

# **Aplicaciones y Diseño de Sistemas con Bombas de Cavidad Progresiva**



# Evolución del Sistema BCP



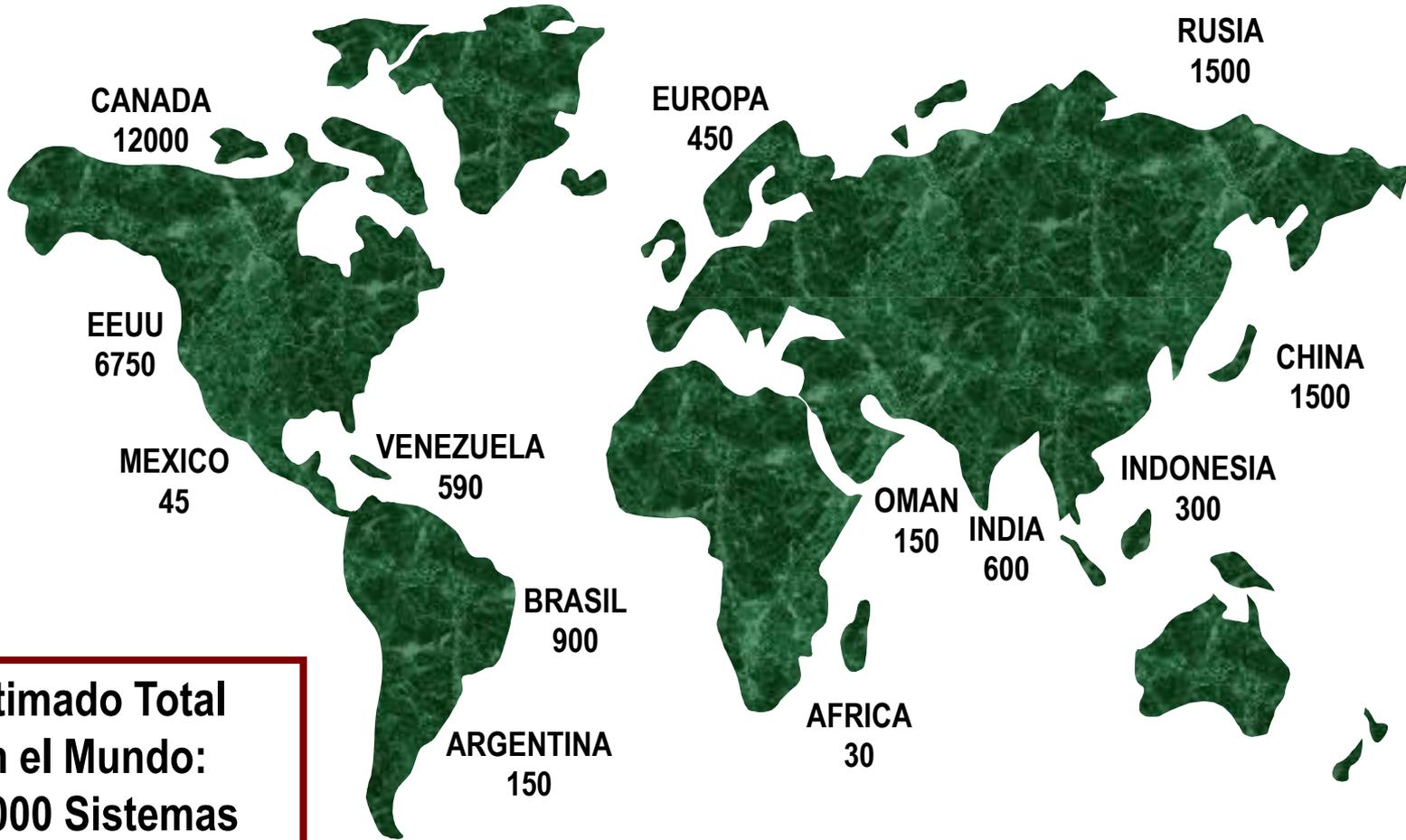
- A finales de los años 20, René Moineau desarrolló el concepto de engranes helicoidales.
- En los años 30 este concepto fue utilizado para aplicaciones industriales.
- En los años 50 los primeros modelos de BCP fueron desarrollados para aplicaciones de perforación de pozos.
- En los 80's las BCP se empezaron a utilizar en aplicaciones de producción de crudo pesado.

# Evolución del Sistema BCP



- A finales de la década del 80, se desarrollaron nuevas tecnologías en diseño y geometría de BCP's.
- A principios de los años 90, empezó a aplicarse la geometría multilóbulos para el área de producción de pozos.
- Actualmente, existen diferentes modelos y tecnologías desarrolladas para ampliar el rango de aplicación en cuanto a volumen y levantamiento.
- Para 1998 se estiman unos 25000 sistemas BCP activos en todo el mundo.

# Instalaciones estimadas de Sistemas BCP en el Mundo



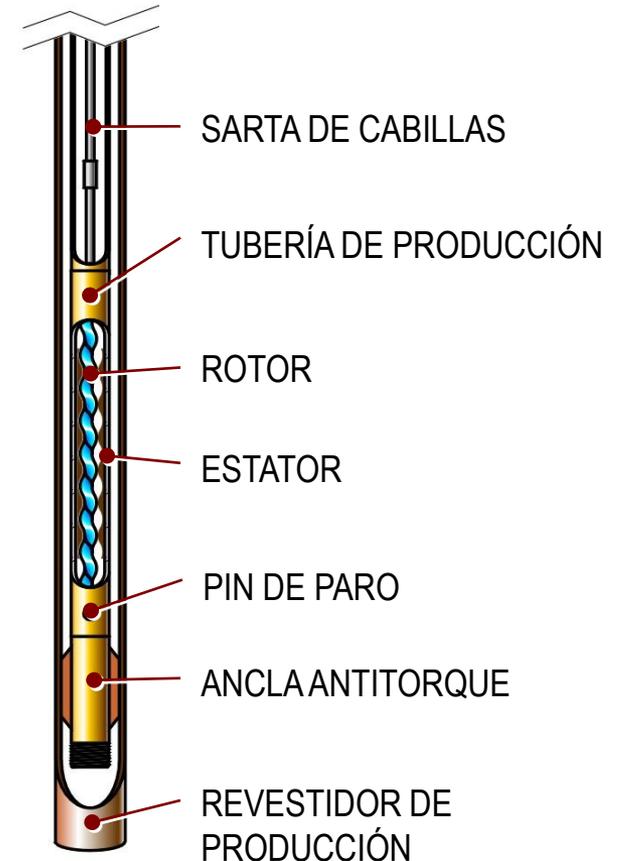
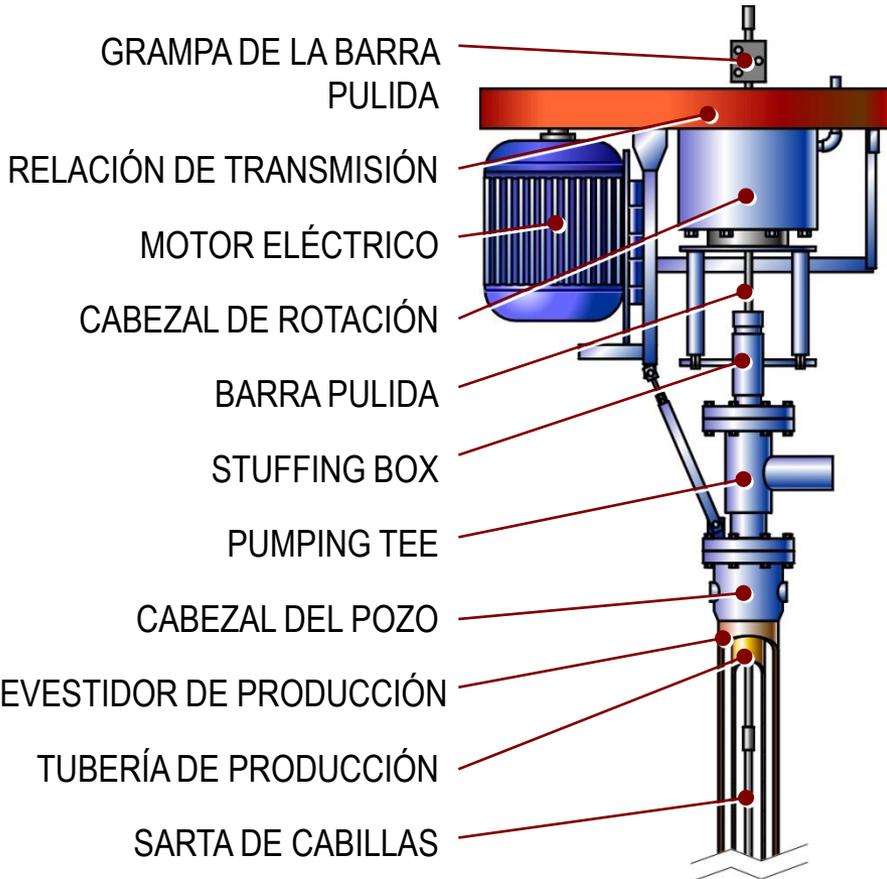
**Estimado Total en el Mundo: 25,000 Sistemas**

# Sistema BCP Típico

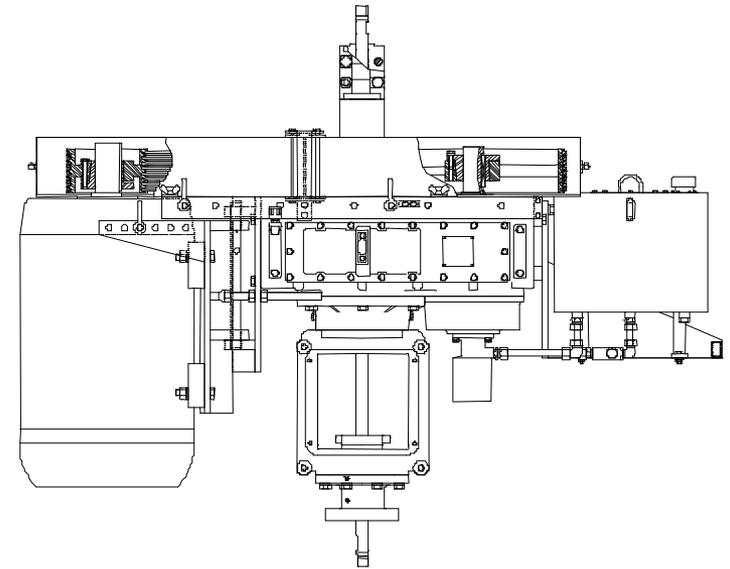
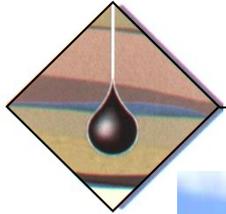


SUPERFICIE

FONDO



# Sistema BCP - Cabezales



- Carga Axial
- Torque Máximo
- Potencia Máxima
- Velocidad Máxima

# Ventajas



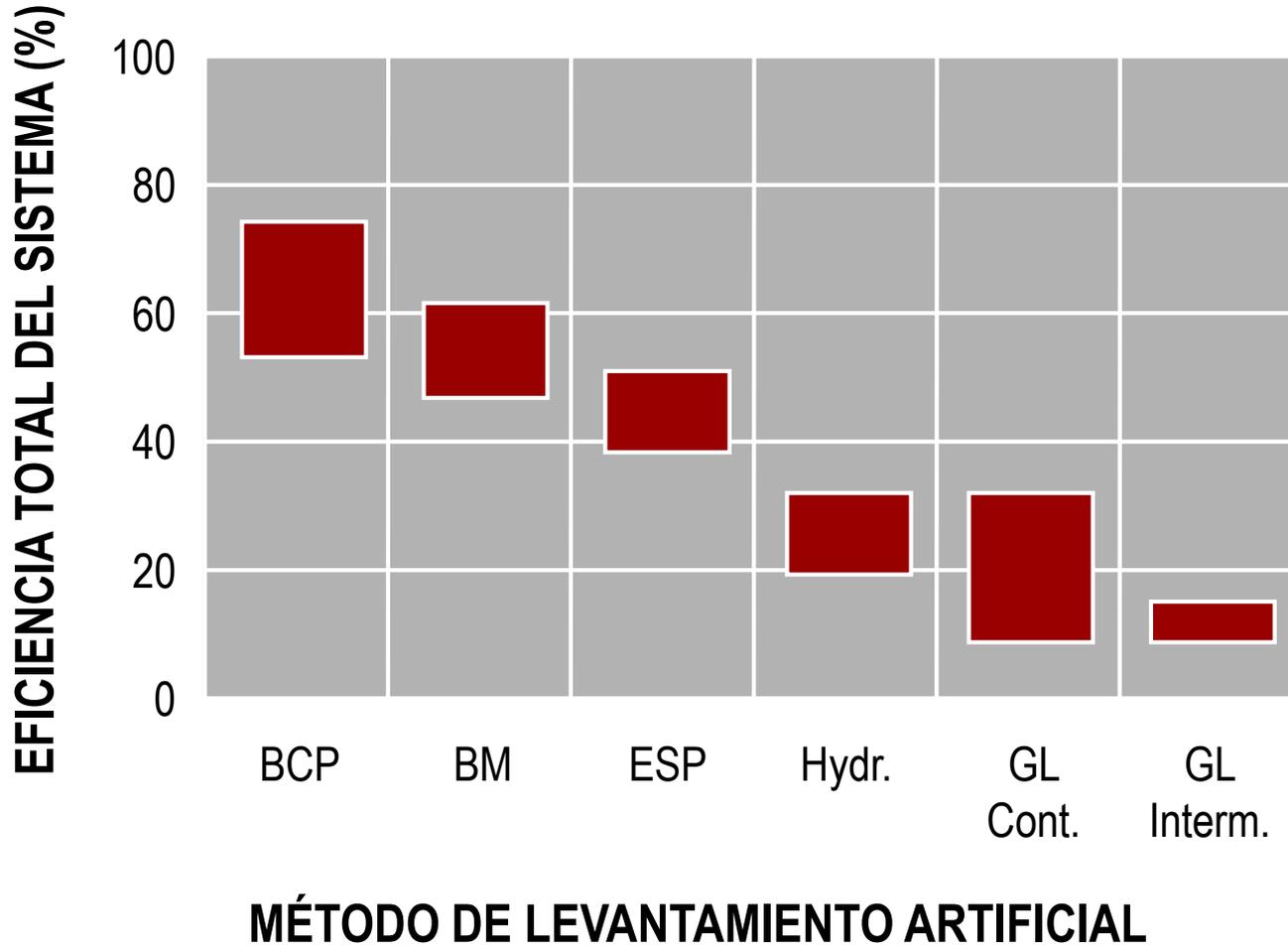
- ◆ Sistema de levantamiento artificial de mayor eficiencia.
- ◆ Excelente para producción de crudos altamente viscosos.
- ◆ Capacidad para manejar altos contenidos de sólidos y moderado contenido de gas libre.
- ◆ No tiene válvulas, evitando bloqueos por gas.
- ◆ Buena resistencia a la abrasión.
- ◆ Bajos costo inicial y potencia requerida.

# Ventajas



- Equipo de Superficie relativamente pequeño.
- Consumo de energía continuo y de bajo costo.
- Fácil de instalar y operar.
- Bajo mantenimiento de operación.

# Comparación de Eficiencia



# Limitaciones



- Tasas de producción hasta de 2.000 B/D (máximo 4.000 B/D).
- Levantamiento neto de hasta 6.000 feet (máximo 9.000 feet).
- Temperatura de operación de hasta 210 °F (máximo 350 °F).
- El elastómero tiende a hincharse o deteriorarse cuando es expuesto al contacto con ciertos fluidos (aromáticos, aminas, H<sub>2</sub>S, CO<sub>2</sub>, etc.).

# Limitaciones



- Baja eficiencia del sistema cuando existe alto contenido de gas libre.
- Tendencia del estator a dañarse si trabaja en seco, aún por períodos cortos.
- Desgaste de cabillas y tubería en pozos altamente desviados.
- Tendencia a alta vibración si el pozo trabaja a altas velocidades.
- Relativa falta de experiencia.

# Fundamentos de la Bomba



- Consiste en dos componentes básicos:
  - Estator.
  - Rotor (única parte móvil).
- El rotor es una pieza de acero de alta resistencia torneada externamente como una hélice de “ $n$ ” lóbulos.
- El estator es de material elastomérico torneado internamente como una hélice de “ $n+1$ ” lóbulos.



# Acción de Bombeo



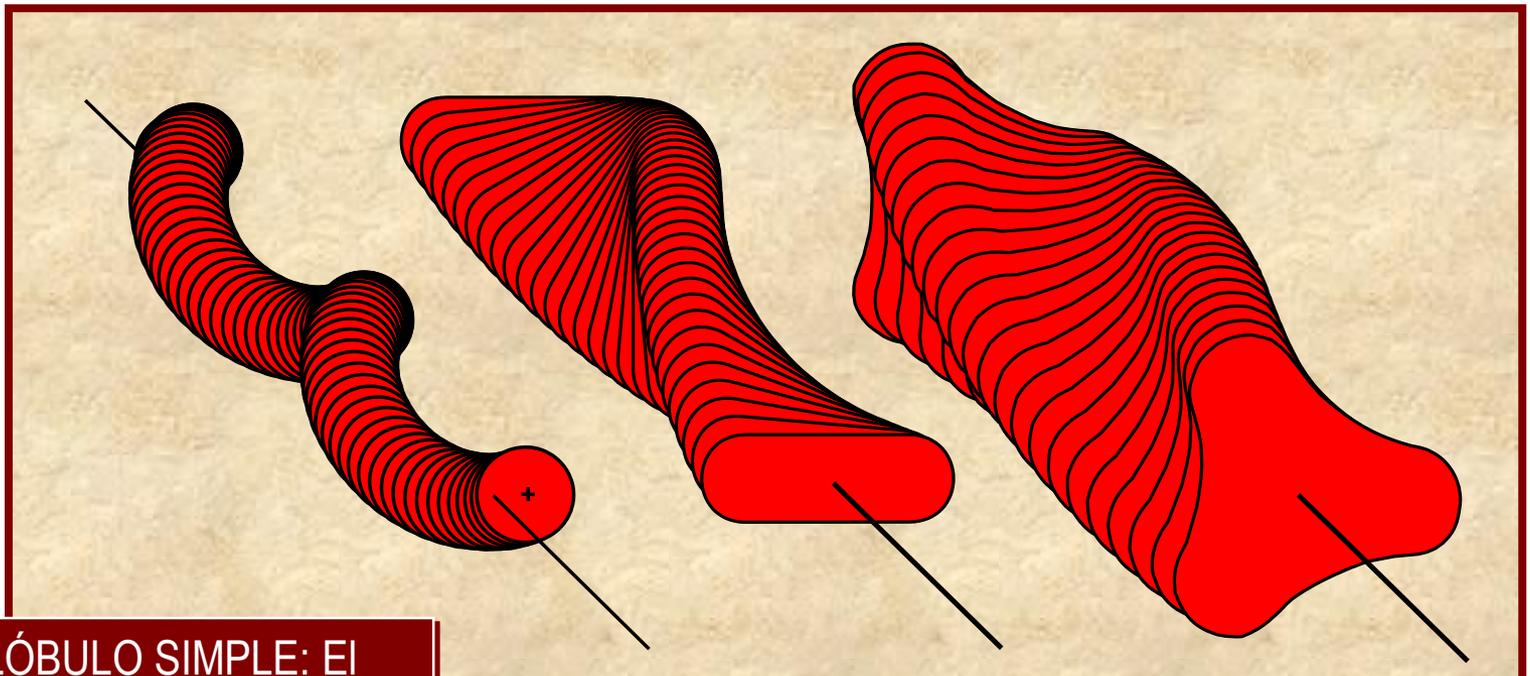
- Bomba de desplazamiento positivo.
- Su geometría permite la formación de dos o más cavidades separadas, lenticulares, y en forma de espiral.
- Cuando el rotor gira a la derecha las cavidades se mueven desde la succión hasta la descarga de la bomba.
- La presión incrementa en forma lineal desde la succión hasta la descarga.



# Geometría BCP



- Generación de la geometría BCP tridimensional

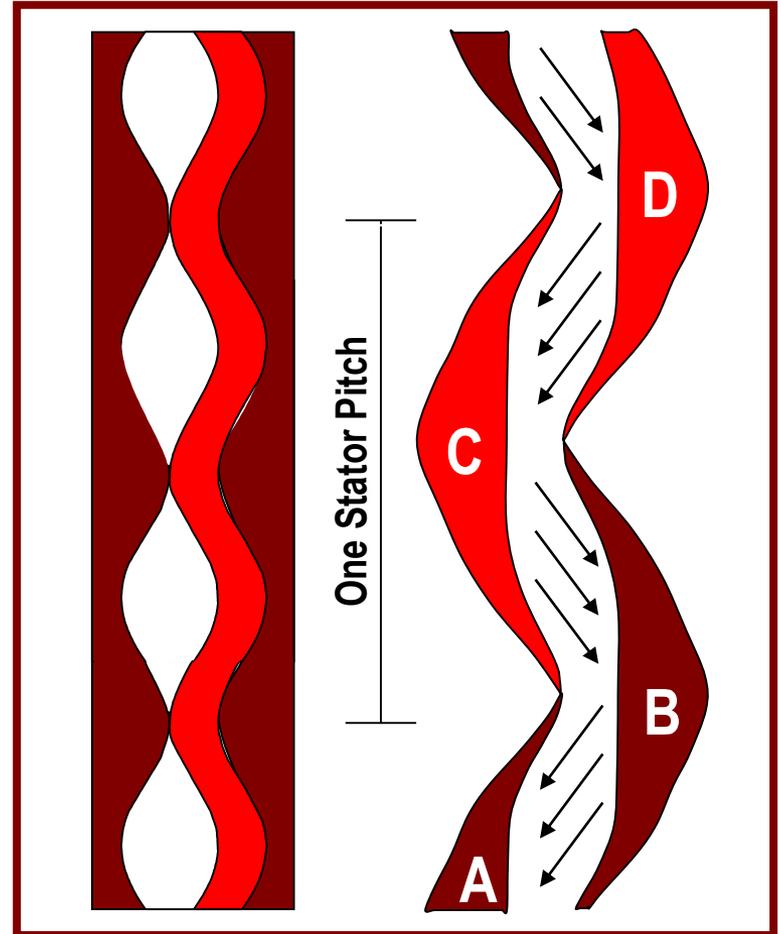


LÓBULO SIMPLE: El centro de la sección transversal NO es el mismo centro del rotor.

MULTILÓBULOS: El centro de la sección transversal SI es el mismo centro del rotor.

# Formación de Cavidades

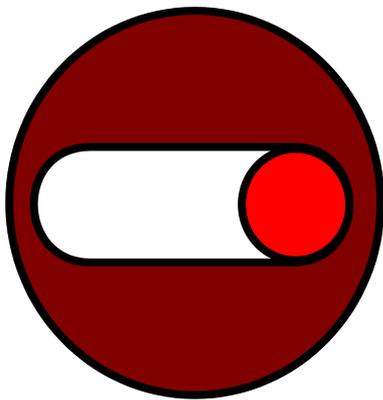
- En la bomba se genera una serie de cavidades de fluido idénticas y separadas, cuya longitud define el paso del estator.
- Una cavidad comienza donde la otra termina, siendo separadas por las “líneas de sello”.



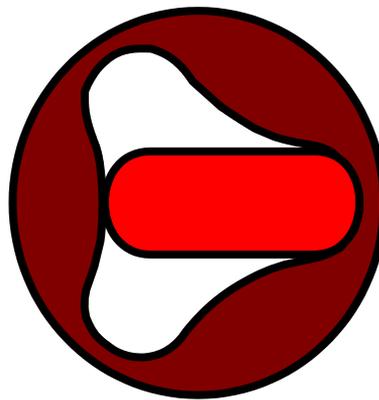
# Formación de Cavidades



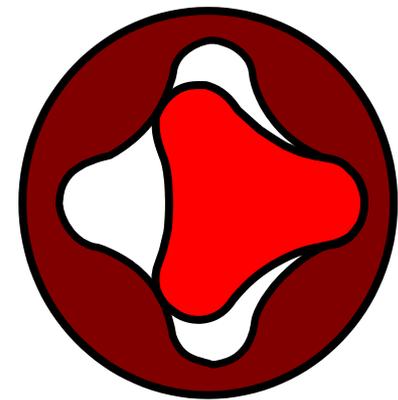
- En una sección transversal, el número de cavidades separadas será hasta una más que número de lóbulos del rotor:
  - Bombas 1:2 tienen una cavidad desfasada cada  $180^\circ$
  - Bombas 2:3 tienen dos cavidades desfasadas cada  $120^\circ$
  - Bombas 3:4 tienen tres cavidades desfasadas cada  $90^\circ$



Relación 1:2



Relación 2:3



Relación 3:4

# Principios Básicos



Existen dos principios básicos para el diseño de sistemas con bombas de cavidad progresiva:

**DESPLAZAMIENTO REQUERIDO POR LA  
BOMBA (VOLUMEN)**

Y

**LEVANTAMIENTO NETO REQUERIDO  
(PRESIÓN)**

# Principios Básicos

## *Volumen*



- ◆ El desplazamiento de las BCP es constante y sin pulsaciones.
- ◆ Es función del tamaño de las cavidades y de la velocidad de operación del sistema.
- ◆ El tamaño de las cavidades depende de su geometría, la cual es gobernada por cuatro parámetros:
  - ◆ Relación de Radios
  - ◆ Paso del Estator
  - ◆ Excentricidad
  - ◆ Diámetro del Rotor

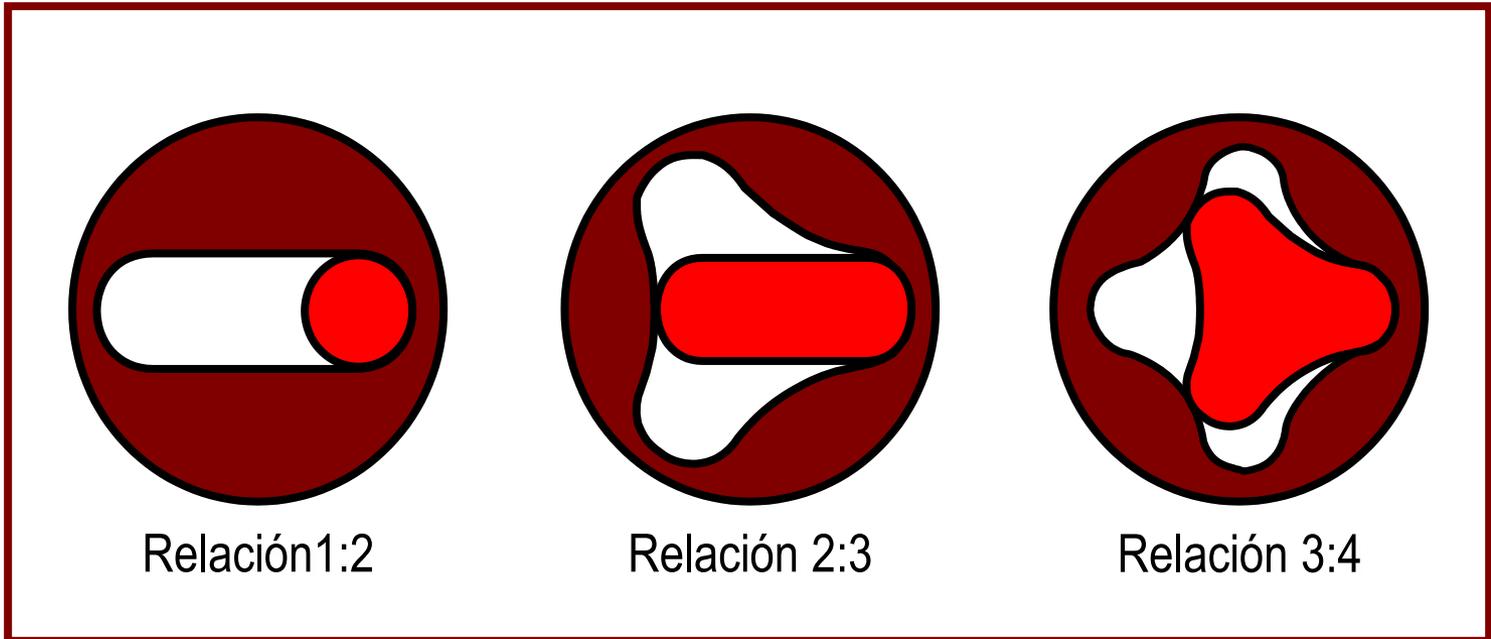
# Principios Básicos

## Volumen



- Relación de Radios

- El estator siempre tiene un lóbulo más que el rotor.

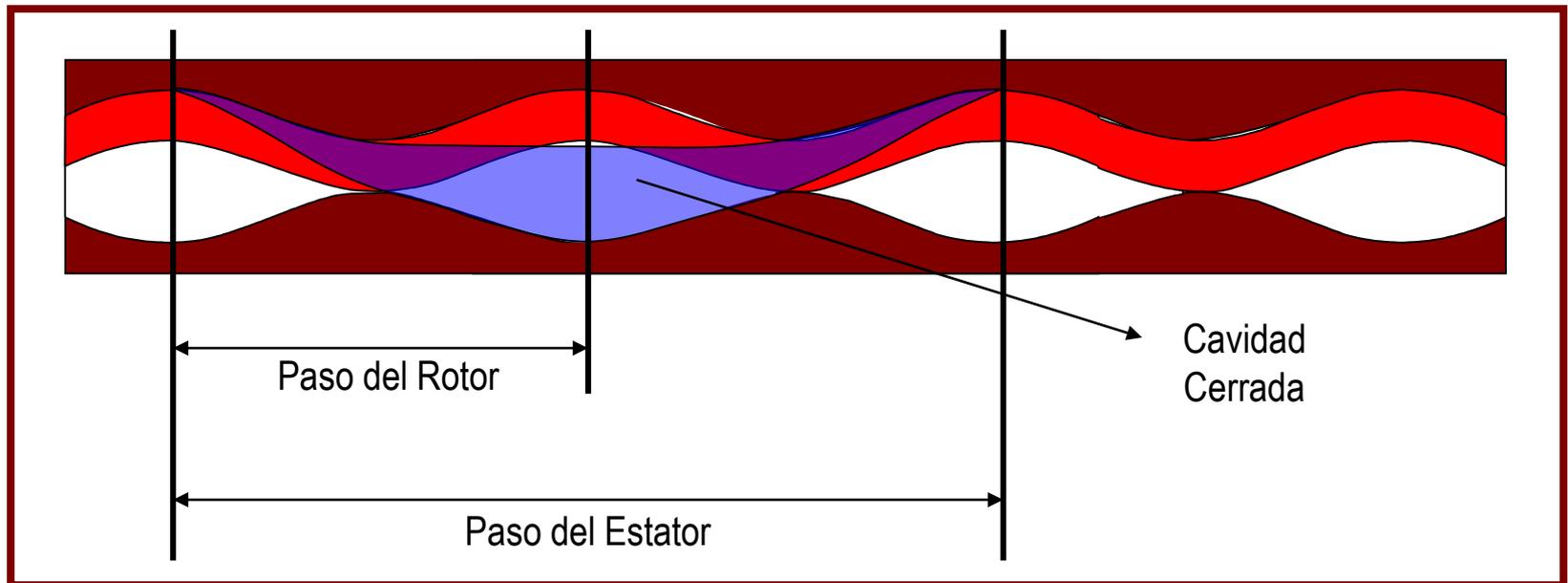


# Principios Básicos

## Volumen

### 🔥 Paso del Estator

- 🔥 Paso del rotor en geometría 1:2 =  $1/2$  paso del estator
- 🔥 Paso del rotor en geometría 2:3 =  $2/3$  paso del estator

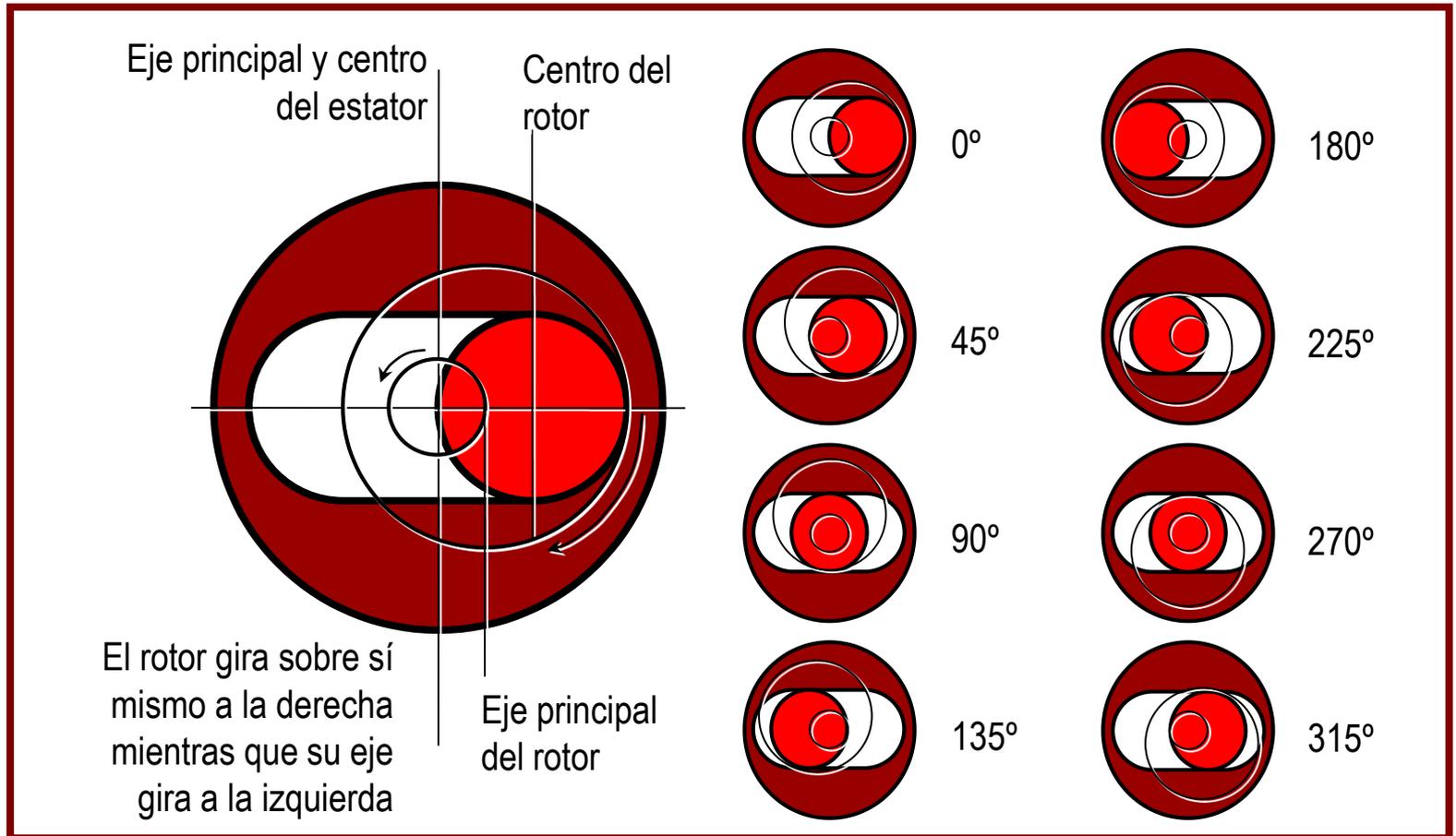


# Principios Básicos

## Volumen



### • Movimiento del Rotor

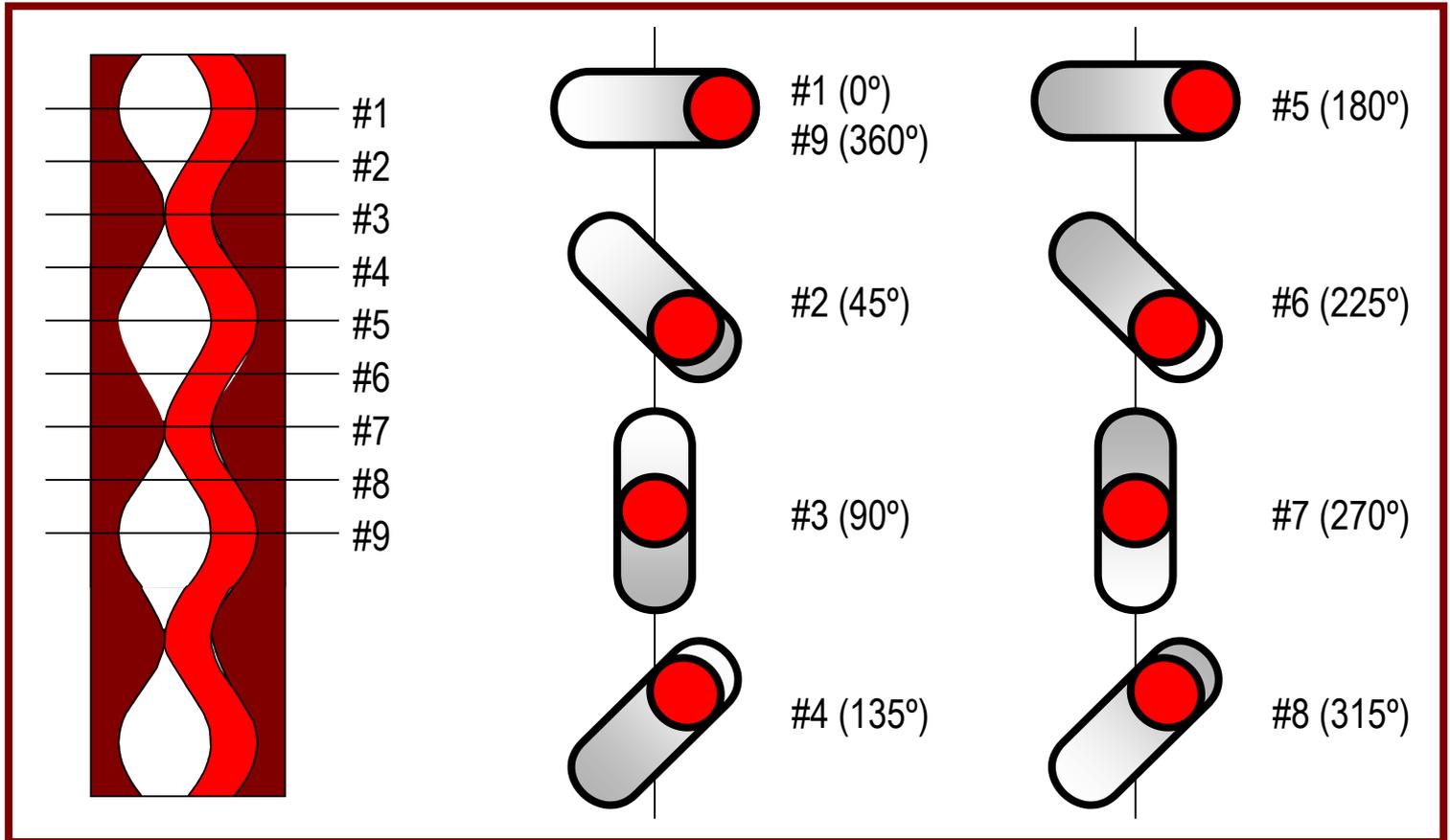


# Principios Básicos

## Volumen



### • Posición relativa del rotor y el estator

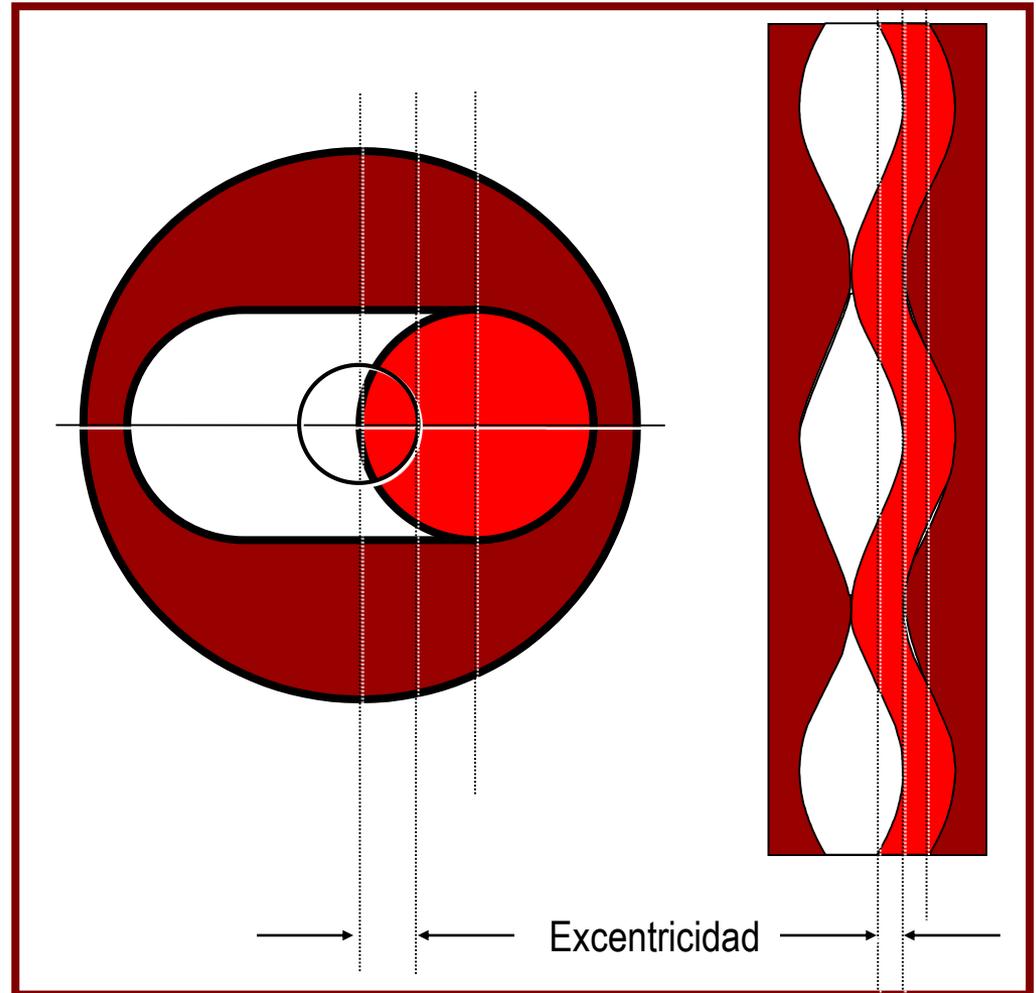


# Principios Básicos

## Volumen



- Excentricidad
  - Distancia entre el eje central del rotor y el eje central del estator.

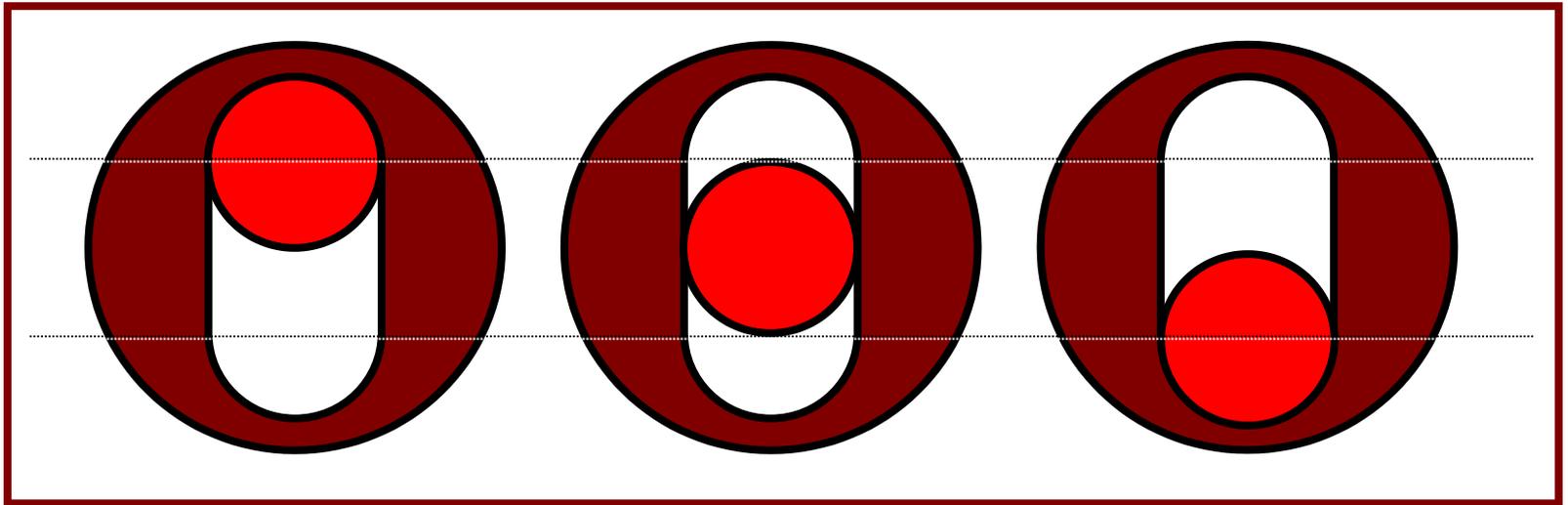


# Principios Básicos

## Volumen



- Area transversal constante



En bombas de geometría 1:2:  $A = D \times 4e$

donde: A = Area de Flujo Transversal  
D = Diámetro del Rotor  
e = Excentricidad

# Principios Básicos

## Volumen



$$V = K \times D \times 4e \times P$$

$$Q = K \times D \times 4e \times P \times N$$

$$v = [Q (\pi^2 (4e + D)^2 + P^2)] / (V \times K)$$

Donde:

**V** = Desplazamiento de la Bomba (m<sup>3</sup>/D/RPM o Bls/D/RPM)

**D** = Diámetro del Rotor (milímetros o pulgadas)

**e** = Excentricidad (milímetros o pulgadas)

**P** = Paso del Estator (milímetros o pulgadas)

**Q** = Tasa de Flujo (m<sup>3</sup>/D o Bls/D)

**N** = Velocidad de Operación (RPM)

**v** = Velocidad de Flujo (mm/seg o pulg/seg)

**K** = Constante (SI: 5.7 x 10<sup>-6</sup> o IP: 5.94 x 10<sup>-1</sup>)



# Principios Básicos

## *Presión y Deslizamiento*

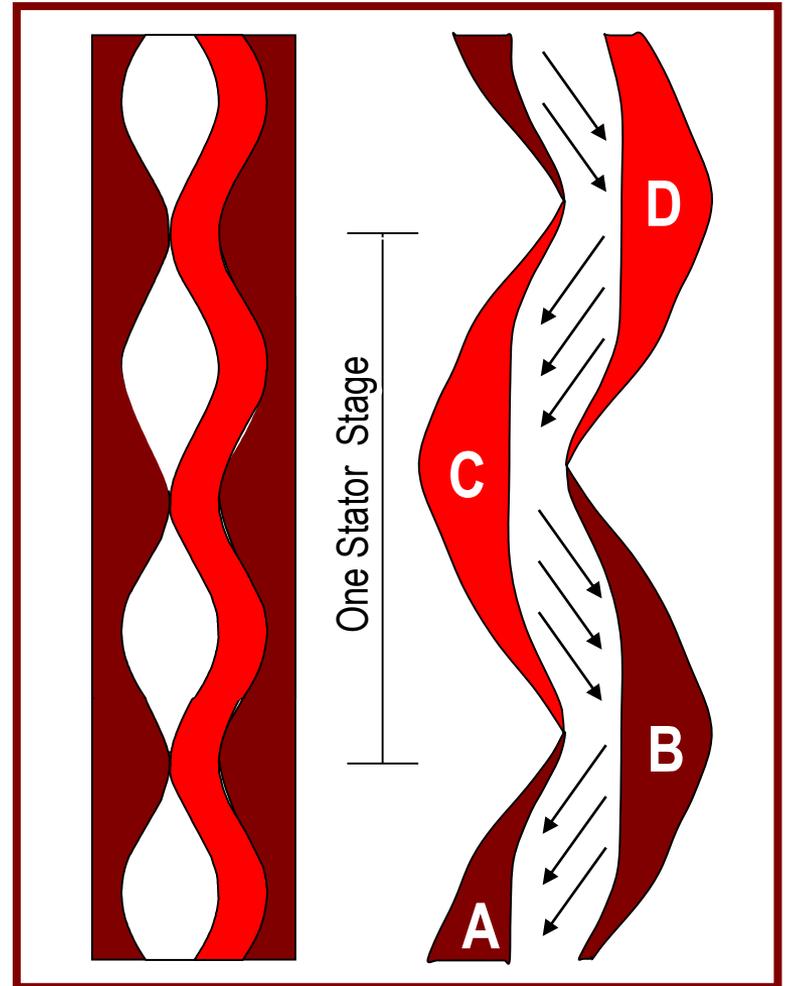


- La capacidad de levantamiento neto de las BCP es función directa del número de cavidades (etapas de la bomba) o líneas de sello.
- A mayor número de etapas, mayor capacidad de levantamiento.
- Las líneas de sello Rotor-Estator pueden ser deformadas por la presión diferencia entre etapas, permitiendo el deslizamiento del fluido entre cavidades.
- Este **DESLIZAMIENTO** resulta en una pérdida o reducción del volumen total producido.

# Principios Básicos

## *Presión y Deslizamiento*

- La eficiencia de levantamiento será función principalmente de:
  - Número de Etapas
  - Dureza del Elastómero
  - Longitud del Paso del Rotor
  - Interferencia entre Rotor y Estator



# Principios Básicos

## *Presión y Deslizamiento*



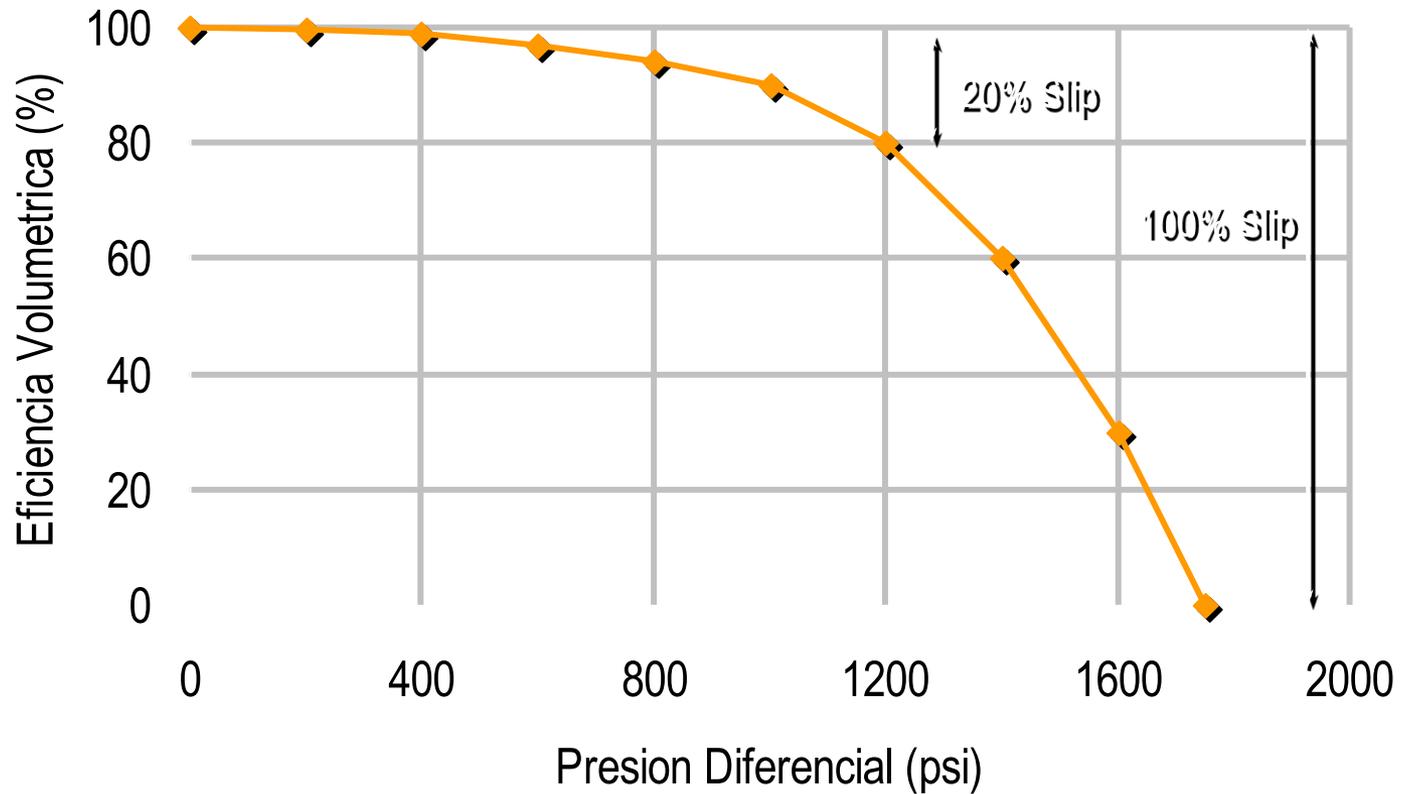
- ◆ Cuando la presión de la cavidad deforma la línea de sello, se separa el estator del rotor permitiendo el deslizamiento del fluido de una cavidad a la inmediatamente inferior a muy altas velocidades.
- ◆ El deslizamiento puede ser definido como: *“Una reducción en la tasa de flujo como consecuencia de una presión diferencial mayor a la presión atmosférica”*.
- ◆ Según su definición, el deslizamiento afectará principalmente a la eficiencia volumétrica de la bomba.

# Principios Básicos

## *Presión y Deslizamiento*



🔴 Curva de comportamiento típica



# Principios Básicos

## *Presión y Deslizamiento*



- ◆ La cantidad de deslizamiento es determinada por la presión diferencial a través de la bomba, y básicamente depende de:
  - ◆ Capacidad de levantamiento, o número de líneas de sello
  - ◆ Viscosidad del Fluido.
  - ◆ Ajuste de interferencia Rotor-Estator, el cual es función de:
    - ◆ Tamaño del rotor.
    - ◆ Expansión térmica del elastómero
    - ◆ Hinchamiento químico del elastómero
- ◆ El deslizamiento es independiente de la velocidad de operación.

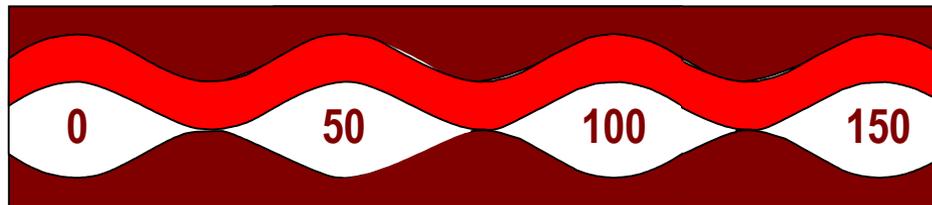
# Principios Básicos

## *Presión y Deslizamiento*



### Deslizamiento vs. Número de Líneas de Sello

**BOMBA #1**

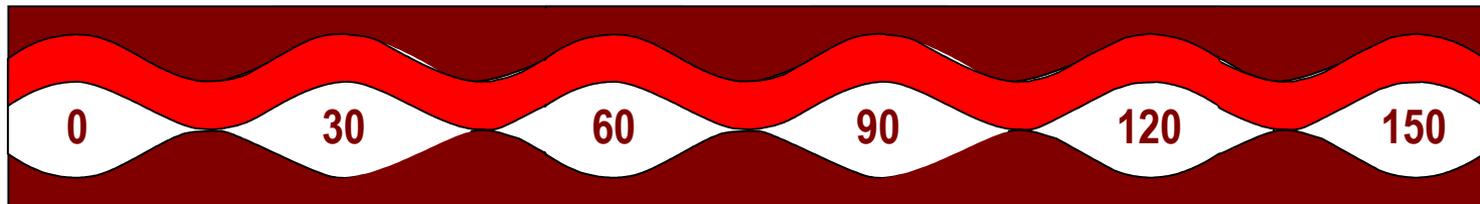


Eficiencia  
Volumétrica = 60%

Ajuste de interferencia de 0,010 pulgadas

**BOMBA #2**

Eficiencia Volumétrica = 80%



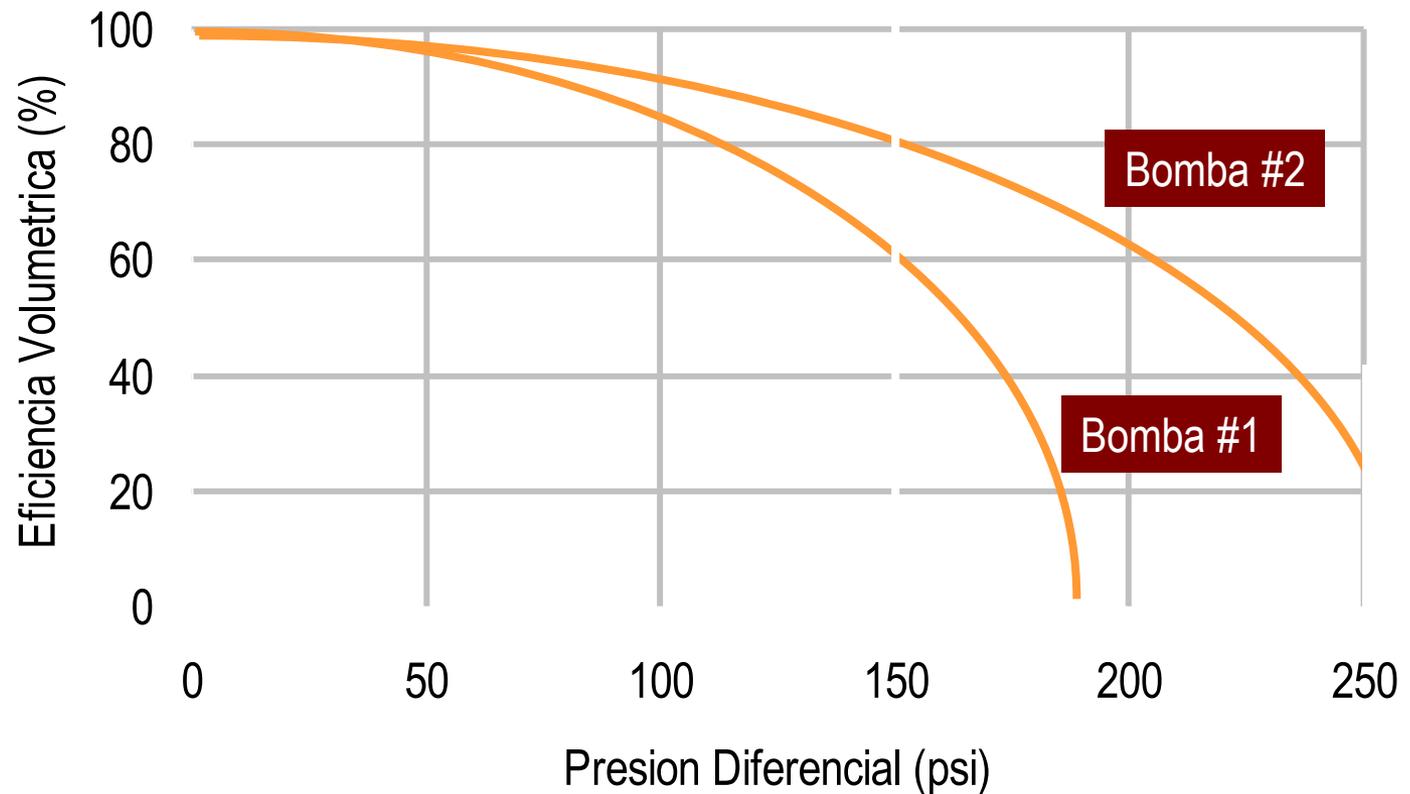
Ajuste de interferencia de 0,010 pulgadas

# Principios Básicos

## *Presión y Deslizamiento*



### 🔴 Deslizamiento vs. Número de Líneas de Sello



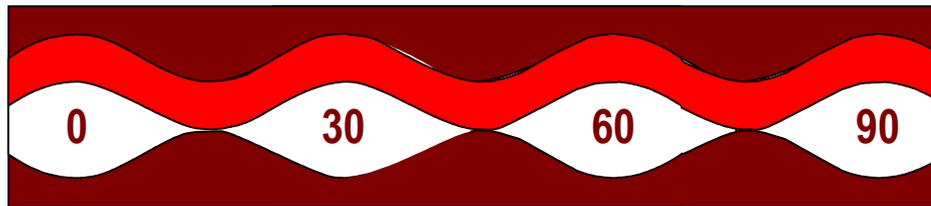
# Principios Básicos

## *Presión y Deslizamiento*



### ● Deslizamiento vs. Ajuste de Interferencia

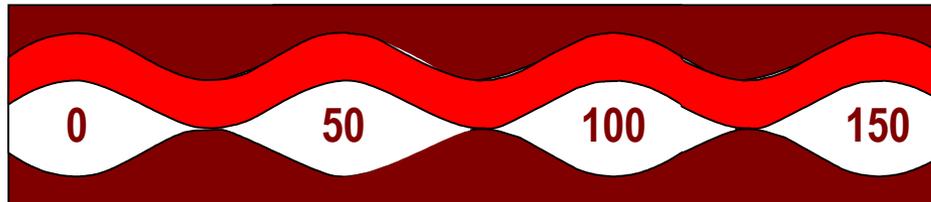
**BOMBA #1**



Ajuste de interferencia de 0.010 pulgadas

Eficiencia  
Volumétrica = 60%

**BOMBA #2**



Ajuste de interferencia de 0.020 pulgadas

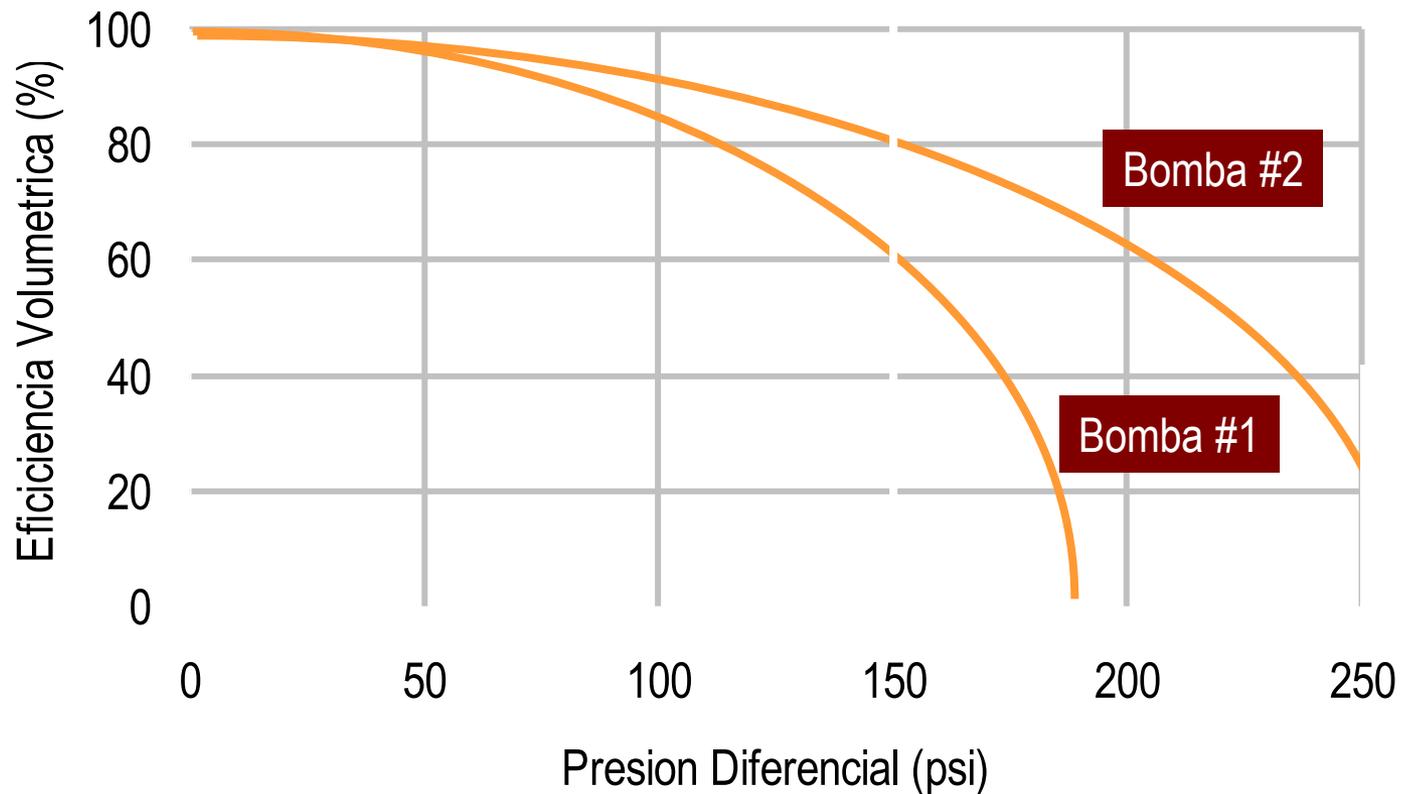
Eficiencia  
Volumétrica = 80%

# Principios Básicos

## *Presión y Deslizamiento*



### 🔴 Deslizamiento vs. Ajuste de Interferencia

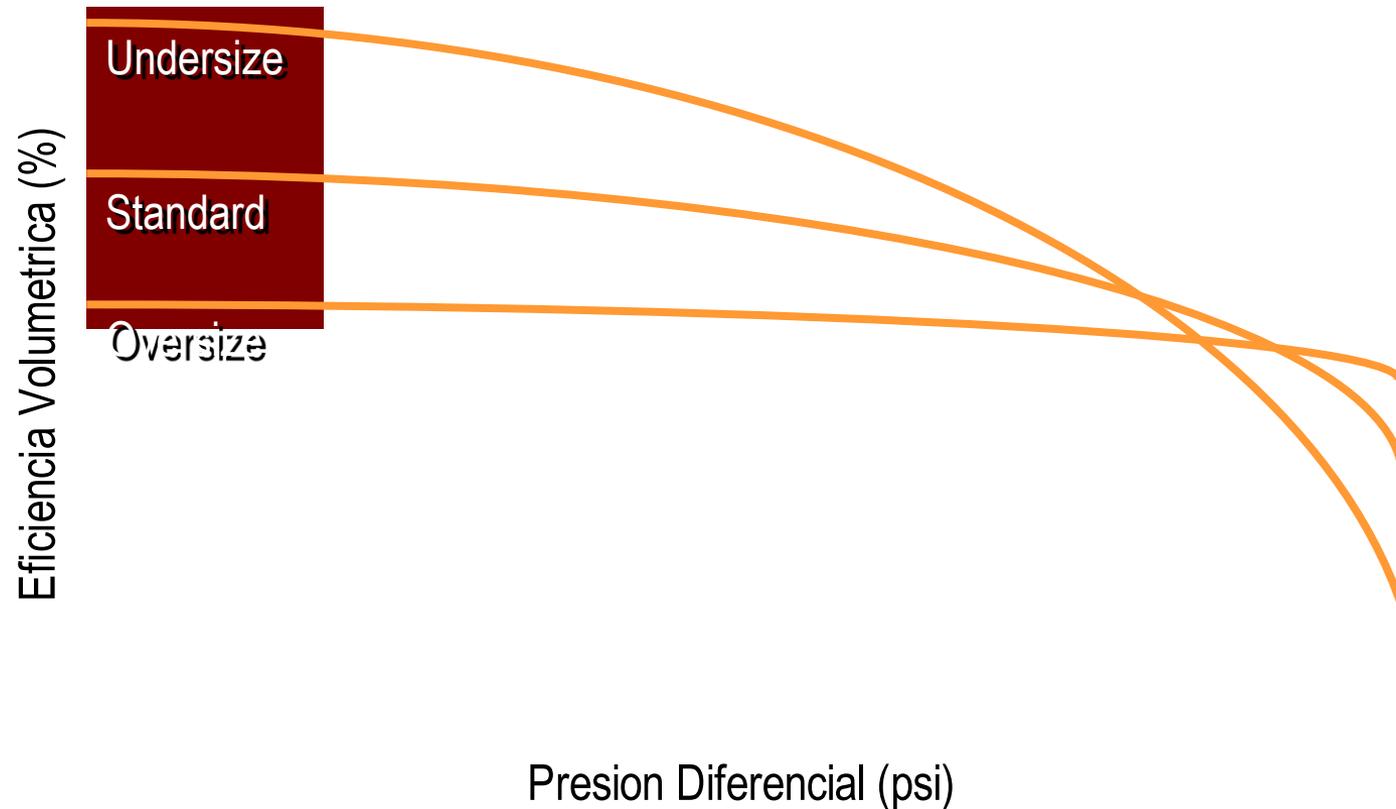


# Principios Básicos

## *Presión y Deslizamiento*



### 🔴 Deslizamiento vs. Tamaño del Rotor

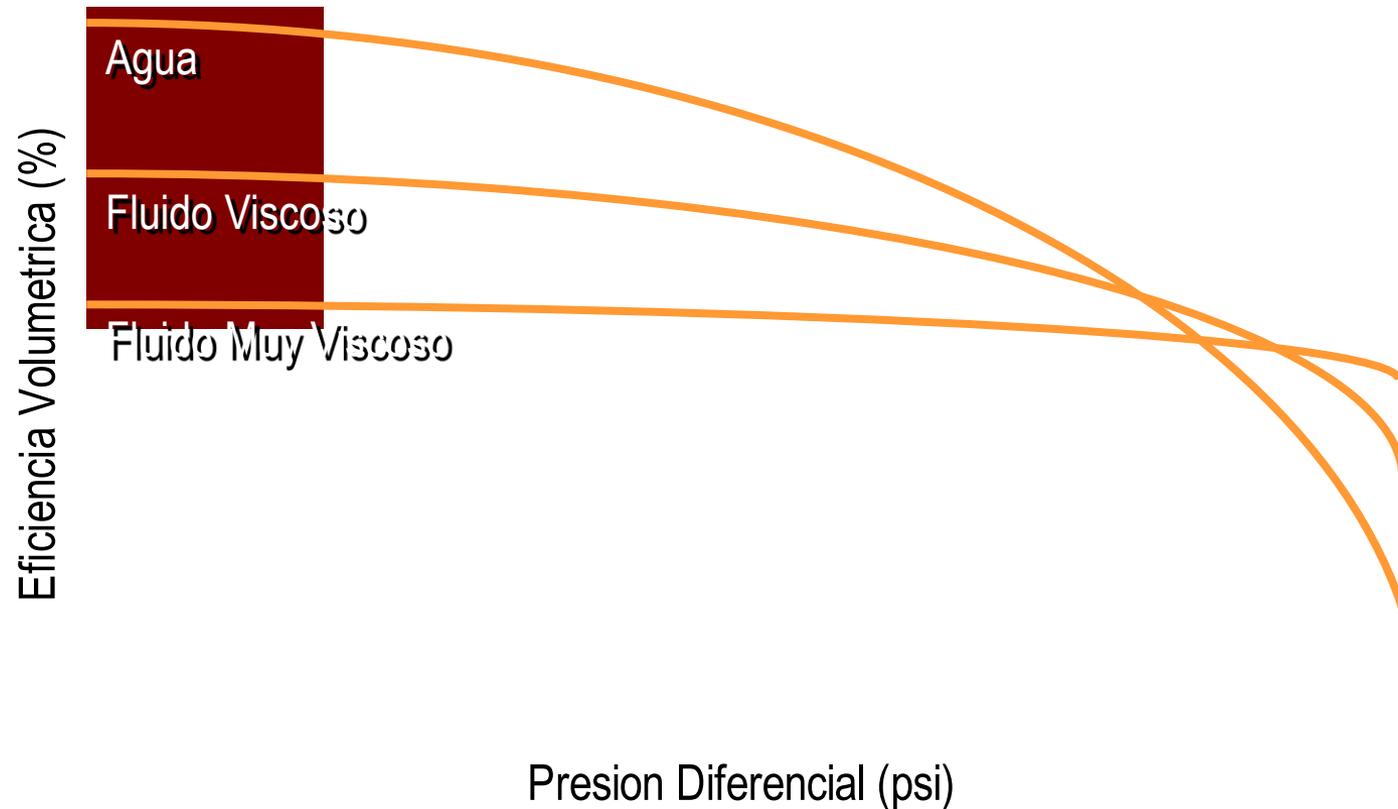


# Principios Básicos

## *Presión y Deslizamiento*



### 🔴 Deslizamiento vs. Viscosidad



# Principios Básicos

## *Cantidad de Deslizamiento Constante*



- Tenemos una BCP con capacidad volumétrica de 1 bls/d/rpm probada @ 300 rpm; con 70% de eficiencia a el levantamiento neto requerido.
- La producción teórica será:  
 **$1 \text{ Bls/día/rpm} \times 300 \text{ rpm} = 300 \text{ Bls/día}$**
- Si la eficiencia es 70% la producción real será:  
 **$300 \text{ Bls/día/rpm} \times 0,7 = 210 \text{ Bls/día}$**
- Entonces, el deslizamiento es este caso será:  
 **$300 \text{ Bls/día} - 210 \text{ Bls/día} = 90 \text{ Bls/día}$**

# Principios Básicos

## *Cantidad de Deslizamiento Constante*



- ◆ Si la bomba corre a 100 RPM:

Producción Teórica:

$$1 \text{ Bls/día/rpm} \times 100 \text{ rpm} =$$

**100 Bls/día**

- ◆  $100 \text{ Bls/día} - 90 \text{ Bls/día}_{\text{slip}} =$

**10 Bls/día**

- ◆ Entonces, la Eficiencia

Volumétrica será:

$$10 \text{ Bls/día} / 100 \text{ Bls/día} =$$

**10 % de Eficiencia**

- ◆ Si la bomba corre a 400 RPM:

Producción Teórica:

$$1 \text{ Bls/día/rpm} \times 400 \text{ rpm} =$$

**400 Bls/día**

- ◆  $400 \text{ Bls/día} - 90 \text{ Bls/día}_{\text{slip}} =$

**310 Bls/día**

- ◆ Entonces, la Eficiencia

Volumétrica será:

$$310 \text{ Bls/día} / 400 \text{ Bls/día} =$$

**77,5 % de Eficiencia**

# Principios Básicos

## *Histéresis*



- ◆ Capacidad de un material de volver a su forma original.
- ◆ Las fuerzas oscilatorias causan un incremento del calor interno del elastómero debido a la fricción intermolecular.
- ◆ La extensión de la vulcanización resulta en un cambio de las propiedades mecánicas del elastómero.
- ◆ Las fallas por baja histéresis son causadas por:
  - ◆ Ajuste de interferencia Rotor/Estator
  - ◆ Alta Presión Diferencial
  - ◆ Hinchamiento

# Principios Básicos

## *Histéresis*



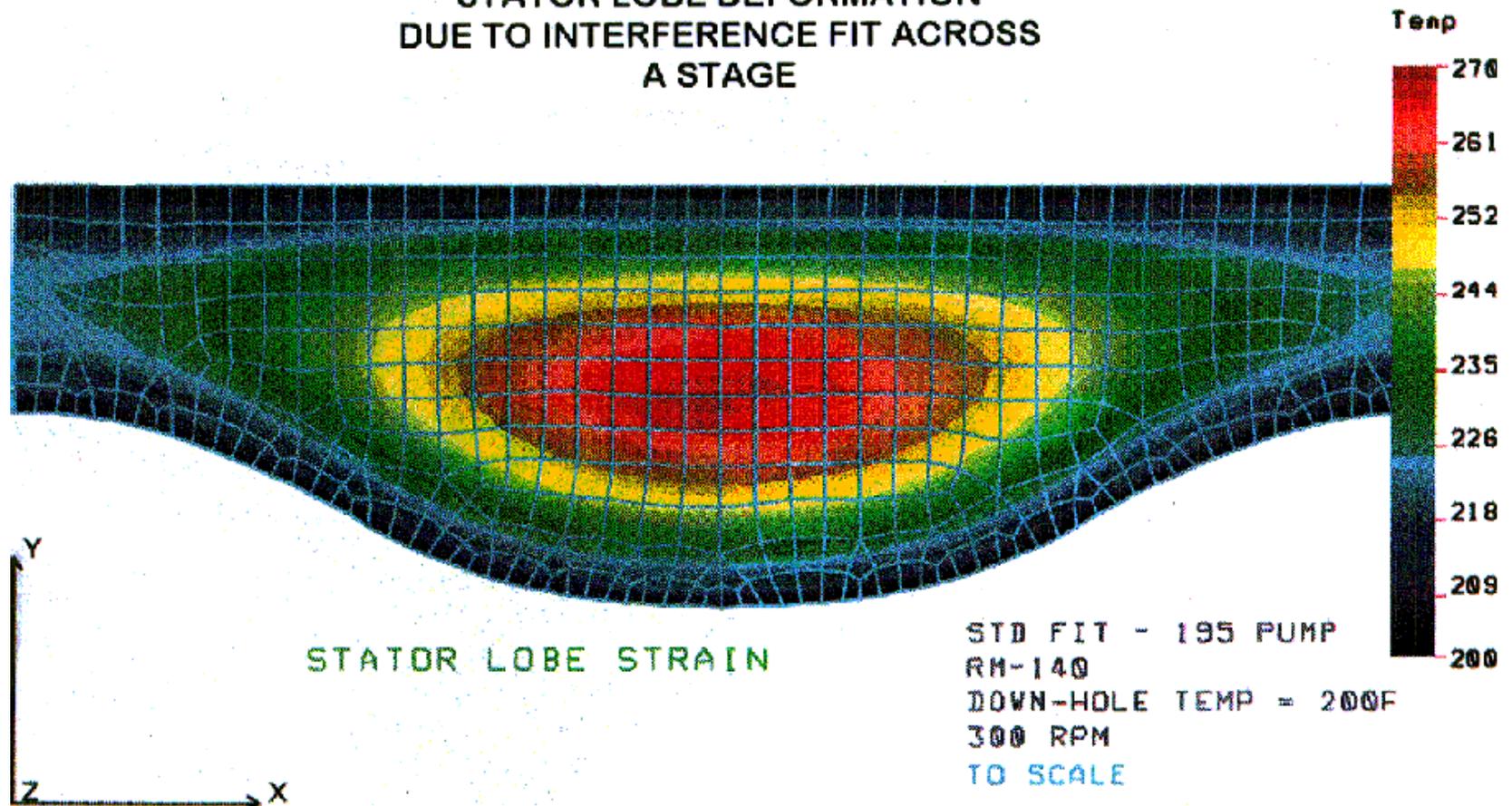
- ◆ Frecuencia de Deformación:
  - ◆ Controlada por la velocidad de operación.
  - ◆ A mayor velocidad, mayor será el efecto.
  
- ◆ Tasa de Flujo:
  - ◆ La disipación del calor es controlada por:
    - ◆ Tipo de Fluido
    - ◆ Volumen Producido
    - ◆ Trabajo de la Bomba en Vacío
    - ◆ Velocidad de Flujo

# Principios Básicos

## *Histéresis*



TEMPERATURE PROFILE  
STATOR LOBE DEFORMATION  
DUE TO INTERFERENCE FIT ACROSS  
A STAGE

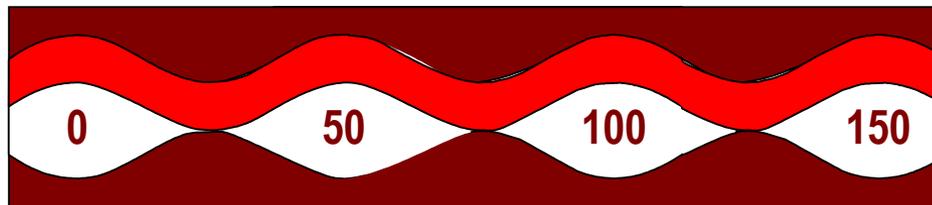


# Principios Básicos

## *Histéresis*

- Para alargar la vida útil de la bomba se adicionan líneas de sello (cavidades) y se reduce la interferencia

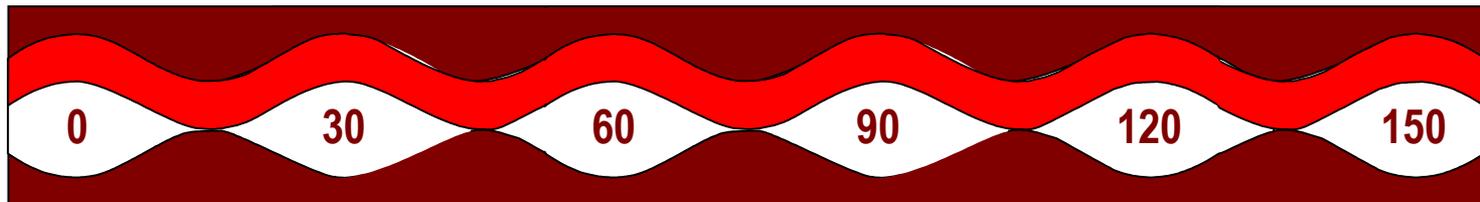
### BOMBA #1



Eficiencia Volumétrica = 80%

Ajuste de Interferencia de 0,010 pulgadas

### BOMBA #2



Eficiencia Volumétrica = 80%

Ajuste de Interferencia de 0,005 pulgadas

# Elastómeros

## *Cauchos de Nitrilo*



- La mayoría de los elastómeros utilizados para BCP son clasificados como caucho de nitrilo, Buna N o NBR.
- Es un compuesto de Acrilonitrilo y Butadeno.
- Variando el contenido de acrilonitrilo se obtiene un amplio rango de propiedades físicas y químicas.
- El contenido de ACN varía considerablemente entre los diferentes fabricantes, de 15% a 50%.
- Los fabricantes generalmente ofrecen cauchos medio-alto ACN (25-35%) y ultra-alto ACN (>40%)



# Elastómeros

## *Contenido de Nitrilo*



- El contenido de Acrilonitrilo es generalmente la primera consideración cuando se diseña un componente de caucho.
- Además, deben incluirse de 10 a 20 ingredientes para la elaboración del polímero.
- Debido a estas variaciones, cada producto comercial tendrá diferentes propiedades dependiendo de la formulación utilizada.



# Elastómeros

## *Contenido de Nitrilo*



- Al aumentar en contenido de acrilonitrilo:
  - Mejora la resistencia a solventes y aromáticos
  - Mejora la resistencia al  $H_2S$
  - Aumenta la resistencia a la tensión
  - Disminuye la resistencia a la abrasión
  - Incrementa el límite de temperatura de operación
  - Empeoran las propiedades mecánicas
  - Disminuye la permeabilidad



# Elastómeros



🔴 Cuadro comparativo:

<b>Características</b>	<b>ACN Medio</b>	<b>ACN Alto</b>	<b>Altamente Saturado</b>	<b>VITON</b>
<b>Propiedades Mecánicas</b>	<b>Excelente</b>	<b>Buena</b>	<b>Buena</b>	<b>Pobre</b>
<b>Resistencia a Abrasivos</b>	<b>Muy Buena</b>	<b>Buena</b>	<b>Buena</b>	<b>Pobre</b>
<b>Resistencia a Aromáticos</b>	<b>Buena</b>	<b>Muy Buena</b>	<b>Buena</b>	<b>Excelente</b>
<b>Resistencia a H<sub>2</sub>S</b>	<b>Buena</b>	<b>Muy Buena</b>	<b>Excelente</b>	<b>Excelente</b>
<b>Resistencia al Agua</b>	<b>Buena</b>	<b>Excelente</b>	<b>Muy Buena</b>	<b>Excelente</b>
<b>Máxima Temperatura</b>	<b>95 °C 200 °F</b>	<b>105 °C 220 °F</b>	<b>135 °C 275 °F</b>	<b>150 °C 300 °F</b>

# Diseño de Sistemas BCP

## Flujograma

