

# **UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA**

**FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA Y TEXTIL**



**“ESTUDIO COMPARATIVO DE MEZCLADORES EN LA  
ELABORACION DE ACEITES LUBRICANTES MINERALES.”**

**INFORME DE SUFICIENCIA**

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:**

**INGENIERO QUÍMICO**

**POR LA MODALIDAD DE ACTUALIZACIÓN DE CONOCIMIENTOS**

**PRESENTADO POR:**

**GIULIANA ROSMARY ZAVALITA TERAN.**

**LIMA – PERÚ**

**2010**

## **RESUMEN**

En el presente trabajo se ha estudiado las diferentes tecnologías para el proceso de Homogenización durante el mezclado para la elaboración de aceites lubricantes minerales para la manufactura del Perú. En la tecnología de procesos, las principales variables son la temperatura y el tiempo de homogenización, puesto que con el control de la temperatura se asegura de no sobrepasar los tiempos estimados de homogenización de lubricantes y las propiedades físicas/químicas. Para obtener un producto homogéneo es necesario que durante la operación de mezclado se produzca una adecuada turbulencia, control de aire comprimido y vapor inyectado.

En lo referente a la tecnología esto se logra mediante la agitación de la mezcla por los siguientes medios: Agitador mecánico, Recirculación por bombeo, Sistema de agitación por aire.

A continuación se propone una de las alternativas en la elaboración de aceites lubricantes minerales mediante la homogenización por pulsaciones, mecanismo utilizado en la mayoría de plantas de elaboración de aceites lubricantes minerales. el cual consiste en inyectar impulsos de aire comprimido o gas inerte por el fondo del mezclador, generando grandes burbujas individuales que rápidamente se mezclan con el contenido de manera uniforme, por lo que se requiere un menor tiempo de homogenización en la elaboración de aceites lubricantes lo cual se logra un ahorro en el consumo de energía.

## **INDICE.**

<b>1.</b>	<b>RESUMEN</b>	<b>2</b>
<b>2.</b>	<b>INTRODUCCIÓN.</b>	<b>3</b>
<b>3.</b>	<b>FUNDAMENTO TEORICO</b>	<b>5</b>
<b>3.1.</b>	<b>Que es un lubricante.</b>	<b>7</b>
<b>3.2.</b>	<b>Los aceites lubricantes minerales en el Perú</b>	<b>7</b>
<b>3.2.1.</b>	<b>Características generales.</b>	<b>8</b>
<b>3.2.2</b>	<b>Importación de bases lubricantes.</b>	<b>13</b>
<b>3.3</b>	<b>Materias primas: Bases lubricantes refinadas.</b>	<b>13</b>
<b>3.3.2</b>	<b>Procedencia.</b>	<b>14</b>
<b>3.3.3</b>	<b>Variedades.</b>	<b>15</b>
<b>3.3.4</b>	<b>Esquema Industrial de producción de Bases Lubricantes.</b>	<b>16</b>
<b>3.3.4.1</b>	<b>Refinación de Bases Lubricantes.</b>	<b>16</b>
<b>3.4</b>	<b>Tecnología de Aditivos.</b>	<b>19</b>
	<b>3.4.1 Calidad de Mezcla.</b>	<b>25</b>
<b>4</b>	<b>PLANTA DE MEZCLA TÍPICA EN EL PERÚ.</b>	<b>26</b>
<b>5</b>	<b>TECNOLOGIA DE MEZCLA.</b>	<b>31</b>
<b>5.1</b>	<b>Técnica de mezcla.</b>	<b>31</b>
<b>5.2</b>	<b>Mezcla por agitación mecánica.</b>	<b>31</b>
<b>5.2.1</b>	<b>Tipos de agitadores.</b>	<b>32</b>
<b>5.2.2</b>	<b>Calculo de la potencia de un agitador.</b>	<b>34</b>

<b>5.3. Mezcladores Estáticos.</b>	<b>35</b>
<b>5.4 Mezcla por Pulsaciones.</b>	<b>42</b>
<b>6. EVALUACION TECNICA DE LOS DIFERENTES TIPOS DE MEZCLADORES.</b>	<b>48</b>
<b>6.1 Comparación de costos de producción.</b>	<b>57</b>
<b>6.2 Comparación de consumo de energía.</b>	<b>58</b>
<b>7 CONCLUSIONES</b>	<b>59</b>
<b>8 BIBLIOGRAFIA.</b>	<b>61</b>
<b>9 APENDICE</b>	<b>62</b>

## **2. INTRODUCCION**

La Manufactura de Aceites Lubricantes Minerales en el Perú tanto para el sector automotor y para la industria en general consiste en un proceso de mezcla, para lo cual las diferentes compañías formuladoras, importan los lubricantes bases, Parafínicas y Nafténicas, así como también los aditivos, que corresponden a patentes.

Los Aceites lubricantes minerales son derivados del petróleo cuya estructura se compone de moléculas complejas que contienen entre 20 y 70 átomos de carbono por molécula.

Un aceite mineral está constituido por una base lubricante y un paquete de aditivos químicos, que ayudan a mejorar las propiedades ya existentes en la base lubricante o le confieren nuevas características.

La formulación de estos aceites corresponde el saber hacer de las diferentes compañías. La industria de aceites lubricantes minerales como productos finales para su uso en el parque automotriz o industria en general es un proceso de mezcla.

El mezclado es un proceso físico, cuyo objetivo principal es realizar una mezcla, mejor dicho una dispersión homogénea en el medio tratado, en nuestro caso de todos los elementos que participan en la formulación de determinado aceite mineral; materias primas, aceite base, aditivos sólidos o líquidos y otros insumos químicos.

En la actualidad, las tecnológicas del proceso y los equipos disponibles para la elaboración de aceites lubricantes minerales en la industria, están constituidos por mezcladores, cuyo mecanismo de mezclado mediante recirculación, calentamiento con vapor, agitación mecánica o agitación con aire comprimido. Una alternativa es el uso de homogenización por pulsaciones, proceso que es la liberación secuencial de aire o gas comprimido en el fondo de un tanque, este proceso de mezcla se inicia en la parte inferior del tanque mediante la salida de burbujas de aire que es la liberación secuencial de aire o gas inerte en el fondo de un tanque, este proceso de

liberación de las burbujas de forma secuencial en intervalos, crea oportuna circulación vertical inmediata, sin partes móviles y un mantenimiento mínimo, la tecnología de aire impulsado reduce significativamente la necesidad de mantenimiento y los costos asociados al tiempo de inactividad. Otra alternativa es el uso de mezcladores estáticos básicamente es un obstáculo estacionario puesto en un conducto para originar un mezclado y puede verse como el equivalente del agitador mecánico en un tanque de mezcla. Tiene la ventaja que no tiene parte móviles y extrae la energía requerida para mezclar del flujo. Por lo tanto el siguiente informe buscara brindar las novedades en las diferentes tecnologías de mezclado en la elaboración de aceites lubricantes y comparar el consumo/costo de energía de cada una de las técnicas mecánicas usadas a través de mezcladores con agitación mecánica, mezcladores estáticos y mezcla por pulsaciones, se muestra las características de los mezcladores el consumo de energía de cada uno de ellos. También se aborda las ventajas y desventajas de cada uno de ellos.

### **3. FUNDAMENTO TEORICO**

#### **3.1 QUE ES UN LUBRICANTE:**

Un lubricante es toda sustancia líquida, sólida o semisólida, de origen animal, vegetal o mineral o sintética que introducida entre piezas en movimiento lubrica, enfría, limpia y protege las piezas de su motor, reduciendo así el rozamiento, la fricción y el desgaste de las mismas.

#### **3.2 LOS ACEITES LUBRICANTES MINERALES EN EL PERÚ**

Los tipos de aceites lubricantes que se producen en el Perú son:

Aceites para motores automotrices.

Fluidos para transmisiones y diferenciales fuera de carretera.

Fluidos para transmisiones automáticas.

Aceites para motores a gas.

Aceites para turbinas.

Aceites para guías.

Aceites para motores marinos.

Aceites para motores diesel.

Aceites para cilindros.

Aceites hidráulicos.

Aceites para engranajes industriales.

Aceites para cojinetes.

### 3.2.1 Características físicas y químicas de los aceites lubricantes:

Estas Características son:

#### 1. Viscosidad:

La primera propiedad de los aceites lubricantes es la viscosidad. La viscosidad es la resistencia interna del fluido a deslizarse.

La viscosidad es la propiedad más importante del lubricante. Los objetivos totales son:

- Formar una película lubricante.
- Enfriar los componentes de la máquina y
- Sellar y controlar el consumo del aceite.

Toda medición de viscosidad debe ser referida a una temperatura.

Unidad de Medida.	Temperatura de referencia.
Grados Engler °E	20, 50 y 100°C
S.S.U.	100- 130 y 210°F
Segundos REDWOOD	70-100-140 y 200°F
Cinemática (ISO) cSt	40 y 100°C

#### 2. Índice de viscosidad (IV):

El índice de viscosidad es el nivel de cambio en la viscosidad de un aceite con la temperatura. Cuanto mayor es el IV, menor es el cambio de la viscosidad de un aceite con la temperatura.

Alto IV= Variaciones ligeras de viscosidad.

Bajo IV= Variaciones severas de viscosidad.

IV Aceite Base Nafténica = 45

IV Aceite Base Parafínica = 90

IV Aceite Base Sintética = 150

IV Poliglicoles (Sintéticos) > 150

### 3. **Estabilidad térmica:**

La estabilidad térmica es otra propiedad de los aceites lubricantes. Es la capacidad de los lubricantes de resistir la descomposición a altas temperaturas.

La poca estabilidad térmica puede resultar en: sedimentos, depósitos y aumento de la viscosidad.

### 4. **Estabilidad de oxidación:**

La estabilidad de oxidación es la capacidad de un lubricante de resistir la combinación química con oxígeno.

La oxidación puede resultar en la aparición de sedimentos, depósitos y aumento de la viscosidad. El proceso se acelera por:

- Calor.
- Luz.
- Catalizadores metálicos.
- Ácidos formados por la contaminación del agua.
- Otros contaminantes.

### 5. **Punto de fluidez:**

El punto de fluidez es la temperatura más baja en la que un aceite fluirá bajo las condiciones de prueba prescriptas.

El punto de fluidez se ve afectado por la cantidad de partículas de cera que se eliminan durante el procesamiento del crudo:

A mayor cantidad de partículas de cera, mayor punto de fluidez.

A menor cantidad de partículas de cera, menor punto de fluidez.

#### **6. Demulsividad:**

La demulsibilidad es otra propiedad importante de los aceites lubricantes. Es la capacidad de un aceite de separarse del agua.

#### **7. Punto de inflamación:**

El punto de inflamación se determina al calentar el aceite hasta que se formen vapores y entonces se pasa una llama a través el aceite. El punto de inflamación es la temperatura a la que el aceite genera chispas, pero no se mantiene una llama.

El punto de inflamación para los aceites lubricantes es por lo general 400°F o más.

#### **8. Punto de combustión:**

El punto de combustión se determina de manera similar al punto de inflamación. El aceite se calienta hasta que se forman vapores y se pasa una llama a través del aceite. El punto de combustión es la temperatura a la que el aceite genera chispas y la llama se mantiene.

El punto de combustión para los aceites lubricantes es por lo general 700°F o más.

#### **9. Gravedad específica-Densidad:**

Es la relación entre la masa de un volumen determinado de aceite a una temperatura de 15°C y la masa del mismo volumen de agua a una temperatura de 4°C (máxima densidad del agua).

$$\text{Gravedad Especifica} = \frac{\text{masa/volumen del producto @ } 15^{\circ}\text{C}}{\text{masa/volumen del agua @ } 4^{\circ}\text{C}}$$

Los aceites como todos los líquidos se dilatan al aumentar la temperatura, disminuyendo proporcionalmente su densidad.

#### 10. Grados API (American Petroleum Institute)

Medida de la densidad de los productos petrolíferos y está en función de la gravedad específica.

$$^{\circ}\text{API} = 141.5 / \text{Grav. Esp} - 131.5$$

Al disminuir la densidad aumentará el valor de los grados o gravedad API.

#### 11. Color ASTM

Se determina conforme a la norma ASTM-D-1500

La escala va desde 0 (transparente) hasta 8 (negro)

Para determinación de colores mayores que 8 se efectúa una dilución del aceite en petróleo incoloro y el valor se expresa con abreviatura DIL.

L2 = Más claro que 2

D5 = Más obscuro que 5

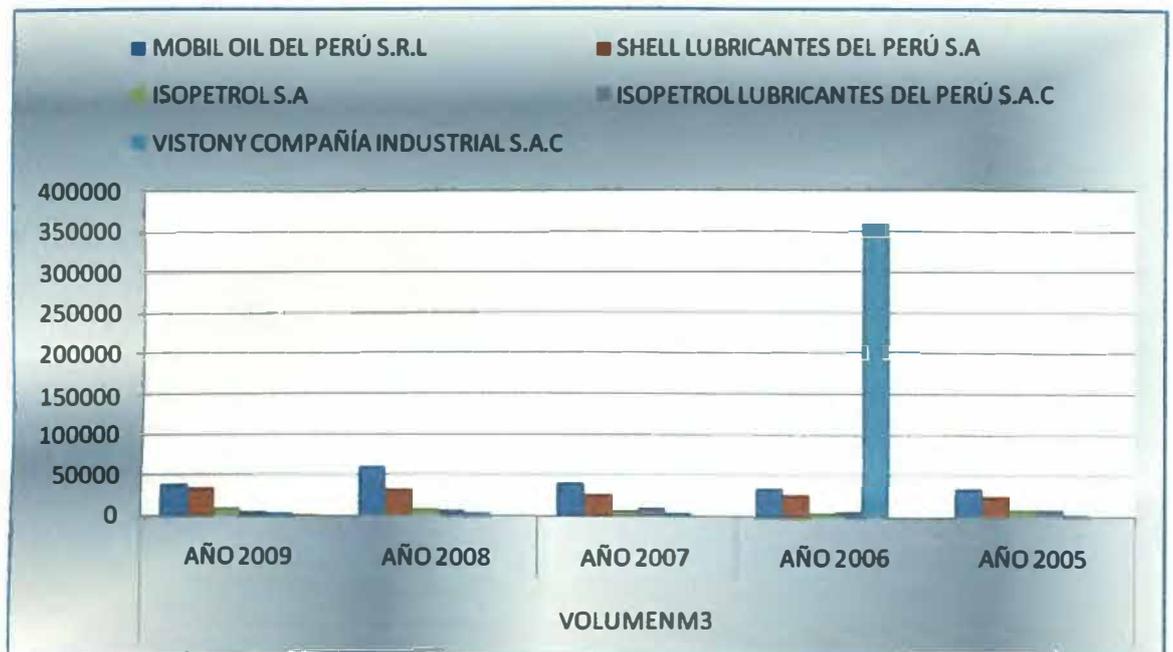
Para aceites menores de 0 se utiliza el colorímetro Saybolt.

#### 3.2.2 IMPORTACIÓN DE ACEITE BASE LUBRICANTES:

Compañías que importan las bases lubricantes para la elaboración de aceites minerales.

**Tabla N°3.2.2 Volumen de Exportación de Bases Lubricantes**

COMPAÑÍA	VOLUMEN m <sup>3</sup>				
	AÑO 2009	AÑO 2008	AÑO 2007	AÑO 2006	AÑO 2005
MOBIL OIL DEL PERÚ S.R.L	38943	60945	40323	33597	34538
SHELL LUBRICANTES DEL PERÚ S.A	34264	32417	25941	26513	24348
ISOPETROL S.A	10103	7602	6814	5237	7598
ISOPETROL LUBRICANTES DEL PERÚ S.A.C	4687	6654	9021	6522	7656
VISTONY COMPAÑÍA INDUSTRIAL S.A.C	3060	3286	3097	358857	2009



**Tabla 3.3.2** Importación de aceites bases de las diferentes Compañías del Perú.

**FUENTE** <http://www.aduanet.gob.pe/operatividadAduana>.

### **3.3 Materias primas: Bases lubricantes refinadas.**

Una base lubricante refinada es un aceite procesado de crudo que se utiliza para mezclar grasas y aceites lubricantes terminados.

Las bases lubricantes constituyen una porción significativa de los lubricantes terminados, yendo desde el 70% de un lubricante automotriz terminado de última generación hasta el 99% en algunos aceites industriales.

Las bases están fabricadas con distintos grados de viscosidad. La calidad de cada base varía según la fuente de crudo y el procesamiento que se utilice.

Las bases lubricantes constituyen una porción significativa de los lubricantes terminados, contribuyen con características significativas de desempeño tales como estabilidad térmica, viscosidad, volatilidad, propiedades a bajas temperaturas, demulsibilidad, resistencia a la formación de espuma y estabilidad a la oxidación. Existen diferentes tipos de bases siendo las bases minerales o petróleo crudo objeto de este estudio. Las clases de tipos minerales son:

- A) Parafínicas (de crudos parafínicos), que incluyen las convencionales.
- B) Hidroprocesadas; y Nafténicas (de crudos nafténicos).

Consideremos la composición molecular de los tipos minerales.

		IV	Punto de fluidez	
N - parafinas		muy alto	alto	baja
Isoparafinas		alto	bajo	baja
Naftenos (ciclo parafinas)		moderado	bajo	moderada
Comp. aromáticos		bajo	bajo	alta
Los aceites base también contienen compuestos de azufre. 				

**Fig. 3.3 Composición de las bases lubricantes minerales (IV índice de viscosidad). Fuente: ExxonMobil/ Lubricants&Specialties/Fundamentos de la capacitación en lubricantes.**

### 3.3.1 Procedencia.

Las bases lubricantes se obtienen del proceso de refinación del crudo, por separación y conversión.

La tecnología de refinación convencional involucra la separación de componentes seleccionados del crudo por destilación, extracción por solventes y desparafinado.

En la tabla 3.1.2 se muestra la clasificación API de bases lubricantes donde los grupos I, II, y III son aceites minerales, mientras que los grupos IV y V son sintéticos.

### 3.3.2 Variedades

**Tabla 3.2.2 Comparación de la propiedades de bases lubricantes.**

Clasificación API de bases lubricantes				
Grupo	Especificaciones físicas			Proceso de fabricación
	IV	Azufre % peso	Saturados % peso	
I	80-120	>0.03	<90	Convencional (refinación con solventes)
II	80-120	<0.03	>90	Requiere Hidrocraqueado/ desparafinado
III	>120	<0.03	>90	Requiere Hidrocraqueado/ desparafinado severo
IV	>140	0.00	>90	Síntesis química - PAO
V				Todos los otros sintéticos - ésteres, poliglicoles, ésteres fosfatados, etc.

**Fuente: ExxonMobil/ Lubricants&Specialties/ Bases lubricantes, Por Marcelo E. Martins Ingeniero de Lubricación Senior.**

**Tabla 3.2.3 Comparación de la propiedades de bases lubricantes.**

Comparación de parámetros de la base				
Parámetro	Grupo I	Grupo II	Grupo III	Grupo IV
Estabilidad a la oxidación				
Volatilidad				
Solvencia de aditivos				
Capacidad a baja temperatura				
Eficiencia/Tracción				
Costos relativos	1	1.1-1.2	1.5	4 a 10
Rango de viscosidad a 40 °C (en cSt)	Hasta 500	Hasta 120	Hasta 40	Hasta 50.000
La dirección de la flecha indica mejor desempeño				

**Fuente: ExxonMobil/ Lubricants&Specialties/ Bases lubricantes, Por Marcelo E. Martins Ingeniero de Lubricación Senior.**

### **3.3.3 Esquema Industrial de producción bases lubricantes.**

#### **3.3.3.1 Refinación de bases lubricantes**

La calidad de los aceites base está determinada por la fuente cruda, los métodos de fabricación y las condiciones de procesos.

El primer paso para el proceso de refinado de petróleo crudo es la destilación atmosférica o la separación del crudo en tres diferentes áreas.

Segundo paso destilación al vacío las propiedades del aceite mineral establecidas por la destilación al vacío son: viscosidad, punto de inflamación, volatilidad (Noack), demulsibilidad y color.

Tercer paso: extracción por solventes las propiedades del aceite base mineral establecidas por la extracción por solvente son: índice de viscosidad, estabilidad de oxidación, estabilidad térmica, contenido del análisis de componentes principales (PCA, por sus siglas en inglés) y color.

La extracción por solvente ayuda a mejorar las propiedades del aceite, en especial a disminuir el contenido de azufre, de compuestos aromáticos y de nitrógeno.

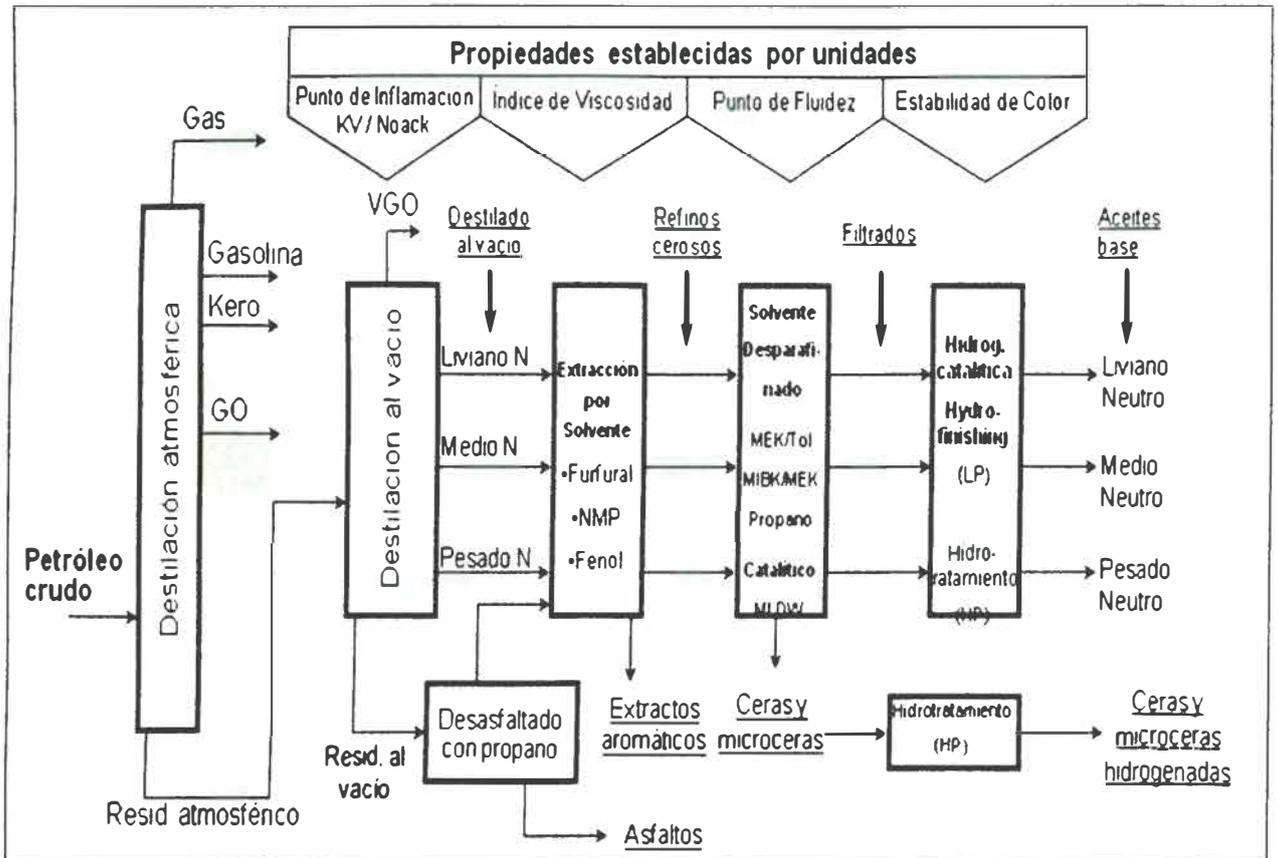
Cuarto paso: Desparafinado con solventes las propiedades del aceite base mineral establecidas por la extracción por solvente son: punto de fluidez, punto de enturbamiento, capacidad de filtración, fluidez a baja temperatura.

Este paso permite la eliminación de cera y algunas parafinas normales. La cera que se separa es conocida como “slack wax”.

Quinto paso: hidrogenación catalítica (Hydrofinishing).

Siguiendo la figura 3.3.3, el quinto y último paso en el refinado de petróleo crudo es la hidrogenación catalítica (hydrofinishing).

Se agrega hidrógeno a la base terminada para eliminar impurezas y crear un aceite base con menor contenido de impurezas. El aceite base mineral terminada se utiliza como el componente básico de los lubricantes terminados.



**Fig. 3.3.3 Esquema de refinación de las bases lubricantes.**

**Fuente: ExxonMobil/ Lubricants&Specialties/Fundamentos de refino.**

**Tabla 3.3.3 Influencia de bases y aditivos en las propiedades de los Aceites Lubricantes.**

<b>Propiedad del lubricante</b>	<b>Influencia de la base</b>	<b>Influencia del aditivo</b>
Viscosidad	Importante	Leve
Índice de viscosidad	Importante	Importante
Punto de inflamación	Importante	Leve
Volatilidad	Importante	Leve
Punto de fluidez	Importante	Importante
Estabilidad de oxidación	Importante	Importante
Protección contra la oxidación	Leve	Importante
Control de depósito	Importante	Importante
Formación de espuma	Importante	Importante

**Fuente: ExxonMobil/ Lubricants&Specialties/Fundamento de los aceites lubricantes.**

### **3.4 Tecnología de Aditivos:**

Los aditivos deben seleccionarse cuidadosamente para que sean compatibles con el aceite y entre ellos, para que no produzcan efectos secundarios no deseados.

### **Funciones Principales**

Limitar el deterioro del lubricante a causa de fenómenos químicos ocasionados por razón de su entorno o actividad.

Proteger la superficie lubricada de la agresión de ciertos contaminantes.

Mejorar las propiedades del lubricante o proporcionarles otras nuevas.

Proporción de los aditivos desde 0.01% hasta 30%.

Aceites para transformador	: 0.01%
Aceites hidráulicos y para engranajes	: 5.00%
Aceites para motor	: 15.00%
Aceites emulsionables	: 30.0 0%

Los aditivos pueden agruparse en tres categorías principales aunque algunos aditivos cumplen más de una función.

**Modificadores:** Estos aditivos modifican las características del aceite base para hacerlo más apropiado para el uso.

**Protectores de aceite:** Estos aditivos protegen el aceite para prolongar su vida útil.

**Protectores de superficie:** Estos aditivos protegen las superficies metálicas para reducir la corrosión, la fricción, y el desgaste.

### **Modificadores:**

Mejorar el rendimiento natural de los aceites base.

Los modificadores se usan en lubricantes para mejorar el rendimiento natural de un aceite base.

Los modificadores pueden agruparse en tres categorías principales:

1. Mejoradores del Índice de Viscosidad (MIV)

2. Depresor de Punto de Fluidiez (DPF)
3. Controladores de expansión de sellos

### **Mejoradores del índice de viscosidad (MIV):**

#### **Rol: Modificador**

Este tipo de modificador permite que las bases permanezcan en un nivel de viscosidad superior a un rango de temperatura más amplio.

#### **Características:**

Los Mejoradores IV son polímeros de cadena larga y copolímeros de metacrilatos, olefinas, o estirenos alquilados. Permiten que las bases rindan mejor a altas temperaturas.

#### **Mecanismo:**

El MIV permanece enroscado cuando está frío y no interfiere con las propiedades de fluidez del aceite. Sin embargo, a altas temperaturas, se desenrosca para formar una red que restringe la fluidez y, en consecuencia, reduce los efectos de la temperatura en la viscosidad.

Los modificadores de viscosidad espesan las bases de viscosidad baja y aumentan el índice de viscosidad de los lubricantes.

### **Depresores del punto de fluidez (DPF)**

#### **Rol: Modificador**

Los depresores de punto de fluidez permiten que las bases fluyan a temperaturas bajas.

#### **Características:**

Estos modificadores son polimetacrilatos o naftalenos alquilados. Permiten que las bases rindan mejor a bajas temperaturas.

**Mecanismo:**

A bajas temperaturas, la pequeña cantidad de cera disuelta que permanece en el aceite luego de que el proceso de refinado se cristaliza y causa el espesamiento. Los DPFs reducen el acoplamiento de estos cristales para permitir que el lubricante continúe fluyendo.

**Control de expansión de sellos:****Rol: Modificador**

Los controladores de expansión de sellos previenen el derrame de aceite de juntas y sellos.

**Características:**

Estos modificadores están hechos de ésteres orgánicos para asegurar una pequeña expansión de los sellos para que queden ajustados.

**Mecanismo:**

Este aditivo impregna el sello para expandir ligeramente la estructura de caucho y ayudar a prevenir el derrame.

**Protectores de aceite:**

Inhibir cambios no deseados en los lubricantes

La segunda categoría de aditivos son los protectores de aceite. Éstos se usan en lubricantes para inhibir cambios no deseados en estos últimos.

Los protectores de aceite pueden agruparse en tres categorías principales:

1. Antioxidantes
2. Desactivadores del metal

### 3. Agentes anti-espuma.

#### **Antioxidantes**

##### **Rol: Protector de aceite**

Este tipo de protector de aceite previene la oxidación del aceite.

##### **Características:**

Los antioxidantes incluyen ditiofosfatos de Zinc, fenoles impedidos y aminos aromáticos.

A altas temperaturas, la tasa de oxidación aumenta y provoca un incremento permanente de la viscosidad.

##### **Mecanismo:**

Los antioxidantes ayudan a romper las cadenas largas formadas por múltiples enlaces de carbono y oxígeno, ejerciendo un efecto de significativa lentitud en el deterioro natural del aceite.

##### **Desactivadores del metal:**

##### **Rol: Protector de aceite**

Los desactivadores del metal reducen la catálisis de oxidación causada por superficies metálicas calientes.

##### **Características:**

Estos protectores de aceite son compuestos orgánicos, como los aminos y fosfatos que contienen nitrógeno, azufre y fósforo. Son efectivos para eliminar la oxidación a altas temperaturas causada por superficies metálicas calientes.

##### **Mecanismo:**

Los desactivadores del metal forman una lámina protectora inerte sobre las superficies metálicas para prevenir la acción catalítica.

## **1. Agentes anti-espuma**

### **Rol: Protector de aceite**

Los agentes anti-espuma suprimen la formación de espuma causada por la acción de batimiento o período de residencia bajo.

### **Características:**

Los agentes en estos protectores de aceite están hechos de silicona y copolímeros orgánicos que son resistentes al calor sobre el rango de funcionamiento normal del motor. Son efectivos a toda temperatura.

### **Mecanismo:**

Los agentes anti-espuma interrumpen la tensión superficial de burbujas de aire y causan la disminución de la espuma.

### **Protectores de Superficie:**

Agregar nuevas características de rendimiento.

La tercera categoría de aditivos son los protectores de superficie. Éstos se usan en lubricantes para agregar nuevas características de rendimiento al lubricante.

Los Protectores de superficie pueden agruparse en cinco categorías principales:

1. Aditivos de presión extrema y anti-desgaste
2. Inhibidores de corrosión
3. Detergentes
4. Dispersores
5. Modificadores de Fricción

## **1. Aditivos de Presión Extrema y Anti-desgaste**

### **Rol: Protector de superficie**

Los aditivos anti-desgaste previenen el contacto de metales de dos superficies de acoplamiento.

### **Características:**

Estos aditivos son principalmente compuestos de ditiofosfatos de cinc, ditiofosfatos de molibdeno, fosfatos orgánicos, y azufre orgánico. Son efectivos a altas temperaturas.

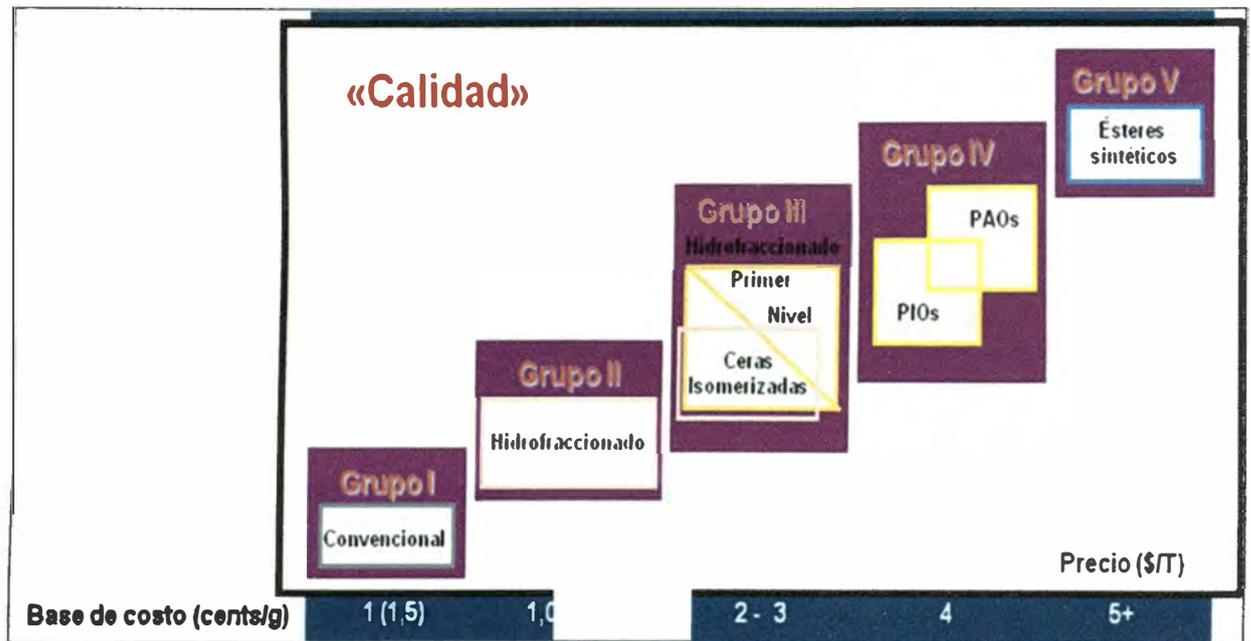
### **Mecanismo:**

Los agentes anti-desgaste se usan para unirse mediante iones a las superficies metálicas (como un adherente estático). La lámina sólida se genera únicamente a altas temperaturas en que la lámina de aceite comienza a debilitarse.

### **3.4.1 Calidad de la mezcla.**

Esto depende en gran parte de la calidad de la base a usar. Al subir de grupo, se reduce el número de impurezas en la base.

Debido al procesamiento que debe realizarse para eliminar estas impurezas o costo para las reacciones químicas, el costo también aumenta al subir de grupo.

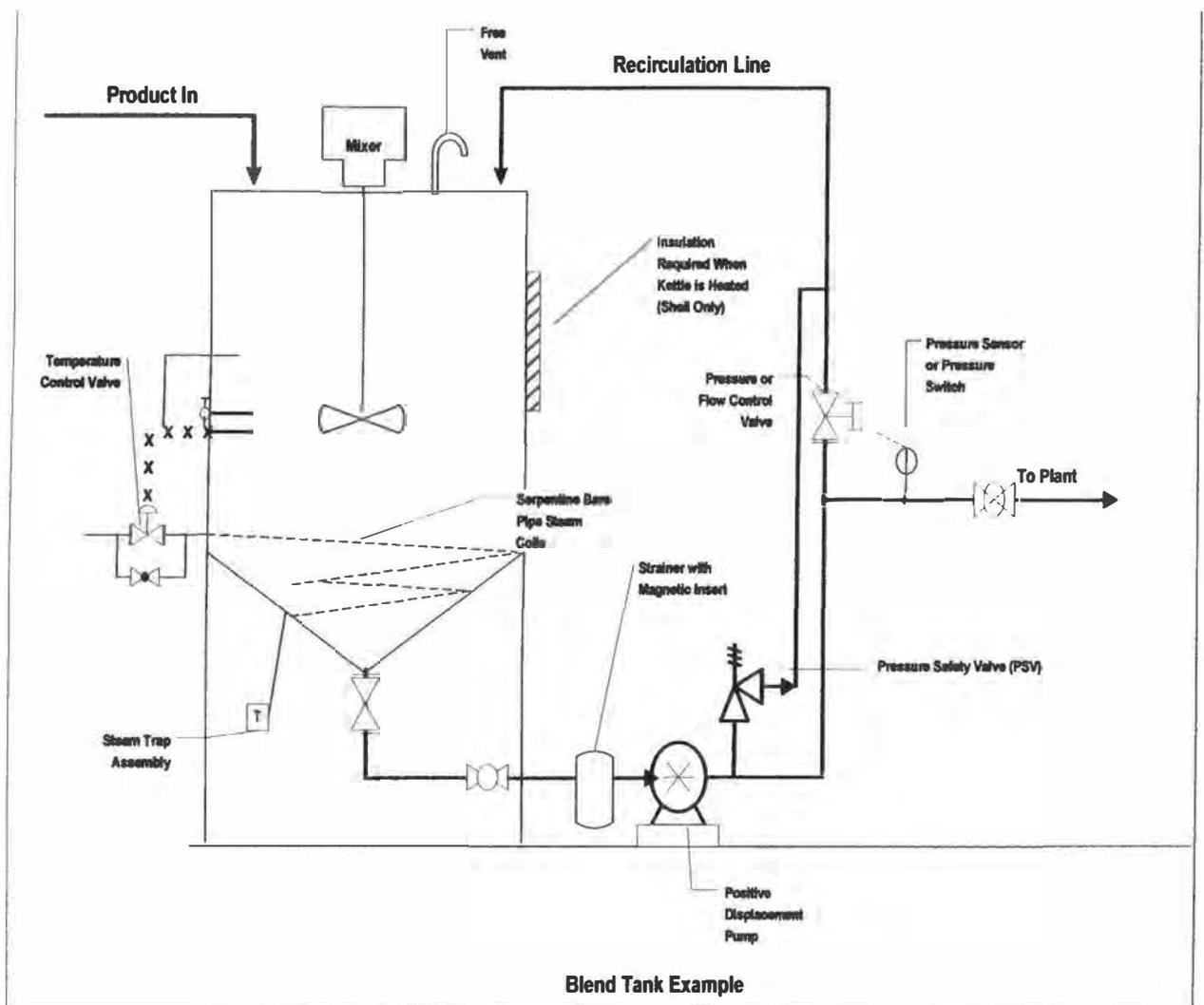


**Fig. 3.4.1** Calidad de bases lubricantes según grupo de clasificación Fuente: ExxonMobil/ Lubricants&Specialties/Bases de los aceites lubricantes.

#### 4. PLANTA DE MEZCLA TÍPICA EN EL PERÚ.

Se describe el proceso de manufactura en la elaboración de aceites lubricantes en el Perú.

La configuración más eficaz para un tanque de aceite lubricante de mezcla es un tanque configurado con un fondo de cono o fondo plano y una bomba con una línea de recirculación. En este caso, la agitación mecánica se puede lograr mediante el uso de la bomba de la línea de recirculación. Mezcladores mecánicos también se pueden instalar.



**Fig. 4** Típico tanque de mezcla en la elaboración de Aceites Lubricantes.

**Fuente:** ExxonMobil/ Lubricants&Specialties/Energy Management.

## **PROCEDIMIENTO**

### **Descripción general**

La fabricación de un aceite lubricante es básicamente un proceso de mezcla de aceites básicos y aditivos en proporciones determinadas por la fórmula de cada producto, pudiendo consistir de solo un básico sin aditivos. Las fórmulas empleadas, donde se indican estas proporciones, son las aprobadas por la compañía y se encuentran en GPAQS (Global Product And Quality System). El proceso de mezcla se hace en tanque mezcladores mediante el empleo de agitación mecánica, recirculación y/o agitación con aire bajo ciertas condiciones de temperatura y tiempos de homogenización.

A continuación se indican los procedimientos que permiten asegurar la calidad de la operación de mezclado:

### **Preparación del tanque de mezcla**

Antes de proceder a la carga de los básicos y aditivos, el operador de mezcla debe verificar que producto se mezcló o estuvo anteriormente en el mezclador. Luego ingresar a la Matriz de compatibilidad el producto que se mezclará, donde se indica el tipo de limpieza que se requerirá: simplemente drenar, drenar y limpiar con aceite básico o utilizar el procedimiento especial de limpieza, para evitar las contaminaciones de los productos que se estén elaborando.

Cuando la fabricación de productos requiere la inclusión de un colorante, se debe tener especial cuidado con la limpieza del tanque y las líneas para evitar mancharlo. Una alternativa podría ser programar a continuación la mezcla de un aceite relativamente oscuro, siempre que esto sea posible.

### **Operación de mezcla**

### **Recomendaciones generales**

En general se debe observar el siguiente orden de carga de los componentes:

1. Aceite básico mas viscoso
2. Aditivos a granel o en cilindros
3. Aceite básico más ligero

El control de la temperatura es muy importante para cada tipo de lubricante a elaborar con el control de temperatura se asegura de no sobrepasar los tiempos estimados de homogenización de lubricantes y temperaturas recomendadas.

### **Carga del básico más pesado**

Para la carga de básicos se seguirá la siguiente secuencia:

1. Alinear el tanque del aceite básico con el mezclador, conectando de manera segura la manguera entre la salida de contador y la entrada al mezclador.
2. Abrir la válvula asociada al contador y la válvula kanvalop de entrada al mezclador.
3. Luego de iniciado el bombeo el operador verificará de manera visual que el básico esté llegando al mezclador asignado.
4. Alinea el mezclador para ponerlo a recircular.
5. Tan pronto el aceite cubra totalmente el serpentín de calentamiento del mezclador el operador procederá a abrir las válvulas de vapor y aire comprimido para finalmente poner en marcha el agitador mecánico.

### **Carga de aditivos**

Se tienen tres casos para la carga de aditivos: 1) aditivos a granel que se cargan mediante bombeo, 2) Aditivos líquidos en cilindros y 3) aditivos sólidos.

### **Aditivos a granel**

Estos aditivos se almacenan en tanques que cuando son precalentados en el tanque o en el intercambiador de temperatura debe ser monitoreada diariamente por el personal de mezcla.

1. Alinear el tanque del aditivo con el mezclador, conectando de manera segura la manguera entre la salida de contador y la entrada al mezclador
2. Abrir la válvula asociada al contador y la válvula kanvalop de entrada al mezclador.
3. Luego de iniciado el bombeo el operador verificará de manera visual que el aditivo esté llegando al mezclador asignado.
4. Terminado el bombeo del aditivo se limpia la línea de la salida del contómetro a la entrada del mezclador desplazándola con aire comprimido.
5. Las líneas y la manguera deberán ser lavadas interiormente. Luego la manguera deberá conectarse a la línea del básico más ligero del producto que se está elaborando, se bombea hacia el mezclador dejando así limpias tanto la línea como la manguera.

### **Consideraciones**

#### **Aditivos sólidos**

Se agregan directamente al interior del mezclador, y se deberán agitar hasta su total disolución a temperatura de mezclado recomendado.

#### **Proceso de homogenización**

**Mezcla de los componentes:** Para obtener un producto homogéneo es necesario que durante la operación de mezclado se produzca una turbulencia adecuada. Esto

se logra mediante la agitación de la mezcla, por uno o más de los tres medios disponibles en la Planta:

### **Agitador mecánico**

Consiste en una hélice conectada a un motor eléctrico que la hace girar causando la agitación del aceite.

### **Recirculación por bombeo**

Durante la operación se hace recircular la mezcla. Este método presenta la ventaja que además de producir la agitación, el lubricante es sometido a la acción de los engranajes de la bomba.

### **Sistema de agitación por aire**

Consiste en una estrella o en un tubo circular, con agujeros en toda su longitud, que se encuentra ubicado en el fondo del tanque por cuyo interior circula aire comprimido que al salir por los agujeros genera la agitación del producto que se está elaborando.

Es muy importante que este aire sea secado antes de ser introducido al aceite. Este sistema de agitación es complementario a los otros dos mencionados.

### **Tiempo de Homogenización**

El tiempo de homogenización es el tiempo que el producto debe permanecer en agitación desde que se terminó la carga de los básicos y aditivos hasta el momento de la toma de la muestra para su análisis en el laboratorio con este tiempo se busca asegurar la dilución y la homogenización de todos los componentes en el aceite.

## **5. TECNOLOGÍA DE MEZCLA.**

El mezclado es el proceso según el cual varios ingredientes se ponen en contacto. De tal forma que al final de la operación se obtenga un sistema homogéneo a cierta escala (desde molecular hasta macroscópica). Según la escala del mezclado y la miscibilidad relativa de las sustancias presentes, el resultado puede ser una solución, un coloide, o una dispersión micro/macroscópica: emulsión, suspensión o espuma.

Los mezcladores están presentes en la mayoría de los procesos industriales. A continuación se describen mezcladores de hélice y turbina, agitadores de paleta, mezcladores estáticos y mezclado a través de pulsaciones.

### **5.1 Técnicas de mezclado.**

El principio de las operaciones de mezcla se basa en la puesta en movimiento de los productos por mezclar, provocando la difusión más o menos completa de sus diversas partículas.

Estos movimientos pueden ser creados de tres maneras:

Por agitación mecánica.

Mezcla por recirculación.

Mezcla por pulsaciones.

### **5.2 Mezcla por agitación mecánica:**

Se refiere al movimiento inducido de un fluido por medios mecánicos para que adquiera un movimiento circulatorio en el interior de un recipiente.

#### **5.2.1 Tipos de agitadores.**

Los líquidos se agitan con más frecuencia en algún tipo de tanque o recipiente, por lo general de forma cilíndrica y provista de un eje vertical. La parte superior del tanque puede estar abierta al aire, pero generalmente está cerrada. Las proporciones

del tanque varían bastantes, dependiendo de la naturaleza del problema de agitación. El diseño de un tanque estandarizado es el siguiente, el fondo es redondeado, no plano, para eliminar las esquinas o regiones agudas en las que no penetrarían las corrientes de fluidos. La profundidad o altura del líquido es aproximadamente igual al diámetro del tanque. Un agitador va instalado sobre un eje suspendido, es decir, un eje sostenido en la parte superior. El eje es accionado por un motor, a veces directamente conectado al eje, pero es más común que se encuentre conectado a éste, a través de una caja conductora de velocidad. Por lo general también lleva incorporados accesorios tales como líneas de entrada y salida, serpentines, encamisados y pozo para termómetros u otros equipos de medición de la temperatura.

### **Hélice.**

Una hélice es un rodete con flujo axial y alta velocidad que se utiliza para líquidos de baja viscosidad. Las hélices pequeñas giran con la misma velocidad que el motor, entre 1150 y 1750 rpm; las grandes giran entre 400 y 800 rpm. Las corrientes de flujo que salen del rodete continúan a través del líquido en una dirección determinada hasta que chocan con el fondo o las paredes del tanque. La columna, altamente turbulenta, de remolinos de líquido que abandona el rodete, arrastra al moverse líquido estancado, probablemente en mayor proporción que lo haría una columna equivalente procedente de una boquilla estacionaria. Las placas de un rodete cortan o cizallan vigorosamente el líquido.

Debido a la persistencia de las corrientes de flujo, los agitadores de hélice son eficaces en tanques muy grandes. Una hélice giratoria traza una hélice en el fluido y, si no hubiese deslizamiento entre el fluido y la hélice, una revolución completa provocaría el desplazamiento longitudinal del líquido una distancia fija, dependiendo del ángulo de inclinación de las palas de la hélice. La relación entre esta distancia y el diámetro de la hélice se conoce como paso de hélice. Una hélice con un paso de 1,0 se dice que tiene paso cuadrado.

**Turbinas:**

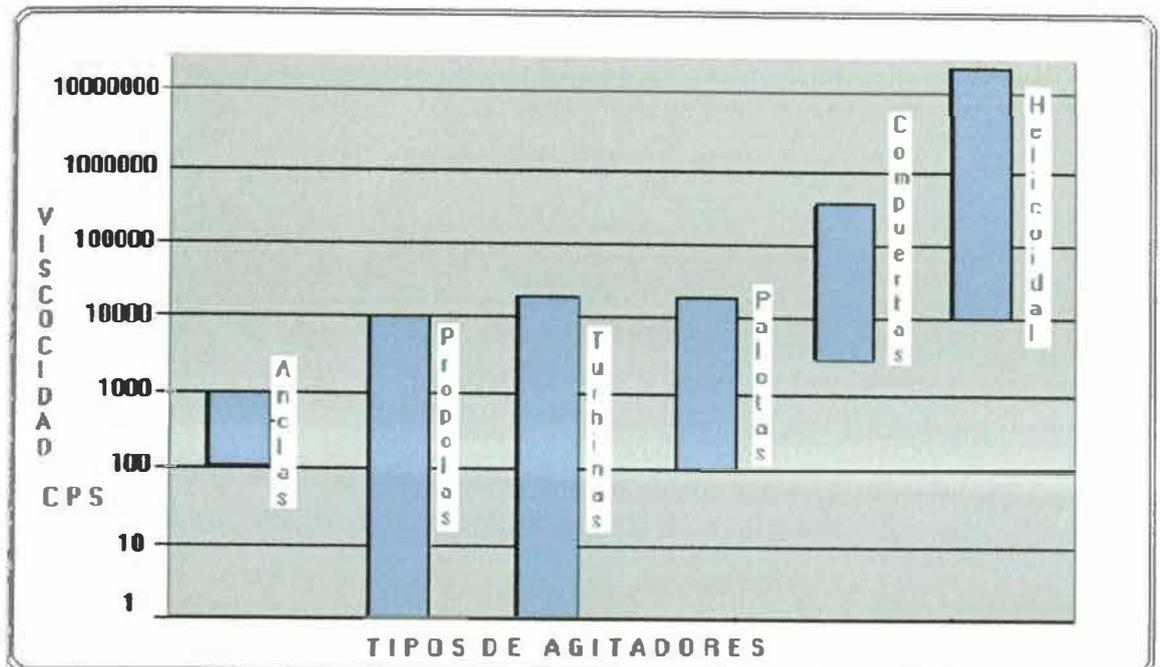
Están constituidos por un componente impulsor con más de cuatro hojas, montadas sobre el mismo elemento y fijas a un eje rotatorio.

Los agitadores de turbina se pueden utilizar para procesar numerosos materiales.

Los agitadores de turbina son eficaces para un amplio intervalo de viscosidades; en líquidos poco viscosos, producen corrientes intensas, que se extienden por todo el tanque y destruyen las masas de líquido estancado.

**Impulsores de alta eficiencia.**

El impulsor en un tanque de proceso produce una corriente de alta velocidad, y el fluido se mezcla con rapidez en la región próxima al impulsor debido a la intensa turbulencia. A medida que la corriente se modera, arrastrando otro líquido y fluyendo a lo largo de la pared, hay algo de mezcla radial debido a que los grandes remolinos se rompen en otros más pequeños, pero probablemente hay poco mezclado en la dirección del flujo. El fluido completa un lazo de circulación y retorna a la entrada del impulsor, donde ocurre de nuevo una mezcla vigorosa. Los cálculos basados en este modelo muestran que debería alcanzarse una mezcla esencialmente completa (99%) si el contenido del tanque circulase alrededor de cinco veces.



**Fig. 5.2.1** Rango de viscosidad para agitadores.

**Fuente:** Autor Ernest E. Lugmig, *Aplicación al diseño de procesos, para Plantas Químicas y Petroquímicas.*

## 5.2.2 CÁLCULO DE LA POTENCIA DEL AGITADOR

No existe necesariamente una relación directa entre la potencia consumida y el grado de mezcla. Cuando un líquido de baja viscosidad gira alrededor de un tanque sin placas deflectoras, los distintos elementos del líquido pueden seguir caminos circulares paralelos de una forma casi indefinida sin apenas mezclarse. Poca de la energía suministrada se utiliza para mezclar. Si se colocan placas deflectoras la mezcla se produce rápidamente, utilizándose la mayor parte de la energía para el mezclado y relativamente poca para circulación.

Cuando el tiempo de mezclado es crítico, el mejor mezclador es el que produce la mezcla en el tiempo requerido con el menor consumo de potencia. En muchos casos es deseable, pero no esencial, un corto tiempo de mezcla, y el tiempo de mezcla es

un compromiso entre el coste de la energía necesaria y el coste de adquisición del mezclador.

Las variables que pueden ser controladas y que influyen son:

Dimensiones principales del tanque y del rodete: Diámetro del tanque (Dt), Diámetro del rodete (Da), altura del líquido (H), ancho de la placa deflectora (J), distancia del fondo del tanque hasta el rodete (E), y dimensiones de las paletas.

Viscosidad ( $\mu$ ) y densidad ( $\rho$ ) del fluido.

Velocidad de giro del agitador (N).

El cálculo de la potencia consumida se hace a través de números adimensionales, relacionando por medio de gráficos el número de Reynolds y el Número de Potencia. Estas gráficas dependerán de las características geométricas del agitador y de si están presentes o no, las placas deflectoras.

$$N_p = \frac{P}{N^3 D_a^5 \rho}$$

### 5.3 Mezcladores Estáticos:

Un desarrollo bastante reciente en el mezclado continuo de sustancias viscosas incluye el empleo de placas desviadoras estacionarias dentro de conductos, que fuerzan los medios fluidos a mezclarse entre sí, mediante una progresión de divisiones y recombinación.

Los mezcladores estáticos proporcionan los medios para conseguir la homogenización de líquidos, gases y materiales viscosos sin el uso de piezas mecánicas móviles. En su forma más simple los materiales pasan a través de una estructura geométrica fija que repetidamente divide el flujo de material en

numerosas partes. Los mezcladores estáticos son mayormente requeridos en flujo laminar.

El régimen de flujo, laminar o turbulento, determina los mecanismos y las relaciones a usar en la selección y el diseño detallado para los equipos de mezcla.

A continuación se muestra las opciones de dispositivos en línea.

<b>Régimen de flujo</b>	<b>“TEE” Mezclador</b>	<b>Mezclador de chorro</b>	<b>Boquilla</b>	<b>Mezclador Estático.</b>
<b>Régimen laminar</b>	-----	-----	-----	-----
Mezcla				X
Dispersión				X
Transferencia de calor				X
Reacción				X
<b>Régimen turbulento</b>	-----	-----	-----	-----
Mezcla	X	X	X	X
Dispersión	X	X	X	X
Transferencia de calor			X	X
Reacción		X	X	X

**Fuente: ERNEST E. Ludwig, Aplicación al diseño de procesos, para las plantas químicas y petroquímicas**

## CAIDA DE PRESION EN MEZCLADORES ESTÁTICOS

En tanto los casos para flujo laminar y turbulento, el incremento adicional de la caída de presión de mezcladores estáticos, conlleva a exigir una energía extra para conseguir el efecto de mezclado.

La energía para conducir el fluido a través de un mezclador estático proviene de la presión del líquido en sí mismo, creando una pérdida de presión del fluido a través de la unidad.

La caída de presión típica es de unas cuatro veces mayor que en la misma longitud de tubería vacía. La mezcla, aun para materiales altamente viscosos, es excelente después de 6 a 20 elementos. Los mezcladores estáticos se utilizan para el mezclado de líquidos, dispersión de gases y líquidos, reacciones químicas y transmisión de calor. Son especialmente eficaces para el mezclado de fluidos de baja viscosidad, con pastas o líquidos viscosos.

Para flujo laminar:

$$\Delta P = 8.9 \times 10^{-8} (Ne Re_D) \mu M^* (L/D') / \rho (D')^3$$

Donde:

Ne= Numero de Newton, depende de la unidad de diseño.

M= Caudal másico lb/h.

$\mu$ = Viscosidad absoluta, Cp.

L= Longitud del mezclador, in.

D'=Diámetro interior de la tubería.

Re<sub>D</sub>= Número de Reynold relacionado con el diámetro interior de la tubería.

Qg= Caudal, gal/min.

Para flujo turbulento:

$$\Delta P = 3.6 \times 10^{-5} (N_e) \rho Q g^2 / (D')^4 (L/D')$$

### **POTENCIA REQUERIDA:**

Los requisitos de energía para un mezclador estático es expresado mediante:

$$\text{Potencia teórica (HP)} = (5.83 \times 10^{-4}) (Qg) (\Delta P)$$

Donde:

$\Delta P$  = Caída de presión, Psi.

$Qg$  = Flujo gpm.

Numero de Reynolds para mezcladores estáticos:

$$N_{Re} = 3157 Qg * Sg / \mu * D$$

Donde:

$Sg$  =  $SpGr$ , adimensional.

Para flujo laminar  $N_{Re} < 2000$

Caída de presión equivalente para tubería abierta  $\Delta P_o$

$$\Delta P_o = 2.73 \times 10^{-4} \mu' L Qg / (D')^4, \text{ para un modulo.}$$

Donde:

$L$  = Longitud, ft.

Un mezclador estático para flujo laminar:

$$\Delta P = (7.4 + 0.07 N_{Re}) (\Delta P_o) = \Delta PL$$

Para  $\Delta P$  total, multiplicar  $\Delta PL$  por el número de módulos.

Para flujo turbulento:  $NRe > 2000$

$\Delta P_0$ , para tubería abierta y  $f$  se obtiene del (Grafico de Moody).

$$\Delta P_0 = 0.0135 [(f) (L) (Sg) (Qg)^2 / D^5]$$

$$\Delta P = 66.5 (NRe)^{0.086} \mu^{0.064} (\Delta P_0)$$

Donde:

$\Delta P_0$  = Caída de presión en tubería abierta.

$\Delta P$  = Caída de presión en mezcladores estáticos para flujo turbulento, psi.

### **Clasificación De Mezcladores Estáticos**

Los mezcladores estáticos se pueden clasificar por varias formas por ejemplo: las fases de los componentes (uní fases - multifases), el régimen de flujo (laminar – turbulento), tipo de fluidos (inmiscible – miscible).

Por lo tanto los mezcladores estáticos pueden ser agrupados por la siguiente clasificación:

- Líquido / Líquido- fluido miscible – flujo laminar, flujo turbulento
- Líquido / Líquido – fluido inmiscible - flujo turbulento
- Gas / Líquido - flujo turbulento
- Gas / Gas - flujo turbulento
- Sólido / Sólido – flujo particulado.

### **Los Detalles Mecánicos**

Los detalles que pertenecen a los mezcladores estáticos son la longitud, diámetro exterior, material de construcción y la proporción de los fluidos.

**- La Proporción de los fluidos**

La cantidad de material o fluido que el mezclador puede procesar dentro de un período dado de tiempo se llama la proporción de los fluidos.

### **El material**

Es la sustancia o el material usado para la elaboración del mezclador estático. Dentro de los materiales más utilizados para la construcción de los mezcladores son el PVC, acero, acero inoxidable, superaleaciones, entre otros.

## **APLICACIONES**

### **Aplicaciones**

Muchas aplicaciones son manejadas eficientemente con los mezcladores estáticos. Estos pueden ser usados en numerosas industrias para unas variadas aplicaciones, por ejemplo:

- Mezcla.
- Dispersión.
- Transferencia de calor, etc.

A continuación se nombrará algunos ejemplos de aplicaciones industriales.

**Aplicaciones Frecuentes para mezcladores estacionarios:** A continuación en la tabla se muestra el tipo de flujo y el número de módulos para las aplicaciones más frecuentes en los mezcladores estáticos.

**Fuente: ERNEST E. Ludwig, aplicación al diseño de procesos, para las plantas Químicas y Petroquímicas**

<b>APLICACIONES</b>	<b>TIPO DE FLUJO</b>	<b>NUMERO DE MODULOS</b>
<b>1.</b> Mezcla un grado de aceite (o gasolina) en otro aceite.	Turbulento	módulo de seis elementos
<b>2.</b> Generar dispersiones liquido-liquido (gotas)	Alta turbulencia $N_{Ro} > 100,000$ Baja turbulencia $N_{Ro} < 100,000$	(2 módulos de seis elementos) (3 módulos de seis elementos)
<b>3.</b> Mezcla de gradiente térmica en un flujo viscoso	Laminar.	(1 módulo de seis elementos)
<b>4.</b> Mezclar 2 resinas para alcanzar una mezcla homogénea	Laminar.	(4 módulos de seis elementos)
<b>5.</b> Dilución de flujos de melaza con agua	Baja turbulencia	(1 ó 2 módulos de seis elementos, el numero de módulos depende del caudal y proporción de la viscosidad)
<b>6.</b> Control del pH. Neutralización y tratamiento de flujos de agua residual.	Turbulento	(1 modulo de cuatro o seis elementos, dependiendo de las condiciones de reacción)
<b>7.</b> DBO tratamiento de agua.	Turbulento	(1 módulo de seis elementos)
<b>8.</b> Dispersiones Gas-líquido.	Turbulento	(1 ó 2 módulos de seis elementos)
<b>9.</b> Dilución del solvente.	Turbulento	(1 modulo de seis elementos)
<b>10.</b> Tubería del reactor para reacciones en fase sólida o líquida	Turbulento	(1 ó 2 módulos de seis elementos)
<b>11.</b> Dispersión de gas en un liquido	Turbulento	Varios
<b>12.</b> Mezcla gas-gas y/o dispersión	Turbulento	Varios

### **5.3 Mezcla por pulsaciones**

Existen diversos mecanismos de mezclado en la elaboración de aceites lubricantes, uno de los mecanismos que disminuyen el tiempo de homogenización es a través de homogenización por pulsaciones.

#### **Como funciona la mezcla por pulsaciones.**

Mezcla por pulsaciones es una "tecnología de aire pulsado" proceso que es la liberación secuencial de aire o gas comprimido en la parte inferior de un tanque, con el fin de crear la circulación a la mezcla. Cierta cantidad de aire o gas se inyectan mediante impulsos a través de discos redondos planos llamados placas instaladas en el fondo del tanque.

La burbuja que se forma desde la base del tanque sube a la superficie, se crea un vacío que tira de la parte inferior líquidos. A medida que la burbuja se eleva también empuja el líquido por encima de ella hacia arriba y hacia fuera del perímetro del tanque. El líquido se mueve hacia los lados del tanque y se desplaza a la pared del tanque hasta el fondo.

El líquido se pone en movimiento a través del sistema de aire impulsado por la liberación de pulsos de aire controlado. El impulso continúa el movimiento y el proceso de mezcla, aunque el sistema de aire impulsado es entre pulsos. El operador aprovecha el impulso del líquido para el ajuste hasta que no hay más que una burbuja en la columna de líquido a la vez. La mezcla intermitente es energía eficiente porque el aire impulsado no consume aire comprimido entre pulsación. En tanques más grandes, a menudo hay suficiente impulso de líquido para que el sistema se puede apagar durante 15 minutos por hora (en algunos líquidos, el aire impulsado puede ser cerrado por horas).

Mientras que la mezcla intermitente puede ser posible usando un mezclador de hélice, la hélice queda en el tanque durante el "apagado" del ciclo, actuando como un freno y disminuyendo el líquido con su superficie. Con el aire impulsado, las

burbujas ponen el líquido en movimiento, y no a la inversa lento el líquido, por la salida del líquido y nunca en contra de las corrientes de líquidos que generan. Con los múltiples controladores de tanque, el aire impulsado puede completar un ciclo de un tanque a otro, permitiendo que el impulso de líquido continúe mezclando un tanque mientras el próximo está siendo pulsado. El aire impulsado (Pulsair) se refiere a esto como "bucle de mezcla" y es una excelente técnica de gestión de la energía.

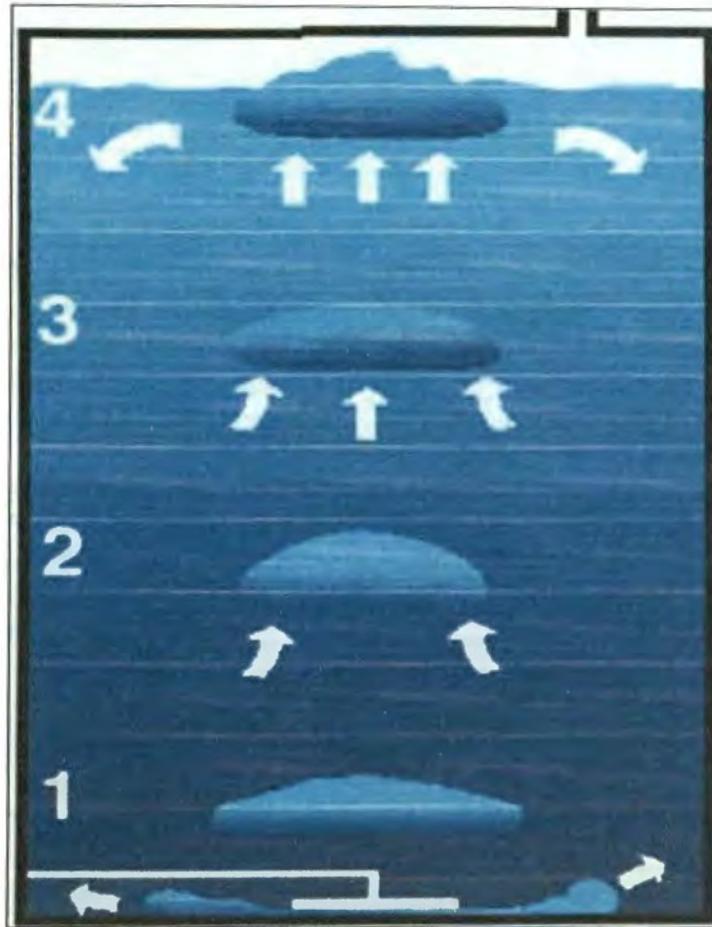
La mezcla intermitente gana efectividad a medida que aumenta el nivel de líquido. Más impulso puede ser generado en los niveles más altos de líquido porque más masa se pone en movimiento y la burbuja tiene un largo tiempo de residencia de trabajo antes de salir. El mayor almacenamiento se traduce por los largos periodos de mezcla durante el apagado del ciclo de aire impulsado (Pulsair).

Una estimación del orden de magnitud de los costos para adquirir una unidad de Pulsair para un tanque de 10 pies (3 metros) de diámetro es de aproximadamente \$ 5000.

A continuación se describe el mecanismo de homogenización por Pulso:

1. Los pulsos de aire o gas inerte son liberados por el fondo del tanque a cierta altura.
2. Grandes burbujas se forman desde el piso y comienzan a subir hacia la superficie de manera homogénea.
3. Las burbujas siguen aumentando de manera ascendente obligando a las partículas a subir más hacia la superficie y la creación de un mezclado vertical que implica rápidamente la homogenización total.
4. Las burbujas se rompen hacia la superficie, empujando a los líquidos hacia la parte inferior completando la circulación.

**En la figura 4.2,** se muestra el sentido y dirección de las burbujas de aire que son inyectadas por el fondo del tanque.



**Fig. 4.2 Mecanismo de homogenización a Pulso.**

**Fuente <http://www.pulsair.com/lubricants-fuels.html>**

**ESQUEMA DE INSTALACIONES DEL SISTEMA PULSED:**



**Acumulador de plato típico. Fuente: <http://www.pulsair.com/lubricants-fuels.html>**



**Regulador de la serie PPC 1000. Fuente: <http://www.pulsair.com/lubricants-fuels.html>**

**Filtros, reguladores y válvulas de inyección. Fuente: <http://www.pulsair.com/lubricants-fuels.html>**



**Fuente: <http://www.pulsair.com/lubricants-fuels.html>**



**Típica instalación de la placa en un tanque grande. Las placas están soldados a la cisterna piso.**

**Fuente: <http://www.pulsair.com/lubricants-fuels.html>**

## **6. EVALUACIÓN TÉCNICA DE LOS DIFERENTES MECANISMOS DE MEZCLADO:**

Se evalúan los tiempos de homogenización para cada mecanismo de mezclado.

### **TIEMPOS ÓPTIMOS DE HOMOGENIZACION**

El tiempo optimo de homogenización dependerán en gran parte del mecanismo de mezclado ya sea por agitación mecánica, recirculación, vapor y aire comprimido.

Se agruparan los mezcladores y tanques de acuerdo a su capacidad, mecanismos de agitación que poseen y de acuerdo a los grupos o familias de compatibilidad de los productos que se mezclan en los mismos.

Esta agrupación de productos por familias se debe justamente como su nombre lo dice a las propiedades o características comunes que tienen, tales como: básicos y aditivos comunes, y el porcentaje que cada uno de ellos representa dentro del producto final.

Se procederá a la toma de muestras de los productos elaborados en cada mezclador o tanque. Las muestras se tomarán a intervalos de 10 a 20 minutos a partir del ingreso del último aditivo a la mezcla (los intervalos de tiempo de muestreo dependerá del volumen de producto que se está mezclando). Opcionalmente se tomarán muestras antes, con el fin de poder visualizar el cambio en las viscosidades y el contenido de metales, a lo largo de toda la mezcla. La muestra final será la que tome el encargado del mezclado, la que es llevada al laboratorio para el análisis correspondiente. El tiempo de homogenización óptima es el tiempo tomado desde el ingreso del último aditivo y/o básico al mezclador, hasta el momento en el que el producto se encuentre homogéneo (momento en el que se toma la muestra para que sea analizada por el laboratorio).

**PRODUCTOS MUESTREADOS PARA REALIZAR EL ESTUDIO DE HOMOGENIZACION**

<b>Producto</b>	<b>G.C</b>	<b>Volumen (L)</b>	<b>TK</b>	<b>M.A</b>
<b>Mobil DTE 24</b>	<b>7B</b>	<b>13391</b>	<b>M002</b>	<b>V-R-A-AC</b>
<b>Mobil DTE Oil Extra Heavy</b>	<b>7B</b>	<b>7850</b>	<b>M002</b>	<b>V-R-A-AC</b>
<b>P/L Presol H68</b>	<b>20</b>	<b>14789</b>	<b>M003</b>	<b>R-A</b>
<b>Mobilube 85W140</b>	<b>11ª</b>	<b>15843</b>	<b>M005</b>	<b>V-R-A-AC</b>
<b>Mobil Super HP 20W50</b>	<b>9ª</b>	<b>47688</b>	<b>M019</b>	<b>V-R-AC</b>
<b>Mobil Diesel Turbo 25W50</b>	<b>9ª</b>	<b>69718</b>	<b>M120</b>	<b>V-R-AC</b>
<b>MobilGard 412</b>	<b>9ª</b>	<b>29029</b>	<b>G008</b>	<b>V-R-AC</b>

**Leyenda: Grupo de compatibilidad (G.C.)**

<b>Volumen</b>	<b>(V)</b>
<b>Tanque</b>	<b>(TK)</b>
<b>Mecanismos de agitación</b>	<b>(M.A)</b>
<b>Recirculación</b>	<b>(R)</b>
<b>Vapor</b>	<b>(V)</b>
<b>Agitación</b>	<b>(A)</b>
<b>Aire Comprimido</b>	<b>(AC)</b>

La agrupación de tanques de acuerdo a las características mencionadas anteriormente tiene por objeto validar el comportamiento similar de los mismos al momento de realizar una mezcla de volumen similar, a una temperatura similar, y haciendo uso de mecanismos similares.

Así de esta manera si elaboramos un producto en el mezclador M001, con un determinado volumen, a una determinada temperatura y con determinados

mecanismos, podemos decir que si mezclamos el mismo producto en el mezclador M002, este tendrá un tiempo de homogenización óptima similar al establecido en el mezclador M001, con un rango de error de “x” minutos de tiempo de homogenizado.

Siguiendo el mismo criterio se validan los tiempos de homogenizado óptimo para los demás mezcladores, y se determina el tiempo de homogenizado óptimo para los mezcladores nuevos.

Terminado todos los pasos anteriores se procederá a realizar los análisis de viscosidad y metales de cada aceite, que son características representativas de cada producto.

Con los datos obtenidos se procederá a realizar las gráficas correspondientes, con el fin de visualizar las variaciones que pudiera haber de estos dos parámetros durante el proceso de mezcla.

Una vez realizadas las gráficas se procederá a validar los tiempos de homogenización óptima, para los tanques o mezcladores.

### **ANÁLISIS DE LOS PRODUCTOS MUESTREADOS:**

A continuación se detallara los resultados de ciertos productos elaborados en planta con las diferentes técnicas mecánicas mixtas ya sean:

- Recirculación/Agitación/Vapor/Aire comprimido.
- Recirculación/Vapor/Aire comprimido.
- Agitación/Recirculación.

### **MOBIL DTE 24**

Volumen : 13391 litros.

Tanque : M2

Especificación:

Viscosidad a 40°C : 28.8 a 35.2 Cst.

Zinc (% peso) : 0.060 a 0.100

Calcio (% peso) : 0.010 a 0.020

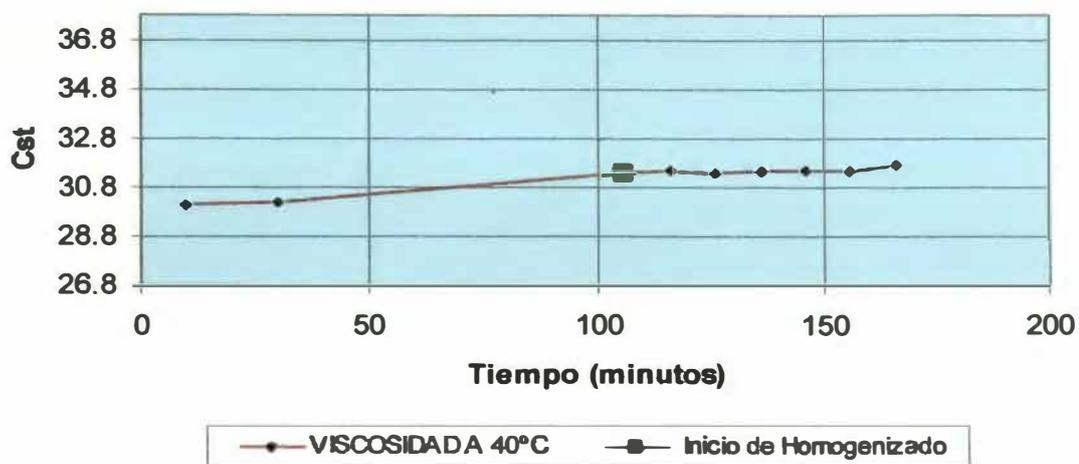
La presente mezcla se realizó haciendo uso de los siguientes mecanismos: vapor, recirculación, agitación y aire comprimido.

Se comenzó la mezcla a las 8:00, el inicio del tiempo de homogenización se realizó a las 09.56 y culminó a las 10:56 hora en la que se llevó la muestra al laboratorio. De lo que se deduce que el tiempo de homogenización fue de 60 minutos, pero la mezcla estuvo homogenizada a las 10:16 o sea a los 20 minutos después del ingreso del último aditivo.

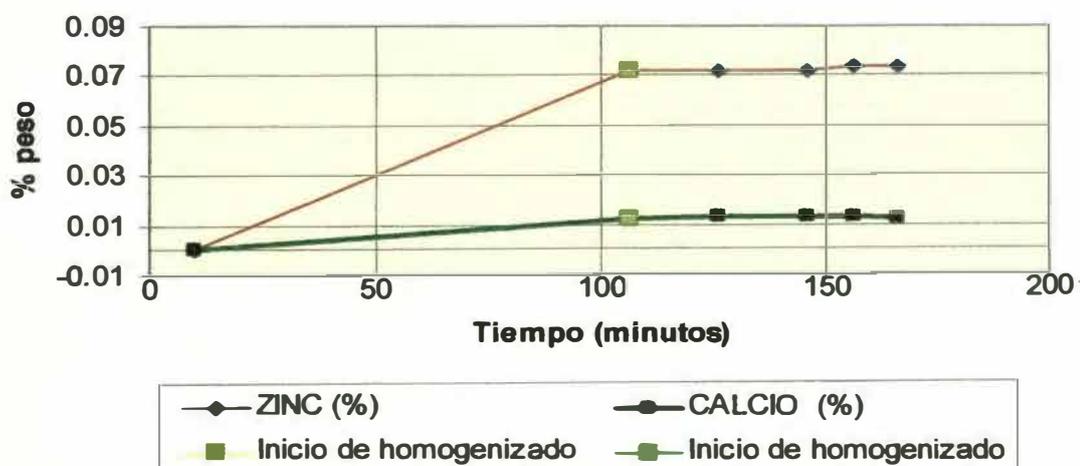
A continuación mostramos los datos de tiempos y viscosidades para la construcción de la grafica.

<b>Muestra</b>	<b>T (Min)</b>	<b>% Zn</b>	<b>% Ca</b>	<b>Viscosidad a 40 °C</b>	<b>Observaciones</b>
1	10	0.0000	0.0000	30.07	
2	30			30.15	
3	106	0.0126	0.0723	31.40	<b>Inicio de homogeniza do</b>
4	116			31.45	
5	126	0.0127	0.0723	31.40	<b>Mezcla homogénea</b>
6	136			31.51	
7	146	0.0129	0.0723	31.50	
8	156	0.0128	0.0739	31.51	
9	166	0.0120	0.0770	31.70	

### MOBIL DTE 24



### MOBIL DTE 24



### MOBIL DIESEL TURBO 25W50

Volumen : 69718 litros.

Tanque : M120

Especificaciones

Viscosidad a 40°C: 20.3 a 21.8 Cst.

Zinc (% peso) : 0.127 a 0.162

Magnesio (% peso): 0.130 a 0.166

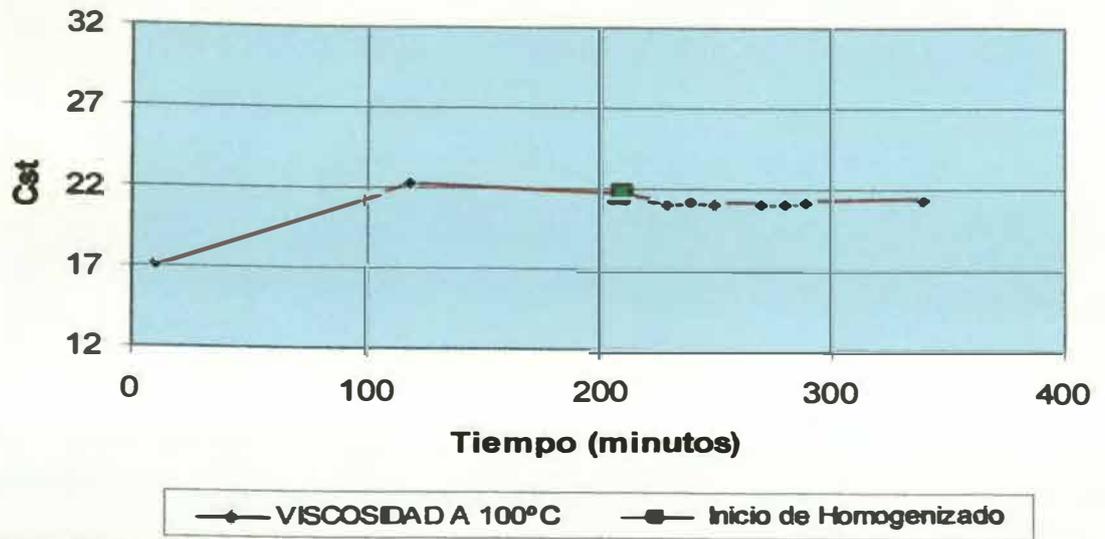
La presente mezcla se realizó haciendo uso de los siguientes mecanismos: vapor, recirculación y aire comprimido.

Se comenzó la mezcla a las 9:44, el inicio del tiempo de homogenización se realizó a las 15:00 y culminó a las 17:10 hora en la que se llevó la muestra al laboratorio. De lo que se deduce que el tiempo de homogenización fue de 130 minutos, pero la mezcla se encontraba homogénea a las 15:40 o sea a los 40 minutos, después del ingreso del último aditivo.

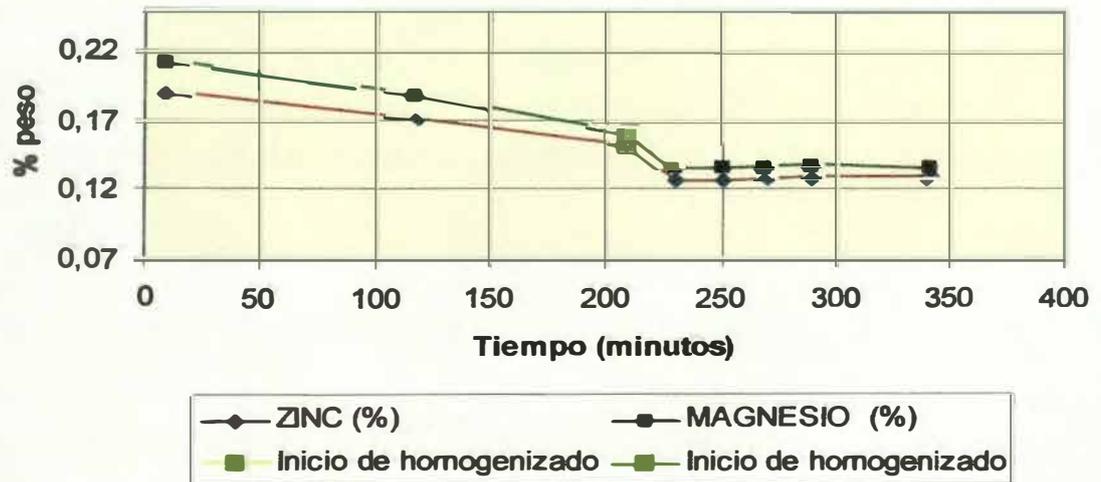
A continuación mostramos los datos de tiempos y viscosidades para la construcción de la grafica.

<b>Muestra</b>	<b>T(min)</b>	<b>% Zn</b>	<b>% Mg</b>	<b>Viscosidad a 100 °C</b>	<b>Observaciones</b>
1	10	0.1909	0.2121	17.11	
2	118	0.1716	0.1889	22.21	
<b>3</b>	<b>210</b>	<b>0.1520</b>	<b>0.1614</b>	<b>21.70</b>	<b>Inicio de Homogenizado</b>
4	230	0.1269	0.1354	21.18	
5	240			21.27	
<b>6</b>	<b>250</b>	<b>0.1266</b>	<b>0.1352</b>	<b>21.19</b>	<b>Mezcla homogénea</b>
7	270	0.1283	0.1368	21.25	
8	280			21.22	
9	290	0.1295	0.1378	21.35	
10	340	0.1400	0.1360	21.50	

### MOBIL DIESEL TURBO 25W50



### MOBIL DIESEL TURBO 25W50



**P/L PRESOL H 68**

Volume: 14789 litros.

Tanque : M3

Especificaciones

Viscosidad a 40°C: 63.20 a 72.8 Cst

Zinc (% peso) : 0.037 a 0.048

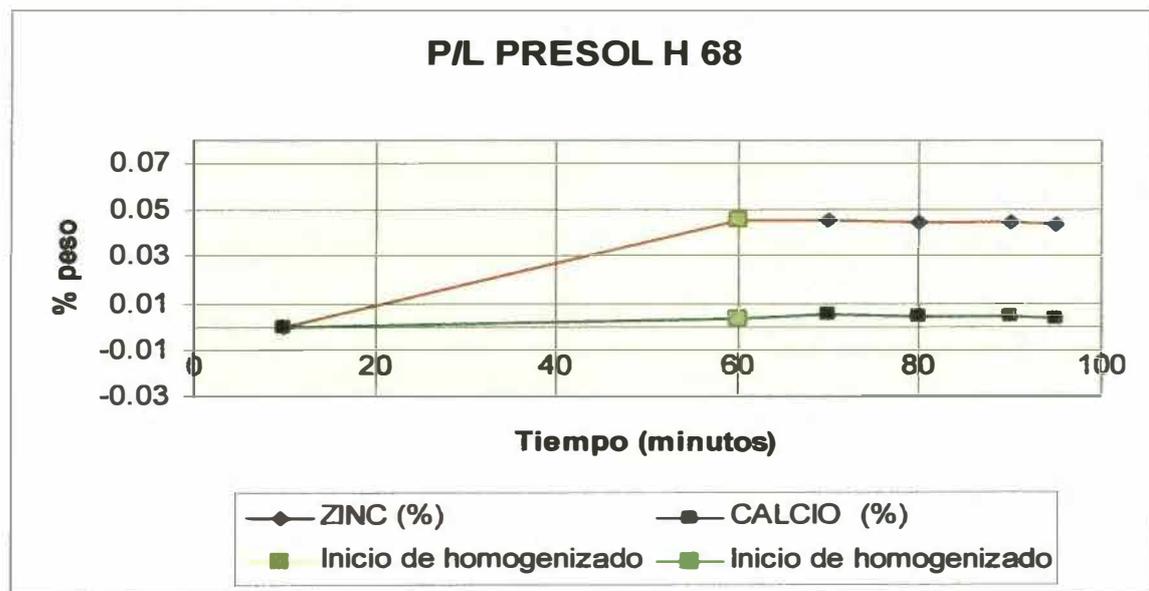
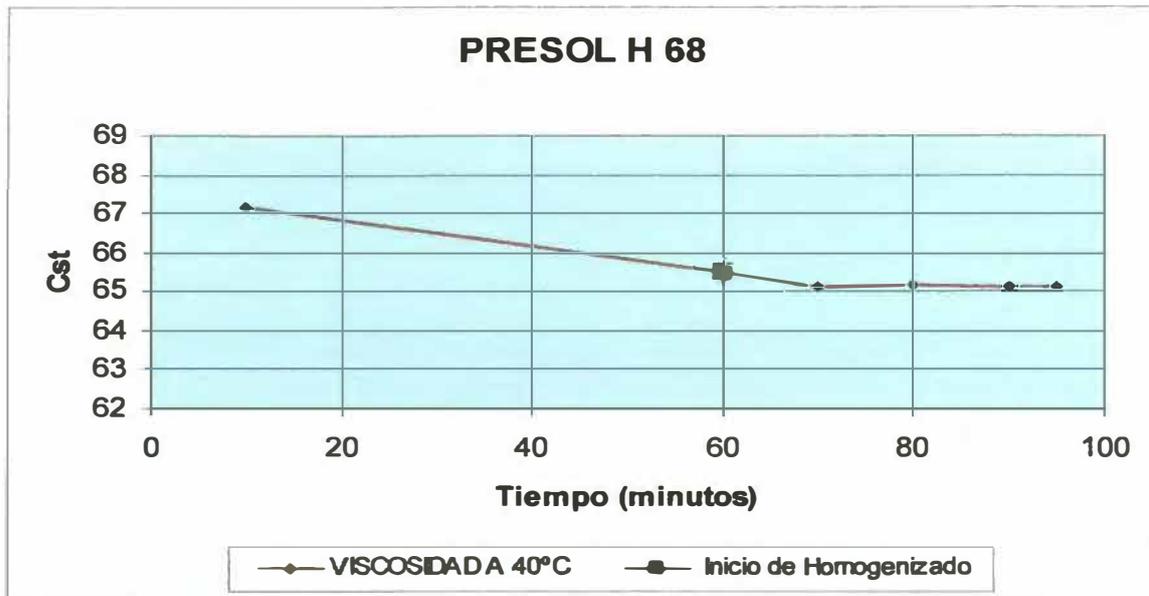
Calcio (% peso) : 0.0030 a 0.0075

La presente mezcla se realizó haciendo uso de los siguientes mecanismos: agitación y recirculación.

Se comenzó la mezcla a las 7:55 el inicio del tiempo de homogenización se realizó a las 9:35 y culminó a las 10:10 hora en la que se llevó la muestra al laboratorio. De lo que se deduce que el tiempo de homogenización fue de 30 minutos, pero la mezcla se encontraba homogénea a las 9:55 o sea a los 20 minutos, después del ingreso del último aditivo.

A continuación mostramos los datos de tiempos y viscosidades para la construcción de la grafica.

<b>Muestra</b>	<b>T (Min)</b>	<b>% Zn</b>	<b>% Ca</b>	<b>Viscosidad a 40 °C</b>	<b>Observaciones</b>
1	10	0.0000	0.0000	67.15	
2	60	0.0459	0.0033	65.49	<b>Inicio de homogenizado</b>
3	70	0.0453	0.0049	65.11	
4	80	0.0445	0.0046	65.15	<b>Mezcla homogénea</b>
5	90	0.0445	0.0044	65.11	
6	95	0.0420	0.0032	65.10	



#### **Análisis de costo de producción:**

Con los tiempos óptimos de homogenización en los diferentes mezcladores y las diferentes técnicas mecánicas mixtas ya sean:

1. Recirculación/Agitación/Vapor/Aire comprimido.
2. Recirculación/Vapor/Aire comprimido.
3. Agitación/Recirculación.

A continuación se hace un cálculo comparativo del costo de producción entre las técnicas mecánicas mixtas que se utilizan en el Perú y la técnica de mezclado por pulsación, en la actualidad es el procedimiento mayormente utilizado en las plantas productoras de aceites lubricantes minerales ya que esta técnica reduce el tiempo de homogenización elaborando un lote en 30 minutos o 1 hora aproximadamente, para ello tomaremos de referencia la fabricación del aceite de motor que es el de mayor demanda en nuestro país.

Volumen de producción: 52212 L

### **COSTO DE SERVICIOS INDUSTRIALES:**

**Costo de aire comprimido:** Para el costo de electricidad para un compresor de funcionamiento a plena carga se tomo como referencia la siguiente fórmula:

Operación a carga completa, uso de los siguientes datos:

Eficiencia del compresor = 90%.

Consumo del compresor = 75 kw

Costo de electricidad (S/ 0.4 kw/h)

Tiempo para la elaboración del lubricante de motor: 5h.

Cálculo estimado del costo de aire comprimido:

**Los costos de electricidad (S/./kwh)=** (Consumo del motor a plena carga) x (1/0.90) x (horas de funcionamiento) x (costo de electricidad en S / kwh)

Reemplazando se obtiene=S/166.67

**Costo de vapor (costo del combustible residual de la caldera):**

Precio del combustible residual 4000 Gls= S/15000= S/3.75 x Gl

Tiempo de consumo de vapor en la elaboración del lubricante: 5h

Consumo 230 Glsxdia=29 Glsxh= S/543.75

### **Consumo de la bomba de recirculación:**

Tiempo de funcionamiento: 8h.

Consumo =5.95 kw

Costo de electricidad (S/ 2.10 kw/h)

Costo del consumo de la bomba: S/99.96.

El costo total en servicios industrial para producir un lote de lubricante de 52212L es S/ 710.10

El cálculo para el sistema de homogenización a través de pulsaciones solo cambia en el tiempo ya que se reemplazaría el aire comprimido por el mecanismo pulsed este último se inyecta aire comprimido por una hora y se obtendría menor costo de producción.

## **7. CONCLUSIONES:**

-Para aquellos productos que son de Alta Aditivación, esto quiere decir que contienen una cantidad de aditivos mayor a la de los demás productos (más de cuatro aditivos), por lo que necesitan un tiempo mayor para alcanzar la homogenización, se procederá a darle un tiempo adicional de 40 minutos después del punto donde la mezcla comience a ser homogénea

-Para aquellos productos de Mediana Aditivación, esto quiere decir que contienen una cantidad de aditivos menor a la de los productos de alta aditivación, y que por ende el tiempo de homogenizado va a ser menor, se le dará un tiempo de homogenizado adicional de 30 minutos, de tal manera que:

-Se debe tener en cuenta que los tiempos de homogenización para cada producto, está íntimamente ligado con los siguientes factores: Mecanismos de agitación de los tanques, temperatura de homogenización, Volumen de mezcla, Grupo de compatibilidad de los productos. Por lo que estos variarán de acuerdo a la variación de estos factores.

-El uso de aire comprimido para tanque de mezcla no es recomendable, ya que demanda mucha cantidad de aire. Un método más eficiente para elaborar la mezcla es utilizando el aire de manera eficiente la tecnología de Pulsair que regula el aire comprimido para la eficacia de la mezcla máxima y a la vez ahorro en costos ya que reduce el tiempo de homogenización.

-El uso eficiente de energía, dará lugar a operaciones más eficiente y menores costos.

-Se recomienda reemplazar el aire comprimido por el sistema de homogenización a través de pulsaciones, para reducir el consumo de aire comprimido y energía en el

proceso ya que este último solo se inyectara aire por una hora y con esto se logra disminuir el costo de producción comparado con los mecanismos mixtos.

## **8. BIBLIOGRAFIA**

METCALF & EDDY, INGENIERIA DE AGUAS RESIDUALES VOLUMEN I.  
PAG. 243-250.

GAEL D. ULRICH. DISEÑO Y ECONOMIA DE LOS PROCESOS DE  
INGENIERIA QUIMICA. PAG. 191-199.

ERNEST E. LUDWIG, APLICACIÓN AL DISEÑO DE PROCESOS, PARA LAS  
PLANTAS QUIMICAS Y PETROQUIMICAS. VOLUMEN 3. PAG. 301-354.

STANLEY M. WALAS, EQUIPOS DE PROCESOS QUIMICOS SELECCIÓN Y  
DISEÑO. PAG. 287-292.

WARREN L.MC CABE-JULIAN C.SMITH- PETER HARRIOTT,  
OPERACIONES UNITARIAS EN INGENIERIA QUIMICA, CUARTA  
EDICION. PAG. 259-287.

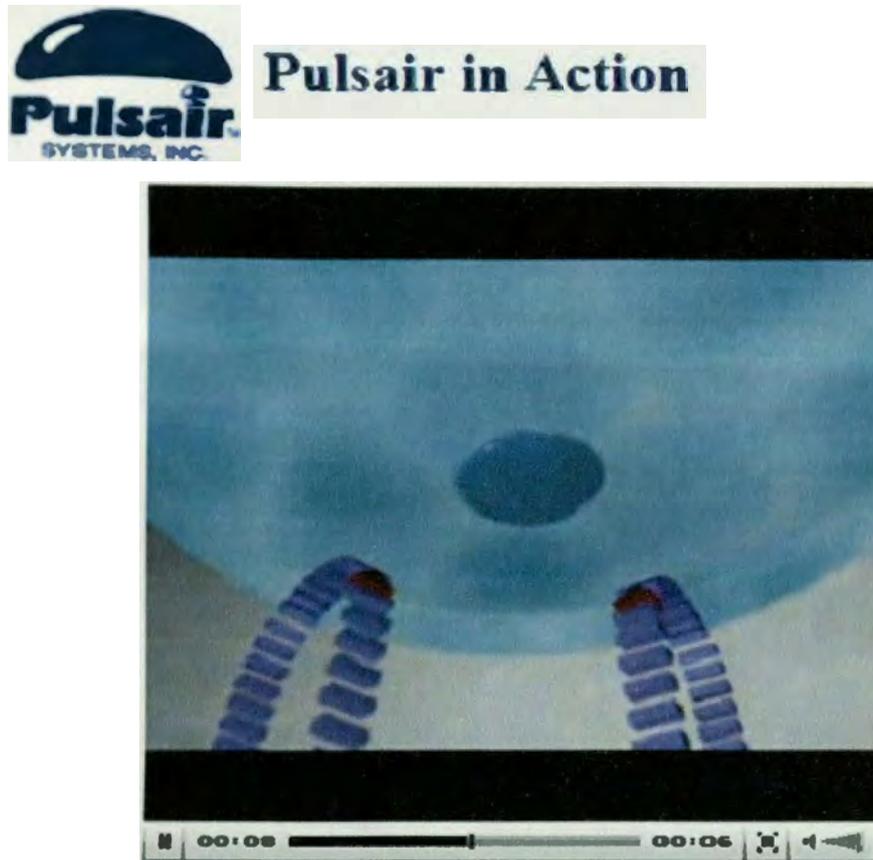
GEANKOPLIS C.J. PROCESOS DE TRANPORTE Y OPERACIONES  
UNITARIAS. TERCERA EDICION, PAG.161-172.

**APENDICE:**

**Tabla 1. Selección del agitador:**

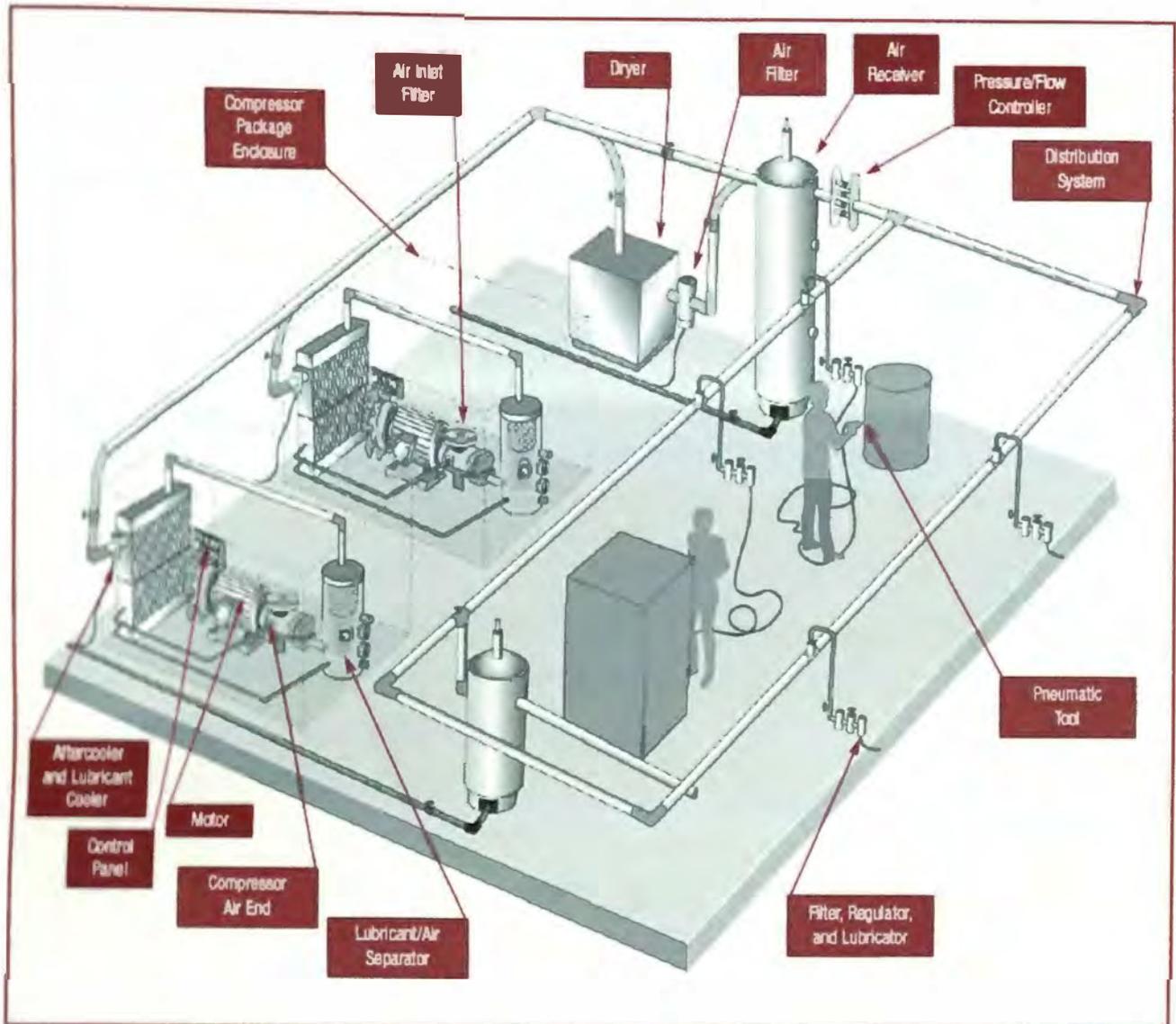
<b>Magnitud del problema de agitación</b>	<b>Realizar pruebas a pequeña escala</b>	<p style="text-align: center;">↓</p> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; text-align: center;">Diseño de equipos de prueba para procesar el modelo</div> <p style="text-align: center;">↓</p> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; text-align: center;">Operar el equipo para solicitar resultados del proceso</div> <p style="text-align: center;">↓</p> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; text-align: center;">Medir la velocidad del agitador</div>
	<b>Ampliar el equipo</b>	<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; text-align: center;">Similitud geométrica para los equipos a gran escala</div> <p style="text-align: center;">↓</p> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; text-align: center;">Relación de escala Determinar diámetro del impulsor</div>
	<b>Ampliar las condiciones dinámicas</b>	<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; text-align: center;">Ampliar exponente Calcular velocidad del agitador</div> <p style="text-align: center;">↓</p> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; text-align: center;">Anotar los caballos de fuerza (potencia)</div>
<b>Selección de equipo</b>	<b>Selecione equipos industriales estándar</b>	<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; text-align: center;">Selecciones estándar para potencia/velocidad</div> <p style="text-align: center;">↓</p> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; text-align: center;">Impulsor para selección estándar</div>
	<b>Diseño del eje y garantía</b>	<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; text-align: center;">Diseño del eje</div> <p style="text-align: center;">↓</p> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; text-align: center;">Diseño de garantía</div>
<b>Evaluación económica</b>		<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; text-align: center;">Estimación de costo</div> <p style="text-align: center;">↓</p> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; text-align: center;">Optimización</div>

**figura 1.** Esquema de simulación de las burbujas del sistema pulsed.



**uente:** <http://www.pulsair.com/lubricants-fuel>

**Figura 2.** Típica distribución de aire comprimido en una planta de lubricantes



**Fuente:** ExxonMobil L&S/ Standards of Environmental Care.

**Filtro de aire de entrada:** Elimina las partículas del aire que entra en el compresor.

**Compresor de aire de finalización:** comprime el aire a un pequeño volumen.

**Panel de Control:** Dirige la salida del compresor. Puede ser un microprocesador, electromecánicos y basados en la neumática

**Unidad de refrigerador y Cooler lubricante:** Compresión deja el aire caliente y húmedo. El refrigerador posterior baja la temperatura del aire que sale del compresor y elimina el agua que se condensa en el aire.

**Separador aire/Lubricante:** Elimina líquidos en el aire comprimido.

**Receptor de aire:** Almacena una gran reserva de aire comprimido para mantener una buena circulación de la planta.

**Filtro de aire:** Elimina los sólidos y líquidos de la corriente de aire comprimido.

**Secadora:** Ayuda a eliminar cualquier resto de humedad en el aire comprimido utilizando un condensador refrigerado o un desecante.

**Trampa de condensados (no se muestra porque es de pequeño tamaño):**

Colecciona el líquido que se condensa. Esta es una parte integral de los post-enfriadores, secadores y los separadores.

**Controladores de presión / Flujo:** Este dispositivo controla la presión y el flujo de aire comprimido que sale de la caldera. Este dispositivo se establece normalmente sobre la base de las demandas de aire comprimido de la instalación.

**Sistema de Distribución:** Enlaces de los componentes. Se distribuye el aire de un colector principal en rama líneas y sub-encabezados.

**Filtro Regulador y Lubricador:** Este dispositivo de filtros y controles de presión de aire y el flujo a lo largo de las cabeceras de distribución de sucursales y en los puntos individuales de uso. También se utiliza para detectar visualmente y eliminar la humedad de la línea de aire.

**Compresor Paquete incluido:** Este es el cuadro de gabinete que se incluye en un compresor de aire típico envasados. Ayuda a proteger internos del compresor de la suciedad y las partículas y también proporciona un cierto nivel de reducción de ruido.