

**UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA DE SANTA ELENA**



**FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA  
ESCUELA DE INGENIERÍA EN PETRÓLEO**

**TEMA**

**“OPTIMIZACIÓN DEL SISTEMA DE CIRCULACIÓN DE FUEL  
OIL EN LOS TANQUES DE ALMACENAMIENTO DE LA  
PLANTA CAUTIVO MEDIANTE EL USO DE  
AGITADORES DE HOMOGENIZACIÓN”**

**TESIS DE GRADO**

Previo a la obtención del Título de:

**INGENIERO EN PETRÓLEO**

**AUTOR: MAYRA PAMELA QUINTERO MURILLO**

**TUTOR: ING. FAUSTO CARVAJAL ORRALA**

**LA LIBERTAD – ECUADOR**

**2014**

**UNIVERSIDAD ESTATAL  
PENÍNSULA DE SANTA ELENA**

FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA  
ESCUELA DE INGENIERÍA EN PETRÓLEO.  
CARRERA DE INGENIERÍA EN PETRÓLEO

“OPTIMIZACIÓN DEL SISTEMA DE CIRCULACIÓN DE FUEL  
OIL EN LOS TANQUES DE ALMACENAMIENTO DE LA  
PLANTA CAUTIVO MEDIANTE EL USO DE  
AGITADORES DE HOMOGENIZACIÓN”

**TESIS DE GRADO**

Previa a la obtención del Título de:

**INGENIERO EN PETRÓLEO**

**AUTOR:** MAYRA PAMELA QUINTERO MURILLO  
**TUTOR:** INGENIERO FAUSTO CARVAJAL ORRALA

LA LIBERTAD – ECUADOR

2013-2014

**La Libertad, 30 de Enero del 2014**

### **APROBACIÓN DEL TUTOR**

En mi calidad de Tutor del trabajo de investigación, “**OPTIMIZACIÓN DEL SISTEMA DE CIRCULACIÓN DE FUEL OIL EN LOS TANQUES DE ALMACENAMIENTO DE LA PLANTA CAUTIVO MEDIANTE EL USO DE AGITADORES DE HOMOGENIZACIÓN**” elaborado por la Srta. Mayra Pamela Quintero Murillo egresada de la carrera de Ingeniería en Petróleo, Escuela de Ingeniería en Petróleo, Facultad Ciencias de la Ingeniería de la Universidad Estatal Península de Santa Elena, previo a la obtención del Título de Ingeniera en Petróleo, me permito declarar que luego de haber orientado, estudiado y revisado, la Apruebo en todas sus partes.

**Atentamente**

---

**Ing. Fausto Carvajal Orrala**  
**TUTOR**



## **DECLARACIÓN**

Yo, Mayra Pamela Quintero Murillo, declaro bajo juramento que el trabajo descrito es de mi autoría; que no ha sido previamente presentada para ningún grado o calificación profesional; y que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

A través de la presente declaración cedo mis derechos de propiedad intelectual correspondiente a este trabajo, a la Universidad Estatal Península de Santa Elena, según lo establecido por la ley de Propiedad intelectual, por su reglamento y por la normativa institucional vigente.

Mayra Pamela Quintero Murillo

## **AGRADECIMIENTO**

A DIOS POR DARMÉ LA SABIDURÍA, Y FUERZA PARA CULMINAR CON ESTA ETAPA ACADÉMICA.

AL ING. FAUSTO CARVAJAL POR SU APOYO TIEMPO Y DEDICACIÓN EN LA ASESORÍA PARA LA CULMINACIÓN DE LA TESIS.

A REFINERÍA LA LIBERTAD, EN ESPECIAL AL ING. LUIS PONCE M., POR LA COLABORACIÓN BRINDADO PARA EL DESARROLLO DE MI PROYECTO DE TESIS

AGRADEZCO TAMBIÉN A CADA UNA DE LAS PERSONAS ESPECIALES EN MI VIDA QUE ME BRINDARON SU COOPERACIÓN, CONSEJOS Y AYUDA DESINTERESADA EN EL TRANSCURSO DE MI CARRERA ACADÉMICA

PAMELA

## **DEDICATORIA**

EL PRESENTE DOCUMENTO ESTÁ DEDICADO A MI HIJA ALDANA, QUIEN HA SIDO MI PRINCIPAL INSPIRACIÓN PARA LUCHAR Y DARLE SENTIDO A MI VIDA. A MI PADRES NIVIA Y PEDRO, PILARES FUNDAMENTALES, QUIENES CON SU ESFUERZO Y DEDICACIÓN ME HAN INCULCADO LA IMPORTANCIA DE ESTUDIAR Y SALIR A DELANTE.

PAMELA

## **TRIBUNAL DE GRADO**

---

Ing. Ramón Muñoz Suárez  
**DECANO DE LA FACULTAD DE  
CIENCIAS DE LA INGENIERÍA**

---

Ing. Alamir Álvarez Loor  
**DIRECTOR DE LA ESCUELA DE  
INGENIERÍA EN PETRÓLEO**

---

Ing. Fausto Carvajal Orrala  
**TUTOR**

---

Ing. Raúl Morgner Mangold  
**PROFESOR DE ÁREA**

---

Abg. Milton Zambrano Coronado, MSc.  
**SECRETARIO GENERAL - PROCURADOR**



## **ÍNDICE GENERAL**

<i>APROBACIÓN DEL TUTOR</i>	<i>III</i>
<i>CERTIFICADO DE GRAMATÓLOGO</i>	<i>IV</i>
<i>DECLARACIÓN</i>	<i>V</i>
<i>AGRADECIMIENTO</i>	<i>VI</i>
<i>DEDICATORIA</i>	<i>VII</i>
<i>TRIBUNAL DE GRADO</i>	<i>VIII</i>
<i>INDICE GENERAL</i>	<i>IX</i>
<i>INDICE DE FIGURAS</i>	<i>XV</i>
<i>INDICE DE TABLAS</i>	<i>XVII</i>
<i>INDICE DE GRÁFICOS</i>	<i>XVIII</i>
<i>RESUMEN</i>	<i>XIX</i>
<b><i>CAPÍTULO I</i></b>	<b><i>1</i></b>
<b><i>INTRODUCCIÓN O ANTECEDENTES</i></b>	<b><i>1</i></b>
<i>1.1 ANTECEDENTES</i>	<i>1</i>
<i>1.2 JUSTIFICACIÓN</i>	<i>2</i>
<i>1.3 OBJETIVOS</i>	<i>2</i>
<i>1.3.1 OBJETIVO GENERAL</i>	<i>2</i>
<i>1.3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS</i>	<i>2</i>
<i>1.4 HIPÓTESIS</i>	<i>3</i>
<i>1.5 VARIABLES</i>	<i>3</i>
<i>1.6 METODOLOGÍA</i>	<i>4</i>
<b><i>CAPÍTULO II</i></b>	<b><i>5</i></b>
<b><i>FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA</i></b>	<b><i>5</i></b>
<i>2.1 HOMOGENIZACIÓN</i>	<i>5</i>
<i>2.1.1 FACTORES QUE AFECTAN LA HOMOGENIZACIÓN</i>	<i>5</i>
<i>2.1.1.1 TEMPERATURA</i>	<i>5</i>
<i>2.1.1.2 PRESIÓN</i>	<i>6</i>
<i>2.2 AGITACIÓN</i>	<i>7</i>
<i>2.2.1 IMPORTANCIA DE LA AGITACIÓN</i>	<i>7</i>
<i>2.3 SISTEMAS DE AGITACIÓN.</i>	<i>8</i>

2.3.1	TIPOS DE AGITADORES	9
2.3.1.1.	AGITADOR HIDRAULICO	9
2.3.1.2.	AGITADOR MECÁNICO	9
2.3.1.3	AGITADOR NEUMÁTICO	10
2.3.2.	IMPULSORES ROTATORIOS	10
2.3.3	SISTEMA DE CIRCULACIÓN POR BOMBEO	10
2.3.4	AGITADORES ROTATORIOS	10
2.3.4.1	CLASIFICACIÓN DE LOS AGITADORES ROTATORIOS	11
2.3.4.1.1.	AGITADORES DE FLUJO AXIAL	11
2.3.4.1.2	AGITADORES DE FLUJO RADIAL	11
2.3.5.	CLASIFICACIÓN DEL AGITADOR POR SU FORMA Y VELOCIDAD	12
2.3.5.1.	AGITADORES DE HELICE	12
2.3.5.1.1.	HÉLICE DE ENTRADA SUPERIOR	13
2.3.5.1.2.	HÉLICE DE ENTRADA LATERAL	13
2.3.5.2.	AGITADORES DE PALETAS	14
2.3.5.3.	AGITADORES DE TURBINA	15
2.3.5.4.	AGITADORES DE DISCO	19
2.3.5.5.	AGITADORES DE PASO CERRADO	19
2.3.5.6.	AGITADORES DE ANCLA	20
2.3.5.7.	AGITADORES HELICOIDALES	20
2.3.5.8.	AGITADORES METALICOS (HIDROFOIL)	21
2.4.	TRAYECTORIA DEL FLUJO EN LA AGITACIÓN	22
2.5.	TANQUES DE AGITACIÓN	22
2.5.1.	CLASIFICACIÓN DE TANQUES DE AGITACIÓN	23
2.5.1.1.	TANQUES SIN DEFLECTORES	23
2.5.1.2.	TANQUES CON DEFLECTORES	24
2.5.2.	DEFLECTORES	25
2.5.3.	INSTALACIÓN DE LOS IMPULSORES EN LOS TANQUES DE AGITACIÓN	26
<b>CAPÍTULO III</b>		<b>27</b>
<b>TANQUES DE ALMACENAMIENTO</b>		<b>27</b>
3.1	INTRODUCCIÓN	27
3.2	TANQUES DE ALMACENAMIENTO	27
3.2.1.	CONSTRUCCIÓN DE TANQUES DE ALMACENAMIENTO	28
3.2.1.1.	CONSIDERACIONES TÉCNICAS	28
3.2.1.2.	NORMAS PARA CÁLCULO, DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN	28

3.2.1.3. <i>CONDICIONES CLIMATICAS</i>	30
3.2.1.4. <i>PRUEBAS</i>	30
3.2.2. <i>CALCULO ESTRUCTURAL DE TANQUES DE ALMACENAMIENTO</i>	30
3.2.3. <i>TEORÍA MENBRANAL PARA EL CÁLCULO DE ESFUERZOS EN TANQUE</i>	32
3.2.4. <i>CÁLCULOS DE PLACAS</i>	33
3.2.5. <i>DISEÑO DE LA SOLDADURA</i>	35
3.2.5.1. <i>MATERIALES BASE</i>	35
3.2.6. <i>DISEÑO DE TANQUES</i>	37
3.3 <i>CLASIFICACIÓN DE LOS TANQUES DE ALMACENAMIENTO EN FUNCIÓN DE LA PRESIÓN</i>	38
3.4 <i>TANQUES ESFÉRICOS</i>	39
3.4.1 <i>CONSTRUCCIÓN DE TANQUES ESFÉRICOS</i>	39
3.4.2 <i>DISEÑO FABRICACIÓN Y MONTAJE DE TANQUES ESFERICOS</i>	40
3.4.2.1. <i>DISEÑO ESTRUCTURAL</i>	40
3.4.2.2. <i>DISEÑO DE LA TORRE</i>	41
3.5 <i>ACCESORIOS DE LOS TANQUES DE ALMACENAMIENTO</i>	42
3.6 <i>TIPOS DE TANQUES.</i>	45
3.7 <i>ALMACENAMIENTO Y PRODUCTOS A ALMACENARSE</i>	46
3.7.1 <i>ALMACENAMIENTO A TEMPERATURA AMBIENTE O CALENTADAS</i>	46
3.7.2 <i>ALMACENAMIENTO BAJO PRESION A TEMPERATURA AMBIENTE</i>	47
3.7.3 <i>ALMACENAMIENTO MEDIO REFRIGERADO A 0°C</i>	47
3.7.4 <i>ALMACENAMIENTO REFRIGERADO AL PUNTO NORMAL DE EBULLICION (PNE) HASTA TEMPERATURA DE - 60°C</i>	48
3.7.5 <i>ALMACENAJE CRIOGÉNICO DE PNE HASTA TEMPERATURA DE -200°C</i>	48
3.8 <i>TANQUES DE TECHO FIJO.</i>	49
3.9 <i>TANQUE DE TECHO FLOTANTE</i>	49
3.10 <i>ESPESORES PARA TECHO</i>	50
3.10.1 <i>PROCESOS DE FABRICACIÓN</i>	50
3.11 <i>DESCRIPCIÓN DE LOS TANQUES DE REFINERÍA LA LIBERTAD</i>	51
3.11.1 <i>DESCRIPCIÓN DE LOS TANQUES DE ALMACENAMIENTO DE FUEL OIL</i>	51
3.11.1.1 <i>CAPACIDAD DE ALMACENAMIENTO</i>	51
3.11.1.2. <i>DIMENSIONES DE TANQUES</i>	52
3.11.1.3. <i>PROTECCIÓN CONTRA INCENDIOS</i>	53
3.12 <i>PROCESO DE ALMACENAMIENTO: UNIDADES DE DESTILACION PRIMARIA.</i>	53
3.13 <i>COMBUSTIBLES LÍQUIDOS DERIVADOS DE PETRÓLEO</i>	53
3.13.1 <i>ESPECIFICACIONES.</i>	55
3.13.2 <i>CONSIDERACIONES COMERCIALES</i>	59

3.14 FUEL OIL EN PLANTA PARSON Y UNIVERSAL	59
3.15 ANÁLISIS DE CALIDAD DEL FUEL OIL	62
3.15.1 DENSIDAD API	62
3.15.2 CONTENIDO DE AGUA Y SEDIMENTOS	62
3.15.3 VISCOSIDAD	63
3.15.4 VOLATILIDAD	64
3.15.5 PUNTO DE INFLAMACIÓN	64
3.15.6 CONTENIDO DE AZUFRE	64
<b>CAPÍTULO IV</b>	<b>66</b>
<b>DISEÑO DEL SISTEMA DE AGITADORES.</b>	<b>66</b>
4.1 PLANTA CAUTIVO.	66
4.1.1 DESCRIPCIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO.	66
4.2 DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA DE CIRCULACIÓN ACTUAL	71
4.2.1 TUBERÍAS DE CIRCULACIÓN Y CARGA	72
4.2.2 CONJUNTO VÁLVULAS (MANIFOLD)	74
4.2.2.1 VÁLVULAS DE CONTROL	75
4.2.2.1.1 PARTES DE LA VÁLVULA DE CONTROL	75
4.2.3 CATEGORÍAS DE VÁLVULAS.	76
4.2.4 VÁLVULAS DE COMPUERTA.	77
4.2.4.1 ECOMENDADA PARA:	78
4.2.4.2 APLICACIONES	78
4.2.4.3 VENTAJAS	78
4.2.4.4 DESVENTAJAS	79
4.2.4.5 VARIANTES DE VÁLVULAS SEGÚN SU APLICACIÓN	79
4.2.5 BOMBAS DE CIRCULACIÓN	79
4.2.5.1 DESCRIPCIÓN DE BOMBAS DE ESTACIÓN #3	82
4.2.5.2 ESTIMACIÓN DE COSTOS	84
4.2.5.3 TAMAÑO Y COSTOS DEL MOTOR ELÉCTRICO	85
4.2.5.4 CONSUMO DE POTENCIA	86
4.3 DESCRIPCIÓN DE SISTEMA DE CIRCULACIÓN PROPUESTO	87
4.3.1 OPTIMIZACIÓN DEL PROCESO	88
4.3.2 DISEÑO DEL SISTEMA DE AGITADORES	88
4.3.3 SELECCIÓN DE TIPOS DE AGITADORES.	91
4.3.4 UBICACIÓN DEL AGITADOR	93
4.3.5 POTENCIA DE AGITADORES.	94
4.3.5.1 CÁLCULOS DE POTENCIA	94

4.3.6 VELOCIDAD DE AGITADORES.	98
4.3.7 CÁLCULOS DE TIEMPO DE MEZCLA	98
4.3.7.1 MEZCLA DE FLUIDO	98
4.4 ANÁLISIS COMPARATIVO DEL PROYECTO	102
<b>CAPÍTULO V</b>	<b>107</b>
<b>ANÁLISIS COSTO - BENEFICIO</b>	<b>107</b>
5.1 ANÁLISIS COSTO-BENEFICIO	107
5.2 CONSUMO DE POTENCIA DE LA BOMBA PARA LOS TANQUES DE FUEL OIL DE PLANTA CAUTIVO (KW)	107
5.3 CONSUMO ENERGÉTICO DE BOMBAS - AÑO 2013 (KW)	111
5.4 COSTOS DEL CONSUMO ENERGÉTICO DE BOMBAS - AÑO 2013 (\$)	115
5.5 ESTIMACIÓN DEL CONSUMO ENERGÉTICO DE POTENCIA DEL AGITADOR (KW) UTILIZANDO COMO REFERENCIA EL USO DE BOMBAS – AÑO 2013.	120
5.6 CONSUMO ENERGÉTICO DEL AGITADOR, REFERENCIAL USO DE BOMBAS (KW)	120
5.7 COSTOS DEL CONSUMO ENERGÉTICO DEL MOTOR DEL AGITADOR (\$), REFERENCIAL AL USO DE BOMBAS – AÑO 2013	125
5.8 CÁLCULO DE HORAS CONSUMIDAS POR LAS BOMBAS	130
5.9 CÁLCULO DE HORAS CONSUMIDAS POR EL AGITADOR, REFERENCIAL AL USO DE BOMBAS	130
5.10 GASTOS TOTALES PARA LA COMERCIALIZACIÓN DE FUEL OIL (BOMBAS)	132
5.11 COSTOS TOTALES POR CARGAMENTO DE FUEL OIL #4 CON BOMBAS	132
5.12 GASTOS TOTALES PARA LA COMERCIALIZACIÓN DE FUEL OIL CON EL USO DE AGITADOR (REFERENCIAL AL USO DE BOMBAS - AÑO 2013 )	132
5.13 COSTOS TOTALES POR CARGAMENTO DE FUEL OIL # 4 CON EL USO DE AGITADOR (REFERENCIAL AL USO DE BOMBAS - AÑO 2013)	133
5.14 COMPARACIÓN DE COSTOS (BOMBAS - AGITADOR)	133
<b>CAPÍTULO VI</b>	<b>135</b>
<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES</b>	<b>135</b>
6.1 CONCLUSIONES	135
6.2 RECOMENDACIONES	136
BIBLIOGRAFÍA	137

<b><i>ANEXOS</i></b>	<b><i>139</i></b>
<i>ANEXO #1</i>	<i>140</i>
<i>ANEXO #2</i>	<i>144</i>
<i>ANEXO #3</i>	<i>147</i>
<i>ANEXO #4</i>	<i>148</i>
<i>ANEXO #5</i>	<i>149</i>
<i>ANEXO #6</i>	<i>150</i>
<i>ANEXO #7</i>	<i>151</i>
<i>ANEXO #8</i>	<i>153</i>
<i>ANEXO #9</i>	<i>157</i>
<i>ANEXO #10</i>	<i>158</i>
<i>ANEXO #11</i>	<i>167</i>

## ÍNDICE DE FIGURAS:

<i>Figura 1. Relación entre presiones</i>	6
<i>Figura 2. Agitador de hélice</i>	12
<i>Figura 3. Agitador de entrada lateral</i>	14
<i>Figura 4. Agitador de paleta</i>	15
<i>Figura 5. Prevención de formación de vórtices</i>	16
<i>Figura 6. Dimensiones de una turbina de disco de aspas planas</i>	17
<i>Figura 7. Agitador de turbina con aspas inclinadas</i>	18
<i>Figura 8. Agitador de disco</i>	19
<i>Figura 9. Agitador de ancla</i>	20
<i>Figura 10. Agitador helicoidal</i>	21
<i>Figura 11. Trayectoria del flujo</i>	22
<i>Figura 12. Patrón usual de flujo en un recipiente sin deflectores</i>	24
<i>Figura 13. Patrón de flujo radial en un recipiente con deflectores</i>	24
<i>Figura 14. Prevención de vórtices</i>	25
<i>Figura 15. Tanque de almacenamiento vertical</i>	30
<i>Figura 16. Bóvedas</i>	31
<i>Figura 17. Esfuerzos radiales</i>	32
<i>Figura 18. Cálculo de placa</i>	33
<i>Figura 19. Área transversal de placa</i>	34
<i>Figura 20. Espesor de la plancha incluyendo sobre-espesor para contrarrestar el desgaste por erosión (pulgadas)</i>	36
<i>Figura 21. Espesor de la plancha</i>	38
<i>Figura 22. Modelos de esferas para almacenamiento de acuerdo a las normas ASTM</i>	40
<i>Figura 23. Tanques de almacenamiento esféricos</i>	41
<i>Figura 24. Válvula de presión tanque 72</i>	45
<i>Figura 25. Calor de combustión de combustibles de petróleo.</i>	58
<i>Figura 26 Diagrama de almacenamiento de Fuel Oil Planta Parsons</i>	60
<i>Figura 27 Diagrama de almacenamiento de Fuel Oil Planta Universal</i>	61
<i>Figura 28. Vista aérea de Planta Cautivo</i>	66
<i>Figura 29. Planta Cautivo</i>	67
<i>Figura 30. Diagrama proceso de almacenamiento del Fuel Oil "Planta Cautivo"</i>	70
<i>Figura 31. Expansión brusca</i>	73
<i>Figura 32. Contracción brusca</i>	73
<i>Figura 33. Expansión gradual</i>	73
<i>Figura 34. Expansión progresiva</i>	73
<i>Figura 35. Válvulas de compuerta en estación #3</i>	74
<i>Figura 36. Actuador de una válvula de control</i>	76
<i>Figura 37. Válvula de compuerta</i>	77
<i>Figura 38. Detalle del impulsor de una bomba centrífuga</i>	80
<i>Figura 39. Bomba de la estación # 3</i>	82
<i>Figura 40. Motor de la bomba estación # 3</i>	83
<i>Figura 41. Rango de Viscosidades de acuerdo al tipo de agitador</i>	89
<i>Figura 42. Agitador con dimensiones típicas</i>	93
<i>Figura 43. Número de potencia adimensional en tanques de mezcla.</i>	95

<i>Figura 44. Correlación de potencia de los impulsores</i>	95
<i>Figura 45. Diagrama comparativo (proceso actual)</i>	105
<i>Figura 46. Diagrama comparativo (proceso propuesto)</i>	106



## ÍNDICE DE TABLAS:

<i>Tabla 1. Sistema de clasificación para procesos de mezclado</i>	8
<i>Tabla 2. Clasificación de los Tanques de acuerdo a presión de vapor</i>	39
<i>Tabla 3. Propiedades físicas y químicas de los coques de alta temperatura que se usan en los Estados Unidos de América</i>	54
<i>Tabla 4. Especificaciones de Fuel Oil de acuerdo a las normas ASTM</i>	56
<i>Tabla 5. Análisis elemental de combustibles de petróleo típicos</i>	57
<i>Tabla 6. Requisitos del Fuel Oil Liviano # 4</i>	65
<i>Tabla 7. Datos técnicos y características de tanques de almacenaje de “Planta Cautivo”</i>	69
<i>Tabla 8. Descripción de la bomba de la estación # 3</i>	82
<i>Tabla 9. Descripción del motor</i>	83
<i>Tabla 10. Factores de costo de materiales de construcción.</i>	85
<i>Tabla 11. Correlaciones del costo de las bombas centrífugas</i>	86
<i>Tabla 12. Datos técnicos tanque 71</i>	96
<i>Tabla 13. Datos de Diseño</i>	100
<i>Tabla 14. Datos generales recomendados</i>	100
<i>Tabla 15. Cálculo de tiempo de mezcla a potencia requerida para un agitador</i>	101
<i>Tabla 16. Número de cargamento a buque-tanquero mensual por tanque</i>	111
<i>Tabla 17. Cálculos del consumo de las bombas de Planta Cautivo en (KW)</i>	113
<i>Tabla 18. Consumo energético de la bomba - año 2013 (KW)</i>	114
<i>Tabla 19. Cálculo del consumo de las bombas de Planta Cautivo en (\$)</i>	116
<i>Tabla 20. Consumo energético de bombas – año 2013 (\$)</i>	117
<i>Tabla 21. Consumo energético anual de bombas (Kw - \$)</i>	119
<i>Tabla 22. Número de recirculaciones mensual por tanque</i>	120
<i>Tabla 23. Cálculo del Consumo energético anual de agitador (KW), referenciado uso de bombas</i>	122
<i>Tabla 24. Consumo energético anual del agitador (KW ), referencial al uso de bombas</i>	123
<i>Tabla 25. Cálculo del consumo energético anual de agitador (\$), referencial al uso de bombas</i>	126
<i>Tabla 26. Consumo energético anual del agitador referencial al uso de bombas.</i>	127
<i>Tabla 27. Consumo energético anual del agitador en (KW - \$), referencial al uso de bombas</i>	128
<i>Tabla 28. Comparación del consumo de horas entre las bombas y el agitador (referencial al uso de bombas).</i>	131

## INDICE DE GRÁFICOS:

<i>Gráfico 1. Consumo energético de bombas por cada recirculación (Planta Cautivo)</i>	110
<i>Gráfico 2. Consumo económico anual de bombas – año 2013 (KW)</i>	115
<i>Gráfico 3. Consumo energético anual de bombas – año 2013 (\$)</i>	118
<i>Gráfico 4. Consumo energético del agitador – año 2013 (KW)</i>	124
<i>Gráfico 5. Consumo energético del agitador - año 2013 (KW)</i>	127
<i>Gráfico 6. Comparación del consumo energético entre la bomba y el agitador</i>	129
<i>Gráfico 7.- Comparación de costos para comercialización de Fuel Oil # 4 (Bombas - Agitador) año 2013</i>	134

## **RESUMEN**

El propósito de este proyecto investigativo es desarrollar un sistema óptimo de circulación en donde el principal objetivo es obtener un producto, en este caso Fuel Oil #4, indicado para la comercialización, realizando ahorros en función del tiempo, lo que conllevaría a los subsiguientes ahorros como son los energéticos y económicos. En base a esto EP Petroecuador manejaría el despacho del producto de manera fácil y rápida.

Las causas se presentan cuando el proceso de homogenización, previo despacho del Fuel Oil #4, demandan tiempo excesivo para recircular el producto y cumplir con las especificaciones exigidas por la normativa INEN, de la misma manera, el consumo energético correspondiente empleado por las bombas de circulación, y a esto se le agrega la inconformidad de los usuarios (buques-tanqueros) por el tiempo de espera por despacho. Por lo tanto es evidente la necesidad de implementar un sistema de circulación que minimice estos inconvenientes.

Para reducir el tiempo de homogenización se propone el uso de agitadores de flujo axial de entrada lateral, los mismos que en base al estudio previo realizado, son los equipos idóneos para reducir costos directos e indirectos que se aplicaría en este proceso.

Para la demostración de la rentabilidad del proyecto se mostrará un análisis comparativo mediante datos estadísticos, demostrando la factibilidad del mismo, obteniendo como conclusión, que al aplicar esta alternativa se garantizará ahorros en costos y por consiguiente beneficios económicos.

## **CAPÍTULO I**

### **INTRODUCCIÓN O ANTECEDENTES**

#### **1.1 ANTECEDENTES**

La Empresa Pública de Hidrocarburos del Ecuador EP PETROECUADOR con su filial Refinería La Libertad, ubicada en la Península de Santa Elena, produce derivados de petróleo. En las operaciones de destilación atmosférica se obtiene como residuo final Fuel Oil #4 aunque con otros procesos adicionales (destilación al vacío), podría convertirse en productos livianos que, debido a su alto consumo como combustible, exige gran demanda del mismo.

Las Plantas de Cautivo, Parsons y Universal reciben crudos provenientes de los campos Oriente, Pacoa y Ancón. La viscosidad del Fuel Oil #4 procesado en las instalaciones de EP Petroecuador-Refinería La Libertad presenta variaciones en los diferentes niveles en el tanque, por lo tanto el control de calidad de este producto es muy importante dada la cantidad de factores y variables operacionales que intervienen en dicho control.

Por lo general el producto obtenido en cada Planta contiene propiedades y características propias; al final los productos son almacenados de manera conjunta en los diversos tanques y es ahí donde se presenta el problema principal haciendo inevitable la obtención de valores distintos de viscosidad en los diferentes niveles en que es tomada la muestra. El sistema empleado por la empresa para la preparación del Fuel Oil demanda el uso adicional de maquinaria para homogenizar la mezcla, personal para controlar el proceso y excesivas tomas de muestras de laboratorio hasta obtener la viscosidad óptima para el producto.

Para lograr cumplir las especificaciones establecidas en las normas INEN, se debe esperar de cinco a seis horas, lo cual ocasiona pérdidas económicas dado al desgaste adicional de maquinaria, consumo de energía y tiempo. Como propuesta

para mejorar el sistema de circulación y facilitar la transferencia del producto se investigó la técnica mediante el uso de agitadores, los cuales ayudarán a una buena homogenización, disminuyendo tiempo de mezclado y minimizando las pérdidas de energía en el proceso.

## **1.2 JUSTIFICACIÓN**

Se pretende en el presente proyecto aplicar el uso de agitadores de hélice de ángulo fijo que minimicen los trabajos operacionales de homogenización mediante el estudio y revisión de información actual del proceso. Al aplicar el método ideal del mejoramiento de circulación en los tanques se logrará la estabilidad de la variable viscosidad haciendo menos complejo el manejo del Fuel Oil, obteniendo como resultado la disminución del tiempo de preparación del producto final y el número de muestras de control al laboratorio, evidenciando mayor eficiencia en procesos de transferencia contribuyendo también al ahorro de energía y mano de obra.

## **1.3 OBJETIVOS**

### **1.3.1 OBJETIVO GENERAL**

- ✓ Mejorar el sistema de circulación del Fuel Oil almacenado en los tanques, homogenizando su viscosidad para un eficiente manejo de transferencia.

### **1.3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- ✓ Describir los problemas existentes en el sistema de circulación de Fuel Oil actual.
- ✓ Definir conceptos básicos que intervienen en el proceso de homogenización.

- ✓ Detallar los tipos de tanques que maneja Refinería La Libertad para el almacenamiento de Fuel Oil.
- ✓ Caracterizar las propiedades del Fuel Oil obtenido en las plantas de destilación y control de calidad para la comercialización.
- ✓ Seleccionar agitadores óptimos, determinando su tamaño, ubicación, cantidad y material recomendable para homogenizar la mezcla de Fuel Oil y obtener un producto con propiedades estacionarias en los diferentes niveles: fondo, medio y superior.
- ✓ Calcular los consumos energéticos innecesarios de las bombas y costos operacionales adicionales para homogenizar el producto residual.

#### **1.4 HIPÓTESIS**

Al obtener un sistema de circulación que garantice la calidad del producto implementando el uso de agitadores eléctricos, se reducirán los problemas de variación de viscosidad en los diferentes niveles: superior, medio y fondo, en la mezcla mejorando el manejo del Fuel Oil de forma rápida y eficiente.

Se obtendrá mediante cálculos, datos específicos e información adicional para mejorar el sistema de circulación interno actual en los tanques de almacenamiento del fluido, con la implementación del equipo adecuado. Además se determinará la ubicación recomendable de los agitadores para obtener el resultado deseado y soluciones rápidas.

#### **1.5 VARIABLES**

Variable Independiente

- Optimización del sistema de circulación.

Variable Dependiente

- Homogenización de Fuel Oil manteniendo la viscosidad constante.

## **1.6 METODOLOGÍA**

El proyecto se llevará a efecto en las instalaciones de Refinería La Libertad operadas por EP Petroecuador en los tanques de almacenamiento distribuidos en Planta Cautivo, para lo cual se hará la recopilación de información física, digital tales como: historial, pruebas de laboratorio y estudios, etc., y la información que se brinde por parte del personal que labora en la empresa.

Con los datos anteriores se analizarán los fluidos presentes en los tanques, sus características principales para determinar los parámetros de comportamiento del Fuel Oil en los diferentes tiempos en que fueron tomados.

Por consiguiente se conseguirá un sistema de circulación interna en los tanques analizando la relación costo-operación adecuada.

## **CAPÍTULO II**

### **FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA**

#### **2.1 HOMOGENIZACIÓN**

Es un proceso de concertar muchas sustancias para provocar una mezcla consistente y homogénea, que se la utiliza en especial para componentes fáciles de mezclar entre sí, escasamente de mezclar entre sí o que no se puedan mezclar en lo absoluto.

Para homogenizar el Fuel Oil #4 almacenado en los tanques de Planta Cautivo se requiere que la viscosidad sea la misma en distintos puntos. En este caso se evidencia diferentes valores de ésta propiedad siendo un mismo producto almacenado.

##### **2.1.1 FACTORES QUE AFECTAN LA HOMOGENIZACIÓN**

Hay ciertas variables que hacen que las sustancias se dificulten al momento de mezclar de forma natural como son:

###### **2.1.1.1. TEMPERATURA**

En un tanque de Fuel Oil # 4, por lo general, es bastante difícil de vaciar cuando esta frío, lo cual indica que tiene una viscosidad baja. Conforme la temperatura del producto va aumentando, su viscosidad disminuye notablemente. Cuando un fluido tiene un valor alto de viscosidad muestra un cambio pequeño con respecto a la temperatura y con un valor bajo muestra un alto cambio con respecto a la temperatura.

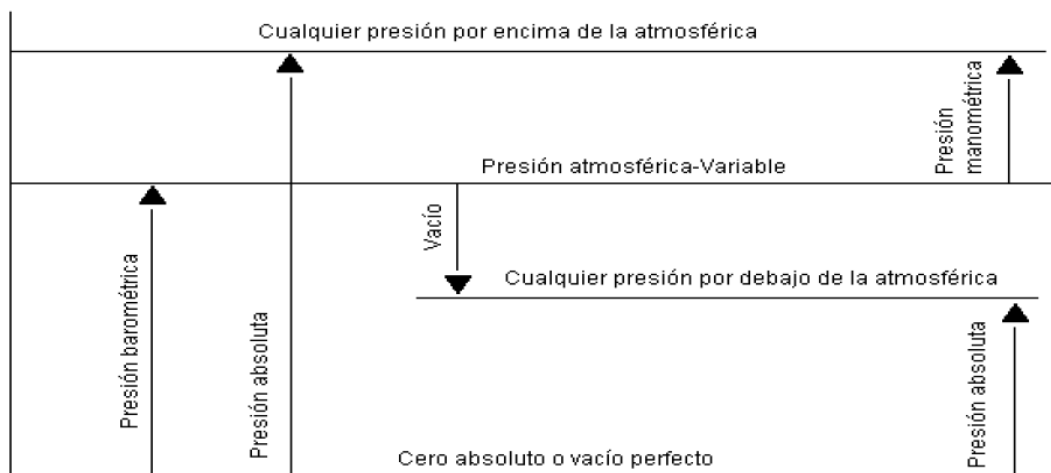


El Fuel Oil debe presentar un valor de temperatura, el cual le ayude a fluir sin inconvenientes al momento de circular en tuberías, ya que si la viscosidad disminuye esta tiende a formar una mezcla muy pastosa difícil de transportar.

### 2.1.1.2. PRESIÓN

La presión de un fluido es la fuerza que ejerce sobre un área determinada de una sustancia. Para realizar cálculos de presión se debe relacionar con una medición de presión de referencia, que por lo usual es la presión atmosférica

La presión en una porción de un fluido es la misma en todas las direcciones. La divergencia de presión entre dos puntos de una tubería es la causa del desplazamiento de un líquido. La presión atmosférica varía con el lugar y el entorno climatológico, se debe tomar en cuenta esta última consideración ya que al incrementar el volumen de fluido este tiende a tomar características distintas, dificultando el proceso de homogenización<sup>1</sup>



**Figura 1.** Relación entre presiones

**Fuente:** (Robert H. Perry, *Manual del Ingeniero Químico*)<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Robert L. Mott, *Mecánica de Fluidos aplicada*.

<sup>2</sup> Robert H. Perry, *Manual del Ingeniero Químico*.

## 2.2 AGITACIÓN.

La agitación es un proceso referido al movimiento provocado por un objeto que actúa sobre un fluido. Si el proceso es realizado por aparatos mecánicos como un agitador, crea movimientos irregulares y violentos, se dice entonces que es una agitación. En la industria la agitación es aplicada como un medio para originar ciertas operaciones como la absorción, mezcla, extracción, reacciones químicas o transferencia de calor.

Los sistemas de agitación se los aplica de acuerdo a los requerimientos deseados y resultados esperados. Si se desea Optimizar el Sistema de Circulación, los objetivos a alcanzar son:

- Conseguir una viscosidad estacionaria en cada nivel (superior, medio y bajo).
- Tener un sistema independiente en la circulación interna de los tanques de Fuel Oil.

### 2.2.1 IMPORTANCIA DE LA AGITACIÓN.

Es imprescindible la agitación adecuada del medio para evitar desigualdades de concentración o de temperatura del líquido, que dan lugar a que se originen en el producto final resultados no deseados, es decir la misma viscosidad en todos los puntos del tanque en todo el producto. Por ejemplo tenemos dos sustancias A y B el producto final sería; agitación intensa:  $A + B = A^2$ ; agitación poco intensa:  $A+B = A^2B^3$

---

<sup>3</sup> Robert H. Perry, *Manual del Ingeniero Químico*.

### 2.3 SISTEMAS DE AGITACIÓN.

Un sistema de agitación consta de los componentes necesarios para realizar la operación, y describe el proceso para generar los movimientos violentos en el fluido, así como el equipo y recipiente utilizado.

Generalmente el proceso de agitación consiste en un recipiente cilíndrico (cerrado o abierto), y un agitador mecánico, montado en un eje y accionado por un motor eléctrico. Las proporciones del tanque varían ampliamente, dependiendo de la naturaleza del problema de agitación. El fondo del tanque debe ser redondeado, con la prioridad de eliminar los bordes rectos o regiones en las cuales no llegarían las corrientes del fluido. El eje está accionado por un motor, conectado a veces, directamente al mismo, pero con mayor frecuencia, a través de una caja de engranajes reductores. El agitador crea un cierto tipo de flujo dentro del sistema, dando lugar a que el líquido circule por todo el recipiente y vuelva de vez en cuando al agitador.<sup>4</sup>

<b>SISTEMA DE CLASIFICACIÓN PARA PROCESOS DE MEZCLADO</b>		
<b>Criterios Físicos</b>	<b>Componentes.</b>	<b>Criterios químicos y de transferencia de masa</b>
Mezcla	Líquido-líquido (miscibles)	Reacciones químicas
Suspensión	Sólido-líquido	Disolución, precipitación
Dispersión	Gas-líquido	Absorción de gas
	Sólido-líquido-gas	
Emulsiones	Líquido-líquido(no miscibles)	Extracción
	Líquido-líquido-sólido	
	Gas-líquido-líquido	
	Gas-líquido-líquido-sólido	
Bombeo	Fluido en movimiento	Transferencia de calor

**Tabla 1.** Sistema de clasificación para procesos de mezclado

**Fuente:** (Robert H. Perry, *Manual del Ingeniero Químico*)<sup>5</sup> **Elaboración:** Propia

<sup>4</sup> Warren L. McCabe, *Operaciones básicas de ingeniería química.*

<sup>5</sup> Robert H. Perry, *Manual del Ingeniero Químico.*

### **2.3.1 TIPOS DE AGITADORES**

Los sistemas que se emplean para mantener la agitación constante en el tanque son mediante técnicas hidráulicas, mecánicas y neumáticas. Por lo general la agitación hidráulica se utiliza para relacionar productos solubles o semi-solubles, pero cuando se desea aplicar para emulsiones es mejor la agitación mecánica.<sup>6</sup>

#### **2.3.1.1. AGITADOR HIDRÁULICO**

En este sistema se usa un desvío de la presión de líquido mediante un tubo provisto de boquillas, el que se ubica en el fondo del tanque, formándose remolinos que revuelven el líquido. Para producir esta agitación es necesario que la capacidad de la bomba este incrementada. En tanques de 1.000 litros son necesarios unos 100 litros por minuto a una presión de 10 kg/cm<sup>2</sup> para mantener la agitación, lo que significa un consumo de una potencia de 3 a 4 HP.<sup>7</sup>

#### **2.3.1.2. AGITADOR MECÁNICO**

Consiste en un eje provisto de una serie de paletas ubicado el fondo del tanque, las que producen turbulencia al girar a unas 90 a 120 revoluciones por minuto consumiendo de  $\frac{1}{2}$  a 1 HP en un tanque de 1.000 litros. La única dificultad que presentan los agitadores mecánicos es que su eje a la entrada al tanque y en el punto de apoyo opuesto donde deben tener sellos, los cuales en algunas ocasiones presentan pérdidas de líquido.<sup>7</sup>

---

<sup>6</sup> Pablo Erazo Soria y Ricardo Vizúete Benítez, Tesis: Diseño y construcción de una mezcladora industrial.

<sup>7</sup> Biblioteca digital de la Universidad de Chile. Sistema de servicios de información y bibliotecas. [Online].

### **2.3.1.3. AGITADOR NEUMÁTICO**

Consiste en aplicar en el fondo del tanque un tubo con perforaciones por las cuales se libera una presión de aire (cuando las burbujas de gas ascienden a la superficie del líquido) obtenida de un compresor adicional que debe tener el equipo, por lo que es muy poco usado.<sup>8</sup>

### **2.3.2. IMPULSORES ROTATORIOS**

Son impulsores de muchas formas y tamaños diferentes para cada diseño, que giran sobre ejes que transmitan la potencia de un motor, dentro de tanques que pueden ser cilíndricos, cónicos, hemisféricos o rectangulares. Más de un impulsor puede ser montado en un mismo eje y más de un eje puede ser usado en un tanque dado.

Las fuerzas de mezclado se transfieren a la mezcla por medio de las aspas del impulsor que se mueven en el recipiente para confinar la mezcla.<sup>9</sup>

### **2.3.3. SISTEMA DE CIRCULACIÓN POR BOMBEO**

Los tanques pueden estar conectados a bombas que mueven el fluido de un punto a algún otro dentro del mismo tanque. Las bombas centrífugas por sí mismas, son buenos agitadores en sistemas de flujo continuo.<sup>10</sup>

### **2.3.4. AGITADORES ROTATORIOS**

Los agitadores son los aparatos más utilizados en cuanto a agitación se refiere, están conformados por un órgano giratorio, el cual se lo denomina impulsor, que empieza a moverse cuando es accionado por un eje.<sup>9</sup>

---

<sup>8</sup> Biblioteca digital de la Universidad de Chile. Sistema de servicios de información y bibliotecas. [Online].

<sup>9</sup> Pablo Erazo Soria y Ricardo Vizuet Benítez, Tesis: Diseño y construcción de una mezcladora industrial.

<sup>10</sup> Robert H. Perry, *Manual del Ingeniero Químico*.

### **2.3.4.1 CLASIFICACIÓN DE LOS AGITADORES ROTATORIOS**

Se clasifican de acuerdo a la forma de las aspas y al ángulo de las mismas.

#### **2.3.4.1.1 AGITADORES DE FLUJO AXIAL**

Los agitadores de flujo axial comprenden todos los que tienen palas y que forman un ángulo menor de  $90^\circ$  con respecto al plano de rotación, ocasionando un desplazamiento del flujo de líquido en el sentido del eje del agitador.

Estos tipos de agitadores pueden sujetarse a la parte superior lateral de un tanque abierto en posición angular o excéntrica o fijarse en la parte superior de un tanque cerrado con el eje en la misma posición.

Los límites de velocidades con transmisión directa son 1150 a 1750 rpm y con transmisión por engranaje van desde 350 a 420 rpm. Los agitadores con transmisión por engranaje son empleados en la suspensión de sólidos, y para agitaciones dispersas se deben utilizar las unidades de alta velocidad.

#### **2.3.4.1.2 AGITADORES DE FLUJO RADIAL**

Estos impulsores se los puede encontrar de dos tipos:

- Turbinas.- son pequeños y tienen aspas múltiples paralelas al eje del motor.
- Propulsores de paletas.- son grandes, tienen de 2 a 4 aspas y trabajan a bajas velocidades.

### 2.3.5 CLASIFICACIÓN DE AGITADOR POR SU FORMA Y VELOCIDAD.

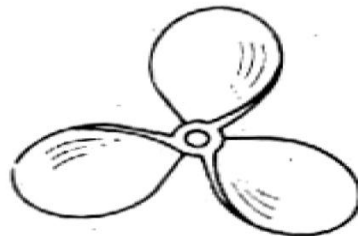
Los impulsores o agitadores se clasifican por: su forma y por la velocidad del agitador

#### 2.3.5.1 AGITADORES DE HÉLICE

Este propulsor trabaja a altas velocidades cuando se trata de líquidos que tienen baja viscosidad, debido a que genera flujo axial.

La corriente generada por el agitador se mueve en una sola dirección, lo que ocasiona que el flujo circule desde el fondo hasta las paredes del tanque. El agitador transforma el líquido a turbulento al momento de elevarse la columna del vórtice, el mismo que atrapa el líquido estancado generando una amplia homogenización, superando a lo que se podría obtener por una boquilla estacionaria.

Las palas de la hélice traspasan enérgicamente el líquido. Debido a la uniformidad de las corrientes de flujo estos agitadores son eficaces para trabajar en tanques de gran tamaño e incluso para tanques del orden de  $1500\text{m}^3$  se usan agitadores con entradas laterales al tanque.



**Figura 2.** Agitador de hélice

**Fuente:** (Claudio Gelmi Weston, *Fundamentos de Operaciones Unitarias*)<sup>11</sup>

---

<sup>11</sup> Claudio Gelmi Weston, *Fundamentos de Operaciones Unitarias: Serie de clases en Ingeniería Química*,

El diámetro de los agitadores de hélice, no sobrepasan los 45 cm, sin tomar en cuenta las dimensiones del tanque. Cuando se trata de tanques muy grandes se debe implementar 2 o más propulsores de hélice sobre el mismo eje para que el líquido rote en una sola dirección.

#### **2.3.5.1.1 HÉLICE DE ENTRADA SUPERIOR**

Para tanques inferiores a 1.8 m de diámetro y menores de 1000 gls de capacidad se deberá elegir una hélice excéntrica y angular, sujeta por medio de una brida a la pared del tanque, sin deflectores a una altura determinada con respecto al diámetro de 0.75 a 1.5. <sup>12</sup>

Para la mezcla rápida de reactivos líquidos en un tanque o para la dispersión de partículas secas, la velocidad a establecer para obtener una igualdad de homogenización debe estar entre los 1150 a 1700 rpm a una distancia de  $DT/4$  por encima del fondo del recipiente. Estas mezcladoras de hélice están en un rango hasta de 2.2kw (3HP) para montajes excéntricos y con ejes inclinados. El tamaño del diámetro de la hélice y la fuerza del motor deben ser los imperceptibles que compensen las necesidades del proceso. <sup>12</sup>

#### **2.3.5.1.2 HÉLICES DE ENTRADA LATERAL**

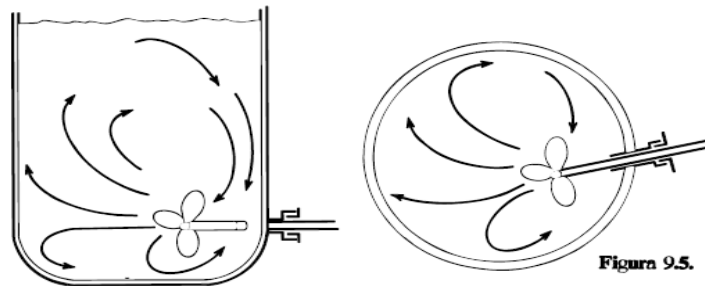
Para recipientes de más de  $4m^3$  (1000gls.) puede ser más económico un agitador de hélice lateral que una turbina montada en la zona superior con eje centro vertical. Para recipientes de más de  $38m^3$  (10.000gls.), son económicamente más rentables. Hélices de entrada lateral. Para recipientes de más de  $380m^3$  (100.000gls.) se puede instalar en un tanque 1, 2 o 3 unidades de hasta 56 Kw (75 hp) cada una. Para suspensiones de partículas de sedimentación lenta y el mantenimiento de la uniformidad en una lechada viscosa constituida por partículas pequeñas, es preciso escoger el diámetro y la velocidad de rotación de

---

<sup>12</sup> Robert H. Perry, *Manual del Ingeniero Químico*.



un agitador de entrada lateral, sobre la base de pruebas, con modelos o la experiencia obtenida en otros casos similares.<sup>13</sup>



**Figura 3.** Agitador de entrada lateral  
**Fuente:** (Robert H. Perry, *Manual del Ingeniero Químico*)<sup>13</sup>

Cuando se deben suspender partículas sólidas abrasivas, los costos de mantenimiento para el sellador del eje sumergido de una hélice de entrada lateral pueden llegar a ser lo suficientemente altos como para que este tipo de mezclador resulte una elección antieconómica.<sup>13</sup>

### 2.3.5.2. AGITADORES DE PALETA

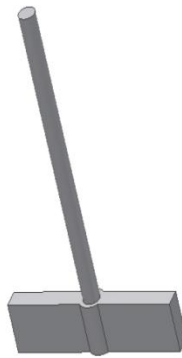
Para problemas sencillos, es un agitador eficaz. Está formado por una paleta plana, que gira sobre un eje vertical. Estos agitadores están formados por 2 y 3 paletas.

Las paletas giran a velocidades bajas o moderadas en el centro del tanque, impulsando al líquido radial y tangencialmente, sin que exista movimiento vertical respecto del agitador, a menos que las paletas estén inclinadas. Las corrientes de líquido que se originan se dirigen hacia la pared del tanque y después siguen hacia arriba o hacia abajo.<sup>14</sup>

<sup>13</sup> Robert H. Perry, *Manual del Ingeniero Químico*.

<sup>14</sup> Warren L. McCabe, *Operaciones básicas de ingeniería química*.

Las paletas pueden acoplarse a la forma del fondo del tanque, de tal manera que en su movimiento rozan la superficie o pasan sobre ella con una holgura muy pequeña.



**Figura 4.** Agitador de paleta

**Fuente:** (Pablo Erazo Soria y Ricardo Vizuite Benítez, Tesis: Diseño y construcción de una mezcladora industrial)<sup>15</sup>

Los agitadores industriales de paletas giran a una velocidad comprendida entre 20 y 150 rpm. La longitud del rodete de un agitador de paletas es del orden de 50 al 80% del diámetro interior del tanque. La anchura de la paleta es de un sexto a un décimo de su longitud. A velocidades muy bajas, un agitador de paletas produce una agitación suave, en un tanque sin placas deflectoras o cortacorrientes, las cuales son necesarias para velocidades elevadas. De lo contrario el líquido se mueve como un remolino que gira alrededor del tanque, con velocidad elevada pero con poco efecto de mezcla.<sup>15</sup>

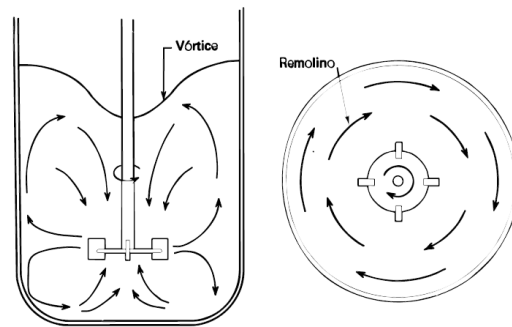
### **2.3.5.3 AGITADORES DE TURBINA**

La mayor parte de ellos se asemejan a agitadores de múltiples y cortas paletas, que giran con velocidades elevadas sobre un eje que va montado centralmente dentro del tanque. Las paletas pueden ser rectas, curvas, inclinadas o verticales. El rodete

---

<sup>15</sup> Pablo Erazo Soria y Ricardo Vizuite Benítez, Tesis: Diseño y construcción de una mezcladora industrial.

puede ser abierto, semicerrado o cerrado. El diámetro de una turbina se encuentra normalmente entre 0.3 y 0.6 del diámetro del tanque.<sup>16</sup>



**Figura 5.** Prevención de formación de vórtices

**Fuente:** (Robert H. Perry, *Manual del Ingeniero Químico*)<sup>16</sup>

Los propulsores del tipo turbina existen en distintos tipos, como los de palas curvas y planas. Las aspas con cierta curvatura ayudan en el arranque del agitador cuando existen sólidos sedimentados. Existen procesos en los que se presenta corrosión de los metales utilizados y esto constituye un verdadero problema, con lo que pueden resultar económicos los agitadores recubiertos.<sup>17</sup>

El agitador de turbina semiabierto, conocido como agitador de disco con aletas, se emplea para dispersar o disolver un gas en un líquido. El gas entra por la parte inferior del eje del rodete; las aletas lanzan las burbujas grandes luego las convierte y las rompen en pequeñas, con lo cual se aumenta grandemente el área interfacial entre el gas y el líquido.<sup>18</sup>

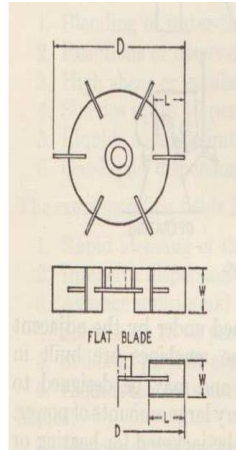
Para recipientes de 4 a 200m<sup>3</sup> (1000 a 5000gls.) la elección inicial será una mezcladora de turbina montada coaxialmente en el interior del recipiente, con 4 o más deflectores. También, y para este caso, la razón entre la altura del lado recto del recipiente con respecto al diámetro tiene que ser de 0.75 a 1.5. Se tienen que

<sup>16</sup> Robert H. Perry, *Manual del Ingeniero Químico*.

<sup>17</sup> Pablo Erazo Soria y Ricardo Vizuet Benítez, Tesis: Diseño y construcción de una mezcladora industrial.

<sup>18</sup> Warren L. McCabe, *Operaciones básicas de ingeniería química*.

sujetar 4 desviadores verticales perpendiculares a la pared del recipiente dejando un espacio entre ellos y la pared de  $Dt/24$  y una anchura radial de los deflectores igual a  $Dt/12$ .<sup>19</sup>



**Figura 6.** Dimensiones de una turbina de disco de aspas planas  
**Fuente:** (Badger W. & Bancharo J., *Introduction in Chemical Engineering*)<sup>20</sup>

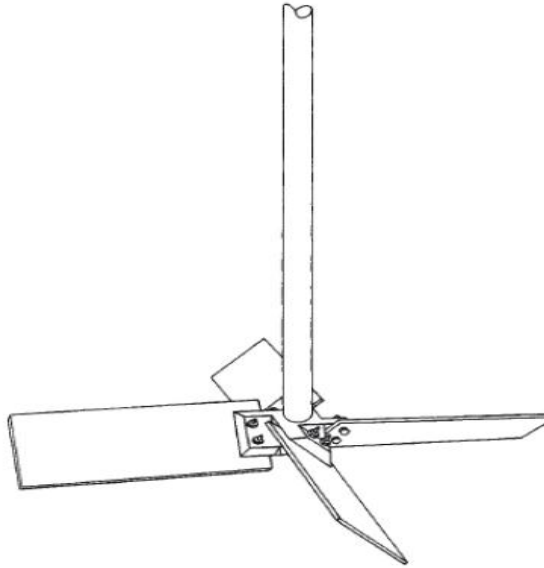
Para suspensiones de partículas rápidamente sedimentables, el diámetro de la turbina tiene que ser de  $Dt/3$  a  $Dt/2$ . Se tiene que dejar un espaciado inferior a la séptima parte de la profundidad del fluido en el recipiente entre el borde inferior de las aspas de la turbina y el fondo del recipiente. Al aumentar la viscosidad de la suspensión, es preciso incrementar el diámetro del impulsor. Este diámetro se puede aumentar hasta  $0.6Dt$  y agregar otro impulsor para evitar zonas de estancamiento en slurries (lechadas) con propiedades pseudoplásticas. Desplazando los deflectores a mitad de camino entre la periferia del impulsor y la pared del recipiente, se contribuye a evitar que los fluidos se estanquen cerca de los deflectores.<sup>19</sup>

El consumo de potencia disminuye y la velocidad de descarga de la turbina aumenta al incrementarse el diámetro de la turbina con un par de fuerzas constante (en el régimen completamente turbulento). Esto quiere decir que, para una velocidad específica de descarga, se obtiene un funcionamiento más eficiente (par

<sup>19</sup> Robert H. Perry, *Manual del Ingeniero Químico*.

<sup>20</sup> Badger W. & Bancharo J., *Introduction in Chemical Engineering*.

de fuerzas y potencia más bajas), con una turbina relativamente grande que funcione con una velocidad relativamente baja ( $N \propto D_a^{-3}$ ). Inversamente, si se mantiene constante la potencia, la disminución del diámetro de la turbina da como resultado un aumento de la velocidad periférica y una disminución del par de fuerzas.<sup>21</sup>



**Figura 7.** Agitador de turbina con aspas inclinadas

**Fuente:** (Robert H. Perry, *Manual del Ingeniero Químico*)<sup>21</sup>

Así, para un determinado nivel de potencia se puede lograr una mezcla inicial eficiente de los reactivos que se asocia a una velocidad periférica elevada con una turbina pequeña que funcione con una velocidad relativamente alta ( $N \propto D_a^{-5/3}$ ).<sup>21</sup>

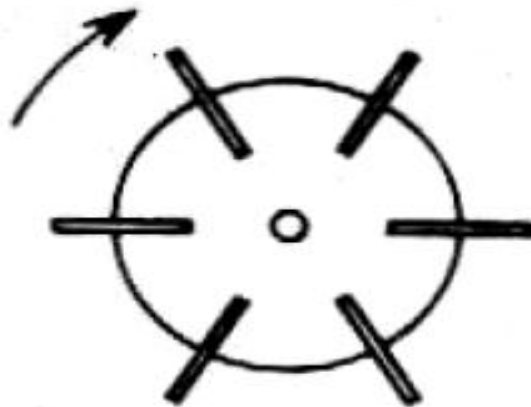
Para la circulación y mezclado, con el fin de obtener uniformidad, el impulsor se debe situar a una tercera parte de la profundidad del líquido, por encima del fondo del recipiente, a menos que haya un material que se deposite o sedimente con rapidez o que sea preciso remover un recipiente casi vacío, para lo que se necesitara situar el impulsor más abajo.<sup>21</sup>

---

<sup>21</sup> Robert H. Perry, *Manual del Ingeniero Químico*.

#### 2.3.5.4. AGITADORES DE DISCO

Constan de uno o más discos montados sobre un mismo árbol que gira a elevada velocidad. Producen un flujo tangencial por frotamiento del disco en el líquido a ser agitado. Los discos deben ser rugosos o disponer de dientes angulares en su periferia.



**Figura 8.** Agitador de disco

**Fuente:** (Claudio Gelmi Weston, *Fundamentos de Operaciones Unitarias: Serie de clases en Ingeniería Química*)<sup>22</sup>

#### 2.3.5.5 AGITADORES DE PASO CERRADO

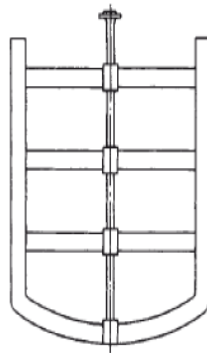
Son agitadores rígidos, eficientes para trabajar con fluidos viscosos, situados cerca de la pared del tanque, en donde la capacidad de mezcla es más efectiva. Los agitadores de paso cerrado se distinguen en dos tipos: el tipo ancla y los de tipo helicoidal.

---

<sup>22</sup> Claudio Gelmi Weston, *Fundamentos de Operaciones Unitarias: Serie de clases en Ingeniería Química*,

### 2.3.5.6 AGITADORES DE ANCLA

Este tipo de agitador tiene forma de paleta contorneada que se amolda a la forma del tanque dando un aspecto de herradura o ancla. Trabaja a bajas velocidades cuando no se requiere tener flujo turbulento en un flujo viscoso. Es de poco rendimiento, pero evita la deposición de sedimentados en las paredes del tanque. La circulación del fluido obedece a la dirección de revoluciones del ancla dando forma helicoidal o circular.



**Figura 9.** Agitador de ancla

**Fuente:** (Robert H. Perry, *Manual del Ingeniero Químico*.)<sup>23</sup>

Dependiendo de la viscosidad y de este agitador, el diseño de los radios superiores que soportan las palas hacen que el movimiento producido por las mismas sea axial o radial.

Los agitadores del tipo ancla se utilizan en especial, para mejorar la transferencia de calor en los fluidos de consistencia elevada.<sup>24</sup>

### 2.3.5.7 AGITADORES HELICOIDALES

Está conformado por una cinta helicoidal que trabaja con un diámetro casi igual al diámetro del recipiente. Este tipo de agitador es con frecuencia utilizado para

---

<sup>23</sup> Robert H. Perry, *Manual del Ingeniero Químico*.

<sup>24</sup> Pablo Erazo Soria y Ricardo Vizuet Benítez, Tesis: Diseño y construcción de una mezcladora industrial.

mezclar sólido-líquido o para agitar masas, pastas o lodos. Estos resuelven los problemas de agitación de líquidos, en un 95%, aunque pueden utilizarse también otros tipos de agitadores.<sup>25</sup>



**Figura 10.** Agitador helicoidal  
**Fuente:**( Direct Industry [Online])<sup>26</sup>

#### 2.3.5.8 AGITADORES METÁLICOS (Hydrofoil)

Se les denomina agitadores de alta eficiencia, Hydrofoil, u otros nombres descriptivos que engloban a los distintos sistemas de agitación que permiten maximizar el flujo y minimizar la velocidad de cizalladura. Estos agitadores requieren la presencia de dos deflectores, pero se usan tres, ya que con esta última disposición se consigue un flujo más estable. Dado que la mayoría de los procesos industriales de mezclado implican capacidad de impulsión, y en menor grado velocidad de deslizamiento, la mayoría de los mezcladores emplean agitadores metálicos. Éstos agitadores de palas rígidas se clasifican según el valor del coeficiente entre el área total de las palas con respecto al del círculo que circunscribe el impulsor; y según aumenta la viscosidad del fluido, un mayor valor del cociente anteriormente definido resulta más efectivo para proporcionar un tipo de flujo axial en vez de radial.<sup>25</sup>

---

<sup>25</sup> Robert H. Perry, *Manual del Ingeniero Químico*.

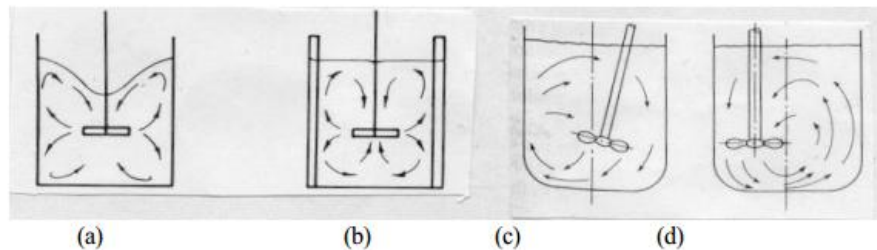
<sup>26</sup> Direct Industry. [Online].



## 2.4. TRAYECTORIA DEL FLUJO EN LA AGITACIÓN

Sin importar el tipo de agitador que se utilice, su función debe ser crear movimientos turbulentos dentro del tanque para originar corrientes móviles en el fluido. Estas velocidades forman tres componentes:

- Componente radial.- ejerce una fuerza perpendicular al eje,
- Componente longitudinal.- ejerce una fuerza paralela al eje,
- Componente rotacional.- ejerce una fuerza en dirección tangencial al círculo de giro del eje.



**Figura 11.** Trayectoria del flujo

**Fuente:** (Warren L. McCabe, *Operaciones básicas de ingeniería química*)<sup>27</sup>

Si se ubican los propulsores verticalmente, se formará una corriente circular en el fluido, lo que genera un factor no favorable para la agitación por el aire que éste produce.

## 2.5. TANQUES DE AGITACIÓN

Los tanques cilíndricos para la agitación se destacan de los que son de forma cuadrada o rectangular; el fondo del tanque no debe ser plano ni hundido al exterior, esto es indispensable para evitar el asentamiento de sedimentos. Es favorable para que exista una correcta agitación que, la relación entre la altura y el diámetro del tanque sea del orden  $HT / DT = 1$ .

<sup>27</sup> Warren L. McCabe, *Operaciones básicas de ingeniería química*.

Existen dos tipos de sistemas de mezclado:

1. Tanque estacionario: comprende un sistema de agitación montado en un eje, que gira. Los agitadores de tipo paleta o propella tipo marino son útiles para líquidos poco viscosos.
2. Tanque móvil: conformado por un impulsor móvil y/o estacionario, el cual se utiliza para materiales altamente consistentes.

## **2.5.1 CLASIFICACIÓN DE TANQUES DE AGITACIÓN**

### **2.5.1.1. TANQUES SIN DEFLECTORES**

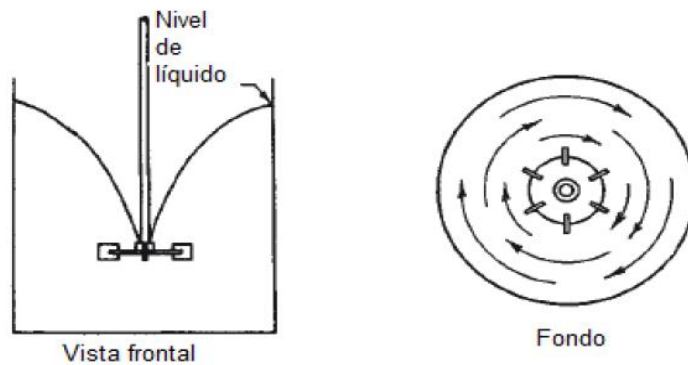
Al agitar un líquido con una viscosidad baja en un tanque sin deflectores mediante un agitador colocado en forma axial, debido a esto se desarrollará remolinos en el flujo, sin tomar en cuenta el tipo de agitador a utilizar. Al encontrarse el líquido en rotación, se produce un vórtice debido a la fuerza centrífuga que actúa sobre el líquido que gira.

Se puede obtener a menudo un proceso de mezclado satisfactorio a pesar de existir el vórtice, pero existen límites de velocidad en un recipiente sin deflectores debido a que cuando llega el remolino a la zona del agitador este genera una entrada importante de aire. Además, la masa de remolino líquido genera con frecuencia una onda oscilante en el tanque que se armoniza a la profundidad del remolino, pudiendo establecer una significativa resistencia oscilante que actúa sobre el árbol de la mezcladora.

Si tenemos un líquido con baja viscosidad, la velocidad vertical va a ser baja con respecto a la velocidad centrífuga originada en el tanque. Para obtener velocidades elevadas de circulación vertical se debe colocar un agitador en posición excéntrica, estos pueden ser las turbinas o hélice. Se debe tomar en cuenta la

ubicación del agitador por lo que provocaría remolinos erráticos y esto originaría esfuerzos mayores sobre el eje de giro.

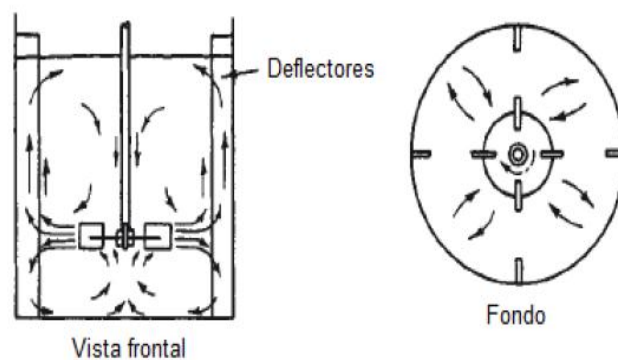
Con los impulsores de flujo axial se puede utilizar una posición angular excéntrica y la hélice a aproximadamente colocada a  $15^\circ$  a partir de la posición vertical.<sup>28</sup>



**Figura 12.** Patrón usual de flujo en un recipiente sin deflectores  
**Fuente:** (Robert H. Perry, *Manual del Ingeniero Químico*)<sup>28</sup>

### 2.5.1.2 TANQUES CON DEFLECTORES

Se instalan deflectores en el tanque cuando se requiere agitación vigorosa de suspensiones. Por lo general resulta adecuado colocar deflectores.



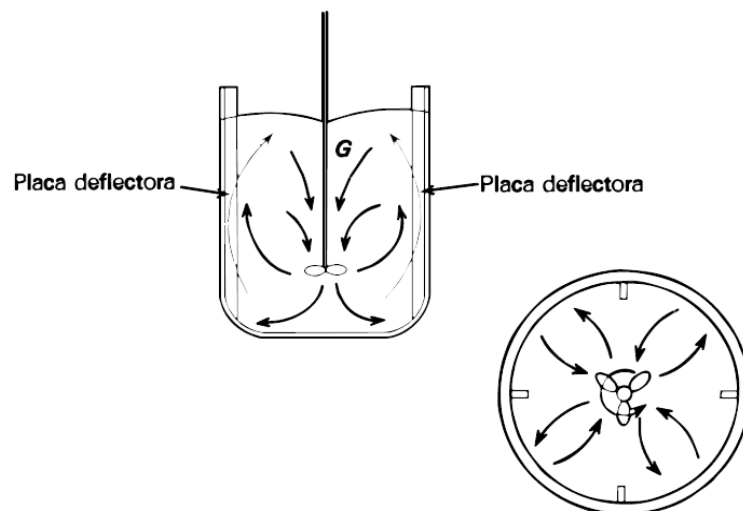
**Figura 13.** Patrón de flujo radial en un recipiente con deflectores  
**Fuente:** (Robert H. Perry, *Manual del Ingeniero Químico*)<sup>28</sup>

<sup>28</sup> Robert H. Perry, *Manual del Ingeniero Químico*.

## 2.5.2 DEFLECTORES

Los deflectores son paletas verticales que se ubican en la pared del tanque, y sirven para modificar la dirección de un líquido. Normalmente el ancho corresponde a  $1/10$  a  $1/12$  del diámetro del tanque.

Para números de Reynolds mayores a 2000, los deflectores se utilizan junto con los impulsores de tipo turbina y con propulsores de flujo axial colocados en la línea central del tanque. Al utilizar deflectores se logra una buena circulación desde la parte superior hasta el fondo del tanque, previniendo la formación de remolinos y evitando esfuerzos mayores sobre el eje del agitador.



**Figura 14.** Prevención de vórtices

**Fuente:** (Robert H. Perry, *Manual del Ingeniero Químico*)<sup>29</sup>

<sup>29</sup> Robert H. Perry, *Manual del Ingeniero Químico*.

### 2.5.3 INSTALACIÓN DE LOS IMPULSORES EN LOS TANQUES DE AGITACIÓN

El ángulo formado entre el eje del impulsor y la vertical es muy crítico, así como también lo es la distancia entre el eje del impulsor y el centro del tanque.

- Agitador vertical centrado en el tanque sin deflectores y con deflectores
- Impulsor excéntrico vertical o inclinado.
- Agitador de entrada lateral.
- Agitador de entrada superior.

Para tanques muy grandes este método es casi estandarizado, el eje del impulsor esta siempre posesionado creando un ángulo con el radio del tanque y este ángulo también se considera crítico.<sup>30</sup>

---

<sup>30</sup> Robert H. Perry, *Manual del Ingeniero Químico*.

## **CAPÍTULO III**

### **TANQUES DE ALMACENAMIENTO**

#### **3.1 INTRODUCCIÓN**

Una planta procesadora de hidrocarburos cuya principal característica es la de manejar volúmenes muy importantes de líquidos, se encuentra en la necesidad de disponer de una enorme capacidad de almacenamiento. En una refinería se observa que gran parte de su espacio está ocupada por los tanques de almacenamiento.<sup>31</sup>

Dado que el número de tanques en una refinería es elevado, y la inversión en ellos es también alta, es necesaria una utilización racional de los mismos en orden a reducir sus tiempos muertos de trabajo. También su operación crea numerosos problemas, como son, pérdidas por evaporación de productos volátiles y calefacción de los productos negros para mantener su fluidez.<sup>31</sup>

Si se tiene en cuenta que se están manejando muchas toneladas, es fácil comprender, cualquier mejora que se introduzca, significará un ahorro de importantes sumas de dinero. Los tanques se construyen en diferentes tipos y tamaños, así como con materiales diversos, según el uso al que vayan a ser destinados.<sup>31</sup>

#### **3.2 TANQUES DE ALMACENAMIENTO**

Existen diferentes tipos de tanques de almacenaje de líquidos provenientes de la refinación del petróleo para lo cual se aplican varias normas y códigos empleadas para el cálculo, diseño y construcción de los mismos, pero las más empleadas en la industria de procesos son las American Petroleum Institute (API).<sup>31</sup>

---

<sup>31</sup> Ing. Carlos Baldeón, Tanques y esferas para empresas petroleras, 2001.

### **3.2.1. CONSTRUCCIÓN DE TANQUES DE ALMACENAMIENTO.**

El diseño básico de todos los tanques se lo realizará de acuerdo con los requerimientos de la norma API 650.

En la construcción de estos tanques, para determinar su capacidad se debe considerar:

1. Capacidad máxima productiva del campo.
2. Tiempo de permanencia.
3. Características del crudo a tratarse.<sup>32</sup>

#### **3.2.1.1. CONSIDERACIONES TÉCNICAS**

En la construcción de tanques que van a ser utilizados en la industria del petróleo se debe considerar códigos y normas.

#### **3.2.1.2 NORMAS PARA CÁLCULO, DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN**

Los estándares aplicables para el cálculo, diseño y construcción son los siguientes:

- API Standard 650

Bajo este código se permite diseñar, seleccionar materiales y construir tanques de almacenamiento desde 500 barriles y más. Las secciones más importantes como: cálculo de espesor de láminas de cuerpo, fondo y techo, así como accesorios, escaleras, estructuras, etc., se basan en esta norma para su construcción.<sup>32</sup>

---

<sup>32</sup> Ing. Carlos Baldeón, Tanques y esferas para empresas petroleras, 2001.

- API Standard 620

Edición especial para reglas recomendadas para el diseño y construcción de tanques de almacenamiento de gran capacidad y baja presión.<sup>33</sup>

- API Specification 12D

Para diseño y construcción de tanques de almacenamiento soldados, prefabricados en planta y en campo, que contengan productos líquidos.<sup>33</sup>

- API Specification 12F

Para diseño y construcción de tanques de almacenamiento soldados en taller, que contengan productos líquidos.<sup>33</sup>

- API Standard 653

Específico para la reparación, inspección, modificación y reconstrucción de tanques de almacenamiento.<sup>33</sup>

Otras especificaciones:

- API Standard 350
- ASME Boiler and Pressure Vessel Code, section VIII y X
- Underwriters Laboratories (UL) Standard 142
- British Standard (BS) 2594
- British Standard (BS) 4994
- British Standard (BS) 6374
- ASTM D 3299/4021/4097.<sup>33 34</sup>

---

<sup>33</sup> Ing. Carlos Baldeón, Tanques y esferas para empresas petroleras, 2001.

<sup>34</sup> Ing. Héctor Bonifaz, Curso de cálculos y diferencias de producto en transporte y almacenamiento



### 3.2.1.3. CONDICIONES CLIMÁTICAS

- Temperatura
- Zona de terremotos
- Intensidad del viento

### 3.2.1.4. PRUEBAS

- De soldadura
- Hidrostática



**Figura 15.** Tanque de almacenamiento vertical  
**Fuente:** Fotografía Refinería La Libertad Elaboración: Propia

### 3.2.2. CÁLCULO ESTRUCTURAL DE TANQUES DE ALMACENAMIENTO

La inmensa mayoría de los recipientes de almacenamiento, cuya resistencia se analiza, pueden considerarse de acuerdo al esquema de análisis de una bóveda.

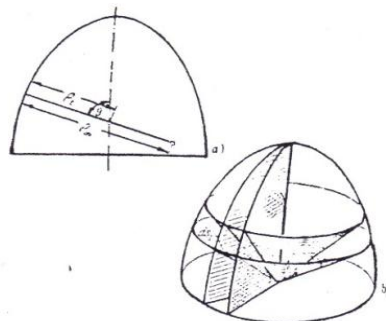
Se entiende por bóveda a aquel cuerpo, que una de sus dimensiones (su espesor) es mucho menor que las otras dos. Para el cálculo de los tanques de almacenamiento, se puede considerar que este se encuentra sometido a cargas simétricas con respecto a un eje. Tal hipótesis significa considerablemente el problema, ya que las fuerzas interiores en este tipo de bóvedas, no varían en la

línea ecuatorial y dependen solamente del radio o de la longitud del arco medido a lo largo de la generatriz del cuerpo de revolución.<sup>35</sup>

El cálculo de tanques, cuya analogía corresponde a la “Teoría de las Bóvedas”, se basa en la suposición de que las tensiones que surgen de estas estructuras están distribuidas uniformemente dentro de su espesor y que, por lo tanto, no existe flexión en la bóveda. A este comportamiento se lo conoce como “La Teoría Membranal de las Bóvedas”.<sup>35</sup>

Por lo tanto debido a su forma las ventajas estructurales que se obtienen son:

1. Las direcciones de ciertas fuerzas de “membrana” dentro del tanque cambian en su trayectoria, permitiendo que con ello las cargas laterales se soporten en medio de compresión de bóveda, semejante a acción de arco de puentes y/o por tensión de suspensión, semejante a acción de los cables de los puentes de suspensión.<sup>35</sup>
2. La resistencia al cortante, en el plano del casquete soporta la carga directamente, o bien tiende a redistribuir los esfuerzos conforme se distorsiona el casco, de modo que la acción de arco y/o suspensión pueda resistir más efectivamente la carga, con un mínimo de flexión en el casco del tanque.<sup>35</sup>



**Figura 16.** Bóvedas

**Fuente:** (Ing. Carlos Baldeón, Tanques y esferas para empresas petroleras)<sup>35</sup>

<sup>35</sup> Ing. Carlos Baldeón, Tanques y esferas para empresas petroleras, 2001.

### 3.2.3 TEORÍA MEMBRANAL PARA EL CÁLCULO DE ESFUERZOS EN TANQUE

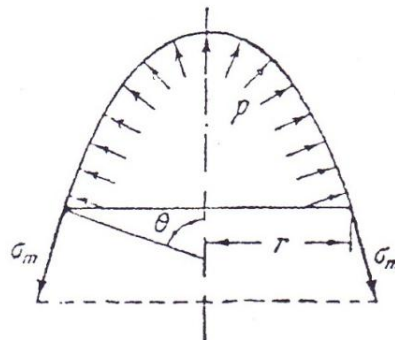
Para las características de simetría, tanto geométricas como de carga, las paredes del recipiente no presentan distorsiones, lo cual indica que los esfuerzos generados por la presión son los principales.

El primero de estos esfuerzos M, es el meridional y está dirigido según el arco meridional de la bóveda. El otro esfuerzo T se llama circunferencial, aplicado en la sección normal perpendicular al arco meridional.<sup>36</sup>

La ecuación obtenida para la condición de equilibrio en dirección radial recibe el nombre de “Ecuación de LaPlace”.

$$\frac{\sigma_m}{\rho_m} + \frac{\sigma_t}{\rho_t} = \frac{p}{h} \quad \text{Ecuación 3.1}$$

Por la característica de simetría, se puede determinar otra ecuación considerando toda una parte de la bóveda seleccionada por una superficie normal cónica.<sup>36</sup>



**Figura 17.** Esfuerzos radiales

**Fuente:**( Ing. Carlos Baldeón, Tanques y esferas para empresas petroleras, 2001)<sup>36</sup>

El tercer esfuerzo principal que corresponde a la dirección radial, es muy pequeño en relación a los dos esfuerzos anteriormente determinados, lo cual hace suponer que el estado tensional es plano. En efecto, el valor máximo del esfuerzo radial en

<sup>36</sup> Ing. Carlos Baldeón, Tanques y esferas para empresas petroleras, 2001.

su valor absoluto, es igual a la presión normal  $p$ , mientras que los esfuerzos meridional y circunferencial, según la ecuación de La Place, son del orden de:

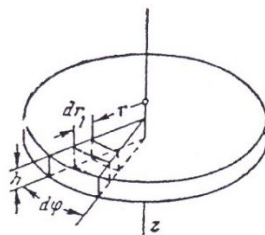
$$\sigma_m = p \frac{\rho_m}{h} \quad \text{Ecuación 3.2} \quad \sigma_t = p \frac{\rho_t}{h} \quad \text{Ecuación 3.3}$$

En general, los recipientes de almacenamiento se encuentran constituidos por elementos curvos, elementos planos o una combinación de los dos, por lo tanto es necesario también hacer referencia al cálculo de elementos planos sometidos a presión; estos se conocen como placas.<sup>37</sup>

Las placas se clasifican según la configuración del contorno exterior: pueden ser redondas, rectangulares, trapezoidales, etc. Su mayor aplicación corresponde al fondo de los tanques, para la cual es necesario calcular la placa de acuerdo con los criterios de resistencia y rigidez que a continuación se indican. En el caso de placas se considera la flexión que se produce sin tomar en cuenta la tracción. La variación de curvatura se genera simultáneamente en dos planos, dando como resultado la “superficie estática”.

### 3.2.4 CÁLCULO DE PLACAS

Considere una placa de espesor constante  $H$ , sometida a fuerzas simétricas con respecto al eje  $Z$  (figura 18).

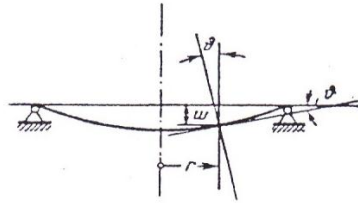


**Figura 18.** Cálculo de placa

**Fuente:** (Ing. Carlos Baldeón, Tanques y esferas para empresas petroleras, 2001)<sup>38</sup>

<sup>37</sup> César Barrera, Tesis: Estudio de calibración de tanques de almacenamiento.

<sup>38</sup> Ing. Carlos Baldeón, Tanques y esferas para empresas petroleras, 2001.



**Figura 19.** Área transversal de placa

**Fuente:** (Ing. Carlos Baldeón, Tanques y esferas para empresas petroleras, 2001)<sup>39</sup>

Los esfuerzos que se generan en la placa son principales, ya que este elemento no se distorsiona (por las características de simetría), y por lo tanto no existen esfuerzos cortantes. Además se considera, al igual que en las bóvedas, que el tercer esfuerzo principal, esto es, el esfuerzo normal al plano de la placa. Es despreciable con relación a los otros dos.<sup>39</sup>

A continuación se detallan las expresiones generales obtenidas:

$$\sigma_r = \frac{Ez}{1-u^2} \frac{M_r}{D} \quad \text{Ecuación 3.4}$$

$$\sigma_t = \frac{Ez}{1-u^2} \frac{M_t}{D} \quad \text{Ecuación 3.5}$$

Dónde:

$$D = \frac{E h^3}{12(1-u^2)} \quad \text{Ecuación 3.6}$$

$$\varphi = \frac{p}{64 D} (R^2 - r^2)^2 \quad \text{Ecuación 3.7}$$

$\varphi$  = deflexión máxima de la placa.

Es necesario verificar siempre la deflexión de la placa, pues esta tiene que ser mucho menor al espesor ( $<1/8H$ ), y de esta manera tengan validez las expresiones

<sup>39</sup> Ing. Carlos Baldeón, Tanques y esferas para empresas petroleras, 2001.

determinadas para el cálculo. De lo contrario el análisis debe realizarse considerando la tracción del plano medio.

Los análisis realizados hasta el momento, tanto para las bóvedas como para las placas, permiten determinar las tensiones máximas que se generan en estos elementos. Posteriormente es necesario establecer las condiciones críticas de posibles fallas que puedan darse en el elemento, para lo cual se utiliza “La teoría de Mohr”, cuya expresión es la siguiente: <sup>40</sup>

$$\sigma_{eq} = \sigma_1 - k\sigma_3 \leq [\sigma]_t \quad \text{Ecuación 3.8} \quad k = \frac{S_{ut}}{S_{uc}} \quad \text{Ecuación 3.9}$$

### 3.2.5 DISEÑO DE LA SOLDADURA

Para el diseño de la soldadura se toma en consideración los siguientes puntos:

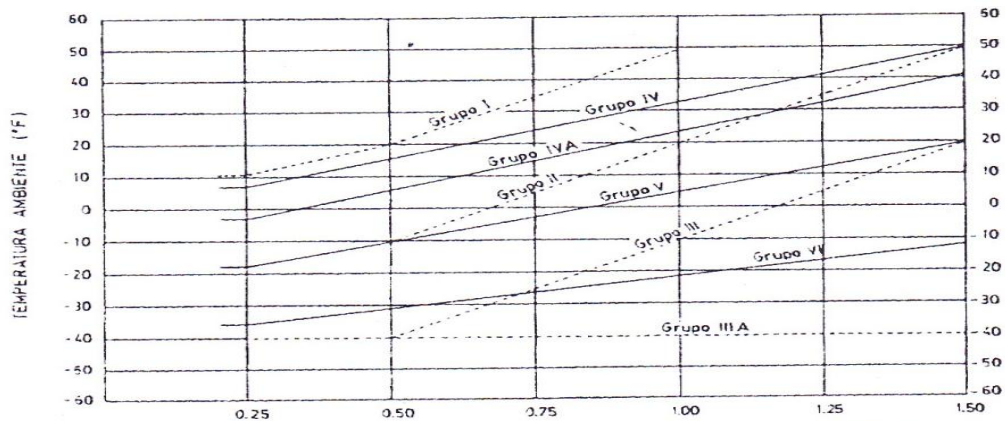
#### 3.2.5.1 MATERIALES BASE.

Planchas: son utilizadas para la construcción de paredes laterales, base y techo del tanque de almacenamiento. Las planchas deben ser de un espesor máximo de 1,75 pulgadas; las planchas con un espesor mayor a 1,5 pulgadas deben ser suministradas con tratamiento térmico de normalizado, acero calmado (desoxidado para evitar sopladuras), de grano fino y probada su tenacidad o resistencia al impacto.

La norma API 650 establece 6 grupos de materiales base con especificaciones ASTM que, de acuerdo con la temperatura de trabajo del tanque de almacenamiento y para espesores a partir de 0,25 pulgadas hasta 1,5 pulgadas no requieren ensayos de tenacidad. <sup>40</sup>

---

<sup>40</sup> Ing. Carlos Baldeón, Tanques y esferas para empresas petroleras, 2001.



**Figura 20.** Espesor de la plancha incluyendo sobre-espesor para contrarrestar el desgaste por erosión (pulgadas)  
**Fuente:** (Ing. Carlos Baldeón, Tanques y esferas para empresas petroleras) <sup>41</sup>

De acuerdo a las condiciones ambientales de nuestro país, en general, corresponde utilizar materiales base (plancha) del grupo I, que incluye las siguientes especificaciones: ASTM A 283 grado C, espesor menor o igual a 1, ASTM A 285 grado C, espesor menor o igual a 1, ASTM A 131 grado A, espesor menor o igual a 0,500 , ASTM A 36, espesor menor o igual a 1,500, ISO grado Fe 42 calidad B, espesor menor o igual a 1,500 National Standards grado 37 y 41. <sup>41</sup>

Estos materiales no requieren ser sometidos a pruebas destructivas por impacto (tenacidad).

Laminas: las láminas seleccionadas para la elaboración del techo flotante o fijo deben corresponder a la especificación ASTM A 570 grado 33. <sup>41</sup>

Perfiles estructurales: se deben seleccionar de acuerdo con la especificación ASTM aceros estructurales A 36, aceros estructurales para barco A 131; Asociación Canadiense de Normas (CSA Standards) G40. 21- M 81, aceros de calidad estructural; ISO aceros estructurales 650 grados Fe 42 y 44, calidad B, C y D. <sup>41</sup>

<sup>41</sup> Ing. Carlos Baldeón, Tanques y esferas para empresas petroleras, 2001.

Tuberías: según especificaciones: API 5L grados A, B y X42, ASTM A 53 grados A y B, accesorios forjados.<sup>42</sup>

Según especificaciones: ASTM A105, accesorios forjados para tubería de acero al carbono, ASTM A 181, piezas forjadas de acero al carbono para tuberías de propósito general.<sup>42</sup>

### **3.2.6 DISEÑO DE TANQUES**

El análisis estructural del tanque es relativamente sencillo ya que las fórmulas para obtener el espesor de la plancha en función de su punto de fluencia y radios de curvatura para su superficie cilíndrica, esférica o cónica, etc. son por demás conocidas. Para fondos semi-elípticos el asunto es un poco más complicado ya que hay ciertas zonas que bajo el peso del contenido del agua entran en compresión y es necesario verificar su estabilidad contra el pandeo, (por ejemplo una bolsa de papel de fondo plano que se llena con azúcar tiene ciertas zonas en la unión del fondo con la pared lateral que se chupan).<sup>42</sup>

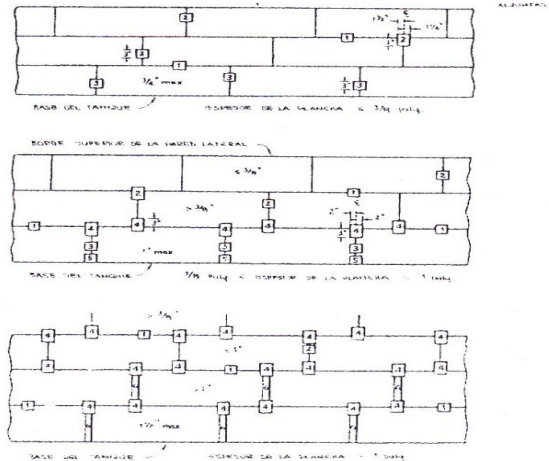
Otro aspecto importante que influye en el diseño del tanque es la geometría de las patas de la torre. Si son verticales, y esto es solo para tanques muy grandes, no hay compresión horizontal en el anillo de refuerzo de la unión del manto cilíndrico con el fondo. Pero si las patas de la torre son inclinadas se produce una componente horizontal por el peso del tanque, torre y contenido de agua. Para el tanque de 4 patas el anillo de refuerzo estaría sujeto a las 4 fuerzas radiales que causan momentos y deflexiones en el anillo. La deflexión hay que mantenerla a un mínimo para evitar que las diagonales superiores de la torre se pandeen ya que, tratándose de elementos sumamente esbeltos no son aptos para resistir fuerzas de compresión.<sup>42</sup>

---

<sup>42</sup> Ing. Carlos Baldeón, Tanques y esferas para empresas petroleras, 2001.



Hay que poner mucho cuidado en el anillo de refuerzo del tanque que debe mantener la geometría del conjunto torre y tanque.



**Figura 21.** Espesor de la plancha

**Fuente:** (Ing. Carlos Baldeón, Tanques y esferas para empresas petroleras)<sup>43</sup>

No es dable usar refuerzos interiores en un tanque como radios interiores, pues el interior del tanque deberá estar totalmente limpio de estructura que tienden a recolectar sedimentos y materiales extraños que van en detrimento del agua potable.

### 3.3 CLASIFICACIÓN DE LOS TANQUES DE ALMACENAMIENTO EN FUNCIÓN DE LA PRESIÓN

Se pueden distribuir los productos petrolíferos en tres clases, de acuerdo con su volatilidad; a cada clase le corresponden tipos particulares de tanques que se diferencian esencialmente por su presión de servicio.<sup>44</sup>

Un tanque soporta, por una parte, la presión hidrostática creada por el líquido contenido, y por otra, la presión de la fase gaseosa situada sobre el líquido. De acuerdo con lo expuesto se establece la siguiente clasificación, en función de la presión de vapor de las sustancias a almacenar:<sup>44</sup>

<sup>43</sup> Ing. Carlos Baldeón, Tanques y esferas para empresas petroleras

<sup>44</sup> César Barrera, Tesis: Estudio de calibración de tanques de almacenamiento

CLASIFICACIÓN DE LOS TANQUES DE ACUERDO A PRESIÓN DE VAPOR		
PRESION DE VAPOR	PRODUCTO	TIPOS DE TANQUES
Siempre > 1 Kg/cm <sup>2</sup>	Propano y Butano	Esferas, Cilindros
Menos de 1 Kg/cm <sup>2</sup> Mayor de 0 Kg/cm <sup>2</sup>	Crudo, Gasolina, Nafta, Keroseno	Techo Flotante Techo Flotante Interno
Despreciable (prácticamente 0 Kg/cm <sup>2</sup> )	Gas Oíl Fuel Oil	Techo Fijo(algunas veces calorifugados y aislados)

**Tabla 2.** Clasificación de los Tanques de acuerdo a presión de vapor

**Fuente:** (Ing. Héctor Bonifaz, Curso de cálculos y diferencias de producto en transporte y almacenamiento) <sup>45</sup>

**Elaboración:** Propia

En general todos los tanques deben estar protegidos contra sobrepresiones o depresiones exageradas mediante válvulas de seguridad que sean capaces de neutralizar los cambios en la presión.

### 3.4 TANQUES ESFÉRICOS

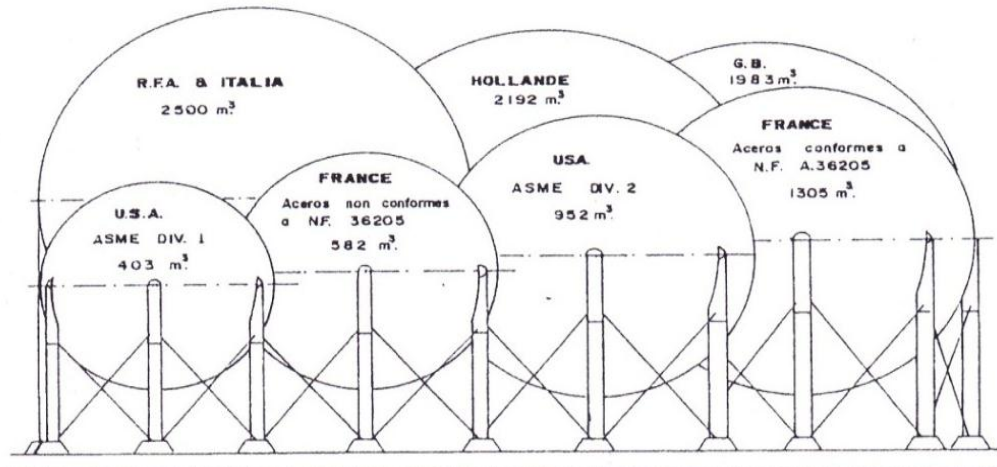
Para almacenar gas licuado de petróleo a presiones atmosféricas se debe disponer de tanques que conserven una temperatura de -42°C. Debido a esto se deben utilizar tanques a presión de forma esférica o cilíndrica, los mismos que están diseñados para trabajar a una presión interna de 15 kg/cm<sup>2</sup> aproximadamente y a temperatura ambiente.

#### 3.4.1 CONSTRUCCIÓN DE TANQUES ESFÉRICOS

Las esferas se construyen en grupos utilizando chapas de acero. Se sostienen mediante columnas que deben ser calculadas para soportar el peso de la esfera durante la prueba hidráulica (pandeo).

<sup>45</sup> Ing. Héctor Bonifaz, Curso de cálculos y diferencias de producto en transporte y almacenamiento

Al igual que en los cigarrros, todas las soldaduras deben ser radiografiadas para descartar fisuras internas que se pudieran haber producido durante el montaje.



**Figura 22.** Modelos de esferas para almacenamiento de acuerdo a las normas ASTM

**Fuente:** ( Ing. Carlos Baldeón, Tanques y esferas para empresas petroleras)<sup>46</sup>

### 3.4.2 DISEÑO, FABRICACIÓN Y MONTAJE DE TANQUES ESFÉRICOS

Para el diseño, fabricación y montaje de tanques esféricos se toman en consideración los siguientes puntos:

#### 3.4.2.1 DISEÑO ESTRUCTURAL

El diseño se divide en dos partes

- a) El tanque propiamente dicho y
- b) La estructura del soporte

El diseño estructural debe considerar las solicitaciones de las combinaciones de un tanque y torres bajo las siguientes condiciones:

1. Cargas muertas del tanque vacío y torre

<sup>46</sup> Ing. Carlos Baldeón, Tanques y esferas para empresas petroleras

2. Carga muerta del tanque más el contenido de agua y torre.
3. Cargas sísmicas horizontales actuando sobre el tanque lleno y la torre.
4. Viento actuando sobre el tanque vacío.

### 3.4.2.2 DISEÑO DE LA TORRE

Para tanques de hasta 150.000 gls., es normal diseñar torres de 4 patas. Para galonajes mayores es preferible usar de 6 a más patas. Las diagonales de arriostamiento son generalmente de hierro redondo con un templador de rosca izquierda o derecha para aplomar la estructura.



**Figura 23.** Tanques de almacenamiento esféricos  
**Fuente:** Fotografía Refinería La Libertad    **Elaboración:** Propia

El análisis estructural es por demás sencillo, pero hay que tener en cuenta que las fuerzas centrífugas pueden actuar paralelas a las caras principales de la torre u oblicuamente. Para el caso de 4 patas, el sismo actuando sobre la diagonal de la sección cuadrada de la torre produce los máximos esfuerzos de tracción y compresión en las patas de la torre. Según el código AISC, es permisible dividir esta carga combinada de carga muerta, contenido de agua y sismo por un factor de 1.33, siempre que la fuerza resultante no sea menor que la suma de carga muerta y contenido de agua.<sup>47</sup>

---

<sup>47</sup> Ing. Carlos Baldeón, Tanques y esferas para empresas petroleras

El factor sísmico para tanques elevados según el Código de Construcción Ecuatorial es de por lo menos 20%.

Las patas de la torre pueden ser de tubo que presenta ventajas de tener igual resistencia al pandeo en cualquier dirección pero que es un tanto más caro que los perfiles comunes. Pueden también construirse las patas de una combinación de perfiles, como por ejemplo de ángulos en estrella, ángulos en cajón, combinaciones de dos canales con presillas y/o arriostamientos en diagonales, etc.

### **3.5 ACCESORIOS DE LOS TANQUES DE ALMACENAMIENTO**

Los tanques disponen de una o varias tomas de entrada y salida de producto, según su capacidad. Los accesorios se detallan a continuación:

- **Boca de entrada:** esta generalmente situada en la base del tanque, como a medio metro del fondo, a fin de dejar un volumen muerto, en el que puedan acumularse depósitos indeseables, o bien para que el volumen de hidrocarburo descansa sobre una capa de agua. La entrada de producto no se efectúa por la parte superior del tanque para evitar que caiga no remueva los fluidos del fondo o que cree cargas eléctricas estáticas.
- **Boca de sondeo:** sirve para la medición manual de nivel y temperatura, y para la extracción de muestras.
- **Manholes:** son bocas de aprox. 600 mm de diámetro para el ingreso al interior del tanque. La cantidad mínima necesaria la fija la norma en función del diámetro del tanque.
- **Bocas de limpieza:** se colocan cuando se considera necesario. Son aberturas de 1.2 x 1.5 m aprox. dependiendo del diámetro del tanque, permiten la limpieza y eliminación de lodos, sedimentos, etc., que a menudo se acumulan en el fondo. Las operaciones de limpieza son

delicadas y precisan de una desgasificación cuidadosa previa del tanque. Esta operación se puede realizar adoptando en uno de los manholes del techo un ventilador-aspirador teniendo abiertas las entradas de hombre del fondo del recipiente; después se suele vaporizar el tanque a fin de eliminar los restos de vapores de hidrocarburos.

- **Base de hormigón:** se construye un aro perimetral de hormigón sobre el que debe apoyarse el tanque para evitar hundimiento en el terreno y corrosión de la chapa.
- **Telemedición:** hay distintos sistemas, cada uno con sus ventajas y ámbito de aplicación. Entre ellos podemos mencionar para la medición de nivel los siguientes:
  - **HTG:** medición hidrostática de tanques. Los últimos modelos acusan una precisión del 0.02%
  - **Servomecanismos:** es un palpador mecánico, sigue el nivel de líquido. Precisión de 1 mm aprox.
  - **Radar:** se envía una señal por medio de una antena, que rebota y vuelve a la fuente. Precisión 1 mm aprox.
  - **Para la medición de temperatura:** se utilizan tubos con varios sensores ubicados en distintas alturas, para medirla a distintos niveles de líquido (estratificación). Precisión hasta 0.05°C.

**Instalación contra incendios:** debe cumplir con lo dispuesto por la Ley 13660 (*Ley para la seguridad de las instalaciones de elaboración, transformación y almacenamiento de combustibles sólidos, minerales, líquidos y gaseosos*). Deben contar con un suministro de espuma dentro del recipiente, y con una tubería de sistema contra incendios que sea capaz de suministrar el caudal de agua mínimo que exige la norma para el enfriamiento de las paredes y del techo del tanque.

- **Serpentín de calefacción:** empleado en productos como el crudo (sedimentación de parafinas) y Fuel Oil (mantener viscosidad adecuada), son tubos de acero por los que circula vapor a baja presión.
- **Cubeto:** el área alrededor de un tanque debe estar aislada mediante un cubeto; es decir, unos diques, para que en caso de derramarse el líquido contenido en el tanque (rotura, rebose, etc.) puedan almacenarlo, impidiendo que se extienda por todas partes con lo que se perdería, además del peligro de provocar un incendio inmediato. Según lo exige la Ley 13660, debe existir alrededor del tanque un recinto capaz de contener hasta el 10% más de la capacidad máxima del tanque. En caso de haber más de un tanque dentro del recinto, el mismo deberá ser capaz de contener la capacidad máxima del tanque más grande, más el 50% de la capacidad total de los tanques restantes. Dicho recinto estará delimitado por un muro o por un talud de tierra. Los tanques de 10.000 m<sup>3</sup> de capacidad o mayores deberán ubicarse en recintos individuales.
- **Drenajes:** por seguridad, la apertura del drenaje del recinto debe poder hacerse siempre desde el exterior del muro de contención, para recuperar el producto en caso de rotura del tanque, existiendo drenajes pluviales e industriales segregados.
- **VPV (válvulas de presión y vacío):** son necesarias ya que el tanque “respira” debido a: vaciado/llenado del hidrocarburo almacenado, aumento de la temperatura, exposición al fuego. La normativa de referencia: API 2000 Presión de apertura para presión/vacío: 22 mm H<sub>2</sub>O. En hidrocarburos pesados (Fuel Oil, asfaltos, lubricantes), se colocan cuellos de cigüeña con arrestrallamas.



**Figura 24.** Válvula de presión tanque 72  
**Fuente:** Fotografía Refinería La Libertad  
**Elaboración:** Propia

### 3.6 TIPOS DE TANQUES.

La selección está dada de acuerdo al tipo de: producto a almacenarse, uso, capacidad y presión de almacenamiento, etc. Dentro de estas condiciones podemos citar los siguientes tipos de tanques:

- Tanques Techo Cónico
- Tanques Techo Flotante
- Tanques Techo Cónico-Flotante Interior
- Tanques Domos
- Esferas
- Tanques Atornillados
- Recipientes de Presión

Cada uno de estos tanques tiene una característica especial de almacenamiento.<sup>48</sup>

---

<sup>48</sup> Ing. Héctor Bonifaz, Curso de cálculos y diferencias de producto en transporte y almacenamiento.



### **3.7 ALMACENAMIENTO Y PRODUCTOS A ALMACENARSE**

Los tanques de almacenamiento están destinados a contener diversos productos, derivados de la industria del petróleo y los demás obtenidos de la licuación de gases (aire, gases raros, etc.).

La gama de estos productos es amplia y sus características muy diferentes. Los diversos productos almacenados en los tanques se pueden agrupar como se indican a continuación.

- Gaseosos, líquidos y algunas veces pulverizantes.
- Ácidos o viscosos.
- Inertes o peligrosos.
- Estables o muy volátiles.
- Cuyas temperaturas van de  $-200^{\circ}\text{C}$  a  $+200^{\circ}\text{C}$ .
- Bajo presión atmosférica a varios  $\text{kg/cm}^2$ .

Para adaptarse a estas necesidades de variables, las formas de los tanques que almacenan productos son numerosas y diferentes, además hay que tener en cuenta la naturaleza del terreno, consideraciones climatológicas y las del sitio.<sup>49</sup>

#### **3.7.1 ALMACENAMIENTO A TEMPERATURA AMBIENTE O CALENTADAS.**

Se trata de tanques clásicos

- Tanques sin techo
- Tanques techo flotante(RTF)
- Tanques techo cónico(RTC)
- Tanques techo esférico (RTS)
- Tanques de techo flotante interno(RTFI)

---

<sup>49</sup> Ing. Héctor Bonifaz, Curso de cálculos y diferencias de producto en transporte y almacenamiento.

Todos estos tanques, funcionan bajo presión atmosférica o casi atmosférica (25mbar máx.). Salvo los tanques sin techo que son únicamente utilizados para almacenamiento de agua, los demás son destinados a almacenar productos como: crudo, gasolina, diesel y productos pesados. Estos últimos son calentados para mantenerlos líquidos y de esa manera permitir su transporte.<sup>50</sup>

### **3.7.2 ALMACENAMIENTO BAJO PRESIÓN A TEMPERATURA AMBIENTE**

En esta categoría comprenden:

- Hemisferoides bajo presión pequeña (350 mbar máximo).
- Esferoides bajo presión mediana (2 bar. máx.).

Estos tipos de tanques son reservados para el almacenamiento de gasolina liviana y de los pentanos.

- Esferas con presión alta (generalmente hasta 25 bar.)<sup>50</sup>

### **3.7.3 ALMACENAMIENTO MEDIO REFRIGERADO A TEMPERATURA CERCANA A 0°C**

Se trata de esferas de simple pared y protección térmica sobre el cuerpo con presión reducida (aprox. 5bar.).

El principio del medio refrigerado, consiste en mantener por medio de máquinas frigoríficas una presión inferior a la que tendría el producto a temperatura ambiente.<sup>50</sup>

---

<sup>50</sup> Ing. Héctor Bonifaz, Curso de cálculos y diferencias de producto en transporte y almacenamiento.

### **3.7.4 ALMACENAMIENTO REFRIGERADO AL PUNTO NORMAL DE EBULLICIÓN (PNE) HASTA TEMPERATURA DE - 60°C**

Se trata de tanques de simple pared, con protección térmica bajo presión casi atmosférica (150 mbar máx.).

Este tipo de almacenamiento funciona con el mismo principio que el almacenamiento de medio refrigerado, considerando que la presión del producto no es solamente reducida, sino, llevada a la presión atmosférica al PNE.

Dentro de estas condiciones, el almacenamiento del propano, se efectuará bajo una presión efectiva nula a una temperatura de -42°C. Sin embargo por razones no evidentes de explosión, el propano será almacenado con una presión superior.

Este tipo de almacenamiento es empleado para todos los LPG, Amoníaco y Cloruro de Vinilo.<sup>51</sup>

### **3.7.5 ALMACENAJE CRIOGÉNICO DE PNE HASTA TEMPERATURA DE -200°C**

Son tanques de doble cuerpo con protección térmica bajo presión casi atmosférica (150 mbar máx.).

El almacenamiento criogénico, es un almacenaje que se realiza de la misma manera que el almacenaje refrigerado pero que se designa así por las muy bajas temperaturas obtenidas y también difieren del almacenaje refrigerado por la naturaleza de los materiales especiales puestos en obra. Se almacenan dentro de estos tanques los gases licuados tales como: etanol, etileno, metano, oxígeno, argón.<sup>51</sup>

---

<sup>51</sup> Ing. Héctor Bonifaz, Curso de cálculos y diferencias de producto en transporte y almacenamiento.

### **3.8 TANQUES DE TECHO FIJO.**

Consta de un fondo plano, una virola cilíndrica y un techo fijo. Se construyen mediante chapas soldadas, adecuadamente curvadas para el caso de la virola. El fondo se construye plano, pero con una capacidad de flexión tal que pueda tomar la forma ligeramente cóncava de las funciones.

Al igual que todos los tipos de tanques, estos deben ser estables dentro de un margen de presiones y depresiones, fijados para cada caso en particular, dependiendo del tipo de producto que van a contener; los más corrientes suelen oscilar entre 15 y 30 gr/cm<sup>2</sup> para sobrepresión y de 5 a 2 gr/cm<sup>2</sup> para la depresión.<sup>52</sup>

### **3.9 TANQUE DE TECHO FLOTANTE**

En cuanto a características constructivas, su diferencia fundamental con las anteriores está en el techo. Este tipo de tanques han sido universalmente aceptados para el almacenamiento de productos volátiles: crudo y gasolina, ya que suponen un sencillo y eficaz medio de contrarrestar y evitar pérdidas de producto por evaporación.

El techo móvil se desliza dentro de la falda del tanque y descansa directamente sobre el líquido almacenado, y por lo tanto le sigue en sus variaciones de nivel. En estas condiciones, la fase gaseosa que pueda originarse es prácticamente despreciable. Una junta especial asegura la unión entre las paredes y el techo, y actúa de sello para que no puedan originarse escapes.

El tipo más corrientemente empleado es el de pontón circular, integrado por una cámara de aire circular, dividida en comportamientos estancos y que hace de flotador.

---

<sup>52</sup> Ing. Héctor Bonifaz, Curso de cálculos y diferencias de producto en transporte y almacenamiento.

El acceso al techo se hace por una escalera en especial soldada a la falda del tanque; una plataforma y una escalera cuya inclinación sigue las variaciones del nivel del líquido almacenado. El techo está provisto de una serie de patas que permiten la limpieza interior y de fondos, cuando se ha vaciado.<sup>53</sup>

### **3.10 ESPEORES PARA TECHO**

Existen varios métodos de diseño de un techo, especialmente en la forma de soporte, por lo cual se encuentran definidos de la siguiente manera:

- Techos cónicos con estructura interna.
- Techos cónicos autoportantes íntegros (rebordeados).
- Techos cónicos autoportantes (en sectores).

Sobre espesor de corrosión.

Generalmente este valor lo especifica el cliente, el más usado es 1/16".

#### **3.10.1 PROCESOS DE FABRICACIÓN**

En el proceso de fabricación, existen varias operaciones que se realizan para llegar a conseguir un producto óptimo, éstas son:

- Trazado.
- Corte.
- Rolado.
- Ensamble y soldadura.
- Maquinado.
- Marcado (señalización de partes).

---

<sup>53</sup> Ing. Héctor Bonifaz, Curso de cálculos y diferencias de producto en transporte y almacenamiento.

### **3.11 DESCRIPCIÓN DE LOS TANQUES DE REFINERÍA LA LIBERTAD**

En las instalaciones de Refinería La Libertad se usan gran cantidad de tanques, cada uno con sus especificaciones respectivas de acuerdo a cada producto que se obtienen luego de la destilación.

#### **3.11.1. DESCRIPCIÓN DE LOS TANQUES DE ALMACENAMIENTO DE FUEL OIL.**

Refinería La Libertad cuenta con un total de 7 tanques que almacenan Fuel Oil #4, cada uno con sus especificaciones correspondientes, distribuidos de la siguiente manera: 3 en Planta Cautivo y 7 en Planta Universal.

Cada Planta utiliza un sistema de circulación distinto para el Fuel Oil #4 a despacharse a diferentes áreas.

##### **3.11.1.1. CAPACIDAD DE ALMACENAMIENTO.**

Los tanques tienen distintas capacidades de almacenamiento de acuerdo a sus especificaciones de construcción. Dentro de refinería se manejan tres distintos tipos de llenado:

- **Capacidad Total**

Es la capacidad de almacenamiento en barriles de acuerdo a sus especificaciones de diseño y construcción. Los volúmenes de Fuel Oil que se manejan de acuerdo a las especificaciones son los siguientes:

Planta Universal y Parsons: 315.477 barriles.

Planta Cautivo: 52.065 barriles.

- **Capacidad Operativa**

Es la diferencia que existe entre el rango mínimo y máximo de llenado para evitar un posible rebose.

Planta Universal y Parsons: 302.210 barriles

Planta Cautivo: 50.139 barriles

- **Capacidad Llenado**

Es la diferencia entre la capacidad operacional y el rango mínimo permisible (2,6').

Planta Universal y Parsons: 278.830 barriles

Planta Cautivo: 51.094 barriles

### **3.11.1.2. DIMENSIONES DE TANQUES**

Las medidas de los tanques corresponden a su fabricación y producto que almacenan. Anexos

En Planta Cautivo se cuenta con los tanques 71, 72 y 200, cada uno con sus especificaciones correspondientes:

Tq 71:            Diámetro 54' 10" 7/16  
                      Altura: 25' 3"  
                      Volumen: 10639 barriles

Tq 72:            Diámetro 63' 0" 3/8  
                      Altura: 29' 9" 7/8  
                      Volumen: 16422 barriles

Tq 200:        Diámetro 64' 11" 3/4  
                  Altura: 42' 6"  
                  Volumen: 24.204 barriles

### **3.11.1.3. PROTECCIÓN CONTRA INCENDIOS.**

En todos aquellos puntos en los que pueda existir comunicación entre la fase gaseosa y la atmósfera (válvulas de venteo, válvulas de seguridad, etc.), hay que colocar corta fuegos, constituidas por una serie de hojas de aluminio onduladas, colocadas paralelamente entre sí, que representan una gran capacidad calorífica, susceptible de enfriar suficientemente al gas para detener su combustión.

En caso de incendio, puede inyectarse espuma a través de líneas especiales para este uso. Por último, se deben de colocar tomas a tierra para la eliminación de cargas eléctricas (estáticas).

### **3.12 PROCESO DE ALMACENAMIENTO: UNIDADES DE DESTILACIÓN PRIMARIA.**

Refinería La Libertad, consta de tres unidades principales de refinación, que son:

Planta Universal, Planta Cautivo y Planta Parsons, todas con especificaciones y procesos correspondientes, debido a que cada una cuenta con un sistema individual de almacenamiento de productos refinados.

### **3.13 COMBUSTIBLES LÍQUIDOS DERIVADOS DE PETRÓLEO**

Los principales combustibles líquidos derivados de petróleo se obtienen mediante la destilación fraccionada del petróleo crudo (una mezcla de hidrocarburos y derivados de hidrocarburos que se encuentran en el intervalo desde el metano hasta compuestos bituminosos pesados). Desde un cuarto hasta la mitad de las



moléculas del petróleo crudo pueden contener átomos de azufre y algunas contienen nitrógeno, Oxígeno, vanadio, níquel o arsénico. Algunas fracciones escogidas se pueden someter a la desulfuración, la hidrogenación, la descomposición térmica (a un peso molecular más bajo), y a otros procesos de refinación, antes de mezclarse y venderse como carburantes. Las relaciones de viscosidad, gravedad e intervalos de puntos de ebullición de los combustibles líquidos más comunes se dan en la tabla 3.<sup>54</sup>

<b>PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS DE LOS COQUES DE ALTA TEMPERATURA</b>	
<b>PROPIEDAD</b>	<b>INTERVALO</b>
Materia volátil	0,6-1,4 % peso como se recibe
Cenizas	7,5-10,7 % peso como se recibe
Azufre	0,6-1,1 % peso como se recibe
Factor de estabilidad	39-58 (tambor de 1 in)
Factor de dureza	60-38 (tambor ¼ in)
Peso específico aparente (agua=1,0)	0,80-0,99

**Tabla 3.** Propiedades físicas y químicas de los coques de alta temperatura que se usan en los Estados Unidos de América

**Fuente:** (Robert H. Perry, *Manual del Ingeniero Químico*)<sup>54</sup>      **Elaboración:** Propia

*\*Comparison of Properties of Coke Produced by BM-AGA and Industrial Methods, U.S. Bur. Mines Rep. Invest. 6354. Para convertir pulgadas en centímetros, multiplicar por 2,54*

<sup>54</sup> Robert H. Perry, *Manual del Ingeniero Químico*

### **3.13.1 ESPECIFICACIONES.**

Las especificaciones desarrolladas por la AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS (ANNUAL BOOK OF ASTM ESTÁNDARS), se utilizan ampliamente para clasificar combustibles. La Tabla 4, muestra la especificación de aceite combustible ASTM D 396; dicha norma omite al keroseno, un combustible número 1 de bajo contenido de azufre, que se quema con limpieza en lámparas y calentadores domésticos y estipulados en la norma ASTM D 3699.<sup>54</sup>

Al redactar contratos y realizar análisis para aceptación, debe hacerse referencia a las normas ASTM pertinentes, estas normas contienen especificaciones (clasificación) y métodos de ensayo para combustibles y para quemadores (D 396), gasolinas para motores y aviación (D 4814 y D910), carburantes, diesel (D 975) y carburantes para aviación y turbinas de gas(D 1655 y D 2880). La ASTM D 4057 contiene procedimientos para el muestreo al granel en tanques, barcazas, etc.

Las especificaciones de los combustibles en las diferentes fuentes pueden diferir de acuerdo a las pruebas de contenido de azufre, densidad, etc., pero en general se reconocen las siguientes categorías: combustible de vaporización tipo kerosene, destilado (o gaseoso) para quemadores por atomización, mezclas más viscosas y otros residuos para comercio o industrias más pesadas.

Las especificaciones de los combustibles para calderas destinados a buques mercantes se describen en la norma ASTM 2069, STANDARD SPECIFICATION FOR MARIENE FUELS. Los buques de gran calado, llevan aceite pesado residual (por ejemplo aceite combustible # 4) o mezcla de destilados residuales para la propulsión principal, más un destilado para arranque, parada, maniobra, máquinas de cubierta y generadores de diesel.

ESPECIFICACIONES DE FUEL OIL DE ACUERDO A LAS NORMAS ASTM								
Propiedad	Método ASTM	N.º 1	N.º 2	Grado N.º 4 (ligero)	N.º 4	N.º 5 (ligero)	N.º 5 (pesado)	N.º 6
Temperatura de inflamación, °C, mín.	D 93	38	38	38	55	55	55	60
Agua, sedimento, % vol., máx.	D 1796	0,05	0,05	(0,50) <sup>c</sup>	(0,50) <sup>c</sup>	(1,00) <sup>c</sup>	(1,0) <sup>c</sup>	(2,00) <sup>c</sup>
Temperatura de destilación, °C	D 86	215	-	-	-	-	-	-
10% volumen destilado, máx.			282	-	-	-	-	-
90% volumen destilado, mín.		288	338	-	-	-	-	-
Máx.	D445	-	-	-	-	-	-	-
Viscosidad cinemática a 40 °C (104 °F), mm <sup>2</sup> /s								
Mín.		1,3	1,9	1,9	>5,5	-	-	-
Máx.		2,1	3,4	5,5	24,0 <sup>d</sup>	-	-	-
Viscosidad cinemática a 100 °C (212 °F), mm <sup>2</sup> /s								
Mín.						5,0	9,0	15,0
Máx.						8,9 <sup>d</sup>	14,9 <sup>d</sup>	50,0 <sup>d</sup>
Residuo carbonoso Ramsbottom sobre un residuo de destilación del 10%, % masa, máx.	D 524	0.15	0.35	-	-	-	-	-
Cenizas, % masa, máx.	D 482	-	-	0,05	0,10	0,15	0,15	-
Azufre, % masa, máx.	D 129	0,50	0,50	-	-	-	-	-
Velocidad de corrosión sobre cinta de cobre, máx., 3h a 50°C	D 130	N.º 3	N.º 3	-	-	-	-	-
Densidad a 15°C. kg/m <sup>3</sup>	D 1298							
Mín.		-	-	>876 <sup>t</sup>	-	-	-	-
Máx.		850	876	-	-	-	-	-
Punto de goteo, fluidez o congelación, C, Máx.	D 97	-18	-6	6	-6	-	-	<sup>h</sup>

**Tabla 4.** Especificaciones de Fuel Oil de acuerdo a las normas ASTM

**Fuente:** (Robert H. Perry, *Manual del Ingeniero Químico*)<sup>55</sup> **Elaboración:** Propia

<sup>55</sup> Robert H. Perry, *Manual del Ingeniero Químico*

El combustible para la propulsión principal, se identifica mediante su viscosidad, en centistokes a 373°K. Las designaciones incluyen las que están basadas en segundos Redwood número 1 a 100°F (300°K) (por ejemplo, MD 1500) y las designaciones bunker A para el numero 5 Bunker B y Bunker C para el aceite combustible número 6 en los intervalos de viscosidad baja y elevada son ya obsoletas.

<b>ANÁLISIS ELEMENTAL DE COMBUSTIBLES DE PETRÓLEO TÍPICOS</b>					
<b>Composición %</b>	<b>Fuelóleo N.º1 (41,5° API)</b>	<b>Fuelóleo N.º2 (33° API)</b>	<b>Fuelóleo N.º4 (23,2° API)</b>	<b>Fuelóleo N.º6 Bajo en azufre (12,6° API)</b>	<b>Fuelóleo N.º6 alto en azufre (15,5° API)</b>
<b>Carbono</b>	86,4	87,3	86,47	87,26	84,67
<b>Hidrógeno</b>	13,6	12,6	11,65	10,49	11,02
<b>Oxígeno</b>	0,01	0,04	0,27	0,64	0,38
<b>Nitrógeno</b>	0,003	0,006	0,24	0,28	0,18
<b>Azufre</b>	0,09	0,22	1,35	0,84	3,97
<b>Cenizas</b>	<0,01	<0,01	0,02	0,04	0,02
<b>Razón C/H</b>	6,35	6,93	7,42	8,31	7,62

**Tabla 5.** Análisis elemental de combustibles de petróleo típicos

**Fuente:** (Robert H. Perry, *Manual del Ingeniero Químico*)<sup>56</sup> **Elaboración:** Propia

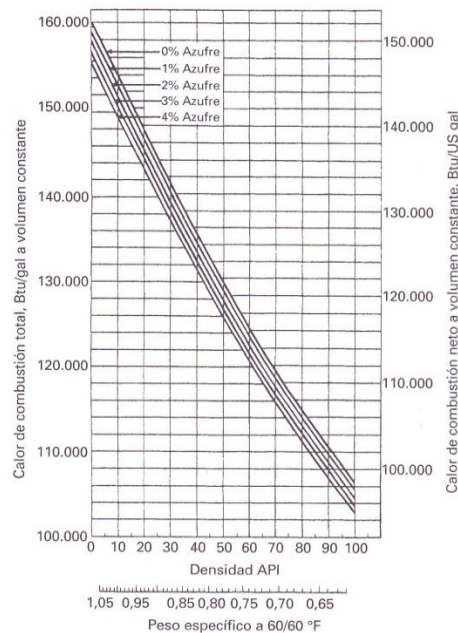
*Nota: La razón C/H se expresa en pesos.*

Los fondos (residuos) negros y viscosos de las torres de destilación se pueden tomar directamente del destilador, y quemarse lentamente como combustibles industriales sin enfriamiento, por debajo de 200°C o más; o se pueden mezclar en los combustibles residuales comerciales. Al diluirse con el 5 al 20 por 100 de destilado se producen aceites combustibles del número 4 y 5, para usos comerciales. Las mezclas de residuos y destilados, se usan también como carburantes diesel en los grandes motores estacionarios y marinos. El aceite combustible del número 6 de 10 a 500 ppm de vanadio y níquel en moléculas

<sup>56</sup> Robert H. Perry, *Manual del Ingeniero Químico*

orgánicas complejas, principalmente porfirinas, que no se pueden refinar económicamente, excepto incidentalmente durante una hidrodesulfuración intensa. También puede haber sales, arena, herrumbre y polvo, que le dan al combustible del número 6 un contenido usual de cenizas de 0.01 a 0.5 por cien en peso.<sup>56</sup>

La densidad relativa se determina, por lo común a la temperatura ambiente, con hidrómetros especiales, corregidos a 60°F, y se expresan en grados API. Es una escala que se relaciona en proporción inversa a la densidad relativa o peso específico S a 60/60 °F.



**Figura 25.** Calor de combustión de combustibles de petróleo.  
**Fuente.-** (Robert H. Perry, *Manual del Ingeniero Químico*)<sup>57</sup>  
 Para convertir Btu/US gal  $\text{kJ/m}^3$ , multiplicar por 278,7

<sup>57</sup> Robert H. Perry, *Manual del Ingeniero Químico*

### **3.13.2 CONSIDERACIONES COMERCIALES**

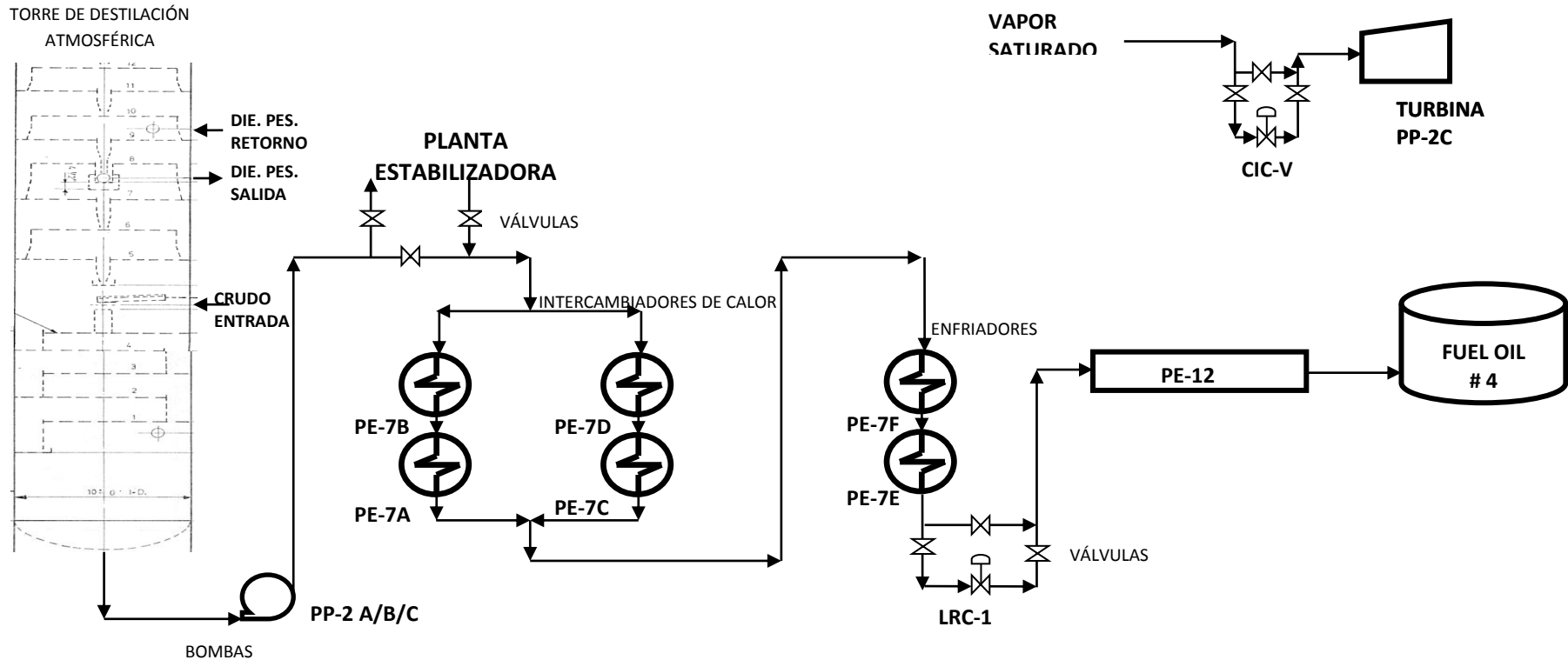
Las transferencias mayores, como en oleoductos, barcazas o buques tanques se miden por la profundidad (sonda) del combustible y tablas de calibración en los recipientes y en las cisternas. Después de un período apropiado de asentamiento, se mide el agua en el fondo del tanque con una plomada(o sonda de cinta) o una vara de madera, untada con pasta para detección de agua.

Las tres Plantas con las que cuenta Refinería La Libertad procesan crudo proveniente del Oriente, pero cabe mencionar que las Plantas Parsons y Cautivo refinan también crudo proveniente de Ancón y Pacoa respectivamente.

### **3.14 FUEL OIL EN PLANTA PARSON Y UNIVERSAL**

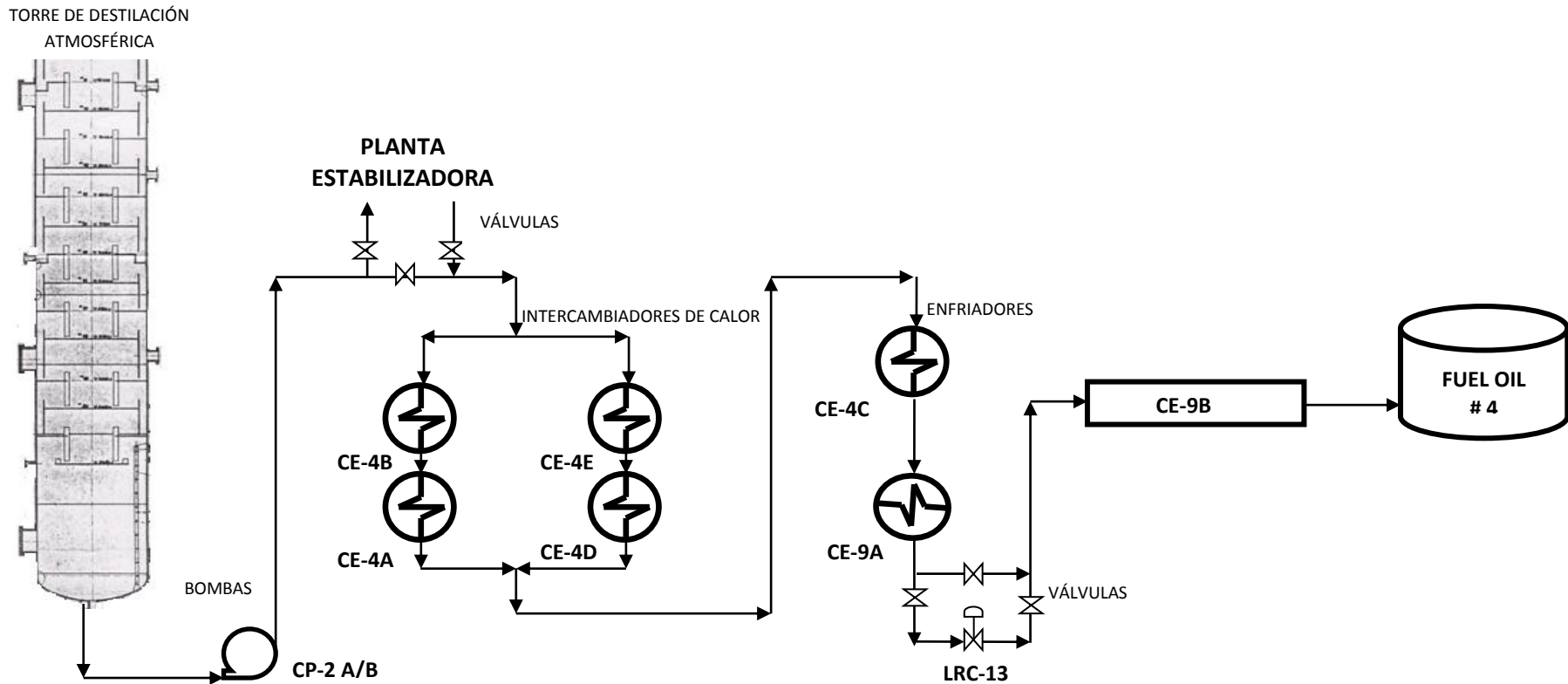
Esta planta se encuentra ubicada en las instalaciones de Refinería La Libertad. Las mismas que refinan crudo proveniente del Oriente (Parson), y Crudo proveniente de Ancón (Universal), ésta última ha sido modificada de su diseño original para manejar 10000 BPD de crudo de 27.0 a 27.5 °API. Pero procesa diariamente 3200bls. de carga de Fuel Oil #4.

# DIAGRAMA PROCESO DE ALMACENAMIENTO FUEL OIL - PLANTA PARSONS



**Figura 26** Diagrama de almacenamiento de Fuel Oil Planta Parsons  
**Fuente:** Dpto. Planta de Refinación, Refinería La Libertad

# DIAGRAMA PROCESO DE ALMACENAMIENTO FUEL OIL - PLANTA UNIVERSAL



**Figura 27** Diagrama de almacenamiento de Fuel Oil Planta Universal  
**Fuente:** Dpto. Planta de Refinación, Refinería La Libertad



### **3.15 ANÁLISIS DE LA CALIDAD DEL FUEL OIL**

#### **3.15.1 DENSIDAD API**

La densidad de los aceites del petróleo en términos de densidad API antes que en términos de peso; se relaciona con el peso específico, de tal manera que un incremento en la densidad corresponde a un descenso en el peso específico.

Las unidades de densidad son °API y pueden ser calculados a partir del peso específico mediante la siguiente ecuación.

$$^{\circ}\text{API} = \frac{141,5}{\text{peso específico}} - 131,5 \quad \text{Ecuación 3. 10}$$

Cuanto más denso, es el Fuel Oil, mas residual. Normalmente, la densidad del Fuel Oil es del orden 0.96-0.99 g/cm<sup>3</sup>

#### **3.15.2 CONTENIDO DE AGUA Y SEDIMENTOS**

El agua es el contaminante de mayor presencia en el Fuel Oil, el mismo que indica que no existen buenos procedimientos de operación.

Se lo encuentra de dos formas: en el fondo de los tanques de almacenamiento o emulsionado en pequeñas trazas con el combustible, formando partículas muy finas en suspensión, que no se alcanzan a distinguir, y son detectadas solo por análisis de laboratorio. Esta agua puede ser dulce o salada. Si es salada, puede ser detectada a través de una reacción química con nitrato de plata.

La presencia de agua es indeseable, porque constituye un medio propicio para la formación de hongos y bacterias; acelerando la corrosión de los metales por donde circula o se almacena.

El Fuel Oil por ser un combustible residual obtenido de varios pasos de destilación, acumula toda la suciedad presente en el petróleo. En consecuencia, siempre existe presencia de sedimentos, los mismos que no deben ser mayores al 0.5% en volumen.

Los sedimentos son la cantidad de impurezas que se decantan o se depositan en el fondo de los tanques de almacenamiento de Fuel Oil. Estos sedimentos pueden ser metálicos (corrosión interna de los tanques, tanqueros o buques transportadores), o acumulación de microorganismos propios de la descomposición del combustible y presencia de humedad (hongos y bacterias en forma de esponjas).

### 3.15.3 VISCOSIDAD

La viscosidad de un líquido puede definirse por la resistencia que oponen sus moléculas a la fuerza que tiende a desplazarlas. Mide el frotamiento interno, decrece con la temperatura y aumenta con la presión.

En el sistema CGS la viscosidad absoluta se mide:

$$\mu = \text{Dinas. seg/cm}^2 = \text{g/cm. seg} = \text{POISE} \quad \text{Ecuación 3. 11}$$

La viscosidad cinemática es el resultado de dividir la viscosidad absoluta para la densidad.

$$V = \frac{\mu}{\delta} = \frac{\text{g/cm. seg}}{\text{g/cm}^3} = \text{cm}^2/\text{seg} \quad \text{Ecuación 3. 12}$$

La viscosidad de mezclas de destilados no sigue una ley aritmética simple, como en el caso de la densidad. El problema es complejo y no ha sido solucionado exactamente, aunque es de mayor importancia práctica, ya que es común en las Refinerías el efectuar mezclas de destilados de diferentes viscosidades para conseguir un producto conforme a determinadas especificaciones.

La viscosidad se produce por el efecto de corte o deslizamiento resultante del movimiento de una capa de fluido con respecto a otro y es completamente distinta de la atracción molecular. La ley de viscosidad de Newton establece que para una tasa dada de deformación angular del fluido, el esfuerzo cortante es directamente proporcional a la viscosidad y se la conoce como viscosidad absoluta o dinámica ( $\mu$ ).

Ecuación 3.13 
$$\mu = \frac{\tau}{d\mu/dy}$$

#### **3.15.4 VOLATILIDAD**

Este tipo de Fuel Oil es poco volátil, se estima que se evapora entre el 5-10% debido al mayor contenido de compuestos con peso molecular elevado, como los hidrocarburos aromáticos poli-cíclicos. Esto le confiere una toxicidad aguda a corto plazo menor que la de otro tipo de fuel que tiene mayor contenido en hidrocarburos aromáticos menos pesados, por ejemplo el benceno.

#### **3.15.5 PUNTO DE INFLAMACIÓN**

Punto de inflamación, es la temperatura más baja a la cual un líquido volátil desprende vapores que forman en aire una mezcla inflamable. La determinación del punto de inflamación requiere de una fuente de ignición. (Tabla 6)

#### **3.15.6 CONTENIDO DE AZUFRE**

El contenido de azufre depende del crudo, del proceso de refinación y del tipo de Fuel Oil. El bajo contenido de azufre del Fuel Oil, minimiza los efectos de la corrosión generada por los residuos de la combustión, garantizando un mínimo de depósitos y escoria adherida en los componentes de la caldera.

Para determinar el tipo de Fuel Oil en Refinería La Libertad se manejan ciertos parámetros, bajo normas especificadas. (Tabla 6)

REQUISITOS	UNIDAD	TIPO				MÉTODO DE ENSAYO
		4ª		4B		
		MÍNIMO	MÁXIMO	MÍNIMO	MÁXIMO	
DENSIDAD API	°API	REPORTAR		REPORTAR		NTE INEN 2319
DENSIDAD a 15,6 ° C	kg/m3	REPORTAR		REPORTAR		ASTM 298
PUNTO DE INFLAMACIÓN	°C	60	-	60	-	NTE INEN 1493
PUNTO DE ESCURRIMIENTO	°C	-	12	-	10	NTE INEN 1982
CONTENIDO DE AGUA Y SEDIMENTO	% V	-	0,5	-	1	NTE INEN 1494
VISCOSIDAD CINEMÁTICA a 50° C	CSt	400	510	420	510	NTE INEN 810
CONTENIDO DE CENIZAS	% P	-	0,1	-	0,2	NTE INEN 1492
VISCOSIDAD REDWOOD N° 1 a 37,78°C	RW1	3820	5030	4040	5030	NTE INEN 1981
VISCOSIDAD SSF a 50°C	SSF	188,8	241	198,2	241	NTE INEN 1981
CONTENIDO DE AZUFRE	% P	-	1,5	-	2.3	NTE INEN 1049

**Tabla 6.** Requisitos del Fuel Oil Liviano # 4

**Fuente:** Coordinación general de control de calidad, Refinería La Libertad **Elaboración:** Propia

- El Fuel Oil debe cumplir con los requisitos que se establece en la tabla 6.
- El transporte, almacenamiento y manejo de Fuel Oil debe efectuarse en conformidad con el establecido en la NTE INEN 2266.

## CAPÍTULO IV

### DISEÑO DEL SISTEMA DE AGITADORES.

#### 4.1 PLANTA CAUTIVO.

##### 4.1.1 DESCRIPCIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO.



**Figura 28.** Vista aérea de Planta Cautivo

La Planta Cautivo está ubicada dentro del área de La Libertad, con la que se completa todo el sistema de refinación.

Es compacta, con sus propios generadores eléctricos, integrada por tres calderos de 150 libras de presión cada una, tiene su propia tanquería para productos semielaborados, y su propia línea submarina para el despacho de diesel y Fuel Oil. Procesa 5.500 barriles diarios de Fuel Oil #4.



**Figura 29.** Planta Cautivo  
**Fuente:** Fotografía Refinería La Libertad  
**Elaboración:** Propia

Refinería La Libertad, incrementó su producción de 8,5 millones de barriles de derivados en 1989, a 15 millones en el 2004.

El consumo local de residuo es aproximadamente el 60% del volumen total que producen las Plantas. Esta unidad refina crudo proveniente de Pacoa y Oriente.

Descripción de la Planta Cautivo:

- Planta tipo: destilación atmosférica.
- Constructora y operadora GULF.
- Año en operación 1969.
- Capacidad de diseño 4500 BPD.
- Actualmente procesa 9200 bl/d, con crudo Oriente (27.5°-28.0°API), crudo Peninsular (34°API).

Esta Planta a más de los productos como Diesel, Fuel Oil, gasolina actualmente procesa, Mineral Turpentine y Rubber Solvent. Además, se está implementando en la actualidad tanques de techo flotante, especialmente para los solventes, los cuales se encuentra en proceso de instalación.

La Planta Cautivo cumple un proceso de pre-flash, por cuanto tiene un fraccionador T1, en el que separa la gasolina liviana de la pesada.

Los rendimientos promedios de la Planta con la carga actual son:

- Gasolina: 19.15% V.
- Diesel: 21.14% V.
- Fuel Oil: 59.69% V.

Dentro de esta localidad contamos con tres tanques de Fuel Oil que se encuentran ubicados específicamente en el sector denominado Tanque Loma, los cuales tienen las características siguientes:

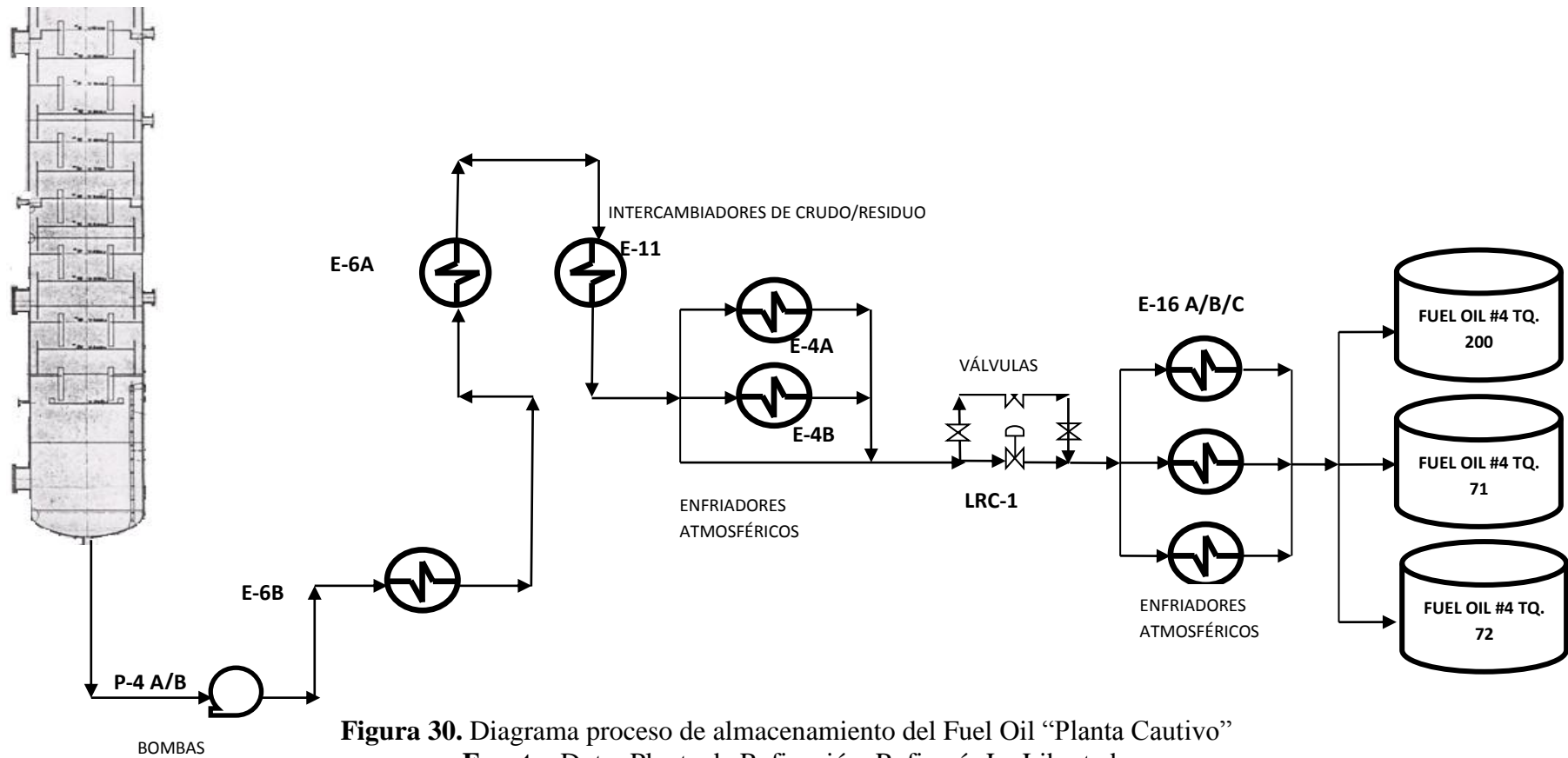
PETROINDUSTRIAL											
DATOS TECNICOS Y CARACTERISTICAS DE TANQUES DE ALMACENAJE DE REFINERIA LA LIBERTAD "PLANTA CAUTIVO"											
TANQUES	PRODUCTO	CAPACIDAD TOTAL	CAPACIDAD LLENADO	MENOS FONDOS	CAPACIDAD OPERACIONAL	FORMA DEL TQ Y TECHO	SEGURIDAD C INCENDIO	DIAMETRO	ALTURA	AÑO DE CONSTRUCCION	FORMA DE CONSTRUCCION
71 (L)	FUEL OIL	10639	10110	2"6'1.009	9101	CIL CON	ESPUMA Y ENFRIA	54"10"7/16	25"3'	1997	SOLDADO
72 (L)	FUEL OIL	16422	15825	2"6'1.233	14596	CIL CON	ESPUMA Y ENFRIA	63"0'3/8	29"9'7/8	2003	SOLDADO
200 (L)	FUEL OIL	25004	24204	2"6'1.381	22823	CIL CON	ESPUMA Y ENFRIA	64"11'3/4	42"6'	1970	SOLDADO

**Tabla 7.** Datos técnicos y características de tanques de almacenaje de “Planta Cautivo”

**Fuente:** Dpto. de programación, transferencia y almacenaje, Refinería La Libertad



# DIAGRAMA PROCESO DE ALMACENAMIENTO FUEL OÍL - PLANTA CAUTIVO



**Figura 30.** Diagrama proceso de almacenamiento del Fuel Oil “Planta Cautivo”  
Fuente: Dpto. Planta de Refinación, Refinería La Libertad

## **4.2 DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA DE CIRCULACIÓN ACTUAL**

Los problemas que se presentan con el Fuel Oil almacenado en Planta Cautivo están relacionados directamente con su viscosidad, llegando al caso en que la diferencia de valores de este parámetro relacionados con el residuo obtenido una vez finalizada la destilación son significativas, y van desde 1000, 1200, 2000 y 5000 a 60°F Redwood de viscosidad. Estos resultados son obtenidos en laboratorio de acuerdo a los ensayos referidos a las normas ASTM y a las INEN. El Fuel Oil es almacenado a 105°C en los tanques, a fin de mantener el perfil de temperatura, conservando el calor para que de esa manera el producto conserve su fluidez, y el manejo del mismo resulte viable.

La viscosidad máxima que debe tener el Fuel Oil es de 5030 Redwood, sin embargo, cuando se obtiene valores superiores al indicado es preciso realizar una dilución añadiendo Diesel destilado (2 gls. /min.), para obtener un producto más liviano y fluido que permita volver a circularlo hasta su homogeneidad.

El proceso de circulación de Fuel Oil utilizado en Planta Cautivo es realizado previo al despacho de este producto, a fin de homogenizarlo para obtener un valor de viscosidad que sea representativo al volumen de Fuel Oil almacenado en el tanque, a fin de garantizar la calidad del producto a entregarse a los tanques y a las termoeléctricas.

Cabe indicar que la viscosidad debe estar encuadrada dentro del rango de viscosidad establecida para este producto por el INEN.

Para la ejecución de esta operación de circulación del Fuel Oil # 4, que es el que se produce en esta Planta, se requiere la utilización de equipos como bombas centrífugas, válvulas de control, sistemas de tuberías e instrumentos de presión, todos instalados en una sala de bombas denominada Estación # 3, cabe señalar que los tanques están a una distancia de 100 metros de la estación de bombeo.

El tiempo que normalmente toma la homogenización del producto depende de la capacidad del tanque, ya que el más pequeño tiene una capacidad de 10.000 barriles y toma 5 horas mientras que el tanque de mayor capacidad de 20.000 barriles toma 8 horas para el proceso de homogenización y así lograr la misma viscosidad en cada uno de sus niveles.

El proceso de circulación, consiste básicamente en remover el Fuel Oil mediante una bomba que extrae el producto del tanque por la parte inferior y lo retorna a un mismo nivel mediante otra línea, convirtiéndose el proceso en una recirculación propiamente dicha que pretende asegurar la homogeneidad en el tanque de almacenamiento.

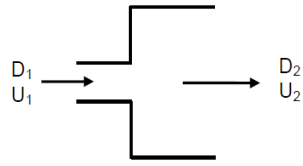
Para que exista una buena mezcla primero se extrae el fluido por la línea de recirculación que cuenta con un diámetro mayor (12") retornando por la línea de carga con un menor diámetro para lograr un incremento de presión.

Para un manejo adecuado del sistema de circulación y de la operación propiamente dicha es preciso conocer los equipos que forman parte fundamental del sistema.

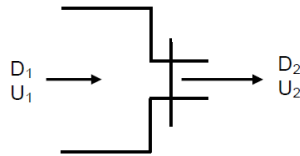
Para esto a continuación hacemos una descripción de aquellos equipos y partes que intervienen de una manera significativa en el proceso de homogenización del Fuel Oil.

#### **4.2.1 TUBERÍAS DE CIRCULACIÓN Y CARGA**

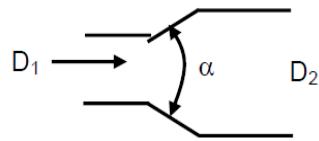
Antes de ingresar el fluido hacia las bombas, este pasa por la tubería de circulación que se encarga de la recepción, circulación y carga del producto, que en el transcurso de llegada a estación # 3 desde los tanques, sufre cambios en su diámetro, de expansión gradual (de menor diámetro a mayor) y contracción progresiva (de mayor a menor diámetro).



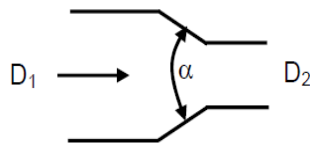
**Figura 31. Expansión brusca**



**Figura 32. Contracción brusca**



**Figura 33. Expansión gradual**



**Figura 34. Expansión progresiva**

**Fuente:** figuras 31, 32, 33, 34 (Claudio Gelmi Weston, *Fundamentos de Operaciones Unitarias: Serie de clases en Ingeniería Química*)<sup>58</sup>

<sup>58</sup> Claudio Gelmi Weston, *Fundamentos de Operaciones Unitarias: Serie de clases en Ingeniería Química*

#### 4.2.2 CONJUNTO VÁLVULAS (MANIFOLD)

Está formado por un sistema de válvulas de seguridad y control. Una válvula se puede definir como un aparato mecánico con el cual se puede iniciar, detener o regular la circulación (paso) de líquidos o gases mediante una pieza movable que abre, cierra u obstruye en forma parcial uno o más orificios o conductos.

Las válvulas son unos de los instrumentos de control más esenciales en la industria petrolera. Debido a su diseño y materiales, las válvulas pueden abrir y cerrar, conectar y desconectar, regular, modular o aislar una enorme serie de líquidos y gases, desde los más simples hasta los más corrosivos o tóxicos. Sus tamaños van desde una fracción de pulgada hasta 30 ft (9 m) o más de diámetro. Pueden trabajar con presiones que van desde el vacío hasta más de 20.000 lb/in<sup>2</sup> (140 Mpa) y temperaturas desde las criogénicas hasta 1.500 °F (815 °C). En algunas instalaciones se requiere un sellado absoluto; en otras, las fugas o escurrimientos no tienen importancia.<sup>59</sup>

En el sistema de circulación contamos con válvulas de compuerta para controlar el fluido de acuerdo a las cantidades exigidas para cada proceso



**Figura 35.** Válvulas de compuerta en estación #3  
**Fuente:** Fotografía Refinería La Libertad **Elaboración:** Propia

<sup>59</sup> Richard W. Greene, Válvulas, selección, uso y mantenimiento.

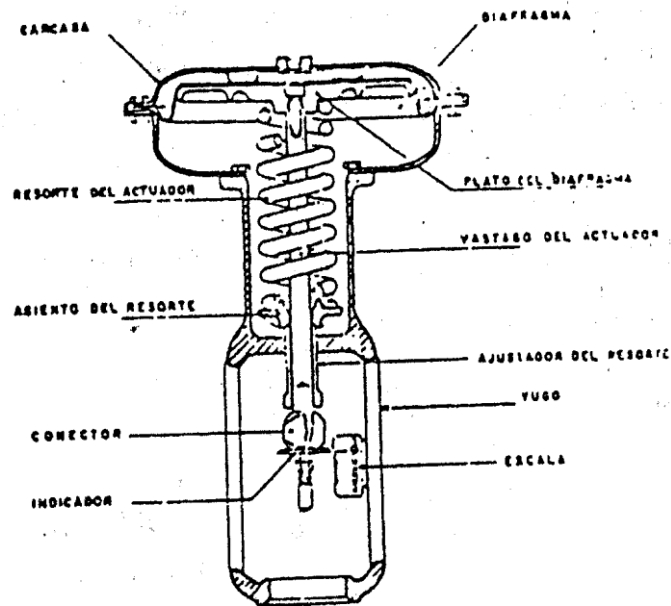
#### 4.2.2.1. VÁLVULA DE CONTROL.

La válvula automática de control generalmente constituye el último elemento en un lazo de control instalado en la línea de proceso y se comporta como un orificio cuya sección de paso varía continuamente con la finalidad de controlar un caudal en una forma determinada.

##### 4.2.2.1.1. PARTES DE LA VÁLVULA DE CONTROL.

Las válvulas de control que se utilizan fundamentalmente son las de compuerta y consta básicamente de dos partes que son: la parte motriz o actuador y el cuerpo.

- **Actuador:** el actuador también llamado accionador o motor, puede ser neumático, eléctrico o hidráulico, pero los más utilizados son los dos primeros, por ser los más sencillos y de rápida acción. Aproximadamente el 90% de las válvulas utilizadas en la industria son accionadas neumáticamente. Los actuadores neumáticos constan básicamente de un diafragma, un vástago y un resorte. Lo que se busca en un actuador de tipo neumático es que cada valor de la presión recibida por la válvula corresponda una posición determinada del vástago. Teniendo en cuenta que la gama usual de presión es de 3 a 15 lbs/pulg<sup>2</sup> en la mayoría de los actuadores se selecciona el área del diafragma y la constante del resorte de tal manera que un cambio de presión de 12 lbs/pulg<sup>2</sup>, produzca un desplazamiento del vástago igual al 100% del total de la carrera. (Greene, 1996)
- **Cuerpo de la válvula:** está provisto de un obturador o tapón, los asientos del mismo y una serie de accesorios. La unión entre la válvula y la tubería puede hacerse por medio de bridas soldadas o roscadas directamente a la misma. El tapón es el encargado de controlar la cantidad de fluido que pasa a través de la válvula y puede accionar en la dirección de su propio eje mediante un movimiento angular. Está unido por medio de un vástago al actuador.



**Figura 36.** Actuador de una válvula de control  
**Fuente:** (Monografías.com)<sup>60</sup>

### 4.2.3 CATEGORÍAS DE VÁLVULAS.

Debido a las diferentes variables, no puede haber una válvula universal; por tanto, para satisfacer los cambiantes requisitos de la industria se han creado innumerables diseños y variantes con el paso de los años, conforme se han desarrollado nuevos materiales.

Todos los tipos de válvulas recaen en nueve categorías: válvulas de compuerta, válvulas de globo, válvulas de bola, válvulas de mariposa, válvulas de apriete, válvulas de diafragma, válvulas de macho, válvulas de retención y válvulas de desahogo (alivio).

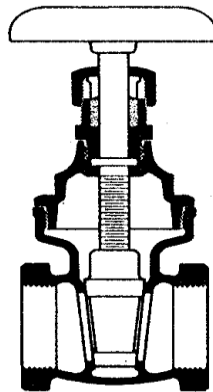
Estas categorías básicas se describen a continuación. Sería imposible mencionar todas las características de cada tipo de válvula que se fabrica y no se ha intentado

<sup>60</sup> Monografías.com. [Online]. <http://www.monografias.com/trabajos11/valvus/valvus.shtml>

hacerlo. Más bien se presenta una descripción general de cada tipo en un formato general, se dan recomendaciones para servicio, aplicaciones, ventajas, desventajas y otra información útil para el lector.<sup>61</sup>

#### 4.2.4 VÁLVULAS DE COMPUERTA.

La válvula de compuerta es de vueltas múltiples, en la cual se cierra el orificio con un disco vertical de cara plana que se desliza en ángulos rectos sobre el asiento.



**Figura 37.** Válvula de compuerta  
**Fuente:** (Monografias.com)<sup>62</sup>

Estas válvulas no se prestan a un control preciso del flujo porque ocurre un porcentaje anormal de cambio de flujo cuando está casi cerrada y a alta velocidad. Tampoco se destina para servicio de estrangulación porque la compuerta y el asiento se erosionan con rapidez en cualquier posición que nos sea la de apertura o cierre totales.

Cuando se abre ligeramente la válvula en un servicio de estrangulación, el disco y el asiento quedan sometidos a esfuerzos que causarían deformación y erosión que, a fin de cuentas impedirán un cierre hermético.

---

<sup>61</sup> Richard W. Greene, Válvulas, selección, uso y mantenimiento.

<sup>62</sup> Monografias.com. [Online]. <http://www.monografias.com/trabajos11/valvus/valvus.shtml>



Cuando están abiertas del todo, la mayor parte de las válvulas de compuerta permiten flujo lineal en un conducto que tiene el mismo diámetro que la tubería. Aunque hay variaciones, la válvula de compuerta, por lo general, produce menor caída de presión en el sistema que cualquier otro tipo de válvula.

Se utiliza una serie de técnicas para hacer que el vástago mueva la compuerta para abrir y cerrar la trayectoria de flujo, las válvulas de compuerta grandes requieren un número excesivo de vueltas de volante para abrirlas o cerrarlas.<sup>63</sup>

Este tipo de válvulas son las utilizadas dentro del sistema para manejar los volúmenes de flujo y realizar las operaciones que se requiere para la circulación de Fuel Oil.

#### **4.2.4.1. RECOMENDADA PARA:**

- Servicio con apertura total o cierre total, sin estrangulación.
- Para uso poco frecuente.
- Para resistencia mínima a la circulación.
- Para mínimas cantidades de fluido o líquido atrapado en la tubería.

#### **4.2.4.2. APLICACIONES**

Servicio general, aceites y petróleo, gas, aire, pastas semilíquidas, líquidos espesos, vapor, gases y líquidos no condensables, líquidos corrosivos.

#### **4.2.4.3. VENTAJAS**

- Alta capacidad.
- Cierre hermético.
- Bajo costo.

---

<sup>63</sup> Richard W. Greene, Válvulas, selección, uso y mantenimiento.

- Diseño y funcionamiento sencillos.
- Poca resistencia a la circulación.

#### **4.2.4.4. DESVENTAJAS**

- Control deficiente de la circulación.
- Se requiere mucha fuerza para accionarla.
- Produce cavitación con baja caída de presión.
- Debe estar cubierta o cerrada por completo.
- La posición para estrangulación producirá erosión del asiento y del disco.

#### **4.2.4.5. VARIANTES DE VÁLVULAS SEGÚN SU APLICACIÓN**

- Cuña maciza, cuña flexible, cuña dividida, disco doble.
- Materiales
- Cuerpo: bronce, hierro fundido, hierro, acero forjado, Monel, acero fundido, acero inoxidable, plástico de PVC.
- Componentes diversos.<sup>64</sup>

#### **4.2.5 BOMBAS DE CIRCULACIÓN**

El equipo encargado del transporte de fluido son las bombas, las cuales están encargadas de impulsar el fluido a través de las tuberías desde los tanques de Fuel Oil de Planta Cautivo hacia los mismos realizando la recirculación, luego de este proceso impulsar el fluido hacia las bombas del muelle.

Las bombas son de tipo centrífugas y están ubicadas en la estación #3 en el sector Tanque Loma.

---

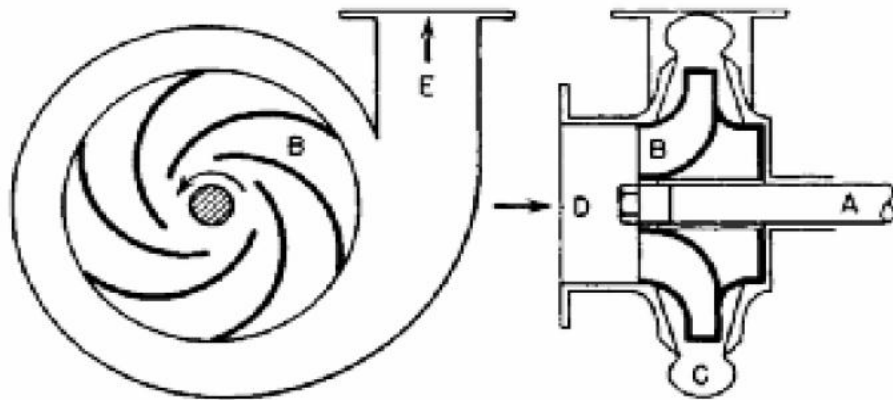
<sup>64</sup> Richard W. Greene, Válvulas, selección, uso y mantenimiento.

La bomba es el medio mecánico para obtener la conducción de líquidos o transferencia de un valor de presión o de energía estática a otro, y por ello es parte esencial del proceso.

La acción del bombeo es la adición de energías cinética y potencial a un líquido con el fin de moverlo de un punto a otro. Esta energía hará que el líquido efectúe trabajo, tal como circular por una tubería o subir a una mayor altura.

Una bomba centrífuga transforma la energía mecánica de un impulsor rotatorio en energía cinética y potencial requerida.

Aunque la fuerza centrífuga producida depende tanto de la velocidad de la punta de los alabes o periferia del impulsor y de la densidad del líquido, la cantidad de energía que se aplica por peso de líquido es independiente de la densidad del líquido.<sup>65</sup>



**Figura 38.** Detalle del impulsor de una bomba centrífuga

**Fuente:** (Claudio Gelmi Weston, *Fundamentos de Operaciones Unitarias: Serie de clases en Ingeniería Química*)<sup>66</sup>

<sup>65</sup> Kenneth Mc Naughton, Bombas, selección uso y mantenimiento

<sup>66</sup> Claudio Gelmi Weston, *Fundamentos de Operaciones Unitarias: Serie de clases en Ingeniería Química*

Los tamaños de las bombas alcanzan capacidades de hasta 6.000 gpm y 183 m de altura de elevación, mediante motores de velocidad estándar. Estas bombas son normalmente instaladas en posición horizontal, pudiendo también ser instaladas verticalmente, suspendidas dentro de un estanque o colgadas en una cañería.

El concepto operativo de una bomba centrífuga radica en la adición de presión a un líquido mediante un aumento de la velocidad de éste al pasar por el cuerpo de la bomba.

El líquido entra en A y su velocidad es la misma que en la cañería de succión. Desde A fluye al ojo del impeller (B), desde donde es tomado por las aspas o alabes(C) del impulsor.

Las aspas aceleran el líquido en la dirección de la rotación del impulsor, de modo que cuando sale de éste, su velocidad se aproxima a la velocidad tangencial de las puntas de las aspas.<sup>67</sup>

La carcasa (D) guía el líquido hacia el cuello de la descarga (E), en el cual se transforma parte de la energía cinética en energía de presión, disminuyendo su velocidad a la velocidad de la cañería de descarga.

---

<sup>67</sup> Claudio Gelmi Weston, *Fundamentos de Operaciones Unitarias: Serie de clases en Ingeniería Química*

#### 4.2.5.1 DESCRIPCIÓN DE BOMBAS DE ESTACIÓN # 3



**Figura 39.** Bomba de la estación # 3  
**Fuente:** Fotografía Refinería La Libertad  
**Elaboración:** Propia

DESCRIPCIÓN DE LA BOMBA DE LA ESTACIÓN # 3	
MODELO	GOULDS PUMPS 3700MA
GPM	2000
TAMAÑO DE JET	6X8
RPM	740
TRABAJO MÁXIMO	740 LB/IN2
EMPERATURA °F	194

**Tabla 8.** Descripción de la bomba de la estación # 3  
**Fuente:** Dpto. de programación, transferencia y almacenaje, Refinería L. L.  
**Elaboración:** Propia



**Figura 40.** Motor de la bomba estación # 3  
**Fuente:** Fotografía Refinería La Libertad  
**Elaboración:** Propia

<b>DESCRIPCIÓN DEL MOTOR</b>	
<b>MODELO</b>	SIEMENS
<b>AMPERIOS</b>	265
<b>VOLTAJE</b>	460
<b>RPM</b>	3575
<b>TEMPERATURA</b>	40°C
<b>PESO</b>	2280

**Tabla 9.** Descripción del motor  
**Fuente:** Dpto. de programación, transferencia y almacenaje, Refinería L.L.  
**Elaboración:** Propia

#### 4.2.5.2. ESTIMACIÓN DE COSTOS.

La correlación de costos de las bombas centrífugas con su tamaño o capacidad es difícil porque en el mercado pueden tener una bomba en existencia, de un tamaño y precio dado, y la puede adaptar para trabajar con una variedad de combinaciones de capacidad y carga producida.

La carga producida por una bomba es la energía por unidad de masa aplicada por el impulsor al flujo, en ft-lb/ft o J/kg, que es independiente de la densidad del fluido en una bomba dada.<sup>68</sup>

Se puede evitar esa dificultad al correlacionar el costo de la bomba con el valor máximo del parámetro S de tamaño que puede manejar una bomba de un precio particular:

$$S = Q\sqrt{H} \quad \text{Ecuación 4.1}$$

Donde Q es la capacidad del diseño, gpm o m<sup>3</sup>/s y H es la carga requerida en ft-lb/lb o en J/kg.

El costo de una bomba ( $C_p$ ) que incluye a la placa de base y el acoplamiento para la unidad motriz, pero no ésta se calcula con:

$$C_p = C_B F_T F_M \quad \text{Ecuación 4.2}$$

Las correlaciones para el costo básico de la bomba ( $C_B$ ) y los factores ( $F_T$ ) del costo por tipo de diseño se presentan en la tabla 11. Los factores para los materiales de construcción ( $F_M$ ) aparece en la tabla 10. El costo base es para una bomba de hierro fundido, de carcasa partida verticalmente, de una etapa y 3550 rpm;  $F_T=1.0$  y  $F_M=1.0$ .

---

<sup>68</sup> Kenneth Mc Naughton, Bombas, selección uso y mantenimiento

#### 4.2.5.3. TAMAÑO Y COSTO DEL MOTOR ELÉCTRICO

Para determinar el costo de la unidad motriz de una bomba, se debe cuantificar el caballaje al freno requerido, el cual se calcula con una de las siguientes fórmulas.

$$P_B = \rho QH / 33000 \eta_P \quad \text{Ecuación 4.3}$$

En donde  $P_B$  es caballaje al freno,  $\rho$  la densidad del liquido *lb/gls.*,  $Q$  el flujo en gpm,  $H$  la carga producida en ft-lb/ft y  $\eta_P$  la eficiencia de la bomba, %.

Para  $Q$  en

$$\eta_P = -0.316 + 0.24015(\ln Q) - 0.01199(\ln Q)^2 \quad \text{Ecuación 4.4}$$

En la ecuación anterior el límite inferior = 19gpm y el límite superior = 5000 gpm. Se necesita el valor del caballaje al freno requerido a fin de determinar el tamaño nominal de la unidad motriz (motor eléctrico) y la potencia consumida de la bomba.

FACTORES DE COSTO DE MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN	
MATERIAL	FACTOR DE COSTO $F_M$
Acero fundido	1.35
Accesorios de 304 o 316	1.15
Acero inoxidable, 304 o 316	2.00
Aleación de Gould No. 20 fundida	2.00
Níquel	3.50
Monel	3.30
ISO B	4.95
ISO C	4.60
Titanio	9.70
Hastelloy C	2.95
Hierro dúctil	1.15
Bronce	1.90

**Tabla 10.** Factores de costo de materiales de construcción.

**Fuente:** (Richard W. Greene, Válvulas)<sup>69</sup>      **Elaboración:** Propia

<sup>69</sup> Richard W. Greene, Válvulas, selección, uso y mantenimiento.



CORRELACIONES DEL COSTO DE LAS BOMBAS CENTRÍFUGAS							
UNIDADES INGLESAS				UNIDADES EN EL "SI"			
Costo base para bomba de hierro fundido, de una etapa, 3.550 rpm, VSC $C_B = \exp[8.3949 - 0.6019(\ln S) + 0.0519(\ln S)^2]$				Costo base para bomba de hierro fundido, de una etapa, 3.550 rpm, VSC $C_B = \exp[7.2234 - 0.3451(\ln S) + 0.0519(\ln S)^2]$			
En donde: $S=Q \sqrt{H}$ en gpm y H en ft-lbf/lb (ft de carga)				En donde: $S=Q \sqrt{H}$ con Q en $m^3/s$ y H en J/kg o $m^2/s^2$			
Factor de costo para el tipo de bomba $F_T = \exp[b_1 - b_2(\ln S) + b_3(\ln S)^2]$				Factor de costo para el tipo de bomba $F_T = \exp[b_1 - b_2(\ln S) + b_3(\ln S)^2]$			
TIPO	b1	b2	b3	TIPO	b1	b2	b3
Una etapa 1750 rpm,VSC	5.1029	-1.2217	0.0771	Una etapa 1750 rpm,VSC	0.3740	0.1851	0.0771
Una etapa 3550 rpm, HSC	0.0632	0.2744	-0.0253	Una etapa 3550 rpm, HSC	0.4612	-0.1872	-0.0253
Una etapa 1750 rpm,HSC	2.0290	-0.2371	0.0102	Una etapa 1750 rpm,HSC	0.7147	-0.0510	0.0102
Dos etapa 3550 rpm, HSC	13.7321	-2.8304	0.1542	Dos etapa 3550 rpm, HSC	0.7445	-0.0167	0.1542
Etapas múltiples, 3550 rpm, HSC	9.8849	-1.6164	0.0834	Etapas múltiples, 3550 rpm, HSC	2.0798	-0.0946	0.0834

**Tabla 11.** Correlaciones del costo de las bombas centrífugas

**Fuente:** (Richard W. Greene, Válvulas, selección, uso y mantenimiento)<sup>70</sup>

**Elaboración:** Propia

#### 4.2.5.4. CONSUMO DE POTENCIA

El consumo de potencia ( $P_C$ ) es igual a la potencia al freno ( $P_B$ ) dividida entre la eficiencia el motor  $\eta_M$ :

$$P_C = \frac{P_B}{\eta_M} \quad \text{Ecuación 4.5}$$

La eficiencia del motor, a su vez, es función del caballaje al frente. La siguiente correlación se obtuvo con una simple adaptación de la curva de Peters y Timmerhaws para la eficiencia de los motores eléctricos trifásicos.

$$\eta_M = 0.80 + 0.0319(\ln P_B) - 0.00182(P_B)^2 \quad \text{Ecuación 4.6}$$

Para  $P_B$  en hp el límite inferior = 1hp y el límite superior =500 hp.

<sup>70</sup> Richard W. Greene, Válvulas, selección, uso y mantenimiento

### **4.3 DESCRIPCIÓN DE SISTEMA DE CIRCULACIÓN PROPUESTO**

De acuerdo al estudio realizado sobre el sistema actual de circulación de Fuel Oil # 4, se propone implementar el uso de agitadores de propella de ángulo fijo, siendo este tipo de agitador el que satisface el requerimiento de mantener la uniformidad del producto en el tanque, provocando con esto una disminución significativa del consumo de energía dentro de este proceso, disminuyendo el tiempo de mezclado y garantizando un mismo valor de viscosidad para todo el volumen del producto en almacenamiento.

Se empleará un agitador de propella de entrada lateral dentro del tanque de almacenamiento para mezclar el producto a velocidades bajas y así reducir el gasto de energía.

La selección óptima en la relación paso/diámetro resulta en un mayor empuje. De acuerdo a la capacidad del tanque se seleccionará el número de agitadores a usar, que serán impulsados por medio de un motor eléctrico.

Es preciso tomar en consideración que la inmensa mayoría de productos líquidos y semilíquidos a nivel industrial presentan impurezas de diferente índole, unas con carácter agresivo y otras cuya presencia no es perjudicial.

El Fuel Oil no es la excepción y en su composición encontramos presencia de azufre, entre otras impurezas, presentando esta sustancia un carácter químico altamente agresivo en términos de corrosión, el mismo que afectaría significativamente la estructura del material del agitador.

Tomando en cuenta este factor y la temperatura del fluido almacenado, el agitador debe ser elaborado de un material resistente, como el acero fundido.

### **4.3.1 OPTIMIZACIÓN DEL PROCESO**

La industria se ha visto obligada a realizar cambios significativos debido a los costes de la energía y las materias primas, las normativas medioambientales más estrictas y la intensa competencia mundial. Se han implementado modificaciones con el fin de reducir costos y cumplir las restricciones.

La optimización significa que las condiciones de operación del proceso se evalúan regularmente y se optimizan, se encarga de seleccionar la mejor solución entre todo el conjunto con métodos de eficacia cuantitativa.<sup>71</sup>

En las operaciones, los beneficios surgen a partir del rendimiento de la planta, como la mejora del rendimiento en los productos más valiosos (comercialización de Fuel Oil), reducción de consumo energético, niveles de producción más elevados y menor tiempo, también puede llevar a reducir costos de mantenimiento, menos desgaste de los equipos y mejor utilización de los servicios

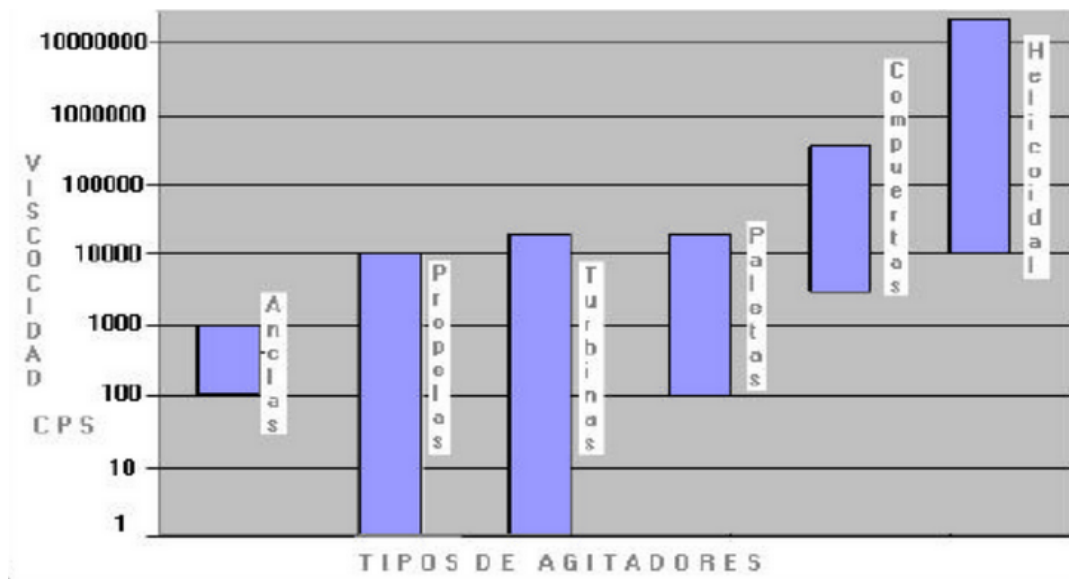
### **4.3.2 DISEÑO DEL SISTEMA DE AGITADORES**

Los parámetros más importantes a considerar para el diseño de agitadores de acuerdo al fluido que se va a mezclar son: viscosidad, densidad, cantidad de azufre, y los parámetros físicos del tanque donde va a ser colocado son: diámetro, altura, capacidad de almacenamiento.<sup>71</sup>

El diseño de agitadores en un tanque de almacenamiento está orientado a lograr el grado de mezcla requerido, con el menor consumo de energía.

---

<sup>71</sup> Robert H. Perry, *Manual del Ingeniero Químico*



**Figura 41.** Rango de Viscosidades de acuerdo al tipo de agitador  
**Fuente:** Simulación de procesos: Wiki estudiantil. [Online]<sup>72</sup>

Los factores principales que influyen en la elección de equipos de mezcla son: los requerimientos del proceso, las propiedades de flujo de los fluidos utilizadas en el proceso, el costo de los equipos y los materiales de construcción necesarios. Existen correlaciones empíricas que permiten dimensionar cierto tipo de impulsores, dada la configuración geométrica del tanque.

Los problemas típicos que pueden existir en un tanque sin deflectores es la trayectoria del flujo tipo remolino, esto atrapa aire desarrollando vórtices considerables produciendo altas oleadas ocasionando reboses.

En los tanques de agitación es usual colocar 4 deflectores verticales espaciados uniformemente que van a contribuir a que las partículas se mantengan en suspensión.

Los tanques # 200, 71 y 72 de Fuel Oil #4 ubicados en la Planta Cautivo tienen colocados placas deflectoras, por lo tanto se evita la producción de remolinos

<sup>72</sup> Simulación de Procesos: Wiki estudiantil. [Online].  
<http://simulacionprocesos.wikispaces.com/Agitadores>

existiendo un flujo de orientación axial que luego de comenzar la agitación se convertirá en radial, evitando así el paso del aire que afectaría el proceso de homogenización, ya que el aire enfriaría el residuo.

Para evitar espacios muertos (lugares no mezclados), el fondo del tanque debe tener forma cóncava, pues existiría consumo de energía en la agitación.

Los regímenes de flujo laminar y turbulento son importantes y deben tomarse en cuenta para el diseño de equipo de mezclado, un número utilizado por los ingenieros es el número de Reynolds.

El número de Reynolds representa la razón entre las fuerzas de inercia y las fuerzas viscosas. En agitación se presentan tres regímenes de flujo: laminar  $N_{Re} < 2000$ , transición  $2000 < N_{Re} < 4000$  y turbulento  $N_{Re} > 4000$ .<sup>73</sup>

Para tanques agitados viene dado por:

$$N_{Re} = D_a^2 N \rho / \mu \quad \text{Ecuación 4.7}$$

Dónde:

$D_a^2$  = diámetro del impulsor (agitador) en m

N = velocidad de rotación en rev/seg

$\rho$  = densidad del fluido en  $kg/m^3$

$\mu$  = viscosidad en Pa.s [lb/ (ft.s)].

---

<sup>73</sup> Robert L. Mott, *Mecánica de Fluidos aplicada*.

El flujo en el tanque es turbulento cuando  $N_{Re} > 4000$ . Así pues, la viscosidad, por si sola, no constituye una indicación válida del tipo de flujo que se puede esperar. Entre números de Reynolds de 4000 y, aproximadamente, 2000, existe un intervalo de transición en el que el flujo es turbulento en el agitador y laminar en las partes más alejadas del recipiente; cuando  $N_{Re} < 2000$ , el flujo es solo laminar.

Las contracorrientes también influyen en el desarrollo de flujos que ayudan al mezclado eficiente del producto. Es generalmente aceptado que la trayectoria de flujo deseable es un "remolino" horizontal, combinado con una considerable rotación vertical.

No solo se relaciona con el número de Reynolds del impulsor este tipo de flujos sino también, algunas características del rendimiento del proceso, como el tipo de mezclado, la capacidad de bombeo del agitador, el consumo de energía del impulsor y los coeficientes de transferencia de calor y masa, que se pueden correlacionar con ese grupo adimensional.<sup>74</sup>

Se han medido en recipientes agitados parámetros de turbulencia como la intensidad y el grado (escala) de la turbulencia, los coeficientes de correlación y los espectros de energía; sin embargo, esas características no se utilizan directamente en el diseño de los recipientes agitados.

### **4.3.3 SELECCIÓN DE TIPOS DE AGITADORES.**

No existen guías específicas para la selección de equipos de mezclado, puesto que existe una gama de aplicaciones de los distintos tipos de equipos y de las características de los fluidos con los que se trabajaría.

Según las referencias bibliográficas tomadas para la realización de este proyecto se consiguió determinar, que debido a las propiedades del Fuel Oil # 4 y la

---

<sup>74</sup> Robert L. Mott, *Mecánica de Fluidos aplicada*.

capacidad de volumen que se maneja dentro de la Planta Cautivo, el tipo de agitador que más se ajusta a los requerimientos de optimización es el agitador de hélice de entrada lateral.<sup>75</sup>

Este tipo de agitador tiene como característica principal mover altas capacidades de volúmenes como se presentan en los casos del almacenamiento Fuel Oil #4 en los tanques 71,72 y 200.

El Fuel Oil #4 es un líquido viscoso, la propella necesita que a su paso corte el esfuerzo de cizallamiento creado por las viscosidades propias de este producto, esto puede lograrse gracias a que el agitador tipo hélice tiene como propiedad girar a altas velocidades, manteniendo los sedimentos e impedir su asentamiento haciendo el proceso más efectivo.

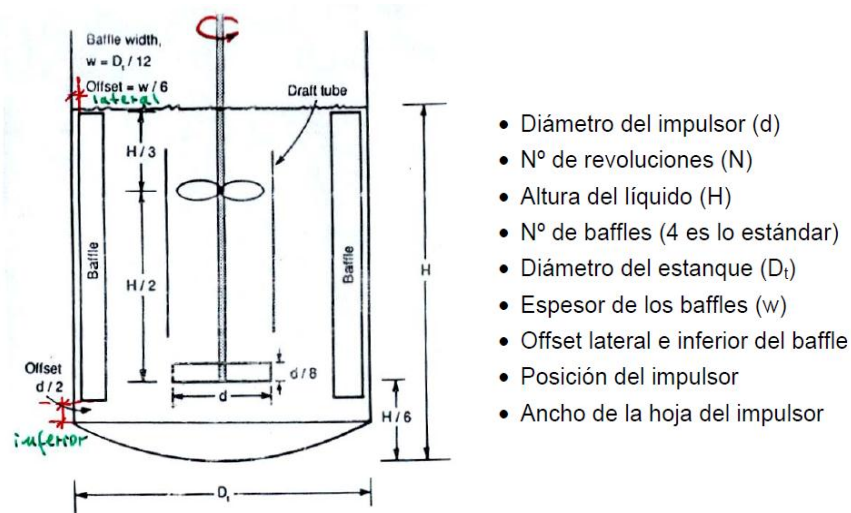
Las palas deben ser metálicas y rígidas, las mismas que tiene efectividad a la hora de mezclado proporcionando un flujo axial, ya que está definida entre el área total de las palas con respecto al círculo que circunscribe el impulsor, y según aumenta la viscosidad del fluido el valor del área resulta más efectivo es decir la onda que resulta del movimiento de la propella logra abarcar el área total del tanque para líquidos viscosos. Además la paleta tiene una longitud total del 60-80% de diámetros del tanque, y la anchura mide 1/6 a 1/10 de la longitud. Las hélices de diámetro grandes son útiles para períodos cortos de mezclado y obtener uniformidad en todo el recipiente.<sup>76</sup>

---

<sup>75</sup> Claudio Gelmi Weston, *Fundamentos de Operaciones Unitarias: Serie de clases en Ingeniería Química*

<sup>76</sup> Robert H. Perry, *Manual del Ingeniero Químico*

#### 4.3.4 UBICACIÓN DEL AGITADOR



**Figura 42.** Agitador con dimensiones típicas

**Fuente:** (Claudio Gelmi Weston, *Fundamentos de Operaciones Unitarias*)<sup>77</sup>

Según referencia bibliográfica<sup>78</sup> se puede ubicar el agitador a  $H/6$  del fondo del tanque, esto significa que se puede ubicar en la sexta parte desde el piso hasta la altura total del tanque. Por lo general siempre se recomienda que el agitador vaya ubicado desde el fondo hacia arriba ya que esto ayudaría a remover desde el fondo hacia la parte superior del mismo, logrando mayor suspensión de partículas, así se obtendrá una buena homogenización del producto.

Cuando se manipulan grandes volúmenes como son las cantidades que se manejan en los tanques de almacenamiento de Fuel Oil # 4 de la Planta Cautivo, se recomienda utilizar un impulsor de entrada lateral tipo hélice, para lograr una buena homogenización, pero esto se configura de acuerdo al diámetro del tanque, ayudando a dispersiones rápidas, rotando a altas velocidades y por consiguiente disminuyendo el tiempo de mezclado.

<sup>77</sup> Claudio Gelmi Weston, *Fundamentos de Operaciones Unitarias: Serie de clases en Ingeniería Química*

<sup>78</sup> Robert H. Perry, *Manual del Ingeniero Químico*



Para evitar los remolinos, el agitador es instalado a un cierto ángulo con respecto a la línea central del tanque, las hélices no son efectivas si van montadas sobre ejes verticales situados en el centro del tanque de mezcla. Este ángulo puede variar entre 10 grados en tanques de gran tamaño hasta 7 grados en tanques pequeños. En lo posible es muy deseable localizar el agitador lo más cerca de la línea de llenado en sentido horario o de las manecillas del reloj, esta posición excéntrica ayuda a la suspensión de sedimentos que se encuentran en los tanques.

### **4.3.5 POTENCIA DE AGITADORES.**

El consumo de potencia va a estar referido en base a la densidad del fluido y su viscosidad, la velocidad de rotación y al tamaño del impulsor. Para lograr proporcionar un suministro de energía adecuado hay que considerar las propiedades físicas de los componentes, el diseño del agitador que transmite la energía y la configuración.<sup>79</sup>

#### **4.3.5.1. CÁLCULO DE POTENCIA.**

La potencia  $P$  cedida por el propulsor se hace adimensional en un grupo llamado el número de potencia.

Para estimar la potencia que se requiere para hacer girar un rodete dado con una velocidad determinada, es necesario disponer de correlaciones empíricas de la potencia (o  $N_p$ ) en función de otras variables del sistema.<sup>79</sup>

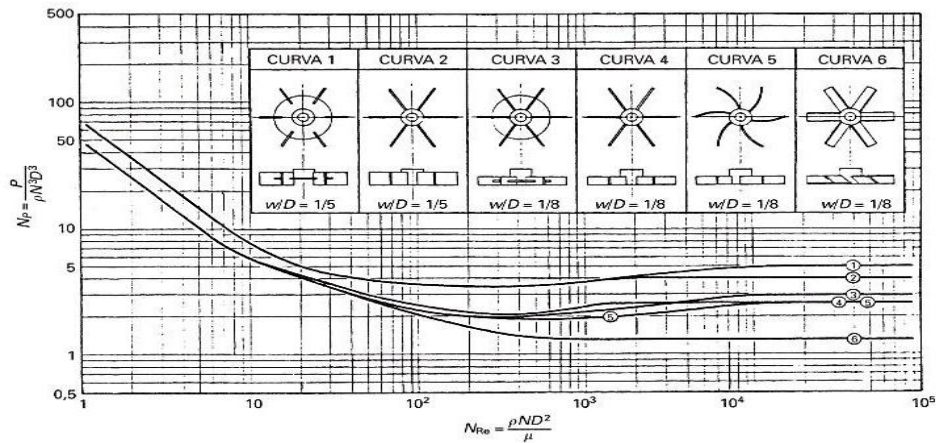
$$N_p = \frac{P}{\rho N^3 D^5} \quad \text{Ecuación 4.8}$$

La figura, muestra el número de potencia versus el número de Reynolds del propulsor para una configuración típica. En flujo laminar, el número de la potencia es inversamente proporcional al número de Reynolds, reflejando que las

---

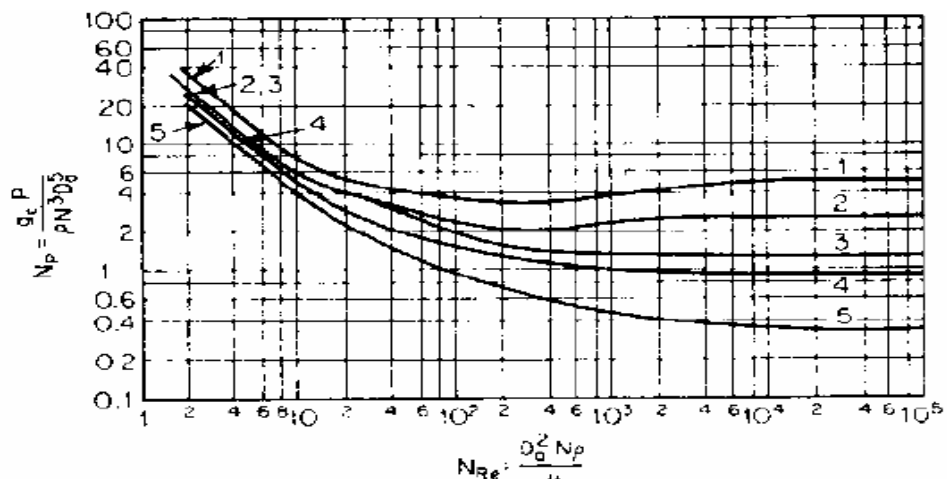
<sup>79</sup> Robert H. Perry, *Manual del Ingeniero Químico*

fuerzas viscosas predominan sobre las fuerzas de inercia. En un flujo turbulento donde las fuerzas de inercia son dominantes, el número de potencia es casi constante.



**Figura 43.** Número de potencia adimensional en tanques de mezcla.  
**Fuente:** (Robert H. Perry, *Manual del Ingeniero Químico*)<sup>80</sup>

El flujo que se maneja en este estudio es fluido no newtoniano ya que corresponde a un número de Reynolds > 4000; el consumo de potencia por lo tanto disminuye debido a que la viscosidad empieza a disminuir conforme aumenta el esfuerzo de cizallamiento.<sup>80</sup>



**Figura 44.** Correlación de potencia de los impulsores  
**Fuente:** (Robert H. Perry, *Manual del Ingeniero Químico*)<sup>80</sup>

<sup>80</sup> Robert H. Perry, *Manual del Ingeniero Químico*

Se describe a continuación los datos obtenidos en la práctica para determinar la potencia requerida en la instalación de un motor eléctrico del agitador:

Para el procedimiento de agitación (mezclados), los criterios de similitud hidrodinámica se determinan del modo siguiente.<sup>81</sup>

Criterio de Reynolds:

$$Re_c = \frac{\rho n d^2}{\mu} \quad \text{Ecuación 4.9}$$

Criterio de Potencia es:

$$K_N = \frac{N}{\rho n^3 d^5} \quad \text{Ecuación 4.10}$$

En estos criterios:

$N$  es la potencia consumida por el agitador,  $W$ ;

$\rho$ , la densidad del líquido,  $kg/m^3$ ;

$\mu$ , el coeficiente dinámico de viscosidad del mismo en  $Pa.s$

$n$ , la frecuencia de rotación del agitador r.p.s;

$d$ , diámetro del agitador en m

<b>Fluido</b>	Fuel Oil #4
<b>Diámetro del tanque 71</b>	1370 mm
<b>Densidad</b>	956,9 $kg/m^3$
<b>Viscosidad</b>	4.10 <sup>-2</sup> Pa.s
<b>Frecuencia</b>	5,9 r.p.s
<b>Tipo de agitador</b>	Hélice de 3 palas

**Tabla 12.** Datos técnicos tanque 71

**Fuente:** Dpto. de programación, transferencia y almacenaje Refinería L.L

**Elaboración:** Propia

<sup>81</sup> K.F. PÁVLOV, Problemas y ejemplos para el curso de operaciones básicas y aparatos en tecnología química.

Con los datos de la tabla anterior se podrá determinar la potencia requerida para la instalación del motor:

1.- Determinar el diámetro del agitador normalizado:

$$d = \frac{D}{3} = \frac{1,37}{3} = 0,46 \text{ m} \quad \text{Ecuación 4. 11}$$

2.- Determinar el régimen de agitación por la fórmula:

$$Re_c = \frac{\rho n d^2}{\mu} = \frac{956,9 * 5,9 * 0,96^2}{0,04} = 29.856,80 \quad \text{Ecuación 4. 12}$$

Según gráfico (Anexo #11) se determina el valor del criterio de potencia:

$$K_N = 0,60$$

Cálculo de la potencia consumida por el agitador en el régimen estacionario usando la siguiente ecuación:

$$N_{fun} = K_N * \rho * N^3 * d^5 = 0,6 * 956,9 * 5,9^3 * 0,46^5 = 2428,64 \text{ w} = 24,27 \text{ Kw}$$

**Ecuación 4. 13**

La potencia en el momento de arranque es de habitualmente de 2 a 3 veces mayor que la del funcionamiento:

$$N_{arr} = 2N_{fun} = 24,27 * 2 = 48,56 \text{ Kw} = 64,76 \text{ hp} \quad \text{Ecuación 4. 14}$$

#### **4.3.6 VELOCIDAD DE AGITADORES.**

La velocidad del agitador, además de las características del impulsor son básicas para su buen funcionamiento.

El agitador de hélice recomendado en este proyecto crea dentro del tanque tres componentes:

- Una componente radial que actúa en dirección perpendicular al eje
- Una componente rotatoria que actúa perpendicularmente al eje
- Una componente rotatoria que actúa en dirección tangencial al círculo de rotación del eje.

Las componentes que contribuyen a la mezcla son el componente radial y longitudinal

#### **4.3.7 CÁLCULOS DE TIEMPO DE MEZCLA**

##### **4.3.7.1. MEZCLA DE FLUIDOS**

La mezcla de fluidos es una disciplina de la mecánica de fluidos. El movimiento del fluido se utiliza para acelerar el proceso lento de difusión y conducción para alcanzar uniformidad de concentración y temperatura, mezcla de sustancias, facilitar las reacciones químicas, conseguir contacto íntimo de múltiples fases, etc. El mezclado de líquidos se efectúa con el objeto de lograr una distribución uniforme por medio del flujo. Dicho flujo es producido por medios mecánicos generalmente cuando se mezclan líquidos miscibles y materiales muy viscosos o pastosos al grado de mezclado íntimo, pero con líquidos inmiscibles y materiales muy viscosos o pastosos el grado de mezclado logrado es menor.<sup>82</sup>

---

<sup>82</sup> Robert H. Perry, *Manual del Ingeniero Químico*

La eficiencia del proceso de mezclado depende de una efectiva utilización de la energía que se emplea para generar el flujo de componentes. Los materiales a ser mezclados pueden ser líquidos de muy baja viscosidad hasta pastas muy viscosas.

El tiempo de mezcla  $t_b$  es el tiempo requerido para alcanzar una desviación standard de concentración máxima especificada, después de la inyección de un trazador en un tanque de mezcla, se hace adimensional multiplicándola por la velocidad de rotación del impulsor:

$$N_B = t_b N \quad \text{Ecuación 4.15}$$

El número de bombeo adicional y el tiempo de mezcla son independientes y el número de Reynolds en condiciones de flujo completamente turbulento. La magnitud de las fluctuaciones en la concentración desde el valor obtenido cuando se considera bien mezclado, disminuye exponencialmente con el tiempo.<sup>83</sup>

En los tanques elegidos para la agitación, se va a utilizar álabes que provocarán flujo turbulento, para prevenir la formación de vórtices, éstos están provistos de 4 pantallas verticales provocando un mezclado de arriba hacia abajo y evitando movimientos de torbellinos ineficientes para la mezcla.<sup>84</sup>

Para obtener una condición de flujo completamente turbulento en todo el tanque, se requiere típicamente  $Re > 4000$ .<sup>83</sup>

Para obtener el tiempo de mezcla apropiado y lograr la homogenización completa del producto, esto es un mezclado uniforme y óptimo, se puede aplicar la fórmula siguiente: **Ecuación 4.16**

---

<sup>83</sup> Robert H. Perry, *Manual del Ingeniero Químico*

<sup>84</sup> Claudio Gelmi Weston, *Fundamentos de Operaciones Unitarias: Serie de clases en Ingeniería Química*

El ciclo de mezclado real que se maneja es de 3 rotaciones por tanque, el ciclo de mezclado que se realiza en las instalaciones de refinería La Libertad es de 8 horas.

Se ha tomado como referencia datos de un agitador asumiendo sus especificaciones de diseño como datos generales, cabe recalcar que en el mercado de ingeniería química se encuentra un singular número de mezcladores cada uno con sus especificaciones propias de diseño de acuerdo a la compañía que los construye.

<b>CAPACIDAD DE TANQUE 71</b>	10110 bls
<b>DIMENSIÓN TANQUE 71</b>	d=71 m; h=7,62m
<b>CAPACIDAD DE TANQUE 72</b>	15825 bls
<b>DIMENSIÓN TANQUE 72</b>	d=19,21m; h=8,84m
<b>CAPACIDAD DE TANQUE 200</b>	24204 bls
<b>DIMENSIÓN TANQUE 200</b>	d=19,51; h=12,80m
<b>GRAVEDAD ESPECÍFICA</b>	0,95705
<b>FLUIDO DE TRABAJO</b>	Fuel Oil #4
<b>TEMPERATURA DE OPERACIÓN</b>	75° - 110° C
<b>VISCOSIDAD DEL PRODUCTO A 60° F</b>	4000-5000 SSU
<b>VISCOSIDAD A 75° C</b>	3380 SSU
<b>TIEMPO DE MEZCLA REQUERIDO EN LAS BASES</b>	3 a 4 hrs.

**Tabla 13.** Datos de Diseño

**Fuente:** Dpto. de Programación, Almacenaje y transferencia, Refinería L.L.

**Elaboración:** Propia

<b>CICLO PROPUESTO DE MEZCLA (promedial)</b>	6 ciclos
<b>EMPUJE REQUERIDO</b>	733 lbf
<b>NÚMERO DE AGITADORES RECOMENDADA POR TANQUE</b>	1
<b>UBICACIÓN RECOMENDADA</b>	7° opuestos a la línea de descarga

**Tabla 14.** Datos generales recomendados

**Fuente:** Dpto. de Programación, Almacenaje y transferencia, Refinería L.L.

**Elaboración:** Propia

Tomando los datos del agitador se tiene lo siguiente:

Los tanques de almacenamiento mantienen el Fuel Oil # 4 a temperaturas de almacenamiento en 105° C., y la temperatura mínima de trabajo del agitador es de 160° F., la cual funciona para viscosidades de 700 cp.

Para permitir que el paso de la hélice y traspase el flujo (flujo de carga) contenido en el tanque le corresponde al agitador empujar 733 lb-fuerzas según datos obtenidos por refinería. Este mismo agitador cuenta con un motor de 30HP, con una hélice de 19" de diámetro, diseñado para entregar un empuje de 1866 lb-fuerza con 354 r.p.m.<sup>85</sup>

Dejando 1.635 lbs., de empuje para un agitador y se usa dos mezcladores que tendrían 3.270 libras de empuje demostrando así las horas mínimas de mezclado ayudando a la recirculación rápida y transferencia de producto.

<b>POTENCIA</b>	75 HP
<b>DIÁMETRO DEL IMPULSOR</b>	32"
<b>VELOCIDAD</b>	354 rpm
<b>VOLTAJE</b>	400 V
<b>EMPUJE PARA CARGA MÁXIMA</b>	90%
<b>T° MÍNIMA</b>	75°C
<b>EMPUJE PROPORCIONADO POR EL EQUIPO</b>	1.886 lb.
<b>EMPUJE REQUERIDO PARA VENCER VISCOSIDAD A °T MÍNIMA</b>	251 lb.
<b>EMPUJE REQUERIDO PARA LA MEZCLA</b>	1.635 lb.

**Tabla 15.** Cálculo de tiempo de mezcla a potencia requerida para un agitador

**Fuente:** Dpto. de Programación, Almacenaje y transferencia, Refinería L.L.

**Elaboración:** Propia

<sup>85</sup> Jensen, "Agitadores Industriales," Quito, Informe Técnico 2011



### **Fórmula:**

Empuje entregado: 1.866 lb.

Empuje requerido: 251 lb.

Empuje disponible = E – Er reemplazando

Empuje disponible = 1.866 – 251 = 1.635 lb.

$$\text{Tiempo de mezcla} = \frac{E}{Er} \times \text{ciclo normal de mezcla} \quad \text{Ecuación 4.16}$$

$$\text{Tiempo de mezcla} = \frac{733}{1635} \times 6 = 2,69 \text{ horas} \quad 1 \text{ agitador}$$

$$\text{Tiempo de mezcla} = \frac{733}{1635 \times 2} \times 6 = 1,34 \text{ horas} \quad 2 \text{ agitadores}$$

Este tiempo es incierto pero no hay ningún inconveniente con un ciclo de mezclado de 1,34 horas.<sup>86</sup>

#### **4.4 ANÁLISIS COMPARATIVO DEL PROYECTO.**

El análisis se basa en las condiciones actuales en las que funciona el sistema de circulación de Fuel Oil en los tanques de almacenamiento en la Planta Cautivo y la propuesta que se plantea en este trabajo.

Para la recirculación de Fuel Oil se utilizan las bombas de estación # 3 por un lapso de 5 horas para circulación de Fuel Oil # 4 en los tanques 71 y 72 y 8 horas en el tanque 200 de acuerdo al volumen de capacidad de cada uno, una vez que el residuo se encuentre dentro de las especificaciones INEN para la comercialización

---

<sup>86</sup> Jensen, "Agitadores Industriales," Quito, Informe Técnico 2011

del mismo, se hace necesario también el uso de la bomba # 11 que está ubicada en casa bomba # 1 la misma que permite enviar el Fuel Oil hacia las bombas de cargamento para la posterior entrega del producto.

Este proceso origina aparte de pérdida tiempo, consumo de energía innecesaria generada por las bombas de la estación # 3 y la bomba # 11 de Casa Bomba que se mantiene en uso las horas antes mencionadas, al representar esto en KW/h (hora de gasto) se evidencia un incremento en el gasto de energético anual.

El Fuel Oil # 4 obtenido luego de la destilación atmosférica es utilizado también dentro de Refinería como combustible para la generación de energía en operaciones internas bajo las mismas normas INEN, por lo que existen retrasos en dichas operaciones debido al tiempo de espera, originando malestares, que en horas es representativo en dinero al Estado.

Durante este tiempo transcurrido no se puede realizar envíos de otros destilados debido a que las bombas únicamente estarán destinadas a la maniobra de recirculación del residuo, provocando en ocasiones retrasos de entrega (mala recirculación).

Las demoras producidas en ambos procesos generan reclamos tanto del personal encargado de las operaciones de generación (Termoeléctricas) como la de los clientes (buques-cargueros) por lo que dichas molestias de los afectados en un futuro podría desencadenar hasta en términos legales hacia la Institución.

Esto puede también tornarse para el área encargada muy pesada cuando suele encontrarse en espera más de un buque tanquero y para cumplir con la responsabilidad del trabajo debido a lo extenso que la jornada laboral, se adiciona personal.

Se plantea cambiar el sistema interno de recirculación de Fuel Oil actual por un proceso el cual facilite en todo momento la circulación del mismo sin depender de otros mecanismos logrando una buena homogenización.

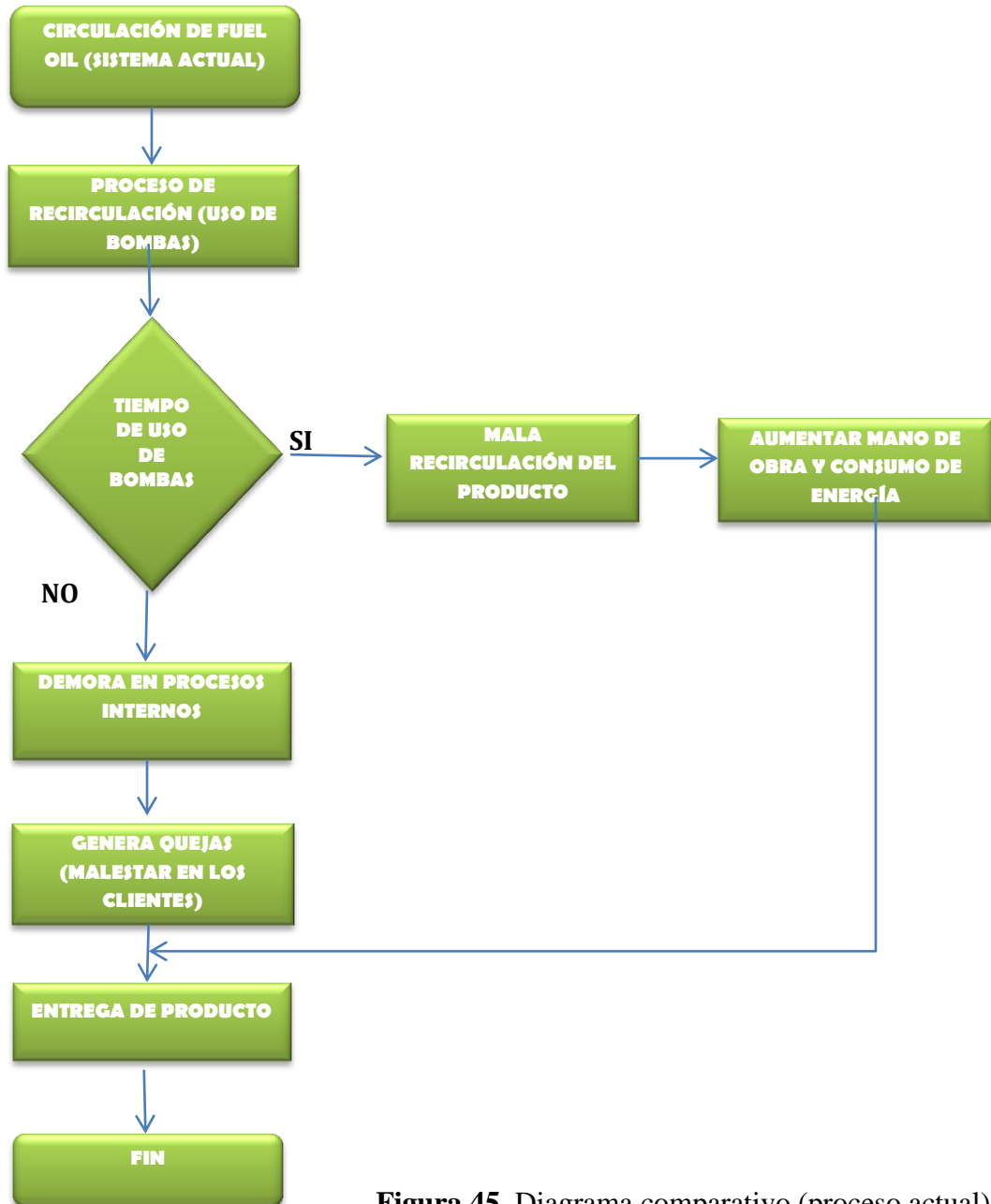
Solo el consumo energético suministrado para este proceso estará a cargo de la potencia del motor de los agitadores y la velocidad adquirida por el mismo, esto facilita las condiciones ideales para obtener en todos los puntos del tanque el mismo valor de viscosidad exigidas por las normas antes mencionadas, todo esto equivaldría a acortar el consumo de energía y por lo anteriormente planteado al reducir los costos innecesario de dinero anual, de esta manera se disminuirán notablemente las horas que conlleva el proceso actual.

Los agitadores serán colocados de manera simultánea dentro del tanque, la potencia suministrada está orientada por un panel de control bajo un régimen de KW para funcionar de manera acorde a la que se requiere para la circulación. Esto conllevará también a la disminución del tiempo de mezclado, dando de manera más rápido la reducción del tiempo logrando así tramites de entregas de producto de manera eficiente y rápida.

Cuando se alcancen las condiciones exigidas, una vez homogenizado el residuo, se trasladará el producto a través de las tuberías de circulación (La Planta Cautivo cuenta con tuberías de circulación directo al muelle de descarga), luego impulsada por una bomba primaria se dirigirá directo a los buques-tanqueros.

De esta forma disminuirá la mano de obra adicional para el proceso de circulación, además, las bombas podrán ser utilizadas para el envío y recepción de productos de algún otro tipo de destilado. Basándose en todo esto, se logrará conseguir un sistema de circulación de Fuel Oil individual propio, que será exclusivo para su proceso.

## DIAGRAMA COMPARATIVO PROCESO ACTUAL



**Figura 45.** Diagrama comparativo (proceso actual)  
**Elaboración:** Propia

Las 8 horas que demora el proceso de circulación evaluada en kw/hora no representa mucho dinero pero si evaluamos las mismas 8 horas cada vez que se realiza este proceso al año, el costo de energía es muy alto y en ocasiones cuando hay más de un buque-tanquero.

### DIAGRAMA COMPARATIVO PROCESO PROPUESTO



Figura 46. Diagrama comparativo (proceso propuesto)  
Elaboración: Propia

## **CAPÍTULO V**

### **ANÁLISIS COSTO - BENEFICIO**

#### **5.1 ANÁLISIS COSTO-BENEFICIO**

La presente propuesta de Optimización del Sistema de circulación de Fuel Oil no es un proyecto de desarrollo. Dentro de este capítulo como objetivo principal se pretende proyectar datos estadísticas de ahorro energético y económico.

Bajo esta perspectiva se han tomado datos actuales para proyectar dos planteamientos estadísticos: la primera señala los consumos energéticos operados por las bombas de Estación # 3, tomados para una recirculación completa de Fuel Oil y su respectivo gasto económico, y el segundo señala los consumos energéticos encargados por los agitadores para la homogenización interna del Fuel Oil y ahorros económicos que se darían al implementar este sistema.

#### **5.2 CONSUMO DE POTENCIA DE LA BOMBA PARA LOS TANQUES DE FUEL OIL DE PLANTA CAUTIVO (KW)**

Para los cálculos se toma como referencia la ecuación obtenida en el *capítulo IV: 4.2.5.3. Consumo de potencia de la bomba.*

Al utilizar la ecuación 4.2.5.3., se han reemplazado datos recopilados dentro de las instalaciones, las cuales hacen referencia a cada especificación de los tanques de Fuel Oil # 4: 71, 72 y 200.

Como primer paso los barriles han sido transformados a galones y se ha tomado un valor de la densidad del Fuel Oil # 4 almacenado en los tanques correspondientes, los mismos que han sido proporcionados en las boletas de aforo

(anexo #10). Una vez realizada la conversión de todos los datos en sus respectivas unidades se procedió al cálculo respectivo.

La ecuación se utilizó para calcular la potencia del motor por los galones a bombear, luego estos son transformados a kilowatts para conocer el valor real de consumo energético de las mismas. Este proceso se realiza para cada tanque de almacenamiento.

Cabe recalcar que el valor obtenido fue el consumo total que permite obtener las especificaciones exigidas por la normativa INEN respecto a la calidad del Fuel Oil # 4.

### **Procedimiento por tanque: Uso del sistema actual de homogenización (bombas)**

#### **TQ. 200=25.004 bls**

1.- Conversión de Barriles a galones:  $25004 * 42 = 1050168$  gls

2.- Para conocer el caudal de la bomba procedemos a utilizar la siguiente fórmula:

$$Q = \frac{V}{t} = \frac{1050168}{6} = \frac{175028 \text{ gls}}{\text{horas}} = 2917,13 \text{ gls./min}$$

3.- Para calcular la potencia del motor, primero se calcula el caballaje al freno requerido:

$\rho$  del Fuel Oil:  $990,20 \text{ kg/m}^3$

- Densidad:  $\rho = \longrightarrow 990,2 \text{ kg/m}^3 * 2,2 \text{ lb/Kg} * 1\text{m}^3/264\text{gl} = 8,25 \text{ lb/gl}$
- Eficiencia:  $\eta_P = -0.316 + 0.24015(\ln 2917,13) - 0.01199(\ln 2917,13)^2 = 0,84$  Potencia:  $P_B = 8,25 * 2917,13 * 74/33000 (0,84) = 64,25 \text{ hp}$
- Consumo:  $\eta_M = 0.80 + 0.0319(\ln 64,25) - 0.00182(\ln 64,25)^2 = 0,89$

4.- Se obtienen los Kw de potencia que consumió el motor de bomba para cada recirculación del Fuel Oil #4 de la Planta Cautivo.

$$P_C = 64,25/0.89=72,19 \text{ hp o } 54,14 \text{ kw.}$$

**TQ. 71= 10.639 bls**

1.- Conversión de Barriles a galones: 10639 \*42=446838 gls.

$$Q = \frac{V}{t} = \frac{446838}{6} = \frac{74473\text{gls}}{\text{horas}} = 1241,22 \text{ gls./min}$$

2.-Densidad=990,20 kg/m<sup>3</sup>

3.- Para calcula la potencia del motor, primero se calcula el caballaje al freno requerido:

- Densidad:  $\rho = \longrightarrow 990,2 \text{ kg/m}^3 * 2,2 \text{ lb/Kg} * 1\text{m}^3/264\text{gl} = 8,25 \text{ lb/gl}$
- Eficiencia:  $\eta_P = -0.316 + 0.24015(\ln 1241,22) - 0.01199(\ln 1241,22)^2 = 0,79$       Potencia:  $P_B = 8,25 * 1179,5 * 74/33000 (0,79) = 27,62 \text{ hp}$
- Consumo:  $\eta_M = 0.80 + 0.0319(\ln 27,62) - 0.00182(\ln 27,62)^2 = 0,88$

4.- Se obtienen los Kw de potencia que consumió el motor de la bomba para cada recirculación del Fuel Oil # 4 de La Planta Cautivo.

$$P_C = 27,62/0.88=31,39 \text{ hp o } 23,54 \text{ kw.}$$

**TQ. 72 = 16.422 bls.**

1.- Conversión de Barriles a galones: 16422 \*42=689724 gls.

$$Q = \frac{V}{t} = \frac{689724}{6} = \frac{114954\text{gls}}{\text{horas}} = 1915,9 \text{ gls./min}$$



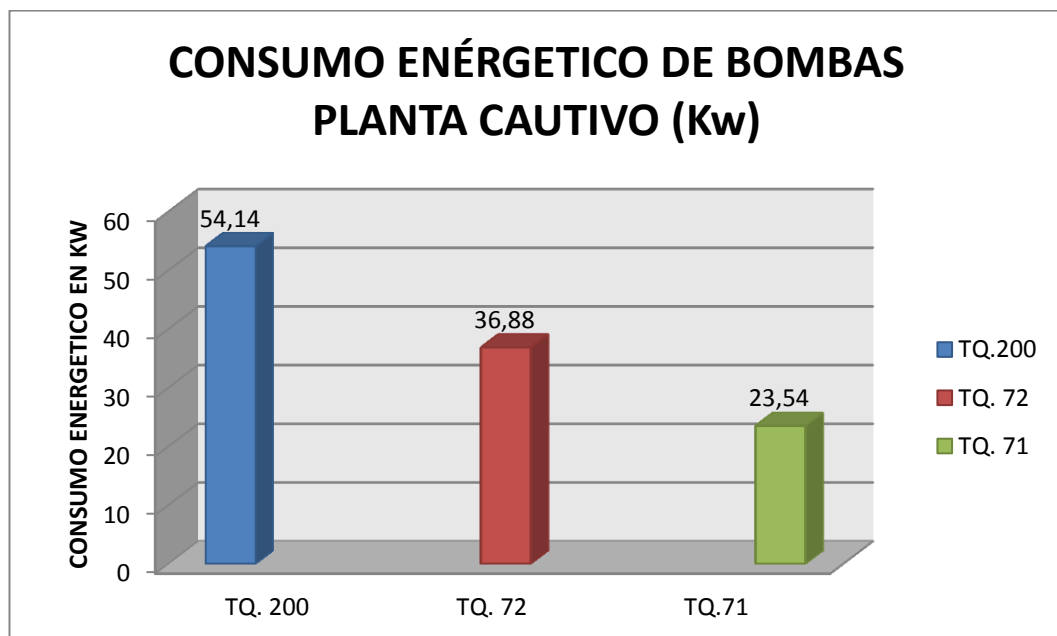
2.- Para calcular la potencia del motor, primero se calcula el cabalaje al freno requerido:

- Densidad:  $\rho = \longrightarrow 990,2 \text{ kg/m}^3 * 2,2 \text{ lb/Kg} * 1\text{m}^3/264\text{gl} = 8,25 \text{ lb/gal}$
- Eficiencia:  $\eta_P = -0.316 + 0.24015(\ln 1915,9) - 0.01199(\ln 1915,9)^2 = 0,81$  Potencia:  $P_B = 8,25 * 1915,9 * 74/33000 (0,81) = 43,76 \text{ hp}$
- Consumo:  $\eta_M = 0.80 + 0.0319(\ln 43,76) - 0.00182(\ln 43,76)^2 = 0,89$

3.- Se obtiene los Kw de potencia que consumió la bomba para cada recirculación del Fuel Oil # 4 de la Planta Cautivo.

$$P_C = 43,76/0.89 = 49,17 \text{ hp o } 36,88 \text{ kw.}$$

Nota: Se asume que estos Kw constituyen el total de consumo energético para una homogenización completa realizado por las bombas en los tanques respectivos.



**Gráfico 1.** Consumo energético de bombas por cada recirculación (Planta Cautivo)

**Fuente:** Dpto. de Programación, Almacenaje y transferencia, Refinería L.L.

**Elaboración:** Propia

### 5.3 CONSUMO ENERGÉTICO DE BOMBAS - AÑO 2013 (KW)

<b>CANTIDAD DE CARGAMENTOS MENSUALES POR TANQUE</b>				
<b>MES</b>	<b>TQ. 200 # cargas</b>	<b>TQ. 71 # cargas</b>	<b>TQ. 72 # cargas</b>	<b>PRODUCCIÓN MENSUAL BLS.</b>
<b>ENERO</b>	3	5	7	176090,27
<b>FEBRERO</b>	4	4	4	158976,02
<b>MARZO</b>	0	0	0	178285,29
<b>ABRIL</b>	0	0	0	175063,56
<b>MAYO</b>	1	0	0	184019,39
<b>JUNIO</b>	2	2	2	176026,61
<b>JULIO</b>	5	5	4	173493,29
<b>AGOSTO</b>	5	5	4	178968,05
<b>SEPTIEMBRE</b>	4	3	3	138067,36
<b>OCTUBRE</b>	0	0	0	180573,19
<b>NOVIEMBRE</b>	1	4	3	176826,57
<b>DICIEMBRE</b>	3	2	5	135263,56

**Tabla 16.** Número de cargamento a buque-tanquero mensual por tanque

**Fuente:** Dpto. de Programación, Almacenaje y transferencia, Refinería L.L.

**Elaboración:** Propia

*R: es el # de venta-cargamento de Fuel Oil por mes*

<b><u>CÁLCULO DEL CONSUMO ENERGÉTICO DE LAS BOMBAS (KW)</u></b>	
<p><b><u>ENERO</u></b></p> <p>TQ. 200 =54,14 Kw  <ul style="list-style-type: none"> <li>• 3R*54.14Kw= 162,42Kw</li> </ul> </p> <p>TQ.71=23,54 Kw  <ul style="list-style-type: none"> <li>• 5R*23,54 Kw=117,7 Kw</li> </ul> </p> <p>TQ.72=36,88 Kw  <ul style="list-style-type: none"> <li>• 7R*36,88 Kw= 258,16 Kw</li> </ul> </p>	<p><b><u>FEBRERO</u></b></p> <p>TQ. 200 =54,14 Kw  <ul style="list-style-type: none"> <li>• 4R*54,14 Kw= 216,56 Kw</li> </ul> </p> <p>TQ.71=23,54 Kw  <ul style="list-style-type: none"> <li>• 4R*23,54 Kw= 94,16 Kw</li> </ul> </p> <p>TQ.72=36,88 Kw  <ul style="list-style-type: none"> <li>• 4R*36,88 Kw= 147,52 Kw</li> </ul> </p>
<p><b><u>MARZO</u></b></p> <p>TQ. 200 =54,14 Kw  <ul style="list-style-type: none"> <li>• 0R*54,14 Kw= 0 Kw</li> </ul> </p> <p>TQ.71=23,54 Kw  <ul style="list-style-type: none"> <li>• 0R*23,54 Kw= 0 Kw</li> </ul> </p> <p>TQ.72=36,88 Kw  <ul style="list-style-type: none"> <li>• 0R*36,88 Kw= 0 Kw</li> </ul> </p>	<p><b><u>ABRIL</u></b></p> <p>TQ. 200 =54,14 Kw  <ul style="list-style-type: none"> <li>• 0R*54,14 Kw= 0 Kw</li> </ul> </p> <p>TQ.71=23,54 Kw  <ul style="list-style-type: none"> <li>• 0R*23,54 Kw= 0 Kw</li> </ul> </p> <p>TQ.72=36,88 Kw  <ul style="list-style-type: none"> <li>• 0R* 36,88 Kw= 0 Kw</li> </ul> </p>
<p><b><u>MAYO</u></b></p> <p>TQ. 200 = 54,14 Kw  <ul style="list-style-type: none"> <li>• 1R*54,14 Kw= 54,14 Kw</li> </ul> </p> <p>TQ.71=23,54 Kw  <ul style="list-style-type: none"> <li>• 0R*23,54 Kw= 0 Kw</li> </ul> </p> <p>TQ.72=36,88 Kw  <ul style="list-style-type: none"> <li>• 0R*36,88 Kw= 0 Kw</li> </ul> </p>	<p><b><u>JUNIO</u></b></p> <p>TQ. 200 =54,14 Kw  <ul style="list-style-type: none"> <li>• 2R*54,14 Kw= 108,28Kw</li> </ul> </p> <p>TQ.71=23,54 Kw  <ul style="list-style-type: none"> <li>• 2R*23,54 Kw= 47,08 Kw</li> </ul> </p> <p>TQ.72=36,88 Kw  <ul style="list-style-type: none"> <li>• 2R*36,08 Kw= 73,76 Kw</li> </ul> </p>
<p><b><u>JULIO</u></b></p> <p>TQ. 200 =54,14 Kw  <ul style="list-style-type: none"> <li>• 5R*54,14 Kw= 270,7 Kw</li> </ul> </p> <p>TQ.71= 23,54Kw</p>	<p><b><u>AGOSTO</u></b></p> <p>TQ. 200 =54,14 Kw  <ul style="list-style-type: none"> <li>• 5R*54,14 Kw= 270,7 Kw</li> </ul> </p> <p>TQ.71=23,54 Kw</p>

<ul style="list-style-type: none"> <li>• <math>5R * 23,54 \text{ Kw} = 117,7 \text{ Kw}</math></li> </ul> <p><b>TQ.72=36,88 Kw</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• <math>4R * 36,88 \text{ Kw} = 147,52 \text{ Kw}</math></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <math>5R * 23,54 \text{ Kw} = 117,7 \text{ Kw}</math></li> </ul> <p>TQ.72= 36,88 Kw</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• <math>4R * 36,88 \text{ Kw} = 147,52 \text{ Kw}</math></li> </ul>
<p><u>SEPTIEMBRE</u></p> <p><b>TQ. 200 =54,14 Kw</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• <math>4R * 54,14 \text{ Kw} = 216,56 \text{ Kw}</math></li> </ul> <p><b>TQ.71=23,54 Kw</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• <math>3R * 23,54 \text{ Kw} = 70,62 \text{ Kw}</math></li> </ul> <p><b>TQ.72=36,88 Kw</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• <math>3R * 36,88 \text{ Kw} = 110,64 \text{ Kw}</math></li> </ul>	<p><u>OCTUBRE</u></p> <p>TQ. 200 =54,14 Kw</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• <math>0R * 54,14 \text{ Kw} = 0 \text{ Kw}</math></li> </ul> <p>TQ.71=23,54 Kw</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• <math>0R * 23,54 \text{ Kw} = 0 \text{ Kw}</math></li> </ul> <p>TQ.72=36,88 Kw</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• <math>0R * 36,88 \text{ Kw} = 0 \text{ Kw}</math></li> </ul>
<p><u>NOVIEMBRE</u></p> <p><b>TQ. 200 =54,14 Kw</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• <math>1R * 54,14 \text{ Kw} = 54,14 \text{ Kw}</math></li> </ul> <p><b>TQ.71= 23,54 Kw</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• <math>4R * 23,54 \text{ Kw} = 94,16 \text{ Kw}</math></li> </ul> <p><b>TQ.72=36,88 Kw</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• <math>3R * 36,88 \text{ Kw} = 110,64 \text{ Kw}</math></li> </ul>	<p><u>DICIEMBRE</u></p> <p>TQ. 200 =54,14 Kw</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• <math>3R * 54,14 \text{ Kw} = 162,42 \text{ Kw}</math></li> </ul> <p>TQ.71=23,54 Kw</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• <math>2R * 23,54 \text{ Kw} = 47,08 \text{ Kw}</math></li> </ul> <p>TQ.72=36,88 Kw</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• <math>5R * 36,88 \text{ Kw} = 184,40 \text{ Kw}</math></li> </ul>

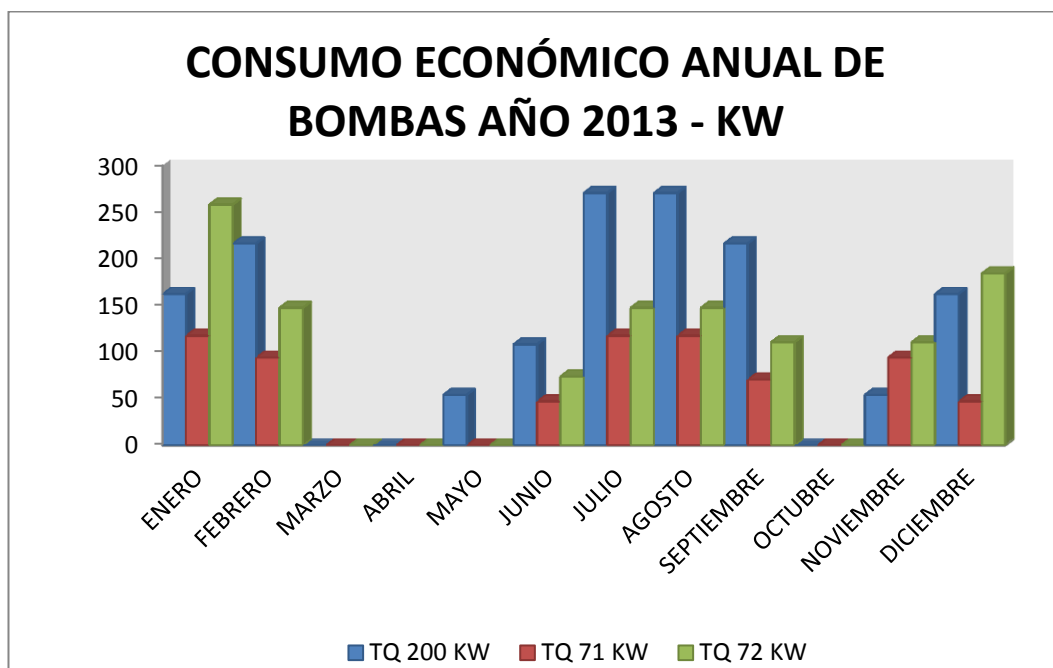
**Tabla 17.** Cálculos del consumo de las bombas de Planta Cautivo en (KW)  
**Fuente:** Dpto. de Programación, Almacenaje y transferencia, Refinería L.L.  
**Elaboración:** Propia

<b>CONSUMO ENERGÉTICO DE LA BOMBA AÑO 2013</b>			
<b>MES</b>	<b>TQ 200 KW</b>	<b>TQ 71 KW</b>	<b>TQ 72 KW</b>
<b>ENERO</b>	162,42	117,7	258,16
<b>FEBRERO</b>	216,56	94,16	147,52
<b>MARZO</b>	0	0	0
<b>ABRIL</b>	0	0	0
<b>MAYO</b>	54,14	0	0
<b>JUNIO</b>	108,28	47,08	73,76
<b>JULIO</b>	270,7	117,7	147,52
<b>AGOSTO</b>	270,7	117,7	147,52
<b>SEPTIEMBRE</b>	216,56	70,62	110,64
<b>OCTUBRE</b>	0	0	0
<b>NOVIEMBRE</b>	54,14	94,16	110,64
<b>DICIEMBRE</b>	162,42	47,08	184,4
<b>SUBTOTAL</b>	<b>1515,92</b>	<b>706,20</b>	<b>1180,16</b>
<b>TOTAL</b>	<b>3402,28 KW</b>		

**Tabla 18.** Consumo energético de la bomba - año 2013 (KW)

**Fuente:** Dpto. de Programación, Almacenaje y transferencia, Refinería L.L.

**Elaboración:** Propia



**Gráfico 2.** Consumo económico anual de bombas – año 2013 (KW)  
**Fuente:** Dpto. de Programación, Almacenaje y transferencia, Refinería L.L.  
**Elaboración:** Propia

#### 5.4 CONSUMO ENERGÉTICO DE BOMBAS - AÑO 2013 (\$)

<b><u>CÁLCULO DEL CONSUMO ENERGÉTICO DE LAS BOMBAS (\$)</u></b>	
<p><b><u>MARZO</u></b></p> <p>TQ. 200 =54,14 Kw            • <math>0R * 54,14 \text{ Kw} * 0,08 = \\$ 0</math></p> <p>TQ.71=23,54 Kw            • <math>0R * 23,54 \text{ Kw} * 0,08 = \\$ 0</math></p> <p>TQ.72=36,88 Kw            • <math>0R * 36,88 \text{ Kw} * 0,08 = \\$ 0</math></p>	<p><b><u>ABRIL</u></b></p> <p>TQ. 200 =54,14 Kw            • <math>0R * 54,14 \text{ Kw} * 0,08 = \\$ 0</math></p> <p>TQ.71=23,54 Kw            • <math>0R * 23,54 \text{ Kw} * 0,08 = \\$ 0</math></p> <p>TQ.72=36,88 Kw            • <math>0R * 36,88 \text{ Kw} * 0,08 = \\$ 0</math></p>
<p><b><u>MAYO</u></b></p> <p>TQ. 200 =54,14 Kw            • <math>1R * 54,14 \text{ Kw} * 0,08 = \\$ 495,23</math></p> <p>TQ.71=23,54 Kw</p>	<p><b><u>JUNIO</u></b></p> <p>TQ. 200 =54,14 Kw            • <math>2R * 54,14 \text{ Kw} * 0,08 = \\$ 8,66</math></p> <p>TQ.71=23,54 Kw</p>

<ul style="list-style-type: none"> <li>• <math>0R * 23,54 \text{ Kw} * 0,08 = \\$ 0</math></li> </ul> <p>TQ.72=36,88 Kw</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• <math>0R * 36,88 \text{ Kw} * 0,08 = \\$ 0</math></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <math>2R * 23,54 \text{ Kw} * 0,08 = \\$ 3,77</math></li> </ul> <p>TQ.72=36,88 Kw</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• <math>2R * 36,88 \text{ Kw} * 0,08 = \\$ 5,90</math></li> </ul>
<p><b><u>JULIO</u></b></p> <p>TQ. 200 =54,14 Kw</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• <math>5R * 54,14 \text{ Kw} * 0,08 = \\$ 21,66</math></li> </ul> <p>TQ.71=23,54 Kw</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• <math>5R * 23,54 \text{ Kw} * 0,08 = \\$ 9,42</math></li> </ul> <p>TQ.72=36,88 Kw</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• <math>4R * 36,88 \text{ Kw} * 0,08 = \\$ 11,80</math></li> </ul>	<p><b><u>AGOSTO</u></b></p> <p>TQ. 200 =54,14 Kw</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• <math>5R * 54,14 \text{ Kw} * 0,08 = \\$ 21,66</math></li> </ul> <p>TQ.71=23,54 Kw</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• <math>5R * 23,54 \text{ Kw} * 0,08 = \\$ 9,42</math></li> </ul> <p>TQ.72=36,88 Kw</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• <math>4R * 36,88 \text{ Kw} * 0,08 = \\$ 11,80</math></li> </ul>
<p><b><u>SEPTIEMBRE</u></b></p> <p>TQ. 200 =54,14 Kw</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• <math>4R * 54,14 \text{ Kw} * 0,08 = \\$ 17,32</math></li> </ul> <p>TQ.71=23,54 Kw</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• <math>3R * 23,54 \text{ Kw} * 0,08 = \\$ 5,65</math></li> </ul> <p>TQ.72=36,88 Kw</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• <math>3R * 36,88 \text{ Kw} * 0,08 = \\$ 8,85</math></li> </ul>	<p><b><u>OCTUBRE</u></b></p> <p>TQ. 200 =54,14 Kw</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• <math>0R * 54,14 \text{ Kw} * 0,08 = \\$ 0</math></li> </ul> <p>TQ.71=23,54 Kw</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• <math>0R * 23,54 \text{ Kw} * 0,08 = \\$ 0</math></li> </ul> <p>TQ.72=36,88 Kw</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• <math>0R * 36,88 \text{ Kw} * 0,08 = \\$ 0</math></li> </ul>
<p><b><u>NOVIEMBRE</u></b></p> <p>TQ. 200 =54,14 Kw</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• <math>1R * 54,14 \text{ Kw} * 0,08 = \\$ 4,33</math></li> </ul> <p>TQ.71=23,54 Kw</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• <math>4R * 23,54 \text{ Kw} * 0,08 = \\$ 7,53</math></li> </ul> <p>TQ.72=36,88 Kw</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• <math>3R * 36,88 \text{ Kw} * 0,08 = \\$ 8,85</math></li> </ul>	<p><b><u>DICIEMBRE</u></b></p> <p>TQ. 200 =54,14 Kw</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• <math>3R * 54,14 \text{ Kw} * 0,08 = \\$ 12,99</math></li> </ul> <p>TQ.71=23,54 Kw</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• <math>2R * 23,54 \text{ Kw} * 0,08 = \\$ 3,77</math></li> </ul> <p>TQ.72=36,88 Kw</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• <math>5R * 36,88 \text{ Kw} * 0,08 = \\$ 14,75</math></li> </ul>

**Tabla 19.** Cálculo del consumo de las bombas de Planta Cautivo en (\$)

**Fuente:** Dpto. de Programación, Almacenaje y transferencia, Refinería L.L.

**Elaboración:** Propia

Se toma en consideración el costo Kw/hora= \$0.08 dado por EP-CNEL sin dejar de considerar que exista una tarifa especial por costo en Kw/hora por EP Petroecuador.

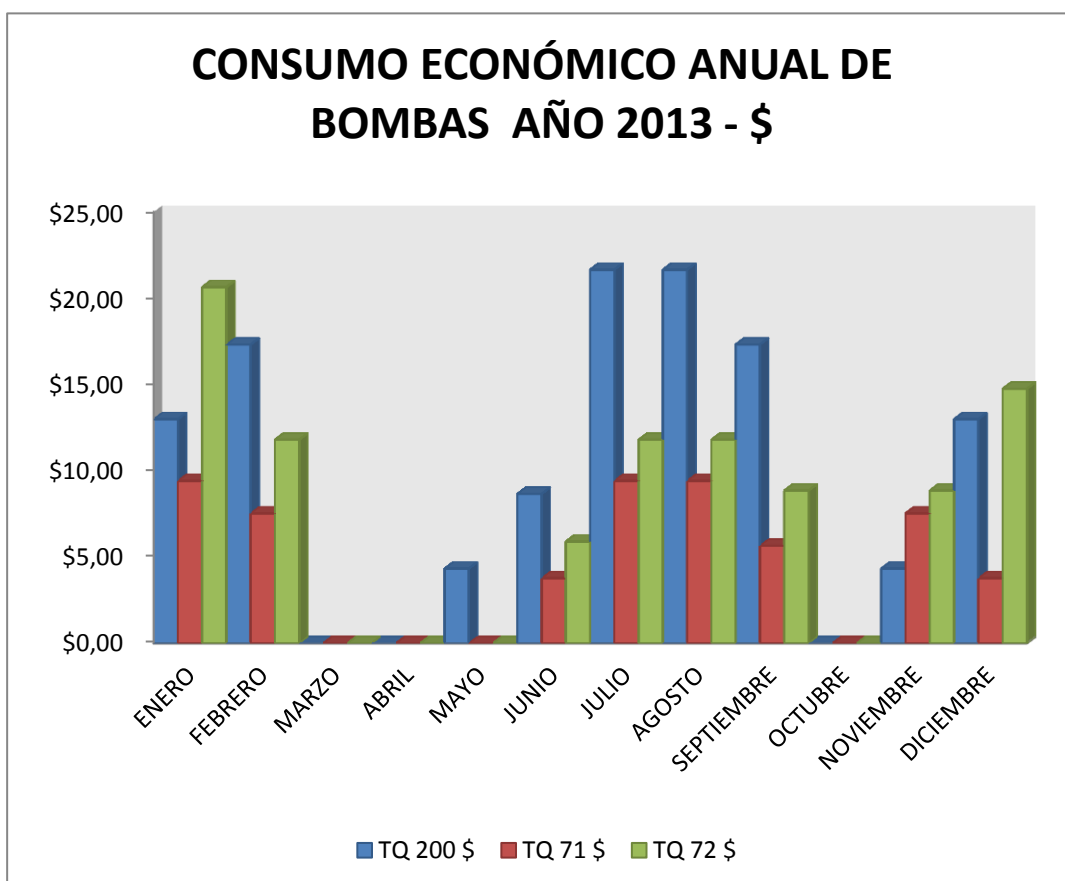
<b>CONSUMO ENERGÉTICO DE BOMBAS – AÑO 2013 (\$)</b>			
<b>MES</b>	<b>TQ 200</b>	<b>TQ 71</b>	<b>TQ 72</b>
	<b>\$</b>	<b>\$</b>	<b>\$</b>
<b>ENERO</b>	\$ 12,99	\$ 9,42	\$ 20,65
<b>FEBRERO</b>	\$ 17,32	\$ 7,53	\$ 11,80
<b>MARZO</b>	\$ 0,00	\$ 0,00	\$ 0,00
<b>ABRIL</b>	\$ 0,00	\$ 0,00	\$ 0,00
<b>MAYO</b>	\$ 4,33	\$ 0,00	\$ 0,00
<b>JUNIO</b>	\$ 8,66	\$ 3,77	\$ 5,90
<b>JULIO</b>	\$ 21,66	\$ 9,42	\$ 11,80
<b>AGOSTO</b>	\$ 21,66	\$ 9,42	\$ 11,80
<b>SEPTIEMBRE</b>	\$ 17,32	\$ 5,65	\$ 8,85
<b>OCTUBRE</b>	\$ 0,00	\$ 0,00	\$ 0,00
<b>NOVIEMBRE</b>	\$ 4,33	\$ 7,53	\$ 8,85
<b>DICIEMBRE</b>	\$ 12,99	\$ 3,77	\$ 14,75
<b>SUBTOTAL:</b>	<b>\$ 121,27</b>	<b>\$ 56,50</b>	<b>\$ 94,41</b>
<b>TOTAL:</b>	<b>\$ 272,18</b>		

**Tabla 20.** Consumo energético de bombas – año 2013 (\$)

**Fuente:** Dpto. de Programación, Almacenaje y transferencia, Refinería L.L.

**Elaboración:** Propia





**Gráfico 3.** Consumo energético anual de bombas – año 2013 (\$)

**Fuente:** Dpto. de Programación, Almacenaje y transferencia, Refinería L.L.

**Elaboración:** Propia

<b>CONSUMO ENERGÉTICO ANUAL DE BOMBAS ( KW - \$ )</b>						
<b>MES</b>	<b>TQ 200 KW</b>	<b>TQ 71 KW</b>	<b>TQ 72 KW</b>	<b>TQ 200 \$</b>	<b>TQ 71 \$</b>	<b>TQ 72 \$</b>
<b>ENERO</b>	162,42	117,7	258,16	\$ 12,99	\$ 9,42	\$ 20,65
<b>FEBRERO</b>	216,56	94,16	147,52	\$ 17,32	\$ 7,53	\$ 11,80
<b>MARZO</b>	0	0	0	\$ 0,00	\$ 0,00	\$ 0,00
<b>ABRIL</b>	0	0	0	\$ 0,00	\$ 0,00	\$ 0,00
<b>MAYO</b>	54,14	0	0	\$ 4,33	\$ 0,00	\$ 0,00
<b>JUNIO</b>	108,28	47,08	73,76	\$ 8,66	\$ 3,77	\$ 5,90
<b>JULIO</b>	270,7	117,7	147,52	\$ 21,66	\$ 9,42	\$ 11,80
<b>AGOSTO</b>	270,7	117,7	147,52	\$ 21,66	\$ 9,42	\$ 11,80
<b>SEPTIEMBRE</b>	216,56	70,62	110,64	\$ 17,32	\$ 5,65	\$ 8,85
<b>OCTUBRE</b>	0	0	0	\$ 0,00	\$ 0,00	\$ 0,00
<b>NOVIEMBRE</b>	54,14	94,16	110,64	\$ 4,33	\$ 7,53	\$ 8,85
<b>DICIEMBRE</b>	162,42	47,08	184,4	\$ 12,99	\$ 3,77	\$ 14,75
<b>SUBTOTAL:</b>	<b>1515,92</b>	<b>706,2</b>	<b>1180,16</b>	<b>\$ 121,27</b>	<b>\$ 56,50</b>	<b>\$ 94,41</b>
<b>TOTAL</b>	<b>3402,28 KW</b>			<b>\$ 272,18</b>		

**Tabla 21.** Consumo energético anual de bombas (Kw - \$)

**Fuente:** Dpto. de Programación, Almacenaje y transferencia, Refinería L.L.

**Elaboración:** Propia

**5.5 ESTIMACIÓN DEL CONSUMO ENERGÉTICO DE POTENCIA DEL AGITADOR (KW), UTILIZANDO COMO REFERENCIA EL USO DE BOMBAS, año 2013.**

- Consumo energético del motor del agitador propuesto= 75 hp
- Equivalencia: 1hp=0.75Kw
- Tiempo de mezcla propuesto= 2,69 horas
- Costo: KW/hora= \$0.08 (tomado del costo dado por EP-CNEL)
- Potencia consumida por el motor del agitador= 24,29 KW

**5.6 CONSUMO ENERGÉTICO DEL AGITADOR (KW), UTILIZANDO COMO REFERENCIA EL USO DE BOMBAS, año 2013.**

<b>CANTIDAD DE CARGAMENTOS MENSUALES POR TANQUE</b>				
<b>MES</b>	<b>TQ. 200 # cargas</b>	<b>TQ. 71 # cargas</b>	<b>TQ. 72 # cargas</b>	<b>PRODUCCIÓN MENSUAL BLS.</b>
<b>ENERO</b>	3	5	7	176090,27
<b>FEBRERO</b>	4	4	4	158976,02
<b>MARZO</b>	0	0	0	178285,29
<b>ABRIL</b>	0	0	0	175063,56
<b>MAYO</b>	1	0	0	184019,39
<b>JUNIO</b>	2	2	2	176026,61
<b>JULIO</b>	5	5	4	173493,29
<b>AGOSTO</b>	5	5	4	178968,05
<b>SEPTIEMBRE</b>	4	3	3	138067,36
<b>OCTUBRE</b>	0	0	0	180573,19
<b>NOVIEMBRE</b>	1	4	3	176826,57
<b>DICIEMBRE</b>	3	2	5	135263,56

**Tabla 22.** Número de recirculaciones mensual por tanque

**Fuente:** Dpto. de Programación, Almacenaje y transferencia, Refinería L.L.

**Elaboración:** Propia

**CÁLCULO DEL CONSUMO ENERGÉTICO DEL MOTOR DEL AGITADOR (KW),  
REFERENCIAL AL USO DE BOMBAS**

<p><b><u>ENERO</u></b></p> <p>TQ. 200 =24,29 Kw  <ul style="list-style-type: none"> <li>• 3R*24,29Kw= <b>72,87Kw</b></li> </ul> </p> <p>TQ.71=24,29 Kw  <ul style="list-style-type: none"> <li>• 5R*24,29 Kw=<b>121,45 Kw</b></li> </ul> </p> <p>TQ.72=24,29 Kw  <ul style="list-style-type: none"> <li>• 7R*24,29 Kw= <b>170,03 Kw</b></li> </ul> </p>	<p><b><u>FEBRERO</u></b></p> <p>TQ. 200 =24,29 Kw  <ul style="list-style-type: none"> <li>• 4R*24,29 Kw= <b>97,16 Kw</b></li> </ul> </p> <p>TQ.71=24,29 Kw  <ul style="list-style-type: none"> <li>• 4R*24,29 Kw= <b>97,16 Kw</b></li> </ul> </p> <p>TQ.72=24,29 Kw  <ul style="list-style-type: none"> <li>• 4R*24,29 Kw= <b>97,16 Kw</b></li> </ul> </p>
<p><b><u>MARZO</u></b></p> <p>TQ. 200 =24,29 Kw  <ul style="list-style-type: none"> <li>• 0R*24,29 Kw= <b>0 Kw</b></li> </ul> </p> <p>TQ.71=24,29 Kw  <ul style="list-style-type: none"> <li>• 0R*24,29 Kw= <b>0 Kw</b></li> </ul> </p> <p>TQ.72=24,29 Kw  <ul style="list-style-type: none"> <li>• 0R*24,29 Kw= <b>0 Kw</b></li> </ul> </p>	<p><b><u>ABRIL</u></b></p> <p>TQ. 200 =24,29 Kw  <ul style="list-style-type: none"> <li>• 0R*24,29 Kw= <b>0 Kw</b></li> </ul> </p> <p>TQ.71=24,29 Kw  <ul style="list-style-type: none"> <li>• 0R*24,29 Kw= <b>0 Kw</b></li> </ul> </p> <p>TQ.72=24,29 Kw  <ul style="list-style-type: none"> <li>• 0R* 24,29 Kw= <b>0 Kw</b></li> </ul> </p>
<p><b><u>MAYO</u></b></p> <p>TQ. 200 = 24,29 Kw  <ul style="list-style-type: none"> <li>• 1R*24,29 Kw= <b>24,29 Kw</b></li> </ul> </p> <p>TQ.71=24,29 Kw  <ul style="list-style-type: none"> <li>• 0R*24,29 Kw= <b>0 Kw</b></li> </ul> </p> <p>TQ.72=24,29 Kw  <ul style="list-style-type: none"> <li>• 0R*24,29 Kw= <b>0 Kw</b></li> </ul> </p>	<p><b><u>JUNIO</u></b></p> <p>TQ. 200 =24,29 Kw  <ul style="list-style-type: none"> <li>• 2R*24,29 Kw= <b>48,58Kw</b></li> </ul> </p> <p>TQ.71=24,29 Kw  <ul style="list-style-type: none"> <li>• 2R*24,29 Kw= <b>48,58 Kw</b></li> </ul> </p> <p>TQ.72=24,29 Kw  <ul style="list-style-type: none"> <li>• 2R*24,29 Kw= <b>48,68 Kw</b></li> </ul> </p>

<p><b><u>JULIO</u></b></p> <p>TQ. 200 =24,29 Kw  <ul style="list-style-type: none"> <li>• 5R*24,29 Kw= <b>121,45 Kw</b></li> </ul> </p> <p>TQ.71= 24,29Kw  <ul style="list-style-type: none"> <li>• 5R*24,29 Kw= <b>121,45 Kw</b></li> </ul> </p> <p>TQ.72=24,29 Kw  <ul style="list-style-type: none"> <li>• 4R*24,29Kw= <b>97,16 Kw</b></li> </ul> </p>	<p><b><u>AGOSTO</u></b></p> <p>TQ. 200 =24,29Kw  <ul style="list-style-type: none"> <li>• 5R*24,29 Kw= <b>121,45 Kw</b></li> </ul> </p> <p>TQ.71=24,29 Kw  <ul style="list-style-type: none"> <li>• 5R*24,29 Kw= <b>121,45 Kw</b></li> </ul> </p> <p>TQ.72= 24,29 Kw  <ul style="list-style-type: none"> <li>• 4R*24,29 Kw= <b>97,16 Kw</b></li> </ul> </p>
<p><b><u>SEPTIEMBRE</u></b></p> <p>TQ. 200 =24,29 Kw  <ul style="list-style-type: none"> <li>• 4R*24,29 Kw= <b>97,16 Kw</b></li> </ul> </p> <p>TQ.71=24,29Kw  <ul style="list-style-type: none"> <li>• 3R*24,29 Kw= <b>72,87Kw</b></li> </ul> </p> <p>TQ.72=24,29 Kw  <ul style="list-style-type: none"> <li>• 3R*24,29 Kw= <b>72,87 Kw</b></li> </ul> </p>	<p><b><u>OCTUBRE</u></b></p> <p>TQ. 200 =24,29 Kw  <ul style="list-style-type: none"> <li>• 0R*24,29Kw= <b>0 Kw</b></li> </ul> </p> <p>TQ.71=24,29 Kw  <ul style="list-style-type: none"> <li>• 0R*24,29 Kw= <b>0 Kw</b></li> </ul> </p> <p>TQ.72=24,29Kw  <ul style="list-style-type: none"> <li>• 0R*24,29 Kw= <b>0 Kw</b></li> </ul> </p>
<p><b><u>NOVIEMBRE</u></b></p> <p>TQ. 200 =24,29Kw  <ul style="list-style-type: none"> <li>• 1R*24,29 Kw= <b>24,29 Kw</b></li> </ul> </p> <p>TQ.71= 24,29 Kw  <ul style="list-style-type: none"> <li>• 4R*24,29 Kw= <b>97,16 Kw</b></li> </ul> </p> <p>TQ.72=24,29 Kw  <ul style="list-style-type: none"> <li>• 3R*24,29 Kw= <b>72,87Kw</b></li> </ul> </p>	<p><b><u>DICIEMBRE</u></b></p> <p>TQ. 200 =24,29 Kw  <ul style="list-style-type: none"> <li>• 3R*24,29 Kw= <b>72,87 Kw</b></li> </ul> </p> <p>TQ.71=24,29 Kw  <ul style="list-style-type: none"> <li>• 2R*24,29 Kw= <b>48,58 Kw</b></li> </ul> </p> <p>TQ.72=24,29 Kw  <ul style="list-style-type: none"> <li>• 5R*24,29 Kw= <b>121,45 Kw</b></li> </ul> </p>

**Tabla 23.** Cálculo del Consumo energético anual de agitador (KW), referenciado al uso de bombas

**Fuente:** Dpto. de Programación, Almacenaje y transferencia, Refinería L.L.

**Elaboración:** Propia

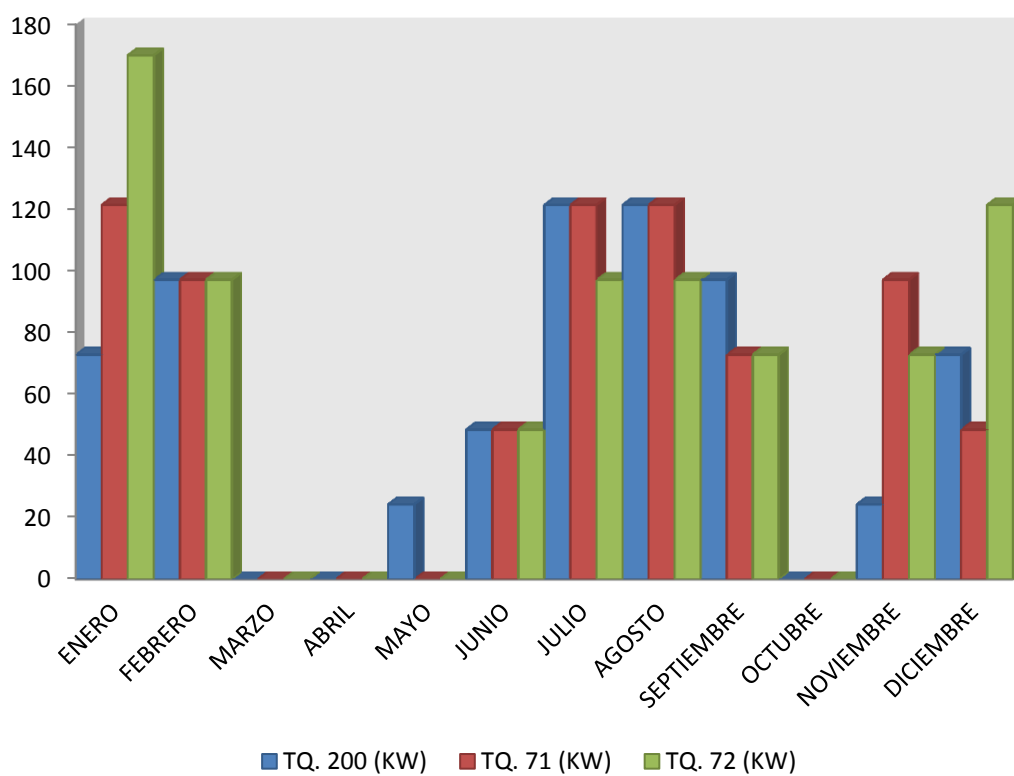
<b>CONSUMO ENERGÉTICO DEL AGITADOR</b>			
<b>AÑO 2013 (KW), REFERENCIAL AL USO DE BOMBAS</b>			
<b>MES</b>	<b>TQ. 200</b>	<b>TQ. 71</b>	<b>TQ. 72</b>
	<b>(KW)</b>	<b>(KW)</b>	<b>(KW)</b>
<b>ENERO</b>	72,87	121,45	170,03
<b>FEBRERO</b>	97,16	97,16	97,16
<b>MARZO</b>	0	0	0
<b>ABRIL</b>	0	0	0
<b>MAYO</b>	24,29	0	0
<b>JUNIO</b>	48,58	48,58	48,58
<b>JULIO</b>	121,45	121,45	97,16
<b>AGOSTO</b>	121,45	121,45	97,16
<b>SEPTIEMBRE</b>	97,16	72,87	72,87
<b>OCTUBRE</b>	0	0	0
<b>NOVIEMBRE</b>	24,29	97,16	72,87
<b>DICIEMBRE</b>	72,87	48,58	121,45
<b>SUBTOTAL:</b>	<b>680,12</b>	<b>728,7</b>	<b>777,28</b>
<b>TOTAL</b>	<b>2186,1 KW</b>		

**Tabla 24.** Consumo energético anual del agitador – año 2013 (KW), referencial al uso de bombas.

**Fuente:** Dpto. de Programación, Almacenaje y transferencia, Refinería L.L.

**Elaboración:** Propia

### CONSUMO ENERGÉTICO DEL AGITADOR AÑO 2013 (KW) REFERENCIAL AL USO DE BOMBAS



**Gráfico 4.** Consumo energético del agitador, referencial al uso de bombas, año 2013 (KW).

**Fuente:** Dpto. de Programación, Almacenaje y transferencia, Refinería L.L.

**Elaboración:** Propia

**5.7 CONSUMO ENERGÉTICO DEL MOTOR DEL AGITADOR (\$)  
REFERENCIAL AL USO DE BOMBAS**

KW/hora= \$0.08 (tomada del costo Kw/hora definido por EP-CNEL)

<b><u>CÁLCULO DEL CONSUMO ENERGÉTICO DEL AGITADOR (\$)</u> <u>REFERENCIAL AL USO DE BOMBAS</u></b>	
<p><b><u>ENERO</u></b></p> <p>TQ. 200</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• <math>3R * 24,29Kw * 0,08 = \\$ 13,50</math></li> </ul> <p>TQ.71</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• <math>5R * 24,29Kw * 0,08 = \\$ 22,50</math></li> </ul> <p>TQ.72</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• <math>7R * 24,29Kw * 0,08 = \\$ 31,50</math></li> </ul>	<p><b><u>FEBRERO</u></b></p> <p>TQ. 200</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• <math>4R * 24,29Kw * 0,08 = \\$ 18,00</math></li> </ul> <p>TQ.71</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• <math>4R * 24,29Kw * 0,08 = \\$ 18,00</math></li> </ul> <p>TQ.72</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• <math>4R * 24,29Kw * 0,08 = \\$ 18,00</math></li> </ul>
<p><b><u>MARZO</u></b></p> <p>TQ. 200</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• <math>0R * 24,29Kw * 0,08 = \\$ 0</math></li> </ul> <p>TQ.71</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• <math>0R * 24,29Kw * 0,08 = \\$ 0</math></li> </ul> <p>TQ.72</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• <math>0R * 24,29Kw * 0,08 = \\$ 0</math></li> </ul>	<p><b><u>ABRIL</u></b></p> <p>TQ. 200</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• <math>0R * 24,29Kw * 0,08 = \\$ 0</math></li> </ul> <p>TQ.71</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• <math>0R * 24,29Kw * 0,08 = \\$ 0</math></li> </ul> <p>TQ.72</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• <math>0R * 24,29Kw * 0,08 = \\$ 0</math></li> </ul>
<p><b><u>MAYO</u></b></p> <p>TQ. 200</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• <math>1R * 24,29 Kw * 0,08 = \\$ 4,50</math></li> </ul> <p>TQ.71</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• <math>0R * 24,29 Kw * 0,08 = \\$ 0</math></li> </ul> <p>TQ.72</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• <math>0R * 24,29 Kw * 0,08 = \\$ 0</math></li> </ul>	<p><b><u>JUNIO</u></b></p> <p>TQ. 200</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• <math>2R * 24,29 Kw * 0,08 = \\$ 9,00</math></li> </ul> <p>TQ.71</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• <math>2R * 24,29 Kw * 0,08 = \\$ 9,00</math></li> </ul> <p>TQ.72</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• <math>2R * 24,29 Kw * 0,08 = \\$ 9,00</math></li> </ul>



<p><b><u>JULIO</u></b></p> <p>TQ. 200</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• <math>5R*24,29Kw*0,08 = \\$ 22,50</math></li> </ul> <p>TQ.71</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• <math>5R*24,29Kw*0,08 = \\$ 22,50</math></li> </ul> <p>TQ.72</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• <math>4R*24,29Kw*0,08 = \\$ 18,00</math></li> </ul>	<p><b><u>AGOSTO</u></b></p> <p>TQ. 200</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• <math>5R*24,29Kw*0,08 = \\$ 22,50</math></li> </ul> <p>TQ.71</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• <math>5R*24,29Kw*0,08 = \\$ 22,50</math></li> </ul> <p>TQ.72</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• <math>4R*24,29Kw*0,08 = \\$ 18,00</math></li> </ul>
<p><b><u>SEPTIEMBRE</u></b></p> <p>TQ. 200</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• <math>4R*24,29Kw*0,08 = \\$ 18,00</math></li> </ul> <p>TQ.71</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• <math>3R*24,29Kw*0,08 = \\$ 13,50</math></li> </ul> <p>TQ.72</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• <math>3R*24,29Kw*0,08 = \\$ 13,50</math></li> </ul>	<p><b><u>OCTUBRE</u></b></p> <p>TQ. 200</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• <math>0R*56,25Kw*0,08 = \\$ 0</math></li> </ul> <p>TQ.71</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• <math>0R*56,25Kw*0,08 = \\$ 0</math></li> </ul> <p>TQ.72</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• <math>0R*56,25Kw*0,08 = \\$ 0</math></li> </ul>
<p><b><u>NOVIEMBRE</u></b></p> <p>TQ. 200</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• <math>1R*56,25Kw*0,08 = \\$ 4,50</math></li> </ul> <p>TQ.71</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• <math>4R*56,25Kw*0,08 = \\$ 18,00</math></li> </ul> <p>TQ.72</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• <math>3R*56,25Kw*0,08 = \\$ 13,50</math></li> </ul>	<p><b><u>DICIEMBRE</u></b></p> <p>TQ. 200</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• <math>3R*56,25Kw*0,08 = \\$ 13,50</math></li> </ul> <p>TQ.71</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• <math>2R*56,25Kw*0,08 = \\$ 9,00</math></li> </ul> <p>TQ.72</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• <math>5R*56,25Kw*0,08 = \\$ 22,50</math></li> </ul>

**Tabla 25.** Cálculo del consumo energético anual de agitador (\$), referencial al uso de bombas.

**Fuente:** Dpto. de Programación, Almacenaje y transferencia, Refinería L.L.

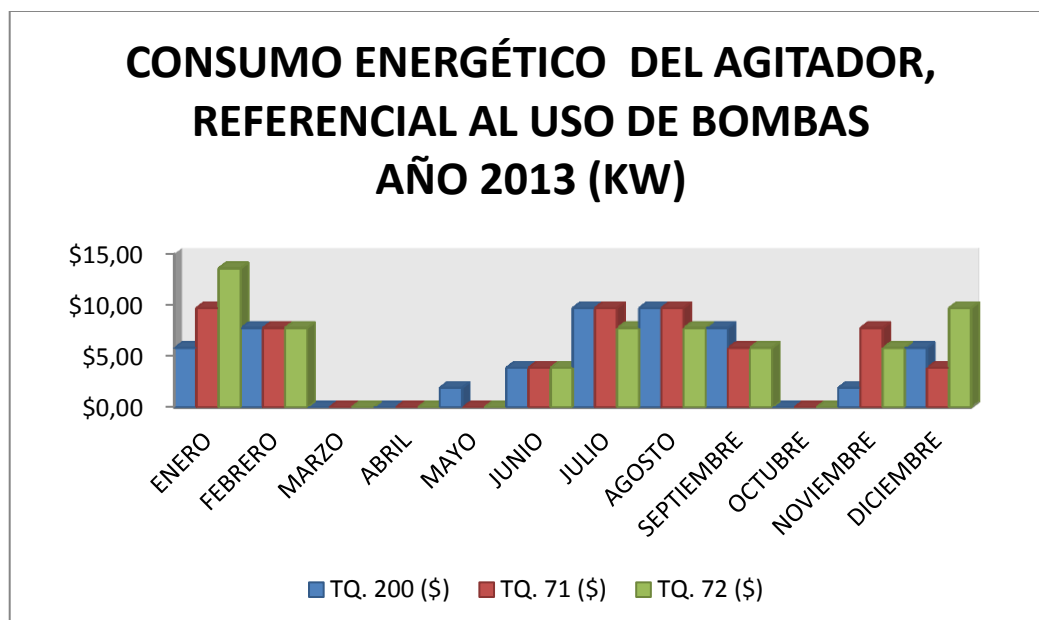
**Elaboración:** Propia

<b>CONSUMO ENERGÉTICO DEL AGITADOR REFERENCIAL AL USO DE BOMBAS, AÑO 2013 (\$).</b>			
<b>MES</b>	<b>TQ. 200 (\$)</b>	<b>TQ. 71 (\$)</b>	<b>TQ. 72 (\$)</b>
<b>ENERO</b>	\$ 5,83	\$ 9,72	\$ 13,60
<b>FEBRERO</b>	\$ 7,77	\$ 7,77	\$ 7,77
<b>MARZO</b>	\$ 0,00	\$ 0,00	\$ 0,00
<b>ABRIL</b>	\$ 0,00	\$ 0,00	\$ 0,00
<b>MAYO</b>	\$ 1,94	\$ 0,00	\$ 0,00
<b>JUNIO</b>	\$ 3,89	\$ 3,89	\$ 3,89
<b>JULIO</b>	\$ 9,72	\$ 9,72	\$ 7,77
<b>AGOSTO</b>	\$ 9,72	\$ 9,72	\$ 7,77
<b>SEPTIEMBRE</b>	\$ 7,77	\$ 5,83	\$ 5,83
<b>OCTUBRE</b>	\$ 0,00	\$ 0,00	\$ 0,00
<b>NOVIEMBRE</b>	\$ 1,94	\$ 7,77	\$ 5,83
<b>DICIEMBRE</b>	\$ 5,83	\$ 3,89	\$ 9,72
<b>SUBTOTAL</b>	<b>\$ 54,41</b>	<b>\$ 58,30</b>	<b>\$ 62,18</b>
<b>TOTAL</b>	<b>\$ 174,89</b>		

**Tabla 26.** Consumo energético anual del agitador referencial al uso de bombas.

**Fuente:** Dpto. de Programación, Almacenaje y transferencia, Refinería L.L.

**Elaboración:** Propia



**Gráfico 5.** Consumo energético del agitador, referencial al uso de bombas (KW)

**Fuente:** Dpto. de Programación, Almacenaje y transferencia, Refinería L.L.

**Elaboración:** Propia

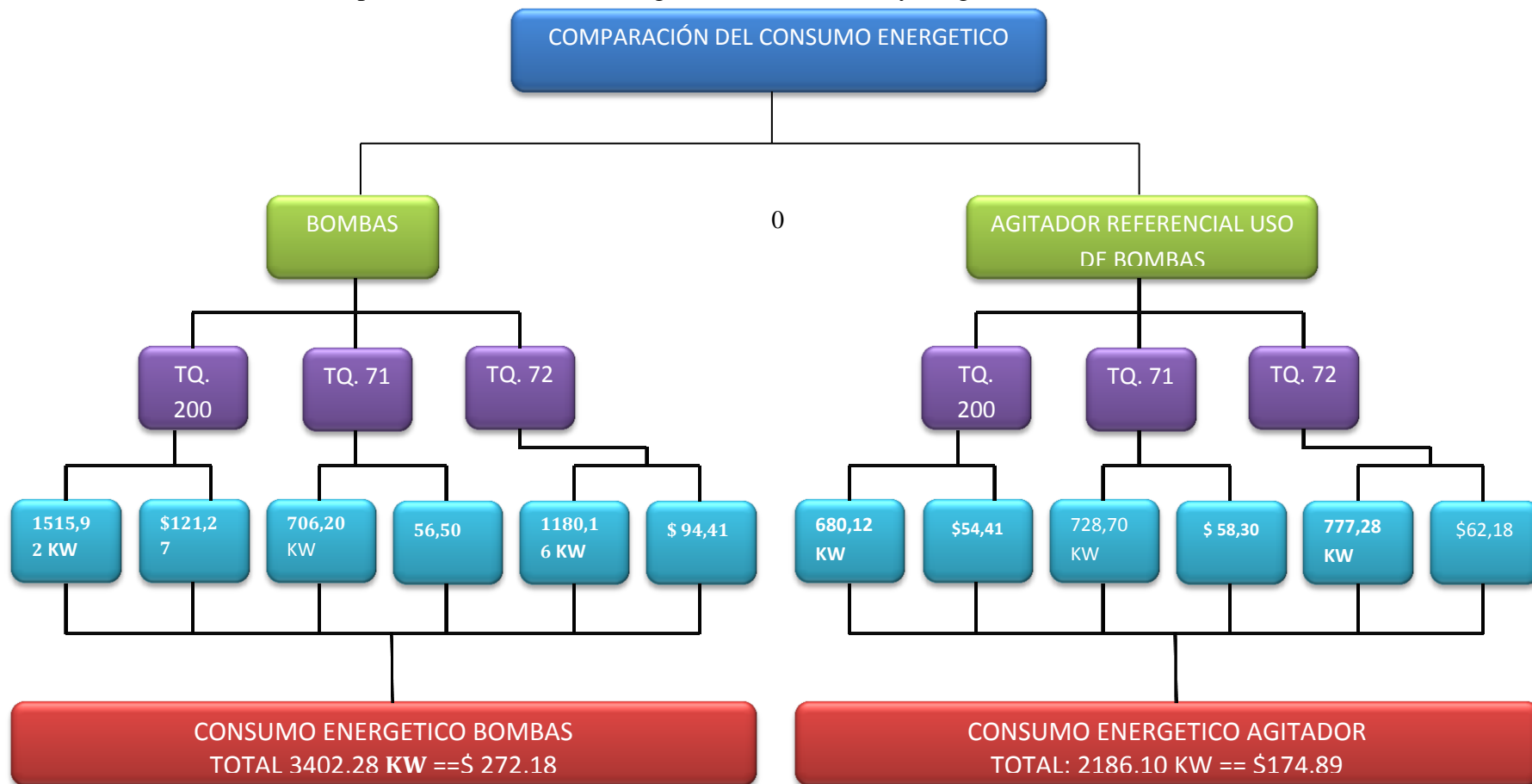
<b>CONSUMO ENERGÉTICO ANUAL DEL AGITADOR EN (KW - \$), REFERENCIAL AL USO DE BOMBAS</b>						
<b>MES</b>	<b>TQ. 200 (KW)</b>	<b>TQ. 71 (KW)</b>	<b>TQ. 72 (KW)</b>	<b>TQ. 200 (\$)</b>	<b>TQ. 71 (\$)</b>	<b>TQ. 72 (\$)</b>
<b>ENERO</b>	72,87	121,45	170,03	\$ 5,83	\$ 9,72	\$ 13,60
<b>FEBRERO</b>	97,16	97,16	97,16	\$ 7,77	\$ 7,77	\$ 7,77
<b>MARZO</b>	0	0	0	\$ 0,00	\$ 0,00	\$ 0,00
<b>ABRIL</b>	0	0	0	\$ 0,00	\$ 0,00	\$ 0,00
<b>MAYO</b>	24,29	0	0	\$ 1,94	\$ 0,00	\$ 0,00
<b>JUNIO</b>	48,58	48,58	48,58	\$ 3,89	\$ 3,89	\$ 3,89
<b>JULIO</b>	121,45	121,45	97,16	\$ 9,72	\$ 9,72	\$ 7,77
<b>AGOSTO</b>	121,45	121,45	97,16	\$ 9,72	\$ 9,72	\$ 7,77
<b>SEPTIEMBRE</b>	97,16	72,87	72,87	\$ 7,77	\$ 5,83	\$ 5,83
<b>OCTUBRE</b>	0	0	0	\$ 0,00	\$ 0,00	\$ 0,00
<b>NOVIEMBRE</b>	24,29	97,16	72,87	\$ 1,94	\$ 7,77	\$ 5,83
<b>DICIEMBRE</b>	72,87	48,58	121,45	\$ 5,83	\$ 3,89	\$ 9,72
<b>SUBTOTAL:</b>	<b>680,12</b>	<b>728,7</b>	<b>777,28</b>	<b>\$ 54,41</b>	<b>\$ 58,30</b>	<b>\$ 62,18</b>
<b>TOTAL</b>	<b>2186,10 KW</b>			<b>\$ 174,89</b>		

**Tabla 27.** Consumo energético anual del agitador en (KW - \$), referencial al uso de bombas

**Fuente:** Dpto. de Programación, Almacenaje y transferencia, Refinería L.L.

**Elaboración:** Propia

**Gráfico 6.** Comparación del consumo energético entre la bomba y el agitador (referencial al uso de bombas)



**Fuente:** Dpto. de Programación, Almacenaje y transferencia, Refinería L.L.  
**Elaboración:** Propia

### 5.8 Cálculo de horas consumidas por las bombas

- **TQ. 200**=1050168 gls.

**Galonaje de la bomba** = 2.000 gls/min = 120.000 gls/hr

$$T_R = \frac{1050168 \text{ gls}}{120000 \text{ gls/hr}} = 8,7 \text{ hr.}$$

- **TQ. 71**=446838 gls

**Galonaje de la bomba**=2000 gls/min = 120000gls/hr

$$T_R = \frac{446838 \text{ gls}}{120000 \text{ gls/hr}} = 3,7 \text{ hr.}$$

- **TQ. 72**=689724 gls

**Galonaje de la bomba**=2000 gls/min = 120000gls/hr

$$T_R = \frac{689724 \text{ gls}}{120000 \text{ gls/hr}} = 5,75 \text{ hr.}$$

Las horas obtenidas mediante el cálculo anterior es para una sola recirculación, asumiendo que se ha obtenido una buena homogenización de Fuel Oil # 4, durante el proceso de recirculación.

### 5.9 Cálculo de horas consumidas por el agitador, referencial al uso de bombas

**Potencia:** 75 hp

**Empuje requerido para producto y capacidad dadas por RLL=** 733 lbf

**Empuje disponible para mezcla=** 1635 lbs

**Ciclo normal de mezcla=** 6 hrs

**Tiempo de mezcla** =  $\frac{\text{Empuje Requerido}}{\text{Empuje Disponible}} * \text{Ciclo normal de mezcla}$

$$\text{Tiempo de mezcla} = \frac{733}{1635} * 6 = 2,69 \text{ hrs}$$

NUMERO DE DESPACHOS				BOMBAS			AGITADOR		
MES	200	71	72	200 HR	71 HR	72 HR	200 HR	71 HR	72 HR
ENERO	3	5	7	26,1	18,5	40,25	8,07	13,45	18,83
FEBRERO	4	4	4	34,8	14,8	23	10,76	10,76	10,76
MARZO	0	0	0	0	0	0	0,00	0,00	0,00
ABRIL	0	0	0	0	0	0	0,00	0,00	0,00
MAYO	1	0	0	8,7	0	0	2,69	0,00	0,00
JUNIO	2	2	2	17,4	7,4	11,5	5,38	5,38	5,38
JULIO	5	5	4	43,5	18,5	23	13,45	13,45	10,76
AGOSTO	5	5	4	43,5	18,5	23	13,45	13,45	10,76
SEPTIEMBRE	4	3	3	34,8	11,1	17,25	10,76	8,07	8,07
OCTUBRE	0	0	0	0	0	0	0,00	0,00	0,00
NOVIEMBRE	1	4	3	8,7	14,8	17,25	2,69	10,76	8,07
DICIEMBRE	3	2	5	26,1	7,4	28,75	8,07	5,38	13,45
<b>SUBTOTAL DE HORAS</b>				<b>243,6</b>	<b>111</b>	<b>184</b>	<b>75,32</b>	<b>80,70</b>	<b>86,08</b>
<b>TOTAL DE HORAS</b>				<b>538,6</b>			<b>242,10</b>		

**Tabla 28.** Comparación del consumo de horas entre las bombas y el agitador (referencial al uso de bombas).

**Fuente:** Dpto. de Programación, Almacenaje y transferencia, Refinería L.L.

**Elaboración:** Propia

### **5.10 Gastos totales para la comercialización de Fuel Oil con el uso de bombas**

- **BOMBAS**

Horas consumidas = 538,6 hrs.

A este valor se le adiciona las horas que un buque tanquero debe esperar hasta que se homogenice el Fuel Oil y obtenga las especificaciones requeridas.

**Costo buque tanquero por despacho** = \$ 6.000 por día = \$ 250 por hora

**Tiempo proceso de homogenización** = 8hrs

**Valor de espera para despacho de Fuel Oil** =  $\$250 \times 8\text{hrs} = \$ 2.000$

**Número de despacho Fuel Oil # 4, 2.013** = 90 despachos

**Costo total de espera por carga de Fuel Oil # 4** = \$ 180000 anuales

### **5.11 Costos totales por cargamento de Fuel Oil # 4 con el uso de bombas**

**Costos buque-tanquero** = \$ 180.000

**Costo anuales de bombas** = \$ 272,18

**Costos Totales** =  $\$ 180.000 + \$ 272,18 = \$ 180.272,18$

### **5.12 Gastos totales para la comercialización de Fuel Oil con el uso de agitador, referencial al uso de bombas**

- **AGITADOR**

Horas consumidas = 242,10 horas

A este valor se le adiciona las horas que un buque tanquero debe esperar hasta que se homogenice el Fuel Oil y obtenga las especificaciones requeridas.

**Costo buque-tanquero por despacho** = \$ 6.000 por día = \$ 250 por hora

**Tiempo proceso de homogenización** = 2,69 hrs.

**Valor de espera para despacho de Fuel Oil** = \$ 250\*2,69 = \$ 672,50

**Numero de despacho Fuel Oil # 4, 2.013** = 90 despachos.

**Costo total de espera por carga de Fuel Oil # 4** = \$ 672,50\*90 = \$ 60.525 anuales.

### **5.13 Costos totales por cargamento de Fuel Oil # 4 con el uso de agitador – referencial al uso de bombas**

**Costos buque-tanquero** = \$ 60.525

**Costo anuales de bombas** = \$ 174,89

**Costos Totales** = \$ 60.525 + 174,89 = \$ 60.699,89

### **5.14 Comparación de costos (bombas-agitador)**

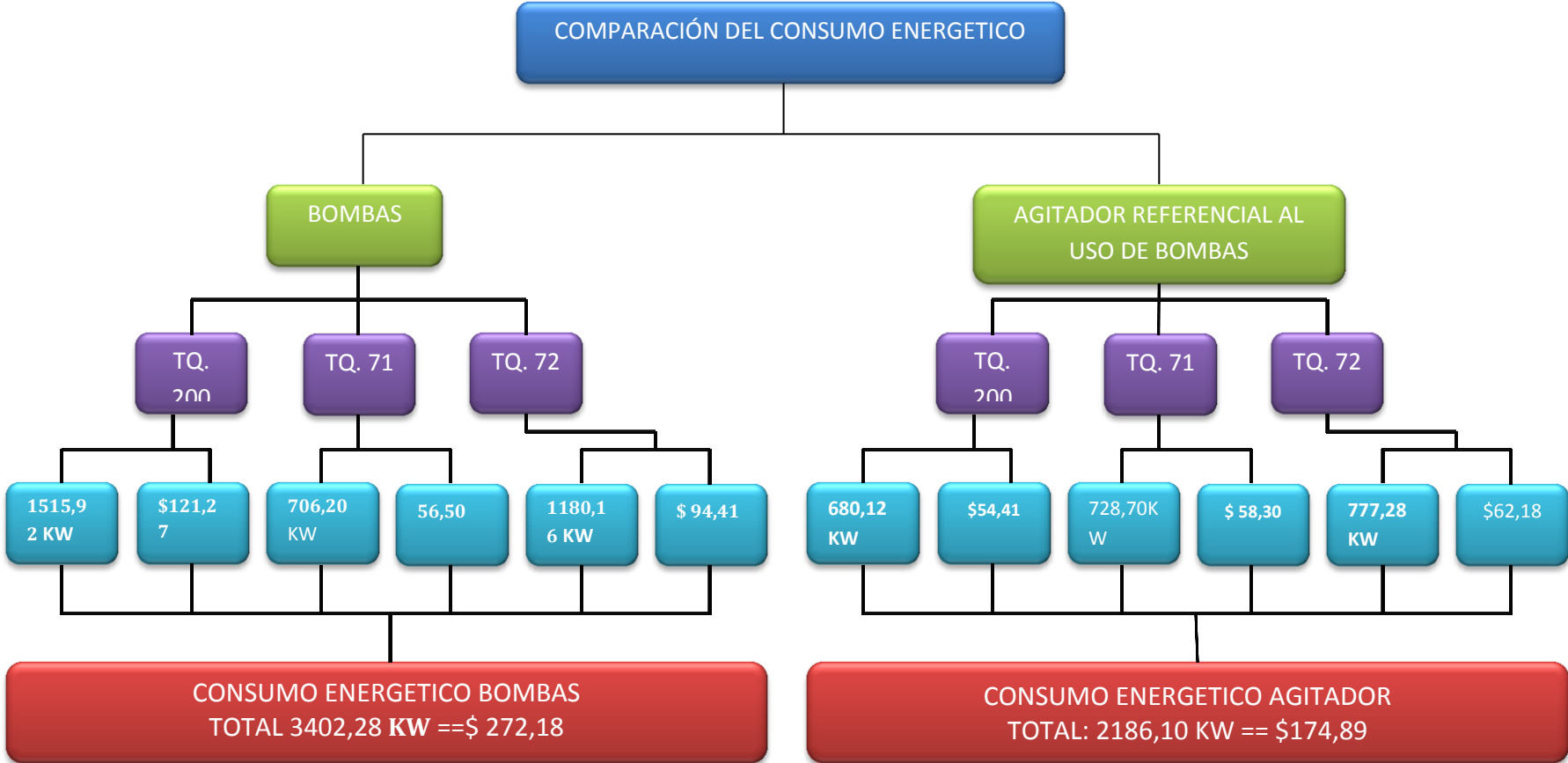
**Ahorro anual** = Costo anual de bomba - costo anual de agitador.

**Ahorro anual** = \$ 180.272,18 - \$ 60.699,89 = \$ 119.572,29

A pesar de que el ahorro energético planteado para optimizar el sistema de circulación en KW no es significativo con respecto al proceso actual de homogenización, pero, si comparamos los sistemas planteándolos en horas de consumo por homogenización se denota que existe un consumo económico excesivo al valor de espera por los buques-tanqueros. Evidenciándose un ahorro de tiempo del 67% y un ahorro monetario del 33% anual, que si lo proyectamos a los 69 años que la institución ha venido implementando el mismo sistema podemos decir que ha existido un desperdicio innecesario tanto de dinero como de tiempo para el despacho de Fuel Oil # 4.



**Gráfico 7.-** Comparación de costos para comercialización de Fuel Oil # 4 (Bombas - Agitador) año 2013



**Fuente:** Dpto. de Programación, Almacenaje y transferencia, Refinería L.L.

**Elaboración:** Propia

## CAPÍTULO VI

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 6.1 Conclusiones

- ✓ El sistema actual de circulación de Fuel Oil aplicado en Planta Cautivo no favorece las necesidades de ahorro de consumos energéticos y económicos a la empresa.
- ✓ Los tanques de Planta Cautivo almacenan grandes cantidades de Fuel Oil, y se procesa mensualmente altos volúmenes de este fluido, por lo que se requiere mayor tiempo de homogenización.
- ✓ Se almacena simultáneamente residuos de diferentes propiedades, como temperatura, viscosidad Redwood; alterando las características del producto, en especial, en cuanto a su viscosidad se refiere.
- ✓ El producto para cumplir con las especificaciones exigidas por las normas INEN en el sistema de circulación actual, demora 8 horas recirculado el fluido para obtener dicha especificación de acuerdo a las normativas antes mencionadas.
- ✓ El tiempo de recirculación del Fuel Oil utilizando bombas requiere emplear equipos (bombas) y mano de obra adicional, demandando más tiempo y costos por lo tanto no es el indicado.

## 6.2 Recomendaciones

- ✓ Reemplazar el sistema actual de circulación instalando un agitador mecánico de entrada lateral de hélice para optimizar el proceso de circulación de Fuel Oil # 4.
- ✓ Instalar un agitador mecánico para manejar altos volúmenes de almacenamiento; por ello se adaptan a las necesidades en los tanques de Planta Cautivo, ya que proporciona igualdad en movimiento, aportando una tendencia uniforme y eliminando espacios muertos en todos los puntos del mismo.
- ✓ Realizar control en la temperatura de almacenamiento para que el producto mantenga una buena fluidez. Es recomendable un agitador mecánico, el cual contribuye al paso de la hélice, facilitando el mezclado total obteniendo un mismo valor de viscosidad en todos los niveles del tanque (superior, medio y fondo), provocando en todo el tanque mezclas satisfactorias.
- ✓ Disminuir las horas de mezclado utilizando el agitador de homogenización, produciendo ahorro del 67 % en tiempo y del 33 % en costos anuales con respecto al sistema actual.
- ✓ Posicionar el agitador a 7° de la línea de descarga para mejorar la homogenización.

## BIBLIOGRAFÍA

- ✓ Badger W. & Banchero J., Introduction in Chemical Engineering. Estados Unidos: Mc Graw Hill, 1955.
- ✓ Biblioteca digital de la Universidad de Chile. Sistema de servicios de información y bibliotecas. [Online].  
[http://mazinger.sisib.uchile.cl/repositorio/lb/ciencias\\_agronomicas/villar03/parte02/02-03.html](http://mazinger.sisib.uchile.cl/repositorio/lb/ciencias_agronomicas/villar03/parte02/02-03.html)
- ✓ Claudio Gelmi Weston, Fundamentos de Operaciones Unitarias: Serie de clases en Ingeniería Química, departamento de Ingeniería Química y Bioprocesos, Ed. Neward, 2006.
- ✓ Coordinación General de Control de calidad, Refinería La Libertad
- ✓ DIRECT INDUSTRY. [Online].  
<http://www.directindustry.es/prod/chemineer/helices-agitadores-cintas-helicoidales-flujo-axial-14821-453350.html>
- ✓ Dpto. de programación, transferencia y almacenaje, Refinería La Libertad.
- ✓ Dpto. Plantas de Refinación, "Refinería La Libertad,".
- ✓ Ing. Carlos Baldeón, Tanques y esferas para empresas petroleras, 2001.
- ✓ Ing. Héctor Bonifaz, Curso de cálculos y diferencias de producto en transporte y almacenamiento, 2001.
- ✓ Jensen, "Agitadores Industriales," Quito, Informe Técnico 2011.
- ✓ Kenneth Mc Naughton, Bombas, selección uso y mantenimiento. México: Mc Graw Hill, 1992.
- ✓ K.F. PÁVLOV, Problemas y ejemplos para el curso de operaciones básicas y aparatos en tecnología química.: Mir Moscú, 1976.
- ✓ Monografias.com. [Online].  
<http://www.monografias.com/trabajos11/valvus/valvus.shtml>
- ✓ Pablo Francisco erazo Soria y Ricardo Javier Vizuet Benítez, Diseño y construcción de una mezcladora industrial para la elaboración de Vino de frutas para una capacidad de 2000 litros, febrero 2011.

- ✓ Robert H. Perry, Manual del Ingeniero Químico, Sexta Edición ed.  
Mexico: Mc Graw Hill, 2001, vol. 1.
- ✓ Robert L. Mott, Mecánica de Fluidos aplicada, 4th ed., Stephen Helba, Ed.  
México: Prentice Hall Hispanoamericana S.A., 1996.
- ✓ Richard W. Greene, Válvulas, selección, uso y mantenimiento. Mexico,  
Mexico: Mc Graw Hill, 1996.
- ✓ Warren L. McCabe, Operaciones básicas de ingeniería química.  
Barcelona, España: Reverté s.a., 1981, vol. 1.

# ANEXOS

# PETROINDUSTRIAL

## ANEXO #1.- DATOS TÉCNICOS Y CARACTERÍSTICOS DE TANQUES DE ALMACENAJE DE LA LIBERTAD

TKS.	PRODUCT	CAPAC. TOTAL	CAPAC. LLENADO	MENOS FONDOS	CAPAC. OPERAC.	FORMA DEL TQ. Y TECHO	SEGURIDAD C. INCENDIO	DIAMETRO	ALTURA	AÑO DE CONST.	FORMA DE CONSTRUC.
88 (L)	CRUDO	55250	51908	2' 6" 3.250	48658	CIL. CON	ESPU. Y ENFRIAM.	96' 5"	41' 11"	2007	SOLDADO
M-18 (L)	CRUDO	3203	3054	2' 6" 318	2736	CIL. CON	ESPUMA Y ENFRIAM.	29' 10" 1/8	25' 2"	1985	SOLDADO
103 (L)	CRUDO	60997	59246	2' 6" 4.781	54455	CIL. CON	ESPU. Y ENFRIAM.	110' 0"	33' 0"	1944	SOLDADO
188 (L)	CRUDO	<u>76672</u> 196122	<u>76641</u> 190849	2' 6" 5.040	<u>71600</u> 174713	CIL. CON	ESPU. Y ENFRIAM.	120' 0"	40' 3"	1957	SOLDADO
100 (R)	SLOP	1079	1014	2' 6" 160	854	CIL. CON	ESPU. Y ENFRIAM.	21' 7" 7/8	16' 6"	1998	SOLDADO
102 (R)	SLOP	<u>1077</u> 2156	<u>1012</u> 2026	2' 6" 158	<u>854</u> 1,708	CIL. CON	ESPU. Y ENFRIAM.	21' 7" 15/16	16' 6"	1998	SOLDADO
202 (L)	GAS. BASE	12449	11204	2' 6" 736	10468	CIL. FLOT.	ESPUMA	46' 11" 5/8	40' 6" 1/4	2002	SOLDADO
203 (L)	GAS. BASE	10033	9474	2' 6" 644	8830	CIL. CON	ESPU. Y ENFRIAM.	44' 8" 11/16	36' 0"	2012	SOLDADO
201 (L)	GAS. BASE	25291	23965	2' 6" 1.517	22448	CIL. FLOT	ESPUMA	52' 10" 15/16	43' 3"	1970	SOLDADO
307 (R)	GAS. BASE	3203	3054	2' 6" 318	2736	CIL. CON	ESPU. Y ENFRIAM.	29' 10" 1/8	25' 2"	2007	SOLDADO
308 (R)	GAS. BASE	<u>3207</u> 54183	<u>3059</u> 50756	2' 6" 318	<u>2741</u> 47223	CIL. CON	ESPU. Y ENFRIAM.	30' 2" 1/16	25' 2"	1985	SOLDADO
1000 (R)	SLOP	1,043	973	2' 6" 163	810	CIL. FLOT.	ESPU. Y ENFRIAM.	21' 7"	16' 5"		EMPERNADO

# PETROINDUSTRIAL

## ANEXO #1.- DATOS TÉCNICOS Y CARACTERÍSTICOS DE TANQUES DE ALMACENAJE DE LA LIBERTAD

TKS.	PRODUCT	CAPAC. TOTAL	CAPAC. LLENADO	MENOS FONDOS	CAPAC. OPERAC.	FORMA DEL TQ. Y TECHO	SEGURIDAD C. INCENDIO	DIAMETRO	ALTURA	AÑO DE CONST.	FORMA DE CONSTRUC.
<b>103 (R)</b>	DIESEL 1	1044	974	2' 6" 98	876	CIL. CON	ESPU. Y ENFRIAM.	21' 6"	16' 4"	1999-R	SOLDADO
<b>115 (R)</b>	DIESEL 1	1041	976	2' 6" 98	878	CIL. CON	ESPU. Y ENFRIAM.	21' 6"	16' 4"	1999-R	SOLDADO
<b>101 (R)</b>	DIESEL 1	<u>1073</u> 3158	<u>983</u> 2933	2' 6" 166	<u>817</u> 2571	CIL. CON	ESPU. Y ENFRIAM.	21' 7" 3/8	16' 4" 1/2	1.998-R	SOLDADO
<b>18</b>	RUBBER	2542	2520	1' 0" 19	2501	ESFERA	ENFRIAMIENTO		23' 11"		SOLDADO
<b>24</b>	SOLVENTE	2546	2544	1' 0" 19	2525	ESFERA	ENFRIAMIENTO		23' 8"		SOLDADO
<b>71 (L)</b>	FUEL OIL	10639	10110	2' 6" 1.009	9101	CIL. CON	ESPUMA Y ENFRIAM.	54' 10" 7/16	25' 3"	1997	SOLDADO
<b>72 (L)</b>	FUEL OIL	16422	15825	2' 6" 1.233	14595	CIL. CON	ESPUMA Y ENFRIAM.	63' 0" 3/8	29' 9" 7/8	2003	SOLDADO
<b>104 (R)</b>	FUEL OIL	1827	1645	2' 6" 275	1370	CIL. CON	ESPUMA Y ENFRIAM.	28' 0"	16' 0"	1999	SOLDADO
<b>106 (R)</b>	FUEL OIL	1797	1790	2' 6" 270	1520	CIL. CON	ESPUMA Y ENFRIAM.	27' 8" 3/8	16' 8" 3/4	2002	SOLDADO
<b>110 (R)</b>	FUEL OIL	2004	1996	2' 6" 311	1685	CIL. CON	ESPUMA Y ENFRIAM.	29' 9" 3/8	16' 1" 3/4	2002	SOLDADO
<b>200 (L)</b>	FUEL OIL	25004 57693	24204 55570	2' 6" 1.381	22823 51094	CIL. CON	ESPUMA Y ENFRIAM.	64' 11" 3/4	42' 6"	1970	SOLDADO
<b>M-4</b>	MINERAL	1044	974	2' 6" 163	811	CIL. CON	ESPUMA Y ENFR.	21' 7"	16' 4"	1999	SOLDADO
<b>M-190</b>	MINERAL	1034	947	2' 6"	784	CIL. CON.	ESPUMA Y ENFR.	21' 6"	16' 0"	1967	SOLDADO



# PETROINDUSTRIAL

## ANEXO #1.- DATOS TÉCNICOS Y CARACTERÍSTICOS DE TANQUES DE ALMACENAJE DE LA LIBERTAD

TKS.	PRODUCT	CAPAC. TOTAL	CAPAC. LLENADO	MENOS FONDOS	CAPAC. OPERAC.	FORMA DEL TQ. Y TECHO	SEGURIDAD C. INCENDIO	DIAMETRO	ALTURA	AÑO DE CONST.	FORMA DE CONSTRUC.
109 (R)	DIESEL 2	1997	1988	2' 6" 311	1677	CIL. CON	ESPUMA Y ENFR.	29' 9" 1/2	16' 0" 7/8	2002	SOLDADO
111 (R)	DIESEL 2	1993	1987	2' 6" 311	1676	CIL. CON	ESPUMA Y ENFR.	29' 9" 3/8	16' 0" 1/2	2002	SOLDADO
M-8 (R)	DIESEL 2	1038	974	2' 6" 163	811	CIL. CON	ESPU. Y ENFRIAM.	21' 7"	16' 4"	1999	SOLDADO
M-189	DIESEL 2	1030	943	2' 6" 162	781	CIL. CONICO	ESPUMA Y ENFR.	21' 6"	16' 1"	1967	SOLDADO
300 (L)	DIESEL 2	<u>12416</u>	<u>11985</u>	2' 6" 926	<u>11059</u>	CIL. CON	ESPUMA Y ENFR.	52' 5" 7/8	32' 3"	1974	SOLDADO
301(L)	DIESEL 2	4989	4885	2' 6" 520	4365	CIL. CON	ESPUMA Y ENFR.	38' 7"	24' 0"	1974	SOLDADO
302 (L)	DIESEL 2	4668	4537	2' 6" 491	4046	CIL. CON	ESPUMA Y ENFR.	37' 5" 5/16	23' 10"	1974	SOLDADO
303 (L)	DIESEL 2	4924	4770	2' 6" 516	<u>4254</u>	CIL. CON	ESPUMA Y ENFRIAM.	38' 4" 3/4	23' 11"	1974	SOLDADO
304 (L)	DIESEL 2	2938	2837	2' 6" 307	2530	CIL. CON	ESPUMA Y ENFR.	29' 7" 1/2	24' 0"	1974	SOLDADO
305 (L)	DIESEL 2	2942	2890	2' 6" 307	2583	CIL. CON	ESPUMA Y ENFR.	29' 8" 3/16	23' 11"	1974	SOLDADO
306 (L)	DIESEL 2	2950	2838	2' 6" 328	2510	CIL. CON	ESPUMA Y ENFR.	29' 7"	23' 11"	2002	SOLDADO
		41885	40634		29,554						
112 (R)	F.O. (COMB)	541	497	2' 6" 83	414	CIL. CON	ESPUMA Y ENFR.	15' 4" 5/8	16' 4" 1/2	SOLDADO	2000
114 (R)	F.O. (COMB)	540	496	2' 6" 82	414	CIL. CON	ESPUMA Y ENFR.	15' 4" 3/4	16' 4"	SOLDADO	2000
		1081	993		828						
113 (R)	D. 2. (COMB)	531	498	2' 6" 83	415	CIL. CON	ESPUMA Y ENFR.	15' 4"	16' 5"	SOLDADO	1999
14 (R)	AGUA	1000						21' 6"	16' 0"	SOLDADO	1970

# PETROINDUSTRIAL

## ANEXO #1.- DATOS TÉCNICOS Y CARACTERÍSTICOS DE TANQUES DE ALMACENAJE DE LA LIBERTAD

TKS.	PRODUCT	CAPAC. TOTAL	CAPAC. LLENADO	MENOS FONDOS	CAPAC. OPERAC.	FORMA DEL TQ. Y TECHO	SEGURIDAD C. INCENDIO	DIAMETRO	ALTURA	AÑO DE CONST.	FORMA DE CONSTRUC.
107 (L)	AGUA	10000						59' 0"	--	SOLDADO	1944
163 (L)	AGUA	10000 20000						59' 0"	28' 0"	SOLDADO	1944
L-1 (VP)	LASTRE	5,000				CIL. CON				SOLDADO	

## ANEXO #2.- ESPECIFICACIONES DE CALIDAD - NORMAS INEN

<b>SOLVENTE No. 1 NTE-INEN 2053:96</b>		
DENSIDAD RELATIVA A 15.6°C	ASTM D-129	0,685-0,720
DENSIDAD A 15.6°C (API)	ASTM D-129	65,0-75,1
CONTENIDO DE AGUA (% VOL)	ASTM D-95	Max. 0,05
PRUEBA DOCTOR		NEGATIVO
CONTENIDO DE AZUFRE (% PESO)	NTE INEM 929	Max. 0,20
PUNTO INICIAL DE DESTILACION (°C)	NTE INEM 926	Min. 28
50% V DESTILADO (°C)	NTE INEM 926	80-100
90% V DESTILADO (°C)	NTE INEM 926	Max. 160
PUNTO FINAL DE EBULLICION(°C)	NTE INEM 926	Max. 200
RESIDUO DE DESTILACION(% VOL)	NTE INEM 1048	Max. 1
COLOR SAYBOLT	NTE INEM 1048	Min. 20
CORROSION LAM COBRE	NTE INEM 927	Max. No 1
PRESION DE VAPOR REID (kPa)	NTE INEM 928	Max. 85
<b>SOLVENTE No. 2-NTE INEN 2055:96</b>		
DENSIDAD RELATIVA A 15.6°C	ASTM D 1298	0,675-0,722
DENSIDAD A 15.6°C	ASTM D 1298	64,5-78,3
CONTENIDO DE AGUA (% VOL)	ASTM D-95	Max. 0,05
PRUEBA DOCTOR	NEGATIVO	
CONTENIDO DE AZUFRE (% PESO)	NTE INEM 929	Max. 0,20
PUNTO INICIAL DE EBULLICION (°C)	NTE INEM 926	Min. 28
50% V DESTILADO (°C)	NTE INEM 926	70-85
90% V DESTILADO (°C)	NTE INEM 926	Max. 115
PUNTO FINAL DE EBULLICION(°C)	NTE INEM 926	Max. 140
RESIDUO DE DESTILACION(% VOL)	NTE INEM 926	Max. 1
COLOR SAYBOLT	NTE INEM 1048	Min. 20
CORROSION LAM COBRE	NTE INEM 927	Max. No 1
PRESION DE VAPOR REID (kPa)	NTE INEM 928	Max. 110,3
<b>FUEL OIL LIVIANO TIPO 4A-NTE INEN 1983:2002</b>		
PUN TO DE INFLAMACION (°C)	NTE INEN 1493	Min. 60
PUNTO DE ESCURRIMIENTO (°C)	NTE INEN 1982	Max. 12
CONTENIDO DE CENIZAS (%PESO)	NTE INEN 1492	Max. 0,1
CONT.AGUA Y SED. (% VOL)	NTE INEN 1494	Max. 0,5
VISCOSIDAD CINEMATICA A 50°C (cSt)	NTE INEN 810	400-510
VISCOSIDAD REDWOOD A 37.78°C (RW1)	NTE INEN 1981	3820-5030
VISCOSIDAD SSF A 50°C(SSF)	NTE INEN 1981	188,8-241
CONTENIDO DE AZUFRE (%P)	NTE INEN 1049	Max. 1,5
<b>FUEL OIL NAVIERO (GRADO 25)-NTE INEN 2208:99</b>		
DENSIDAD RELATIVA 15.6°C/ 15.6	ASTM D 1298	Max. 0.992
VISCOSIDAD CINEMATICA A 50°C (cSt)	ANEXO TABLA A.1	Min. 177,9
VISCOSIDAD CINEMATICA A 40°C (cSt)	ANEXO TABLA A.1	Min. 316
VISCOSIDAD REDWOOD No. 1 A 37.78°C (s)	ANEXO TABLA A.1	Min. 1500
VISCOSIDAD SSF A 50°C(s)	ANEXO TABLA A.1	Min.84,4
PUN TO DE INFLAMACION (°C)	NTE INEN 1493	Min. 60
PUNTO DE ESCURRIMIENTO (°C)	NTE INEN 1982	Max. 30
CONTENIDO DE CENIZAS (% m/m)	NTE INEN 1492	Max. 0,20
CONT.AGUA Y SED. (% v/v)	NTE INEN 1494	Max. 1,0
CONTENIDO DE AZUFRE (% m/m)	NTE INEN 1049	Max. 2,0
VANADIO (mg/kg) (ppm)	ASTM D 1548	Max. 500

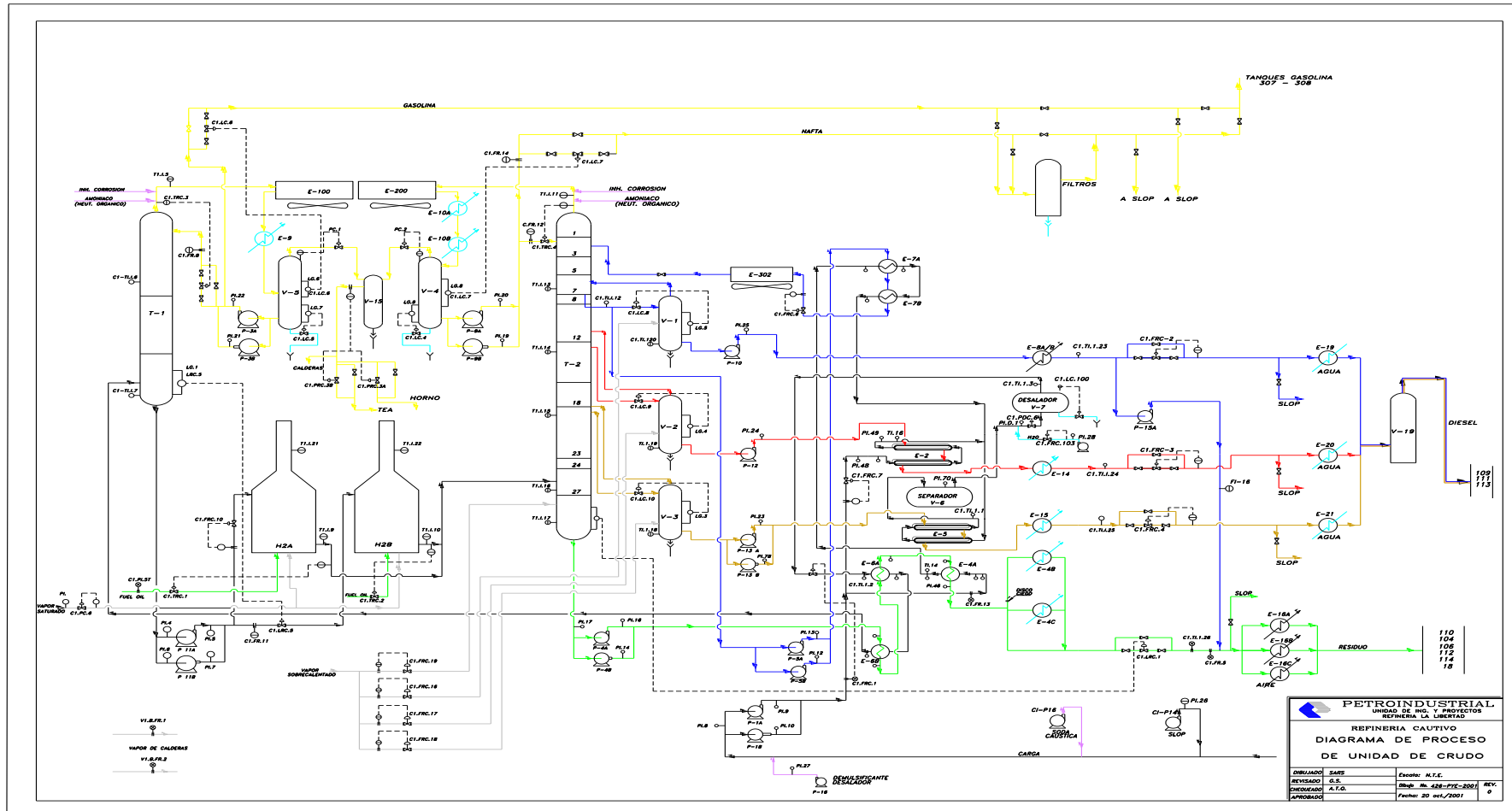
<b>FUEL OIL NAVIERO (GRADO 35)-NTE INEN 2208:99</b>		
DENSIDAD RELATIVA 15.6°C/ 15.6	ASTM D 1298	Max. 0.992
VISCOSIDAD CINEMATICA A 50°C (cSt)	ANEXO TABLA A.1	Min. 380
VISCOSIDAD CINEMATICA A 40°C (cSt)	ANEXO TABLA A.1	Min. 729
VISCOSIDAD REDWOOD A 37.78°C (s)	ANEXO TABLA A.1	Min. 3600
VISCOSIDAD SSF A 50°C(s)	ANEXO TABLA A.1	Min.179,4
PUN TO DE INFLAMACION (°C)	NTE INEN 1493	Min. 60
PUNTO DE ESCURRIMIENTO (°C)	NTE INEN 1982	Max. 30
CONTENIDO DE CENIZAS (% m/m)	NTE INEN 1492	Max. 0,20
CONT.AGUA Y SED. (% v/v)	NTE INEN 1494	Max. 1,0
CONTENIDO DE AZUFRE (% m/m)	NTE INEN 1049	Max. 2,0
VANADIO (mg/kg) (ppm)	ASTM D 1548	Max. 600
<b>GLP - NTE INEN 675</b>		
PRESION VAPOR (PSI)	INEN 676	Max.200
TEMP.EVAPÓRACION DEL 95% DEL VOL. (°C)	INEN 677	Max.2,2
PENTANO Y MAS PESADOS (% VOL)	INEN 683	Max. 2
RESIDUO DE EVAP. Cm 3 (cm3)	INEN 681	Max. 0,05
CONT. AZUFRE (mg/m3)	INEN 679	Max. 343
CORROSION LAM. COBRE	INEN 678	Max. No. 1
<b>SPRAY OIL (ACEITE AGRICOLA) - NTE INEN 2147</b>		
DENSIDAD RELATIVA A 15.6°C/15.6°C	ASTM D-1298	0,83-0,90
VISCOSIDAD CINEMATICA A 37.8°C (cSt)	NTE INEN 810	8,8-22,6
PUNTO DE ESCURRIMIENTO (°C)	NTE INEN 1982	Max. 15
PUNTO DE INFLAMACION (°C)	NTE INEN 1493	Min. 115°C
DESTILACION AL 5%	NTE INEM 926	Max. 310
DESTILACION AL 50%	NTE INEM 926	Min. 325
DESTILACION AL 90%	NTE INEM 926	Min. 357
ACIDEZ TOTAL (mg KOH/g)	ASTM D-974	Max. 0,15
MAT. NO SULFONABLES (% VOL)	ASTM D-483	Min. 65
AZUFRE (% PESO)	NTE INEM 1490	Max. 0,75
CONTENIDO AROMATICOS (% VOL)	NTE INEM 2146	Max. 35
<b>DIESEL 1-NTE INEN 1489:99</b>		
TEMPERATURA DE DESTILACION (90%)	NTE INEN 926	Max. 288
AZUFRE (% PESO)	NTE INEN 1490	Max. 0,3
CENIZAS (% PESO)	NTE INEN 1492	Max. 0,01
RES.CARBON SOBRE EL 10% DEL R(% PESO)	NTE INEN 1491	Max. 0,15
AGUA Y SEDIMENTO (% VOL)	NTE INEN 1494	Max. 0,05
PUNTO DE INFLAMACION (°C)	NTE INEN 1047	Min. 40
CORROSION LAM.COBRE	NTE INEN 927	Max. No. 2
VISCOSIDAD CINEMATICA A 37.8°C (cSt)	NTE INEN 810	1,3 a 3,0
INDICE DE CETANO CALCULADO	INEN 1495	Min. 40
<b>DIESEL 2- NTE INEN 1489:99</b>		
TEMPERATURA DE DESTILACION (90%)	NTE INEN 926	Max. 360
AZUFRE (% PESO)	NTE INEN 1490	Max. 0,7
CENIZAS (% PESO)	NTE INEN 1492	Max. 0,01
RES.CARBON SOBRE EL 10%	NTE INEN 1491	Max. 0,15
AGUA Y SEDIMENTO (% VOL)	NTE INEN 1494	Max. 0,05
PUNTO DE INFLAMACION (°C)	NTE INEN 1047	Min. 51
CORROSION LAM.COBRE	NTE INEN 927	Max. No. 3
VISCOSIDAD CINEMATICA A 37.8°C (cSt)	NTE INEN 810	2,5 a 6
INDICE DE CETANO CALCULADO	INEN 1495	Min. 45

<b>GASOLINA EXTRA - NTE INEN 935:99</b>		
NUMERO OCTANO RESEARCH (RON)	NTE INEN 2102	Min 81
CONTENIDO DE PLOMO ORGANICO (g/l)	NTE INEN 931	Max. +0,013
PRESION DE VAPOR REID (Kpa)	NTE INEN 928	Max. 56
ENSAYO DE DESTILACION		
10 % (°C)	NTE INEN 926	Max. 70
50 % (°c)	NTE INEN 926	77 - 121
90 % (°c)	NTE INEN 926	Max. 189
P.F.E (°c)	NTE INEN 926	Max. 215
RESIDUO (% VOL)	NTE INEN 926	Max. 2
CONT. AZUFRE (% PESO)	NTE INEN 929	Max.0,075
CORROSION LAM. COBRE	NTE INEN 927	Max. No. 1
CONT. GOMAS (mg/100 cm 3)	NTE INEN 933	Max.3
CONT. DE AROMATICOS (% VOL)	NTE INEN 2220	Max. 30
CONT. BENCENO (% VOL)]	NTE INEN 3606	Max. 1,0
CONT. DE OLEFINAS (% VOL)	NTE INEN 2220	Max. 18
ESTABILIDAD A LA OXIDAC. (min)	NTE INEN 934	Max. >240
RELACION VAPOR/LIQUID A 60°C	NTE INEN 932	Max.20
CONTENIDO DE OXIGENO ASTM 4815 % V	NTE	Max. 2,7
<b>MINERAL TURPENTINE</b>		
DENSIDAD RELATIVA 15.6°C/ 15.6	ASTM D-1298	0,78 -0,84
GRAVEDAD API, 60 °F	ASTM D-1298	49,9 -36,9
PUNTO DE INFLAMACIÓN, C	ASTM D- 56	MIN. 35
PRUEBA DOCTOR	IP - 30	NEGATIVO
COLOR SAYBOLT	ASTM D-156	MIN. 20
ENSAYO DE DESTILACION		
PIE (°C)	NTE INEN 926	MIN. 149
50 % (°c)	NTE INEN 926	MIN. 160
90 % (°c)	NTE INEN 926	Max. 190
P.F.E (°c)	NTE INEN 926	Max. 205
RESIDUO (% VOL)	NTE INEN 926	Max. 1,5
CORROSION LAM. COBRE	ASTM D-130	MAX. 1
CONTENIDO DE AGUA (%VOL)	ASTM D-95	Max. 0,05
PRESION DE VAPOR REID (kPa)	NTE INEM 928	Max. 69,0
VALOR KAURI BUTANOL	ASTM D-1133	34 - 44
CONTENIDO DE AZUFRE, % P	ASTM D-4294	MAX. 0.20

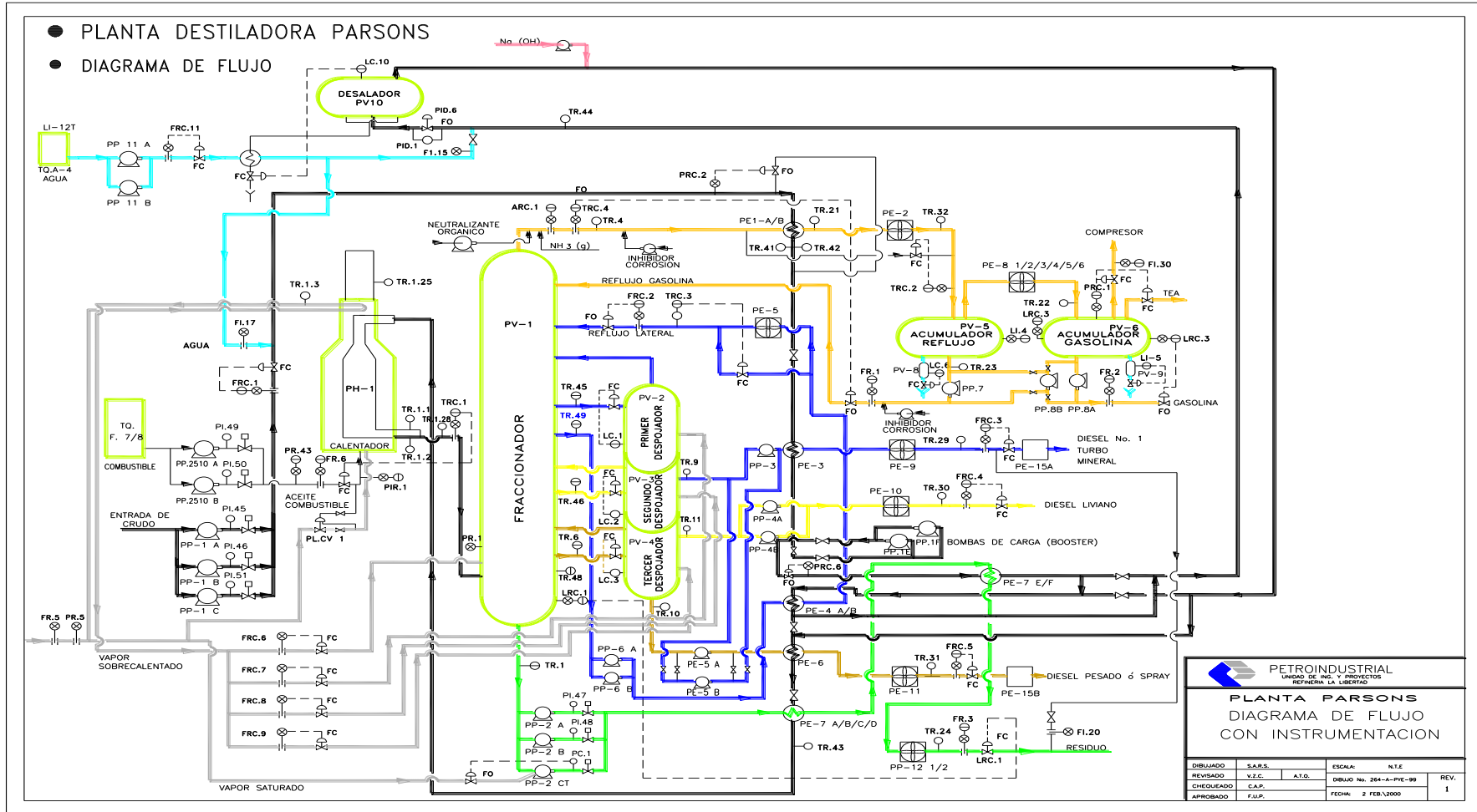
### ANEXO#3.- JET A-1 NTE INEN 2070:96

DENSIDAD RELAT A 15,6°C/15.6°C (g/cm3)	ASTM D-1298	0,775 - 0,840
DENSIDAD (API)	ASTM D-1298	37 - 51
Color Saybolt	NTE INEN 1048	Min. +21
Acidez Total, (mg KOH/gr)	ASTM D-974	Máx. = 0,1
Aromáticos ( % VOL)	ASTM D-1319	Min. = 22
Olefina ( % VOL)	ASTM D-1319	Máx. = 5
Azufre Mercaptano, ( % PESO)	ASTM D-3227	Máx. = 0,003
Azufre Total ( % PESO)	NTE INEN 929	Máx. = 0.3
DESTILACION: TEMP. 10%, (°C)	NTE INEN 926	Máx. = 205
DESTILACION: TEMP. 20%, (°C)	NTE INEN 926	REPORTE
DESTILACION: TEMP. 50%, (°C)	NTE INEN 926	REPORTE
DESTILACION: TEMP. 90%, (°C)	NTE INEN 926	REPORTE
P.F.E. (°C)	NTE INEN 926	Máx. = 300
Residuo (% Vol)	NTE INEN 926	Máx. = 1.5
Pérdida (% Vol)	NTE INEN 926	Máx. = 1.5
Punto de Inflamación, (°C)	NTE INEN 1047	Min. = 38
Punto de Congelación, (°C)	ASTM D-2386	Máx. = -47
Punto de Humo, (mm)	ASTM D-1322	Min. = 20
Contenido Naftaleno, (% Vol.)	ASTM D-1840	Máx. = 3
Viscosidad A 20°C, (cSt)	NTE INEN 810	Máx. = 8
Corrosión Lam Cobre 2H a 100 °C	NTE INEN 927	Máx. = 1
Wsim	ASTM D-3948	Min. = 85
Gomas Existentes, (mg/100cm3)	ASTM D-381	Máx. 7
-Est. Térmica: Caída de presión, en SH (Kpa)	ASTM D-3241	Máx. = 3.33
- Est. Térmica: Depósito Tubo precalentamiento	ASTM D-3241	Máx. = <3
Reacción Agua: Clasificación Interfase	ASTM D-1094	Máx. = 15
Reacción Agua: Clasificación Separación	ASTM D-1094	Máx. = 2
Agua en Emulsión, (ppm)	ASTM D-3240	Máx. = 30
Conduc. Eléctrica, (pS/m)	ASTM D-2624	50 - 450
Color Neta Combust. (MJ/Kg)	ASTM D-2382	Min. = 42.8
Contenido partícula, (mg/l)	ASTM D-2276	Máx. = 1
Tiempo Filtración, (min.)	ASTM D-2276	Máx. = 15

# ANEXO # 4.- DIAGRAMA DE FLUJO – PLANTA CAUTIVO



# ANEXO # 5.- DIAGRAMA DE FLUJO – PLANTA PARSONS







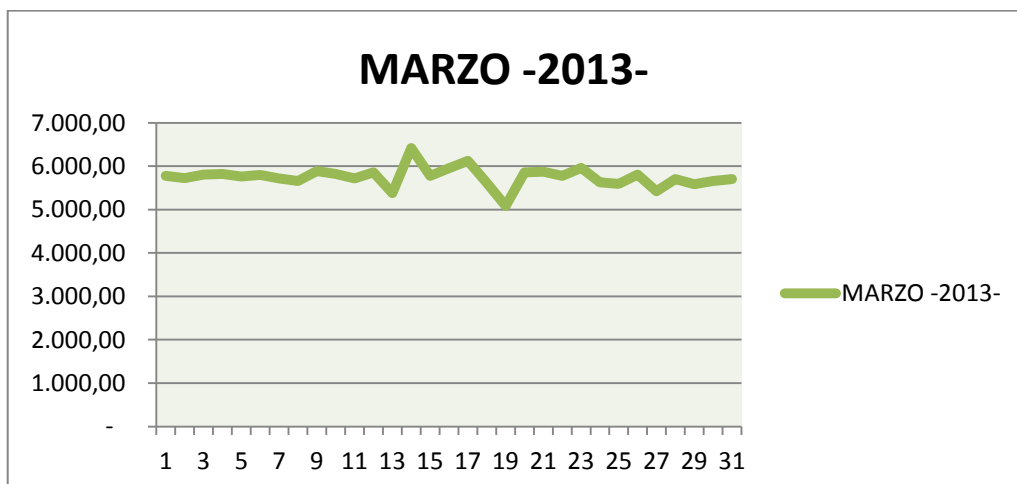
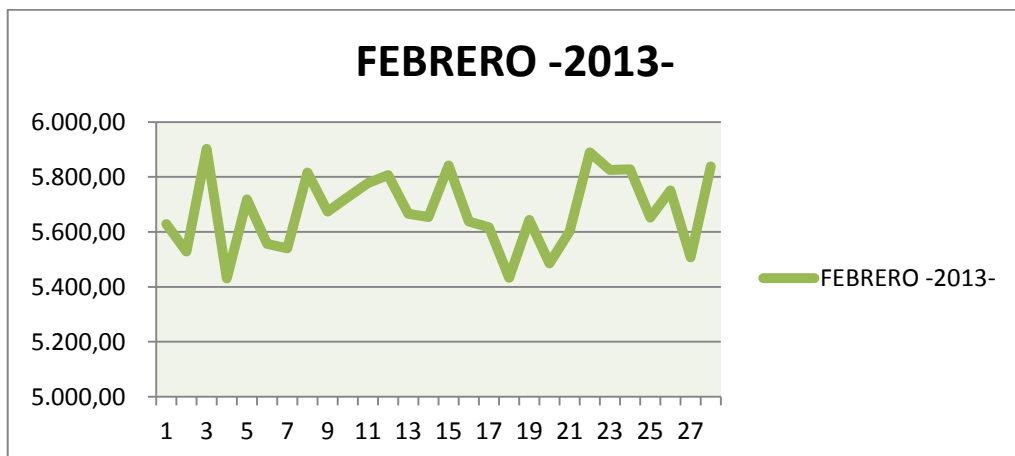
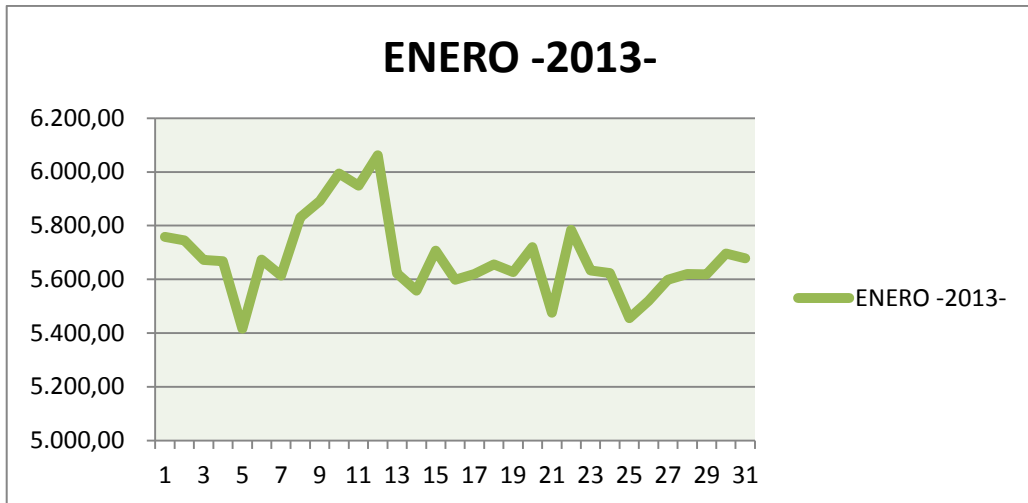
## ANEXO # 7.- ESPECIFICACIONES DE FUEL OIL NAVIERO

<b>FUEL OIL NAVIERO °45</b>			
<b>PARÁMETROS</b>	<b>UNIDAD</b>	<b>MÉTODO</b>	<b>ESPECIFICACIÓN</b>
		<b>ASTM</b>	
<b>Gravedad específica 15,6°C</b>	-	D-1298	MAX=0,992
<b>Gravedad API, 60/60°F</b>	°API	D-287	Reporte
<b>Punto de inflamación</b>	°C	D-93	MIN=59
<b>Agua y Sedimento</b>	%V	D-1796	MAX=1,0
<b>Viscosidad Redwood a 37,8°C</b>	S	D-88	MIN=5000
<b>Viscosidad Saybolt Furol a 50°C</b>	S	D-88	MIN=239,6
<b>Viscosidad Cinemática a 50°C</b>	mm <sup>2</sup> /s	D-445	MIN=507,3
<b>Viscosidad Cinemática a 40°C</b>	mm <sup>2</sup> /s	D-445	MIN=997
<b>Cenizas</b>	%p	D-482	MAX=0,2
<b>Punto de escurrimiento</b>	°C	D-97	MAX=30
<b>Azufre</b>	%P	D-4294	MAX=2,3
<b>Vanadio</b>	mg/kg	D-1548	MAX=600

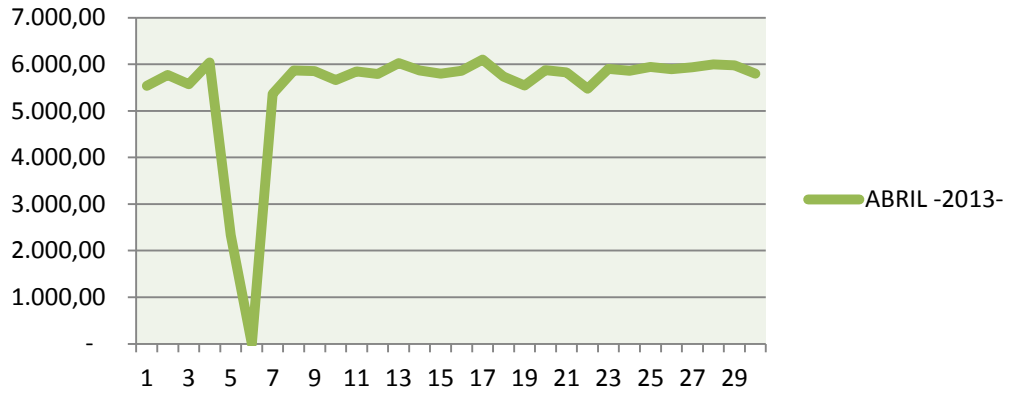
<b>FUEL OIL NAVIERO ° 35</b>			
<b>PARÁMETROS</b>	<b>UNIDAD</b>	<b>MÉTODO</b>	<b>ESPECIFICACIÓN</b>
		<b>ASTM</b>	
<b>Gravedad específica 15,6°C</b>	-	D-1298	MAX=0,992
<b>Gravedad API, 60/60°F</b>	°API	D-287	Reporte
<b>Punto de inflamación</b>	°C	D-93	MIN=59
<b>Agua y Sedimento</b>	%V	D-1796	MAX=0,5
<b>Viscosidad Redwood a 37,8°C</b>	S	D-88	MIN=3600
<b>Viscosidad Saybolt Furol a 50°C</b>	S	D-88	MIN=179,4
<b>Viscosidad Cinemática a 50°C</b>	mm <sup>2</sup> /s	D-445	MIN=380
<b>Viscosidad Cinemática a 40°C</b>	mm <sup>2</sup> /s	D-445	MIN=729
<b>Cenizas</b>	%p	D-482	MAX=0,2
<b>Punto de escurrimiento</b>	°C	D-97	MAX=30
<b>Azufre</b>	%P	D-4294	MAX=2,0
<b>Vanadio</b>	mg/kg	D-1548	MAX=600

<b>FUEL OIL NAVIERO ° 25</b>			
<b>PARAMETROS</b>	<b>UNIDAD</b>	<b>METODO</b>	<b>ESPECIFICACIÓN</b>
		<b>ASTM</b>	
<b>Gravedad específica 15,6°C</b>	-	D-1298	MAX=0,992
<b>Gravedad API, 60/60°F</b>	°API	D-287	Reporte
<b>Punto de inflamación</b>	°C	D-93	MIN=59
<b>Agua y Sedimento</b>	%V	D-1796	MAX=0,5
<b>Viscosidad Redwood a 37,8°C</b>	S	D-88	MIN=1500
<b>Viscosidad Saybolt Furol a 50°C</b>	S	D-88	MIN=84,4
<b>Viscosidad Cinemática a 50°C</b>	mm <sup>2</sup> /s	D-445	MIN=177,9
<b>Viscosidad Cinemática a 40°C</b>	mm <sup>2</sup> /s	D-445	MIN=316
<b>Cenizas</b>	%p	D-482	MAX=0,2
<b>Punto de escurrimiento</b>	°C	D-97	MAX=30
<b>Azufre</b>	%P	D-4294	MAX=2,0
<b>Vanadio</b>	mg/gr	D-1548	MAX=500

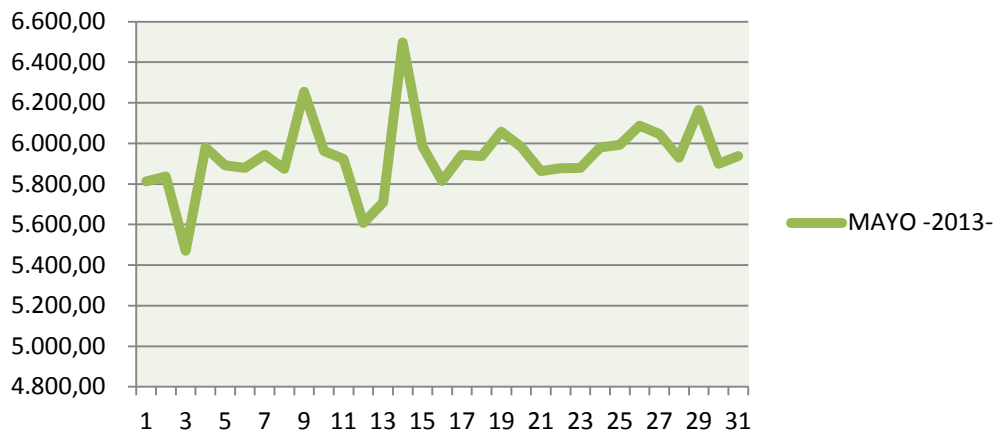
**ANEXO # 8.- PRODUCCIÓN DE FUEL OIL MENSUAL  
(PLANTA CAUTIVO)**



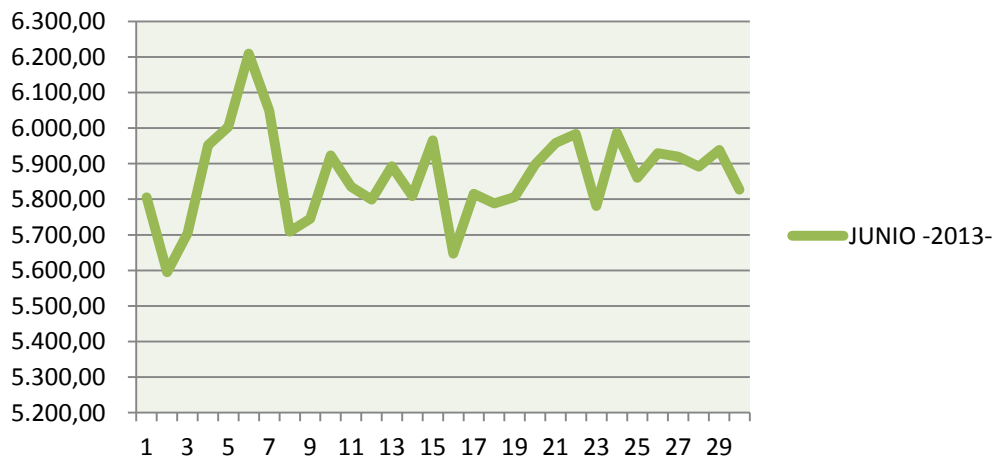
### ABRIL -2013-

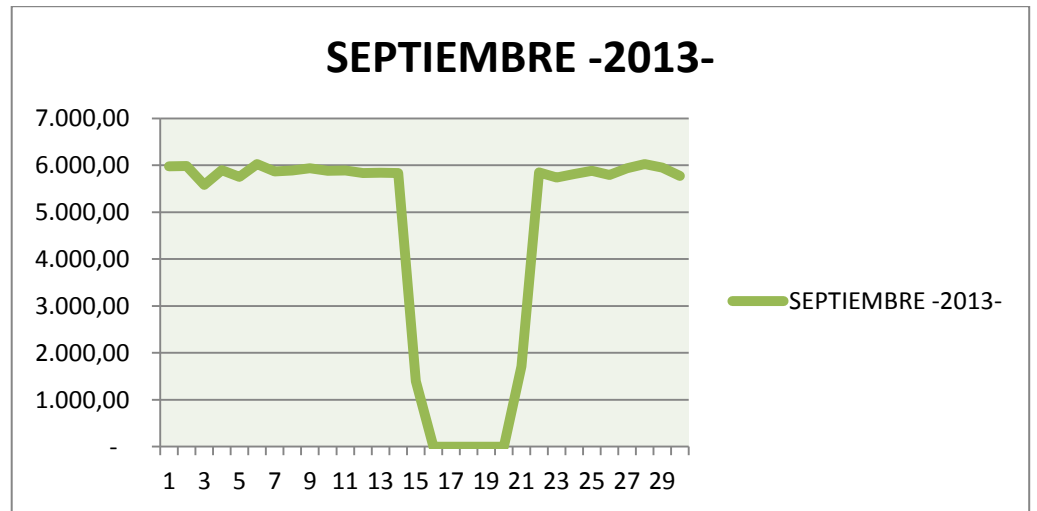
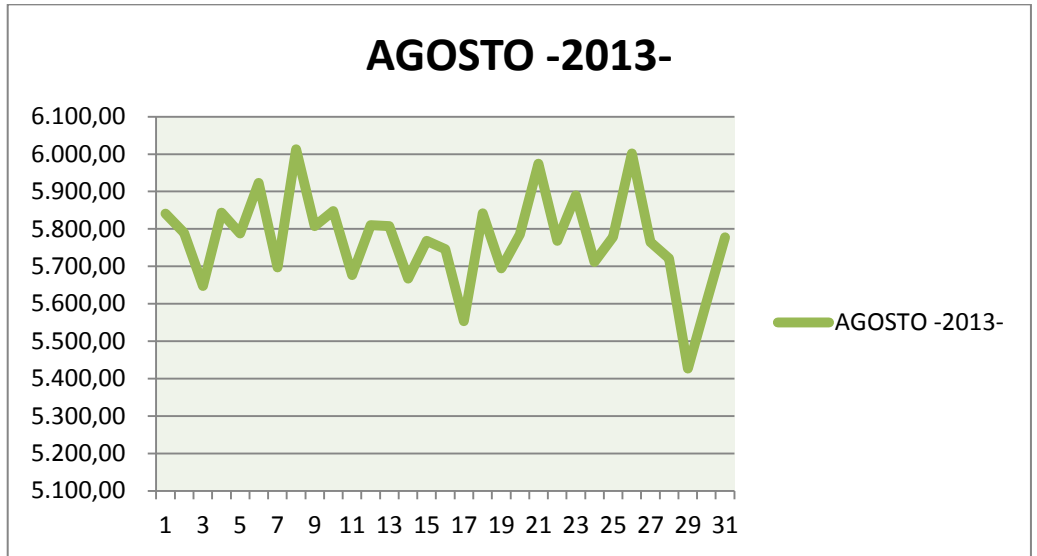
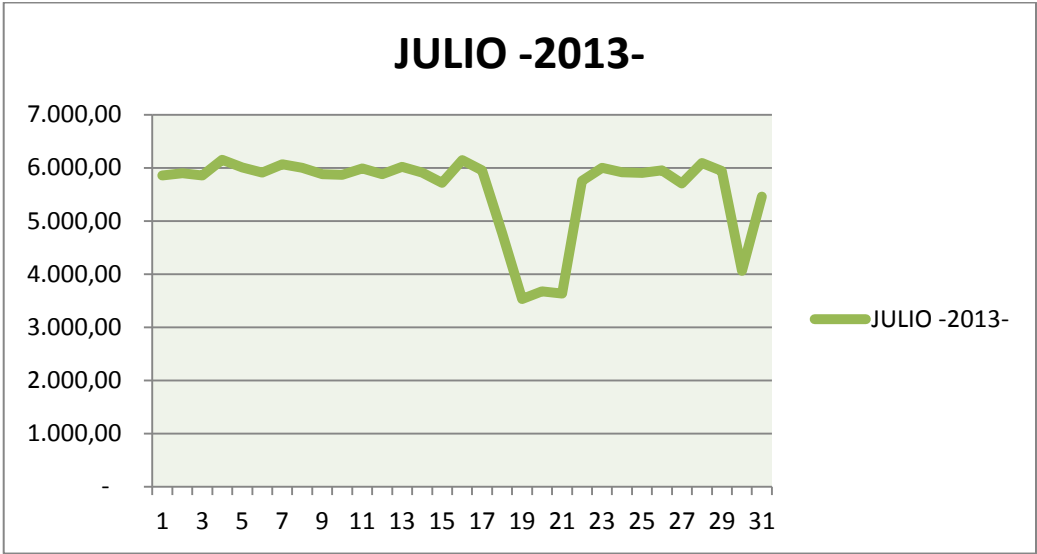


### MAYO -2013-

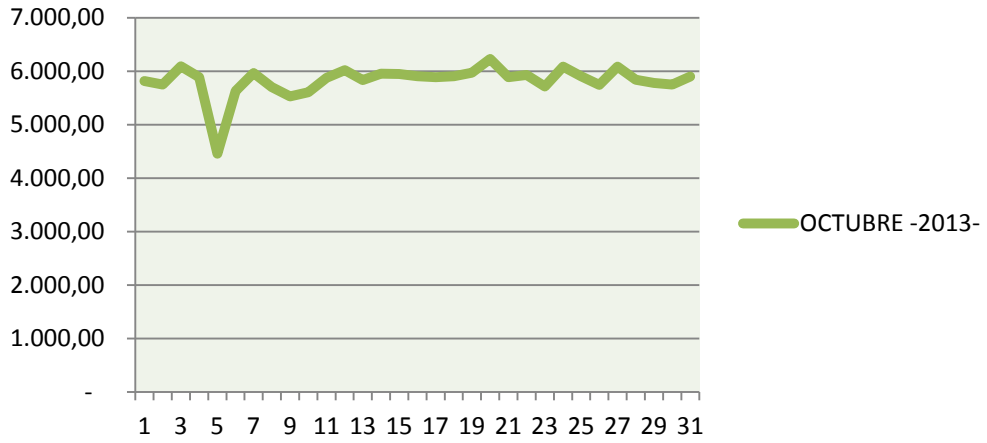


### JUNIO -2013-

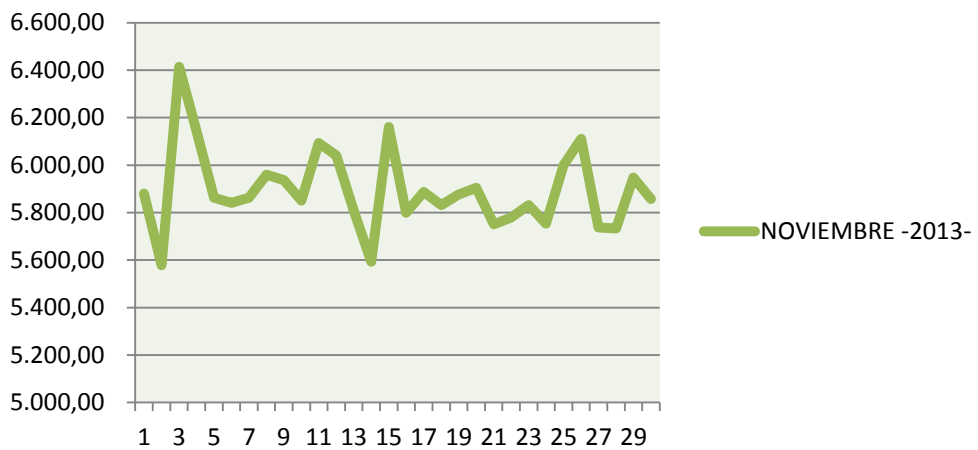




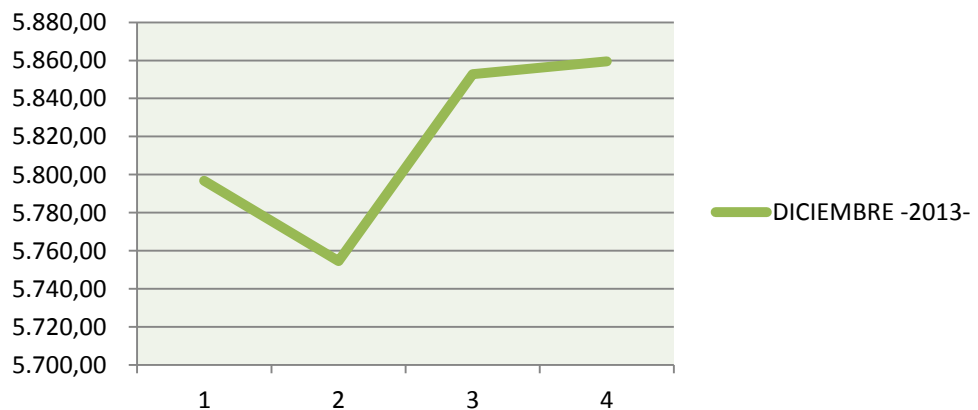
### OCTUBRE -2013-



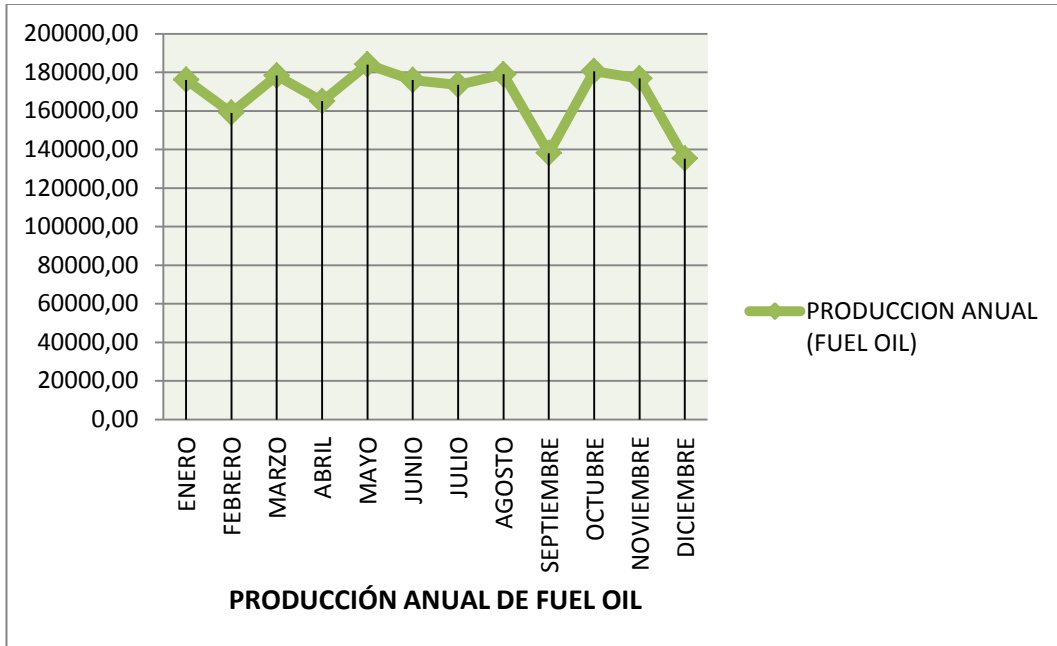
### NOVIEMBRE -2013-



### DICIEMBRE -2013-

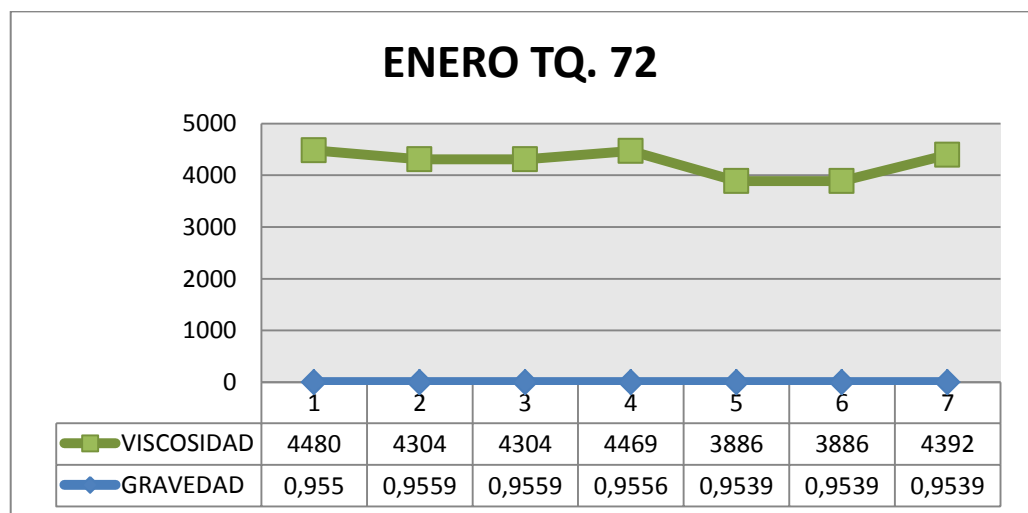
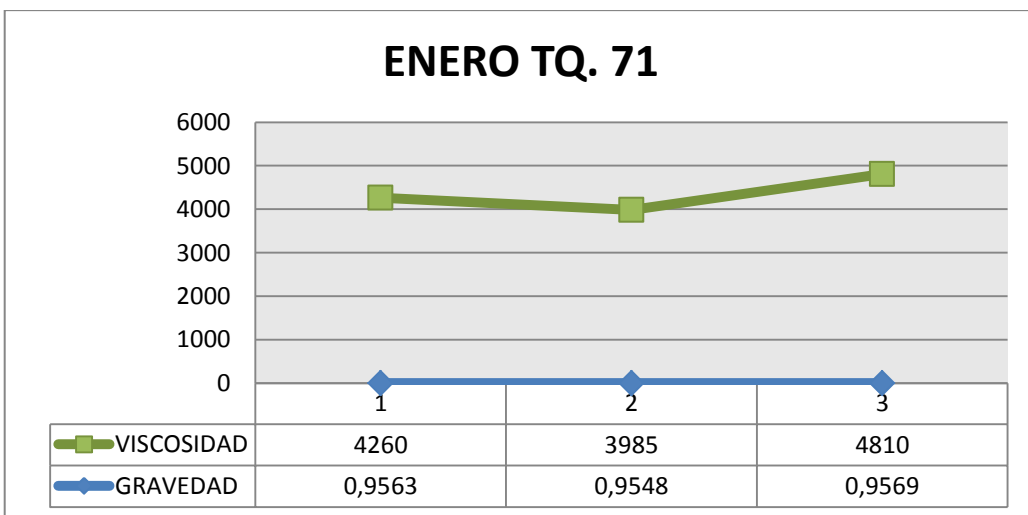
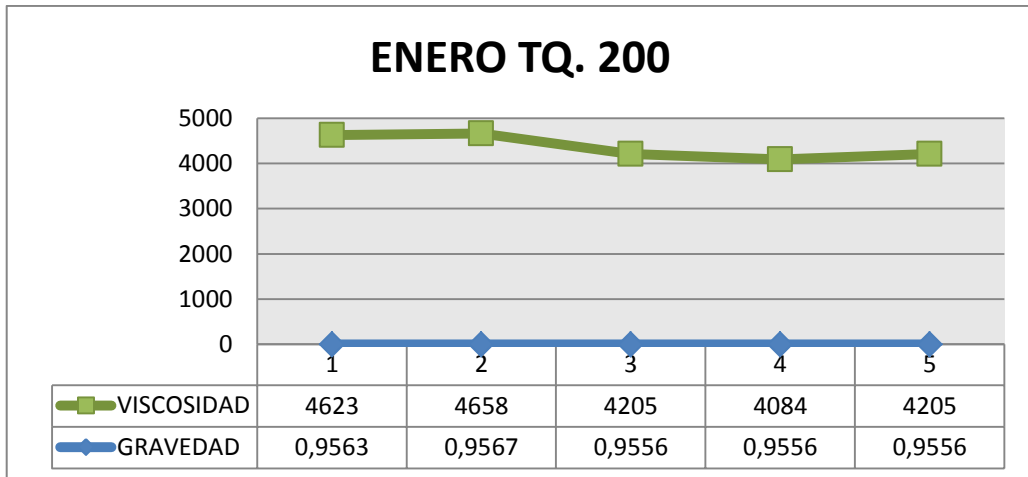


## ANEXO #9.- PRODUCCION DE FUEL OIL ANUAL (PLANTA CAUTIVO)

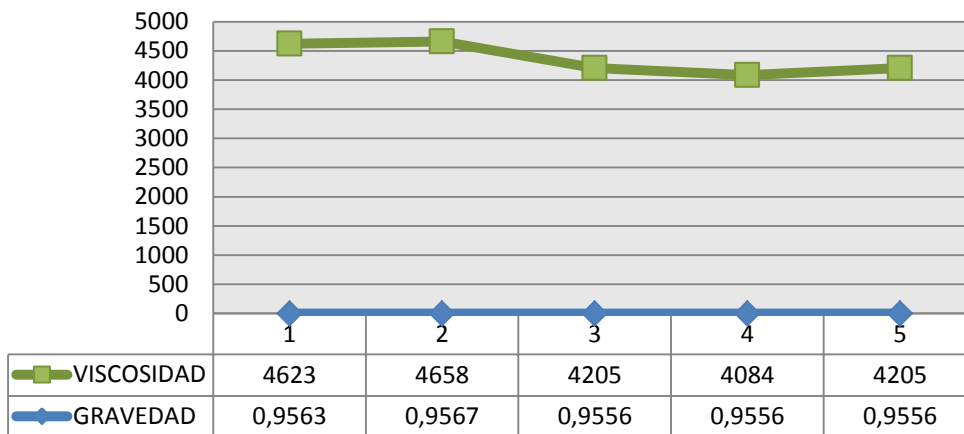




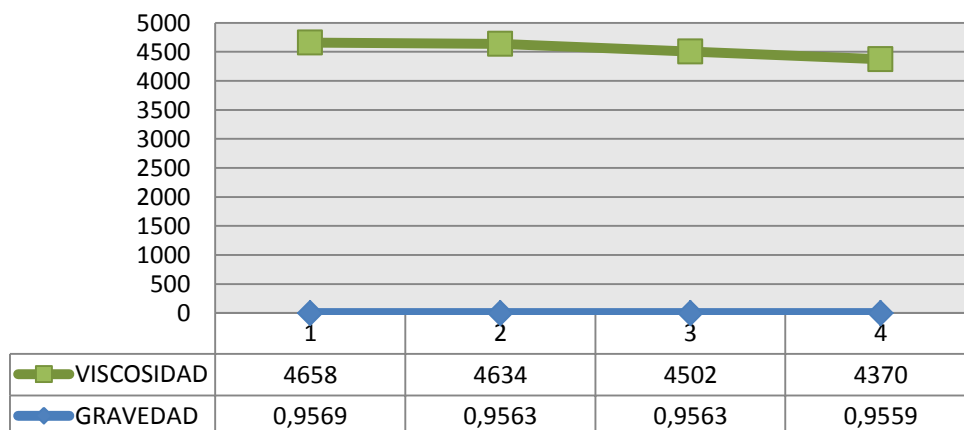
**ANEXO # 10.- BOLETAS DE AFORO DE FUEL OIL  
(MENSUAL)**



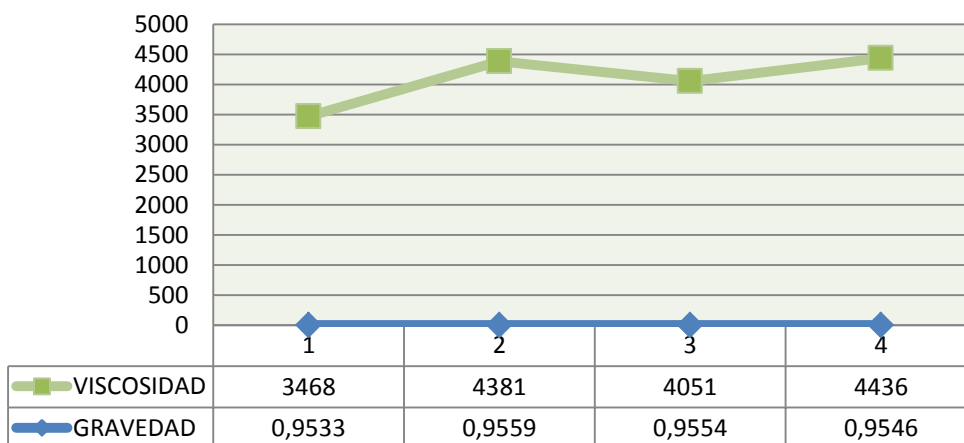
### FEBRERO TQ. 200



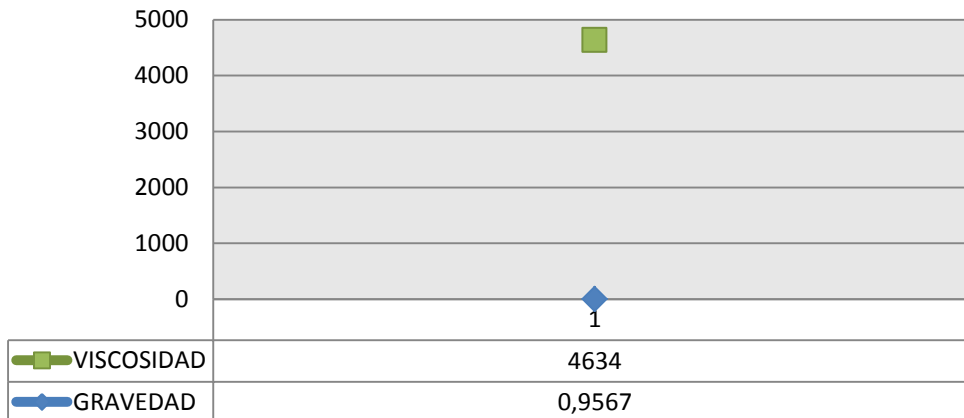
### FEBRERO TQ. 71



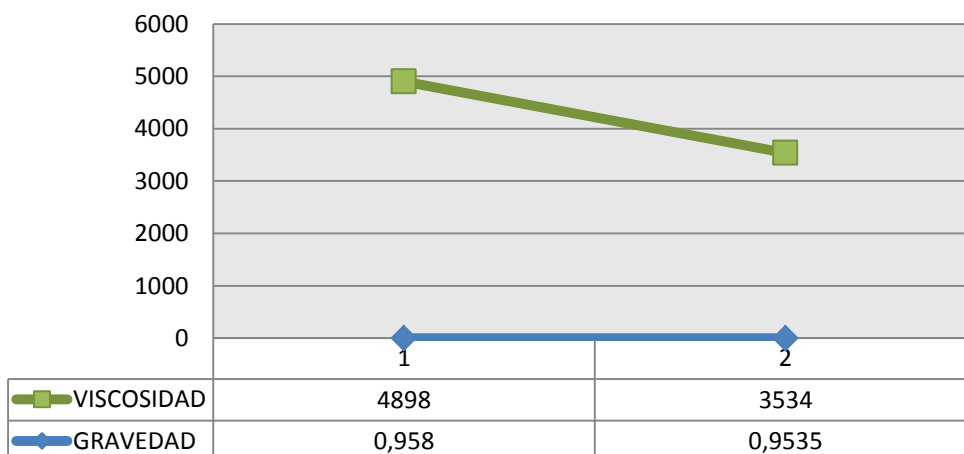
### FEBRERO TQ. 72



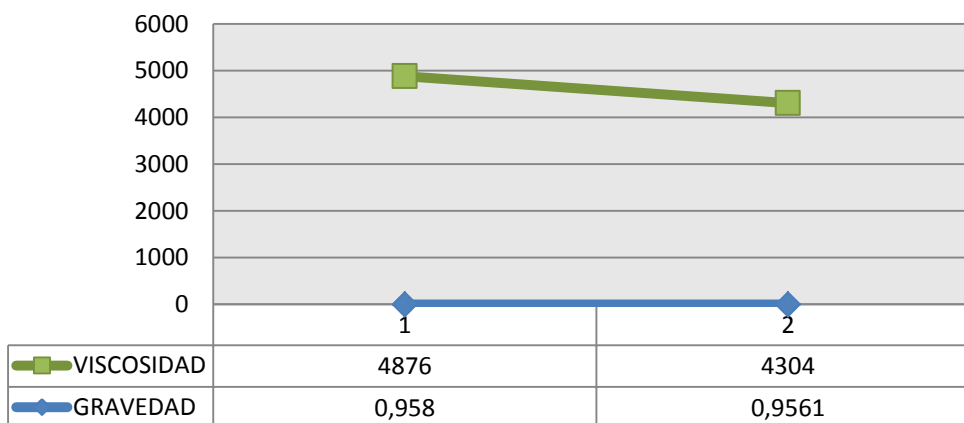
### MAYO TQ. 200



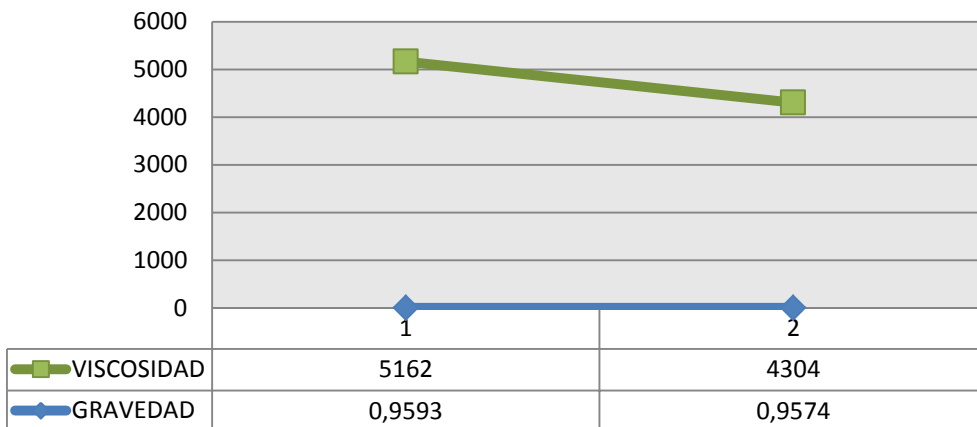
### JUNIO TQ. 200



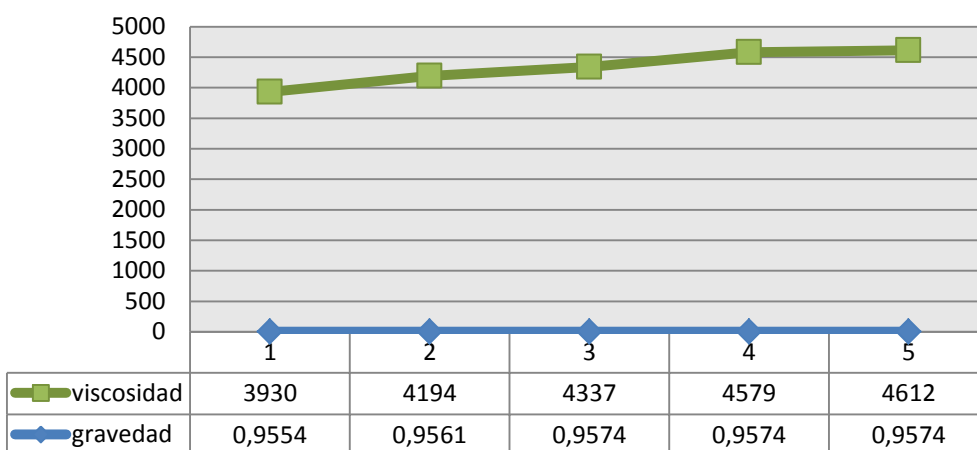
### JUNIO TQ. 71



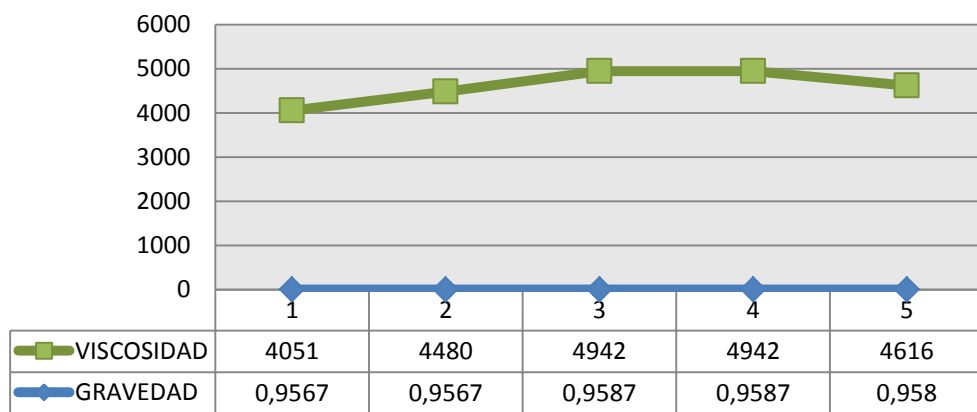
### JUNIO TQ. 72



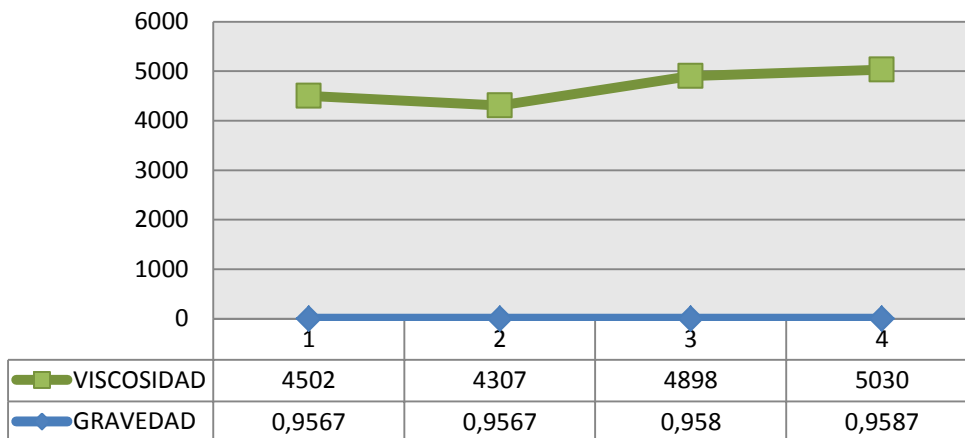
### JULIO TQ. 200



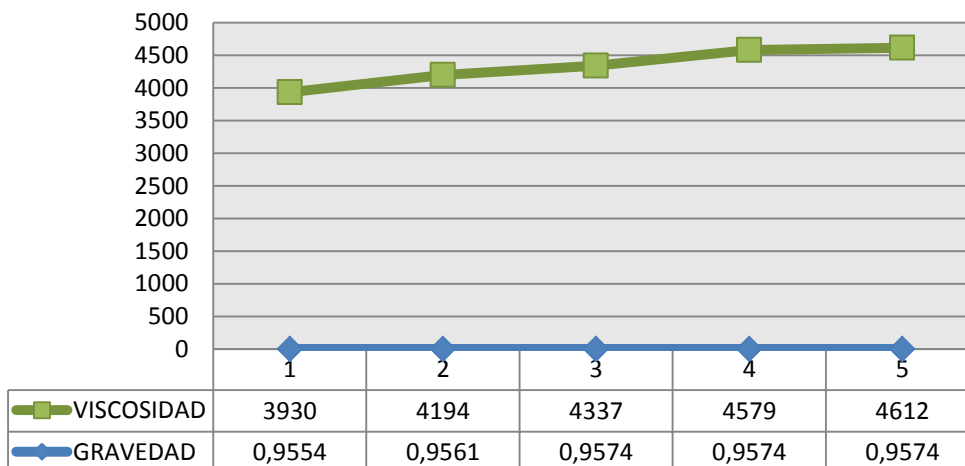
### JULIO TQ. 71



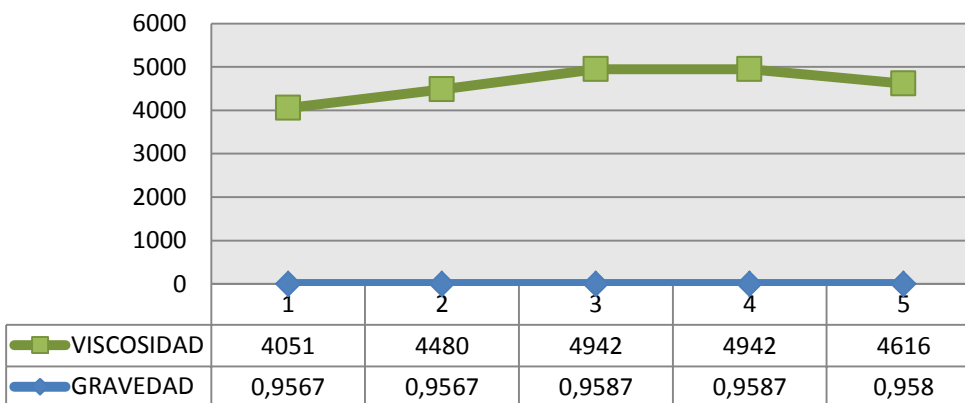
### JULIO TQ. 72



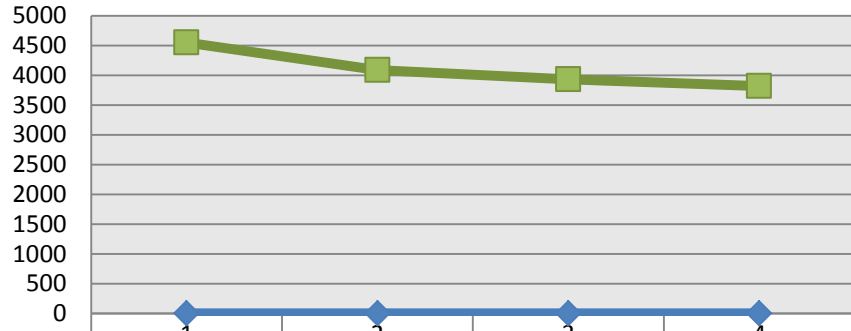
### AGOSTO TQ. 200



### AGOSTO TQ. 71

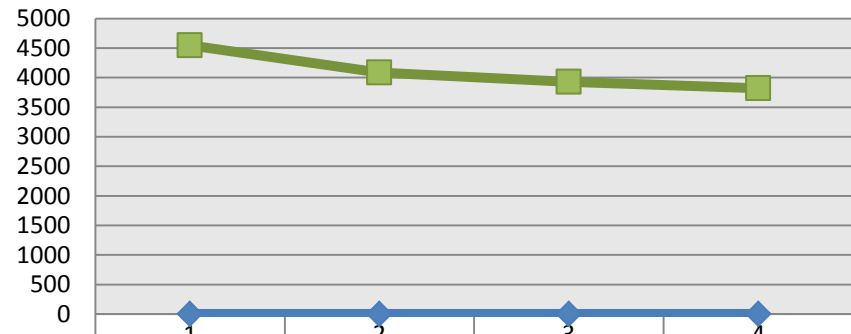


### AGOSTO TQ. 72



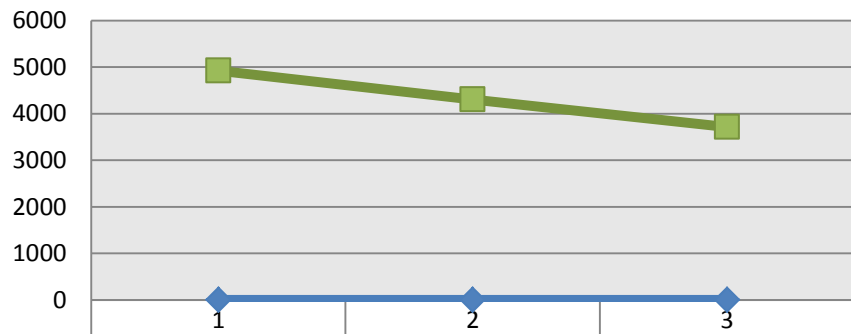
VISCOSIDAD	4546	4084	3930	3820
GRAVEDAD	0,9567	0,9561	0,9554	0,9548

### SEPTIEMBRE TQ. 200



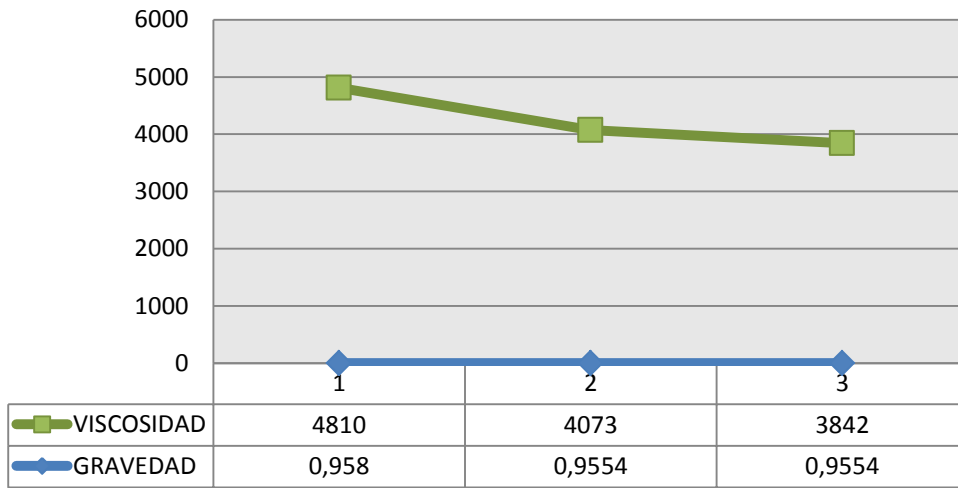
VISCOSIDAD	4546	4084	3930	3820
GRAVEDAD	0,9567	0,9561	0,9554	0,9548

### SEPTIEMBRE TQ. 71

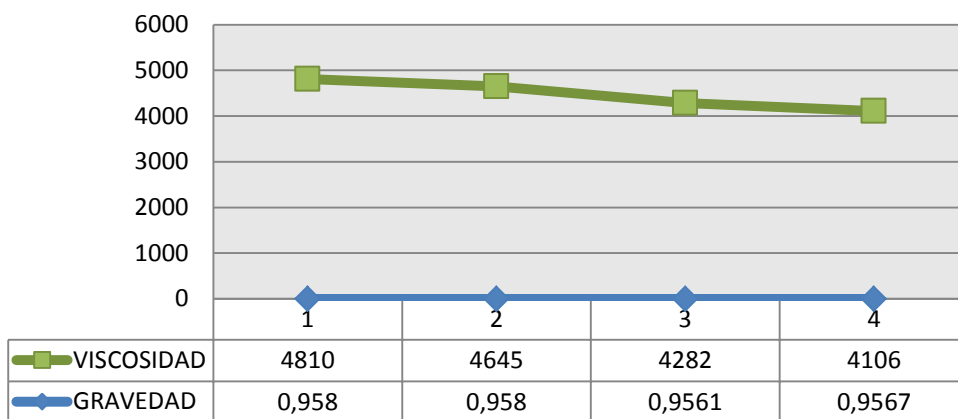


VISCOSIDAD	4920	4304	3710
GRAVEDAD	0,9587	0,9561	0,9541

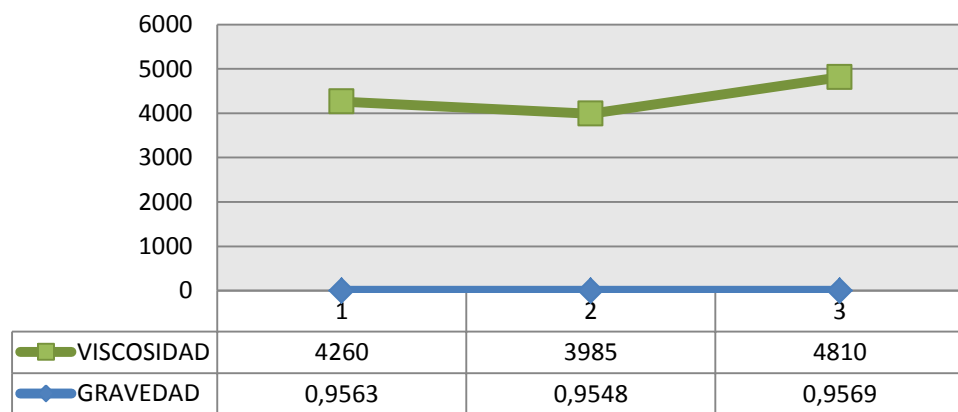
### SEPTIEMBRE TQ. 72



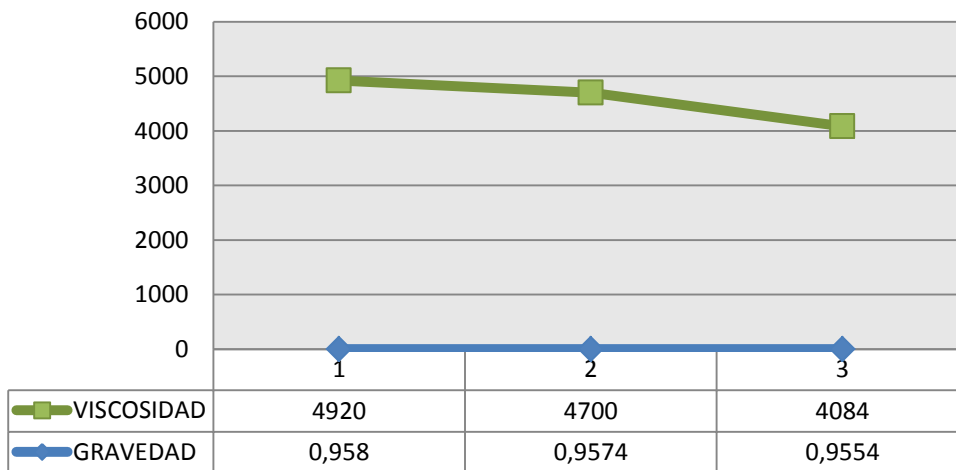
### NOVIEMBRE TQ. 200



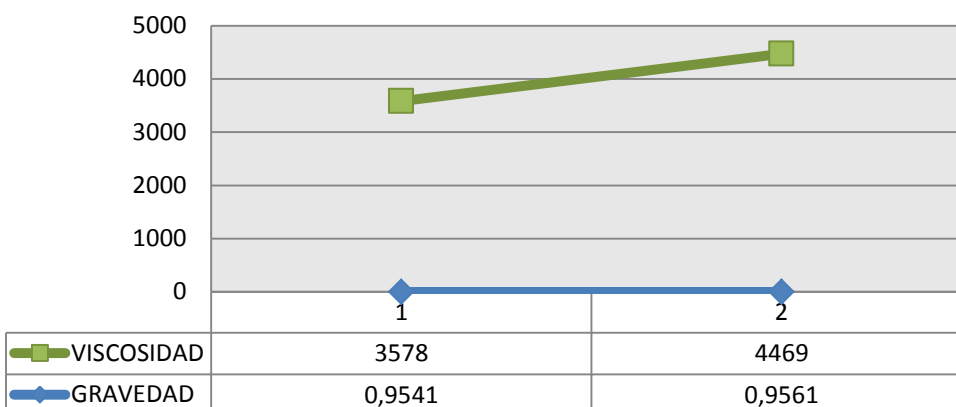
### NOVIEMBRE TQ. 71



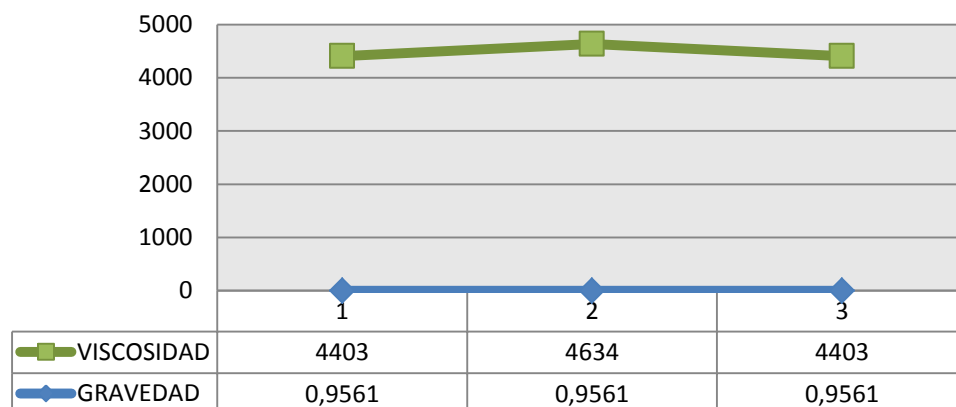
### NOVIEMBRE TQ. 72



### DICIEMBRE TQ. 200

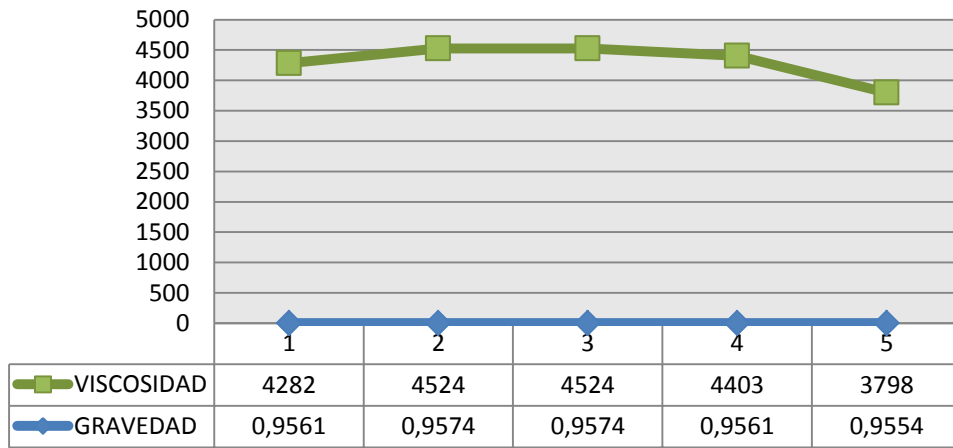


### DICIEMBRE TQ. 71

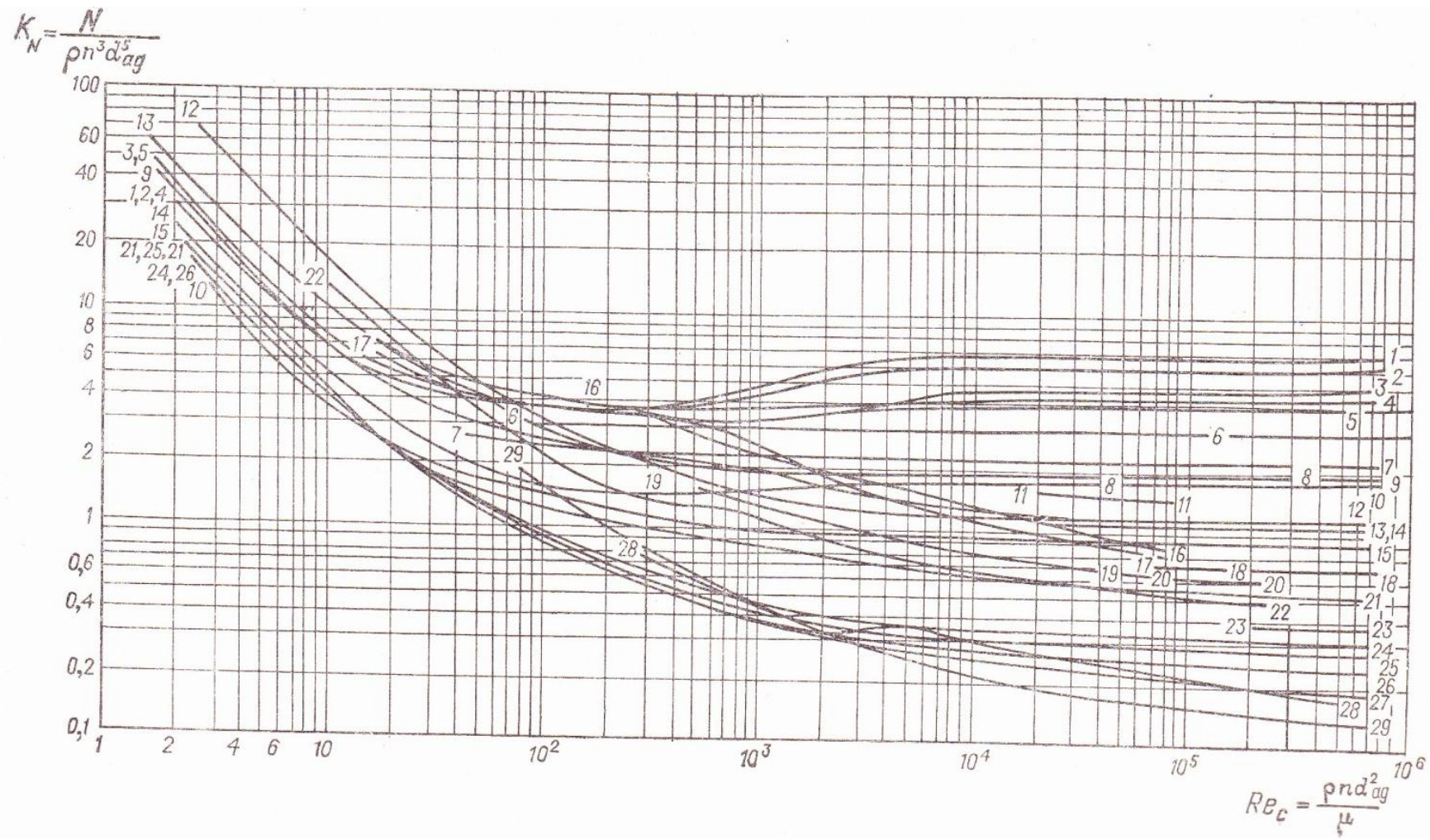




## DICIEMBRE TQ. 72



# ANEXO #11.- CRITERIO DE POTENCIA EN FUNCIÓN DEL CRITERIO DE REYNOLDS



### El criterio de potencia en función del criterio de Reynolds:

1, agitador de turbina abierto con seis paletas verticales rectas ( $b = 0,20 d_{ag}$ ,  $l = 0,25d_{ag}$ ) para  $D/d_{ag} = 3$  en un recipiente con cuatro tabiques ( $B/d_{ag} = 0,17$ ); 2, agitador de turbina tipo 1 para  $B/d_{ag} = 0,10$ ; 3, agitador de turbina abierto con seis paletas verticales curvas ( $b = 0,20 d_{ag}$ ,  $l = 0,25d_{ag}$ ) para  $D/d_{ag} = 3$  en un recipiente con cuatro tabiques ( $B/d_{ag} = 0,10$ ); 4, agitador de turbina tipo 1 para  $B/d_{ag} = 0,04$ ; 5, agitador de turbina abierto con seis paletas en forma de flecha ( $b = 0,20 d_{ag}$ ,  $l = 0,25 d_{ag}$ ) para  $D/d_{ag} = 3$  en un recipiente con cuatro tabiques ( $B/d_{ag} = 0,10$ ); 6, agitador unilateral radial de disco con seis paletas verticales rectas ( $b = 0,10 d_{ag}$ ,  $l = 0,35 d_{ag}$ ) situadas debajo del disco para  $D/d_{ag} = 2,5$  en un recipiente con cuatro tabiques ( $B/d_{ag} = 0,25$ ); 7, agitador de turbina radial con dieciséis paletas y estator en un recipiente sin tabiques; 8, agitador de dos paletas con paletas verticales rectas ( $b = 0,25 d_{ag}$ ) para  $D/d_{ag} = 4,35$  en un recipiente con tres tabiques ( $B/d_{ag} = 0,11$ ); 9, agitador de ocho paletas rectas ( $b = 0,25 d_{ag}$ ) formando un ángulo de  $45^\circ$  para  $D/d_{ag} = 3$  en un recipiente con cuatro tabiques ( $B/d_{ag} = 0,10$ ); 10, agitador de dos paletas tipo 8 para  $D/d_{ag} = 3$  en un recipiente con cuatro tabiques ( $B/d_{ag} = 0,10$ ); 11, agitador de turbina cerrado de seis paletas con estator para  $D/d_{ag} = 2,4$  en un recipiente sin tabiques; 12, agitador de turbina similar al tipo 11, para  $D/d = 3$  en un recipiente sin tabiques; 13, agitador tipo 12, pero sin estator, para  $D/d_{ag} = 3$  en un recipiente con cuatro tabiques ( $B/d_{ag} = 0,10$ ); 14, agitador de turbina tipo 1 en un recipiente sin tabiques; 15, agitador de hélice de tres paletas,  $s = 2d_{ag}$  para  $D/d_{ag} = 3$  en un recipiente con cuatro tabiques ( $B/d_{ag} = 0,10$ ); 16, agitador de cuatro paletas tipo 8 para  $D/d_{ag} = 3$  en un recipiente sin tabiques; 17, agitador de cuatro paletas, éstas ( $b = 0,25 d_{ag}$ ) formando un ángulo de  $60^\circ$ , para  $D/d_{ag} = 3$  en un recipiente sin tabiques; 18, agitador de hélice de tres paletas tipo 15, pero siendo  $s = 1,33 d_{ag}$  y  $D/d_{ag} = 16$  en un recipiente con tres tabiques ( $B/d_{ag} = 0,06$ ); 19, agitador de cuatro paletas tipo 9 para  $D/d_{ag} = 5,2$  en un recipiente sin tabiques; 20, agitador de dos paletas tipo 8 para  $D/d_{ag} = 3$  en un recipiente sin tabiques; 21, agitador de hélice de tres paletas tipo 15 para  $D/d_{ag} = 3,3$  en un recipiente sin tabiques; 22, agitador de cuatro paletas tipo 9 (el mismo que el 19) para  $D/d_{ag} = 2,4 \dots 3,0$  en un recipiente sin tabiques; 23, agitador de hélice de tres paletas tipo 15 siendo  $s = 1,09 d_{ag}$  y  $D/d_{ag} = 9,6$  en un recipiente con tres tabiques ( $B/d_{ag} = 0,06$ ); 24, lo mismo siendo  $s = d_{ag}$  y  $D/d_{ag} = 3$  en un recipiente con cuatro tabiques ( $B/d_{ag} = 0,10$ ); 25, lo mismo para  $s = 1,04 d_{ag}$  y  $D/d_{ag} = 4,5$  en un recipiente sin tabiques; 26, lo mismo en caso de  $s = d_{ag}$  y  $D/d_{ag} = 3$  en un recipiente sin tabiques; 27, lo mismo siendo  $s = 1,05 d_{ag}$  y  $D/d_{ag} = 2,7$  en un recipiente sin tabiques; 28, lo mismo para  $s = d_{ag}$  y  $D/d_{ag} = 3,8$  en un recipiente sin tabiques; 29, agitador de dos paletas tipo 8, con paletas estrechas [ $b = (0,13 \dots 0,17) d_{ag}$ ] para  $D/d_{ag} = 1,1$  en un recipiente sin tabiques.

Designaciones adoptadas para caracterizar los agitadores:  $D$ , diámetro del recipiente;  $d_{ag}$ , diámetro del agitador;  $b$ , ancho de la paleta del agitador;  $l$ , longitud de la paleta;  $B$ , ancho del tabique;  $s$ , paso del agitador de hélice.

