



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO**

---

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

# **Operación e Intervención de Pozos Petroleros con Bombeo Mecánico**

**INFORME DE ACTIVIDADES PROFESIONALES**

Que para obtener el título de

**Ingeniero Petrolero**

**P R E S E N T A**

José Roberto Hernández Martínez

**ASESOR DE INFORME**

Dr. Nelson Barros Galvis



**Ciudad Universitaria, Cd. Mx., 2018**

## **Dedicatoria**

A mi madre Alejandra.

Por haberme apoyado en todo momento, por adquirir el rol de padre y madre a la vez, por creer en mí, por tus consejos, tus escuchas y todas las virtudes que me inculcaste para lograr este objetivo, te la dedico a ti principalmente por ser la persona más importante en mi vida.

A mi abuela Titis.

Por ser mi segunda madre por tolerarme y educarme como si fuera tu propio hijo, por darme el apoyo a mí y a mi familia en los momentos indicados, por tu cariño y tus detalles, te la dedico porque sin ti nada de mi vida estaría en el lugar y camino correcto.

A mis hermanos y familiares Ale, Carlos, Emilio y Arturo.

Por ser mis compañeros de vida hasta el día de hoy, por aguantar conmigo los momentos difíciles y por compartir los momentos de alegría, por formar parte de mi vida y darle un motivo, se las dedico por conformar esta familia y por saber que estando ustedes nunca estaré solo.

A mi novia Sara.

Por formar parte de mis sueños y hacerlos tuyos, por ser la única persona ajena a mi familia que me aprecia de igual forma, por ser mi mejor amiga y la persona más especial que tengo en mi vida, por estar siempre para mí en cualquier circunstancia por ser mi debilidad y lo que me hace fuerte

A mis tíos Erika y Julio Cesar.

Por escucharme en los momentos de crisis, y por brindarme su apoyo incondicional y comprensión en todo momento, por ser las personas en las que más confío, les agradezco porque están presentes en todos mis recuerdos de felicidad.

A mis tíos Víctor y Anita.

Por inculcarme el deseo de ser Ingeniero Petrolero, por sus consejos y apoyo a lo largo de la licenciatura, por compartir sus experiencias, y por las oportunidades brindadas para una mejor formación.

A mi abuelo Julio Cesar.

Te la dedico porque una de las satisfacciones mas importantes en mi vida era el sentir tu orgullo hacia un logro mío, por ser un ejemplo de éxito y de sabiduría, por darme las ganas y el deseo de llegar a tener alguna de tus virtudes, te la dedico porque se que estas orgulloso de mi.

## Índice

Introducción .....	5
Objetivos del Informe de Actividades .....	5
Descripción de las Actividades .....	6
Marco Conceptual .....	8
Bombeo Mecánico .....	10
Bombeo Mecánico Reciprocante .....	10
Hipótesis del Problema.....	15
Definición del Problema.....	15
Diagnóstico y solución propuesta .....	18
Metodología para el Diseño del Bombeo Mecánico Convencional .....	18
Implementación y Resultados .....	29
Nomenclatura .....	37
Análisis de Resultados .....	38
Usos del EVIC: Intervención y Operación .....	39
Aportes.....	43
Conclusiones .....	44
Recomendaciones.....	46
Referencias .....	47

## Índice de Figuras

Figura 1. Principales Sistemas Artificiales de Producción.....	8
Figura 2. Unidades de Bombeo Mecánico.....	11
Figura 3. Componentes Principales del Bombeo Mecánico Convencional. ....	12
Figura 4. Ciclo de Bombeo Mecánico.....	13
Figura 5. Equipo Varillero de Intervención y Circulación.....	17
Figura 6. Gráfica de profundidad vs gasto de bomba para selección de la unidad bombeo de la barra de succión .....	20
Figura 7. Diagrama de flujo para el diseño del Bombeo Mecánico Convencional .....	28

## Índice de Tablas

Tabla 1. Actividades y Tiempo Laboral .....	7
Tabla 2. Características y Comparaciones de los Principales Sistemas Artificiales...	9

<b>Tabla 3. Tabla datos API</b> .....	21
<b>Tabla 4. Tabla para selección de varillas</b> .....	22
<b>Tabla 5. Características para la Intervención EVIC</b> .....	40

## **Introducción**

En la industria petrolera es necesaria la implementación de sistemas artificiales de producción a aquellos pozos que carecen de energía natural para hacer fluir el hidrocarburo a la superficie. Estos sistemas aportan la energía necesaria para la producción del petróleo.

Para instalar los Sistemas Artificiales de Producción se requiere tener controlado el pozo, por lo que en la industria petrolera se utilizan equipos especiales que facilitan las operaciones.

EVIC (Equipo Varillero de Intervención y Circulación) es uno de estos equipos usado para la intervención del pozo. En este informe de actividades profesionales se discutirá técnicamente: la operación e intervención de los pozos que utilizan un bombeo mecánico.

Considerando que los pozos requieren la intervención e implementación de un sistema de levantamiento mecánico, y en muchos casos presentan alguna falla técnica, nuestro informe se focalizará en la descripción y diagnóstico técnico.

Como consecuencia de los problemas presentados, el informe de actividades profesionales se enfocará en los siguientes objetivos.

### **Objetivos del Informe de Actividades**

- Analizar la operación e intervención del EVIC en un pozo con Bombeo Mecánico productor de aceite.
- Diseñar un sistema de Bombeo Mecánico Convencional y analizar la posible intervención del EVIC, como un caso de análisis académico.

## **Descripción de las Actividades**

En este informe de actividades profesionales uno de los objetivos fue comprender y analizar la operación del EVIC. Por tanto, las actividades desarrolladas en la empresa fueron basadas y contextualizadas en la tecnología llamada EVIC, cuyo propietario es el **Grupo Vordcab S.A. de C.V.**

### **Empresa**

Vordcab es una empresa mexicana dedicada a la prestación de servicios en la industria petrolera desde el año 2002. Esta empresa se encarga de cubrir los aspectos e instalaciones de los equipos SAP (Sistema Artificial de Producción). Proveyendo servicios tales como: análisis, diseño y fabricación de tecnología propia, así como la operación, manejo y monitoreo de los pozos petroleros.

Otros servicios son:

- Extracción e introducción de aparejos de bombeo.
- Fabricación de equipo y piezas industriales.
- Obras civiles e infraestructura en campo.

Durante el periodo laborado en la empresa, se realizaron actividades relacionadas con la intervención e implementación de aparejos de bombeo mecánico en los pozos petroleros. Se participó en las siguientes actividades y operaciones tales como:

- Diseño de las instalaciones de equipos de Bombeo Mecánico.
- Implementación y ensamblaje de bombas mecánicas.
- Participación en el control de pozos y reactivación de pozos marginales por medio del EVIC.
- Formar parte del personal operativo del EVIC.

Estas actividades se pudieron efectuar en distintos pozos ubicados en las ciudades de Tampico-Altamira, Tamaulipas y en la ciudad de Poza Rica, Veracruz.

**Tabla 1. Actividades y Tiempo Laboral**

Actividades	Meses					
	1	2	3	4	5	6
Capacitación	x					
Operación control de pozos		x	x	x	x	x
Instalación Equipo Bombeo		x	x	x	x	x
Diseño de Instalaciones				x	x	x
Inspector Técnico de Reparación					x	x
Técnico Instalador			x	x		
Técnico Operador		x	x	x		
Transportación de equipo		x	x	x	x	x



## Marco Conceptual

En los yacimientos petroleros el hidrocarburo se encuentra sometido a una presión debido a la rocas que lo rodean o algún acuífero asociado, al perforar y crear un pozo hay un cambio de presión y el hidrocarburo migra o fluye hacia puntos de menor presión; cuando la presión es la suficiente y el yacimiento tiene la energía necesaria para hacer fluir a el hidrocarburo a la superficie no se necesita de ningún tipo de levantamiento artificial hasta que esta energía se agota y es cuando entran en función los sistemas artificiales de producción.

Al agotarse la energía natural del yacimiento es necesario extraer el hidrocarburo con sistemas de levantamiento artificial o administrándole energía al yacimiento.

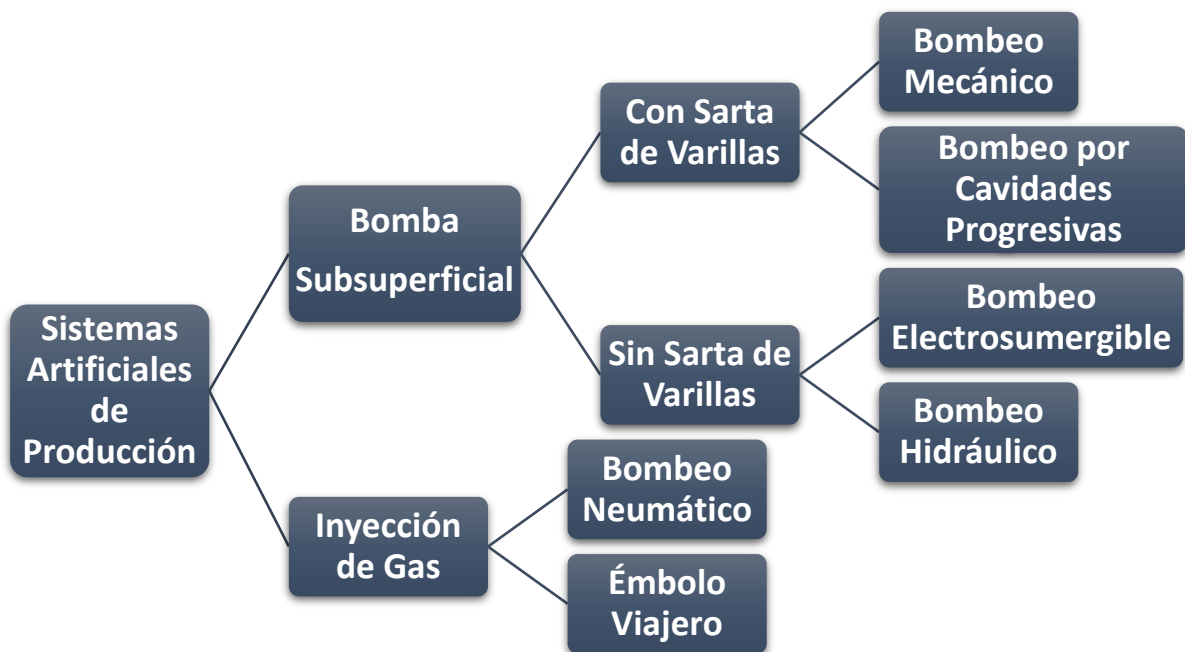


Figura 1. Principales Sistemas Artificiales de Producción.

**Tabla 2. Características y Comparaciones de los Principales Sistemas Artificiales.**

Caracteres	Bombeo Mecánico	Bombeo por Cavidades Progresivas	Bombeo Neumático	Bombeo Hidráulico	Bombeo por Émbolo Viajero
Usos	Es el sistema más usado de producción, debido a su fácil operatividad.	Se limita a pozos con poca profundidad y con bajo gasto de producción.	Usado para gastos de producción altos con alta presión de fondo.	Se usan en pozos que presentan altos gastos, altas profundidades y temperaturas.	Usado con alto contenido de gas y aceite, ayuda a incrementar la eficiencia del flujo.
Diseño	Su diseño está basado en las normas API, para instalación y operación.	Diseño simple de operar, cada pozo cuenta con un sistema individual.	Se requiere del suministro y del gas a alta presión y un espaciamiento entre válvulas.	Diseño simple para recuperar con facilidad la bomba debido a alguna falla.	Su diseño e instalación es simple, el émbolo se ajusta para varios pozos.
Eficiencia	Excelente, cuando la bomba está llena de fluido.	Excelente, con una eficiencia del 70%.	Regular, con un adecuado suministro de gas, aumenta para pozos que requieren poca inyección de gas.	Buena, con un diseño confiable para altos RGA, aumenta si la RGA es baja.	Excelente, si se tiene un pozo de producción estable, ya que usa la energía del pozo.
Costo de Operación	Costos muy bajos para pozos someros.	Bajos costos por la tecnología rotor-estator.	Costos bajos que pueden cambiar debido al mantenimiento y combustible del equipo.	Los costos varían por la corta vida operativa.	Bajos costos.
Problemática	Derrame del fluido en la batería y altas ppm de gases tóxicos.	Altas temperaturas mayores a 120°C.	Se requiere de un compresor adecuado para el suministro del gas.	Requiere control de sólidos.	Émbolo se pega o se cuelga.

## **Bombeo Mecánico**

Este método es el más utilizado como levantamiento artificial. Aproximadamente el 80% de los pozos que cuentan con instalaciones artificiales usan el bombeo mecánico.

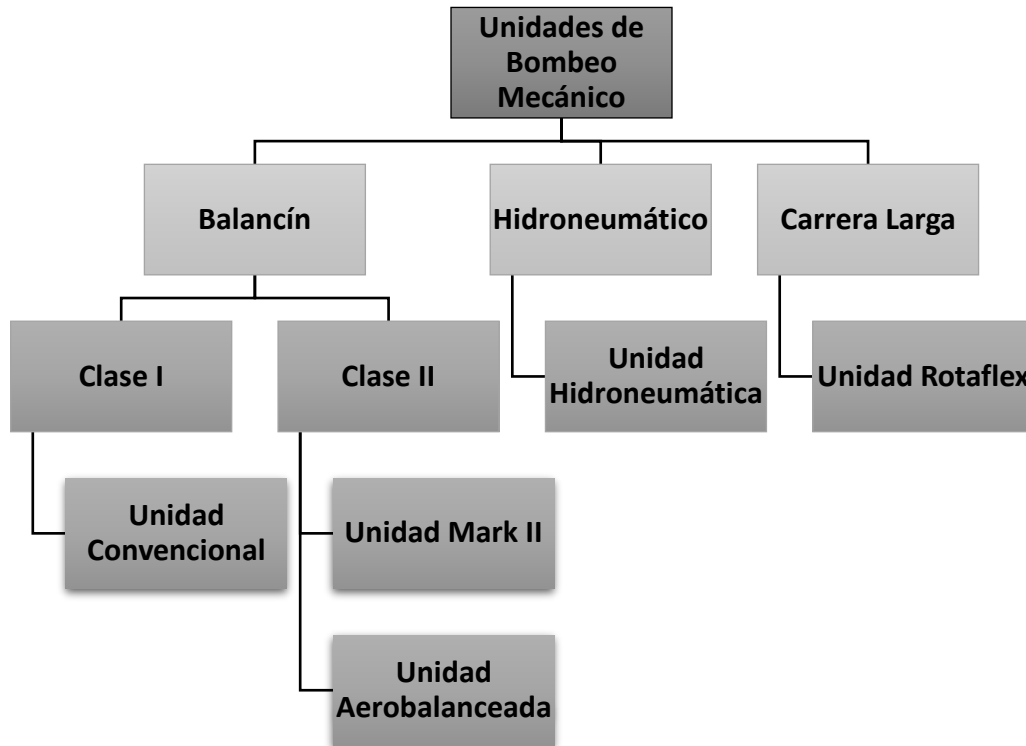
Este método tiene como función extraer los fluidos por medio de la succión y transferencia de una bomba que funciona por un movimiento reciprocante de sube y baja impartido por un balancín o bimba de producción, que permite el movimiento a una sarta de varillas que otorgan la profundidad a la bomba y de ahí hasta la superficie. Están conectadas al pistón de la bomba, que al moverse, la válvula dentro de la bomba permite que el hidrocarburo entre al cilindro y éste fluya a la superficie por medio de la tubería de producción, manteniendo el nivel de la tubería de revestimiento.

### **Bombeo Mecánico Reciprocante**

Este tipo de sistema tiene como función extraer el fluido de un pozo mediante un movimiento ascendente-descendente, que se transmite por medio de una sarta de varillas de diferentes dimensiones al pistón de la bomba que se encuentra dentro de la TP (Tubería de producción).

Las unidades de bombeo mecánico tienen como función principal transferir la energía del motor a la sarta de varillas, el motor puede ser eléctrico o de combustión interna. Así como convertir el movimiento rotatorio del motor a uno reciprocante de sube y baja, manteniendo la verticalidad de la varilla pulida.

Existen diferentes unidades de bombeo mecánico como se muestran en la siguiente figura.

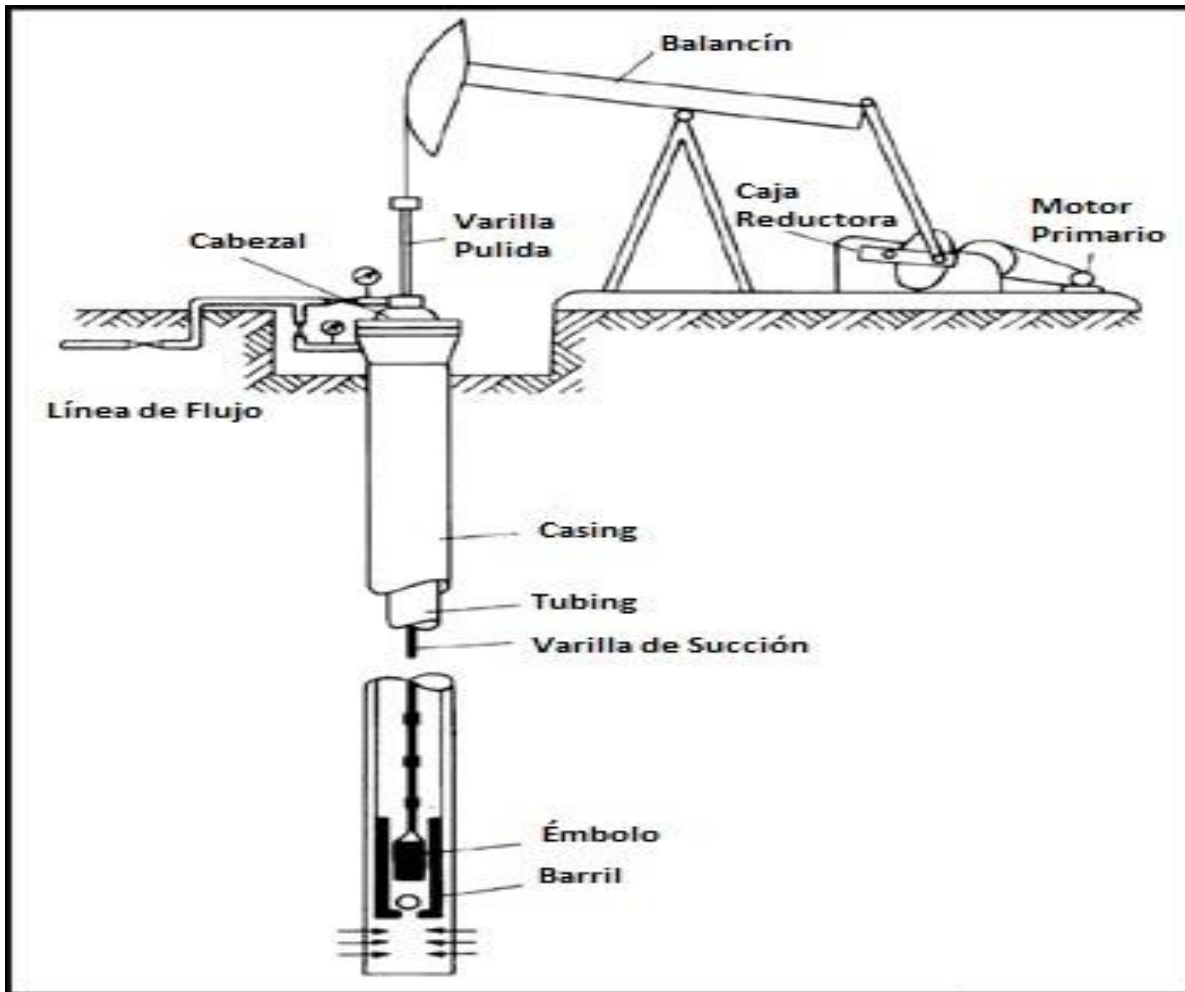


**Figura 2. Unidades de Bombeo Mecánico.**

Para disminuir el esfuerzo que produce la sarta de varillas, la bomba y la columna hidrostática, se utilizan contrapesos para equilibrar el peso del aparejo, ésto en las unidades denominadas Bimbas y en el caso de las Unidades Hidroneumáticas la presión que ejerce el nitrógeno ayuda a que el aparejo soporte el esfuerzo.

En la **Figura 3** se muestran los principales componentes del bombeo mecánico, los cuales son:

- Unidad de Bombeo Mecánico. (Equipo Superficial)
- Cabezal o Árbol de conexiones. (Equipo Superficial)
- Sarta de Varillas. (Equipo Subsuperficial)
- Bomba Reciprocante. (Equipo Subsuperficial)



**Figura 3. Componentes Principales del Bombeo Mecánico Convencional (Villegas Montiel, 2014).**

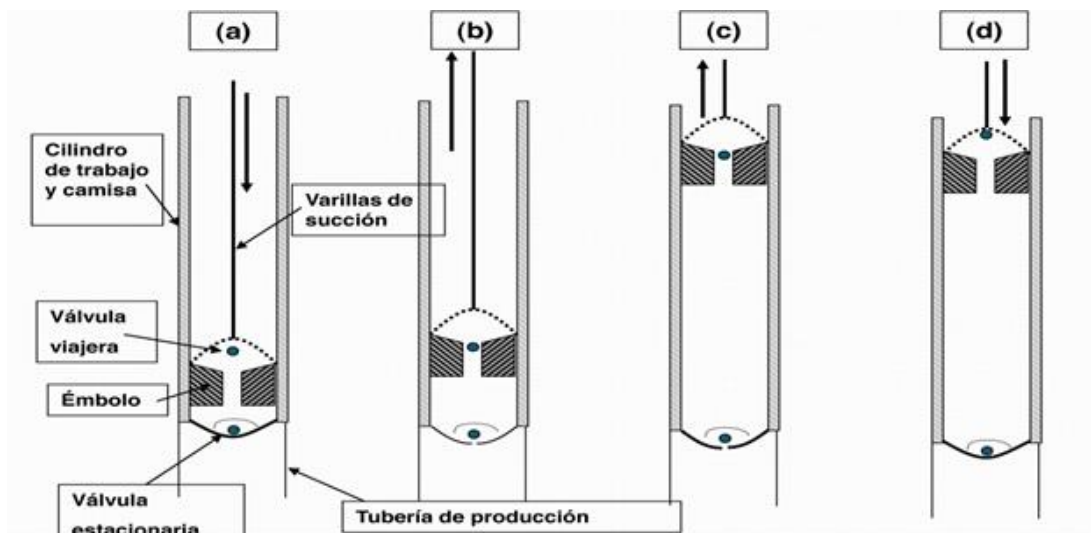
El cabezal o árbol de conexiones se utiliza como medida de prevención y de control del fluido del pozo, donde se emplean válvulas de control y preventores para las tuberías de producción y de revestimiento. Las conexiones superficiales se usan para la operatividad del Bombeo mecánico y del aparato de producción.

La sarta de varillas da la profundidad a la bomba para alcanzar el nivel estático del fluido, por medio de éstas el equipo superficial transmite el movimiento al pistón de la bomba, la selección de las varillas depende de las condiciones de operación y de la profundidad del pozo.

Dentro del equipo superficial existe una varilla la cual se conoce como “varilla pulida” y es única en cada aparejo de producción, sus principales funciones son:

- Soporta el peso de las demás varillas.
- Da la carrera y las emboladas requeridas en la producción.
- Soporta fuerza de flotación y de fricción.
- Cargas por aceleración y vibración.

La bomba pertenece al equipo subsuperficial y tiene como función desplazar los fluidos del yacimiento hasta la superficie por medio de la tubería de producción, sus componentes principales son: válvula viajera, válvula de pie, émbolo, camisa de trabajo. Ver la **Figura 4**.



**Figura 4. Ciclo de Bombeo Mecánico (Sistema de Bombeo Mecánico, 2016).**

El ciclo de trabajo de la bomba consiste en el movimiento del émbolo y en la apertura y cierre de las válvulas.

- a) El émbolo se mueve hacia abajo, el fluido pasa a través de la válvula viajera y la válvula de pie se cierra soportando el peso hidrostático del fluido y evitando que éste regrese al yacimiento.

- b) El émbolo sube y arrastra los fluidos sobre la válvula viajera, la válvula de pie admite el fluido del yacimiento.
- c) Al estar el émbolo cerca del final de la carrera la válvula viajera se cierra para que el fluido llegue a la superficie y la válvula de pie se abre para que otra columna hidrostática ocupe el espacio de la columna que subió a superficie.
- d) El émbolo se vuelve a mover hacia abajo junto con la carrera de la varilla pulida y las válvulas se cierran.

#### Ventajas del Bombeo Mecánico

- El sistema es un diseño simple y fácil de operar.
- Es eficiente ya que en este se puede modificar la longitud de la carrera y el número de emboladas por minuto, por lo que permite optimizar la producción.
- El equipo soporta altas temperaturas.
- Se usa este tipo de bombeo principalmente en yacimiento con crudos pesados y con alta viscosidad.
- Facilita el ajuste para una producción deseada.

#### Desventajas del Bombeo Mecánico

- La presencia de arenas produce abrasión al equipo desgastándolo severamente.
- Al encontrarse una Relación Gas-Aceite elevada afecta directamente en la tasa de producción.
- El grado de efectividad decrece con la profundidad.
- La tasa de producción tiende a declinar rápidamente.
- Las varillas y la tubería de producción sufren un alto grado de desgaste en pozos desviados.

## **Hipótesis del Problema**

Es posible identificar la intervención del EVIC durante el diseño de un bombeo mecánico, usando datos académicos y previendo las fallas futuras del sistema diseñado.

## **Definición del Problema**

Al formar parte del equipo de trabajo del EVIC, se presentaron diversos problemas y situaciones como las siguientes:

- 1) Desgaste o mal funcionamiento de la bomba por efectos de uso o presencia abundante de arena.
- 2) Fallas en la varilla por pandeo o por tensión.
- 3) Desgaste de las varillas o de la bomba por presencia de  $H_2S$  y  $CO_2$ .
- 4) Pérdida completa o rotura parcial de las varillas.
- 5) Cambio en el nivel estático y dinámico del fluido.
- 6) Desanclaje de bomba de la zapata candado.

La solución de los diferentes inconvenientes, así como el desarrollo de las operaciones y la introducción de los equipos de bombeo mecánico, fueron intervenidos mediante un equipo patentado por el Grupo Vordcab S.A de C.V., denominado EVIC (Equipo Varillero de Intervención y Circulación) que tiene como función, actuar de manera directa en el pozo para disminuir el tiempo de inoperancia, como también el mantenimiento y la sustitución del aparejo.

El EVIC desempeña actividades tales como: instalación, reparación, extracción, y espaciado en la sarta de varillas, bombas y accesorios. También, realiza pruebas de hermeticidad y circulación en el pozo, así como la instalación y/o desinstalación de los equipos subsuperficiales del bombeo mecánico.

El personal de trabajo para el funcionamiento del EVIC está integrado por:

- Superintendente de Operaciones.
- Supervisor de Operación.
- Inspector Técnico de Reparación.



- Técnico Instalador.
- Técnico Operador.

Dicho equipo desempeña funciones tales como:

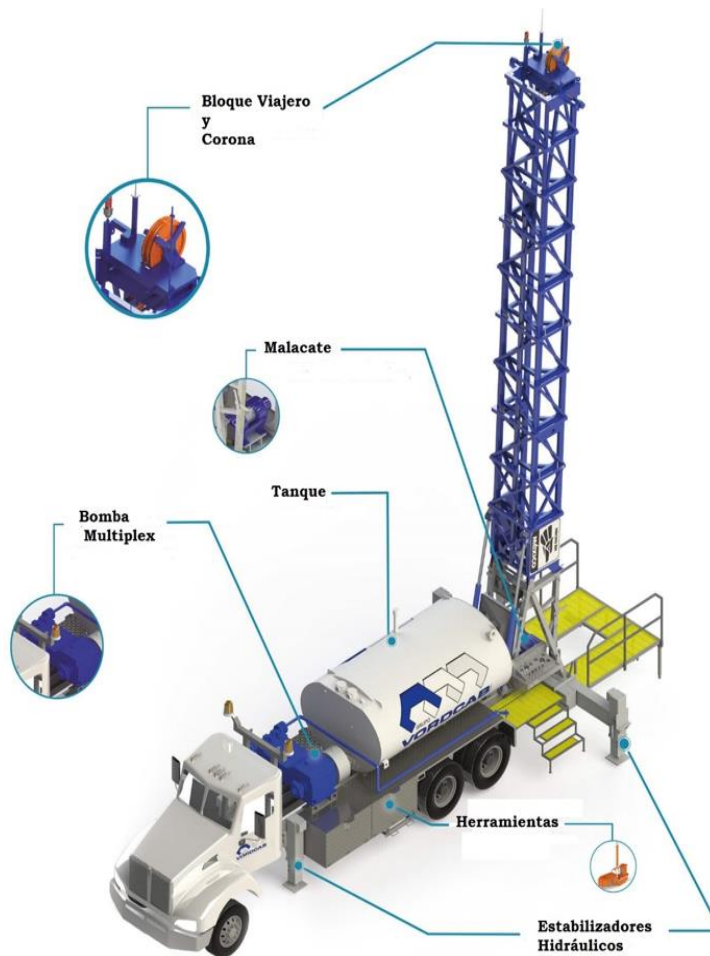
- Control de presión y circulación por Tubería de Producción, Tp.
- Cambios y ensamblaje de Bombas.
- Correr, espaciar, recuperar o pescar aparejos de varilla de succión.
- Activación de pozos marginales.

Para cumplir de manera correcta con los servicios que desempeña el EVIC, se sigue un principio de operación para la seguridad del personal, del equipo y para la intervención adecuada del pozo petrolero.

1. Desconexión del pozo a la línea de descarga.
2. Desinstalación de conexiones en el árbol de válvulas, así como la instalación de conexiones superficiales para el control y seguridad del pozo petrolero.
3. Instalación del equipo varillero (EVIC) al pozo y el sistema de control por medio de preventores hidráulicos.
4. Instalación de presas metálicas.
5. Prueba de hermeticidad para verificar la integridad de la tubería de producción y de revestimiento mediante bomba del EVIC.
6. Circular el fluido de control.
7. Operación para bajar varillas, bombas y accesorios del bombeo mecánico para la instalación del sistema y/o desinstalación de bomba, pesca de varillas o cambio de equipo.
8. Cambiar el fluido de control por agua natural.
9. Realizar pruebas de succión de la bomba.
10. Instalación de conexiones superficiales definitivas.
11. Aseguramiento del pozo.
12. Conexión del pozo a la línea de descarga.
13. Limpieza de las áreas aledañas al pozo, de las válvulas y del contrapozo.

En la **Figura 5** se muestran las características y componentes del EVIC.

- Estabilizadores Hidráulicos.
- Bloque viajero y corona con poleas.
- Mástil 68 (ft), 50 000 (lbs).
- Malacate.
- Bomba Triplex 1200 lt/min, 5000(psi).
- Tanque 9 (m<sup>3</sup>).
- Llave Hidráulica, pescantes y piso de trabajo.



**Figura 5. Equipo Varillero de Intervención y Circulación (Grupo Vordcab S.A. de C.V.,2018)**

Operacionalmente todos estos problemas pudieron ser atendidos por el EVIC, por lo que en este reporte se abordará principalmente el diseño convencional del equipo de bombeo mecánico, que en diversos casos se vio afectado por las fallas y cambios del aparejo del sistema artificial, es por esto que en diferentes pozos se tuvo que rediseñar la forma de operar de este equipo.

Se efectuará el diseño convencional del bombeo mecánico en un caso particular, el cual presentó alguno de los problemas ya mencionados, donde se determinará la unidad de bombeo que se empleará, el equipó subsuperficial y la potencia al freno del motor. Posteriormente, se evaluarán los aspectos críticos de la operación y la posible intervención del EVIC como una solución al problema.

### **Ejemplo**

Se tiene un pozo petrolero el cual presenta una densidad relativa de aceite de 0.90. Se desea tener una producción de  $600 \text{ (} \text{bbl}/\text{día} \text{)}$ , la bomba está colocada a una profundidad de  $4300 \text{ (} \text{ft} \text{)}$  y anclada con una sumergencia de  $500 \text{ (} \text{ft} \text{)}$ , tiene una eficiencia volumétrica de 0.80 y esta se encuentra en la  $T_p$  que es de  $2\frac{7}{8} \text{ (} \text{pg} \text{)}$ . El diseño se elaborará con varillas de acero de  $30,000 \text{ (} \text{lb}/\text{pg}^2 \text{)}$  de esfuerzo máximo, y con un motor eléctrico con una velocidad de 1200 (RPM).

### **Diagnóstico y solución propuesta**

#### **Metodología para el Diseño del Bombeo Mecánico Convencional**

El método convencional para el diseño del bombeo mecánico presenta una metodología basada en ecuaciones y en la interpretación de gráficas.

Los pasos a seguir de la metodología son los siguientes:

1. Obtención del volumen que desplaza la bomba en el fondo ( $V$ ). Este volumen es un factor importante por considerar ya que es el de mayor interés en el aspecto productivo, el volumen se verá directamente influenciado por cada pulgada que avanza la carrera del embolo, y del diámetro de la bomba.

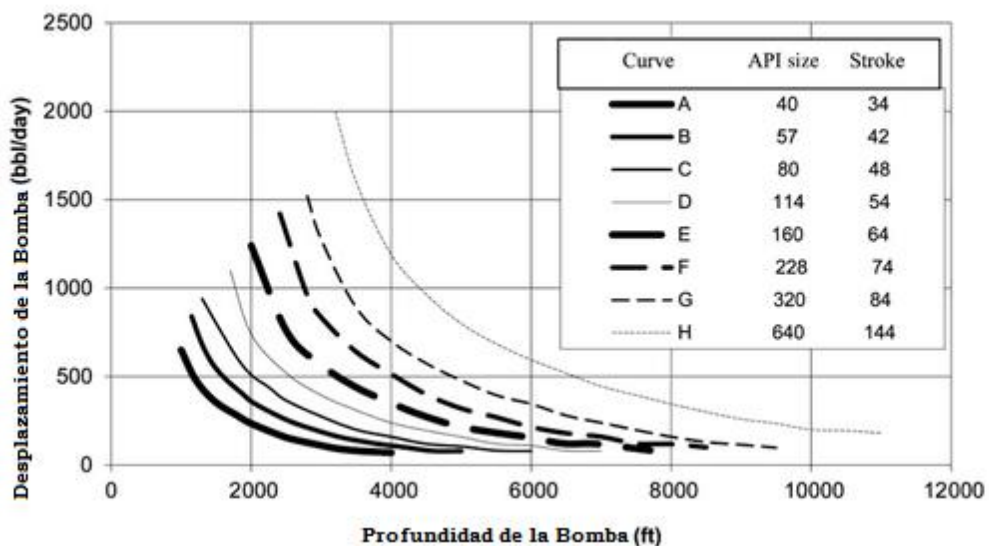
La Eficiencia Volumétrica ( $E_v$ ), es la relación de gastos, refiriéndose al gasto de producción en superficie ( $q$ ) y al volumen desplazado de la bomba. La eficiencia está relacionada con la RGA del yacimiento, ya que con altos índices de RGA la eficiencia es muy baja y cuando la RGA es baja hay una mayor eficiencia volumétrica. El gasto de producción es menor que el desplazado por la bomba.

$$V = \frac{q}{E_v} \quad (1)$$

2. De la **Figura 6** que representa las curvas de profundidad contra el gasto de la bomba, se obtiene el tamaño de la bomba, que es de la medida y características necesarias y apropiadas con respecto a la profundidad de asentamiento y el volumen del líquido que se desea producir.

2.1. De la Figura 6 se obtiene la longitud de la carrera de la varilla pulida ( $S$ ), que se refiere a la medida que tiene la varilla pulida al ascender y descender en su movimiento recíprocante.

Ambos datos van directamente relacionados, ya que la longitud de la carrera de la varilla pulida para el llenado completo del fluido en el barril de la bomba depende del tamaño de la bomba, y el llenado completo del barril depende de una carrera efectiva.



**Figura 6. Gráfica de profundidad vs gasto de bomba para selección de la unidad bombeo de la barra de succión (Kelly y Willis, 1954)**

3. De la **Tabla 3** se obtienen los diámetros del émbolo, de la bomba, de la tubería de producción y de las varillas.

Todas estas consideran la profundidad y la producción deseada; el diámetro y tamaño del émbolo tiene que ser el ideal tomando en cuenta que se deben obtener altas eficiencias y prevenir cargas innecesarias, si el émbolo es más grande de lo requerido se verá reflejado en cargas altas en el equipo y en la carga descendente del émbolo, por lo contrario si el émbolo es de menor tamaño se tendrán cambios en la velocidad de bombeo y fallas operativas en la producción.

3.1. De la **Tabla 3** se obtiene la velocidad de bombeo supuesta (rpm), que varía en cuanto a la densidad del hidrocarburo, al aparejo utilizado y la producción deseada.

Tabla 3. *Tabla datos API*

<b>TABLA 3. DATOS API PARA UNIDAD DE TAMAÑO 320 Y UNA CARRERA DE 84 PULGADAS</b>				
<b>Fuente: Kelley and Willis</b>				
<b>Profundidad de la bomba, (ft)</b>	<b>Diámetro del embolo, (in)</b>	<b>Diámetro de la TP, (in)</b>	<b>Diámetro de las varillas, (in)</b>	<b>Velocidad de Bombeo (emboladas/min)</b>
<b>2400-2600</b>	$2\frac{3}{4}$	3	$\frac{7}{8}$	24-20
<b>2600-3000</b>	$2\frac{1}{2}$	3	$\frac{7}{8}$	23-18
<b>3000-3700</b>	$2\frac{1}{4}$	$2\frac{1}{2}$	$\frac{3}{4}, \frac{7}{8}$	22-17
<b>3700-4500</b>	2	$2\frac{1}{2}$	$\frac{3}{4}, \frac{7}{8}$	21-16
<b>4500-5200</b>	$1\frac{3}{4}$	$2\frac{1}{2}$	$\frac{3}{4}, \frac{7}{8}$	19-15
<b>5200-6800</b>	$1\frac{1}{2}$	2	$\frac{5}{8}, \frac{3}{4}, \frac{7}{8}$	18-14
<b>6800-8000</b>	$1\frac{1}{4}$	2	$\frac{5}{8}, \frac{3}{4}, \frac{7}{8}$	16-13
<b>8000-8500</b>	$1\frac{1}{16}$	2	$\frac{5}{8}, \frac{3}{4}, \frac{7}{8}$	14-13

4. De la **Tabla 4** se obtienen los valores de  $R_1, R_2$ , los cuales representan la longitud total de las varillas.

Se utilizan de 2 a 3 diferentes tipos de varilla en cuanto a su diámetro y su longitud a las que se denominan varillas telescopiadas, que sirven para sostener el peso de las varillas que aumentan conforme a la profundidad y el peso del fluido, esto se debe a la distribución de esfuerzos en las varillas de esta manera se obtiene una disminución en el peso de las cargas y en el número de varillas usadas que ayuda a minimizar los costos de operación.

Tabla 4. *Tabla para selección de varillas*

<b>TABLA 4. DATOS DE DISEÑO PARA LA LONGITUD TOTAL DE LAS VARILLAS. Fuente: Kelley and Willis</b>	
Diámetro de las varillas, (in).	Valores de $R$
$\frac{5}{8}, \frac{3}{4}$	$R_1 = 0.759 - 0.0896A_p$ $R_2 = 0.241 + 0.0896A_p$
$\frac{3}{4}, \frac{7}{8}$	$R_1 = 0.786 - 0.0566A_p$ $R_2 = 0.214 + 0.0566A_p$
$\frac{7}{8}, 1$	$R_1 = 0.814 - 0.0375A_p$ $R_2 = 0.186 + 0.0375A_p$
$\frac{5}{8}, \frac{3}{4}, \frac{7}{8}$	$R_1 = 0.627 - 0.1393A_p$ $R_2 = 0.199 + 0.0737A_p$ $R_3 = 0.175 + 0.0655A_p$
$\frac{3}{4}, \frac{7}{8}, 1$	$R_1 = 0.664 - 0.0894A_p$ $R_2 = 0.181 + 0.0478A_p$ $R_3 = 0.155 + 0.0416A_p$
$\frac{3}{4}, \frac{7}{8}, 1, 1\frac{1}{8}$	$R_1 = 0.582 - 0.1110A_p$ $R_2 = 0.158 + 0.0421A_p$ $R_3 = 0.137 + 0.0364A_p$ $R_4 = 0.123 + 0.0325A_p$
<b><math>R_1</math> se refiere a una sección de varilla, <math>R_2</math> a la siguiente sección de menor tamaño.</b>	

5. Se determinan las longitudes de las varillas multiplicándolas con la profundidad de asentamiento de la bomba, obteniéndose la longitud total de los tipos de varillas y ajustando los datos en tramos de varilla deseados.

(2)

$$L_1 = R_1 \times L$$

$$L_2 = R_2 \times L$$

6. Se determina la velocidad de Bombeo ( $N$ ), donde se espera obtener un resultado en el rango que mostro la Tabla 3 en el paso 3.1, mediante las ecuaciones 3 y 4, con un valor supuesto de la carrera efectiva del embolo ( $Sp$ ), multiplicado por la longitud de la carrera de la varilla pulida ( $S$ ).

Si  $N$  se encuentra dentro del rango, se sigue con la metodología.

$$N = \frac{q_r}{0.116 \times Sp \times E_v \times D^2} \quad (3)$$

Donde  $q_r$  se refiere a la producción real que se tiene en superficie.

$$q_r = 0.116 \times Sp \times N \times D^2 \times E_v \quad (4)$$

Y  $D$ , se define como el diámetro del embolo.

7. Se obtiene el volumen desplazado con la velocidad de bombeo calculada en paso anterior.

Si el resultado coincide con el volumen desplazado,  $V$ , del paso 1, se prosigue con la metodología, de lo contrario se calcula nuevamente el paso 6 con nuevas suposiciones.

$$V = 0.116 \times Sp \times N \times D^2 \quad (5)$$

8. Se calcula la carrera efectiva del embolo ( $Sp$ ), esta carrera no depende de la longitud de la carrera de la varilla pulida, se refiere a la carrera del émbolo dentro del barril de la bomba.

Es la carrera de la varilla pulida disminuida por efectos de elongación en las varillas y en la tubería, por el peso del fluido a lo largo de las varillas y la



sobrecarga que genera el émbolo por la aceleración de su carrera. Se calcula mediante la siguiente formula.

$$Sp = S + \frac{40.8L^2 \alpha}{E} - \frac{5.20\rho DAp}{E} \left[ \frac{L}{A_t} + \frac{L_1}{A_1} + \frac{L_2}{A_2} \right] \quad (6)$$

Donde:

$E$ , se refiere al modulo de elasticidad del acero.

$\rho$ , densidad específica del fluido.

$Ap$ , área del émbolo de la bomba.

El factor de aceleración es calculado mediante la ecuación de Mills y se refiere a la carga por aceleración de la sarta de varillas:

$$\alpha = \frac{SN^2}{70500} \quad (7)$$

$A_1$  y  $A_2$ , representan el área da las varillas.

$$A_1 = \frac{\pi d^2}{4} \quad (8)$$

$$A_2 = \frac{\pi d^2}{4} \quad (9)$$

Para cuando la tubería está anclada.

$$\frac{L}{A_t} = 0$$

9. Se calcula el gasto obtenido en superficie, incluyendo en la fórmula el dato de la carrera efectiva ( $Sp$ ), ya calculada en el paso anterior.

$$q = 0.116 \times Sp \times N \times D^2 \times E_v$$

10. Cálculo del peso de la sarta de varillas. ( $W_r$ )

Donde:

$M_1$  y  $M_2$ , Son los pesos unitarios de cada tramo o sección de varilla.

$$W_r = M_1 L_1 + M_2 L_2 \quad (10)$$

11. Cálculo del peso del fluido sobre la varilla pulida ( $W_f$ ), esta carga es durante la carrera descendente.

La carga por fricción en instalaciones que se encuentran operando se puede estimar por pruebas de cartas dinamométricas, generalmente se desprecia esta carga porque no hay un dato exacto.

$$W_f = 0.433\rho(LAp - 0.294W_r) \quad (11)$$

12. Cálculo del peso máximo y mínimo que soportará la varilla a lo largo de la vida productiva del equipo de bombeo, este dato nos ayuda para la selección adecuada del equipo superficial.

$$W_{max} = W_f + W_r(1+\alpha) \quad (12)$$

$$W_{min} = W_r(1-\alpha - 0.127\rho) \quad (13)$$

13. Cálculo del esfuerzo máximo y mínimo que sufre la varilla pulida.

$$\varepsilon_{max} = \frac{W_{max}}{A_2} \quad (14)$$

$$\varepsilon_{min} = \frac{W_{min}}{A_2} \quad (15)$$

14. Obtención del contrabalanceo ideal teórico, que tiene un peso aproximado al peso de las varillas más la mitad del peso del fluido, el efecto de contrabalanceo puede obtenerse colocando contrapesos en el balancín, que nos ayuda a reducir el tamaño del motor de la unidad.

$$C_i = 0.5W_f + W_r(1 - 0.127\rho) \quad (16)$$

15. Se refiere a la torsión máxima ( $T_{max}$ ) en el reductor de engranes, que se da por la carga máxima menos el contrabalanceo por la mitad de la carrera.

$$T_{max} = (W_{max} - 0.95C_i) \frac{S}{2} \quad (17)$$

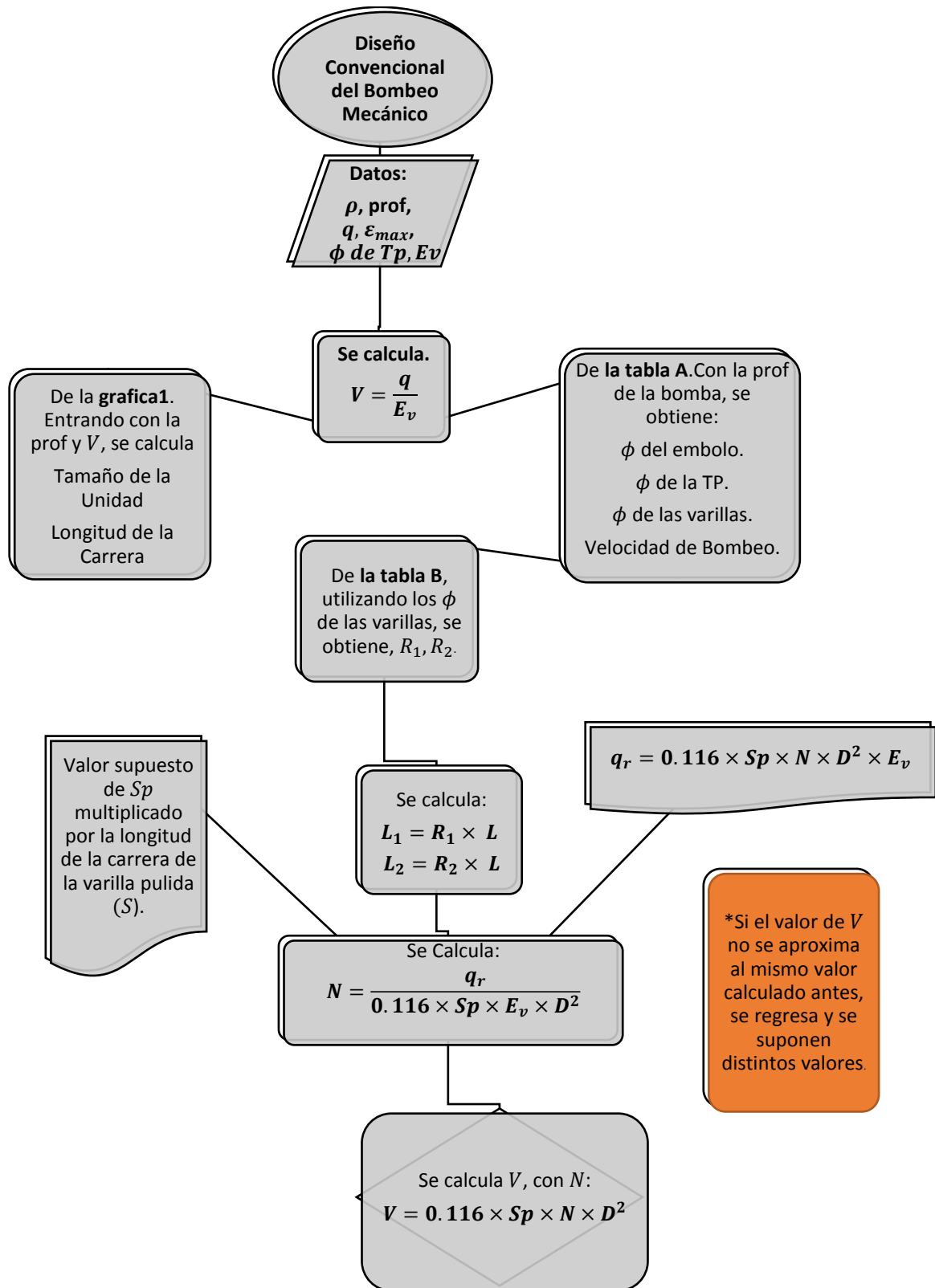
16. Cálculo de las potencias (hidráulica ( $Hh$ ), por fricción ( $H_f$ ) y al freno del motor ( $Hb$ )) que requiere el motor para controlar las diferentes cargas.

$$Hh = 7.36 \times 10^{-6} q\rho LN \quad (18)$$

$$H_f = 6.31 \times 10^{-7} W_r SN \quad (19)$$

$$Hb = 1.5(Hh + H_f) \quad (20)$$

En la **Figura 7** se muestra un diagrama de flujo de la metodología de diseño para el bombeo mecánico convencional.



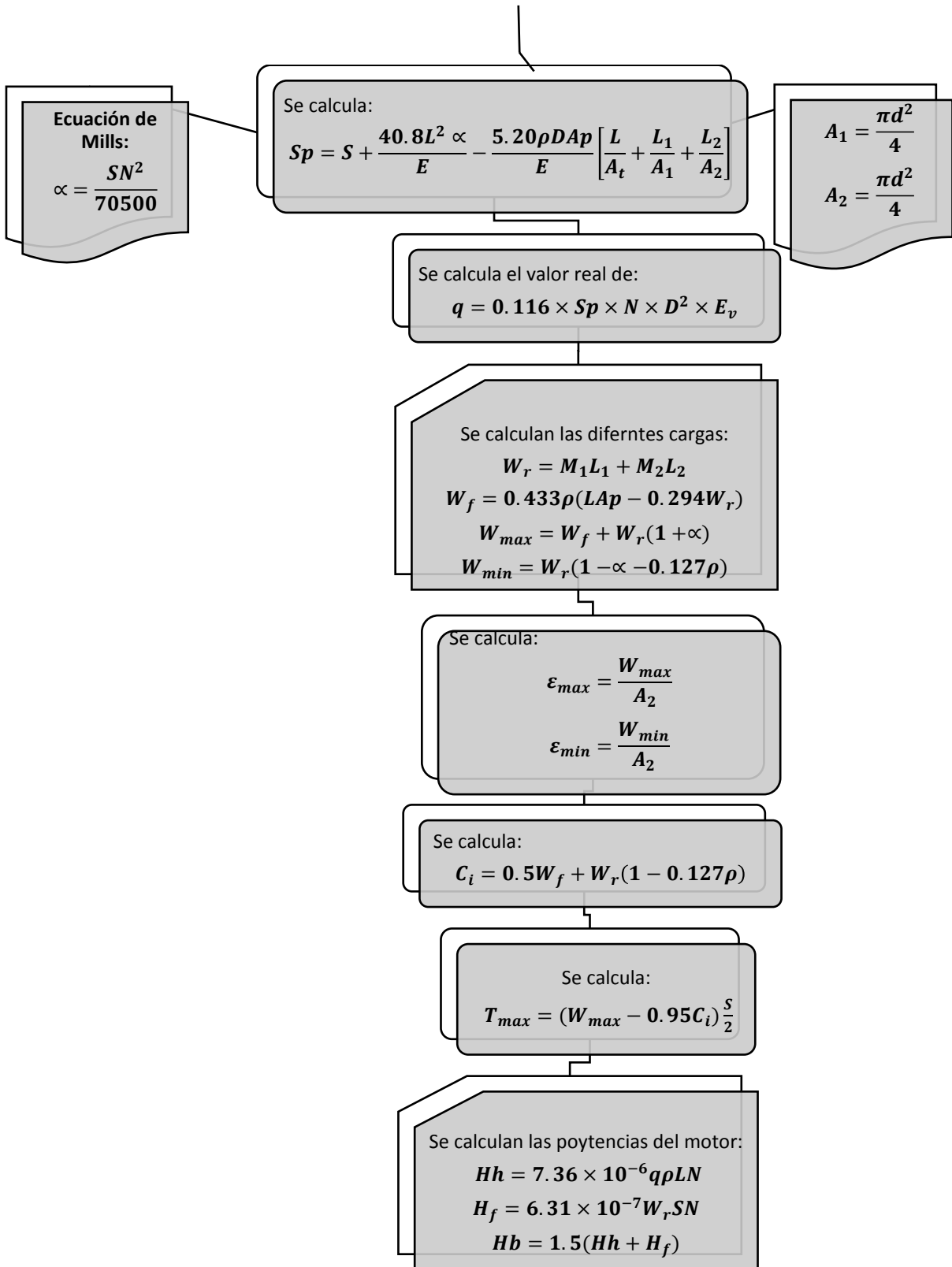


Figura 7: Diagrama de flujo para el diseño del Bombeo Mecánico Convencional

## **Implementación y Resultados**

Considerando un ejercicio académico en donde se tiene un pozo petrolero el cual presenta una densidad relativa de aceite de 0.90. Y se desea tener una producción de 600 ( $bb\ell/día$ ), la bomba está colocada a una profundidad de 4300 ( $ft$ ) y anclada con una sumergencia de 500( $ft$ ), tiene una eficiencia volumétrica de 0.80.

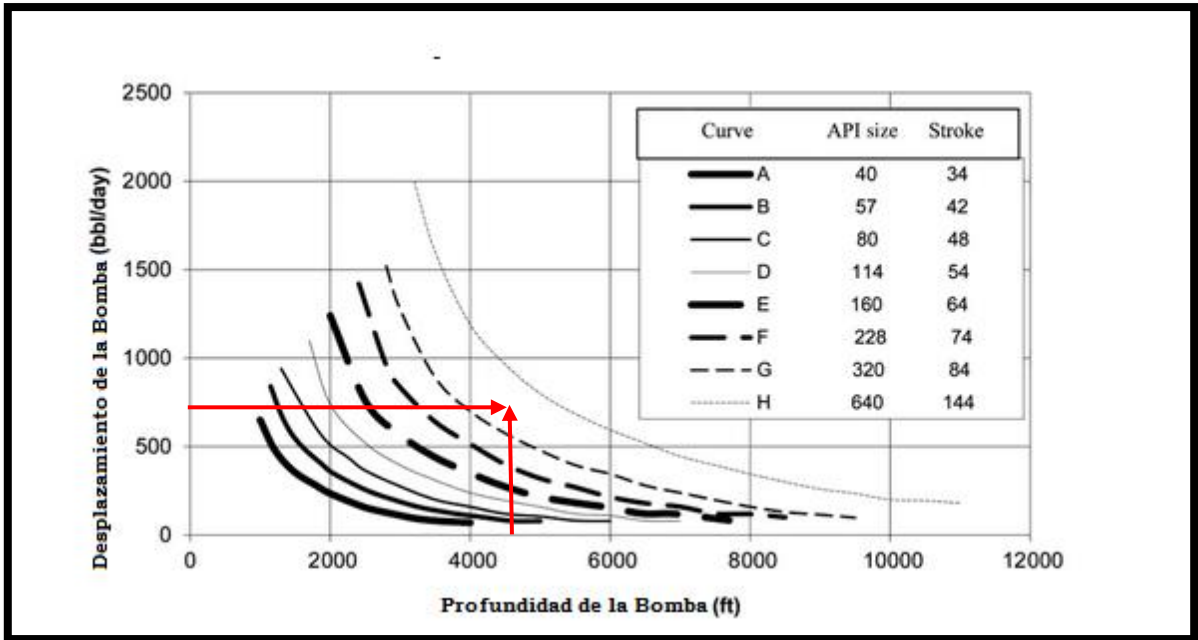
Se elaborará un diseño convencional de bombeo mecánico donde se evaluarán los posibles problemas que puede presentar el diseño de la unidad de levantamiento artificial y se analizará la intervención y reparación del EVIC como solución a estos problemas.

Siguiendo con la metodología de diseño del bombeo mecánico convencional ya propuesta y descrita, se tiene que.

1. El Volumen que desplaza la bomba en el fondo.

$$V = \frac{q}{E_v} = \frac{600(BPD)}{0.8} = 750 (BPD)$$

2. De la Figura 6, se toma la profundidad de 4300 ( $ft$ ) y el volumen desplazado por la bomba de 750 ( $BPD$ ) y se entra con los datos a la gráfica.



La intersección de las líneas se aproxima a la curva con la letra G por lo que se determina que:

- 320 Tamaño de la unidad.
  - 84(*pg*); Longitud de la carrera (*S*).
3. Con la profundidad de colocación de la bomba de 4300 (*ft*), de la Tabla 3 se obtiene:

**TABLA 3. DATOS API PARA UNIDAD DE TAMAÑO 320 Y UNA CARRERA DE 84 PULGADAS**

(Fuente: Kelley and Willis)

Profundidad de la bomba, (ft)	Diámetro del émbolo, (in)	Diámetro de la TP, (in)	Diámetro de las varillas, (in)	Velocidad de Bombeo (emboladas/min)
2400-2600	$2\frac{3}{4}$	3	$\frac{7}{8}$	24-20
2600-3000	$2\frac{1}{2}$	3	$\frac{7}{8}$	23-18
3000-3700	$2\frac{1}{4}$	$2\frac{1}{2}$	$\frac{3}{4}, \frac{7}{8}$	22-17
<b>3700-4500</b>	<b>2</b>	<b><math>2\frac{1}{2}</math></b>	<b><math>\frac{3}{4}, \frac{7}{8}</math></b>	<b>21-16</b>
4500-5200	$1\frac{3}{4}$	$2\frac{1}{2}$	$\frac{3}{4}, \frac{7}{8}$	19-15
5200-6800	$1\frac{1}{2}$	2	$\frac{5}{8}, \frac{3}{4}, \frac{7}{8}$	18-14
6800-8000	$1\frac{1}{4}$	2	$\frac{5}{8}, \frac{3}{4}, \frac{7}{8}$	16-13
8000-8500	$1\frac{1}{16}$	2	$\frac{5}{8}, \frac{3}{4}, \frac{7}{8}$	14-13

4. Utilizando los valores de los diámetros de las varillas, de la Tabla 4 se obtiene la longitud total de las varillas,  $R_1, R_2$ .

Donde:  $A_p$  es el área del émbolo.

$$A_p = \frac{\pi d^2}{4} = \frac{\pi(2)^2}{4} = 3.14 (pg^2)$$



**TABLA 4. DATOS DE DISEÑO PARA LA LONGITUD TOTAL DE LAS VARILLAS, Fuente: Kelley & Willis**

Diámetro de las varillas, (in).	Valores de R
$\frac{5}{8}, \frac{3}{4}$	$R_1 = 0.759 - 0.0896A_p$ $R_2 = 0.241 + 0.0896A_p$
$\frac{3}{4}, \frac{7}{8}$	$R_1 = 0.786 - 0.0566A_p$ $R_2 = 0.214 + 0.0566A_p$
$\frac{7}{8}, 1$	$R_1 = 0.814 - 0.0375A_p$ $R_2 = 0.186 + 0.0375A_p$
$\frac{5}{8}, \frac{3}{4}, \frac{7}{8}$	$R_1 = 0.627 - 0.1393A_p$ $R_2 = 0.199 + 0.0737A_p$ $R_3 = 0.175 + 0.0655A_p$
$\frac{3}{4}, \frac{7}{8}, 1$	$R_1 = 0.664 - 0.0894A_p$ $R_2 = 0.181 + 0.0478A_p$ $R_3 = 0.155 + 0.0416A_p$
$\frac{3}{4}, \frac{7}{8}, 1, 1\frac{1}{8}$	$R_1 = 0.582 - 0.1110A_p$ $R_2 = 0.158 + 0.0421A_p$ $R_3 = 0.137 + 0.0364A_p$ $R_4 = 0.123 + 0.0325A_p$
<b><math>R_1</math> se refiere a una sección de varilla, <math>R_2</math> a la siguiente sección de menor tamaño.</b>	

$$R_1 = 0.786 - 0.0566(3.14) = 0.6082$$

$$R_2 = 0.214 + 0.0566(3.14) = 0.3918$$

5. Se obtiene la longitud de las varillas:

$$L_1 = R_1 \times L = 0.6082 \times 4300 = 2615 \text{ (ft)}$$

$$L_2 = R_2 \times L = 0.3918 \times 4300 = 1685 \text{ (ft)}$$

6. Se determina la velocidad de Bombeo.

$$N = \frac{q_r}{0.116 \times Sp \times E_v \times D^2}$$

$$N = \frac{600}{0.116 \times 71.4 \times 0.8 \times 2^2} = 22.64 \left( \frac{emb}{min} \right)$$

Donde:

$$q_r = 600 \text{ (BPD)}$$

$$Sp = 0.85 \times S = 0.85 \times 84 = 71.4 \text{ (pg)}$$

7. Cálculo del Volumen desplazado por la bomba.

$$V = 0.116 \times Sp \times N \times D^2$$

$$V = 0.116 \times 71.4 \times 22.64 \times 2^2 = 750.05 \text{ (BPD)}$$

El volumen calculado se aproxima al volumen desplazado por la bomba de (750 BPD) en el paso 1, por lo cual se sigue con la metodología.

8. Cálculo de la carrera efectiva del émbolo.

$$Sp = S + \frac{40.8L^2 \alpha}{E} - \frac{5.20\rho DAp}{E} \left[ \frac{L}{A_t} + \frac{L_1}{A_1} + \frac{L_2}{A_2} \right]$$

Donde:

$$\alpha = \frac{SN^2}{70500} = \frac{84(22.64^2)}{70500} = 0.6107$$

$$A_1 = \frac{\pi d^2}{4} = \frac{\pi (3/4)^2}{4} = 0.442 \text{ (pg)}$$

$$A_2 = \frac{\pi d^2}{4} = \frac{\pi (7/8)^2}{4} = 0.601 \text{ (pg)}$$

$\frac{L}{A_t} = 0$  , ya que la tubería se encuentra anclada.

Profundidad – Sumergencia = 4300 – 500 = 3800 (ft)

$$Sp = 84 + \frac{40.8 \times 4300^2 \times 0.6107}{30 \times 10^6} - \frac{5.20 \times 0.9 \times 3800 \times 3.14}{30 \times 10^6} \left[ 0 + \frac{2615}{0.442} + \frac{1685}{0.601} \right]$$

$$Sp = 83.12 \text{ (pg)}$$

9. Cálculo del gasto obtenido en superficie.

$$q = 0.116 \times Sp \times N \times D^2 \times E_v$$

$$q = 0.116 \times 83.12 \times 22.64 \times 2^2 \times 0.8 = 698.538 \left( \frac{\text{bbl}}{\text{día}} \right)$$

10. Cálculo del peso de la sarta de varillas.

$$W_r = M_1 L_1 + M_2 L_2$$

$$W_r = (2615 \times 1.63) + (1685 \times 2.16) = 7902.050 \text{ (lb)}$$

11. Cálculo del peso del fluido.

$$W_f = 0.433\rho(LAp - 0.294W_r)$$

$$W_f = 0.433 \times 0.9(4300 \times 3.14 - 0.294 \times 7902.05) = 4356.37 \text{ (lb)}$$

12. Cálculo del peso máximo y mínimo que soporta la varilla pulida.

$$W_{max} = W_f + W_r(1+\alpha)$$

$$W_{max} = 4356.37 + 7902.05(1 + 0.6107) = 17084.20 \text{ (lb)}$$

$$W_{min} = W_r(1-\alpha - 0.127\rho)$$

$$W_{min} = 7902.05(1 - 0.6107 - 0.127(0.9)) = 2173.06 \text{ (lb)}$$

13. Cálculo del esfuerzo máximo y mínimo de la varilla pulida.

$$\varepsilon_{max} = \frac{W_{max}}{A_2}$$

$$\varepsilon_{max} = \frac{17084.20}{0.601} = 28426.29 \text{ (lb/pg}^2\text{)}$$

$$\varepsilon_{min} = \frac{W_{min}}{A_2}$$

$$\varepsilon_{min} = \frac{2173.06}{0.601} = 3615.74 \text{ (lb/pg}^2\text{)}$$

14. Cálculo del contrabalanceo ideal

$$C_i = 0.5W_f + W_r(1 - 0.127\rho)$$

$$C_i = 0.5 \times 4356.37 + 7902.05(1 - 0.127(0.9)) = 9177.03 \text{ (lb)}$$

15. Cálculo de la torsión máxima del motor.

$$T_{max} = (W_{max} - 0.95C_i) \frac{S}{2}$$

$$T_{max} = (17084.20 - 0.95(9177.03)) \frac{84}{2} = 351372.90 \text{ (pg.lb)}$$

16. Cálculo de las potencias

-Hidráulica

$$Hh = 7.36 \times 10^{-6} q\rho LN$$

$$Hh = 7.36 \times 10^{-6} \times (698.538)(0.9)(4300)(22.64) = 450.45 \text{ (hp)}$$

-Por fricción.

$$H_f = 6.31 \times 10^{-7} W_r SN$$

$$H_f = 6.31 \times 10^{-7} \times (7902.05)(84)(22.64) = 9.48 \text{ (hp)}$$

-Al freno del motor.

$$H_b = 1.5(H_h + H_f)$$

$$H_b = 1.5(450.45 + 9.48) = 689.89 \text{ (hp)}$$

## Nomenclatura

- $V$  = volumen desplazado por la bomba, ( $BPD$ ).
- $\phi$  = diámetro de las tuberías, ( $pg$ ).
- $N$  = velocidad de bombeo, ( $emb/min$ ).
- $A_p$  = área del émbolo de la bomba, ( $pg$ ).
- $A_1, A_2$  = área de la TP, ( $pg$ ).
- $R_1, R_2$  = longitud de las secciones de las varillas.
- $L_1, L_2$  = longitud de las varillas de succión, ( $ft$ ).
- $E_V$  = eficiencia volumétrica de la bomba.
- $S_p$  = carrera efectiva de la bomba.
- $E$  = modulo de elasticidad del acero, ( $psi$ )( $3 \times 10^6 psi$ ).
- $S$  = distancia del movimiento realizado por la varilla pulida, ( $pg$ ).
- $\alpha$  = factor de aceleración.
- $D$  = diámetro del émbolo, ( $pg$ ).
- $W_{max}$  = peso máximo que soporta la varilla pulida, ( $lbs$ ).
- $W_{min}$  = peso mínimo ejercido sobre la varilla pulida, ( $lbs$ ).
- $W_c$  = peso de la manivela, ( $lb$ ).
- $W_r$  = peso de la sarta de varillas, ( $lbs$ ).
- $W_f$  = peso del fluido, ( $lbs$ ).
- $C_i$  = efecto de contrabalanceo ideal teórico, ( $lb$ ).
- $C_1, C_2$  = pesos de los contrabalanceos, ( $lbs$ ).
- $\varepsilon$  = esfuerzo ejercido en la varilla pulida, ( $lb/pg^2$ ).
- $\rho$  = densidad específica del aceite.
- $d$  = longitud del centro de gravedad al contrapeso, ( $pg$ ).
- $T$  = torsión, ( $pg - lb$ ).
- $Hh$  = potencia hidráulica, ( $hp$ ).
- $H_f$  = potencia por fricción, ( $hp$ ).
- $H_b$  = potencia al freno, ( $hp$ ).
- $Z$  = relación del reductor de engranes.
- $du$  = diámetro de la polea de la flecha del reductor de engranes, ( $pg$ ).
- $de$  = diámetro de la polea del motor, ( $pg$ ).

## Análisis de Resultados

Tomando en cuenta los resultados obtenidos se tiene un pozo con un Sistema Artificial de Bombeo Mecánico Convencional con las siguientes características:

- La profundidad de colocación de la bomba = 4300 (*ft*) y sumergencia de 500 (*ft*).
- La densidad Relativa del aceite = 0.90.
- El gasto esperado en superficie = 600  $\left(\frac{bbl}{dia}\right)$ .
- Los diámetros: TP =  $2\frac{1}{2}$  (*in*), Émbolo = 2 (*in*).
- El tamaño de la unidad es de 320 y la longitud de la carrera es de 84(*pg*), con estos datos se obtienen las características de la unidad con el catálogo del fabricante.
- Las varillas son de  $\frac{3}{4}$  (*in*),  $\frac{7}{8}$  (*in*) . Donde los tramos de varilla se ajustarán a 25 (*ft*), con un total de 172 varillas.
- La velocidad de bombeo = 22.64  $\left(\frac{emb}{min}\right)$  para cumplir con la eficiencia de la bomba.
- La carrera efectiva de la bomba = 83.12 (*in*).
- Las emboladas = 32601  $\left(\frac{emb}{dia}\right)$  . .
- Peso máximo que soporta la varilla pulida = 17084.20 (*lb*), por lo que se debe elegir una varilla con soporte más de 18000 (*lb*) de carga máxima.
- La potencia al freno del motor = 689.89 (*hp*).
- El gasto producido en superficie = 698.538  $\left(\frac{bbl}{dia}\right)$ .

Con los resultados obtenidos durante el desarrollo del diseño para la instalación del equipo de bombeo, se seleccionaron los equipos adecuados y se consiguieron los resultados necesarios para optimizar la eficiencia y la mejor forma de operar el sistema artificial de bombeo mecánico.

El diseño va de acuerdo a las necesidades del pozo y a los resultados deseados en cuanto a producción, pero esto no implica que se puedan manifestar complicaciones operativas o daños en el equipo por el uso constante.

Por lo que se requiere de un equipo capaz de intervenir de manera directa en el pozo petrolero para el mantenimiento, reparación e instalación del Sistema de Producción Artificial con Bombeo Mecánico.

### **Usos del EVIC: Intervención y Operación**

La principal función del EVIC es la instalación del equipo subsuperficial en pozos marginales y la intervención en los pozos debido a fallas en los equipos o por modificaciones en el diseño de operación.

La efectividad del EVIC se ve reflejada en la disminución del tiempo de daño en el pozo y en la rápida intervención para la reactivación de la producción, por lo que su correcta y rápida operación es fundamental.

Para realizar la correcta aplicación del EVIC en un pozo y poder atender los problemas o situaciones que requiera el equipo de bombeo mecánico. Es necesario seguir el procedimiento de operación del EVIC ya mencionado antes, para la reducción de riesgos y el control del pozo.

En la **Tabla 5** se muestran los principales problemas que se presentan en el bombeo convencional que pueden ser atendidos por él EVIC y el análisis de su ejecución.



**Tabla 5. Características para la Intervención EVIC**

<b>Problemas</b>	<b>Tiempo de Operación del EVIC (hrs)</b>	<b>Detalles para la Implementación</b>	<b>Operación EVIC</b>	<b>Intervención EVIC</b>
Falla de Bomba.	6-24	Depende de la profundidad del pozo y del número de varillas.	Extracción e introducción completa de varillas, prueba de succión.	Probada
Abrasión, pandeo, tensión en las varillas.	6-12	Depende del daño de la varilla para su cambio.	Extracción de varillas para su cambio.	Probada
Perdida o rotura de las varillas.	6-12	Cambio forzoso de la varilla.	Extracción de la varilla por medio de la herramienta de pesca.	Probada
Cambio del Nivel Dinámico.	1-3	Cambio en la profundidad de la Bomba.	Desanclaje de bomba y cambio en su posición respecto a la profundidad.	Posible
Desanclaje de bomba.	1-3	Limpieza del pozo, prueba de hermeticidad.	Se ejerce presión por medio del mástil del EVIC para anclaje a la zapata.	Posible
Cambio del equipo subsuperficial	6-24	Implementación del diseño para el Bombeo Convencional.	Introducción completa del Equipo Subsuperficial.	Probada

Algunas de las fallas de la Bomba de Succión, pueden ser:

- Fuga en la válvula viajera.  
Debido a la fuga la válvula no puede aceptar el suficiente líquido durante la carrera ascendente del pistón y no hay un llenado completo en la bomba.
- Barril dañado.  
El llenado del barril se ve afectado debido a la fuga y el pistón no tiene la carga de líquido suficiente.
- Mantenimiento o cambio de la bomba debido al uso.  
Por la carga de trabajo en la bomba, se debe realizar un mantenimiento o cambio, lo anterior, es debido a las emboladas de la bomba y a su funcionamiento durante un periodo de tiempo.

Considerando la bomba seleccionada con los datos académicos del ejemplo, se espera que el volumen desplazado pueda presentar algún problema, por tanto, se sugiere tener en cuenta la intervención del EVIC.

Algunas de las fallas de las varillas pueden ser:

- Falla por Tensión.  
Ocurre cuando la carga aplicada a las varillas excede la resistencia a la tensión, produciendo un alargamiento y deformándola o fracturándola.
- Falla por Pandeo.  
Estas suceden cuando la varilla sufre una deformación debido a las cargas de peso, comprimiéndola a tal grado que se vuelven inservibles.
- Fallas por Fatiga.  
Estas fallas se producen por el uso y la constante exposición de cargas, agrietando las varillas hasta fracturarlas.
- Fallas por Abrasión.  
Son las fallas que surgen debido al desgaste de las varillas por el ambiente en el que funcionan.

Las fallas en las varillas producen el paro total del sistema de levantamiento para la producción, ya que la sarta deber ser removida para llegar al lugar de la falla y

el pozo queda sin operar, la intervención del EVIC reduce el tiempo perdido de producción y rearma, reemplaza a la sarta de varillas.

El EVIC puede desempeñarse para el rediseño del bombeo mecánico, en la variación de posición de la bomba debido a un cambio en el nivel dinámico y en el reajuste de las emboladas y la carrera de la varilla pulida, si se desea un aumento o disminución de la producción de aceite en la superficie.

Al término de cada una de las operaciones ya mencionadas, se realiza una prueba de succión de bomba mediante una serie de emboladas hechas por el EVIC que simulan la operación de bombeo por levantamiento mecánico y se medía la presión con un manómetro conectado a la válvula check del árbol de válvulas del pozo, si esta se mantenía, se armaban las conexiones superficiales. Posteriormente, el personal de trabajo del Grupo Vordcab S.A de C.V., instalaba la bimba o unidad de bombeo mecánico y se ponía en funcionamiento el Sistema Artificial de Producción.

## **Aportes**

En el reporte se pudo abordar temas relacionados con la producción de hidrocarburos, usando el bombeo mecánico para la extracción de aceite y gas.

Considerando las características del pozo se seleccionó un sistema de bombeo mecánico, y usando datos académicos se efectuó un diseño convencional.

Es de resaltar, la identificación de las posibles intervenciones y reparaciones, empleando el equipo EVIC, donde se observó las características que lo conforman y su principio de operación.

Se diagnosticaron los principales problemas que presenta el bombeo mecánico y se analizó la forma de actuar del EVIC y el tiempo de ejecución para la solución a dichos problemas.

## Conclusiones

- ✓ La importancia de los Sistemas de Levantamiento Artificial se debe a la pérdida natural de energía en el yacimiento, por lo que su correcta selección es de vital importancia para explotar de una manera eficiente, óptima y correcta un pozo petrolero. Las características de los distintos sistemas artificiales y su rango de operación son muy distintos por lo que se pueden abordar todo tipo de pozos con distintas propiedades, razón por la cual el conocimiento del funcionamiento de los equipos de bombeo fue fundamental para el cumplimiento de los objetivos.
  
- ✓ Al formar parte de la cuadrilla de trabajo para el funcionamiento del EVIC, se pudieron realizar distintas operaciones para la instalación del equipo de bombeo mecánico, por lo que en el presente informe de actividades profesionales se comprendió y analizó el principio operativo del EVIC, y se conocieron sus características principales. Debido a esto se pudo tener un mejor entendimiento de la introducción del sistema por medio del equipo varillero de intervención y circulación, tomando en cuenta el principio operativo ya mencionado para la seguridad del personal y la integridad del pozo.
  
- ✓ Tomando en cuenta las propiedades del pozo y los datos de producción deseados, se diseñó la instalación del bombeo mecánico, usando la metodología convencional y datos académicos, se observó que es apropiado diseñar el sistema de levantamiento; considerando el ajuste de las emboladas por minuto y la longitud de la carrera de la varilla pulida.
  
- ✓ AL diagnosticar los principales contratiempos que presenta el bombeo mecánico, se observó la importancia que tiene el tiempo de intervención del EVIC para evitar o disminuir la pérdida económica por la falta de producción

de aceite y se evaluó la eficiencia del equipo para la resolución probada o posible del contratiempo.

- ✓ Las actividades efectuadas en el Grupo Vordcab S.A de C.V; fueron necesarias para la comprensión, capacitación y elaboración de este reporte, al participar en el área operativa y de diseño en la instalación de bombeo mecánico, se pudo apreciar la manera de diseñar e involucrarse en el pozo desde una vista ingenieril y de implementar el diseño desde un punto de vista técnico. Por lo que en términos generales se cumplieron los objetivos propuestos en el reporte.

## **Recomendaciones**

La implementación del EVIC es aplicada a pozos marginales, por lo que la producción de aceite es baja. Las reparaciones o asistencias del EVIC mantienen estática la producción hasta que se terminan y se reactiva el pozo. Se recomienda adquirir y sumar características de operación al equipo EVIC para que pueda realizar sus intervenciones en pozos que están operando sin la necesidad de parar la producción.

Es necesario el uso de equipos EVIC con mayor capacidad para reparaciones mayores en los pozos y que estos puedan actuar sin afectar la producción. El objetivo es evitar los contratiempos de inmiscuir diferentes unidades de trabajo en el pozo.

Para tener un menor esfuerzo de trabajo en el motor, se debe tener una correcta selección en el diseño del equipo y ampliar la carrera de la varilla pulida, para que ésta tenga la suficiente longitud para una succión efectiva y completa de la bomba y no enfocarnos en el número de emboladas que no necesariamente ocupan en su totalidad la eficacia de la bomba.

## Referencias

1. Brown, K. E. 1980. *The Technology of Artificial Lift Methods*, Vol. 2A. Tulsa, Oklahoma: PennWell Publishing Company.
2. Brown, K. E. 1982. Overview of Artificial Lift Systems. *J Pet Tech* **34** (10): 2384-2396. SPE-9979-PA. <https://doi.org/10.2118/9979-PA>.
3. Grupo Vordcab S.A. de C.V. 2018. *Equipo Varillero de Intervención y Circulación EVIC*. <http://www.grupovordcab.com/evic.html> (acceso el 3 de mayo de 2018).
4. Kelly, H. L. y Willis, R. M. 1954. Manual for Selection of Beam Pumping Equipment. Part 3. *Pet Eng* (September): B77-B97.
5. Larios González, J. 2005. *Apuntes del Método Convencional para el Diseño de la Instalación de Bombeo Mecánico*. México: UNAM, Facultad de Ingeniería.
6. Lucero Aranda, F. J. 2010. *Apuntes de Sistemas Artificiales de Producción*. México: UNAM, Facultad de Ingeniería.
7. PEMEX. Exploración y Producción. 2011. Anexo BG: Servicio Integral para Instalar y/o Mantener en Operación Equipos de Bombeo Mecánico y/o Cavidades Progresivas. Normas y Especificaciones Generales. PEP, Subdirección Región Norte, México.
8. Sistema de Bombeo Mecánico. 2016. [https://www.slideshare.net/marceloespindola4/sistema-de-bombeo-mecanico-proyecto2?next\\_slideshow=1](https://www.slideshare.net/marceloespindola4/sistema-de-bombeo-mecanico-proyecto2?next_slideshow=1) (acceso el 3 de mayo de 2018).



9. Takács, G. 2015. *Sucker-Rod Pumping Handbook: Production Engineering Fundamentals and Long-Stroke Rod Pumping*. Waltham, Massachusetts: Gulf Professional Publishing.
  
10. Villegas Montiel, D. V. 2014. *Aplicación de un Nuevo Sistema de Bombeo Mecánico No Convencional con Tubería Flexible para Pozos de Crudo Pesado*. Tesis de Licenciatura, UNAM, Facultad de Ingeniería, División de Ciencias de la Tierra, México, D.F. (marzo).