂, H₂S.
- Corte de agua.
- Temperatura del crudo al nivel de la bomba.
- Presión de trabajo.
- Niveles de abrasión (arena).
- Relación de gas libre al nivel de la bomba.
- Nivelación de abrasión.

Otro factor a considerar es el contenido de dióxido de carbono y del sulfuro de hidrógeno. El CO₂ en estado líquido o gaseoso tiende a hinchar el elastómero, mientras que el H₂S es capaz de atacar químicamente el material. La relación de agua en el crudo debe ser tomada en consideración ya que el agua puede causar también este problema. El manejo de fluidos lubricantes favorece la operación de la bomba, por lograr la disminución de la fricción entre el rotor y el estator y además evitar problemas de sobrecalentamiento y rigidización en el elastómero.

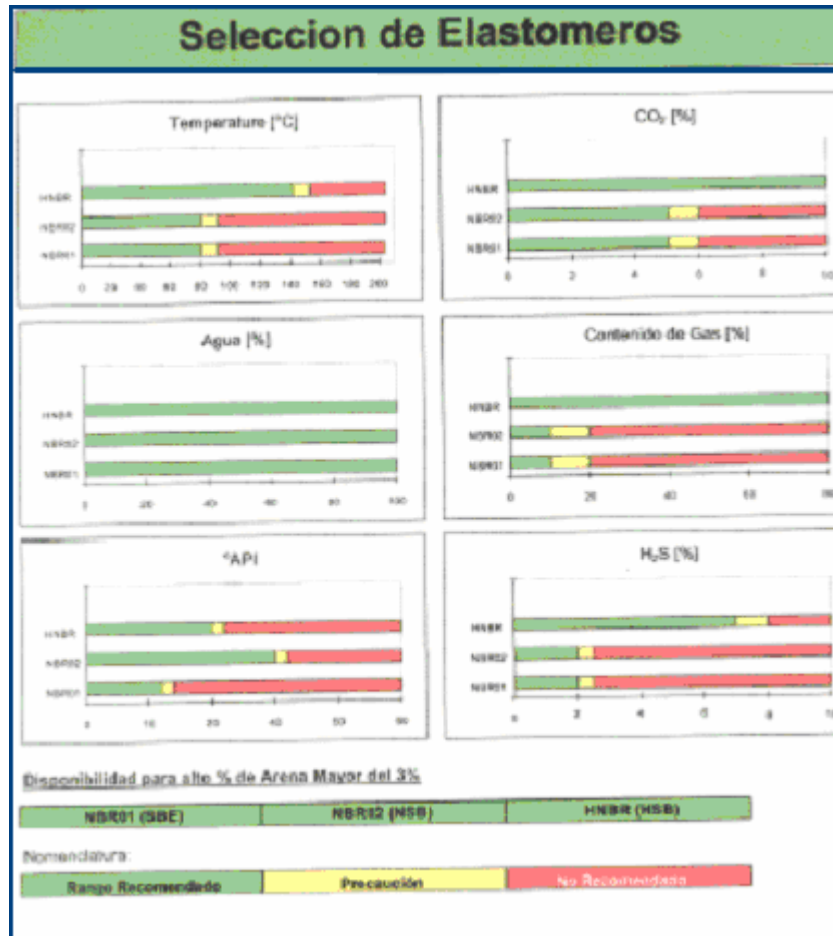
La temperatura de operación de la bomba es otro factor a ser tomado en consideración en la selección del elastómero. Los elastómeros por ser compuestos de naturaleza orgánica presentan limitada estabilidad térmica. Dicha estabilidad va a depender fundamentalmente de la estructura química del material. La presión es otro factor que a tomar en consideración. Una presión excesiva por etapa, viene siendo el resultado de presiones hidrostática o por fricción excesivamente alta, lo cual origina fragilización y desgarramiento del elastómero.

Tal fenómeno se presenta cuando se establecen altos coeficientes de producción de fluidos viscosos (por encima de la capacidad de la bomba) o ocurre una obstrucción del sistema.

El contenido de arena y de materiales abrasivos afectan el desempeño del material elastomérico. El manejo de crudos con altos contenidos de arena requiere que el elastómero se deforme de manera reversible, para permitir el paso de las partículas de arena sin causar desgarramiento del estator. Si el elastómero no es capaz de recuperarse elásticamente se pierde el ajuste entre el rotor y el estator.

El último criterio de selección a tomar en cuenta es la relación de gas libre al nivel de la bomba. A diferencia de otros métodos, las Bombas de Cavidades Progresivas permiten el manejo de fluidos con altos contenidos de gas, sin embargo, no pueden operar al seco ya que la fricción entre el rotor y el estator produce fragilización y quemadura del estator. La Bomba requiere de una cantidad de fluido que actúe como lubricante, la cual disminuye la fricción y el calor generado por dicho efecto. El manejo con alta relación gas petróleo requiere emplear diseños con alta capacidad volumétrica y bajos diferenciales de presión por etapas, incrementando el número de ellas.

La siguiente figura 2.15, muestra ciertos componentes que contiene el petróleo así como también el medio en el que se encuentra. Esta carta permite la selección adecuada de un elastómero según las condiciones presentes en el fluido.



2.15.- Carta para selección de elastómeros.

2.1.9.-Ventajas y limitaciones de las BCP

Al igual que cualquier otro método de producción convencional, el bombeo tipo tornillo también presenta sus ventajas y unas pocas limitaciones dentro de las cuales se pueden mencionar.

Ventajas:

- Bajo costo de instalación.
- Bombea crudo con baja y alta gravedad API.
- Puede manejar hasta un 100% de agua.

- El equipo de superficie puede ser transportado, instalado y removido fácilmente además, en operación normal no presenta ruidos fuertes.
- Las dimensiones del equipo de superficie son adaptables a las grandes y pequeñas plataformas de los pozos del lago.
- Aumentan la vida útil de las cabillas.
- Opera con bajo torque.
- Elimina la flotación de las cabillas.
- Bajo consumo de energía eléctrica.
- Bajo costo de mantenimiento.
- En la comunidad presenta mejor estética.

Limitaciones:

- Su profundidad máxima recomendada es de 4000 pies.
- Requiere suministro de energía eléctrica.
- No se recomienda en los pozos de más de 180 °F.
- La tasa máxima manejada es de 500 bpd.
- Su eficiencia disminuye drásticamente en los pozos con alta RGL.
- El elastómero es afectado por crudos con aromáticos.

2.1.10.- Fallas típicas del bombeo de cavidad progresiva

Las fallas típicas de las bombas en la mayoría de los casos ocurren en el estator y específicamente en el elastómero.

El Elastómero como se dijo anteriormente es una goma en forma de espiral adherida a un tubo que junto con ella forman el estator, este puede fallar por varios aspectos entre los cuales se tiene:

- **Abrasión:** Este tipo de falla se debe principalmente al desgaste normal del elastómero debido a la presencia de partículas de sólidas y a las altas

velocidades de operación del rotor. Sí se requiere corregir esta falla es necesario reducir la velocidad y/o mantener el diferencial de presión a un mínimo, empleando una bomba de mayor capacidad o con mayor número de etapas.

- **Ataque químico:** Estas sustancias químicas dentro del estator hacen que el elastómero se abombe o presente ampollas, lo cual sucede a causa de ciertos hidrocarburos que afectan la goma y hacen que se incremente el volumen del elastómero. Esta anomalía puede ser corregida utilizando estatores con gomas especiales para estos tipos de fluidos.
- **Delaminación:** Se presenta en una forma más avanzada que el ataque químico. Después que la goma se abomba, la presión hecha por el rotor al estator es mucho mayor, creando un incremento en la abrasión y las temperaturas de operación. Asumiendo que el equipo de tierra provee suficiente torque al rotor, éste terminará desprendiendo la goma del estator. Esto puede ser corregido utilizando gomas específicas.
- **Arrastre por alta presión:** Esta falla se presenta por la presencia de partículas de arena que se depositan en el elastómero causando deformaciones permanentes de la goma, lo cual origina que se produzcan orificios pequeños por donde los fluidos de alta presión pasan y arrastran la goma. Para pozos con este problema se puede minimizar esta falla, colocando un filtro en la entrada de la bomba.
- **Presión excesiva por etapas:** Ocurre cuando la presión diferencial por etapa en la bomba excede a los 100 lpc, lo cual da lugar a una presión hidrostática o por fricción muy altas, esto puede ocurrir por:
 - Descarga de la bomba, tapada total o parcialmente.
 - Línea de flujo tapada total o parcialmente.

- Alta producción de fluidos viscosos.

Para prevenir esta falla se necesita asegurar que el rotor esté a la altura correcta dentro del estator, evitando de esta forma que él acople entre el rotor y la varilla de succión esté tapando la descarga de la bomba durante la producción. Cuando se producen fluidos con altos contenidos de sólidos, se recomienda hacer limpiezas frecuentes a la bomba para evitar su taponamiento, es necesario a la hora de diseñar el tipo de bomba a utilizar conocer el diferencial de presión por etapas.

- **Altas temperaturas de operación:** Causará que la vida del servicio de la bomba sea relativamente corta, debido al incremento en la velocidad de oxidación que causa una pérdida en la resistencia a las fuerzas tensoras y un incremento en la dureza de la goma. Esto se debe a que se trabajó la bomba sin fluido (gas en exceso) u operando a altas temperaturas.
- **Influencia mecánica:** Sucede por problemas con rocas u otras sustancias extrañas que sean bombeadas y causan daño, desgarrando la bomba. Para corregir esta anomalía se propone colocar un colocador de arena.

Otra falla en el equipo que puede pasar es en el rotor, debido a ciertas sustancias químicas presentes en el pozo que son añadidas a él reaccionando con el cromado de plata del rotor.

2.1.11 Clasificación de las bombas de cavidades progresivas

Las bombas de subsuelo para la producción de crudo se clasifican en:

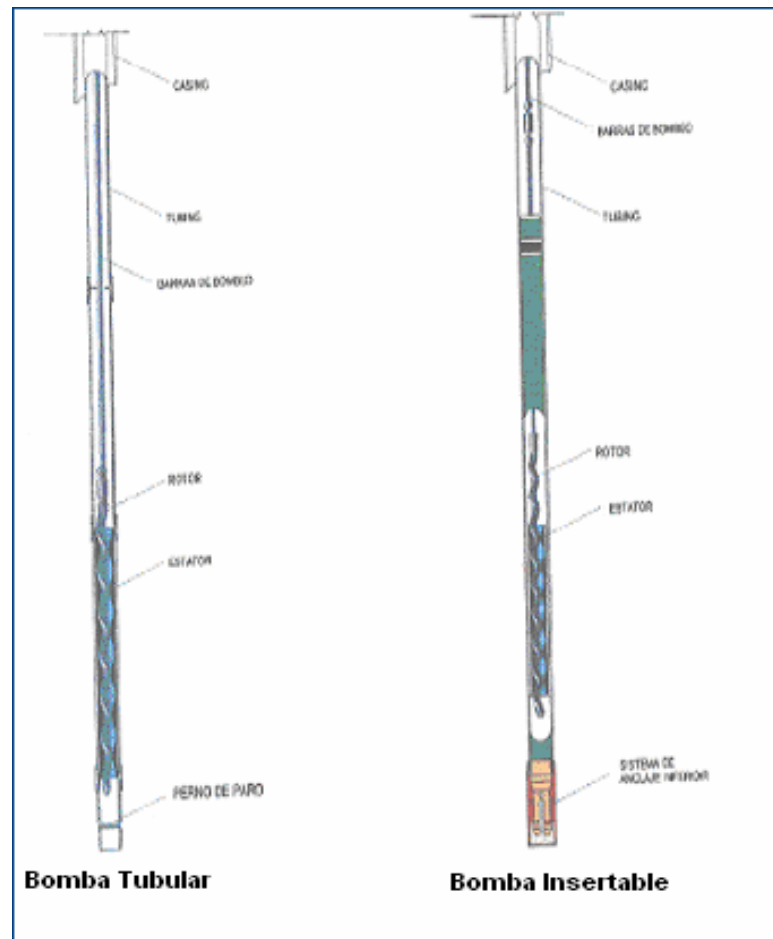
- Bombas insertables.
- Bombas tubulares.

- ***Bombas de Cavidades Progresivas insertables:*** Son aquellas en las cuales tanto el rotor como el estator se bajan al pozo en un solo conjunto. Para ello es necesario bajar primero un niple de asentamiento con la tubería de producción.
- ***Bombas de Cavidades Progresiva tubulares:*** Son aquellas en las cuales primero se baja el estator conectado a la tubería de producción. Luego se introduce el rotor en el extremo inferior de las cabillas.

Comparación de las BCP Insertables con las Tubulares

Las bombas insertables se pueden recuperar totalmente mediante el uso de la sarta de cabillas. En cambio en una bomba tubular para poder recuperar el estator se hace necesario recuperar la tubería, lo cual resulta mucho más costoso que en el caso de bombas insertables.

La ventaja principal de la bomba tubular sobre la bomba insertable reside en que la tubular posee un mayor diámetro para un diámetro dado de la tubería. Por lo tanto, las bombas BCP de tipo tubular permiten desplazar mayores tasas de fluidos que las insertables. Desde luego, se supone que las tuberías en ambos casos poseen diámetros iguales.



2.16.- Tipos de bombas: Tubular e Insertable.

2.2.- BANCO DE PRUEBA

Las Bombas de Cavidades Progresivas (**BCP**) son tecnológicamente un método de levantamiento artificial de gran importancia para la producción de petróleo, por esto, estas bombas deben ser ensayadas antes de ser utilizadas. Este ensayo es esencial para asegurarse del rendimiento de la bomba en el transcurso de la operación, y el mismo se realiza en un denominado **BANCO DE PRUEBA**.

2.2.1.-Definición

Un Banco de Prueba para Bombas de Cavidades Progresivas es un mecanismo en forma de circuito cerrado, en el cual se realizan pruebas a bombas para predecir su futuro comportamiento y determinar los rendimientos de las misma en el pozo.

2.2.2.-Importancia y uso

Un Banco de Prueba para BCP es una exigencia que debe tener cualquier empresa que suministre dichas bombas con el propósito de determinar características vitales del equipo que permitan obtener un comportamiento eficiente del mismo a la hora de su requerimiento.

Ensayos en banco de prueba permiten analizar los rendimientos de las bombas en condiciones próximas a las del pozo. Sin embargo, según los resultados, se pueden efectuar ensayos adicionales con rotores de diámetros diferentes, asegurando así un buen uso de la bomba. También el Banco de Pruebas es utilizado para cuantificar el comportamiento de la eficiencia volumétrica y el torque total requerido por la bomba, en función de la presión diferencial a través de ella.

Si se está haciendo la prueba en banco para una bomba usada se pueden obtener resultados que servirán para evaluar cual pudo haber sido su posible falla o simplemente para saber su futura o no utilización. En el caso de que se esté realizando la prueba en banco de una bomba nueva los resultados obtenidos darán información de su aplicación específica y del tiempo de vida útil.

2.2.3.-Funcionamiento

El Banco de Prueba es un circuito cerrado en donde la bomba se instala horizontalmente en el mismo, según un protocolo ya establecido. La rotación, frecuencia y potencia motriz son aportadas por un motor eléctrico y un variador.

Los ensayos se efectúan con agua, aceite o crudo. Una válvula de regulación, posicionada en la línea de flujo, permite indicar y regular un incremento de presión de la bomba.

Las normativas ISO CD 15136 junto con el protocolo de la empresa definen las instrucciones de la prueba, la precisión de los resultados y los criterios de aceptación.

El método operatorio puede variar en función de cada fabricante o suplidor. El procedimiento general que se propone para un buen funcionamiento y uso correcto de un banco de prueba es el siguiente:

- Variar el incremento de presión trabajando a velocidad constante, de cero a la presión de utilización máxima posible, por intervalos de 3000 Kpa. Este procedimiento se podrá repetir a distintos niveles de velocidad, de manera de generar un número de puntos suficiente que permitan el trazado de curvas de rendimiento. Curvas que mostrarán el futuro comportamiento de la bomba.
- La temperatura a la que se efectúa la prueba también es tomada, pudiéndose variar la misma, hasta llevarla a la del fluido en el pozo.
- Para caracterizar mejor una bomba en las condiciones de utilización, los ensayos se efectúan con otros fluidos distintos al agua (aceites que simulen viscosidad de crudos provenientes de yacimientos). Pero se hace necesario realizar el ensayo con agua el cual servirá como referencia.

2.2.4.-Controles y ensayos de las BCP a través del banco de prueba

Los informes de ensayos de una bomba nueva deben presentar como mínimo:

- Las velocidades de rotación utilizadas.
- Los caudales medidos correspondientes a los incrementos de presión establecidos.
- Los rendimientos volumétricos resultantes.
- Las temperaturas de ensayo.
- El número de etapas.

A pesar de que todos estos criterios deben ser tomados en cuenta, los más importantes son el caudal y el incremento de presión total.

Para entregarle al cliente una bomba adecuada al tipo de fluido presente en un determinado yacimiento, cada suplidor solicita de sus clientes completar una ficha de datos técnicos con la finalidad de elegir la bomba mas apropiada al pozo destinatario.

Además de estas pruebas tanto el suplidor como el cliente deben tener en cuenta una cierta pérdida de rendimiento en producción originada por el valor del ajuste rotor/estator, que contribuye a un nivel de fugas más o menos importante, la temperatura en producción que influye sobre la holgura rotor/estator y la RGP del fluido bombeado, es decir el volumen de gas libre en la admisión de la bomba. Por esto, quizás se obtendrán valores de eficiencia en el banco un poco mayores a la puesta en prueba de la bomba en el pozo, pero a pesar de esto los informes presentados por el banco darán una excelente información de predicción del comportamiento real de la bomba.

La velocidad de rotación de la bomba está condicionada por su verticalidad o inclinación, por su posición en el pozo y por la viscosidad del fluido bombeado. En

todo caso, es preferible elegir una velocidad de rotación baja para incrementar el tiempo de vida de la bomba.

El caudal de la bomba es proporcional a la velocidad de rotación. Sin embargo, es necesario considerar un caudal de fuga inicial, que es función del aumento de presión solicitado a la bomba. En consecuencia, existe una velocidad de rotación mínima antes de empezar a producir la bomba.

En los casos particulares de crudos pesados, se sugiere operar con la velocidad más baja posible de forma de alargar la vida de la bomba, de la sarta de varillas, de la tubería de producción y del equipamiento de superficie. Es necesario considerar las pérdidas de carga por fricción y el incremento de la densidad debido a la presencia de arena.

En general un banco de prueba debe poder ejercer:

- Control y medición de la velocidad de giro de la bomba.
- Control de la temperatura y presión en la succión de la bomba.
- Control de presión en la descarga de la bomba.
- Medición del caudal manejado por la bomba.

Todo esto para lograr determinar las siguientes características del equipo:

- Comportamiento hidráulico rotor/estator (curva Q Vs DP).
- Consumo de potencia eléctrica
- Torque de accionamiento.

2.2.5.-Descripción del banco de prueba

El circuito de prueba básico debe constar de un tanque de alimentación, tubería de succión, tubería de descarga, válvula de estrangulación, válvula de seguridad y la instrumentación necesaria para medir las variables, presión de succión y descarga de la bomba, velocidad de giro, potencia y torque de accionamiento.

La descarga puede realizarse del lado de accionamiento, o en el extremo libre del banco. El diseño de detalle del banco debe observar la ubicación correcta de la instrumentación y respetar las normas de instalación de las mismas.

2.3.- CILA-2S 100. NUEVA TECNOLOGÍA

2.3.1.-Introducción

Normalmente un **banco de prueba** cumple con la labor de suministrar datos que permiten trazar determinadas curvas llamadas, “curvas de eficiencia” para una bomba de cavidad progresiva. Esto generalmente son ensayos que realizan la mayoría de los suplidores de estas bombas, no siendo este el caso de la empresa BCP_VEN, que además de contar con un Banco de Prueba con equipos altamente calificados. Posee también un variador que lleva instalado una nueva tecnología llamada “CILA 2S”, Controlador Inteligente de Levantamiento Artificial Subsuelo-Superficie (nueva tecnología en sistema computarizado para BCP), desarrollado por BCP_VEN basado en Cartas Nomográficas y Curvas de Eficiencia, en donde través de la implantación del mismo se obtendrán no solamente parámetros que permitan trazar curvas y obtener la eficiencia de la bomba si no también parámetros de productividad de la misma en el pozo, como puede ser el comportamiento de afluencia (IPR), y cualquier otro punto que ayude a lograr una optimización de producción de hidrocarburos.

2.3.2.-Definición

El Controlador Inteligente para Levantamiento Artificial Subsuelo Superficie **CILA 2S-100** (100 corresponde a la versión) se utilizará para la aplicaciones en Bombas de Cavidades Progresivas (BCP) y Bombeo Mecánico Convencional o Balancín (BMC), extendiendo su versatilidad a sistemas de Bombeo Hidráulico Reciprocante (BHR) y Bombeo Hidráulico Jet (BHJ), Cámaras de Acumulación (“Chamber Lift”), Lag intermitente tipo pistón (“Plunger Lift”).

La operación del **CILA 2S-100** se basará en un novedoso sistema modular **CILA 2S SIZE**, el cual permite al usuario una fácil operación, el mismo está diseñado con el sistema **Custom Operation** el cual identifica a cada tipo de usuario con el

equipo, así operadores de producción, Ingenieros de Producción, electricistas o mecánicos se identificarán con cada modulo de operación y mantenimiento.

Los ajustes realizados para ejecutar el control en el **CILA 2S-100** dependerán exclusivamente de las características específicas tanto del pozo como el tipo de crudo, para esto será necesario un mínimo de datos y el controlador automatizará en forma integral el equipo de levantamiento artificial, optimizando la productividad del pozo significativamente. La selección y modificación de los sistemas de aplicación serán seleccionados por el panel HIM CILA 2S-PV300, lo cual implicará un rendimiento efectivo respecto a la puesta en marcha y diferida de producción por cambio de métodos o fallas.

2.3.3.-Descripción del CILA 2S

El Controlador Inteligente de Levantamiento Artificial Subsuelo-Superficie (CILA 2S) se encuentra compuesto por:

- Un módulo de control de velocidad y Torque VSD.
- Sistema de protección eléctrico compuesto por Interruptor automático, pararrayos, fusibles ultrarrápidos (basado en semiconductores), minibreaker de protección del control y sistema de información por luces pilotos y selectores de posición.
- Sistema de calefacción y termostato.
- Sistema de iluminación interna y fuentes auxiliares de voltaje en 120 vac y 24 vdc.
- Sistema de protección antivandálica y tornillos de seguridad.
- Sistema de control inteligente CILA 2S-100 (basado en el Micrologix 1500).
- Sistema de registro de eventos y fallas en tiempo real secuencias de eventos CILA 2S-100-SE (Basado en el panel View 300 micro).

2.3.4.-Características del CILA 2S-100.

- Diseño robusto para ambientes y zonas petroleras incluyendo el Lago de Maracaibo.
- Diseño delgado para usos en gabinetes uso externo o Intelligent Power House, grado IP 65.
- Alta resolución de pantalla de matriz activa.
- Interface de conexión con sacadas y unidades remotas existentes, (4) Puertos Paralelos / Seriales el 485, 232, LAN, (16) Entradas y Salidas Digitales.
- Diseñado para cualquier tipo y marca de VSD.
- Conexión Directa a Laptop portátil. Toma de data de campo a través de Drive con disco 3 ½.

2.3.5.-Funciones

De Control y Optimización de los siguientes factores:

- La presión de descarga de la BCP.
- Controlar y Optimizar la velocidad en función de la presión de entrada de la BCP.
- La velocidad en función de la temperatura de descarga de la BCP.
- El antiretorno.
- Función de cálculo y desarrollo de la carta nomográfica.
- Torque requerido por la BCP a través de la Zona Optima de Operación obtenida en la carta nomográfica.
- Torque de las cabillas.
- La velocidad a través de la carga axial.
- La presión de tubería.
- El nivel de la bomba

- El torque hidráulico.
- El consumo eléctrico.
- La potencia y torque de arranque y parada, incluyendo las funciones de arranque y parada suave.
- El factor de potencia.
- La función del voltaje y la potencia de entrada.
- Control Inteligente de Temperatura.
- Registro de Fecha y Hora de los controles realizados.

Control Inteligente de Presión CILA 2S-100 (CIP 2S).

El Control Inteligente de Presión (CIP) del CILA 2S-100 es ajustable en un 100% a las características del comportamiento del pozo, al igual que la viscosidad del crudo, el comportamiento de la bomba es en función a los valores de presión. La presión tiene dos límites de alta (LHP) y de baja (LLP) que son totalmente programables en unidades de ingeniería (PSI, BAR), una vez que la presión supere a LHP la velocidad de la bomba aumentará sus RPM, este valor de incremento será ajustado por el operador, el control podrá realizarse tantas veces como el operador lo encuentre necesario.

A continuación se presentará la curva de comportamiento del control de presión para valores por debajo y por encima de los límites (**Ver Figura 2.17**). En ella se observan los límites de alta y baja presión y alta y baja velocidad en donde se controla según la curva de comportamiento los niveles requeridos.

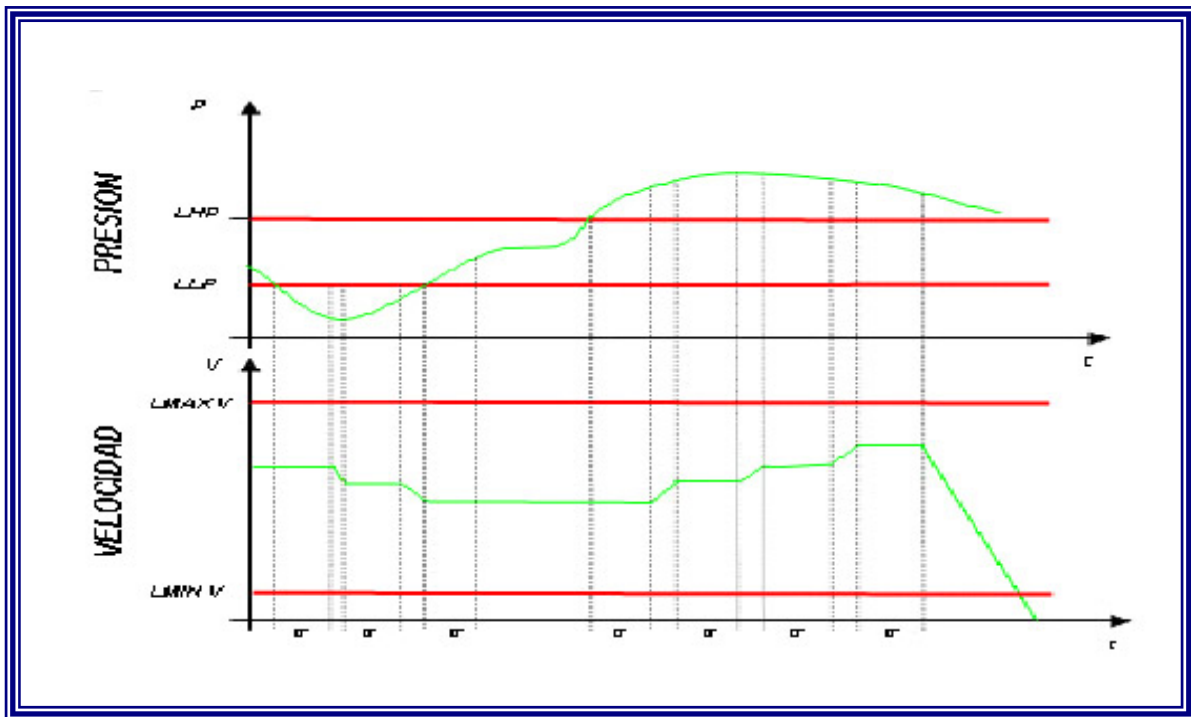


Figura 2.17. Curva de Comportamiento de Control de Presión
Fuente: BCP de Venezuela, C.A.

Beneficios que ofrece el CIP 2S.

- Ajusta la producción de la bomba de acuerdo con el nivel de crudo que existe en el fondo, basándose en los valores medidos de presión.
- Protege las tuberías por estrangulamiento en la línea de crudo a la salida del pozo.
- Aumenta la vida útil de los elastómeros de las BCP.
- Aumenta la productividad del pozo, ajustando la velocidad de la bomba a los valores de presión medidos, y calculando el punto de operación óptimo de operación por análisis nomográfico.

- Tiene registro de las presiones y comportamiento del pozo a diferentes horas del día, permitiendo elaborar un plan estadístico para mejorar la producción en el campo donde el levantamiento artificial sea ejecutado por el CILA 2S.

Control Inteligente de Torque CILA 2S-100 (CIT 2S).

Este control es usado en los pozos para realizar ajustes en el comportamiento del pozo en función del torque. La protección de torque que ejecuta el CILA 2S-100 evaluará las condiciones físicas del pozo en función del torque ejercido en las cabillas, las funciones pueden ser ajustadas para solo supervisión (mostrará en pantalla un mensaje de atención alto / bajo torque), y control / disparo la cual ejecutará varias acciones de corrección antes de parar la bomba, o simplemente al salir el torque de los límites preestablecidos, detiene el funcionamiento del sistema, registrando un mensaje de “fallo alto / bajo torque” con hora y fecha En tiempo real. (Ver Figura 2.18).

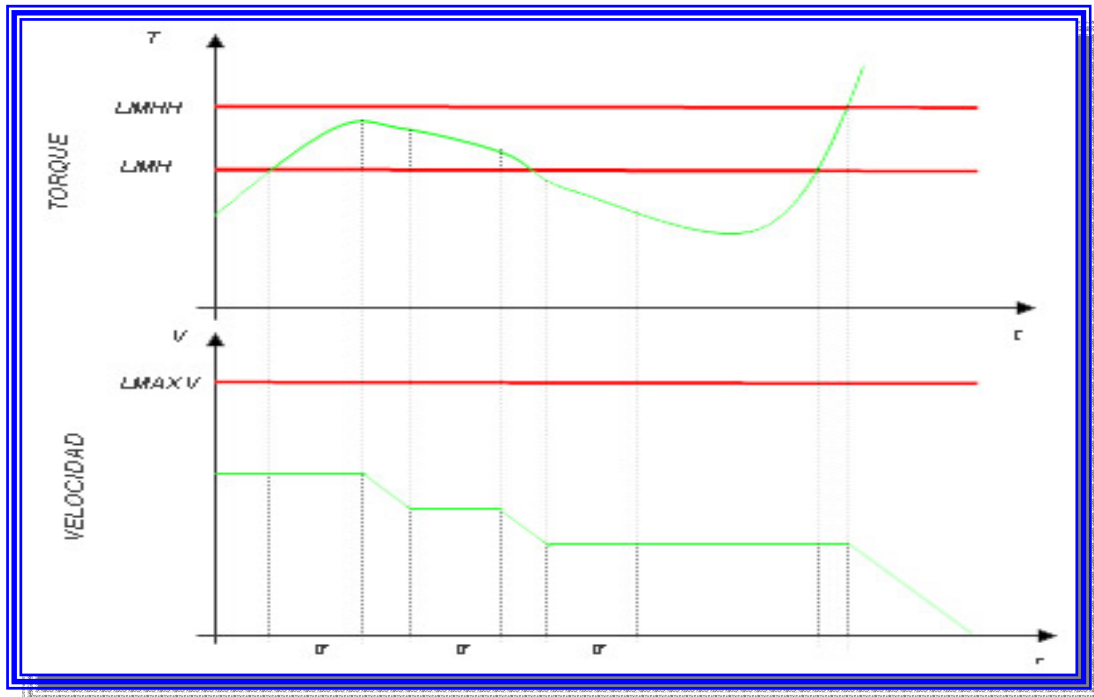


Figura 2.18.- Curva de Comportamiento del Control de Alto Torque

Fuente: BCP de Venezuela, C.A.

Beneficios que ofrece el CIT 2S.

- Protege la sarta de cabillas en los altos picos de torque, para evitar el rompimiento de las mismas, aumentando así su vida útil.
- Protege el niple de paro, al existir un roce de la bomba con este.
- El mantenimiento del pozo por rompimiento de cabillas, espaciamento, etc; es disminuido significativamente.
- Incrementa el ahorro energético en gran cantidad, ajustando el consumo de potencia del motor al comportamiento del pozo.
- El funcionamiento de la bomba es controlado, no permitiendo su trabajo en vacío.

Control Inteligente de Temperatura CILA 2S-100 (CITT 2S).

El CITT 2S es usado para controlar la velocidad de la bomba en función de la temperatura medida en el pozo, al activar esta función en el CILA 2S-100 la temperatura del pozo estará por debajo del límite establecido (LIMTEMP °C/ °F) para este control, al sobrepasar la temperatura máxima permitida el controlador ejecutará varias acciones de control de velocidad o bien detendrá el funcionamiento del equipo según sea la necesidad del usuario, registrando este evento con hora y fecha en tiempo real. **(Ver Figura 2.19)**

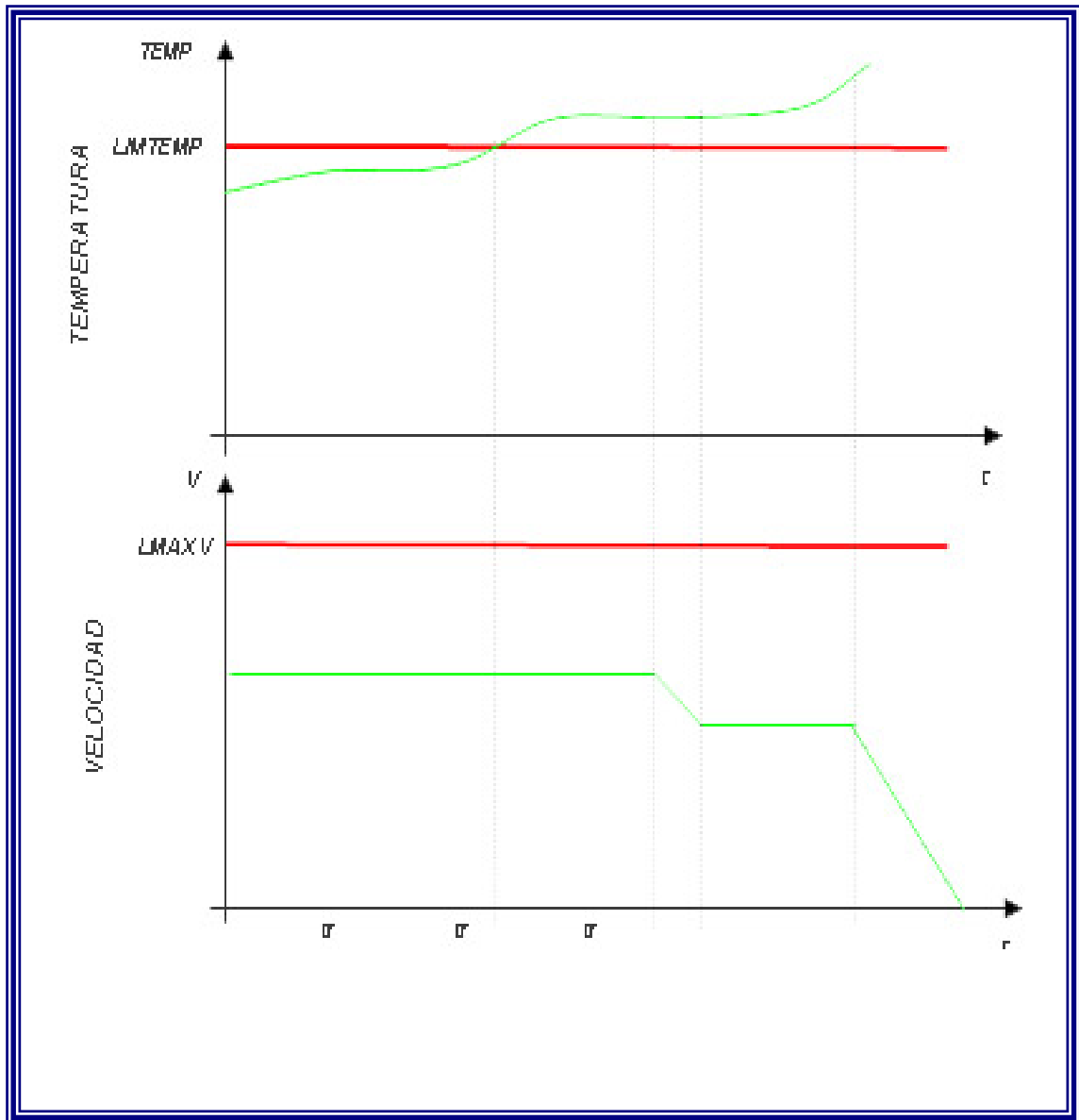


Figura 219.- Curva de Comportamiento del Control de Temperatura

Fuente: BCP de Venezuela, C.A.

Beneficios que ofrece el CITT 2S.

- Incrementa la vida útil de la bomba.
- Aumenta la vida útil de los elastómeros disminuyendo el efecto de hinchamiento en los mismos, limitando la operación por debajo de los límites máximos permitidos en la bomba.
- Controla la velocidad de la bomba en función de la temperatura de operación del yacimiento.
- Registra todos los eventos con hora y fecha en tiempo real ocurridos por cambios en la temperatura registrada en la bomba.

Control de Antiretorno.

Este control es utilizado para proteger la bomba para altas velocidades de rotación inversa cuando se detiene el motor, en el control Antiretorno la velocidad inversa es disipada lentamente antes de parar el rotor, ajustando la rampa y el tiempo de ejecución de control. (**Ver Figura 2.20**)

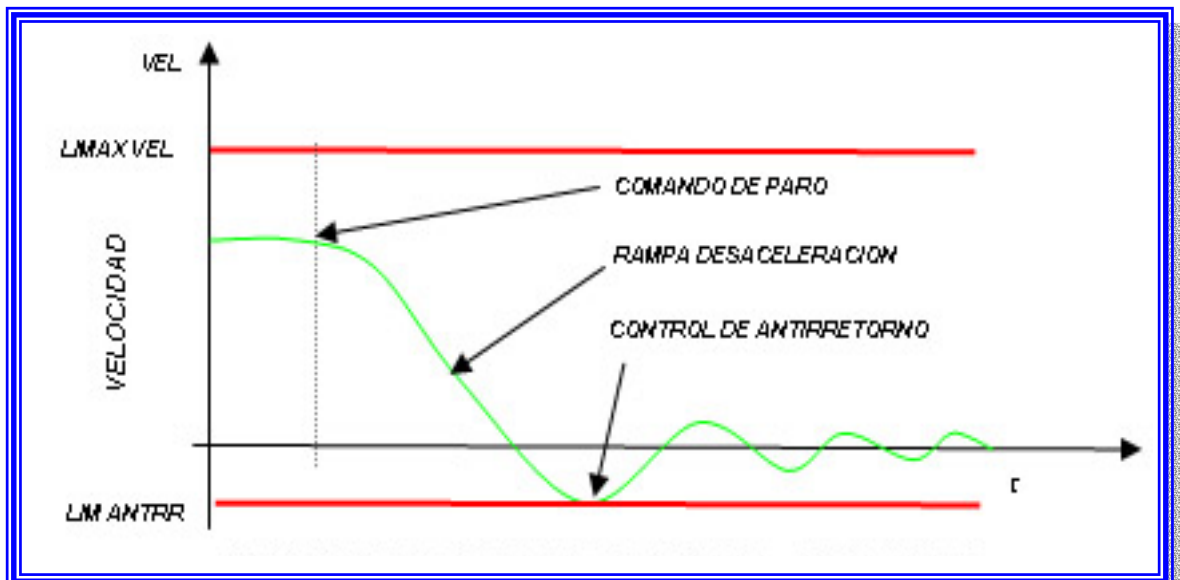
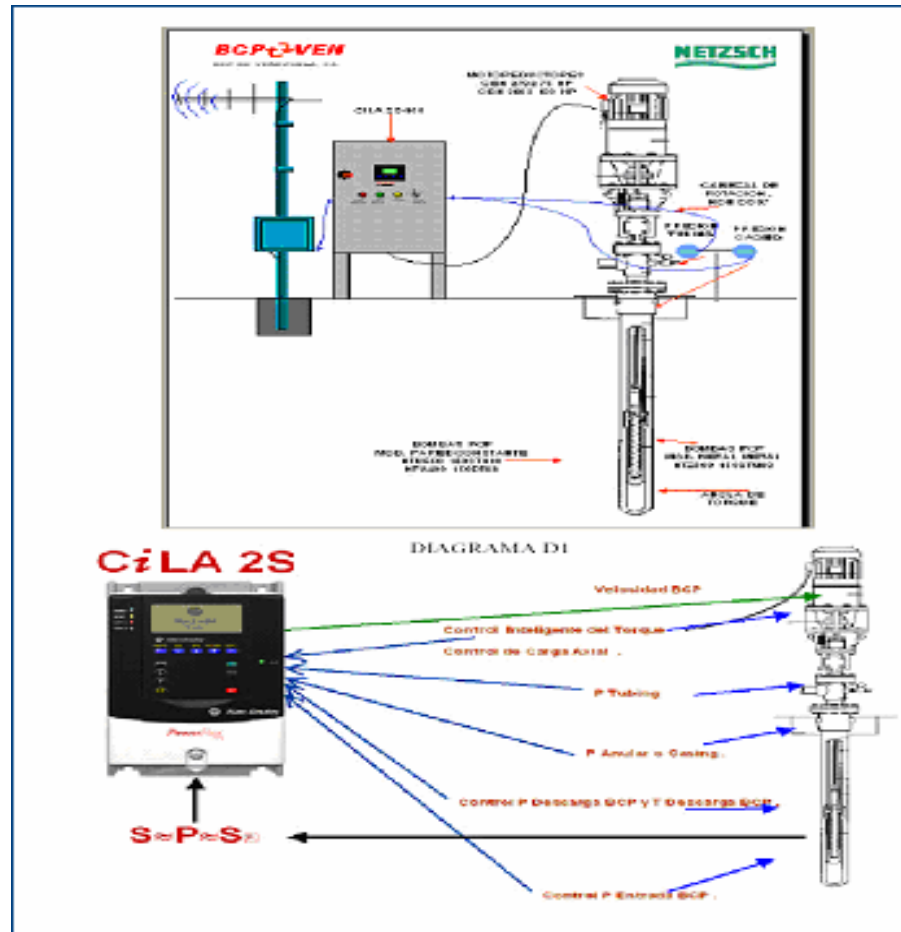


Figura 2.20. Curva de Comportamiento del Control Antiretorno
Fuente: BCP de Venezuela, C.A.



2.21.- Diagrama de control y optimización.

De Protección

- A la BCP y a las cabillas de un sobre torque.
- A la BCP de un bajo torque y un bajo y alto voltaje.
- Al motor eléctrico de una baja carga y una sobre carga.
- Para prevenir fallas a Tierra.

De mantenimiento para BCP

El Controlador Inteligente de Levantamiento Artificial posee un módulo de mantenimiento mecánico y eléctrico.

El Módulo de Mantenimiento Mecánico posee una programación de aviso de cambio de aceite de la caja reductora, cabezal de rotación, cambio de correas y engranaje programado de los cojinetes del motor (en caso de motores con graseras).

El Módulo de Mantenimiento Eléctrico posee una programación de aviso de mantenimiento de limpieza de filtros y cambio de ventiladores, capacitores y tiristores.

Del secuenciador de eventos

- Registro de los últimos 50 eventos considerando cambios de parametrización, referencias, ajustes de límites operativos, apertura y disparos de las protecciones eléctricas del interruptor principal y apertura de la puerta interna y así mismo todos los avisos (warning) y fallas del CILA 2S.
- Registro de hora, minutos y segundos y fecha en tiempo real de los eventos ocurridos.
- Módulo Opcional del operador para introducir al usuario que opera el equipo con la finalidad de responsabilizar las actividades operativas de los pozos.
- Gráfica de trayectorias de optimización de Torque y comportamiento automático de control de las variables principales del pozo como presión, temperatura, torque velocidad energía, etc.
- Registro Nomográfico en tiempo real del comportamiento del pozo.

De registro de data del pozo

Este módulo permite establecer la data de los equipos de fondo y superficie que se instalan en un pozo particular y los valores a los cuales están siendo instalados en la completación.

A continuación se presenta en forma esquemática la figura (Figura 2.22) que muestra el funcionamiento del sistema de aplicación CILA 2S.

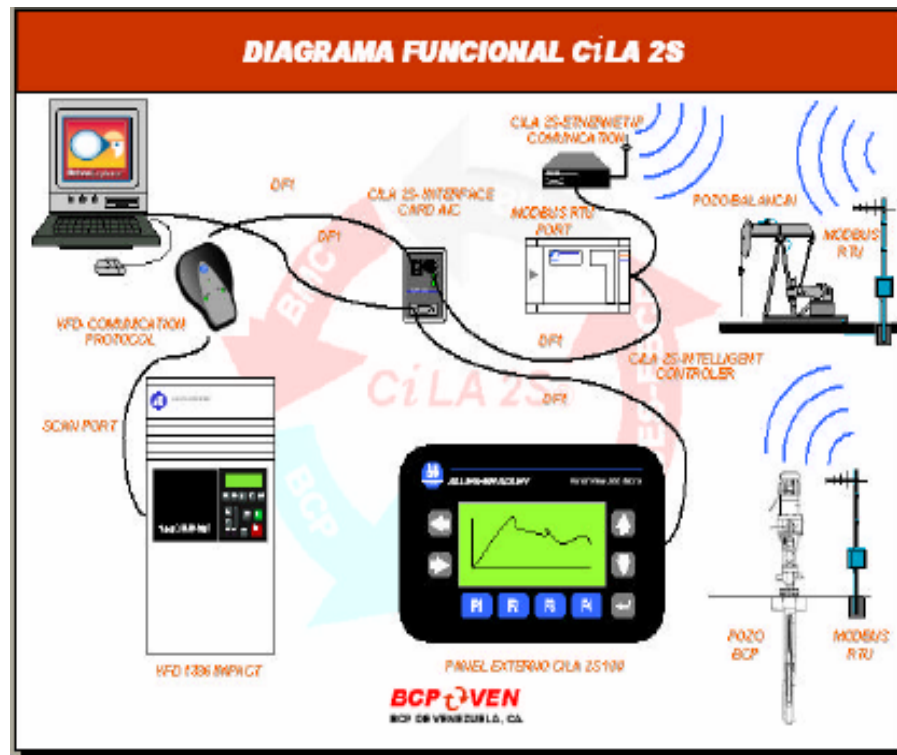
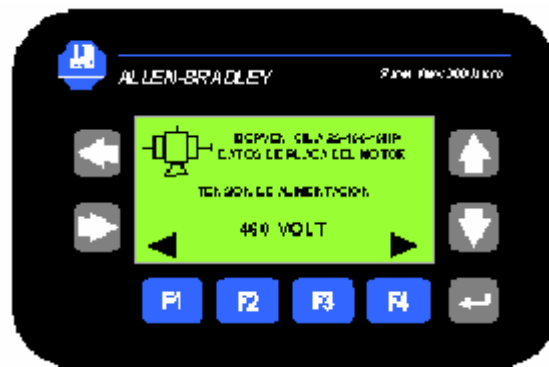


Fig.2.22.- Diagrama funcional del CILA 2S.

2.3.6.- Funcionamiento del CILA 2S

El CILA 2S posee una pantalla de control (ver figura 2.23) en la cual se introducen los datos característicos de placa del motor, esto permite realizar ajustes de dimensionamiento.

Dentro de la opción de Datos del Motor, se incorporan los datos para que el controlador ajuste los controles algorítmicos sin necesidad de usar equipos ni sensores adicionales.



Pantalla Datos del Motor

Figura 2.23.- Pantalla datos del motor.

Luego de este paso se introducen los datos de reducción de la caja (ver figura 2.24), y una vez incorporados estos datos, el CILA 2S comenzará a controlar de forma inteligente y directa la velocidad real que existe en la bomba, según sea la aplicación, simulando de esta manera la velocidad que tendría la bomba en el pozo.



Pantalla Relación de Reducción

Figura 2.24.- Pantalla relación de reducción.

En la pantalla de sistema de bombeo (ver figura 2.25) se selecciona el sistema de bombeo a usar, en esta aplicación el CILA 2S-100 tiene cargadas las aplicaciones BCP y Balancín, totalmente programables para Software, y con sólo elegir un

teclado se puede seleccionar el sistema de levantamiento artificial que se emplea para la extracción de petróleo, que en este caso particular sería BCP.



Pantalla Sistema de Bombeo

Figura 2.25.- Pantalla sistema de bombeo.

Otra pantalla donde se observa el funcionamiento del CILA 2S es la de modalidad historial de eventos (ver figura 2.26), esta permite al operador conocer todos y cada uno de los eventos ocurridos en el controlador, además de generar un registro completo de eventos con Hora y Fecha en Tiempo real, el operador también puede programar los eventos de acuerdo a las necesidades de control y supervisión que sea necesario.



Pantalla Historial de Eventos

Figura 2.26.- Pantalla historial de eventos.

Metodología.

3.1.- TIPO DE INVESTIGACIÓN

La Investigación realizada permitirá llevar un control y ensayo de las bombas de cavidades progresivas antes de ser instaladas, siendo este control esencial para asegurar el rendimiento de la bomba en el transcurso de la operación. Por tal motivo se llevará a cabo la implementación de un banco de prueba para estas bombas, donde se utilizará el controlador inteligente de levantamiento artificial (CILA2S) que está basado en cartas nomográficas, este permite obtener parámetros que construyen curvas de eficiencia que muestran el comportamiento de las bombas y de esta manera aseguran que las mismas se encuentra en óptimas condiciones de uso, además de evaluar su vida útil y la eficiencia con la que trabajaran según la condición de cada pozo.

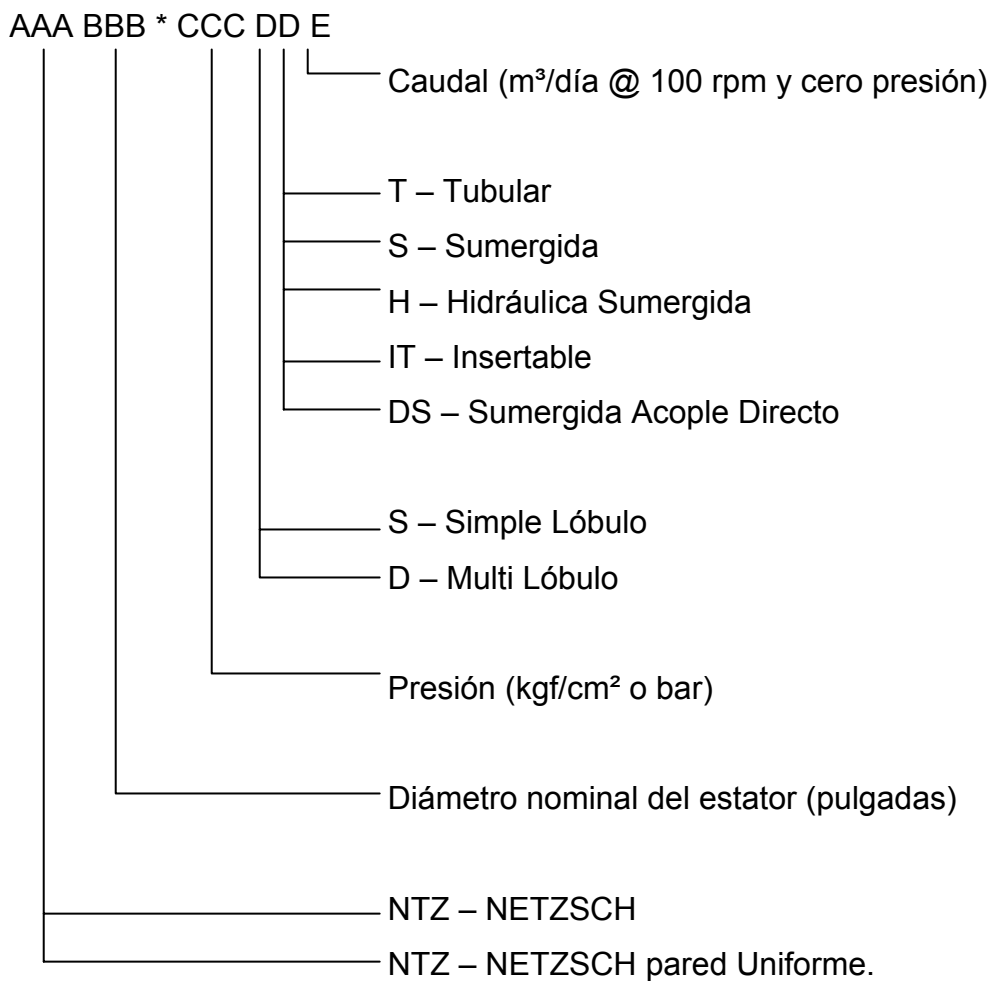
3.2.- MUESTRA

La muestra y selección para dicho estudio estará conformada por 2 bombas de conjuntos completo (Estator & Rotor) de un inventario existente de 10 estatores y 10 Rotores, cada una de diferentes características en cuanto a: Diámetros, Presión y Caudal de modelos bombas de cavidades progresivas marca NETZSCH. La selección de estas BCP se realizó de acuerdo a normas y procedimientos de control de calidad establecido por el fabricante NETZSCH. Las Bombas seleccionadas con sus respectivas características se mencionan a continuación:

Cantidad	Selección de Equipos
1	Rotor NT Z 23 8 120 ST 4 P8
1	Estator NTZ 238 120 ST 4 EUE
1	Rotor NTZ 278 120 ST 14 P8
1	Estator NTZ 278 120 ST 14 EUE

Tabla 3.1 Tipos de BCP utilizadas.

Nomenclatura de las BCP



3.3.- PROCEDIMIENTO

El procedimiento seguido para este trabajo especial de grado se puede sintetizar en dos etapas, las cuales se llevaron a cabo a lo largo del periodo de elaboración del mismo. Estas dos etapas se mencionan a continuación:

3.3.1.-Primera etapa: Revisión bibliográfica, recopilación de información y adiestramiento.

- ***Revisión bibliográfica:***

El primer mes del proyecto se dedicó a la revisión bibliográfica de manuales, guías, folletos y libros referentes a Bombas de Cavidades Progresivas, bancos de prueba, CILA2S y levantamiento artificial mediante BCP. Cada uno de estos manuales, guías, folletos y libros se obtuvieron con la colaboración de las empresas: BCP_VEN, INTEVEP y NETZSCH Brasil. Además, se consultó la biblioteca de la escuela de ingeniería de petróleo y la biblioteca de INTEVEP. Luego, la revisión bibliográfica se hizo continua a lo largo de toda la elaboración de la tesis de grado, que a partir del segundo mes se realizó en paralelo con otras actividades.

- ***Adiestramiento:***

El adiestramiento se llevo a cabo por medio de los ingenieros de la empresa BCP_VEN y NETZSCH de Brasil. Los ingenieros de la empresa NETZSCH de Brasil enseñaron los fundamentos del manejo del banco de prueba, así como la interpretación de las curvas generadas por medio del banco y los ingenieros de la empresa BCP_VEN contribuyeron al adiestramiento para la utilización del CILA2S.

- **Recopilación de información:**

Este proceso se efectuó de manera simultánea al adiestramiento y la revisión bibliográfica cuya principal fuente de información fue el manual de sistemas BCP elaborado por NETZSCH Brasil, en donde se adquirieron los mayores conocimientos sobre bombas de cavidades progresivas en cuanto a descripción, selección, nomenclatura, modelos y tipos de bombas, características, funciones, ventajas, limitaciones, procedimientos de instalación arranque y optimización, así como también los posible problemas presente en este método de levantamiento artificial con sus respectivas soluciones.

Tomando en consideración las especificaciones requerida del banco de prueba de la bomba BCP, así como también de otros equipos adicionales como Telescopio para medir diámetros interno de cavidades, Bar micrómetro para medir las crestas mayor y menor del rotor para así poder llevar a cabo dicho estudio, y sujeto a las necesidades de la empresa, se procedió a seleccionar dos (2) modelos de Bombas de Cavidades Progresivas marca NETZSCH del inventario en existencia.

Seleccionados estos equipos, mostraremos el procedimiento inicial a tomar en cuanto para recopilar la información y datos de cada una de las bombas en cuanto al arreglo del **Estator**: longitud, diámetro externo e interno (Cavidades), geometría, tipo de elastómero, dureza del elastómero, tipo de rosca, coeficiente de producción @ rpm (Caudal) y máxima presión de levantamiento (número de etapas). **Rotor**: longitud, diámetros externo de la cresta mayor y menor, diámetro y tipo de rosca; para ello se utilizó el manual de procedimientos del sistemas BCP de la empresa NETZSCH de Brasil, el cual facilitó la búsqueda de las características de las bombas.

3.3.2.-Segunda Etapa: Ensamblaje del banco de prueba, desarrollo del protocolo para el banco de prueba, implantación del CILA2S, desarrollo de las curvas de eficiencia, desarrollo de las cartas nomográficas y comparación de las bombas.

Cada uno de estos pasos se detallarán a continuación:

- **Ensamblaje del banco de prueba:**

El Banco de Prueba a ensamblar en la empresa BCP_VEN consta de un tanque de alimentación o carga, tanque de descarga, manguera de succión y manguera de descarga, motor, variador, transformador, CILA 2S, transmisión, instrumentación para medición de variables tales como (Presión de carga y descarga, temperatura de fluido, sensor de presión, velocidad de giro, potencia y torque).

A continuación se describen los equipos del Banco de Prueba para Bombas de Cavidades Progresivas de la empresa BCP_VEN:

- **Tanque de alimentación y válvula de control del fluido:** Tanque de material resistente física y químicamente, montado sobre una base de madera. Desde este tanque se descarga el fluido a utilizar en la prueba a través de una manguera de baja presiones que se une a la succión de la bomba (BCP) y es controlado por medio de una válvula de baja presión de tal manera que al momento de finalizar la prueba no permita que el fluido se salga del tanque de almacenamiento.
- **Tanque de descarga:** Tanque con un volumen de 150 litros, montado sobre una base de metal a una altura de 1,12 metros con una escala de 10:10 Lts, posee una tubería en su parte inferior, con dos llaves de paso para abrir y cerrar en el momento en que se desee tomar el tiempo de

carga. Las llaves de la tubería son de 2 ^{7/8}". A esta tubería van conectadas dos mangueras, una que viene desde la línea de alta presión y otra que descarga el fluido hacia el tanque de alimentación.

- **Mangueras:** 2 Mangueras. Una que conecta el tanque de alimentación con el conjunto rotor estator y otra que se encuentra dividida en dos partes, una parte se encuentra conectada desde la línea de alta presión hasta la tubería de entrada al tanque de descarga y la otra parte va desde la salida del mismo tanque hasta la conexión del tanque de alimentación.
- **Abrazaderas:** 6 abrazaderas. 4 de 2" y 2 de 4", las cuales sirven para ajustar las mangueras a las conexiones, para que queden bien ajustadas.
- **Transmisión:** Caja de transmisión el cual está conformado por un cabezal y ejes. Se divide en dos partes a través de bridas de diámetro de 13" con tornillos de gran tamaño para soportar la alta presión. La primera parte de esta transmisión se encuentra desde la polea hasta la brida (esta parte simula el cabezal). La segunda parte se encuentra ubicada desde una brida a la siguiente la cual simula las cabillas de un pozo en producción.
- **Línea de Alta presión:** Conectada a la transmisión a través de una brida de 8 ½" pulgadas de diámetro aproximadamente. A ella se une un codo de 2" de diámetro que se conecta a la manguera de descarga. Esta línea posee:
 - Cuatro llaves de paso: Una se encuentra por debajo del manómetro, dos son para simular la presión de descarga, y la otra es para verificar si el sistema esta en buen estado.
 - Un manómetro de marca NETZSCH con escala de 0 a 100 bar, para medir la presión del sistema.

- Una termocupla con escala de 0 a 100 (°C), para medir la temperatura de prueba..
 - Un sensor de presión, el cual digitaliza la lectura de presión del sistema y la envía al Variador de frecuencia.
- **Polea de la Transmisión:** Polea que se conecta a la transmisión. La misma posee un diámetro externo (DO) de 31 ½" y un diámetro interno (DI) de 27 7/8".
 - **Polea del Motor:** Polea que se encuentra unida al motor. Esta posee un diámetro interno (DI) de 7 7/8".
 - **Correas:** 5 correas que unen polea de transmisión con polea del Motor de 100 HP. Estas correas son modelo 5VX1250.
 - **Bomba BCP:** Es la bomba (rotor y estator) a la que se realizará la prueba, la misma estará unida a la transmisión a través de dos niples de acople que varia según el diámetro del estator.
 - **Base del Banco:** Es el soporte del banco que se encuentra dividida en dos partes: La primera es la base para la transmisión y la segunda es la base desde donde se conecta la BCP hasta el final del banco.
 - **Motor:** Motor Modelo NBR 7094, con Potencia de 100 HP y frecuencia de 60 HZ, revolución de 1185 rpm y rendimiento de 93%.
 - **Bandejas de desagüe:** Que sirven para la recolección del fluido, estas van por encima de la base del banco.

- **Variador de Frecuencia:** Potencia de 100 HP, que se encuentra conectado al banco de prueba para medir, registrar variar y ajustar la velocidad de giro de la bomba. Allí se monitorea la velocidad de giro del eje del motor.
- **Transformador:** El mismo permite cambiar la cantidad de energía que va desde el variador hasta el motor.
- **CILA 2S:** Controlador Inteligente de Levantamiento Artificial Subsuelo-Superficie. Es una nueva tecnología en software para BCP, basado en cartas nomográficas y curvas de eficiencia, el cual se encuentra integrado dentro del variador de frecuencia.

Para llevar a cabo el ensamblaje del banco de prueba se realizaron las siguientes actividades:

- Se realizó un inventario detallado de todo el equipo que se encontraba en la planta en donde se iba a ensamblar el banco de prueba.
- Se dividió el equipo en dos partes, una parte era el equipo que se necesitaba para ensamblar el banco de prueba y el otro el que quedaba en stock.
- Se tomó nota de las partes y piezas del banco de prueba que faltaban y que eran de suma importancia para su ensamblaje.
- Se buscaron presupuestos en diferentes ferreterías, tornos, etc. De las piezas y equipos faltantes. Se eligió el presupuesto que se adaptara a las exigencias de seguridad y calidad.
- Se ordenó de armar la base del banco de prueba, con las dimensiones y características establecidas en un plano que previamente había sido discutido y evaluado junto con los ingenieros de la empresa BCP_VEN.
- Se le hizo seguimiento a la actividad anterior, hasta la culminación del mismo.

- Se evaluó el producto terminado y se le realizaron algunas correcciones.

A continuación se presenta en la figura 3.1 el producto terminado:



Figura 3.1.- Banco de Prueba Ensamblado.

- **Desarrollo del protocolo del banco de prueba**

Las bombas de Cavidades Progresivas han demostrado ser un método de levantamiento artificial versátil, económico y efectivo para un amplio rango de aplicaciones en la Industria Petrolera, sin embargo, la confiabilidad de estos equipos a menudo están por debajo de las expectativas y exigencias de la industria. Por esta razón, las empresas proveedoras de este producto deben garantizar que el uso de las bombas corresponderá a las necesidades de la

empresa solicitante. Para cumplir con tal exigencia es necesario evaluar las características hidráulicas de las bombas ya sean nuevas o usadas en bancos de pruebas, los cuales están diseñados para determinar la operatividad de la bomba, eficiencia y vida útil.

Estos bancos de pruebas deben ser manejados siguiendo normas y procedimientos a través de un protocolo de prueba realizado a medida que se llevaba a cabo la implantación del banco. Por esta razón, este protocolo debe establecer un rango de trabajo que resuma los requerimientos de operación y procedimientos que deben seguirse durante la prueba.

Es notable destacar que estas exigencias deben aplicarse en todo momento, lo cual garantiza una excelente ejecución y uso del banco de pruebas, para lograr un buen funcionamiento del banco y un resultado confiable de las bombas que ahí se van a probar.

Se realizó este protocolo con el objetivo de establecer normas y procedimientos que permitan la ejecución en forma eficiente del Banco de Prueba para Bombas de Cavidades Progresivas perteneciente a la empresa BCP_VEN. Este Protocolo debe aplicar a todas las BCP a ser utilizadas en el Banco (tubulares, insertable, metal-metal, etc.), para poder cumplir con las exigencias y normas mínimas requeridas por las empresas que así lo soliciten.

- ***Implantación del controlador inteligente de levantamiento artificial (CILA2S-100)***

Antes de instalar el controlador inteligente de levantamiento artificial (CILA2S), se llevo a cabo la tarea de armar un gabinete donde se instalaría el software, este gabinete es comúnmente conocido en la industria petrolera como variador de

frecuencia y consta de un Micrologic, PowerFlex y una serie de conexiones y botones para su arranque y encendido.

A continuación se muestra el tablero de control armado en donde se instalará el CILA2S:

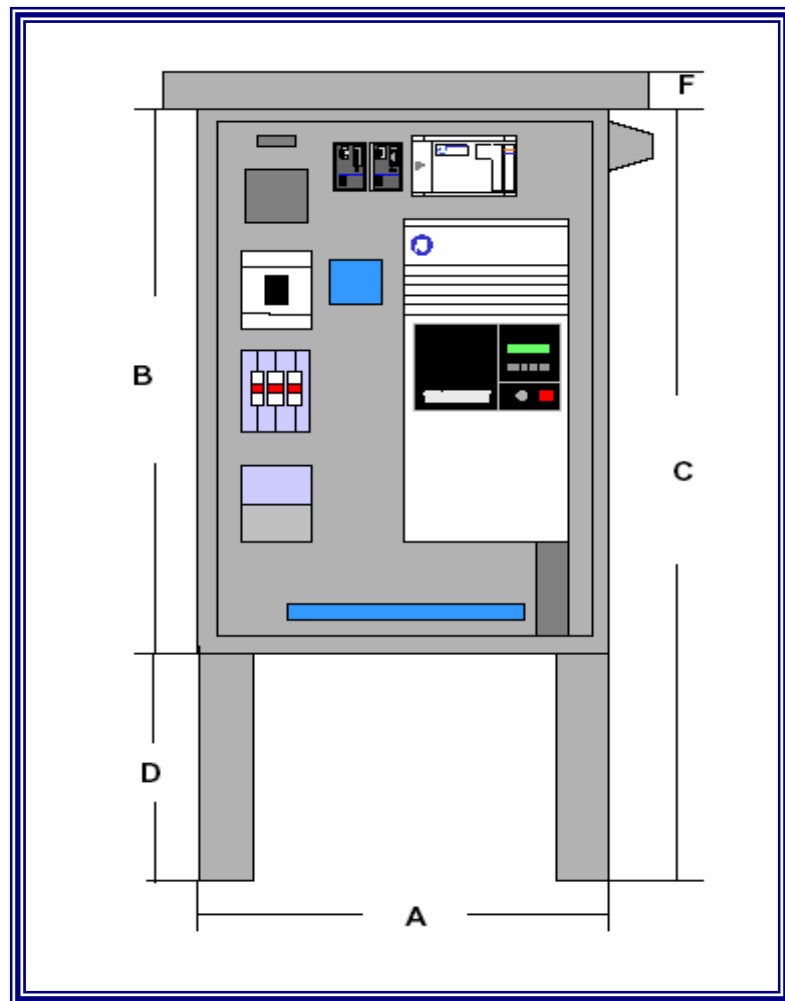


Figura 3.2.- Vista Frontal del interior del gabinete.

Una vez completado el montaje del gabinete tanto externa como internamente se procedió con la instalación del sistema en el equipo, este proceso lo llevaron a cabo los ingenieros de la empresa BCP_VEN con la colaboración de sus tesisistas,

este proceso se llevó a cabo desde un computador conectado al tablero de control del variador de frecuencia y se transfirió la data del sistema al equipo.

Luego se procedió con el chequeo y evaluación de la instalación, realizando una prueba en frío del funcionamiento del software. Una vez concluida la evaluación de la instalación del CILA2S se efectuaron las pruebas en banco de las diferentes bombas seleccionadas.

- ***Pruebas en banco. Desarrollo de curvas de eficiencia de las bombas de cavidades progresivas***

Montaje de bomba y procedimiento de ensayo

El montaje de las bombas a utilizar en el banco de prueba debe seguir un procedimiento, para garantizar la eficiencia del uso del banco. A continuación se enumeran los pasos o lineamientos básicos a tomar en cuenta para llevar a cabo los ensayos y pruebas.

Montaje:

- Montar la BCP (conjunto rotor-estator): Para efectuar este montaje se deben seguir los siguientes pasos:
 - Identificar la bomba a utilizar, tomando nota de las características, seriales y modelo de la bomba.
 - Revisar que la BCP se encuentre en óptimas condiciones de seguridad y uso. Verificar que el elastómero de la bomba no se encuentra deteriorado en el caso de que la bomba sea usada, verificar la dureza del elastómero, diámetro interno de las cavidades del estator, así como también chequear del Rotor el recubrimiento de la camada de cromo duro como los diámetros de la cresta mayor y menor.

- Para el punto anterior se debe contar con los instrumentos o aparato como Telescopi y Bar Micrómetro, para realizar pruebas de calidad del elastómero y de diámetros del estator y Rotor.
- Se debe lubricar adecuadamente el rotor para su fácil instalación. El lubricante a utilizar no debe causar ningún efecto en el elastómero como lo podría ser un hinchamiento del mismo debido a una reacción química, por eso se recomienda un lubricante inerte.
- Instalar la bomba de manera adecuada, se debe tener en cuenta aspectos como la correcta alineación y buen soporte, esto se realizó de la siguiente manera:
 - ❖ Los rotores, estatores, niples de paro y niples de acoplamiento deben estar correctamente inventariados y en sus respectivos estantes.
 - ❖ De acuerdo a las características del estator a utilizar (diámetro externo), seleccionar el niple de acoplamiento que se ajuste a las mismas y conectarlo directamente a la rosca de la transmisión.
 - ❖ Con dos trípodes con ruedas tomar el rotor y llevarlo hasta el banco de prueba donde se enroscará alineadamente al eje de la transmisión.
 - ❖ Verificar que las piezas ya montadas en el banco se encuentren ajustados, alineados y bien enroscados para poder seguir los pasos siguientes.
 - ❖ Con dos trípodes con ruedas tomar el estator y llevarlo hasta el banco de prueba, donde según su diámetro se enroscará directamente al niple de acoplamiento.
 - ❖ En la parte final del estator colocar un niple de paro que concuerde con el diámetro externo.
- Verificar la correcta alineación y ensamblaje de todas las piezas y corregir las fallas.

Procedimiento de Ensayos:

Llevar un registro de todos los aspectos a considerar a la hora de sacar conclusiones. Estos aspectos deben ser:

1. Registro de curva y fecha en la que se realiza la primera prueba.
2. Si la bomba es usada, Cliente, N° del pozo y fecha de instalación.
3. Parámetros geométricos de la bomba: diámetro, longitud y excentricidad.

A continuación se presenta en la figura 3.3 un ejemplo de una de las curvas de eficiencia características que se pueden obtener en un banco de prueba:

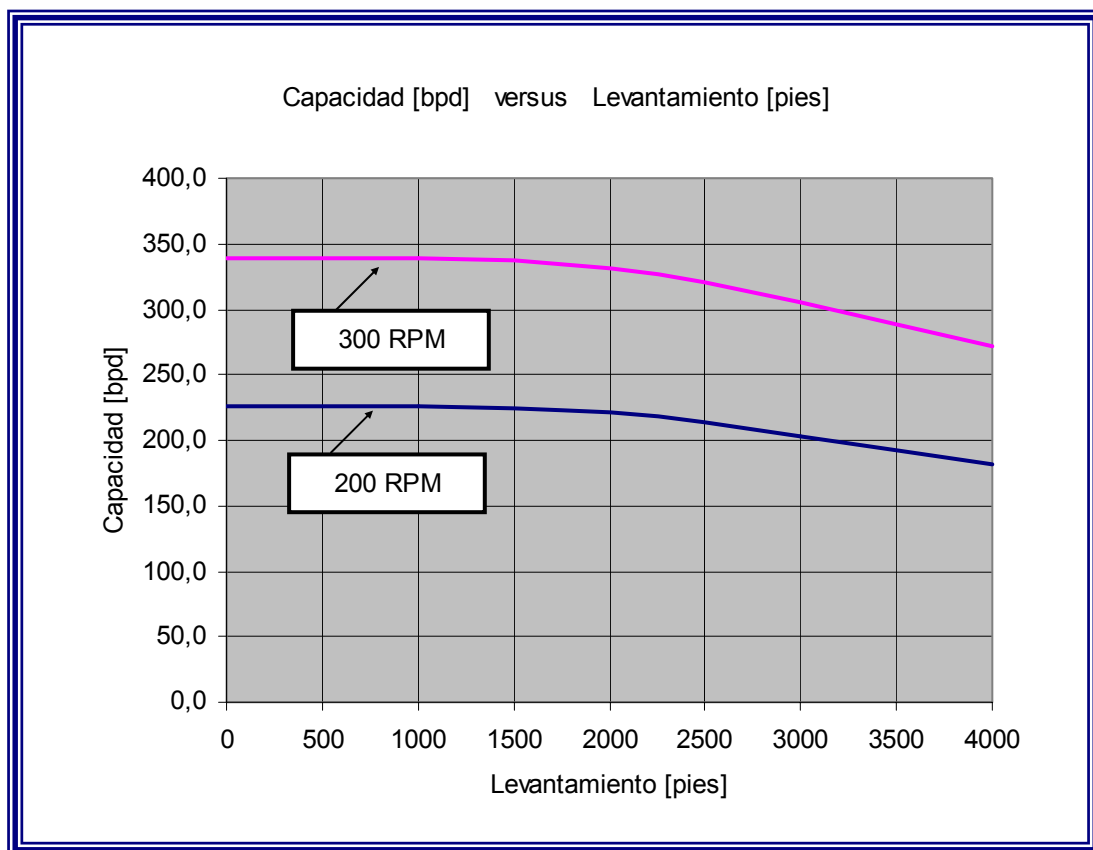


Figura 3.3.- Capacidad en función del levantamiento.

- **Desarrollo de las Cartas Nomográficas. Uso del CILA2S SIZE.**

El CILA 2S SIZE es el Software para generar la carta Nomográfica. Este software utiliza los datos de completación del pozo tales como: motoreductor, bomba y productividad del pozo para generar la carta Nomográfica de la BCP y de esta manera el dimensionamiento del pozo será realizado en función de las características de completación existentes, tomando en cuenta los datos anteriores el CILA 2S calculará matemáticamente el punto óptimo de operación de la bomba.

El CILA 2S SIZE permitirá al usuario introducir los datos del sistema de levantamiento artificial y mostrará hora y fecha en tiempo real lo cual permite llevar registros estadísticos del pozo. (Ver Figura 3.4)

The screenshot shows the CILA 2S SIZE software interface with the following data entered:

Datos del Cliente	
Nombre de la Empresa:	PDVSA
Nombre(s) y Apellido(s) del Usuario:	Jorge Perez
Número del Pozo:	TJ-1011

Descripción de los Equipos:	
Datos de Instalación de la BCP	
Método de Levantamiento:	Bomba de Cavidad Progressiva
Profundidad a Instalar la BCP (Pies):	4000
Viscosidad del Crudo (Cps):	450
Cantidad de Barriles a Producir (Bpd):	1600
Velocidad Mínima de Operación (RPM):	20
Diámetro de la Tubería ("):	3 1/2
Trq. Cabilla(Lbs.Fts):	
Hora: 16:26:46 Fecha: 18/04/2003	

Característica del Método de Levantamiento	
Fabricante:	Netsch
Modelo de la Bomba:	NTZ-400-150-DT-66-NBR
Geometría:	Multi Lóbulo 2/3
Configuración:	Tubular
Caudal (BPD@100RPM):	415,14
Elevación Máxima(Fts):	4950
Tipo de Material (E stator):	Elastomero
Ingrese la Fórmula:	NBR
Cabezal:	NDH060DS20
Cabezal de Rotación (Hp):	10 - 060
Aplicación:	Motoreductor
Carga Axial (Libras):	20.000

Valores Nominales del CILA2S-100	
Potencia (HP):	60
Trabajo:	Uso Normal
Modelo del CILA 2S:	CILA2S-100-060-B-ND

Valores Nominales del Motorreductor	
Fabricante:	Emerson Electric
Velocidad (RPM):	245
Relación:	1:7.1
Módulo:	CBN2602-364T
Ventilación:	Sin V. Forzada

Buttons at the bottom: **Buscar**, **Graficar**, **Cancelar**

Figura 3.4.- Introducción de datos para generar la Carta Nomográfica.
Fuente: Software de Dimensionamiento de BCP de Venezuela, C.A.

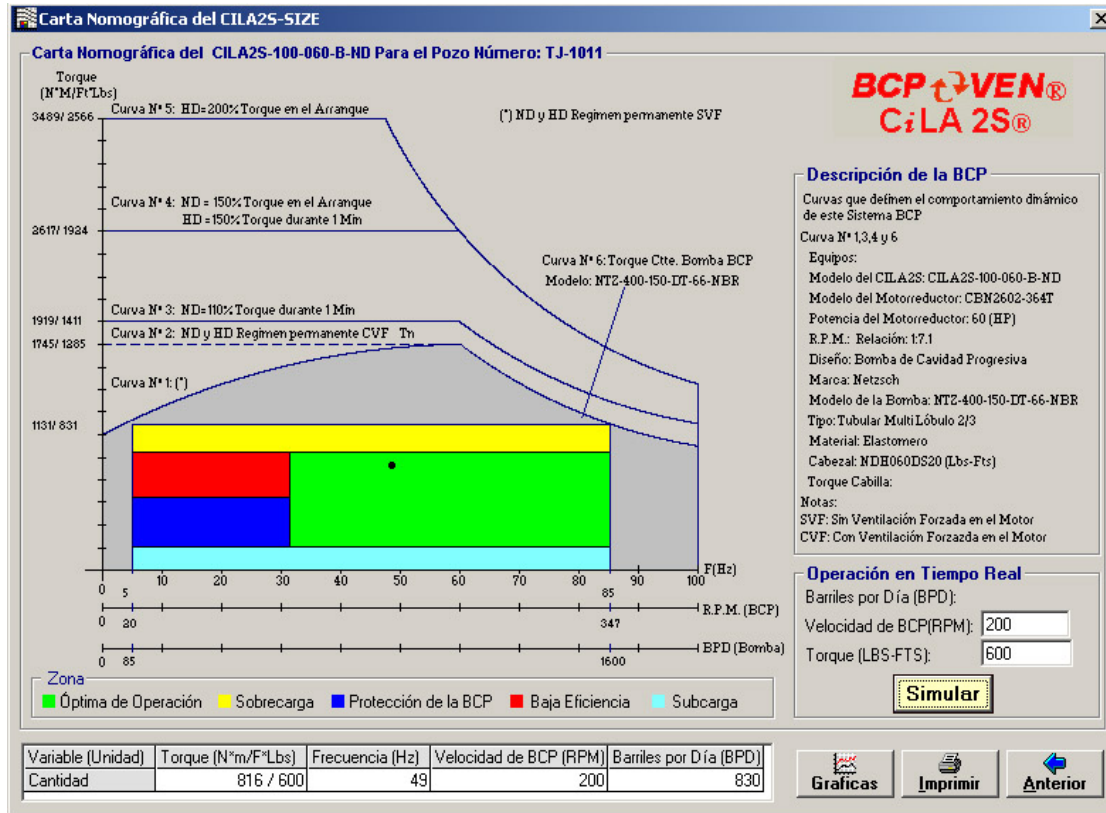


Figura 3.5. Carta Nomográfica Generada en el CILA 2S SIZE Indicando el Punto Real de Torque
Fuente: Pozo TJ-1011 Tia Juana Lago

En la carta Nomográfica (Ver Figura 3.5) se puede observar las curvas características que definen el comportamiento dinámico del sistema de levantamiento artificial, así como también los componentes de subsuelo y superficie del sistema de levantamiento y sus características generales, fabricante y modelo de **CILA 2S** a ser implantado. Al definir la zona de operación a través de la curva Nomográfica se podrá garantizar el óptimo funcionamiento del sistema de levantamiento artificial.

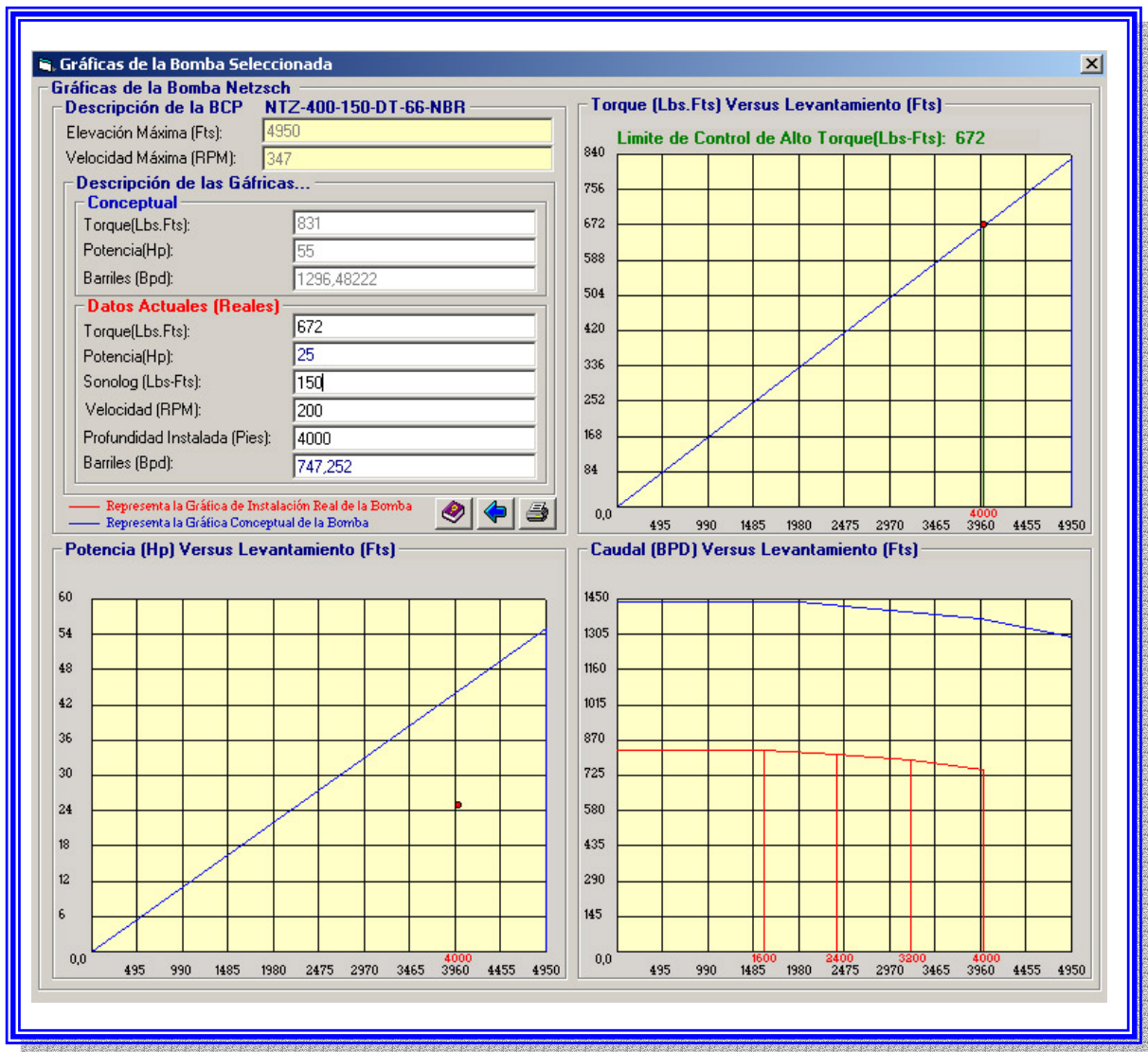


Figura 3.6. Gráfica que muestra los Datos de Torque, Potencia y Caudal en Tiempo Real
 Fuente: Pozo TJ-1011 Tía Juana Lago

Gráfica que muestra los datos de Torque, Potencia y Caudal en tiempo real que se leerán por CILA 2S-100. (Ver Figura 3.6)

Todos los datos serán obtenidos por el Variador de Frecuencia y se mostrarán en una computadora personal (LabTop) o serán transmitidos por SCADA a las oficinas que tengan el producto.

- ***Comparación de las curvas banco de prueba fabricante & curvas banco de prueba con simulador CILA 2S.***

Con los datos obtenidos del Banco de Prueba de la fábrica de NETZSCH se obtuvieron las curvas de torque y eficiencia, en donde se observó a través de ellas el comportamiento de las bombas según su fabricante. A estas mismas velocidades de rotación obtenidas por la fábrica se llevaron a cabo corridas en el sistema con Simulador CILA 2S, en donde se obtuvieron nuevamente curvas de torque y eficiencia. Seguidamente, se obtuvo a través del desarrollo de las cartas nomográficas el comportamiento a futuro real de la bomba en el pozo, para establecer este funcionamiento se obtuvieron parámetros del pozo en donde se podrían instalar estas bombas a futuro. Para finalizar esta etapa se llevó a cabo un análisis cuidadoso de todos los datos y curvas obtenidas a través de cada método, en donde se comparó los resultados obtenidos en el banco de prueba del fabricante con los obtenidos en el banco de prueba con simulador CILA 2S.

Análisis y Discusión de resultados.

4.1.- BANCO DE PRUEBA. PRODUCTO TERMINADO

El procedimiento para implantar el Banco de Prueba se llevó a cabo siguiendo las normas, especificaciones y planos del Banco de la empresa NETZSCH. En esta etapa se fueron verificando que cada una de sus partes estaban bien ajustadas y que además cumplían con todos los requerimientos para poder operar el mismo. Además, se tomó en cuenta en el diseño y construcción del banco la correcta ubicación de su instrumentación y del banco de prueba como tal. Esto indica que se podrá cumplir con el mantenimiento tanto de las bombas como del banco para que no exista ninguna futura falla del equipo.

Variador de Frecuencia

En cuanto al variador de frecuencia que se instaló en el banco se verificó el buen funcionamiento con respecto al software de aplicación instalado. Para ello se utilizó un modelo de motor muy pequeño que simuló el motor del banco. Para verificar que el variador estaba funcionando bien se le daba torque al motor y se realizaban corridas al modelo matemático (CILA 2S). De esta manera, se comprobó una pequeña falla, que radicaba en un aparato eléctrico que se encontraba en mal estado, lo que llevó a realizar su cambio para corregirla. Luego de esto, se efectuaron nuevas pruebas de verificación y se demostró que el variador se encontraba listo para ser instalado en el banco de prueba.

Como resultado se tiene que es indispensable realizar pruebas del variador antes de ser instalado al banco de prueba, para verificar que no exista ninguna falla y se puedan dañar las bombas por un mal ajuste.

Accionamiento y control de velocidad

El accionamiento de la bomba se realizó a través de un motor eléctrico, el cual permite controlar y medir la velocidad angular del rotor de la bomba. En el caso del banco de prueba implantado por la empresa, se utilizó un variador de frecuencia y un par de poleas ajustables al motor que llevan a cabo la misma función que un Motoreductor, de esta forma se logra disminuir costos y ahorrar tiempo. El variador debe permitir determinar la velocidad de giro del motor, su consumo de potencia y el torque mecánico.

Se determinó que los ensayos de pruebas deben realizarse a una velocidad cercana a la de trabajo en campo, de manera de simular la misma velocidad de accionamiento que tendría la bomba en el pozo, y poder verificar que la BCP cumpla con los requerimientos de velocidad, evitando problemas de vibración en el transcurso de su operación en el campo.

La medición de velocidad se realiza electrónicamente en el variador de frecuencia, que junto con el sistema computarizado que lleva instalado permite controlar y ajustar las rpm de manera automática, eliminando el factor humano en la manipulación del variador. Como resultado de esto se obtiene un aumento de la eficiencia en la prueba y protección de los equipos.

Línea de Alta Presión

Como ya se explico anteriormente en la metodología esta línea posee una válvula que simula la presión de descarga de la bomba en un pozo. Esta debe garantizar una regulación suave y estable sobre un amplio rango de presiones de trabajo. Siguiendo especificaciones de otros bancos de pruebas se determinó que las válvulas de cierre rápido no serán aceptadas para esta aplicación ya que no garantizan una lenta regulación de la presión. También se tiene una válvula de seguridad en donde se verifica un alivio de presión a través de una conexión

directa, para evitar que se alcancen presiones superiores a las presiones de diseño de la bomba, tuberías y demás elementos del banco. Como resultado se tiene que su instalación es de carácter obligatorio en el banco de pruebas, y aunque existan otros elementos de seguridad los mismos pueden ser aceptados como sistemas de respaldo, pero en ningún momento sustituyen el uso de esta válvula de seguridad como sistema mecánico de protección del banco y la bomba.

4.2.- PROTOCOLO DEL BANCO DE PRUEBAS

Este protocolo de prueba se desarrolló con la finalidad de establecer normas y procedimientos que permitan la ejecución en forma eficiente del Banco de Prueba para Bombas de Cavidades Progresivas perteneciente a la empresa BCP_VEN.

Por tal motivo este protocolo garantiza la correcta utilización del banco de pruebas para evitar contratiempos, accidentes o errores de medición de alguna de las variables involucradas en el procedimiento de realización de las curvas del banco de prueba.

El procedimiento obtenido en este protocolo se describe en la metodología en la sección 3.3.2 (desarrollo de curvas en banco) y se puede observar de manera clara y sencilla los pasos a seguir a la hora de instalar un conjunto rotor + estator en el banco de prueba de la empresa BCP_VEN. Este Protocolo debe aplicar a todas las BCP a ser utilizadas en el Banco (tubulares, insertable, metal-metal, etc.), para así poder cumplir con las exigencias y normas mínimas requeridas por las empresas que así lo soliciten. Este protocolo es adaptable a cualquier otro banco de prueba con características similares al utilizado en este estudio y es adaptable a cualquier marca de bomba de cavidades progresivas.

Con la realización de este protocolo de prueba la empresa se ahorra tiempo y dinero a la hora de realizar las pruebas ya que se guiará por un procedimiento establecido, bien claro y detallado, el cual garantizara un correcto

desenvolvimiento al momento de hacer las pruebas, evitando errores mecánicos y humanos durante los ensayos.

Se garantiza con el uso del protocolo la confiabilidad de los resultados obtenidos en el desarrollo de las pruebas realizadas, logrando cumplir con las exigencias y expectativas de las empresas solicitantes de estos servicios.

4.3.- RESULTADOS OBTENIDOS DEL BANCO DE PRUEBA DE LA FABRICA NETZSCH.

La siguiente tabla muestra los resultados obtenidos de las pruebas en banco enviados por la empresa NETZSCH de Brasil


NETZSCH do Brasil						
Performance and Efficiency of PCP - 2395						
Type:	NTZ 238*120ST4.0	Order-No.	K3K.0032	Revision:		
Rotor:	Id.-No. NDB4957547	Rotor No.:	02P719	Temp. size: P8		
Stator:	Id.-No. NDB4957553	Stator No.:	02C0643	Quality: NBR02		
Liquid:	oil	Viscosity [cPs]:	13	Temperature [°C]: 80		
Test Bench:	100	Date:	4/4/2002	Tester: JULIO		
Speed [rpm]	Pressure [bar]	Capacity [m³/d]	Torque [Nm]	Shaft Power [kW]	Eff. vol [%]	Eff. total [%]
100	0	4,30	25	0,26	100,00	0,00
100	40	3,90	31	0,32	90,70	55,62
100	60	3,70	40	0,42	86,05	61,35
100	70	2,80	53	0,55	65,12	40,88
200	0	8,40	26	0,54	97,67	0,00
200	60	7,70	45	0,94	89,53	56,74
200	80	5,90	56	1,17	68,60	46,58
200	100	3,20	62	1,30	37,21	28,52
250	0	10,50	27	0,71	97,67	0,00
250	60	10,00	42	1,10	93,02	63,16
250	80	8,20	59	1,54	76,28	49,16
250	100	5,20	61	1,60	48,37	37,69
250	120	2,00	80	2,09	18,60	13,26
Shut off at 100 rpm: 80 bar						

Tabla 4.1.- Resultados de banco de prueba de la bomba NTZ 238 120 ST 14,0 P8.

Fuente: Banco de prueba Brasil.

En las figuras siguientes se muestran las curvas generadas con los datos obtenidos del banco de prueba de Brasil. Estas gráficas de Eficiencia y Torque Vs Presión nos permiten observar el comportamiento de la bomba NTZ 238 120 ST 4.0 P8 a diferentes RPM.

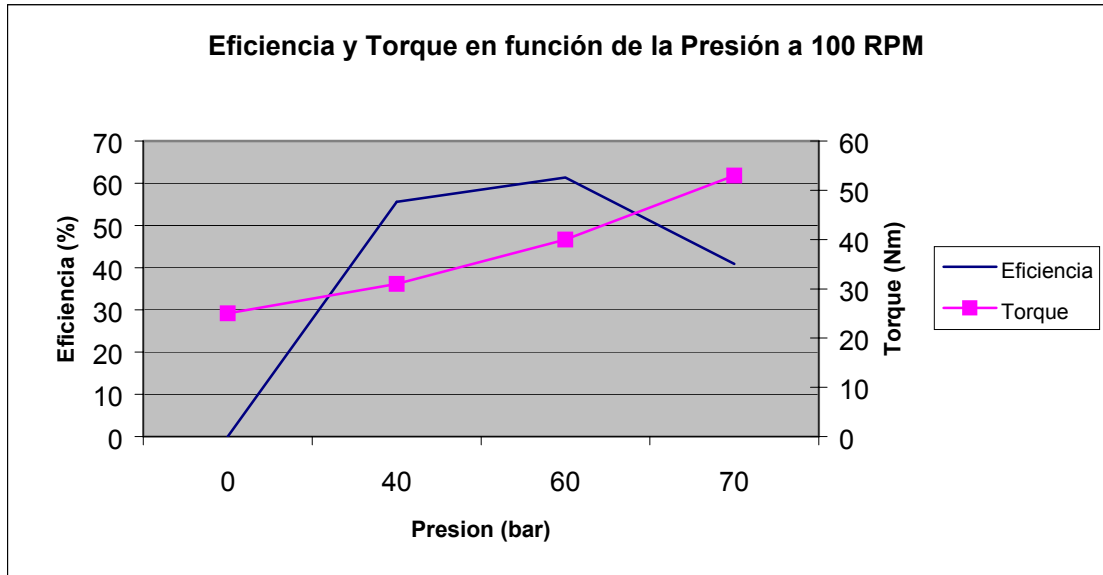


Figura 4.1.- Eficiencia y torque en función de la presión a 100 RPM de la bomba NTZ 238*120 ST 4,0 P8.

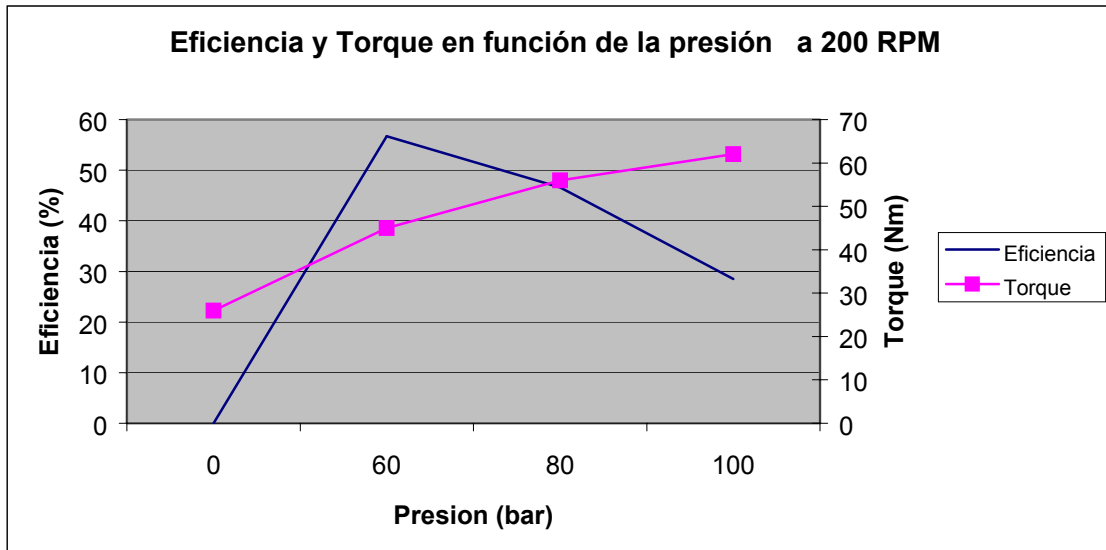


Figura 4.2.- Eficiencia y torque en función de la presión a 200 RPM de la bomba NTZ 238*120 ST 4,0 P8.

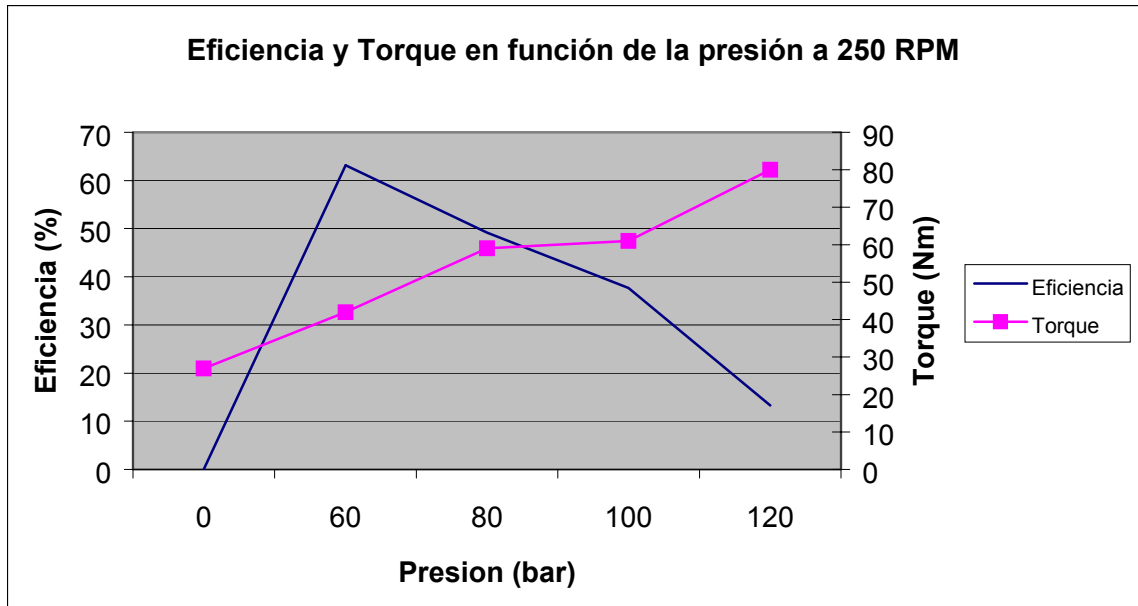



Figura 4.3.- Eficiencia y torque en función de la presión a 250 RPM de la bomba NTZ 238*120 ST 4,0 P8.

En las gráficas que se generaron de la bomba NTZ 278*120 ST 14,0 (Figuras 4.1, 4.2 y 4.3 respectivamente) obtenidas a través de los datos suministrados del banco de prueba de la empresa NETZSCH de Brasil (Tabla 4.1), se observa que el torque y la eficiencia aumentan a un mismo valor de presión a medida que se aumenta la velocidad de rotación (RPM) para un mismo modelo de bomba, esto se debe ya que al incrementar la velocidad de rotación de una bomba existe un mayor contacto entre el conjunto rotor-estator, lo cual produce como consecuencia un hinchamiento en el elastómero, logrando un menor deslizamiento del fluido y seguidamente una mayor eficiencia volumétrica. A medida que se incrementa la velocidad de rotación aumenta la fricción entre el rotor y el elastómero, incrementando la temperatura del mismo generando un hinchamiento en el elastómero lo que produce un incremento en el caudal y en consecuencia un aumento en el torque.

La siguiente tabla muestra los resultados obtenidos de las pruebas en banco enviados por la empresa NETZSCH de Brasil

NETZSCH do Brasil						
Performance and Efficiency of PCP - 2394						
Type:	NTZ 278*120ST14	Order-No.:	K3K.0033	Revision:		
Rotor:	Id.-No. NDB4957549	Rotor No.:	02Q500	Temp. size:	P8	
Stator:	Id.-No. 00	Stator No.:	02B2484	Quality:	NBR02	
Liquid:	oil	Viscosity [cPs]:	13	Temperature [°C]:	80	
Test Bench:		Date:	2/5/2002	Tester:	JULIO	
Speed [rpm]	Pressure [bar]	Capacity [m³/d]	Torque [Nm]	Shaft Power [kW]	Eff. vol [%]	Eff. total [%]
100	0	14,40	18	0,19	99,72	0,00
100	60	11,40	78	0,82	78,95	96,93
100	70	8,90	91	0,95	61,63	75,67
100	80	5,30	109	1,14	36,70	43,00
200	0	28,50	18	0,38	98,68	0,00
200	60	26,10	87	1,82	90,37	99,48
200	80	20,70	114	2,39	71,68	80,28
200	100	11,60	132	2,76	40,17	48,57
250	0	36,10	18	0,47	100,00	0,00
250	60	33,70	90	2,36	93,35	99,33
250	80	28,80	104	2,72	79,78	97,95
250	100	20,10	125	3,27	55,68	71,09
250	120	9,30	149	3,90	25,76	33,12

Shut off at 100 rpm: 90 bar

Tabla 4.2.- Resultados de banco de prueba de la bomba NTZ 278 120 ST 14,0 P8.Fuente: Banco de prueba Brasil.

En las figuras siguientes se muestran las curvas generadas con los datos obtenidos del banco de prueba de Brasil. Estas gráficas de Eficiencia y Torque Vs Presión nos permiten observar el comportamiento de la bomba NTZ 278 120 ST 14.0 P8 a diferentes RPM.

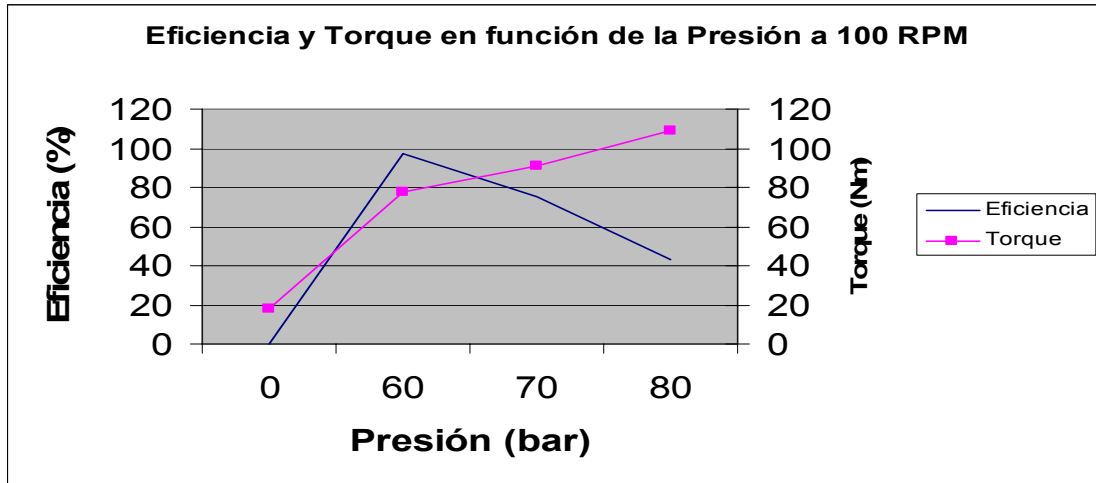


Figura 4.4.- Eficiencia y torque en función de la presión a 100 RPM de la bomba NTZ 278*120 ST 14,0 P8.

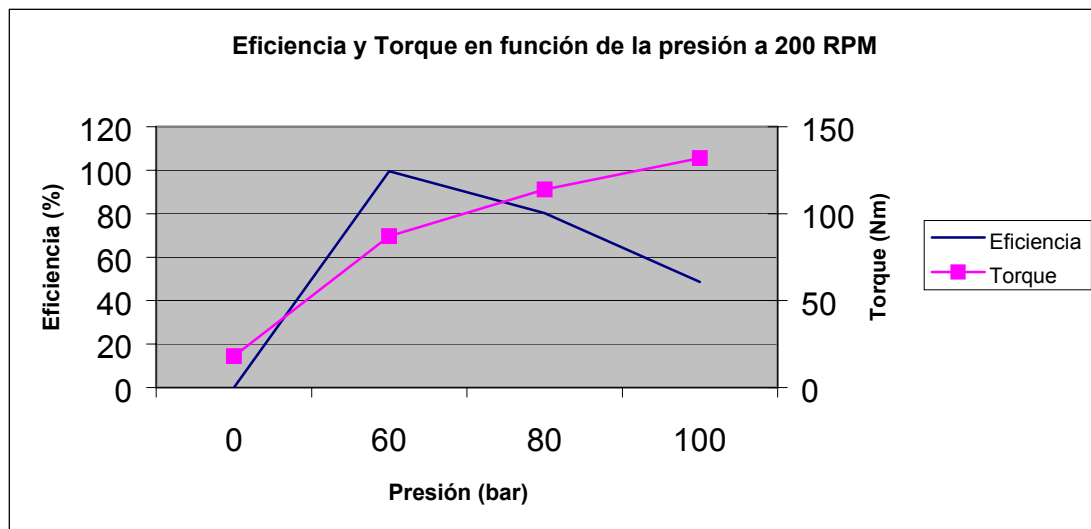


Figura 4.5.- Eficiencia y torque en función de la presión a 200 RPM de la bomba NTZ 278*120 ST 14,0 P8.

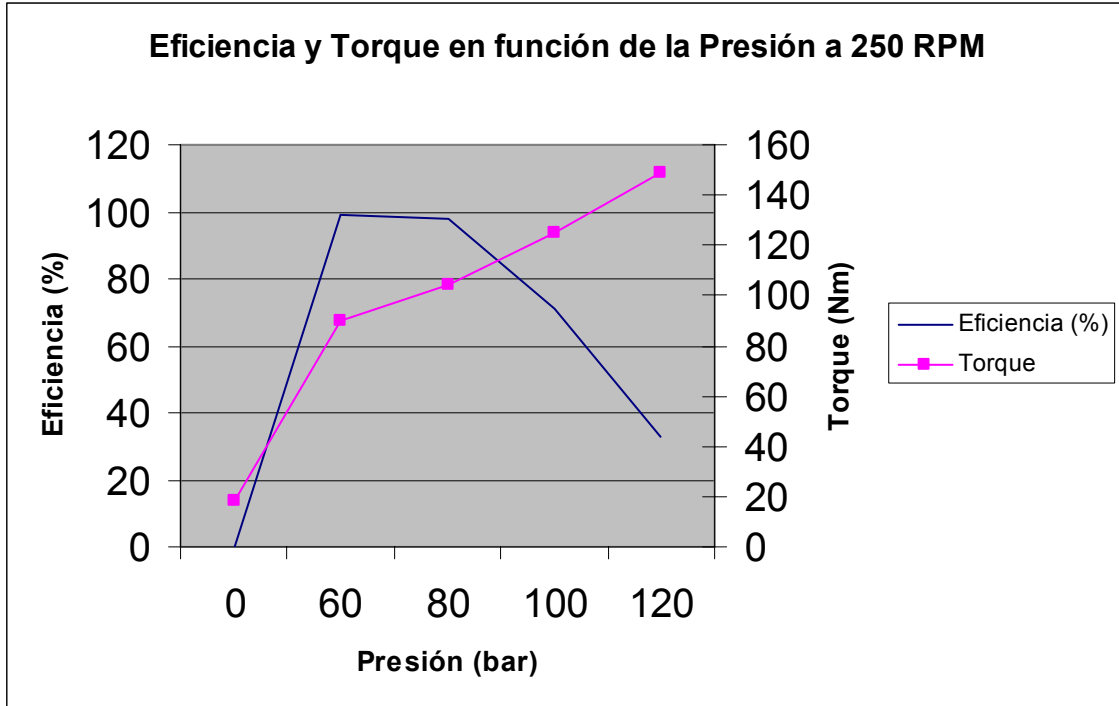


Figura 4.6.- Eficiencia y torque en función de la presión a 250 RPM de la bomba NTZ 278*120 ST 14,0 P8.

En las gráficas generadas de la bomba NTZ 278*120 ST 14,0 (Figuras 4.4, 4.5 y 4.6 respectivamente) de los datos obtenidos del banco de prueba de Brasil y que se muestran en tabla 4.2, se observa que al igual que la bomba anterior la eficiencia aumentan a un mismo valor de presión a medida que se aumenta la velocidad de rotación (RPM), esto se debe al factor de hinchamiento del elastómero el cual es afectado por el aumento de la temperatura causado por el roce del conjunto rotor-estator. Sin embargo, se observa valores de torque similares, esto se debe al tipo de rotor que no se ajusta completamente al estator y el elastómero que no se ha hinchado lo suficiente, ocasionando deslizamiento en el conjunto y una disminución en la capacidad de la bomba.

4.4.- GENERACIÓN CARTAS NOMOGRFICAS.

Datos suministrados para desarrollo de Cartas Nomográficas a través del Software de Controlador Inteligente de Levantamiento Subsuelo-Superficie (CILA 2S). (ver figuras 4.7, 4.9 y 4.11 respectivamente), obtenidos del campo Tía Juana Lago de PDVSA.

Modelo de Bomba NTZ 238*120 ST 4.0 P8

RPM: 100

CILA 2S-SIZE Versión: 1.0

Archivo Edición Herramientas Ayuda

Ingrese los siguientes parámetros...

Datos del Cliente

Nombre de la Empresa: PDVSA

Nombre(s) y Apellido(s) del Usuario: Betsy Monasterio y Franklin Maldonado

Número del Pozo: Prueba de Bomba N° 1

Descripción de los Equipos:

Datos de Instalación de la BCP

Método de Levantamiento: Bomba de Cavidad Progressiva

Profundidad a Instalar la BCP (Pies): 1029

Viscosidad del Crudo (Cps): 13

Cantidad de Barriles a Producir (Bpd): 17

Velocidad Mínima de Operación (RPM): 10

Diámetro de la Tubería ("): 2 3/8

Trq. Cabilla(Lbs.Fts):

Hora: 04:49:13 p.m.
Fecha: 07/06/2003

Característica del Método de Levantamiento

Fabricante: Netzsch

Modelo de la Bomba: NTZ-238-120-ST-4.0-NBR

Geometría: Simple Lóbulo 1/2

Configuración: Tubular

Caudal (BPD@100RPM): 25,16

Elevación Máxima(Fts): 3960

Tipo de Material (Estator): Elastomero

Ingrese la Fórmula: NBR

Cabezal: NDH060DS20

Cabezal de Rotación (Hp): 10 - 060

Aplicación: Motorreductor

Carga Axial (Libras): 20.000

Valores Nominales del CILA2S-100

Potencia (HP): 5

Trabajo: Uso Normal

Modelo del CILA 2S: CILA2S-100-005-A-ND

Valores Nominales del Motorreductor

Fabricante: Emerson Electric

Velocidad (RPM): 100

Relación: 1:18

Módulo: CBN

Ventilación: Sin V. Forzada

Soluciones Inteligentes

Buscar Graficar Cancelar

Figura 4.7.- Datos suministrados al CILA 2S para desarrollo de Carta Nomográfica a 100 RPM.

Fuente: Software BCPVEN.

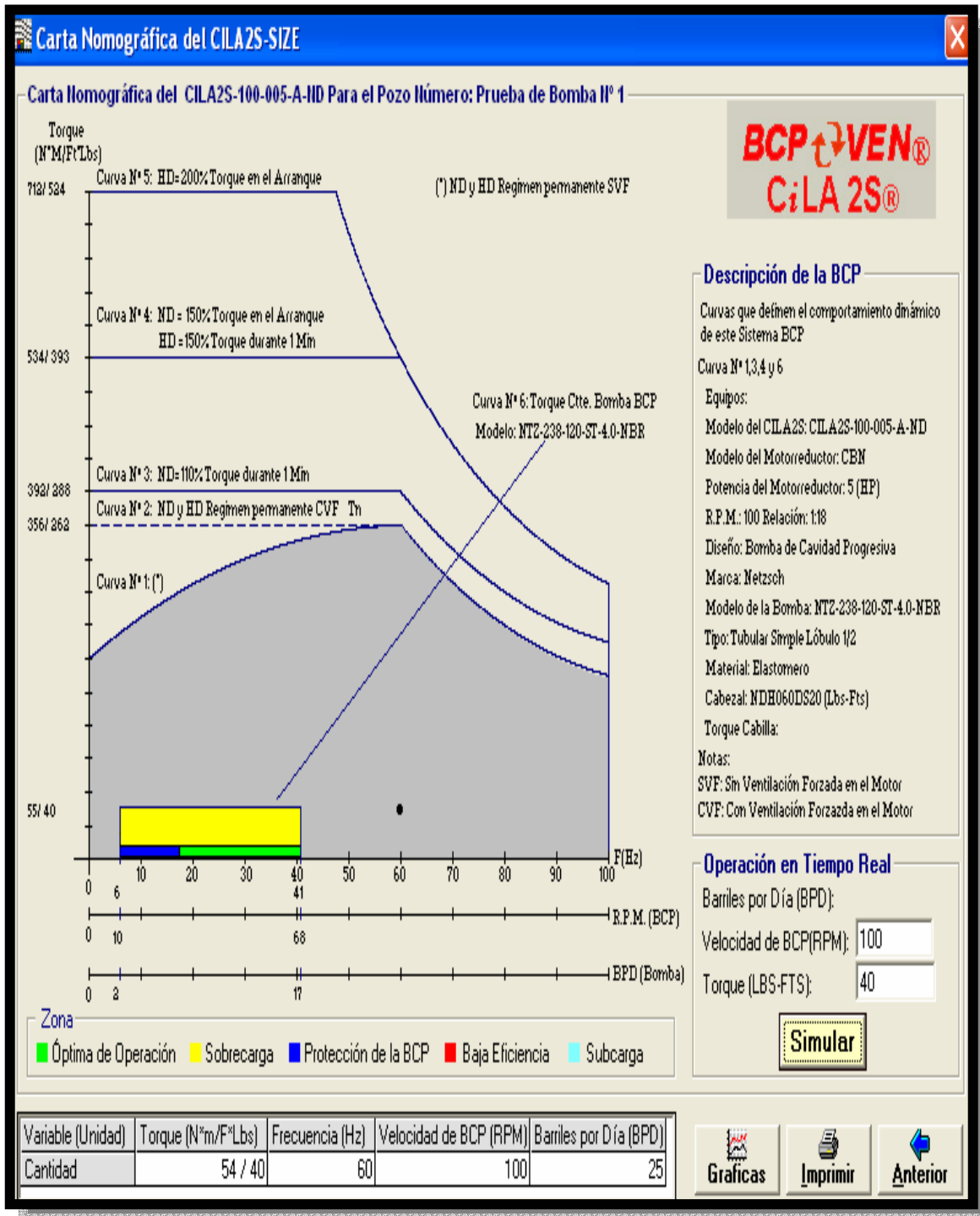


Figura 4.8.- Carta Nomográfica obtenida del CILA 2S para la bomba NTZ238*120ST4.0 P8 a 100 RPM.

Fuente: Software BCPVEN.

RPM: 200

CILA 2S-IZE Versión: 1.0

Archivo Edición Herramientas Ayuda

Ingrese los siguientes parámetros...

Datos del Cliente

Nombre de la Empresa: PDVSA

Nombres y Apellido(s) del Usuario: Betzy Monasterio y Franklin Maldonado

Número del Pozo: Prueba de Bomba N° 1

Descripción de los Equipos:

Datos de Instalación de la BCP

Método de Levantamiento: Bomba de Cavidad Progressiva

Profundidad a Instalar la BCP (Pies): 1470

Viscosidad del Crudo (Cps): 13

Cantidad de Barriles a Producir (Bpd): 40

Velocidad Mínima de Operación (RPM): 10

Diámetro de la Tubería ("): 2 3/8

Trq. Cabilla(Lbs.Fts):

Hora: 04:56:00 p.m.
Fecha: 07/06/2003

Característica del Método de Levantamiento

Fabricante: Netzsch

Modelo de la Bomba: NTZ-238-120-ST-4.0-NBR

Geometría: Simple Lóbulo 1/2

Configuración: Tubular

Caudal (BPD@100RPM): 25,16

Elevación Máxima(Fts): 3960

Tipo de Material (Estator): Elastomero

Ingrese la Fórmula: NBR

Cabezal: NDH060DS20

Cabezal de Rotación (Hp): 10 - 060

Aplicación: Motorreductor

Carga Axial (Libras): 20.000

Valores Nominales del CILA2S-100

Potencia (HP): 5

Trabajo: Uso Normal

Modelo del CILA 2S: CILA2S-100-005-A-ND

Valores Nominales del Motorreductor

Fabricante: Emerson Electric

Velocidad (RPM): 200

Relación: 1:9

Módulo: CBN

Ventilación: Sin V. Forzada

Soluciones Inteligentes

Buscar Graficar Cancelar

Figura 4.9.- Datos suministrados al CILA 2S para desarrollo de Carta Nomográfica a 200 RPM.

Fuente: Software BCPVEN.

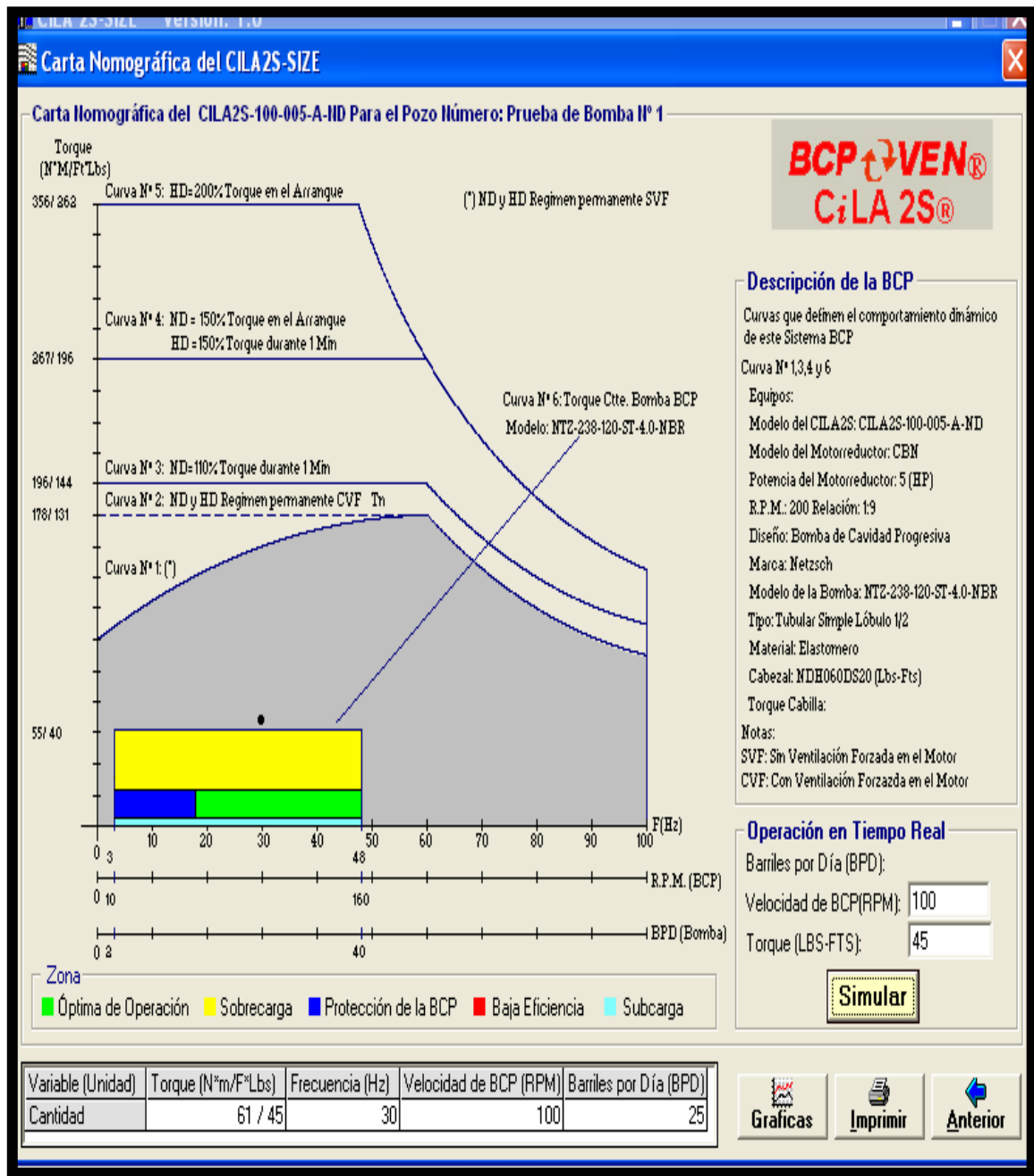


Figura 4.10.- Carta Nomográfica obtenida del CILA 2S para la bomba NTZ238*120ST4.0 P8 a 200 RPM.
Fuente: Software BCPVEN.

RPM: 250

CILA 2S-SIZE Versión: 1.0

Archivo Edición Herramientas Ayuda

Ingrese los siguientes parámetros...

Datos del Cliente

Nombre de la Empresa: PDVSA

Nombre(s) y Apellido(s) del Usuario: Betsy Monasterio y Franklin Maldonado

Número del Pozo: Prueba de Bomba N° 1

Descripción de los Equipos:

Datos de Instalación de la BCP

Método de Levantamiento: Bomba de Cavidad Progressiva

Profundidad a Instalar la BCP (Pies): 1764

Viscosidad del Crudo (Cps): 13

Cantidad de Barriles a Producir (Bpd): 40

Velocidad Mínima de Operación (RPM): 10

Diámetro de la Tubería ("): 2 3/8

Trq. Cabilla(Lbs.Fts):

Hora: 05:25:57 p.m.
Fecha: 07/06/2003

Característica del Método de Levantamiento

Fabricante: Netsch

Modelo de la Bomba: NTZ-238-120-ST-4.0-NBR

Geometría: Simple Lóbulo 1/2

Configuración: Tubular

Caudal (BPD@100RPM): 25,16

Elevación Máxima(Fts): 3960

Tipo de Material (Estator): Elastomero

Ingrese la Fórmula: NBR

Cabezal: NDH060DS20

Cabezal de Rotación (Hp): 10 - 060

Aplicación: Motorreductor

Carga Axial (Libras): 20.000

Valores Nominales del CILA2S-100

Potencia (HP): 5

Trabajo: Uso Normal

Modelo del CILA 2S: CILA2S-100-005-A-ND

Valores Nominales del Motorreductor

Fabricante: Emerson Electric

Velocidad (RPM): 250

Relación: 1:18

Módulo: CBN

Ventilación: Sin V. Forzada

Soluciones Inteligentes

C:\Documents and Settings\Alexis Arteaga\Escritorio\Tesis Muchachos\NTZ238120ST4.0\Bar 40.BCP
Fecha: 07/06/2003 Hora: 04:31:52 p.m.

Buscar Graficar Cancelar

Figura 4.11.- Datos suministrados al CILA 2S para desarrollo de Carta Nomográfica a 250 RPM.

Fuente: Software BCPVEN.

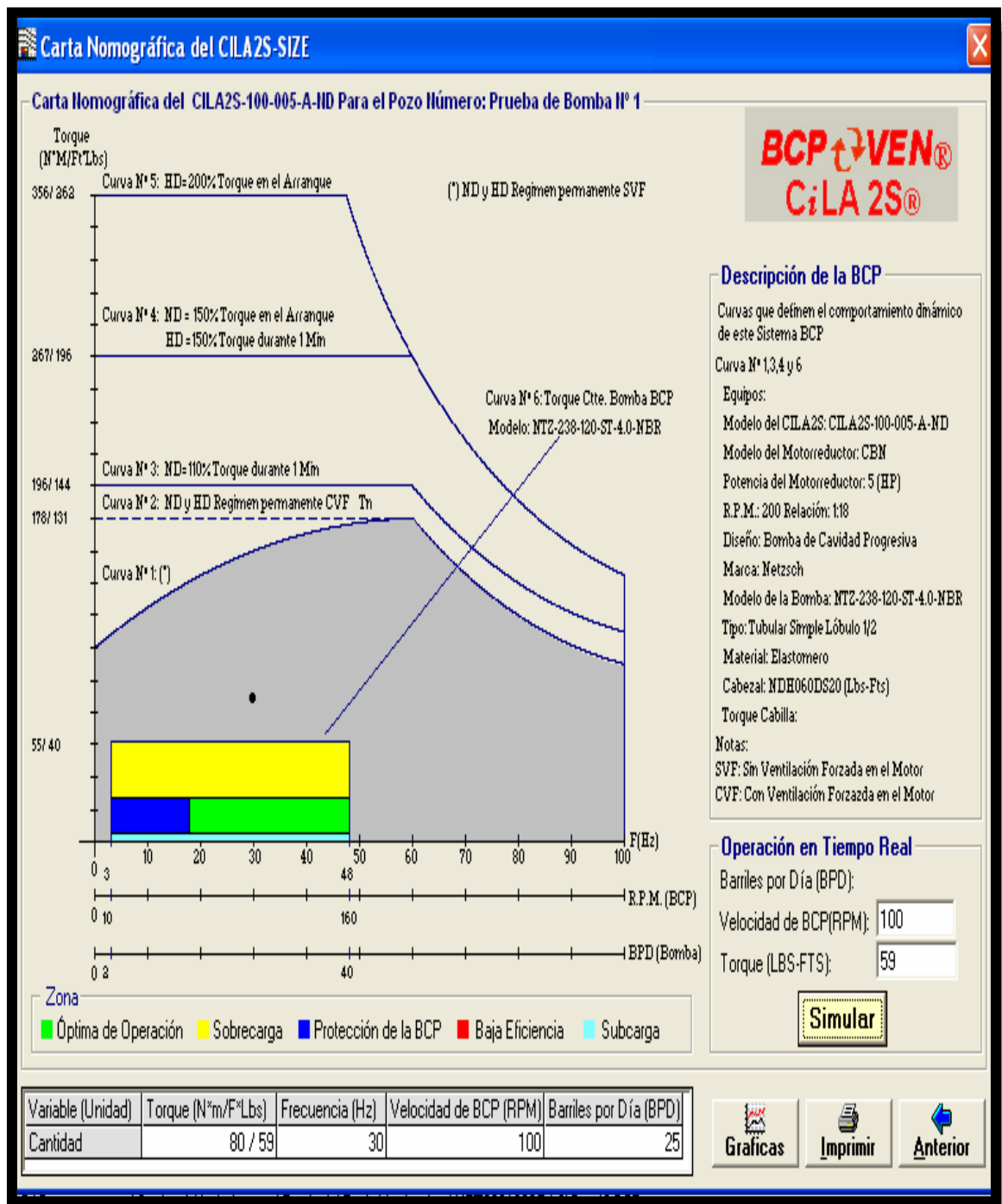


Figura 4.12.- Carta Nomográfica obtenida del CILA 2S para la bomba NTZ238*120ST4.0 P8 a 250 RPM.

Fuente: Software BCPVEN.

En la figura 4.8, se observa que la bomba de cavidades progresivas a 100 rpm se encuentra operando fuera del rango óptimo de operación, esto se debe a que la velocidad de rotación es muy baja y no existe el suficiente contacto entre el rotor y el estator evitando que el elastómero se hinche lo suficiente como para aumentar la eficiencia de la bomba, ocasionando un deslizamiento del fluido en las paredes del estator y un posible arenamiento en la bomba si se instala en pozos con estas condiciones, trayendo como consecuencia la disminución de la vida útil de la bomba y en consecuencia la baja productividad del pozo.

En la figura 4.10, se observa que al incrementar la velocidad de rotación de la bomba a 200 rpm, la bomba se acerca al rango óptimo de trabajo, sin embargo, se muestra que la bomba entraría a trabajar en sobrecarga, en donde empezaría a producir un caudal mayor al que puede operar la bomba, lo cual como consecuencia una mayor presión en la descarga, esto teóricamente originará un desgaste del elastómero, afectando el rendimiento del mismo.

En la figura 4.12, se presenta un incremento en el torque de la bomba de cavidades progresivas ya que el aumento de la velocidad de rotación a 250 rpm, esto genera un mayor contacto entre el rotor y el estator causando un aumento en la eficiencia de la bomba y un acercamiento al rango óptimo de operación de la misma.

Se observa en los tres casos (Fig. 4.8, 4.10 y 4.12), como a medida que aumentan los rpm para un mismo modelo de bomba el punto de operación se acerca cada vez más al rango óptimo de trabajo, esto indica que se deben variar ciertos parámetros de completación como lo es la tasa de producción y el índice de productividad para lograr la optimización del pozo y de la bomba.

Un incremento en el torque ajustado a los datos de completación del pozo en donde se utilizará este modelo de bomba hará que la misma opere a mejores condiciones y sucesivamente aumentará la cantidad de barriles /día a producir.

Modelo de Bomba NTZ 278*120 ST 14.0 P8**RPM: 200**

Datos suministrados para desarrollo de Cartas Nomográficas a través del Software de Controlador Inteligente de Levantamiento Subsuelo-Superficie (CILA 2S). (ver figuras 4.11, 4.13 y 4.15 respectivamente), obtenidos del Campo Tía Juana. PDVSA.

CILA 2S-SIZE Versión: 1.0

Archivo Edición Herramientas Ayuda

Ingrese los siguientes parámetros...

Datos del Cliente

Nombre de la Empresa: PDVSA

Nombre(s) y Apellido(s) del Usuario: Betzy Monasterio y Franklin Maldonado

Número del Pozo: Prueba de Bomba N° 3

Descripción de los Equipos:

Datos de Instalación de la BCP

Método de Levantamiento: Bomba de Cavidad Progresiva

Profundidad a Instalar la BCP (Pies): 1470

Viscosidad del Crudo (Cps): 13

Cantidad de Barriles a Producir (Bpd): 100

Velocidad Mínima de Operación (RPM): 10

Diámetro de la Tubería ("): 2 7/8

Trq. Cabilla(Lbs.Fts):

Hora: 06:03:25 p.m.
Fecha: 07/06/2003

Característica del Método de Levantamiento

Fabricante: Netzsch

Modelo de la Bomba: NTZ-278-120-ST-14-NBR

Geometría: Simple Lóbulo 1/2

Configuración: Tubular

Caudal (BPD@100RPM): 88,06

Elevación Máxima(Fts): 3960

Tipo de Material (Estator): Elastomero

Ingrese la Fórmula: NBR

Cabezal: NDH060DS20

Cabezal de Rotación (Hp): 10 - 060

Aplicación: Motorreductor

Carga Axial (Libras): 20.000

Valores Nominales del CILA2S-100

Potencia (HP): 10

Trabajo: Uso Normal

Modelo del CILA 2S: CILA2S-100-010-A-ND

Valores Nominales del Motorreductor

Fabricante: Emerson Electric

Velocidad (RPM): 200

Relación: 1:17,7

Módulo: CBN

Ventilación: Sin V. Forzada

Soluciones Inteligentes

C:\Documents and Settings\Alexis Arteaga\Escritorio\Tesis Muchachos\NTZ238120ST4.0\Bar 40.BCP
Fecha: 07/06/2003 Hora: 04:31:52 p.m.

Buscar Graficar Cancelar

Figura 4.13.- Datos suministrados al CILA 2S para desarrollo de Carta Nomográfica a 200 RPM.

Fuente: Software BCPVEN.

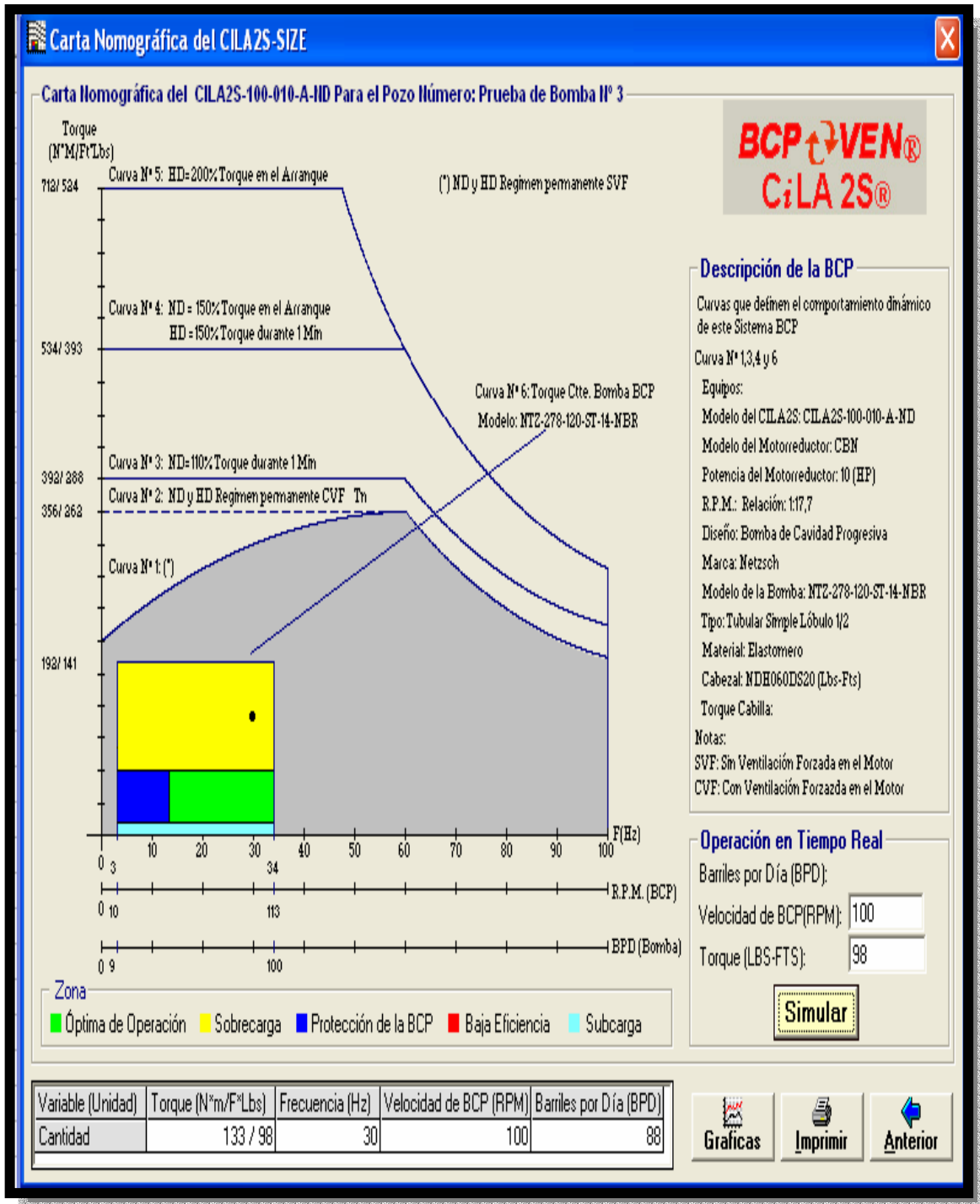


Figura 4.14.- Carta Nomográfica obtenida del CILA 2S para la bomba NTZ278*120ST14.0 P8 a 200 RPM.
Fuente: Software BCPVEN.

RPM: 200

CILA 2S-SIZE Versión: 1.0

Archivo Edición Herramientas Ayuda

Ingrese los siguientes parámetros...

Datos del Cliente

Nombre de la Empresa: PDVSA

Nombre(s) y Apellido(s) del Usuario: Betzy Monasterio y Franklin Maldonado

Número del Pozo: Prueba de Bomba N° 3

Descripción de los Equipos:

Datos de Instalación de la BCP

Método de Levantamiento: Bomba de Cavidad Progressiva

Profundidad a Instalar la BCP (Pies): 1764

Viscosidad del Crudo (Cps): 13

Cantidad de Barriles a Producir (Bpd): 160

Velocidad Mínima de Operación (RPM): 10

Diámetro de la Tubería ("): 2 7/8

Trq. Cabilla(Lbs.Fts):

Hora: 06:05:23 p.m.
Fecha: 07/06/2003

Característica del Método de Levantamiento

Fabricante: Netzsch

Modelo de la Bomba: NTZ-278-120-ST-14-NBR

Geometría: Simple Lóbulo 1/2

Configuración: Tubular

Caudal (BPD@100RPM): 88,06

Elevación Máxima(Fts): 3960

Tipo de Material (Estator): Elastomero

Ingrese la Fórmula: NBR

Cabezal: NDH060DS20

Cabezal de Rotación (Hp): 10 - 060

Aplicación: Motorreductor

Carga Axial (Libras): 20.000

Valores Nominales del CILA2S-100

Potencia (HP): 10

Trabajo: Uso Normal

Modelo del CILA 2S: CILA2S-100-010-A-ND

Valores Nominales del Motorreductor

Fabricante: Emerson Electric

Velocidad (RPM): 250

Relación: 1:7,1

Módulo: CBN

Ventilación: Sin V. Forzada

Soluciones Inteligentes

C:\Documents and Settings\Alexis Arteaga\Escritorio\Tesis Muchachos\NTZ238120ST4.0\Bar 40.BCP
Fecha: 07/06/2003 Hora: 04:31:52 p.m.

Buscar Graficar Cancelar

Figura 4.15.- Datos suministrados al CILA 2S para desarrollo de Carta Nomográfica a 250 RPM.

Fuente: Software BCPVEN.

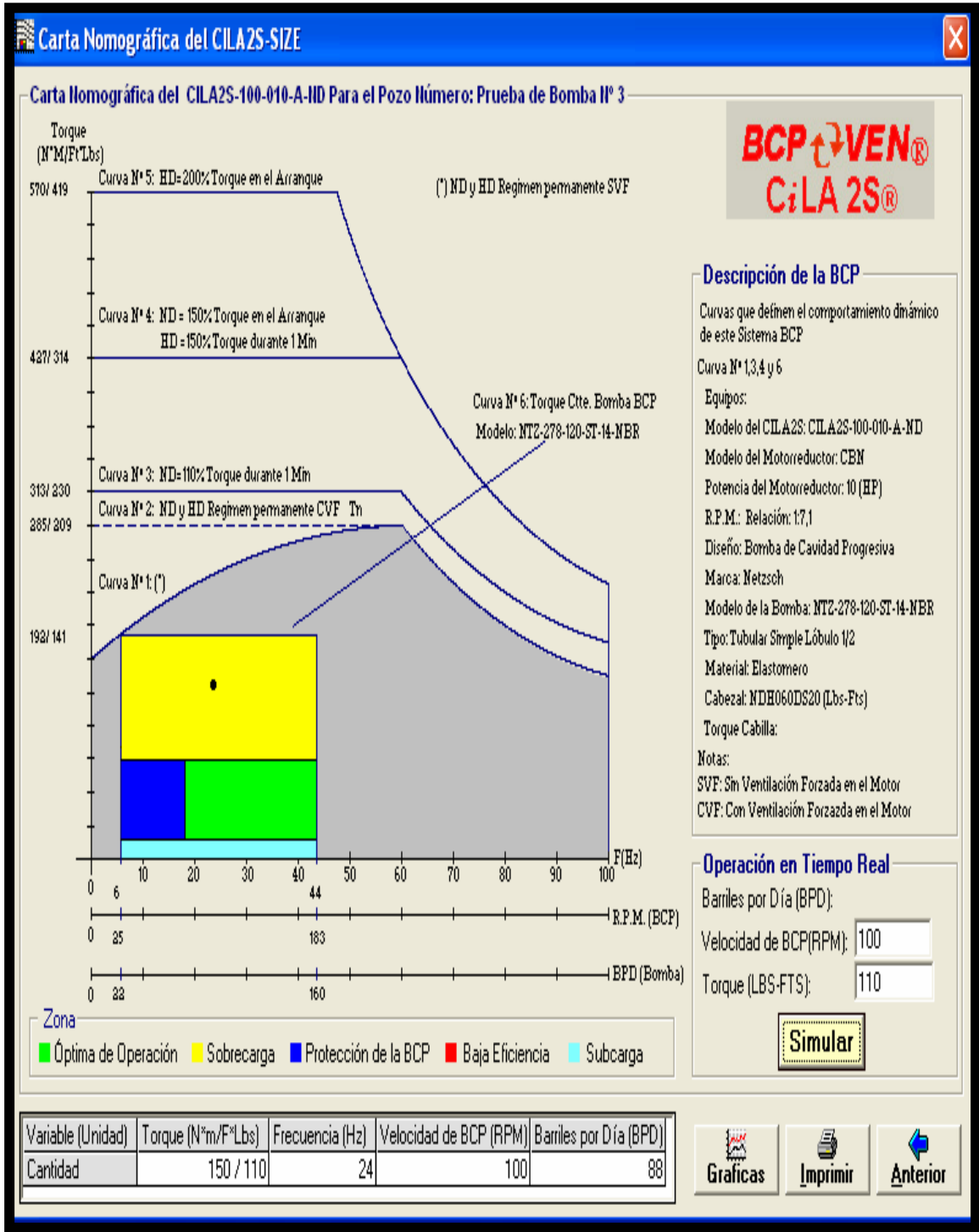


Figura 4.16.- Carta Nomográfica obtenida del CILA 2S para la bomba NTZ278*120ST14.0 P8 a 250 RPM.
Fuente: Software BCPVEN.

En la figura 4.14, se observa que para una velocidad de 200 rpm el punto de operación de la bomba se encuentra en el rango de trabajo a pesar de que esta en la zona de sobrecarga, esto implica que aunque la bomba puede producir en esta zona, podría ocasionar un daño a la misma lo cual traería como consecuencia una disminución de la producción. Al estar en la zona de sobrecarga la bomba necesitara una mayor presión para levantar la columna de fluido, de manera que se podría exceder la máxima presión de operación de la bomba la cual la afectaría de manera irreversible, dañando el elastómero y deformando el conjunto rotor estator.

En la Figura 4.16, a una velocidad de rotación de 250 rpm se muestra que el punto de operación se aleja un poco mas de la zona óptima de trabajo generando de esta manera un aumento en el torque de la bomba, esto se debe al hinchamiento del elastómero que se produce por el aumento de la temperatura al incrementarse el roce entre el rotor y el estator. También se observa una disminución del caudal de la bomba, ya que al hincharse el elastómero demasiado disminuye la holgura del conjunto rotor estator lo que trae como consecuencia un aumento de presión y por ende un torque muy elevado, el cual ocasionaría problemas en la sarta de cabillas y en el sistema de bombeo.

Para evitar estos inconvenientes en la operación de la bomba es necesario la disminución del torque, manteniendo los demás parámetros de producción constantes hasta llegar a la zona óptima de operación, esto garantizaría un excelente desenvolvimiento de la bomba lo cual alargaría su vida útil.

4.5.- RESULTADOS OBTENIDOS DEL BANCO DE PRUEBA CON SIMULADOR CILA 2S. CURVAS DE EFICIENCIA.

Modelo de Bomba NTZ 238*120ST 4.0 P8 (ver figura 4.17)

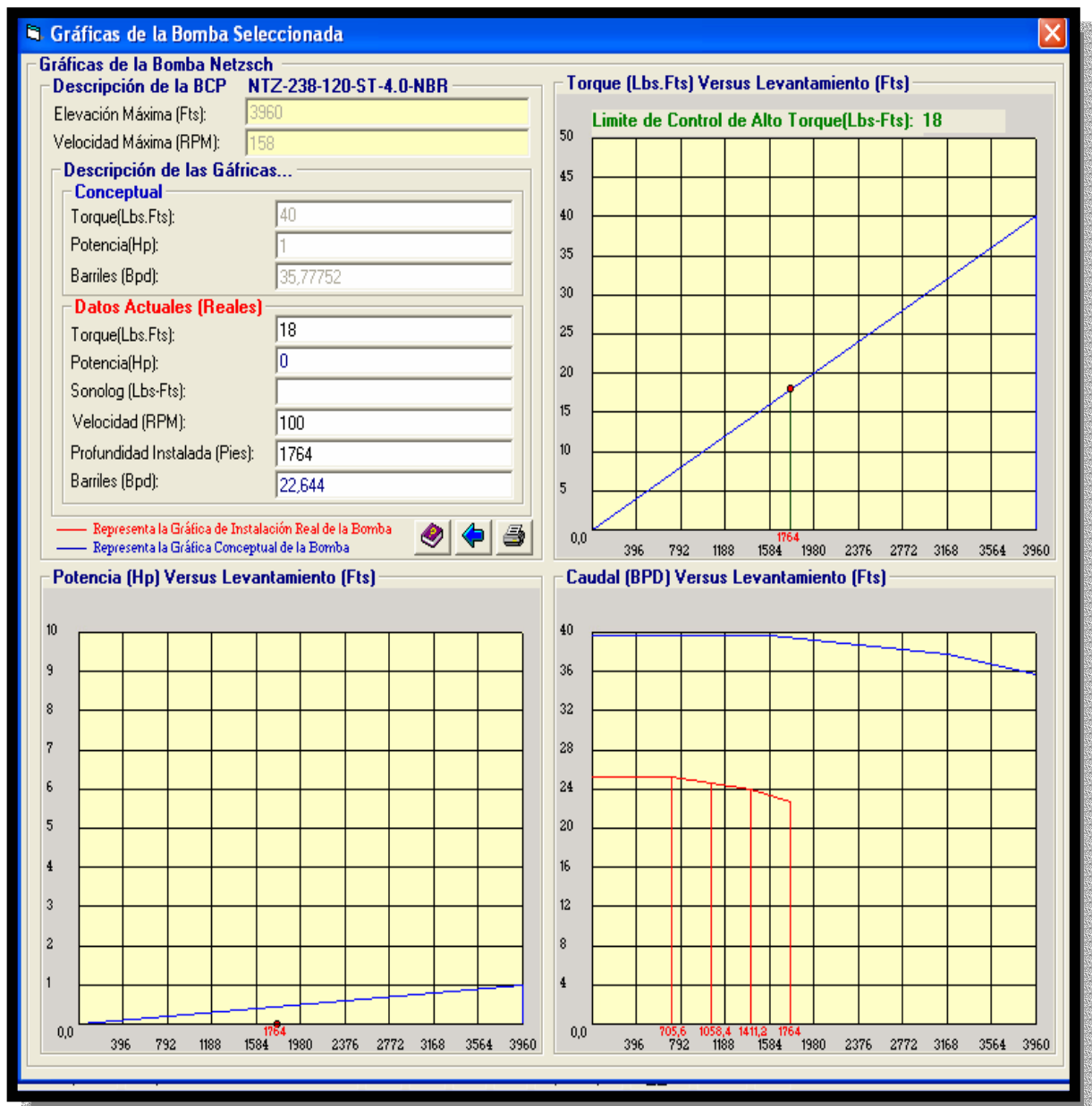


Figura 4.17.- Curvas de Eficiencia Obtenidas a través del CILA 2S para la bomba NTZ 238*120 ST 4,0 P8.

Fuente: Software BCPVEN.

En las figura 4.17 se observan las graficas obtenidas a través del simulador CILA 2S, en donde se generan la curva de Caudal, Potencia y Torque. En cuanto a la curva de Caudal Versus Levantamiento se observa que para una profundidad máxima de instalación de 1764 se obtiene el caudal mínimo que puede producirse con esta bomba, lo que permite variar la tasa de producción hasta un máximo valor permisible para este modelo de bomba (NTZ238120*ST 4.0 P8). A medida que aumenta la profundidad el caudal disminuye, ya que se está llegando a la profundidad máxima de levantamiento de la bomba

En la grafica de torque versus levantamiento se observa que para una profundidad de 1764 el mayor valor permisible de Torque es de 18 lbs/ft, y la línea horizontal subrayada con fuente de color verde representa la línea de control de Torque, que indica una zona de operación de la que no es recomendable salir debido a que disminuiría el tiempo de vida útil de la bomba.

En la grafica de Potencia vs. Levantamiento se observa el requerimiento de potencia de una bomba a la profundidad máxima de asentamiento. En ella se obtiene para diferentes niveles de profundidad la potencia a la que puede operar la bomba. Garantizando de esta manera un esfuerzo mínimo de uso dado a la bomba.

De estos tres análisis se verifica la importancia de este software en un Banco de Prueba, ya que el mismo permite obtener curvas que sirven para predecir el futuro comportamiento de la bomba, a diferencia de otros bancos que no poseen esta ventaja de predicción y comportamiento real.

Modelo de Bomba NTZ 278*120 ST 14.0 P8. Curvas de Eficiencia obtenidas a través del simulador (ver figura 4.18)

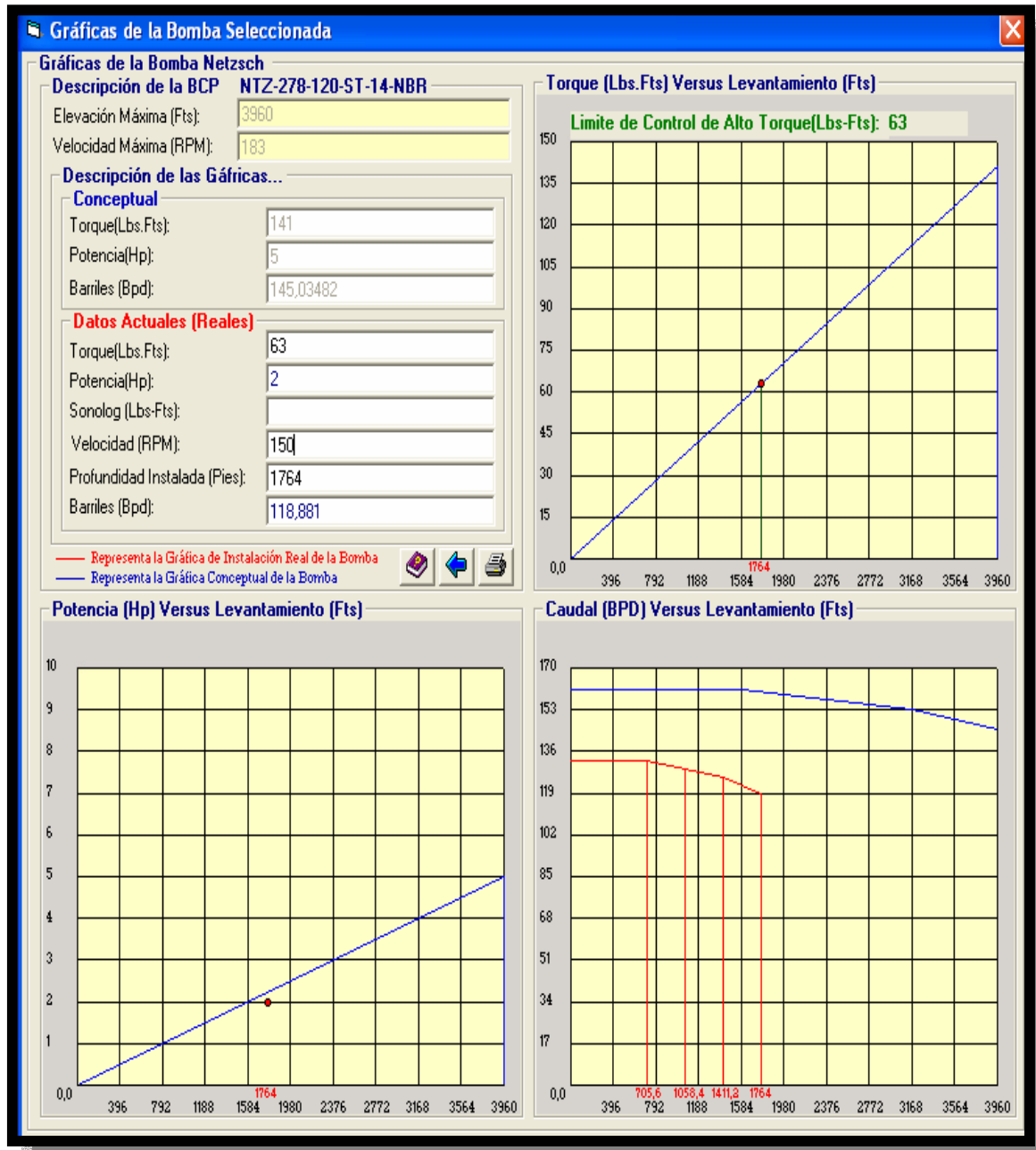


Figura 4.18.- Curvas de Eficiencia Obtenidas a través del CILA 2S para la bomba NTZ 278*120 ST 14,0 P8.

Fuente: Software BCPVEN.

De igual manera la figura 4.18 muestra las diferentes curvas que se obtienen a través del CILA 2S a 150 revoluciones por minuto de la bomba modelo NTZ278120ST14. En cuanto a la grafica de caudal vs. levantamiento obviamente se observa que a medida que crece la profundidad el caudal disminuye debido a que para la bomba es más difícil la producción a mayor profundidad..

Se muestra en la gráfica de potencia la variación en aumento de la misma ya que se esta teniendo una mayor cantidad de RPM, esto sin duda genera un aumento en la potencia, considerando una bomba un poco mas grande que la anterior con una capacidad mayor de producción, que requiere mas torque y potencia.

Para la curva de control antitorque se observa que el mismo no debe pasar de la zona de control generada a través del punto máximo de instalación y el corte con la grafica. Este parámetro es de gran importancia, porque un torque muy elevado en la bomba hará que la misma en casos muy severos el giro del rotor puede llegar a desgarrar al estator causando su destrucción.

CONCLUSIONES

- Se debe tomar en cuenta en el diseño y construcción de un banco de prueba la correcta ubicación de su instrumentación y del banco de prueba como tal.
- Los ensayos de pruebas deben realizarse a una velocidad cercana a la de trabajo en campo, de manera de simular la misma velocidad de accionamiento que tendría la bomba en el pozo.
- La válvula de seguridad es indispensable cuando se verifica un alivio de presión a través de una conexión directa, para evitar que se alcancen presiones superiores a las presiones de diseño de la bomba, tuberías y demás elementos del banco.
- Un protocolo de prueba nos garantiza la correcta utilización del banco de pruebas para evitar contratiempos, accidentes o errores de medición de alguna de las variables involucradas en el procedimiento de realización de las curvas del banco de prueba.
- Al incrementar la velocidad de rotación de una bomba existe un mayor contacto entre el conjunto rotor-estator, lo que produce un hinchamiento en el elastómero, generando un menor deslizamiento del fluido y en consecuencia una mayor eficiencia volumétrica.
- El punto de operación se acerca mas al rango de trabajo a medida que aumentan las rpm a un mismo modelo de bomba.
- Las curvas de eficiencia y el desarrollo de las Cartas Nomográficas a través del software de aplicación CILA 2S, permite predecir el comportamiento real de la bomba y la efectiva aplicación de un modelo de bomba determinado.

- Un control de torque es esencial para evitar que un giro del rotor sea tan grande que puede llegar a desgarrar al estator causando su destrucción.

RECOMENDACIONES

- Revisar los planos del Banco de Prueba antes de ser implementado por alguna compañía para evitar inconvenientes a la hora de su fabricación.
- Ubicar el Banco de Prueba en una zona en donde no existan factores que puedan dañar el elastómero de la bomba.
- Utilizar un fluido con una viscosidad cercana al fluido presente en el pozo, con el fin de obtener en banco de prueba resultados próximos a la realidad analizada.
- Efectuar una adecuada selección el elastómero ya que es fundamental para garantizar el buen desempeño de la bomba, evitando el fenómeno de hinchamiento y la disminución de la dureza del material.
- Las pruebas deben llevarse a cabo tomando en cuenta la temperatura del fluido en el pozo en donde será instalada la bomba.
- Es indispensable realizar pruebas del variador antes de ser instalado al banco de prueba, para verificar que no exista ninguna falla y se puedan dañar las bombas por un mal ajuste.
- Realizar corridas en frío del CILA 2S antes de ser instalado al banco, para evitar alguna falla del equipo y una futura pérdida de la bomba.
- Extender el protocolo de prueba para ser utilizado por cualquier tipo de bomba en diferentes compañías suplidoras de este equipo.

- Instalar en todos los bancos de prueba el simulador CILA 2S, ya que el mismo permitirá predecir de manera real el comportamiento de la bomba.
- Todas las BCP deben operar en la zona óptima de trabajo de la carta Nomográfica.
- Mantener actualizado el sistema según el avance en la tecnología de levantamiento artificial.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- NETZSCH, **“Manual de sistemas PCP”**, 2.c Revisión, 2001.
- NETZSCH Nemo, **“PCP & ESPCP NETZSCH downhole pumps catalog”**, Oilfield Division, 1996.
- Sanchez, S., Maggiolo, R y Marquez, R., **“Producción de hidrocarburos”**, Maracaibo, Venezuela: Universidad del Zulia, febrero 1999.
- Carrillo C, A. y González I, C., **“Análisis del comportamiento de equipos utilizados en el sistema de levantamiento artificial bombeo de cavidades progresivas (BCP), en los campos Bare y Arecuna de la unidad de extrapesado PDVSA - San Tome”**. Tesis de ingeniería de petróleo, Universidad Central de Venezuela, Diciembre de 2002.
- PDVSA, **“Especificaciones para bancos de pruebas de bombas de cavidades progresivas”**. PDVSA. INTEVEP.
- NETZSCH, **“Procedimiento de prueba para conjunto rotor + estator”**. Julio de 2002.
- **“Catalogo técnico BV-C1.0 CILA 2S-100 controlador inteligente de levantamiento artificial subsuelo superficie”**. BCP de Venezuela, 2002.
- **“Procedimiento para instalación de bombas de cavidades progresivas (BCP)**. National oilwell de Venezuela, C.A.
- Arnold, K. and Stewart, M. **“Surface Productions Operations”**. Houston, Tx. USA: Gulf publishing Company, 1986.

- Naranjo A., Abel. **“Manejo de Producción en Campos de Petróleo”**. Medellín: Universidad Nacional de Colombia, Ingeniería de Petróleos, 1992.
- Cardozo N, Nelson. **“Mil términos de perforación”**, Maracaibo, Venezuela: Universidad del Zulia, Mayo 1983.
- <http://www.moyno.com>
- <http://www.progressingcavity.com>

ANEXOS

INSTALACIÓN, PUESTAS EN SERVICIO Y MANTENIMIENTO DE LAS BCP.

INSTALACIÓN

La instalación de las BCP es rápida y sencilla y se efectúa utilizando material corriente y estándar en los servicios petrolíferos.

Consideraciones de orden en general

La bomba debe descenderse por debajo del nivel dinámico de manera a que tenga una presión suficiente para operar eficazmente. Por otra parte el estator debe lubricarse de manera permanente para evitar así todo riesgo de deterioro del elastómero. Se recomienda disponer de un registro del nivel anular.

En presencia de una RGP (relación gas/crudo) importante, se recomienda descender la bomba por debajo del nivel estimado del punto de burbuja o justo por encima de éste. Se obtiene de esta forma un mejor rendimiento en la producción de crudo y una mejor lubricación de la bomba.

Verificaciones pre-operacionales

El pozo debe limpiarse y liberarse de toda arena hasta 2 o 3 metros por debajo del nivel supuesto de instalación de la bomba.

Sin embargo, conviene asegurarse que las conexiones y reducciones necesarias se encuentran en el lugar para establecer las conexiones siguientes:

-
-
- estator a tubería de producción
 - tubería de producción a cabezal de accionamiento
 - rotor a varilla de accionamiento
 - varilla de accionamiento a árbol motor.

Un número de conexiones de varillas (macho-hembra) y varillas cortas (pony rods) deberán preverse, con el fin de compensar la diferencia de longitud entre la tubería de producción y las varillas de succión, cuando se instala el cabezal de accionamiento. Los proveedores de bombas especifican los diámetros de roscado de sus materiales.

Descenso del estator y de las tuberías de producción

Control

- efectuar mediciones de todo material transportado al fondo del pozo:
- el estator desde el punto de tope del rotor situado en la extremidad inferior roscada a la base del estator, hasta el punto alto del estator;
- las tuberías de producción a medida de sus enganches;
- las conexiones Té, que deben montarse entre el juego de tuberías de producción y el cabezal de accionamiento.
- anotar todas las medidas efectuadas.

Descenso

- Fijar la extremidad inferior de protección del rotor a la base del estator.
- Limpiar y engrasar los pasos de rosca de las tuberías de producción, para evitar dificultades de roscado. Esto se recomienda particularmente en las operaciones efectuadas en pozos de crudo pesado y en zonas frías.
- Conectar el estator a la primera tubería de producción.
- Descender la tubería de producción a la profundidad escogida.

-
-
- Montar el cabezal de suspensión al cabezal del pozo.
 - Montar la Té para el empalme a la conducción de superficie.
 - Roscar la conexión de adaptación al cabezal de accionamiento.

En algunos casos puede fijarse a la base del estator:

1. una tubería de producción con un tapón de anclado;
2. un separador estático.

Descenso del rotor y varillas de accionamiento

Número de Varillas, varillas cortas, acoplamientos

Para determinar el número de varillas de acoplamiento requeridas se debe:

- Dividir la longitud de las tuberías de producción si está expresada en pies entre 25 o entre 7,6 si está expresado en metros.
- Retener el número de longitud de las varillas de succión necesarios para constituir la sarta de varillas
- Añadir varillas de succión suplementarias para soportar la sarta de varillas. Estas varillas temporales permiten determinar, después del descenso y posicionamiento del rotor, la longitud compuesta de varillas cortas y las sub-uniones para compensar la distancia entre la varilla superior y el cabezal de accionamiento.
- Para los pozos equipados de un cabezal de accionamiento a árbol hueco, ajustar la longitud total con una varilla pulida.

Descenso del rotor y de las varillas

- Conectar el rotor a la primera varilla.
- Descender la sarta de varillas de succión, apretándolos al par API estándar.

-
-
- Después de haber roscado la última varilla, descender muy lentamente y controlar si hay rotación de la sarta de varillas, indicación de la entrada del rotor en el estator.
 - Descender de 1 metro poco más o menos y remontar lentamente. La rotación, en sentido contrario, confirma que el rotor ha penetrado en el estator.
 - Terminar lentamente el descenso del rotor y anotar el peso suspendido de manera a localizar el momento en el que el rotor ha penetrado en el estator.
 - Izar el rotor muy lentamente, de manera de liberarlo de su punto de apoyo (subida del peso suspendido). Marcar (A) la varilla al nivel de la Té o de la conexión situada por debajo del cabezal de accionamiento siguiente. Repetir la operación como verificación.
 - Izar la sarta de varillas de manera de retirar las varillas suplementaria.
 - Medir la distancia A entre la marca y la parte inferior de las varillas que se acaban de retirar.

Ajuste del posicionamiento del rotor

Hay que tomar en cuenta:

- La tracción suplementaria engendrada sobre las varillas por el incremento de presión aportado por la bomba.
- La distancia medida sobre el cabezal de accionamiento entre la parte inferior del árbol (roscado excluido) y la parte superior del roscado del cabezal de accionamiento.
- La altura de desbloqueo de la base del rotor del punto de apoyo.
- La distancia de alargamiento debido a la dilatación de la varilla de accionamiento causada por la temperatura del pozo cuando la tubería de producción está anclada con un obturador de empaque.

Caso de un cabezal de accionamiento de árbol hueco

- ◆ Introducir la varilla pulida a través del cabezal de accionamiento y a unos 30 centímetros de la base. Seguidamente, colocarla en altura, según los cálculos provisionales.
- ◆ Abridar la varilla de accionamiento por debajo del árbol hueco.
- ◆ Cuando se utiliza una nueva varilla pulida, limpiar las bridas con un disolvente de manera de retirar la protección grasienta que pueda causar un deslizamiento.

Emplazamiento del cabezal de accionamiento y de a motorización

- Se efectuaran las operaciones siguientes:
- Se debe conectar los conductores de potencia al motor y poner este último bajo tensión.
- Cuando el motor gira, verificar que el árbol gira a la derecha cuando se observa hacia el pozo.
- Identificar las conexiones y desconectar.

Emplazamiento

- Adaptar una varilla corta por encima del cabezal de accionamiento.
- Roscar y apretar la unión superior de la sarta de varilla al árbol de accionamiento, que será montado acto seguido sobre la cabeza del pozo.
- Girar lentamente el conjunto asá mostrado.
- Unir la Té y la conducción de superficie.
- Retirar las varillas de succión e instalar la motorización elegido.

Caso de un cabezal de accionamiento de árbol hueco

La varilla pulida debe ser recta y no corroída. Las marcas de útiles y otros defectos superficiales deben evitarse ya que pueden generar daños en la empaquetadura del prensaestopas.

PUESTA EN MARCHA

- Conectar cuidadosamente los conductores de potencia, teniendo en cuenta las identificaciones efectuadas anteriormente
- Verificar la lubricación y estanqueidad de los cojinetes y de los prensaestopas.
- Abrir la válvula de flujo en cabeza de pozo.
- La BCP es operativa.

Procedimientos operatorios

- Poner el motor bajo tensión. Si está equipado de un variador de velocidad, se comenzará a baja velocidad que se irá aumentando progresivamente hasta alcanzar la velocidad programada. Será necesario un cierto lapso de tiempo correspondiendo al llenado de la tubería eductora antes que la producción alcance la superficie.
- La velocidad de giro de la bomba debe ajustarse a la productividad del pozo. En consecuencia, el nivel dinámico o de sumergencia será controlado frecuentemente al inicio de la puesta en marcha.
- Cuando la velocidad óptima se establezca, habrá que mantenerla constante y evitar paradas frecuentes.

En caso de una producción de arena mezclada con el crudo, es preferible disponer de:

1. una gran velocidad de flujo en la tubería de producción;
2. una bomba de gran capacidad girando lentamente (menor a 250 rpm).

GLOSARIOS DE TÉRMINOS

A

AROMÁTICOS: Hidrocarburos con una estructura de anillo, generalmente con un olor aromático distintivo y buenas propiedades solvente.

B

BALANCÍN: El Balancín es un mecanismo de levantamiento artificial, que actúa como un dispositivo mecánico sometido a un movimiento de vaivén en sentido rotativo alrededor de un eje perpendicular a su eje geométrico.

BARRIL (BBL): Es una medida estándar para el petróleo y los productos del petróleo. un barril = 35 galones imperiales = 42 galones US o 159 litros.

BARRILES POR DIA (BPD O B/D): En términos de producción, el número de barriles que produce un pozo en un período de 24 horas, normalmente se toma una cifra promedio de un período de tiempo largo.

C

CARTA NOMOGRÁFICA: Son caretas que se generan para establecer el comportamiento de la BCP dentro de un rango óptimo de trabajo. Nos muestra la ubicación de la bomba en el pozo y sus características en tiempo real.

CENTRALIZADORES: Dispositivos colocados alrededor de la bomba con el fin de centralizarlo.

COJINETE: (almohadilla) Pieza o conjunto de piezas en que se apoya y gira el eje de un mecanismo.

CONTROLES ALGORITMICOS: Son formulas matemáticas y rutinas de control desarrolladas por la empresa para ejecutar Software de Aplicación para sistemas de levantamiento artificial tales como BCP – Balancín - Bombeo Jet, etc.

E

EPICICLOIDE: Curva descrita por un punto dado de una circunferencia al rodar ésta sobre el exterior de otra fija.

EPICICLOIDE ESFÉRICA: Es la descrita cuando los planos de las dos circunferencias forman un ángulo constante.

G

GENERATRIZ: Dicho de una línea o de una figura, que por su movimiento engendra, respectivamente, una figura o un sólido geométrico.

H

HÉLICE: Conjunto de aletas helicoidales que giran alrededor de un eje y empujan un fluido, produciéndose en él una fuerza de reacción. Geométricamente, es una curva espacial trazada en la superficie de un cilindro o de un cono, que va formando un ángulo constante con sus generatrices.

HELICOIDAL: Helicoide. En figura de hélice.

HELICOIDE: Superficie alabeada engendada por una recta que se mueve apoyándose en una hélice y en el eje del cilindro que la contiene, con el cual forma constantemente un mismo ángulo.

HIPOCICLOIDE: Línea curva descrita por un punto dado de una circunferencia que rueda dentro de otra fija, conservándose ambas tangentes.

HOLGURA: Espacio suficiente para que pase, quepa o se mueva algo dentro de otra cosa. Espacio vacío que queda entre dos piezas que han de encajar una en otra.

L

LENTICULAR: Parecido en la forma a la semilla de la lenteja.

LÍNEA DE FLUJO: Línea por donde fluye un líquido o gas. En el caso de la línea de flujo del banco de petróleo es aquella por donde pasa el fluido utilizado para probar la bomba.

M

MICROLOGIX 1500: Componente electrónico en donde BCP de Venezuela desarrolla sus Aplicaciones para Sistemas de Levantamiento Artificial.

P

PANEL VIEW 300 MICRO: Es un terminal programable que la empresa usa como interface Hombre – Máquina, para leer data y ejecutar comandos de control tales como arranque- parada de una BCP, programación de controles de torque, etc.

T

TIRISTORES: Componente eléctrico construidos con impurezas llamadas material "N"(ánodo o positivo) y material "P" (cátodo o negativo), todos estos componentes básicamente se relacionan por el tipo de material con el que son construidos; las distintas configuraciones de unión entre estos materiales es lo que diferencia los diversos tipos de Tiristores; por ejemplo, un diodo es la unión de un material "N" con un material "P" y posee dos terminales que conecta cada extremo del material, estos materiales al recibir estimulación eléctrica establecen conexión eléctrica entre sí lo que permite el paso de corriente a través de la unión de estos materiales.

TORQUE: Momento rotacional. Fuerza que aplicada en un eje o en cualquier mecanismo rotacional, produce la rotación o trata de hacerlo rotar. El torque se mide en libra – pie, Joule, Kilogramo – metro, etc.

TORQUE VSD: Es el torque que mide el Variador de Frecuencia al realizar la entrega de potencia y recibir la medición del motor eléctrico

V

VOLTAJE EN 120 VAC: Un voltaje 120 VAC es un voltaje alterno, es como la corriente que se tiene en casa.

VOLTAJE 24 VDC: Un voltaje 24 VDC es un voltaje continuo, es como la corriente entregada por las baterías.

VARIADOR: Sistema eléctrico que permite variar la velocidad y frecuencia de un motor eléctrico, o de cualquier otro equipo que se encuentra en conexión con él.