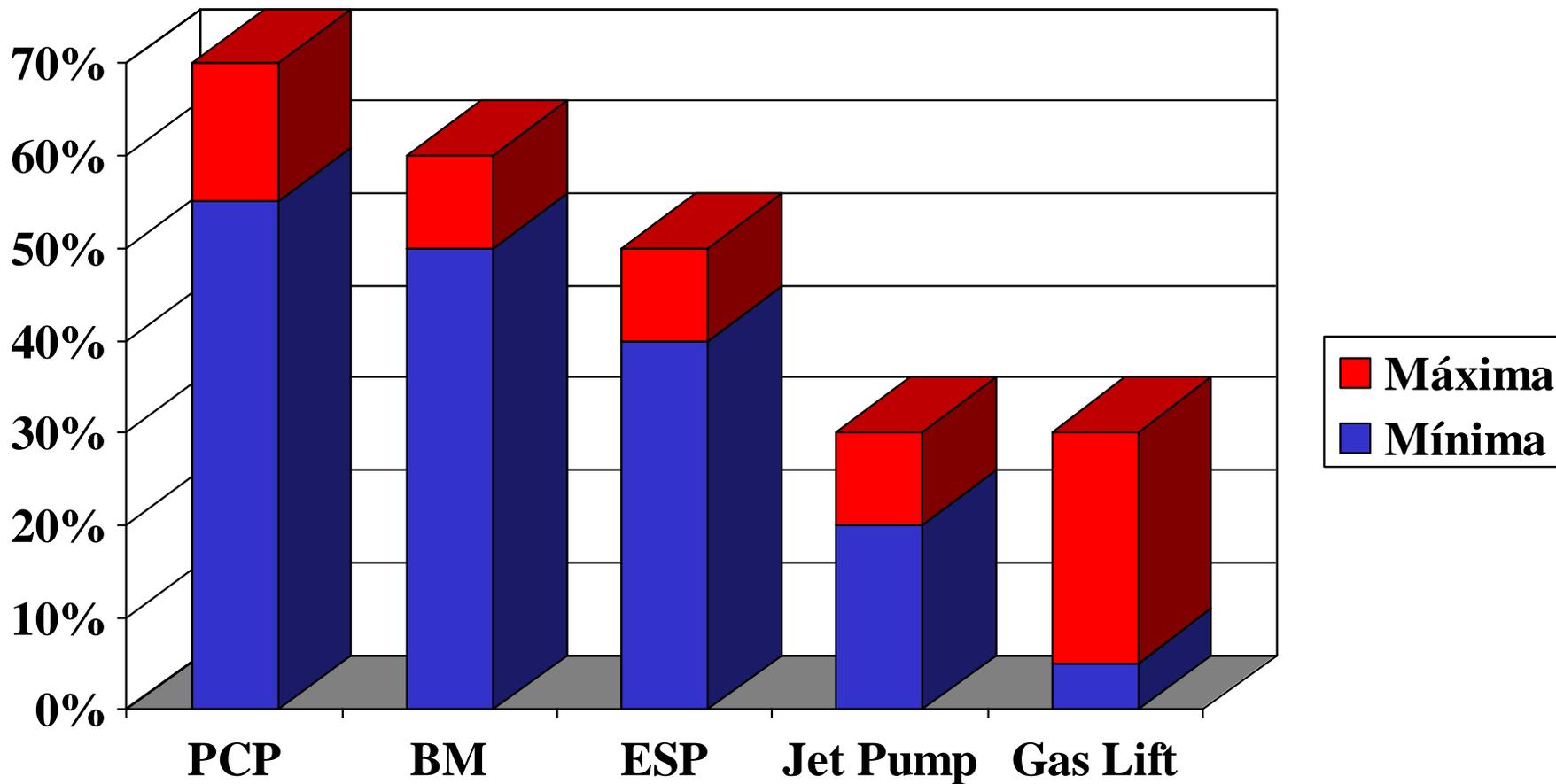


# EFICIENCIA DE SISTEMAS ARTIFICIALES DE EXTRACCIÓN



# Bombeo por Cavidades Progresivas

Un sistema de extracción de bombeo por cavidades progresivas (PCP), consta de una bomba ubicada en profundidad, accionada por una sarta de varillas de bombeo que rota impulsada por un motor a través de un cabezal en superficie.

La bomba está compuesta básicamente por un **rotor metálico** en forma de hélice externa que se mueve, dentro de una **hélice interior fija** moldeada en un elastómero, adherida firmemente al interior de un tubo de acero llamado comúnmente **estator**, fijado al tubing de producción.

## INSTALACIÓN TÍPICA

Las bombas de cavidades progresivas (PCP) son bombas de desplazamiento positivo, la cual consiste en un rotor de acero de forma helicoidal y un estator de elastómero sintético moldeado dentro de un tubo de acero.

El estator es bajado al fondo del pozo formando parte del extremo inferior de la columna de tubings y se mantiene anclado por un **ancla de torque**, mientras que el rotor es conectado y bajado junto a las varillas de bombeo. La rotación del rotor dentro del estator es transmitido por las varillas de bombeo, cuyo movimiento es generado en superficie por un cabezal.



# Características Generales

## Ventajas:

- Capacidad para producir fluidos de alta viscosidad.
- Mayor tolerancia que otros sistemas para manejar grandes concentraciones de arena.
- Capacidad para producir altos porcentajes de gas libre.
- Ausencia de válvulas que pueden trabarse, bloquearse con gas o sufrir desgaste.
- Buena resistencia a la abrasión.
- Escasa probabilidad de formar emulsiones debido a la baja velocidad de rotación.
- Menor inversión inicial que otros sistemas.
- Bajo costo de mantenimiento.
- Simplicidad de diseño, instalación y operación.
- Mayor eficiencia de bombeo que cualquier otro sistema.
- Mínimo impacto sobre el medio ambiente.

## Limitaciones:

- Limitaciones en el caudal a producir.
- Limitaciones en los niveles dinámicos.
- Limitaciones en las temperaturas máximas.
- Sensibilidad a los fluidos de los pozos (CO<sub>2</sub>, SH<sub>2</sub>, aromáticos).
- Sufren daños permanentes si trabajan en seco, aun por cortos períodos.
- No trabajan bien en pozos desviados.
- La mayoría de los sistemas PCP requieren remover el tubing para reemplazar la bomba.

## CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES

- Producción máxima 400 mcd.
- Altura máxima de elevación 2000 mbbp.
- Temperatura máxima 150 °C.
- Alta sensibilidad a los fluidos del pozo.
- Destrucción del estator por trabajo en seco.
- No recomendable en pozos direccionales.
- En muchas intervenciones con pulling es preciso mover tubing de producción.

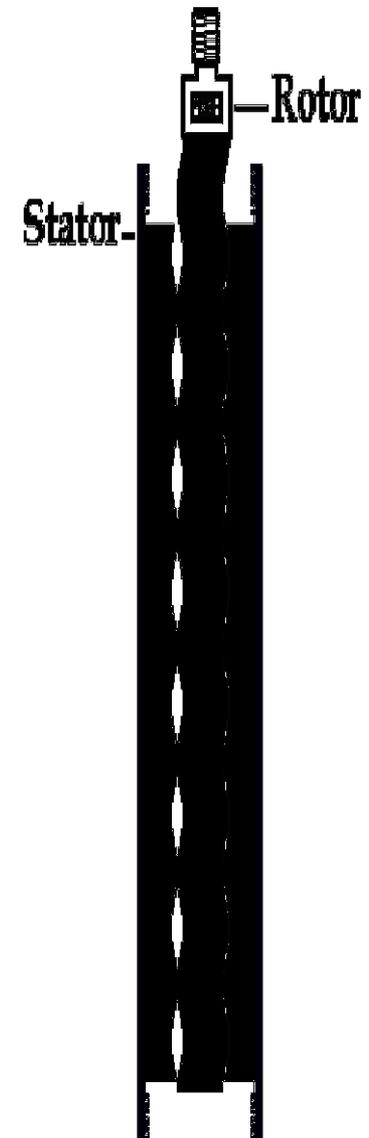
## CARACTERÍSTICAS DE DISEÑO

Las PCP son un tipo especial de bombas rotativas, de desplazamiento positivo en las cuales el fluido es transportado entre las crestas del tornillo del rotor y desplazado axialmente mientras el rotor gira.

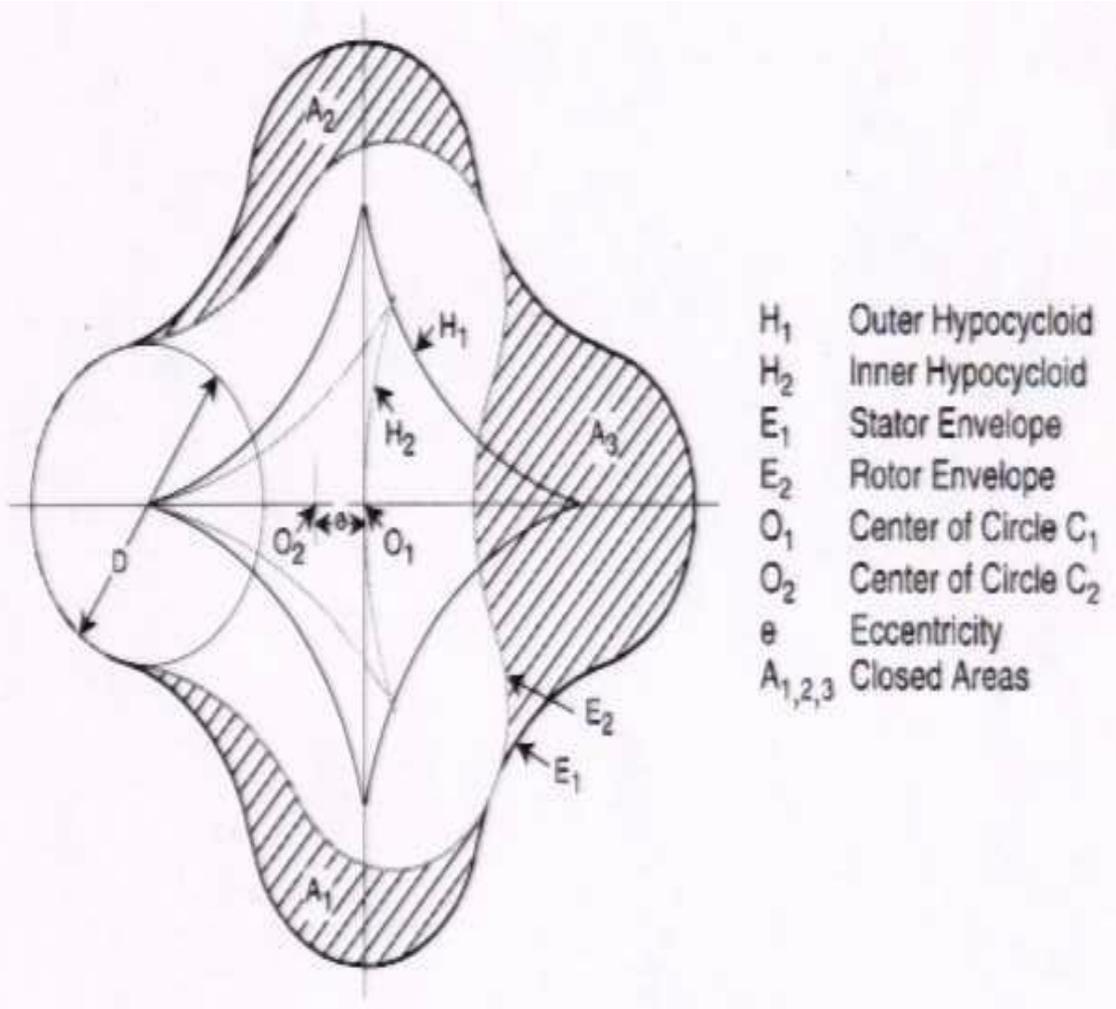
La interacción de rotor y estator forma una serie de cavidades estancas, helicoidales de tal forma que las líneas de sello entre cavidades se desplazan continuamente desde el ingreso a la descarga mientras el rotor gira de modo que el efecto de bombeo sería asimilable al de una bomba de pistón de carrera infinita. Esta característica explica la capacidad de las PCP para manejar fluidos viscosos, abrasivos, multifasicos y barros en un amplio rango de presiones.

La bomba de cavidades progresivas se compone básicamente de dos partes, el rotor y el estator. El rotor, roscado a la sarta de varillas de bombeo que le imprime el movimiento de rotación, consiste en una hélice exterior maquinada en acero de alta resistencia, usualmente cromada para reducir la fricción y aumentar su resistencia a la abrasión.

El estator, roscado al tubing de producción, consiste en una doble hélice interior moldeada en un elastómero, adherido firmemente al interior de un tubo de acero.



# TEORÍA DE LAS BOMBAS HELICOIDALES



## PRINCIPIOS DE FUNCIONAMIENTO

### TEORÍA DE LAS BOMBAS DE ENGRANAJES

El sistema de engranajes helicoidales se basa en la interacción de dos hipocicloides, una externa de radio  $R_1$  con un número  $N$  de dientes (**H1**) y otra interior de radio  $R_2$  con  $N-1$  dientes (**H2**). Para que el sistema funcione debe cumplirse la relación:

$$R_2/R_1 = (N-1)/N$$

En estas condiciones si  $H_2$  gira sobre si misma mientras  $H_1$  permanece fija se forman  $N-1$  áreas cerradas entre las dos figuras. Aunque el tamaño de cada área individual varía continuamente durante el movimiento, la suma de todas permanece constante.

La geometría de las PCP se puede ver claramente si se reemplazan las hipocicloides por las envolventes formadas con un círculo idéntico como se muestra en la figura para una configuración 4:3 esto es un rotor de 3 lóbulos dentro de una cavidad de 4.

**Esta determinada por cuatro parámetros:**

- **Número de lóbulos**
- **Diámetro del rotor**
- **Excentricidad**
- **Paso del estator**

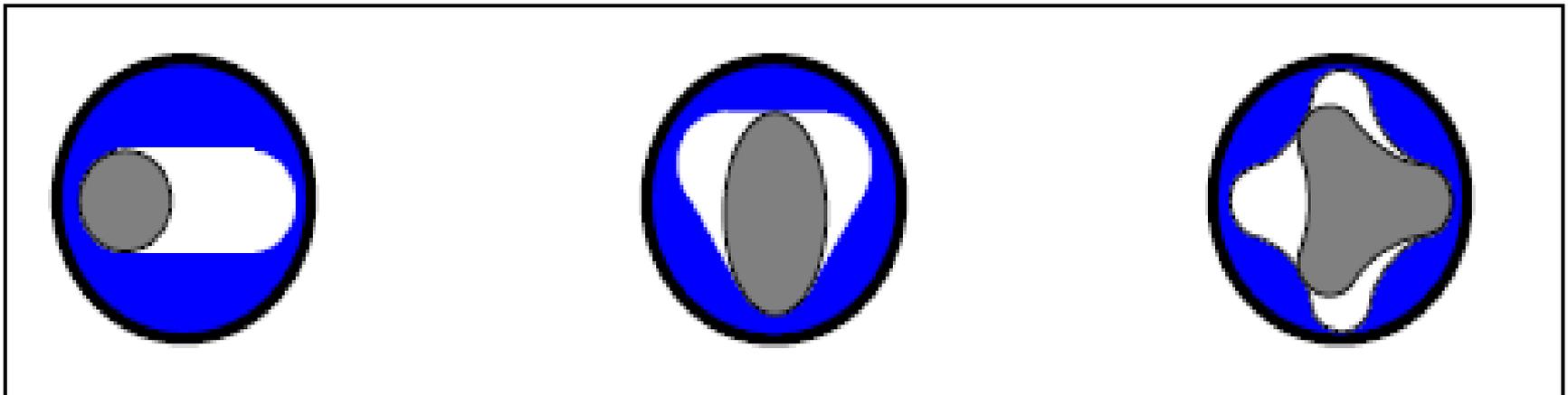
## Geometría de la bomba

Existen distintos tipos de geometría de PCP:

**Geometría de Simple Lóbulo:** relación 1:2 (el primer número significa la cantidad de lóbulos del rotor y el segundo, la cantidad de lóbulos del estator).

**Geometría Multilóbulo:** relación 2:3, 3:4, etc.

### Corte Transversal



Geometría de simple lóbulo

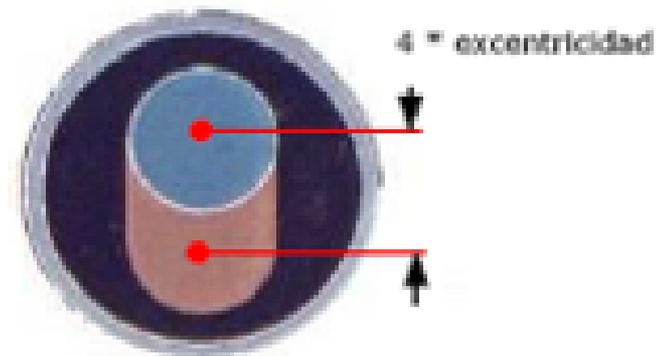
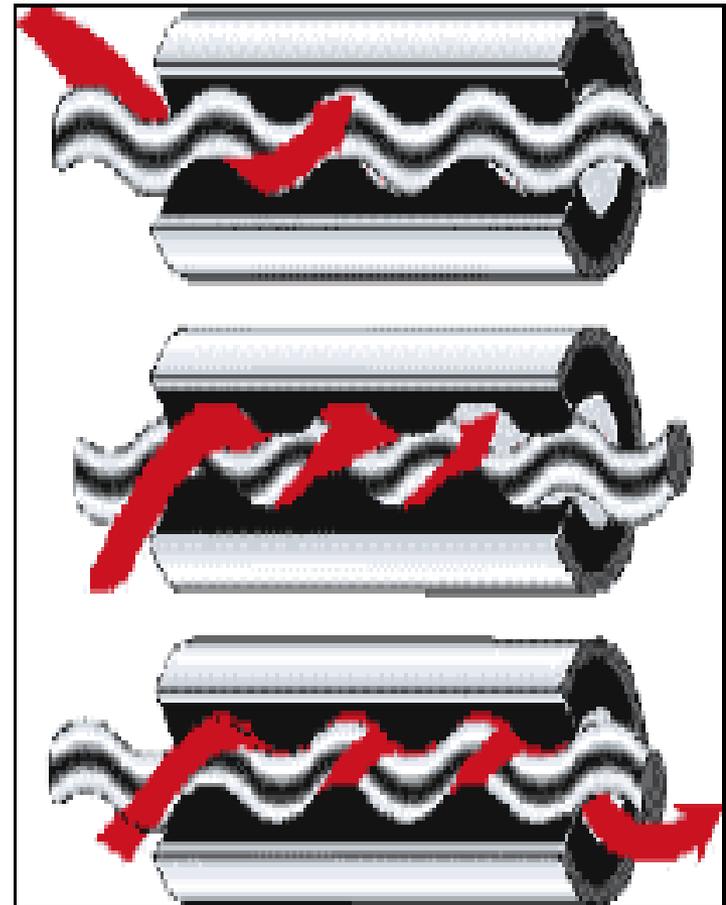
Geometría de multi-lóbulo

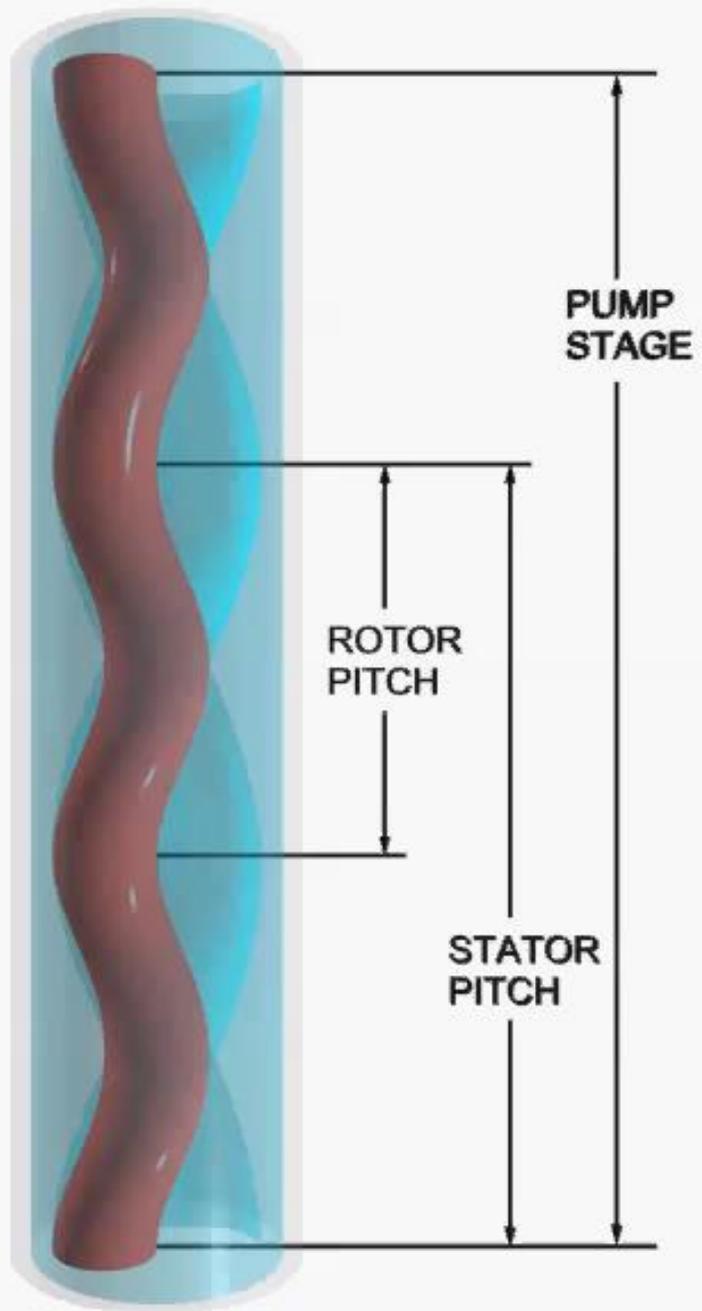
## SIMPLE LÓBULO

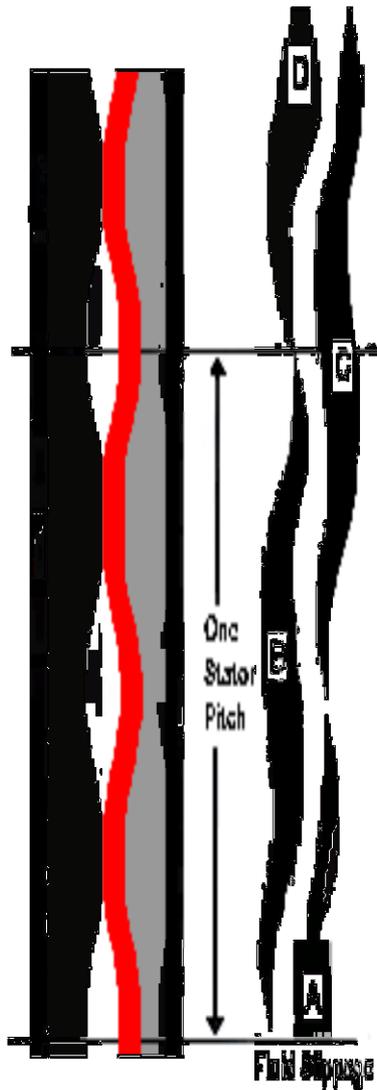
Cuando el rotor está posicionado dentro del estator se produce una serie de cavidades de fluido idénticas. Cada una de estas cavidades forma una espiral alrededor del rotor y a lo largo del mismo. En un corte longitudinal de la bomba el número de cavidades separadas es siempre uno más que el número de lóbulos del rotor.

El **movimiento del rotor dentro del estator es una combinación de dos movimientos**, una rotación en sentido horario del rotor sobre su propio eje y una rotación anti horaria de la excentricidad del rotor sobre el eje del estator. Con esta geometría el rotor se desplaza lateralmente en el plano del estator.

**Desplazamiento:** con el movimiento de rotación las cavidades se mueven axialmente desde la succión hasta la descarga creando la acción de bombeo. Cuando el rotor completa una revolución, el volumen contenido entre rotor y estator es desplazado un paso. Como el área es constante y la velocidad constante entonces **EL FLUIDO BOMBEADO NO ES PULSANTE**

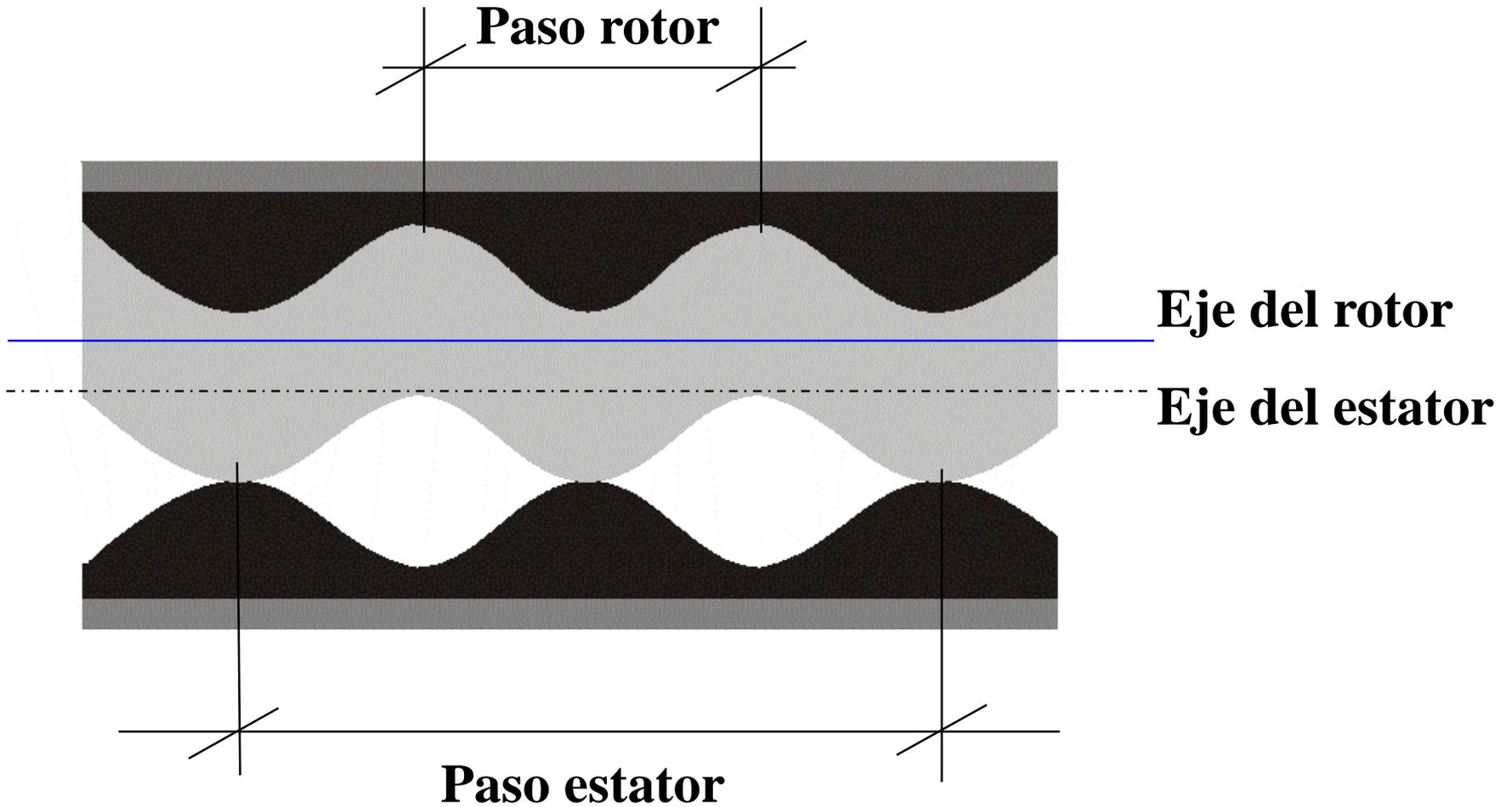


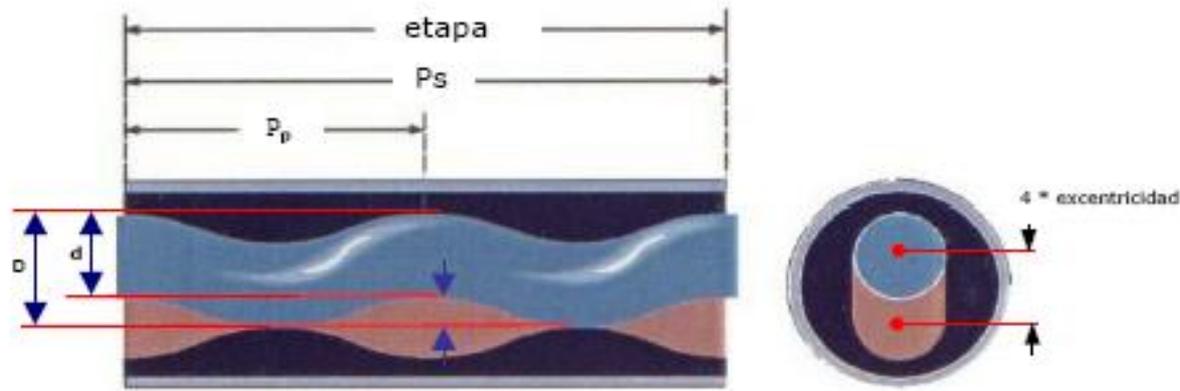




- La geometría del conjunto es tal que se forman series de cavidades lenticulares, espiraladas e hidráulicamente separadas
- La longitud de cada cavidad es igual al paso del estator
- Las cavidades se desplazan desde la succión a la descarga generando el efecto de bombeo
- La presión se incrementa desde la succión a la descarga
- El efecto resultante equivale a una bomba de desplazamiento positivo de carrera infinita

# Geometría del estator





Como muestra la figura el desplazamiento es función de la excentricidad de la bomba, el diámetro del rotor, y de la longitud del paso del estator.

El desplazamiento puede ser calculado usando:

### Desplazamiento

$V = \text{Area} * \text{Paso} = \text{Volúmen desplazado en 1 Revolución o giro.}$

$$V = 4 * e * \varnothing_r * P_e$$

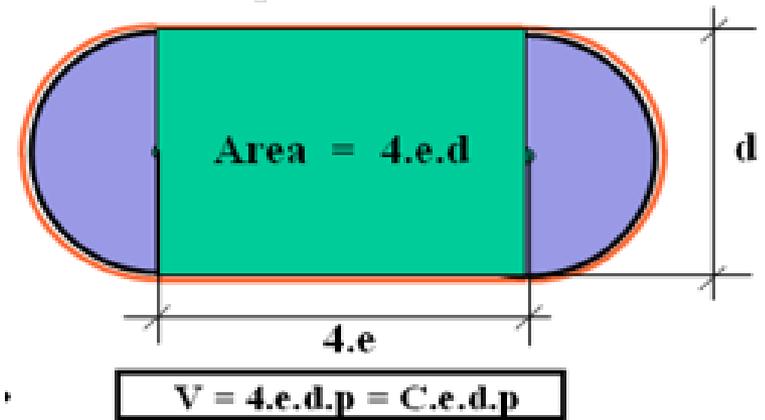
Donde:

$e$ : excentricidad de la bomba.

$\varnothing_r$ : diámetro del rotor.

$P_e$ : paso del estator.

$V$ : volumen de desplazamiento ( $\text{m}^3/\text{Revolución}$ ).



Por lo tanto el caudal teórico es directamente proporcional al desplazamiento y a la velocidad de rotación.

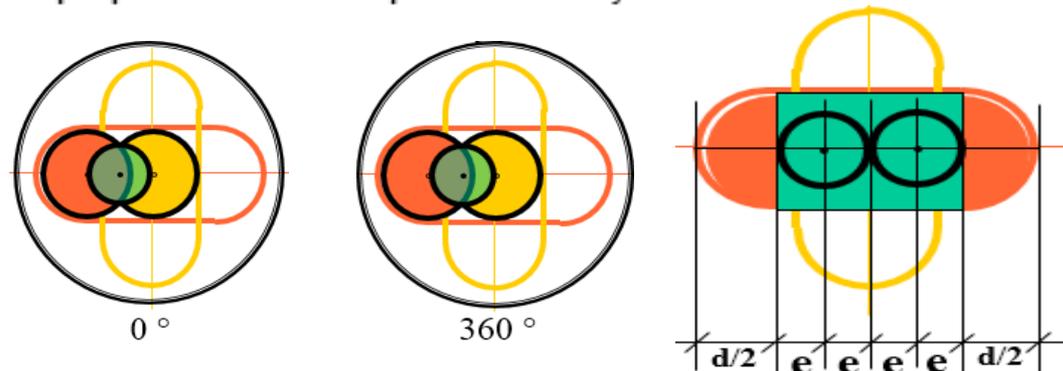
$$Q_t = V * N$$

Donde:

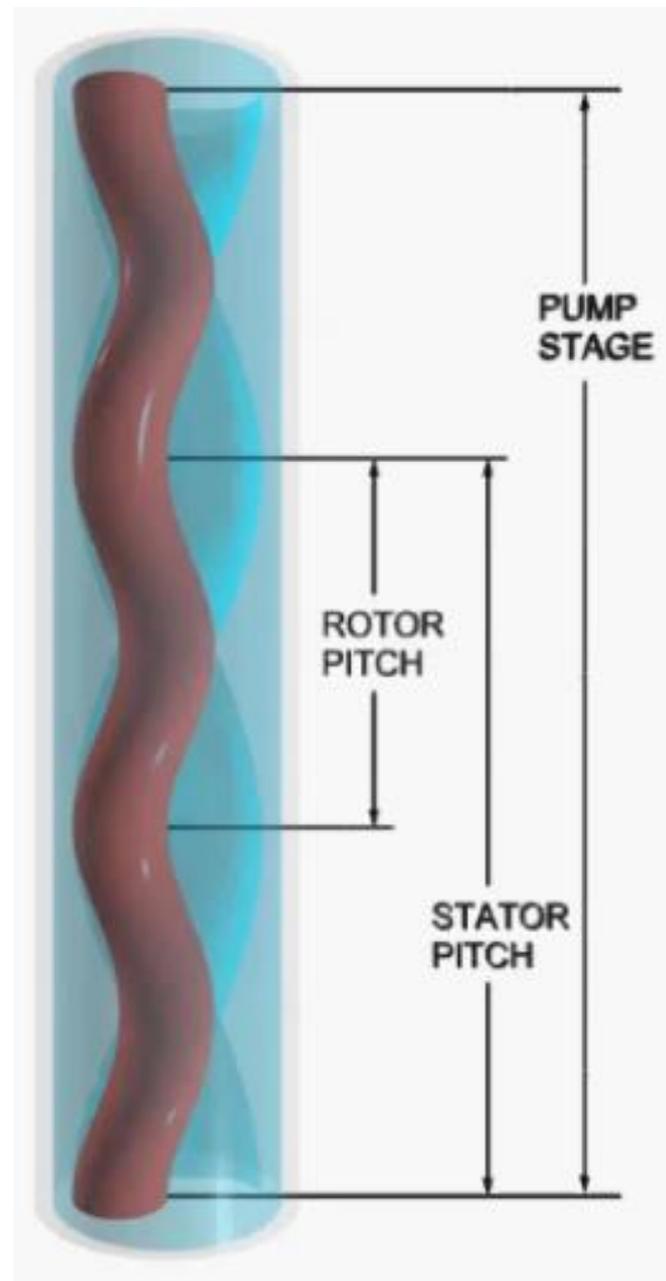
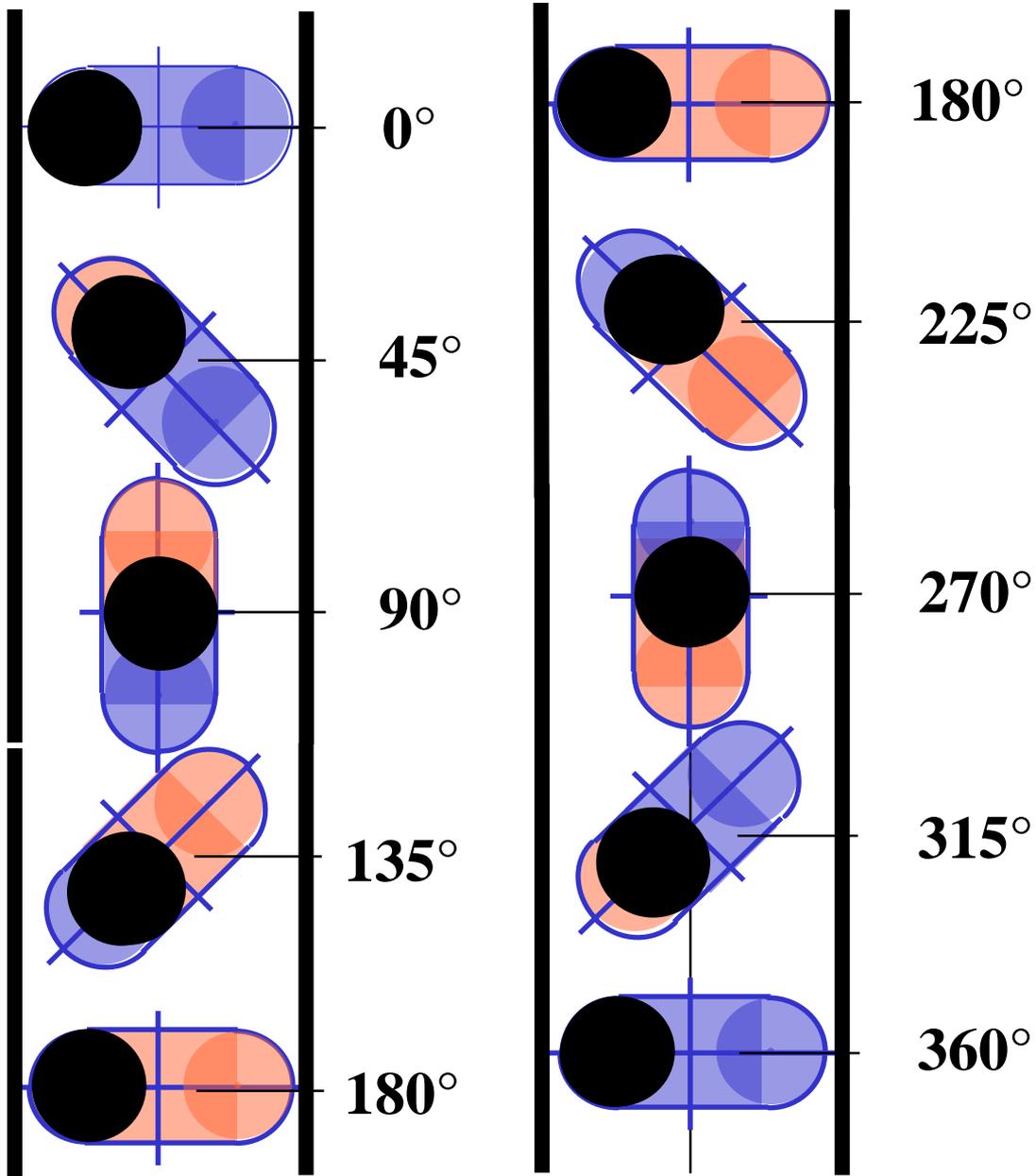
$Q_t$ : caudal teórico ( $\text{m}^3/\text{d}$ )

$V$ : volumen ( $\text{m}^3/\text{Revolución}$ )

$N$ : velocidad de rotación (Revoluciones/día).



# Longitud de una cavidad



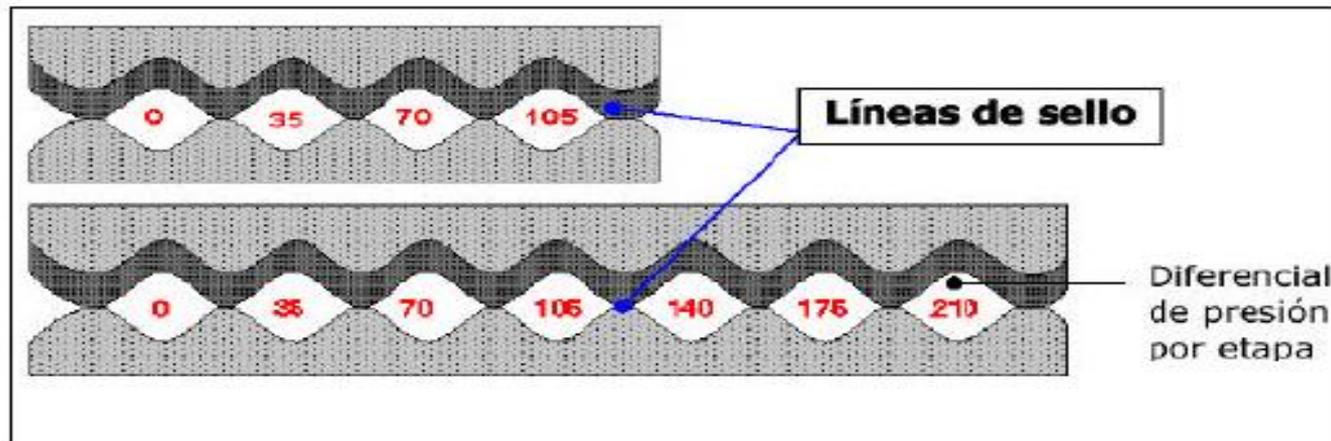
- La geometría del conjunto es tal que se forman series de cavidades lenticulares, espiraladas e hidráulicamente separadas
- La longitud de cada cavidad es igual al paso del estator
- Las cavidades se desplazan desde la succión a la descarga generando el efecto de bombeo
- La presión se incrementa desde la succión a la descarga
- El efecto resultante equivale a una bomba de desplazamiento positivo de carrera infinita
- Durante la operación de bombeo, por presión diferencial a lo largo de la bomba algo de fluido puede escurrir a través de los sellos de las cavidades, causando una reducción en el caudal. Como resultado el caudal de producción es la diferencia entre el caudal teórico y dicho escurrimiento.

$$Q = Q_T - Q_e$$

Donde  $Q_e$  es el caudal de escurrimiento.

Este caudal de escurrimiento depende del ajuste entre el rotor y el estator, de las propiedades del elastómero, de la viscosidad del fluido y de la presión diferencial de la bomba.

La cantidad de veces que la línea de sello se repite define el número de etapas de la bomba. Cada etapa está diseñada para soportar una determinada presión diferencial, por lo tanto a mayor número de etapas, mayor es la capacidad para vencer una diferencial de presión.



# CAUDAL Y DESPLAZAMIENTO

$$Q_t = 4.e.D.P.N \quad Q_t = V.N \quad Q_R = Q_t - Q_s$$

$Q_t$  = Caudal teórico (mcd ó bbld)

$Q_r$  = Caudal real (mcd ó bbld)

$Q_s$  = Caudal escurrido (mcd ó bbld)

$e$  = Excentricidad (mm ó plg)

$D$  = Diámetro del rotor (mm ó plg)

$P$  = Paso del estator

$N$  = rpm

$V$  = Desplazamiento (mcd/rpm ó bbld/rpm )

## PRESIÓN EN LA BOMBA

La presión desarrollada dentro de la bomba depende de:

Número de líneas de sello (etapas).

Interferencia o compresión entre rotor y estator.

La mayor o menor interferencia se puede lograr variando el diámetro nominal del rotor. A su vez, la expansión del elastómero durante el proceso de producción hace que la interferencia aumente. La expansión del elastómero se puede dar por:

Expansión térmica.

Expansión química.

La cantidad de veces que la línea de sellos se repite, define el número de etapas de la bomba. Cada etapa está diseñada para soportar una determinada presión diferencial, por lo tanto a mayor número de etapas mayor es la capacidad para vencer una diferencial de presión. Se pueden presentar distintas combinaciones que pueden afectar a la distribución de la presión dentro de la bomba:

Igual interferencia: distinto número de etapas.

Igual número de etapas : distinta interferencia.

## CAPACIDAD DE ELEVACION

La formación de cavidades estancas depende del sello hidráulico entre rotor y estator. Para garantizar un sellado efectivo el diámetro del rotor es ligeramente mayor que el de los extremos semicirculares de la cavidad del estator. Esa diferencia, del orden de unas centésimas de pulgada, provee el necesario efecto de sellado hidráulico y se denomina **ajuste ó interferencia**.

Como veremos más adelante, el ajuste rotor-estator es uno de los parámetros determinantes del éxito ó fracaso de una instalación de PCP.

El deslizamiento del fluido a través de las líneas de sello genera un gradiente de presión a lo largo de la bomba. La distribución de presiones depende de la naturaleza del fluido bombeado siendo aproximadamente lineal para los fluidos incompresibles y exponencial para los compresibles.

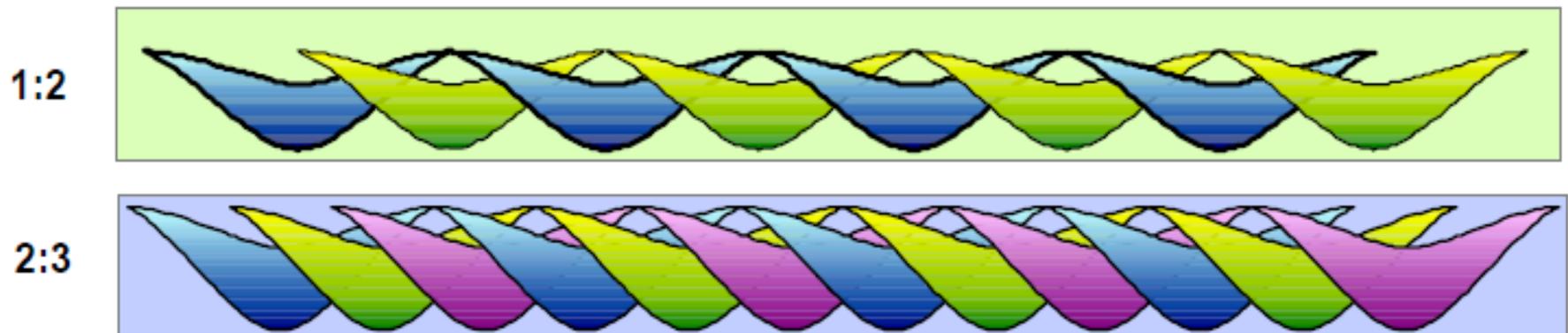
La capacidad de elevación de una bomba depende de la máxima presión admisible por etapa y de la cantidad de etapas. La presión admisible de una línea de sello depende del ajuste (interferencia) rotor-estator y de la viscosidad del fluido. Para bombas monolobulares, metal-elastomero, la presión diferencial por etapa oscila normalmente entre 100 y 130 psi.

Debido a que la definición del término etapa se prestaba a ciertas confusiones, en la actualidad los fabricantes especifican **la capacidad total de elevación como la presión máxima entre succión y descarga que soporta la bomba en operación normal sin sufrir deterioros**. La operación de las PCP a presiones superiores a las recomendadas es una de las causas más comunes de fallas prematuras

Analizando las geometrías, tenemos:

- Geometría 1:2                      Desplazan 2 cavidades                      Posee 2 líneas de sello
- Geometría 2:3                      Desplazan 3 cavidades                      Posee 3 líneas de sello

Esto se ve representado en los siguientes esquemas, donde se observa la distribución de cavidades para cada geometría:



En resumen, una bomba multi-lobular tendrá menor presión diferencial por cavidad debido a un mayor número de líneas de sello entre rotor y estator. Por otra parte, para bombas de igual longitud, es posible incrementar la capacidad de levantamiento a medida que aumenta el número de lóbulos,

## REQUERIMIENTOS DE TORQUE Y POTENCIA

La energía requerida para elevar el fluido desde el nivel dinámico hasta superficie es suministrada a la bomba por las varillas de bombeo en forma de torque.

El torque demandado por la bomba es usado para desarrollar la presión diferencial (torque hidráulico) y vencer la fricción rotor-estator (torque de fricción).

El **torque hidráulico** es proporcional al desplazamiento de la bomba y a la presión diferencial:

$$\mathbf{T_h = C V P_l}$$

V = Desplazamiento en m<sup>3</sup>/dia/rpm ó bbls/dia/rpm

T<sub>h</sub> = Torque hidráulico en N.m ó ft. Lb

P<sub>l</sub> = Presión diferencial en kPa ó psi

C = 0.111 (Sistema Métrico)

C = 8.97 .10<sup>-2</sup> (Sistema inglés)

El torque de fricción se genera por el rozamiento entre rotor y estator y en consecuencia depende del ajuste ó interferencia, el tipo y estado del revestimiento, las propiedades lubricantes del fluido y la longitud y geometría de la bomba. Valores normales para bombas comunes no superan los 200 Nm (147 ft.lb).

El torque total es:

$$\mathbf{T_t = T_h + T_f}$$

La potencia requerida para accionar la bomba es función del torque total y la velocidad de rotación a través de la expresión:

$$\mathbf{P_p = C. T_t. N}$$

P<sub>p</sub> = Potencia en kW ó HP

T<sub>t</sub> = Torque total en N.m ó ft. Lb

C = 1.05 . 10<sup>-4</sup> (Sistema Métrico)

C = 1.91. 10<sup>-4</sup> (Sistema inglés)

## VARIACIONES EN LA GEOMETRÍA DE LAS BOMBAS

El **rotor** se fabrica a partir de acero al carbono de alta resistencia mediante un proceso de maquinado de alta precisión y posteriormente recubierto de una capa de cromo para mejorar la resistencia a la abrasión, corrosión y disminuir la fricción con el estator.

El **estator** se fabrica posicionando un mandril en forma de doble hélice en el centro de un tubo e inyectando a muy alta presión el compuesto elastomérico. Luego de un proceso de curado, se retira el mandril. La presión de inyección varía con las características del elastómero y la geometría del conjunto pero el factor más influyente es la longitud del tramo a inyectar.

Normalmente un estator se compone de tramos cortos cuidadosamente alineados y unidos entre sí por rosca ó soldadura.

La ecuación  $V = 4 e D p$ , que nos permitía calcular el desplazamiento en función de las dimensiones, indica que es posible fabricar bombas con parámetros drásticamente diferentes e idéntico desplazamiento. En efecto, por tratarse de parámetros independientes, es posible adecuar diámetro, excentricidad y paso de estator, para lograr cualquier desplazamiento deseado.

En general las dimensiones del diámetro y la excentricidad están limitadas por la medida interior del casing y el paso por la dificultad para construir y maquinar el rotor cuando supera determinada longitud. En lo que respecta al funcionamiento, al disminuir el paso baja el desplazamiento pero se incrementa la capacidad de elevación. Como siempre, la elección más adecuada es una solución de compromiso.

## DETERMINACION DE LA CARGA AXIAL

$$C_{\text{Axial Total}} = \text{Carga generada por la bomba} + \text{Peso sarta varillas} - \text{Fuerza de Levantamiento}$$

- El peso de la sarta de varillas
  - Longitud de la sarta de varillas
  - Peso por unidad de longitud de la sarta de varillas

$$PS_{\text{varillas}} = L_{\text{varillas}} \times Pu_{\text{varillas}}$$

- La carga axial generada por la bomba
  - Presión de entrada
  - Presión de descarga
  - Diámetro nominal del rotor
  - Excentricidad de la bomba

$$K[(PD - PE) \times 0.6 \times (2DR^2 + 13eDR + 16e^2) - PD \times DR^2]$$

- La fuerza de levantamiento
  - Genera un esfuerzo en dirección contraria que alivia la carga axial, debido a la dirección del fluido desde la bomba hacia la superficie.

$$= CLQ\mu Dr \left( \frac{\ln Dr/Dt}{(Dt^4 - Dr^4) [\ln Dr/Dt] + (Dt^2 - Dr^2)^2} \right) \left( \frac{Dr + \frac{Dt^2 - Dr^2}{2Dr}}{2Dr \ln Dr/Dt} \right)$$

C: Constante 6.242E-6

L: Longitud

Q: Caudal (BFPD)

$\mu$ : Viscosidad (Cp)

Dr: Diámetro Cabilla / Coupling / Centralizadores (pulgada)

Dt: Diámetro de La Tubería (pulgada)

## AJUSTE DE MEDIDA

Una vez bajada la instalación de varillas de bombeo con el rotor, se debe ajustar la medida de dicha sarta para que el rotor trabaje dentro del estator. Se debe tener en cuenta el estiramiento de las varillas y la longitud del niple de paro.

$$Y = (DL + DLT) + D$$

Y : elongación total.

DL : elongación debida a la carga axial.

D : longitud del niple de paro.

DLT: elongación debida a la dilatación térmica (no se considera si se coloca ancla de tensión)

Por la Ley de Hooke:  $DL = (F \cdot L_o) / (S \cdot E)$

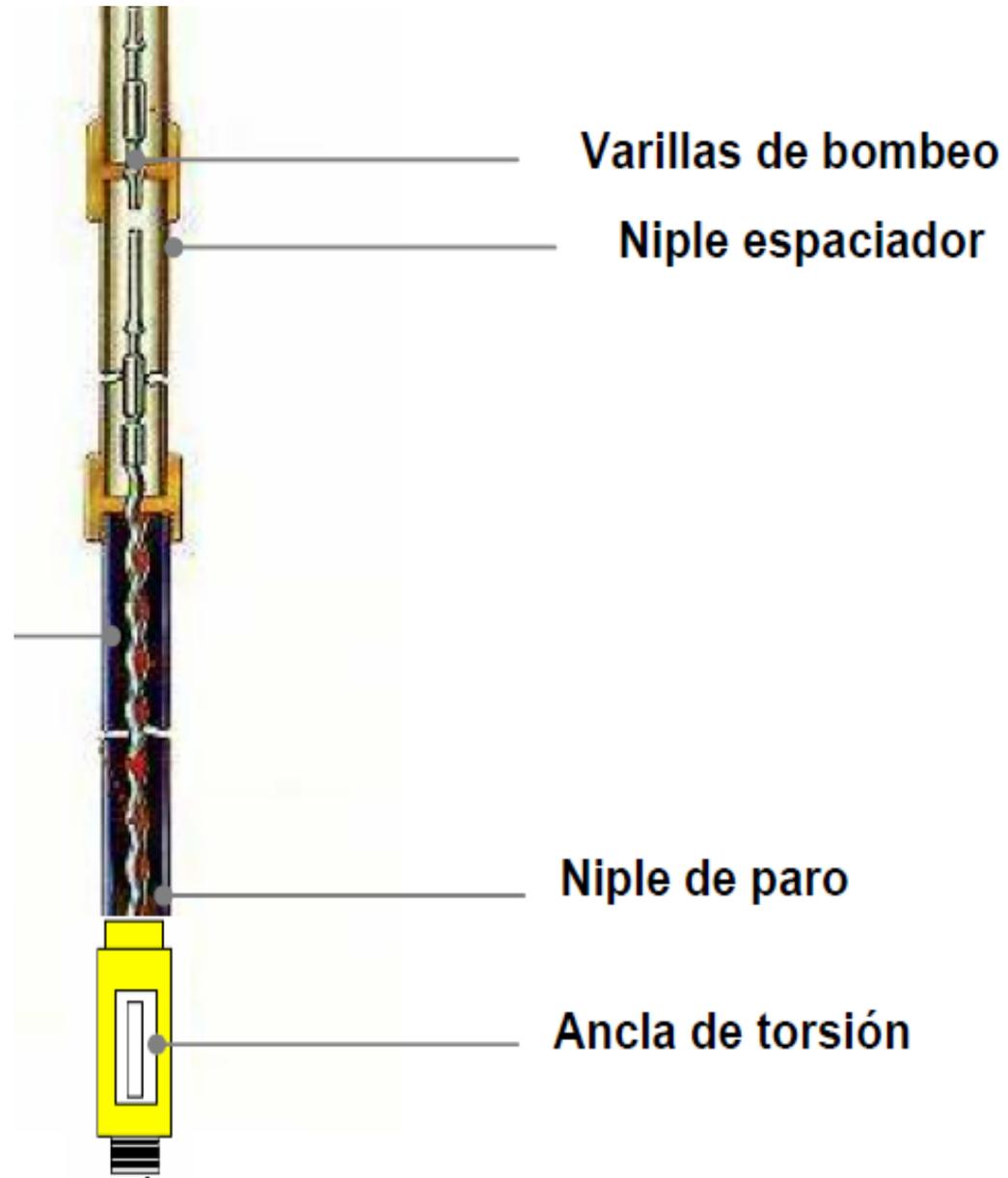
$L_o$  : longitud de la sarta.

E : 2000000kg/cm<sup>2</sup>

S : sección de la barra.

F : carga axial sobre la bomba.

Bajo la sarta. Toco el niple de paro y luego levanto el valor de Y.



# ELASTÓMEROS

SON LA BASE DEL SISTEMA PCP EN EL QUE ESTÁ MOLDEADO EL PERFIL DE DOBLE HÉLICE DEL ESTATOR. DE SU CORRECTA DETERMINACIÓN Y SU INTERFERENCIA CON EL ROTOR DEPENDE LA VIDA ÚTIL DE LA BOMBA PCP

## **1.1. DEFINICION:**

ELEMENTO QUE PUEDE SER ESTIRADO UN MÍNIMO DE DOS VECES EN LONGITUD Y RECUPERAR INMEDIATAMENTE SU DIMENSIÓN ORIGINAL.

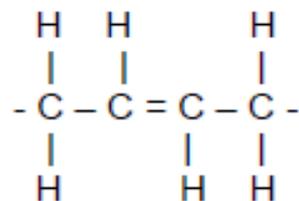
## **1.2 CONDICIONES DE ELASTÓMEROS PARA PCP**

- RESISTENCIA A LA FATIGA: HASTA 500.000.000 DE CICLOS
- ELASTICIDAD: FUERZA NECESARIA POR UNIDAD DE SUPERFICIE PARA ESTIRAR UNA UNIDAD DE LONGITUD. (RESISTENCIA A LA PRESIÓN)
- DUREZA SHORE "A"; FUERZA REQUERIDA PARA DEFORMAR LA SUPERFICIE DEL ELASTÓMERO
- RESISTENCIA AL CORTE: FUERZA NECESARIA PARA CORTAR LA MUESTRA EN CONDICIONES ASTM
- RESISTENCIA AL DESGARRAMIENTO: FUERZA NECESARIA PARA DESGARRAR LA MUESTRA
- RESISTENCIA A LA ABRASIÓN: PERDIDA DE MATERIAL POR ABRASIÓN
- RESILIENCIA: VELOCIDAD PARA VOLVER A LA FORMA ORIGINAL, PARA PODER VOLVER A SELLAR LAS CAVIDADES
- PERMEABILIDAD: PARA EVITAR LA DESCOMPRESIÓN EXPLOSIVA, EN PAROS DE PRODUCCIÓN DE POZOS CON GAS LIBRE EN LA SUCCION DE LA BOMBA.

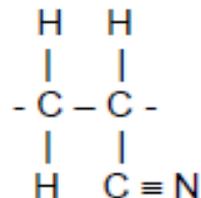
## 2. ELASTÓMEROS PARA PETRÓLEO

### CAUCHO NBR (NITRILE BUTADIENE RUBBER):

CADENAS COPOLÍMERAS DE BUTADIENO Y ACRILONITRILLO (ACN)



**Butadieno**



**Acrlonitrilo**

#### CARACTERISTICAS DEL NBR:

- EL BUTADIENO POSEE UN DOBLE ENLACE TENSO DE CARBONO: QUE FAVORECE LAS REACCIONES QUÍMICAS QUE PERMITEN AGREGAR ADITIVOS QUE MEJORAN SUS PROPIEDADES.
- ESTE PROCESO SE DA EN LA VULCANIZACIÓN. LOS ADITIVOS SE MEZCLAN MECÁNICAMENTE Y LUEGO SE MOLDEA Y VULCANIZA LA MEZCLA PARA ACELERAR EL PROCESO DE FORMACIÓN DE LOS ENLACES.
- SE UTILIZAN MÁS DE UNA DOCENA DE ADITIVOS EN CADA COMPUESTO ESPECÍFICO DE CAUCHO, TALES COMO AZUFRE QUE PROVEE ENLACES, REDUCIDORES DE FRICCIÓN, CATALIZADORES DE VULCANIZADO, ETC.
- A > % DE ACN > RESISTENCIA A LOS AROMATICOS Y AL CO<sub>2</sub>.  
A > % DE CARBONO > RESISTENCIA MECÁNICA.
- BAJA RESISTENCIA AL SH<sub>2</sub> PUES ATACA EL ENLACE TRIPLE DEL ACN
- OLEOFILOS: TIENDEN A ABSORBER PETRÓLEO
- BAJA RESISTENCIA AL AGUA CALIENTE

### **3. CAUCHOS ESPECIALES: CARACTERÍSTICAS**

#### **3.1 HNBR (HYDROGENATED NITRILE BUTADIENE RUBBER).**

- BUENA RESISTENCIA AL SH<sub>2</sub>: EL HIDRÓGENO SATURA EL TRIPLE ENLACE. DEL ACN
- MUY BUENA RESISTENCIA A LA TEMPERATURA.
- PROPIEDADES MECANICAS MEDIAS. (60% DEL TDH)
- DESCOMPRESIÓN EXPLOSIVA: POBRE
- BAJA RESISTENCIA A LOS AROMATICOS Y AL CO<sub>2</sub>
- MUY BAJA RESISTENCIA AL AGUA CALIENTE

#### **3.2 FLUOROCARBONO – FKM (VITON).**

- EXCELENTE RESISTENCIA A LOS AROMATICOS Y AL CO<sub>2</sub>
- EXCELENTE RESISTENCIA A LA TEMPERATURA
- BUENA RESISTENCIA AL SH<sub>2</sub>
- RESISTENCIA A LA ABRASION POBRE
- PROPIEDADES MECANICAS MEDIAS. (60% DEL TDH)
- DESCOMPRESIÓN EXPLOSIVA: POBRE
- MUY BAJA RESISTENCIA AL AGUA CALIENTE
- DIFICIL DE MOLDEAR PARA PCP: COPOLIMERO CON NBR PARA MEJORAR
- HOY SOLO MOLDEABLE EN BOMBAS DE PASO LARGO

#### **3.3 CLOROSULFURO DE POLIETILENO**

- EXCELENTE RESISTENCIA AL AGUA Y AL CO<sub>2</sub>
- MUY BAJA RESISTENCIA AL PETRÓLEO
- BUENA RESISTENCIA A LA ABRASION
- SE UTILIZA PARA POZOS DE AGUA Y GAS DEWATERING WELLS

| *Shore A                                 | *IRHD                        | *Shore D   | *Shore O   | *Shore 00   |
|--|------------------------------|--|--|---|
| DIN 53505                                | ASTM D 1415                  | DIN 53505  | ASTM D 2240  | ASTM D 2240   |
| 100                                      | 100                          | 58   |  |   |
| 95                                       | 95                           | 46   |  |   |
| 90                                       | 90                           | 39   |  |   |
| 85                                       | 85                           | 33   |  |   |
| 80                                       | 80                           | 29   | 84   | 98  |
| 75                                       | 74                           | 25   | 79   | 97  |
| 70                                       | 68                           | 22   | 75   | 95  |
| 65                                       | 64                           | 19   | 72   | 94  |
| 60                                       | 62                           | 16   | 69   | 93  |
| 55                                       | 54                           | 14   | 65   | 91  |
| 50                                       | 49                           | 12   | 61   | 90  |
| 45                                       | 44                           | 10   | 57   | 88  |
| 40                                       | 39                           | 8  | 53   | 86  |
| 35                                       | 35                           | 7  | 48   | 83  |
| 30                                       | 28                           | 6  | 42   | 80  |
| 25                                       |                              |  | 35   | 76  |
| 20                                       |                              |  | 28   | 70  |
| 15                                       |                              |  | 21   | 62  |
| 10                                       |                              |  | 14   | 55  |
| 5  |                              |  | 8  | 45  |
| <i>Elastómeros compactos y celulares</i> | <i>Elastómeros compactos</i> | <i>Poliuretanos, PTFE rígido, Termoplásticos y Elastómeros muy duros</i> | <i>Elastómeros compactos y celulares de media densidad</i> | <i>Elastómeros celulares de media y baja densidad</i> |

IRHD : International Rubber Hardness Degree

| DENS                                | ELASTOMERO  | CAMPOS DE UTILIZACIÓN   | PERF                    |
|-------------------------------------|---|---|-------------------------|
| $\delta=1.23$<br>72<br>SHORE<br>"A" | <b>NBR C/MEDIO ACN Y C<sub>4</sub></b>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Crudos pesados &lt; 18 °API</li> <li>• Crudos abrasivos</li> <li>• Alta presión</li> <li>• Crudos medios 18 &lt; °API &lt; 29</li> <li>• Crudos livianos 29 &lt; °API &lt; 40 y bajo cont. aromát y CO<sub>2</sub> (3%)</li> </ul> | A<br>A/B<br>A<br>B<br>C |
|                                     | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Prop. mecán. altas (80% TDH)</li> <li>• Temp máx 120 °C</li> <li>• Abrasión: alta resistencia</li> <li>• Ampollado por gas: buena resist</li> <li>• Aromáticos: promedio</li> <li>• CO<sub>2</sub> : promedio</li> <li>• SH<sub>2</sub> : promedio</li> <li>• Agua caliente: promedio/pobre</li> </ul> |   |                         |
| $\delta=1.24$<br>71<br>SHORE<br>"A" | <b>NBR CON ALTO ACN</b>   | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Crudos medios 18 &lt; °API &lt; 29</li> <li>• Crudos livianos 29 &lt; °API &lt; 35 con contenido promedio de aromáticos y CO<sub>2</sub> (8%)</li> </ul>   | B<br>B                  |
|                                     | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Prop. mecán. buenas (70% TDH)</li> <li>• Temp máx 100 °C</li> <li>• Abrasión: promedio</li> <li>• Ampollado por gas: agudo</li> <li>• Aromáticos: buena</li> <li>• CO<sub>2</sub> : promedio</li> <li>• SH<sub>2</sub> : muy pobre</li> <li>• Agua caliente: pobre</li> </ul>                          |   |                         |
| $\delta=1.16$<br>56<br>SHORE<br>"A" | <b>NBR BLANDO: BAJO ACN Y C<sub>4</sub></b>   | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Crudos abrasivos</li> <li>• Crudos pesados hasta 18° API</li> <li>• Crudos medios con bajo contenidos de aromáticos y CO<sub>2</sub></li> </ul>  | A<br>A<br>B             |
|                                     | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Prop. mecán. buenas: elasticid.</li> <li>• Temp máx 80 °C</li> <li>• Abrasión: muy buena</li> <li>• Ampollado por gas: alta resist</li> <li>• Aromáticos: promedio</li> <li>• CO<sub>2</sub> : promedio</li> <li>• SH<sub>2</sub> : promedio/pobre</li> <li>• Agua caliente: promedio/pobre</li> </ul> |   |                         |
| $\delta=1.15$<br>76<br>SHORE<br>"A" | <b>HNBR NBR HIDROGENADO</b>   | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Crudos pesados con alta temperatura</li> <li>• Crudos pesados con SH<sub>2</sub></li> <li>• Crudos medios con bajo contenidos de aromáticos y CO<sub>2</sub></li> </ul>  | A<br>A/B<br>B/C         |
|                                     | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Propiedades mecánicas medias</li> <li>• Temp. máx 140 °C</li> <li>• Abrasión : buena</li> <li>• Ampollado por gas: pobre.</li> <li>• Aromáticos: promedio/pobre</li> <li>• CO<sub>2</sub> : promedio/pobre</li> <li>• SH<sub>2</sub> : buena</li> <li>• Agua caliente: muy pobre</li> </ul>            |   |                         |
| $\delta=1.72$<br>75<br>SHORE<br>"A" | <b>NBR + FLUOROCARBONO (FKM)</b>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Crudos livianos con alta temperatura y CO<sub>2</sub></li> <li>• Crudos livianos con SH<sub>2</sub></li> <li>• Crudos medios con alto contenidos de aromáticos y CO<sub>2</sub></li> </ul>   | A<br>A/B<br>B/C         |
|                                     | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Propiedades mecánicas medias</li> <li>• Temp. máx 130 °C</li> <li>• Abrasión : pobre</li> <li>• Ampollado por gas: pobre</li> <li>• Aromáticos: excelente</li> <li>• CO<sub>2</sub> : excelente</li> <li>• SH<sub>2</sub> : buena</li> <li>• Agua caliente: muy pobre</li> </ul>                       |   |                         |

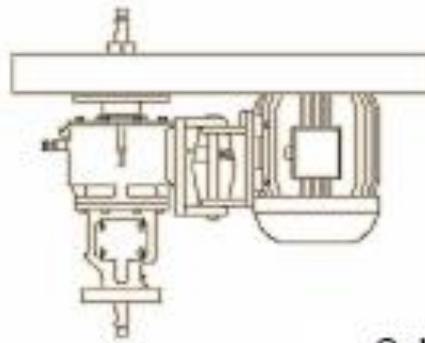
PERFORMANCES: A: EXCELENTE B: BUENA C: PROMEDIO

# CABEZALES DE ROTACION

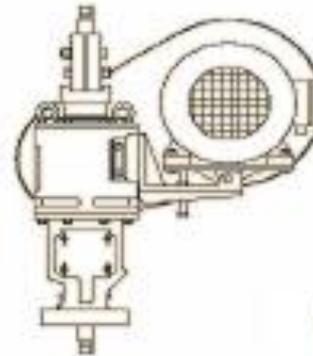
ES UN EQUIPO DE ACCIONAMIENTO MECANICO INSTALADO EN LA SUPERFICIE DIRECTAMENTE SOBRE LA CABEZA DEL POZO.

CONSTA DE UN SISTEMA DE RODAMIENTOS Y/O COJINETES QUE SOPORTAN LA CARGA AXIAL DEL SISTEMA, UN SISTEMNA DE FRENO (HIDRAULICO O MECANICO) QUE PUEDE ESTAR INTEGRADO A LA ESTRUCTURA DEL CABEZAL O SER UN DISPOSITIVO EXTERNO, Y UN ENSAMBLAJE DE INSTALACION QUE INCLUYE EL SISTEMA DE EMPAQUE PARA EVITAR LA PERDIDA DE FLUIDOS ENTRE LA BOCA DE POIZO Y EL VASTAGO PULIDO.

ESTOS SISTEMAS DE CABEZALES TAMBIEN PUEDEN INCLUIR UNA CAJA REDUCTORA.



Cabezal Directo



Cabezal Angular



Motoreductor



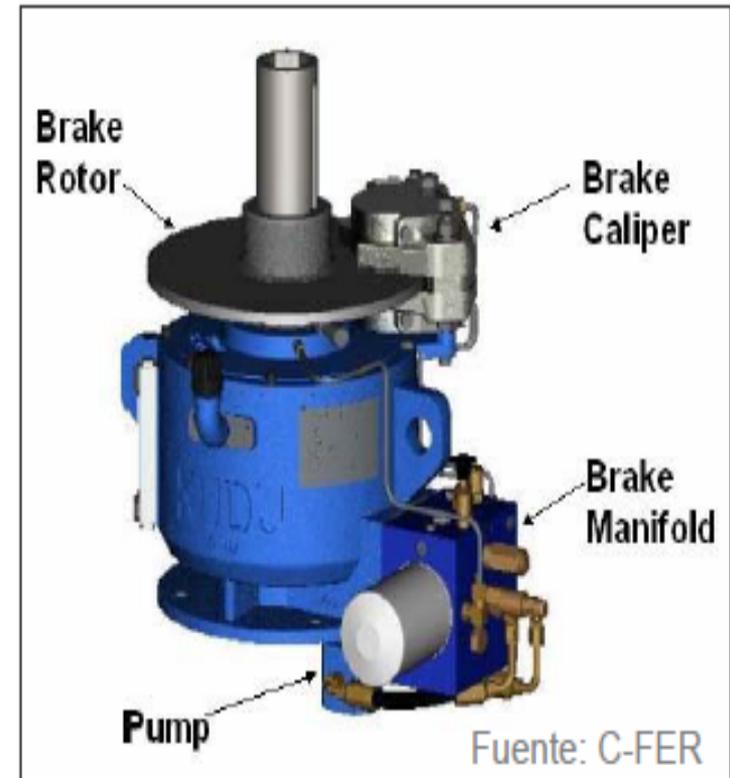
# SISTEMA DE FRENADO

## - Freno de accionamiento por fricción:

Compuesto tradicionalmente de un sistema de disco y pastillas de fricción, accionadas hidráulicamente o mecánicamente cuando se ejecuta el giro a la inversa. La mayoría de estos sistemas son instalados externamente al cuerpo del cabezal, con el disco acoplado al eje rotatorio que se ajusta al eje del cabezal. Este tipo de freno es utilizado generalmente para potencias transmitidas menores a 75 HP

## - Freno de accionamiento Hidráulico:

Es muy utilizado debido a su mayor eficiencia de acción. Es un sistema integrado al cuerpo del cabezal que consiste en un plato rotatorio adaptado al eje del cabezal que gira libremente en el sentido de las agujas del reloj (operación de la PCP). Al ocurrir el Back-Spin, el plato acciona un mecanismo hidráulico que genera resistencia al movimiento inverso, lo que permite que se reduzca considerablemente la velocidad inversa y se disipe la energía acumulada. Dependiendo del diseño del cabezal, este mecanismo hidráulico puede accionarse con juegos de válvula de drenaje, embragues mecánicos, etc.



# DISEÑO DE LA COLUMNA DE TUBING

- **Caño Filtro**: se utiliza para evitar, en caso de la rotura del estator, que trozos del elastómero queden en el espacio anular . La suma de las áreas de sus orificios debe ser de 6 veces el área de succión de la bomba, es decir 6 veces el área del niple de paro.
- **Ancla de Torque**: al girar la sarta hacia la derecha, se realiza la acción de girar la columna también hacia la derecha, en sentido de desenrosque. El ancla de torque evita esto. Se instala debajo del estator.
- **Niple de Paro**: su función es :
  1. Hacer de tope al rotor.
  2. Servir de pulmón al estiramiento de las varillas.
  3. Como succión de la bomba.

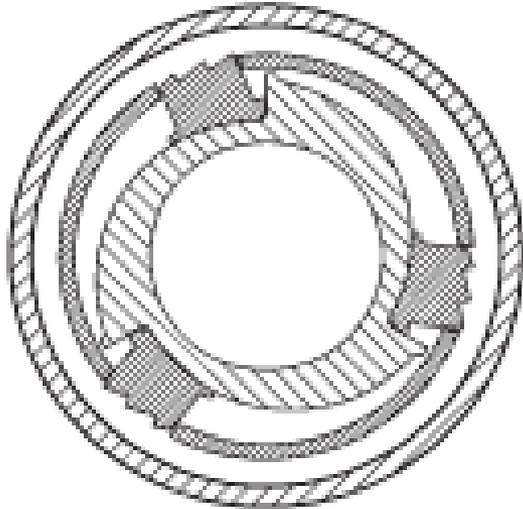
Posee una rosca hembra en su extremo superior, que va roscada al estator, y un pin en su extremo inferior, para instalar el ancla de torque.

- **Estator PCP**.
- **Niple intermedio o niple espaciador**: permite el movimiento excéntrico de la cabeza del rotor con su cupla o reducción de conexión al trozo largo de maniobra o a la última varilla.
- **Zapato Probador de Hermeticidad**: si se coloca va siempre arriba del niple intermedio, para poder probar toda la cañería.
- **Tubing**.

# ANCLA DE TORQUE

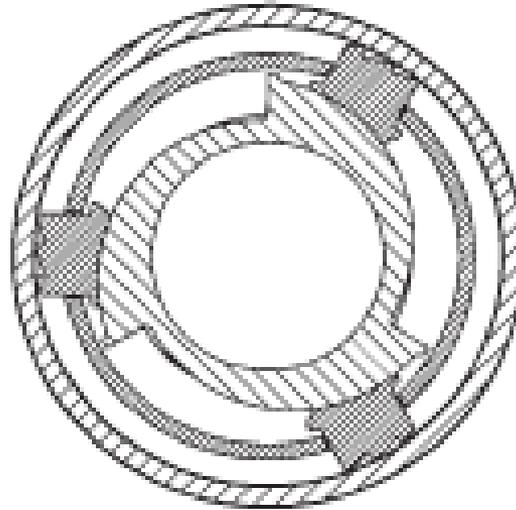
Tubo de revestimiento 5 1/2" x Ancla 2 7/8" EUE

**Figura 1**



Sección 1  
Cufias totalmente  
retractadas

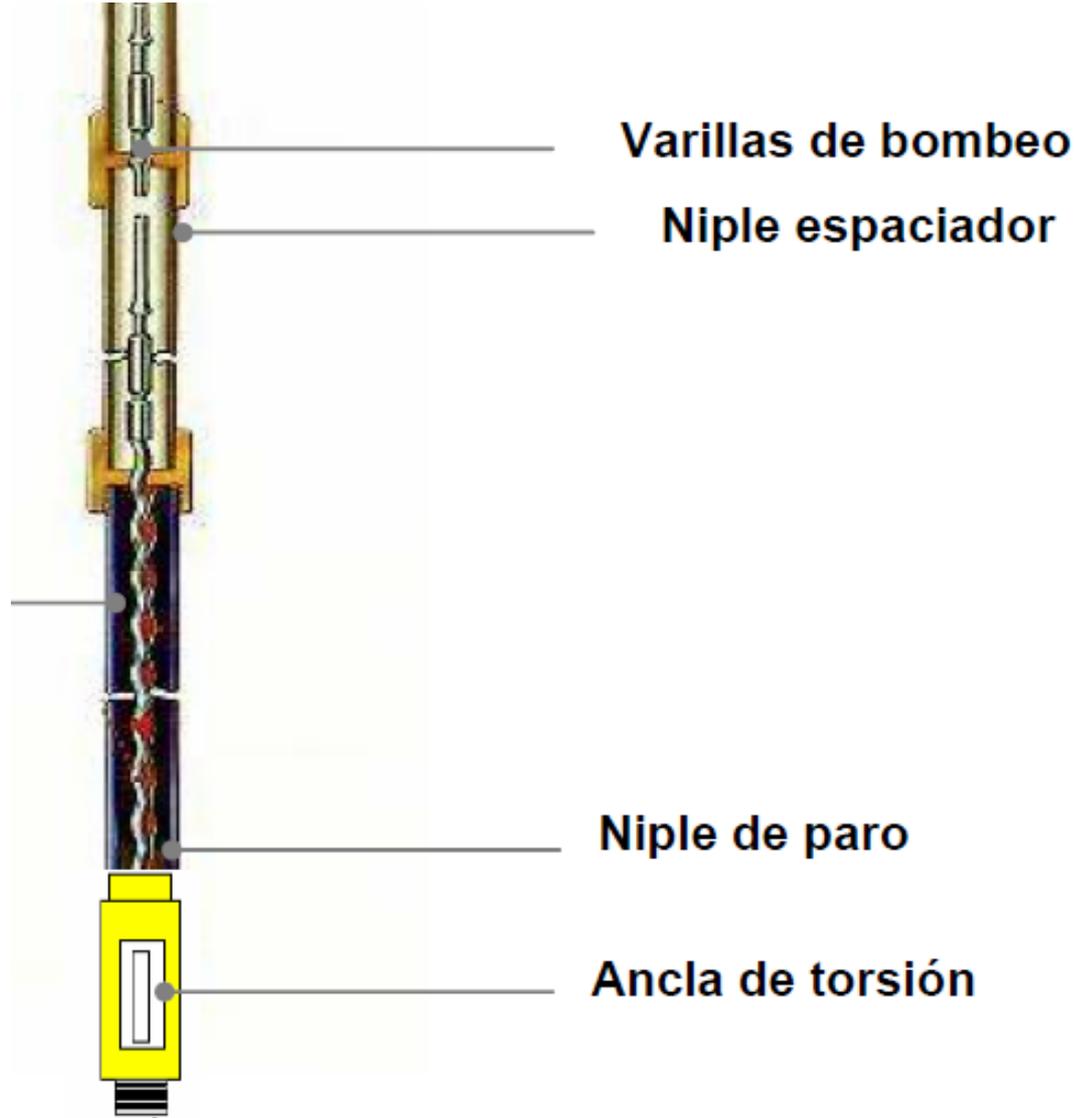
**Figura 2**



Sección 1  
Cufias totalmente  
desplegadas



# NIPLA ESPACIADOR



# DISEÑO DE LA SARTA DE VARILLAS DE BOMBEO

- **Rotor:** el pin del rotor sobresale del estator unos 460 a 520mm.
- **Trozo de Maniobra:** se coloca por encima del rotor, en lugar de una varilla, cuando gira a velocidades mayores de 250rpm. Es menos de la mitad del largo de la varilla.
- **Varillas de Bombeo:** se vinculan por medio de cuplas.
- **Varillas de Bombeo no convencionales:** Barras huecas y varillas continuas (no tienen cuplas).
- **Vástago.**

# ENSAYOS DE BOMBAS

## 5.1. Eficiencia y escurrimiento

Tal como lo muestra la **figura 1**, la eficiencia volumétrica de la bomba tiende a disminuir a medida que se aumenta la presión diferencial entre ella. Esta disminución es debido al escurrimiento del fluido a través de la línea de sello rotor/estator desde la zona de mayor presión a la de menor.

Por lo tanto podemos decir que el **escurrimiento** será la diferencia entre el desplazamiento (caudal) real de la bomba a una determinada presión diferencial y el caudal real inicial a presión cero.

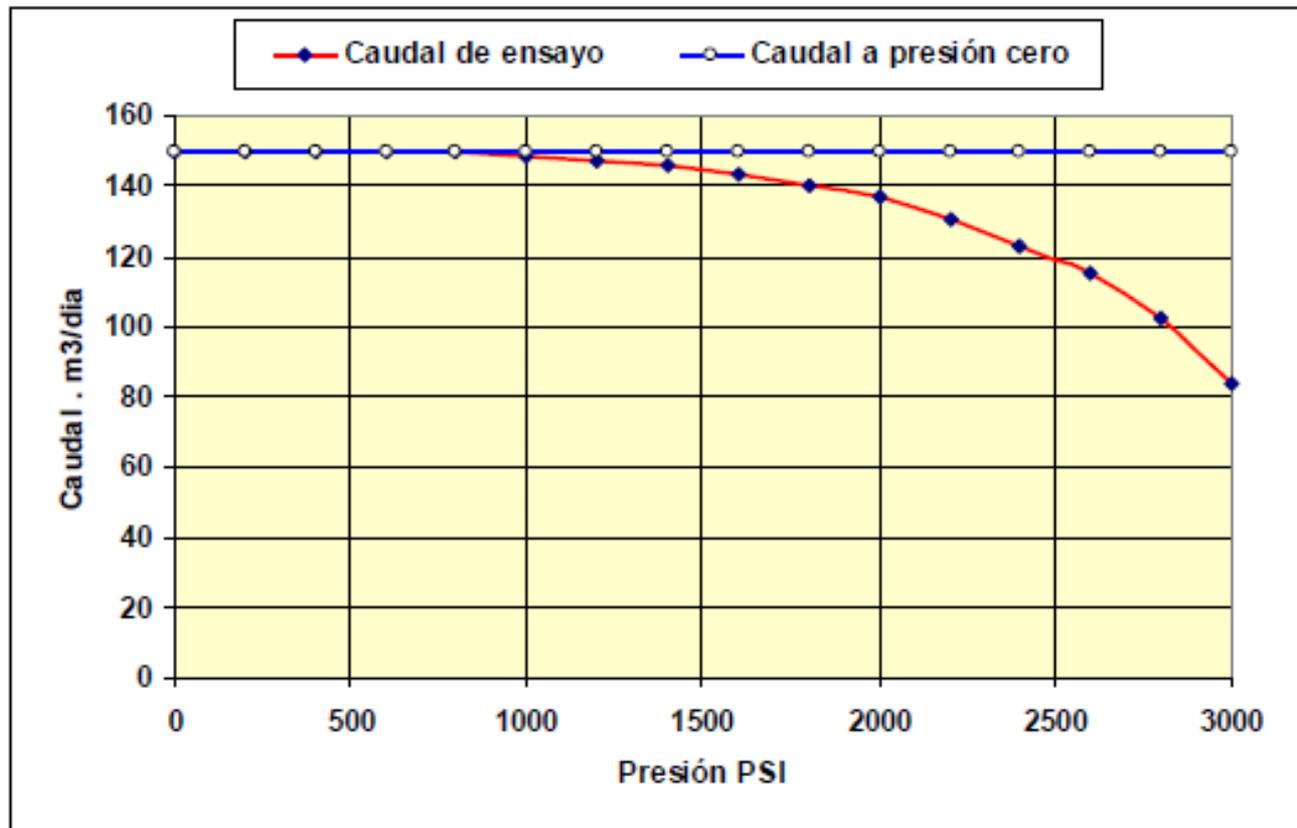
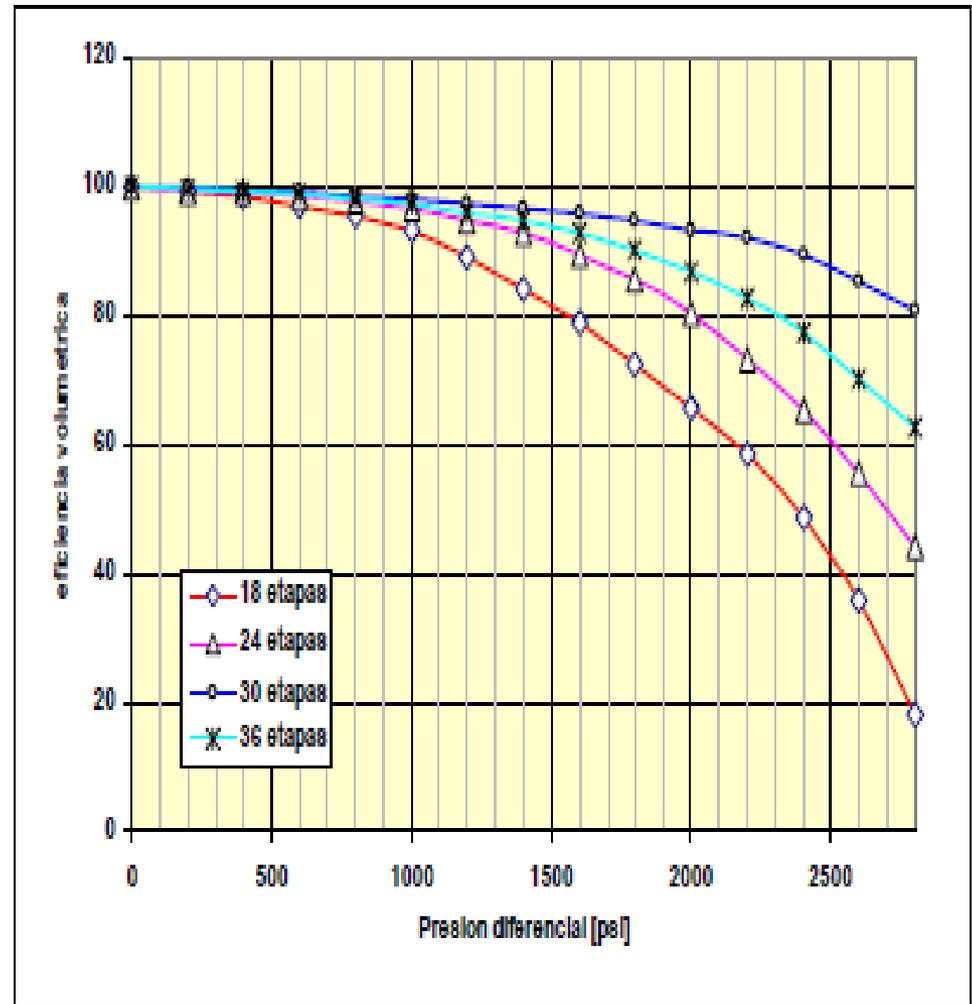


figura 1. Efecto del escurrimiento sobre la eficiencia volumétrica de la bomba

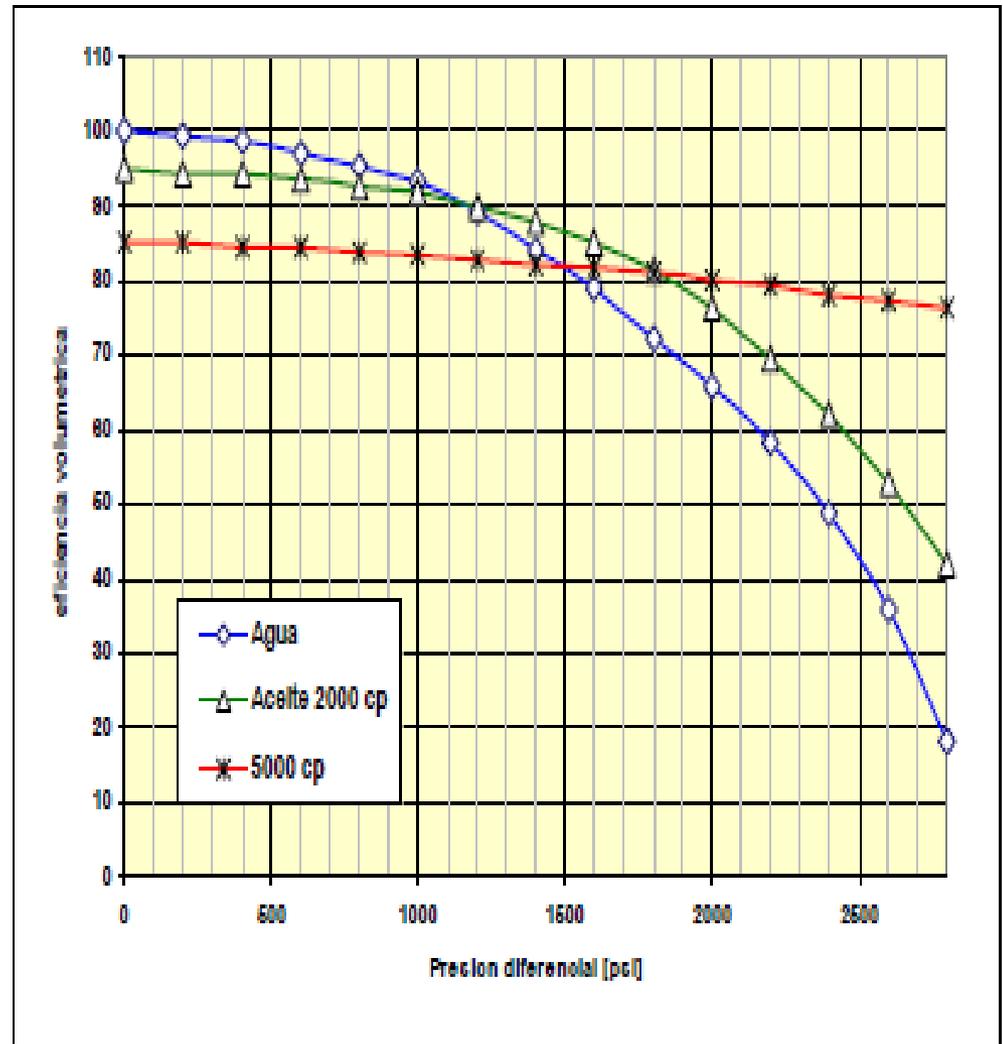
## 5.2. - Eficiencia en función de la capacidad de elevación de la bomba

En la **figura 2** se muestra las curvas de comportamiento de cuatro bombas de distintas capacidades de elevación (numero de etapas) y la misma capacidad de desplazamiento (caudal por RPM). Se puede apreciar que el escurrimiento disminuye a medida que aumenta el número de etapas de la bomba, es decir la capacidad de elevación, debido a que cada cavidad soporta menor presión, y en consecuencia, disminuye la diferencia de presión por cada línea de sello. **“Conclusión, a medida que exista mayor capacidad de elevación (mayor numero de etapas) se tendrá menor escurrimiento y mayor eficiencia volumétrica.”**



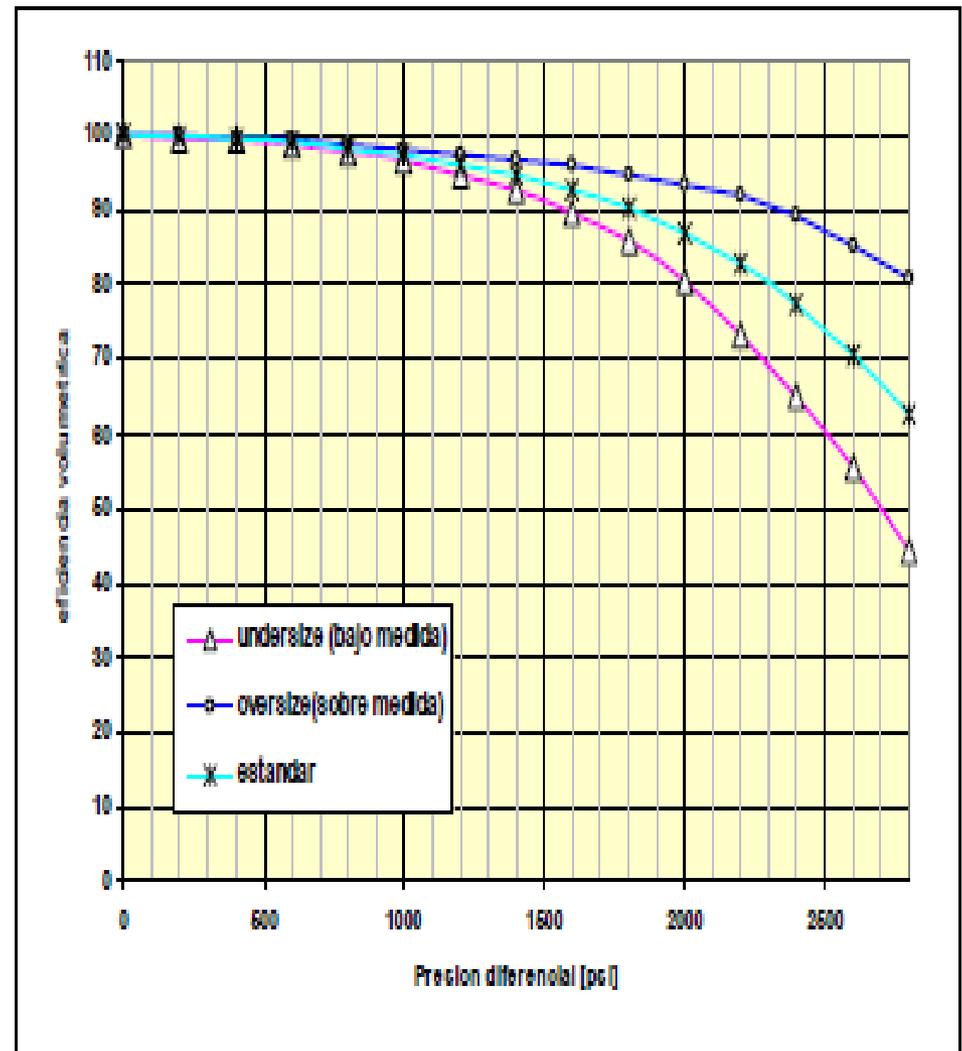
### 5.3. Eficiencia en función de la viscosidad del fluido

Esta también contribuye a disminuir el escurrimiento y aumentar la eficiencia volumétrica a medida que su valor es mayor. La eficiencia inicial menor en el caso de fluidos más viscosos se debe a que el área de flujo transversal se ve afectada por la adherencia del elemento viscoso a las paredes tanto del estator como del rotor. Sin embargo, se observa de igual manera como la eficiencia se mantiene constante a mayores presiones para fluidos viscosos.



## 5.4. Eficiencia en función de la interferencia rotor/estator.

A una presión diferencial dada, el escurrimiento y la eficiencia volumétrica son extremadamente dependientes del ajuste por interferencia entre rotor y estator. A medida que este ajuste sea mayor, será más difícil que el fluido se deslice a través de las líneas de sello a una presión diferencial dada, disminuyendo las pérdidas por escurrimiento.



# DESIGNACIONES COMERCIALES

| Displacement & Lift Capacities |               |       |       |                           |             |               |      |                   |        |           |        |
|--------------------------------|---------------|-------|-------|---------------------------|-------------|---------------|------|-------------------|--------|-----------|--------|
| PC Pump                        |               |       |       | Displacement              |             | Lift Capacity |      | Standard Rotor OD |        | Stator OD |        |
| Metric                         | Previous Name | Style | Type* | m <sup>3</sup> /d/100 rpm | BPD/100 rpm | Metres        | Feet | mm                | inches | mm        | inches |
| 1-600                          | 9GP-20        |       |       |                           |             | 600           | 2000 |                   |        |           |        |
| 1-1000                         | 14GP-20       | 1:2   | C     | 1                         | 7           | 1000          | 3300 | 24                | 0.95   | 60.3      | 2.37   |
| 1-1200                         | 18GP-20       |       |       |                           |             | 1200          | 4000 |                   |        |           |        |
| 2-2000                         | 28.20-60      | 1:2   | C     | 2                         | 12          | 2000          | 6600 | 26                | 1.02   | 60.3      | 2.37   |
| 3-600                          | 9.20-100      |       |       |                           |             | 600           | 2000 |                   |        |           |        |
| 3-1000                         | 14.20-100     | 1:2   | C     | 3                         | 20          | 1000          | 3300 | 26                | 1.02   | 60.3      | 2.37   |
| 3-1200                         | 18.20-80      | 1:2   | C     | 2.5                       | 16          | 1200          | 4000 | 26                | 1.02   | 60.3      | 2.37   |
| 4-2000                         | 28.25-125     | 1:2   | C     | 4                         | 25          | 2000          | 6600 | 32.5              | 1.28   | 60.3      | 2.37   |
| 5-600                          | 9GP-30        |       |       |                           |             | 600           | 2000 |                   |        |           |        |
| 5-1000                         | 14GP-30       | 1:2   | C     | 5                         | 32          | 1000          | 3300 | 36                | 1.42   | 73        | 2.87   |
| 5-1200                         | 18GP-30       |       |       |                           |             | 1200          | 4000 |                   |        |           |        |
| 5-1200                         | 18.25-150     | 1:2   | C     | 5                         | 32          | 1200          | 4000 | 32.5              | 1.28   | 60.3      | 2.37   |
| 7-600                          | 9.25-200      |       |       |                           |             | 600           | 2000 |                   |        |           |        |
| 7-1000                         | 14.25-200     | 1:2   | C     | 7                         | 44          | 1000          | 3300 | 32.5              | 1.28   | 60.3      | 2.37   |
| 11-600                         | 9GP-40        |       |       |                           |             | 600           | 2000 |                   |        |           |        |
| 11-1000                        | 14GP-40       | 1:2   | C     | 11                        | 69          | 1000          | 3300 | 48                | 1.89   | 88.9      | 3.5    |
| 11-1200                        | 18GP-40       |       |       |                           |             | 1200          | 4000 |                   |        |           |        |
| 11-2000                        | 28.35-300     | 1:2   | C     | 11                        | 69          | 2000          | 6600 | 43                | 1.69   | 73        | 2.87   |
| 14-1200                        | 18.35-400     | 1:2   | C     | 14                        | 88          | 1200          | 4000 | 43                | 1.69   | 73        | 2.87   |
| 17-2000                        | 28.40-500     | 1:2   | C     | 17                        | 107         | 2000          | 6600 | 3.5               | 2.05   | 88.9      | 3.5    |
| 18-600                         | 9.35-500      |       |       |                           |             | 600           | 2000 |                   |        |           |        |
| 18-1000                        | 14.35-500     | 1:2   | C     | 18                        | 113         | 1000          | 3300 | 43                | 1.69   | 73        | 2.87   |
| 22-1200                        | 18.40-600     | 1:2   | C     | 22                        | 138         | 1200          | 4000 | 52                | 2.05   | 88.9      | 3.5    |
| 24-2000                        | 29.45-700     | 1:2   | C     | 24                        | 151         | 2000          | 6600 | 58.5              | 2.30   | 101.6     | 4      |
| 28-600                         | 9.40-800      |       |       |                           |             | 600           | 2000 |                   |        |           |        |
| 28-1000                        | 14.40-800     | 1:2   | C     | 28                        | 176         | 1000          | 3300 | 52                | 2.05   | 88.9      | 3.5    |
| 41-600                         | 9.45-1200     |       |       |                           |             | 600           | 2000 |                   |        |           |        |
| 41-1000                        | 14.45-1200    | 1:2   | C     | 41                        | 258         | 1000          | 3300 | 59                | 2.32   | 101.6     | 4      |
| 41-1700                        | 24.40-1200    |       |       |                           |             | 1700          | 5600 |                   |        |           |        |
| 41-2200                        | 32.40-1200    | 1:2   | C     | 41                        | 258         | 2200          | 7200 | 60                | 2.36   | 101.6     | 4      |
| 41-2800                        | 40.40-1200    |       |       |                           |             | 2800          | 9200 |                   |        |           |        |
| 54-600                         | 9.50-1700     | 1:2   | C     | 54                        | 340         | 600           | 2000 | 65                | 2.56   | 101.6     | 4      |
| 55-1200                        | 18.40-1500    | 1:2   | C     | 55                        | 346         | 1200          | 4000 | 60                | 2.36   | 101.6     | 4      |
| 69-1200                        | 14.40-2100    |       |       |                           |             | 1000          | 3300 |                   |        |           |        |
| 69-1400                        | 20.40-2100    | 1:2   | C     | 69                        | 434         | 1400          | 4600 | 60                | 2.36   | 101.6     | 4      |
| 82-800                         | 11.40-2500    |       |       |                           |             | 800           | 2650 |                   |        |           |        |
| 82-1500                        | 22.40-2500    | 1:2   | C     | 82                        | 516         | 1500          | 4950 | 60                | 2.36   | 101.6     | 4      |

# DESIGNACIONES COMERCIALES

## Progressing Cavity Pump Specifications

| PUMP                                 |  | ROTOR          |          |        |                  | STATOR                         |          |                    |        | INSERTABLE   | SLIM HOLE<br>^ | HIGH TEMP<br>LOCK †§ |     |          |          |
|--------------------------------------|--|----------------|----------|--------|------------------|--------------------------------|----------|--------------------|--------|--------------|----------------|----------------------|-----|----------|----------|
| PC Pump Series                       |  | Pin Connection | Max O.D. | Length | Min. Tubing Size | Top Connection                 | Max O.D. | Tag Bar Connection | Length | Tubing Sizes |                |                      |     | Optional | Optional |
| <i>m³/Day/100rpm<br/>- m of lift</i> | <i>Bbl/Day/100rpm<br/>- ft of lift</i> | in (a)         | in (b)   | in (c) | in               | in (d)                         | in (e)   | in (f)             | in (g) | 2½"          | 3½"            | 4½"                  | 5½" |          |          |
| 1-750                                | 006-2500                               |                |          | 46     |                  |                                |          |                    | 44.6   | *            | *              | *                    |     |          |          |
| 1-1200                               | 006-4000                               |                |          | 61.7   |                  |                                |          |                    | 60.3   | *            | *              | *                    |     |          |          |
| 1-1500                               | 006-5000                               | 5/8 API        | 1.25     | 79.9   | 2 3/8            | 2 3/8 NUE Pin                  | 2.38     | 2 3/8 NUE Pin      | 80.3   | *            | *              | *                    |     |          |          |
| 1-1950                               | 006-6500                               |                |          | 115.5  |                  |                                |          |                    | 113.4  | *            | *              | *                    |     |          |          |
| 2-1200                               | 010-4000                               | 5/8 API        | 1.25     | 81.2   | 2 3/8            | 2 3/8 NUE Pin                  | 2.38     | 2 3/8 NUE Pin      | 80.4   | *            | *              | *                    |     |          |          |
| 2-1500                               | 010-5000                               |                |          | 96.2   |                  |                                |          |                    | 82.2   | *            | *              | *                    |     |          |          |
| 3-600                                | 015-2000                               |                |          | 57.5   |                  |                                |          |                    | 56.7   | *            | *              | *                    |     |          |          |
| 3-1200                               | 015-4000                               | 5/8 API        | 1.250    | 95.5   | 2 3/8            | 2 3/8 NUE Pin                  | 2.38     | 2 3/8 NUE Pin      | 80.4   | *            | *              | *                    |     |          |          |
| 3-1800                               | 015-6000                               |                |          | 155.4  |                  |                                |          |                    | 153.4  | *            | *              | *                    |     |          |          |
| 4-750                                | 025-2500                               |                |          | 60.5   |                  |                                |          |                    | 62.6   | +R           | *              | *                    |     |          |          |
| 4-1200                               | 025-4000                               |                |          | 87.1   |                  |                                |          |                    | 88.7   | +R           | *              | *                    |     |          |          |
| 4-1500                               | 025-5000                               | 3/4 API        | 1.438    | 108.3  | 2/38             | 2 7/8 EUE Box                  | 3.50     | 2 7/8 EUE Pin      | 110.7  | +R           | *              | *                    |     |          |          |
| 4-1950                               | 025-6500                               |                |          | 137.0  |                  |                                |          |                    | 138.7  | +R           | *              | *                    |     |          |          |
| 4-2400                               | 025-8000                               |                |          | 158.8  |                  |                                |          |                    | 160.7  | +R           | *              | *                    |     |          |          |
| 4-3000                               | 025-10000                              |                |          | 205.8  |                  |                                |          |                    | 212.7  | +R           | *              | *                    |     |          |          |
| 6-700                                | 044-2300                               |                |          | 111.9  |                  |                                |          |                    | 126.0  | *            | *              | *                    | *   |          |          |
| 6-1050                               | 044-3500                               |                |          | 161.9  |                  |                                |          |                    | 175.0  | *            | *              | *                    | *   |          |          |
| 6-1400                               | 044-4600                               | 3/4 API        | 1.500    | 211.9  | 2 3/8            | 2.2 ACME Box<br>X 2' Weld Ext. | 2.25     | 1.9 EUE Pin        | 224.0  | *            | *              | *                    | *   |          |          |
| 6-1750                               | 044-5750                               |                |          | 261.9  |                  |                                |          |                    | 273.0  | *            | *              | *                    | *   |          |          |
| 6-2100                               | 044-6900                               |                |          | 311.9  |                  |                                |          |                    | 322.0  | *            | *              | *                    | *   |          |          |
| 7-750                                | 045-2500                               |                |          | 89.9   |                  |                                |          |                    | 87.7   | +R           | *              | *                    |     |          |          |
| 7-1200                               | 045-4000                               |                |          | 135.9  |                  |                                |          |                    | 136.7  | +R           | *              | *                    |     |          |          |
| 7-1600                               | 045-5400                               |                |          | 168.9  |                  |                                |          |                    | 169.7  | +R           | *              | *                    |     |          |          |
| 7-1800                               | 045-6000                               | 7/8 API        | 1.625    | 214.7  | 2 3/8            | 2 7/8 EUE Box                  | 3.50     | 2 7/8 EUE Pin      | 210.3  | +R           | *              | *                    |     |          |          |
| 7-2400                               | 045-8000                               |                |          | 244.4  |                  |                                |          |                    | 244.7  | +R           | *              | *                    |     |          |          |
| 7-3000                               | 045-10000                              |                |          | 342.0  |                  |                                |          |                    | 331.7  | +R           | *              | *                    |     |          |          |
| 8-1500                               | 056-5000                               |                |          | 113.2  |                  |                                |          |                    | 79.0   | *            | *              | *                    |     |          |          |
| 8-2250                               | 056-7500                               | 7/8 API        | 2.095    | 149.2  | 2 7/8            | 3 1/2 EUE Pin                  | 4.18     | 3 1/2 EUE Pin      | 111.5  | *            | *              | *                    |     |          |          |
| 9-600                                | 060-2000                               |                |          | 82.0   |                  |                                |          |                    | 120.2  | *            | *              | *                    | *   |          |          |
| 9-1000                               | 060-3300                               |                |          | 146.0  |                  |                                |          |                    | 184.2  | *            | *              | *                    | *   |          |          |
| 9-1400                               | 060-4600                               | 5/8 API        | 1.250    | 216.0  | 2 3/8            | 1.9 ACME Box<br>X 4' Weld Ext. | 2.25     | 1.9 EUE Pin        | 254.2  | *            | *              | *                    | *   |          |          |
| 9-1800                               | 060-6000                               |                |          | 287.5  |                  |                                |          |                    | 324.2  | *            | *              | *                    | *   |          |          |
| 10-750                               | 065-2500                               |                |          | 79.0   |                  |                                |          |                    | 73.7   | *            | *              | *                    |     |          |          |
| 10-1200                              | 065-4000                               |                |          | 114.5  |                  |                                |          |                    | 109.2  | *            | *              | *                    |     |          |          |
| 10-1500                              | 065-5000                               |                |          | 146.0  |                  |                                |          |                    | 141.2  | *            | *              | *                    |     |          |          |
| 10-1800                              | 065-6000                               | 7/8 API        | 1.904    | 190.4  | 2 7/8            | 2 7/8 EUE Box                  | 3.50     | 2 7/8 EUE Pin      | 175.7  | *            | *              | *                    |     |          |          |
| 10-2400                              | 065-8000                               |                |          | 213.7  |                  |                                |          |                    | 207.2  | *            | *              | *                    |     |          |          |
| 10-3000                              | 065-10000                              |                |          | 281.4  |                  |                                |          |                    | 275.2  | *            | *              | *                    |     |          |          |
| 10-3800                              | 065-12500                              |                |          | 372.9  |                  |                                |          |                    | 341.2  | *            | *              | *                    |     |          |          |
| 11-1800                              | 067-6000                               | 7/8 API        | 2.095    | 147.8  | 2 7/8            | 3 1/2 EUE Box                  | 4.18     | 3 1/2 EUE Pin      | 120.2  | *            | *              | *                    |     |          |          |
| 15-700                               | 090-2300                               |                |          | 95.0   |                  |                                |          |                    | 86.0   | *            | *              | *                    |     |          |          |
| 15-1050                              | 090-3400                               |                |          | 138.0  |                  |                                |          |                    | 129.0  | *            | *              | *                    |     |          |          |
| 15-1400                              | 090-4600                               |                |          | 186.0  |                  |                                |          |                    | 172.0  | *            | *              | *                    |     |          |          |
| 15-1800                              | 090-6000                               | 7/8 API        | 1.922    | 231.0  | 2 7/8            | 2 7/8 EUE Box                  | 3.50     | 2 7/8 EUE Pin      | 215.0  | *            | *              | *                    |     |          |          |
| 15-2100                              | 090-6900                               |                |          | 275.0  |                  |                                |          |                    | 259.0  | *            | *              | *                    |     |          |          |
| 15-2800                              | 090-9000                               |                |          | 361.0  |                  |                                |          |                    | 345.0  | *            | *              | *                    |     |          |          |