



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**

**FACULTAD DE CIENCIAS**

**ESCUELA DE INGENIERIA QUÍMICA**

**“DISEÑO DE UN SISTEMA DE DESTILACIÓN PARA LA  
PURIFICACIÓN DEL THINNER DE LOS RESIDUOS DE PINTURA  
AUTOMOTRIZ EN MULTISERVICIOS SAN ANDRÉS.”**

**TESIS DE GRADO**

**Previo a la Obtención del Título de:**

**INGENIERO QUÍMICO**

**DIEGO FABIÁN ROBALINO CARRASCO**

**RIOBAMBA – ECUADOR**

**2012**

## **AGRADECIMIENTO**

A mis padres, Diego y Liliana quienes con su apoyo, aliento y esfuerzo han depositado toda su confianza en mí.

A los ingenieros Hannibal Brito y José Usiña, quienes con sus Conocimientos y experiencia ayudaron a salir adelante la presente tesis.

## **DEDICATORIA**

A mis padres, Diego y Liliana

"Enseñarás a volar,  
pero no volarán tu vuelo.

Enseñarás a soñar,  
pero no soñarán tu sueño.

Enseñarás a vivir,  
pero no vivirán tu vida.

Sin embargo...  
en cada vuelo,  
en cada vida,  
en cada sueño,  
perdurará siempre la huella  
del camino enseñado."

| <b>NOMBRE</b>  | <b>FIRMA</b> | <b>FECHA</b> |
|--|--------------|--------------|
| Dra. Yolanda Díaz<br><b>DECANA FAC. CIENCIAS</b>                 | .....        | .....        |
| Ing. Mario Villacrés<br><b>DIRECTOR ESC. ING. QUIMICA</b>        | .....        | .....        |
| Ing. Hannibal Brito M.<br><b>DIRECTOR DE TESIS</b>               | .....        | .....        |
| Ing. José Usiña<br><b>MIEMBRO DEL TRIBUNAL</b>                   | .....        | .....        |
| Tec. Carlos Rodríguez<br><b>DIRECTOR CENTRO DE DOCUMENTACION</b> | .....        | .....        |

## **HOJA DE RESPONSABILIDAD**

“Yo, **Diego Fabián Robalino Carrasco**, soy responsable de las ideas, doctrinas y resultados expuestos en esta Tesis, y el patrimonio intelectual de la Tesis de Grado pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.”

## INDICE DE ABREVIATURAS

|                   |   |
|-------------------|---|
| C=                | Grado centígrado                        |
| %=                | Porcentaje                              |
| A=                | Área de transferencia (m <sup>2</sup> ) |
| C=                | Condensado (Kg/h)                       |
| cm                | Centímetros                             |
| cm <sup>2</sup> = | Centímetro cuadrado                     |
| cm <sup>3</sup> = | Centímetro cúbico                       |
| E=                | Evaporado (Kg/h)                        |
| F=                | Alimentación (Kg/h)                     |
| g=                | Gramo                                   |
| h=                | Altura (cm)                             |
| H=                | Entalpia (KJ/Kg)                        |
| h=                | Horas                                   |
| INEN=             | Instituto Ecuatoriano de Normalización  |
| J=                | Joule                                   |
| Kg=               | Kilogramo                               |
| KJ=               | kilo joule                              |
| L=                | Litros                                  |
| m                 | Metros                                  |
| m <sup>2</sup> =  | Metro cuadrado                          |
| min=              | Minutos                                 |

|        |  |
|--------|--|
| mm Hg= | Milímetros de mercurio   |
| mm=    | Milímetros   |
| Nr=    | Número de resistencias   |
| NTE=   | Norma Técnica Ecuatoriana  |
| Ø=     | Diámetro (cm)  |
| plg=   | Pulgadas   |
| Pr=    | Voltaje de las resistencias (W)                                      |
| PVC=   | Polivinilcloruro   |
| Q=     | Calor (KJ/h)   |
| r=     | Radio (cm)   |
| s=     | Segundos   |
| T=     | Temperatura (C)  |
| t=     | Tiempo (min)   |
| U=     | Coeficiente global de transferencia de calor (KJ/h m <sup>2</sup> C) |
| V=     | Volumen (L)  |
| W=     | Vatios   |
| X=     | Cantidad de residuo (%)  |
| Y=     | Cantidad de thinner (%)  |
| ΔT=    | Gradiente de temperatura (C)   |
| □=     | Eficiencia   |
| ρ=     | Densidad (g/mL)  |

## TABLA DE CONTENIDOS

Pp.

|                                  |          |
|----------------------------------|----------|
| PORTADA                          |          |
| AGRADECIMIENTO                   |          |
| DEDICATORIA                      |          |
| HOJA DE FIRMAS                   |          |
| RESPONSABILIDAD DEL AUTOR        |          |
| INDICE DE ABREVIATURAS           |          |
| TABLA DE CONTENIDO               |          |
| INDICE DE TABLAS                 |          |
| INDICE DE FIGURAS Y GRAFICOS     |          |
| INDICE DE FOTOGRAFIAS            |          |
| INDICE DE ANEXOS                 |          |
| RESUMEN.....                     | i        |
| SUMARY.....                      | iii      |
| INTRODUCCION.....                | iv       |
| ANTECEDENTES.....                | vii      |
| JUSTIFICACION.....               | x        |
| OBJETIVOS.....                   | xii      |
| <br>                             |          |
| <b>CAPITULO I</b>                |          |
| <b>1. MARCO TEORICO .....</b>    | <b>2</b> |
| 1.1. SOLVENTES O DILUYENTES..... | 2        |
| 1.1.1. GENERALIDADES .....       | 2        |



|  |    |
|--|----|
| 1.1.2 TIPOS DE SOLVENTES.....  | 2  |
| 1.1.2.1 AGUA .....   | 2  |
| 1.1.2.2 SOLVENTES ORGANICOS .....  | 3  |
| 1.1.2.3 SOLVENTES POLARES Y APOLARES.....  | 3  |
| 1.1.2.3.1 SOLVENTES POLARES .....  | 4  |
| 1.1.2.3.2 SOLVENTES APOLARES.....  | 4  |
| 1.1.2.4 DISOLVENTES ALTERNATIVOS .....   | 5  |
| 1.1.2.5 THINNER.....   | 6  |
| 1.1.2.5.1 GENERALIDADES .....  | 6  |
| 1.1.2.5.2 TIPOS DE THINNER.....  | 6  |
| 1.1.2.5.2.1 THINNER FUERTE O ACRILICO .....  | 6  |
| 1.1.2.5.2.2 THINNER CORRIENTE O DE FORMULA ECONOMICA.....  | 7  |
| 1.1.2.5.3 COMPOSICION DEL THINNER.....   | 7  |
| 1.1.2.5.4 PROPIEDADES FISICO - QUIMICAS DEL THINNER.....   | 10 |
| 1.1.2.5.5 TOXICIDAD.....   | 10 |
| 1.2. PINTURA .....   | 11 |
| 1.2.1 TIPOS DE PINTURA.....  | 11 |
| 1.2.1.1 DE ACUERDO A LA SOLUBILIDAD DE LA PINTURA .....  | 11 |
| 1.2.1.2 DE ACUERDO A LA FORMA EN QUE SE PREPARA .....  | 12 |
| 1.2.1.3 DE ACUERDO A SU CAPACIDAD PARA RESISTIR SIN CAMBIOS EL<br>MEDIO EN QUE VAN APLICAR ..... | 12 |
| 1.2.1.4 DE ACUERDO AL ACABADO FINAL .....  | 12 |
| 1.2.1.5 DE ACUERDO AL TIEMPO DE SECADO.....  | 13 |
| 1.2.1.6 DE ACUERDO AL MODO DE SECADO .....   | 13 |
| 1.2.2 COMPONENTES DE UNA PINTURA .....   | 13 |
| 1.2.3 PINTURA AUTOMOTRIZ.....  | 13 |

|  |    |
|--|----|
| 1.2.3.1 FUNCION DE LA PINTURA AUTOMOTRIZ.....                      | 16 |
| 1.2.3.2 TIPOS Y MEZCLAS DE PINTURAS AUTOMOTRICES .....             | 17 |
| 1.3. DESTILACION .....   | 18 |
| 1.3.1. CONCEPTO .....  | 18 |
| 1.3.2. METODOS DE DESTILACION .....                                | 17 |
| 1.3.3. TIPOS DE DESTILACION .....                                  | 19 |
| 1.3.3.1 DESTILACION SIMPLE .....                                   | 19 |
| 1.3.3.2 DESTILACION FRACCIONADA. ....                              | 20 |
| 1.3.3.3 DESTILACION AL VACIO .....                                 | 20 |
| 1.3.3.4 DESTILACION AZEOTROPICA.....                               | 21 |
| 1.3.3.5 DESTILACION POR ARRASTRE DE VAPOR .....                    | 22 |
| 1.3.3.6 DESTILACION BINARIA O SIMPLE .....                         | 23 |
| 1.4. PURIFICADOR DE THINNNER POR DESTILACION SIMPLE.....           | 24 |
| 1.4.1. DEFINICION.....   | 24 |
| 1.4.2 OBJETIVOS DEL DESTILADOR DE THINNER .....                    | 25 |
| 1.4.3 PRINCIPIO DE OPERACION DEL DESTILADOR SIMPLE DE THINNER..... | 25 |
| 1.4.4 SERVICIOS REQUERIDOS.....                                    | 29 |
| 1.5. DESTILACION POR LOTES O BATCH .....                           | 30 |
| 1.5.1 DESTILACION SIMPLE:.....                                     | 34 |
| 1.5.1.1 ECUACION GENERAL DE BALANCE DE MASA. ....                  | 37 |
| 1.5.1.2 ECUACION GENERAL DE BALANCE DE ENERGÍA .....               | 40 |
| 1.5.1.3 ECUACION GENERAL DE ENERGÍA APLICADA AL DESTILADOR .....   | 42 |
| 1.5.1.4 VARIABLES IMPORTANTES DE LA OPERACION.....                 | 49 |
| 1.6 DISEÑO .....   | 50 |
| 1.6.1 BALANCE DE MASA.....   | 50 |

|   | <b>Pp.</b> |
|---|------------|
| 1.6.2 BALANCE DE ENERGÍA .....                    | 51         |
| 1.6.3 CALOR APROVECHADO .....                     | 51         |
| 1.6.4 CALOR SUMINISTRADO .....                    | 52         |
| 1.6.5 EFICIENCIA .....                            | 52         |
| 1.6.6 COEFICIENTE DE TRANSFERENCIA DE CALOR ..... | 52         |
| 1.6.7 GRADIENTE DE TEMPERATURA .....              | 53         |
| 1.6.8 RECOMENDACIONES PARA LA CONSTRUCCION .....  | 53         |
| 1.6.8.1 MATERIALES .....                          | 53         |
| 1.6.8.2 ACERO INOXIDABLE .....                    | 53         |
| 1.6.8.3 TUBERÍA Y ACCESORIOS .....                | 54         |
| 1.6.8.4 VÁLVULA DE CONTROL ( VÁLVULA CHECK).....  | 54         |
| 1.6.8.5 FILTRO DE ANILLAS .....                   | 55         |
| 1.6.8.6 CONDENSADOR .....                         | 57         |
| 1.6.8.7 RESISTENCIAS ELECTRICAS .....             | 57         |
| <br><b>CAPITULO II</b>                            |            |
| <b>2. PARTE EXPERIMENTAL.....</b>                 | <b>60</b>  |
| 2.1. MUESTREO .....                               | 61         |
| 2.2. METODOLOGÍA .....                            | 63         |
| 2.2.1 MÉTODOS Y TECNICAS .....                    | 63         |
| 2.2.1.1 MÉTODOS .....                             | 63         |
| 2.2.1.1.1 MÉTODO INDUCTIVO : .....                | 63         |
| 2.2.1.1.2 MÉTODO DEDUCTIVO .....                  | 64         |
| 2.2.1.1.3 MÉTODO DESCRIPTIVO.....                 | 64         |
| 2.2.1.2 TECNICAS E INSTRUMENTACION .....          | 65         |
| 2.2.1.2.1 ANÁLISIS DE LABORATORIO.....            | 65         |
| 2.3. DATOS EXPERIMENTALES .....                   | 74         |

|  |    |
|--|----|
| 2.3.1 DIAGNÓSTICO .....  | 74 |
| 2.3.2 DATOS EXPERIMENTALES .....   | 76 |
| 2.3.2.1 DESTILACIÓN EN LABORATORIO .....                                     | 76 |
| 2.3.2.2 RESULTADOS DE ANALISIS DE MUESTRAS OBTENIDAS EN<br>LABORATORIO ..... | 78 |
| 2.3.2.3 TIPOS DE RESISTENCIAS ELECTRICAS .....                               | 79 |
| 2.3.2.4 TIEMPO DE RESIDENCIA.....  | 79 |
| 2.3.2.5 CAUDAL DE ALIMENTACION .....   | 80 |
| 2.3.2.6 GRADIENTE DE TEMPERATURA .....                                       | 81 |
| 2.3.3 DATOS ADICIONALES.....   | 81 |
| 2.3.3.1 ENTALPIA .....   | 81 |

### **CAPITULO III**

|   |    |
|---|----|
| 3. DISEÑO.....  | 85 |
| 3.1. CALCULO DE CAMA DE EBULLICIÓN .....              | 85 |
| 3.1.1 CALCULO DE LA ALTURA DE CILINDRO.....           | 85 |
| 3.1.2 VOLUMEN DE TRABAJO .....                        | 86 |
| 3.1.3 VOLUMEN DEL CONO INFERIOR .....                 | 87 |
| 3.1.4 VOLUMEN MINIMO DE TRABAJO .....                 | 87 |
| 3.1.5 VOLUMEN DE ALIMENTACION .....                   | 88 |
| 3.1.6 CALCULO DE LA MASA DEL VOLUMEN DILUIDO .....    | 88 |
| 3.1.7 CALCULO DE LA MASA DEL VOLUMEN CONCENTRADO..... | 88 |
| 3.1.8 CALCULO DE LA MASA DEL VOLUMEN EVAPORADO .....  | 89 |
| 3.2 BALANCE DE MASA Y ENERGÍA.....                    | 90 |
| 3.2.1 BALANCE DE MASA.....                            | 91 |
| 3.2.1.1 BALANCE DE MASA TOTAL.....                    | 91 |

|  | <b>Pp.</b> |
|--|------------|
| 3.2.1.2 BALANCE DE MASA DEL SOLUTO .....                                 | 91         |
| 3.2.2 BALANCE DE ENERGÍA.....  | 92         |
| 3.2.2.1 CALCULO DEL CALOR APROVECHADO EN EL EVAPORADOR .....             | 92         |
| 3.2.2.2 CALCULO DEL CALOR SUMINISTRADO POR LAS RESISTENCIAS .....        | 92         |
| 3.2.2.3 CALCULO DE LA EFICIENCIA .....                                   | 92         |
| 3.2.2.4 CALCULO DEL AREA DE TRANFERENCIA DE CALOR .....                  | 93         |
| 3.2.2.5 CALCULO DEL COEFICIENTE GLOBAL DE TRANFERENCIA DE CALOR<br>..... | 93         |
| 3.2.3 CALCULO DE LA CAMARA DE CONDENSACION .....                         | 93         |
| 3.2.3.1 VOLUMEN DEL CILINDRO.....  | 93         |
| 3.2.3.2 VOLUMEN DEL SECTOR CONICO .....                                  | 94         |
| 3.2.3. VOLUMEN DE LA CAMARA DE CONDENSACIÓN.....                         | 94         |
| 3.2.3.4 CALCULO DE LA MASA DE THINNER DE REFRIGERACION .....             | 94         |
| 3.3 RESULTADOS .....   | 96         |
| 3.3.1 VARIABLES DEL PROCESO.....   | 96         |
| 3.3.2 DIMENSIONES DEL DESTILADOR.....                                    | 96         |
| 3.3.3 DISEÑO DEL EQUIPO .....  | 98         |
| 3.4 ANALISIS Y DISCUSION DE RESULTADOS.....                              | 99         |
| <b>CAPITULO IV</b>   |            |
| <b>4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....</b>                            | <b>103</b> |
| <b>4.1 CONCLUSIONES .....</b>  | <b>103</b> |
| <b>4.2 RECOMENDACIONES.....</b>  | <b>105</b> |
| <b>BIBLIOGRAFIA.....</b>   | <b>107</b> |
| <b>ANEXOS .....</b>  | <b>112</b> |

## ÍNDICE DE TABLAS

| <b>TABLA</b>  | <b>Pp.</b> |
|---|------------|
| 1.1.2.5.3. – 1 Componentes del Thinner .....                        | 9          |
| 1.1.2.5.3. – 2 Composición del Thinner .....                        | 9          |
| 1.1.2.5.4. – 1 Propiedades Físico-Químicas de Thinner .....         | 10         |
| 1.6.8.5-1 Dimensiones filtro de anillas .....                       | 56         |
| 1.6.8.7-1 Características resistencia Copa rosca - centrada .....   | 58         |
| 2.1 - 1 Muestreo .....  | 62         |
| 2.2.1.2.1-1 Destilación Simple (Eficiencia) .....                   | 67         |
| 2.2.1.2.1-2 Solventes. Adelgazadores (Thinner). Requisitos .....    | 68         |
| 2.2.1.2.1-3 Acidez Libre (expresada como ácido acético) .....       | 69         |
| 2.2.1.2.1-4 Contenido de Humedad .....                              | 70         |
| 2.2.1.2.1-5 Solventes. Determinación del Color en Escala APHA ..... | 72         |
| 2.2.1.2.1-6 Corrosión al Cobre .....                                | 73         |
| 2.3.2.1-1 Datos Destilación Simple .....                            | 77         |
| 2.3.2.4-1 Tiempo de Residencia .....                                | 80         |
| 2.3.2.5-1 Caudal de Alimentación .....                              | 80         |
| 2.3.3.1-1 Composición del Thinner (Calores de vaporización) .....   | 82         |
| 2.3.3.1-2 Entalpías de las corrientes del destilador .....          | 83         |
| 3.2-1 Variables del Proceso .....                                   | 91         |
| 3.3.1-1 Variables del Proceso .....                                 | 96         |
| 3.3.2-1 Dimensiones del Destilador .....                            | 96         |

## ÍNDICE DE FIGURAS

| <b>FIGURA</b>   | <b>Pp.</b> |
|---|------------|
| 1.3.3.6 -1 Esquema básico de destilación binaria .....  | 24         |
| 1.5.1.1 Destilador simple .....   | 34         |
| 1.5.1.3 -1 Representacion grafica de la temperatura en las etapas de calentamiento .....        | 48         |
| 1.5.1.3 -2 Representacion grafica de la masa de agua evaporada en la etapa de evaporación ..... | 48         |
| 1.3.3.6 -1 Esquema básico de destilación binaria .....  | 24         |
| 1.5.1.1 Destilador simple .....   | 34         |
| 1.5.1.3 -1 Representación grafica de la temperatura en las etapas de calentamiento .....        | 48         |
| 1.5.1.3 -2 Representación grafica de la masa de agua evaporada en la etapa de evaporación ..... | 49         |
| 1.6.8.5 -1 Filtro de anillas .....  | 56         |
| 1.6.8.7 -1 Resistencia tubular inmersión cabezal tipo copa con rosca interior .....             | 59         |
| 2.3.2.1 -1 Destilación simple.....  | 76         |

## ÍNDICE DE GRÁFICOS

| <b>GRAFICO</b>                                   | <b>Pp.</b> |
|--|------------|
| 3.3.3 -1 Diseño del tanque de ebullición .....   | 98         |
| 3.3.3 -2 Diseño del tanque de condensación ..... | 99         |



## ÍNDICE DE FOTOGRAFÍAS

| <b>FOTOGRAFÍA</b>                             | <b>Pp.</b> |
|---|------------|
| 2.3.2.2 -1 Pruebas de destilación simple..... | 78         |
| 2.3.2.2 -2 Pruebas de destilación simple..... | 78         |

## ÍNDICE DE ANEXOS

| <b>ANEXOS</b>   | <b>Pp.</b> |
|---|------------|
| 1. Análisis de laboratorio .....  | 113        |
| 1. 1A Análisis de laboratorio Muestra 1 .....                                       | 113        |
| 2. 2A Análisis de laboratorio Muestra 2 .....                                       | 114        |
| 3. 3A Análisis de laboratorio Muestra 3 .....                                       | 115        |
| 4. 4A Análisis de laboratorio Muestra 4 .....                                       | 116        |
| 5. 5B – 11B Solventes. adelgazadores (thinner). requisitos - NTE INEN 2163:99 ..... | 117        |
| 6. 12C – 15C Calores de vaporización de compuestos orgánicos.....                   | 124        |

## RESUMEN

El objetivo de este estudio: Diseño de un Sistema de Destilación Para la Purificación del Thinner de los Residuos de Pintura Automotriz en Multiservicios San Andrés, que ayudará a la disminución de la contaminación ambiental y a generar una cultura de reutilización en las empresas.

El equipo está diseñado según las especificaciones técnicas del solicitante y los parámetros necesarios para su eficaz operación, consta de un tanque de ebullición con forma cilíndrica de diámetro de 40 cm y altura de 1 m, con capacidad de 100 L; posee dos resistencias de inmersión que generan 2400 W conjuntamente, éstas al no poder mantener contacto directo con el líquido debido al poder de inflación de la sustancia están protegidas por tubos de acero negro de 20 cm de largo por 10 cm de diámetro. Del tanque, hacia arriba por a la salida del vapor está el condensador el cual tiene 40 cm de diámetro y 24 cm de alto añadiendo que en la parte superior posee forma redondeada, en la parte inferior está la parte de condensados que serán eliminados lentamente durante el proceso de operación para evitar su solidificación. El punto de ebullición del compuesto a tratarse es de 55 C, al llegar a los 90 C se mantiene constante la destilación pudiendo llegar a los 165 C como tope de temperatura; el aparato operará con energía eléctrica de 220 Watts.

El equipo permite la obtención de thinner purificado en un 99% del volumen ingresado, cumpliendo con todos los parámetros necesarios para su utilización según la Norma

Técnica Ecuatoriana NTE INEN 2 163:99 Solventes, Adelgazadores (Thinner) Requisitos.  
Convirtiéndose en un equipo sencillo de usar y practico fundamentalmente para evitar la  
eliminación de desechos reutilizables.

## SUMMARY

The objective of this study is the design of a distilling system for the purification of the thinner from the residues of automotive painting in Multiservicios San Andres, Pillaro canton, Tungurahua province; to help diminish the environment contamination and to generate a culture of re-use. Previous to the design various samples were taken, each 1 L residual thinner generated in the vehicle painting process; the lab analyses were carried out observing that it is of optimum quality and could be re-used. Considering these conditions the equipment was designed which consists of: a boiling tank with a cylinder form, 40 cm diameter and 1 m high, with 100 L capacity; two immersion resistances generating 2400 W, protected by black steel piping 20 cm long x 10 diameter; a condenser, 40 cm diameter 24 cm high. The boiling point of the compound to be treated is 55 C. Upon reaching 90 C the distilling remains constant being able to reach up to 165 C as a temperature limit. The designed equipment will permit to obtain a purified thinner by a 99% intake volume, accomplishing the parameters according to the Technical Ecuadorian Norm NTE INEN 2163:99 Solvents, Thinners; its re-use contributes to diminish the environmental contamination and generate resources to the enterprise.

## INTRODUCCION

La destilación es una técnica común para la separación de corrientes líquidas con dos o más componentes y es una de las operaciones unitarias más importantes en la industria química.

Este proyecto de tesis ha sido diseñado con el fin de elaborar un equipo de destilación para la obtención de un disolvente de alta calidad a partir de los residuos provenientes de la pintura automotriz como resultado de la limpieza de los equipos utilizados en el proceso de pintura en los que se utiliza la mezcla pintura-thinner acrílico.

Un disolvente como el thinner, por lo general, es un líquido en el cual se disuelve otra sustancia, en menor proporción. En este caso la pintura automotriz necesita para su aplicación ser tratada con un solvente que le da las características propicias para que cumpla su función y de resultados de calidad.

Los desechos originados en la industria automotriz (pintado de vehículos) y derivados pueden convertirse en subproductos, con cierto valor económico y a la vez, evitar el impacto al ambiente que ocasionaría su incorrecta disposición, la errónea eliminación de los residuos de pintura-disolvente de diferentes formas, ya sea, por las alcantarillas, hacia vertederos (ríos) o al suelo directamente provoca un daño perjudicial al ecosistema; con el

debido tratamiento se podrá reutilizar el thinner separándolo de la mezcla y evitando su posterior contaminación.

Para esta investigación, la empresa “Multiservicios San Andrés” ha visto la necesidad de la implementación en su área de pintura de vehículos, un equipo que tenga por finalidad la separación de la mezcla pintura-thinner, en el disolvente (thinner) y el solvente (pintura), analizando los parámetros solicitados por los técnicos de pintura de la firma, se llegó al consenso para diseñar un equipo de destilación binaria que brindará resultados de eficacia garantizada.

Partiendo del muestreo en la planta y al verificar el volumen de desecho generado, se procede a la recolección de muestras para ser analizadas en laboratorios certificados, obteniéndose resultados favorables, se procede a la recolección bibliográfica de información concerniente al tema tanto de solventes, pinturas, destilación y diseños de ingeniería.

Al realizar los estudios de laboratorio efectuando destilaciones simples con residuos de pintura-thinner se obtuvo el 99% de recuperación del disolvente, éstos volúmenes fueron enviados a laboratorios donde se les practicaron las pruebas respectivas para ver si cumplen con las exigencias pedidas por la Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 2 163:99

Solventes, Adelgazadores (Thinner) Requisitos. Las muestras analizadas cumplieron con los valores estipulados en el rango de la norma lo que da la garantía para el diseño del equipo.

Con lo antes expuesto, se llevó acabo la presente investigación cuyo objetivo principal es Realizar el Diseño de un Sistema de Destilación Para la Purificación del Thinner Proveniente de los Residuos de Pintura Automotriz en la Empresa Multiservicios San Andrés.

Por todo lo discutido anteriormente se realizó el presente estudio, en el cual, se determinaron los parámetros necesarios para el diseño de un equipo de destilación que servirá para la purificación del thinner proveniente los residuos automotrices (mezcla pintura-thinner) para su posterior reutilización, disminuyendo la contaminación al ambiente e impulsando la mejora económica para la empresa.

El mencionado equipo estará compuesto por la alimentación, que incluye un filtro para la limpieza del residuo; un tanque de evaporación para 100 L de 1m de alto por 40 cm de diámetro, en su interior dos resistencias de inmersión cubiertas por acero negro y un condensador cilíndrico de 24 cm de alto por 40 cm de diámetro.



## ANTECEDENTES

La separación de componentes por medio de sus fases obedece a varias técnicas de uso en la química convencional, éstas corresponden en su descubrimiento a los alquimistas. A partir de esa época estas operaciones han venido evolucionando con la modificación y creación de nuevas técnicas para realizar las mismas.

“La destilación es una operación unitaria cuyo funcionamiento se basa en el equilibrio líquido-vapor, considerando que en la fase gaseosa existe una alta concentración de componentes ligeros y en la fase líquida alta concentración de componentes pesados, y su objetivo es la separación de una mezcla para obtener alguno de los compuestos de la mezcla con un grado de pureza determinado.”(1)

“Los alquimistas griegos, en el siglo primero de nuestra era, inventaron el alambique para destilar sustancias. Un alambique o destilador está compuesto de tres partes: una vasija en la que se calienta el material que se va a destilar, una parte fría para condensar el vapor producido y un recipiente para recogerlo.

La destilación se inventó como un medio para obtener un líquido capaz de atacar o colorear los metales. Debe comprenderse que la falta de instrumentos (termómetros, por ejemplo) y el hecho de que no se conocieran disolventes ni ácidos más fuertes que el vinagre,

representaba una limitación del campo de estudio. Los antiguos químicos trabajaban principalmente sobre alambiques primitivos, lo que, les impedía recuperar los compuestos de bajo punto de ebullición. Inventaron hornos cilíndricos o cónicos, en los que disponían hileras de alambiques para producir agua de rosas o “nafta” (gasolina) por medio del calor de los gases de combustión.

La evolución en la fabricación de vidrio ayudó en el campo de la destilación, los alambiques se modificaron y aparecieron los matraces, columnas y condensadores, semejantes a los empleados hoy. Desde entonces, la destilación ha sido una de las técnicas de separación más empleadas en los laboratorios y en la investigación química, al tiempo que se la utiliza también como una técnica analítica.

Entre 1930 y 1960, se hicieron numerosos estudios para predecir la eficiencia de las columnas de destilación. Sin embargo fue a partir de que el Instituto Americano de Ingenieros Químicos formó una comisión para estudiar el problema, cuando se pudo contar con un método confiable para obtener las eficiencias en columnas de destilación que trabajan con mezclas binarias. Una vez resuelto este problema, las baterías se orientaron hacia el diseño de columnas que trabajaran mezclas multicomponentes.

A pesar de que la Operación Unitaria de destilación es la que cuenta con más bibliografía y sobre la que se han efectuado y se efectúan más estudios e investigaciones, todavía no se ha agotado el campo, ni se ha dicho la última palabra sobre el diseño de los aparatos de destilación, que han probado ser tan útiles para la humanidad. Hoy, la destilación se reemplaza por otras operaciones que, o consumen menos energía, o son más eficientes, tales como la extracción líquido-líquido, la adsorción, la cromatografía, etcétera. Sin embargo, sigue presente en casi todos los procesos químicos, petroquímicos, farmacéuticos o de la industria alimentaria y vinícola.”(2)

Son muchos los equipos diseñados y construidos para la destilación de varias sustancias, pero es importante decir que, en el Ecuador no se ha encontrado información concerniente a la purificación del thinner proveniente de los residuos, ósea, se tomará la pauta en lo referente a la reutilización de solventes.

En la zona centro del país en especial en las provincias de Tungurahua y Chimborazo desde hace media década atrás se construye carrocerías metálicas y a partir del 2000, existen varios talleres de pintura para autos en hornos, éstos utilizan cantidades considerables de thinner que una vez usado es desechado, con un proceso de destilación sencilla es posible reutilizar éste y no desecharlo ayudando al micro y macro empresarios a obtener mejores réditos económicos y disminuir la eliminación de sustancias contaminantes al ambiente.

## JUSTIFICACION

Los procesos industriales tienden siempre a ser competitivos, y la optimización de sus procesos es fundamental, tomando en cuenta esto, la destilación es un proceso sencillo, de bajo costo y de fácil aplicación, la cual, no afecta realmente la viabilidad de una empresa o la capacidad de atraer nuevas inversiones a un área donde se necesita urgentemente el desarrollo.

En la actualidad en nuestro país existen empresas que utilizan como diluyente el thinner entre las cuales están industrias carroceras, ensambladoras, cámaras de pintura al horno, autoservicios, mecánicas artesanales, etc.; como un dato importante industria carroceras ubicadas en Tungurahua como VARMA, IMCE (INDUSTRIAS METALICAS CEPEDA), PICOSA, etc. desechan en promedio 200 litros por semana de diluyente, es así, que el Municipio de Ambato ha solicitado a dichas empresas calificar para la obtención de sus Permisos Ambientales sin los cuales no podrán laborar, estando claramente identificado el desecho de la mezcla thinner-pintura como un agente perjudicial para el ecosistema; esta sería la oportunidad esencial para ejecutar un plan de purificación de residuos conjuntamente con municipios del Ecuador los cuales están conscientes del efecto nocivo que tienen estas sustancias con el ambiente en el que vivimos y en la salud.

Los residuos industriales en este caso el uso de disolventes (thinner) para la limpieza de accesorios que utilizan pintura automotriz tienen que ser descargados y por lo general, se

desechan en algún tipo de alcantarilla que luego desembocará en corrientes de agua, como un río, canal, estuario o el mar, el resultado será la contaminación y alteración del recurso agua o también se lo desecha directamente al suelo. La raíz de los problemas de contaminación difiere a causa de diversos factores, tales como los aspectos industriales y aspectos socioeconómicos. La acumulación de desechos sólidos de diferentes tipos, emisiones de humos, líquidos y gases, la desertificación, y contaminación del agua y suelo es debido a la sobrepoblación y las actividades urbano-industriales.

A partir del diseño de un destilador para la purificación del thinner, la empresa Multiservicios San Andrés, que utilizan este diluyente, dejará de desecharlo luego de su único uso y se lo reutilizará aprovechando al máximo su utilidad generando ahorro económico para la organización ya que ésta ya no adquirirá solvente en forma continua adicionando el cuidado del ambiente.

Debido a lo antes citado se ha visto el apremio del dimensionamiento del mencionado equipo para cubrir la falencia en esta área de producción en la utilización de pinturas automotrices.

## **OBJETIVOS**

### **GENERAL**

Realizar el Diseño de un Sistema de Destilación Para la Purificación del Thinner Proveniente de los Residuos de Pintura Automotriz en la Empresa Multiservicios San Andrés en el Cantón Pillaro.

### **ESPECIFICOS**

- Efectuar el diagnóstico del proceso de pintura, la generación del residuo líquido pintura-thinner y su vertido al ambiente.
- Identificar las variables de proceso para optimizar el rendimiento del equipo.
- Dimensionar el equipo de acuerdo a los requerimientos de producción.
- Disminuir la contaminación producida por el desecho de sustancias contaminantes al ambiente.

# **CAPITULO I**

## **MARCO TEÓRICO**

## **1. MARCO TEÓRICO**

### **1.1. SOLVENTES O DILUYENTES**

#### **1.1.1. GENERALIDADES**

“Es una sustancia que permite la dispersión de otra en su seno. Es el medio dispersante de la disolución. Normalmente, El disolvente es una sustancia líquida que disuelve o disocia a otra sustancia en una forma más elemental, y que normalmente está presente en mayor cantidad que esa otra sustancia.”(3)

#### **1.1.2. TIPOS DE SOLVENTES**

##### **1.1.2.1. AGUA**

El agua, denominado como el disolvente universal, es la mejor elección como disolvente, desde un punto de vista medioambiental, ya que no es ni inflamable, ni tóxica. Aunque presenta el inconveniente de tener una baja solubilidad con las resinas. El elevado momento dipolar del agua y su facilidad para formar puentes de hidrógeno hacen que el agua sea un excelente disolvente. Una molécula o ión es soluble en agua si puede interactuar con las moléculas de la misma mediante puentes de hidrógeno o interacciones del tipo ion-dipolo. Solubilidad de iones en agua con aniones que tengan átomos de oxígeno, pueden formar puentes de hidrógeno, dado que el oxígeno actúa como aceptor de los mismos.

Es el disolvente más común que existe y se utiliza principalmente para pinturas al temple, pinturas plásticas, pinturas a la cal, al cemento o silicato, algunos tipos de pinturas epoxi, esmaltes.



### **1.1.2.2. SOLVENTES ORGÁNICOS**

Los disolventes más utilizados actualmente, son los disolventes orgánicos, que son compuestos orgánicos volátiles que se utilizan solos o en combinación con otros agentes, sin sufrir ningún cambio químico, para disolver materias primas, productos o materiales residuales, o se utilice como agente de limpieza para disolver la suciedad, o como disolvente, o como medio de dispersión, o como modificador de la viscosidad, o como agente tenso-activo. El uso de estos disolventes, libera a la atmósfera compuestos orgánicos volátiles (COVs), que tienen algunos problemas importantes para el entorno.

El carácter volátil de los disolventes orgánicos hace que éstos se evaporen rápidamente en el aire, alcanzando concentraciones importantes en espacios confinados. Los riesgos mayores para el ser humano se producen por la absorción de éstos a través de la piel y por inhalación. El contacto directo con la piel permite que el disolvente pase a la sangre, causando efectos inmediatos y a más largo plazo.

Para reducir el impacto medioambiental de los actuales disolventes orgánicos existen una serie de sustancias que se pueden usar como alternativas, siendo los llamados disolventes alternativos o nuevos disolventes, pertenecientes a la rama de la Química verde, en la que se pueden englobar los siguientes principios:

- El diseño de procesos que incorporen al máximo en el producto final todos los materiales usados durante el proceso, minimizando la obtención de subproductos.
- El uso de sustancias seguras y respetuosas con el medio ambiente como son los disolventes reactivos, etc.

- El diseño de procesos energéticamente eficientes.

### **1.1.2.3. SOLVENTES POLARES Y APOLARES**

#### **1.1.2.3.1. SOLVENTES POLARES**

Son sustancias en cuyas moléculas la distribución de la nube electrónica es asimétrica; por lo tanto, la molécula presenta un polo positivo y otro negativo separados por una cierta distancia. Hay un dipolo permanente. El ejemplo clásico de solvente polar es el agua. Los alcoholes de baja masa molecular también pertenecen a este tipo. Los disolventes polares se pueden subdividir en:

- Disolventes polares próticos: contienen un enlace del O-H o del N-H. Agua (H-O-H), etanol (CH<sub>3</sub>-CH<sub>2</sub>-OH) y ácido acético (CH<sub>3</sub>-C(=O)OH) son disolventes polares próticos.
- Disolventes polares apróticos: son disolventes polares que no tiene enlaces O-H o N-H. La acetona (CH<sub>3</sub>-C(=O)-CH<sub>3</sub>) y THF o Tetrahidrofurano son disolventes polares apróticos.

#### **1.1.2.3.2. SOLVENTES APOLARES**

En general son sustancias de tipo orgánico y en cuyas moléculas la distribución de la nube electrónica es simétrica; por lo tanto, estas sustancias carecen de polo positivo y negativo en sus moléculas. No pueden considerarse dipolos permanentes. Esto no implica que algunos de sus enlaces sean polares. Todo dependerá de la geometría de sus moléculas. Si los momentos dipolares individuales de sus enlaces están compensados, la molécula será, en conjunto, apolar. Algunos disolventes de este tipo son: el dietiléter, cloroformo, benceno, tolueno, xileno, cetonas, hexano, ciclohexano, tetracloruro de carbono es el que

disuelve o va a disolver, etc. Un caso especial lo constituyen los líquidos fluorosos, que se comportan como disolventes más apolares que los disolventes orgánicos convencionales.

#### **1.1.2.4.DISOLVENTES ALTERNATIVOS**

- A. Disolventes reactivos: Son disolventes con baja volatilidad relativa, y tienen la capacidad de reaccionar con otros componentes, evaporándose al medioambiente (no constituyen COV's).
- B. Disolventes benignos: Son aquellos disolventes ambientalmente respetuosos. En este grupo se hallan los disolventes libres de compuestos clorados, con baja toxicidad y baja reactividad incremental máxima, comparados con los disolventes convencionales.
- C. Disolventes neotéricos: Como su propio nombre indica, del término neo significa moderno, contemporáneo, reciente. Son una serie de disolventes que presentan una menor toxicidad, son más seguros y menos contaminantes que los disolventes convencionales. Entre ellos se incluyen tanto nuevos fluidos con propiedades ajustables, como compuestos poco usados como disolventes en la actualidad. Pero que están siendo investigados por sus usos potenciales como disolventes, ya que permitirían una mayor sostenibilidad en futuras aplicaciones. Éste es el caso del dióxido de carbono supercrítico (scCO<sub>2</sub>), y el líquido iónico a temperatura ambiente.

### **1.1.2.5. THINNER**

#### **1.1.2.5.1. GENERALIDADES**

“El thinner, también conocido como diluyente o adelgazador de pinturas, es una mezcla de disolventes de naturaleza orgánica derivados del petróleo que ha sido diseñado para disolver, diluir o adelgazar sustancias insolubles en agua, como la pintura, los aceites y las grasas.”(4)

El thinner está compuesto por un disolvente activo, un cosolvente y un diluyente, sustancias que efectúan una función en particular. El disolvente activo es el que tendrá un efecto directo sobre lo que se está disolviendo, el cosolvente potenciará el efecto del disolvente activo y el diluyente dará volumen al compuesto. El thinner tiene como disolvente principal al tolueno, como cosolvente al benceno y como diluyente a una serie de disolventes, sustancias todas ellas tóxicas para el ser humano.

#### **1.1.2.5.2. TIPOS DE THINNER**

“Desde el punto de vista industrial y a su utilización existen dos tipos de thinner: el fuerte o acrílico o el corriente o de fórmula económica.”(5)

##### **1.1.2.5.2.1. THINNER FUERTE O ACRÍLICO**

Diluyente a base de solventes como ésteres, cetonas, aromáticos, alcoholes y alifáticos utilizado en la dilución y facilidad de aplicación de lacas acrílicas y lacas a la piroxilina. Es usado en pinturas de automóviles y en naves. Se aplica unido a un soplete para darle un secado mucho más rápido.

Es un producto altamente balanceado en su evaporación, de velocidad media, lo que imposibilita la aparición de defectos superficiales en el recubrimiento. Como posee el más alto poder disolvente del mercado en su categoría, es muy apto para utilizarlo con todo tipo de lacas automotrices, ya sea en trabajos de pintura en vehículos completos como también en retoques parciales. Su comportamiento en ambientes de humedad relativa elevada es excelente, ya que soporta perfectamente condiciones adversas sin producir blanqueo del material y manteniendo el brillo impecable que este producto le otorga siempre a las superficies donde se aplica. Es apto para utilizarlo tanto en secado al aire como en cabinas de pintado de temperatura y humedad controlada, con o sin lámpara UV.

### **Especificaciones técnicas**

- Constituyentes: Aromáticos, Alifáticos, Alcoholes, Glicoles y Ésteres.
- Características físicas: - Peso específico (20/20 C)  $0,810 \pm 0,01$  g/ml.
  - Color: Incoloro.
  - Olor: Característico.
- Libre de material en suspensión Y libre de sólidos disueltos.
- Rango de destilación: 55 / 165 C

### **1.1.2.5.2.2. THINNER CORRIENTE O DE FORMULA ECONÓMICA**

Diluyente constituido de tolueno, alcohol metílico, cetonas, hexano, alcoholes, xileno y ésteres utilizado para la dilución de pinturas, pegamentos, laca y barnices que son utilizados para limpiar utensilios utilizados para pintar como; pinceles o brochas.

Es un producto económico que ha sido desarrollado para trabajos generales de pintura en los cuales se utilicen, por ejemplo, lacas, selladores o fondos y se desee un aceptable acabado bajo condiciones ambientales que no sean extremas. También se recomienda debido a su altísimo poder de disolución sobre todo tipo de pinturas para realizar las tareas de limpieza de instrumental y equipo de pintura, como también para cualquier otra tarea de limpieza general, tanto en el taller, la industria o la obra.

### **Especificaciones técnicas**

- Constituyentes: Aromáticos, Alifáticos, Alcoholes, Glicoles y Ésteres.
- Características físicas: - Peso específico (20/20 ° C)  $0,796 \pm 0,01$  g/ml.
  - Color: Incoloro.
  - Olor: Característico.

### **1.1.2.5.3. COMPOSICIÓN DEL THINNER**

Los principales componentes del thinner son los siguientes:

**Tabla 1.1.2.5.3. – 1**  
**Componentes del Thinner**

| <b>SUSTANCIA</b> | <b>PORCENTAJE</b> |
|------------------|-------------------|
| Tolueno          | 5 - 50 %          |
| Alcohol Metílico | 15 - 50 %         |
| Cetonas          | 5 - 40 %          |
| Hexano           | 5 - 30 %          |
| Alcoholes        | 5 - 40 %          |
| Xileno           | 5 - 20 %          |
| Esteres          | 3 - 50 %          |

Las cantidades varían según el producto deseado.

Fuente: Componentes del thinner, Revista Obras Sanitarias de la Nación, Argentina, Volumen 25, Número 132.

**Tabla 1.1.2.5.3. – 2**  
**Composición del Thinner**

| <b>Sustancia</b> | <b>Contenido (%)</b> |
|------------------|----------------------|
| Tolueno          | 50                   |
| Alcohol metílico | 15                   |
| Acetato de etilo | 15                   |
| Hexano           | 5                    |
| Alcohol etílico  | 5                    |
| Acetona          | 5                    |
| m-xileno         | 5                    |

Fuente: Composición del thinner <http://grupopetroquimica.blogspot.com>

#### 1.1.2.5.4. PROPIEDADES FISICO-QUIMICAS DEL THINNER

Tabla 1.1.2.5.4. – 1

##### Propiedades Físico-Químicas de Thinner

| Propiedades físico-químicas* |                                   |
|------------------------------|-----------------------------------|
| Estado de agregación         | Líquido                           |
| Apariencia                   | Incoloro, con olor característico |
| Peso específico              | 0,810 ± 0,01 g/ml                 |
| Punto de fusión              | La menor es de -34°C              |
| Punto de inflamación         | Inferior a 21 ° C                 |
| Temperatura de autoignición  | 480°C                             |
| Punto de ebullición          | 56° - 136°C                       |
| Densidad relativa            | 0.77 – 0.83 g/ml                  |
| Solubilidad                  | Insoluble en agua                 |
| % de volatilidad por volumen | 100                               |
| Gravedad                     | 0-9                               |
| Presión vapor                | 9%                                |
| Viscosidad                   | n/d                               |

\*Valores en el SI y en condiciones normales (0 °C y 1 atm), salvo que se indique lo contrario.

\*Las propiedades pueden variar según la composición del thinner.

Fuente: <http://es.wikipedia.org/wiki/Thinner>

#### 1.1.2.5.5. TOXICIDAD

Su toxicidad es menos de la mitad que la toxicidad de la mayoría de los diluyentes de otras especies, y hasta 5 veces menor en algunos casos. Además, el Thinner Ecológico presenta



una gran resistencia a la humedad que lo hace apto para pintar incluso en los ambientes más adversos, manteniendo de todas formas su excelentes nivelación y brillo. Posee un muy buen poder de disolución de todos los tipos de pinturas nitrocelulósicas, nitrosintéticas, acrílicas, y 2 K del mercado, tanto en fondos como en colores y clears. Nota: no obstante su peligrosidad reducida en comparación con cualquier otro diluyente, la empresa fabricante recomendará la utilización de los equipos de seguridad apropiados al trabajo a realizar.

## **1.2. PINTURA**

“Es cualquier material generalmente líquido o semi líquido coloreado, que puede distribuirse por una superficie, formando una capa adherente y continua que luego solidifica manteniendo aproximadamente el mismo tono de color. Esta capa debe conservar por tiempo más o menos prolongado el color y la adherencia a la superficie a la que fue aplicada. No se consideran aquí entonces las capas incoloras o transparentes (barnices o lacas).”(6)

### **1.2.1. TIPOS DE PINTURAS**

“Existen diferentes tipos de pinturas, tales como barnices, esmaltes, lacas, colorantes, entonadores y selladores entre otros; cada uno con unas propiedades físicas y químicas que deben tenerse en cuenta a la hora de elegir el producto adecuado, ya sea por el tipo de superficie a aplicar, el carácter estético o las inclemencias a la que va a estar sometido.

#### **1.2.1.1. De acuerdo a la solubilidad de la pintura pueden ser:**

- a. Las solubles en agua (conocidas como pinturas de agua).

- b. Las solubles en derivados del petróleo (gasolina, queroseno, etc.) conocidas como pinturas de aceite.
- c. Las solubles en disolventes especiales (xileno, metanol, acetona o sus mezclas) llamadas lacas.

**1.2.1.2. De acuerdo a la forma en que se preparan para su uso pueden ser:**

- a. Las de un solo componente (lista para usarse).
- b. Las que se preparan mezclando dos o más componentes (pinturas epoxi y de poliéster).

**1.2.1.3. De acuerdo a su capacidad para resistir sin cambios el medio en que se van a aplicar:**

- a. Pinturas de interiores.
- b. Pinturas de exteriores.
- c. Pinturas marinas.
- d. Pinturas resistentes a ambientes especiales (ácidos, álcalis, altas temperaturas etc.).
- e. Pinturas automotrices.

**1.2.1.4. De acuerdo al acabado final:**

- a. Pinturas mate (sin brillo).
- b. Pinturas con algo de brillo (la denominación depende del fabricante).
- c. Pinturas brillantes.

**1.2.1.5. De acuerdo al tiempo de secado:**

- a. De secado rápido (menos de 30 minutos al tacto).
- b. De secado medio (menos de 4 horas al tacto).
- c. Las de secado lento (más de cuatro horas al tacto).

**1.2.1.6. De acuerdo al modo de secado:**

- a. Pinturas que secan por la evaporación del disolvente.
- b. Pinturas que secan por reacción química con el aire.
- c. Pinturas que secan por polimerización.
- d. Pinturas que usan una combinación de las anteriores.”(7)

**1.2.2. COMPONENTES DE UNA PINTURA**

En general exceptuando aquellas pinturas que son un sólido disuelto y que endurecen por el secado del disolvente, como las pinturas asfálticas, una pintura está compuesta básicamente por tres elementos que son:

- La base es el componente principal de la pintura y es la sustancia que tiene la capacidad de endurecer y adherirse a la superficie sin agrietarse ni desprenderse y tienen diversas naturalezas que van desde el antiguo aceite de linaza hervido, la caseína (proteína contenida en la leche) hasta los modernos polímeros artificiales (polivinilos, poliacrilatos, poliuretanos etc.) lo mejor es que esta base sea transparente o semitransparente a fin de que su color natural no influya en el color final de la pintura, también es importante que sea estable al tiempo (no cambie sus

características en poco tiempo lo mismo antes que después de endurecida ) y por último que sea un producto manipulable sin grandes riesgos a la salud.

- El relleno se agrega a la base para darle "cuerpo" es decir aumentarle la viscosidad ( para evitar que se chorree en superficies verticales) y para hacerla "untosa" (se pueda distribuir fácilmente por una superficie formando una capa continua), este relleno consiste en materiales micro pulverizados ( generalmente inorgánicos) que se agregan en menor o mayor cantidad a la base en estrecha proporción a la intensidad de brillo que se quiera obtener al final, (a menos polvo mayor brillo), obsérvese que las pinturas de brillo generalmente son más fluidas que las mate.

Como relleno se utilizó durante mucho tiempo el albayalde (compuesto químico del plomo) por su gran estabilidad y bajo precio pero después fue prohibido en la mayor parte de los países por su elevada nocividad.

- ✓ Lo mejor es que estos rellenos sean de color blanco a fin de que la pintura pueda ser coloreada.
- ✓ Los más usados hoy en día son en orden de costo:
- ✓ Hidróxido de calcio (cal apagada)
- ✓ Óxido de cinc (Utilizado también para los talcos y polvos para la piel)
- ✓ Oxido de titanio
- ✓ Rocas naturales pulverizadas (blanco España)

El hidróxido de calcio se utiliza para las pinturas más baratas y es el peor de los rellenos porque tiene marcada tendencia a amarillear con el tiempo, lo que empeora la estabilidad del color. El Óxido de cinc, más caro que el anterior es un relleno de buena calidad pero conserva aún la tendencia a amarillear aunque notablemente menos pronunciada que la cal, por último el Óxido de Titanio es el mejor de todos los rellenos porque virtualmente no cambia de color con el tiempo pero es más caro que los anteriores. Lo común es que las pinturas del mercado tengan como relleno una mezcla de óxidos de cinc y titanio.

La relación (sumamente variable) entre calidad y concentración de la base y la cantidad y tipo de relleno es la clave para la obtención de pinturas de mejor calidad lo que a su vez influye en el precio del producto. Pero dadas las estrategias comerciales y los efectos de la propaganda no siempre las pinturas más caras son las de mejor calidad.

- El colorante se agrega a la pintura como su nombre lo indica para darle el color deseado (mezclando apropiadamente distintos productos coloreados), estos pueden ser orgánicos e inorgánicos siendo los inorgánicos comúnmente, productos con mayor estabilidad del color, mientras que los orgánicos tienen la tendencia a decolorarse especialmente a la luz del sol.

Entre los colorantes inorgánicos se encuentran las sales de algunos metales, algunos productos naturales (rocas pulverizadas muy finamente) y otros productos químicos.

Entre los orgánicos están entre muchos otros, los colorantes de anilina.

### **1.2.3. PINTURA AUTOMOTRIZ**

Como su nombre lo indica está dirigida al sector de los autos (automóviles, camionetas, busetas, camiones, etc.) La pintura automotriz es un trabajo que se realiza en todo el mundo, tanto en las fábricas automotrices como en los talleres de reparación.

Desde la creación del automóvil la pintura se usaba para decorar y embellecerlo, para darle un aspecto más atractivo. La finalidad del pintado de la carrocería de un vehículo es para evitar que se oxiden los paneles de acero de la carrocería y para mejorar el acabado de su apariencia. Los métodos de pintado usados para mejorar la apariencia incluyen colores sólidos, colores metálicos y colores mica.

#### **1.2.3.1. FUNCIÓN DE LA PINTURA AUTOMOTRIZ**

En todo vehículo encontramos tres capas distintas, la cuales cumplen funciones distintas, que son las siguientes:

- ❖ Wash Primer o Fondo: También llamado como pintura base, aparejo o imprimante. Ayuda a prevenir el óxido y da un tono mate, la cual ayuda al chapista a encontrar posibles imperfecciones en la superficie para corregirlas. El color básico que se usa es el gris, pero existen otros como el amarillo, azul y blanco.
- ❖ Pintura de color: Este da el color deseado por el fabricante o por el cliente, dándole un aspecto completamente distinto. Normalmente las pinturas de colores sólidos dan una terminación semibrillo y las pinturas perladas dan una terminación opaca.

- ❖ Barniz o Laca Acrílica: Nombrado como pintura protectora. Sirve para dar un acabado más brillante y también cumple la función de proteger la pintura ante las condiciones climáticas, como el smog, lluvia, nieve, etc.

### **1.2.3.2. TIPOS Y MEZCLAS DE PINTURAS AUTOMOTRICES**

“En el mercado actual se usan uno de estos tres tipos de pinturas que son:

- ✓ Acrílicas (AC): Pintura de secado rápido, fácil manipulación, que otorga un acabado semibrillo. Se diluye con diluyente acrílico para su uso. El tiempo de secado para manipularlo puede tardar entre 30 min a 1 h y el secado completo 1 día.
- ✓ Poliuretano (PU): Pintura que se seca en presencia de un catalizador, la cual según su composición y recomendación del fabricante la proporción del catalizador puede variar (4:1, 3:1 y 2:1). Este otorga un acabado brillante (pintura sólida) y mate (pintura perlada). Se necesita diluyente poliuretano y catalizador para su uso. El secado puede variar según la cantidad de catalizador agregado. Para manipularlo tarda entre 1 a 2 horas y el secado completo entre 1 a 2 días.
- ✓ Poliéster (Base): Pintura poliéster, conocido también como “base” es derivado del poliuretano. Su rápido secado hace que el trabajo sea más fácil, la cual otorga un acabado opaco, tanto en las pinturas solidas como perlados. Esto implica un uso de barniz para dar brillo. Solo requiere diluyente poliuretano para su uso. El tiempo de secado para su manipulación es de 10 a 30 min y el secado final 12 h.”(8)

### **1.3. DESTILACIÓN**

#### **1.3.1. CONCEPTO**

“Es una operación unitaria que permite la separación de dos componentes (binaria) o más (multicomponentes), por medio de un equilibrio de fases líquido-vapor.”(9)

En este caso la destilación es un proceso que consiste en calentar un líquido hasta que sus componentes pasan a la fase de vapor y, a continuación, enfriar el vapor para recuperar dichos componentes en forma líquida por medio del cambio de fase a la condensación.

El objetivo principal de la destilación es separar una mezcla de varios componentes aprovechando sus distintas volatilidades, o bien separar los materiales volátiles de los no volátiles. En la evaporación y en el secado, normalmente el objetivo es obtener el componente menos volátil; el componente más volátil, casi siempre agua, se desecha. Sin embargo, la finalidad principal de la destilación es obtener el componente más volátil en forma pura. Por ejemplo, la eliminación del agua de la glicerina evaporando el agua, se llama evaporación, pero la eliminación del agua del alcohol evaporando el alcohol se llama destilación, aunque se usan mecanismos similares en ambos casos.

#### **1.3.2. MÉTODOS DE DESTILACIÓN**

“Existen dos métodos de destilación por carga. El primero se basa en la producción de vapor mediante la ebullición de la mezcla líquida que se desea separar y la consecuente condensación de éstos sin permitir que el líquido retorne al calderín, es decir, no hay reflujo externo. El otro método se basa en el retorno de una parte del condensado al tope de la



columna en unas condiciones tales que el líquido que retorna (reflujo externo) se pone en íntimo contacto con los vapores que ascienden hacia el condensador.”(10)

Ambos métodos pueden realizarse en forma continua o por lotes.

- a. Los procesos de destilación continua son:
  - Destilación instantánea
  - Destilación con rectificación
- b. Los procesos de destilación discontinua son:
  - Destilación simple
  - Destilación fraccionaria

### **1.3.3. TIPOS DE DESTILACIÓN**

#### **1.3.3.1. DESTILACIÓN SIMPLE**

En la destilación simple los vapores producidos son inmediatamente canalizados hacia un condensador, el cual los refresca y condensa de modo que el destilado no resulta puro. Su composición será idéntica a la composición de los vapores a la presión y temperatura dados.

La destilación sencilla se usa para separar aquellos líquidos cuyos puntos de ebullición difieren extraordinariamente (en más de 30 C aproximadamente) o para separar líquidos de sólidos no volátiles. Para éstos casos, las presiones de los componentes del vapor normalmente son suficientemente diferentes de modo que la ley de Raoult puede

descartarse debido a la insignificante contribución del componente menos volátil. En este caso, el destilado puede ser suficientemente puro para el propósito buscado.

### **1.3.3.2. DESTILACIÓN FRACCIONADA**

La destilación fraccionada es una variante de la destilación simple que se emplea principalmente cuando es necesario separar líquidos con punto de ebullición cercanos.

La principal diferencia que tiene con la destilación simple es el uso de una columna de fraccionamiento. Ésta permite un mayor contacto entre los vapores que ascienden con el líquido condensado que desciende, por la utilización de diferentes "platos". Esto facilita el intercambio de calor entre los vapores (que ceden) y los líquidos (que reciben). Ese intercambio produce un intercambio de masa, donde los líquidos con menor punto de ebullición se convierten en vapor, y los vapores con mayor punto de ebullición pasan al estado líquido.

### **1.3.3.3. DESTILACIÓN AL VACÍO**

La destilación a vacío 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 refinado de petróleo, es indeseable.

Muchas sustancias no pueden purificarse por destilación a la presión ordinaria, porque se descomponen a temperaturas cercanas a su punto de ebullición normal, en otros casos la

destilación requiere de inmensas inversiones o utilización de energía en gran cantidad, o finalmente poseen problemas de equilibrio líquido-vapor, en consecuencia se emplea el método de destilación al vacío o a presión reducida

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.

#### **1.3.3.4. DESTILACIÓN AZEOTROPICA**

Es un tipo de destilación en que se añade un tercer componente a la mezcla binaria de separación difícil, este componente modifica la volatilidad relativa de los componentes. De este modo en este tipo de destilación se separa por la cabeza de la columna un componente, y como residuo la mezcla del otro componente y el disolvente añadido.

En la destilación azeotrópica el tercer componente forma un azeótropo (Un azeótropo o mezcla azeotrópica es una mezcla líquida de dos o más componentes que posee un único punto de ebullición constante y fijo, y que al pasar al estado vapor se comporta como un compuesto puro, o sea como si fuese un solo componente.) con uno de los componentes de la mezcla a separar. Se separan así los dos componentes de la mezcla binaria. El azeótropo puede después romperse con diversos procedimientos.

### **1.3.3.5. 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.

Es necesario establecer que existe una gran diferencia entre una destilación por arrastre y una simple, ya que en la primera no se presenta un equilibrio de fases líquido-vapor entre los dos componentes a destilar como se da en la destilación simple, por lo tanto no es posible realizar diagramas de equilibrio ya que en el vapor nunca estará presente el componente "no volátil" mientras esté destilando el volátil. Además de que en la destilación por arrastre de vapor el destilado obtenido será puro en relación al componente no volátil

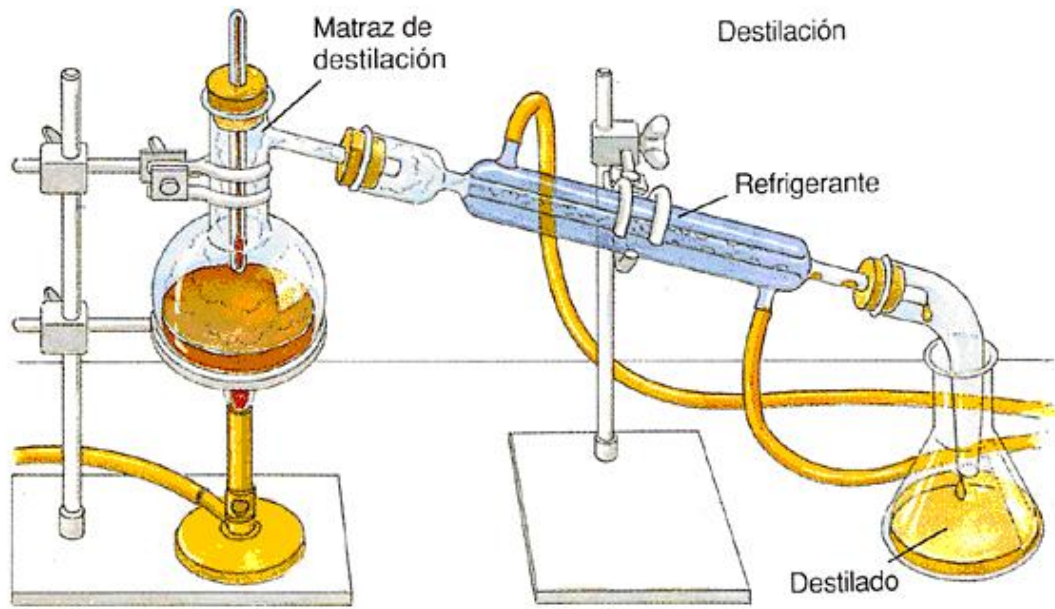
(aunque requiera de un decantación para ser separado del agua), algo que no sucede en la destilación simple donde el destilado sigue presentando ambos componentes aunque más enriquecido en alguno de ellos. Además si este tipo de mezclas con aceites de alto peso molecular fueran destiladas sin la adición del vapor se requeriría de gran cantidad de energía para calentarla y emplearía mayor tiempo, pudiéndose descomponer si se trata de un aceite esencial.

#### **1.3.3.6. DESTILADOR BINARIO O SIMPLE**

“La palabra destilación viene del vocablo latín *destillare* que significa vaporizar los líquidos por medio de calor. El destilador binario o simple que se usa en laboratorio purifica el líquido corriente, mediante procesos controlados de vaporización y enfriamiento. Al aplicar energía térmica a la sustancia tratada, luego de un proceso de calentamiento, se convierte en vapor.

Esto permite separar las moléculas de líquido, de las moléculas de otras sustancias o elementos que se encuentran mezclados o diluidos. El vapor se recolecta y se lleva a través de un condensador, donde el vapor se enfría y vuelve a la fase líquida. Entonces, el condensado se recoge en un tanque de almacenamiento diferente.

El líquido destilado presenta mejores características de pureza comparada con el líquido corriente; prácticamente se encuentra libre de sustancias que la contaminen.”(11)



**Fig. No. 1.3.3.6. – 1. Esquema básico de destilación binaria**

Fuente: destilación simple, <http://ainstrumental.wik.com/EQUIPOS+DE+DESTILACION+SIMPLE>

## **1.4. PURIFICADOR DE THINNER POR DESTILACIÓN SIMPLE**

### **1.4.1. DEFINICIÓN**

Es un proceso que permite separar los distintos componentes de una mezcla en función de su temperatura de ebullición, basándose en las distintas volatilidades relativas de los propios componentes. Dada la simplicidad de este proceso y coste relativamente bajo, se procede a utilizar este tipo de destilación para la separación del thinner de los residuos de pintura automotriz.

El purificador constará de una alimentación, tanque destilador o calderín, condensador y descarga, con esto, el vapor que abandona el calderín pasa directamente al condensador y el líquido condensado se recoge directamente en un recipiente. Es decir, no hay reflujo. El

primer vapor que abandona el calderin es mucho más rico en el componente liviano que la carga original ya que el caderin actúa como una etapa de separación teórica.

A medida que el proceso avanza la composición del vapor que abandona el tanque se hace cada vez menor en el componente ligero, es decir, el producto destilado se diluye con el componente pesado.

#### **1.4.2. OBJETIVO DEL DESTILADOR DE THINNER**

El destilador simple de thinner permite obtener el solvente de gran pureza, a partir de los residuos de pintura automotriz que es desechada en los talleres automotrices, industrias carroceras, etc., con un ahorro económico ya que el producto obtenido posee las mismas características que el original lo que lo hace apto para su reutilización. El thinner destilado se caracteriza por presentar las mismas bondades que ofrece el obtenido industrialmente y puede ser usado en la misma industria automotriz o para otros fines; en las pruebas realizadas en laboratorio con un equipo de destilación simple se obtuvo resultados prometedores y con una eficiencia del 98%, cuyos resultados fueron analizados en laboratorios especializados en análisis de sustancias químicas los mismos que arrojaron los valores que están dentro de los parámetros que pide la Norma NTE 2 163:99 de Solventes (Thinner) Requisitos.

#### **1.4.3. PRINCIPIO DE OPERACIÓN DEL DESTILADOR SIMPLE DE THINNER**

El funcionamiento de un destilador está basado en un fenómeno que se presenta libremente en la naturaleza, conocido como el ciclo del agua. La energía proveniente del sol calienta el agua de los mares y transforma parte de la misma en vapor de agua. Dicho vapor se

concentra en nubes, cuando las condiciones atmosféricas son adecuadas, se enfría y condensa, volviendo a la superficie en forma de lluvia.

El destilador simple de thinner copia el fenómeno natural a más de la utilización de un condensador y de los residuos de cola. Su disposición y diseño varían dependiendo de los volúmenes de líquido requeridos.

A continuación se presenta una explicación generalizada de las partes que conforman un destilador simple, cada componente será explicado cómo funciona.

**A. Válvulas de Control.**

Es un dispositivo que puede ser mecánico o electromecánico que permite regular el flujo de líquido hacia el tanque del generador de vapor.

**B. Filtro de Anillas.**

En el filtro de anillas, el elemento filtrante está constituido por un cartucho de anillas ranuradas, que se aprietan unas con otras, dejando pasar el líquido y reteniendo aquellas partículas cuyo tamaño sea mayor al de paso de las ranuras. El fin de este es retener sólidos antes que la alimentación llegue al tanque.

**C. Tubería PVC 3/4”.**

Es un conducto que cumple la función de transportar agua u otros fluidos hacia el tanque de almacenamiento.

**D. Tanque de Ebullición.**

Se lo conoce también como generador de vapor. Es en este componente donde se almacena el thinner que se va destilar. Por lo general, dispone de una acometida hidráulica que permite reponer el líquido que se evapora y destila; los tanques de precalentamiento y de



ebullición se fabrican generalmente en vidrio en pequeños destiladores o en laboratorio o en acero inoxidable, cobre recubierto con estaño o titanio en máquinas de gran capacidad.

Puede disponer de controles de nivel, flujo y calidad de alimentación, que protege al destilador en caso de que se presente alguna irregularidad en el suministro de agua. Como fuente de energía se puede utilizar el vapor de agua proveniente de una caldera o generador de vapor, o la energía térmica generada mediante resistencias eléctricas de inmersión, que transmiten, mediante conducción directa, energía térmica al líquido. Esto hace que la temperatura del líquido aumente, hasta que, a condiciones normales (presión atmosférica=1atm. y gravedad=9.8m/s<sup>2</sup>), el líquido se transforme en vapor.

**E. Nivel de Solvente.**

Permite regular la cantidad de líquido dentro del tanque de ebullición, puede ser conectado directamente a la acometida que suministra el líquido. Al momento que el líquido disminuye en el tanque, el dispositivo permite recuperar la cantidad de thinner que se ha evaporado.

**F. Thinner en Fase Líquida.**

Es el líquido que se encuentra dentro del tanque de ebullición. Recibe la energía térmica que transfieren las resistencias térmicas en inmersión y se convierte en fase vapor, cuando se cumple las condiciones de presión y temperatura requeridas.

**G. Resistencias de Inmersión.**

Las resistencias calentadoras o de inmersión convierten energía eléctrica en calor. En la actualidad las resistencias calentadores se utilizan para infinidad de aplicaciones. La gran mayoría de ellas son fabricadas con un alambre de una aleación de níquel (80%) y cromo (20%). Esta aleación soporta temperaturas muy altas (1000 C), es resistivo (condición necesaria para generar calor), es muy resistente a los impactos y es inoxidable.

#### **H. Condensador.**

Es un intercambiador de calor entre fluidos, de modo que mientras uno de ellos se enfría, pasando de estado gaseoso a estado líquido, el otro se calienta. En este caso el líquido pierde energía térmica, se enfría y vuelve a la fase líquida. Para acelerar el proceso se utilizan métodos de convección forzada, mediante la circulación de fluidos que pueden ser aire o agua a baja temperatura alrededor del conducto, a través del cual fluye el vapor.

#### **I. Depósito de Líquido Destilado.**

Es un recipiente en el cual se recolecta el fluido que ha sido sometido a la destilación.

El thinner destilado debe almacenarse en recipientes especiales según especificaciones de otras fabricantes, por lo general, a gran escala se almacena en tanques de acero inoxidable y a pequeñas cantidades en recipientes plásticos, en cualquiera de los dos casos se debe tener bien sellados los recipientes para evitar la evaporación del producto.

#### **J. Disposición adecuada de los productos de cola.**

Como resultado del proceso de destilación del thinner a más de la obtención del solvente purificado se obtienen residuos conocidos como productos de cola, mismos que serán drenados con suma precaución durante el proceso de destilación, ya que si son retirados al final del proceso su estado casi sólido impediría su correcta manipulación. Con los productos de cola es posible conseguir con un tratamiento previo una especie de pintura fondo para metales, es decir, no se desperdicia nada.

#### **1.4.4. SERVICIOS REQUERIDOS**

Al analizar todos los requerimientos necesarios para la instalación y puesta en marcha del destilador, se toma en cuenta el diseño, la capacidad y el tipo de destilador, a razón de estos parámetros los servicios requeridos pueden variar; entre los más comunes e idóneos para éste caso se tiene los siguientes:

- **Lugar apto para la instalación:** el equipo debe ser ubicado en un lugar amplio, con suficiente ventilación e aislado del contacto directo con la luz solar, todo esto debido a que el destilador transfiere calor y esto aumenta la temperatura del sitio, también habrá emanación de olores característicos del thinner lo que se opacará con la ventilación, es necesario dejar espacios libres alrededor del destilador de forma que se facilite el flujo de aire. Colocar un soporte metálico sobre el cual se asiente el equipo facilitará la circulación de aire en la parte inferior y la obtención de los productos de cola.
- **Servicio eléctrico:** la energía eléctrica debe estar dotada de dispositivos de control y seguridad que garanticen su correcta utilización, además, estar dimensionadas a la potencia de los elementos resistivos que utiliza el destilador. Por lo general es de 220 V.
- **Recipientes para albergar los contenidos:** se necesita de tres tipos de recipientes bien definidos, el primero que tendrá en su interior el thinner proveniente de los residuos, ósea, el que será destilado; el segundo contendrá el producto destilado, ósea, el thinner limpio y el tercero sirve para recolectar el producto de cola; todos éstos estarán debidamente ubicados y etiquetados para su disposición correcta.
- **Sitio para albergar los materiales:** el destilador puede necesitar de ajustes o cambio de piezas o ya sea mantenimiento para su correcto funcionamiento, por lo

tanto, es vital contar con un escaparate que contenga herramientas y materiales que cumplan con las funciones deseadas.

- **Botiquín de primeros auxilios:** un buen botiquín de primeros auxilios, guardado en un lugar de fácil acceso, es una necesidad en todos los lugares de trabajo. Tenerlo todo preparado con antelación ayudará a afrontar cualquier urgencia médica sin perder tiempo. Debe incluir mascarillas y guantes quirúrgicos para el manejo y manipulación del producto a tratar. Hay revisar regularmente el botiquín y reponer los artículos o medicamentos gastados o caducados.

## 1.5. DESTILACIÓN POR LOTES O BATH

La destilación batch es frecuentemente usada para pequeños volúmenes y productos. El consumo de energía en destilación batch es usualmente más alta que en continuas, pero raramente los costos de energía dominan la economía cuando se opera con volúmenes pequeños, y alto valor de los productos.

El diseño óptimo y operación de columnas de destilación batch son problemas muy interesantes. El proceso se puede llevar a cabo variando la presión y a diferentes relaciones de reflujo durante la obtención de cada uno de los productos y los lotes impuros. El diseño óptimo de las columnas y operación óptima pueden ser importantes en la reducción de tiempos de batch, con resultados en alta capacidad y/o mejorar la calidad de los productos (menores tiempos expuestos a altas temperaturas disminuye la degradación térmica).

Se usa destilación batch cuando:

- El producto principal contiene relativamente pequeñas cantidades de impurezas.
- Los materiales a ser separados son producidos a pequeña escala.
- La separación necesita ser realizada de manera no frecuente.

La selección de una destilería batch usualmente involucra la evaluación del desempeño de un sistema de destilación existente para determinar si su desempeño es aceptable. Sin embargo, puede ser necesario diseñar un nuevo sistema para llevar a cabo la separación especificada.

Con un sistema existente, los siguientes aspectos son de interés:

I. Que composiciones de productos podrían ser obtenidas

- a) sin reflujo, o
- b) con reflujo, usando

- una razón constante de reflujo, o
- una razón variable de reflujo

II. cuanto tiempo habría exigido obtener alguna composición específica del producto a alguna razón de ebullición constante, o que proporción de ebullición se exigiría para obtener alguna composición específica del producto dentro de algún tiempo especificado bajo las condiciones de,

- a) razón de reflujo constante,
- b) razón de reflujo variable

El diseño de un sistema nuevo para una separación específica involucra determinar una razón mínima de reflujo y seleccionar un protocolo de control (relación de reflujo fija o variable) y una cantidad de tiempo permitido para destilar un lote de algún tamaño dado

Para poder entrar al diseño en si se debe indicar las ecuaciones que rigen este sistema:

Balance total de materiales

$$F = D + B \quad \text{Ec. 1.5-1}$$

donde F = alimentación, moles

D = destilado, moles

B = fondos, moles

(en el caso de destilación batch, los fondos son generalmente denominados residuo).

Un balance de materiales del componente ligero (bajo punto de ebullición) en una mezcla binaria, o del componente clave ligero en una mezcla más compleja es:

$$F x_F = D x_D + B x_B \quad \text{Ec. 1.5-2}$$

Donde  $x =$  es la fracción molar en la fase líquida

Un balance de materiales alrededor de un condensador total da

$$V = L + D \quad \text{Ec. 1.5-3}$$

Donde V = vapor desde la columna

L = líquido retornando a la columna (igual a cero en destilación “simple” y en este caso  $V = D$ )

Por definición

$L/D = R$  = relación de reflujo (a veces llamado relación de reflujo externo)

$$V = D(R + 1) \quad \text{Ec. 1.5-4}$$

Con esto

$$V = L + D$$

pero de la definición de relación de reflujo

$$\begin{aligned} \frac{D}{L} &= \frac{1}{R} \\ \frac{V}{L} &= 1 + \frac{1}{R} = \frac{R+1}{R} \quad \text{o,} \\ \frac{L}{V} &= \frac{R}{R+1} \end{aligned} \quad \text{Ec. 1.5-5}$$

La volatilidad relativa,  $\alpha$ , la cual describe las relaciones de equilibrio entre las composiciones del vapor y el líquido, se define como:

$$\alpha = \frac{y/x}{(1-y)/(1-x)} \quad \text{Ec. 1.5-6}$$

donde  $\alpha$  = volatilidad relativa

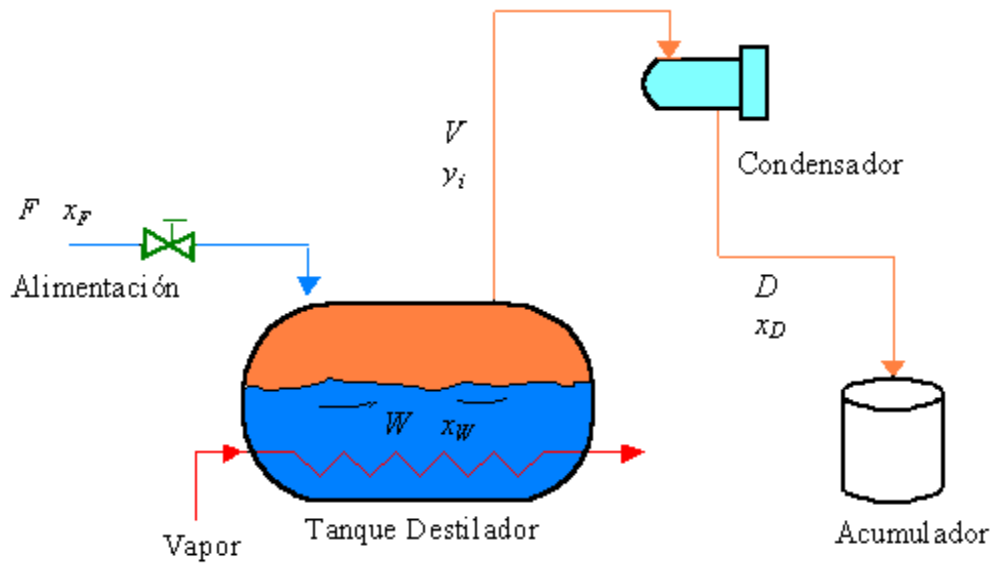
$y$  = fracción molar del componente ligero o clave en la fase vapor

Esta relación es usualmente dada en la forma

$$y = \frac{\alpha x}{1 + (\alpha - 1)x} \quad \text{Ec. 1.5-7}$$

### 1.5.1. DESTILACIÓN SIMPLE

La forma más sencilla de una destilación simple se representa en la siguiente figura:



**Fig. No. 1.5.1-1. Destilador Simple**

Fuente: [plantasquimicas.com/Destilación/d29.htm](http://plantasquimicas.com/Destilación/d29.htm)

En destilación simple, el vapor saliendo del destilador pasa a través de un condensador total, y el líquido saliendo del condensador va a un receptor de producto. No se retorna reflujo al destilador.



El primer vapor que sale del destilador es más rico en componente más ligero que el líquido presente originalmente debido a que el destilador actúa como una simple etapa teórica de destilación. A medida que el proceso continúa, el material sobrante en el tanque disminuye constantemente su concentración en el componente más ligero, así el vapor que sale del tanque progresivamente contiene más cantidad de componente “pesado”. Entonces el “producto” en el acumulador se diluye con material el cual continuamente aumenta en pesado.

Lord Rayleigh fue el primero en analizar matemáticamente este sistema. Sin reflujo retornando al tanque, la velocidad a la cual el componente más volátil sale del tanque es igual a la velocidad de cambio de composición en el tanque.

$$-y dV = d(xW) \quad \text{Ec. 1.5.1-1}$$

Donde  $dV$  = caudal de vapor, moles/h

$W$  = moles totales en el tanque

Diferenciando la Ec. 1.5.1-1,

$$-y dV = x dW + W dx \quad \text{Ec. 1.5.1-2}$$

Pero,

$$dV = -dW$$

Así,

$$y dW = x dW + W dx$$

Rearreglando

$$(y - x) dW = W dx \quad \text{Ec. 1.5.1-3}$$

$$\frac{dW}{W} = \frac{dx}{(y - x)} \quad \text{Ec. 1.5.1-4}$$

Integrando esta ecuación se tiene

$$\ln \frac{W_f}{W_0} = \int_{x_0}^{x_f} \frac{dx}{(y - x)} \quad \text{Ec. 1.5.1-5}$$

Donde  $W_f$  = moles en el tanque al final

$W_0$  = moles cargados al tanque originalmente

También

$$\ln \frac{V_f}{V_0} = \int_{y_0}^{y_f} \frac{dy}{(x - y)} \quad \text{Ec. 1.5.1-6}$$

Donde  $V_0$  = moles de destilado al inicio de la operación

$V_f$  = moles de destilado al final de la operación

Invirtiendo los límites de la Ec. 1.5.1-5 para obtener una integral positiva se tiene

Típicamente el lado derecho de la  $\ln \frac{W_0}{W_f} = \int_{x_f}^{x_0} \frac{dx}{(y - x)}$  Ec. 1.5.1-7

integración gráfica, usando la asunción que las fases de vapor y de líquido están en

equilibrio, para lo cual se traza  $1/(y - x)$  en función de  $x$  y se mide el área bajo la curva entre los límites  $x_0$  y  $x_f$ .

Si el sistema a ser separado es ideal o puede asumirse como ideal, la volatilidad relativa [Ec. 1.5.1-6] es constante, y la Ec. 1.5.1-7 puede ser usada directamente para computar las composiciones de equilibrio, reemplazando en la Ec. 1.5.1-5 e integrando se obtiene,

$$\ln \frac{W_f}{W_0} = \frac{1}{(\alpha - 1)} \ln \frac{x_f(1 - x_0)}{x_0(1 - x_f)} + \ln \frac{(1 - x_0)}{(1 - x_f)} \quad \text{Ec. 1.5.1-8}$$

Si el sistema es no ideal, son necesarios datos experimentales de equilibrio liquido vapor; si  $y = Kx$ , la Ec. 1.5.1-5 quedará,

$$\ln \frac{W_f}{W_0} = \int_{x_0}^{x_f} \frac{1}{K - 1} d \ln x \quad \text{Ec. 1.5.1-9}$$

### 1.5.1.1. ECUACIÓN GENERAL DE BALANCE DE MASA

Si un componente tanto en la corriente de alimentación como de salida de una unidad de proceso continua, y para determinar si la unidad está funcionando tal como se pensó al diseñarla, se miden los flujos másicos de ese componente en ambas corrientes, encontrando que no son las mismas.

Hay cuatro explicaciones posibles para justificar la diferencia vista entre los flujos medidos.

- a. La unidad pierde al componente por alguna parte.

- b. Se consume el componente componte como reactivo, o se está generando como producto dentro de la unidad de proceso.
- c. Se está acumulando el componente dentro de la unidad (absorción en las paredes).
- d. Los datos de medición son erróneos.

Si las mediciones son correctas y no existen fugas, las otras posibilidades generación o consumo en una reacción, y acumulación dentro de la unidad de proceso son las únicas explicaciones posibles que justifican la diferencia entre los flujos de entrada y salida.

Se puede expresar un balance de un componente en un sistema en la siguiente forma general.

$$\text{Entrada} + \text{Generación} - \text{Salida} - \text{Consumo} = \text{Acumulación}$$

Entada: a través de los límites del sistema.

Generación: producido dentro del sistema.

Salida: a través de los límites del sistema.

Consumo: dentro del sistema.

Acumulación: dentro del sistema.

Esta ecuación general puede formularse para cualquier material que entra o abandona cualquier sistema de proceso: puede aplicarse a la masa total del contenido del sistema o a cualquier especie atómica o molecular involucrada en el proceso.

## A. Balances Diferenciales

Presumamos que una especie  $A$  se encuentra involucrada en un proceso. Sean  $q_{ent}$  y  $q_{sal}$  a los ritmos a los cuales entra y abandona el proceso, al cruzar sus fronteras, y sean  $r_{gen}$  y  $r_{con}$  las velocidades de generación y consumo de  $A$  dentro del sistema debido a una reacción química. Cualquiera o todas las variables mencionadas pueden variar con el tiempo.

Formulemos ahora un balance sobre  $A$  para un periodo de tiempo que abarca desde  $t$  hasta  $t + \Delta t$ , suponiendo que  $\Delta t$  es lo suficientemente pequeño como para que las cantidades  $q_{ent}$ ,  $q_{sal}$ ,  $r_{gen}$  y  $r_{con}$  puedan considerarse como constantes. Dado que finalmente permitiremos que  $\Delta t$  se aproxime a cero. Los términos de un balance sobre  $A$  pueden calcularse fácilmente.

$$\text{Entrada} = q_{ent} \Delta t$$

$$\text{Salida} = q_{sal} \Delta t$$

$$\text{Generación} = r_{gen} \Delta t$$

$$\text{Consumo} = r_{con} \Delta t$$

También se supone que la masa de  $A$  en el sistema se modifica con el tiempo, por lo tanto la masa de  $A$  acumulada en el intervalo de tiempo que abarca desde  $t$  hasta  $t + \Delta t$  será:  $m(t + \Delta t) - m(t)$ .

Entonces, la ecuación de balance para  $A$  quedará:

$$m(t + \Delta t) - m(t) = (q_{ent} + r_{gen} - q_{sal} - r_{cons}) \Delta t$$

$$\lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{m(t + \Delta t) - m(t)}{\Delta t} = q_{ent} + r_{gen} - q_{sal} - r_{cons} = \frac{dm}{dt}$$

$$\frac{dm}{dt} = q_{ent} + r_{gen} - q_{sal} - r_{cons} \quad \text{Ec. 1.5.1.1-1}$$

## B. Balances Integrales

Reconsiderando Reconsideremos la forma del balance diferencial dada en la Ec.1.5.1.1-1.

Esta ecuación puede reformularse como:

$dm = (q_{ent} + r_{gen} - q_{sal} - r_{cons}) dt$ , e integrarse a partir de un tiempo inicial  $t_0$  a un tiempo posterior  $t_f$ , para obtener:

$$\int_{m_{inicial}}^{m_{final}} dm = \int_{t_0}^{t_f} (q_{ent} + r_{gen} - q_{sal} - r_{cons}) dt \quad \text{Ec. 1.5.1.1-2}$$

Con esta ecuación, se puede calcular la masa del componente  $A$  dentro del sistema de proceso, para cualquier tiempo.

### 1.5.1.2. ECUACIÓN GENERAL DE BALANCE DE ENERGÍA

La ecuación general de balance de energía es la siguiente:

$$\left[ \begin{array}{c} \textit{Acumulación} \\ \textit{de Energía} \end{array} \right] = \left[ \begin{array}{c} \textit{Entrada} \\ \textit{de Energía} \end{array} \right] - \left[ \begin{array}{c} \textit{Salida} \\ \textit{de Energía} \end{array} \right]$$

Supongamos que  $E_{sist}(t)$  es la energía total interna (interna + cinética + potencial) de un sistema, y que  $m_{ent}$  y  $m_{sal}$  son los flujos másicos de las corrientes de entrada y salida del sistema. Se aplica la ecuación general de balance energía al sistema durante un pequeño intervalo de tiempo, desde  $t$  hasta  $t + \Delta t$ , tiempo durante el cual las propiedades de las corrientes de entrada y salida permanecen aproximadamente constantes. Los términos de la ecuación son los siguientes:

$$\begin{aligned} \text{Acumulación} &= E_{sist}(t + \Delta t) - E_{sist}(t) = U_{sist}(t + \Delta t) - U_{sist}(t) \\ &+ E_{c,sist}(t + \Delta t) - E_{c,sist}(t) + E_{p,sist}(t + \Delta t) - E_{p,sist}(t) \end{aligned}$$

$$\text{Entrada} = m_{ent} \left( H_{ent} + \frac{v_{ent}^2}{2} + gZ_{ent} \right) \Delta t + Q \Delta t + W_s \Delta t$$

$$\text{Salida} = m_{sal} \left( H_{sal} + \frac{v_{sal}^2}{2} + gZ_{sal} \right) \Delta t$$

Donde las cantidades entre paréntesis son las entalpías específicas, energías cinéticas y potenciales de las corrientes de entrada y salida del sistema, mientras que  $Q$  y  $W_s$  son los ritmos de transferencia de calor y de trabajo de eje. Cualquiera o todas las variables pueden variar con el tiempo.

Si ahora se sustituye las expresiones dadas para la acumulación, entrada y salida en la ecuación general de balance de energía, dividiendo todo entre  $\Delta t$

$$\frac{dU_{sist}}{dt} + \frac{dE_{c,sist}}{dt} + \frac{dE_{p,sist}}{dt} = m_{ent} \left( H_{ent} + \frac{v_{ent}^2}{2} + gZ_{ent} \right) + Q + W_s - m_{sal} \left( H_{sal} + \frac{v_{sal}^2}{2} + gZ_{esal} \right)$$

Ec. 1.5.1.1-1

### **1.5.1.3. ECUACIÓN GENERAL DE ENERGÍA APLICADA AL DESTILADOR**

Para realizar el balance de energía en el destilador se debe tener una idea muy clara de cómo se llevará a cabo la operación de destilación.

Inicialmente se carga al tanque la solución que se desea evaporar, seguidamente se inicia la etapa de calentamiento hasta que el thinner presente en la solución empiece a evaporarse, en toda esta etapa de calentamiento la temperatura de la solución cambia su valor. El valor máximo que alcanzará esta temperatura será de la temperatura de ebullición del solvente presente en la solución.

Entonces, se puede decir que esta etapa es un proceso que se realiza en régimen transitorio, pues el valor de la temperatura es cambiante.

Una vez que se llega a esta temperatura de ebullición el thinner empieza a evaporarse, manteniéndose constante la temperatura (etapa de evaporación).

También es importante que se conozcan las formas de energía involucradas en todo este proceso.



**A. Energía Entregada por la Resistencia Térmica.**

Como bien se sabe la resistencia eléctrica es un dispositivo eléctrico que disipa energía en forma irreversible. Para el presente trabajo la resistencia eléctrica es la que entrega calor al sistema. Una parte de este calor es aprovechado por la solución y otra parte se disipa por las paredes del destilador.

La potencia (ritmo de energía) que disipa la resistencia se define como  $P_R$ . Por lo tanto la energía que disipa la resistencia, en un instante de tiempo  $\Delta t$ , será igual a:  $P_R \Delta t$ .

**B. Energía Acumulada en el Destilador.**

Esta energía es la que posee la solución que está dentro del evaporador, debido a su aumento de temperatura.

La energía acumulada en un tiempo  $t$ , se representa de la siguiente manera:

$$M c f(t) , f(t) = T$$

Donde:

$M$  : Masa de la solución (Kg)

$c$  : Capacidad calórica de la solución (W/ Kg K)

$T$ : Temperatura de la solución en un instante  $t$

Si tenemos en cuenta el análisis funcional la energía acumulada en un tiempo  $t + \Delta t$ , se representaría de la siguiente manera:

$$M c f(t + \Delta t) .$$

Entonces, la energía acumulada en el intervalo de tiempo que abarca desde  $t$  hasta  $t + \Delta t$ , será igual a:

$$M c f(t + \Delta t) - M c f(t)$$

Cabe aclarar que la energía se acumula en el evaporador, hasta que el agua presente en la solución llegue a su punto de ebullición.

### **C. Energía que Sale del Destilador**

En la etapa de calentamiento, la energía que sale del tanque, será igual a la energía disipada a través de las paredes del mismo. En forma análoga que en la energía acumulada, podemos decir que la energía que sale del equipo en el intervalo de tiempo  $\Delta t$  es:

$$\frac{(T - T_a)}{\sum R} \Delta t$$

Donde:

$T_a$  : Temperatura del medio ambiente

En la etapa de evaporación la energía que sale del destilador, será igual al calor latente de vaporización del solvente, el cual se define de la siguiente manera en un tiempo  $t$  :

$$\lambda_v m(t)$$

Donde:

$\lambda_v$  : Calor latente del solvente

$m(t)$  : Masa de solvente evaporada en un tiempo  $t$

Para el intervalo de tiempo de  $t$  hasta  $t + \Delta t$ , este calor será:  $\lambda_v [ m (t + \Delta t) - m (t) ]$

Ahora sí, se puede aplicar con facilidad la ecuación general de energía al evaporador, para las etapas de calentamiento y evaporación.

$$\left[ \begin{array}{c} \text{Acumulación} \\ \text{de Energía} \end{array} \right] = \left[ \begin{array}{c} \text{Entrada} \\ \text{de Energía} \end{array} \right] - \left[ \begin{array}{c} \text{Salida} \\ \text{de Energía} \end{array} \right]$$

$$Mc [f(t + \Delta t) - f(t)] = P_R \Delta t - \frac{[(f(t) - T_a)]}{\sum R} \Delta t$$

Dividiendo toda esta expresión entre  $\Delta t$  y aplicado el límite para  $\Delta t \rightarrow 0$

$$Mc \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{[f(t + \Delta t) - f(t)]}{\Delta t} = P_R - \frac{[(f(t) - T_a)]}{\sum R}$$

Teniendo en cuenta la definición de derivada:

$$Mc \frac{df(t)}{dt} = P_R - \frac{f(t) - T_a}{\sum R} \Rightarrow dt = \frac{cM dT}{P_R - \frac{f(t) - T_a}{\sum R}}$$

$$\int_0^{t_c} dt = \int_{T_i}^T \frac{cM dT}{P_R - \frac{f(t) - T_a}{\sum R}} = -cM \sum R \int_{T_i}^T \frac{d \left[ P_R - \frac{T - T_a}{\sum R} \right]}{\left[ P_R - \frac{T - T_a}{\sum R} \right]}$$

$$= -cM \sum R \operatorname{Ln} \left[ \frac{P_R - \frac{T - T_a}{\sum R}}{P_R - \frac{T_i - T_a}{\sum R}} \right]$$

$$T = T_a + \sum R \left[ P_R - e^{-\frac{t_c}{cM \sum R} \left( P_R - \frac{T_i - T_a}{\sum R} \right)} \right]$$

Ec. 1.5.1.3-1

$t_c$  : Tiempo de calentamiento, desde la temperatura  $T_i$  hasta la temperatura  $T$

Tener en cuenta que:  $t \rightarrow 0 \Rightarrow T \rightarrow T_i$  ,  $t_c \rightarrow t_1 \Rightarrow T \rightarrow T_e$

$T_e$  : Temperatura de ebullición del agua

Realizando el balance para la etapa de evaporación

$$\left[ \begin{array}{c} \textit{Acumulaci3n} \\ \textit{de Energ3a} \end{array} \right] = \left[ \begin{array}{c} \textit{Entrada} \\ \textit{de Energ3a} \end{array} \right] - \left[ \begin{array}{c} \textit{Salida} \\ \textit{de Energ3a} \end{array} \right]$$

$$\begin{bmatrix} \text{Acumulación} \\ \text{de} \\ \text{energía} \end{bmatrix} = 0$$

$$\begin{bmatrix} \text{Entrada} \\ \text{de} \\ \text{energía} \end{bmatrix} = P_R \Delta t$$

$$\begin{bmatrix} \text{Salida} \\ \text{de} \\ \text{energía} \end{bmatrix} = \lambda_v [m(t + \Delta t) - m(t)] + \frac{(T_e - T_a)}{\sum R} \Delta t$$

$$0 = P_R \Delta t - \lambda_v [m(t + \Delta t) - m(t)] - \frac{(T_e - T_a)}{\sum R} \Delta t$$

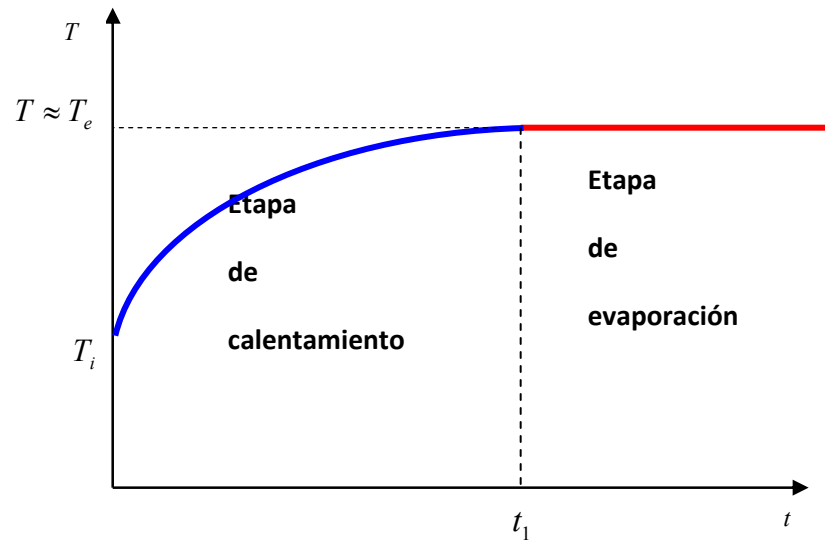
Aplicando el límite para cuándo  $\Delta t \rightarrow 0$  y utilizando la definición de derivada

$$\Rightarrow P_R - \frac{(T_e - T_a)}{\sum R} = \lambda_v \frac{dm}{dt} \Rightarrow \int_0^m dm = \frac{P_R - \frac{(T_e - T_a)}{\sum R}}{\lambda_v} \int_{t_1}^t dt$$

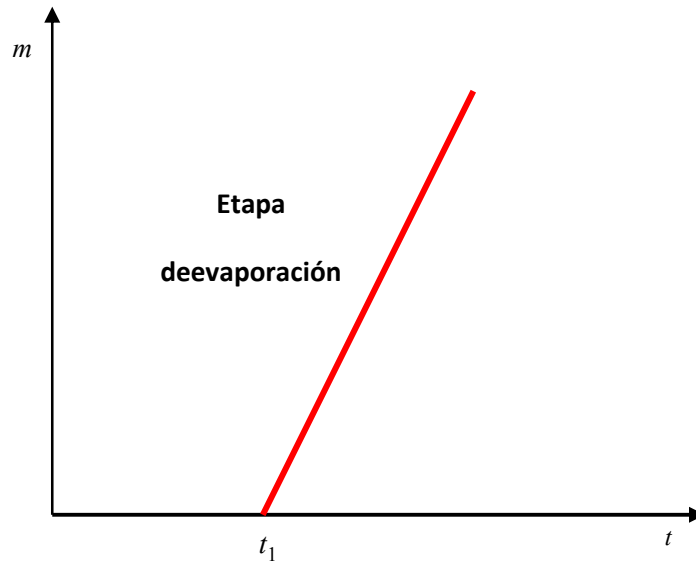
$$\Rightarrow m = \frac{\left( P_R - \frac{(T_e - T_a)}{\sum R} \right) (t - t_1)}{\lambda_v}$$

Ec. 1.5.1.3-2

A continuación se muestran las gráficas de: (temperatura, en las etapas de calentamiento y evaporación) y (masa de agua evaporada en la etapa de evaporación); ambas variables como funciones del tiempo.



**Fig. No. 1.5.1.3-1. Representación gráfica de la temperatura en las etapas de calentamiento y evaporación**



**Fig. No. 1.5.1.3-2. Representación gráfica de la masa de agua evaporada en la etapa de evaporación.**

#### **1.5.1.4. VARIABLES IMPORTANTES DE LA OPERACIÓN**

##### **i. Temperatura Inicial de la Solución.**

Esta variable se denota mediante  $T_i$ , y se encuentra en la Ec. 1.5.1.3-1, la medida de esta variable se debe hacer al empezar la etapa de calentamiento.

##### **ii. Temperatura Final de la Solución.**

Esta variable se denota mediante  $T_f$ , y se encuentra en la Ec. 1.5.1.3-1. Esta variable representará a la temperatura a la que el agua presente en la solución empiece a hervir. Por lo tanto a esta temperatura también se le puede denotar como  $T_e$ .

**iii. Tiempo de Calentamiento.**

El tiempo de calentamiento denotado como  $t_1$ , es el tiempo que demorará el thinner en alcanzar su temperatura de ebullición. A la medida de esta variable se le puede estimar haciendo uso de la ecuación Ec. 1.5.1.3-1.

**iv. Tiempo de Evaporación.**

Este será el tiempo que demore, una determinada cantidad de solvente presente en la solución, en evaporarse. Simplemente se denotará como  $t-t_1$ .

**v. Masa de Solvente Evaporado.**

La masa de thinner evaporado se puede evaluar, mediante la Ec. 1.5.1.3-2. Pero para eso es necesario conocer el tiempo de calentamiento y el tiempo de evaporación

**1.6. DISEÑO**

**1.6.1. BALANCE DE MASA**

Con el balance de masa se calcula todos los flujos y las concentraciones de entrada y salida del purificador.

$$E = S + A \qquad \text{Ec. 1.6.1-1}$$

Donde: E: entrada

S: salida

A: acumulación



### 1.6.2. BALANCE DE ENERGÍA

Esta operación sirve para determinar la cantidad de calor que pasa de las resistencias hacia el fluido, para conocer la cantidad de calor que es aprovechado en cada una de las cámaras del purificador.

$$Q - W = \Delta E \quad \text{Ec. 1.6.2-1}$$

Donde: Q: transferencia neta de energía por calor

W: trabajo

$\Delta E$ : cambio de energía en el equipo (interna, cinética, potencial)

### 1.6.3. CALOR APROVECHADO

Determina la cantidad de calor que está siendo aprovechada en el equipo.

$$Q = M_c H_c + M_v H_v + M_A H_A \quad \text{Ec. 1.6.3-1}$$

Donde: Q: calor aprovechado

$M_c$ : masa del concentrado

$H_c$ : entalpia del concentrado

$M_v$ : masa del evaporado

$H_v$ : entalpia del evaporado

$M_A$ : masa de la alimentación

$H_A$ : entalpia de la alimentación

#### 1.6.4. CALOR SUMINISTRADO

Permite conocer la cantidad de calor que se está suministrando en el equipo, en este caso el valor es el del calor suministrado por las resistencias.

$$Q_R = P_R * J/s \quad \text{Ec. 1.6.4-1}$$

Donde:  $Q_r$ : calor suministrado

$P_r$ : potencia que disipa la energía

J/s: voltios

#### 1.6.5. EFICIENCIA

Se define como la relación entre la cantidad de calor aprovechado y la cantidad de calor suministrado.

$$\square = Q/Q_R \quad \text{Ec. 1.6.5-1}$$

Donde:  $\square$ : eficiencia

$Q$ : calor aprovechado

$Q_R$ : calor suministrado

#### 1.6.6. COEFICIENTE DE TRANSFERENCIA DE CALOR

En el cálculo de la velocidad de transferencia de calor en un evaporador, se emplea el concepto de un coeficiente total de transferencia de calor.

$$Q = UA\Delta T \quad \text{Ec. 1.6.6-1}$$

Donde: U: coeficiente total de transferencia de calor.

A: área de transferencia de calor.

$\Delta T$ : gradiente de temperatura.

### **1.6.7. GRADIENTE DE TEMPERATURA**

Es la diferencia entre la temperatura del vapor ( $T_V$ ) que se condensa y la temperatura de ebullición ( $T_E$ ) del líquido.

$$\Delta T = T_V - T_E \quad \text{Ec. 1.6.7-1}$$

### **1.6.8. RECOMENDACIONES PARA LA CONSTRUCCIÓN**

#### **1.6.8.1. MATERIALES**

En la selección de materiales para construir el equipo purificador, hay que tomar en cuenta la resistencia a la corrosión, durabilidad, limpieza, costo, manipulación entre otros.

#### **1.6.8.2. ACERO INOXIDABLE**

El acero inoxidable es un acero de elevada pureza y resistente a la corrosión, dado que el cromo, u otros metales que contiene, posee gran afinidad por el oxígeno y reacciona con él formando una capa pasivadora, evitando así la corrosión del hierro (los metales puramente inoxidables, que no reaccionan con oxígenos son oro y platino, y de menor pureza se llaman resistentes a la corrosión, como los que contienen fósforo). Sin embargo, esta capa puede ser afectada por algunos ácidos, dando lugar a que el hierro sea atacado y oxidado por mecanismos inter-granulares o picaduras generalizadas. Algunos tipos de acero

inoxidable contienen además otros elementos aleantes; los principales son el níquel y el molibdeno.

Los aceros inoxidable se utilizan principalmente en cuatro tipos de mercados:

- Electrodomésticos: grandes electrodomésticos y pequeños aparatos para el hogar.
- Automoción: especialmente tubos de escape.
- Construcción: edificios y mobiliario urbano (fachadas y material).
- Industria: alimentación, productos químicos y petróleo.

Su resistencia a la corrosión, sus propiedades higiénicas y sus propiedades estéticas hacen del acero inoxidable un material muy atractivo para satisfacer diversos tipos de demandas, como lo es la industria médica.

### **1.6.8.3. TUBERÍA Y ACCESORIOS**

Para realizar esta construcción sería oportuno trabajar con tubería de 3/4" pulgada en PVC al igual que los accesorios.

### **1.6.8.4. VÁLVULA DE CONTROL (VÁLVULA CHECK)**

Las válvulas Check o Válvulas de retención son utilizadas para no dejar regresar un fluido dentro de una línea. Esto implica que cuando las bombas son cerradas para algún mantenimiento o simplemente la gravedad hace su labor de regresar los fluidos hacia abajo, esta válvula se cierra instantáneamente dejando pasar solo el flujo que corre hacia la

dirección correcta. Por eso también se les llama válvulas de no retorno. Obviamente que es una válvula unidireccional y que debe de ser colocada correctamente para que realice su función usando el sentido de la circulación del flujo que es correcta.

Existen válvulas Check tipo columpio en el cual el fluido y su presión abren el disco hacia arriba y este regresa cuando deja pasar. También las de resorte el cual hace que la válvula cierre inmediatamente cuando se detiene el flujo antes que el flujo y la gravedad hagan que cierre con fuerza. Están las que tienen doble puerta o duo check que también funcionan con un sistema de resortes para su cierre.

#### **1.6.8.5. FILTRO DE ANILLAS**

El método de filtrado por anillas incorpora en su interior anillas (como su propio nombre indica) para realizar la función de filtrado. Estas anillas son colocadas en un cilindro o cartucho e insertadas en el interior del filtro, colocadas todas en la misma orientación y compactadas, de manera que crea un entrelazado con una luz de paso determinada por el cruce donde el agua con las partículas en suspensión pasa a través de ellas quedando así retenidas dichas partículas, obteniendo así la filtración deseada.

Materiales de construcción:

- Anillas: discos ranurados de polipropileno
- Carcasa y cuerpo: Poliamida de alta resistencia
- Sistema de cierre: Acero inoxidable AISI-316
- Presión máxima de trabajo: 10 bar

- Presión mínima de limpieza (filtro automático): 3 bar

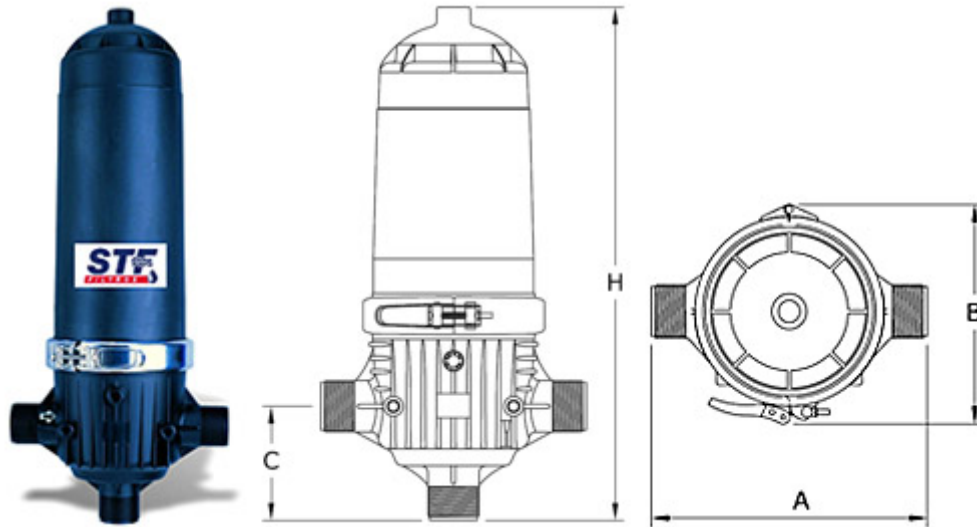


Fig. No. 1.6.8.5-1. Filtro de anillas

Tabla No. 1.6.8.5-1

**Dimensiones filtro de anillas**

| Modelo          | Sistema        | Superficie<br>filtrante<br>(cm <sup>2</sup> ) | Dimensiones (mm) |     |     |     | Peso<br>(kg) |
|-----------------|----------------|---|------------------|-----|-----|-----|--------------|
|                 |                |   | A                | B   | C   | H   |              |
| FAN-<br>AUTO-2" | automático     | 1.492   | 309              | 245 | 133 | 721 | 10           |
| <b>Modelo</b>   | <b>Sistema</b> | <b>Caudal. Max. (m<sup>3</sup>/h)</b>         |                  |     |     |     |              |
| FAN-AUTO-2"     | automático     | 20  |                  |     |     |     |              |

Fuente: Filtro de anillas, [http://www.stf-filtros.com/index.php?pag=riego\\_plasticoanillasauto](http://www.stf-filtros.com/index.php?pag=riego_plasticoanillasauto)

#### **1.6.8.6. CONDENSADOR**

La función principal del condensador en una central térmica es ser el foco frío o sumidero de calor dentro del ciclo termodinámico del grupo térmico. Por tanto, su misión principal es condensar el vapor que proviene de la destilación en condiciones próximas a la saturación y evacuar el calor de condensación (calor latente) al exterior mediante un fluido de intercambio (aire o agua).

El condensador aluminio cobre tipo serpentín, presenta la mejor opción para este destilador, ya que, unidad condensadora exterior en lámina galvanizada y pre-pintada resistente a la corrosión, económicamente viable y de fácil instalación y mantenimiento.

Para este caso es apropiado utilizar serpentín de cobre, por el cual fluirá el thinner destilado para su posterior recuperación. Según bibliografía consultada y relacionando a este equipo se procederá a poner un espiral de 4 metros por cada 100 litros.

#### **1.6.8.7. RESISTENCIAS ELÉCTRICAS**

MODELO RESISTENCIA TUBULAR INMERSION CABEZAL TIPO COPA CON ROSCA INTERIOR 1/2.

Características:

Especialmente diseñado para el calentamiento en tanques de fuel o líquidos con gran densidad, de forma que se puedan diluir o evaporar sustancias.

Permite mediante un tubo de 1/2" - rosca macho, debidamente acoplado a calefactor por dentro del cabezal tipo Copa, proteger los cables de conexión y poner la longitud según sus necesidades.

Elemento calefactor en tubo de acero inox. AISI 321 ó ASI 316L , con un cabezal que en su parte superior tiene una rosca hembra de 1/2" para que se acople un tubo roscado a esa medida y de la longitud que la aplicación necesite.

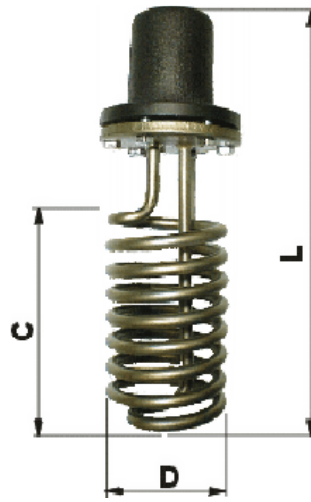
**Tabla No. 1.6.8.7-1**

**Características resistencia Copa rosca - centrada**

| FIGURA | ZONA DE CALOR C | ØIN T m | COTA L cm | COTA D cm | W.   | V.  | MATERI AL   | W/C M <sup>2</sup> |
|--------|-----------------|---------|-----------|-----------|------|-----|-------------|--------------------|
| 1      | 135             | -       | 20        | 8         | 1000 | 110 | AISI 321 8Ø | 3,4                |
| 1      | 165             | 0.020   | 20        | 8         | 1200 | 220 | AISI 321 8Ø | 4,0                |
| 1      | 225             | 0.020   | 33        | 8         | 3000 | 230 | AISI 321 8Ø | 3,8                |

Fuente: Características resistencia copa rosca, [www.resistenciasalona.com/pdf/liquido2.doc](http://www.resistenciasalona.com/pdf/liquido2.doc)





**Fig. No. 1.6.8.7-1 Resistencia tubular inmersión cabezal tipo copa con rosca interior**  
1/2

# **CAPITULO II**

## **PARTE EXPERIMENTAL**

## **2. PARTE EXPERIMENTAL**

Al dar inicio a la investigación para el diseño del purificador, se procedió a realizar prácticas de laboratorio con el fin de poder analizar todos los parámetros necesarios para el dimensionamiento del equipo y sus características de operación. Los estudios realizados y la información literaria ayudaron para poder elegir la mejor disposición para la realización de este trabajo, con esto, se seguirá un lineamiento preestablecido que dará la evolución del proceso práctico y así observar si se cumple con los objetivos planteados para obtener resultados halagadores.

### **2.1. MUESTREO**

Se procedió a un muestreo aleatorio simple, ya que se analizará solo las muestras provenientes de la limpieza de los accesorios para la aplicación de pintura automotriz, se determinaran las variables necesarias para el dimensionamiento del equipo.

La frecuencia de muestreo será semanal, por un lapso de ocho semanas.

Se procederá a recolectar una muestra semanal por un total de dos meses, ósea, se tendrá ocho muestras.

Toma de datos de volumen de disolvente utilizado semanalmente.

De acuerdo con los datos de utilización del producto de la mezcla thinner-pintura se numeraran los elementos de la población y se seleccionará al azar un componente.

Identificación de las operaciones en que se utiliza el disolvente.

Determinación de las variables físico-químicas presentes en el proceso de destilación.

**Tabla No. 2.1.1-1**

**Muestreo**

| <b>MUESTRA</b>  | <b>RECIPIENTE</b>   | <b>TAMAÑO DE MUESTRA</b>   | <b>FRECUENCIA DE MUESTREO</b>   | <b>PROCEDIMIENTO</b>  |
|---|---|--|---|---|
| <p>Mezcla thinner-pintura (provenientes de la limpieza de los accesorios para la aplicación de pintura automotriz).</p> | <p>El recipiente que lleve la muestra debe ser de plástico y estar completamente limpio y seco.</p> | <p>El volumen de muestra es de 500ml, el cual puede aumentar, pero no disminuir.</p> | <p>Se tomará una muestra semanal en las instalaciones de Multiservicios San Andrés, por un lapso de dos meses, la misma que debe ser rotulada y almacenada correctamente.</p> | <p>- Tomando las precauciones necesarias recolectar la muestra de los recipientes de almacenamiento de la empresa.<br/>- La muestra debe taparse y posterior tomar los datos de fecha para analizar y comparar con las demás.</p> |

Fuente: ROBALINO D., 2011

## **2.2. METODOLOGÍA**

### **2.2.1. MÉTODOS Y TÉCNICAS**

#### **2.2.1.1. MÉTODOS**

En la realización del presente proyecto de investigación se utilizó tanto la parte teórica como experimental adquirida en las cátedras recibidas, con el fin de usar éstas para obtener una mejor metodología en respuestas a las posibles interrogantes que puedan presentarse en el lapso del dimensionamiento del equipo destilador de thinner. Los métodos a utilizarse en el desarrollo del diseño del equipo son: método inductivo, método deductivo y método descriptivo.

##### **2.2.1.1.1. MÉTODO INDUCTIVO**

Iniciando del análisis de las características de los procesos de destilación simple, se fijan las variables que involucra dicho proceso y a continuación se procede al cálculo de ingeniería correspondiente y así finalmente poder realizar el dimensionamiento del equipo.

Al realizar las destilaciones flash en laboratorio se obtuvieron los parámetros específicos requeridos para el dimensionamiento (temperatura, volumen y tiempo), mismos que van a convertirse en el punto de inicio para el dimensionamiento del equipo purificador.

Mediante la destilación flash realizada se obtendrá el mayor porcentaje de rendimiento, es decir, mayor producción en volumen de thinner purificado, iniciándose a temperatura

ambiente (aprox. 18 C) y de ahí aprovechando los puntos de ebullición de la sustancia hasta llegar a la temperatura máxima (165 C); obteniéndose un 99% de eficiencia.

#### **2.2.1.1.2. MÉTODO DEDUCTIVO**

El trabajo en sí del dimensionamiento del equipo, se basó en fundamentos y principios de Cálculos Básicos, Transferencia de Calor y Operaciones Unitarias, lo cual, es de vital importancia para la realización de los cálculos necesarios y la determinación de las variables del proceso con el fin de obtener la personalización de la instalación. Realizándose los cálculos de diseño, en base a los valores obtenidos en el proceso de destilación de laboratorio, con las muestras recogidas en la planta de Multiservicios San Andrés, las mismas se enviaron a ser analizadas en laboratorio, los resultados obtenidos se encuentran acorde a la norma NTE INEN 2163:99.

#### **2.2.1.1.3. MÉTODO DESCRIPTIVO**

Describe el dimensionamiento del sistema de destilación para la purificación de thinner a través de un plano desarrollado. El equipo consta de una alimentación, la cual, es a través de tubería de PVC previa filtración para evitar el paso de sólidos considerables; un tanque de ebullición con dos tapas cónicas superior e inferior para la salida del vapor y los productos de cola respectivamente, en su interior dos resistencias de inmersión protegidas por acero negro para evitar el contacto directo de la sustancia con las resistencias; un condensador que está diseñado en similitud al calderín; y una zona de recolección de la sustancia purificada.

### **2.2.1.2. TÉCNICAS E INSTRUMENTACIÓN**

Las técnicas son procedimientos o conjunto de reglas, normas o protocolos, que tienen como objetivo obtener un resultado determinado. Las técnicas son indispensables ya que integra la estructura por medio de la cual se organiza la investigación y están relacionadas más directamente en la práctica con un modo específico de actuar, con formulaciones teóricas generales las cuales son propias del método; de aquí que es el procedimiento particular, reflexivo y confiable aplicado al empleo de un instrumento, al uso de material, al manejo de una determinada situación de un procedimiento.

Las técnicas y análisis deben ser comparativos del producto obtenido con respecto al thinner original antes de que se ensucie.

Para realizar esta etapa del proceso de dimensionamiento se tomó como base fundamental las Normas Técnicas estipuladas por el INEN (Instituto Ecuatoriano de Normalización) que rigen los parámetros que se necesitan para la comercialización y utilización del thinner.

#### **2.2.1.2.1. ANÁLISIS DE LABORATORIO**

Todos los análisis y técnicas realizadas fueron hechas en el Laboratorio de Operaciones Unitarias de la Epoch y en el Laboratorio de Química Industrial de la Universidad Central del Ecuador, los antes citados son acreditados por lo tanto sus resultados son totalmente confiables.





**Tabla No. 2.2.1.2.1-1**  
**Destilación Simple (Eficiencia)**

| <b>FUNDAMENTO</b>   | <b>MATERIALES</b>  | <b>TÉCNICA</b>   | <b>CALCULO</b>  |
|---|--|--|---|
| <p>Consiste en la separación de uno o varios componentes de una mezcla líquida cuyos puntos de ebullición difieren entre sí en un rango suficientemente marcado (al menos 25 C) y deben ser inferiores a 150 C. El líquido a destilar se coloca en un matraz, para después, mediante la adición de calor, impulsar la vaporización.</p> | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Matraz de destilación</li> <li>-Termómetro</li> <li>-Refrigerante</li> <li>- Reverbero</li> <li>- Soporte universal</li> <li>- Pinzas</li> <li>- Mangueras</li> </ul> | <p>Colocar 500ml de la muestra en el matraz.<br/>                     Armar el equipo de destilación simple.<br/>                     Encender el reverbero y esperar hasta que empiece a hervir la solución.<br/>                     Tomar los datos de temperatura cada 10ml destilados.<br/>                     Medir el soluto recuperado y comparar con el volumen inicial.</p> | <p>Volumen Recuperado<br/> <math>V_r = V_f - V_i</math><br/>                     Donde:<br/> <math>V_f</math>: volumen final<br/> <math>V_i</math>: volumen inicial</p> |

Fuente: Practicas de Operaciones Unitarias. Escuela de Ingeniería Química, ESPOCH.

**Tabla No. 2.2.1.2.1-2**  
**Solventes. Adelgazadores (Thinner). Requisitos**

| FUNDAMENTO   | REQUISITOS                                  | TÉCNICA   | UNIDAD  | MÍNIMO | MÁXIMO |
|--|---|---|---|--------|--------|
| Los adelgazadores (thinner) deben ser líquidos transparentes, estar libres de partículas en suspensión y no deben presentar sedimentos ni separación de componentes; deben disolver completamente la pintura o producto afín. No deben presentar incompatibilidad de ninguna especie cuando se mezclen con la pintura o afines en las proporciones indicadas por el fabricante o las acordadas entre partes. | Acidez libre, expresada como ácido acético. | NTE INEN 21<br>52   | % (m/m)   | -      | 0.02   |
|  | Contenido de humedad.                       | NTE INEN 21<br>54   | % (m/m)   | -      | 2.7    |
|  | Color.                                      | NTE INEN 21<br>55   | APHA (escala platino-cobalto)   | -      | 5      |
|  | Corrosión al cobre.                         | NTE INEN 21<br>61   | La tira no debe presentar iridiscencia o decoloración, ni un depósito gris o negro. |        |        |
|  | Olor.                                       | No debe tener olor residual sobre papel filtro, después de dos horas de secado al aire. |   |        |        |

Fuente: Instituto Ecuatoriano de Normalización. Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 2 163:99

**Tabla No.2.2.1.2.1-3**  
**Acidez Libre (expresada como ácido acético)**

| <b>FUNDAMENTO</b>   | <b>MATERIALES Y EQUIPOS</b>  | <b>PROCEDIMIENTO</b>  | <b>CÁLCULOS</b>   |
|---|--|---|---|
| <p>Comprende la determinación de la acidez total como ácido acético en concentraciones menores del 0.05% en compuestos orgánicos y mezclas de hidrocarburos usados en solvente y diluyentes de pintura, lacas y barniz. Es aplicable a mezclas tales como alcohol, cetonas, éteres, esteres, diluyentes de hidrocarburos, nafta, saturados o no saturados y otras fracciones livianas de la destilación del petróleo.</p> | <p>- Bureta de 10cm<sup>3</sup><br/>- Erlenmeyer de 250cm<sup>3</sup></p> <p><b>REACTIVOS</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Alcohol etílico o isopropílico.</li> <li>- Solución indicadora de fenolftaleína 10g/l, disolver 1g del indicador en alcohol etílico y diluir a 100cm<sup>3</sup> con el alcohol.</li> <li>- Hidróxido de Sodio 0.05 N.</li> </ul> <p><b>PREPARACIÓN DE LA MUESTRA</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Si el producto es algo turbio, filtrar 250 cm<sup>3</sup> a través de papel filtro plegado, en un embudo tapado, recibiendo el producto en el matraz Erlenmeyer de 250cm<sup>3</sup>.</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>- La determinación debe darse por duplicado.</li> <li>- En el Erlenmeyer medir 50cm<sup>3</sup> de agua, si la muestra es completamente soluble en agua, o 50cm<sup>3</sup> de alcohol si la muestra no es soluble en agua.</li> <li>- Añadir 0.5cm<sup>3</sup> de solución indicadora de fenolftaleína.</li> <li>- Titular el agua o alcohol con la solución 0.05N de NaOH hasta el primer color rosado perceptible.</li> <li>- Pipetear 50cm<sup>3</sup> de la muestra en el matraz. Titular con la solución 0.05N de NaOH al primer color rosado perceptible originalmente obtenido.</li> </ul> | <p>La acidez de la muestra se determina con la siguiente ecuación:<br/>Acidez como ácido acético,</p> $\text{Masa \%} = \frac{VN * 0.12}{D}$ <p>Dónde:<br/><b>V:</b> solución de NaOH requerido para la titulación de la muestra, en cm<sup>3</sup>.<br/><b>N:</b> normalidad de la solución de NaOH.<br/><b>D:</b> densidad relativa del espécimen a la temperatura de ensayo.</p> |

Fuente: Instituto Ecuatoriano de Normalización. Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 2 152:99

**Tabla No.2.2.1.2.1-4**  
**Contenido de Humedad**

| <b>FUNDAMENTO</b>  | <b>MATERIALES Y EQUIPOS</b>  | <b>PROCEDIMIENTO</b>   | <b>CÁLCULOS</b>   |
|--|--|--|---|
| <p>Determina el contenido de humedad de los solventes empleados en la industria de pintura y productos afines.</p> | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Recipiente de 60 cm<sup>3</sup> con cierre hermético que permita introducir el extremo inferior de una bureta y dos tubos de ensayo.</li> <li>- Bureta de 25 cm<sup>3</sup>.</li> <li>- Frasco lavador con gel de sílice.</li> <li>- Circuito eléctrico, con pila o batería de 1.5 voltios</li> <li>- Divisor de potencial que proporciona 300 milivoltios.</li> <li>- Galvanómetro.</li> <li>- Pipetas volumétricas de 5 cm<sup>3</sup>, 10 cm<sup>3</sup> y 20 cm<sup>3</sup>.</li> <li>- Aparato de Karl – Fischer.</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>- La determinación debe darse por duplicado.</li> <li>- Valoración del reactivo de Fischer.</li> <li>- Introducir en el recipiente de reacción a través de la tabuladura lateral por medio de la pipeta de 10cm<sup>3</sup> de alcohol anhidro.</li> <li>- Abrir la entrada de la corriente de nitrógeno lo suficiente para producir una agitación en el seno del líquido.</li> <li>- Cerrar el circuito eléctrico y valorar con el reactivo de Fischer hasta obtener una fuerte desviación del galvanómetro que perdure sobre la lectura media de la escala por lo menos 30 segundos.</li> <li>- Ignorar los volúmenes de reactivos usados hasta aquí.</li> <li>- Sacar del recipiente de reacción casi toda la solución previamente valorada dejando la suficiente para cubrir la llave de vaciado. Esta</li> </ul> | <p>Equivalente de agua del reactivo de Fischer:</p> $F = \frac{100W}{T_2 - T_1} \cdot 100 \frac{mg}{cm^3}$ <p>Dónde:</p> <p>W: masa de agua añadida en la preparación de 100 cm<sup>3</sup> de solución patrón en gramos.</p> <p>T<sub>2</sub>: volumen de reactivo de Fischer en valoración con solución patrón.</p> <p>T<sub>1</sub>: volumen de reactivo de Fischer en valoración con metanol, en cm<sup>3</sup>.</p> <p>Muestras líquidas:</p> $H = \frac{F * A}{10V * S}$ <p>Dónde:</p> <p>H: contenido de humedad, en %.</p> <p>F: equivalente de agua del reactivo de Fischer.</p> |
| <b>REACTIVOS</b>   |  |  |   |

|  |  |   |  |
|--|--|---|--|
|  | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Alcohol metílico anhidrido.</li> <li>- Solución patrón de agua y metanol.</li> <li>- Piridina.</li> <li>- Nitrógeno seco</li> <li>- Reactivo de Fischer.</li> </ul> | <p>operación tiene por objetivo eliminar toda la humedad en el recipiente de reacción.</p> <p>Transferir al recipiente de reacción 10cm<sup>3</sup> más de metanol y valorar de nuevo como se indicó anteriormente. Anotando el volumen de reactivo utilizado (T<sub>1</sub> en cm<sup>3</sup>).</p> <p>Agregar al recipiente de reacción 10cm<sup>3</sup> de solución patrón de agua y metanol y valorar de nuevo (T<sub>2</sub> en cm<sup>3</sup>).</p> | <p>A: volumen de reactivo de Fischer utilizado en la valoración de muestra, en cm<sup>3</sup>.</p> <p>V: volumen de la muestra tomada, en cm<sup>3</sup>.</p> <p>S: peso específico de la muestra a temperatura ambiente.</p> <p>Muestras sólidas:</p> $H = \frac{F(A_1 - A_2)}{10W_1}$ <p>H: contenido de humedad, en %.</p> <p>F: equivalente de agua del reactivo de Fischer.</p> <p>A<sub>1</sub>: volumen de reactivo de Fischer utilizado en la valoración de la alícuota, en cm<sup>3</sup>.</p> <p>A<sub>2</sub>: volumen de reactivo de Fischer utilizado en la valoración dl blanco, en cm<sup>3</sup>.</p> <p>W<sub>1</sub>: masa de la muestra contenida en la alícuota, en g.</p> |
|--|--|---|--|

Fuente: Instituto Ecuatoriano de Normalización. Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 2 154:99

**Tabla No.2.2.1.2.1-5**  
**Solventes. Determinación del Color en Escala APHA**

| <b>FUNDAMENTO</b>  | <b>MATERIALES Y EQUIPOS</b>  | <b>PROCEDIMIENTO</b>   |
|--|--|--|
| <p>Método de ensayo para determinar el color en escala APHA (escala platino-cobalto), en los solventes volátiles empleados en la industria de pinturas y productos afines. Es aplicable solo para materiales en los cuales los cuerpos productores de color presentes tienen características de absorción ligeras y se identifica con los estándares de color platino-cobalto.</p> | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Dos tubos Nessler, con tapón de inmersión.</li> <li>- Ganchos para mantener los tubos.</li> <li>- Mirilla para la muestra y el patrón.</li> <li>- Lámpara o linterna.</li> <li>- Disco de colores APHA.</li> <li>- Control en escala graduada en unidades para hacer girar el disco.</li> </ul> <p style="text-align: center;"><b>REACTIVOS</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Agua destilada.</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>- La determinación debe darse por duplicado.</li> <li>- Limpiar perfectamente los tubos.</li> <li>- Llenar uno de ellos con agua destilada y colocar el tapón de inmersión.</li> <li>- Llenar el otro tubo con la muestra a probar hasta la línea de enrase y colocar el tapón de inmersión.</li> <li>- Colocar los dos tubos en los ganchos.</li> <li>- Cerrar el aparato, el disco de colores y encender la lámpara.</li> <li>- Buscar el color que corresponde a la muestra mirando por la mirilla y girando el disco.</li> <li>- Al coincidir el color de la muestra con el del disco se lee el número que aparece en el círculo rojo en la parte inferior de la mirilla.</li> <li>- Esta cifra es el número de unidades de color APHA.</li> <li>- Si el color de la muestra es más alto que la escala del disco, diluir la muestra tantas veces como sea necesario hasta coincidir con un color del disco y el resultado se obtendrá al multiplicar el número de la escala del disco por el número de veces que se haya diluido la muestra.</li> </ul> |

Fuente: Instituto Ecuatoriano de Normalización. Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 2 155:99

**Tabla No.2.2.1.2.1-6**

**Corrosión al Cobre**

| <b>FUNDAMENTO</b>  | <b>MATERIALES Y EQUIPOS</b>   | <b>PROCEDIMIENTO</b>   | <b>RESULTADOS</b>  |
|--|---|--|--|
| <p>Consiste en determinar la corrosión experimentada por una lámina de cobre al entrar en contacto con la muestra, que pueden ser disolventes aromáticos y diluyentes volátiles.</p> | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Matraz esmerilado 250 cm<sup>3</sup> de fondo plano.</li> <li>- Condensador de vidrio de 30mm de diámetro exterior, con un diámetro interno en el tubo no menor de 10mm.</li> <li>- Lámina de cobre brillante, largo 75mm, ancho 2.5mm, espesor 1.5 a 3mm. Un orificio de 3mm.</li> <li>- Alambre delgado de cobre de 150 cm de longitud.</li> <li>- Baño María.</li> <li>- Materiales de pulido (lijas).</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>- La determinación debe darse por duplicado.</li> <li>- Pulir la lámina por completo con la lija.</li> <li>- Asegurar el alambre dentro del orificio.</li> <li>- Colocar la lámina dentro del matraz agregar 200 cm<sup>3</sup> de la muestra. La muestra no debe contener agua separada: si se da esto, se debe filtrar a través de papel filtro seco. Conectar el condensador al matraz.</li> <li>- La lámina debe quedar completamente sumergida y apoyada en el fondo.</li> <li>- Colocar el matraz en baño María, sumergiéndolo por debajo del nivel de la muestra.</li> <li>- Retirar la lámina a 30 minutos a partir que el matraz fue sumergido en el baño María.</li> <li>- Solo las superficies planas de la lámina son consideradas para el resultado.</li> <li>- Sujetar la lámina de tal manera que la luz reflejada desde ella a un ángulo de 45° pueda ser observada.</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Cualquier evidencia de iridiscencia, formación de un depósito negro o pardo o decoloración de la superficie plana: <b>ensayo positivo</b>, existe corrosión.</li> <li>- Superficie brillante u apocamiento uniforme de la superficie plana: <b>ensayo negativo</b>, no existe corrosión.</li> </ul> |

Fuente: Instituto Ecuatoriano de Normalización. Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 2 161:99

## **2.3. DATOS EXPERIMENTALES**

### **2.3.1. DIAGNOSTICO**

La mezcla thinner-pintura (disolvente-pintura), es usado en todos los talleres de pintura automotriz, luego de la aplicación de la pintura se procede a la limpieza de los equipos usados (pistolas a soplete, brochas, cámaras de pintura entre otras) con la aplicación del solvente, una vez terminado esto se desecha los residuos de pintura automotriz a las alcantarillas por lo general, provocando una terrible contaminación ya sea al agua, suelo y ambiente.

En el área de pintura automotriz de la empresa Multiservicios San Andrés, se obtiene un promedio mensual de 70 a 80 litros de residuos de mezcla thinner-pintura; hay que tomar en cuenta que todos los días laborables de la firma (lunes a sábado) se usa solvente en el lavado de accesorios para limpieza luego de ser utilizados. Ahora éste residuo es almacenado en tanques de acero y sellado herméticamente para luego ser recuperado en el equipo a diseñarse.

El disolvente recuperado posee las mismas propiedades y características que su original, ventaja suficiente que catapulte la innovación tecnológica de los talleres de pintura automatizando su línea productiva y contaminando menos. Al reutilizar el producto le significa a la empresa una mejor presentación ante las autoridades reguladoras y de permisos, las cuales observarán la excelente disposición de los aditivos usados para los fines correspondientes. Lo que se busca es evitar la eliminación de productos nocivos para



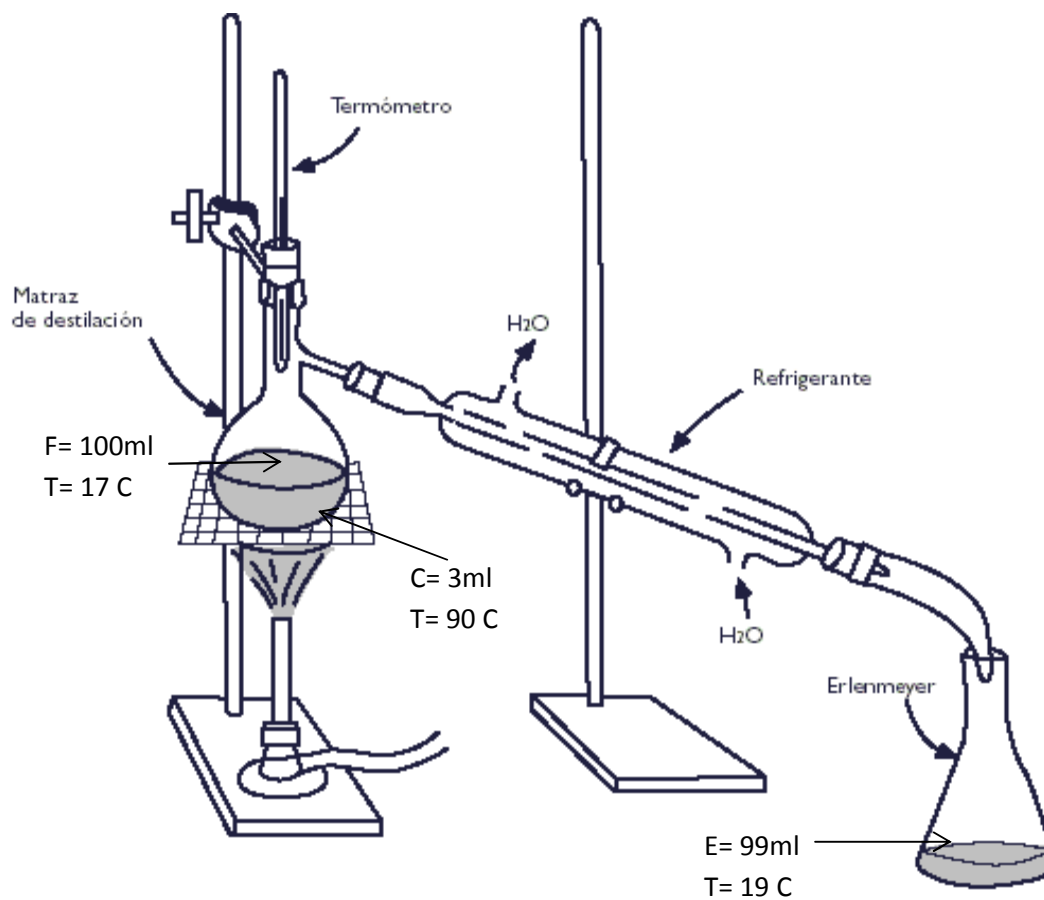
la salud de los seres vivos hacia el ambiente y poder dar una segunda vida a servicios que son desechados sin previo tratamiento.

El presente trabajo exhibe el diseño de un equipo destilador para purificar el thinner proveniente de los residuos de la pintura automotriz, para esto, se confirmó luego de realizar pruebas de laboratorio que la mejor Operación Unitaria para este fin es la destilación simple y se determinó las condiciones más adecuadas para el diseño del equipo, al mismo tiempo que se fijó realizar la operación tipo batch (por ciclos).

Anticipadamente, se puede decir que este equipo es útil para todas aquellas empresas u organizaciones que trabajen con el disolvente thinner, esto brindará mejores garantías a los clientes y un trato amigable al ambiente.

## 2.3.2. DATOS EXPERIMENTALES

### 2.3.2.1. DESTILACIÓN EN LABORATORIO



**Fig. No. 2.3.2.1-1. Destilación simple**  
Fuente:ROBALINO D., 2011

**Tabla No.2.3.2.1-1**  
**Datos Destilación Simple**

| <b>Volumen (ml)</b> | <b>T (min)</b> | <b>T (C)</b> |
|---------------------|----------------|--------------|
| 5                   | 12             | 50           |
| 10                  | 19             | 55           |
| 20                  | 24,40          | 60           |
| 30                  | 29,53          | 70           |
| 40                  | 33,55          | 80           |
| 50                  | 37,11          | 90           |
| 60                  | 43,28          | 90           |
| 70                  | 51,42          | 90           |
| 80                  | 55,31          | 90           |
| 90                  | 60,02          | 102          |
| 99                  | 66,13          | 110          |

Fuente:ROBALINO D., 2011

### **2.3.2.2. RESULTADOS DE ANÁLISIS DE MUESTRAS OBTENIDAS EN LABORATORIO**

Luego de obtener el thinner purificado por el proceso de destilación simple realizada en laboratorio, se envió las muestras a ser analizadas en los laboratorios de la Universidad Central del Ecuador, Facultad de Ingeniería Química; mismos recintos que son calificados y poseen todos los materiales, equipos y sustancias necesarias para realizar las pruebas que

el INEN solicita para que el disolvente sea de buena calidad, los resultados fueron excelentes los cuales se detallan en el anexo I, II, III, IV.



**Fotografía No. 2.3.2.2-1. Pruebas Destilación Simple**



**Fotografía No.2.3.2.2-2. Pruebas Destilación Simple**

### **2.3.2.3. TIPO DE RESISTENCIAS ELÉCTRICAS**

Al consultar las diferentes variedades de resistencias en el mercado y tomando en cuenta que la sustancia a evaporar no puede estar en contacto directo con la misma, es por eso que se ha decidido ubicar dentro del tanque de ebullición tubos de acero negro los cuales albergaran las resistencias en su interior. Por todo lo antes citado se procede a elegir lo siguiente: **MODELO RESISTENCIA TUBULAR INMERSION CABEZAL TIPO COPA CON ROSCA INTERIOR 1/2 (POR DOS).**

### **2.3.2.4. TIEMPO DE RESIDENCIA**

El tiempo de residencia de los 100ml de la práctica en laboratorio fue de 66 minutos, ahora, considerando los elementos de juicio, como es, que se trabaja con un reverbero el cual es gradual para elevar la temperatura que da, siendo irregular la toma de datos. Al colocar resistencias térmicas al equipo se obtiene mejor calentamiento a tiempos constantes como explica la bibliografía de las mismas.

Haciendo una comparación que 100ml de solvente se destilan en igual tiempo que 1 litro, y si analizamos el rango de destilación del thinner que es de 55 a 165 C, y acotando que las resistencias de inmersión actúan de manera constante se puede decir que:

**Tabla No. 2.3.2.4-1**  
**Tiempo de Residencia**

| <b>Cantidad (L)</b> | <b>Tiempo destilación (min)</b> |
|---------------------|---------------------------------|
| 20                  | 60                              |
| 40                  | 90                              |
| 60                  | 180                             |
| 80                  | 360                             |
| 100                 | 420                             |

Fuente:ROBALINO D., 2011

**2.3.2.5. CAUDAL DE ALIMENTACIÓN**

**Tabla No. 2.3.2.5-1**  
**Caudal de Alimentación**

| <b>Indicador</b>  | <b>Peso(g)</b> |
|---|----------------|
| P <sub>v</sub> 100ml  | 52             |
| P <sub>v</sub> 100ml+ muestra (thinner residuo)                         | 131            |
| P <sub>v</sub> 100ml+ muestra (thinner destilado)                       | 129            |
| Entonces tenemos para la alimentación: 98% de thinner y 2% de residuos. |                |

Fuente:ROBALINO D., 2011

Multiservicios San Andrés desecha un promedio de 75 litros de residuo mensual, es decir, se tiene 73,5 L de thinner y 1,5 L de residuo.

### **2.3.2.6. GRADIENTE DE TEMPERATURA**

$T_1 = 55$  C, a esta temperatura comienza a hervir la sustancia.

$T_2 = 90$  C, temperatura a la cual se mantiene constante la destilación.

$$\Delta T = T_2 - T_1$$

$$\Delta T = 35$$
 C

### **2.3.3. DATOS ADICIONALES**

#### **2.3.3.1. ENTALPIA**

Para el presente estudio se toma como referencia la siguiente composición del thinner, la cual es utilizada en la formulación de todo tipo de éste solvente, marcando la diferencia entre los mismos pequeñas cantidades de aditivos que ofrecen diferentes fines.

**Tabla 2.3.3.1-1**  
**Composición del Thinner (Calores de vaporización)**

| <b>Sustancia</b> | <b>Contenido (%)</b> | <b>Contenido alimentación (%)</b> | <b>Contenido condensado (%)</b> | <b>Contenido evaporado (%)</b> | <b>Entalpia cal/g</b> | <b>KJ/Kg</b> |
|------------------|----------------------|-----------------------------------|---------------------------------|--------------------------------|-----------------------|--------------|
| Tolueno          | 50**                 | 49*                               | 2,5*                            | 49,5*                          | 98,55                 | 411,9        |
| Alcohol metílico | 15                   | 14,7                              | 0,75                            | 14,85                          | 284,29                | 1188,4       |
| Acetato de etilo | 15                   | 14,7                              | 0,75                            | 14,85                          | 96,75                 | 404,4        |
| Hexano           | 5                    | 4,9                               | 0,25                            | 4,95                           | 87,50                 | 365,8        |
| Alcohol etílico  | 5                    | 4,9                               | 0,25                            | 4,95                           | 204,26                | 853,8        |
| Acetona          | 5                    | 4,9                               | 0,25                            | 4,95                           | 134,74                | 563,2        |
| m-xileno         | 5                    | 4,9                               | 0,25                            | 4,95                           | 96,03                 | 401,4        |
| <b>TOTAL</b>     | <b>100</b>           | <b>98</b>                         | <b>5</b>                        | <b>99</b>                      |                       |              |

Fuente: PERRY R., Manual del Ingeniero Químico, Anexo VI, pág. 3-153

\*: Valores ponderados a los correspondientes porcentajes de alimentación, condensado y evaporado, utilizados en el diseño del equipo.

\*\*:<http://grupopetroquimica.blogspot.com/>



**Tabla No. 2.3.3.1-2**  
**Entalpias de las corrientes del destilador**

| <b>sustancia</b>    | <b>Entalpia H<br/>(KJ/kg)</b> | <b>Hf=yf*H</b> | <b>Hc=yc*H</b> | <b>He=ye*H</b> |
|---------------------|-------------------------------|----------------|----------------|----------------|
| Tolueno             | 411,9                         | 201,831        | 10,2975        | 203,8905       |
| Alcohol<br>metílico | 1188,4                        | 174,6948       | 8,913          | 176,4774       |
| Acetato de etilo    | 404,4                         | 59,4468        | 3,033          | 60,0534        |
| Hexano              | 365,8                         | 17,9242        | 0,9145         | 18,1071        |
| Alcohol etílico     | 853,8                         | 41,8362        | 2,1345         | 42,2631        |
| Acetona             | 563,2                         | 27,5968        | 1,408          | 27,8784        |
| m-xileno            | 401,4                         | 19,6686        | 1,0035         | 19,8693        |
|                     | TOTAL                         | 542,9984       | 27,704         | 548,5392       |

Fuente: ROBALINO D., 2011

# **CAPITULO III**

## **DISEÑO**

### 3. DISEÑO

#### 3.1. CALCULO DE LA CÁMARA DE EBULLICIÓN

La empresa solicitante del diseño del equipo para la purificación del a pedido los siguientes requerimientos para el desarrollo del mismo:

- Se desea una producción de 70 a 75 litros de thinner purificado por lote.
- Duración aproximada del proceso de destilado 4 horas.
- El volumen de la cámara de ebullición debe ser de 100 litros, ya que se alimentará solo hasta el 75% del volumen total del tanque de ebullición.

Por todo lo anterior citado se presenta a continuación los cálculos correspondientes para obtener los parámetros mencionados y estipulados por Multiservicios San Andrés.

##### 3.1.1. CALCULO DE LA ALTURA DEL CILINDRO

- Los residuos de la mezcla thinner-pintura en el departamento de pintura de Multiservicios San Andrés es aproximadamente de 70 a 80 litros mensuales. Se establece un diámetro del equipo de 40 cm del tanque de ebullición ya que al consultar bibliografías similares de equipos de destilación para esta cantidad de litros es suficiente a más de que ahorrar espacio productivo.

Datos:

Ø: 40cm

V= 100 L

$$V_1 = \frac{\pi * \phi^2 * h}{4}$$

Ec. 3.1.1-1

$$h = \frac{V_1 * 4}{\pi * \emptyset^2}$$

$$h = \frac{100 * 4}{\pi * (40)^2}$$

$$h = 79,57 \text{ cm} \approx 80 \text{ cm}$$

A estos 80 cm se adicionará el 10% de éste valor con el propósito de tener el espacio necesario para colocar la/s resistencia/s térmica/s que aseguraran obtener una mayor purificación, formando así un cilindro de 90 cm x 40 cm, además de lo citado se colocará una tapa cónica superior e inferior de 5 cm de altura cada una. En la totalidad de la altura del cilindro se tiene 98 cm por lo que el diseño se lo hará con 100 cm.

### 3.1.2. VOLUMEN DE TRABAJO

Datos:

$\emptyset$ : 40 cm

h= 80 cm

$$V_1 = \frac{\pi * \emptyset^2 * h}{4}$$

$$V_1 = \frac{\pi * (40)^2 * 80}{4}$$

$$V_1 = 100350,01 \text{ cm}^3 \text{ ó } 100,3 \text{ L}$$

### 3.1.3. VOLUMEN DEL CONO INFERIOR

Datos:

r= 20 cm

h= 5 cm

$$V_2 = \frac{\pi}{3} * r^2 * h \quad \text{Ec. 3.1.3-1}$$

$$V_2 = \frac{\pi}{3} * (20)^2 * 5$$

$$V_2 = 2094,3 \text{ cm}^3 \text{ ó } 2,1 \text{ L}$$

### 3.1.4. VOLUMEN MÍNIMO DE TRABAJO

Datos:

Ø: 40 cm

\*h= 40 cm

$$V_3 = \frac{\pi * \phi^2 * h}{4}$$

$$V_3 = \frac{\pi * (40)^2 * 40}{4}$$

$$V_3 = 50265,4 \text{ cm}^3 \text{ ó } 50,2 \text{ L}$$

\*: Se estipula este valor considerando el 50% de la altura del cilindro, ya que a bajo ésta se encontraran ubicadas las resistencias de inmersión, es decir, se discurre la parte inferior del tanque de ebullición.

### 3.1.5. VOLUMEN DE ALIMENTACIÓN

$$V_A = V_1 + V_2 \quad \text{Ec. 3.1.5-1}$$

$$V_A = 100,3 + 2,1$$

$$V_A = 102,4 \text{ L}$$

### 3.1.6. CALCULO DE LA MASA DEL VOLUMEN DILUIDO

Datos:

Solución diluida: 102,4 L

\* $\rho_{\text{thinner}}$ : 0,80 g/ml

$$m = \rho * V$$

$$m = 0,80 * 102400$$

$$m = 81920 \text{ g}$$

### 3.1.7. CALCULO DE LA MASA DEL VOLUMEN CONCENTRADO

Datos:

Volumen concentrado:  $V_2 + V_3$

$$V_c = 2,1 + 50,2$$

$$V_c = 52,3 \text{ L}$$

$$*\rho_{\text{thinner}}: 0,80 \text{ g/ml}$$

$$m = \rho * V$$

$$m = 0,80 * 52300$$

$$m = 41840 \text{ g}$$

### 3.1.8. CALCULO DE LA MASA DEL VOLUMEN EVAPORADO

Datos:

Volumen evaporado:  $V_{\text{diluido}} - V_{\text{concentrado}}$

Ec. 3.1.8-1

$$V_e = 102,4 - 52,3$$

$$V_e = 50,1 \text{ L}$$

$$*\rho_{\text{thinner}}: 0,80 \text{ g/ml}$$

$$m = \rho * V$$

$$m = 0,80 * 50100$$

$$m = 40080 \text{ g}$$

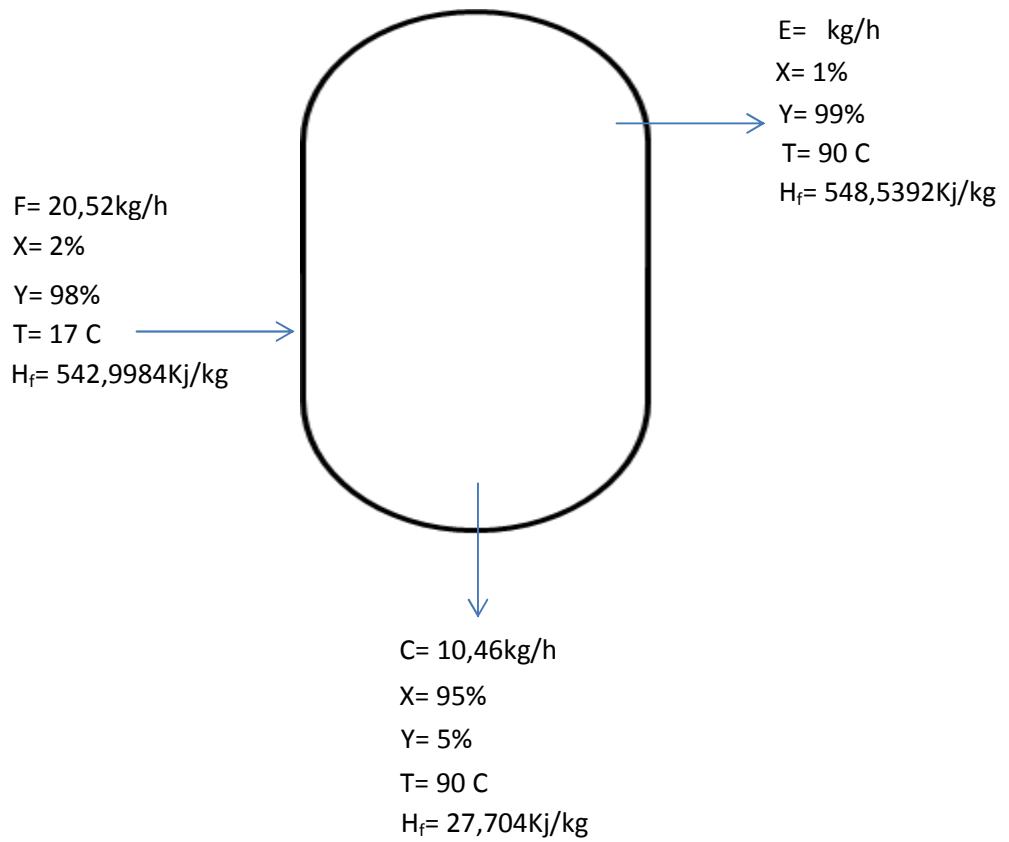
\*: <http://grupopetroquimica.blogspot.com/>

### 3.2. BALANCE DE MASA Y ENERGÍA

**Alimentación:**

$$F = 102,6L * \frac{1000ml}{1L} * \frac{0,80}{ml} * \frac{1kg}{1000g} = \frac{82,08kg}{4h} = 20,52 \frac{kg}{h}$$

**Concentrado:** C= 10,46kg/h





**Tabla No. 3.2-1**  
**VARIABLES DEL PROCESO**

| <b>Alimentación</b>  | <b>Condensado</b>   | <b>Evaporado</b>   |
|--|---|--|
| F: flujo de alimentación, kg/h<br>X: fracción resina epoxica, %<br>Y: fracción thinner, %<br>T <sub>F</sub> : temperatura de alimentación, C<br>H <sub>F</sub> : entalpia, Kj/kg | C: flujo del concentrado, kg/h<br>T <sub>c</sub> = temperatura del concentrado, C<br>H <sub>c</sub> = entalpia, Kj/kg | E= Flujo de vapor, kg/h<br>T <sub>E</sub> = temperatura del vapor, C<br>H <sub>E</sub> = entalpia, Kj/kg |

Fuente: ROBALINO D., 2011

### 3.2.1. BALANCE DE MASA

#### 3.2.1.1. BALANCE DE MASA TOTAL

$$F = C + E$$

Ec. 3.2.1.1-1

$$E = F - C$$

$$E = 20,52 - 10,46$$

$$E = 10,06 \text{ kg/h}$$

#### 3.2.1.2. BALANCE DE MASA DEL SOLUTO

$$F = C + E$$

$$FX_f = CX_c + EX_E$$

Ec. 3.2.1.2-1

$$X_C = \frac{FX_F - EX_E}{C}$$

$$X_C = \frac{20,52(0,02) - 10,46(0,01)}{10,06}$$

X<sub>c</sub> = 0,03 ó 3% de fracción de resina epóxica en el concentrado.

### 3.2.2. BALANCE DE ENERGÍA

#### 3.2.2.1. CALCULO DEL CALOR APROVECHADO EN EL EVAPORADOR

$$Q = F.H_F - E.H_E + C.H_C \quad \text{Ec. 3.2.2.1-1}$$

$$Q = 20,52 (542,9984) + 10,46 (548,5392) - 10,06 (27,704)$$

$$Q = 5683,22 \text{ KJ/h}$$

**NOTA:** los datos de las entalpias tanto de alimentación, evaporación y condensado provienen de la tabla No. 2.3.3.1-2.

#### 3.2.2.2. CALCULO DEL CALOR SUMINISTRADO POR LAS RESISTENCIAS

Tomando como referencia que se desea calentar 100 litros de solvente y éste tiene un rango de destilación de 55 a 165 C, se colocará dos resistencias tubulares cada una de 1200W, es decir, 2400W logran llevar a la temperatura deseada.

$$P_R = 2400W$$

$$Q_R = P_R \cdot \frac{J}{s} \cdot \frac{KJ}{1000 J} \cdot \frac{3600 s}{1 h}$$

$$Q_R = 8640 \text{ KJ/h}$$

#### 3.2.2.3. CALCULO DE LA EFICIENCIA

$$= \left( \frac{Q}{Q_R} \right) 100$$

$$= \left( \frac{5683,22}{8640} \right) 100$$

$$\square = 66 \%$$

### 3.2.2.4. CALCULO DEL ÁREA DE TRANSFERENCIA DE CALOR

$$A = \pi * \varnothing * L * Nr$$

$$A = 3,1416 * 0,021 * 0,2 * 2$$

$$A = 0,025 \text{ m}^2$$

Nr: número de resistencias a usarse.

### 3.2.2.5. CALCULO DEL COEFICIENTE GLOBAL DE TRANSFERENCIA DE CALOR

$$Q = UA\Delta T$$

$$U = \frac{Q}{A \Delta T}$$

$$U = \frac{5683,22}{0,025 (90 - 55)}$$

$$U = 6495,1 \text{ KJ/h m}^2 \text{ C}$$

### 3.2.3. CALCULO DE LA CÁMARA DE CONDENSACIÓN

#### 3.2.3.1. VOLUMEN DEL CILINDRO

\*Datos:

$$\varnothing = 40 \text{ cm}$$

$$h = 20 \text{ cm}$$

$$V_4 = \frac{\pi * \varnothing^2 * h}{4}$$

$$V_4 = \frac{\pi * (40)^2 * 20}{4}$$

$$V_4 = 25132,7 \text{ cm}^3 \text{ o } 25 \text{ L}$$

\*: Estos datos se los colocó en base del ahorro del espacio físico en la planta y para tener similitud con el tanque evaporador.

### **3.2.3.2. VOLUMEN DEL SECTOR CÓNICO**

Datos:

$$r = 20 \text{ cm}$$

$$h = 4 \text{ cm}$$

$$V_5 = \frac{\pi}{3} * r^2 * h$$

$$V_2 = \frac{\pi}{3} * (20)^2 * 4$$

$$V_5 = 1675,5 \text{ cm}^3 \text{ o } 1,6 \text{ L}$$

### **3.2.3.3. VOLUMEN DE LA CÁMARA DE CONDENSACIÓN**

$$V_C = V_4 + V_5$$

$$V_C = 25 + 1,6$$

$$V_C = 26,6 \text{ L}$$

### **3.2.3.4. CALCULO DE LA MASA DE AGUA DE REFRIGERACIÓN**

Datos:

Volumen de agua: 25 L

$\rho_{\text{agua}}: 1 \text{ g/ml}$

$$m = \rho * V$$

$$m = 1 * 6250$$

$$m = 6250 \text{ g}$$

### 3.3. RESULTADOS

#### 3.3.1. VARIABLES DE PROCESO

**Tabla No. 3.3.1-1**

**VARIABLES DEL PROCESO**

| VARIABLE    | DESCRIPCIÓN            | INDICADOR | ÍNDICE |
|-------------|------------------------|-----------|--------|
| TEMPERATURA | Cámara de ebullición   | 90        | C      |
|             | Cámara de condensación | 90        | C      |
|             | Destilado              | 18        | C      |
| TIEMPO      | Etapa de calentamiento | 0,19      | h      |
|             | Etapa de evaporación   | 4         | h      |

#### 3.3.2. DIMENSIONES DEL DESTILADOR

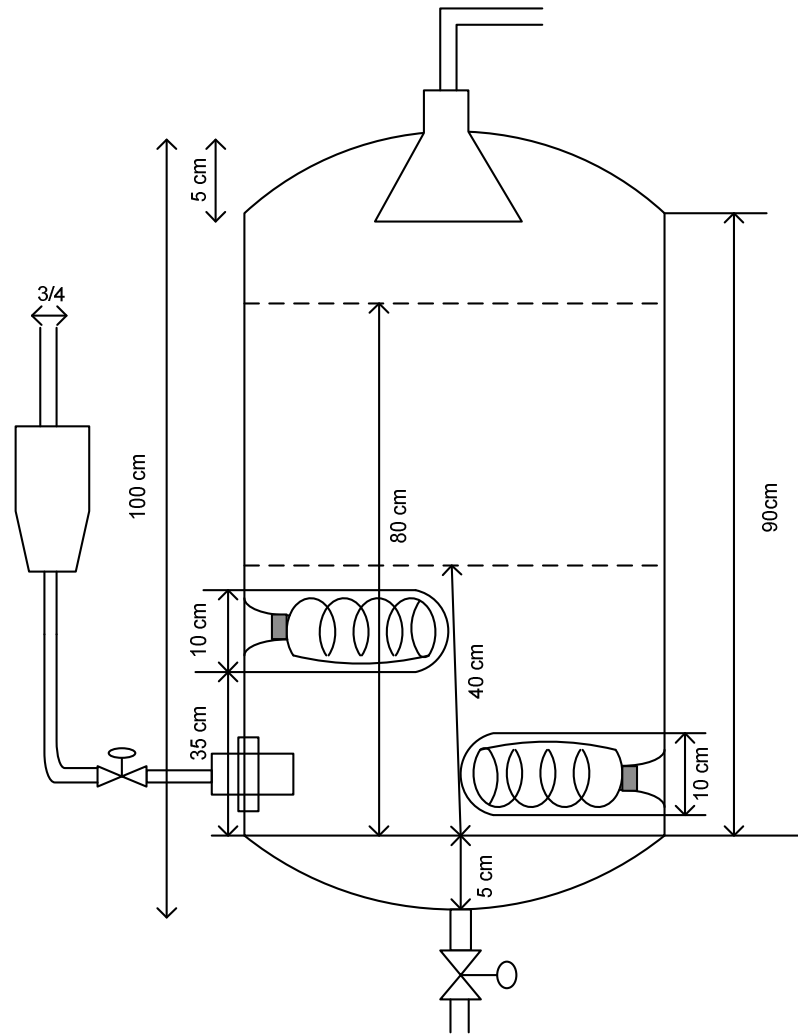
**Tabla No. 3.3.2-1**

**DIMENSIONES DEL DESTILADOR**

| DESCRIPCIÓN       | VARIABLE             | INDICADOR        | ÍNDICE            |
|-------------------|----------------------|------------------|-------------------|
| TUBERÍA           | Diámetro nominal     | $\frac{3}{4}$    | Plg               |
|                   | Material             | PVC              |                   |
| FILTRO DE ANILLAS | Modelo               | FAN-AUTO-2"      |                   |
|                   | Superficie filtrante | 1,492            | cm <sup>2</sup>   |
|                   | Caudal máximo        | 20               | m <sup>3</sup> /h |
| VÁLVULA CHECK     | Diámetro nominal     | $\frac{3}{4}$    | plg               |
|                   | material             | Acero inoxidable |                   |

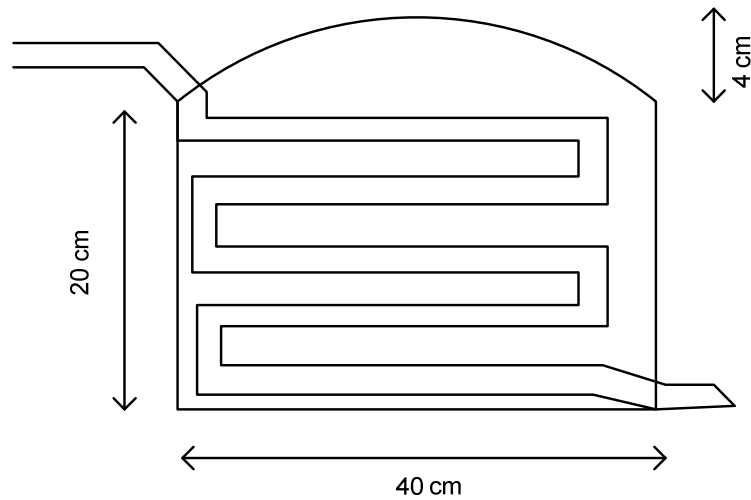
|                           |                       |                            |    |
|---------------------------|-----------------------|----------------------------|----|
| CÁMARA DE<br>EBULLICIÓN   | Altura                | 100                        | cm |
|                           | Diámetro              | 40                         | cm |
|                           | Volumen               | 102,4                      | L  |
|                           | Espesor               | 1,5                        | mm |
| CÁMARA DE<br>CONDENSACIÓN | Altura                | 25                         | cm |
|                           | Diámetro              | 40                         | cm |
|                           | Volumen               | 26,6                       | L  |
|                           | Espesor               | 1,5                        | mm |
| RESISTENCIA<br>ELÉCTRICA  | Potencia              | 2 x 1200                   | W  |
|                           | Voltaje               | 220                        | V  |
|                           | Temperatura<br>máxima | 165                        | C  |
|                           | Longitud              | 20                         | cm |
|                           | Diámetro              | 8                          | cm |
|                           | Diámetro interno      | 00,2                       | m  |
|                           | Material              | Acero inox. AISI 321<br>8Ø |    |
| SERPENTIN<br>CONDENSADOR  | Longitud              | 4                          | m  |
|                           | Diámetro              | 1                          | cm |
|                           | Material              | Cobre                      |    |

### 3.3.3. DISEÑO DEL EQUIPO



**Graf. No. 3.3.3-1. Diseño del Tanque de Ebullición.**





**Graf. No. 3.3.3-2. Diseño del Tanque de Condensación.**

### **3.4. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS**

La mezcla thinner-pintura que se utiliza en Multiservicios San Andrés tiene un contenido de 98% de thinner y 2% de resina epoxica como principales constituyentes. Mismos que al ser desechados hacia alcantarillas contaminan al ambiente perjudicando al ecosistema, afectando directamente al ser humano, animales y plantas circundantes a la planta.

Por otro lado, se estipularon las variables de proceso recomendables, mismas que se detallan a continuación: temperatura de ebullición 55 C, temperatura de vaporización 90 C, recuperación de solvente 99%, residuo 5% (resina epoxica), éstos datos han ayudado a mejorar y optimizar la reutilización del thinner que era desechado a las alcantarillas. El solvente obtenido llegó a tener un rendimiento del 66%, que es un logro considerable a razón de utilizarse la mezcla thinner-pintura proveniente de la limpieza de los accesorios

para pintar autos, buses camiones, etc. que es totalmente turbio, sucio y de olor penetrante característico.

El valor obtenido en el cálculo de la eficiencia es del 66%, mismo que no se aproxima al rendimiento del 98 % del proceso de destilación, debido a que no se encontró el valor de la entalpía del thiñer, por lo que, se realizó el cálculo del mismo en base a las entalpías de cada uno de los componentes de este solvente, por lo tanto, este valor afectó a la obtención de la eficiencia.

Por los requerimientos del proceso para la separación de los productos tanto el evaporado como el condensado, son componentes importantes para el diseño del equipo, mismo que tiene especificaciones solicitadas por la empresa, es decir, más alto que ancho, por lo tanto, al tanque de ebullición se lo especificó con una altura de 80 cm, pero se lo dejó en 100 cm por el factor de seguridad empleado y con un diámetro de 40 cm; estas medidas permitirán el desarrollo óptimo del proceso de destilación referido para un volumen de producción de 75 litros.

El thinner obtenido presenta en su composición todas las especificaciones que son pedidas por la NTE INEN 2 163:99 Solventes. Adelgazadores (Thinner). Requisitos. Dichos valores indican que el solvente es de calidad y se encuentran en el apartado de anexos para su

correspondiente verificación. Se puede aseverar que el solvente obtenido en el proceso de destilación que se describe en el presente texto cumple con todos requisitos de un solvente fabricado industrialmente, ósea, el producto obtenido puede ser usado en cualquier ámbito que sea necesario como para preparar pinturas tipo esmalte, limpieza de brochas hasta lavado de tuberías de cámaras de pintura al horno obteniéndose resultados eficientes y garantizados;

**CAPITULO IV**

**CONCLUSIONES Y**

**RECOMENDACIONES**

## **4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

### **4.1. CONCLUSIONES**

- Para la realización del diseño del equipo se constató que Multiservicios San Andrés genera un promedio mensual de 75 L de thinner-pintura, ósea, 73,5 L de thinner y 1,5 L de resina epóxica, mismos que al ser enviados hacia vertidos perjudican a la naturaleza contaminando el ambiente.
- Luego de la alimentación del residuo, éste es llevado a su temperatura de ebullición que es 55 C, dónde la sustancia empieza a generar vapor, el cual, es separado y purificado, luego de lo cual, ingresa a la cámara de condensación, para luego ser recolectado, obteniéndose un 99% de thinner recuperado (73L).
- En función de pruebas realizadas a nivel de laboratorio se fijó las condiciones de trabajo, es decir, el proceso debe ser una destilación simple y cumplir con las características de la misma, como es aprovechar los rangos de ebullición de la sustancia para su purificación eficaz, de esta manera, el equipo tendrá una alimentación por medio de tuberías agregándole un filtro para impedir el paso de sólidos; un tanque de ebullición de 1 m de alto por 40 cm de diámetro, en su interior dos resistencias térmicas protegidas por tubos de acero de negro; un condensador de 24 cm de alto y 40 cm de diámetro para la posterior recolección del thinner purificado.

- El proceso de purificación del thinner tiene una duración aproximada de 4 horas y la alimentación se realizará tipo batch, ósea, se trabajará por ciclos de producción mismos que serán fijados según la necesidad de la empresa solicitante.
- El thinner recuperado es de igual calidad que su original, generando a la empresa ahorro económico ya que no tendrá que adquirir el diluyente continuamente, a más de que se disminuye la contaminación evitando el desecho del residuo a la naturaleza.

## 4.2. RECOMENDACIONES

- Es importante tomar en cuenta todos los parámetros citados en éste texto y las precauciones necesarias al momento de construir el equipo, de igual manera verificar que las dimensiones del mismo sean las indicadas, evitando posibles alteraciones.
- Es recomendable utilizar los materiales mencionados en la página 53 apartado 1.1.2.7.7, ya que éstos brindaran seguridad al momento de la construcción y así ofrecerán garantía al momento de la puesta en marcha y operación del equipo. Tomando en cuenta que el ensamblaje de tuberías, válvulas, y otras conexiones sean totalmente herméticas para evitar cualquier desperfecto o daño.
- Una vez captada la materia prima debe ser almacenada en tanques de acero y éstos deben permanecer bien cerrados hasta el momento de realizar el proceso de purificación; de igual manera previa la alimentación de la mezcla al tanque de ebullición, realizarla observando que en el tanque contenedor no quede residuos del thinner-pintura.
- Es necesario abrir la válvula de salida de fondos, a medida que avanza la evaporación y dejar escapar una pequeña cantidad de producto a fin de mejorar la separación de las fases.
- El lugar donde vaya a ser ubicado el equipo debe ser perfectamente adecuado para este fin, con una buena ventilación, espacio necesario para movilización de operadores, lugares adecuados para la alimentación, descarga y almacenaje, y en

caso de emergencias de cualquier índole ubicar un extintor y un botiquín de primeros auxilios en el área circundante al puesto de operación.

- Una vez terminado el proceso de obtención del thinner destilado se recomienda el lavado del equipo con abundante agua más una pequeña cantidad de un tensoactivo que facilitará la limpieza.



## **BIBLIOGRAFÍA**

### **GENERAL**

- i. BABOR J./IBARZ, J. Química General Moderna. 8<sup>a</sup>.ed. Barcelona-España: Marin,1985
- ii. BANDERAS, A. Operaciones Unitarias. 2<sup>a</sup>.ed. México: Mc Graw Hill, 1997.
- iii. CALVO, J. Recubrimientos y Pinturas. 1<sup>a</sup>.ed. Buenos Aires-Argentina: AETAPA, 2010.
- iv. FIGUERA, P. Optimización de Productos y Procesos Industriales. 2<sup>a</sup>.ed. Barcelona – España: Gestión 2000, 2005.
- v. FOUST, A. Principio de Operaciones Unitarias. 7<sup>a</sup>. ed. México: Cecsca, 1998.
- vi. KASATKIN, J. Procesos y Equipos de la Industria Química. 2<sup>a</sup>.ed. Moscú: Mir, 1978.
- vii. MCCABE, W. Operaciones Unitarias en Ingeniería Química. 6<sup>a</sup>.ed. México: Mc Graw Hill, 1980.
- viii. MORING, V. Termodinámica. 2<sup>a</sup>.ed. México: Mc Graw Hill, México, 1973.
- ix. OCON. J, Problemas de Ingeniería Química. 4<sup>a</sup>.ed. México: Aguilar, 1980.
- x. OROZCO, M., Operaciones Unitarias. 1<sup>a</sup>.ed. México DF.: Limusa, 1998.

### **ESPECIFICA**

- i. GIL, H. Pinturas y Guarnecidos Interiores. 2<sup>a</sup> ed. España-Barcelona: CEAC S.A., 2008.
- ii. LIESA, F. Adhesivos Industriales. 2<sup>a</sup> ed. México D.F.: Marcombo, 1990.

- iii. PERRY R./GREEN D. Manual del Ingeniero Químico. 3ª. Barcelona – España: McGraw Hill, 1992.

## **CITAS BIBLIOGRÁFICAS**

### **(1) DESTILACIÓN**

<http://www.sc.ehu.es/iawfemaf/archivosdestilacion/materia/00113.htm>

2011-10-10

**(2)** OTERO J., Notas para la Historia de la Destilación: antecedentes-destilación, 4ª ed. España: TEBAR, 2006, Pp. 32,33.

**(3)** HUGON A., Enciclopedia de la Construcción: solventes, 2ª ed. España: EDITORES TÉCNICOS ASOCIADOS, 1982, Pp. 11-13.

### **(4) THINNER**

[www.repintadoautomotriz.com/diluyentes/diluyentes.html](http://www.repintadoautomotriz.com/diluyentes/diluyentes.html)

2011-10-10

### **(5) TIPOS DE THINNER**

[www.arqhys.com/construcciones/disolventes-orgonicos-thinner.html](http://www.arqhys.com/construcciones/disolventes-orgonicos-thinner.html)

2011-10-10

**(6)** CALVO J., Pinturas y Recubrimientos: pintura-definiciones, 2ª ed. Argentina: AETAPA, 2010, Pp.19.

**(7)TIPOS DE PINTURA**

[www.arqhys.com/pinturas-tipos1.html](http://www.arqhys.com/pinturas-tipos1.html)

2011-10-11

**(8)TIPOS Y MEZCLAS DE PINTURA AUTOMOTRIZ**

[es.wikipedia.org/wiki/Pintura\\_automotriz](http://es.wikipedia.org/wiki/Pintura_automotriz)

2001-10-11

**(9)OROZCO M.**Operaciones Unitarias: destilación. 2ª ed. México D.F.: LIMUSA, 1996, Pp. 298.

**(10)VALCARCEL M.**, Técnicas de Separación: métodos de destilación, 2ª. España: REVERTE, 1988, Pp. 159,160

**(11)TIPOS DE DESTILACIÓN**

[http://www.ub.edu/oblq/oblq%20castellano/destilacio\\_tipus.html](http://www.ub.edu/oblq/oblq%20castellano/destilacio_tipus.html)

2011-10-19

**BIBLIOGRAFÍAINTERNET**

**ANTECEDENTES DESTILACIÓN**

[www.alambiques.com/historia\\_de\\_la\\_destilacion.htm](http://www.alambiques.com/historia_de_la_destilacion.htm)

[www.priceminister.es/.../Notas-Para-La-Historia-De-La-Destilacion-Libro.html](http://www.priceminister.es/.../Notas-Para-La-Historia-De-La-Destilacion-Libro.html)

2011-10-20

## **DESTILACIÓN**

[es.wikipedia.org/wiki/Destilación](http://es.wikipedia.org/wiki/Destilación)

2011-10-20

## **TIPOS DE DESTILACIÓN**

[es.wikipedia.org/wiki/Destilación](http://es.wikipedia.org/wiki/Destilación)

[operaciones-unitarias-1.wikispaces.com/Tipos+de+Destilacion](http://operaciones-unitarias-1.wikispaces.com/Tipos+de+Destilacion)

[www.scribd.com/doc/.../TIPOS-DE-DESTILACION](http://www.scribd.com/doc/.../TIPOS-DE-DESTILACION)

2011-10-20

## **PINTURAS**

[es.wikipedia.org/wiki/Pintura](http://es.wikipedia.org/wiki/Pintura)

[pintura.aut.org](http://pintura.aut.org)

2011-10-20

## **SOLVENTES**

[www.d-lamente.org/sustancias/solventes.htm](http://www.d-lamente.org/sustancias/solventes.htm)

2011-10-23

## **THINNER**

[es.wikipedia.org/wiki/Thinner](http://es.wikipedia.org/wiki/Thinner)

[diccionario.reverso.net/ingles.../thinner - España](http://diccionario.reverso.net/ingles.../thinner - España)

[www.quiminet.com/pr6/Thinner.htm](http://www.quiminet.com/pr6/Thinner.htm)

2011-10-23

# ANEXOS

**ANEXO I  
ANÁLISIS DE LABORATORIO – MUESTRA 1**



**UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR  
FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA  
DEPARTAMENTO DE PETRÓLEOS, ENERGÍA Y CONTAMINACIÓN**



**INFORME DE RESULTADOS  
PETRÓLEO**

Informe No: 11-12-05-P-1  
Fecha: 2012-01-05

**Referencia:** OT:11-12-05-P  
**Empresa:** DIEGO ROBALINO  
**Atención:** Ing. Luis Luzuriaga  
**Dirección:** Tumbaco, Urbanización Los Algarrobos, Lote 5  
**Tipo de ensayos:** Físico químicos  
**Tipo de muestra:** Thiñer  
**Identificación de la muestra:** Thiñer 1 14-12-2011  
**Descripción de la Muestra:** Sin descripción específica  
**Fecha de ingreso de muestra:** 14-10-2011  
**Código de la muestra:** OE-11-12-05-P-1  
**Fecha de realización de ensayos:** 19-11-2011

| DETERMINACIÓN                   | UNIDADES  | MÉTODO         | RESULTADO        |
|---------------------------------|---|----------------|------------------|
| Corrosión a la lámina de cobre* | U, corrosión                                    | ASTM D130      | Sin inmiscuencia |
| Color*                          | APHA (escala platino-cobalto)                   | APHA           | 5                |
| Acidez*                         | % (m/m)   | Método Interno | 0.019            |
| Contenido de Humedad*           | % (m/m)   | Karl Fischer   | 2,68             |
| Olor                            | Papel filtro sin olor residual luego de 2 horas |                |                  |

**NOTA 1:** Los ensayos marcados con (\*) no están incluidos en el alcance de acreditación del OAE.  
**Condiciones Ambientales.** - Presión: 544,2 mm Hg; Temperatura: 21,8 °C.

Realizado por WIL

Revisado por

*[Firma]*  
RESPONSABLE TÉCNICO



Aprobado por

*[Firma]*  
Ing. Gilberto Moya D., Dpl.  
DIRECTOR DEL LAB DEL DEPEC

**ADVERTENCIA!** EL USUARIO DEBE EXIGIR EL ORIGINAL. EL DPEC NO SE RESPONSABILIZA POR DOCUMENTOS FOTOCOPIADOS.

Dirección: Francisco Viteri s/n y Gilberto Gato Sobral Teléfono: 2904794 / 2544631 ext. 26 Fax: 2529676 E-mail: dpec@fing.ucb.edu.ec  
QUITO - ECUADOR

MC2201-P01-5

Hoja 1 de 4

|               |   |  |   |
|---------------|---|--|---|
| <b>NOTAS:</b> | Categoría del diagrama                          | ESCUELA SUPERIOR<br>POLITECNICA DE<br>CHIMBORAZO<br>FACULTAD DE CIENCIAS<br>ESCUELA DE INGENIERIA<br>QUIMICA<br>DIEGO F. ROBALINO C. | ANÁLISIS DE<br>LABORATORIO –<br>MUESTRA 1 |
|               | <input type="checkbox"/> Certificado            |  | Lámina: 1 A                               |
|               | <input checked="" type="checkbox"/> Por aprobar |  | Escala: Normal                            |
|               | <input type="checkbox"/> Para información       |  | Fecha: Enero-2012                         |
|               | <input type="checkbox"/> Por calificar          |  |   |



**ANEXO II**  
**ANÁLISIS DE LABORATORIO – MUESTRA II**  
**UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA**  
 DEPARTAMENTO DE PETRÓLEOS, ENERGÍA Y CONTAMINACIÓN



**INFORME DE RESULTADOS**  
**PETRÓLEO**

Informe No: 11-12-05-P-2  
 Fecha: 2012-01-05

**Referencia:** OT:11-12-05-P  
**Empresa:** DIEGO ROBALINO  
**Atención:** Ing. Luis Luzuriaga  
**Dirección:** Tumbaco, Urbanización Los Algarrobos, Lote 5  
**Tipo de ensayos:** Físico químicos  
**Tipo de muestra:** Thifier  
**Identificación de la muestra:** Thifier 2 14-12-2011  
**Descripción de la Muestra:** Sin descripción específica  
**Fecha de ingreso de muestra:** 14-10-2011  
**Código de la muestra:** OE-11-12-05-P-2  
**Fecha de realización de ensayos:** 19-11-2011

| DETERMINACIÓN                   | UNIDADES  | MÉTODO         | RESULTADO      |
|---------------------------------|---|----------------|----------------|
| Corrosión a la lámina de cobre* | U corrosión                                     | ASTM D130      | Sin incidencia |
| Color*                          | APHA (escala platino-cobalto)                   | APHA           | 5              |
| Acidez*                         | % (m/m)   | Método Interno | 0.0188         |
| Contenido de Humedad*           | % (m/m)   | Karl Fischer   | 2,7            |
| Olor                            | Papel filtro sin olor residual luego de 2 horas |                |                |

**NOTA 1:** Los ensayos marcados con (\*) no están incluidos en el alcance de acreditación del CAE.  
**Condiciones Ambientales.-** Presión: 544,2 mm Hg; Temperatura: 21,8 °C.

Realizado por WRL

Revisado por

RESPONSABLE TÉCNICO



Aprobado por

Ing. Gilberto Moya O.; Dpl.  
 DIRECTOR DEL LAB DEL DPEC

**ADVERTENCIA:** EL USUARIO DEBE EXIGIR EL ORIGINAL. EL DPEC NO SE RESPONSABILIZA POR DOCUMENTOS FOTOCOPIADOS.

Dirección: Francisco Viteri s/n y Gilberto Gato Sobral Teléfono: 2904794 / 2544631 ext. 26 Fax: 2529676 E-mail: dpec@fing.uce.edu.ec  
 QUITO - ECUADOR

MC201-P01-5

Hoja 2 de 4

|        |   |   |  |
|--------|---|---|--|
| NOTAS: | Categoría del diagrama                          | ESCUELA SUPERIOR<br>POLITECNICA DE<br>CHIMBORAZO<br>FACULTAD DE CIENCIAS<br>ESCUELA DE<br>INGENIERIAQUIMICA<br>DIEGO F. ROBALINO C. | ANÁLISIS DE<br>LABORATORIO –<br>MUESTRA II |
|        | <input type="checkbox"/> Certificado            |   | Lámina: 2 A                                |
|        | <input checked="" type="checkbox"/> Por aprobar |   | Escala: Normal                             |
|        | <input type="checkbox"/> Para información       |   | Fecha: Enero-2012                          |
|        | <input type="checkbox"/> Para calificar         |   |  |



**ANEXO III  
ANÁLISIS DE LABORATORIO – MUESTRA III**



**UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR  
FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA  
DEPARTAMENTO DE PETRÓLEOS, ENERGÍA Y CONTAMINACIÓN**



**INFORME DE RESULTADOS  
PETRÓLEO**

Informe No: 11-12-05-P-3  
Fecha: 2012-01-05

**Referencia:** OT:11-12-05-P  
**Empresa:** DIEGO ROBALINO  
**Atención:** Ing. Luis Luzuriaga  
**Dirección:** Tumbaco, Urbansación Los Algarrobos, Lote 5  
**Tipo de ensayos:** Físico químicos  
**Tipo de muestra:** Thiifer  
**Identificación de la muestra:** Thiifer 3 14-12-2011  
**Descripción de la Muestra:** Sin descripción específica  
**Fecha de ingreso de muestra:** 14-10-2011  
**Código de la muestra:** OE-11-12-05-P-3  
**Fecha de realización de ensayos:** 19-11-2011

| DETERMINACIÓN                   | UNIDADES  | MÉTODO         | RESULTADO       |
|---------------------------------|---|----------------|-----------------|
| Corrosión a la lámina de cobre* | U. corrosión                                    | ASTM D130      | sin indiscencia |
| Color*                          | APHA (escala platino-cobalto)                   | APHA           | 5               |
| Acidez*                         | % (m/m)   | Método Interno | 0.02            |
| Contenido de Humedad*           | % (m/m)   | Karl Fischer   | 2.68            |
| Olor                            | Papel filtro sin olor residual luego de 2 horas |                |                 |

**NOTA 1:** Los ensayos marcados con (\*) no están incluidos en el alcance de acreditación del OAE.  
**Condiciones Ambientales:** Presión: 544,2 mm Hg; Temperatura: 21,8 °C.

Realizado por WRL

Revisado por

*[Firma]*  
Ing. Gerardo Gato Sobral  
RESPONSABLE TÉCNICO



Aprobado por

*[Firma]*  
Ing. Gilberto Moya D.; Del  
DIRECTOR DEL LAB DEL DEPEC

**ADVERTENCIA:** EL USUARIO DEBE EXIGIR EL ORIGINAL. EL DEPEC NO SE RESPONSABILIZA POR DOCUMENTOS FOTOCOPIADOS.

Dirección: Francisco Viteri s/n y Gilberto Gato Sobral Teléfono: 2904794 / 2544631 ext. 26 Fax: 2529676 E-mail: dpec@ing.uce.edu.ec  
QUITO - ECUADOR

MC2201-P01-5

Hoja 3 de 4

|               |   |  |  |
|---------------|---|--|--|
| <b>NOTAS:</b> | <b>Categoría del diagrama</b>                   | ESCUELA SUPERIOR<br>POLITECNICA DE<br>CHIMBORAZO<br>FACULTAD DE CIECIAS<br>ESCUELA DE<br>INGENIERIAQUIMICA<br>DIEGO F. ROBALINO C. | <b>ANÁLISIS DE<br/>LABORATORIO –<br/>MUESTRA III</b> |
|               | <input checked="" type="checkbox"/> Certificado |  | Lámina: 3 A  |
|               | <input type="checkbox"/> Por aprobar            |  | Escala: Normal                                       |
|               | <input type="checkbox"/> Aprobado               |  | Fecha: Enero-2012                                    |
|               | <input type="checkbox"/> Para información       |  |  |
|               | <input type="checkbox"/> Por calificar          |  |  |

ANEXO IV  
ANÁLISIS DE LABORATORIO – MUESTRA IV



**UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA**  
DEPARTAMENTO DE PETRÓLEOS, ENERGÍA Y CONTAMINACIÓN



**INFORME DE RESULTADOS**  
**PETRÓLEO**

Informe No: 11-12-05-P-4  
Fecha: 2012-01-05

**Referencia:** OT:11-12-05-P  
**Empresa:** DIEGO ROBALINO  
**Atención:** Ing. Luis Luzuriaga  
**Dirección:** Tumbaco, Urbanización Los Algarrobos, Lote 5  
**Tipo de ensayos:** Físico químicos  
**Tipo de muestra:** Thiñer  
**Identificación de la muestra:** Thiñer 4 14-12-2011  
**Descripción de la Muestra:** Sin descripción específica  
**Fecha de ingreso de muestra:** 14-10-2011  
**Código de la muestra:** OE-11-12-05-P-4  
**Fecha de realización de ensayos:** 19-11-2011

| DETERMINACIÓN                   | UNIDADES  | MÉTODO         | RESULTADO       |
|---------------------------------|---|----------------|-----------------|
| Corrosión a la lámina de cobre* | U corrosión                                     | ASTM D130      | sin indiscencia |
| Color*                          | APHA (escala platino-cobalto)                   | APHA           | 5               |
| Acidez*                         | % (m/m)   | Método Interno | 0.02            |
| Contenido de Humedad*           | % (m/m)   | Karl Fischer   | 2.68            |
| Olor                            | Papel filtro sin olor residual luego de 2 horas |                |                 |

**NOTA 1:** Los ensayos marcados con (\*) no están incluidos en el alcance de acreditación del OAE.  
**Condiciones Ambientales.** - Presión: 544.2 mm Hg; Temperatura: 21.8 °C.

Realizado por WRL

Revisado por

RESPONSABLE TÉCNICO



Aprobado por

Ing. Gilberto Moya Br. Dpl.  
DIRECTOR DEL LAB DEL DPEC

**ADVERTENCIA:** EL USUARIO DEBE EXIGIR EL ORIGINAL. EL DPEC NO SE RESPONSABILIZA POR DOCUMENTOS FOTOCOPIADOS.

Dirección: Francisco Viteri s/n y Gilberto Gato Sobral Teléfono: 2904794 / 2544631 ext. 26 Fax: 2529676 E-mail: [dpec@ing.uce.edu.ec](mailto:dpec@ing.uce.edu.ec)  
QUITO - ECUADOR

MC2201-P01-5

Hoja 4 de 4

|        |   |  |  |
|--------|---|--|--|
| NOTAS: | Categoría del diagrama                          | ESCUELA SUPERIOR<br>POLITECNICA DE<br>CHIMBORAZO<br>FACULTAD DE CIECIAS<br>ESCUELA DE<br>INGENIERIAQUIMICA<br>DIEGO F. ROBALINO C. | ANÁLISIS DE<br>LABORATORIO –<br>MUESTRA IV |
|        | <input type="checkbox"/> Certificado            |  | Lámina: 4 A                                |
|        | <input checked="" type="checkbox"/> Por aprobar |  | Escala: Normal                             |
|        | <input type="checkbox"/> Aprobado               |  | Fecha: Enero-2012                          |
|        | <input type="checkbox"/> Para información       |  |  |
|        | <input type="checkbox"/> Por calificar          |  |  |



## INSTITUTO ECUATORIANO DE NORMALIZACIÓN

Quito - Ecuador

---

**NORMA TÉCNICA ECUATORIANA      NTE INEN 2 163:99**

---

### SOLVENTES, ADELGAZADORES (THINNER). REQUISITOS.

**Primera Edición**

SOLVENTS, THINNER, SPECIFICATIONS.

First Edition

---

DESCRIPTORES: Adelgazadores, solventes, pinturas, lacas, esmaltes, thinner, requisitos.  
GU: 04-04-402  
CDU: 667.629  
CIU: 3511  
IGB: 67.060.30

|   |   |  |   |
|---|---|--|---|
| NOTAS:                                    | Categoría del diagrama                          | ESCUELA SUPERIOR<br>POLITECNICA DE<br>CHIMBORAZO<br>FACULTAD DE CIECIAS<br>ESCUELA DE<br>INGENIERIAQUIMICA<br>DIEGO F. ROBALINO C. | SOLVENTES,<br>ADELGAZADORES<br>(THINNER).<br>REQUISITOS |
|   | <input type="checkbox"/> Certificado            |  | Lámina: 5B  |
|   | <input checked="" type="checkbox"/> Por aprobar |  | Escala: Normal  |
|   | <input type="checkbox"/> Aprobado               |  | Fecha: Enero-2012                                       |
| <input type="checkbox"/> Para información |   |  |   |
| <input type="checkbox"/> Por calificar    |   |  |   |

|  |  |  |
|--|--|--|
| <b>Norma Técnica<br/>Ecuatoriana<br/>Obligatoria</b> | <b>SOLVENTES,<br/>ADELGAZADORES (THINNER),<br/>REQUISITOS.</b> | <b>NTE INEN<br/>2 163:99<br/>1999-09</b> |
|--|--|--|

### 1. OBJETO

1.1 Esta norma establece los requisitos que deben cumplir los adelgazadores (THINNER) empleados para disolver, diluir o adelgazar pinturas o productos afines.

### 2. DEFINICIONES

2.1 **Adelgazador (Thinner).** Es un líquido homogéneo, volátil, transparente, formado por una mezcla balanceada de disolventes, diluyentes y cosolventes, de tal forma que sea capaz de llevar la viscosidad original de los productos a la viscosidad de aplicación recomendada por el fabricante, y que permita aplicarlos sin afectar la funcionalidad de los mismos.

2.2 **Cosolvente.** Es un líquido orgánico, generalmente un alcohol, que, en combinación con un solvente activo, ayuda a disolver la resina.

2.3 **Solvente activo (Disolvente).** Es un líquido generalmente volátil, que se usa en la fabricación de la pintura para disolver o dispersar los constituyentes formadores de la película; se evapora durante el secado, de modo que no viene a ser parte de la película seca. Los solventes se usan para controlar la consistencia y carácter del acabado, y para regular las propiedades de aplicación.

2.4 **Solvente latente o diluyente.** Es un líquido volátil que, no siendo un disolvente para los constituyentes no volátiles de un barniz o laca, puede todavía usarse, hasta cierta proporción, en unión con el verdadero disolvente, sin causar precipitación.

### 3. DISPOSICIONES GENERALES

3.1 Los adelgazadores (THINNER) deben ser líquidos transparentes, estar libres de partículas en suspensión y no deben presentar sedimentos ni separación de componentes.

3.2 Deben disolver completamente la pintura o producto afín para la cual se recomienda. No deben presentar incompatibilidad de ninguna especie cuando se mezclen con las pinturas o productos afines en las proporciones indicadas por el fabricante o las acordadas entre las partes.

### 4. REQUISITOS

#### 4.1 Requisitos específicos

4.1.1 Los adelgazadores (THINNER) deben cumplir con los requisitos establecidos en la tabla 1.

**TABLA 1. Requisitos de los adelgazadores (THINNER)**

| REQUISITOS                                 | UNIDAD                        | MÍNIMO | MÁXIMO | MÉTODO DE ENSAYO |
|--|-------------------------------|--------|--------|------------------|
| Acidez libre, expresada como ácido acético | % (m/m)                       | -      | 0,02   | NTE INEN 2 152   |
| Contenido de humedad                       | % (m/m)                       | -      | 2,7    | NTE INEN 2 154   |
| Color                                      | APHA (Escala Platino-Cobalto) | -      | 5      | NTE INEN 2 155   |

(Continúa)

DESCRIPTORES: Adelgazadores, solventes, pinturas, lacas, esmaltes, thinner, requisitos.

|        |   |  |   |
|--------|---|--|---|
| NOTAS: | Categoría del diagrama                          | ESCUELA SUPERIOR<br>POLITECNICA DE<br>CHIMBORAZO<br>FACULTAD DE CIECIAS<br>ESCUELA DE<br>INGENIERIAQUIMICA<br>DIEGO F. ROBALINO C. | SOLVENTES,<br>ADELGAZADORES<br>(THINNER),<br>REQUISITOS |
|        | <input type="checkbox"/> Certificado            |  | Lámina: 6 B   |
|        | <input checked="" type="checkbox"/> Por aprobar |  | Escala: Normal  |
|        | <input type="checkbox"/> Aprobado               |  | Fecha: Enero-2012                                       |
|        | <input type="checkbox"/> Para información       |  |   |
|        | <input type="checkbox"/> Por calificar          |  |   |

**4.1.2 Corrosión al cobre.** Cuando el Thinner se ensaye de acuerdo a la NTE INEN 2 161, la tira no debe presentar iridiscencia o decoloración, ni un depósito gris o negro.

**4.1.3 Olor.** No deben tener olor residual sobre papel de filtro, después de 2 horas de secado al aire.

**4.1.4** En la elaboración de los adelgazadores (THINNER) no deben emplearse benceno (benzol), metanol ni compuestos clorados.

**4.1.4.1** Sólo se permitirán las siguientes cantidades provenientes de las impurezas de las materias primas.

| REQUISITOS          | UNIDAD  | MÍNIMO | MÁXIMO |
|---------------------|---------|--------|--------|
| Benceno (benzol)    | % (m/m) | -      | 1      |
| Metanol             | % (m/m) | -      | 1      |
| Compuestos clorados | % (m/m) | -      | 0,05   |

**4.1.4.2** Mientras se elaboren las NTE INEN para la determinación de benzol, metanol y compuestos clorados, se recomienda efectuarlas por Cromatografía.

## 5. INSPECCIÓN

### 5.1 Muestreo

**5.1.1** El muestreo debe realizarse de acuerdo a la NTE INEN 999

### 5.2 Aceptación o rechazo

**5.2.1** En la muestra extraída se efectuarán los ensayos indicados en el numeral 4 de esta norma.

**5.2.2** Si la muestra ensayada no cumple con uno o más de los requisitos establecidos en el numeral 4 de esta norma, se extraerá una segunda muestra y se repetirán los ensayos.

**5.2.3** Si la segunda muestra no cumpliere con uno de los requisitos establecidos, se rechazará el lote correspondiente.

## 6. ENVASADO Y EMBALADO

**6.1** Los adelgazadores (THINNER) deben envasarse en recipientes de material adecuado e inerte a la acción del producto y que permitan conservar su calidad y su manejo hasta el destino final.

## 7. ETIQUETADO

**7.1** El envase debe presentar una etiqueta perfectamente legible e indeleble que incluya la siguiente información:

- razón social del fabricante y marca comercial,
- denominación del producto, "Thinner",
- contenido neto en centímetros cúbicos o litros,
- identificación del lote de producción,
- nombre y dirección del fabricante,
- NTE INEN de referencia.

(Continúa)

|        |   |  |   |
|--------|---|--|---|
| NOTAS: | Categoría del diagrama                          | ESCUELA SUPERIOR<br>POLITECNICA DE<br>CHIMBORAZO<br>FACULTAD DE CIECIAS<br>ESCUELA DE<br>INGENIERIAQUIMICA<br>DIEGO F. ROBALINO C. | SOLVENTES,<br>ADELGAZADORES<br>(THINNER).<br>REQUISITOS |
|        | <input type="checkbox"/> Certificado            |  | Lámina: 7B  |
|        | <input checked="" type="checkbox"/> Por aprobar |  | Escala: Normal  |
|        | <input type="checkbox"/> Aprobado               |  | Fecha: Enero-2012                                       |
|        | <input type="checkbox"/> Para información       |  |   |
|        | <input type="checkbox"/> Por calificar          |  |   |

- g) la leyenda "Industria Ecuatoriana",
- h) precauciones o toxicidad del producto,
- i) las demás especificaciones exigidas por ley.

**7.2** La etiqueta no debe presentar leyendas de significado ambiguo ni descripción de características del producto que no puedan comprobarse debidamente.

**7.3** La comercialización de este producto cumplirá con lo dispuesto en las Regulaciones y Resoluciones dictadas con sujeción a la Ley de Pesas y Medidas.

(Continúa)

|        |   |  |   |
|--------|---|--|---|
| NOTAS: | Categoría del diagrama<br><input type="checkbox"/> Certificado<br><input checked="" type="checkbox"/> Por aprobar<br><input type="checkbox"/> Aprobado<br><input type="checkbox"/> Para información<br><input type="checkbox"/> Por calificar | ESCUELA SUPERIOR<br>POLITECNICA DE<br>CHIMBORAZO<br>FACULTAD DE CIECIAS<br>ESCUELA DE<br>INGENIERIAQUIMICA<br>DIEGO F. ROBALINO C. | SOLVENTES.<br>ADELGAZADORES<br>(THINNER).<br>REQUISITOS |
|        |   |  | Lámina: 8 B   |
|        |   |  | Escala: Normal  |
|        |   |  | Fecha: Enero-2012                                       |

## APÉNDICE Z

## Z.1 DOCUMENTOS NORMATIVOS A CONSULTAR

|   |  |
|---|--|
| Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 999:1963   | Pinturas y barnices. Muestreo.                     |
| Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 2 152:1997 | Solventes. Determinación de la acidez.             |
| Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 2 154:1997 | Solventes. Determinación de la humedad.            |
| Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 2 155:1997 | Solventes. Determinación del color en escala APHA. |
| Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 2 161:1997 | Solventes. Determinación de la corrosión al cobre. |

## Z.2 BASES DE ESTUDIO

Norma venezolana COVENIN 3114 *Adelgazadores (THINNERS) para productos nitrocelulósicos*. Comisión Venezolana de Normas Industriales. Caracas, 1994.

Norma colombiana ICONTEC 1102 *Pinturas y productos afines. Adelgazadores (THINNER)* Instituto Colombiano de Normas Técnicas. Bogotá, 1985.

Norma argentina IRAM 1095 *Disolventes para lacas de nitrocelulosa*. Instituto Argentino de Racionalización de Materiales. Buenos Aires, 1982.

|        |   |   |   |
|--------|---|---|---|
| NOTAS: | Categoría del diagrama  | ESCUELA SUPERIOR<br>POLITECNICA DE<br>CHIMBORAZO<br>FACULTAD DE CIENCIAS<br>ESCUELA DE<br>INGENIERIAQUIMICA<br>DIEGO F. ROBALINO C. | SOLVENTES.<br>ADELGAZADORES<br>(THINNER).<br>REQUISITOS |
|        | <input type="checkbox"/> Certificado<br><input checked="" type="checkbox"/> Por aprobar<br><input type="checkbox"/> Aprobado<br><input type="checkbox"/> Para información<br><input type="checkbox"/> Por calificar |   | Lámina: 9B  |
|        |   |   | Escala: Normal  |
|        |   |   | Fecha: Enero-2012                                       |

### INFORMACIÓN COMPLEMENTARIA

|  |  |  |                             |
|--|--|--|-----------------------------|
| <b>Documento:</b> NTE INEN 2 163                                   |  | <b>TÍTULO: SOLVENTES, ADELGAZADORES (THINNER). REQUISITOS.</b>   | <b>Código:</b> QU 04.04-402 |
| <b>ORIGINAL:</b><br>Fecha de iniciación del estudio:<br>1994-03-11 |  | <b>REVISIÓN:</b><br>Fecha de aprobación anterior por Consejo Directivo<br>Oficialización por Acuerdo No. de<br>publicado en el Registro Oficial No. de<br><br>Fecha de iniciación del estudio: |                             |
| Fechas de consulta pública: de _____ a _____                       |  |  |                             |

Subcomité Técnico: **SOLVENTES**  
 Fecha de iniciación: 1996-11-21  
 Integrantes del Subcomité Técnico:

Fecha de aprobación: 1997-04-10

**NOMBRES:**

**INSTITUCIÓN REPRESENTADA:**

Ing. Edison Bohórquez (Presidente)  
 Ing. Milton Avilés  
 Dr. Byron Cajas  
 Dr. Fabián Orellana  
 Ing. Xavier Villacís  
 Ing. Juan Jaramillo  
 Ing. Samuel Sánchez  
 Ing. Hugo Salazar  
 Ing. Héctor Benítez  
 Quím. Ind. Juan Méndez  
 Ing. Walter Rothembach  
 Ing. Jorge Dávila  
 Ing. Erick Albornoz  
 Sr. Gustavo Argoti  
 Ing. Jimmy Orellana  
 Ing. Eduardo Benalcázar  
 Ing. César Alvarado  
  
 Ing. Ivan Acevedo  
  
 Ing. César Jara (Secretario Técnico)

PINTURAS CÓNDOR  
 MICIP  
 PINTURAS CÓNDOR  
 PINTURAS CÓNDOR  
 PINTURAS UNIDAS  
 PINTURAS UNIDAS  
 PINTUQUIMICA  
 PINTURAS WESCO  
 PINTURAS SHERWIN WILLIAMS  
 PINTURAS SUPERIOR  
 PROQUIMSA  
 CODA  
 CEPISA  
 INDUSTRIALCA  
 INDUSTRIAS QUÍMICAS ALFA  
 SOLVINI  
 UNIVERSIDAD CENTRAL - INGENIERÍA  
 QUÍMICA  
 DIRECCIÓN NACIONAL DE  
 HIDROCARBUROS  
 INEN

Otros trámites:

**CARÁCTER:** Se recomienda su aprobación como: OBLIGATORIA

Aprobación por Consejo Directivo en sesión de 1999-06-04 como: Obligatoria  
 Oficializada como: Obligatoria  
 Por Acuerdo Ministerial No. 990308 de 1999-09-01  
 Registro Oficial No. 277 de 1999-09-15

|               |  |  |  |
|---------------|--|--|--|
| <b>NOTAS:</b> | <b>Categoría del diagrama</b><br><input type="checkbox"/> Certificado<br><input checked="" type="checkbox"/> Por aprobar<br><input type="checkbox"/> Aprobado<br><input type="checkbox"/> Para información<br><input type="checkbox"/> Por calificar | ESCUELA SUPERIOR<br>POLITECNICA DE<br>CHIMBORAZO<br>FACULTAD DE CIECIAS<br>ESCUELA DE<br>INGENIERIAQUIMICA<br>DIEGO F. ROBALINO C. | SOLVENTES.<br>ADELGAZADORES<br>(THINNER).<br>REQUISITOS<br><hr/> Lámina: 10 B<br><hr/> Escala: Normal<br><hr/> Fecha: Enero-2012 |
|---------------|--|--|--|



Instituto Ecuatoriano de Normalización, INEN - Baquerizo Moreno EB-29 y Av. 6 de Diciembre  
 Casilla 17-01-3999 - Telfs: (593 2) 2 501885 al 2 501891 - Fax: (593 2) 2 567815  
 Dirección General: E.Mail:furresta@inen.gov.ec  
 Área Técnica de Normalización: E.Mail:normalizacion@inen.gov.ec  
 Área Técnica de Certificación: E.Mail:certificacion@inen.gov.ec  
 Área Técnica de Verificación: E.Mail:verificacion@inen.gov.ec  
 Área Técnica de Servicios Tecnológicos: E.Mail:inencati@inen.gov.ec  
 Regional Guayas: E.Mail:inenguayas@inen.gov.ec  
 Regional Azuay: E.Mail:inencuenca@inen.gov.ec  
 Regional Chimborazo: E.Mail:inenciobamba@inen.gov.ec  
 URL: www.inen.gov.ec

|        |   |  |   |
|--------|---|--|---|
| NOTAS: | Categoría del diagrama  | ESCUELA SUPERIOR<br>POLITECNICA DE<br>CHIMBORAZO<br>FACULTAD DE CIECIAS<br>ESCUELA DE<br>INGENIERIAQUIMICA<br>DIEGO F. ROBALINO C. | SOLVENTES,<br>ADELGAZADORES<br>(THINNER).<br>REQUISITOS |
|        | <input type="checkbox"/> Certificado<br><input checked="" type="checkbox"/> Por aprobar |  | Lámina: 11 B  |
|        | <input type="checkbox"/> Aprobado<br><input type="checkbox"/> Para información          |  | Escala: Normal  |
|        | <input type="checkbox"/> Por calificar  |  | Fecha: Enero-2012                                       |

## ANEXO VI CALORES DE VAPORIZACIÓN DE COMPUESTOS ORGÁNICOS

CALORES LATENTES 3-163

Tabla 3-172. Calores de vaporización de compuestos orgánicos

Los valores para los hidrocarburos proceden de las tablas del American Petroleum Institute Research, Project 44, en el National Bureau of Standards.  
Los valores para los que no son hidrocarburos fueron recalculados a partir de los datos de "International Critical Tables, vol. 5."

| Hidrocarburos                                | Fórmula                         | Temperatura, °C. | $\Delta H_v$ , cal./g. |
|--|---------------------------------|------------------|------------------------|
| <b>Parafinas:</b>                            |                                 |                  |                        |
| Metano . . . . .                             | CH <sub>4</sub>                 | -161.6           | 121.87                 |
| Etano . . . . .                              | C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>   | -88.9            | 116.87                 |
| Propano . . . . .                            | C <sub>3</sub> H <sub>8</sub>   | -42.1            | 81.76                  |
| n-Butano . . . . .                           | C <sub>4</sub> H <sub>10</sub>  | 25               | 101.76                 |
| 2-Metilpropano (isobutano) . . . . .         | C <sub>4</sub> H <sub>10</sub>  | -0.50            | 86.63                  |
| n-Pentano . . . . .                          | C <sub>5</sub> H <sub>12</sub>  | 25               | 92.09                  |
| 2-Metilbutano (isopentano) . . . . .         | C <sub>5</sub> H <sub>12</sub>  | -11.72           | 78.63                  |
| 2,2-Dimetilpropano (neopentano) . . . . .    | C <sub>5</sub> H <sub>12</sub>  | 62.08            | 87.36                  |
| n-Hexano . . . . .                           | C <sub>6</sub> H <sub>14</sub>  | 25               | 87.54                  |
| 2-Metilpentano . . . . .                     | C <sub>6</sub> H <sub>14</sub>  | 54.08            | 85.38                  |
| 3-Metilpentano . . . . .                     | C <sub>6</sub> H <sub>14</sub>  | 27.86            | 81.47                  |
| 2,2-Dimetilbutano . . . . .                  | C <sub>6</sub> H <sub>14</sub>  | 25               | 77.15                  |
| n-Heptano . . . . .                          | C <sub>7</sub> H <sub>16</sub>  | 25               | 75.37                  |
| 2-Metilhexano . . . . .                      | C <sub>7</sub> H <sub>16</sub>  | 55               | 87.50                  |
| 3-Metilhexano . . . . .                      | C <sub>7</sub> H <sub>16</sub>  | 66.74            | 80.48                  |
| 4-Metilhexano . . . . .                      | C <sub>7</sub> H <sub>16</sub>  | 27               | 82.83                  |
| 2,2-Dimetilpentano . . . . .                 | C <sub>7</sub> H <sub>16</sub>  | 60.27            | 76.09                  |
| 3-Metilpentano . . . . .                     | C <sub>7</sub> H <sub>16</sub>  | 25               | 83.90                  |
| 2,2-Dimetilbutano . . . . .                  | C <sub>7</sub> H <sub>16</sub>  | 63.28            | 78.42                  |
| 2,3-Dimetilbutano . . . . .                  | C <sub>7</sub> H <sub>16</sub>  | 25               | 76.79                  |
| n-Octano . . . . .                           | C <sub>8</sub> H <sub>18</sub>  | 49.74            | 71.75                  |
| 2-Metilheptano . . . . .                     | C <sub>8</sub> H <sub>18</sub>  | 55               | 80.63                  |
| 3-Metilheptano . . . . .                     | C <sub>8</sub> H <sub>18</sub>  | 57.99            | 81.19                  |
| 4-Metilheptano . . . . .                     | C <sub>8</sub> H <sub>18</sub>  | 48.43            | 76.45                  |
| 2,2-Dimetilhexano . . . . .                  | C <sub>8</sub> H <sub>18</sub>  | 25               | 85.02                  |
| 3-Metilhexano . . . . .                      | C <sub>8</sub> H <sub>18</sub>  | 90.05            | 75.4                   |
| 4-Metilhexano . . . . .                      | C <sub>8</sub> H <sub>18</sub>  | 25               | 85.68                  |
| 5-Etilpentano . . . . .                      | C <sub>8</sub> H <sub>18</sub>  | 91.95            | 74.1                   |
| 2,2-Dimetilpentano . . . . .                 | C <sub>8</sub> H <sub>18</sub>  | 25               | 84.02                  |
| 2,3-Dimetilpentano . . . . .                 | C <sub>8</sub> H <sub>18</sub>  | 25               | 74.3                   |
| 2,4-Difetilpentano . . . . .                 | C <sub>8</sub> H <sub>18</sub>  | 25               | 77.36                  |
| 3,3-Dimetilpentano . . . . .                 | C <sub>8</sub> H <sub>18</sub>  | 79.20            | 69.7                   |
| 2,2,3-Trimetilbutano . . . . .               | C <sub>8</sub> H <sub>18</sub>  | 25               | 81.68                  |
| n-Nonano . . . . .                           | C <sub>9</sub> H <sub>20</sub>  | 89.79            | 72.9                   |
| 2-Metilheptano . . . . .                     | C <sub>9</sub> H <sub>20</sub>  | 25               | 78.44                  |
| 3-Metilheptano . . . . .                     | C <sub>9</sub> H <sub>20</sub>  | 80.51            | 70.9                   |
| 4-Metilheptano . . . . .                     | C <sub>9</sub> H <sub>20</sub>  | 25               | 78.76                  |
| 2,2,3-Trimetilbutano . . . . .               | C <sub>9</sub> H <sub>20</sub>  | 86.06            | 70.6                   |
| n-Decano . . . . .                           | C <sub>10</sub> H <sub>22</sub> | 25               | 76.42                  |
| 2-Metilheptano . . . . .                     | C <sub>10</sub> H <sub>22</sub> | 80.88            | 66.42                  |
| 3-Metilheptano . . . . .                     | C <sub>10</sub> H <sub>22</sub> | 25               | 86.80                  |
| 4-Metilheptano . . . . .                     | C <sub>10</sub> H <sub>22</sub> | 123.66           | 75.19                  |
| 2,2-Dimetilhexano . . . . .                  | C <sub>10</sub> H <sub>22</sub> | 55               | 85.02                  |
| 3-Metilhexano . . . . .                      | C <sub>10</sub> H <sub>22</sub> | 117.64           | 70.3                   |
| 4-Metilhexano . . . . .                      | C <sub>10</sub> H <sub>22</sub> | 25               | 85.55                  |
| 5-Etilhexano . . . . .                       | C <sub>10</sub> H <sub>22</sub> | 118.92           | 65.3                   |
| 2,2-Dimetilpentano . . . . .                 | C <sub>10</sub> H <sub>22</sub> | 25               | 81.31                  |
| 2,3-Dimetilpentano . . . . .                 | C <sub>10</sub> H <sub>22</sub> | 175.71           | 70.91                  |
| 2,4-Dimetilpentano . . . . .                 | C <sub>10</sub> H <sub>22</sub> | 25               | 83.55                  |
| 2,5-Dimetilpentano . . . . .                 | C <sub>10</sub> H <sub>22</sub> | 110.53           | 71.7                   |
| 3,3-Dimetilpentano . . . . .                 | C <sub>10</sub> H <sub>22</sub> | 25               | 78.02                  |
| 3,4-Dimetilpentano . . . . .                 | C <sub>10</sub> H <sub>22</sub> | 106.84           | 67.7                   |
| 4,4-Dimetilpentano . . . . .                 | C <sub>10</sub> H <sub>22</sub> | 25               | 81.17                  |
| 2,2,3-Trimetilbutano . . . . .               | C <sub>10</sub> H <sub>22</sub> | 115.60           | 70.02                  |
| 2,3,3-Trimetilbutano . . . . .               | C <sub>10</sub> H <sub>22</sub> | 25               | 86.5                   |
| 2,3,4-Trimetilbutano . . . . .               | C <sub>10</sub> H <sub>22</sub> | 109.43           | 79.24                  |
| 2,2,4-Trimetilbutano . . . . .               | C <sub>10</sub> H <sub>22</sub> | 25               | 86.6                   |
| 2,2,5-Trimetilbutano . . . . .               | C <sub>10</sub> H <sub>22</sub> | 109.10           | 76.34                  |
| 2,3,4-Trimetilbutano . . . . .               | C <sub>10</sub> H <sub>22</sub> | 25               | 81.3                   |
| 2,3,5-Trimetilbutano . . . . .               | C <sub>10</sub> H <sub>22</sub> | 111.97           | 68.35                  |
| 2,3,6-Trimetilbutano . . . . .               | C <sub>10</sub> H <sub>22</sub> | 25               | 79.24                  |
| 2,3,7-Trimetilbutano . . . . .               | C <sub>10</sub> H <sub>22</sub> | 117.72           | 70.0                   |
| 2,3,8-Trimetilbutano . . . . .               | C <sub>10</sub> H <sub>22</sub> | 25               | 80.60                  |
| 2,3,9-Trimetilbutano . . . . .               | C <sub>10</sub> H <sub>22</sub> | 115.63           | 69.7                   |
| 2,3,10-Trimetilbutano . . . . .              | C <sub>10</sub> H <sub>22</sub> | 25               | 79.49                  |
| 2,3,11-Trimetilbutano . . . . .              | C <sub>10</sub> H <sub>22</sub> | 118.26           | 69.3                   |
| 2,3,12-Trimetilbutano . . . . .              | C <sub>10</sub> H <sub>22</sub> | 25               | 77.34                  |
| 2,2,3,3-Tetrametilbutano . . . . .           | C <sub>10</sub> H <sub>22</sub> | 109.84           | 81.50                  |
| 2,2,3,4-Tetrametilbutano . . . . .           | C <sub>10</sub> H <sub>22</sub> | 25               | 75.50                  |
| 2,2,3,5-Tetrametilbutano . . . . .           | C <sub>10</sub> H <sub>22</sub> | 90.24            | 64.87                  |
| 2,2,3,6-Tetrametilbutano . . . . .           | C <sub>10</sub> H <sub>22</sub> | 25               | 72.87                  |
| 2,2,3,7-Tetrametilbutano . . . . .           | C <sub>10</sub> H <sub>22</sub> | 114.76           | 68.1                   |
| 2,2,3,8-Tetrametilbutano . . . . .           | C <sub>10</sub> H <sub>22</sub> | 25               | 78.90                  |
| 2,2,3,9-Tetrametilbutano . . . . .           | C <sub>10</sub> H <sub>22</sub> | 113.47           | 68.37                  |
| 2,2,3,10-Tetrametilbutano . . . . .          | C <sub>10</sub> H <sub>22</sub> | 106.30           | 66.2                   |
| <b>Bencenos alquílicos:</b>                  |                                 |                  |                        |
| Benceno . . . . .                            | C <sub>6</sub> H <sub>6</sub>   | 55               | 103.57                 |
| Metilbenceno (tolueno) . . . . .             | C <sub>7</sub> H <sub>8</sub>   | 80.10            | 94.14                  |
| Etilbenceno . . . . .                        | C <sub>8</sub> H <sub>10</sub>  | 55               | 98.55                  |
| 1,2-Dimetilbenceno (o-xileno) . . . . .      | C <sub>8</sub> H <sub>10</sub>  | 110.62           | 86.8                   |
| 1,3-Dimetilbenceno (m-xileno) . . . . .      | C <sub>8</sub> H <sub>10</sub>  | 25               | 95.11                  |
| 1,4-Dimetilbenceno (p-xileno) . . . . .      | C <sub>8</sub> H <sub>10</sub>  | 136.19           | 81.0                   |
| 1,2,3-Trimetilbenceno (mesitileno) . . . . . | C <sub>9</sub> H <sub>12</sub>  | 25               | 97.79                  |
| 1,2,4-Trimetilbenceno (xileno) . . . . .     | C <sub>9</sub> H <sub>12</sub>  | 144.42           | 82.9                   |

|        |                        |   |  |
|--------|------------------------|---|--|
| NOTAS: | Categoría del diagrama | ESCUELA SUPERIOR<br>POLITECNICA DE<br>CHIMBORAZO<br>FACULTAD DE CIENCIAS<br>ESCUELA DE<br>INGENIERIAQUIMICA<br>DIEGO F. ROBALINO C. | CALORES DE<br>VAPORIZACIÓN DE<br>COMPUESTOS<br>ORGANICOS |
|        | — Certificado          |   | Lámina: 12C  |
|        | <u>X</u> Por aprobar   |   | Escala: Normal   |
|        | — Aprobado             |   | Fecha: Enero-2012  |
|        | — Para información     |   |  |
|        | — Por calificar        |   |  |

Tabla 3-172. Calores de vaporización de compuestos orgánicos

Los valores para los hidrocarburos proceden de las tablas del American Petroleum Institute Research, Project 44, en el National Bureau of Standards.  
 Los valores para los que no son hidrocarburos fueron recalculados a partir de los datos de "International Critical Tables, vol. 3."

| Hidrocarburo                    | Fórmula     | Temperatura, $T_Q$ | $\Delta H_Q$ , cal./g |
|---------------------------------|-------------|--------------------|-----------------------|
| <b>Parafinas:</b>               |             |                    |                       |
| Metano                          | $CH_4$      | -161.4             | 121.87                |
| Etano                           | $C_2H_6$    | -88.9              | 110.87                |
| Propano                         | $C_3H_8$    | -42.1              | 81.16                 |
| n-Butano                        | $C_4H_{10}$ | -0.50              | 50.29                 |
| 1-Metilpropano (isobutano)      | $C_4H_{10}$ | -11.72             | 50.05                 |
| n-Pentano                       | $C_5H_{12}$ | 30.08              | 47.84                 |
| 2-Metilbutano (isopentano)      | $C_5H_{12}$ | 27.86              | 45.36                 |
| 2,2-Dimetilpropano (neopentano) | $C_5H_{12}$ | 2.45               | 41.07                 |
| n-Hexano                        | $C_6H_{14}$ | 48.74              | 41.50                 |
| 1-Metilpentano                  | $C_6H_{14}$ | 46.74              | 41.83                 |
| 2-Metilpentano                  | $C_6H_{14}$ | 40.27              | 39.89                 |
| 2,2-Dimetilbutano               | $C_6H_{14}$ | 25.28              | 35.50                 |
| 2,3-Dimetilbutano               | $C_6H_{14}$ | 44.74              | 34.75                 |
| 2,3-Dimetilbutano               | $C_6H_{14}$ | 25.90              | 31.55                 |
| n-Heptano                       | $C_7H_{16}$ | 68.43              | 31.19                 |
| 1-Metilhexano                   | $C_7H_{16}$ | 67.03              | 29.45                 |
| 2-Metilhexano                   | $C_7H_{16}$ | 61.95              | 27.10                 |
| 3-Metilhexano                   | $C_7H_{16}$ | 61.95              | 25.68                 |
| 4-Etilpentano                   | $C_7H_{16}$ | 55.47              | 24.1                  |
| 2,2-Dimetilpentano              | $C_7H_{16}$ | 51.21              | 22.36                 |
| 2,3-Dimetilpentano              | $C_7H_{16}$ | 70.20              | 20.7                  |
| 2,4-Dimetilpentano              | $C_7H_{16}$ | 65.23              | 18.98                 |
| 3,3-Dimetilpentano              | $C_7H_{16}$ | 60.51              | 17.2                  |
| 2,2,3-Trimetilbutano            | $C_7H_{16}$ | 60.06              | 15.4                  |
| n-Octano                        | $C_8H_{18}$ | 87.88              | 15.2                  |
| 1-Metilheptano                  | $C_8H_{18}$ | 82.66              | 13.45                 |
| 2-Metilheptano                  | $C_8H_{18}$ | 77.04              | 11.7                  |
| 3-Metilheptano                  | $C_8H_{18}$ | 76.92              | 10.9                  |
| 4-Metilheptano                  | $C_8H_{18}$ | 71.71              | 9.1                   |
| 5-Etilhexano                    | $C_8H_{18}$ | 71.53              | 7.3                   |
| 2,2-Dimetilhexano               | $C_8H_{18}$ | 66.04              | 5.5                   |
| 2,3-Dimetilhexano               | $C_8H_{18}$ | 65.60              | 3.7                   |
| 2,4-Dimetilhexano               | $C_8H_{18}$ | 60.40              | 1.9                   |
| 2,5-Dimetilhexano               | $C_8H_{18}$ | 59.45              | 0.2                   |
| 3,3-Dimetilhexano               | $C_8H_{18}$ | 59.10              | -1.5                  |
| 3,4-Dimetilhexano               | $C_8H_{18}$ | 53.97              | -3.2                  |
| 3,4-Dimetilhexano               | $C_8H_{18}$ | 53.72              | -4.9                  |
| 2-Metil-3-etilpentano           | $C_8H_{18}$ | 48.25              | -6.6                  |
| 3-Metil-3-etilpentano           | $C_8H_{18}$ | 43.05              | -8.3                  |
| 2,2,3-Trimetilpentano           | $C_8H_{18}$ | 37.84              | -10.0                 |
| 2,2,4-Trimetilpentano           | $C_8H_{18}$ | 35.24              | -11.7                 |
| 2,3,3-Trimetilpentano           | $C_8H_{18}$ | 25.75              | -13.4                 |
| 2,3,4-Trimetilpentano           | $C_8H_{18}$ | 14.76              | -15.1                 |
| 2,2,3,3-Tetrametilbutano        | $C_8H_{18}$ | 13.47              | -16.8                 |
| 2,2,3,3-Tetrametilbutano        | $C_8H_{18}$ | 10.30              | -18.5                 |
| <b>Bencenos alquílicos:</b>     |             |                    |                       |
| Benceno                         | $C_6H_6$    | 55                 | 103.57                |
| Metilbenceno (tolueno)          | $C_7H_8$    | 30.10              | 28.14                 |
| Etilbenceno                     | $C_8H_{10}$ | 15                 | 26.35                 |
| Etilbenceno                     | $C_8H_{10}$ | 110.62             | 24.5                  |
| Etilbenceno                     | $C_8H_{10}$ | 35                 | 22.7                  |
| 1,2-Dimetilbenceno (o-xileno)   | $C_8H_{10}$ | 25                 | 20.9                  |
| 1,2-Dimetilbenceno (o-xileno)   | $C_8H_{10}$ | 144.42             | 19.1                  |

|        |   |   |   |
|--------|---|---|---|
| NOTAS: | Categoría del diagrama  | ESCUELA SUPERIOR<br>POLITECNICA DE<br>CHIMBORAZO<br>FACULTAD DE CECIAS<br>ESCUELA DE<br>INGENIERIAQUIMICA<br>DIEGO F. ROBALINO C. | CALORES DE VAPORIZACIÓN DE COMPUESTOS ORGÁNICOS |
|        | <input type="checkbox"/> Certificado<br><input checked="" type="checkbox"/> Por aprobar<br><input type="checkbox"/> Aprobado<br><input type="checkbox"/> Para información<br><input type="checkbox"/> Por calificar |   | Lámina: 13 C                                    |
|        |   |   | Escala: Normal                                  |
|        |   |   | Fecha: Enero-2012                               |

Tabla 3 172. Calores de vaporización de compuestos orgánicos — (Continuación)

| No hidrocarburos                        | Fórmula   | Temperatura, °C. | ΔH <sub>v</sub> , cal./g |
|---|---|------------------|--------------------------|
| Amilamina (n)                           | C <sub>5</sub> H <sub>11</sub> N                              | 95               | 88.67                    |
| Amileno                                 | C <sub>5</sub> H <sub>10</sub>                                | 55               | 73.01                    |
| Amilico, alcohol (n)                    | C <sub>5</sub> H <sub>11</sub> OH                             | 131              | 120.17                   |
| (1)                                     | C <sub>5</sub> H <sub>10</sub> OH                             | 102              | 105.83                   |
| bromuro (n)                             | C <sub>5</sub> H <sub>10</sub> Br                             | 129              | 46.36                    |
| éter (n)                                | C <sub>5</sub> H <sub>10</sub> O                              | 170              | 69.52                    |
| yoduro (n)                              | C <sub>5</sub> H <sub>10</sub> I                              | 153              | 47.34                    |
| Amilmetilcetona (n)                     | C <sub>5</sub> H <sub>10</sub> O                              | 149.2            | 82.66                    |
| Antol (p)                               | C <sub>10</sub> H <sub>8</sub>                                | 232              | 71.43                    |
| Andina                                  | C <sub>5</sub> H <sub>10</sub> N                              | 163              | 103.40                   |
| Bencilico, alcohol                      | C <sub>7</sub> H <sub>8</sub> O                               | 204.3            | 112.38                   |
| Benzaldehído                            | C <sub>7</sub> H <sub>6</sub> O                               | 179              | 86.48                    |
| Benzonitrilo                            | C <sub>7</sub> H <sub>5</sub> N                               | 189              | 87.48                    |
| Bromobenceno                            | C <sub>6</sub> H <sub>5</sub> Br                              | 153.9            | 57.60                    |
| Butilico, acético (n)                   | C <sub>8</sub> H <sub>16</sub> O <sub>2</sub>                 | 174              | 73.82                    |
| alcohol (n)                             | C <sub>8</sub> H <sub>18</sub> O                              | 116.8            | 141.26                   |
| (n)                                     | C <sub>8</sub> H <sub>18</sub> O                              | 98.1             | 134.38                   |
| Butilico, alcohol (1)                   | C <sub>8</sub> H <sub>18</sub> O                              | 83               | 130.44                   |
| formiato                                | C <sub>8</sub> H <sub>16</sub> O <sub>2</sub>                 | 105.1            | 89.74                    |
| propionato (n)                          | C <sub>8</sub> H <sub>16</sub> O <sub>2</sub>                 | 144.9            | 71.24                    |
| Butilmetilcetona (n)                    | C <sub>8</sub> H <sub>16</sub> O                              | 127              | 82.92                    |
| Butilnitrilo, ácido (n)                 | C <sub>8</sub> H <sub>15</sub> O <sub>2</sub>                 | 163.5            | 113.89                   |
| Butilnitrilo, ácido (n)                 | C <sub>8</sub> H <sub>15</sub> O <sub>2</sub>                 | 117.4            | 114.91                   |
| Butiroamida (n)                         | C <sub>4</sub> H <sub>9</sub> N                               | 156              | 88.15                    |
| Carbocitrilo                            | C <sub>4</sub> H <sub>6</sub> N                               | 0                | 89.35                    |
| Carbono, bisulfuro (sulfuro de carbono) | CS <sub>2</sub>   | 46.25            | 64.09                    |
|   |   | 100              | 75.48                    |
|   |   | 140              | 67.37                    |
|   |   | 0                | 52.04                    |
| tetracloruro                            | CCl <sub>4</sub>  | 76.73            | 46.47                    |
|   |   | 200              | 32.73                    |
|   |   | 237              | 68.09                    |
| Carvofenol                              | C <sub>10</sub> H <sub>14</sub> O                             | 0                | 102.97                   |
| Ciclohexeno                             | C <sub>6</sub> H <sub>10</sub>                                | 0                | 154.08                   |
| cloruro                                 | CHCl <sub>3</sub>   | 59               | 106.73                   |
| Ciclohexanol                            | C <sub>6</sub> H <sub>12</sub> O                              | 161.1            | 74.76                    |
| Ciclohexilico, cloruro                  | C <sub>6</sub> H <sub>11</sub> Cl                             | 162.0            | 53.93                    |
| Cloral                                  | C <sub>2</sub> HCl <sub>3</sub>                               | 66               | 131.67                   |
| hidrato                                 | C <sub>2</sub> HCl <sub>3</sub> O <sub>2</sub>                | 135.6            | 77.59                    |
| Clorobenceno                            | C <sub>6</sub> H <sub>5</sub> Cl                              | 141.7            | 80.75                    |
| Clorometilico, acetato (f)              | C <sub>2</sub> H <sub>3</sub> ClO <sub>2</sub>                | 126.3            | 172.04                   |
| alcohol (f)                             | C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> Cl                              | 0                | 54.74                    |
| Cloroformo                              | CHCl <sub>3</sub>   | 60               | 60.92                    |
|   |   | 61.3             | 56.01                    |
|   |   | 100              | 55.19                    |
|   |   | 260              | 0                        |
| Clorodisulfo (n)                        | C <sub>2</sub> H <sub>2</sub> Cl <sub>2</sub>                 | 138.1            | 77.63                    |
| (p)                                     | C <sub>2</sub> H <sub>2</sub> Cl <sub>2</sub>                 | 160.4            | 73.13                    |
| Cresol (m)                              | C <sub>7</sub> H <sub>8</sub> O                               | 202              | 100.38                   |
| Diclorometilico, ácido                  | C <sub>2</sub> H <sub>2</sub> Cl <sub>2</sub> O <sub>2</sub>  | 194.4            | 77.16                    |
| Diclorodibromocetano                    | C <sub>2</sub> H <sub>2</sub> Br <sub>2</sub> Cl <sub>2</sub> | -29.8            | 40.40                    |
| Dicloroamina                            | C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> Cl <sub>2</sub> N               | 58               | 91.02                    |
| Dicloroeteno                            | C <sub>2</sub> H <sub>2</sub> Cl <sub>2</sub>                 | 101              | 50.78                    |
| Dicloroetano                            | C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> Cl <sub>2</sub>                 | 126              | 78.10                    |
| Dicloro, carbonato                      | C <sub>2</sub> H <sub>2</sub> Cl <sub>2</sub> O <sub>2</sub>  | 103              | 67.61                    |
| oxalato                                 | C <sub>2</sub> H <sub>2</sub> Cl <sub>2</sub> O <sub>4</sub>  | 154              | 65.70                    |
| Diclorobutilamina                       | C <sub>4</sub> H <sub>8</sub> Cl <sub>2</sub> N               | 103              | 65.73                    |
| Dimetilammina                           | C <sub>2</sub> H <sub>7</sub> N                               | 58               | 69.13                    |
| Dimetil, carbonato                      | C <sub>2</sub> H <sub>6</sub> O <sub>2</sub>                  | 108              | 75.73                    |
| Dipropilamina (n)                       | C <sub>6</sub> H <sub>13</sub> N                              | 141.5            | 75.73                    |
| Dipropilceteno                          | C <sub>6</sub> H <sub>10</sub>                                | 15               | 145.97                   |
| Etilamina                               | C <sub>2</sub> H <sub>7</sub> N                               | 130.8            | 46.22                    |
| Etilnico, bromuro                       | C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> Br                              | 0                | 85.39                    |
| cloruro                                 | C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> Cl                              | 62.3             | 77.32                    |
| glucol                                  | C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> O <sub>2</sub>                  | 197              | 101.12                   |
| sodio                                   | C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> O                               | 19               | 138.20                   |
| Etilico, acético                        | C <sub>4</sub> H <sub>8</sub> O <sub>2</sub>                  | 0                | 102.01                   |
| alcohol                                 | C <sub>4</sub> H <sub>10</sub> O                              | 53               | 204.56                   |
| bromato                                 | C <sub>4</sub> H <sub>9</sub> Br                              | 213              | 74.50                    |
| bromuro                                 | C <sub>4</sub> H <sub>9</sub> Br                              | 58.4             | 55.92                    |
| butirato (n)                            | C <sub>4</sub> H <sub>7</sub> O <sub>2</sub>                  | 118.9            | 75.48                    |
| expirato                                | C <sub>4</sub> H <sub>7</sub> O <sub>2</sub>                  | 207              | 60.45                    |
| cloruro                                 | C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> Cl                              | 4.7              | 82.93                    |
|   |   | 13.0             | 69.45                    |
|   |   | 30.0             | 93.22                    |
|   |   | 25.0             | 85.46                    |
|   |   | 34.4             | 97.18                    |
| éter                                    | C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> O                               | 93.3             | 72.05                    |
| formiato                                | C <sub>4</sub> H <sub>8</sub> O <sub>2</sub>                  | 109.2            | 67.35                    |
| isobutirato                             | C <sub>4</sub> H <sub>8</sub> O <sub>2</sub>                  | 144              | 58.05                    |
| isovalerato                             | C <sub>4</sub> H <sub>8</sub> O <sub>2</sub>                  | 227              | 80.00                    |
| nitrato                                 | C <sub>4</sub> H <sub>7</sub> O <sub>2</sub>                  | 97.6             | 71.16                    |
| propionato                              | C <sub>4</sub> H <sub>8</sub> O <sub>2</sub>                  | 98               | 71.16                    |
| valerato (n)                            | C <sub>4</sub> H <sub>7</sub> O <sub>2</sub>                  | 71.2             | 65.51                    |
| yoduro                                  | C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> I                               | 0                | 76.68                    |
| Etilidico, cloruro                      | C <sub>2</sub> H <sub>2</sub> Cl <sub>2</sub>                 | 60               | 67.13                    |
|   |   | 79.0             | 74.78                    |
| Etilnitrilo, éter                       | C <sub>4</sub> H <sub>9</sub> O                               | 78.2             | 103.03                   |
| Etilnitrilceteno                        | C <sub>4</sub> H <sub>6</sub>                                 | 193              | 113.67                   |
| Etilnitrilacetona                       | C <sub>4</sub> H <sub>7</sub> O                               | 60               | 52.68                    |
| Etilpropilico, éter                     | C <sub>5</sub> H <sub>11</sub> O                              | 153              | 81.46                    |
| Fenilmetilico, éter                     | C <sub>7</sub> H <sub>9</sub> O                               | 101              | 119.93                   |
| Fórmiico, ácido                         | CH <sub>2</sub> O   |                  |                          |

|        |   |  |  |
|--------|---|--|--|
| NOTAS: | Categoría del diagrama  | ESCUELA SUPERIOR<br>POLITECNICA DE<br>CHIMBORAZO<br>FACULTAD DE CIECIAS<br>ESCUELA DE<br>INGENIERIAQUIMICA<br>DIEGO F. ROBALINO C. | CALORES DE<br>VAPORIZACIÓN DE<br>COMPUESTOS<br>ORGANICOS |
|        | <input type="checkbox"/> Certificado<br><input checked="" type="checkbox"/> Por aprobar<br><input type="checkbox"/> Aprobado<br><input type="checkbox"/> Para información<br><input type="checkbox"/> Por calificar |  | Lámina: 14C  |
|        |   |  | Escala: Normal   |
|        |   |  | Fecha: Enero-2012  |

Tabla 3-172. Calores de vaporización de compuestos orgánicos — (Conclusión)

| No hidrocarburos                       | Fórmula                                       | Temperatura, °C. | $\Delta H_v$ , cal./g |
|--|---|------------------|-----------------------|
| Furano                                 | C <sub>4</sub> H <sub>2</sub> O               | 31               | 95.32                 |
| Furfural                               | C <sub>5</sub> H <sub>4</sub> O <sub>2</sub>  | 160.5            | 107.51                |
| Heptileno, alcohol (n)                 | C <sub>7</sub> H <sub>14</sub> O              | 176              | 104.88                |
| Hexilmetilcetona                       | C <sub>7</sub> H <sub>14</sub> O              | 173              | 74.06                 |
| Hidrógeno, cianuro (ácido cianhídrico) | HCN   | 20               | 210.23                |
| Isoamílico, acetato                    | C <sub>7</sub> H <sub>14</sub> O <sub>2</sub> | 143.6            | 69.04                 |
| Isoamílico, alcohol                    | C <sub>7</sub> H <sub>14</sub> O              | 130.2            | 119.78                |
| butirato (n)                           | C <sub>7</sub> H <sub>14</sub> O <sub>2</sub> | 169              | 61.88                 |
| formiato                               | C <sub>7</sub> H <sub>14</sub> O <sub>2</sub> | 123              | 73.58                 |
| isobutirato                            | C <sub>7</sub> H <sub>14</sub> O <sub>2</sub> | 123              | 57.57                 |
| propionato                             | C <sub>7</sub> H <sub>14</sub> O <sub>2</sub> | 168              | 65.22                 |
| valerato (n)                           | C <sub>7</sub> H <sub>14</sub> O <sub>2</sub> | 161              | 56.14                 |
| Isobutílico, acetato                   | C <sub>7</sub> H <sub>14</sub> O <sub>2</sub> | 187              | 75.75                 |
| alcohol                                | C <sub>7</sub> H <sub>14</sub> O              | 115.3            | 138.08                |
| butirato (n)                           | C <sub>7</sub> H <sub>14</sub> O <sub>2</sub> | 106.9            | 64.50                 |
| formiato                               | C <sub>7</sub> H <sub>14</sub> O <sub>2</sub> | 157              | 78.50                 |
| isobutirato                            | C <sub>7</sub> H <sub>14</sub> O <sub>2</sub> | 97               | 63.31                 |
| isovalerato                            | C <sub>7</sub> H <sub>14</sub> O <sub>2</sub> | 148              | 60.44                 |
| propionato                             | C <sub>7</sub> H <sub>14</sub> O <sub>2</sub> | 169              | 65.94                 |
| valerato (n)                           | C <sub>7</sub> H <sub>14</sub> O <sub>2</sub> | 137              | 57.81                 |
| Isobutílico, ácido                     | C <sub>7</sub> H <sub>14</sub> O <sub>2</sub> | 160              | 111.57                |
| Isopropílico, alcohol                  | C <sub>7</sub> H <sub>14</sub> O              | 134              | 159.35                |
| Isopropilmetilcetona                   | C <sub>7</sub> H <sub>14</sub> O              | 87.3             | 89.63                 |
| Isovalérico, ácido                     | C <sub>7</sub> H <sub>14</sub> O <sub>2</sub> | 92               | 101.05                |
| Limoneno                               | C <sub>10</sub> H <sub>16</sub>               | 176.3            | 69.52                 |
| Mexílico, óxido                        | C <sub>7</sub> H <sub>14</sub> O              | 165              | 85.77                 |
| Metilal                                | C <sub>7</sub> H <sub>14</sub> O              | 128              | 89.83                 |
| Metilamilecetona (n)                   | C <sub>7</sub> H <sub>14</sub> O              | 42               | 82.66                 |
| Metilaniina                            | C <sub>7</sub> H <sub>14</sub> N              | 149.2            | 95.56                 |
| Metilbulcetona (n)                     | C <sub>7</sub> H <sub>14</sub> O              | 194              | 82.42                 |
| Metililecetona                         | C <sub>7</sub> H <sub>14</sub> O              | 127              | 105.93                |
| Metililecetoxima                       | C <sub>7</sub> H <sub>14</sub> O              | 78.2             | 115.87                |
| Metilhexilecetona                      | C <sub>7</sub> H <sub>14</sub> O              | 182              | 74.06                 |
| Metilico, acetato                      | C <sub>7</sub> H <sub>14</sub> O <sub>2</sub> | 173              | 113.96                |
| alcohol                                | CH <sub>2</sub> O                             | 0.0              | 98.09                 |
|  |   | 56.3             | 284.29                |
|  |   | 55               | 262.79                |
|  |   | 64.7             | 241.29                |
|  |   | 100              | 195.51                |
|  |   | 160              | 148.12                |
|  |   | 200              | 109.89                |
|  |   | 200              | 0                     |
|  |   | 240              | 79.79                 |
|  |   | 102.6            | 102.25                |
| butirato (n)                           | C <sub>7</sub> H <sub>14</sub> O <sub>2</sub> | -25.8            | 96.04                 |
| cloruro                                | CH <sub>2</sub> Cl                            | +15.0            | 95.32                 |
|  |   | 20.0             | 94.60                 |
|  |   | 25.0             | 112.35                |
|  |   | 31.3             | 78.12                 |
| formiato                               | C <sub>7</sub> H <sub>14</sub> O <sub>2</sub> | 91.1             | 72.39                 |
| isobutirato                            | C <sub>7</sub> H <sub>14</sub> O <sub>2</sub> | 116              | 87.56                 |
| isovalerato                            | C <sub>7</sub> H <sub>14</sub> O <sub>2</sub> | 79.0             | 70.00                 |
| propionato                             | C <sub>7</sub> H <sub>14</sub> O <sub>2</sub> | 116              | 45.87                 |
| valerato (n)                           | C <sub>7</sub> H <sub>14</sub> O <sub>2</sub> | 42               | 81.46                 |
| yoduro                                 | CHI   | 153              | 89.83                 |
| Metilfenílico, éter                    | C <sub>7</sub> H <sub>14</sub> O              | 92               | 75.49                 |
| Metilisopropilcetona                   | C <sub>7</sub> H <sub>14</sub> O              | 218              | 79.08                 |
| Naftaleno                              | C <sub>10</sub> H <sub>8</sub>                | 210              | 134.98                |
| Nitrobenzeno                           | C <sub>6</sub> H <sub>5</sub> NO <sub>2</sub> | 99.9             | 94.37                 |
| Nitrometano                            | C <sub>1</sub> H <sub>3</sub> NO <sub>2</sub> | 180              | 97.47                 |
| Octílico, alcohol (dl) (sec)           | C <sub>8</sub> H <sub>18</sub> O              | 196              | 90.78                 |
| (n)                                    | C <sub>8</sub> H <sub>18</sub> O              | 129              | 89.35                 |
| Picolina (n)                           | C <sub>8</sub> H <sub>15</sub> N              | 106              | 107.36                |
| Piperidina                             | C <sub>6</sub> H <sub>11</sub> N              | 114.1            | 80.27                 |
| Piridina                               | C <sub>5</sub> H <sub>7</sub> N               | 101.4            | 164.36                |
| Propílico, acetato (n)                 | C <sub>6</sub> H <sub>12</sub> O <sub>2</sub> | 97.2             | 68.33                 |
| alcohol (n)                            | C <sub>6</sub> H <sub>12</sub> O              | 143.6            | 88.13                 |
| butirato (n)                           | C <sub>6</sub> H <sub>12</sub> O <sub>2</sub> | 80.0             | 63.79                 |
| formiato (n)                           | C <sub>6</sub> H <sub>12</sub> O <sub>2</sub> | 134              | 64.50                 |
| isobutirato (n)                        | C <sub>6</sub> H <sub>12</sub> O <sub>2</sub> | 156              | 73.15                 |
| isovalerato (n)                        | C <sub>6</sub> H <sub>12</sub> O <sub>2</sub> | 120.6            | 98.81                 |
| propionato (n)                         | C <sub>6</sub> H <sub>12</sub> O <sub>2</sub> | 139.3            | 134.26                |
| Propiónico, ácido                      | C <sub>6</sub> H <sub>10</sub> O <sub>2</sub> | 97               | 74.78                 |
| Propionitrilo                          | C <sub>6</sub> H <sub>11</sub> N              | 196              | 55.07                 |
| Salicilaldehído                        | C <sub>7</sub> H <sub>6</sub> O <sub>2</sub>  | 145              | 50.05                 |
| Tetracloroetano (1,1,2,2)              | C <sub>2</sub> H <sub>2</sub> Cl <sub>4</sub> | 120.7            | 95.08                 |
| Tetracloroetileno                      | C <sub>2</sub> Cl <sub>4</sub>                | 198              | 57.24                 |
| Tuluidina (n)                          | C <sub>6</sub> H <sub>9</sub> N               | 85.7             | 96.28                 |
| Tricloroetileno                        | C <sub>2</sub> HCl <sub>3</sub>               | 129              |                       |
| Valeronitrilo (n)                      | C <sub>6</sub> H <sub>9</sub> N               |                  |                       |

NOTAS:

Categoría del diagrama

Certificado  
 Por aprobar  
 Aprobado  
 Para información  
 Por calificar

ESCUELA SUPERIOR  
 POLITECNICA DE  
 CHIMBORAZO  
 FACULTAD DE CIENCIAS  
 ESCUELA DE  
 INGENIERIAQUIMICA  
 DIEGO F. ROBALINO C.

CALORES DE  
 VAPORIZACIÓN DE  
 COMPUESTOS  
 ORGANICOS

Lámina: 15C

Escala: Normal

Fecha: Enero-2012