

# CAPITULO 1

---

## *Fundamentos de los Sistemas Artificiales de Producción*

---

## 1.1 Definición de un Sistema Artificial de Producción.

En este capítulo se presentan los diferentes tipos de sistemas artificiales disponibles actualmente, el cual cada año más y más pozos en el mundo están optando por un sistema artificial de producción y el número seguirá aumentando. La selección del tipo de sistema artificial más adecuado para un pozo o un grupo de pozos puede ser difícil o fácil, dependiendo de las condiciones del pozo.

La explotación de un pozo petrolero se lleva a cabo de dos maneras:

### a) Sistema fluyente

También conocido como sistema natural, este sistema se compone principalmente de un aparejo de producción donde se aprovecha la energía propia del yacimiento, el cual será capaz de elevar los hidrocarburos hasta la superficie.

### b) Sistema artificial

Son aquellos que de acuerdo a su diseño se adecuan a las características del pozo para continuar con su explotación.

Generalmente, más de un método de levantamiento puede ser usado. Cada método de levantamiento podrá ser clasificado de excelente o pobre de acuerdo al cumplimiento del objetivo. Dependiendo de las consideraciones económicas, operacionales y características del pozo (presión, temperatura, profundidad, etc.) se podrá elegir un sistema u otro.

Un sistema artificial de producción (SAP) es instalado cuando la presión en el yacimiento no es suficiente para elevar el crudo hasta la superficie, llegando al punto donde un pozo no produce un gasto económicamente rentable. Es decir, el yacimiento no cuenta con la energía suficiente (presión natural) como para producir los hidrocarburos en forma natural, o cuando los gastos de producción no son los deseados.

Los SAP son equipos que aportan energía a los fluidos producidos por el yacimiento, esta operación se realiza para ayudar a vencer las caídas de presión, de tal forma que los fluidos puedan llegar sin problemas a la superficie y pasar por el estrangulador.

Hay dos consideraciones muy importantes que deben tomarse en cuenta en la instalación de un SAP:

#### 1) Aspectos técnicos:

En el se hace un estudio de campo para determinar si es posible instalar un sistema artificial de producción, considerando todos los problemas que puedan presentarse al pozo en la instalación del sistema artificial, y también al yacimiento.

## 2) El análisis económico

En el se hace un estudio que demuestre los beneficios de instalar un SAP, en éste se incluirá los costos de instalación, los costos de mantenimiento, los operacionales, y los que involucren al cumplimiento de los objetivos de un proyecto.

Dentro de la selección de un SAP se encuentra una serie de pasos, empezando por analizar el lugar en donde será la instalación (costa afuera, costa adentro, etc.) y la infraestructura existente. La selección apropiada del SAP depende del análisis de información de varias disciplinas como perforación, terminación, administración de yacimientos, etc....

La información que proporciona las disciplinas son factores que ayudan a la selección del SAP, estos factores son:

- Gastos de flujo.
- Índice de productividad.
- Presión estática ( $P_{ws}$ ) y de presión de fondo fluyendo ( $P_{wf}$ ).
- Relación Gas-Aceite y la relación de solubilidad ( $R_s$ ).
- % de agua.
- Densidad y viscosidad del fluido producido.
- Profundidad y temperatura.
- Tipo de pozo (desviación, diámetros de las tuberías, etc.)
- Problemas de arena, parafinas, corrosión, emulsión y condiciones de incrustaciones).
- Clima y ubicación del lugar.
- Inversión disponible.
- Características del yacimiento (expansión de los fluidos, segregación gravitacional, empuje hidráulico, expansión del gas)
- Infraestructura, etc.

Con toda la información obtenida se analiza si será o no factible instalar un sistema artificial, por ejemplo si un pozo no cuenta con suficiente espacio anular, la selección del sistema artificial no estará determinada por el diseño óptimo o por criterios económicos, sino por limitaciones físicas, en este caso los sistemas que no requieran de mucho espacio podrían ser una opción, luego si la ubicación es en mar o en áreas terrestres, si hay energía eléctrica o no, etc.

Hoy en día alrededor del mundo más del 90% de los pozos productores requieren la implementación de un SAP<sup>1</sup>. La mayoría de estos pozos se encuentran en campos maduros.

Hasta ahora solo se ha mencionado la palabra sistema artificial de producción, pero dentro de este concepto hay métodos que pueden clasificarse como tal, estos métodos son:

- a. Bombeo Neumático
- b. Bombeo Mecánico
- c. Bombeo Hidráulico
- d. Bombeo Electrocentrífugo
- e. Bombeo de Cavidades Progresivas
- f. Embolo Viajero
- g. Sistemas híbridos

En este capítulo se describe a cada sistema artificial de producción, por lo tanto en este momento solo se mencionan.

## **1.2 Limitaciones de los Sistemas Artificiales de Producción.**

Otras consideraciones importantes para la selección de un SAP son las condiciones geográficas y de producción como por ejemplo, para el primero son las condiciones climáticas y la ubicación, para las condiciones de producción son; análisis de hidrocarburos (presencia de CO<sub>2</sub> o H<sub>2</sub>S), producción de sólidos, arena, parafinas o asfáltenos y las relaciones gas-aceite y agua.

Los SAP trabajan bajo ciertas condiciones y limitaciones, estas estarán en función del diseño, aplicación, capacidades de manejo de sólidos, temperatura de fondo y capacidades de volúmenes, la Tabla 1.1 y 1.2 muestran las consideraciones de diseño de cada sistema artificial.

Las condiciones de operación que manejan los SAP son importantes, ya que no será posible seleccionar un sistema artificial sino se examina los criterios y condiciones de operación de cada uno.

En resumen la selección de un SAP está basado en los resultados de un análisis técnico y económico, además debe ser considerado desde el principio del plan de desarrollo del campo o yacimiento, desde la perforación, la terminación y así tomar las decisiones de producción a las que estará trabajando el sistema.

	<b>Bombeo Mecánico</b>	<b>Bombeo de cavidades progresivas</b>	<b>Bombeo electrocentrifugo</b>	<b>Bombeo Hidráulico reciprocante</b>	<b>Bombeo hidráulico jet</b>	<b>Bombeo Neumático Continuo</b>	<b>Bombeo Neumático Intermitente</b>	<b>Pistón viajero</b>
<b>Costo de capital</b>	Moderado o bajo: Incrementa con la profundidad.	Bajo: pero incrementa con la profundidad y gastos muy grandes.	Relativamente bajo e incrementan con la potencia requerida por la bomba.	Varía pero a menudo es competitivo con el bombeo mecánico.	Competitivo con el BM. Los costos altos caballos de fuerza requeridos.	Costos bajos en el equipo, pero los costos de compresión pueden ser altos.	Lo mismo que el BN continuo.	Bajo: si no requieren compresor.
<b>Equipo subsuperficial</b>	Relativamente bueno en el diseño de las varillas, y es necesaria una practica de operación. El banco de datos de fallas beneficia en la correcta selección de operación y reparaciones para varillas y bombas.	Buen diseño y se necesita una operación de práctica. Puede tener problemas con la selección apropiada del elastómero.	Requiere de un cable apropiado además del motor, bombas, sellos, etc. Un buen diseño más una buena operación son esenciales.	Un tamaño adecuado de la bomba y una operación de práctica son esenciales. Requiere de dos condiciones (fluido motriz y un conducto por donde fluya)	Requiere de un equipo de cómputo con programas de diseño. Tolera moderadamente sólidos en el fluido producido. Las partes de la bomba son inmóviles.	El buen diseño de las válvulas y el espaciamiento son esenciales. Costos moderados para el equipo del pozo. Opción de válvulas recuperables o convencionales.	Descarga en el fondo con válvulas de BNC.	Las prácticas de operación tienen que ser a cada pozo para la optimización. Pueden presentarse problemas en el embolo.
<b>Eficiencia</b>	Excelente: Cuando la bomba está llena, tiene una eficiencia de 50 a 60%.	Excelente: El sistema tiene una eficiencia de 50 a 70%.	Bueno para altos gastos de pozo pero disminuye significativamente para <1000 BFPD. Normalmente la eficiencia del sistema es alrededor del 50% para altos gastos.	Regular a bueno: Usualmente no es bueno con BM debido a la RGA. Normalmente la eficiencia está en el rango de 30 a 40%.	Regular a malo: Máxima eficiencia alrededor del 30%. Se ve influenciado por el fluido motriz.	Regular: Incrementa para pozos que requieren inyección de RGA. Las eficiencias normales son del 20%, pero el rango es de 5 a 30%.	Malo: Normalmente requiere una alta inyección de gas por cada barril de fluido. La eficiencia es de 5 a 10%.	Excelente para pozos fluuyendo. No requiere energía debido a que usa energía del pozo.

Tabla 1.1 Consideraciones de diseño de los sistemas artificiales de producción<sup>2</sup>

	<b>Bombeo Mecánico</b>	<b>Bombeo de cavidades progresivas</b>	<b>Bombeo electrocentrífugo</b>	<b>Bombeo Hidráulico reciprocante</b>	<b>Bombeo hidráulico jet</b>	<b>Bombeo Neumático Continuo</b>	<b>Bombeo Neumático Intermitente</b>	<b>Pistón viajero</b>
<b>Flexibilidad</b>	Excelente: Se puede controlar el tamaño del embolo y el tiempo de corrida para controlar el gasto.	Regular: La unidad hidráulica proporciona flexibilidad adicional pero es un costo adicional.	Malo: El diseño de la bomba debe ser cuidadoso. Normalmente la velocidad de la bomba es fija.	Bueno a excelente: Puede variar los gastos del fluido motriz.	Bueno a excelente: Los gastos del fluido motriz y la presión son ajustables a los gastos de producción.	Excelente: La inyección de gas varía con los cambios de gasto del pozo. La T.P necesita ser del tamaño correcto.	Bueno: Se debe ajustar el tiempo de inyección y la frecuencia de los ciclos.	Bueno para bajos volúmenes en la columna del fluido. Puede ajustarse el tiempo de inyección y la frecuencia.
<b>Costos operacionales</b>	Bajo para bajas o medianas profundidades (<2100m) y localizaciones con baja producción (BFPD).	Potencialmente bajo, pero, corta en la vida del estator o rotor, el cual frecuentemente son reportados.	Varia: Si hay altos HP se requieren altos costos de energía. A menudo los costos de reparación son altos.	Frecuentemente alto que el BM incluso para sistemas libres. La corta vida de la carrera incrementa costos operacionales totales.	Altos: Debido a los requerimientos de potencia. Bajos en el mantenimiento de la bomba.	Bajos costos: Los costos de compresión varían dependiendo de los costos de combustible y del mantenimiento del compresor.	Lo mismo que el de flujo continuo.	Usualmente muy bajo.
<b>Seguridad</b>	Excelente: La eficiencia del tiempo de corrida >95%.	Buena: normalmente por encima del bombeo y la falta de experiencia disminuye el tiempo de corrida.	Varia: Excelente para casos ideales de producción. Malo para áreas con problemas.	Bueno con un diseño correcto y un sistema adecuado.	Bueno con el tamaño apropiado de la garganta y de la tobera. Se debe evitar operar en el rango de cavitación de la garganta de la bomba.	Excelente: Si el sistema de compresión es el apropiado.	Excelente: Si los suministros de gas son adecuados y si el volumen de almacenamiento de presión es bajo.	Bueno si es un pozo estable.

Tabla 1.1 (continuación) Consideraciones de diseño de los sistemas artificiales de producción<sup>2</sup>.

	<b>Bombeo Mecánico</b>	<b>Bombeo de cavidades progresivas</b>	<b>Bombeo electrocentrífugo</b>	<b>Bombeo Hidráulico reciprocante</b>	<b>Bombeo hidráulico jet</b>	<b>Bombeo Neumático Continuo</b>	<b>Bombeo Neumático Intermitente</b>	<b>Pistón viajero</b>
<b>Limites en la T.R</b>	Solamente problemas en gastos elevados requerirán émbolos más grandes. Tamaños pequeños de la T.R limitaran la separación de gas.	Normalmente no hay problema para T.R de 4.5" y largos; pero, la separación de gas será una limitante.	El tamaño de la T.R limitara el uso de grandes motores y bombas.	Grandes T.R requieren de sistemas de apertura y cierre. Pequeñas T.R podrían resultar excesivas en perdidas de fricción y limitara los gastos.	Pequeños tamaños de T.R limitara los gastos de producción.	El uso de 4.5" y 5.5" con 2" nominal limitara la producción a <1000BPD.	Pequeños tamaños de T.R (4.5 y 5.5) normalmente no habrá problema para una producción de bajo volumen.	Pequeños tamaños de T.R son adecuados para esta producción de bajo volumen.
<b>Limites de profundidad</b>	Bueno: La varilla o la estructura pueden limitar el gasto a una profundidad.	Malo: Limitado relativamente por la poca profundidad posiblemente 1500m.	Usualmente limitado por la potencia del motor y la temperatura, prácticamente alrededor de 3000m.	Excelente: Limitado por la presión de fluido motriz (5000psi) una profundidad alrededor de 5200m.	Excelente: Limites similares al bombeo reciprocante. Alrededor de 6100m.	Controlado por el sistema de presión de inyección y por los gastos de gas y aceite.	Normalmente limitado por el regreso del bache; pocos pozos >3000m.	Normalmente <3000m.
<b>Capacidad de succión</b>	Excelente: <25psi. Proporciona adecuado desplazamiento y descarga de gas. Normalmente alrededor 50 a 100Psi.	Bueno: <100Psi proporciona adecuado desplazamiento y descarga de gas.	Regular si existen pequeñas cantidades de gas libre. Malo si la bomba se debe manejar alrededor del 5% del gas libre.	Regular: No muy bueno con bombeo de varillas. Presión de succión < 100psi. Se reduce la eficiencia si hay gas libre.	Malo a regular >350Psi a 1500m con baja RGA.	Malo: Restringido por el gradiente de gas.	Regular: cuando se usa sin camaras.	Bueno: Con presión en el fondo <150psi a 3000m para un gasto bajo.

Tabla 1.2 Consideraciones normales de operación de los sistemas artificiales de producción<sup>2</sup>.

	<b>Bombeo Mecánico</b>	<b>Bombeo de cavidades progresivas</b>	<b>Bombeo electrocentrifugo</b>	<b>Bombeo Hidráulico reciprocante</b>	<b>Bombeo hidráulico jet</b>	<b>Bombeo Neumático Continuo</b>	<b>Bombeo Neumático Intermitente</b>	<b>Pistón viajero</b>
<b>Nivel de ruido</b>	Regular: Moderadamente alto para áreas urbanas.	Bueno: Solamente en el primer movimiento se produce ruido.	Excelente: Muy poco ruido. A menudo se prefiere en zonas urbanas si la producción es alta.	Bueno: Bajo ruido en el pozo.	Igual al bombeo hidráulico reciprocante.	Bajo en el pozo pero el compresor es ruidoso.	Mismas características del BNC	Bajo en el pozo.
<b>Flexibilidad del primer movimiento.</b>	Bueno: Las maquinas y motores pueden ser usados fácilmente.	Bueno: Ambos maquinas y motores pueden ser usados fácilmente.	Regular: Requiere de una fuente de poder sin puntas o interrupciones.	Excelente: El primer movimiento puede encender un motor eléctrico, gas o maquinas de diesel.	Igual al Bombeo Hidráulico Reciprocante	Bueno: Maquinas, turbinas o motores pueden ser usados para la compresión.	Mismas características del BNC.	Nada se requiere.
<b>Causa de problemas</b>	El tamaño y operaciones son desventajas en áreas pobladas y de cultivo.	Bueno: Bajo perfil en equipo superficial.	Bueno: Bajo perfil pero requiere de un transformador.	Regular a bueno: Equipo en el cabezal de bajo perfil. Requiere tratamiento superficial y un equipo de bombeo de alta presión.	Igual al bombeo hidráulico reciprocante.	Bueno: Perfil bajo, pero se debe proporcionar mantenimiento al compresor. Las precauciones de seguridad deben tomarse para líneas de gas de alta presión.	Mismas características del BNC	Ninguno, solo si hay presencia de corrosivos.

Tabla 1.2 (continuación) Consideraciones normales de operación de los sistemas artificiales de producción<sup>2</sup>.



### 1.3 Bombeo Neumático

Este sistema consiste en recuperar hidrocarburos de un yacimiento por la Tubería de Producción (T.P) por medio de gas inyectado a presión a través del espacio anular. Como se había mencionado anteriormente se utiliza cuando la presión natural no es suficiente para elevar el crudo hasta la superficie, cuyas causas pueden ser:

- El abatimiento de la presión del yacimiento.
- La baja permeabilidad de la formación.

Este método está basado en la energía del gas comprimido en el espacio anular siendo esta la fuerza principal que hace elevar el aceite a la superficie. Este sistema es el que más se parece al proceso de flujo natural, esto se debe a que el gas inyectado siendo más ligero que el aceite que este desplaza, reduce la densidad del fluido (del yacimiento) y posteriormente reduce el peso de la columna de fluido sobre la formación. Esta reducción en la densidad de la columna de fluido produce una presión diferencial entre el fondo del pozo y el intervalo productor del yacimiento, lo que ocasiona que el pozo fluya.

El gas (principalmente nitrógeno) es inyectado y controlado desde superficie, este entra a alta presión dentro del espacio anular. Una válvula de inyección de gas permitirá el paso de gas dentro de la T.P a determinadas profundidades (*figura 1.1*). La válvula opera automáticamente en respuesta a la presión diferencial que hay entre el espacio anular y la T.P, si la diferencia de presión disminuye a una presión predeterminada, la válvula abrirá y cuando se llegan a valores críticos en el diferencial de la válvula ésta cerrará.

El gas a alta presión en la T.R, presenta un problema de fugas entre ésta y la T.P ya que el gas actúa directamente contra el yacimiento, ocasionando la reducción de la productividad del pozo. La solución a este problema es colocar un empacador entre estas dos tuberías, el cual mantendrá el gas del espacio anular fuera de la formación entre los ciclos de inyección. Este problema se encuentra en pozos de alta capacidad y baja presión de fondo.

Las válvulas de inyección de gas son de tipo fuelle y resorte de carga, sus principales ventajas son:

- Presión constante de operación.
- Es posible cambiar las presiones de operación en superficie.
- Las válvulas son compuestas por acero asíéndolas más resistentes.

Para lograr resultados satisfactorios en un Bombeo Neumático es necesario cumplir con los objetivos establecidos a principio del proyecto y para lograrlo es necesario contar con la información del pozo y del equipo.

La información necesaria de un pozo es:

- Presión de fondo fluyendo.
- Índice de productividad.
- Relación gas-aceite de formación.
- Porcentaje de agua.
- Profundidad.
- Tamaño de las tuberías de producción y revestimiento.
- Tipo de mecanismo de empuje del yacimiento.

La información necesaria del equipo es:

- Gastos y presiones (máximas y mínimos) de las tuberías.
- Características del equipo (material y mecánica de diseño)

En el uso de un sistema artificial de bombeo neumático se presentan cuatro casos para ser considerados para su aplicación, los cuales se relacionan al índice de productividad y la presión de fondo, estos son; alto o bajo índice de productividad y baja o alta presión.

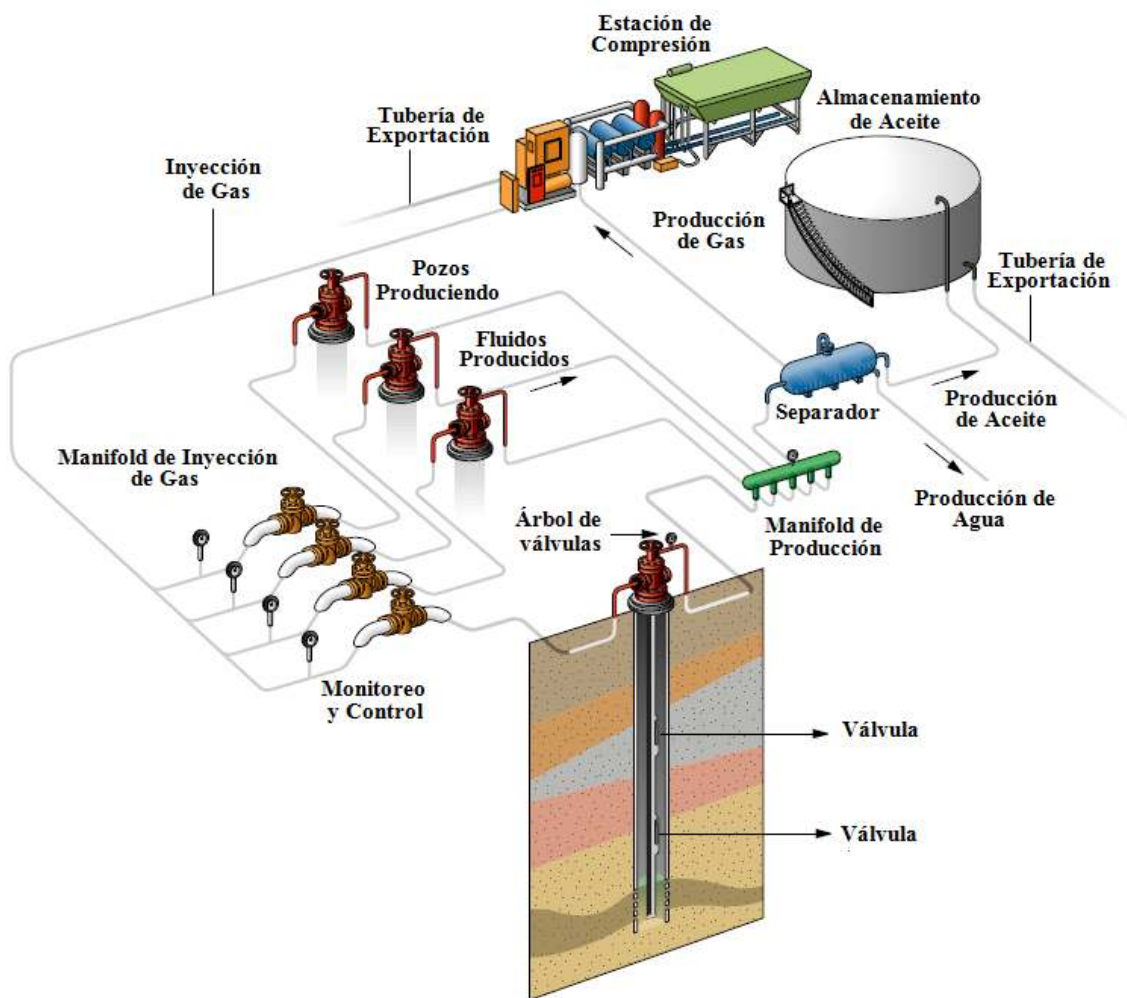


Figura 1.1 Partes fundamentales del Bombeo Neumático<sup>3</sup>.

El sistema de bombeo neumático consiste en cuatro partes fundamentales (*figura 1.1*), las cuales son:

- 1) Abastecimiento de gas a alta presión: principalmente consiste en una estación de compresión, o pozo productor de gas a alta presión.
- 2) Un sistema de control de gas en la cabeza del pozo.
- 3) Sistema de control de gas subsuperficial.
- 4) Equipo necesario para manejar y almacenar el fluido producido.

La válvula de inyección que controla el flujo de gas dentro de la tubería de producción es llamada válvula operante y forma parte del sistema de control subsuperficial. La válvula operante es la última válvula que se utiliza para desalojar el fluido de control, está localizada en un nivel óptimo donde se ha llegado al punto de inyección deseado, el volumen de gas inyectado es alto y donde el pozo está aportando un volumen de fluido de acuerdo con su capacidad productiva.

### **1.3.1 Tipos de Bombeo Neumático**

El gas puede ser inyectado de dos maneras: continuo o intermitente.

#### **a) Flujo continuo.**

El gas es inyectado continuamente a una presión relativamente alta, a la presión de apertura de la válvula operante, el gas entra a través de ésta manteniéndola abierta. El gas se mezcla con el fluido del pozo produciendo un aligeramiento, lo que ocasiona el incremento de la relación de solubilidad del aceite, aligerando la columna y causando que la presión hidrostática de la formación disminuya, lo que permite el ascenso de las dos fases a la superficie. En la figura 1.2 se muestra el ciclo de inyección del gas en tres etapas.

La distribución de estas válvulas se basa de acuerdo al nivel estático del fluido y la presión de inyección del gas.

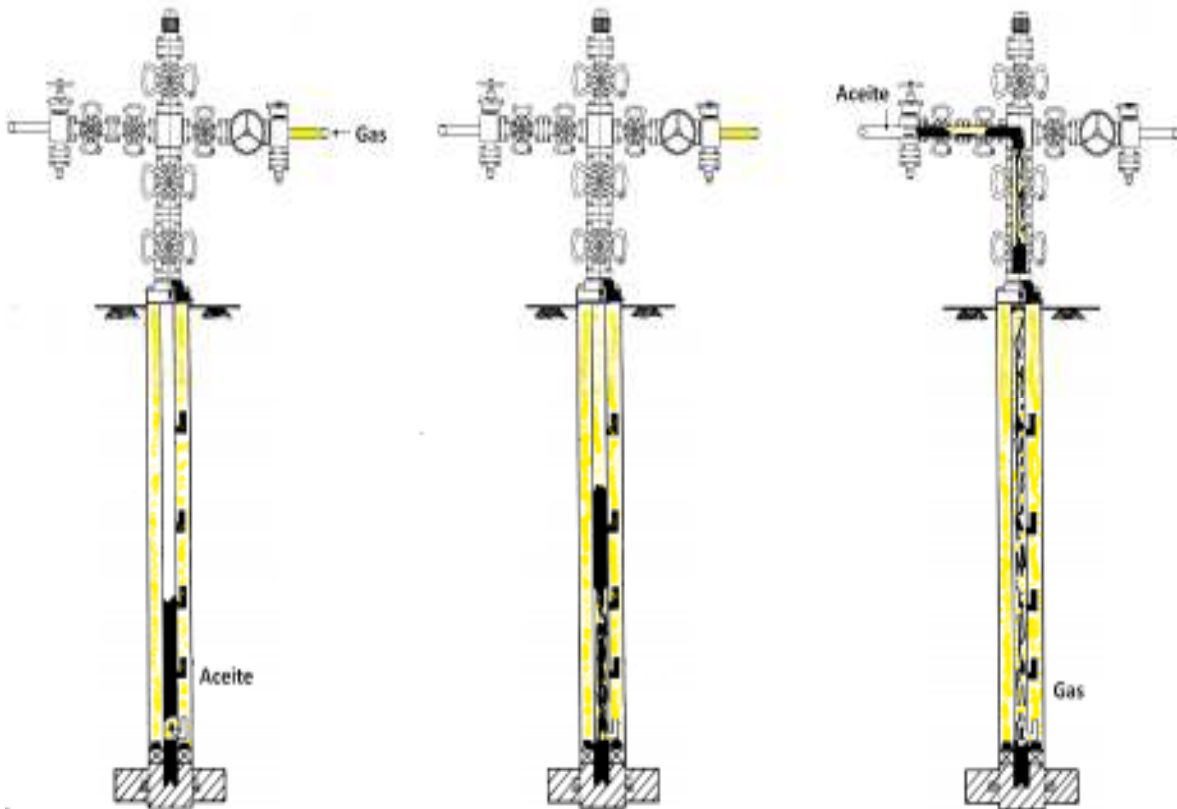


Figura 1.2 Bombeo Neumático Continuo<sup>4</sup>.

### b) Flujo intermitente

En este caso un volumen de gas es inyectado a alta presión a través de la T.R. y mediante la válvula operante llega a la T.P., el gas es acumulado en la T.R. mientras que en la T.P. se acumulan fluidos de la formación, después de cierta cantidad de fluidos acumulados el gas entra en contacto con éste desplazándolos en forma de pistón.

El fluido dentro de la T.P. presenta la forma de bache o pistón el cual es impulsado por el acumulamiento de gas que la válvula operante depositó en la T.R. En la figura 1.3 se muestra el ciclo de inyección del gas en tres etapas.

El equipo superficial y subsuperficial que conforma el BN dependerá del tipo de flujo que se inyectará en la tubería de revestimiento (T.R.).

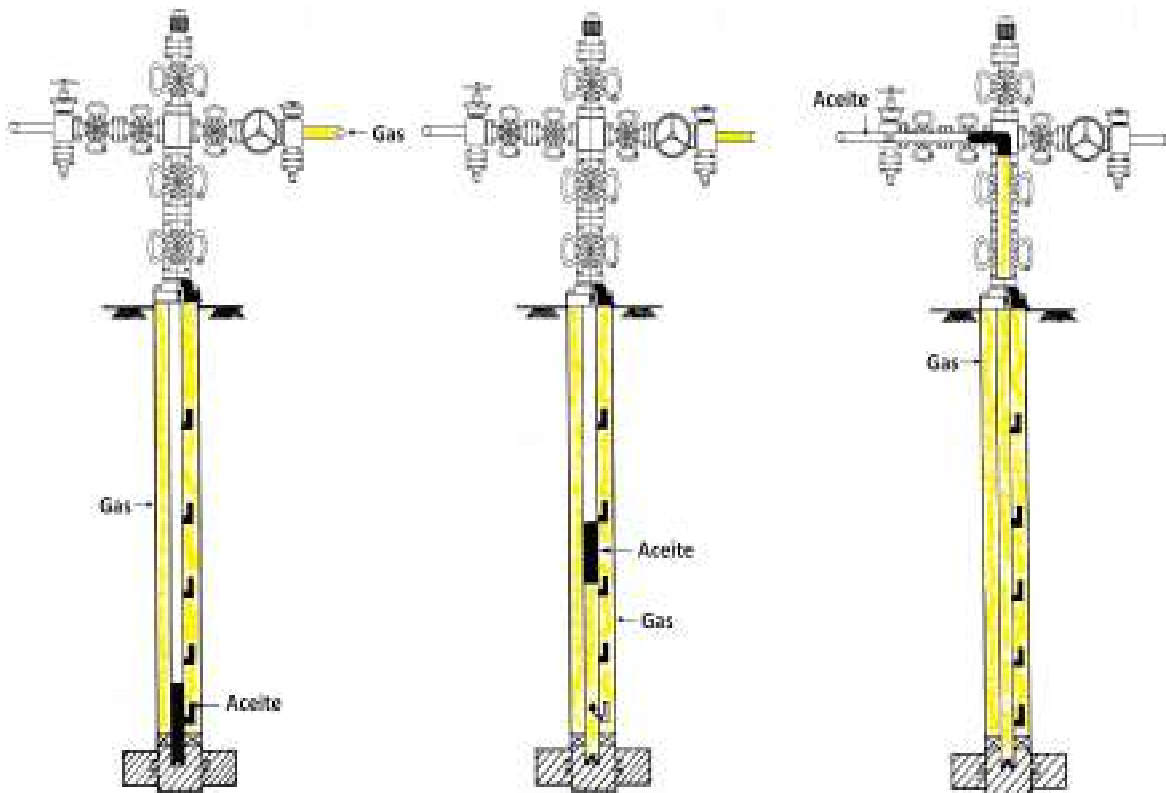


Figura 1.3 Bombeo Neumático Intermitente<sup>4</sup>.

### 1.3.2 Tipos de válvulas para el Bombeo Neumático

Existen dos tipos de válvulas para el sistema de bombeo neumático, estas son:

#### a) Válvulas balanceadas.

Una válvula balanceada tiene la característica principal de no estar influenciada por la presión en la T.P cuando está en la posición cerrada o abierta. Esto se debe a que la presión en la T.R actúa en el área del fuelle durante todo el tiempo, esto significa que la válvula abre y cierra a la misma presión.

#### b) Válvulas desbalanceadas.

Una válvula desbalanceada tiene la característica de abrir a una presión superior de apertura y luego cerrar con una presión más baja, es decir, las válvulas desbalanceadas se abren a una presión determinada y luego se cierran con una presión más baja.

Cabe mencionar que existe otra clasificación la cual está en función del flujo de fluidos, en esta parte solo se mencionara, ya que no es objeto de estudio de esta tesis. Estas válvulas son:

- Válvulas para flujo continuo
- Válvulas para flujo intermitente

### 1.3.3 Limitaciones en los tipos de Bombeo Neumático

El sistema de bombeo neumático de flujo continuo e intermitente presentan las siguientes limitaciones.

- El flujo continuo de gas inyectado es ideal para un gasto de 200 a 2,0000 *bpd*
- El flujo intermitente de gas inyectado es usado para un gasto menor a 500 *bpd*
- El método intermitente es una técnica de levantamiento que solo es posible en pozos productores que tienen una presión de fondo baja, debido a que la presión del yacimiento es inicialmente baja o se ha agotado.
- En general, el 95% de de los pozos que utilizan el bombeo neumático se produce por flujo continuo<sup>1</sup>.

Cada tipo de flujo tiene sus limitaciones, estas son importantes para el diseño del Sistema Artificial de Bombeo Neumático (*Tabla 1.3*).

	Flujo continuo		Flujo intermitente	
	Unidades	U.S.	Unidades	U.S.
Gasto	200 a 20,000 [bbl/D]		< 500[bbl/D]	
Índice de Productividad	>0.45[bbl/D/psi]		<0.45[bbl/D/psi]	
Presión de flujo	>0.08 [psi/ft]		>145 [psi]	
RGA de inyección	50 a 250 [ft <sup>3</sup> /bbl] por 300 [m] de elevación		250 a 300 [ft <sup>3</sup> /bbl] por 1000 [ft] de elevación	
Presión de inyección requerida	> 100 [psi] por 300 [m] de elevación		< 100 [psi] por 300 [m] de elevación	

*Tabla 1.3.* Limitaciones de flujo para el bombeo neumático<sup>1</sup>.

### 1.3.4 Equipo Superficial

El bombeo neumático actualmente ha dado grandes beneficios a las empresas<sup>1</sup>, aunque se limita un poco en las áreas urbanas como medida de seguridad para la población.

El sistema de bombeo neumático consta fundamentalmente de dos equipos:

- Equipo superficial
- Equipo subsuperficial

El equipo superficial es el conjunto de mecanismos en superficie, con el objetivo de controlar y regular el equipo necesario para poner en operación el sistema BN, además para conducir y controlar la producción a las líneas de descarga y a equipos de transporte o almacenamiento y consta de:

- Árbol de válvulas
- Conexiones superficiales
- Línea de inyección de gas

### 1.3.4.1 Árbol de válvulas

Es un conjunto de mecanismos de control, monitoreo y otros accesorios con el fin de controlar la producción del pozo, también se conoce como “Árbol de navidad” (*figura 1.4*). Se compone de: válvulas, cabezales, carretes, colgadores, sellos de tubería, y estranguladores. El árbol de válvulas tiene como fin proveer:

- Soporte para instalar el equipo de control superficial.
- Bases para colocar las cuñas que soportan las diferentes tuberías de revestimiento.
- Tuberías por donde inyectar o conducir los fluidos del pozo.

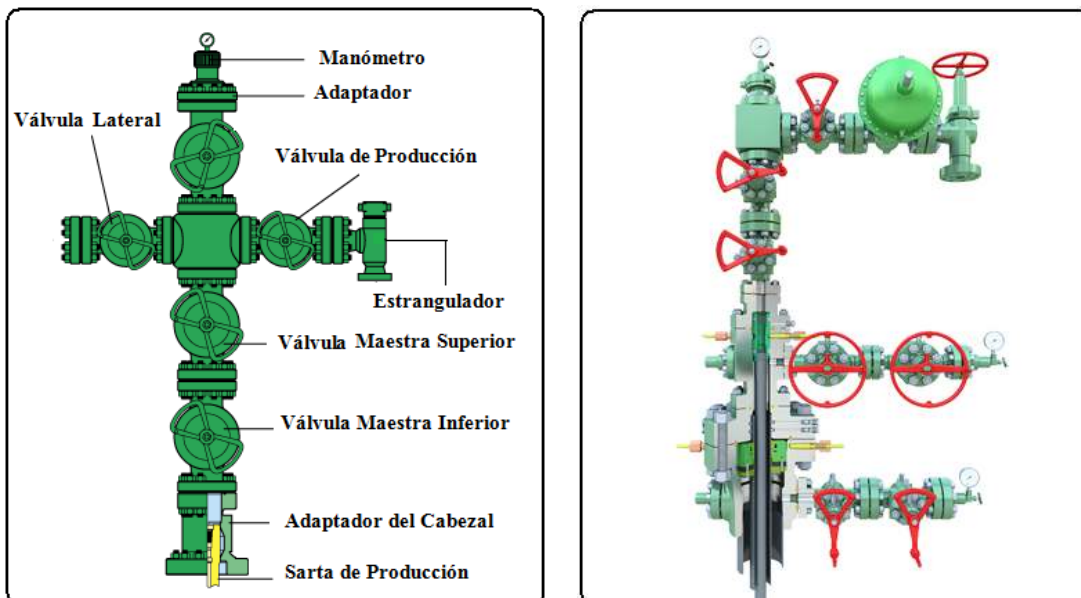


Figura 1.4 Medio árbol de válvulas<sup>5</sup>.

El diseño de un árbol de válvulas considera parámetros de flujo, pozo y condiciones de operación para su elección como por ejemplo, la resistencia y presiones, tipo de fluido producido, etc.

El medio árbol de válvulas es otro tipo de equipo que ayuda a controlar los fluidos de producción, éste sirve como conexión de las tuberías de producción por el cual fluyen los hidrocarburos del yacimiento. Es un medio para controlar, a través de sus válvulas, las direcciones de flujo de los fluidos que aporte el pozo, lo que mantendrá la seguridad del pozo.

### **1.3.4.2 Conexiones superficiales**

Son un conjunto de tuberías, niples, codos, tuercas unión, válvulas, bridas, que se conectan de acuerdo a las necesidades requeridas y tienen la función de conducir los fluidos producidos por el pozo a la línea de descarga, así también conducir el gas inyectado a presión. Las conexiones superficiales de un pozo con un sistema de bombeo neumático constan fundamentalmente de:

- a) Línea de descarga
- b) By-pass
- c) Línea de inyección de gas

#### **a) Línea de descarga**

Es el equipo de tuberías que parte del árbol de válvulas hacia la estación de separación, en estas tuberías se transporta la producción de aceite, gas, arena y agua (los dos últimos dos son considerados no hidrocarburos).

#### **b) By-pass**

Es un equipo superficial, que está colocada en un árbol de válvulas, el cual sirve para comunicar la tubería de revestimiento con la tubería de producción, así mismo permite corregir algunas fallas en el aparejo de las válvulas. Además es una conexión de apoyo a las conexiones de superficie como la línea de descarga para asegurar el flujo hacia la batería de separación.

#### **c) Línea de inyección de gas**

Es un conjunto de tuberías y conexiones por medio del cual se transporta el gas que sirve como suministro al bombeo neumático. Su función es la de medir, conducir, regular y controlar con seguridad la inyección de gas a presión para un sistema artificial que utiliza el bombeo neumático.



Las partes principales que lo componen son de válvulas, tuercas unión, interruptores y medidores de flujo.

### 1.3.4.3 Válvulas de control

Otro equipo superficial importante son las válvulas de control, el cual son mecanismos que se utilizan para controlar los flujos de fluidos. En un sistema artificial de bombeo neumático se utilizan principalmente válvulas 2" de diámetro. Las válvulas más utilizadas en el bombeo neumático son; las válvulas de compuerta con sello metal de hule o las válvulas de compuerta con sello metal-metal.



Figura 1.5 Válvulas de control de flujo tipo bola<sup>6</sup>.

### 1.3.4.4 Válvulas de retención

El diseño de estas válvulas permite el flujo de un fluido en una sola dirección impidiendo así el regreso del fluido cuando se presentan contrapresiones, gracias a su diseño pueden manejar tanto líquidos como gases. Estas válvulas se conocen de tres tipos:

- Check (figura 1.6a)
- Válvula pistón (figura 1.6b)
- Válvula de retención (figura 1.6c)



Figura 1.6 Válvulas de retención<sup>6</sup>.

La válvula tipo check es la más usada en una instalación BN, ya que evita el retroceso del fluido, además sirve como un dispositivo de seguridad cuando se presentan fugas en los componentes de la T.R.

### 1.3.4.5 Otros equipos superficiales

Los equipos que a continuación se muestran también forman parte del equipo superficial del BN.

#### a) Válvula de aguja

Es un equipo de control, que por su diseño permite controlar en forma adecuada una cantidad de fluido de un líquido o gas en diferentes etapas y su instalación está localizada en la línea de inyección de gas, su principal función es regular la inyección de gas en el espacio anular (*figura 1.7a*).

#### b) Tuerca unión

Es un accesorio por medio del cual se logran las conexiones de las líneas, permitiendo un sello efectivo para fluidos del pozo como para gas (*figura 1.7b*).

#### c) Filtros

Su función es la de eliminar los líquidos y sólidos que van mezclados al gas del bombeo neumático (*figura 1.7c*).



(a) Válvula aguja



(b) Tuerca unión



(c) Filtro

*Figura 1.7 Equipos superficiales<sup>6</sup>.*

#### **d) Medidores de flujo**

Son diseñados para registrar movimientos o desplazamientos de los fluidos, los más utilizados en el diseño de un BN son los medidores por caída de presión, el cual miden la presión diferencial que existe de la relación entre la velocidad del fluido y la pérdida de presión, al pasar el flujo a través de una restricción en la tubería. Los elementos principales de los medidores por caída de presión constan de tres elementos:

- Fitting
- Porta orificio (elemento primario)
- Registrador de flujo (elemento secundario)

#### **e) Reductores de presión**

Su diseño permite manipular altas y bajas presiones, reduciéndolas hasta valores aceptables para ser manejado directamente por otros mecanismos.

### **1.3.5 Equipo subsuperficial**

Son mecanismos que se encuentran en el interior del pozo y que contribuyen a elevar los fluidos de la formación a la superficie. El equipo subsuperficial del Bombeo Neumático consta de:

- a) Tubería de producción.
- b) Válvulas de inyección de gas.
- c) Empacadores.
- d) Válvula de pie.
- e) Accesorios.

#### **1.3.5.1 Tubería de producción**

Es una tubería que en el extremo inferior va conectado un accesorio conocido como niple campana, la tubería va alojada en el interior de la tubería de revestimiento. En la superficie la T.P está sostenida por un accesorio llamado colgador envolvente para tubería de producción, esta se aloja en el medio árbol de válvulas.

#### **1.3.5.2 Válvulas de inyección de gas**

Son dispositivos cuyo diseño permiten la inyección de un volumen regulado de gas a través del espacio anular a la T.P, con la finalidad de disminuir la densidad de la mezcla de los fluidos procedentes del pozo a través de la T.P

Estas válvulas son instaladas a diferentes profundidades, distribuidas o espaciadas de acuerdo a un diseño, éstas se encuentran instaladas en un tubo mandril (cada una) y estos a su vez están conectados en la T.P.

La válvula mas común es la válvula operada por presión, el cual abre en respuesta a la inyección de gas y a la presión proveniente de la T.P, ayudando de esta manera a abrir la válvula, permitiendo el paso de gas acumulado en el espacio anular.

El concepto de “aparejo de bombeo neumático” se presenta mucho en la industria petrolera y este hace referencia al conjunto de válvulas de inyección de gas requeridas en la instalación del sistema de bombeo neumático, el cual son distribuidas a lo largo de la tubería hasta localizar el punto dinámico del pozo, el numero de válvulas requeridas para la inyección, varía de acuerdo al tipo de válvula que se utiliza, así como las características propias del pozo.

Las válvulas de inyección de gas se clasifican de acuerdo a su extracción o introducción en el interior del pozo, estas son:

**a) Convencionales**

Es aquella válvula instalada en un adaptador en el exterior de un mandril, el cual se introduce al pozo como parte de la T.P y éstas pueden ser de resorte o de carga de nitrógeno en el fuelle. Para recuperar la válvula es necesario extraer la T.P del pozo.

**b) Recuperable**

Es aquella que se localiza dentro del bolsillo de un mandril, el cual se introduce al pozo como parte de la T.P del pozo, puede alojarse y recuperarse por los métodos de línea de acero sin tener que extraer la T.P. La figura 1.8 muestra un ejemplo de una válvula recuperable.



*Figura 1.8 Válvula recuperable<sup>5</sup>.*

El dispositivo donde se instalan las válvulas se le conoce como mandril, el cual es un dispositivo que ayuda a las válvulas a retenerlas en la T.P, ya sea en el exterior del mandril como es el caso de las válvulas convencionales o dentro del bolsillo del mandril como es el caso de las válvulas recuperables.

### 1.3.5.3 Empacadores

El empacador es un dispositivo el cual aísla la zona del espacio anular que hay entre la T.P y la T.R incrementando la eficiencia de flujo, las principales ventajas son:

- Bloquea el paso de fluidos al espacio anular o del espacio anular a la T.P.
- Elimina la presión en la tubería de revestimiento arriba del empacador.
- Los fluidos corrosivos, arena, etc., fluyen únicamente por la T.P lo que mantiene la T.R sin ser dañada.
- Aísla los intervalos productores.

#### Tipos de empacadores

- Empacador recuperable (*figura 1.9*).
- Empacador permanente.
- Empacador semipermanente.

La selección de uno u otro va a depender de las condiciones que tenga el pozo.



*Figura 1.9* Empacadores recuperables<sup>5</sup>

### 1.3.5.4 Accesorios para equipo Subsuperficial

#### a) Niples

Es un dispositivo complementario de un empacador tipo semipermanente, cuya finalidad es evitar el paso de fluidos en las juntas de metal-metal.

#### b) Válvula de pie

Se instala en el fondo del pozo, es necesario en pozos de baja recuperación, sin su instalación, el fluido puede desplazarse dentro de la formación en lugar de ir a superficie, este dispositivo se conoce también como válvula de retención.

## 1.4 Bombeo Mecánico

Es uno de los primeros sistemas artificiales de producción a lo largo de la historia, en México este sistema artificial representa el segundo más implementado. Este sistema artificial puede operar eficientemente sobre un amplio rango de características de producción de pozo, es considerado para elevar volúmenes moderados desde profundidades someras y volúmenes pequeños desde profundidades intermedias.

El bombeo mecánico consiste esencialmente en cinco partes:

1. La varilla de succión subsuperficial manejada por la bomba.
2. La sarta de la varilla de succión el cual transmite el movimiento de bombeo y poder a la bomba subsuperficial.
3. El equipo de bombeo superficial el cual cambia el movimiento de rotación del motor primario en el movimiento oscilatorio lineal de bombeo.
4. La unidad de transmisión de energía o reductor de velocidad.
5. El motor primario el cual proporciona la potencia necesaria al sistema.

La mínima cantidad de información el cual debemos saber, asumir, o incluso determinar con datos aproximados para el diseño e instalación del bombeo mecánico es:

- Nivel del fluido
- Profundidad de la bomba
- Velocidad de bombeo
- Longitud de la superficie
- Diámetro de la bomba de embolo
- Gravedad especifica del fluido
- El diámetro nominal de la tubería de producción y si está anclada o desanclada.
- Tamaño y diseño de la varilla de succión.
- Geometría de la unidad.

El sistema de bombeo mecánico tiene como objetivo elevar los fluidos a la superficie con un mínimo de:

- Torsión.
- Carga en la varilla pulida.
- Requerimientos de potencia del motor principal.
- Costos de mantenimiento de la unidad.
- Fallas en la varilla

Los componentes del sistema de bombeo mecánico son:

- a) La unidad de bombeo mecánico

- b) Mecanismos superficiales
- c) Motor principal
- d) Unidad de transmisión de potencia o reductor de velocidad
- e) Sarta de varillas de succión
- f) Bomba subsuperficial
- g) Tubería de producción

### **1.4.1 Unidad de bombeo Mecánico**

Es un mecanismo que imparte un movimiento recíprocante a una varilla pulida, la cual a su vez es suspendida en la sarta de varillas de succión, debajo del prensaestopas de la cabeza del pozo. La mayoría de estas unidades su montaje se basa en el método de contrabalanceo, el cual consta de pesos ajustables a las manivelas de rotación o bien de presión de aire empujado hacia arriba para proporcionar el movimiento del balancín.

Hay tres tipos de unidades de bombeo mecánico, el de balancín, el hidroneumático y Rotaflex.

#### **1.4.1.1 Unidades de bombeo mecánico tipo balancín.**

Este tipo de unidades tiene cinco elementos principales:

1. Estructura del balancín de bombeo.
2. Motor primario.
3. Caja de engranes.
4. Sarta de la varilla de succión.
5. Bomba subsuperficial.

El motor primario es la fuente primordial de potencia para toda la operación de bombeo, el cual se conecta a la caja de engranes que se encarga de reducir la alta velocidad que genera el motor a velocidades requeridas por la unidad. Una banda en V transmite la potencia del motor a la caja de engranes. El montaje del balancín se encuentra en superficie y convierte los efectos oscilatorios y rotativos del balancín y del motor en movimientos oscilatorios pero lineales para la varilla pulida, la cual está conectada a la sarta de varillas y ésta a su vez con la bomba subsuperficial.

El poste Sampson es un elemento del montaje, el cual debe ser suficientemente rígido y fuerte para soportar por lo menos el doble de la carga máxima de la varilla pulida. Su soporte central soporta al balancín, éste soportará los esfuerzos causados por la carga del pozo por un extremo y la fuerza de las bielas por el otro. Otro elemento importante del montaje es la cabeza de caballo.

La cabeza de caballo es instalada en el balancín y soporta la varilla pulida, el cual se mueve en línea tangente al arco de la cabeza de caballo.

Este tipo de unidades cuenta con dos geometrías diferentes, las cuales son

- Clase I (Convencional) *figura 1.10a*
- Clase II (Mark II y Aerobalanceada) *figura 1.10b y 1.10c*

Actualmente la clase I es la más usada<sup>1</sup>, especialmente en pequeñas y medianas longitudes de carrera, su rotación es en contra del sentido de las manecillas del reloj esto se debe por la rotación de las manivelas que están conectadas a los elementos laterales de la biela, causando que el balancín gire alrededor del soporte central. Este movimiento permite que la varilla pulida tenga un movimiento ascendente y descendente a través de su conexión hacia la línea de acero y la cabeza de caballo.



(a) Clase I (Convencional)



(b) Clase II (Mark II)



(c) Clase II (Aerobalanceada)

*Figura 1.10 Geometrías del Bombeo Mecánico<sup>4</sup>*



### 1.4.1.2 Bombeo Mecánico tipo Hidroneumático.

Es otro tipo de movimiento alternativo para las varillas, su principio de funcionamiento está basado en presiones hidráulicas por la compresión y expansión de nitrógeno. El nitrógeno se encuentra dentro de un acumulador soportando dos terceras partes de la carga total de la varilla pulida y reemplaza a los contrapesos de una unidad de bombeo neumático convencional.

El acumulador es un cilindro con un pistón flotante en su interior, el cual actúan el fluido hidráulico (aceite) y gas comprimido ( $N_2$ ), su función es proporcionar el efecto de contrapeso de la unidad. El cilindro actuador tiene dos pistones solitarios a una barra pulida por lo que generan tres cámaras en las cuales actuará el aceite hidráulico. La fuente de energía es un motor que proporciona la potencia a la bomba hidráulica, la cual está conectada al tanque de aceite hidráulico.

Un tercer tipo de unidad del bombeo mecánico es el tipo Rotaflex, el cual opera con contrapesos de hierro (al igual que las unidades de balancín) solo que existe una diferencia en el contrabalanceo, el cual tiene una trayectoria vertical de ascenso y descenso.

### 1.4.2 Mecanismos superficiales

Lo conforman; grampa, estopero, varilla pulida, válvula de retención y Preventores

#### a) Grampa

Es un dispositivo que se coloca en forma permanente cuando se le ha dado el espacio adecuado a la bomba de fondo, su principal objetivo es sujetar la varilla pulida por apriete. También se utiliza para eliminar golpeteos en la bomba de fondo, sacar un registro dinamométrico o reanclar una bomba.

#### b) Estopero

Este es un dispositivo que se usa para dar seguridad (*figura 1.11a*), cuya función principal es la de contener los fluidos para que no fluyan al exterior, por medio de un conjunto de sellos resistentes al rozamiento. Estos sellos sufren desgaste debido al movimiento ascendente y descendente de la varillas por lo que es necesario sustituirlos periódicamente.

#### c) Varilla pulida

Esta se ubica a través de las conexiones verticales del árbol y del estopero, su función es la unión directa entre la sarta de varillas de succión y el equipo superficial (*figura 1.11b*).

**d) Válvula de retención**

También conocida como válvula check, su principal objetivo es el de permitir el paso del fluido en una sola dirección impidiendo así, el regreso del fluido cuando haya altas contrapresiones.

**e) Preventores**

Son diseñados para impedir el paso de los fluidos al exterior en caso necesario. Es un mecanismo de seguridad y solo se puede accionar cuando la unidad de bombeo mecánico no está operando, debido a que pueden dañar los sellos de hule que se encuentran en su interior. La figura 1.11c muestra el diseño de un Preventor.

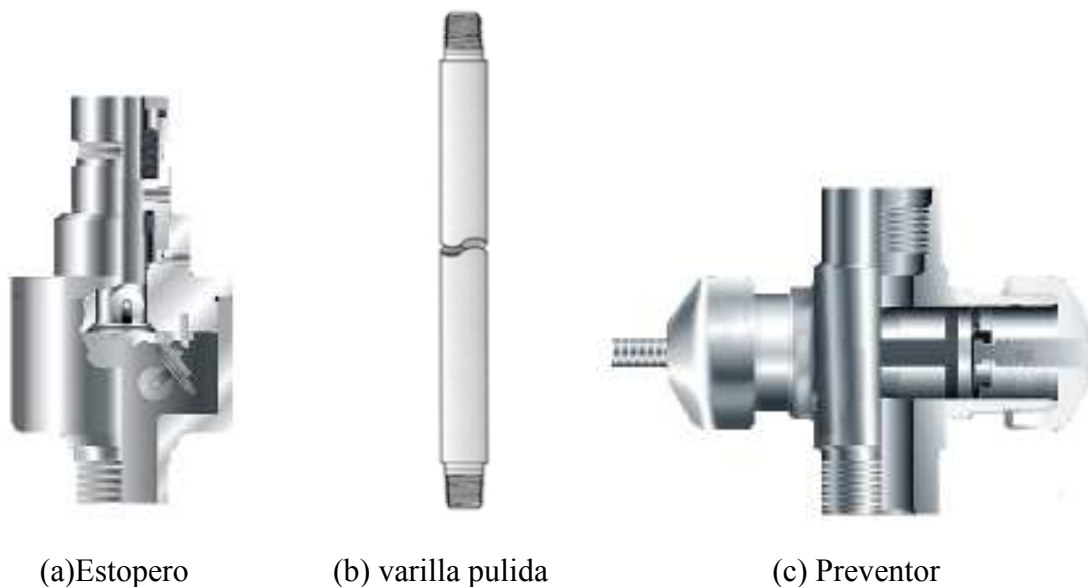


Figura 1.11 Mecanismos Superficiales

### 1.4.3 Motor principal

Es el encargado de proporcionar energía mecánica a la instalación, el cual será transmitido a la bomba y usado para elevar el fluido. La selección óptima del motor principal es un aspecto importante para el diseño del bombeo mecánico, el cual debe tener suficiente potencia para elevar el fluido al ritmo deseado. En la industria hay dos tipos que cotidianamente son usados:

- a) Motores de combustión interna
- b) Motores eléctricos

**a) Motores de combustión interna**

La energía que utilizan estos motores es el producto de la combustión del aire y del combustible, la reacción del aire y del combustible generalmente se lleva a cabo en un cilindro de trabajo.

Los motores de combustión interna usados en las unidades de Bombeo Mecánico se dividen en dos clasificaciones: de baja y alta velocidad, la selección de uno u otro dependerá del gasto deseado en la superficie.

#### **b) Motores eléctricos**

Estos motores convierten la energía eléctrica en movimiento rotativo o energía mecánica, generalmente utilizan la interacción de dos campos magnéticos para su funcionamiento: uno alrededor de un conductor que lleva corriente y otro es un campo fijo.

### **1.4.4 Reductor de engranes**

El objetivo principal del reductor de engranes es reducir la velocidad del motor principal a una velocidad de bombeo adecuada. El elemento principal del reductor de engranes es la polea, el cual es un mecanismo que recibe la potencia del motor principal por medio de bandas.

### **1.4.5 Varillas de succión**

Es un mecanismo diseñado para enlazar la unidad de bombeo mecánico superficial y la bomba subsuperficial. El movimiento vertical de la unidad superficial es transferido por medio de las varillas de succión a la bomba subsuperficial.

Dependiendo del material utilizado, hay dos tipos de varillas de succión:

1. Varillas de acero
2. Varillas de fibra de vidrio

El principal componente de la varilla de succión es el acero, pero se recomienda agregar otros elementos para proporcionar la fuerza necesaria que debe tener en base al diseño del pozo, estos materiales pueden ser; carbono, manganeso, silicón, níquel, etc.

### **1.4.6 Bomba subsuperficial**

La bomba subsuperficial de Bombeo Mecánico puede ser de dos tipos:

#### **a) Bomba de tubería de producción**

Esta bomba tiene la característica de que el barril de trabajo está conectado en el fondo de la T.P. y es instalada dentro del pozo como parte integral de la sarta de la T.P. (*figura 1.12*).

Una ventaja de esta bomba es que tiene mayor desplazamiento que los tipos de inserción, debido a que se pueden usar diámetros más grandes del embolo dentro de los barriles. Sin embargo, tienen la desventaja de que la T.P debe ser extraída del pozo para el mantenimiento del barril.

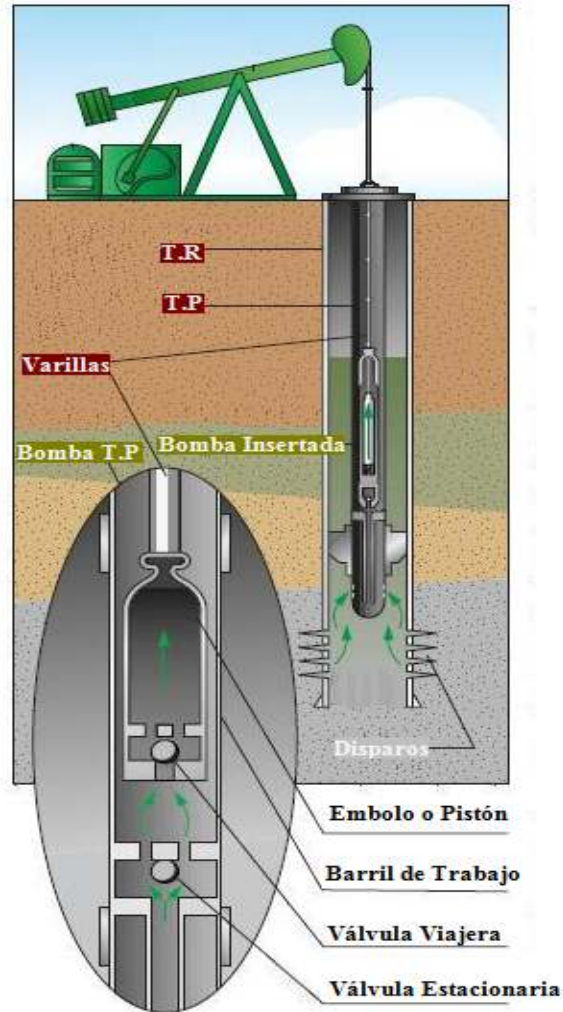


Figura 1.12 Bomba insertada en la tubería de producción<sup>3</sup>.

### b) Bomba de inserción

En este tipo de bomba el barril de trabajo es una parte integral del ensamble de la bomba subsuperficial y es corrida como una unidad en la sarta de varillas de succión en el interior de la T.P o de la T.R.

Una ventaja de este tipo de bomba es que se conectan a la sarta de varillas de succión, esto facilita la extracción del montaje completo, el cual puede ser retirado simplemente al extraer la sarta de varillas. Con esta bomba, el barril de trabajo es bajado junto con las varillas.

Otro tipo de bomba es la que se anexa a la T.R; este tipo de bombas son todas aquellas que usan la T.R en lugar de la T.P, por medio del cual el fluido es bombeado a superficie. La bomba de T.R es para pozos poco profundos y donde se requieren gastos de producción altos.

Las bombas subsuperficiales consisten de cinco componentes:

1. Barril de trabajo
2. Embolo
3. Válvula estacionaria
4. Válvula viajera
5. Ancla de asiento

Si existen cantidades de gas libre en los fluidos de pozo, es recomendable instalar un ancla de gas, la cual funciona como un separador de gas desviándolo hacia el espacio anular. Este dispositivo trabaja por el efecto de densidades, ya que el gas es menos denso que el aceite, se eleva conforme los fluidos entran al ancla. Si no se instalara este dispositivo la bomba trabajaría con altos volúmenes de gas lo que disminuiría su eficiencia de bombeo.

### **1.4.7 Tubería de producción**

La sarta de varillas se instala dentro de la T.P, el cual su diámetro varía de acuerdo al diámetro de la bomba y por la cantidad de gastos a producir. Dentro de la T.P existen otros equipos que son importantes en el diseño del bombeo mecánico tales como:

#### **a) Ancla mecánica**

Su función principal es sujetar la T.P ya tensionada, es decir con fluidos en la bomba subsuperficial, éste mecanismo es instalado a determinada profundidad del pozo. Al instalar una ancla mecánica se mantendrá la T.P fija, gracias a esto se evitara el problema de elongación, por lo cual se asegurara una carrera efectiva del embolo de la bomba. Además se disminuirá el desgaste de las varillas y de la T.P

#### **b) Empacador**

El empacador en este sistema artificial tiene como objetivo mantener tensionada la T.P, con la diferencia de que éste lleva hules por lo que no permite la comunicación entre la T.P y la T.R

## 1.5 Bombeo Electrocentrífugo Sumergido

Un pozo candidato a producir por Bombeo Electrocentrífugo Sumergido (BEC), debe reunir características tales que no afecten su funcionamiento, como por ejemplo las altas relaciones gas-aceite, altas temperaturas y la presencia de arena en los fluidos producidos. En la figura 1.13 se muestra los elementos que componen este sistema.

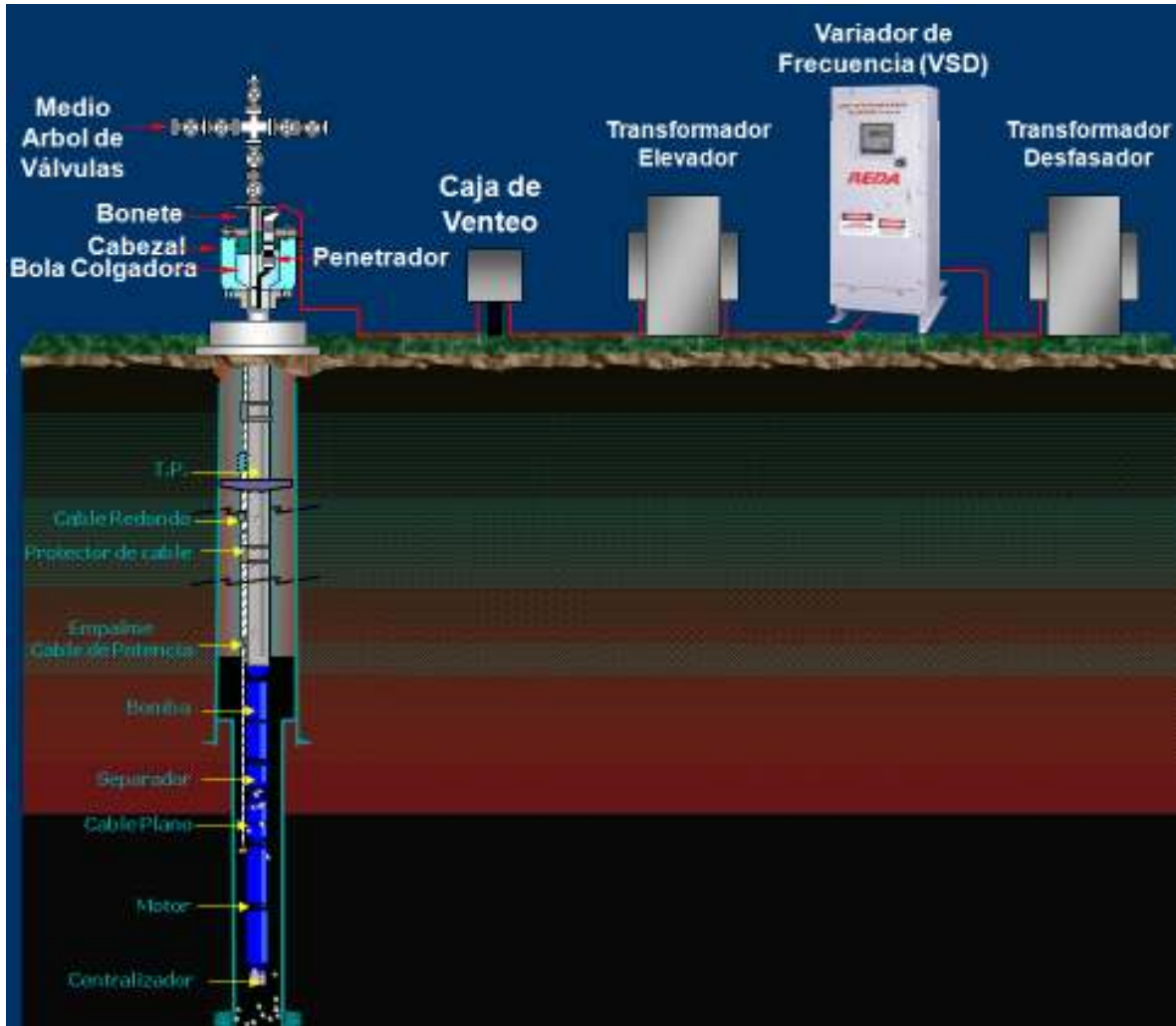


Figura 1.13 Unidad de Bombeo Electrocentrífugo<sup>4</sup>.

Algunas características únicas de este sistema son:

- Capacidad de producir volúmenes considerables de fluido desde grandes profundidades.
- Puede manejar bajo una amplia variedad de condiciones de pozo.
- La unidad de impulso o motor está directamente acoplada con la bomba en el fondo del pozo.

El BEC es ideal para trabajar bajo un amplio rango de profundidades y gastos. Su aplicación será notable cuando las condiciones sean propicias para producir altos volúmenes de líquidos con bajas RGA.

Una unidad típica de bombeo electrocentrífugo está constituida en la superficie por: cabezal, cable superficial, caja de venteo, tablero de control, transformador. El equipo de fondo está conformado por los componentes: motor eléctrico, protector, sección de entrada, bomba electrocentrífuga, cable conductor y accesorios para asegurar una buena operación (*figura 1.13*).

Cada componente ejecuta una función en el sistema con el objetivo de obtener las condiciones de operación deseadas que permitan optimizar la producción.

### 1.5.1 Equipo Superficial

#### a) Bola colgadora

Es un elemento que forma parte del cabezal del pozo, su función es sostener la T.P, permitir su paso y el del cable conductor, además evita la fuga de fluidos a la superficie debido al sello entre la T.P y la T.R, está construida de acero, envuelta de neopreno.

#### b) Caja de venteo

Su instalación se debe a cuestiones de seguridad entre el cabezal y el tablero de control, debido a que puede haber fugas a lo largo del cable superficial y alcanzar la instalación eléctrica en el tablero.

#### c) Tablero de control

Es el mecanismo que controla la operación del aparejo de producción que hay en el fondo del pozo. Su diseño dependerá de la calidad del control que se desea tener, el cual puede ser:

- Equipo Sencillo
  - Botón de arranque.
  - Fusible de protección por sobrecarga.
  
- Equipo Completo
  - Fusibles de conexión.
  - Mecanismos de relojería.
  - Amperímetro.
  - Protectores de depresionamiento de líneas.
  - Señales de luces.
  - Dispositivos de control remoto.

**d) Transformador**

Es un elemento importante del equipo superficial, ya que su objetivo es elevar o disminuir el voltaje requerido desde superficie para alimentar al motor en el fondo del pozo. Algunos están instalados con interruptores, el cual les da mayor flexibilidad de operación.

**e) Variadores de frecuencia**

Este equipo permite alterar la frecuencia del voltaje que alimenta al motor por lo que modifica su velocidad. Incrementando la frecuencia incrementará la velocidad y el gasto, una baja frecuencia los disminuye.

**1.5.2 Equipo Subsuperficial**

Lo conforma el motor eléctrico, protector, separador de gas, bomba y cable.

**1.5.2.1 Motor eléctrico**

El motor eléctrico es colocado en la parte inferior del aparejo, recibe la energía a través de un cable desde una fuente superficial. Su diseño es especial, ya que permite introducirlo en la T.R del pozo y satisfacer requerimientos de potencia grandes. La tabla 1.2 muestra los principales tipos de motores disponibles para el BEC.

Tipo	Características
<b>Inducción</b>	<p><b>a) Jaula de ardilla</b>                      Este motor tiene un rotor que es un electroimán, tiene barras de conducción en toda su longitud, incrustadas en ranuras a distancias uniformes alrededor de la periferia. Este ensamblado se parece a las pequeñas jaulas rotativas de los hámsteres y por eso llevaban el nombre de jaulas de ardillas, éste puede ser:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Monofásico</li> <li>• Trifásico</li> </ul>
	<p><b>b) Rotor devanado</b>                      Este puede ser:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Monofásico</li> <li>• Trifásico</li> </ul>
<b>Dos polos de inducción</b>	<p>En este tipo de motores y en condiciones normales, el rotor gira a las mismas revoluciones que lo hace el campo magnético del estator.</p>

*Tabla 1.4 Tipos de motores para el BEC*

En el interior del motor se llena con aceite mineral, éste se caracteriza por su alta refinación, resistencia dieléctrica, buena conductividad térmica y capacidad para lubricar (cojinetes). El aceite tiene la función de transferir el calor generado por el motor a la carcasa y de ésta a los fluidos del pozo que pasan por la parte externa de la misma, es por esta razón que se recomienda colocar el aparejo arriba del intervalo disparado.



El voltaje necesario para el motor está en función de la profundidad de colocación del aparejo, debido al incremento de las pérdidas de voltaje que hay en el cable y la reducción del amperaje requerido.

### **1.5.2.2 Protector**

Se localiza entre el motor y el separador de gas; su objetivo es igualar la presión del fluido del motor y la presión externa del fluido del pozo a la profundidad de colocación del aparejo. El protector tiene otras funciones adicionales estas son:

- Conecta la carcasa de la bomba con la del motor.
- Evita la contaminación del aceite lubricante del motor con el fluido del pozo.
- Transmite el torque desarrollado en el motor hacia la bomba, a través del eje del protector.
- Guarda un cojinete que absorbe la carga axial desarrollada por la bomba.

Existen dos tipos de protectores que pueden ser utilizados

- a) Convencional
- b) Tres cámaras

Actualmente los protectores difieren de un fabricante a otro, pero la diferencia principal está en la forma de como el aceite lubricante del motor es aislado del fluido del pozo.

### **1.5.2.3 Separadores de gas**

El separador de gas es un componente de seguridad opcional del aparejo construido integralmente con la bomba, normalmente se coloca entre ésta y el protector, su función principal es succionar los fluidos a la bomba y desviar el gas libre de la succión hacia el espacio anular. Este tipo de dispositivo permite una operación de bombeo más eficiente en pozos de gas.

Existen dos tipos de separadores:

#### **a) Convencional**

Su operación consiste en invertir el sentido de flujo del líquido, lo que permite que el gas libre continúe con su trayectoria ascendente hacia el espacio anular, se recomienda para pozos donde las cantidades de gas libre no son muy altas, a la profundidad de colocación de la bomba.

## b) Centrifugo

Su operación consiste en separar a los fluidos por fuerza centrífuga, por la diferencia de densidades, el líquido va hacia las paredes internas del separador y el gas permanece en el centro.

Este separador cuenta con cuatro secciones: succión, cámara de incremento de presión, cámara de separación y By-pass

La compañía REDA (Russian Electrician Dynamo Artunoff) el cual fue la primer compañía en desarrollar el motor eléctrico, fabrica tres tipos de separadores.

- Estático (convencional)
- Dinámico (centrifugo)
- Vortex

El separador tipo Vortex es un separador tipo dinámico, el cual utiliza el efecto de remolino que se genera en el fluido al pasar por los puertos de entrada. Las ventajas de este tipo de separadores es tener mejor eficiencia de separación, y mejor rendimiento y durabilidad en ambientes difíciles.

Los efectos que causa la presencia de gas libre en el interior de la bomba, son:

- El comportamiento de la bomba cambia drásticamente creando fallas en su interior.
- Se reduce le eficiencia.
- Fluctuación de carga en el motor.
- Posible efecto de cavitación.

Actualmente en la industria se tienen avanzados separadores de gas que permiten manejar altas RGA mejorando la eficiencia total del sistema.

### 1.5.2.4 Bomba centrifuga sumergible

Su función principal es incrementar la presión de los fluidos producidos hasta alcanzar la superficie, estas bombas son de etapas múltiples y cada etapa consiste de un impulsor giratorio y de un difusor estacionario. El volumen de fluido que va a producirse está en función del tamaño de la etapa que se use, la carga o presión que la bomba genera depende del numero de etapas y de este número depende la potencia requerida.

El tamaño del impulsor y el diseño de su geometría afecta el funcionamiento de las bombas, es por eso que se considera una variable importante (*figura 1.14*). El diseño de un impulsor se puede clasificar como: radial, mixto o axial.

Un concepto importante que relaciona el impulsor con la presión, es “la presión desarrollada por una bomba sumergible, depende de la velocidad periférica del impulsor y es independiente del peso del fluido bombeado”.

La selección de la bomba para su aplicación depende de los siguientes factores:

- Tamaño de la T.R.
- Frecuencia de la corriente eléctrica.
- Gasto deseado.
- Producción especial (presencia de gas, fluidos viscosos, corrosivos, abrasivos requerirán de equipo especial)



*Figura 1.14* Bomba Centrífuga para BEC<sup>5</sup>.

Bombas más grandes proporcionan; mayor eficiencia, menor costo, mejora el manejo de gas y fluidos viscosos, altos HP y un empuje más alto.

### **1.5.2.5 Cable conductor eléctrico**

La energía necesaria para impulsar el motor se transfiere desde la superficie por medio de un cable conductor, este debe elegirse de tal manera que cumpla con los requisitos de voltaje y amperaje necesarios por el motor de fondo (*figura 1.15*). Además debe estar aislado bajo las propiedades que impone el fluido producido.

Las características más importantes del cable conductor son:

- Capacidad para aislar los cables eléctricos.

- Dimensiones externas (facilidad de cambiar el cable).
- Reducir el tamaño del conductor.
- Resistencia a la temperatura.
- Su elección debe de ser cuidadosa ya que, es considerado como el equipo más caro del sistema.

Cuando se usan cables en sistemas de alto voltaje, los conductores son rodeados por un material aislante y en algunas veces con una cubierta de plomo. Los cables estándar tienen una duración aproximadamente de 10 años de vida a una temperatura máxima de 167° F.



*Figura 1.15 Cable Conductor Eléctrico<sup>5</sup>.*

El tamaño del cable es determinado por el amperaje y voltaje del motor, así como por el espacio disponible entre la T.P y T.R.

## **1.6 Bombeo Hidráulico**

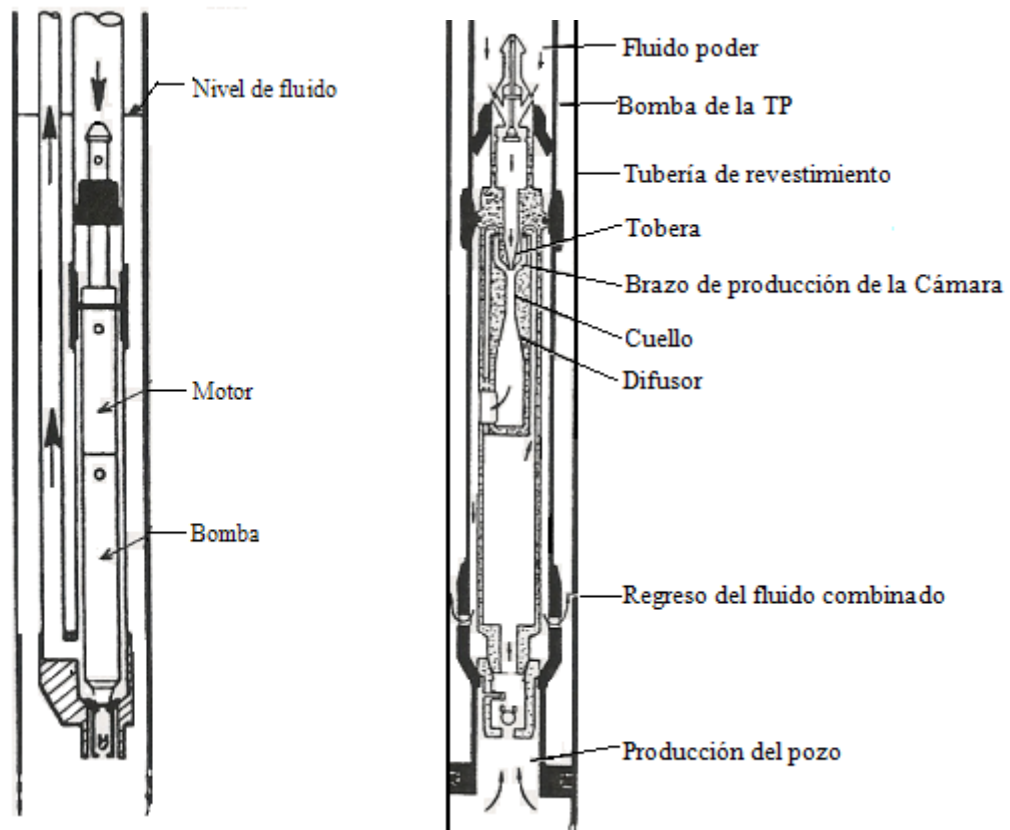
El bombeo hidráulico es aquel que genera y transmite energía al fondo del pozo mediante el uso de un fluido presurizado que es inyectado desde superficie a través de una tubería de inyección, hasta una unidad de producción subsuperficial el cual se coloca a cierta profundidad de interés.

El fluido presurizado se conoce como fluido de potencia o fluido motriz y puede ser agua o aceite. El fluido motriz acciona una bomba subsuperficial que actúa como un transformador para convertir la energía potencial del fluido motriz en una carga de presión estática, la cual es transmitida a los fluidos producidos para ser llevados hacia la superficie.

### **Características y capacidades de operación**

Sus características y capacidades de operación para este tipo de bombeo son:

1. Un rango de presión de 2,000 a 4000 psi en superficie.
2. La bomba utilizada es del tipo reciprocante triplex para generar los rangos de presiones mencionados en el punto uno.
3. Generalmente se usa una potencia en superficie de 30 y 275 hp.
4. Puede utilizarse el aceite crudo producido o el agua como fluido motriz.
5. Las profundidades de colocación de la bomba están entre 1,500 y 15,00 pies para el tipo pistón y para el tipo jet entre 1,500 y 10,000 pies.
6. Pueden ser inyectados al fondo del pozo junto con el fluido motriz productos químicos para evitar y controlar la corrosión.
7. Las instalaciones del bombeo hidráulico son adecuados para pozos direccionales, horizontales o aquellos que presentan una desviación.



(a) Tipo pistón

(b) Tipo jet

Figura 1.16. Bombeo Hidráulico tipo Pistón y tipo Jet<sup>1</sup>

### 1.6.1 Tipos de Bombeo Hidráulico.

De acuerdo al tipo de bomba se clasifican en:

#### a) Tipo pistón

El tipo pistón es aquel que genera y transmite energía al fondo del pozo mediante un fluido bajo presión que fluye desde la superficie a través de una tubería de inyección, hasta una unidad de producción subsuperficial la cual está constituida fundamentalmente de un juego de pistones reciprocantes acoplados entre si por medio de una varilla metálica (*figura 1.16a*). El juego de pistones está compuesto por uno superior “pistón motor” y que es accionado por el fluido motriz al tiempo que el pistón inferior “bomba” impulsa los fluidos del pozo hacia la superficie.

#### b) Tipo jet

El tipo jet es aquel que genera y transmite energía al fondo del pozo mediante un fluido bajo presión que fluye desde la superficie y a través de una tubería de inyección, hasta una tobera, una cámara de mezclado y un difusor, el cual forman parte de una unidad de producción subsuperficial. La alta presión del fluido motriz pasa a través de la tobera para ser convertida en un fluido de alta velocidad jet de fluido, el cual se transfiere a los fluidos producidos para ser impulsados hacia la superficie (*figura 1.16b*).

Ventajas potenciales de este sistema son

- La bomba jet puede tolerar fluidos de menor calidad, ya sea fluido motriz o del pozo, ya que no contienen componentes mecánicos reciprocantes.
- La bomba jet puede ser adaptada a casi cualquier conexión de fondo.
- Mayores índices de productividad pueden ser obtenidos en comparación con una bomba hidráulica convencional, siempre y cuando se utilice el mismo tamaño de tubería.

### 1.6.2 Sistema de inyección del fluido motriz

El Bombeo Hidráulico tiene dos tipos de sistemas de inyección que difieren en la forma de inyección del fluido motriz y en la forma en que el fluido motriz regresa a la superficie luego de haber operado la unidad. En lo que no difieren es en la conducción del fluido motriz en superficie (desde el tanque de almacenamiento hasta la unidad de producción subsuperficial)

Los dos tipos de sistemas de inyección son:

**a) Sistema cerrado**

Es el método más completo que existe actualmente<sup>7</sup>, donde la forma de inyección es en un circuito cerrado y la forma en que regresa el fluido motriz a la superficie es independiente de los fluidos del pozo, en otras palabras, no existe una mezcla entre estos dos; por lo que el fluido motriz regresa al tanque formándose así un circuito cerrado. Una ventaja de este sistema es la medición exacta del volumen de fluidos producidos.

**b) Sistema abierto**

Este sistema es el más económico y sencillo de los dos sistemas, donde el fluido motriz es inyectado en un circuito abierto y posteriormente se mezcla con los fluidos del pozo por lo que en superficie se tiene una mezcla. El regreso del fluido motriz mezclado con los fluidos del pozo es a través de una tubería de descarga o por el espacio anular, esto dependerá del arreglo subsuperficial que se tenga.

El Bombeo hidráulico tipo jet, el sistema de inyección utilizado es exclusivamente el abierto ya que el fluido siempre es mezclado con los fluidos producidos.

El fluido motriz puede ser aceite o agua producida, generalmente el fluido motriz utilizado en el Bombeo Hidráulico es aceite crudo limpio, aunque también se puede utilizar agua limpia como el medio hidráulico.

### **1.6.3 Equipo superficial**

Un sistema artificial de producción por bombeo hidráulico para realizar su instalación se consideran los siguientes elementos (*figura 1.17*):

**a) Tanque para el fluido motriz**

Es el encargado de tratar y almacenar adecuadamente el fluido motriz antes de ser succionado por la bomba de la unidad de potencia superficial. En este punto es donde llega la mezcla del fluido motriz y los fluidos del pozo.

**b) Unidad de potencia**

Proporciona la potencia requerida por el sistema para inyectar el fluido motriz y operar una o varias unidades de producción subsuperficiales. Se compone por una bomba accionada por un motor.

**c) Distribuidor múltiple**

Este se encarga de distribuir y controlar la cantidad de fluido motriz proveniente de la bomba superficial y con dirección hacia los cabezales de los pozos mediante medidores de flujo y válvulas reguladoras de presión.

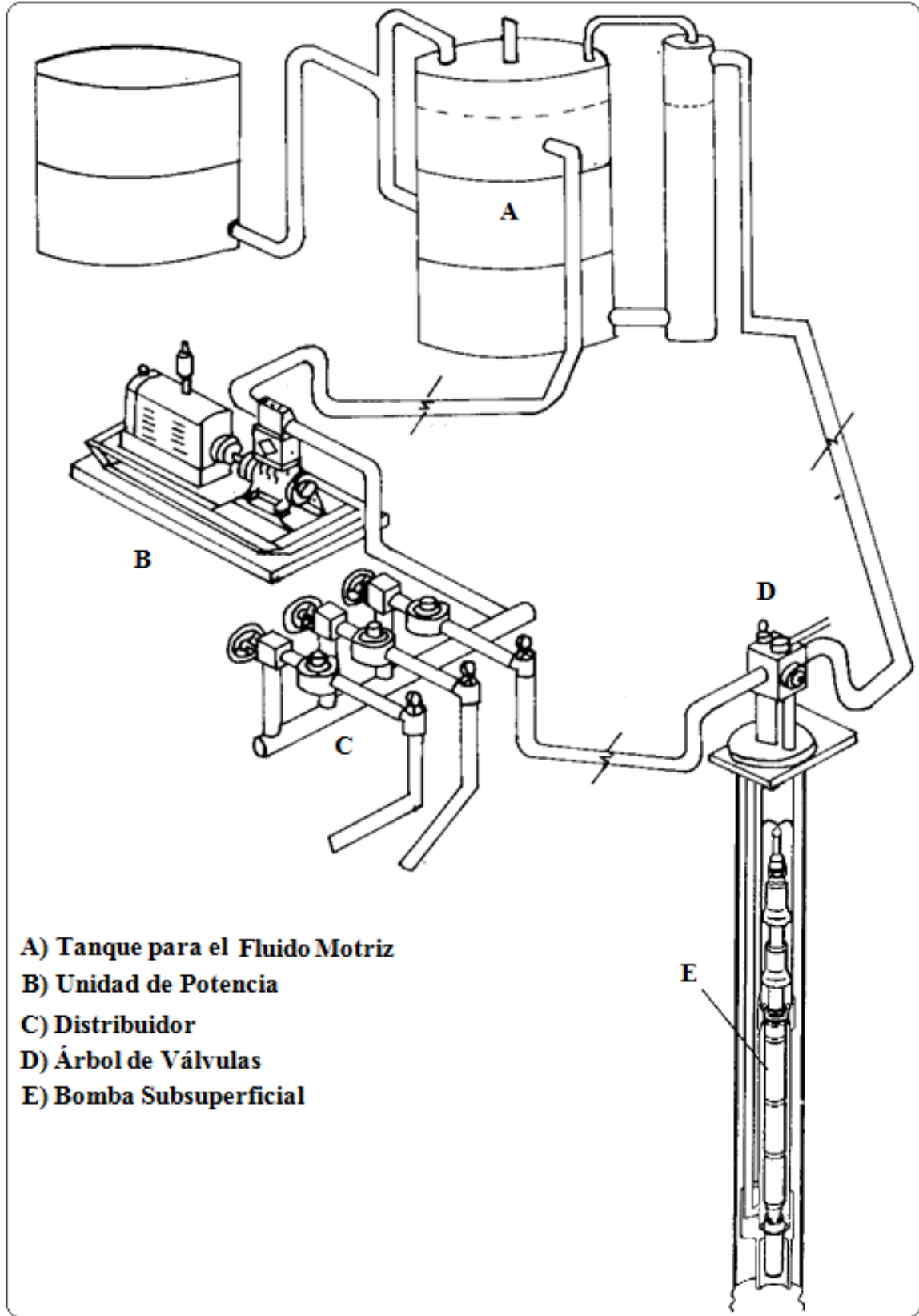


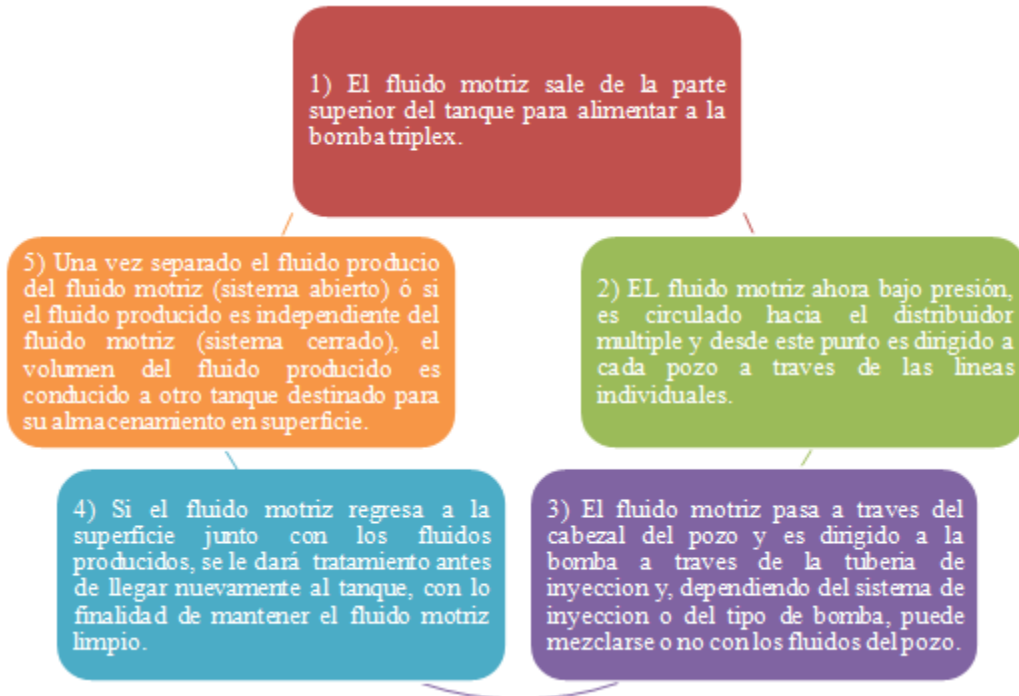
Figura 1.17 Componentes principales de un Bombeo Hidráulico<sup>7</sup>.



#### d) **Árbol de Válvulas**

Este dispositivo controla la dirección del fluido así como el volumen proveniente del distribuidor múltiple.

El ciclo del fluido motriz comienza en una batería central utilizando aceite crudo como fluido motriz, en la figura 1.18 se muestra el proceso del fluido a lo largo del sistema.



*Figura 1.18* Proceso del fluido motriz

#### 1.6.4 Equipo Subsuperficial

Este consiste en una unidad de producción subsuperficial, la cual convierte la energía potencial del fluido motriz en una carga de presión estática suficiente para transportar los fluidos producidos hacia la superficie.

Hay dos tipos de instalaciones subsuperficiales:

##### a) **Instalación con bomba fija.**

Tiene la característica de fijar la bomba en la parte inferior de la tubería de inyección, es decir, es sujeta a la tubería de inyección, también es conocida como instalación convencional.

##### b) **Instalación con bomba libre.**

En esta instalación la bomba de fondo es corrida y colocada libremente dentro de la tubería de inyección, por lo que no se sujeta físicamente. Esto permitirá la circulación de la bomba dentro y fuera del pozo sin necesidad de extraer toda la tubería de inyección.

Cada instalación subsuperficial difiere en la instalación del cabezal y de los arreglos geométricos subsuperficiales. En la tabla 1.5 muestra el tipo de equipo que hay en el cabezal y los arreglos geométricos de fondo para cada tipo de instalación de la bomba.

Instalación	Colocación de la bomba	Tipo de cabezal	Arreglo geométrico subsuperficial
<b>Bomba fija</b>	Se fija en la parte inferior de la tubería de inyección.	Consiste en: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Conjunto sencillo de accesorios.</li> <li>• Empacadores.</li> </ul>	Los tipos de arreglos pueden ser: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Bomba fijada en la tubería de inyección e introducida en la T.P.</li> <li>• Bomba fijada en la parte final de la tubería de inyección y asentada sobre un empacador recuperable.</li> </ul>
<b>Bomba libre</b>	Es colocada libremente dentro de la tubería de inyección.	Consiste en: <ul style="list-style-type: none"> <li>• El arreglo es más elaborado, ya que debe sujetar la bomba.</li> <li>• Una válvula de cuatro pasos.</li> <li>• Medidor de presión.</li> <li>• Accesorios.</li> </ul>	Los tipos de arreglos pueden ser: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Bomba libre en un arreglo estándar.</li> <li>• Bomba libre con sarta para el venteo del gas.</li> <li>• Bomba libre con tubería paralela.</li> </ul>

Tabla 1.5 Componentes básicos para los diferentes tipos de instalaciones superficiales<sup>1</sup>.

### 1.6.4.1 Bomba subsuperficial

En el subtema 1.6.1 Se presento la clasificación del BH de acuerdo al tipo de bomba subsuperficial. En este subtema se presentan los componentes de cada unidad.

#### a) Componentes mecánicos tipo pistón

Estos varían en cuanto a las condiciones de diseño por cada fabricante, sin embargo, el principio básico de operación de cualquier unidad es el mismo. Esta unidad está compuesta básicamente de los siguientes elementos:

- Motor hidráulico o pistón motriz de doble acción.
- Válvula motriz que regula el flujo del fluido motriz.
- Bomba hidráulica o pistón de producción.
- Varilla de la válvula motriz o varilla superior
- Varilla media.
- Varilla inferior.
- Tubo de balance.
- Orificio.

El motor hidráulico y la válvula motriz constituyen la sección motriz y se localiza en la parte superior de la unidad. La sección de producción está constituida por la bomba hidráulica localizada en la parte inferior.

### **b) Componentes mecánicos tipo jet**

Al igual que los componentes mecánicos de tipo pistón, estos varían en cuanto a las condiciones de diseño por cada fabricante, sin embargo, el principio básico de operación en cualquier unidad es el mismo. Los componentes básicos de esta unidad de fondo tipo jet son:

- Tobera.
- Cámara de mezclado.
- difusor.

#### **1.6.4.2 Accesorios**

En las instalaciones de un SAP es común utilizar mecanismos auxiliares, estos se instalan para dar seguridad a los equipos y disminuir los riesgos de pérdidas económicas. Los accesorios para el bombeo hidráulico son:

- Válvula check.
- Filtro de arranque.

## 1.7 Cavidades Progresivas

El sistema artificial por cavidades progresivas (BCP) consiste en elevar los fluidos, incrementando su presión por medio de la bomba de cavidades progresivas.

El bombeo por cavidades progresivas tiene un arreglo muy simple tanto en superficie como en el subsuelo. El equipo más importante en superficie es el generador de energía que abastece al motor. Dentro del pozo el elemento más importante del sistema es la bomba.

La bomba de cavidades progresivas es de desplazamiento positivo, compuesta por dos piezas fundamentales, el rotor de acero helicoidal y el estator de elastómero sintético pegado internamente a un tubo de acero. El estator es instalado en el fondo de la T.P, a la vez que el rotor está conectado al final de la sarta de varillas. La rotación de esta sarta se da por una fuente de energía en superficie, que permite el movimiento giratorio del rotor dentro del estator fijo.

El rotor tiene forma de un tornillo el cual gira dentro del estator, éste es revestido internamente por un elastómero moldeado al doble del rotor, cuando el rotor gira dentro del estator, genera una cavidad que se va desplazando desde el principio hasta el final de la bomba. En cada cavidad es llenada por fluido (en la succión), éste llega al final de la bomba con una presión mucho mayor (descarga), necesaria para llevar los fluidos hasta la superficie.

El movimiento de rotor es generado por una sarta de varillas, ésta transmite el movimiento rotacional al rotor desde un motor ubicado en la superficie, el cual regula la velocidad de rotación.

Las ventajas que tiene el Bombeo de Cavidades Progresivas son:

- Produce fluidos altamente viscosos.
- Producir altas concentraciones de arena.
- Puede producir altos porcentajes de gas libre.
- Bajos costos de inversión inicial y mantenimiento.
- Simple instalación y operación.

Las desventajas son:

- Producción de 2,000 a 4,000 bpd.
- Profundidad de 1,800 a 3500 m.
- Temperatura de 130° a 178° C.
- No es recomendable para pozos horizontales o direccionales.

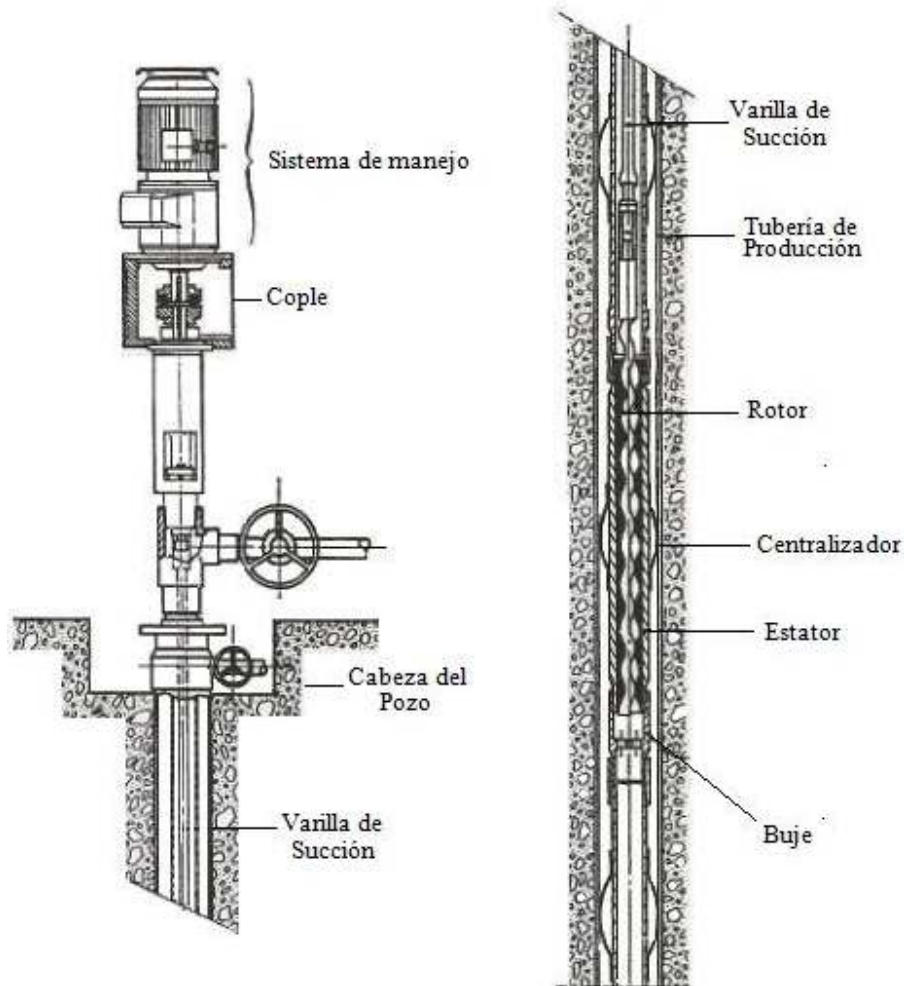


Figura 1.19. Unidad de Bombeo de Cavidades Progresivas<sup>1</sup>.

### 1.7.1 Equipo Superficial

La instalación de un SAP en pozos productores, requiere colocar en superficie equipos que controlen el funcionamiento del mismo. Principalmente, se instalan los sistemas de transmisión de energía de control del pozo. El bombeo por cavidades progresivas tiene un arreglo simple tanto en superficie como en el fondo del pozo. El equipo superficial requiere de una unidad generadora de energía que abastezca el motor, el cual transmitirá la rotación al cabezal y después a la sarta de producción instalada en el interior del pozo. El equipo superficial está conformado por: motor eléctrico, cabezal de rotación, líneas de descarga, sistema de frenado, tablero de control, bandas, caja de cambios, caja de sello y varilla pulida (*figura 1.19*).

### **a) Motor primario**

Es el equipo que proporciona el movimiento mecánico a la sarta de varillas para accionar la bomba y permitir la producción del pozo (*figura 1.20a*).

En el sistema de cavidades progresivas se utilizan motores eléctricos generalmente, sin embargo, en lugares aislados en donde no es posible o resulta muy caro llevar la energía eléctrica se utilizan motores de combustión interna. Las bandas y el reductor de engranes son dispositivos utilizados para reducir la velocidad del motor a velocidades requeridas por la bomba. Común mente se emplean motores que tienen reductores de velocidad integrales y poleas, también se utilizan motores de frecuencia variable que también ahorran energía si son del tipo correcto.

En la selección de motor se debe tener en cuenta la viscosidad y presiones máximas con que trabajará la bomba en el sistema. El motor seleccionado deberá permitir el funcionamiento adecuado del equipo a las condiciones que presenta el pozo.

### **b) Cabezal de rotación**

Es el encargado de soportar tanto el peso de la sarta de varillas, como el peso generado por la columna de fluidos por el rotor. El cabezal de rotación se selecciona en función de la carga que debe soportar y de las condiciones de fijación de la varilla de accionamiento, y los motores. Las funciones principales son:

- Proporciona un sello para evitar que los fluidos bombeados se filtren a superficie.
- Absorbe la carga axial generada por la varilla y por el aumento de presión de la bomba.
- Evita las velocidades inversas de las varillas al momento de parar el motor.

#### **Tipos de cabezales de rotación.**

Los cabezales de rotación más comunes son:

- Cabezal de rotación vertical.
- Cabezal de rotación de ángulo recto.

La selección de uno u otro dependen de costos y velocidad de la bomba requerida.

### **c) Estopero**

Su objetivo es proporcionar un sello que impida la fuga de fluidos a la superficie, además permite el giro de la varilla pulida.

**d) Varilla pulida**

Es la encargada de conectar la caja de engranes y la sarta de varillas de succión. Se fabrica de materiales como acero aleado al manganeso, níquel y molibdeno (*figura 1.20c*).

**e) Reductor de engranes**

Es el sistema de transmisión de potencia del motor a la sarta de varillas. Su función principal es lograr que el movimiento giratorio horizontal del motor, se transforme en movimiento vertical sobre la varilla pulida (*figura 1.20b*).



*Figura 1.20* Dispositivos superficiales del BCP<sup>8</sup>

## 1.7.2 Equipo subsuperficial

El componente principal es la bomba de cavidades progresivas, la cual está constituida por el rotor y el estator, además las varillas se consideran también como equipo subsuperficial.

### 1.7.2.1 Bomba

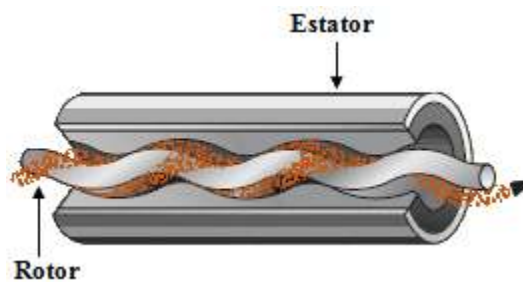
Su objetivo principal es adicionar presión suficiente a los fluidos del pozo, para hacerlos llegar a la superficie. Esta bomba consiste de un equipo helicoidal simple (rotor) que gira dentro de un equipo de elastómero de doble hélice (estator) *figura 1.21*. Cuando el rotor gira excéntricamente dentro del estator, se forma una serie de cavidades selladas. Su existencia es posible debido a la hélice adicional presente en el estator.

Conforme una cavidad va desapareciendo en la descarga, otra se está creando con el mismo volumen en la entrada, lo que da como resultado un flujo continuo. La longitud de la cavidad es siempre igual a la longitud del paso del estator.

Dos condiciones son necesarias para obtener las cavidades cerradas, y estas son:

- El rotor debe tener un lóbulo menos que el estator y cada lóbulo debe estar siempre en contacto con la superficie interna del estator,
- El rotor y estator deben construir longitudinalmente dos engranes helicoidales.

Existen diversas configuraciones de la bomba de cavidades progresivas, las cuales dependen de la relación de lóbulos entre el rotor y el estator.



*Figura 1.21* Bomba Subsuperficial<sup>8</sup>

### **Clasificación de las bombas**

Las bombas pueden clasificarse de distintas formas tomando en consideración su colocación, instalación o geometría.

#### **Por su instalación**

- Insertables.

El estator y el rotor son ensamblados de tal manera que ofrezcan un conjunto único. Este ensamblaje se baja al pozo con la sarta de varillas hasta conectarse a un niple de asiento instalado en la T.P.

- Tubulares

En este caso el estator se baja al pozo conectado a la T.P y el rotor se baja con la sarta de varillas, por lo que el rotor y estator son elementos totalmente independientes el uno del otro. Este tipo de bomba ofrece mayor capacidad volumétrica que la bomba de inserción.



### Por su geometría

La geometría de la bomba viene definida por la relación de lóbulos entre rotor y estator:

- Simple

Se conoce como un rotor externamente helicoidal simple y un estator internamente helicoidal doble, esto se escribe 1:2. (*Figura 1.22a*).

- Multilobulares

Son los que tiene más de dos rotores, estas bombas ofrecen mayor producción en comparación con las simples. (*Figura 1.22b*).



(a) Geometría simple      (b) Geometría multilobular

*Figura 1.22 Geometrías de la Bomba<sup>8</sup>*

#### a) Rotor

El rotor tiene la forma de tornillo sin fin, se construye en acero de alta resistencia y un cromado en la parte superficial. Este se conecta a la sarta de varillas la cual transmite el movimiento de rotación desde la superficie. La capa de cromo varía según el fabricante.

En casos donde estén presentes agentes corrosivos o acidificantes en alta concentración, se utiliza el acero inoxidable por su capacidad de resistencia. Este material tiene la desventaja de ser susceptible a la abrasión y es más costoso que el tradicional (acero al carbón) por lo que su aplicación se restringe a casos especiales.

#### b) Estator

El estator consiste en un cilindro de acero con un cuerpo de elastómero pegado internamente. El elastómero es sintético moldeado en forma de doble hélice.

El proceso de fabricación del estator consiste en la inyección del elastómero al tubo. El primer paso es recubrir la superficie interna de estator con un adhesivo, después se inyecta el polímero a alta presión y temperatura entre la camisa de acero y un núcleo.

### c) Elastómero

El elastómero es la base del sistema de cavidades progresivas, éste se moldea al perfil de doble hélice del estator. Su selección correcta prolongará la vida del sistema beneficiando en lo económico y técnico.

De acuerdo a las condiciones del pozo (temperatura, presión, agentes corrosivos, etc.) se seleccionarán los materiales a utilizar en el diseño del elastómero. Los elastómeros dentro de la industria petrolera están fabricados a partir de tres compuestos químicos: nitrilo, nitrilo hidrogenado y fluoroelastómeros.

### 1.7.2.2 Sarta de Varillas

Se utiliza para transmitir el movimiento giratorio de la varilla pulida al motor de la bomba. Esta diseñada para soportar las cargas mecánicas e hidráulicas del sistema.

La selección de la varilla va a ser directamente en base al torque que se tenga en el arreglo de tuberías. Existen diferentes tipos de varilla para el sistema por cavidades progresivas, las cuales son:

- **Varillas convencionales:** estas varillas están diseñadas para trabajar bajo esfuerzos alternativos, es decir; cargas de tracción.
- **Varillas convencionales modificadas:** diseñadas para soportar el torque experimentado en la aplicación del bombeo por cavidades progresivas.
- **Varillas huecas:** Su principal característica es reducir la fricción entre la varilla y la T.P sus tamaños son similares a las convencionales.
- **Tubería flexible:** es una tubería continua y flexible, son tramos soldados continuamente de tubería de acero; solo tiene dos coples, una para conectarse a la bomba de fondo y otro para conectarse con el equipo superficial. La varilla continua se enrolla en un carrete para su conservación y transporte.

De acuerdo a la normatividad del American Petroleum Institute (API) hay otro tipo de clasificación: varillas que cumplen las normas y las que no cumple las normas.

### 1.7.2.3 Accesorios

Su propósito es asegurar una mejor operación del equipo, estos son:

#### a) Centralizadores.

Colocados en las uniones o cuellos de las varillas, cuando el sistema esté trabajando con altas velocidades. Su función es mantener centralizada la sarta y evitar que haga contacto con la superficie interna de la T.P.

**b) Controladores de torque.**

Es un dispositivo electrónico que sirve para medir el voltaje, amperaje y potencia del motor. Además sirve para protección del sistema y no como un elemento para variar la frecuencia.

**c) Anclas antitorque**

Este equipo se conecta debajo de niple de paro y se fija en la T.R mediante cuñas. Cuando se pone en funcionamiento la bomba, el torque generado hace que las cuñas se aferren al tubo impidiendo el giro del estator.

**d) Separadores de gas**

Se utilizan en casos donde el volumen de gas libre es considerable. Este dispositivo separa el gas del aceite, una vez separado el aceite es dirigido hacia la bomba, mientras que el gas es transportado al espacio anular.

## **1.8 Sistemas híbridos**

En los últimos años se han desarrollado nuevas tecnologías con el objetivo de recuperar la mayor cantidad de hidrocarburos, al mismo tiempo reduciendo los costos de reparación y mantenimiento de estos nuevos equipos. Las compañías como Schlumberger, Halliburton, Weatherford, entre otras, continuamente exploran oportunidades para optimizar e integrar tecnologías en el área de producción. Estas compañías han mejorado sus productos combinando tecnologías para abrir nuevas oportunidades de producción y así lograr la optimización de un pozo.

Mediante la combinación de tecnologías tradicionales de SAP se ha podido reducir algunas limitaciones que presenta un solo sistema, es decir, la combinación de SAP ha mejorado las condiciones de instalación, manejo y producción. Ésta innovación tecnológica ha hecho que los sistemas sean más adaptables a una gran variedad de condiciones de fondo, ayudando a lograr un mayor tiempo de producción. Todo esto beneficiará reduciendo costos de mantenimiento y mejorará la recuperación final de hidrocarburos.

### **1.8.1 Definición de Sistemas Híbridos**

Un Sistema Híbrido (SH) es la combinación de dos o más sistemas artificiales de producción. El objetivo de un SH es incrementar la producción del pozo, mejorando las condiciones de manejo del equipo e implementando nuevas tecnologías a un sistema artificial convencional (SAC).

Un SAC posee ciertas limitaciones de diseño, instalación y operación principalmente, un SH reduce los requerimientos de equipo y de consumo de energía con la ventaja de mejorar la eficiencia que tiene un sistema artificial por si solo.

Los sistemas artificiales convencionales excepto el BN poseen una característica principal en el equipo de fondo, una bomba; como se menciona en este capítulo su principal objetivo es adicionar energía al pozo para elevar los fluidos producidos a superficie. Estas bombas de fondo se limitan a no instalarse a determinadas condiciones de pozo principalmente cuando se tienen problemas de gas, agua, arena, ambientes agresivos o por alguna propiedad del hidrocarburo (densidad, viscosidad, etc.) que no puede manejar la bomba.

Un SH ayuda adicionando energía extra a la bomba de otro sistema artificial, lo que significa que un segundo sistema mejorará el bombeo de otro SAP, por lo tanto, un segundo sistema artificial mejorará la eficiencia de otro sistema. El principal aporte de un SH es que se reducirán los requerimientos de potencia de las bombas al instalar un segundo sistema.

### 1.8.2 Tipos de sistemas híbridos

Los tipos de sistemas híbridos que existen son cinco:

- a) Bombeo electrocentrífugo sumergible con Bombeo Neumático.
- b) Bombeo por cavidades progresivas con Bombeo electrocentrífugo sumergible.
- c) Bombeo por cavidades progresivas combinado con Bombeo Neumático.
- d) Bombeo hidráulico tipo jet con Bombeo Neumático.
- e) Pistón viajero con Bombeo Neumático.

#### a) Bombeo electrocentrífugo sumergible con Bombeo Neumático

En este sistema híbrido, la alta capacidad de elevación de las bombas Electrosumergibles es combinada con las capacidades de reducción de la columna de líquido que proporciona el Bombeo Neumático (*figura 1.23*). El gas es inyectado por encima de la Bomba electrocentrífuga para reducir la densidad de la columna de fluido. Esta reducción en la columna puede ser tan significativa que puede ahorrar hasta un 40% de energía<sup>2</sup>,

Características principales:

- 1. Reduce los requerimientos de presión para la descarga del Bombeo electrocentrífugo.
- 2. Cuenta con el apoyo de software para su análisis, con el objetivo de mantener el buen funcionamiento del equipo.

Beneficios

- Disminución de los requerimientos de inyección de gas.
- Aumenta la profundidad de instalación de la bomba.
- Reducción en requerimientos de la bomba y motor (menor consumo de energía).
- Reducción de las instalaciones eléctricas principalmente en el cable conductor eléctrico.

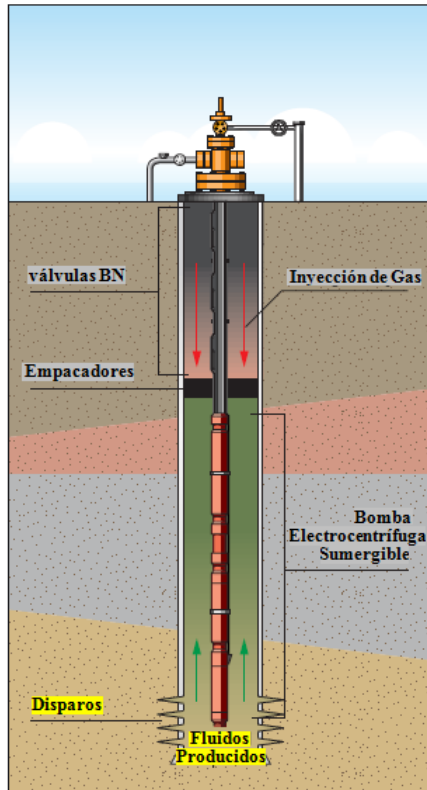


Figura 1.23 Sistema combinado BEC y BN<sup>3</sup>



Figura 1.24 Sistema BCPE<sup>9</sup>

**b) Bombeo por cavidades progresivas con Bombeo electrocentrífugo sumergible**

Este sistema híbrido también llamado bombeo de cavidades progresivas Electrosumergible (BCPE) combina la bomba de cavidades progresivas con el motor del BEC. Es ideal para usar en pozos horizontales, con menos varilla en el sistema, eliminará la pérdida de fricción en la tubería y la varilla. El sistema es resistente a la producción de arena y ofrece una alta eficiencia de producción de fluidos viscosos. Los gastos, la columna hidrostática y la eficiencia del sistema son controlados usando en superficie un VSD.

Características principales:

1. Es un sistema sin varilla que elimina la pérdida por fricción en la tubería y la varilla (Figura 1.24).

2. El elastómero del estator está hecho de una mezcla de componentes diseñado para manejar una variedad de fluidos producidos, sólidos y gases.

Beneficios

- Alta eficiencia de producción incluso para fluidos viscosos y altos contenidos de sólidos.
- Producción controlada a través del VSD.
- Manejo de gas gracias al separador de gas.

**c) Bombeo por cavidades progresivas combinado con Bombeo Neumático.**

Este sistema híbrido combina la eficiencia volumétrica y la capacidad de manejo de aceite pesado de la BCP con la capacidad de reducción de la columna de fluido del Bombeo Neumático. El gas es inyectado por encima de la BCP causando que la columna de fluido se reduzca significativamente, por lo que aumentara el rendimiento de la Bomba CP.

Características principales:

1. Puede ser instalado con o sin empacadores.
2. También cuenta con el apoyo de software para su análisis, con el objetivo de mantener el buen funcionamiento del equipo.
3. Único mandril para el Bombeo Neumático diseñado con un tubo de inyección bypass.

Beneficios:

- Incrementa la eficiencia volumétrica de la BCP.
- Mejora la eficiencia de elevación en condiciones de baja densidad de la columna de fluido.
- Aumenta la profundidad de instalación de la BCP.
- Bajo consumo de energía (reduce la potencia del motor necesaria para el arranque).
- Reduce el tamaño de la varilla.

**d) Bombeo hidráulico tipo jet con Bombeo Neumático**

Las capacidades del fluido motriz de la bomba tipo jet se combinan con las capacidades de reducción de la columna de fluido del Bombeo Neumático.

Normalmente, el tubo concéntrico tales como un espiral se instalan dentro de la T.P junto con una bomba jet. El fluido motriz es inyectado por debajo de la sarta concéntrica donde los fluidos producidos se mezclan con el fluido motriz a través de la bomba jet y son producidos hasta la T.P. El gas es inyectado por encima de la bomba jet, reduciendo la columna de líquido e incrementando la eficiencia del sistema.

#### Características principales

1. Cuentan con el apoyo de software para su análisis.
2. Aumenta la recuperación de reservas.

#### Beneficios

- Bajo volumen de fluido motriz para su operación.
- El pozo puede ser tratado para controlar problemas de corrosión o parafinas.
- Reduce los requerimientos de instalación del BN en superficie.
- Incrementa la profundidad de instalación de la bomba.

### **e) Pistón viajero con Bombeo Neumático.**

En este sistema híbrido, se combina un pistón con el BN para incrementar la eficiencia de elevación en pozos con elevación intermitente.

#### Características principales:

1. Varios diseños de émbolos pueden ser usados.
2. El embolo puede ser retirado sin intervención.
3. Puede ser usado en pozos desviados.

#### Beneficios

- Mantiene el pozo limpio de parafinas.
- Aumenta la recuperación final de gas y aceite.
- Reduce el equipo superficial del BN.

Los SH son una innovación que ha resultado satisfactoria en aguas someras. En general los sistemas artificiales han evolucionado en la última década, además se han creado nuevas alternativas de producción, con el objetivo de incrementar la vida productiva de un pozo. En capítulos posteriores se describirá otras alternativas de sistemas artificiales, estos sistemas son un gran avance tecnológico en el área de producción, el cual están diseñados no solo para incrementar la producción, sino para reducir gastos de mantenimiento, reparación o intervención del pozo.

### Referencias

1. Henri C. “*Well production practical handbook*”, institut français du petrole publications, technip, 2003
2. Clegg J.D., Bucaram S.M. and Hein Jr N.W. “*New recommendations and comparisons for artificial lift method selection*” Artículo de la SPE 24834, 1992.
3. Fleshman R., Obren L. H. “*Artificial lift for high-volume production*” Artículo presentado en Oklahoma USA, 1999
4. Lucero Aranda, Felipe de Jesús “*Apuntes de sistemas artificiales de producción*” Facultad de Ingeniería, UNAM, Mexico, 2009
5. Schlumberger, “*Conventional gas lift*”  
<<http://schlumberger.com/productsandservices/artificiallift/gaslift>>
6. CAMERON, <<http://cameron.com/productsandservices>>
7. M.I Gómez Cabrera, José Ángel “*Producción de pozos 1*” Facultad de Ingeniería, UNAM, Mexico, 1985.
8. Halliburton, “*Opening new frontiers Progressing Cavity Pumps*”  
[<<http://halliburton.com/products/artificiallift/ProgressingCavityPumps>>]
9. M. Taufan, R Adriansyah y D. Satriana “*Electrical Submersible Progressive Cavity Pump (ESPCP) Application in Kulin Horizontal Wells*” Artículo de la SPE 93594, 2005.