



# **ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**

**FACULTAD DE CIENCIAS**

**ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA**

**“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN EQUIPO DE  
DESTILACIÓN PARA LA PURIFICACIÓN DEL ACEITE  
USADO PROCEDENTE DE VEHÍCULOS”**

**TESIS DE GRADO**

**Previo a la Obtención del Título de**

**INGENIERO QUÍMICO**

**VIVIANA VANESSA MEDINA CARRILLO**

**MYRIAM ANABEL SÁNCHEZ SALINAS**

**RIOBAMBA \*\*\* ECUADOR**

**2012**

## AGRADECIMIENTO

Queremos expresar nuestro sincero agradecimiento a Dios en primer lugar por regalarnos la vida, el guiarnos y darnos sabiduría para culminar una etapa y el poder realizar este trabajo, que es la culminación de nuestra carrera.

A nuestros padres y familiares por su apoyo y amor incondicional en todo momento. Este trabajo es suyo por el esfuerzo y la confianza brindada hacia nosotras.

A nuestros profesores de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, en especial a la Escuela de Ingeniería Química por brindarnos sus conocimientos, experiencias y la formación profesional, expresando nuestro agradecimiento al Ingeniero Hannibal Brito Director de Tesis y al Ingeniero José Usiña Miembro del Tribunal, por ser grandes maestros, quienes depositaron su confianza para la realización de este trabajo.

Al Doctor Carlos Curay por brindarnos sus conocimientos y apoyo para el desarrollo de este proyecto.

## DEDICATORIA

Yo **Vanessa Medina** dedicó este trabajo en primer lugar a Dios porque me ha dado la vida y por haber permitido cumplir uno de mis más importantes sueños.

A mis padres Martha Carrillo y Wilson Medina porque han sido mi principal fuerza, el pilar más importante de mi vida, ejemplo de superación, perseverancia y por todo el amor que me supieron brindar

A mi hermana Gissela Medina por su apoyo incondicional, y a todas aquellas personas que de alguna manera me han apoyado brindándome sus palabras de aliento.

Yo **Myriam Sánchez** quiero dedicar este trabajo en primer lugar a Dios por regalarme la vida y guiar cada uno de mis pasos.

Al amor de mi vida con todo mi corazón, mi Madre Rosita que desde el cielo siempre cuida de mí, por su sacrificio incondicional y la confianza depositada en mí.

A mi Padre Jaime Sánchez y mis hermanos Luis y Roberto por ser mi apoyo y sostén, por todo su esfuerzo y amor para que pudiera culminar mi carrera.

A mis Padres adoptivos John y Marcia por su cariño y consejos, por ser mis segundos padres. A Tannia, Esmeralda y Doménica por brindarme una sonrisa y un abrazo cuando más lo necesitaba.

**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**

**FACULTAD DE CIENCIAS**

**ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA**

**HOJA DE FIRMAS**

El Tribunal de Tesis certifica que: El trabajo de investigación:

**“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN EQUIPO DE DESTILACIÓN PARA LA PURIFICACIÓN DEL ACEITE USADO PROCEDENTE DE VEHÍCULOS”**, de responsabilidad de las señoritas egresadas Viviana Vanessa Medina Carrillo y Myriam Anabel Sánchez Salinas, ha sido prolijamente revisada por los Miembros del Tribunal de Tesis, quedando autorizada su presentación.

**NOMBRE**

**FIRMA**

**FECHA**

Dr. Silvio Álvarez

-----

-----

**DECANO FAC. CIENCIAS**

Ing. Mario Villacrés

-----

-----

**DIRECTOR ESC. ING. QUÍMICA**

Ing. Hanníbal Brito

-----

-----

**DIRECTOR DE TESIS**

Ing. José Usiña

-----

-----

**MIEMBRO DEL TRIBUNAL**

Tec. Carlos Rodríguez

-----

-----

**DIRECTOR CENTRO DOCUMENTACIÓN**

## **HOJA DE RESPONSABILIDAD**

“Nosotras, **VIVIANA VANESSA MEDINA CARRILLO** y **MYRIAM ANABEL SÁNCHEZ SALINAS** somos responsables de las ideas, doctrinas y resultados expuestos en el presente trabajo de investigación y el patrimonio intelectual de la Tesis de Grado pertenece a la **ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**”

## ÍNDICE DE ABREVIATURA

F	Alimentación (mL/ h)
D	Destilado (mL/ h)
W	Residuo (mL / h)
$X_D$	Fracción de Destilado
$X_F$	Fracción de Alimentación
$X_W$	Fracción de Residuo
$C_P$	Capacidad Calorífica (Kcal / Kg C)
$\bar{\lambda}_F$	Calor Latente Medio (Kcal/ Kg)
m	Pendiente
$T_F$	Temperatura de Alimentación (C)
$T_b$	Temperatura de ebullición (C)
$R_{D \min}$	Reflujo mínimo
k	Constante de Krisschbraun
$\mu$	Viscosidad. (cP)
$\varphi$	Fluidez. (rhe)
$E_o$	Eficiencia de los Platos (%)
$N_T$	Número de Platos Teóricos
$N_R$	Número de Platos Reales
M	Masa Molecular (Kg / Kg mol)
R	Constante de los gases (L at / Kmol K)

- V Volumen de solución (Kg / h)
- A Área ( $m^2$ )
- G Flujo de gas ( $Kg/h*m^2$ )
- C Distancia entre platos (m)
- $\emptyset$  Diámetro (m)
- $\emptyset_R$  Diámetro de la zona de rectificación (m)
- $\emptyset_A$  Diámetro de la zona de agotamiento (m)
- P Densidad ( $Kg / m^3$ )
- f Número de moles de vapor que resultan en la sección de rectificación de la introducción de cada mol de alimentación.

## TABLA DE CONTENIDOS

Pp:

PORTADA	
AGRADECIMIENTO	
DEDICATORIA	
HOJA DE FIRMAS	
HOJA DE RESPONSABILIDAD	
ÍNDICE DE ABREVIATURA	
ÍNDICE DE CONTENIDOS	
ÍNDICE DE CUADROS	
ÍNDICE DE TABLAS	
ÍNDICE DE GRÁFICOS	
ÍNDICE DE ANEXOS	
RESUMEN .....	i
SUMMARY .....	iii
INTRODUCCIÓN .....	iv
ANTECEDENTES .....	vi
JUSTIFICACIÓN .....	vii
OBJETIVOS .....	ix
<b>CAPÍTULO I</b>	
1. MARCO TEÓRICO.....	<b>1</b>
1.1. LUBRICANTE .....	2
1.1.1. PROPIEDADES DE LOS LUBRICANTES .....	2
1.1.1.1. FUNCIONES DE LOS LUBRICANTES.....	2
1.1.1.2. CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES .....	3
1.1.1.2.1. Viscosidad.....	3
1.1.1.2.2. Índice de Viscosidad.....	4



1.1.1.2.3.	Punto de Fluidez .....	5
1.1.1.2.4.	Cenizas Sulfatadas .....	5
1.1.1.2.5.	Punto de Inflamación y Fuego .....	6
1.1.1.2.6.	Índice de Neutralización y Saponificación .....	7
1.1.1.2.7.	Índice de Alquitrán y de Alquinatrización .....	7
1.1.1.2.8.	Emulsionabilidad del Aceite .....	7
1.1.1.2.9.	Untuosidad .....	8
1.1.1.3.	<b>BASE LUBRICANTE</b> .....	8
1.1.1.3.1.	Aceites Minerales.....	9
1.1.1.3.2.	Aceites Sintéticos.....	11
1.1.2.	<b>ADITIVOS</b> .....	11
1.1.2.1.	<b>PROPIEDADES GENERALES DE LOS ADITIVOS</b> .....	12
1.1.2.1.1.	Clasificación de Aditivos.....	13
1.1.3.	<b>CLASIFICACIÓN DE LOS ACEITES LUBRICANTES</b> .....	15
1.1.3.1.	<b>API</b> .....	15
1.1.3.1.1.	Clasificación API.....	16
1.1.3.2.	<b>SAE</b> .....	18
1.1.3.2.1.	Clasificación SAE.....	20
1.1.3.3.	<b>EN CUANTO A GRADO DE VISCOSIDAD</b> .....	21
1.1.3.3.1.	Monogrados .....	21
1.1.3.3.2.	Multigrados .....	21
1.1.4.	<b>ACEITES USADOS</b> .....	21
1.1.4.1.	<b>DEFINICIONES</b> .....	22
1.1.4.1.1.	Aceite Usado es .....	22
1.1.4.1.2.	Aceite usado no es .....	23
1.1.4.2.	<b>FACTORES DE DETERIORO</b> .....	25
1.1.4.2.1.	Temperatura de Operación.....	25
1.1.4.2.2.	Productos Solubles.....	26
1.1.4.2.3.	Agua.....	26
1.1.4.2.4.	Combustibles .....	27
1.1.4.2.5.	Sólidos y Polvo .....	27
1.1.5.	<b>CARACTERIZACIÓN</b> .....	27
1.1.5.1.	<b>CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS</b> .....	28

	Pp:
1.1.6. RESIDUOS PELIGROSOS .....	30
1.1.6.1. Efectos Sobre la Salud .....	30
1.1.6.2. Problemática Ambiental.....	30
1.1.7. RECUPERACIÓN Y RECICLADO DE ACEITES USADOS.....	31
1.1.7.1. REGENERACIÓN .....	32
1.1.7.1.1. Pretratamiento:.....	32
1.1.7.1.2. Regeneración: .....	32
1.1.7.1.3. Acabado: .....	33
1.1.7.2. PROCESO CONVENCIONAL ÁCIDO-ARCILLA.....	33
1.1.7.3. PROCESO MEINKEN .....	33
1.1.7.4. PROCESO SELECTO PROPANO ÁCIDO-ARCILLA .....	34
1.1.7.5. PROCESO SELECTO PROPANO-HIDROTERMINADO .....	34
1.1.7.6. PROCESO BERK.....	35
1.1.7.7. EXTRACCIÓN POR SOLVENTE .....	35
1.1.7.8. DESTILACIÓN A COMBUSTIBLE DIÉSEL .....	37
1.1.7.9. COMERCIALIZACIÓN COMO COMBUSTIBLE SIN TRATAR (FUELOIL).....	37
1.1.7.10. BIODEGRADACIÓN DE ACEITES USADOS.....	37
1.1.7.11. UTILIZACIÓN COMO COMBUSTIBLES ALTERNATIVOS .....	39
1.1.7.12. REUTILIZACIÓN PARA PINTURAS ASFÁLTICAS.....	40
1.1.8. PROCESO DE PURIFICACIÓN DEL ACEITE USADO.....	40
1.1.8.1. Técnica Empleada.....	40
1.1.8.2. Diagrama del Proceso .....	42
1.2. DESTILACIÓN .....	43
1.2.1. DEFINICIÓN .....	43
1.2.2. DESCRIPCIÓN DE LA OPERACIÓN UNITARIA.....	44
1.2.2.1. FACTORES INFLUYENTES EN EL PROCESO DE DESTILACIÓN .....	45
1.2.2.1.1. Temperatura .....	45
1.2.2.1.2. Presión de vapor.....	45
1.2.3. TIPOS DE DESTILACIÓN .....	45
1.2.3.1. DESTILACIÓN CONTINUA .....	46
1.2.3.1.1. Destilación continua simple (sin reflujo).....	46
1.2.3.1.2. Destilación en equilibrio:.....	46

1.2.3.1.3.	Destilación flash: .....	47
1.2.3.1.4.	Destilación Diferencial: .....	47
1.2.3.2.	DESTILACIÓN CONTINUA RECTIFICADA (CON REFLUJO).....	47
1.2.3.3.	DESTILACIÓN CONTINÚA RECTIFICADA .....	48
1.2.3.4.	DESTILACIÓN DISCONTINUA .....	49
1.2.3.4.1.	Destilación discontinua simple (sin reflujo) .....	50
1.2.3.4.2.	Destilación en el laboratorio .....	50
1.2.3.4.3.	Destilación discontinua (con reflujo).....	51
1.2.3.5.	DESTILACIÓN FRACCIONADA .....	52
1.2.3.6.	DESTILACIÓN A VACÍO.....	52
1.2.3.7.	DESTILACIÓN AZEOTRÓPICA .....	53
1.2.3.8.	DESTILACIÓN POR ARRASTRE DE VAPOR.....	55
1.2.4.	APLICACIONES DE LA DESTILACIÓN .....	55
1.2.4.1.	APLICACIONES EN DIFERENTES ÁREAS .....	56
1.2.4.1.1.	Aplicaciones Farmacéuticas de destilación.....	56
1.2.4.1.2.	Aplicaciones Alimenticias de Destilación .....	56
1.2.4.1.3.	Aplicaciones Ambientales de Destilación.....	57
1.2.4.1.4.	Aplicaciones de Destilación de Alcohol .....	57
1.2.5.	TORRES DE DESTILACIÓN.....	57
1.2.5.1.	TIPOS DE TORRES DE DESTILACIÓN .....	57
1.2.5.1.1.	Torres de Platos con Casquetes o Caperuzas de Burbujeo .....	58
1.2.5.1.2.	Torres de Relleno.....	59
1.2.5.1.3.	Tipos de Relleno en las Columnas .....	61
1.2.5.1.4.	Tipos de Platos.....	64
1.2.5.2.	COLUMNA DE PLATOS .....	66
1.2.5.3.	CAPACIDAD DE UNA COLUMNA DE PLATOS.....	67
1.2.5.3.1.	Acción de un Plato Ideal .....	69
1.2.5.3.2.	Método de McCabe-Thiele .....	71
1.2.5.3.3.	Condición térmica de la alimentación.....	71
1.2.5.3.4.	Construcción de líneas de operación.....	74
1.3.	DISEÑO .....	75
1.3.1.	ECUACIONES PARA EL DISEÑO DE LA TORRE DE DESTILACIÓN. 75	
1.3.1.1.	CÁLCULO DE LA CAPACIDAD CALORÍFICA.....	75

1.3.1.2.	CÁLCULO DEL CALOR LATENTE MEDIO $\lambda F$ .....	76
1.3.1.3.	CÁLCULO DEL PARÁMETRO $f$ DE ALIMENTACIÓN .....	77
1.3.1.4.	CÁLCULO DE LA PENDIENTE .....	77
1.3.1.5.	CURVA DE EQUILIBRIO .....	78
1.3.1.6.	RECTA DE ALIMENTACIÓN .....	78
1.3.1.7.	CÁLCULO DE LA RELACIÓN DE REFLUJO MÍNIMO .....	79
1.3.1.8.	CÁLCULO DE LA RELACIÓN DE REFLUJO TOTAL .....	80
1.3.1.9.	RECTA DE RECTIFICACIÓN .....	81
1.3.1.10.	RECTA DE AGOTAMIENTO .....	81
1.3.1.11.	PLATOS TEÓRICOS .....	82
1.3.1.12.	BALANCE DE MASA .....	82
1.3.1.13.	BALANCE DE MASA PARCIAL .....	83
1.3.1.14.	CÁLCULO DE LA TEMPERATURA PROMEDIO DE LA COLUMNA .....	83
1.3.1.15.	CÁLCULO DE $\alpha$ Y LA VISCOSIDAD $\mu$ .....	84
1.3.1.15.1.	Cálculo de la Volatilidad Relativa .....	84
1.3.1.15.2.	Cálculo de la Fluidez .....	85
1.3.1.15.3.	Cálculo de la Viscosidad .....	85
1.3.1.16.	CÁLCULO DE LOS PLATOS REALES .....	86
1.3.1.17.	CÁLCULO DEL DIÁMETRO .....	87
1.3.1.17.1.	ZONA DE RECTIFICACIÓN .....	87
1.3.1.17.1.1.	Cálculo de la Masa Molecular Media .....	87
1.3.1.17.1.2.	Cálculo del Caudal de Vapor .....	88
1.3.1.17.1.3.	Cálculo de Flujo del Gas .....	88
1.3.1.17.1.4.	Cálculo del Área en la Zona de Rectificación .....	89
1.3.1.17.1.5.	Cálculo del Diámetro de la Columna en la Zona de Rectificación .....	90
1.3.1.18.	ZONA DE AGOTAMIENTO .....	90
1.3.1.18.1.	Cálculo del Caudal de Vapor Medio .....	90
1.3.1.18.2.	Cálculo del Diámetro Promedio .....	91
1.3.1.18.3.	Cálculo de la Longitud .....	91
1.3.1.19.	BALANCE DE ENERGÍA .....	92
1.3.1.19.1.	Balance Global de Energía .....	92
1.3.1.19.2.	Balance de Energía para el Condensador .....	93

1.3.1.20.	CÁLCULO DEL RENDIMIENTO DEL EQUIPO .....	93
1.3.1.21.	CÁLCULO DEL CALOR PERDIDO .....	94
1.3.1.21.1.	Cálculo del Calor Total del Combustible.....	94
1.3.1.21.2.	Cálculo del Calor Gastado .....	94
1.3.1.22.	CÁLCULO DE LA EFICIENCIA DEL EQUIPO .....	95

## CAPÍTULO II

2.	PARTE EXPERIMENTAL .....	<b>96</b>
2.1.	MUESTREO .....	96
2.2.	METODOLOGÍA .....	97
2.2.1.	MÉTODOS Y TÉCNICAS .....	97
2.2.1.1.	MÉTODOS .....	97
2.2.1.1.1.	Método Inductivo.....	97
2.2.1.1.2.	Método Deductivo .....	98
2.2.1.2.	TÉCNICAS .....	98
2.3.	DATOS EXPERIMENTALES .....	104
2.3.1.	DIAGNÓSTICO.....	104
2.3.2.	DATOS.....	106
2.3.2.1.	VISCOSIDAD CINEMÁTICA .....	107
2.3.2.2.	PUNTO DE INFLAMACIÓN .....	108
2.3.2.3.	CORROSIÓN AL COBRE.....	109
2.3.2.4.	CENIZAS.....	109
2.4.	DATOS ADICIONALES .....	110

## CAPÍTULO III

3.	DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA TORRE DE DESTILACIÓN PARA LA PURIFICACIÓN DEL ACEITE USADO PROCEDENTE DE VEHÍCULOS .....	<b>113</b>
3.1.	GENERALIDADES .....	113
3.2.	CÁLCULOS.....	114
3.2.1.	CAPACIDAD CALORÍFICA MEDIA .....	114
3.2.1.1.	CÁLCULO DE LA CAPACIDAD CALORÍFICA MEDIA $C_p$ .....	114
3.2.2.	CALOR LATENTE MEDIO .....	114
3.2.2.1.	CÁLCULO DEL CALOR LATENTE MEDIO $\lambda F$ .....	114
3.2.3.	CÁLCULO DEL PARÁMETRO $f$ DE ALIMENTACIÓN .....	115
3.2.4.	CÁLCULO DE LA PENDIENTE .....	115

	<b>Pp:</b>
3.2.4.1. CURVA DE EQUILIBRIO .....	116
3.2.4.1.1. RECTA DE ALIMENTACIÓN .....	116
3.2.5. CÁLCULO DE LA RELACIÓN DE REFLUJO MÍNIMO .....	116
3.2.6. CÁLCULO DE LA RELACIÓN DE REFLUJO TOTAL.....	117
3.2.7. TRAZAR LA CURVA DE AGOTAMIENTO.....	117
3.2.8. TRAZAR EL NÚMERO DE PLATOS TEÓRICOS.....	117
3.2.9. RECTA DE AGOTAMIENTO .....	118
3.2.9.1. PLATOS TEÓRICOS .....	118
3.2.9.1.1. Cálculo del balance de masa .....	118
3.2.9.2. BALANCE DE MASA PARCIAL.....	118
3.2.9.2.1. Cálculo del balance de masa parcial del hexano.....	118
3.2.10. CÁLCULO DE LA TEMPERATURA PROMEDIO DE LA COLUMNA	119
3.2.11. CÁLCULO DE $\alpha$ Y LA VISCOSIDAD $\mu$ .....	120
3.2.11.1. CÁLCULO DE LA VOLATILIDAD RELATIVA.....	120
3.2.11.2. CÁLCULO DE LA FLUIDEZ .....	122
3.2.11.3. CÁLCULO DE LA VISCOSIDAD .....	122
3.2.12. CÁLCULO DE LOS PLATOS REALES .....	124
3.2.13. CÁLCULO DEL PLATO DE ALIMENTACIÓN .....	124
3.2.14. CÁLCULO DEL DIÁMETRO DE LA COLUMNA .....	125
3.2.14.1. ZONA DE RECTIFICACIÓN.....	125
3.2.14.1.1. Cálculo de la Masa Molecular Media .....	125
3.2.14.1.2. Cálculo del Caudal de Vapor .....	125
3.2.14.1.3. Cálculo de la densidad de Vapor .....	125
3.2.14.1.4. Cálculo del Flujo del Gas.....	126
3.2.14.1.5. Cálculo del Área .....	127
3.2.14.1.6. Cálculo del Diámetro de la Columna en la Zona de Rectificación.....	127
3.2.14.2. ZONA DE AGOTAMIENTO.....	127
3.2.14.2.1. Cálculo de la Masa Molecular Media .....	127
3.2.14.3. ZONA DE AGOTAMIENTO.....	128
3.2.14.3.1. Cálculo del Caudal de Vapor Medio.....	128
3.2.14.3.2. Cálculo de la Densidad de Vapor.....	128
3.2.14.3.3. Cálculo del Flujo de Gas.....	128
3.2.14.3.4. Cálculo del Área .....	128

	<b>Pp:</b>
3.2.14.3.5. Cálculo del Diámetro de la Columna de Agotamiento .....	129
3.2.14.3.6. Cálculo de la Longitud.....	129
3.2.14.4. BALANCE DE ENERGÍA.....	130
3.2.14.4.1. Balance Para el Condensador.....	130
3.2.14.4.2. Cálculo del Calor Suministrado .....	130
3.2.14.4.2.1. Cálculo de la Entalpía de Alimentación.....	130
3.2.14.4.2.2. Cálculo de la Entalpía del Residuo .....	130
3.2.14.4.2.3. Cálculo del Rendimiento de la Columna.....	131
3.2.14.4.2.4. Cálculo del Calor Perdido .....	131
3.2.14.4.2.5. Cálculo del Calor Total del Combustible.....	131
3.2.14.4.2.6. Cálculo del Calor Gastado .....	132
3.2.14.4.2.7. Cálculo de la Eficiencia del Equipo .....	132
3.2.15. ANÁLISIS DE COSTOS .....	133
3.3. RESULTADOS.....	134
3.4. PROPUESTA DE DISEÑO.....	139
3.4.1. CALDERÍN.....	140
3.4.2. TANQUE DE ALIMENTACIÓN .....	141
3.4.3. COLUMNA DE DESTILACIÓN .....	141
3.4.4. DEFLEMADOR DE LENTEJAS .....	141
3.4.5. ENFRIADOR DE LENTEJAS .....	142
3.4.6. TANQUE DE PRODUCTO.....	142
3.4.7. TUBERÍA DE ACERO INOXIDABLE .....	142
3.4.8. TUBERÍA DE PVC .....	143
3.5. MANEJO Y OPERACIÓN DEL EQUIPO DE DESTILADO.....	143
3.6. MANTENIMIENTO.....	144
<b>CAPÍTULO IV</b>	
4. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS .....	145
5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	147
5.1. CONCLUSIONES .....	147
5.2. RECOMENDACIONES .....	149
2. BIBLIOGRAFÍA .....	151

## ÍNDICE DE CUADROS

<b>CUADRO</b>	<b>Pp:</b>
1.1.1.2.2-1 ÍNDICE DE VISCOSIDAD .....	4
1.1.2.1.1-1 CLASIFICACIÓN DE LOS ADITIVOS SEGÚN SUS PROPIEDADES.....	13
1.1.2.1.1-2 COMPOSICIÓN DE UN ACEITE USADO SEGÚN EL HIDROCARBURO BASE Y LOS TIPOS DE ADITIVOS .....	14
1.1.3.1.1-1 SISTEMA DE CLASIFICACION API PARA ACEITES DE MOTOR .....	16
1.1.3.1.1-2 " C " COMBUSTIÓN BY COMPRESIÓN .....	17
1.1.3.1.1-1 CLASIFICACION API PARA ACEITES DE TRANSMISION Y DIFERENCIAL .....	18
1.1.3.2.1-1 CLASIFICACIÓN DE VISCOSIDADES EN ACEITES .....	20
1.1.5.1-1 COMPOSICIÓN DE UN ACEITE USADO SEGÚN SU PROCEDENCIA.....	29
1.2.5.3.3-1 CONDICIONES DE ALIMENTACIÓN .....	72
2.2.1.2-1 DETERMINACIÓN DE LA VISCOSIDAD CINEMÁTICA .....	99
2.2.1.2-2 DETERMINACION DEL PUNTO DE INFLAMACIÓN.....	100
2.2.1.2-3 DETERMINACION DE CORROSIÓN EN EL COBRE .....	101
2.2.1.2-4 DETERMINACIÓN DEL RESIDUO DE CARBONO CONRADSON .....	102
2.2.1.2-5 DETERMINACIÓN DE LAS CENIZAS .....	103
2.3.2-1 CANTIDAD DE MUESTRAS .....	106
3.2.15-1 ANÁLISIS DE COSTOS.....	133



## ÍNDICE DE TABLAS

<b>TABLA</b>	<b>Pp:</b>
2.3.2-1 DATOS EXPERIMENTALES DE LA DESTILACIÓN SIMPLE PARA LA RECUPERACIÓN DE SOLVENTE .....	107
2.3.2.1-1 DATOS DE VISCOSIDAD.....	108
2.3.2.2-1 DATOS DEL PUNTO DE INFLAMACIÓN.....	108
2.3.2.4-1 DATOS DE CENIZAS .....	110
2.4-1 CLASIFICACIÓN DE LA LÁMINA DE COBRE EXPUESTA .....	111
2.4-2 DATOS ADICIONALES DE ACEITE PARAFÍNICO – HEXANO .....	112
2.4-3 DATOS ADICIONALES .....	112
3.2.10-1 DATOS DE TEMPERATURA .....	120
3.2.11.1-1 DATOS DE X y Y .....	122
3.3-1 RESULTADO DE VISCOSIDAD .....	134
3.3-2 RESULTADOS DEL PUNTO DE INFLAMACIÓN .....	134
3.3-3 RESULTADOS DE CORROSIÓN AL COBRE .....	135
3.3-4 RESULTADOS DE CENIZAS .....	136
3.3-5 CUADRO COMPARATIVO CON LA NTE INEN 2029:1995 Y LAS MUESTRAS...	137
3.3-6 DATOS PARA EL DIMENSIONAMIENTO DEL EQUIPO .....	138
TABLA 3.4-1 DATOS PARA EL DIMENSIONAMIENTO .....	139
3.4-2 PARTES DE LA TORRE DE DESTILACIÓN .....	140

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>FIGURA</b>	<b>Pp:</b>
1.1.1.3.1-1 Estructura de los Aceites Parafínicos.....	9
1.1.1.3.1-1 Estructura de los Aceites Parafínicos.....	9
1.1.1.3.1-2 Estructura de los Aceites Nafténicos .....	9
1.1.1.3.1-3 Estructura de los Aceites Aromáticos .....	10
1.1.1.3.1-3 Estructura de los Aceites Aromáticos .....	10
1.1.1.3.1-4 Formulación de Lubricantes .....	10
1.1.1.3.1-4 Formulación de Lubricantes .....	10
1.2.5.1.1-1 Torres con Platos de Burbujeo.....	59
1.2.5.1.2-1 Representación Esquemática de una Torre con Material de Relleno.....	60
1.2.5.1.3-1 Anillos con Tabiques en Cruz.....	62
1.2.5.1.3-2 Anillos Rasching .....	62
1.2.5.1.3-3 Platos Borboteadores .....	62
1.2.5.3.1-1 Diagrama de un Plato Ideal.....	69
1.2.5.3.1-2 Flujo a través del plato de alimentación para diferentes condiciones de la alimentación:.....	73
1.2.5.3.1-3 Condiciones para la construcción de la recta de alimentación.....	74
1.2.5.3.2-1 Curva de Equilibrio.....	79
1.2.5.3.2-1 Curva de Equilibrio.....	79
2.2.1.1.2-1 Comparación de Colores Norma ASTM D – 130.....	109
2.2.1.1.2-1 Comparación de Colores Norma ASTM D – 130.....	109

## ÍNDICE DE REACCIONES

<b>REACCIÓN</b>	<b>Pp:</b>
1.1.4.1.2-1Reacción de oxidación de los Hidrocarburos en el Aceite.....	24
1.1.4.1.2-2Reacciones que ocurren en los Hidrocarburos Parafínicos y en los Nafténicos .....	25

## ÍNDICE DE ANEXOS

<b>ANEXO</b>	<b>Pp:</b>
I DERIVADOS DEL PETROLEO. BASES LUBRICANTES PARA SU USO .....	152
II LUBRICADORAS Y MECÁNICAS DE VEHÍCULOS DE LA CIUDAD DE R.....	152
III RECOLECCION DEL ACEITE USADO EN LAS LUBRICADORAS .....	152
IV PRUEBA DE CORROSIÓN AL COBRE.....	152
V PURIFICACIÓN DEL ACEITE USADO .....	152
VI PURIFICACIÓN DEL ACEITE USADO.....	152
VII PURIFICACIÓN DEL ACEITE USADO .....	152
VIII DESTILACIÓN PARA LA RECUPERACIÓN DEL SOLVENTE.....	152
IX DETERMINACIÓN DEL PUNTO DE INFLAMACIÓN .....	152
X DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE CENIZAS .....	152
XI CONTRUCCIÓN Y FUNCIONAMIENTO DEL EQUIPO .....	152
XII VALIDACIÓN DEL EQUIPO.....	152

## RESUMEN

Se realizó el diseño y construcción de un equipo de destilación para la purificación del aceite usado procedente de vehículos de la ciudad de Riobamba, para el laboratorio de Operaciones Unitarias de la Escuela de Ingeniería Química, Facultad de Ciencias de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Con el fin de purificarlo se empleó procesos físicos y químicos para la recuperación del solvente empleado; los métodos utilizados fueron el método inductivo donde se recolectó las muestras en lavadoras, lubricadoras y mecánicas de las parroquias urbanas de la ciudad. Y el método deductivo partiendo de fundamentos y cálculos para el diseño, construcción y la validación definitiva del equipo. En el proceso se obtuvo la borra ácida utilizada en el proceso de asfaltado de vías, y el aceite recuperado servirá como un aceite base nuevo comercializable para la elaboración de SAE 40, aceite de pipa mismo que será utilizado en la industria automotriz para lavar motores y en el tratamiento de la madera. El objetivo de la combustión es la valorización energética obteniendo calor se utiliza en cementeras, centrales térmicas, refinerías.

El dimensionamiento del equipo se realizó a través de cálculos de ingeniería a partir de datos experimentales obtenidos de los ensayos realizados en laboratorio, luego de lo cual se construyó con acero inoxidable AISI 304, para una capacidad de 80 litros en el calderín con camisa de vapor, la columna de concentración está constituida de 2 cuerpos con 7 platos tipo túnel o campanas de burbujeo, el plato de alimentación es el 3, cada plato tiene una altura de 15 cm, y la columna posee un diámetro de 18 cm para una mayor facilidad de construcción, el tanque de alimentación contiene una capacidad de 80 litros, posee un deflector de lentejas con entrada y salida de agua para enfriamiento, un enfriador de lentejas con entrada de solvente concentrado y salida de producto, una botella de grados y finalmente un tanque de producto con una capacidad de 30 litros.

Una vez con el equipo en el laboratorio se procedió a la validación del mismo obteniéndose una eficiencia del 91%.

Concluimos que nuestro equipo cumple con la función de recuperar el solvente (Hexano) en la destilación de aceite usado.

Se recomienda que las lubricadoras realicen un almacenamiento adecuado de dichos aceites para evitar la mezcla con otras sustancias que contaminen y alteren su composición, los cuales hacen que sea difícil su purificación.

## SUMMARY

Design and construction of a distillation equipment to purify the used-oil from Riobamba city autos, for the School of Chemistry Engineering, Faculty of Science at Escuela Superior Politécnica de Chimborazo (Higher Education).

In order to purify the inductive method was used collecting the samples in the car wash, lubricators, auto repair shop of the city urban parish. And deductive method from the fundamentals and calculation for the design, construction and the final equipment validation. In the process the sediment acid is obtained for asphalt. The recovered oil will be used as new marketable base oil or oil pipe that will be used in the automotive industry, the objective of the combustion is the energy valuation obtaining heat used in cement works, thermal power station, and oil refineries.

The equipment is built in AISI 3014 stainless steel, reboiler has 80-liter capacity with steam jacket, the column concentration is made up of 7 tray type tunnel or bubble caps, the feed tray is 3, each tray has 15 cm height, and the column has 18 cm diameter for a greater easy construction, the capacity of feed tank is 80-liter and it is equipped with a dephlegmator provided with inlet and outlet for cooling water, with an concentrated solvent inlet and product outlet of product, a degree bottle and finally a product tank with 30-liter capacity.

The equipment validation was carried out getting a 78% of performance in the solvent recovery (hexane) in the rectification zone and the oil purification in the depletion zone, carrying out with the requirements for its future use. And the equipment validation with 91 % efficiency.

It is concluded that the equipment fulfills with the solvent recovery function (Hexane) in the used-oil distillation.

It is recommended that the oil be stored properly at lubricators in order to avoid mixing oil with other substances contaminating and alter its composition, becoming difficult its purification.

## INTRODUCCIÓN

Un aceite lubricante es un líquido usado para disminuir la fricción entre dos superficies, éstos son utilizados en el interior de los motores donde las condiciones de operación hacen que después de cierto período de uso se degraden en compuestos cuyas características no permiten su utilización como lubricantes.<sup>1</sup>

En el mundo han hecho su aparición en los últimos años, nuevos procesos y tecnologías que permiten la reutilización de los aceites usados, transformándolos en sustancias aptas para ser aprovechadas como materia prima en la elaboración de nuevos productos para la industria automotriz o como energéticos, permitiendo la minimización de contaminación al ambiente. Siendo este el objetivo principal del proyecto, la construcción de una torre de destilación para la purificación de estos aceites de forma tal que puedan volver a usarse como lubricantes.

La mayoría de los aceites usados también conocidos como aceites quemados conteniendo compuestos tóxicos, siendo estos los contaminantes principales del ambiente, considerados por el Ministerio del Ambiente en la Normativa Vigente del Acuerdo Ministerial N° 161, 142, 026 como un residuo especial y peligroso, dado su contenido en metales pesados, compuestos clorados, y su capacidad de contaminación al agua y suelo. Como tal, la normativa ambiental del TULAS y del RAOHE exige la adecuada gestión de los mismos.

El presente trabajo está orientado al diseño y construcción de un equipo de destilación para la purificación del aceite quemado procedente de vehículos. Siendo este un equipo de destilación moderno por las diversas características que posee como son: la alimentación continua, una camisa de vapor, una llave de purga de condensado, un sifón de descarga con válvula, haciéndolo un equipo que permitirá la separación de mezclas elevando el nivel de concentración del producto deseado.

---

<sup>1</sup> Aceite Lubricante <http://es.scribd.com/doc/261972/Recuperacion-o-reciclado-de-aceites-usados-de-motor>



La metodología que se empleó fue el muestreo aleatorio estratificado, consistió en tomar una muestra de aceite usado procedente de 2 lubricadoras, lavadoras o mecánicas de cada parroquia urbana de la ciudad de Riobamba, por el lapso de un mes obteniendo un total de 40 muestras. Luego se procedió a la caracterización del aceite usado de acuerdo a las normas establecidas INEN y ASTM, y al tratamiento para la purificación del mismo mediante procesos físico-químicos. Se identificó las variables de proceso para realizar el diseño del equipo mismo que cumple con todos los requerimientos necesarios para su implementación.

Se ejecutó la construcción de la torre de destilación para la purificación del aceite usado, permitiendo reforzar los conocimientos en destilación, realizando prácticas para de esta manera tengas una visión más clara sobre esta Operación Unitaria que se realiza a nivel industrial. Al igual con la validación del mismo se determinó que posee un rendimiento del 78% en la recuperación de solvente y una eficiencia del 91%.

La Escuela de Ingeniería Química a través de estudios brinda solución a los problemas generados por el sector productivo, que mediante la construcción de este equipo se disminuirá los costos de producción y la recuperación del solvente empleado que será reutilizado en el proceso.

## ANTECEDENTES

La demanda mundial de aceites lubricantes llega aproximadamente a 40 millones de toneladas al año. En los Estados Unidos se consumen unos 7,6 millones de toneladas al año de lubricantes, en Japón 2,2 millones, en la Unión Europea 4,7 millones. A nivel mundial hay dos tendencias: la utilización como combustible industrial, denominada “valorización energética” y la regeneración o conocida como “re-refinación”.

En el país la destilación principalmente se utiliza para extraer los diferentes derivados del petróleo mediante destilación fraccionada así como para destilar gran variedad de bebidas alcohólicas las cuales sirven tanto para el consumo de la población como para usos industriales.

En el Ecuador se consume aproximadamente 20 millones de galones de aceite lubricante, el 60% del aceite lubricante se destinó al consumo de automotores y el 40% a empresas marítimas e industrias.

En la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo se desarrollaron estudios relacionados con el proceso de destilación entre ellas se tiene: Diseño y Construcción de una Torre de Destilación de Multicomponentes, Diseño de una Torre de Relleno para Mezclas Binarias, Diseño y Construcción de una Torre de Destilación con Rectificación para la Purificación del Thinner Usado procedente de las Mecánicas Automotrices realizado por Sandra Adriano y Verónica Valle en el 2012; contribuyendo así a una mejora continua de proyectos tecnológicos en el laboratorio de Operaciones Unitarias para tener una visión más amplia en el ámbito industrial.

## JUSTIFICACIÓN

La Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Facultad de Ciencias, Escuela de Ingeniería Química cuenta con un Laboratorio de Operaciones Unitarias con tecnología que no está acorde con el avance tecnológico que existe en la actualidad, de tal manera que se ha visto la necesidad de contar con equipos didácticos en las áreas de Operaciones Unitarias y de Petróleos, permitiendo al estudiante de la Escuela de Ingeniería Química estar al nivel de las exigencias del sector productivo de nuestro país que se encuentra en un proceso de adquisición y desarrollo tecnológico.

La Escuela de Ingeniería Química no dispone con suficientes recursos para implementar con equipos el Laboratorio de Operaciones Unitarias y Petróleos, es conveniente que por medio de trabajos de investigación realizados por los estudiantes se implementen estos equipos, que permitirá a los mismos tener una mejor formación académica y profesional en estas importantes áreas.

A nivel nacional, gran parte del aceite lubricante usado de automotores se recupera en un mercado informal; y parcialmente de manera planificada y controlada en las ciudades de Quito, Cuenca e Ibarra, a través de gestores concesionados por el Ministerio del Ambiente y Gobiernos Seccionales. Sin embargo los desechos sólidos tales como, filtros, envases metálicos y plásticos y textiles impregnados de residuos aceitosos, en su totalidad son depositados al relleno sanitario en el mejor de los casos y en su mayoría en los botaderos de basura locales, provocando degradación de la flora y fauna de los efluentes y ríos Chibunga y Chambo, que son cuerpos hídricos que reciben las aguas residuales de la ciudad de Riobamba.

Esta investigación ayudó a conocer la gran cantidad de desechos tóxicos que contienen los aceites usados, en este estudio se determinó que se producen aproximadamente 15 litros semanales, esta producción dependerá de la demanda de trabajo de cada sitio. Los costos económicos de este trabajo son altos debido a que es una torre con platos y un sistema moderno en comparación con las torres de destilación existente en el laboratorio, al igual que el precio del producto destilado por cumplir los parámetros establecidos.

El Municipio de la ciudad de Riobamba con la ayuda de la Asociación de Lubricadoras y Lavadoras se encuentran interesados en realizar estudios para el almacenamiento y disposición final de los aceites usados disminuyendo así el impacto ambiental generado y conseguir la documentación necesaria para que estos talleres puedan calificar y obtener licencias ambientales emitidas por el Ministerio del Ambiente. Para encontrar solución a la problemática se realizó el diseño y construcción de un equipo de destilación para la purificación del aceite usado y de esta manera dar solución a los problemas ambientales de estos aceites generados en estos talleres, obteniendo la recuperación del solvente y un aceite que cumpla los requisitos establecidos en la NTE INEN 2029:1995.

## **OBJETIVOS**

### **GENERAL**

Realizar el diseño y construcción de un equipo de destilación para la purificación del aceite quemado procedente de vehículos.

### **ESPECÍFICOS**

- Cuantificar las lubricadoras, mecánicas y lavadoras de vehículos
- Efectuar la caracterización del aceite quemado de vehículos procedentes de varias lubricadoras que se encuentran en diferentes sectores de la ciudad de Riobamba.
- Identificar las variables del proceso.
- Realizar los cálculos de ingeniería para el dimensionamiento del equipo.
- Construir el equipo.
- Validar el equipo.

### **HIPÓTESIS**

Con el diseño y construcción de un equipo de destilación para la purificación del aceite usado, se obtendrá un aceite lubricante con las características adecuadas para el uso en las industrias automotrices, así también se ayuda al medio ambiente con la disminución de estos residuos peligrosos.

# CAPÍTULO I

## 1. MARCO TEÓRICO

El funcionamiento de las máquinas se produce por el movimiento de pistones, el cual, hace su recorrido dentro del motor produciendo rozamiento. Se tiene en cuenta que un pistón está compuesto por metal y que su velocidad es muy alta, tendremos que establecer entonces un líquido, un fluido para “amortiguar” el rozamiento entre el pistón y su alrededor.

El rozamiento contribuye con el desgaste de los metales siendo este uno de los problemas, ya que si estos se rozan continuamente a grandes velocidades, en corto plazo este perderá volumen y por lo tanto presión (fundamental) dentro de la cámara de combustión de un motor.

Por otro lado, el rozamiento produce altas temperaturas las cuales llevan a la dilatación de los metales, que culminan en la disminución de “agarre” ente el pistón y su alrededor. Para solucionar este problema se utiliza un importante derivado del petróleo: el aceite. El mismo que se usa como lubricante y encuentra en su composición química hidrocarburos de entre 20 y 70 átomos de carbono (por ejemplo,  $C_{20}H_{42}$ ).

La utilización de los aceites lubricantes pueden lidiar con estos problemas dentro de un motor ya que se utilizan tanto como refrigerantes (no es que contengan bajas temperaturas sino que con su temperatura ambiente ya aportan refrigeración) al igual que como

lubricantes entre las piezas metálicas. Los mismos, surgen de la destilación y su punto de ebullición ronda los 370 °C o más. Estos aceites se los obtiene mediante tratamientos con vapor y vacío.

## **1.1. LUBRICANTE**

Un lubricante es una sustancia que se interpone entre dos superficies (una de las cuales o ambas se encuentran en movimiento), a fin de disminuir la fricción y el desgaste. Los aceites lubricantes, en general, están formados por una base más aditivos.<sup>2</sup>

### **1.1.1. PROPIEDADES DE LOS LUBRICANTES**

#### **1.1.1.1. FUNCIONES DE LOS LUBRICANTES**

Cabe destacar las siguientes:

- a) Facilitar el movimiento:
  - Reduciendo el desgaste.
  - Reduciendo el consumo energético.
- b) Refrigerar componentes.
- c) Transmitir la potencia.
- d) Proteger de la corrosión.
- e) Mejorar la estanqueidad.
- f) Evacuar las impurezas.<sup>3</sup>

---

<sup>2</sup>Lubricante [http://www.nufarm.com/Assets/909/1/MSDS\\_AceiteParafinico.pdf](http://www.nufarm.com/Assets/909/1/MSDS_AceiteParafinico.pdf)

<sup>3</sup>Función de los lubricantes [http://www.nufarm.com/Assets/909/1/MSDS\\_AceiteParafinico.pdf](http://www.nufarm.com/Assets/909/1/MSDS_AceiteParafinico.pdf)

### **1.1.1.2. CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES**

Las características principales de los lubricantes son:

#### **1.1.1.2.1. Viscosidad**

Es la propiedad más importante que tienen los aceites y se define como la resistencia de un fluido a fluir. Es un factor determinante en la formación de la película lubricante.

Como medida de la fricción interna actúa como resistencia contra la modificación de la posición de las moléculas al actuar sobre ellas una tensión de cizallamiento. El concepto de viscosidad cinemática proviene de relacionar los conceptos de viscosidad dinámica y de densidad. Su definición para un determinado fluido es:

$$\text{Viscosidad Cinemática} = \text{Viscosidad Dinámica} / \text{Densidad} \quad \text{Ec. 1.1.1.2.1-1}$$

Dónde:

$$\mu = \text{viscosidad dado en St o cSt} = \text{cm}^2 / \text{segundo}$$

La viscosidad es una de las propiedades más importantes de un aceite lubricante. Es uno de los factores responsables de la formación de la capa de lubricación, bajo distintas condiciones de espesor de esta capa.

La viscosidad afecta la generación de calor en rodamientos, cilindros y engranajes debido a la fricción interna del aceite. Esto afecta las propiedades sellantes del aceite y la velocidad de su consumo. Determina la facilidad con la que las máquinas se pueden poner en funcionamiento a varias temperaturas, especialmente a las bajas. La operación satisfactoria



de una dada pieza de un equipo depende fundamentalmente del uso de un aceite con la viscosidad adecuada a las condiciones de operación esperadas.

#### **1.1.1.2.2. Índice de Viscosidad**

El índice de viscosidad (IV) es un método que adjudica un valor numérico al cambio de la viscosidad de temperatura.

Un alto índice de viscosidad indica un rango relativamente bajo de viscosidad con cambios de temperatura y un bajo índice de viscosidad indica un alto rango de cambio de viscosidad con la temperatura.

En otras palabras, si un aceite de alto índice de viscosidad y un aceite de bajo índice de viscosidad tienen la misma viscosidad a temperatura ambiente, a medida que la temperatura aumenta el aceite de alto IV se adelgazará menos, y por consiguiente, tendrá una viscosidad mayor que el aceite de bajo IV a temperaturas altas.

Como orientación podemos facilitar los siguientes índices de viscosidad:

**CUADRO 1.1.1.2.2-1**  
**ÍNDICE DE VISCOSIDAD**

Aceites nafténicos sin aditivos	60 a 65
Aceites parafínicos sin aditivos	90
Aceites sintéticos sin aditivos	150
Aceites sintéticos con aditivos	220

**Fuente:** [http://www.nufarm.com/Assets/909/1/MSDS\\_AceiteParafinico.pdf](http://www.nufarm.com/Assets/909/1/MSDS_AceiteParafinico.pdf)

#### **1.1.1.2.3. Punto de Fluides**

El punto de fluides de un aceite lubricante es la mínima temperatura a la cual este fluye sin ser perturbado bajo la condición específica de la prueba. Los aceites contienen ceras disueltas que cuando son enfriados se separan y forman cristales que se encadenan formando una estructura rígida atrapando al aceite entre la red. Cuando la estructura de la cera está lo suficientemente completa el aceite no fluye bajo las condiciones de la prueba. La agitación mecánica puede romper la estructura cerosa, y de este modo tener un aceite que fluye a temperaturas menores a su punto de fluides.

En ciertos aceites sin ceras, el punto de fluides está relacionado con la viscosidad. En estos aceites la viscosidad aumenta progresivamente a medida que la temperatura disminuye hasta llegar a un punto en que no se observa ningún flujo existente.

#### **1.1.1.2.4. Cenizas Sulfatadas**

Las cenizas sulfatadas de un aceite lubricante es el residuo en porcentaje que permanece una vez quemada una muestra de aceite. El residuo inicial es tratado con ácido sulfúrico y se quema el residuo tratado. Es una medida de los componentes no combustibles (usualmente materiales metálicos) que contiene el aceite.

Aceites minerales puros no contienen materiales que forman cenizas. Gran cantidad de los aditivos (los cuales se utilizan para mejorar las propiedades del aceite) utilizados en aceites lubricantes contienen componentes metalo-orgánicos los cuales forman un residuo en la prueba de cenizas sulfatadas de tal manera que la concentración de estos componentes es

aproximadamente indicada por la prueba. Por consiguiente, durante la fabricación, la prueba es un método de asegurarse que los aditivos han sido incorporados.

Con aceites usados, un incremento de cenizas sulfatadas usualmente indica la presencia de contaminantes tales como polvo, suciedad, partículas de desgaste y posiblemente contaminantes.

#### **1.1.1.2.5. Punto de Inflamación y Fuego**

El punto de inflamación es la temperatura a la cual el aceite desprende suficientes vapores que se inflaman cuando una llama abierta es aplicable.

Cuando la concentración de vapores en la superficie es lo suficientemente grande a la exposición de una llama, resultará fuego tan pronto como los vapores se enciendan. Cuando una prueba de este tipo es realizada bajo ciertas condiciones específicas, la temperatura a la cual esto sucede se denomina Punto de inflamación. La producción de vapores a esta temperatura no son lo suficiente para causar una combustión sostenida y por ende, la llama desaparece. Sin embargo, si el calentamiento continúa se obtendrá una temperatura a la cual los vapores serán liberados lo suficientemente rápido para soportar la combustión. Esta temperatura se denomina Punto de fuego o Combustión.

El punto de inflamación de aceites nuevos varia con viscosidad – aceites de alta viscosidad tiene altos puntos de inflamación. Estos puntos están también afectados por el tipo de crudo. Aceites nafténicos tienen menores puntos de inflamación que aceites parafínicos de viscosidad similar.

Consejos para el usuario: la utilización de un aceite de bajo punto de inflamación (alta volatilidad) a altas temperaturas, puede generar un alto consumo de aceite. En la inspección de un aceite usado, una reducción significativa en el punto de inflamación indica contaminación del aceite.

#### **1.1.1.2.6. Índice de Neutralización y Saponificación**

El índice de neutralización de un lubricante es la cantidad en miligramos de hidróxido de potasio necesarios para neutralizar el ácido libre contenido en gramo de aceite a la temperatura ambiente. El índice de saponificación (Is) indica la cantidad en miligramos de hidróxido de potasio necesarios para la saturación de los ácidos libres y combinados obtenidos en un gramo de aceite, es decir para la neutralización de los ácidos y la saturación de los ésteres.

#### **1.1.1.2.7. Índice de Alquitrán y de Alquitrización**

Índice de alquitrán es la cantidad de sustancias alquitranosas en valores porcentuales de un aceite. El índice de alquitrización se usa en procesos de envejecimiento artificial para establecer la predisposición del aceite a formar sustancias alquitranosas a temperaturas elevadas y en contacto con el aire. En aceites en uso, se comprueba con ello su grado de desgaste o envejecimiento.

#### **1.1.1.2.8. Emulsionabilidad del Aceite**

Una de las propiedades más importantes de los lubricantes para cilindros y turbinas a vapor, es la de su tendencia a formar emulsiones o mezclas intensas y duraderas con el agua.

#### **1.1.1.2.9. Untuosidad**

Es la capacidad del lubricante de llegar a formar una película de adherencia y espesor entre dos superficies deslizantes, quedando suprimido el rozamiento entre ellas.

Esta propiedad se analiza de diferentes maneras; mediante el estudio de la tensión superficial, la capilaridad, los ángulos límites, las mediciones de absorción y de adhesión, etc. Con el estudio de la física molecular de los lubricantes, según la capacidad de establecer el film de lubricante entre dos superficies, cabe distinguir entre rozamiento líquido y semilíquido. El rozamiento líquido es el caso de la lubricación eficiente, en el que no existe rozamiento entre las superficies sino entre las partículas.

#### **1.1.1.3. BASE LUBRICANTE**

Los aceites lubricantes están constituidos por una base lubricante la cual provee las características lubricantes primarias. La base lubricante puede ser base lubricante mineral (proveniente del petróleo crudo), base lubricante sintético o aceite base lubricante vegetal según la aplicación que se le va a dar al aceite.<sup>4</sup>

Actualmente se utilizan como aceites lubricantes en los motores térmicos tres tipos o clases de aceites que se diferencian entre sí por su origen:

- Aceites Minerales
- Aceites Sintéticos
- Aceites Semisintéticos

---

<sup>4</sup>Base Lubricante <http://www.monografias.com/trabajos17/biodegradacion-aceites/biodegradacion-aceites.shtml>

### 1.1.1.3.1. Aceites Minerales

Los **aceites de origen mineral** son aquellos que proceden de la destilación fraccionada del petróleo crudo, y son elaborados a través de múltiples procesos en las refinerías, de los que se obtienen productos adecuados para formar el aceite base. Pueden ser agrupados en los siguientes conjuntos:

**Aceites Parafínicos:** Constituidos por una cadena lineal saturada:

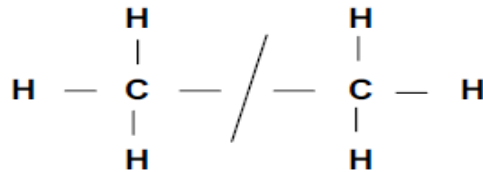


Fig. 1.1.1.3.1-1 Estructura de los Aceites Parafínicos

**Aceites Nafténicos:** Constituidos por una cadena cíclica saturada:

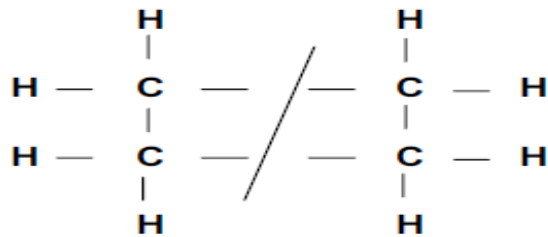


Fig. 1.1.1.3.1-3 Estructura de los Aceites Nafténicos

**Aceites Aromáticos:** Constituidos por una cadena cíclica insaturada:

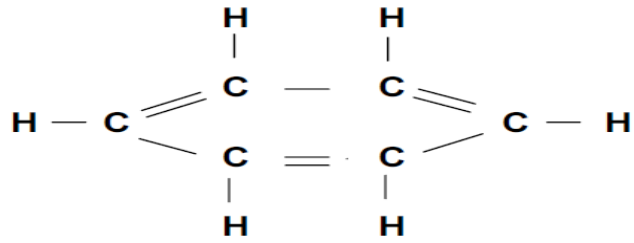


Fig. 1.1.1.3.1-4 Estructura de los Aceites Aromáticos

El aceite base más utilizado está formado por la mezcla de todos ellos en distinta proporción, predominando los aceites de tipo parafínico con un 75% de su composición y un 25% de nafténicos y aromáticos. No suelen utilizarse aceites base de tipo nafténico. No obstante, durante el proceso de obtención se eliminan los componentes aromáticos debido a que sus características los hacen inapropiados para la lubricación.

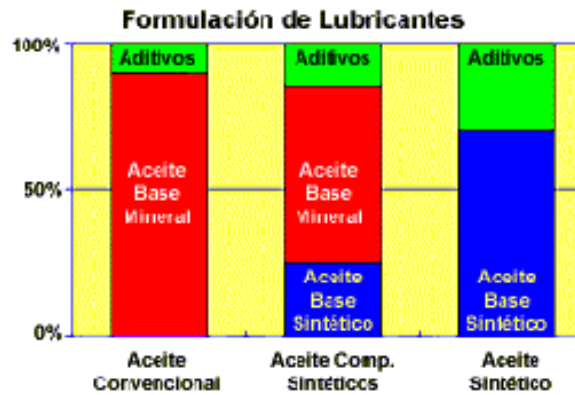


Fig. 1.1.1.3.1-6 Formulación de Lubricantes

El componente que define el aceite es la base, pues los aditivos se deterioran fácilmente con el tiempo y, además, en ocasiones presentan incompatibilidades con los materiales usados.

El principal inconveniente que presentan los aceites minerales es que se obtienen por la destilación fraccionada del petróleo, estando formados por un conjunto de cadenas de diferente longitud (distinto número de átomos de carbono). Durante el ciclo de trabajo, las cadenas más cortas (hidrocarburos más volátiles) se vaporizan con mayor facilidad, con lo que tiende a aumentar la viscosidad del fluido restante, lo que originará una mala lubricación de la máquina.

#### **1.1.1.3.2. Aceites Sintéticos**

Los **aceites sintéticos** son productos que no proceden del petróleo, son creados por subproductos petrolíferos combinados en procesos de laboratorio, mediante un proceso de sinterización con complejas reacciones químicas para modificar la estructura molecular de sus componentes. Tras pruebas y estudios se obtiene un compuesto con mejores propiedades que los aceites minerales. Su elaboración es más larga y compleja, por lo que en el mercado son más caros.

#### **1.1.2. ADITIVOS**

El aceite base debe estar acompañado de aditivos o se degradará rápidamente, los aditivos son compuestos químicos que se adicionan a los aceites lubricantes para otorgarle propiedades específicas. Algunos aditivos otorgan nuevas y útiles propiedades a un lubricante, reducen la tasa a la cual ocurren algunos cambios indeseables en el aceite durante el funcionamiento. Los aditivos pueden tener efectos colaterales negativos, especialmente si su dosis es excesiva o si ocurren reacciones indeseables entre los aditivos.



### **1.1.2.1. PROPIEDADES GENERALES DE LOS ADITIVOS**

Los aditivos se incorporan a los aceites en muy diversas proporciones, desde partes por millón, hasta el 20 % en peso de algunos aceites de motor. Cada aditivo tiene una o varias misiones que cumplir.

Fundamentalmente, los aditivos persiguen los siguientes objetivos:

- Limitar el deterioro del lubricante a causa de fenómenos químicos ocasionados por razón de su entorno o actividad.
- Proteger a la superficie lubricada de la agresión de ciertos contaminantes.
- Mejorar las propiedades físico-químicas del lubricante o proporcionarle otras nuevas.

### 1.1.2.1.1. Clasificación de Aditivos

**CUADRO 1.1.2.1.1-1**

**CLASIFICACIÓN DE LOS ADITIVOS SEGÚN SUS PROPIEDADES**

<b>a) Propiedades físicas</b>	Viscosidad congelación	Mejorados del 1 y Depresor del punto de congelación
<b>b) Propiedades químicas</b>	Oxidaciones a baja y alta temperatura Corrosiones y herrumbre	Anti-oxidantes Anti-corrosivos Anti-herrumbre
<b>c) Propiedades físico-químico</b>	Detergentes dispersantes y antioxidantes Aditivos de extrema presión para engranajes Antiespumantes Emulgentes	Detergentes y antioxidantes o multifuncionales (HO) De untuosidad, anticorrosivos y de E. Contra formación de espuma. Emulsionantes <sup>5</sup> .

Fuente: [http://html.monografia.com/lubricantes\\_3.html](http://html.monografia.com/lubricantes_3.html)

<sup>5</sup>Clasificación de los Aditivos [http://html.rincondelvago.com/lubricantes\\_3.html](http://html.rincondelvago.com/lubricantes_3.html)

**CUADRO 1.1.2.1.1-2**

**COMPOSICIÓN DE UN ACEITE USADO SEGÚN EL HIDROCARBURO BASE Y LOS TIPOS DE ADITIVOS**

<b>Composición Media de un Aceite Lubricante</b>		
<b>Tipo de sustancia</b>	<b>Hidrocarburos</b>	<b>Porcentaje (en peso)</b>
Parafinas	Alcanos	45-76%
Naftenos	Cicloalcanos	13-45%
Aromáticos	Aromáticos	10-30%
<b>Aditivos (15 - 25%)</b>		
Antioxidantes	Ditiofosfatos, fenoles, aminas	
Detergentes	Sulfonatos, fosfonatos, fenolatos (de bario, magnesio, zinc, etc.)	
Anticorrosivos	Ditiofosfatos de zinc y bario, Sulfonatos	
Antiespumantes	Siliconas, polímeros sintéticos	
Antisépticos	Alcoholes, fenoles, compuestos clorados	

Fuente: <http://www.monografias.com/trabajos17/biodegradacion-aceites/biodegradacion-aceites.shtml>

### **1.1.3. CLASIFICACIÓN DE LOS ACEITES LUBRICANTES**

Los aceites lubricantes para motores a gasolina se pueden clasificar de acuerdo a dos criterios generales:

- Según su viscosidad (SAE) y
- Según requerimientos industriales (API).

#### **1.1.3.1. API**

Los aceites de motor son clasificados por el Instituto Americano del Petróleo (API) para definir el tipo del servicio para el que son aptos. Esta clasificación aparece en el envase de todos los aceites y consta de 2 letras: La primera letra determina el tipo de combustible del motor para el que fue diseñado el aceite, utilizándose una "S" para motores a gasolina y una "C" para motores diésel. La segunda letra determina la calidad del aceite donde mayor es la letra (en el alfabeto) mejor es la calidad del aceite.<sup>6</sup>

- Los cuales son: SA, SB, SC, SD, SE, SF, SG, SH, SJ.
- Con la letra C “Comercial “que son aceites para motores diésel y una segunda letra que se refiere al año, al tipo de operación y al diseño.
- Los cuales son CA, CB, CC, CD, CD-II, CE, CF, CF-2, CF-4, CG-4
- Las letras GL que son para aceites de transmisión y diferenciales:
- Los cuales son: GL-1, GL-2 , GL-3 , GL-4 , GL-5

---

<sup>6</sup> Clasificación API <http://www.fullcoches.com/foro/seccion-tecnica/1647-clasificacion-de-los-tipos-de-aceite-para-motor.html>

### 1.1.3.1.1. Clasificación API

**CUADRO 1.1.3.1.1-1**  
**SISTEMA DE CLASIFICACIÓN API PARA ACEITES DE MOTOR**  
**“ S ” SPARK COMBUSTION**

<b>SÍMBOLO</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>
SA	Antigüedad para servicios de motores a gasolina Diésel
SB	Para servicio en motores a gasolina de trabajo ligero
SC	Para servicio de mantenimiento por garantía en motores a gasolina modelo 1968
SD	Para servicio de mantenimiento por garantía en motores a gasolina modelo 1970
SE	Para servicio de mantenimiento por garantía en motores a gasolina modelo 1972
SF	Para servicio de mantenimiento por garantía en motores a gasolina modelo 1980
SG	Para servicio de mantenimiento por garantía en motores a gasolina modelo 1989
SH	Para servicio de mantenimiento por garantía en motores a gasolina modelo 1993

**Fuente:** <http://www.fullcoches.com/foro/seccion-tecnica/1647-clasificacion-de-los-tipos-de-aceite-para-motor.html>

**CUADRO 1.1.3.1.1-2****“ C ” COMBUSTIÓN BY COMPRESIÓN**

<b>SÍMBOLO</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>
CA	Para servicio de motores diésel de trabajo ligero, combustible de alta calidad
CB	Para servicio de motores diésel de trabajo ligero, combustible de baja calidad
CC	Para servicio de motores diésel y gasolina
CD	Para servicio de motores diésel
CDII	Para servicio de motores diésel de 2 tiempos
CE	Para servicio de motores diésel de trabajo pesado
CF-4	Para servicio en motores diésel de trabajo pesado de 4 tiempos
CF	Para servicio típico de motores diésel de 4 tiempos de inyección
CF2	Para servicio de motores diésel de 2 tiempos
CG-4	Para servicio de motores diésel 4 tiempos de alta velocidad

**Fuente:** <http://www.fullcoches.com/foro/seccion-tecnica/1647-clasificacion-de-los-tipos-de-aceite-para-motor.html>

### CUADRO 1.1.3.1.1-3

#### CLASIFICACIÓN API PARA ACEITES DE TRANSMISIÓN Y DIFERENCIAL

SÍMBOLO	DESCRIPCIÓN
API GL-1	Especifica el tipo de servicio característico de ejes, automotrices, sinfín, cónico espiral y algunas transmisiones anuales
API GL-2	Especifica el tipo característico de ejes que operan bajo condiciones de carga
API GL-3	Especifica el tipo de servicio característico de transmisiones manuales y ejes que opera bajo condiciones moderadamente severas de velocidad
API GL-4	Especifica el tipo de servicio característico de engranajes en automóviles y otros equipos bajo condición de alta velocidad
API GL-5	Especifica el tipo de servicio característico de engranajes hipoidales en automóviles y otros equipos bajo condiciones de alta velocidad de carga de impacto de alta velocidad.

Fuente: <http://www.fullcoches.com/foro/seccion-tecnica/1647-clasificacion-de-los-tipos-de-aceite-para-motor.html>

#### 1.1.3.2. SAE

La Sociedad de Ingenieros Automotrices (SAE) también clasifica los aceites según su grado de viscosidad. La viscosidad es la resistencia que ofrece un líquido (o gas) a fluir y depende enormemente de la temperatura. En esta clasificación los números bajos indican baja viscosidad de aceite o bien aceites "delgados" como comúnmente se les conoce y número altos indican lo opuesto.

La SAE clasifica los aceites de motor de acuerdo con su viscosidad, en:

UNIGRADOS los cuales son: SAE 40, SAE 50

MULTIGRADOS los cuales son: SAE 20W-40, SAE 20W-50, SAE 15W-40.

Los aceites multigrados brindan mayores beneficios:

- Facilitan el arranque en frío del motor protegiéndolo contra el desgaste.
- Su viscosidad se mantiene estable a diferentes temperaturas de operación.
- Ahorran en consumo de combustible y aceite.



### 1.1.3.2.1. Clasificación SAE

**CUADRO 1.1.3.2.1-1**  
**CLASIFICACIÓN DE VISCOSIDADES EN ACEITES**  
**PARA MOTOR SAE**

<b>CLASIFICACIÓN DE VISCOSIDADES EN ACEITES</b>					
<b>PARA MOTOR SAE J 300 DIC. 99</b>					
	<b>Grado viscosidad SAE</b>	<b>°C C.C.S. Viscosidad cP Max.</b>	<b>° C Bombeo Viscosidad cP Max.</b>	<b>Viscosidad Dinámica cSt Max.</b>	<b>HT/ HS AT/ AC VISV. cP A 150 °C</b>
<b>Viscosidad a Baja Temperatur a</b>	0 W	6200 a – 35	60000 a – 40	3,8 –	-
	5 W	6600 a – 30	60000 a – 35	3,8 -	-
	10 W	7000 a – 25	60000 a – 30	4,1 –	-
	15 W	7000 a – 20	60000 a – 25	5,6 –	-
	20 W	9500 a – 15	60000 a – 20	5,6 –	-
	25 W	1300 a – 10	60000 a – 15	9,3 –	-
<b>Viscosidad a Alta Temperatur a</b>	20	-	-	5,6 – 9,3	2,6
	30	-	-	9,3 – 12,5	2,9
	40	-	-	12,5 – 16,3	2,9
	40	-	-	12,5 – 16,3	3,7
	50	-	-	16,3 – 21,9	3,7
	60	-	-	21,9 – 16,1	3,7

**Fuente:** <http://www.fullcoches.com/foro/seccion-tecnica/1647-clasificacion-de-los-tipos-de-aceite-para-motor.html>

### **1.1.3.3. EN CUANTO A GRADO DE VISCOSIDAD**

Se refiere a que existen 2 tipos de aceites:

#### **1.1.3.3.1. Monogrados**

Diseñados para trabajar a una temperatura específica o en un rango muy cerrado de temperatura. En el mercado se pueden encontrar aceites monogrado SAE 10, SAE 30, SAE 40, entre otros.

#### **1.1.3.3.2. Multigrados**

Diseñados para trabajar en un rango más amplio de temperaturas, en donde a bajas temperaturas se comportan como un monogrado de baja viscosidad (SAE 10 por ejemplo) y como un monogrado de alta viscosidad a altas temperaturas (SAE 40 por ejemplo). Los aceites multigrados están formados por una aceite base de baja viscosidad así como de aditivos (polímeros) que evitan que el aceite pierda viscosidad al calentarse.

Esto permite a los aceites multigrados trabajar en un rango muy amplio de temperatura manteniendo las propiedades necesarias para proteger el motor. En el mercado podemos encontrar aceites multigrados SAE 5W-30, SAE 15W-40, SAE 20W-50, entre otros. Aquellos aceites que cumplen los requerimientos de viscosidad a bajas temperaturas (bajo 0 °C) se les designan con la letra "W" que indica invierno (Winter).

### **1.1.4. ACEITES USADOS**

El aceite usado es un desecho que se genera con bastante frecuencia en establecimientos industriales, mineros y del sector transporte entre otros, una vez que este producto cumplió

su ciclo (vida útil) debe ser dispuesto de manera adecuada para no generar problemas a la salud de la población y al medio ambiente.

#### **1.1.4.1. DEFINICIONES**

##### **1.1.4.1.1. Aceite Usado es**

- Aceite sintético—Derivado generalmente de carbón, de esquisto bituminoso o de un material con una base polimérica
- Aceite de motor—Incluye típicamente aceites del cárter de los motores a gasolina y diésel y aceite para los pistones de automóviles, camiones, barcos, aviones, locomotoras y maquinaria pesada
- Líquido para la transmisión
- Aceite de refrigeración
- Aceite para compresores
- Fluidos y aceites de la industrias metalúrgica
- Aceites para laminar
- Líquidos hidráulicos industriales
- Soluciones para el trefilado de cobre y aluminio
- Aceite de aislamiento eléctrico
- Aceites de procesos industriales
- Aceites utilizados como medio de flotación.

#### **1.1.4.1.2. Aceite usado no es**

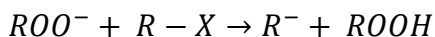
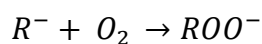
- El aceite de desecho resultante de los depósitos en el fondo de los tanques de almacenamiento de combustible virgen, de la limpieza de derrames de combustible virgen y otros desechos de aceite que no hayan sido utilizados
- Algunos productos como anticongelante y queroseno
- Aceite vegetal y animal, aun cuando se usen como lubricantes
- Destilados del petróleo usados como disolventes.

Después de su uso, el aceite lubricante adquiere concentraciones elevadas de metales pesados producto principalmente del desgaste del motor o maquinaria que lubrico y por contacto con combustibles. Además, se encuentran con frecuencia solventes clorados en los aceites usados, provenientes del proceso de refinación del petróleo. Dentro de los solventes que principalmente figuran son tricloroetano, tricloroetileno y percloroetileno. La presencia de solventes clorados junto con altas concentraciones de algunos metales pesados constituyen la principal preocupación de los aceites usados.

Los aceites lubricantes sufren una descomposición luego de cumplir con su ciclo de operación y por esto es necesario reemplazarlo. Posterior al uso de un aceite queda hollín en el interior, siendo este una parte de hidrocarburo parcialmente quemado que existe como partícula individual en el aceite, los tamaños de estas partículas varían de 0,5 a 1,0 micras y se encuentran muy dispersas por lo cual es muy difícil filtrarlas.

Durante la combustión en el interior de los motores algunos materiales en el combustible, como el sulfuro, pueden convertirse en ácidos fuertes, estos se condensan en las paredes del

cilindro llegando al aceite, el cual transporta los ácidos a las paredes de los cilindros y desgastan estas piezas metálicas. La descomposición de los aceites de motor se debe a una reacción de oxidación. La oxidación de los hidrocarburos en fase líquida algunas veces es una reacción de radicales en cadena. En el motor la oxidación se produce muy rápido, en particular por la elevada temperatura que alcanzan las piezas próximas a la cámara de combustión.<sup>7</sup>



Rx 1.1.4.1.2-1 Reacción de oxidación de los Hidrocarburos en el Aceite

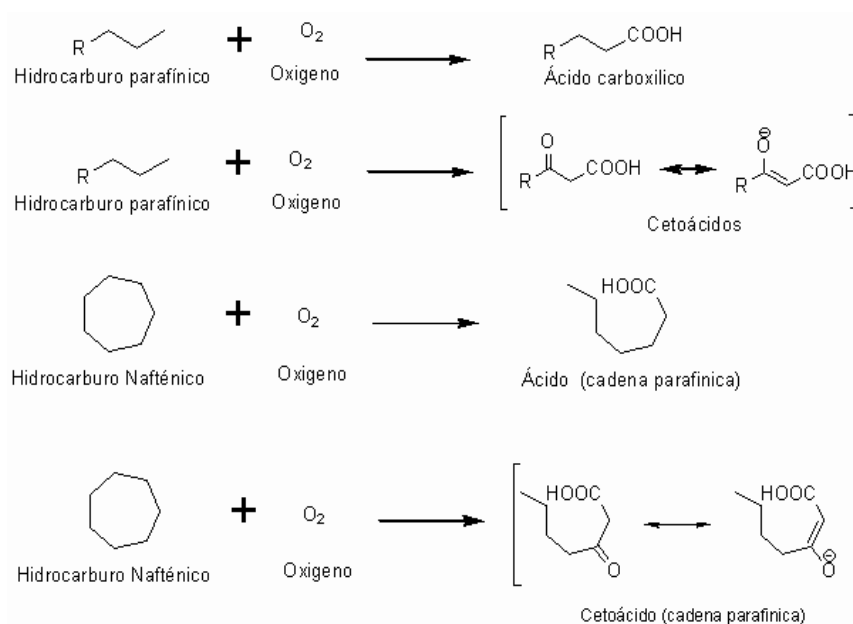
Los hidrocarburos parafínicos se oxidan por los extremos de la cadena formando ácidos o cetoácidos corrosivos (pasando por los correspondientes productos intermedios).

Con los hidrocarburos nafténicos se rompe la cadena y ocurre un proceso análogo al de los hidrocarburos parafínicos.

Los hidrocarburos aromáticos se oxidan con más facilidad que los parafínicos y los nafténicos, a causa de la sensibilidad del hidrógeno unido a un carbono de una cadena lateral próxima al ciclo aromático.

---

<sup>7</sup>Aceite usado no es <http://es.scribd.com/doc/44362936/aceites-usados>



Rx 1.1.4.1.2-2 Reacciones que ocurren en los Hidrocarburos Parafínicos y en los Nafténicos

## 1.1.4.2. FACTORES DE DETERIORO

En condiciones ideales de funcionamiento no habría necesidad de cambiar un aceite lubricante, la base lubricante no se gasta, se contamina y los aditivos son los que soportan las críticas condiciones de funcionamiento.

La naturaleza de las partículas extrañas se contaminan, el lubricante varía de acuerdo con el tipo de trabajo del mecanismo. Diversos factores como la temperatura y el estado son los factores más influyentes para el deterioro del aceite.

### 1.1.4.2.1. Temperatura de Operación

Los lubricantes derivados del petróleo son hidrocarburos, estos se descomponen cuando están sometidos a altas temperaturas, esto hace que el aceite se oxide o se polimerice. Un aceite descompuesto de esta manera puede presentar productos solubles o insolubles, los

productos solubles por lo general, son ácidos que forman emulsiones estables en presencia de agua y que atacan químicamente las superficies metálicas, principalmente cuando son de plomo o de cobre – plomo, si la concentración de estos ácidos aumentan considerablemente no pueden ser inhibidos por los aditivos antioxidantes y anticorrosivos, formando lodos que dan lugar a los productos insolubles. Si estos productos no se eliminan del aceite pueden deteriorar las superficies metálicas que lubrican o taponan las tuberías de conducción del mismo.

A temperatura ambiente el aceite puede mostrar algún grado de deterioro, el cual no incide apreciablemente en su duración, a temperaturas menores de 50 °C la velocidad de oxidación es bastante baja como para no ser factor determinante en la vida del aceite. Mientras más baja sea la temperatura de operación, menores serán las posibilidades de deterioro.

#### **1.1.4.2.2. Productos Solubles**

Ácidos que forman emulsiones estables en presencia de agua y que atacan químicamente las superficies metálicas, principalmente cuando son de plomo o de cobre- plomo, si la concentración de estos ácidos aumenta considerablemente no pueden ser inhibidos por los aditivos antioxidantes y anticorrosivos, formando lodos que dan lugar a los productos insolubles.

#### **1.1.4.2.3. Agua**

Se encuentra principalmente en la condensación del vapor presente en la atmosfera o en algunos casos se debe a fugas en los sistemas de enfriamiento del aceite. El agua presente

en el aceite provoca emulsificación del aceite, o puede lavar la película lubricante que se encuentra sobre la superficie metálica provocando el desgaste de dicha superficie.

#### **1.1.4.2.4. Combustibles**

Se encuentra en los aceites debido a su paso hacia la cámara de combustión y de esta hasta el cárter, al interactuar con el aceite ocasionan una dilución del mismo.

#### **1.1.4.2.5. Sólidos y Polvo**

Se debe principalmente a empaques y sellos en mal estado, permitiendo que contaminantes menos frecuentes aunque igualmente perjudiciales son: tierra y partículas metálicas provenientes del desgaste de las piezas, hollín y subproductos de la combustión de combustibles líquidos.

### **1.1.5. CARACTERIZACIÓN**

Las pruebas establecidas que evalúan los aceites se pueden dividir en dos clases:

- Características físicas o químicas del lubricante: tales como viscosidad, índice de viscosidad, color, componentes, gravedad específica.
- Cualidades del lubricante en operación: observando y midiendo los efectos producidos en el motor durante un tiempo programado de prueba. Consiste en medir las propiedades más representativas que tienen los aceites lubricantes.

Es importante conocer la naturaleza y extensión del grado de contaminación o deterioro de dicho lubricante. La presencia de los diversos metales presentes en el interior del aceite usado es determinada usando absorción atómica. La presencia de cenizas es un indicativo



de la cantidad de aditivos presentes en el aceite usado, un alto porcentaje de estas implica una alta concentración de detergentes.

#### **1.1.5.1. CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS**

Dependiendo de la aplicación que se les vaya a dar, los aceites poseen composiciones muy variables, en todos los casos como consecuencia de su utilización se degradan perdiendo las cualidades que les hacían operativos, llegado este punto se hace necesaria su sustitución por otros nuevos, generándose un residuo que puede ser variable en cantidad y composición, dependiendo de la procedencia.

Su composición química presenta una serie de contaminantes como son: agua, azufre, compuestos clorados y metales pesados que determinan sus características tóxicas y peligrosas. La concentración de metales en un aceite usado se debe principalmente a desgastes producidos por rozamientos en las piezas móviles del motor.<sup>8</sup>

---

<sup>8</sup> Composición Aceite Usado [http:// 261972-Recuperacion-o-reciclado-de-aceites-usados-de-motor.pdf](http://261972-Recuperacion-o-reciclado-de-aceites-usados-de-motor.pdf)

### CUADRO 1.1.5.1-1

#### COMPOSICIÓN DE UN ACEITE USADO SEGÚN SU PROCEDENCIA

Composición Media de un Aceite Usado			
Contaminantes (ppm)	Aceites de Automoción		Aceite de Procedencia Industrial
	Motor Gasolina	Motor Diésel	
Cadmio	1,7	1,1	6,1
Cromo	9,7	2,0	36,8
Plomo	2,2	29,0	217,7
Zinc	951,0	332,0	373,3
Cloro Total	3600,0	3600,0	6100
PCB´s	20,7	20,7	957,2

**Fuente:** MARTÍN J./ MORENO P., ¿Qué se hace en España con los aceites usados? En: Ingeniería Química. Enero 1995, p. 115

Los productos de los aceites minerales pueden ser degradados por el uso de microorganismos. La pseudomonasputida y el geotrichiumcandidum puestos en una proporción de 5:1 hasta 1:1 degradan aceites usados provenientes de bases lubricantes minerales. La mezcla de estos microorganismos no es toxica, ni patológica para los humanos.

## **1.1.6. RESIDUOS PELIGROSOS**

### **1.1.6.1. Efectos Sobre la Salud**

Los efectos directos que pueden tener los aceites sobre la salud se pueden destacar los siguientes:

- ✓ Irritaciones del tejido respiratorio por la presencia de gases que contienen aldehídos, cetonas, compuestos aromáticos, etc.
- ✓ La presencia de elementos químicos como Cl (Cloro), NO<sub>2</sub> (dióxido de nitrógeno), SH<sub>2</sub> (ácido sulfhídrico), Sb (antimonio), Cr (Cromo), Ni (Níquel), Cd (Cadmio), Cu (Cobre) afectan las vías respiratorias superiores y los tejidos pulmonares.
- ✓ Producción de efectos asfixiantes, impidiendo el transporte de oxígeno, por contener monóxido de carbono, disolventes halogenados, ácido sulfhídrico, etc.
- ✓ Efectos cancerígenos sobre próstata y pulmón por presencia de metales como plomo, cadmio, manganeso, etc.<sup>9</sup>

### **1.1.6.2. Problemática Ambiental**

Dependiendo de la aplicación que se les vaya a dar, los aceites poseen composiciones muy variables, en todos los casos como consecuencia de su utilización se degradan perdiendo las cualidades que les hacían operativos, llegado éste punto se hace necesaria su sustitución por otros nuevos, generándose un residuo que puede ser variable en cantidad y composición, dependiendo de la procedencia.

---

<sup>9</sup> Efectos del Aceite Sobre la Salud

<http://148.204.71.28:8080/dspace/bitstream/123456789/196/1/Tesis%20Adalberto%20Jurado%20Hernandez.pdf>

Las características del aceite usado pueden variar dentro de un amplio margen dependiendo de la procedencia y aplicación del aceite, en general las contaminaciones tienen su origen en compuestos derivados de la degradación de los aditivos en subproductos de combustión incompleta, polvo, partículas metálicas o en contaminaciones exteriores por mal mantenimiento o mal almacenamiento del aceite (agua, disolventes, etc.).

Su composición química presenta una serie de contaminantes como son: Contaminación de tierras, ríos y mares por su baja biodegradabilidad. En contacto con el agua se produce una película que impide la circulación de oxígeno. La combustión incontrolada puede comportar emisiones a la atmósfera de gases con cloro, azufre, plomo, compuestos clorados y otros elementos como metales pesados, con los correspondientes efectos.

#### **1.1.7. RECUPERACIÓN Y RECICLADO DE ACEITES USADOS**

El aceite recuperado se debe emplear para condiciones de servicio menos críticas que aquellas en las que estaba sometido inicialmente.

Los aceites usados que se generan en el mundo son manejados en tres formas principales:

Rerefinadas (regeneración) en bases lubricantes para su posterior uso, destiladas a combustible diésel y comerciadas como combustible sin tratar (fueloil).

Antes de decidir cuál método se usara en la recuperación de un aceite usado es necesario conocer la composición química de dicho aceite (cuanto menor sea la calidad del aceite base en el aceite usado mayor será el precio y dificultad de su tratamiento), ya que el método de recuperación a elegir está íntimamente ligado a la composición química de un

aceite usado, en algunos casos el factor decisivo es la disposición de infraestructuras adecuadas.

#### **1.1.7.1. REGENERACIÓN**

Es la operación mediante la cual se obtienen de los aceites usados un nuevo aceite base comercializable. La mayoría de los aceites usados son regenerables, aunque en la práctica la dificultad y el costo hacen inviable la regeneración de aceites usados con alto contenido de aceites vegetales, aceites sintéticos, agua y sólidos. Un proceso de regeneración consta de tres fases.

##### **1.1.7.1.1. Pretratamiento:**

Consiste en eliminar una parte importante de los contaminantes del aceite usado, como son: el agua, los hidrocarburos ligeros, los lodos, las partículas gruesas, etc. Cada proceso emplea un método determinado o incluso una combinación de varios.

##### **1.1.7.1.2. Regeneración:**

En esta fase se eliminan los aditivos, metales pesados y fangos asfálticos. Éste punto es el paso principal de cada método, cada uno de ellos obteniendo al final un aceite libre de contaminantes con una fuerte coloración que lo hace inviable comercialmente, por esto es necesario incluir una última etapa de acabado.

#### **1.1.7.1.3. Acabado:**

Dependiendo del objetivo final del aceite dependerán los métodos usados en esta etapa. Dependiendo del proceso empleado pueden existir o no todas las fases.<sup>10</sup>

#### **1.1.7.2. PROCESO CONVENCIONAL ÁCIDO-ARCILLA**

La carga de lubricante usado es sometida a una evaporación de aquellos productos ligeros como agua e hidrocarburos del rango de la gasolina. Después de éste paso previo la carga se trata con ácido sulfúrico obteniéndose un rendimiento de 85% aproximadamente en relación con el producto tratado. El resto constituye un desecho aceitoso y ácido. El producto obtenido después del tratamiento ácido es enviado a filtración con arcilla y cal, para mejorar su color y su acidez. En éste proceso de filtración se obtiene un desecho del 3 al 4 por ciento constituido por una mezcla de aceite ácido y arcilla. En la siguiente etapa el aceite se fracciona para separar destilados livianos del tipo gas-oil y así obtener finalmente la base lubricante. El proceso tiene un rendimiento global de 70% en peso.

#### **1.1.7.3. PROCESO MEINKEN**

La carga de aceite usado es previamente deshidratada para eliminar el agua existente y otros contaminantes de bajo punto de ebullición. Posteriormente el aceite se pasa a través de una unidad de termocracking, la cual permite reducir los desechos, por el tope de esta unidad se obtiene un destilado que unido al producto de la unidad de vacío, formaran después de la redestilación el “spindleoil”. El producto de salida de la unidad de termocracking se bombea a la unidad de tratamiento ácido, en la cual se pone en contacto

---

<sup>10</sup> Recuperación y reciclado de aceites usados <http://www.estrucplan.com.ar/producciones/entrega.asp?identrega=1856>

con el ácido sulfúrico, obteniéndose de esta operación el aceite ácido, resultante del tratamiento y un desecho ácido, el cual representa el 10,5% en peso en relación a la carga. Este aceite ácido se lleva a la unidad de vacío donde se despoja de la fracción de gas oil y finalmente se trata en la unidad de filtración-neutralización, donde se obtiene un básico de alta calidad.

El rendimiento de la planta es del 70% en peso con relación a la carga sin contar un 12% de gasoil obtenido como producto secundario, el cual se utiliza como combustible. Este proceso es el más difundido mundialmente por su versatilidad y eficiencia.

#### **1.1.7.4. PROCESO SELECTO PROPANO ÁCIDO-ARCILLA**

Es una modificación del proceso ácido-arcilla convencional. En éste proceso, se incluyen nuevas unidades con el objeto de disminuir el consumo de ácido sulfúrico y por consiguiente la producción de desechos.

El rendimiento del proceso en relación con la carga es 79,5% en peso y un 6% de gas oil, y el volumen de residuos se limita a un 5%.

#### **1.1.7.5. PROCESO SELECTO PROPANO-HIDROTERMINADO**

Este proceso tiene como fin producir bases de alta calidad, sin dejar desechos como el proceso selecto propano ácido-arcilla. La carga de aceite usado, alimenta a la unidad de pretratamiento, para eliminar agua e hidrocarburos livianos, esta carga pretratada, se bombea a la unidad de selecto propano, en la cual se preparaba los destilados con propiedades lubricantes y un residuo de hidrocarburos pesados, que pueden usarse como combustible.

Los destilados obtenidos se bombean a la unidad de hidrotreatmento, en donde son hidrogenados.

Las bases hidrogenadas se destilan en tres cortes, los cuales se filtran y almacenan. Las bases obtenidas del tipo “spindleoil”, neutral y bright-stock representan un 83,2% en peso con relación a la carga, se obtiene además un 6% de gas oil, 1,5% de gas combustible y un 5% de combustible pesado.

#### **1.1.7.6. PROCESO BERK**

Éste proceso incorpora un primer paso de deshidratación para eliminar agua e hidrocarburos livianos, seguido por una precipitación de lodos que se consigue con el uso del solvente 2- propanol-metilcetona-1-butanol con una relación de aceite de 3:1. Éste paso provee una recuperación promedio de la base 95% en peso con una reducción de cenizas del 75%.

Posteriormente el aceite extraído con solvente se pone en contacto con arcilla para mejorar el color y el olor. Finalmente se realiza el hidrotreatmento que es el paso más complejo y más costoso con la ventaja de generar un mínimo de subproductos.

#### **1.1.7.7. EXTRACCIÓN POR SOLVENTE**

Esta técnica es uno de los procesos más económicos y más eficientes en la recuperación de aceites usados. Éste proceso reemplaza el proceso de ácido-arcilla produciendo un lodo orgánico útil en lugar de un lodo toxico. El proceso consiste en mezclar el aceite usado y el solvente en proporciones adecuadas para asegurar una completa miscibilidad de la base lubricante en el solvente. El solvente debe retener los aditivos y las impurezas orgánicas



que normalmente se encuentran en los aceites usados, estas impurezas flocculan y sedimentan por acción de la gravedad. Al final se recupera el solvente por destilación para propósitos de reciclaje.

Éste proceso es capaz de remover entre 10-14% del aceite usado como contaminante, lo cual corresponde a la cantidad de aditivos e impurezas que normalmente se encuentran en el aceite usado. La etapa más crítica en el diseño de éste proceso es desarrollar el tipo apropiado de solvente, los parámetros de extracción y la relación de solvente: aceite. El sistema debe tener la capacidad de separar el máximo posible de lodos del aceite usado y al mismo tiempo perder la mínima cantidad de base lubricante en los lodos.

El aceite usado se guarda en un tanque con fondo cónico para permitir la sedimentación de partículas grandes, se deja en el tanque por 3 días para homogenizarlo. Una mezcla de aceite usado y solvente (se recomienda usar: 2-propanol, MEK o 1-butanol) se agita a 275 rpm durante 15 minutos, estas condiciones aseguran un mezclado adecuado. La mezcla se deja sedimentar por 24 horas, después de esto se lavan los lodos usando 2-propanol y n-hexano, éste proceso de lavado remueve un 95% del aceite intersticial presente en los lodos. Siguiendo el proceso de lavado los lodos se llevan al horno por 5 minutos a 100° C para evaporar el exceso de solventes. Las pérdidas del aceite se calculan como el peso de los lodos húmedos antes de lavarlos menos el peso de los lodos secos sobre el peso del aceite adicionado en la mezcla.

#### **1.1.7.8. DESTILACIÓN A COMBUSTIBLE DIÉSEL**

Al comienzo del proceso se destila el aceite usado para remover compuestos volátiles y agua, el destilado final es la separación de los aceites pesados (destilado) de los contaminantes (fondos). El proceso de destilación requiere suministro de materia (NAOH) y energía (electricidad y gas natural). El producto de la destilación es un aceite diésel de alta calidad (bajo en cenizas y contenido de azufre) y un subproducto de flux de asfalto. Por destilación los metales pesados y otros contaminantes del aceite usado salen por el flujo de asfalto.

#### **1.1.7.9. COMERCIALIZACIÓN COMO COMBUSTIBLE SIN TRATAR (FUELOIL)**

Para decidir que método se utilizará en la recuperación de un aceite usado es necesario conocer la composición química de dicho aceite (cuanto menor sea la calidad del aceite base en el aceite usado mayor será el precio y dificultad de su tratamiento), ya que el método de recuperación a elegir está íntimamente ligado a la composición química de un aceite usado, en algunos casos el factor decisivo es la disposición de infraestructuras adecuadas.

#### **1.1.7.10. BIODEGRADACIÓN DE ACEITES USADOS**

La biodegradación, o biotransformación, se refiere al proceso a través del cual un ser vivo modifica un compuesto sin llegar a mineralizarlo. El producto resultante puede ser aún más tóxico que el inicial o, de lo contrario, puede presentar propiedades más adecuadas para su reutilización y aprovechamiento.

El principal factor a tener en cuenta en esta clase de procesos es la *tasa* de degradación. Ésta en general disminuye al descender la concentración de contaminantes (compuestos a degradar), que en la mayoría de los casos es ocasionada por la eliminación de co-sustratos. Esto lleva a diseñar procesos basados en reactores diseñados especialmente para cada compuesto que se desea biotransformar, y no simplemente agregar el inóculo a los aceites para degradarlos.

Los microorganismos presentes en los aceites son muy similares a los que se encuentran en los suelos (Nocardia, Acinetobacter, Pseudomonas, Ralstonia, Gordonia, Rhodococcus, Agrobacterium y Debaryomyces.). Estos últimos presentan una mayor resistencia a los metales pesados, lo que se traduce en una menor capacidad de degradar los compuestos orgánicos.

Existen básicamente dos métodos para la biodegradación: secuencial y combinada. La forma más fácil de degradar completamente estos hidrocarburos es usar degradación secuencial con diferentes microorganismos. Esta consiste en usar microorganismos distintos para degradar el aceite, usando primero uno de ellos y luego el producto de cada etapa se utiliza como sustrato para el siguiente. La biodegradación se determina mediante el uso de heptano (un hidrocarburo de 30 C) como el estándar interno.

Previo a la realización del proceso de biodegradación de un compuesto es necesaria la caracterización del tipo de compuesto que se va a emplear, porque los contaminantes presentes en el mismo dependen de diversos factores.

Los métodos de biodegradación de aceites son poco usados de forma industrial debido a las dificultades de trabajar en continuo con una gran diversidad de microorganismos, esto podría solucionarse combinando los métodos físico-químicos y los biológicos, de esta forma es posible trabajar con una sola clase de microorganismos y así evitar los inconvenientes de trabajar con una gran cantidad de estos.

Los métodos de biodegradación en serie, a pesar de tener rendimientos similares a los de mezcla, son más recomendables debido a que en éstos no se genera competencia entre los microorganismos.

#### **1.1.7.11.UTILIZACIÓN COMO COMBUSTIBLES ALTERNATIVOS**

Por su elevada capacidad calorífica, el aceite usado se constituye en uno de los residuos con mayor potencial para ser empleado como combustible por la industria. La incineración o combustión del aceite usado, solo o unido a fuel-oil, se realiza en instalaciones como cementeras o centrales térmicas, en las que se aprovecha la instalación para eliminar un residuo. Únicamente se aprovecha el poder calorífico del aceite usado, pero se desprecia su capacidad para ser regenerado.

### **1.1.7.12. REUTILIZACIÓN PARA PINTURAS ASFÁLTICAS**

Aprovechamiento de determinados productos contenidos en los aceites para la fabricación de productos asfálticos.

### **1.1.8. PROCESO DE PURIFICACIÓN DEL ACEITE USADO**

#### **1.1.8.1. Técnica Empleada**

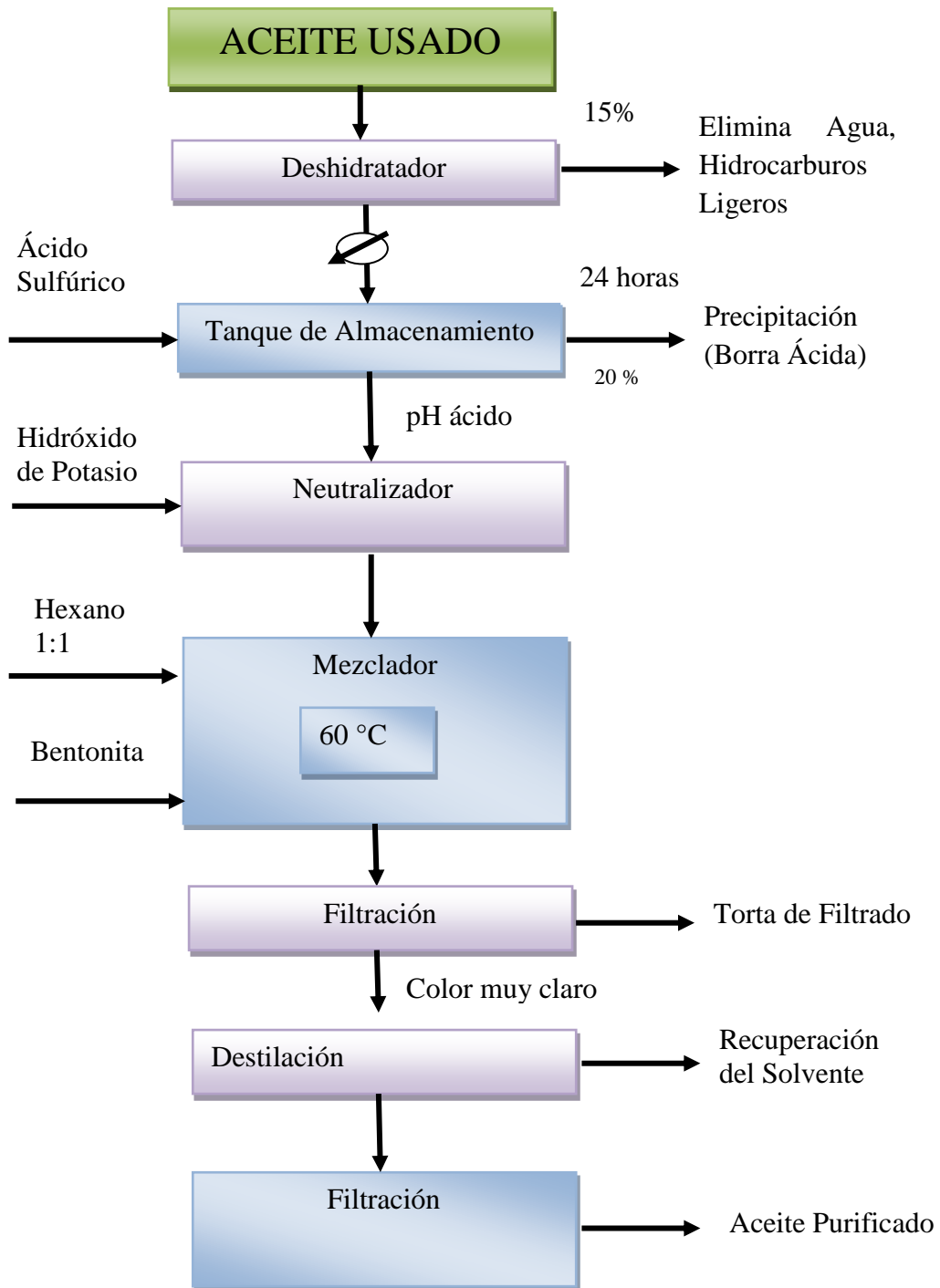
Para la purificación del aceite usado utilizamos las técnicas de Ácido – Base y Re-destilación:

- Realizar la deshidratación, consiste en colocar el aceite en un balón cerrado y elevar la temperatura a 180° C, en donde se eliminara agua y sustancias livianas como gasolina, eliminándose un 15% de los contaminantes totales.
- Posteriormente se enfría y se añade ácido sulfúrico a una temperatura de 40° C, obteniendo la precipitación de la borra acida en un tiempo aproximado de 24 a 72 horas, eliminándose un 20% de contaminantes. En este punto podemos obtener un pH de 3.
- Anadir hidróxido de Potasio para neutralizar la mezcla a más del solvente en una relación 1:1, y posteriormente las bentonitas en una proporción mayor; estas se encargan de absorber y atrapar la suciedad.
- Calentar la mezcla a una temperatura de 60° C para proceder a filtrar, obteniendo la torta de filtrado. El color del aceite es muy claro.
- Procedemos a destilar para la recuperación del solvente.

- El aceite que queda como residuo finalmente pasa a un filtrado mediante un filtro prensa.

Las tecnologías ácido/tierras se basan en el tratamiento del substrato con ácido sulfúrico para la eliminación de los elementos contaminantes y el posterior tratamiento con tierras para la neutralización del producto resultante. De esta manera, el tratamiento con tierras permite conseguir el color y olor deseados. Presenta el problema de la posterior utilización y aplicación del residuo ácido generado, que en muchas ocasiones se debe considerar como tóxico y peligroso, con los consiguientes problemas en cuanto a su deposición en vertedero.

### 1.1.8.2. Diagrama del Proceso



Fuente: MEDINA V. / SÁNCHEZ M., 2012

## **1.2. DESTILACIÓN**

### **1.2.1. DEFINICIÓN**

La destilación es un método para separar los componentes de una solución; depende de la distribución de las sustancias entre una fase gaseosa y una líquida, y se aplica a los casos en que todos los componentes están presentes en las dos fases. En vez de introducir una nueva sustancia en la mezcla, con el fin de obtener la segunda fase (como se hace en la absorción o desorción de gases) la nueva fase se crea por evaporación o condensación a partir de la solución original.

La destilación se refiere a separar soluciones en que todos los componentes son apreciablemente volátiles. Mediante la manipulación adecuada de las fases, o mediante evaporaciones y condensaciones repetidas, es generalmente posible lograr una separación tan completa como se requiera y recobrar, en consecuencia, los dos componentes de la mezcla con la pureza deseada. En la destilación, la nueva fase difiere de la original por su contenido calorífico, pero el calor se incrementa o se elimina sin dificultad; por supuesto, debe considerarse inevitablemente el costo de aumentarlo o eliminarlo.

Al mismo tiempo, la destilación posee ciertas limitaciones como proceso de separación. El gas que puede crearse a partir de un líquido mediante la aplicación de calor, consta, inevitablemente, solo de los componentes que se encuentran en el líquido. Por lo tanto, ya que el gas es químicamente muy similar al líquido, el cambio de composición resultante por distribuir los componentes entre las dos fases generalmente no es muy grande. Es más, en



algunos casos el cambio de composición es tan pequeño que el proceso no es práctico; más aún, puede suceder que no haya ningún cambio en la composición.

No obstante la separación directa que comúnmente es posible por destilación, en productos puros que no requieren procesamiento posterior, tal vez ha hecho de ésta la más importante de todas las operaciones de transferencia de masa.<sup>11</sup>

### **1.2.2. DESCRIPCIÓN DE LA OPERACIÓN UNITARIA**

Los procesos de separación alcanzan sus objetivos mediante la creación de dos o más zonas que coexisten y que tienen diferencias de temperatura, presión, composición y fase. Cada especie molecular de la mezcla que se vaya a separar reaccionará de modo único ante los diversos ambientes presentes en esas zonas. En consecuencia, cada especie establecerá una concentración diferente en cada zona y esto da como resultado una separación entre las especies. El proceso de separación denominado Destilación utiliza fases de vapor y líquido, a la misma temperatura y presión, para las zonas coexistentes, en la cual se utilizan varios tipos de dispositivos para cuyo proceso. La destilación puede efectuarse de acuerdo a dos métodos:

- El primer método se basa en la producción de vapor mediante la ebullición de la mezcla líquida que se desea separar y la condensación de los vapores sin permitir que el líquido retorne al calderín. Es decir, no hay reflujo.
- El segundo método se basa en el retorno de una parte del condensado a la columna, en unas condiciones tales que el líquido que retorna se pone en íntimo contacto con

---

<sup>11</sup>Destilación <http://www.wikipedia.com/destilacion-en-torres-de-platos.html>

los vapores que ascienden hacia el condensador. Cualquiera de los métodos puede realizarse de forma continua o por cargas.

### **1.2.2.1. FACTORES INFLUYENTES EN EL PROCESO DE DESTILACIÓN**

#### **1.2.2.1.1. Temperatura**

El efecto de un aumento de esta, suele disminuir las diferencias relativas de las volatilidades entre los componentes de una mezcla dada; de igual modo, un descenso de la temperatura de vaporización aumenta corrientemente las diferencias de las volatilidades.

#### **1.2.2.1.2. Presión de vapor**

La presión o tensión del vapor de un líquido se comprime el vapor sobre el líquido puro, es la presión de su valor a una temperatura dada en la cual las fases de vapor y líquido de la sustancia pueden existir en equilibrio. Si se mantiene constante la temperatura y se comprime el vapor sobre el líquido puro, tendrá lugar una condensación hasta que no se desprenda nada de vapor. Recíprocamente, si se ensancha el espacio ocupado por el vapor, se produce evaporación.

### **1.2.3. TIPOS DE DESTILACIÓN**

Clasificación de acuerdo al grado de vaporización. Basándose en el método de formación del vapor, las operaciones de destilación se clasifican en continuas, simples y discontinuas simples principalmente, y cada una de estas se dividen, como lo descrito a continuación.

### **1.2.3.1. DESTILACIÓN CONTINUA**

#### **1.2.3.1.1. Destilación continua simple (sin reflujo)**

En este proceso, la destilación se realiza de la siguiente forma: se introduce a la carga en el alambique o calentador mediante bombeo y se extraen corrientes de vapor y de líquido de tales intensidades, que no se produzca ninguna acumulación ni empobrecimiento de material en el sistema. La composición del líquido en el aparato de destilación permanece constante y lo mismo sucede con la composición de los vapores desprendidos. Estos aparatos resultan antieconómicos o poco flexibles, en aquellos casos en que la materia prima a separar es relativamente pequeña y de composición muy variable o cuando no se dispone de ella de una manera continua. La operación de destilación simple puede efectuarse de las siguientes maneras:

#### **1.2.3.1.2. Destilación en equilibrio:**

Proceso de destilación en el que se vaporiza parcialmente el material de alimentación, en condiciones de la continuidad de funcionamiento presuponen una alimentación de composición constante suministrada a gasto constante, a partir de las cuales se forman y extraen continuamente vapor y líquido en cantidades uniformes. Un ejemplo sencillo de este tipo de destilación es un alambique con su casco a fuego directo, en el interior del cual se introduce, por medio de una bomba, a gasto constante, se vaporiza un porcentaje determinado de la carga y saldrá del aparato en forma de destilado.

#### **1.2.3.1.3. Destilación flash:**

Es otro tipo de estas y se utiliza esencialmente para la separación de componentes que tienen temperaturas de ebullición muy diferentes. No es eficaz en la separación de componentes de volatilidad comparable, puesto que tanto el vapor condensado como el líquido residual distan mucho de ser componentes puros. Utilizando muchas destilaciones sucesivas se pueden obtener pequeñas cantidades de componentes prácticamente puros, pero este método es muy poco eficaz para las destilaciones industriales cuando se desean separaciones en componentes casi puros. Los métodos modernos, tanto en el laboratorio como en la industria, utilizan el fundamento de la rectificación que se describe en esta sección. La destilación flash se utiliza a gran escala en el refinado del petróleo, donde las fracciones de petróleo se calientan en calderas tubulares y el fluido caliente se somete a una destilación flash para obtener un vapor de cabeza y un líquido residual conteniendo ambas corrientes muchos componentes.

#### **1.2.3.1.4. Destilación Diferencial:**

Proceso de destilación que consiste en que el vapor, tan pronto como se forma, deja de estar en contacto con el líquido. De una manera gradual se va perdiendo líquido, que pasa al vapor o destilado. En la vaporización diferencial, la disminución en un instante determinado del número de moles de cualquier componente en el líquido, es igual al número de moles presente en dicho instante en el vapor.

#### **1.2.3.2. DESTILACIÓN CONTINUA RECTIFICADA (CON REFLUJO)**

La destilación continua simple, se utiliza esencialmente para la separación de componentes que tienen temperaturas de ebullición muy diferentes. No es eficaz en la separación de

componentes de volatilidad comparables, puesto que tanto el vapor condensado como el líquido residual distan muchos de ser componentes puros. Utilizando muchas destilaciones sucesivas se pueden obtener pequeñas cantidades de componentes prácticamente puros, pero este método es muy poco eficaz para las destilaciones industriales cuando se desean separaciones en componentes casi puros. Los métodos modernos, tanto en el laboratorio como en la industria, utilizan el fundamento de la rectificación que se describe en esta sección.

### **1.2.3.3. DESTILACIÓN CONTINÚA RECTIFICADA**

Consiste en retornar una parte del destilado condensado del destilador en forma de reflujo, para que actuara sobre el vapor que se produce en el mismo. El reflujo lava los constituyentes del punto de ebullición más alto de la corriente de vapor y, al mismo tiempo pierde una parte de su contenido de material de punto de ebullición. El que la separación de los componentes de ebullición alta de una mezcla sea relativamente completa en un proceso de rectificación depende de:

- Las volatilidades de los componentes respectivos.
- La relación del reflujo descendente al vapor ascendente.
- La longitud del camino recorrido en contra corriente por el reflujo y el vapor, es decir, la altura de la torre.
- La eficacia del contacto conseguido entre el líquido y el vapor.

Los aparatos de destilación y rectificación continuos tienen por objeto descomponer a un tiempo una mezcla en varias partes. En algunos casos esto se logra bastante bien, especialmente cuando las sustancias mezcladas se disuelven bien todas entre sí; pero si en la mezcla existen sustancias que no se mezclan completamente con todas, sino solo con algunas, siendo más o menos insolubles en las otras, deja de ser posible la separación de todas las especies entre sí por reiteradas vaporizaciones. Así cuando se evapora una mezcla de dos líquidos insolubles entre sí, se forman independientemente de la proporción ponderal de los componentes a una temperatura de ebullición inferior a la del líquido más volátil, una mezcla de vapores de proporción constante de ambos componentes, que se mantiene así hasta haberse agotado uno de los componentes de la mezcla y luego, asciende rápidamente el punto de ebullición hasta llegar al del líquido menos volátil.

#### **1.2.3.4. DESTILACIÓN DISCONTINUA**

La destilación discontinua o intermitente, se define como un proceso de destilación en el que se carga un peso dado de material en un alambique o caldera adecuada y se destila una parte de la carga. Los vapores se eliminan continuamente a medida que se forman. Los componentes más volátiles se encuentran en mayor concentración en el vapor que en el líquido, por consiguiente, el líquido se va empobreciendo de los componentes más volátiles a medida que prosigue la vaporización. Así, pues tanto la composición como la del vapor producido, varían durante la destilación discontinua. Este tipo de destilación, se refiere a la de los componentes miscibles. Los aparatos de destilación o rectificación continua, separan en sus distintos componentes una mezcla de sustancias que se disuelven entre sí, comenzando por las más volátiles y siguiendo, sucesivamente, hasta la de más elevado

punto de ebullición. Las aplicaciones actuales de la destilación discontinua en las fábricas, se limitan en su mayor parte a las de pequeña escala de carácter intermitente y en las que puede sacrificarse el rendimiento en la separación y en la utilización del calor para conseguir un costo inicial bajo.

#### **1.2.3.4.1. Destilación discontinua simple (sin reflujo)**

Se define como el proceso de destilación en el cual se carga en un alambique una cantidad de material, se produce la vaporización mediante la aplicación apropiada de calor y los vapores se eliminan de manera continua, a menudo que se forman, sin condensación parcial de los mismos; es decir, sin que el condensado refluya al aparato. Este tipo de destilación tal como se suele emplear, se refiere a la de componentes miscibles. La destilación simple discontinua se empleó mucho en otros tiempos, en la refinación del petróleo. En los últimos años, los alambiques simples intermitentes para dicho objeto, han sido sustituidos rápidamente por aparatos destilatorios intermitentes, con torres en las que puede utilizarse el reflujo y estos, a su vez, han sido reemplazados por alambiques continuos con torres de fraccionamiento.

#### **1.2.3.4.2. Destilación en el laboratorio**

La destilación simple discontinua que se realiza en laboratorios describe en general, el proceso. Se deposita el líquido a destilar en un matraz o en un balón de cuello esmerilado, a partir del cual se instala una unión de destilación esmerilada, que consiste en una pieza de vidrio cilíndrica doblada en ángulo agudo y que se comunica con un refrigerante. El refrigerante consiste en un tubo dispuesto en forma inclinada, por donde circulan los vapores que finalmente condensan, y que tiene una camisa externa de agua contracorriente

y permiten utilizar de la manera más económica los materiales y las energías en acción. El extremo inferior del tubo interno del refrigerante debe terminar en un recipiente colector, con el objeto de recoger el líquido condensado producto de la destilación. Como regla general, se puede indicar que una mezcla cualquiera de dos componentes que hiervan con una diferencia de por lo menos 80 grados, puede separarse por una simple destilación sencilla. Sustancias cuyos puntos de ebullición difieran de 30 a 80 grados, se pueden separar por destilaciones sencillas repetidas.

#### **1.2.3.4.3. Destilación discontinua (con reflujo)**

La destilación discontinua con un destilador sencillo no conduce a una buena separación, salvo que la volatilidad relativa sea muy grande. En muchos casos se utiliza una columna de rectificación con reflujo para mejorar la eficacia de un destilador discontinuo. Si la columna no es demasiado grande, se puede instalar sobre la parte superior del calderín o bien, puede acoplarse independientemente por medio de tuberías de conexión para las corrientes del líquido y vapor. En la operación por carga o intermitente, se carga una cantidad en el destilador, se calienta y cuando sus vapores alcanzan el sistema de condensación, se retorna como reflujo una porción de destilado o condensado. A medida que el producto de cabeza o que se desprende por parte superior se retira, el contenido del destilador se va empobreciendo en los elementos más volátiles; en consecuencia, a medida que prosigue la destilación, tiene que aumentarse la relación de reflujo para mantener una cantidad constante del destilado que sale por la parte superior, o bien, tiene que admitirse un sacrificio en la precisión de la separación.



### **1.2.3.5. DESTILACIÓN FRACCIONADA**

Se usa para separar componentes líquidos que difieren de en menos de 25 °C en su punto de ebullición. Cada uno de los componentes separados se les denomina fracciones. Es un montaje similar a la destilación simple en el que se ha intercalado entre el matraz y la cabeza de destilación una columna que puede ser tener distinto diseño (columna vigreux, de relleno, etc.). Al calentar la mezcla el vapor se va enriqueciendo en el componente más volátil, conforme asciende en la columna.

### **1.2.3.6. DESTILACIÓN A VACÍO**

La destilación al vacío consiste en generar un vacío parcial dentro del sistema de destilación para destilar sustancias por debajo de su punto de ebullición normal. Este tipo de destilación se utiliza para purificar sustancias inestables por ejemplo las vitaminas.

En el caso de la industria del petróleo es la operación complementaria de destilación del crudo procesado en la unidad de destilación atmosférica, que no se vaporiza y sale por la parte inferior de la columna de destilación atmosférica. El vaporizado de todo el crudo a la presión atmosférica necesitaría elevar la temperatura por encima del umbral de descomposición química y eso, en esta fase del refino de petróleo, es indeseable.

El residuo atmosférico o crudo reducido procedente del fondo de la columna de destilación atmosférica, se bombea a la unidad de destilación a vacío, se calienta generalmente en un horno a una temperatura inferior a los 400 °C, similar a la temperatura que se alcanza en la fase de destilación atmosférica, y se introduce en la columna de destilación. Esta columna trabaja a vacío, con una presión absoluta de unos 20 mm de Hg, por lo que se vuelve a

producir una vaporización de productos por efecto de la disminución de la presión, pudiendo extraerle más productos ligeros sin descomponer su estructura molecular.

En la unidad de vacío se obtienen solo tres tipos de productos:

- Gas Oil Ligero de vacío (GOL).
- Gas Oil Pesado de vacío (GOP).
- Residuo de vacío.

Los dos primeros, GOL y GOP, se utilizan como alimentación a la unidad de craqueo catalítico después de desulfurarse en una unidad de hidrodesulfuración (HDS).

El producto del fondo, residuo de vacío, se utiliza principalmente para alimentar a unidades de craqueo térmico, donde se vuelven a producir más productos ligeros y el fondo se dedica a producir fuel oil, o para alimentar a la unidad de producción de coque. Dependiendo de la naturaleza del crudo el residuo de vacmelisa y melipino.

#### **1.2.3.7. DESTILACIÓN AZEOTRÓPICA**

La destilación azeotrópica es una de las técnicas usadas para romper un azeótropo en la destilación. Una de las destilaciones más comunes con un azeótropo es la de la mezcla etanol-agua. Usando técnicas normales de destilación, el etanol solo puede purificarse a aproximadamente el 95%.

Una vez se encuentra en una concentración de 95/5% etanol/agua, los coeficientes de actividad del agua y del etanol son iguales, entonces la concentración del vapor de la mezcla también es de 95/5% etanol-agua, por lo tanto destilar de nuevo no es efectivo.

Algunos usos requieren concentraciones de alcohol mayores, por ejemplo cuando se usa como aditivo para la gasolina. Por lo tanto el azeótropo 95,5% debe romperse para lograr una mayor concentración.

En uno de los métodos se adiciona un material agente de separación. Por ejemplo, la adición de benceno a la mezcla cambia la interacción molecular y elimina el azeótropo. La desventaja, es la necesidad de otra separación para retirar el benceno. Otro método, la variación de presión en la destilación, se basa en el hecho de que un azeótropo depende de la presión y también que no es un rango de concentraciones que no pueden ser destiladas, sino el punto en el que los coeficientes de actividad se cruzan. Si el azeótropo se salta, la destilación puede continuar.

Para saltar el azeótropo, el punto del azeótropo puede moverse cambiando la presión. Comúnmente, la presión se fija de forma tal que el azeótropo quede cerca del 100% de concentración, para el caso del etanol, éste se puede ubicar en el 97%. El etanol puede destilarse entonces hasta el 97%. Actualmente se destila a un poco menos del 95,5%. El alcohol al 95,5% se envía a una columna de destilación que está a una presión diferente, se lleva el azeótropo a una concentración menor, tal vez al 93%. Ya que la mezcla está por encima de la concentración azeotrópica actual, la destilación no se “pegará” en este punto y el etanol se podrá destilar a cualquier concentración necesaria.

Para lograr la concentración requerida para que el etanol sirva como aditivo de la gasolina se utiliza etanol deshidratado. El etanol se destila hasta el 95%, luego se hace pasar por un tamiz molecular que absorba el agua de la mezcla, ya se tiene entonces etanol por encima

del 95% de concentración, que permite destilaciones posteriores. Luego el tamiz se calienta para eliminar el agua y pueda reutilizarse.

#### **1.2.3.8. DESTILACIÓN POR ARRASTRE DE VAPOR**

En la destilación por arrastre de vapor de agua se lleva a cabo la vaporización selectiva del componente volátil de una mezcla formada por éste y otros "no volátiles". Lo anterior se logra por medio de la inyección de vapor de agua directamente en el interior de la mezcla, denominándose este "vapor de arrastre", pero en realidad su función no es la de "arrastrar" el componente volátil, sino condensarse en el matraz formando otra fase inmiscible que cederá su calor latente a la mezcla a destilar para lograr su evaporación.

En este caso se tendrán la presencia de dos fases insolubles a lo largo de la destilación (orgánica y acuosa), por lo tanto, cada líquido se comportará como si el otro no estuviera presente. Es decir, cada uno de ellos ejercerá su propia presión de vapor y corresponderá a la de un líquido puro a una temperatura de referencia.

La condición más importante para que este tipo de destilación pueda ser aplicado es que tanto el componente volátil como la impureza sean insolubles en agua ya que el producto destilado volátil formará dos capas al condensarse, lo cual permitirá la separación del producto y del agua fácilmente.

#### **1.2.4. APLICACIONES DE LA DESTILACIÓN**

Existen infinidad de aplicaciones de la operación de destilación. Se emplean en numerosas industrias desde la industria petroquímica a la farmacéutica. Se puede afirmar que

prácticamente en cualquier proceso químico va a aparecer una destilación debido a la necesidad de separación de ciertos componentes de otros menos valiosos.

#### **1.2.4.1. APLICACIONES EN DIFERENTES ÁREAS**

##### **1.2.4.1.1. Aplicaciones Farmacéuticas de destilación**

- Recuperación de hexano de MIBK, de la materia sólida y de mezclas del aceite.
- Recuperación del di-metilacetamida y concentración del residuo
- Concentración de antibióticos con recuperación de metanol
- Recuperación de butanol de los extractos del caldo
- Recuperación de acetato de etilo /acetato isopropílico
- Concentración de Isopropanol de la extracción de solventes.
- Aplicaciones Químicas de destilación:
- Rectificación de mezclas de ácidos grasos/metil-éster.
- Rectificación de caprolactama y glicerina
- Rectificación con contracción de resina cloroformo/butanol
- Separación de etanol/fenol de solventes impregnados.
- Separación de ácidos grasos / mezclas de etil-hexanol.

##### **1.2.4.1.2. Aplicaciones Alimenticias de Destilación**

- Concentración de alcohol de la precipitación en la fabricación de pectina
- Retiro del amoníaco de los fluidos de intercambio iónico
- Reducción de alcohol en cervezas con la recuperación del alcohol
- Recuperación de varios solventes de la miscella.

#### **1.2.4.1.3. Aplicaciones Ambientales de Destilación**

- Recuperación de tri-cloro etileno de efluentes conteniendo látex.
- Eliminación y rectificación de Amoníaco del abono líquido
- Carbonato del propano (CFC-substituto) en la fabricación de circuitos impresos
- Recuperación de etanol/ acetona del efluente de la fabricación.

#### **1.2.4.1.4. Aplicaciones de Destilación de Alcohol**

- Purificación de alcohol sin procesar para la producción de alcohol neutral y de grado fino
- Deshidratación (absolución) del alcohol
- Fabricación de alcohol potable a partir de materias primas que contienen azúcar y almidón
- Transformación posterior del alcohol en derivados de alcohol tales como acetaldehído, ácido acético etc.
- Combinaciones de líneas de alcohol incluidas en las plantas para la fabricación de la levadura del panadero, del gluten, de la glucosa etc.

### **1.2.5. TORRES DE DESTILACIÓN**

#### **1.2.5.1. TIPOS DE TORRES DE DESTILACIÓN**

Hay muchos tipos de torres de destilación cada uno diseñado para realizar tipos específicos de separación y cada diseño difiere en términos de complejidad. Destilaciones Batch y Continuas. Una manera de clasificar torres de destilación es según la manera en que operan.

### **1.2.5.1.1. Torres de Platos con Casquetes o Caperuzas de Burbujeo**

Son torres que llevan varios platos horizontales, colocados a igual distancia unos de otros dentro de la envoltura de la torre vertical. Sus espacios varían entre 15 y 90 cm. El reflujo desciende por la torre de uno a otro plato, por medio de tubos adecuados de bajada o de rebosamiento. Los extremos inferiores de los tubos de rebosamiento quedan cerrados hidráulicamente por el líquido del plato a que sirven.

Durante la operación, el vapor sube por los casquetes y es desviado hacia abajo por el sombrerete, descargándose en forma de pequeñas burbujas por las ranuras o entalladuras del borde, situado bajo el nivel del líquido. La alimentación líquida llega al platillo de arriba, pasa por el mismo y cae por el conducto de bajada hacia el platillo inferior, mientras que los vapores pasan hacia arriba, borboteando en el líquido y mezclándose de modo íntimo con él, a causa de la dispersión provocada por las ranuras de los sombreretes. Luego, los vapores de la superficie libre ascienden al platillo inmediato superior.<sup>12</sup>

De este modo, se establece un flujo en contracorriente entre el líquido que pasa hacia abajo y los vapores que ascienden por la columna. Las torres con platos de burbujeo son las más empleadas para las operaciones de fraccionamiento en las grandes instalaciones.

---

<sup>12</sup> Torres de Destilación [http://www.ccc.uchile.cl/~cabierta/libros/l\\_herrera/iq54a/instru.htm#termocuplas](http://www.ccc.uchile.cl/~cabierta/libros/l_herrera/iq54a/instru.htm#termocuplas)

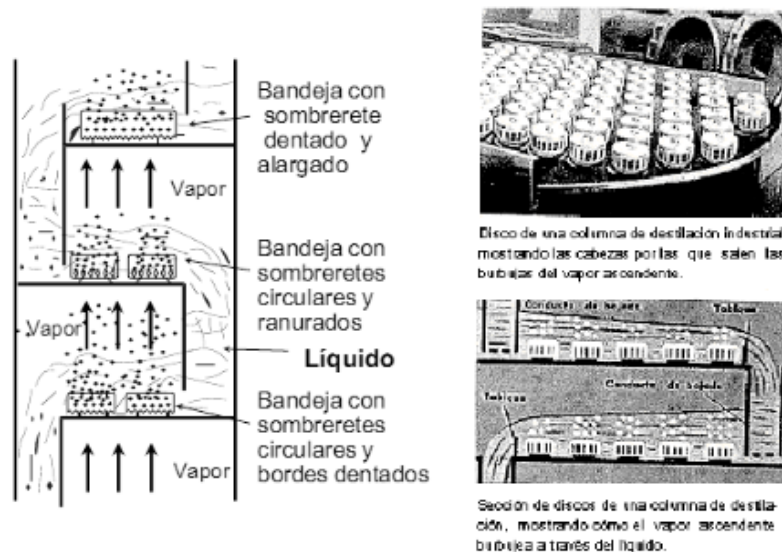


Fig. 1.2.5.1.1-1 Torres con Platos de Burbujeo

### 1.2.5.1.2. Torres de Relleno

Las condiciones de contra corriente entre el líquido y el vapor y el contacto entre ambos, pueden establecerse mediante otro dispositivo diferente. Estos son, cilindros verticales rellenos con trozos sueltos de un material sólido de tamaño uniforme lanzado al azar (arcilla o metales en forma de anillo o silla de montar), entre cuyos intersticios se distribuyen el líquido del reflujo y el vapor que asciende por la torre.

El material de relleno está soportado por un enrejado o parilla situada en el fondo de la torre. Cuanto más pequeños sean los materiales de relleno, más corta será la altura, pero más baja la velocidad admisible del vapor y, por lo tanto, mayor el diámetro. Rasching descubrió que los anillos de cualquier material, cumplen muy bien estas condiciones cuando el diámetro es igual a la longitud, por lo que los anillos quedan colocados con el eje oblicuo y las fases han de seguir un camino de zigzag.



Otro tipo de relleno son los anillos Prym y las monturas; en lo que respecta al material empleando en los anillos de Rasching, son los que permiten una mayor libertad de elección, ya que pueden constituirse de metales moldeables (porcelana, piedra artificial, caucho, vidrio, carbón, etc.). Los anillos Prym solo se construyen de porcelana y metal. También se emplean esferas huecas espirales de metal, etc. La ventaja más importante derivada del empleo de los cuerpos de relleno, es la posibilidad de la elección de un material inatacable para las condiciones de rectificación.

Las columnas de relleno no se emplean para trabajar en gran escala, debido a incertidumbres en los resultados y a la falta de garantía de los datos sobre las grandes columnas rellenas y, en parte, a causa de que las grandes columnas con casquetes de burbujeo son más económicas.

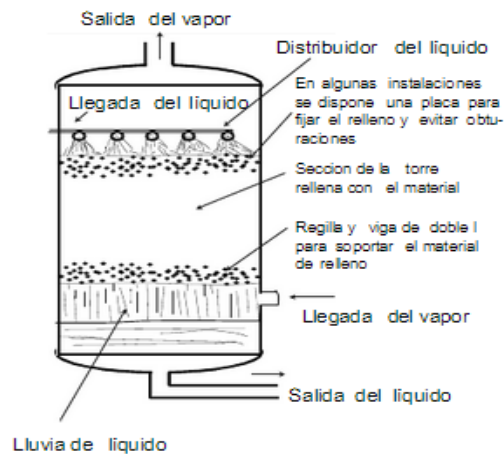


Fig. 1.2.5.1.2-1 Representación Esquemática de una Torre con Material de Relleno

### 1.2.5.1.3. Tipos de Relleno en las Columnas

- **Columnas de Platos Borbotadores**

Un plato borboteador es un disco metálico exactamente adaptado a la columna, con perforaciones distribuidas por toda su superficie a las que se han soldado trozos cortos de tubos. Sobre cada trozo de tubo hay una “campana” que se puede subir y bajar con facilidad pero no se puede quitar completamente. En un borde del plato hay un tubo de salida. Tales platos se distribuyen a lo largo de toda la columna y en gran número. El vapor asciende penetra por los orificios, choca contra la campana y se ve forzado a atravesar el condensado, con lo que se disuelve en él el componente menos volátil mientras el componente más volátil atraviesa el condensado y además arrastra partes del componentes volátil que estuviesen disueltas. El condensado fluye por el tubo de salida del plato al inmediatamente inferior. El condensado fluye por el tubo de salida del plato al inmediatamente inferior. De este modo, en dirección ascendente se enriquece en cada plato el componente más volátil hasta su completa separación. Debido a su gran eficacia, las columnas de platos borbotadores son muy empleadas en la industria tanto en procesos de rectificación o fraccionamiento como en procesos de absorción.<sup>13</sup>

---

<sup>13</sup>Tipos de Relleno en las Columnas <http://es.scribd.com/doc/29578829/Destilacion>



Fig. 1.2.5.1.3-1 Anillos con Tabiques en Cruz



Fig. 1.2.5.1.3-2 Anillos Rasching

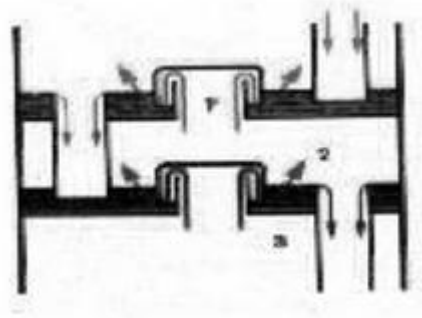


Fig. 1.2.5.1.3-3 Platos Borbotadores

- **Torres con Platos Perforados o Criba**

Estas torres fueron utilizadas por Coffey en el año 1832. Esta columna se compone de placas horizontales distancias ente sí, 15 o más cm. Cada placa está perforada con un cierto número de agujeros (como tamices), distribuidos por todas ellas, siendo un diámetro conveniente entre 4 a 8 mm. La distancia entre los centros de 13 mm.

Los vapores procedentes de abajo pasan por los orificios y atraviesan la delgada capa del condensador que se encuentra sobre el plano, donde la presión de vapor y la velocidad son suficientes para mantener una cierta cantidad de reflujo líquido en cada placa. Para impedir que se acumule demasiado líquido, cada plato un tubo de rebosamiento o bajada, que se eleva a unos 25 mm. Por encima de la placa lleva hasta unos 13 mm., de la placa inmediatamente inferior, sumergiéndose en una capa que forma un cierre hidráulico o líquido para impedir la acumulación de vapor. Las placas perforadas de este tipo, no funcionan con menos del 50% de flujo normal de vapor, pues de lo contrario, el líquido pasará a través de las perforaciones y cesará el contacto por burbujeo.

Los inconvenientes de las placas de este tipo son:

- Las placas sólo funcionan bien en un intervalo limitado de flujos o gastos de vapor y del líquido.
- Si las placas no están perfectamente niveladas, todo el líquido se correrá al del lado más abajo y el vapor circulará por el lado más alto.
- Si se corren las placas, los orificios se agrandarán y el rendimiento bajará.

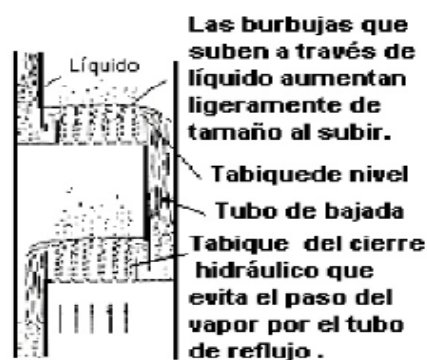


Fig. 1.2.5.1.3-4 Platos Borboteadores

- **Torres de Destilación con Fraccionamiento**

Las torres de destilación con rectificación consisten en hacer circular en contracorriente el vapor de una mezcla con el condensado procedente del mismo vapor.

Las partes esenciales de una torre de rectificación son:

- a) La columna propiamente dicha, que es donde se verifica el contacto íntimo entre el líquido y el vapor.
- b) El calderín, situado en la base de la torre en donde se hace hervir la mezcla a separar.
- c) El condensador de reflujo, situado en la cúspide de la torre, que se encarga de suministrar el líquido descendente para su contacto con el vapor.

#### **1.2.5.1.4. Tipos de Platos**

Las columnas de platos utilizadas para producción

- Platos con flujo cruzado.
- Platos con flujo en contracorriente.

El plato con flujo cruzado utiliza un conducto descendente o bajante de descarga del líquido y se suele emplear más que el de flujo en contracorriente porque presenta como ventajas mayor eficacia en la transferencia y un intervalo de condiciones de operación más amplio.

El patrón de flujo del líquido en un plato con flujo cruzado se puede controlar colocando bajantes para lograr la estabilidad deseada y la eficacia de la transferencia.

- **Platos con flujo cruzado**

La mayoría de los platos de flujo cruzado utilizan perforaciones para la dispersión del gas en el líquido. Estas perforaciones pueden ser simples orificios circulares, o pueden disponer de “válvulas móviles” que configuran orificios variables de forma no circular. Estos platos perforados se denominan platos de malla o platos de válvula. En los primeros, debe evitarse que el líquido fluya a través de las perforaciones aprovechando para ello la acción del gas; cuando el flujo de gas es lento, es posible que una parte o todo el líquido drene a través de las perforaciones y se salte porciones importantes de la zona de contacto.

El plato de válvula está diseñado para minimizar este drenaje, o goteo, ya que la válvula tiende a cerrarse a medida que el flujo de gas se hace más lento, por lo que el área total del orificio varía para mantener el balance de presión dinámica a través del plato, tomando como mejor dato la cantidad.

- **Platos en contracorriente**

En estos, el líquido y el gas fluyen a través de las mismas aberturas. Por ello, no disponen de bajantes. Las aberturas suelen ser simples perforaciones circulares de diámetro comprendido de entre 3 y 13 mm (1/4 pulgadas) (de flujo doble) o hendiduras largas de anchura entre 6 y 13 mm (1/4 a 1/2 pulgadas) (bandeja Turbo grid). El material del plato puede plegarse o “corrugarse” (bandeja Ripple) para separar parcialmente los flujos de gas y líquido. En general, el gas y el líquido fluyen en forma pulsante, alternándose en el paso a través de cada abertura.

Para el contacto de gases con líquidos que contienen sólidos se utiliza frecuentemente el denominado plato deflector o “placa de dispersión”. Normalmente tiene forma de media luna y una ligera inclinación en el sentido de flujo del líquido. El gas se pone en contacto con el líquido que se derrama del plato y cae al interior, pudiéndose utilizar en el borde del plato una esclusa o rebosadero, que puede llevar filo dentado, para mejorar la distribución del líquido descendente.

En el plato deflector, el líquido actúa como fase dispersa y el gas como fase continua; se utiliza principalmente en aplicaciones con transferencia de calor.

#### **1.2.5.2. COLUMNA DE PLATOS**

Los platos se colocan uno sobre otro y se encierran con una cubierta cilíndrica para formar una columna. El material de alimentación que se debe separar en fracciones se introduce a uno o más puntos a lo largo de la coraza de la columna. Debido a la diferencia de gravedad entre la fase de vapor y la líquida, el líquido corre hacia debajo de la columna, cayendo en cascada de plato a plato, mientras que el vapor asciende por la columna, para entrar en contacto con el líquido en cada uno de los platos.

El líquido que llega al fondo de la columna se vaporiza parcialmente en un rehervidor calentando para proporcionar vapor rehervido que asciende por la columna. El resto del líquido se retira como producto del fondo. El vapor que llega a la parte superior de la columna se enfría y condensa como líquido en el condensador superior. Parte de este líquido regresa a la columna como reflujo, para proporcionar un derrame líquido. El resto de la corriente superior se retira como producto destilado.

Este patrón de flujo en el domo de la columna de destilación proporciona un contacto, a contracorriente de las corrientes de vapor y líquido, en todos los platos de la columna. Las fases de vapor y líquido en un plato dado se acercan a los equilibrios de temperatura, presión y composición, hasta un punto que depende de la eficiencia del plato de contacto.

Los componentes más ligeros (de punto de ebullición más bajo) tienden a concentrarse en la fase de vapor, mientras que los más pesados (de punto de ebullición más alto) tienden a la fase líquida. El resultado es una fase de vapor que se hace más rica en componentes ligeros al ir ascendiendo por la columna, y una fase líquida que se va haciendo cada vez más rica en los componentes pesados conforme desciende en cascada. La separación general que se logra entre el producto superior y el fondo depende primordialmente de las volatilidades relativas de los componentes, el número de platos de contacto y de la relación de reflujo de la fase líquida a la de vapor.

Si la alimentación se introduce en un punto situado a lo largo de la coraza de la columna, la columna se dividirá en una sección superior, que se denomina con frecuencia sección de rectificación, y otra inferior, que suele recibir el nombre de sección de agotamiento.

### **1.2.5.3. CAPACIDAD DE UNA COLUMNA DE PLATOS**

La máxima capacidad de un plato para el manejo de los fluidos de gas y de líquido tiene gran importancia, porque determina el mínimo diámetro posible en la columna. Para un caudal de líquido constante, el aumento de la velocidad del gas produce arrastre excesivo e inundación. En el punto de inundación es difícil obtener un descenso neto del líquido y cualquier cantidad añadida a la columna será arrastrada por el gas de cabeza. También se



puede llegar a inundación aumentando la velocidad de líquido mientras se mantiene la del gas constante. El caudal excesivo de líquido puede sobrepasar la capacidad de los bajantes u otros conductos, con el resultado de un aumento del contenido del líquido, mayor caída de presión y demás características propias de la condición de inundación. La mínima capacidad admisible de una columna de platos está determinada por la necesidad de obtener una dispersión eficaz y un buen contacto entre las fases. Los distintos tipos de platos difieren en su capacidad para admitir caudales bajos de gas y de líquido. Un plato de malla con flujo cruzado puede actuar con un caudal gas reducido hasta un punto en que el líquido drena a través de las perforaciones y la dispersión del gas es inadecuada para obtener una buena eficacia. Los platos de válvulas pueden operar con caudales de gas muy bajos, gracias al cierre de las válvulas. Para todos los dispositivos existe un caudal mínimo de gas por debajo del cual se produce una dispersión inadecuada para obtener el contacto íntimo entre fases.

### 1.2.5.3.1. Acción de un Plato Ideal

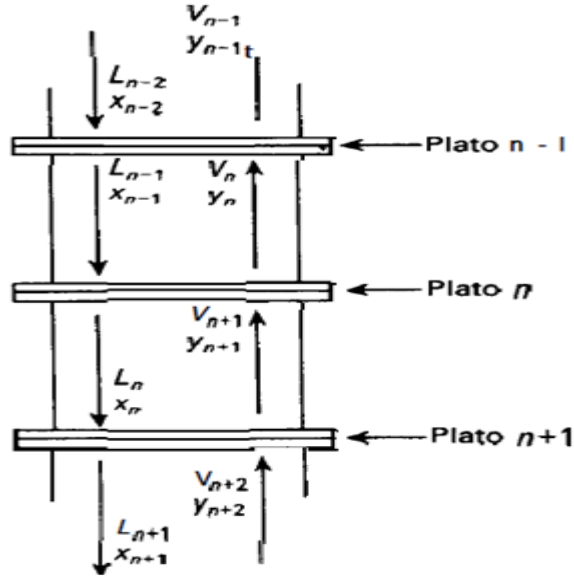


Fig. 1.2.5.3.1-1 Diagrama de un Plato Ideal

En un plato ideal, por definición, el líquido y el vapor que salen del plato se encuentran en equilibrio. Considere en solo plato en una columna en una cascada de platos ideales, tal como el plato  $n$ . Suponga que los platos se enumeran en serie desde la parte superior (destilado) hasta la parte inferior (residuo) de la columna y que el plato que se considera es el número  $n$  partiendo desde la parte superior. Por lo tanto, el plato inmediatamente superior es el plato  $n-1$  y el inmediatamente inferior es el plato  $n+1$ . Los subíndices representan en todos los casos el punto de origen de la magnitud correspondiente. En el plato  $n$  entran dos corrientes de fluido y salen otras dos. Una corriente de líquido  $L_{n-1}$  mol/h, procedente del plato  $n-1$  y una corriente de vapor  $V_{n+1}$  mol/h, procedente del plato  $n+1$ , se ponen en contacto íntimo. Una corriente de vapor  $V_n$  mol/h asciende hacia el plato  $n-1$  una corriente de líquido  $L_n$  mol/h, descende hacia el plato  $n+1$ . Puesto que las corrientes de

vapor son la fase V, y sus concentraciones se representan por  $x$ . Por lo tanto, las concentraciones de las corrientes que entran y salen del plato  $n$  son las siguientes:

Vapor que sale del plato  $Y_n$  Líquido que sale del plato  $X_n$  Vapor que entra en el plato  $Y_{n+1}$   
Líquido que entra en el plato  $X_{n-1}$ .

Según la definición de un plato ideal, el vapor y el líquido que salen del plato  $n$  están en equilibrio, de forma que  $X_n$  y  $Y_n$  representan concentraciones de equilibrio. El vapor es enriquecido en el componente más volátil a medida que asciende por la columna, y el líquido disminuye en  $X$  a medida que el flujo desciende. Por lo tanto, las concentraciones de  $X$  en ambas fases aumentan con la altura de la columna;  $X_{n-1}$  es mayor que  $X_n$ , y  $Y_n$  es mayor que  $Y_{n+1}$ . Aunque las corrientes que salen del plato de equilibrio, las que entran no lo están. Cuando el vapor procedente del plato  $n+1$  y el líquido procedente del plato  $n-1$  se ponen en contacto, sus concentraciones tienden hacia el equilibrio. Parte del componente más volátil  $X$  se vaporiza desde el líquido disminuyendo la concentración del líquido desde  $X_{n-1}$  hasta  $X_n$ ; y algo del componente menos volátil  $Y$  se condensa desde el vapor, aumentando la concentración de vapor desde  $Y_{n+1}$  hasta  $Y_n$ . Puesto que las corrientes de líquido están a sus puntos de burbuja y las corrientes de vapor a sus puntos de rocío, el calor liberado en la condensación del componente  $Y$  suministra calor necesario para vaporizar el componente  $X$ . Cada plato de la cascada actúa como un aparato de intercambio en el que el componente  $X$  se transfiere hacia la corriente de vapor y el componente  $Y$  hacia la corriente del líquido. Por otra parte, puesto que la concentración de  $X$ , tanto en el líquido como en el vapor, aumenta con la altura de la columna, la temperatura disminuye y

la temperatura del plato n resulta ser mayor que la del plato n-1 y menor que la del plato n+1.

#### **1.2.5.3.2. Método de McCabe-Thiele**

El método de McCabe-Thiele se basa en la representación de las ecuaciones de balance de materia como las líneas de operación en el diagrama X-Y. Las líneas se hacen rectas (y se evita la necesidad del balance de energía) mediante la suposición de que hay un derrame molar constante. Se supone que el flujo de la fase líquida es constante de plato a plato en cada sección de la columna entre el punto de adición (alimentación) y el de retiro (producto). Si el flujo del líquido es constante, el flujo del vapor tendrá que ser también constante.

#### **1.2.5.3.3. Condición térmica de la alimentación**

La pendiente de la línea de operación cambiará siempre que pase una alimentación o una corriente lateral. Para calcular este cambio es conveniente introducir una cantidad q para una corriente de alimentación F, que se define:

$$L' = L + qF \quad \text{Ec. 1.2.5.3.1.2-1}$$

$$V = V' + (1 - q)F \quad \text{Ec. 1.2.5.3.1.2-2}$$

Los L y V denotan las corrientes por debajo de la etapa en que se introducen la alimentación. La q es la medida de la condición térmica de la alimentación y representa los moles de líquido saturado que se forma en la etapa de alimentación por mol de material alimentado.

### CUADRO 1.2.5.3.3-1

#### CONDICIONES DE ALIMENTACIÓN

Condiciones de Alimentación	Medición de la Condición Térmica de Alimentación ( q )
Líquido Subenfriado	$q > 1$
Líquido Saturado	$q = 1$
Parcialmente Vaporizada	$1 > q > 0$
Vapor Saturado	$q = 0$
Vapor Sobrecalentado	$q < 0$

Fuente: PERRY. R., Manual del Ingeniero Químico., 6ta ed., México, McGraw- Hill., Pp. 1331

El valor q para una alimentación dada se puede estimar a partir de:

$$q = \frac{\text{energía para convertir 1 mol de alimentación en vapor saturado}}{\text{calor molar de vaporización}}$$

Los valores de q siempre serán 1 o 0, dependiendo de la corriente lateral, si se toma de la corriente líquido o la de vapor. La q se puede utilizar para deducir la ecuación de línea q para una alimentación o una corriente lateral. La “línea q de la alimentación” es el sitio de intersección de todos los puntos de las dos líneas de operación que se encuentran en la etapa de alimentación o corriente lateral. Esta intersección se debe producir a lo largo de la sección de la línea q entre la curva de equilibrio y la diagonal  $x=y$ .

En el punto de intersección el mismo punto  $x$ , y debe satisfacer tanto la ecuación de la línea de operación por encima de la etapa de alimentación (o corriente lateral) como la que se encuentra por debajo de la etapa de alimentación o corriente lateral.

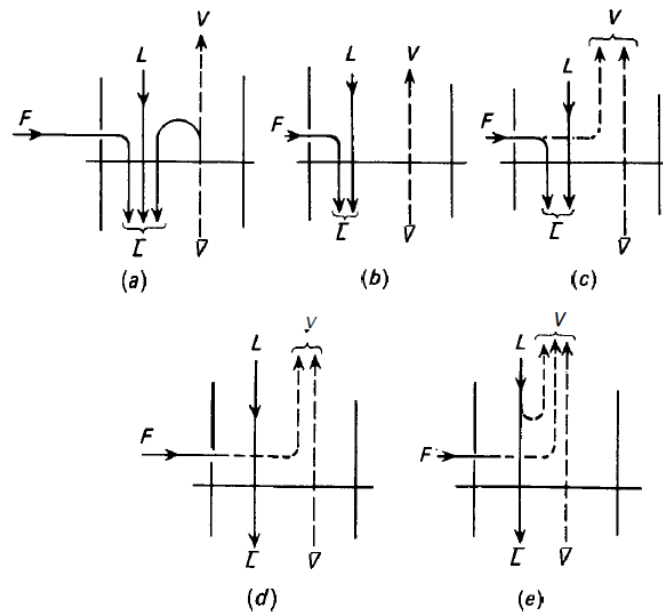


Fig. 1.2.5.3.3-1 Flujo a través del plato de alimentación para diferentes condiciones de la alimentación: (a) alimentación como líquido frío; (b) alimentación como líquido saturado; (c) alimentación parcialmente vaporizada; (d) alimentación como vapor saturado; (e) alimentación como vapor sobrecalentado.

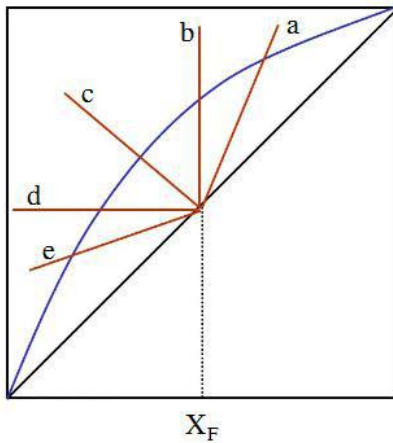


Fig. 1.2.5.3.3-2 Condiciones para la construcción de la recta de alimentación

El vapor de  $q$  para alimentación como líquido frío se obtiene a partir de;

$$q = 1 + \frac{c_{pL}(T_b - T_F)}{\lambda} \quad \text{Ec. 1.2.5.3.1.2- 3}$$

Para vapor sobrecalentado:

$$q = - \frac{c_{pV}(T_b - T_F)}{\lambda} \quad \text{Ec. 1.2.5.3.1.2- 4}$$

#### 1.2.5.3.4. Construcción de líneas de operación

El método más sencillo para representar las líneas de operación es:

- ✓ Localizar la línea de alimentación.
- ✓ Calcular la ordenada en el origen  $X_D/(RD + 1)$  de la línea de enriquecimiento y representar la línea que pasa por la ordenada en el origen y el punto  $(x, X_D)$ .
- ✓ Trazar la línea de agotamiento que pasa por el punto  $(x, X_W)$  y la intersección de la línea de rectificación con la línea de alimentación.

### 1.3. DISEÑO

#### 1.3.1. ECUACIONES PARA EL DISEÑO DE LA TORRE DE DESTILACIÓN

##### 1.3.1.1. CÁLCULO DE LA CAPACIDAD CALORÍFICA

Es el cociente entre la cantidad de energía calorífica transferida u cuerpo o sistema en un proceso cualquiera y el cambio de temperatura que experimenta. En la práctica este contacto se logra con dos dispositivos diferentes: el de los platos de borboteo que retiene el líquido a través del cual se ve obligado a pasar el vapor, y el de los de temperatura (1 K) de una determinada sustancia, indica la mayor o menor dificultad que presenta dicho cuerpo para experimentar cambios de temperatura bajo el suministro de calor.

Autor: Joseph Black

Ecuación para el Cálculo de la Capacidad Calorífica

Viene dado por la ecuación:

$$(\overline{Cp}) = \sum X_i C_{pi} \quad \text{Ec. [1.3.1.1 - 1]}$$

dónde:

$X_i$  = Fracción molar

$C_{pi}$  = Capacidad Calorífica ( $\text{Kcal}/\text{Kg } ^\circ\text{C}$ )

La capacidad calorífica desempeña un papel importante en el diseño de muchos aparatos, como los radiadores de automóviles, los colectores solares, diversos componentes de las



plantas generadoras de energía e, incluso, las naves espaciales. Este descubrimiento fue una de sus mayores aportaciones científicas y marcó el comienzo de la termodinámica.

### 1.3.1.2. CÁLCULO DEL CALOR LATENTE MEDIO ( $\bar{\lambda}F$ )

Es la energía requerida por una sustancia para cambiar de fase, de sólido a líquido (calor de fusión) o de líquido a gaseoso (calor de vaporización).

Se debe tener en cuenta que esta energía en forma de calor se invierte para el cambio de fase y no para un aumento de la temperatura; por tanto al cambiar de gaseoso a líquido y de líquido a sólido se libera la misma cantidad de energía.

Autor: Joseph Black

Ecuación para el Cálculo del Calor Latente Medio

Viene dado por la ecuación:

$$(\bar{\lambda}F) = \sum X_i \lambda Y_i \quad \text{Ec. [1.3.1.2 - 1]}$$

dónde:

$X_i$  =Fracción molar

$\lambda Y_i$  = Calor latente ( Kcal/Kg )

Esta cualidad se utiliza en la cocina, en refrigeración, en bombas de calor y es el principio por el que el sudor enfría el cuerpo.

### 1.3.1.3. CÁLCULO DEL PARÁMETRO $f$ DE ALIMENTACIÓN

Se define como el número de moles de vapor que resultan en la sección de rectificación de la introducción de cada mol de alimentación.

Ecuación para el Cálculo del parámetro  $f$  de Alimentación

Viene dado por la ecuación:

$$f = - \frac{Cp(\bar{T}_b - T_F)}{\bar{\lambda}_F} \quad \text{Ec. [1.3.1.3 - 1]}$$

dónde:

$T_b$  = Temperatura de ebullición medio (C)

$T_F$  = Temperatura de alimentación (C)

$Cp$  = Capacidad calorífica (Kcal/KgC)

$\bar{\lambda}_F$  = Calor latente medio (Kcal/Kg)

Su utilización es para tener conocimiento de que tipo de alimentación va a ingresar a la torre de destilación.

### 1.3.1.4. CÁLCULO DE LA PENDIENTE

En un sistema de representación de alimentación, suele ser representado por la letra  $m$ , y es definido como la relación entre la unidad y el flujo de alimentación.

Ecuación para el Cálculo de la Pendiente

Viene dado por la ecuación:

$$m = -\frac{(1-f)}{f} \quad \text{Ec. [1.3.1.4 - 1]}$$

dónde:

$f$  = Factor de alimentación

Esta ecuación permitirá identificar el tipo de alimentación que ingresará a la columna de destilación.

### **1.3.1.5. CURVA DE EQUILIBRIO**

Se utiliza los datos de equilibrio del componente de más volátil, lo que representa el equilibrio de las composiciones en fase de vapor para cada valor de la composición de la fase líquida.

### **1.3.1.6. RECTA DE ALIMENTACIÓN**

Se la construye partiendo con el cálculo del eje  $y$ , se traza una línea que pase por la intersección de  $x_F$ .

$$y = \frac{x_F}{f} \quad \text{Ec. [1.3.1.6 - 1]}$$

dónde:

$x_f$  = fracción de la alimentación.

$f$  = factor de alimentación.

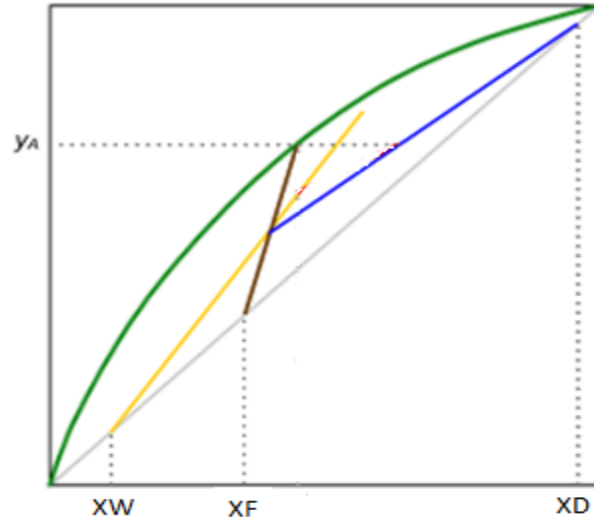


Fig. 1.2.5.3.4-1 Curva de Equilibrio

### 1.3.1.7. CÁLCULO DE LA RELACIÓN DE REFLUJO MÍNIMO

Es la relación máxima que requerirá de un número infinito de platos para lograr la separación deseada, esto corresponde a un flujo mínimo de vapor en la torre de destilación, y por tanto, a dimensiones mínimas del hervidor y condensado

Autor: Fenske

Ecuación para el Cálculo de la Relación de Reflujo Mínimo

En el diagrama se interpola y se obtiene:

$$-\frac{X_D}{R_{Dmin}+1} = \text{Valor de la interpolación} \quad \text{Ec. [1.3.1.7 - 1]}$$

dónde:

$X_D$  = Fracción del destilado

$R_{Dmin}$  = Reflujo mínimo

Permite efectuar una separación determinada, se puede elegir arbitrariamente una relación de reflujo dentro de ciertos límites, y de esta relación de reflujo depende el coste de funcionamiento y el coste del aparato.

### **1.3.1.8. CÁLCULO DE LA RELACIÓN DE REFLUJO TOTAL**

Reflujo total es el número mínimo de platos que se puede utilizar para obtener cierta separación.

Autor: Fenske

Ecuación para el Cálculo de la Relación de Reflujo Total

Viene dado por la ecuación:

$$RT = k * R_{Dmin} \qquad \text{Ec. [1.3.1.8 - 1]}$$

dónde:

$k$  = Número de veces el reflujo mínimo

$R_{Dmin}$  = Reflujo mínimo

Permite identificar que si se aumenta la relación de reflujo aumenta el coste de funcionamiento de la columna y disminuye el coste del aparato; cuando la relación de reflujo llega a alcanzar el valor unitario, la columna trabaja a reflujo total.

### **1.3.1.9. RECTA DE RECTIFICACIÓN**

La recta de alimentación se construye a partir del eje y trazando un línea que pasa por la intersección del punto  $x_D$ .

Ecuación para el Cálculo de la Recta de Rectificación

Viene dado por la ecuación:

$$y = \frac{x_D}{R_D + 1} \quad \text{Ec. [1.3.1.9 - 1]}$$

dónde:

$y$  = eje.

$X_D$  = fracción del destilado.

$R_D$  = relación de reflujo.

### **1.3.1.10. RECTA DE AGOTAMIENTO**

Se construye al trazar una línea que pase por el punto  $X_W$  (fracción del residuo) por la intersección de la línea de rectificación con la línea de alimentación.

### **1.3.1.11.PLATOS TEÓRICOS**

Es un segmento de columna en donde se alcanza el equilibrio entre el vapor que se condensa y el líquido que se evapora.

### **1.3.1.12.BALANCE DE MASA**

Es una expresión de la conservación de la materia, denominado también balance de materia. Esta expresión establece que la suma de las cantidades o concentraciones de todas las especies que contienen un átomo particular (o grupo de átomos) debe ser igual a la cantidad de ese átomo (o grupo de átomos) introducidos en el sistema.

Ecuación para el Cálculo del Balance de Masa

Viene dado por la ecuación:

$$F = W + D \qquad \text{Ec. [1.3.1.12 – 1]}$$

dónde:

$F$  = Alimentación

$W$  = Residuo

$D$  = Destilado

Permite el cálculo de la composición del destilado y la composición del residuo.

### **1.3.1.13. BALANCE DE MASA PARCIAL**

Esta expresión establece que la suma de las cantidades o concentraciones de todas las especies que contienen un átomo particular (o grupo de átomos) debe ser igual a la cantidad de ese átomo (o grupo de átomos) introducidos en el sistema.<sup>14</sup>

Ecuación para el Cálculo del Balance de Masa Parcial

Viene dado por la ecuación:

$$FX_F = WX_W + DX_D \quad \text{Ec. [1.3.1.13 – 1]}$$

dónde:

$F$  = Alimentación

$X_F$  = Fracción de destilado

$W$  = Residuo

$X_W$  = Fracción de residuo

$D$  = Destilado

$X_D$  = Fracción de destilado

### **1.3.1.14. CÁLCULO DE LA TEMPERATURA PROMEDIO DE LA COLUMNA**

Se define como una magnitud escalar relacionada con la energía interna de un sistema termodinámico, definida por el principio cero de la termodinámica. Más específicamente,

---

<sup>14</sup> Balance de Masa <http://es.scribd.com/doc/50570534/24/BALANCE-DE-MASA>



está relacionada directamente con la parte de la energía interna conocida como "energía cinética", que es la energía asociada a los movimientos de las partículas del sistema, sea en un sentido traslacional, rotacional, o en forma de vibraciones.

Ecuación para el Cálculo de la Temperatura Promedio de la Columna

Viene dado por la ecuación:

$$\bar{T} = \frac{\sum T_i}{4} \quad \text{Ec. [1.3.1.14 -1]}$$

### **1.3.1.15. CÁLCULO DE $\alpha$ Y LA VISCOSIDAD $\mu$**

#### **1.3.1.15.1. Cálculo de la Volatilidad Relativa**

Volatilidad relativa se denomina al cociente entre las volatilidades del componente más volátil y del menos volátil. Es función de las presiones de vapor de cada componente. Es función además de las concentraciones de cada fase (vapor y líquido).

Ecuación para el Cálculo de la Volatilidad Relativa

Viene dado por la ecuación:

$$\alpha = \frac{y(1-x)}{x(1-y)} \quad \text{Ec. [1.3.1.15.1 - 1]}$$

La determinación de la volatilidad relativa ayudará para verificar hasta qué punto se dará la destilación.

### **1.3.1.15.2.Cálculo de la Fluidez**

La fluidez es una característica de los líquidos y/o gases que les confiere la habilidad de poder pasar por cualquier orificio o agujero por más pequeño que sea, siempre que esté a un mismo o inferior nivel del recipiente en el que se encuentren (el líquido y el gas), a diferencia del restante estado de agregación conocido como sólido.

Ecuación para el Cálculo de la Fluidez

Viene dado por la ecuación:

$$\varphi = \frac{1}{\mu} \qquad \text{Ec. [1.3.1.15.2 – 1]}$$

dónde:

$\varphi$  = fluidez.

$\mu$ = viscosidad.

La fluidez se aplica para poder determinar el movimiento de las partículas contenidas en un líquido o en un gas produciéndose colisiones y fricciones entre ellas.

### **1.3.1.15.3.Cálculo de la Viscosidad**

Es una propiedad de los líquidos que indica la dificultad con que éstos fluyen. Un líquido es más viscoso cuanto menor es su fluidez. La viscosidad es debida a fuerzas e interacciones entre las partículas (rozamiento de las partículas) que limitan su movilidad.

$$\mu = \frac{1}{\phi} \quad \text{Ec. [1.3.1.15.3 - 1]}$$

La viscosidad se aplica para tener conocimiento del líquido que se desea transportar y determinar las características que tiene el equipo para el transporte del mismo.

### **1.3.1.16. CÁLCULO DE LOS PLATOS REALES**

Para determinar el número de platos reales es necesario introducir el concepto de eficacia o rendimiento de separación, que definimos, en términos generales, como el coeficiente entre el número de platos teóricos y el de platos reales.

Autor: Murphree

Ecuación para el Cálculo de los Platos Reales

Viene dado por la ecuación:

$$E_o = \frac{N_T}{N_R} \quad \text{Ec. [1.3.1.16 - 1]}$$

dónde:

$E_o$  = Eficiencia de los platos.

$N_T$  = Número de platos teóricos.

$N_R$  = Número de platos reales.

La ecuación nos permitirá determinar el número de platos reales el cual nos ayudará en el diseño de la torre. Para la destilación de hidrocarburos los valores de eficiencia varían entre

el 50 al 85% y para la absorción de hidrocarburos del 10 al 50%. Estas correlaciones solo deben usarse como estimaciones aproximadas.

### **1.3.1.17. CÁLCULO DEL DIÁMETRO**

#### **1.3.1.17.1. ZONA DE RECTIFICACIÓN**

##### **1.3.1.17.1.1. Cálculo de la Masa Molecular Media**

La masa molecular es la masa de una molécula de esa sustancia, concerniente a unidad de masa atómica unificada.

Ecuación para el Cálculo de la Masa Molecular Media

Viene dado por la ecuación:

$$\bar{M} = \sum X_i M_i \quad \text{Ec. [1.3.1.17.1.1 - 1]}$$

dónde:

$$\bar{M} = \text{Masa molecular media} \left( \frac{\text{Kg}}{\text{Kg mol}} \right).$$

$X_i$  = Fracción molar.

$$M_i = \text{Masa molecular} \left( \frac{\text{Kg}}{\text{Kg mol}} \right).$$

Se utiliza para determinar la masa molecular media de la alimentación que está ingresando por el plato de alimentación de la torre de destilación.

### **1.3.1.17.1.2. Cálculo del Caudal de Vapor**

Es la cantidad de vapor que se desprende durante el proceso de destilación. Depende del tipo de alimentación que se tenga.

Ecuación para el Cálculo del Caudal de Vapor

Viene dado por la ecuación:

$$V = D(1 + R) \qquad \text{Ec. [1.3.1.17.1.2 - 1]}$$

dónde:

V= Volumen de la solución (Kg/h).

D= Destilado (Kg/h).

R= Constante de los gases.

El caudal de vapor se utiliza para que exista una interacción entre la fase líquida y gaseosa de la torre de destilación.

### **1.3.1.17.1.3. Cálculo de Flujo del Gas**

Es la cantidad de gas que recircula en el interior de la torre de destilación.

Ecuación para el Cálculo de Flujo del Gas

Viene dado por la ecuación:

$$G = C[\rho_V(\rho_L - \rho_V)]^{1/2} \qquad \text{Ec. [1.3.1.17.1.3 - 1]}$$

dónde:

G= flujo del gas.

C= distancia entre platos (m).

$\rho_L$ = Densidad del líquido (Kg/m<sup>3</sup>).

$\rho_V$ = Densidad del vapor (Kg/m<sup>3</sup>).

Se aplica en los procesos de destilación, transferencia de calor, transferencia de masa, en los calderos.

#### **1.3.1.17.1.4. Cálculo del Área en la Zona de Rectificación**

El área es una medida de la extensión de una superficie, expresada en unidades de medida denominadas superficial.

Ecuación para el Cálculo del Área en la Zona de Rectificación

Viene dado por la ecuación:

$$A = \frac{V}{G} \qquad \text{Ec. [1.3.1.17.1.4 – 1]}$$

dónde:

A= Área (m<sup>2</sup>).

V= Volumen (Kg/h).

G= flujo del gas.

El área se aplica para la determinación de la superficie de figuras geométricas y en el dimensionamiento de equipos.

### **1.3.1.17.1.5. Cálculo del Diámetro de la Columna en la Zona de Rectificación**

El cálculo del diámetro permitirá determinar el diámetro interno de la columna de la torre.

Ecuación para el Cálculo del Diámetro de la Columna en la Zona de Rectificación

Viene dado por la ecuación:

$$\emptyset = \sqrt{\frac{4A}{\pi}} \quad \text{Ec. [1.3.1.17.1.5 - 1]}$$

dónde:

$\emptyset$ = Diámetro (m).

A= Área (m<sup>2</sup>).

Se aplica para la determinación los radios internos de todo objeto circular.

### **1.3.1.18.ZONA DE AGOTAMIENTO**

#### **1.3.1.18.1.Cálculo del Caudal de Vapor Medio**

Ecuación para el Cálculo del Caudal de Vapor Medio

Viene dado por la ecuación:

$$\bar{V} = V - Ff \quad \text{Ec. [1.3.1.18.1 - 1]}$$

dónde:

$\bar{V}$ = Caudal de vapor medio (Kg/h).

V = Volumen (Kg/h).

f = Número de moles de vapor que resultan en la sección de rectificación de la

introducción de cada mol de alimentación.

F = Alimentación (Kg/h).

### **1.3.1.18.2.Cálculo del Diámetro Promedio**

Ecuación para el Cálculo del Diámetro Promedio

Viene dado por la ecuación:

$$\bar{\phi} = \frac{\phi_R + \phi_A}{2} \quad \text{Ec. [1.3.1.18.2 - 1]}$$

dónde:

$\phi_R$  = Diámetro de la zona de rectificación (m).

$\phi_A$  = Diámetro de la zona de agotamiento (m).

### **1.3.1.18.3.Cálculo de la Longitud**

La longitud es una medida de una dimensión lineal para determinar el tamaño de la torre de destilación.

Ecuación para el Cálculo de la Longitud

Viene dado por la ecuación:

$$L = (N - 1)d + 1,5d + 2d \quad \text{Ec. [1.3.1.18.3 - 1]}$$

dónde:

N = Número de platos reales.

d = Diámetro (m)



Se aplica para la determinación del tamaño de los equipos.

### **1.3.1.19. BALANCE DE ENERGÍA**

El balance de energía se basa en la ley de la conservación de la energía que indica que en un proceso, la energía no se crea, ni se destruye, solo se transforma. En un balance total de energía se toma en cuenta las transferencias de energía a través de los límites del sistema.

#### **1.3.1.19.1. Balance Global de Energía**

Ecuación para el Cálculo del Balance Global de Energía

Viene dado por la ecuación:

$$\text{Entrada} = \text{Salida}$$

$$Q_B + H_F = Q_C + H_D + H_W \quad \text{Ec. [1.3.1.19.1 -1]}$$

dónde:

$Q_B$  = Calor

$H_F$  = Entalpía de Alimentación (Kcal/ h)

$Q_C$  = Calor del condensador (Kcal/ h)

$H_D$  = Entalpía del destilado (Kcal/ h)

$H_W$  = Entalpía del residuo (Kcal/ h)

### **1.3.1.19.2. Balance de Energía para el Condensador**

Ecuación para el Cálculo del Balance de Energía para el Condensador

Viene dado por la ecuación:

$$Q_c = V * \lambda_m \quad \text{Ec. [1.3.1.19.2 -1]}$$

dónde:

$Q_c$  = Calor del condensador (Kcal/ h)

$V$  = Caudal de vapor (Kcal/ h)

$\lambda_m$  = Calor Latente de la Mezcla (Kcal/ Kg)

### **1.3.1.20. CÁLCULO DEL RENDIMIENTO DEL EQUIPO**

Permite establecer la cantidad de producto recuperado.

Ecuación para el Cálculo del Rendimiento del Equipo

Viene dado por la ecuación:

$$\text{Rendimiento} = \frac{V_s}{V_e} * 100\% \quad \text{Ec. [1.3.1.20 -1]}$$

dónde:

$V_s$  = Volumen de destilado (mL/ h)

$V_e$  = Volumen de alimentación (mL/ h)

### **1.3.1.21. CÁLCULO DEL CALOR PERDIDO**

El calor perdido por un cuerpo es la diferencia entre el calor total del combustible y el calor gastado.

Ecuación para el Cálculo del Calor Perdido

Viene dado por la ecuación:

$$Q = Q_{TC} - Q_G \quad \text{Ec. [1.3.1.21 - 1]}$$

dónde:

$Q_{TC}$  = Calor Total del Combustible

$Q_G$  = Calor Gastado

#### **1.3.1.21.1. Cálculo del Calor Total del Combustible**

Ecuación para el Cálculo del Calor Total del Combustible

Viene dado por la ecuación:

$$Q_{TC} = m * \lambda_{GLP} \quad \text{Ec. [1.3.1.21.1 - 1]}$$

dónde:

m = Masa de gas GLP

$\lambda_{GLP}$  = Calor latente del GLP

#### **1.3.1.21.2. Cálculo del Calor Gastado**

Ecuación para el Cálculo del Calor Gastado

Viene dado por la ecuación:

$$Q_G = m_{agua} * Cp_{agua} * \Delta T \quad \text{Ec. [1.3.1.21.2 - 1]}$$

dónde:

$m_{agua}$  = Masa de Agua Gastada (Kg/h)

$Cp_{agua}$  = Capacidad Calorífica del Agua (Kcal/ Kg C)

$\Delta T$  = Variación de temperatura a la entrada y salida (°C)

### **1.3.1.22. CÁLCULO DE LA EFICIENCIA DEL EQUIPO**

Es una medida de la disponibilidad, eficiencia en el rendimiento y el índice de calidad de un equipo en particular.

Ecuación para el Cálculo de la Eficiencia del Equipo

Viene dado por la ecuación:

$$\text{Eficiencia} = \frac{Q_B + Q_C}{Q} * 100\% \quad \text{Ec. [1.3.1.22 - 1]}$$

dónde:

$Q_B$  = Calor Suministrado (Kcal/ h)

$Q_C$  = Calor del Condensador (Kcal / h)

$Q$  = Calor Perdido (Kcal/ h)

# CAPÍTULO II

## 2. PARTE EXPERIMENTAL

El procedimiento para el diseño del equipo de destilación consistió en la cuantificación de las lavadoras, lubricadoras y mecánicas de la ciudad de Riobamba, la recolección de muestras en las diferentes sitios mencionados, luego, fueron llevadas al laboratorio para realizar los correspondientes análisis de acuerdo a la NTE INEN 2029:1995, a más de la realización de la destilación a nivel de laboratorio que permitió la obtención de los datos necesarios para el dimensionamiento del equipo. El uso de los materiales y equipos disponibles en la Facultad para realizar las pruebas establecidas en la norma, las cuales permitirán verificar los resultados y así cumplir con los objetivos plantados en este proyecto.

Las muestras obtenidas fueron sometidas a una deshidratación, en la cual, se eliminaron aguas y sustancias volátiles, luego se añadió un solvente que ayuda a diluir el aceite y bentonitas para la adsorción de olores que contiene los aceites y otras sustancias generadas en la combustión. Finalmente se procedió a destilar para recuperar el solvente.

### 2.1. MUESTREO

El tipo de muestreo que se aplicó en este proyecto fue un muestreo aleatorio estratificado, debido al tipo de población, el cual, consistió en ubicar las cinco parroquias urbanas de la ciudad de Riobamba y de estas seleccionar dos sitios para la recolección de muestras, el

muestreo se ha efectuado con una frecuencia de una vez por semana, en el lapso de un mes con un total de 40 muestras.

En el Municipio de la Ciudad de Riobamba se encontró que existen 60 lubricadoras y lavadoras registradas y en la Asociación de Lubricadoras y Lavadoras se encuentran patentadas 111 lubricadoras y 50 lavadoras.

## **2.2. METODOLOGÍA**

### **2.2.1. MÉTODOS Y TÉCNICAS**

#### **2.2.1.1. MÉTODOS**

##### **2.2.1.1.1. Método Inductivo**

El dimensionamiento de la torre de destilación y para la purificación del aceite quemado, inició con la recolección de las muestras de aceites de las lavadoras, lubricadoras y mecánicas de la ciudad de Riobamba (Lubrimax, Lubricadora Méndez 5 Estrellas, Mundo Tuerca, Lubricadora Sur, Lavadora y Lubricadora, Caminos, Fórmula Uno, Lubricadora Rally Sport, Autobrill, Virgen del Cisne), las cuales, posteriormente se realizó la caracterización de cada muestra y las pruebas de laboratorio establecidas en la NTE INEN 2029:1995, iniciando con una deshidratación se eliminó agua y sustancias más volátiles, se añadió ácido sulfúrico donde se precipitó la borra ácido, luego se añadió hexano y bentonitas, y se filtró ayudando en el proceso de purificación; con el proceso de destilación simple controlando las temperaturas, volúmenes, tiempo, siendo esto la pauta para la

obtención de los datos que servirán para determinar los cálculos correspondientes para el diseño y construcción, posteriormente la verificación y el funcionamiento del equipo.

#### **2.2.1.1.2. Método Deductivo**

Con los estudios realizados en este proyecto se determinó las variables óptimas de proceso para el diseño, dimensionamiento y construcción de la Torre de Destilación para la purificación de aceites usados, lo cual, fue de gran ayuda mediante las pruebas de validación se consiguió cumplir con los objetivos planteados al inicio de esta investigación.

#### **2.2.1.2. TÉCNICAS**

En esta etapa del proceso investigativo se tomó como base fundamental la NTE INEN 2029, utilizando los parámetros siguientes: (NORMA INEN 1986-11 para la determinación de la Viscosidad Cinemática, NORMA INEN 2161:99 para la determinación de Corrosión en el cobre ) y las ASTM (Norma ASTM D- 93 Determinación del Punto de Inflamación, Norma ASTM D-189 para la Determinación del residuo de carbono Conradson, Norma ASTM D-482 para determinación de cenizas)respectivas, las cuales, permitieron verificar mediante procedimientos específicos si el aceite cumple con los parámetros establecidos por estas técnicas. Además se efectuó el proceso de destilación simple con la finalidad de obtener las variables para los cálculos de diseño y construcción de la torre de destilación.

**CUADRO 2.2.1.2-1**

**DETERMINACIÓN DE LA VISCOSIDAD CINEMÁTICA**

<b>Fundamento</b>	<b>Objetivos y Alcance</b>	<b>Materiales y Reactivos</b>	<b>Procedimiento</b>	<b>Cálculos</b>
La norma específica la forma de determinar la viscosidad de los lubricantes	Determinar la viscosidad cinemática de los productos líquidos de petróleo, tanto transparente como opaco.	Viscosímetro, sujetadores de viscosímetro, termostato, termómetro, cronometro	Limpiar completamente el viscosímetro usando un disolvente apropiado miscible con la muestra y luego un disolvente completamente volátil. Mantener el baño a la temperatura de ensayo con las lecturas corregidas del termómetro dentro de los límites dados. Cargar el viscosímetro en la forma indicada por el fabricante. Dejar que el viscosímetro cargado permanezca en el baño un tiempo lo suficientemente largo para alcanzar la temperatura de ensayo; este tiempo puede ser de 30 minutos. Cuando el diseño del viscosímetro así lo requiera, aguarar el volumen de la muestra de ensayo después de que el baño haya alcanzado el equilibrio de temperatura. Utilizando vacío o presión (si la muestra no contiene compuestos volátiles), desplazar el nivel de la muestra a una posición en el brazo capilar del instrumento alrededor de 5 mm antes de la primera marca registradora del tiempo. Con la muestra fluyendo libremente, medir el tiempo requerido con aproximación de 0.2, segundos para que el menisco pase de la primera a la segunda marca registradora del tiempo.	$Vc = C * t$ <p>Dónde:  <math>Vc</math> = viscosidad cinemática, en <math>mm^2/s</math>.  <math>C</math> = Constante de calibración del viscosímetro en <math>mm^2/s^2</math>  <math>t</math> = tiempo del flujo en s.</p>
	Se aplica en líquidos en los que, por fines prácticos, el esfuerzo cortante y el coeficiente de corte se consideran proporcionales y el coeficiente de viscosidad es independiente del coeficiente de corte.	Agua, aceite		

Fuente: NORMA INEN 1986-11



**CUADRO 2.2.1.2-2**

**DETERMINACIÓN DEL PUNTO DE INFLAMACIÓN**

<b>Fundamento</b>	<b>Objetivos y Alcance</b>	<b>Materiales y Reactivos</b>	<b>Procedimiento</b>	<b>Cálculos</b>
La norma específica el procedimiento para determinar el punto de inflamación.	Determinar el punto de inflamación	Copa Cerrada Pensky Martens, termómetro,	Llenar la copa con la muestra, hasta la línea de aforo indicada. Llevar la copa al equipo Pensky – Martens, taparlo y adaptarlo al termómetro Iniciar el calentamiento, activar la agitación y regular la llama a 4 mm Pasar la llama sobre la muestra con un intervalo de 2° C hasta que se produzca la primera inflamación con una pequeña detonación.	
	Se aplica a todos los productos de petróleo, excepto los aceites combustibles (fuel oils).	Aceite	Registrar esta temperatura la cual corresponde a la del punto de inflamación.	

**Fuente:** Norma ASTM D- 93

**CUADRO 2.2.1.2-3**

**DETERMINACIÓN DE CORROSIÓN EN EL COBRE**

<b>Fundamento</b>	<b>Objetivos y Alcance</b>	<b>Materiales y Reactivos</b>	<b>Procedimiento</b>	<b>Cálculos</b>
<p>La norma específica la forma de como el aceite produce corrosión en el cobre.</p>	<p>Determinar la corrosión al cobre de una gran variedad de productos del petróleo y sus derivados.</p> <hr/> <p>Se aplica a lubricantes, aceite de calefacción, combustible diésel y cera de petróleo.</p>	<p>Matraz esmerilado.                      Condensador de vidrio.                      Lámpara de cobre.                      Pieza de alambre delgado de cobre.                      Baño María                      Papel de lija de carbón.</p>	<p>Pulir con la lija de carbón ambos lados de la lámina antes de usarla.                      Asegurar el alambre por dentro del orificio, no tocar la lámina después de pulirla.                      Colocar la lámina dentro del matraz, agregar 200 cc de la muestra, conectar el condensador al matraz.                      La lámina debe quedar completamente sumergida.                      Colocar el matraz en baño maría que hierve suavemente.                      Retirar la lámina a los 30 minutos, no se la debe manipular.                      Sujetar la lámina de prueba a un ángulo de 45° para q la luz pueda facilitar la visibilidad.</p>	

Fuente: NORMA INEN 2161:99

**CUADRO 2.2.1.2-4**

**DETERMINACIÓN DEL RESIDUO DE CARBONO CONRADSON**

<b>Fundamento</b>	<b>Objetivos y Alcance</b>	<b>Materiales y Reactivos</b>	<b>Procedimiento</b>	<b>Cálculos</b>
<p>La norma específica el procedimiento para determinar el residuo de carbono.</p>	<p>Determinar el residuo de carbono.</p>	<p>Equipo de Conradson, crisol, trípode, malla de amianto, balanza analítica.</p>	<p>Pesar un crisol de porcelana vacío previamente tarado a 800 °C.                      Pesar el crisol más una cierta muestra problema.                      Colocar el crisol de porcelana dentro de los crisoles metálicos y tapar.                      Colocar todo el conjunto en el trípode con malla de amianto e iniciar un leve calentamiento.                      Al momento que se observa la emisión de un humo blanco, incrementar la temperatura y continuar el calentamiento durante una hora aproximadamente.                      Retirar el crisol de porcelana del resto de crisoles y colocarlo en el desecador.                      Dejar enfriar el crisol y determinar el peso del crisol más residuo de carbono.                      Mediante diferencia de pesos determinar el porcentaje de residuo carbono condratson.</p>	
	<p>Se aplica a productos del petróleo relativamente no volátiles que se descomponen parcialmente en la destilación atmosférica.</p>	<p>Aceite.</p>		

Fuente: NORMA ASTM D-189

**CUADRO 2.2.1.2-5**

**DETERMINACIÓN DE LAS CENIZAS**

<b>Fundamento</b>	<b>Objetivos y Alcance</b>	<b>Materiales y Reactivos</b>	<b>Procedimiento</b>	<b>Cálculos</b>
<p>La norma específica el procedimiento para la determinación de cenizas.</p>	<p>Determinar las cenizas.</p>	<p>Mufla, capsula, balanza.</p>	<p>Al residuo obtenido en la prueba ASTM D-189 RESIDUO DE CARBONO adicionar unas gotas de ácido clorhídrico. Colocar una mufla y calentar a 775 °C. Enfriar, desecar y pesar el residuo que queda.</p>	
	<p>Se aplica a combustibles destilados y residuales, combustibles de turbinas a gas, petróleo crudo, aceites lubricantes, parafinas y otros productos del petróleo, en los que cualquier material que forme cenizas es considerado contaminante.</p>	<p>Aceite, ácido clorhídrico.</p>		

Fuente: NORMA ASTM D-482

## **2.3. DATOS EXPERIMENTALES**

### **2.3.1. DIAGNÓSTICO**

Para iniciar este proyecto se consideró 2 lubricadoras, lavadoras y mecánicas de cada parroquias urbana de la ciudad(Lubrimax, Lubricadora Méndez 5 Estrellas, Mundo Tuerca, Lubricadora Sur, Lavadora y Lubricadora, Caminos, Fórmula Uno, Lubricadora Rally Sport, Autobrill, Virgen del Cisne), en donde el principal inconveniente fue la falta de colaboración por parte de los propietarios y trabajadores, por lo cual, se tuvo dificultad en la recolección de muestras, muchos de estos sitios venden estos aceites a empresas madereras sin imaginarse el daño que causaban al ambiente.

Después de su vida útil, el aceite lubricante adquiere concentraciones elevadas de metales pesados, compuestos clorados producto principalmente del desgaste del motor o maquinaria que lubricó y por contacto con combustibles, reacción del aceite con compuestos halogenados de los aditivos (tricloroetano, tricloroetileno y percloroetileno) o por la adición de estos solventes por parte del generador.

Con la realización del muestreo se determinó que se encuentran asentados un total de 111 lubricadoras y 57 lavadoras pertenecen a la Asociación de lubricadoras y lavadoras., de las cuales 60 se encuentran registradas en el Municipio de la Ciudad de Riobamba.

La regeneración es uno de los métodos para reutilizar estos aceites con menor impacto ambiental, siendo este el objetivo principal del proyecto, la construcción de una torre de destilación para la purificación de estos aceites de forma tal que se puedan volver a usarse como base para la fabricación de lubricantes o ser utilizados para lubricación..

Como un previo diagnóstico del aceite usado se diría que la mayoría de las lubricadoras y mecánicas mezclan los aceites usados de vehículos livianos, camionetas, buses y camiones convirtiendo a este aceite aún más contaminante, las lubricadoras no llevan un registro de volumen obtenido por cambios de aceite, además se observa que en el cambio de aceite lavan partes del vehículo con gasolina u otras sustancias que son puestas con el aceite usado provocando una contaminación aún mayor.

Se observó que la lubricadora Formula Uno es la única que separa aceite de vehículos livianos de los pesados en sus respectivos tanques. Esto fue de gran ayuda para la purificación de estos aceites ya que contienen menos contaminantes.

## 2.3.2. DATOS

**CUADRO 2.3.2-1**  
**CANTIDAD DE MUESTRAS**

<b>Parroquia Urbana</b>	<b>Lubricadoras y Mecánicas</b>	<b>N° de Muestras</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Fecha de Recolección</b>
Velasco	Lubrimax	1	5 L	16/03/2012
		2	5 L	22/03/2012
		3	5 L	29/03/2012
		4	5 L	6/04/2012
	Lubricadora Méndez 5 Estrellas	1	4 L	16/03/2012
		2	4 L	22/03/2012
		3	4 L	29/03/2012
		4	4 L	6/04/2012
Lizarzaburo	Mundo Tuerca	1	3 L	20/03/2012
		2	3 L	27/03/2012
		3	3 L	3/04/2012
		4	3 L	10/04/2012
	Lubricadora Sur	1	5 L	20/03/2012
		2	5 L	27/03/2012
		3	5 L	3/04/2012
		4	5 L	10/04/2012
Yaruquies	Lavadora y Lubricadora	1	4 L	16/04/2012
		2	4 L	23/04/2012
		3	4 L	30/04/2012
		4	4 L	7/05/2012
	Caminos	1	4 L	16/04/2012
		2	4 L	23/04/2012
		3	4 L	30/04/2012
		4	4 L	7/05/2012
Maldonado	Fórmula Uno	1	3 L	11/04/2012
		2	3 L	18/04/2012
		3	3 L	25/04/2012
		4	3 L	2/05/2012
	Lubricadora Rally Sport	1	4 L	11/04/2012
		2	4 L	18/04/2012
		3	4 L	25/04/2012
		4	4 L	2/05/2012
Veloz	Autobrill	1	5 L	20/04/2012
		2	5 L	27/04/2012
		3	5 L	4/05/2012
		4	5 L	11/05/2012
	Virgen del Cisne	1	5 L	20/04/2012
		2	5 L	27/04/2012
		3	5 L	4/05/2012
		4	5 L	11/05/2012

**TABLA 2.3.2-1**

**DATOS EXPERIMENTALES DE LA DESTILACIÓN SIMPLE PARA LA  
RECUPERACIÓN DE SOLVENTE**

<b>Temperatura ( C )</b>	<b>% Volumen (mL)</b>	<b>Tiempo ( min)</b>
86	0,01	8
91	0,05	8,5
94	0,1	8,5
98	0,15	9
100	0,2	9,5
103	0,25	10
105	0,3	11
107	0,35	12
110	0,4	12,5
110	0,45	13
111	0,5	13,5
112	0,55	14
116	0,6	15
118	0,65	16
122	0,7	17
127	0,75	18
134	0,8	20
143	0,85	24
160	0,9	30

Fuente: MEDINA V. / SÁNCHEZ M., 2012

**2.3.2.1. VISCOSIDAD CINEMÁTICA**

Mediante la Norma INEN 1986-11 se obtiene los siguientes datos, tanto para el aceite usado y para el aceite destilado.



**TABLA 2.3.2.1-1**

**DATOS DE VISCOSIDAD**

<b>Muestra</b>	<b>Aceite Usado</b>
	<b>cSt a 100 °C</b>
<b>1</b>	13,87
<b>2</b>	14,13
<b>3</b>	14,95
<b>4</b>	13,63

Fuente: MEDINA V. / SÁNCHEZ M., 2012

**2.3.2.2. PUNTO DE INFLAMACIÓN**

Mediante la Norma ASTM D- 93 se obtiene los siguientes datos, tanto para el aceite usado y para el aceite destilado.

**TABLA 2.3.2.2-1**

**DATOS DEL PUNTO DE INFLAMACIÓN**

<b>Muestra</b>	<b>Aceite Usado</b>
	<b>Temperatura de detonación °C</b>
<b>1</b>	290
<b>2</b>	265
<b>3</b>	232
<b>4</b>	273

Fuente: MEDINA V. / SÁNCHEZ M., 2012

### 2.3.2.3. CORROSIÓN AL COBRE

Mediante la NORMA INEN 2161:99



Fig. 2.2.1.1.2-1 Comparación de Colores Norma ASTM D – 130

### 2.3.2.4. CENIZAS

Mediante la NORMA ASTM D-482 obtenemos los siguientes datos, tanto para el aceite usado y para el aceite destilado.

**TABLA 2.3.2.4-1****DATOS DE CENIZAS**

<b>Muestra</b>	<b>Aceite Usado</b>			<b>Aceite Purificado</b>		
	<b>Peso de Crisol Tarado (g)</b>	<b>Peso de crisol + Muestra ( g)</b>	<b>Peso crisol + residuo de carbono (g)</b>	<b>Peso de Crisol Tarado (g)</b>	<b>Peso de crisol + Muestra ( g)</b>	<b>Peso crisol + residuo de carbono (g)</b>
<b>1</b>	23,05	28,10	26,59	23,05	26,93	26,55
<b>2</b>	23,05	28,09	26,65	23,05	26,92	26,36
<b>3</b>	23,05	28,10	26,49	23,05	26,94	26,48
<b>4</b>	23,05	28,11	26,56	23,05	26,93	26,74

Fuente: MEDINA V. / SÁNCHEZ M., 2012

**2.4. DATOS ADICIONALES**

La mezcla que será utilizada para la destilación está compuesta por aceite mineral y de un solvente, que han sido tomados para los diversos cálculos.

**TABLA 2.4-1****CLASIFICACIÓN DE LA LÁMINA DE COBRE EXPUESTA****(SEGÚN NORMA ASTM)**

<b>Calificación</b>	<b>Descripción</b>	<b>Designación</b>
1	A) Anaranjado claro B) Anaranjado oscuro	Ligeramente manchado
2	A) Rojo claro B) Azul suave C) Colores múltiples con azul claro y/o plateado, sobre fondo rojo claro	Moderadamente Manchada
3	A) Tornasol oscuro B) Sobre bronceado C) Colores múltiples con rojo y verde pero sin gris	Marcadamente Manchada
4	A) Negro claro. Gris oscuro o castaño, con verde apenas perceptible B) Negro opaco C) Negro brillante	Corrosión

**Fuente:** Técnica de laboratorio de Tecnología del Petróleo., 2012

**TABLA 2.4-2**

**DATOS ADICIONALES DE ACEITE PARAFÍNICO – HEXANO**

<b>Parámetros</b>	<b>Unidades</b>	<b>Aceite Parafínico</b>	<b>Hexano</b>
Cp	Kcal / Kg C	0,45	0,7
$\lambda$	Kcal / kg	90	70
Tb	C	360	69
$\mu$	cP	0,33	0,14

Fuente: Capacidad Calorífica del aceite parafínico [http://ingenieria-de-petroleo.lacomunidadpetrolera.com/2009/03/caracteristicas-fisicas-y-quimicas-del\\_6358.html](http://ingenieria-de-petroleo.lacomunidadpetrolera.com/2009/03/caracteristicas-fisicas-y-quimicas-del_6358.html)

**TABLA 2.4-3**

**DATOS ADICIONALES**

<b>Parámetro</b>	<b>Unidades</b>	<b>Valor</b>
K	Adimensional	2
T	K	293
R	Adimensional	0,082
Distancia entre Plato	m	0,15
$\Pi$	Adimensional	3,1416
C	Adimensional	42

Fuente: Distancia entre Platos <http://www.monografias.com/trabajos15/propiedades-lubricantes/propiedades-lubricantes.shtml>

# **CAPÍTULO III**

## **CÁLCULOS Y RESULTADOS**

### **3. DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA TORRE DE DESTILACIÓN PARA LA PURIFICACIÓN DEL ACEITE USADO PROCEDENTE DE VEHÍCULOS**

#### **3.1. GENERALIDADES**

Para el diseño de la Torre de Destilación se realizó la purificación del aceite mediante un proceso ácido-base más la adición de un solvente y finalmente se procedió a destilar y recuperar dicho solvente, con una destilación simple en el laboratorio. Tomando en cuenta los factores que influyen en el proceso de destilación como son: las temperaturas de ebullición de las sustancias que intervienen en el proceso, y la presión o tensión del vapor de un líquido.

Obteniendo los datos que servirán para realizar los cálculos necesarios para el diseño de la torre de destilación, misma que fue utilizada para la recuperación de solvente en la purificación del aceite usado procedente de vehículos. Y de esta manera brindar una solución a la generación de contaminación ambiental que causa estos aceites, los cuales no poseen un adecuado tratamiento para darles un nuevo uso.

## 3.2. CÁLCULOS

### 3.2.1. CAPACIDAD CALORÍFICA MEDIA

#### 3.2.1.1. CÁLCULO DE LA CAPACIDAD CALORÍFICA MEDIA ( $\overline{Cp}$ )

Se utiliza los datos de la tabla 2.4–2 los valores de las capacidades caloríficas para aceite parafínico y hexano.

De la Ec. 1.3.1.1 – 1 se tiene:

$$\begin{aligned}\overline{Cp} &= \sum X_i C_{pi} \\ \overline{Cp} &= (0,5 * 0,45) + (0,5 * 0,7) \\ \overline{Cp} &= 0,575 \frac{Kcal}{Kg C}\end{aligned}$$

### 3.2.2. CALOR LATENTE MEDIO

#### 3.2.2.1. CÁLCULO DEL CALOR LATENTE MEDIO ( $\overline{\lambda F}$ )

Se utiliza los datos de la tabla 2.4–2 los valores del calor latente para aceite parafínico y hexano.

De la Ec. 1.3.1.2 – 1 se tiene:

$$\begin{aligned}\overline{\lambda F} &= \sum X_i \lambda_{Fi} \\ \overline{\lambda F} &= (0,5 * 90) + (0,5 * 70) \\ \overline{\lambda F} &= 80 \frac{K cal}{Kg}\end{aligned}$$

### 3.2.3. CÁLCULO DEL PARÁMETRO $f$ DE ALIMENTACIÓN

De la Ec. 1.3.1.3 – 1 se tiene:

$$f = -\frac{Cp(\bar{T}_b - T_F)}{\bar{\lambda} F}$$

$$f = -\frac{0,575(69 - 20)}{80}$$

$$f = -0,35$$

### 3.2.4. CÁLCULO DE LA PENDIENTE

De la Ec. 1.3.1.4 – 1 se tiene:

$$m = -\frac{(1 - f)}{f}$$

$$m = -\frac{(1 - 0,3521)}{-0,3521}$$

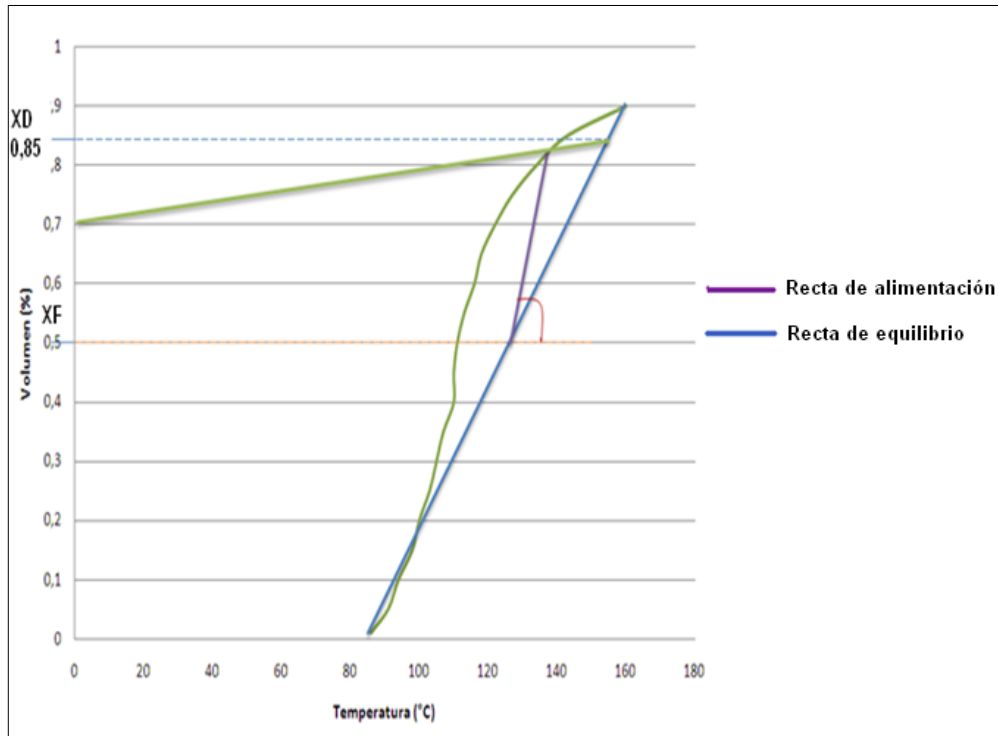
$$m = 3,83$$

Con el valor hallado se determinará el ángulo ( $\theta = 75,40$ ) de la recta de alimentación con relación a la recta de equilibrio.



### 3.2.4.1. CURVA DE EQUILIBRIO

#### 3.2.4.1.1. RECTA DE ALIMENTACIÓN



### 3.2.5. CÁLCULO DE LA RELACIÓN DE REFLUJO MÍNIMO

De la fracción de destilado se traza una recta que pase por el punto que corta la recta de alimentación de la curva de equilibrio, obteniéndose el valor de 0,7 en el eje de las abscisas.

De la Ec. 1.3.1.7 – 1, se tiene:

$$\frac{X_D}{R_{Dmin} + 1} = \text{Valor de la interpolación}$$

$$\frac{X_D}{R_{Dmin} + 1} = 0,7$$

$$X_D = 0,7 (R_{Dmin} + 1)$$

$$0,85 = 0,7 R_{D \min} + 0,7$$

$$0,85 - 0,7 = 0,7 R_{D \min}$$

$$\frac{0,15}{0,7} = R_{D \min}$$

$$R_{D \min} = 0,21$$

Con el valor hallado de  $R_{D \min}$  trazamos la recta de rectificación partiendo desde el punto de  $X_D$ .

### **3.2.6. CÁLCULO DE LA RELACIÓN DE REFLUJO TOTAL**

De la Ec. 1.3.1.8- 1, se tiene:

$$RT = k * R_{D \min}$$

$$RT = 2 * 0,2143$$

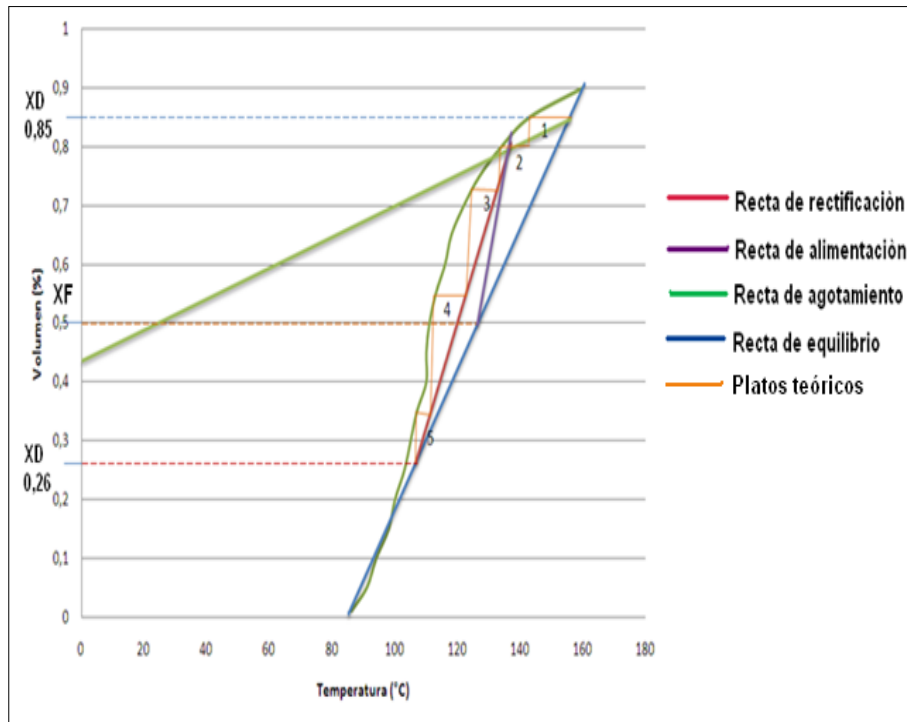
$$RT = 0,43$$

### **3.2.7. TRAZAR LA CURVA DE AGOTAMIENTO**

La recta de agotamiento resulta de la unión de los puntos de  $X_w$  con la intersección de la recta de alimentación y rectificación.

### **3.2.8. TRAZAR EL NÚMERO DE PLATOS TEÓRICOS**

Una vez trazadas las curvas de operación se procede a trazar los platos para así determinar el número de platos reales y el plato por el cual se realizará la alimentación.



### 3.2.9. RECTA DE AGOTAMIENTO

#### 3.2.9.1. PLATOS TEÓRICOS

##### 3.2.9.1.1. Cálculo del balance de masa

De la Ec. 1.3.1.12 – 1 se tiene:

$$F = W + D$$

$$400 = W + D$$

$$D = 400 - W \quad \text{Ec. [3.2.9.1.1 - 1]}$$

#### 3.2.9.2. BALANCE DE MASA PARCIAL

##### 3.2.9.2.1. Cálculo del balance de masa parcial del hexano

En este caso se realiza el balance de masa parcial para el hexano debido a que este componente es el más volátil.

De la Ec. 1.3.1.13 – 1 se tiene:

$$FX_F = WX_W + DX_D$$

$$400 * 0,5 = (400 - W) * 0,85 + W * 0,26$$

$$200 = 340 - 0,85W + 0,26 W$$

$$- 140 = -0,59 W$$

$$W = 237,29 \frac{Kg \text{ mol}}{h}$$

Reemplazamos el valor de W en la Ec. 3.2.9.1.1 – 1 se tiene:

$$D = 400 - W$$

$$D = 400 - 237,29$$

$$D = 162,71 \frac{Kg \text{ mol}}{h}$$

### **3.2.10. CÁLCULO DE LA TEMPERATURA PROMEDIO DE LA COLUMNA**

Se realizó los cálculos de la temperatura promedio con estos rangos debido a que existe similitud entre ellas.

**TABLA 3.2.10-1**

**DATOS DE TEMPERATURA**

<b>x</b>	<b>Media</b>	<b>Temperatura ( C)</b>
5 – 15	Aritmética	104
15 – 45	Geométrica	122,3
45 – 75	Aritmética	120,3
75 - 90	Geométrica	193,2
<b>Fuente:</b> Medina V. / Sánchez M., 2012		$\Sigma =$ 133,9

De la Ec. 1.3.1.14 – 1 se tiene:

$$\bar{T} = \frac{\sum T_i}{4}$$

$$\bar{T} = \frac{\sum T_i}{4}$$

$$\bar{T} = 133,9 C$$

**3.2.11. CÁLCULO DE  $\alpha$  Y LA VISCOSIDAD  $\mu$**

**3.2.11.1. CÁLCULO DE LA VOLATILIDAD RELATIVA**

De la Tabla 2.3-1, interpolamos el valor de la Temperatura Promedio para calcular el valor de X:

Temperatura ( C )	% Volumen (mL)	Tiempo ( min)
86	0,01	8
91	0,05	8,5
94	0,1	8,5
98	0,15	9
100	0,2	9,5
103	0,25	10
105	0,3	11
107	0,35	12
110	0,4	12,5
110	0,45	13
111	0,5	13,5
112	0,55	14
116	0,6	15
118	0,65	16
122	0,7	17
127	0,75	18
134	0,8	20
143	0,85	24
160	0,9	30

$$\frac{134 - 127}{0,80 - 0,75} = \frac{134 - 133,9}{0,80 - x}$$

$$x = 0,79$$

Mediante la fórmula calculamos el valor de Y:

$$Y = \frac{1}{R_D + 1} X_D + \frac{R_D}{R_D + 1} X$$

$$Y = 0,91$$

**TABLA 3.2.11.1-1**

**DATOS DE X y Y**

<b>Temperatura (C)</b>	<b>X</b>	<b>Y</b>
134,9	0,79	0,91

**Fuente:** Medina V. / Sánchez M., 2012

De la Ec. 1.3.1.15.1 – 1 se tiene:

$$\alpha = \frac{y(1 - x)}{x(1 - y)}$$

$$\alpha = \frac{0,91 (1 - 0,79)}{0,79(1 - 0,91)}$$

$$\alpha = 2,74$$

**3.2.11.2. CÁLCULO DE LA FLUIDEZ**

De la Ec. 1.3.1.15.2 – 1 se tiene:

$$\varphi = \frac{1}{\mu_{Ac}} Y + \frac{1}{\mu_H} X$$

$$\varphi = \frac{1}{0,33} 0,79 + \frac{1}{0,14} 0,91$$

$$\varphi = 8,45$$

**3.2.11.3. CÁLCULO DE LA VISCOSIDAD**

De la tabla 2. 4 - 2 con los datos de la viscosidad de aceite y hexano calculamos:

De la Ec. 1.3.1.15.3 – 1 se tiene:

$$\mu = \frac{1}{\phi}$$

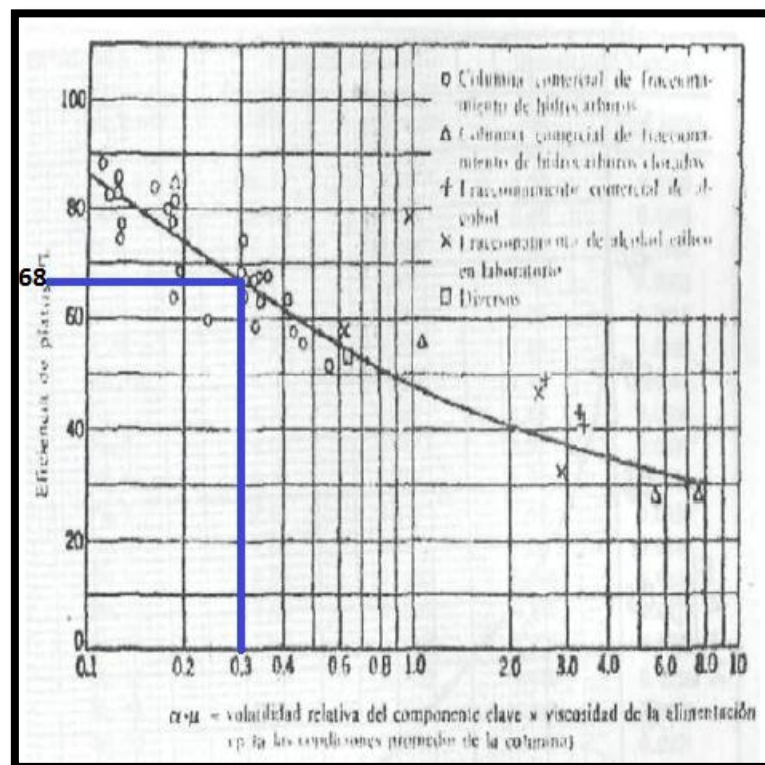
$$\mu = \frac{1}{8,45}$$

$$\mu = 0,12$$

$$\alpha * \mu = 2,74 * 0,12$$

$$\alpha * \mu = 0,3$$

Este valor nos sirve para obtener la eficiencia en la gráfica de O'CONNEL.





### 3.2.12. CÁLCULO DE LOS PLATOS REALES

El valor obtenido de la gráfica de O'CONNEL es del 68%.

De la Ec. 1.3.1.16 – 1 se tiene:

$$E_o = \frac{N_T}{N_R}$$

Interpolar en tablas

$$N_R = \frac{N_T}{E_o}$$

$$N_R = \frac{5}{0.68}$$

$$N_R = 7$$

El número de platos reales es de 7.

### 3.2.13. CÁLCULO DEL PLATO DE ALIMENTACIÓN

Luego de haber trazado los platos teóricos, se procederá a determinar el plato de alimentación.

$$P_{alimentación} = \frac{P_{alimentación\ teórica}}{E_o}$$

$$P_{alimentación} = \frac{2,2}{0,68}$$

$$P_{alimentación} = 3 \pm 2$$

### 3.2.14. CÁLCULO DEL DIÁMETRO DE LA COLUMNA

#### 3.2.14.1. ZONA DE RECTIFICACIÓN

##### 3.2.14.1.1. Cálculo de la Masa Molecular Media

De la Ec. 1.3.1.17.1.1 – 1 se tiene:

$$\bar{M} = \sum X_i M_i$$

$$\bar{M} = (X_{Fh} * P_{Mh}) + (X_{Fac} * P_{Mac})$$

$$\bar{M} = 0,85 * 86,18 + 0,15 * 395$$

$$\bar{M} = 132,50 \frac{Kg}{K mol}$$

##### 3.2.14.1.2. Cálculo del Caudal de Vapor

De la Ec. 1.3.1.17.1.2 – 1 se tiene:

$$V = D (1 + R)$$

$$V = 21,93 * (1 + 0.43)$$

$$V = 31,33 \frac{Kg}{h}$$

##### 3.2.14.1.3. Cálculo de la densidad de Vapor

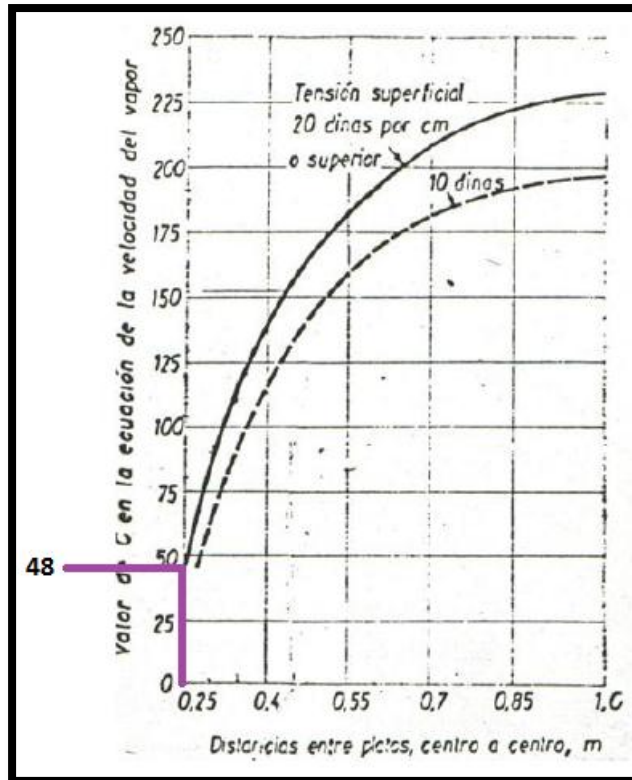
$$\rho_v = \frac{\bar{M} * P}{R * T}$$

$$\rho_v = \frac{81,09 * 1}{0,082 * 293}$$

$$\rho_v = 5,51 \frac{Kg}{m^3}$$

### 3.2.14.1.4. Cálculo del Flujo del Gas

Con el valor de la distancia entre platos (0,15 m) interpolamos en el diagrama de BROWN SOUDERS.



De la Ec. 1.3.1.17.1.3 - 1 se tiene:

$$G = C[\rho_V(\rho_L - \rho_V)]^{1/2}$$

$$G = 48 [ 5,51(701,4 - 5,51)]^{1/2}$$

$$G = 2973,59 \frac{Kg}{h m^2}$$

### 3.2.14.1.5.Cálculo del Área

De la Ec. 1.3.1.17.1.4 – 1 se tiene:

$$A = \frac{V}{G}$$

$$A = \frac{31,33}{2973,59}$$

$$A = 0,010 \text{ m}^2$$

### 3.2.14.1.6.Cálculo del Diámetro de la Columna en la Zona de Rectificación

De la Ec. 1.3.1.17.1.5 – 1 se tiene:

$$\phi = \sqrt{\frac{4A}{\pi}}$$

$$\phi = \sqrt{\frac{4 * 0,010}{3,14}}$$

$$\phi = 0,11 \text{ m}$$

## 3.2.14.2.ZONA DE AGOTAMIENTO

### 3.2.14.2.1.Cálculo de la Masa Molecular Media

$$\bar{M} = PT_{Ac} * X_{Ac} + PT_H * X_H$$

$$\bar{M} = 395 * 0,74 + 86,18 * 0,84$$

$$\bar{M} = 314,70 \frac{Kg}{K \text{ mol}}$$

### 3.2.14.3.ZONA DE AGOTAMIENTO

#### 3.2.14.3.1.Cálculo del Caudal de Vapor Medio

De la Ec. 1.3.1.18.1 – 1 se tiene

$$\bar{V} = V - Ff$$

$$\bar{V} = 31,33 \frac{Kg}{h} - (-0,35 * 39,29)$$

$$\bar{V} = 45,17 \frac{Kg}{h}$$

#### 3.2.14.3.2.Cálculo de la Densidad de Vapor

$$\rho_v = \frac{\bar{M} * P}{R * T}$$

$$\rho_v = \frac{314,70 * 1}{0,082 * 293}$$

$$\rho_v = 13,09 \frac{Kg}{m^3}$$

#### 3.2.14.3.3.Cálculo del Flujo de Gas

De la Ec. 1.3.1.17.1.3 – 1 se tiene:

$$G = C[\rho_v(\rho_L - \rho_v)]^{1/2}$$

$$G = 48[13,09(0,84 - 13,09)]^{1/2}$$

$$G = 4557,67 \frac{Kg}{h m^2}$$

#### 3.2.14.3.4.Cálculo del Área

De la Ec. 1.3.1.18.1 – 1 se tiene:

$$A = \frac{V}{G}$$

$$A = \frac{45,17 \frac{Kg}{h}}{4557,67 \frac{Kg}{h m^2}}$$

$$A = 0,0099 m^2$$

### 3.2.14.3.5. Cálculo del Diámetro de la Columna de Agotamiento

De la Ec. 1.3.1.18.2 – 1 se tiene:

$$\phi = \sqrt{\frac{4A}{\pi}}$$

$$\phi = \sqrt{\frac{4 * 0,0099}{3,14}}$$

$$\phi = 0,11 m$$

### 3.2.14.3.6. Cálculo de la Longitud

De la Ec. 1.3.1.18.3 – 1 se tiene:

$$L = (N - 1)d + 1,5d + 2d$$

$$L = (7 - 1) 0,15 + 1,5 * 0,15 + 2 * 0,15$$

$$L = 1,42 m$$

### 3.2.14.4. BALANCE DE ENERGÍA

#### 3.2.14.4.1. Balance Para el Condensador

De la Ec. 1.3.1.19.2 – 1 se tiene:

$$Q_c = V * \lambda m$$

$$Q_c = 31,33 \frac{Kg}{h} (0,85 * 70 + 0,15 * 90) \frac{Kcal}{Kg}$$

$$Q_c = 2287,09 \frac{Kcal}{h}$$

#### 3.2.14.4.2. Cálculo del Calor Suministrado

De la Ec. 1.3.1.19.1 -1 se tiene:

$$Q_B + H_F = Q_C + H_D + H_W$$

##### 3.2.14.4.2.1. Cálculo de la Entalpía de Alimentación

$$H_F = m * \bar{C}_p + \Delta T$$

$$H_F = 0,31 \frac{Kg}{h} * 0,58 \frac{Kcal}{KgC} * (86 - 20)C$$

$$H_F = 11,87 \frac{Kcal}{h}$$

##### 3.2.14.4.2.2. Cálculo de la Entalpía del Residuo

$$H_W = m * C_{p_{AC}} + \Delta T$$

$$H_W = 0,23 \frac{Kg}{h} * 0,45 \frac{Kcal}{KgC} * (160 - 20)C$$

$$H_W = 14,49 \frac{Kcal}{h}$$

Reemplazando en la ecuación 1.3.1.19.1-1 se tiene:

$$Q_B = Q_C + H_W - H_F$$

$$Q_B = (2287,09 + 14,49 - 11,87) \frac{Kcal}{h}$$

$$Q_B = 2289,71 \frac{Kcal}{h}$$

#### **3.2.14.4.2.3. Cálculo del Rendimiento de la Columna**

De la Ec. 1.3.1.20 -1 se tiene:

$$Rendimiento = \frac{V_s}{V_e} * 100\%$$

$$Rendimiento = \frac{14000}{18000} * 100\%$$

$$Rendimiento = 78\%$$

#### **3.2.14.4.2.4. Cálculo del Calor Perdido**

De la Ec. 1.3.1.21-1 se tiene:

$$Q = Q_{TC} - Q_G$$

#### **3.2.14.4.2.5. Cálculo del Calor Total del Combustible**

De la Ec. 1.3.1.21.1-1 se tiene:

$$Q_{TC} = m * \lambda_{GLP}$$



$$Q_{TC} = \frac{15 \text{ Kg}}{h} * \frac{4000 \text{ Kcal}}{\text{Kg}}$$

$$Q_{TC} = 60000 \frac{\text{Kcal}}{h}$$

#### 3.2.14.4.2.6. Cálculo del Calor Gastado

De la Ec. 1.3.1.21.2-1 se tiene:

$$Q_G = m_{\text{agua}} * C_{p\text{agua}} * \Delta T$$

$$Q_G = 131,4 \frac{\text{Kg}}{h} * 1 \frac{\text{Kcal}}{\text{Kg} \cdot \text{C}} * (65,5 - 19)^\circ \text{C}$$

$$Q_G = 6110,1 \frac{\text{Kcal}}{h} * 9 = 54990,9 \frac{\text{Kcal}}{h}$$

Reemplazo en la Ec. 1.3.1.21-1 para obtener el Calor Perdido:

$$Q = Q_{TC} - Q_G$$

$$Q = 60000 \frac{\text{Kcal}}{h} - 54990,9 \frac{\text{Kcal}}{h}$$

$$Q = 5009,1 \frac{\text{Kcal}}{h}$$

#### 3.2.14.4.2.7. Cálculo de la Eficiencia del Equipo

De la Ec. 1.3.1.22-1 se tiene:

$$\text{Eficiencia} = \frac{Q_B + Q_C}{Q} * 100\%$$

$$\text{Eficiencia} = \frac{(2289,71 + 2287,09) \frac{\text{Kcal}}{\text{h}}}{5009,1 \frac{\text{Kcal}}{\text{h}}} * 100\%$$

$$\text{Eficiencia} = 91 \%$$

### 3.2.15. ANÁLISIS DE COSTOS

**CUADRO 3.2.15-1**

**ANÁLISIS DE COSTOS**

COSTOS	VALOR (\$)
Agua	1,00
GLP (1/2 tanque)	2,50
Horas hombre	8,00
Aditivos	1,50
<b>TOTAL</b>	<b>13,00</b>

Fuente: MEDINA V. / SÁNCHEZ M., 2012

$$\text{Costo del aceite recuperado} = \frac{\text{Gastos} (\$)}{\text{Volumen de producción}}$$

$$\text{Costo del aceite recuperado} = \frac{13 (\$)}{18L}$$

$$\text{Costo del aceite recuperado} = 0,72 \frac{\$}{L}$$

El costo del aceite a granel en el mercado es de 8,00 \$/gal, entonces:

$$1 \text{ gal} = 3,78 \text{ L}$$

$$\frac{12,00 (\$)}{3,78 (L)} = 3,17 \frac{\$}{L}$$

Por lo tanto:

Ganancia = Costo del aceite en el mercado – costo del aceite recuperado

$$\text{Ganancia} = (3,17 - 0,72) \frac{\$}{\text{L}}$$

$$\text{Ganancia} = 2,45 \frac{\$}{\text{L}}$$

### 3.3. RESULTADOS

**TABLA 3.3-1**

#### **RESULTADO DE VISCOSIDAD**

<b>Muestra</b>	<b>Aceite Usado</b>	<b>Aceite Purificado</b>
	<b>cSta 100 °C</b>	<b>cSta 100 °C</b>
<b>1</b>	13,87	10,80
<b>2</b>	14,13	11,91
<b>3</b>	14,95	14,40
<b>4</b>	13,63	9,74

Fuente: MEDINA V. / SÁNCHEZ M., 2012

**TABLA 3.3-2**

#### **RESULTADOS DEL PUNTO DE INFLAMACIÓN**

<b>Muestra</b>	<b>Aceite Usado</b>	<b>Aceite Purificado</b>
	<b>Temperatura de detonación °C</b>	<b>Temperatura de detonación °C</b>
<b>1</b>	290	238
<b>2</b>	265	220
<b>3</b>	232	198
<b>4</b>	273	233

Fuente: MEDINA V. / SÁNCHEZ M., 2012

**TABLA 3.3-3****RESULTADOS DE CORROSIÓN AL COBRE**

<b>Muestra</b>	<b>Aceite Usado</b>			<b>Aceite Purificado</b>		
	<b>Calificación</b>	<b>Descripción</b>	<b>Designación</b>	<b>Calificación</b>	<b>Descripción</b>	<b>Designación</b>
1	2 A	Rojo Claro	Moderadamente Manchado	1 A	Anaranjado Claro	Ligeramente Manchado
2	3 A	Tornasol Oscuro	Marcadamente Manchado	1 A	Anaranjado Claro	Ligeramente Manchado
3	2 B	Anaranjado Oscuro	Moderadamente Manchado	1 A	Anaranjado Claro	Ligeramente Manchado
4	1 A	Anaranjado Claro	Ligeramente Manchado	1 A	Anaranjado Claro	Ligeramente Manchado

Fuente: MEDINA V. / SÁNCHEZ M., 2012

**TABLA 3.3-4****RESULTADOS DE CENIZAS**

Muestra	Aceite Usado				Aceite Purificado			Peso de residuo de carbono (g)
	Peso de Crisol Tarado (g)	Peso de crisol + muestra (g)	Peso crisol + residuo de carbono (g)	Peso de residuo de carbono (g)	Peso de Crisol Tarado (g)	Peso de crisol + muestra (g)	Peso crisol + residuo de carbono (g)	
1	23,05	28,10	26,59	1,51	23,05	26,93	26,55	0,38
2	23,05	28,09	26,65	1,44	23,05	26,92	26,36	0,56
3	23,05	28,10	26,49	1,61	23,05	26,94	26,48	0,46
4	23,05	28,11	26,56	1,55	23,05	26,93	26,74	0,19

Fuente: MEDINA V. / SÁNCHEZ M., 2012

**TABLA 3.3-5**

**CUADRO COMPARATIVO CON LA NTE INEN 2029:1995 Y LAS MUESTRAS**

ESPECIFICACION	UNI DAD	LIVIANA		MEDIA		PESADA		CILINDRO PARAFINICO		MÉTODO DE ENSAYO
		MÍN	MÁX	MÍN	MÁX	MÍN	MÁX	MIN	MÁX	
Viscosidad cinemática a 100°C.	cSt	2	6,1	>6,1	21,1	>21,1	40,1	>40,1	55	NTE INEN 810
Índice de viscosidad		92	--	95	--	95	--	70	--	ASTM D 2270
Punto de inflamación	°C	185	--	210	--	250	--	250	--	NTE INEN 808
Punto de escurrimiento	°C	--	-12	-8		-8		-3		NTE INEN 1982
Color ASTM			2	3,5		6,5	--	--		ASTM D 1500
Acidez total	mg KOH		0,06	0,06		0,06		0,1		ASTM D 974
Contenido de cenizas	% m/m		0,1	0,1		0,1		0,1		ASTM D 482
Contenido de agua	% V		0,01	0,01		0,01		0,01		ASTM D 95
Policíclicos Aromáticos	% P		3	3		3		3		IP 346

Especificación	Muestras	
	Aceite Quemado	Aceite Purificado
Viscosidad	14,95	14,40
Punto de Inflamación	232	198
Cenizas	1,61	0,46
Lámina de Cobre	Moderadamente Manchado	Ligeramente Manchado

**Fuente:** MEDINA V. / SÁNCHEZ M., 2012

**TABLA 3.3-6**

**DATOS PARA EL DIMENSIONAMIENTO DEL EQUIPO**

<b>Parámetros</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Unidades</b>
Flujo de alimentación (F)	400	mL/h
Flujo del destilado (D)	162,71	mL/h
Flujo del residuo (W)	237,28	mL/h
Fracción alimentación (XF)	0,5	
Fracción destilado (XD)	0,85	
Fracción residuo (XW)	0,26	
Diámetro de la columna ( $\emptyset$ )	0,11	m
Longitud de la columna (z)	1,42	m
Distancia entre platos	0,15	m
Número de platos	7	
Plato de alimentación	3	
Temperatura promedio de la columna (T)	133,9	C
Fluidez ( $\varphi$ )	8,45	cP
Viscosidad ( $\mu$ )	0,12	cP
Densidad del aceite parafínico residual ( $\rho$ )	0,849	g/mL
<b>Zona de Agotamiento</b>		
Área (A)	0,0099	m <sup>2</sup>
Flujo del gas (G)	4557,67	Kg/hm <sup>2</sup>
Caudal de Vapor (V)	45,17	Kg/h
<b>Zona de Rectificación</b>		
Área (A)	0,010	m <sup>2</sup>
Flujo del gas (G)	2973,59	Kg/hm <sup>2</sup>
Caudal de Vapor (V)	31,33	Kg/h

Fuente: MEDINA V. / SÁNCHEZ M., 2012

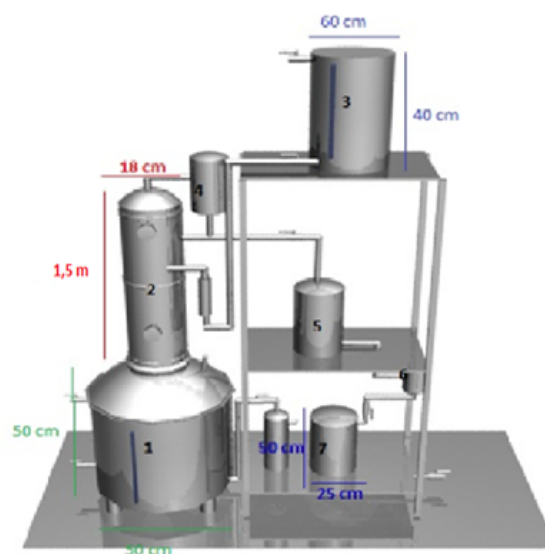
### 3.4. PROPUESTA DE DISEÑO

Una vez realizado los cálculos necesarios de ingeniería que permitió encontrar las variables precisas para el dimensionamiento del equipo se propuso: la columna de destilación, un tanque de alimentación, un calderín con camisa de vapor y tuberías de acero inoxidable para evitar la corrosión del mismo y alargar la vida útil del equipo. A más posee deflector de lentes, enfriador de lentes, botellas de grados, tanque de producto, sifón de descarga.

**TABLA 3.4-1**

#### **DATOS PARA EL DIMENSIONAMIENTO**

Parámetros	Cantidad	Unidades
Flujo de alimentación (F)	400	mL/h
Flujo del destilado (D)	162,71	mL/h
Flujo del residuo (W)	237,28	mL/h
Fracción alimentación (XF)	0,5	
Fracción destilado (XD)	0,85	
Fracción residuo (XW)	0,26	
Diámetro de la columna ( $\phi$ )	0,11	m
Longitud de la columna (z)	1,42	m
Distancia entre platos	0,15	m
Número de platos	7	
Plato de alimentación	3	
Temperatura promedio de la columna (T)	133,9	C
Fluidez ( $\phi$ )	8,45	cP
Viscosidad ( $\mu$ )	0,12	cP
Densidad del aceite parafínico residual ( $\rho$ )	0,849	g/mL
Zona de Agotamiento		
Área (A)	0,0099	m <sup>2</sup>
Flujo del gas (G)	4557,67	Kg/hm <sup>2</sup>
Caudal de Vapor (V)	45,17	Kg/h
Zona de Rectificación		
Área (A)	0,010	m <sup>2</sup>
Flujo del gas (G)	2973,59	Kg/hm <sup>2</sup>
Caudal de Vapor (V)	31,33	Kg/h





**TABLA 3.4-2**

**PARTES DE LA TORRE DE DESTILACIÓN**

<b>N°</b>	<b>Contenido</b>
1	Calderín con Camisa de Vapor
2	Columna de Destilación
3	Tanque de Alimentación
4	Deflemador de Lentejas
5	Enfriador de Lentejas
6	Botella de Grados
7	Tanque de Producto
8	Tubería de pvc
9	Tubería de Acero Inoxidable

**3.4.1. CALDERÍN**

El calderín está diseñado para almacenar fluidos que baja del tanque de alimentación a presión atmosférica, construido en acero inoxidable sus dimensiones son: posee un diámetro de 50 cm y una altura de 50 cm. Los elementos del calderín son una olla con una capacidad de 80 litros, revestida por una camisa de vapor, un nivel de vidrio, termómetro en la olla, una tapa de manilla que facilitará la limpieza de la olla ya que en el aceite aún se puede encontrar residuos pesados que se impregnan en las paredes, una línea de entrada de vapor con manómetro de presión y válvula de aguja, una llave de purga de condensado y un sifón de descarga con válvula.

### **3.4.2. TANQUE DE ALIMENTACIÓN**

Diseñado para el almacenamiento de fluidos construido en acero inoxidable sus dimensiones son: altura de 40 cm y un diámetro de 60 cm, posee una capacidad de 80 litros. El tanque está ubicado en la parte superior del equipo en la que encontramos la boca de alimentación con tapa y un nivel de líquido.

### **3.4.3. COLUMNA DE DESTILACIÓN**

Unidad compuesta de un conjunto de etapas de equilibrio con un solo alimento y dos productos denominados destilado y fondo. Incluye una etapa de equilibrio con alimentación que separa dos secciones de etapas de equilibrio, denominada rectificación y agotamiento, sus dimensiones son: un diámetro de 18 cm por facilidad de construcción, una altura de 1,42 m.

Consta de 7 platos con una distancia de 15 cm permitiendo obtener un producto de calidad y mejorando el destilado, constituido por dos cuerpos con platos tipo túnel (campanas de burbujeo) cumpliendo la función de formar un equilibrio entre las fases líquido – vapor. Contiene un termómetro en la parte superior de la columna que permitirá controlar la temperatura del destilado.

### **3.4.4. DEFLEMADOR DE LENTEJAS**

El dispositivo está ubicado en la parte superior del equipo su función es convertir los gases en líquidos y descienda nuevamente hacia la columna en forma de líquido hasta alcanzar un equilibrio entre las fases y el proceso de destilado siga su curso.

Está constituido por tres lentes en su interior, posee además una línea de entrada de agua con válvula, una línea de retorno de condensados tipo U y una línea de alimentación de gases.

#### **3.4.5. ENFRIADOR DE LENTES**

Está constituido por cuatro lentes, con entrada de agua y válvula, entrada de solvente concentrado u otro producto y salida del producto.

También posee una botella de grados donde introduciremos el alcoholímetro para determinar los grados en los cuales está el destilado. Posee un tubo llamado chimenea en donde saldrán los vapores incondensables.

#### **3.4.6. TANQUE DE PRODUCTO**

Está ubicado en la parte baja del equipo y sus dimensiones son: un diámetro de 25 cm, una altura de 50 cm y posee una capacidad de 30 litros. Aquí almacenaremos momentáneamente el producto destilado final y en su base se encuentra una válvula que ayudara a la descarga del producto destilado.

#### **3.4.7. TUBERÍA DE ACERO INOXIDABLE**

Se optó por este material debido las características que estos presentan como su resistencia al calor y la corrosión, a los ataques químicos y por su peso ligero. Además se requiere de otros accesorios como codos, uniones y válvulas que facilitan la construcción de la línea de transporte del líquido. El diámetro de la tubería es de ½ pulgada. Este tipo de material es indispensable para la construcción de equipos y así evitar la corrosión, desgaste del mismo.

### **3.4.8. TUBERÍA DE PVC**

Fueron utilizadas para la línea de conducción de agua requerida para el deflector de lenteja y el enfriador de lentejas, es de ½ pulgada; además consta de codos y uniones.

### **3.5. MANEJO Y OPERACIÓN DEL EQUIPO DE DESTILADO**

- ❖ Una vez instalado el equipo al caldero con todos los accesorios de pvc necesarios para su funcionamiento, como la conexión de mangueras de agua en los deflectores y en la salida de los mismos. Procedemos a realizar el arranque del equipo con agua para lavar las tuberías del mismo.
- ❖ La puesta en marcha del equipo consiste en: prender la caldera, pero debemos tomar en cuenta las siguientes consideraciones.

Comprobar que haya agua en el tanque de alimentación y el tanque de gas GLP.

Abrimos las llaves del gas, la llave de paso a la caldera.

Encendemos la caldera, observando que se prenda la bomba de agua y ver el nivel de agua en el Mc Donnell.

Esperar hasta que la presión de vapor se estabilice y procedemos a abrir la llave de compuerta para la salida de vapor al caldero.

- ❖ Abrimos la llave de bola de alimentación dejando ingresar la cantidad necesaria a destilar.
- ❖ Esperar a que aumente la temperatura de la mezcla de aceite – hexano en el calderín hasta el termómetro de la columna, controlando las respectivas temperaturas.
- ❖ Cuando la temperatura del calderín es igual a la temperatura de la columna los vapores empiezan a condensarse, pero debemos esperar hasta que disminuya la

temperatura de la columna, es decir hasta que llegue a un equilibrio. La temperatura a condensarse es de 70 ° C.

- ❖ Procedemos a abrir la llave de bola que ingresa al enfriador de lenteja para que el destilado sea trasladado al tanque de producto, pasando por la botella de grado en donde con ayuda de un alcoholímetro mediremos los grados.
- ❖ Seguimos abriendo la llave de alimentación para que ingrese la mezcla a la olla y continuar destilando el producto.
- ❖ Una vez terminada la destilación procedemos a apagar el caldero y a cerrar la llave de gas, la llave de paso al caldero.
- ❖ Esperamos que el equipo se enfrié a una temperatura de 50 ° C para abrir la válvula de descarga y retirar el residuo.

### **3.6. MANTENIMIENTO**

- ❖ Una vez finalizado el proceso de destilación y descargado el residuo.
- ❖ Abrimos la tapa de manilla para lavar la olla, lo mismo hacemos con el tanque de alimentación, introduciendo agua y dejando pasar hacia la olla para que sean eliminados por la válvula de descarga.
- ❖ Revisar que las llaves del equipo queden cerradas.

# CAPITULO IV

## 4. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Se realizó los análisis establecidos por la norma INEN 2029:1995, verificando el cumplimiento de los parámetros establecidos en el aceite parafínico, en lo relacionado a: viscosidad con un resultado de 14,40 cSt; punto de inflamación con un resultado de 198° C; corrosión a la lámina de cobre obteniendo una respuesta de Ligeramente Manchado y cenizas con un resultado de 0,46 g; mismos que se encuentran dentro de la Norma, por lo que, se podría decir que este aceite cumple con los parámetros del aceite SAE 40.

En el proceso de destilación del aceite usado, se logró recuperar el solvente, esto se debió a que la temperatura de ebullición del solvente que es 69 °C, es decir es baja, por lo no se alcanzó a llegar a la temperatura de ebullición del aceite, por lo tanto, este equipo no es óptimo para la destilación del aceite solo se realizó una filtración final.

El proceso de filtración realizado en laboratorio no fue el adecuado debido a la gran cantidad de pérdidas obtenidas siendo del 65%, debido a que, se utilizaron papel filtro y papel absorbente de cocina para mejorar la filtración y la clarificación del aceite purificado.

En los análisis se pudo observar que un aceite usado contiene demasiados contaminantes que alteran los parámetros que debe poseer por la combustión dentro del motor o maquinaria q lubricó, mientras que el aceite purificado, en las pruebas realizadas ha demostrado estar dentro de los parámetros, siendo la Viscosidad

Cinemática (aceite usado 14,14 cSt y el aceite purificado es de 11,71 cSt en promedio), el Punto de Inflamación (aceite usado 265 °C y el aceite purificado es de 222,25 °C en promedio), Contenido de Cenizas (aceite usado es de 1,53 g y el aceite purificado es de 0,39 g en promedio), Prueba a la lámina de Cobre (aceite usado Marcadamente Manchado y el aceite purificado es de Ligeramente Manchado en promedio), de los cuales se puede observar la variación de estos aceites, debido a que, se eliminan los metales pesados y compuestos clorados existentes en los aceites usados, obteniéndose el aceite purificado se encontró dentro de los rangos de los requisitos ya mencionados.

Con el proceso de destilación simple se obtuvo las variables para el dimensionamiento del equipo (TABLA 3.3-6), dichos valores fueron tomados para dimensionar el equipo y de esta manera para facilidad en la construcción y la limpieza del mismo, debido a que, es un diseño diferente, el calderín está revestido por una camisa de vapor, una llave de purga de condensado y un sifón de descarga con válvula, un deflector de lentes y un enfriador de lentes.

Para la validación del equipo se llegó a obtener un 78% de rendimiento del equipo, siendo este mayor al obtenido de la destilación de laboratorio siendo de 70% debido a pérdidas en el filtrado, materiales utilizados y fugas por los materiales de laboratorio. Se alcanzó una eficiencia del equipo del 91%.

# CAPITULO V

## 5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 5.1. CONCLUSIONES

- ✓ Después de varias pruebas que se realizó con el solvente se llegó a determinar que la relación aceite y solvente es de 1:1 para una obtención de mejores resultados.
- ✓ En proceso de filtración tradicional que se hace en el laboratorio no es el adecuado para el aceite, porque se generaron pérdidas siendo estas del 62%.
- ✓ Al realizar la destilación solo se logró llegar a recuperar el solvente en un 65%, el aceite no se puede destilar por qué se necesita una destilación al vacío, esta destilación logrará aumentar la temperatura hasta llegar al punto de ebullición del aceite.
- ✓ Las variables a determinarse en el proceso fueron la temperatura a la que empieza a destilarse el hexano siendo este de 69 °C y terminó en 160 °C a nivel de laboratorio. Mientras que la destilación en el equipo para la recuperación de hexano fue de 70° C su temperatura inicial y terminó en 90 ° C.
- ✓ Con la realización de los cálculos de ingeniería se determinó: el diámetro de la columna de 0,11 m; la altura de la columna de 1,42 m; el número de platos es de 7, el plato de alimentación es el 3, la distancia entre platos es de 15 cm, la capacidad del tanque de alimentación y el de la olla es de 80 litros, estos valores se consiguieron realizando cálculos con datos obtenidos en pruebas de laboratorio a escala facilitando la construcción del equipo.



- ✓ Con la validación del equipo se alcanzó una eficiencia del 91%.
- ✓ El rendimiento del solvente recuperado es del 78%.

## 5.2. RECOMENDACIONES

- Se recomienda un estudio posterior de la borra ácida generado en el proceso de deshidratación como un residuo contaminante y así darle un nuevo uso.
- Es importante el uso de un filtro prensa en los procesos de filtrado para evitar una excesiva cantidad de pérdidas por materiales.
- Una vez terminado el proceso de destilación, encontramos en la zona de agotamiento el aceite purificado; este aceite debe pasar a un proceso de filtrado en un filtro prensa para mejorar su color, y así, evitar pérdidas del mismo.
- Es importante que al momento de la destilación se tenga en cuenta el abrir constantemente la llave de destilado, para que puedan salir los gases incondensables y de esta manera elevar la temperatura del equipo.
- Antes de realizar la alimentación al equipo se recomienda realizar un pretratamiento al aceite usado, posteriormente la filtración para de esta manera recuperar el solvente empleado en el proceso.
- Se recomienda que una vez terminada la práctica se realice la limpieza correspondiente del equipo de destilación, para evitar que queden residuos de aceite en las paredes del calderín.
- Los estudiantes que realicen esta práctica deben utilizar el equipo de protección personal como son: mascarilla, mandil, guantes; y de esta manera evitar enfermedades en las vías respiratorias o quemarse con el ácido sulfúrico.
- En el tratamiento de purificación debemos tener en cuenta el cambio de color en el aceite, ya que este se va a aclarar en cada paso a realizar, es decir, de un color

negro a un café-rojizo en la deshidratación, de este a un café claro con la adición de las bentonitas.

- Los propietarios de las lubricadoras, lavadoras y mecánicas deben capacitarse sobre los daños causantes por este residuo peligroso, el impacto que genera al ambiente. Para encontrar una solución en la recolección, almacenamiento y disposición final del producto.
- La torre de destilación se construyó con la finalidad de que los estudiantes tengan un mejor conocimiento del proceso de Destilación como Operación Unitaria, y puedan realizar pruebas que ayuden en sus conocimientos teóricos.

## **2. BIBLIOGRAFÍA**

1. **OCÓN. J. y TOJO. G.**, Problemas de Ingeniería Química., trad. CUERDA. A., 3ª ed., Madrid- España., Aguilar S.A., 1980., Pp. 283-309-311-320-326
  
2. **PERRY. R y otros.**, Manual del Ingeniero Químico., 6ta ed., México D.F.- México., McGraw-Hill., 2006., Pp. 1306-1309, 1330-1336.
  
3. **ECUADOR. INSTITUTO ECUATORIANO DE NORMALIZACIÓN (INEN).**, Determinación de la Viscosidad Cinemática., N.T. 810., Quito-Ecuador., 1999., Pp. 1-4
  
4. **ECUADOR. INSTITUTO ECUATORIANO DE NORMALIZACIÓN (INEN).**, Determinación de la Corrosión al Cobre., N.T. 2161., Quito-Ecuador., 1999., Pp. 1-2.
  
5. **ECUADOR. INSTITUTO ECUATORIANO DE NORMALIZACIÓN (INEN).**, Derivados del Petróleo. Bases Lubricantes para uso Automotor., N.T. 2029., Quito-Ecuador., 1995., Pp. 1-2.

## **6. ACEITE LUBRICANTE**

<http://es.scribd.com/doc/261972/Recuperacion-o-reciclado-de-aceites-usados-de-motor>

2012-02-21

## **7. DEFINICIÓN**

[http://www.nufarm.com/Assets/909/1/MSDS](http://www.nufarm.com/Assets/909/1/MSDS_AceiteParafinico.pdf)

[AceiteParafinico.pdf](#)

2012-02-21

## **8. FUNCIÓN DE LOS LUBRICANTES**

[http://www.nufarm.com/Assets/909/1/MSDS](http://www.nufarm.com/Assets/909/1/MSDS_AceiteParafinico.pdf)

[AceiteParafinico.pdf](#)

2012-03-17

## **9. BASE LUBRICANTE**

<http://www.monografias.com/trabajos17/biodegradacionaceitesbiodegradación-aceites.shtml>

2012-03-17

## **10. CLASIFICACIÓN**

<http://www.fullcoches.com/foro/seccion-tecnica/1647-clasificacion-de-los-tipos-de-aceite-para-motor.html>

2012-03-25

## **11. ACEITE USADO**

<http://148.204.71.28:808/dspace/bitstream/123456789/196/1/Tesis%20Aldalberto%20Jurado%20Hernandez.pdf>

2012-03-27

## **12. RECUPERACIÓN Y RECICLADO DE ACEITES USADOS**

[http://www.estrucplan.com.ar/producciones/ entrega.asp?identrega=1856](http://www.estrucplan.com.ar/producciones/entrega.asp?identrega=1856)

2012-04-5

## **13. DESTILACIÓN**

<http://www.wikipedia.com/destilacion-en-torres-de->

[platos.html](http://www.wikipedia.com/destilacion-en-torres-de-platos.html)

2012-05-20

## **14. TIPOS DE DESTILACIÓN**

[http://www.cec.uchile.cl/"cabierta/libros/l\\_herrera/iq54a/instru.htm#term](http://www.cec.uchile.cl/)  
[ocuplas](http://www.cec.uchile.cl/)

2012-10-5

<http://rve.virtualave.net/secciones/artmes/artmes10200>

2012-10-5

## **15. COLUMNAS DE DESTILACIÓN**

[http://www.fisicarecreativa.com/informes/infor\\_termo/termocuplas.pdf.](http://www.fisicarecreativa.com/informes/infor_termo/termocuplas.pdf)

2012-10-5

## **16. CAPACIDAD CALORÍFICA**

<http://ingenieria-de->

[petroleo.lacomunidadpetrolera.com/2009/03/caracteristicas-fisicas-y-](http://ingenieria-de-petroleo.lacomunidadpetrolera.com/2009/03/caracteristicas-fisicas-y-)

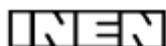
[quimicas-del\\_6358html](http://ingenieria-de-petroleo.lacomunidadpetrolera.com/2009/03/caracteristicas-fisicas-y-quimicas-del_6358html)

2012-06-6

# **ANEXO**

ANEXO II

DERIVADOS DEL PETRÓLEO. BASES LUBRICANTES PARA SU USO AUTOMOTOR



**INSTITUTO ECUATORIANO DE NORMALIZACIÓN**

Quito - Ecuador

---

**NORMA TÉCNICA ECUATORIANA**

**NTE INEN 2 029:1995**

---

**DERIVADOS DEL PETRÓLEO. BASES LUBRICANTES PARA  
USO AUTOMOTOR. REQUISITOS.**

**Primera Edición**

PETROLEUM DERIVATEDS. LUBRICANT BASES FOR AUTOMOTIVE USE. SPECIFICATIONS..

First Edition

ANEXO III

<b>NOTAS</b>	<b>CATEGORÍAS DEL DIAGRAMA</b> <ul style="list-style-type: none"><li>○ Por Certificar</li><li>○ Por Aprobar</li><li>○ Aprobado</li><li>○ Por Eliminar</li><li>○ Para Información</li><li>○ Por Calificar</li></ul>	<b>ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA</b>  <b>Realizado por:</b>  Vanessa Medina Myriam Sánchez	<b>DERIVADOS DEL PETRÓLEO. BASES LUBRICANTES PARA USO AUTOMOTOR</b>		
			Lámina	Escala	Fecha
			<b>1</b>		2012-03-17



<b>Norma Técnica Ecuatoriana Obligatoria</b>	<b>DERIVADOS DEL PETRÓLEO. BASES LUBRICANTES PARA USO AUTOMOTOR. REQUISITOS.</b>	<b>NTE INEN 2 029:1995 1995-10</b>
<b>1. OBJETO</b>		
1.1 Esta norma establece los requisitos que deben cumplir las bases lubricantes provenientes del petróleo.		
<b>2. ALCANCE</b>		
2.1 Esta norma se aplica a las bases lubricantes minerales, que se utilizan como componente principal de los aceites y grasas lubricantes para aplicación automotor.		
<b>3. DEFINICIONES</b>		
3.1 Base lubricante virgen. Producto obtenido de la destilación al vacío del residuo de la destilación atmosférica del petróleo crudo y posterior tratamiento de refinación.		
3.2 Base lubricante re-refinada. Producto obtenido de la destilación al vacío del aceite lubricante usado, y posterior tratamiento de refinación.		
3.3 Base lubricante parafínica. Aquella que en su constitución, entran principalmente hidrocarburos alifáticos, o en la cual el porcentaje de hidrocarburos parafínicos es proporcionalmente mayor al de los hidrocarburos aromáticos y nafténicos. Esta proporción puede ser variable.		
<b>4. CLASIFICACIÓN</b>		
4.1 Las bases lubricantes parafínicas vírgenes y re-refinadas se clasifican en:		
4.1.1 Tipo I. Liviana		
4.1.2 Tipo II. Media		
4.1.3 Tipo III. Pesada		
4.1.4 Tipo IV. Cilindro parafínico		
<b>5. DISPOSICIONES GENERALES</b>		
5.1 Las bases lubricantes parafínicas vírgenes y re-refinadas cuando sean examinadas en forma visual deben tener una apariencia brillante y exenta de materia en suspensión		
<b>6. REQUISITOS</b>		
6.1 Requisitos específicos		
6.1.1 Requisitos fisicoquímicos		
6.1.1.1 Las bases lubricantes parafínicas vírgenes y re-refinadas deben cumplir con los requisitos indicados en la tabla 1.		
<i>(Continúa)</i>		
<small>DESCRIPTORES: Derivados del petróleo. Bases lubricantes. Requisitos</small>		

<b>NOTAS</b>	<b>CATEGORÍAS DEL DIAGRAMA</b>	<b>ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA</b>	<b>DERIVADOS DEL PETRÓLEO. BASES LUBRICANTES PARA USO AUTOMOTOR</b>		
	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ Por Certificar</li> <li>○ Por Aprobar</li> <li>○ Aprobado</li> <li>○ Por Eliminar</li> <li>○ Para Información</li> <li>○ Por Calificar</li> </ul>	<b>Realizado por:</b>  Vanessa Medina Myriam Sánchez	<b>Lámina</b>	<b>Escala</b>	<b>Fecha</b>
			<b>2</b>		2012-03-17

TABLA 1. Bases lubricantes parafínicas vírgenes y re-refinadas

ESPECIFICACION	UNIDAD	LIVIANA		MEDIA		PESADA		CILINDRO PARAFINICO		MÉTODO DE ENSAYO
		MÍN	MÁX	MÍN	MÁX	MÍN	MÁX	MIN	MÁX	
Viscosidad cinemática a 100°C.	cSt	2	6,1	>6,1	21,1	>21,1	40,1	>40,1	55	NTE INEN 810
Índice de viscosidad		92	--	95	--	95	--	70	--	ASTM D 2270
Punto de inflamación	°C	185	--	210	--	250	--	250	--	NTE INEN 808
Punto de escurrimiento	°C	--	-12	-8	--	-8	--	-3	--	NTE INEN 1982
Color ASTM			2	3,5		6,5	--	--		ASTM D 1500
Acidez total	mg KOH		0,06	0,06		0,06		0,1		ASTM D 974
Contenido de cenizas	% m/m		0,1	0,1		0,1		0,1		ASTM D 482
Contenido de agua	% V		0,01	0,01		0,01		0,01		ASTM D 95
Polícíclicos Aromáticos	% P		3	3		3		3		IP 346

### 6.2 Requisitos Complementarios

6.2.1 La comercialización de las bases lubricantes vírgenes y re-refinadas para la elaboración de los aceites lubricantes para uso automotor, deberán cumplir con lo dispuesto en la Ley de Pesas y Medidas y su Reglamento vigente.

6.2.2 Las bases lubricantes vírgenes y re-refinadas para uso automotor, se almacenarán y transportarán en forma tal que se garantice la seguridad del producto y de las personas que lo manejan.

6.2.3 La identificación del producto al momento de su trasvase desde los barcos transportadores a los depósitos de almacenamiento se realizará de común acuerdo entre el comprador y el vendedor, mediante la correspondiente guía o documento escrito.

(Continúa)

NOTAS	CATEGORÍAS DEL DIAGRAMA	ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA	DERIVADOS DEL PETRÓLEO. BASES LUBRICANTES PARA USO AUTOMOTOR		
			Lámina	Escala	Fecha
	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ Por Certificar</li> <li>○ Por Aprobar</li> <li>○ Aprobado</li> <li>○ Por Eliminar</li> <li>○ Para Información</li> <li>○ Por Calificar</li> </ul>	Realizado por: Vanessa Medina Myriam Sánchez	3		2012-03-17

**7. INSPECCIÓN****7.1 Muestreo**

7.1.1 El muestreo se efectuará de acuerdo con la NTE INEN 930, tomando 3 l, como mínimo.

**7.2 Aceptación o rechazo**

7.2.1 Con la muestra obtenida se determinarán los requisitos del producto, establecidos en los numerales 5 y 6 de esta norma.

7.2.2 Si la muestra ensayada no cumple con uno o más requisitos establecidos en los numerales 5 y 6 de esta norma, se extraerá una segunda muestra y se repetirán los ensayos.

7.2.3 Si la segunda muestra ensayada, no cumpliera con uno solo de los requisitos establecidos en esta norma, se rechazará el lote correspondiente.

**8. ENSAYOS****8.1 Determinación de la viscosidad**

8.1.1 Efectuar el ensayo de acuerdo con lo indicado en la NTE INEN 810.

**8.2 Determinación del índice de viscosidad**

8.2.1 Efectuar el ensayo de acuerdo con lo indicado en la Norma ASTM D 2270.

**8.3 Determinación del punto de inflamación**

8.3.1 Efectuar el ensayo de acuerdo con lo indicado en la NTE INEN 808.

**8.4 Determinación del punto de escurrimiento**

8.4.1 Efectuar el ensayo de acuerdo con lo indicado en la NTE INEN 1982 sobre la base lubricante en su estado natural, sin ningún aditivo.

**8.5 Determinación del color**

8.5.1 Efectuar el ensayo de acuerdo con lo indicado en la Norma ASTM D 1500.

**8.6 Determinación de la acidez total**

8.6.1 Efectuar el ensayo de acuerdo con lo indicado en la Norma ASTM D 974.

**8.7 Determinación del contenido de cenizas**

8.7.1 Efectuar el ensayo de acuerdo con lo indicado en la Norma ASTM D 482.

(Continúa)

-3-

1994-074

NOTAS	<b>CATEGORÍAS DEL DIAGRAMA</b> <input type="radio"/> Por Certificar <input type="radio"/> Por Aprobar <input type="radio"/> Aprobado <input type="radio"/> Por Eliminar <input type="radio"/> Para Información <input type="radio"/> Por Calificar	<b>ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO</b> <b>FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA</b>  <b>Realizado por:</b>  Vanessa Medina Myriam Sánchez	<b>DERIVADOS DEL PETRÓLEO. BASES LUBRICANTES PARA USO AUTOMOTOR</b>		
			Lámina	Escala	Fecha
			4		2012-03-17

**8.8 Determinación del contenido de agua**

8.8.1 Efectuar el ensayo de acuerdo con lo indicado en la Norma ASTM D 95.

**8.9 Determinación del contenido de policíclicos aromáticos**

8.9.1 Efectuar el ensayo de acuerdo con lo indicado en la Norma IP 346

(Continúa)

1994-074

NOTAS	CATEGORÍAS DEL DIAGRAMA	ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA	DERIVADOS DEL PETRÓLEO. BASES LUBRICANTES PARA USO AUTOMOTOR		
	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ Por Certificar</li> <li>○ Por Aprobar</li> <li>○ Aprobado</li> <li>○ Por Eliminar</li> <li>○ Para Información</li> <li>○ Por Calificar</li> </ul>	<b>Realizado por:</b> Vanessa Medina Myriam Sánchez	Lámina	Escala	Fecha
			5		2012-03-17

## APÉNDICE Z

## Z.1 DOCUMENTOS NORMATIVOS A CONSULTAR

Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 808:87	<i>Productos de petróleo. Determinación de los puntos de inflamación y combustión en vaso abierto. Cleveland.</i>
Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 810:87	<i>Productos de petróleo. Determinación de la viscosidad cinemática y dinámica en líquidos transparentes y opacos.</i>
Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 930:84	<i>Petróleo y sus derivados. Toma de muestras</i>
Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 1982:94	<i>Productos derivados del petróleo. Determinación del punto de escurrimiento.</i>
Norma ASTM D 95:90	<i>Test method for water in Petroleum Products and Bituminous materials by distillation.</i>
Norma ASTM D 482:91	<i>Standard Test Method for Ash from Petroleum Products.</i>
Norma ASTM D 974:92	<i>Standard Test Method for Acid and Base Number by Color. Indicator Titration.</i>
Norma ASTM D 1500:91	<i>Standard Test Method for ASTM Color of Petroleum Products (ASTM Color Scale).</i>
Norma ASTM 2270:91	<i>Test Method for Calculating Viscosity index from Kinematic Viscosity at 40 y 100°C.</i>
International Petroleum IP 346:80	<i>Polycyclic Aromatics in Petroleum Fractions by Dimethyl Sulfoxide Refractive. Index Method.</i>

## Z.2 BASES DE ESTUDIO

ICONTEC 1840. *Petróleo y sus derivados. Bases lubricantes vírgenes.* Instituto Colombiano de Normas Técnicas. Bogotá. 1990

COVENIN 829. *Productos derivados del petróleo. Aceites básicos.* Comisión Venezolana de Normas Industriales. Caracas. 1975.

Información Shell Ecuador S. A. 1994

NOTAS	CATEGORÍAS DEL DIAGRAMA	ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA	DERIVADOS DEL PETRÓLEO. BASES LUBRICANTES PARA USO AUTOMOTOR		
	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ Por Certificar</li> <li>○ Por Aprobar</li> <li>○ Aprobado</li> <li>○ Por Eliminar</li> <li>○ Para Información</li> <li>○ Por Calificar</li> </ul>	<p>Realizado por:</p> <p>Vanessa Medina Myriam Sánchez</p>	Lámina	Escala	Fecha
			6		2012-03-17

**INFORMACIÓN COMPLEMENTARIA**

<b>Documento:</b> NTE INEN 2 029 ORIGINAL:	<b>TÍTULO:</b> PRODUCTOS DERIVADOS DEL PETRÓLEO. BASES LUBRICANTES PARA USO AUTOMOTOR. REQUISITOS.	<b>Código:</b> PE 02.02-436
Fecha de iniciación del estudio: 1994-02-23	<b>REVISIÓN:</b> Fecha de aprobación anterior por Consejo Directivo Oficialización con el Carácter de por Acuerdo No. de publicado en el Registro Oficial No. de	
	Fecha de iniciación del estudio:	

Fechas de consulta pública: de \_\_\_\_\_ a \_\_\_\_\_

Subcomité Técnico: ACEITES LUBRICANTES Fecha de iniciación: 1994-07-26 Integrantes del Subcomité Técnico:	Fecha de aprobación: 1994-08-29
<b>NOMBRES:</b>	<b>INSTITUCIÓN REPRESENTADA:</b>
Ing. Iván Proaño (Presidente)	DIRECCIÓN NACIONAL DE HIDROCARBUROS
Ing. Eduardo Trujillo	LYTECA - TEXACO
Ing. Eduardo García	CONAUTO
Ing. Luis Montoya	LUBRIZOL
Ing. Roberto Garcés	LUBRIZOL
Ing. Dennis Torres	DIRECCIÓN NACIONAL DE HIDROCARBUROS
Ing. Jorge Medina	INGENIERÍA QUÍMICA- U. C.
Ing. Luis Calle	COLEGIO DE INGENIEROS QUÍMICOS- PICHINCHA
Ing. Kléver Chávez	DIRECCIÓN DEL MEDIO AMBIENTE (I.M.Q.)
Ing. William Perera	SHELL ECUADOR S. A.
Ing. Kepti Tinoco	SHELL ECUADOR S. A.
Ing. Pedro Ríos	PARAMINS
Ing. Edgar Aguilar	GOLDEN BEAR
Ing. Gonzalo Fuentes	CANCEL
Ing. Mario Ramírez	PRECIN COMOBIL S. A.
Ing. Ramón Borja	POLIASA
Ing. Marcelo Cerrón	CONADE
Ing. Rossana Ycaza	CASTROL ECUATORIANAS. A.
Ing. Carlos Balseca	CASTROL ECUATORIANAS. A.
Ing. Nelly Rea	ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJERCITO (ESPE)
Ing. Juan A. Serrano	INGENIERÍA QUÍMICA E.P.N.
Ing. Adriano Salgado	EMPRESA ELÉCTRICA QUITO
Ing. Cristóbal Torres	PETRO COMERCIAL
Ing. Gustavo Lozada	DINAMA
Ing. Marcos Andrade V.	S.A. IMPORTADORA ANDINA (EXXON)
Ing. Ramiro Carrillo	PETRO INDUSTRIAL
Ing. Irene Gallo V.	SUBSECRETARÍA DE MEDIO AMBIENTE
Ing. Gonzalo Dueñas	GULF
Ing. Luis Zuñiga	CORPORACIÓN PAEZ-AYALA
Ing. Marco Aguilar	MICIP
Ing. Fernando Hidalgo (Secretario Técnico)	INEN

Otros trámites: ♦ La NTE INEN 2 029:1995, sin ningún cambio en su contenido fue **DESREGULARIZADA**, pasando de **OBLIGATORIA** a **VOLUNTARIA**, según Resolución No. 009-2010 de 2010-03-05, publicada en el Registro Oficial No. 152 del 2010-03-17.

El Consejo Directivo del INEN aprobó este proyecto de norma en sesión de 1995-04-04

Oficializada como: **OBLIGATORIA** Por Acuerdo Ministerial No. 0272 de 1995-09-05  
Registro Oficial No. 794 de 1995-10-03

<b>NOTAS</b>	<b>CATEGORÍAS DEL DIAGRAMA</b>	<b>ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA</b>	<b>DERIVADOS DEL PETRÓLEO. BASES LUBRICANTES PARA USO AUTOMOTOR</b>		
			<b>Realizado por:</b>  Vanessa Medina Myriam Sánchez	<b>Lámina</b>	<b>Escala</b>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ Por Certificar</li> <li>○ Por Aprobar</li> <li>○ Aprobado</li> <li>○ Por Eliminar</li> <li>○ Para Información</li> <li>○ Por Calificar</li> </ul>		<b>7</b>		<b>2012-03-17</b>

# ANEXO IV

## LUBRICADORAS Y MECÁNICAS DE VEHÍCULOS DE LA CIUDAD DE RIOBAMBA

### CATASTROS DE PATENTES

DETALLE DE REGISTRO DE PATENTES

Ilustre Municipalidad de Riobamba  
DEPARTAMENTO DE RENTA

PERIODO DEL REPORT DESDE

HASTA

Tipo de Negocio: LAVADORA Y LUBRICADORA DE AUTOS

CIU	Representante	Razon Social	Direccion	Base Imponible
150220	ALBAN VALLEJO DOLORES BEATRIZ	VIRGEN DEL CISNE	AV. PEDRO VICENTE MALDONADO y AV. NUEVE DE OCTUBRE	1.200,00
130184	ALLAUCA MOSQUERA KLEVER FABIAN	LUBRICADORA	AV. LIZARZABURU y TEOFILO SAENZ	5.000,00
51912	ALVAREZ HERNANDEZ LUISA INES	LAVADORA Y AUTO SERVICIO FORMULA UNO	PURUHA y AV. CELSO RODRIGUEZ	5.871,68
161730	ASOCIACION DE PROPIETARIOS DE LUBRICADORAS	ASOCIACION DE PROPIETARIOS DE LUBRICADORAS	JOSE DE OROZCO y PURUHA	100,00
58857	ASQUI VILLARROEL SARA ELIZABETH	LAVADORA DE AUTOS "DON CHATO"	VICENTE ROCAFUERTE y CHIMBORAZO	3.000,00
118333	BAEZ TORRES ALEJANDRO VINICIO	LUBRIKAR	AV. LIZARZABURU y AGUSTIN TORRES SOLIS	3.000,00
127846	BECCERRA ERAZO ANGEL CARLOS	LUBRICADORA BECCERRA	MARIANA DE JESUS y AV. EDELBERTO BONILLA OLEAS	3.000,00
128510	CANDO PUMAGUALLE ADRIANA ALEXANDRA	LUBRICADORA RALLY SPORT	AV. NUEVE DE OCTUBRE y CROACIA	10.000,00
114504	CARPHIO MARIÑO GISELLE CARLOTA	AUTOSERVICIO MODERNO	JOSE VELOZ y TÑTE. LATUS	4.287,91
140111	CHAVEZ BASTIDAS FABIAN PATRICIO	ABC SERVICIOS	PORTOVIEJO y AV. ATAHUALPA	600,00
54674	CHAVEZ BASTIDAS FREDY ALONSO	LUBRICADORA SERVIC ABC	DIEGO DE IBARRA y AV. UNIDAD NACIONAL	19.394,08
16776	CHIRIBOGA ACOSTA DIEGO FERNANDO	HOT ROD	SAINT AMONT MONTREAND y INNOMINADA	650,00
138472	CONFEDERACION DEL MOVIMIENTO INDIGENA DE CHIMBORAZO	CONFEDERACION DE MOVIMIENTO INDIGENA DE CHIMBOAV.	ATAHUALPA y PORTOVIEJO	2.000,00
63112	CULQUI ALDAZ JENNY MARIBEL	AUTOLAVADO BARRENO	EPLICACHIMA y REY CACHA	5.800,00
12812	ESCALANTE GARCIA CRISTOBAL GUILLERMO	LUBRICADORA BELLA VISTA	VENEZUELA y MORONA	2.000,00
124098	ESCUADERO PADILLA FREDY ALONSO	LUBRICADORA LEONARDITO	AV. EDELBERTO BONILLA OLEAS y AV. CELSO RODRIGUEZ	2.500,00
160630	FERNANDEZ VINUEZA NARCIZA DE JESUS	LUBRIMAX	AV. EDELBERTO BONILLA OLEAS y VICENTE ROCAFUERTE	2.000,00
142484	GAVILANEZ HERNANDEZ MAURO IVAN	RIOLUBRICADORA Y LAVADORA	AV. PEDRO VICENTE MALDONADO y ONCE DE NOVIEMBRE	3.000,00
118375	GUAMAN PACA JOSE NICOLAS	LUBRICADORA ALEX	AV. LIZARZABURU y SOLDADO MONJE	4.000,00
117331	GUERRERO ARCOS MARIA DANIELA	LAVADORA AUTO SERVICIO FLASH EXPRES	AV. ANTONIO JOSE DE SUCRE y VICENTE RAMON ROCA	5.000,00
3250	HEREDIA LOZANO JUAN NEPOMUCENO	LUBRICADORA HEREDIA	JOSE VELOZ y JACINTO GONZALEZ	18.887,80
129698	HERRERA GAIBOR BRIGIDA MAGDALENA	LUBRICADORA "CARRASCO"	AV. ALFONSO CHAVEZ y TARQUI	3.000,00
23115	HERRERA VALVERDE IRMA YOLANDA	LAVADORA DE AUTOS Y LUBRICADORA "LUBRIMAX"	VELOZ y TÑTE. LATUS	3.000,00
133445	JIMENEZ JARAMILLO MIRIAN ELIZABETH	LUBRICADORA Y REPUESTOS "LUFRIFRENS ORIENTAL"	EUGENIO ESPEJO y MONS. ANDRES MACHADO	3.000,00
123691	MACHADO TERAN GABRIELA SILVANA	LAVADORA Y LUBRICADORA	AV. PEDRO VICENTE MALDONADO y AV. M. PROAÑO	3.000,00
139679	MANJARREZ VILLAGOMEZ JACQUELINE	CAMINOS	AV. FELIX PROAÑO y IRLANDA	2.800,00
50850	MENDEZ MERINO ANGEL MEDARDO	AUTO SERVICIO MENDEZ	JOSE VELOZ y DIEGO DE IBARRA	3.000,00
132800	MOROCHO CHAFLA ANA MARIA	LAVADORA ARAUJOS	DIEGO DE IBARRA y AV. UNIDAD NACIONAL	3.000,00
178158	NEGRETE CHAVEZ JOHANA EDITH	LAVADORA CYN	AV. EDELBERTO BONILLA OLEAS y VICENTE ROCAFUERTE	2.000,00
61904	OROZCO BASTIDAS MILTON BOLIVAR	LAVADORA Y LUBRICADORA	AV. LEOPOLDO FREIRE y INNOMINADA	4.000,00
52551	PADILLA SOCASI MARIA ESTHER	LAVADORA CIFUENTES	BRASIL y PRIMERA CONSTITUYENTE	3.000,00
149832	PARRA PAREDES CLEMENCIA JHAQUELINA	AUTOBRILL	AV. NUEVE DE OCTUBRE y CINCO DE JUNIO	2.000,00

21-MAR-12 12:19 PM

PARRA HERNANDEZ EUDOCIA BERNARDIT PAGINA NRO 1

Reporte: ren05501

<b>NOTAS</b>	<b>CATEGORÍAS DEL DIAGRAMA</b>	<b>ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA</b>	<b>LUBRICADORAS Y MECÁNICAS DE VEHÍCULOS DE LA CIUDAD DE RIOBAMBA</b>		
			Lámina	Escala	Fecha
	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ Por Certificar</li> <li>○ Por Aprobar</li> <li>○ Aprobado</li> <li>○ Por Eliminar</li> <li>○ Para Información</li> <li>○ Por Calificar</li> </ul>	<b>Realizado por:</b>  Vanessa Medina Myriam Sánchez	<b>8</b>	<b>03-25</b>	<b>2012-03-25</b>



## CATASTROS DE PATENTES

DETALLE DE REGISTRO DE PATENTES

Ilustre Municipalidad de Riobamba  
DEPARTAMENTO DE RENTA

PERIODO DEL REPORT DESDE

HASTA

Tipo de Negocio: LAVADORA Y LUBRICADORA DE AUTOS

CIU	Representante	Razon Social	Direccion	Base Imponible
148875	POMAQUERO CAIN MARIO FERNANDO	LUBRICADORA ECUAMUNDO	AV. FELIX PROAÑO y HOLANDA	100,00
138845	QUISHPI GUSÑAY BERTHA SUSANA	LUBRICADORA SUR	AV. PEDRO VICENTE MALDONADO y JOSE A. DE ROCHA	3.000,00
111968	REYES CHAVEZ MONICA PILAR	LABADORA Y LUBRICADORA "AUTO LIBRE"	AV. SAINT AMAND MOHTROOND y INNOMINADA	3.000,00
30370	ROBALINO CAZORLA JOSELITO RICHARD	AUTO CAR LAVADORA Y LUBRICADORA	AV. UNIDAD NACIONAL y AV. LA PRENSA	3.000,00
57498	RODRIGUEZ CALDERON PACO MARCELO	LIBRERIA Y PAPELERIA	COLOMBIA y MORONA	3.000,00
55819	RODRIGUEZ ESPINOZA MYRIAM JANNETH	AUTO LAVADO TRIPETROL	ANTONIO SANTILLAN y INNOMINADA	2.283,00
136418	ROMERO ERAZO CARMEN ELISA	LAVADORA-LUBRICADORA "PATRON SANTIAGO"	AV. PEDRO VICENTE MALDONADO y INNOMINADA	3.000,00
134260	SALAS CABRERA MIGUEL ANGEL	LAVADORA AUTOMOTRIZ "LA JOYA"	DIEGO DE ALMAGRO y JOSE JOAQUIN DE OLMEDO	3.000,00
137919	SALAZAR RIVERA TANNY CARMITA	MORESA	AV. FELIX PROAÑO y AV. NUEVE DE OCTUBRE	1.200,00
20407	SALAZAR VALLEJO TITO VINICIO	LAVADORA Y LUBRICADORA DE AUTOS	AV. UNIDAD NACIONAL y EPLICACHIMA	5.000,00
130890	SANAGUANO PUMALEMA RAUL	LAVADORA LUBRICADORA DE AUTOS	PALLATANGA y SAN JUAN	2.500,00
61581	SARABIA GUANOPATIN ALBARO ANTONIO	VULCANIZADORA	AV. LIZARZABURU y AV. LA PRENSA	3.000,00
58343	SINDICATO DE CHOFERES CHIMBORAZO	AUTO SERVICIO Y LAVADORA SAN CRISTOBAL	AV. LA PRENSA y OCHO DE JULIO	10.000,00
163817	SOLANO VALLEJO YESENIA MARIA	" PITS AUTOSERVICIO "	NATALE TORMENT y ARGENTINOS	1.500,00
123305	TELLO ZURITA MARCELO VINICIO	LAVADORA Y LUBRICADORA DE AUTOS	AV. EDELBERTO BONILLA OLEAS y ASUNCION	3.000,00
112111	TELLO ZURITA MIRIAN ELIZABETH	LUBRICADORA JUNIOR	AV. NUEVE DE OCTUBRE y VICENTE ROCAFUERTE	3.000,00
120868	TENE CHOTA SEGUNDO MARIANO	LUBRICADORA SUR	AV. PEDRO VICENTE MALDONADO y JOSE DE PERALTA	4.043,15
28574	URQUIZO CUELLO MIGUEL ANGEL	LUBRICADORA URQUIZO	AV. UNIDAD NACIONAL y PRINCESA TOA	11.665,16
28574	URQUIZO CUELLO MIGUEL ANGEL	LUBRICADORA URQUIZO	EPLICACHIMA y AV. UNIDAD NACIONAL	12.000,00
138017	VELASTEGUI ALVARADO EDITH MARIETA	LAVADORA LUBRICADORA	AV. SAINT AMAND MOHTROOND y INNOMINADA	3.000,00
62968	VELOZ BATALLAS DIEGO ENRIQUE	LAVADORA DE CARROS DIVALUTO	AV. M. PROAÑO y PASTAZA	3.000,00
8533	VIMOS ORTIZ ROSA ELENA	MUNDO TUERCA 2	AV. PEDRO VICENTE MALDONADO y INNOMINADA	3.000,00
133011	VIMOS VIMOS MARIA ISABEL	LUBRICADORA Y LAVADORA	COLOMBIA y JOAQUIN CHIRIBOGA	3.000,00
20019	YEPEZ OVIEDO DANILO RENNE	LA TRINIDAD	AV. JUAN BERNARDO DE LEON y DIEGO DE ALMAGRO	3.000,00
134834	YUQUE VIZUETE ANGEL IVAN	LUBIAUTO	AV. LUIS CORDOVEZ y CINCO DE JUNIO	3.000,00
13740	ZUMBA CARRASCO DOMITILA BALTAZARA	VENTA DE LUBRICANTES Y LIMPIEZA DE AUTOS	CHIMBORAZO y EUGENIO ESPEJO	28.464,95

Total Patentes Registradas 58

21-MAR-12 12:19 PM

PARRA HERNANDEZ EUDOCIA BERNARDIT PAGINA NRO 2

Reporte: ren05501

### NOTAS

#### CATEGORÍAS DEL DIAGRAMA

- Por Certificar
- Por Aprobar
- Aprobado
- Por Eliminar
- Para Información
- Por Calificar

**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA**

**Realizado por:**

Vanessa Medina  
Myriam Sánchez

**LUBRICADORAS Y MECÁNICAS DE VEHÍCULOS DE LA CIUDAD DE RIOBAMBA**

Lámina	Escala	Fecha
<b>9</b>		<b>2012-03-25</b>



## ANEXO VI

### RECOLECCIÓN DEL ACEITE USADO EN LAS LUBRICADORAS Y LAVADORAS



a)



b)

NOTAS	CATEGORÍAS DEL DIAGRAMA	ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA	RECOLECCIÓN DE MUESTRAS		
<p>a) Recolección en la Lavadora Seleccionada</p> <p>b) Almacenamiento en el laboratorio.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ Por Certificar</li> <li>○ Por Aprobar</li> <li>○ Aprobado</li> <li>○ Por Eliminar</li> <li>○ Para Información</li> <li>○ Por Calificar</li> </ul>	<p><b>Realizado por:</b></p> <p>Vanessa Medina Myriam Sánchez</p>	Lámina	Escala	Fecha
			<b>10</b>		2012-04-13

ANEXO VIII

PRUEBA DE CORROSIÓN AL COBRE



a)

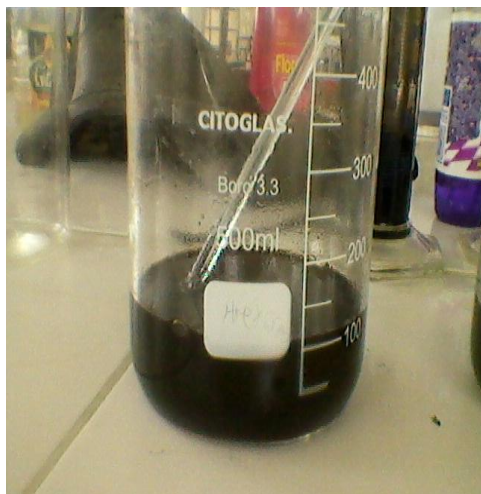


b)

NOTAS		CATEGORÍAS DEL DIAGRAMA	ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA	PRUEBA DE CORROSIÓN AL COBRE		
a) Prueba aceite quemado	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ Por Certificar</li> <li>○ Por Aprobar</li> <li>○ Aprobado</li> <li>○ Por Eliminar</li> <li>○ Para Información</li> <li>○ Por Calificar</li> </ul>			Realizado por: Vanessa Medina Myriam Sánchez	Lámina	Escala
b) Prueba aceite purificado		11			2012-04-10	

## ANEXO X

### PURIFICACIÓN DEL ACEITE USADO



a)

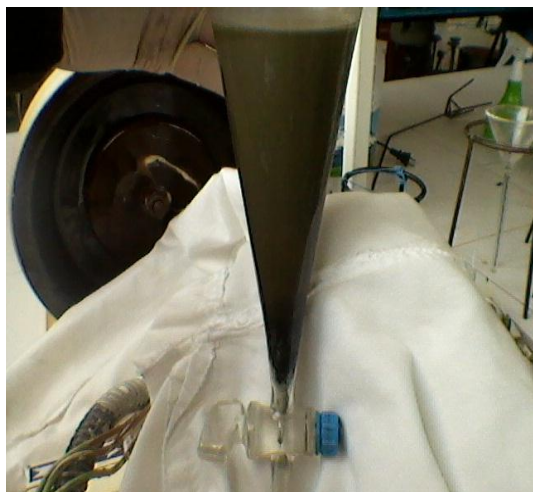


b)

NOTAS	CATEGORÍAS DEL DIAGRAMA	ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA	PROCESO ÁCIDO-BASE		
<p>a) Aceite deshidratado con ácido sulfúrico</p> <p>b) Obtención de la borra ácida</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ Por Certificar</li> <li>○ Por Aprobar</li> <li>○ Aprobado</li> <li>○ Por Eliminar</li> <li>○ Para Información</li> <li>○ Por Calificar</li> </ul>	<p><b>Realizado por:</b></p> <p>Vanessa Medina Myriam Sánchez</p>	Lámina	Escala	Fecha
			12		2012-05-10

## ANEXO XII

### PURIFICACIÓN DEL ACEITE USADO



a)



b)

NOTAS		CATEGORÍAS DEL DIAGRAMA	ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA	PROCESO		
				ÁCIDO-BASE		
a) Adición de solvente y bentonitas b) Separación de aceite con los contaminantes		<ul style="list-style-type: none"> <li>○ Por Certificar</li> <li>○ Por Aprobar</li> <li>○ Aprobado</li> <li>○ Por Eliminar</li> <li>○ Para Información</li> <li>○ Por Calificar</li> </ul>	Realizado por: Vanessa Medina Myriam Sánchez	Lámina	Escala	Fecha
				13		2012-06-13

ANEXO XIV

PURIFICACIÓN DEL ACEITE USADO



a)



b)

NOTAS	CATEGORÍAS DEL DIAGRAMA	ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA	PROCESO DE FILTRADO		
a) Residuo de la filtración	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ Por Certificar</li> <li>○ Por Aprobar</li> <li>○ Aprobado</li> <li>○ Por Eliminar</li> <li>○ Para Información</li> <li>○ Por Calificar</li> </ul>	<p><b>Realizado por:</b></p> <p>Vanessa Medina Myriam Sánchez</p>	Lámina	Escala	Fecha
b) Filtrado			<b>14</b>		2012-05-16



## ANEXO XVI

### DESTILACIÓN PARA LA RECUPERACIÓN DEL SOLVENTE



a)

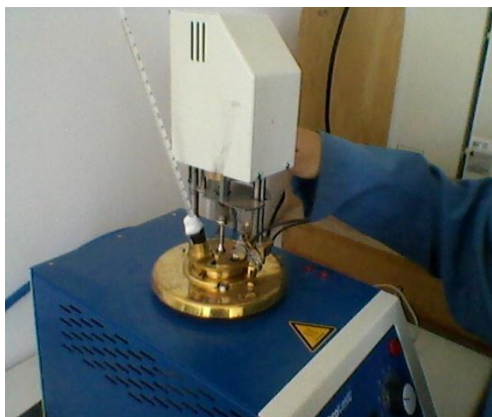


b)

NOTAS	CATEGORÍAS DEL DIAGRAMA	ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA  Realizado por:  Vanessa Medina Myriam Sánchez	PROCESO DE DESTILACIÓN SIMPLE		
a) Proceso de destilación simple en el laboratorio  b) recuperación del solvente (hexano)	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ Por Certificar</li> <li>○ Por Aprobar</li> <li>○ Aprobado</li> <li>○ Por Eliminar</li> <li>○ Para Información</li> <li>○ Por Calificar</li> </ul>		Lámina	Escala	Fecha
			15		2012-05-19

## ANEXO XVIII

### DETERMINACIÓN DEL PUNTO DE INFLAMACIÓN



a)



b)

NOTAS	<b>CATEGORÍAS DEL DIAGRAMA</b> <input type="radio"/> Por Certificar <input type="radio"/> Por Aprobar <input type="radio"/> Aprobado <input type="radio"/> Por Eliminar <input type="radio"/> Para Información <input type="radio"/> Por Calificar	<b>ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO</b> <b>FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA</b>  <b>Realizado por:</b> Vanessa Medina Myriam Sánchez	<b>PRUEBA DE PUNTO DE INFLAMACIÓN</b>		
a) Con el aceite quemado  b) Con el aceite purificado			Lámina	Escala	Fecha
			16		2012-06-22

ANEXO XX

DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE CENIZAS



a)



b)

NOTAS	CATEGORÍAS DEL DIAGRAMA	ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA	PRUEBA PARA DETERMINAR EL CONTENIDO DE CENIZAS		
a) Peso de la muestra en la capsula tarada	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ Por Certificar</li> <li>○ Por Aprobar</li> <li>○ Aprobado</li> <li>○ Por Eliminar</li> <li>○ Para Información</li> <li>○ Por Calificar</li> </ul>	<p><b>Realizado por:</b></p> <p>Vanessa Medina Myriam Sánchez</p>	Lámina	Escala	Fecha
b) Muestra en la mufla			17	2012-06-27	



## ANEXO XXII

### CONSTRUCCIÓN Y FUNCIONAMIENTO DEL EQUIPO



a)



b)

NOTAS		CATEGORÍAS DEL DIAGRAMA	ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA	TORRE DE DESTILACIÓN		
a) Equipo de destilación	b) Funcionamiento del equipo			<ul style="list-style-type: none"> <li>○ Por Certificar</li> <li>○ Por Aprobar</li> <li>○ Aprobado</li> <li>○ Por Eliminar</li> <li>○ Para Información</li> <li>○ Por Calificar</li> </ul>	<b>Realizado por:</b>  Vanessa Medina Myriam Sánchez	Lámina
		<b>18</b>				2012-10-28

ANEXO XXIV

VALIDACIÓN DEL EQUIPO



a)



b)

<b>NOTAS</b>	<p style="text-align: center;"><b>CATEGORÍAS DEL DIAGRAMA</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Por Certificar</li> <li>○ Por Aprobar</li> <li>○ Aprobado</li> <li>○ Por Eliminar</li> <li>○ Para Información</li> <li>○ Por Calificar</li> </ul>	<p style="text-align: center;"><b>ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO</b>  <b>FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA</b></p> <p style="text-align: center;"><b>Realizado por:</b></p> <p style="text-align: center;">Vanessa Medina Myriam Sánchez</p>	<b>DERIVADOS DEL PETRÓLEO. BASES LUBRICANTES PARA USO AUTOMOTOR</b>		
			Lámina	Escala	Fecha
		<b>20</b>		2012-03-17	

