



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**

**FACULTAD DE CIENCIAS**

**ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA**

**“DISEÑO DE UN SISTEMA DE DESTILACIÓN PARA LA  
RECUPERACIÓN DE PERCLOROETILENO EN EL LAVADO DE  
POLIURETANO DE LA EMPRESA LA FORTALEZA LTDA.”**

TESIS DE GRADO

Previo a la Obtención del Título de:

INGENIERO QUÍMICO

BYRON PATRICIO RODRÍGUEZ GUEVARA

RIOBAMBA – ECUADOR

2014

## **AGRADECIMIENTO**

A Dios, quien deposita fuerza, pasión y corazón para alcanzar cada una de mis metas.

A mis padres, por su apoyo y acompañamiento incondicional en el camino que me trazo.

Al ingeniero Hanníbal Brito y a la ingeniera Mabel Parada, quienes con sus enseñanzas lograron guiarme para la culminación de este proyecto.

Al Ing. Luis Montenegro representante de la Empresa La Fortaleza Ltda., por el optimismo y la confianza brindada.

A la vida, por colmarme de cosas buenas.

## **DEDICATORIA**

A mis padres Aníbal y Gloria.

A mis hermanos José Luis y Andrea.

A los sueños cumplidos.

A mi próxima meta...

**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**

**FACULTAD DE CIENCIAS**

**ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA**

El tribunal de tesis certifica que: El trabajo de investigación “**DISEÑO DE UN SISTEMA DE DESTILACIÓN PARA LA RECUPERACIÓN DE PERCLOROETILENO EN EL LAVADO DE POLIURETANO DE LA EMPRESA LA FORTALEZA LTDA.**”, de responsabilidad del señor Byron Patricio Rodríguez Guevara ha sido prolijamente revisado por los Miembros del Tribunal de Tesis, quedando autorizado su presentación.

<b>NOMBRE</b>	<b>FIRMA</b>	<b>FECHA</b>
Ing. César Ávalos I. <b>DECANO DE LA FACULTAD DE CIENCIAS</b>	.....	.....
Dr. Juan Marcelo Ramos <b>DIRECTOR DE LA ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA</b>	.....	.....
Ing. Hanníbal Brito M. <b>DIRECTOR DE TESIS</b>	.....	.....
Ing. Mabel Parada <b>MIEMBRO DEL TRIBUNAL</b>	.....	.....
<b>COORDINADOR SISIB-ESPOCH</b>	.....	.....
Nota de Tesis Escrita	.....	

## HOJA DE RESPONSABILIDAD

“Yo, **Byron Patricio Rodríguez Guevara**, 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.”

## ÍNDICE DE ABREVIATURAS

<b>PU:</b>	Poliuretano
<b>PERC:</b>	Percloroetileno / Tetracloroetileno
<b>SILC:</b>	Aceite de Silicona / Desmoldante
<b>EPP:</b>	Equipo de Protección Personal
<b>MSDS:</b>	Ficha técnica de Seguridad
<b>V:</b>	Volumen
<b>cm:</b>	Centímetros
<b>cm<sup>3</sup>:</b>	Centímetro cúbico
<b>m:</b>	Metros
<b>r:</b>	radio
<b>h:</b>	altura
<b>∅:</b>	Diámetro
<b>Tb:</b>	Temperatura de ebullición
<b>%:</b>	Porcentaje
<b>Kg:</b>	Kilogramo
<b>L:</b>	Litros
<b>C:</b>	Grado Centígrado
<b>min:</b>	Minutos
<b>plg:</b>	Pulgadas

# TABLA DE CONTENIDOS

<b>CONTENIDO</b>	<b>Pp.</b>
PORTADA	
AGRADECIMIENTO	
DEDICATORIA	
HOJA DE FIRMAS	
RESPONSABILIDAD DEL AUTOR	
ÍNDICE DE ABREVIATURAS	
TABLA DE CONTENIDOS	
ÍNDICE DE TABLAS	
ÍNDICE DE FIGURAS Y GRÁFICOS	
ÍNDICE DE FOTOGRAFÍAS	
ÍNDICE DE ANEXOS	
RESUMEN.....	i
SUMARY.....	ii
INTRODUCCION.....	iii
ANTECEDENTES.....	iv
JUSTIFICACION.....	v
OBJETIVOS.....	vi
<b>CAPÍTULO I</b>	
<b>1. MARCO TEÓRICO.....</b>	<b>8</b>
1.1. POLIURETANOS EN EL CALZADO .....	8
1.1.1. FABRICACIÓN DE SUELAS.....	8
1.1.2. SUELAS DE POLIURETANO.....	9
1.1.3. PROCESO .....	9

1.2.	SOLVENTES .....	12
1.2.1.	GENERALIDADES.....	12
1.2.2.	TIPOS DE SOLVENTES .....	13
1.3.	PERCLOROETILENO.....	15
1.3.1.	GENERALIDADES.....	15
1.3.2.	PROPIEDADES Y CARACTERÍSTICAS.....	16
1.3.3.	SÍNTESIS.....	18
1.3.4.	APLICACIONES GENERALES .....	18
1.4.	SILICONA .....	20
1.4.1.	DEFINICIÓN .....	21
1.4.2.	PROPIEDADES .....	21
1.4.3.	ESTRUCTURA QUÍMICA .....	21
1.4.4.	ACEITE DE SILICONA.....	22
1.4.5.	IMPACTO AMBIENTAL.....	23
1.4.6.	CONSIDERACIONES SOBRE ELIMINACIÓN .....	23
1.5.	DESTILACIÓN .....	23
1.5.1.	GENERALIDADES.....	23
1.5.2.	DEFINICIÓN .....	24
1.5.3.	DESCRIPCIÓN DE LA OPERACIÓN UNITARIA .....	24
1.5.4.	FACTORES QUE INTERVIENEN EN EL PROCESO DE DESTILACIÓN .....	25
1.5.5.	PRINCIPIOS DE LA DESTILACIÓN.....	26
1.5.6.	MÉTODOS DE DESTILACIÓN .....	29
1.5.7.	TIPOS DE DESTILACIÓN.....	29
1.6.	RECUPERACIÓN DEL PERCLOROETILENO POR DESTILACIÓN SIMPLE .....	32
1.6.1.	DEFINICIÓN .....	32
1.6.2.	INSTALACIÓN .....	33
1.6.3.	OBJETIVO .....	33
1.6.4.	PRINCIPIO DE OPERACIÓN DEL DESTILADOR SIMPLE DE PERCLOROETILENO .....	34
1.7.	DISEÑO .....	37
1.7.1.	BALANCE DE MASA .....	37
1.7.2.	COEFICIENTE DE DILATACIÓN.....	38
1.7.3.	CONSIDERACIONES PARA LA CONSTRUCCIÓN .....	40



## **CAPÍTULO II**

<b>2. PARTE EXPERIMENTAL.....</b>	<b>43</b>
2.1. MUESTREO.....	43
2.2. METODOLOGÍA .....	45
2.2.1. MÉTODOS Y TÉCNICAS.....	45
2.3. DATOS EXPERIMENTALES .....	55
2.3.1. DIAGNÓSTICO.....	55
2.3.2. DATOS EXPERIMENTALES.....	56

## **CAPÍTULO III**

<b>3. DISEÑO .....</b>	<b>64</b>
3.1. CÁLCULO DE BALANCE DE MASA.....	64
3.1.1. BALANCE DE MASA .....	65
3.2. CÁLCULO DEL TANQUE DE EBULLICIÓN.....	66
3.2.1. CÁLCULO DE LA ALTURA DEL CILINDRO .....	66
3.2.2. VOLUMEN OPERATIVO.....	68
3.3. CÁLCULO DEL TANQUE DE ACEITE DIATÉRMICO.....	69
3.4. CÁLCULO DEL CONDENSADOR .....	72
3.5. CÁLCULO DE TANQUE RECEPTOR.....	72
3.6. RESULTADOS.....	72
3.6.1. VARIABLES DE PROCESO.....	72
3.6.2. DIMENSIONES DEL DESTILADOR.....	73
3.6.3. DISEÑO DE EQUIPO.....	75
3.6.4. COTIZACIÓN DEL EQUIPO .....	75
3.7. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS .....	77
<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....</b>	<b>79</b>
CONCLUSIONES .....	79
RECOMENDACIONES.....	80
<b>BIBLIOGRAFÍA .....</b>	<b>82</b>
<b>ANEXOS .....</b>	<b>85</b>

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>TABLA</b>		<b>Pp.</b>
1.	CLASIFICACIÓN DE DISOLVENTES SEGÚN GRUPO QUÍMICO.....	13
2.	RESISTENCIA ELÉCTRICA VS. CAPACIDAD EQUIPO.....	44
3.	MUESTREO.....	44
4.	DESTILACIÓN SIMPLE.....	49
5.	DETERMINACIÓN DEL PH.....	50
6.	DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD.....	51
7.	CARACTERIZACIÓN DE ALQUENOS.....	52
8.	SOLVENTES. DETERMINACIÓN DEL COLOR EN ESCALA APHA.....	53
9.	DETERMINACIÓN DE ESPECTRO IR.....	54
10.	DATOS DESTILACIÓN SIMPLE.....	56
11.	RENDIMIENTO DESTILACIÓN SIMPLE.....	57
12.	DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD DEL DESTILADO.....	57
13.	MEDICIÓN DEL PH.....	59
14.	ANÁLISIS PERCLOROETILENO RECUPERADO.....	62
15.	VARIABLES DE PROCESO.....	73
16.	DIMENSIONES DEL DESTILADOR.....	73

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>FIGURA</b>		<b>Pp.</b>
1.	DURABILIDAD DE LOS MATERIALES DE SUELAS DEL CALZADO.....	9
2.	RETIRO DE SUELA DEL MOLDE.....	10
3.	DIAGRAMA DE FLUJO PROCESO FABRICACIÓN SUELAS PU.....	12
4.	ESTRUCTURA DEL PDMS.....	22
5.	ESTRUCTURA DE OLIGOSILOXANOS RAMIFICADOS.....	22
6.	ESTRUCTURA ENLACES SILICIO – OXÍGENO.....	23
7.	RELACIÓN TEMPERATURA-CONCENTRACIÓN.....	27
8.	EQUIPO DE DESTILACIÓN POR LOTES O BATCH.....	33
9.	DESTILACIÓN SIMPLE LABORATORIO.....	56
10.	DIAGRAMA DE UN DESTILADOR SIMPLE.....	64
11.	TANQUE DE EBULLICIÓN.....	70

## ÍNDICE DE GRÁFICOS

<b>GRÁFICO</b>	<b>Pp.</b>
1. ESPECTRO IR SOLVENTE PURO.....	60
2. ESPECTRO IR SOLVENTE RECUPERADO.....	60
3. DISEÑO SISTEMA DE DESTILADO.....	75

## ÍNDICE DE CUADROS

<b>CUADRO</b>	<b>Pp.</b>
1. PROPIEDADES FÍSICAS DEL PERCLOROETILENO.....	17
2. ESPECIFICACIÓN Y ANÁLISIS TÍPICOS.....	18
3. DESCRIPCIÓN DE TIPOS DE DESTILACIÓN PRINCIPALES.....	30

## ÍNDICE DE ECUACIONES

<b>ECUACIÓN</b>	<b>Pp.</b>
1.5.1 VOLATILIDAD RELATIVA.....	29
1.7.1 BALANCE GENERAL DE MASA.....	37
1.7.2 BALANCE POR COMPONENTES.....	38
1.7.7 COEFICIENTE DE DILATACIÓN.....	39
1.7.8 DILATACIÓN EN GASES Y LÍQUIDOS.....	39
1.7.9 VOLUMEN FINAL POR DILATACIÓN TÉRMICA.....	39

## ÍNDICE DE FOTOGRAFÍAS

<b>FOTOGRAFÍA</b>	<b>Pp.</b>
1. DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD.....	58
2. PRUEBA DE ALQUENOS.....	58
3. DETERMINACIÓN DEL PH.....	59
4. PRUEBA DE DESTILACIÓN LABORATORIO.....	61
5. PRUEBA DE DESTILACIÓN FRACCIONADA.....	61

## ÍNDICE DE ANEXOS

<b>ANEXOS</b>	<b>Pp.</b>
1. RECONOCIMIENTO DE LA EMPRESA.....	86
2. OBSERVACIÓN PROPIEDADES FÍSICAS.....	87
3. MUESTRAS PERCLOROETILENO + SILICONA.....	88
4. ENSAYOS DE DESTILACIÓN LABORATORIO.....	89
5. ENSAYOS DE DESTILACIÓN INDUSTRIAL.....	90
6. CUANTIFICACIÓN DE LA INSTALACIÓN.....	91
7. INCONVENIENTES E IMPREVISTOS.....	92
8. PRODUCTO RECUPERADO ÓPTIMO.....	93
9. EQUIPO DE PROTECCIÓN PERSONAL .....	94
10. PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO DEL EQUIPO.....	95
11. DIAGRAMA DEL EQUIPO.....	96
12. COMPONENTES DEL EQUIPO.....	97
13. ACEITE DIATÉRMICO.....	98

## RESUMEN

Se diseñó un sistema de destilación para la recuperación de solvente percloroetileno, empleado en el lavado de suelas de poliuretano fabricadas por la Empresa La Fortaleza Ltda., para disminuir y optimizar el consumo del volumen utilizado de solvente.

Para el diseño se procedió con la determinación experimental en laboratorio de parámetros iniciales y comportamiento de la mezcla percloroetileno-silicona a destilar; a través de un proceso de destilación simple estableciendo las variables necesarias como temperaturas, volúmenes, rendimiento y tiempos. Donde la temperatura óptima a la que se debe llegar el evaporado es de 108 C, adquiriéndola en forma paulatina y manteniéndola constante.

El sistema está compuesto por 3 partes: un tanque de ebullición 50 L de capacidad de alimentación (ingreso), calentado por medio de una chaqueta térmica que aloja aceite diatérmico en su interior y un par de resistencias eléctricas, dando el producto evaporado que se dirige a un condensador en el cual es enfriado y se almacena en un tanque de recepción del producto recuperado. Todos construidos con acero inoxidable para garantizar durabilidad.

Realizados los cálculos y las investigaciones necesarias aplicando las normas de laboratorio para corroboración con el producto deseado se obtuvo un sistema de destilación con un 100% en la efectividad que permitió recuperar el solvente en un 90% de la carga inicial.

La aplicación de sistemas de destilación en el área de la industria de calzado permite ahorro a la empresa, hacer una industria limpia y mantener el equilibrio ecológico en un ambiente sano, por lo que se recomienda se aplique el sistema en la Empresa La Fortaleza Ltda., y en las industrias específicas afines al uso de este solvente.

## SUMARY

A distillation system was designed for perchloroethylene solvent recovery, used in the polyurethane soles manufactured by the company La Fortaleza Ltda., to reduce and optimize the volume consumption of solvent used.

For the design the experimental determination was made in the initial parameters lab and the behavior of the perchloroethylene –silicone mixture to be distilled; through a simple distillation process establishing the required variables such as temperature, volume, performance and time. The optimal temperature to reach in the evaporated is 108 C, which occurs gradually and keep it constant.

The system consists of three parts: a boiling tank 50 L power capacity (input), heated by a heating jacket wich houses diathermic oil and a pair of resistors, then the evaporated product is directed to a condenser where it is cooled and stored in a recovered product receiving tank. All made of stainless steel of ensure durability. Once the calculations and the necessary investigations were developed applying the lab standards to corroborate with the desired product, a distillation system with 100% effectiveness which allowed to recover the solvent in a 90% from the initial charge.

The application of distillation systems in the shoe industry allows saving to the company; keep a clean industry and the ecological balance in a healthy enviroment, so it is recommended to La Fortaleza Ltda. Company and related specific industries to apply the system and use this solvent.

## INTRODUCCIÓN

Con el ingreso del uso del petróleo y sus derivados durante el siglo XX, cada vez son más los productos comerciales que contienen solventes: diluyentes, pegamentos, limpiadores, gasolinas, desengrasantes, etc.

Desde un punto de vista ambiental, la problemática de los disolventes se refiere a un extenso grupo de sustancias orgánicas que son ampliamente utilizados por su gran capacidad de disolución de otros productos.

En los procesos de “limpieza de precisión” para eliminar todo tipo de aceites, grasas, ceras, y partículas de polvo con objeto de dejar una pieza limpia y seca sin ningún tipo de residuo, los más empleados son el tricloroetano y el percloroetileno.

La ventaja que presentan estos disolventes es que poseen una alta tensión de vapor, propiedad que se utiliza para su valorización. Además como el precio de los disolventes es relativamente elevado, lo constituye un acicate<sup>1</sup> para su reciclaje; la opción preferida para el manejo de residuos de solvente es con frecuencia su regeneración y recuperación mediante un proceso de destilación, no obstante, consideraciones de tipo más bien económico que técnico hacen a veces desistir de su uso.

El propósito de este proyecto de tesis consistió en elaborar un equipo de destilación para la obtención de un disolvente recuperado, que presente las garantías necesarias para su reutilización; a partir de una mezcla binaria percloroetileno-silicona generada en la etapa de lavado de suelas. Es por ello que nos planteamos desde un inicio el lograr el diseño de un sistema de destilación para la recuperación de percloroetileno en el lavado de suelas de poliuretano en La Fortaleza Ltda. que permita un consumo menor de solvente puro y minimice el impacto ambiental.

---

<sup>1</sup> *Estímulo positivo que mueve a una persona a realizar una acción o a actuar de determinada manera.*

## ANTECEDENTES

Uno de los principales problemas que ha venido representando el uso de solventes en la industria una vez que han sido utilizados, es que si se manejan inadecuadamente en su disposición final, pueden generar inconvenientes ambientales, legales e incurrir en gastos.

En la mayoría de casos conocidos en las industrias que requieren solventes en sus procesos y cumplieron con su objetivo, son desechados sin un tratamiento previo ni consideraciones para su reutilización (ya sea con el mismo objetivo para el que fueron desarrollados o con propósitos de subproductos).

Se conoce que a través de ciertas operaciones y/o procesos es posible la recuperación en gran parte de dichos solventes, estos deben ser sometidos a un proceso térmico en sitios y a condiciones apropiadas para ser recuperados; una de las tantas técnicas de uso convencional es la destilación, que aparece en la actividad industrial como gran referente en cuanto a la obtención y separación de productos y derivados.

Con lo expuesto anteriormente la Empresa La Fortaleza Ltda. comprometida con servir a la colectividad y al desarrollo productivo del país ha venido trabajando por estar a la vanguardia en sus procesos productivos; a través de políticas ambientales que están siendo implementadas se propone la reducción del impacto ambiental enfocándose en optimizar recursos en sus procesos.

Durante la etapa de lavado de suelas de poliuretano se emplea percloroetileno para la remoción de silicona de la suela; la mezcla percloroetileno + silicona es condensada y una vez que se encuentra totalmente sin poder ser reutilizada es recolectada y en forma mensual dispuesta a la orden de un gestor ambiental. Este es uno de los mayores inconvenientes que se tiene debido al consumo en gran cantidad de solvente y su liberación al medio.



## JUSTIFICACIÓN

El presente trabajo busca resolver la necesidad por parte de la empresa La Fortaleza Ltda. en cuanto al consumo óptimo de uno de sus insumos, con un manejo empresarial responsable teniendo en cuenta una producción que no genere mayor impacto ambiental, implementando alternativas en las cuales dé cumplimiento a la normativa legal vigente en el país.

Por esto se planteó como parte inicial del proyecto de investigación el “DISEÑO DE UN SISTEMA DE DESTILACIÓN PARA LA RECUPERACIÓN DE PERCLOROETILENO EN EL LAVADO DE POLIURETANO DE LA EMPRESA LA FORTALEZA LTDA.” el cual será implementado en el proceso de fabricación que realiza dicha empresa.

Con el desarrollo de este sistema de recuperación de solventes se busca disminuir el volumen de percloroetileno que es desechado al ambiente. Debido a que no es un tema de mucho conocimiento a nivel de industrias de fabricación de suelas de PU, no se cuenta con mucha información necesaria para el diseño y cálculos de ingeniería, por lo que se requerirá una ardua búsqueda de características y propiedades físico-químicas de los componentes a destilar.

Además no se conoce que otras empresas vinculadas con la producción de suelas de poliuretano, al menos en el país, realicen la recuperación del solvente percloroetileno, sino que éste una vez que se encuentra contaminado es dispuesto para ser llevados por un gestor ambiental y desechados al ambiente.

Siendo que este tema es pionero en el área industrial del calzado y que el diseño de un sistema de destilación integra muchas de las áreas de estudio que significan la formación de un ingeniero químico para su posterior ejercicio profesional se ve justificado el desarrollo del presente proyecto.

## OBJETIVOS

### GENERAL

Realizar el diseño de un sistema de destilación para la recuperación de percloroetileno en el lavado de poliuretano de la Empresa La Fortaleza Ltda.

### ESPECÍFICOS

- Establecer una simulación del proceso de destilación para la recuperación del solvente percloroetileno empleado en el lavado de suelas de poliuretano.
- Identificar las variables del proceso dentro de la operación de destilación de la mezcla.
- Efectuar la caracterización del solvente percloroetileno recuperado comparadas con las que presenta el solvente virgen.
- Realizar el diseño de ingeniería para el proceso de destilación (Cálculos técnicos, tamaño o dimensionamiento, tipo de materiales y controles, y presupuesto).
- Conocer el rendimiento del proceso de destilación (volumen recuperado/volumen empleado).

# **CAPÍTULO I**

## **MARCO TEÓRICO**

## **1. MARCO TEÓRICO**

### **1.1. Poliuretanos En El Calzado**

El calzado es la parte de la indumentaria utilizada para cubrir y proteger los pies; siendo este usado por una variedad de motivos, incluyendo la protección del pie, la higiene o el simple adorno.

Un calzado de calidad debe ser cómodo, duradero, adecuado a su uso y por supuesto asequible. Los poliuretanos permiten a los diseñadores cumplir con todos estos objetivos.

Los poliuretanos ligeros y de gran resistencia a la abrasión son ideales para la fabricación de suelas de calzado resistentes y ofrecen propiedades mecánicas excelentes a largo plazo. Las suelas de poliuretano son prácticas e impermeables y no imponen ningún tipo de traba al proceso de diseño.

Los poliuretanos se emplean en una amplia gama de tipos de calzado. A pesar de que su uso está más extendido en el calzado deportivo y de montaña, también se utiliza con profusión en suelas para zapatos formales y de diseño y en calzado de seguridad de alta calidad. Los sistemas de poliuretano de baja densidad y compactos se utilizan en la fabricación de entresuelas y suelas.

#### **1.1.1. Fabricación De Suelas**

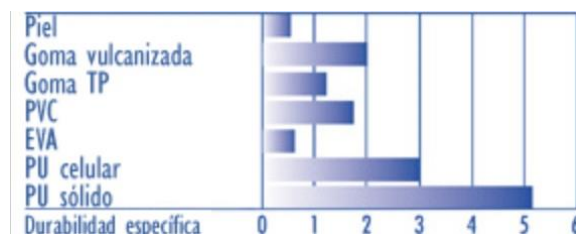
Las suelas constituyen una parte fundamental para la elaboración de calzado, las condiciones de uso tan diversas que existen en el medio industrial o prácticamente en cualquier medio donde el usuario transita con su calzado, hacen imposible crear una suela resistente completamente a la abrasión. Existen en los mercados materiales muy resistentes como es el poliuretano que incluso, no hacen perder características de ligereza o flexión en la suela.

### 1.1.2. Suelas De Poliuretano

Son las suelas cuyo material está compuesto por la mezcla de dos componentes: el Polioli e Isocianato, además de un reactivo. Este material es ligero por lo que muchas veces se selecciona para suelas de dama que tienen plataforma o tacones altos.

La suela en poliuretano es la más noble de su clase. Ofrece una combinación única de poco peso y alta durabilidad insuperables. Los beneficios exclusivos del poliuretano en el diseño de zapatos. El peso más liviano y la facilidad de producción del material ayuda a los fabricantes a mantener costos bajos, lo cual es esencial en la competitiva economía del calzado global en la actualidad.

FIG. 1 Durabilidad de los materiales de las suelas del calzado



Fuente: ISOPA (Asociación Europea de Productores de Diisocianatos y Polioles.)

### 1.1.3. Proceso

#### 1.1.3.1. Disolución De La Materia Prima

El polioli y el isocianato contenido en barriles son llevados a un horno donde son pre-calentados hasta llevarlos a una temperatura promedio de 65-70°C, cambiando su estado físico de semisólido a un líquido muy viscoso, con la finalidad de poder ser bombeados en la siguiente etapa del proceso.

#### 1.1.3.2. Preparación Del Material

El polioli es llevado a mezclarse con el catalizador con el empleo de un agitador de turbina; este durara de 10-15 min para tener una mezcla homogénea.

Los barriles de isocianato y polioliol + catalizador son llevados a la máquina de colado donde serán succionados mediante bombas. Aquí también se pueden añadir pastas colorantes en el caso que el modelo así lo requiera.

#### 1.1.3.3. Colado De Poliuretano

- Aplicación De Desmoldante

Empleado para la limpieza y engrasado de moldes, donde una solución formada por silicona con cloruro de metileno es esparcida con el empleo de una pistola formando una película o capa en el molde de aluminio, que servirá para una remoción rápida de la suela sin provocar daños.

- Colado

Una vez aplicada la capa de desmoldante; una mezcla de polioliol e isocianato + catalizador, estos dos componentes líquidos a temperatura de 120 °C y a revolución se mezclan y forman el poliuretano. Se da el colado en moldes de aluminio que contengan el modelo de la suela a temperatura de entre 100 y 120°C este se cierra (sella); se espera a que transcurra de 15 min para proceder a abrir el molde y retirar la suela.

FIG. 2 Retiro de suela del molde



Fuente: ISOPA (Asociación Europea de Productores de Diisocianatos y Polioles.)

- Lavado y Secado Automático

Se debe hacer el lavado de la válvula por la que sale el poliuretano, ya que en caso contrario éste sellaría; se hace circular cloruro de metileno para limpiar la manguera inyectora.

#### *1.1.3.4. Procesos De Pre-Acabado*

- Refilado

Se recorta el exceso de material de suela de PU presente en los bordes.

- Lavado

Ingresa a una máquina que empleando **percloroetileno** evaporado remueve la silicona presente en la suela que fue utilizada en la etapa de aplicación de desmoldante. Este vapor es condensado quedando una mezcla silicona-percloroetileno.

#### *1.1.3.5. Procesos De Acabado*

- Pintado

Se da la aplicación de pintura en base PU sobre la suela en forma automatizada; dependiendo del modelo de suela y la orden de pedido.

- Pulido

Para que la suela presente un color uniforme en toda su superficie y adquiera brillo antes de su comercialización, se procede a pulir suavemente.

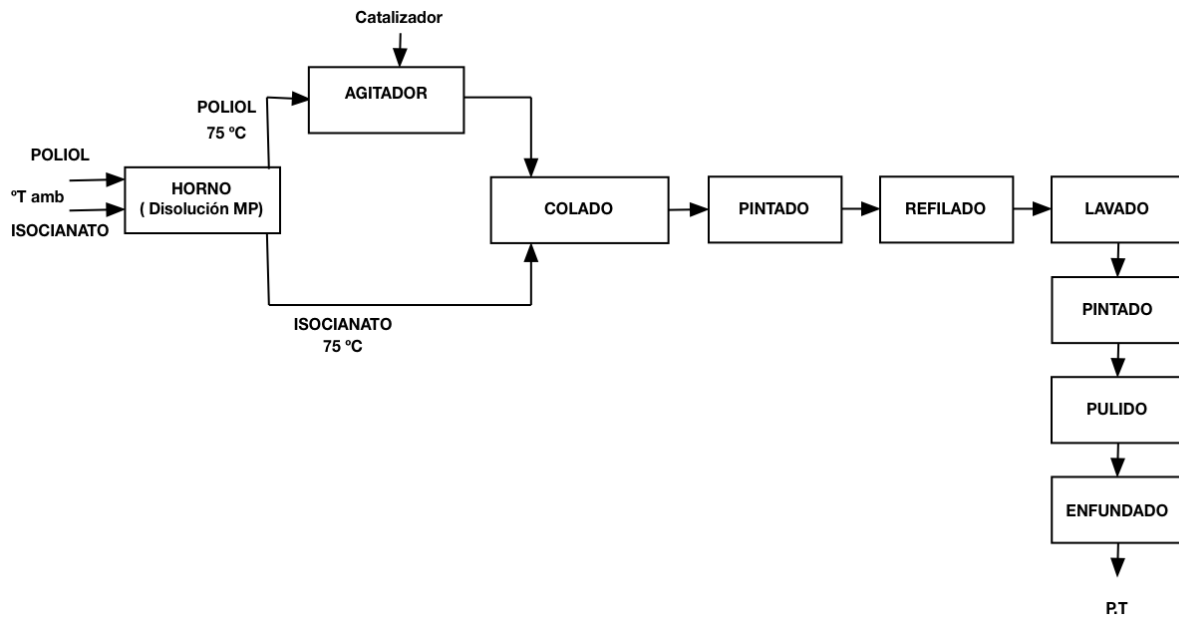
#### *1.1.3.6. Empaquetado*

Las suelas son empacadas en fundas de forma manual por un operario, en docenas; dependiendo la orden de pedido.

#### *1.1.3.7. Almacenamiento y/o Comercialización*

Estas serán trasladadas a la bodega para su comercialización y despacho.

FIG. 3 Diagrama de Flujo del Proceso Fabricación Suelas PU



Realizado por: Rodríguez Byron / Fuente: Empresa La Fortaleza Ltda.

## 1.2. Solventes

### 1.2.1. Generalidades

Los solventes o disolventes son compuestos orgánicos volátiles o mezcla líquida de compuestos químicos que se utilizan solos o en combinación con otros agentes para disolver materias primas, productos o materiales residuales.

Se utilizan para limpieza, para modificar la viscosidad, como agente tenso activo, como plastificante, como conservante o como portador de otras sustancias que, una vez depositadas, quedan fijadas evaporándose el disolvente.

El disolvente casi siempre realiza una de las dos funciones siguientes:

- Realizar un proceso de separación al disolver selectivamente un material de una mezcla.
- Puede ser auxiliar en el proceso de fabricación de un material al disminuir su viscosidad.



Se debe mencionar que no existe solvente 100% seguro, todos presentan cierto nivel de toxicidad. Para esto se deben de conocer las MSDS<sup>2</sup> del solvente a utilizar y elegir el menos riesgoso, o ver su forma de control y minimización del riesgo.

### 1.2.2. Tipos De Solventes

Los solventes se encasillan en distintas clases, de acuerdo a sus propiedades y a su estructura molecular. Muchos de los solventes más utilizados son alifáticos, aromáticos, alcoholes, ésteres, cetonas e hidrocarburos.

Los disolventes más representativos son:

TABLA 1 Clasificación de disolventes según grupo químico

FAMILIAS DE DISOLVENTES	EJEMPLOS DE LOS DISOLVENTES MÁS UTILIZADOS
Hidrocarburos alifáticos	Pentano, hexano, heptano, decano y otros hidrocarburos saturados
Hidrocarburos alicíclicos	Ciclohexano, metilciclohexano, (alfa-pineno), terpenos (trementina), pinenos
Hidrocarburos aromáticos	Benceno, tolueno, xileno, etilbenceno, estireno
Hidrocarburos halogenados -clorados	Cloruro de metileno, tricloroetileno, cloroformo, <b>percloroetileno</b> , <b>tetracloroetileno</b> , tetracloruro de carbono, 1,2-dicloroetano, freones, 1,1,1-tricloroetano
Alcoholes	Metanol, etanol, isopropanol, butanol
Glicoles	Etilenglicol, dietilenglicol, propilenglicol
Éteres	2-metoxietanol, etoxietanol, butoxietanol, p-dioxano
Éteres de glicol	Éter monoetílico de etilenglicol (cellosolve), éter monometílico de etilenglicol (metilcellosolve)
Ésteres	Acetato de metilo, acetato de etilo, acetato de isopropilo, acetato de n-butilo, acetato de i-butilo, acetato de 2-etoxietilo, metacrilato de metilo
Ésteres de ácidos grasos	Ésteres de aceite de coco, ésteres de aceite de colza
Cetonas	Acetona, butanona-2, 4-Metil-pentanona-2, hexanona-2, ciclohexanona, metiletilcetona
Terpenos	a-pineno, et-limoneno
Ácidos orgánicos	Ácido acético, ácido oxálico

<sup>2</sup> MSDS: Material safety data sheet (ficha de datos de seguridad)

Otros	Nitroparafinas, disulfuro de carbono, óxido de estireno
Mezclas complejas de composición variable	Disolvente Stoddard, gasolina, white spirit, naftas

Fuente: Laboratorio Daphnia Ltda.

### 1.2.2.1. Hidrocarburos Halogenados.

Son hidrocarburos que contienen en su molécula átomos de halógenos: F, Cl, Br y I. En las condiciones apropiadas, los átomos de los elementos halógenos, F, Cl, Br, I, pueden introducirse en las cadenas hidrocarbonadas formando los derivados halogenados de los hidrocarburos. Éstos se producen mediante sustitución de átomos de H, o bien, mediante reacciones de adición a los enlaces múltiples.

Se nombran anteponiendo el nombre del halógeno (fluoro-, cloro-, bromo-, yodo-) al del hidrocarburo correspondiente.

Los hidrocarburos halogenados más importantes son los clorados, como el trietileno, tetraetileno, percloroetileno, diclorometano, tetracloroetano.

Debido a sus propiedades como disolventes de grasas y a su gran volatilidad, los hidrocarburos clorados son utilizados como limpiadores en casi todas las áreas de la transformación de metales, tanto en la limpieza en frío, como en el desengrasarse en caliente.

Su gran volatilidad hace que presenten un fácil secado tras la limpieza, pero también que por motivos de seguridad laboral, deba controlarse la concentración de disolventes en el puesto de trabajo. Por contacto con la piel o aspiración por la vías respiratorias, los hidrocarburos clorados pueden causar daños en la mucosas, al sistema nervioso central, hígado, riñones y pulmones y, muchos de ellos, con probable actividad carcinogénica (su principal impacto es la bioacumulación).

### *1.2.2.2. Disolventes Clorados*

Los disolventes clorados, de gran importancia en la industria, se producen a gran escala en todos los continentes. La gran mayoría de estos productos se usan como intermedios químicos, es decir, se usan como materias primas de base para fabricar otros productos químicos.

La cantidad de disolventes clorados utilizados como disolventes es pequeña y está disminuyendo. Se utilizan principalmente como disolventes de extracción en el sector farmacéutico, como agentes de acabado y limpieza en la industria textil, de calzado y de metales.

El uso de disolventes clorados está estrictamente regulado por las distintas legislaciones debido al daño potencial que presentan para el medio ambiente, así como a los peligros contra la salud y la seguridad.

Los disolventes clorados usados en la limpieza de superficies son: Percloroetileno, Tricloroetileno, Cloruro de metileno. Estos son ideales para la limpieza de metales de alto rendimiento y siguen considerándose materiales de referencia de la industria. Sus ventajas estriban en su excelente capacidad disolvente de la suciedad y la contaminación habitual, en que no tienen punto de inflamabilidad, y en un reciclado fácil y eficaz mediante destilación.

## **1.3. Percloroetileno**

### **1.3.1. Generalidades**

Sinónimos incluyen bicloruro de carbono, dicloruro de carbono, etileno tetracloruro, PCE, PERC, percloroetileno, percleno, 1,1,2,2-tetracloroetileno, y tetracloroetileno.

A temperatura ambiente, el percloroetileno o tetracloroetileno es un líquido incoloro, no viscoso, no inflamable, pesado y con un olor similar al éter.

Se evapora fácilmente y tiene un olor dulce. Los vapores son más pesados que el aire. El tetracloroetileno es ligeramente soluble en agua, y es miscible con la mayoría de disolventes orgánicos y aceites. A pesar de que se considera que es bastante estable, a temperaturas mayores de 600°F (316°C), se descompone para formar el gas venenoso, fosgeno y cloruro de hidrógeno, que son irritantes pulmonares potentes. El tetracloroetileno es almacenado en tanques de acero suave equipados con rejillas de respiración y secadores químicos en lugares frescos, secos y bien ventilados, lejos de cualquier área donde el riesgo de incendios puede ser agudo, o en recipientes de vidrio. Se utiliza como solvente en desengrasado, es un solvente actualmente muy utilizado, por su propiedad no inflamable, estabilidad inherente y su alto poder desengrasante.

El percloroetileno es un disolvente clorado ampliamente utilizado por las plantas de lavado en seco. Otras aplicaciones incluyen desengrasado al vapor, y utilizan como intermedios y solvente químico procesamiento.

### ***1.3.2. Propiedades y Características***

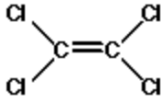
No tiene punto de inflamación y no hay punto de combustión, lo que le da una ventaja importante sobre los destilados petrolíferos como solvente para las operaciones de limpieza en seco. Como resultado, junto con sus propiedades físicas deseables, se ha convertido en el más grande-volumen de disolvente.

Es relativamente inerte, y es inherentemente más estable que otros disolventes clorados. Se estabiliza aún más para evitar la degradación de disolvente o descomposición, y la corrosión de las piezas y equipos de metal en el desengrasado de vapor.

#### ***1.3.2.1. Propiedades Típicas***

El percloroetileno es un líquido transparente, de color del agua a temperaturas ordinarias. Es completamente miscible con la mayoría de los líquidos orgánicos. El producto estabilizado se puede utilizar con cualquiera de los metales de construcción comunes.

CUADRO 1 Propiedades Físicas del Percloroetileno

<b>Nombres químicos</b>	Tetracloroetileno, percloroetileno	
<b>Fórmula química</b>		CCl <sub>2</sub> CCl <sub>2</sub>
<b>Peso Molecular</b>	165.85	
<b>Punto de Ebullición, ° F</b>	250.0	
<b>° C</b>	121.1	
<b>Coeficiente de dilatación cúbica</b>	0.00102	
<b>Promedio de expansión/° C liquido (rango de aplicación)</b>	0 a 25	
<b>Punto de congelación, ° F</b>	- 8.2	
<b>° C</b>	- 22.3	
<b>Libras por galón a 68 ° F (20 ° C)</b>	13.57	
<b>Kilogramos por litro a 20 ° C</b>	1.63	
<b>Índice de refracción, <math>n_D^{20}</math></b>	1.5053	
<b>Constante dieléctrica a 1000 cps y 25° C</b>	2.365	
<b>Calor específico a 20 ° C, cal/(g)(° C) o Btu/(lb)(° F)</b>	0.205	
<b>Punto de inflamación</b>	Ninguno	
<b>Punto de combustión</b>	Ninguno	
<b>Calor de vaporización a 760 mmHg, cal/g</b>	50.1	
<b>BTU/lb</b>	90.2	
<b>Densidad de vapor a 121.1 ° C y 760 mmHg, g/l</b>	5.22	
<b>lb/ft<sup>3</sup></b>	0.326	
<b>Gravedad específica de vapor (aire=1)</b>	5.83	
<b>Presión de vapor a 20° C, mmHg</b>	14.2	
<b>Tasa de evaporación a 77° F (25 ° C) (éter=100)</b>	9	
<b>gal/(ft<sup>3</sup>)(día)</b>	0.15	
<b>Inflamabilidad</b>	No flamable	
<b>Viscosidad a 20 ° C, cps</b>	0.88	
<b>Solubilidad a 25 ° C, g perclor/100 g agua</b>	0.015	
<b>g agua/100 g perclor</b>	0.0105	
<b>Azeótropo con agua, Punto de Ebullición, ° F</b>	189.2	
<b>° C</b>	87.7	
<b>Contenido de agua azeotrópica, wt %</b>	15.8	
<b>Límite de exposición permisible (8 horas TWA) ppm</b>	25	

Fuente: PPG Industries, Inc./ <http://www.ppgchloralkali.com>

CUADRO 2 Especificación y análisis típicos, todos los grados

	<b>Especificación</b>	<b>Análisis Típico</b>
<b>Apariencia</b>	Claro, libre de materia en suspensión	Claro, libre de materia en suspensión
<b>Color, APHA</b>	15 máximo	8
<b>Prueba de la Mancha</b>	No mancha ni arruga	No mancha ni arruga
<b>Gravedad específica, 20 °C/20 °C</b>	1.623 a 1.628	1.624
<b>Residuos no volátiles, wt%</b>	0.0025 máximo	0.0003
<b>Cloro libre</b>	Ninguno	Ninguno
<b>Humedad, ppm máxima</b>	30	25
<b>Rango de destilación (100%), ° F</b>	120.0 a 122.0	120.8 a 121.6
<b>° C</b>	248.0 a 251.6	249.4 a 250.9
<b>pH</b>	Drycleaning 6.5-7.5 Degreasing 8-9	Drycleaning, 6.8 Degreasing, 8.4
<b>Aceptación ácida, como NaOH, % mínimo</b>	Drycleaning N/A Degreasing 0.02 Heavy Duty Degreasing 0.10	N/A 0.03 0.11

FUENTE: PPG Industries, Inc./ <http://www.ppgchloralkali.com>

### **1.3.3. Síntesis**

Por cloración directa de compuestos orgánicos con 1-3 átomos de carbono a 600-800 °C y 0,2 - 1 MPa y destilación fraccionada de los productos obtenidos.

### **1.3.4. Aplicaciones Generales**

Además de su amplio uso como un disolvente de limpieza en seco, se utiliza ampliamente para el desengrasado de vapor debido a su alta solvencia, no inflamabilidad y de la densidad de vapor elevada.

#### **1.3.4.1. Limpieza En Seco**

Es el disolvente preferido, ya que, además de su no inflamabilidad, proporciona una poderosa acción de limpieza suave rápido a la vez con un mínimo de agitación mecánica. El resultado es menos desgaste de la tela, limpia todas las fibras naturales y sintéticas.

El ciclo de limpieza y tiempos de secado son rápidos, y debido a su alta solvencia, menos manchas se dejan para el observador. Debido a que el disolvente es recuperable, tiene una larga vida de servicio.

#### *1.3.4.2. Vapor Desengrasante*

Muchas industrias, incluyendo la aeroespacial, electrodomésticos, textil, de calzado y automoción, utilizan PERC para vapor desengrasante de piezas. El percloroetileno es preferido en algunas situaciones debido a su mayor punto de ebullición (por encima de la del agua).

El punto de ebullición alto (250° F/ 121 °C) del percloroetileno permite condensar más vapor sobre superficies a limpiar que otros disolventes clorados, por lo tanto el lavado de las piezas con un mayor volumen de disolvente. El percloroetileno limpia en forma más prolongada y elimina grasas y ceras con elevado punto de ebullición con mayor facilidad.

Es eficaz con piezas de peso y tamaño ligero que calientan a la temperatura de un punto de ebullición solvente más baja y por lo tanto deja de aire de condensación de líquido en las partes antes de que la limpieza se haya completado. El percloroetileno es particularmente eficaz en finos orificios y las costuras soldadas por puntos.

Forma un azeótropo con agua que tiene un punto de ebullición inferior a la del agua, mientras que el percloroetileno en sí tiene un punto de ebullición más alto que el agua. Como resultado, permite un desengrasante de vapor para función como un dispositivo de secado de piezas y para eliminar las películas de agua a partir de superficies sin degradación del disolvente.

#### *1.3.4.3. Procesamiento Químico*

Sirve como disolvente portador para acabados de tela, caucho y siliconas, y como disolvente de extracción. Se utiliza en formulaciones de removedor de pintura y en tintas de impresión. Sirve como intermediario químico.

También se utiliza a menudo como un componente de mezclas de solventes de "seguridad". Cuando se utiliza para este propósito es importante para determinar el punto de inflamación de la mezcla a medida que se va a utilizar antes de usar o de vender, ya que una cantidad insuficiente de perc no elevará el punto de inflamación de la mezcla.

#### *1.3.4.4. Catalizador De Regeneración*

Se utiliza en la industria de la refinera de petróleo como una fuente de HCl, un promotor, que ayuda en la regeneración de catalizador tanto en las operaciones de reformado y de isomerización catalítica. El producto que se vende en esta operación es un grado más puro, menos estabilizado que la mayoría de los grados.

### **1.4. Silicona**

Compuesto orgánico derivado del silicio que tiene las propiedades físicas de los aceites, resinas, y son extremadamente útiles al ser más estables expuestos al calor y al oxígeno que las sustancias orgánicas ordinarias.

Los aceites de silicona tienen un pequeño número de átomos de silicio en cada molécula. Controlando el tamaño de las moléculas individuales y la polimerización de las moléculas adyacentes, se producen aceites, resinas o cauchos. Los aceites de silicona pueden soportar temperaturas muy altas sin descomponerse y son químicamente inertes a los metales y a la mayoría de reactivos, estos se utilizan en sistemas hidráulicos; las resinas de silicona se emplean como aislantes resistentes al calor, los cauchos de silicona se utilizan como aislantes. La siliconas se usan también para cerámica, tejidos y papel que sean resistentes al agua.



### **1.4.1. Definición**

“Las siliconas son compuestos inertes, sintéticos de gran diversidad en formas y usos. Por lo general son resistentes al calor y similares a los elastómeros, que se utilizan en selladores, adhesivos, *lubricantes*, aplicaciones médicas, y aislamiento térmico.

Las siliconas son polímeros que incluyen silicio junto con carbono, hidrógeno, oxígeno, y en ocasiones otros elementos químicos. Algunas formas comunes incluyen el aceite de silicona, grasa de silicona, caucho de silicona y resina de silicona.”

### **1.4.2. Propiedades**

Algunas de las propiedades más útiles de las siliconas son:

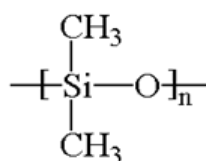
- Baja reactividad química.
- Baja toxicidad.
- Estabilidad térmica (propiedades constantes en un amplio rango de temperaturas -100 a 250°C).
- Capacidad de repeler agua y forman juntas de estanqueidad, a pesar de que las siliconas no son hidrófobas.
- Resistencia al oxígeno, el ozono, y la luz ultravioleta (UV) como la luz del sol.
- Buen aislamiento térmico.
- No se pega.

### **1.4.3. Estructura Química**

Más convenientemente llamadas siloxanos polimerizados o polisiloxanos, las siliconas son mezclas de polímeros de compuestos orgánicos e inorgánicos con fórmula química  $(R_2SiO)_n$ , donde R es un grupo orgánico, como metilo, etilo o fenilo. Estos materiales consisten en una cadena inorgánica de silicio y oxígeno (-Si-O-Si-O-Si-O-) con grupos laterales orgánicos unidos a los átomos de silicio.

En algunos casos, los grupos orgánicos secundarios pueden ser utilizados para unir dos o más de estas cadenas Si-O. Mediante la variación de la longitud de la cadena Si-O, los grupos secundarios, y reticulación, las siliconas se pueden sintetizar con una amplia variedad de propiedades y composiciones lo que permite variar la consistencia, de líquido a gel o de goma a plástico duro. El siloxano más común es el polidimetilsiloxano lineal (PDMS), un aceite de silicona.

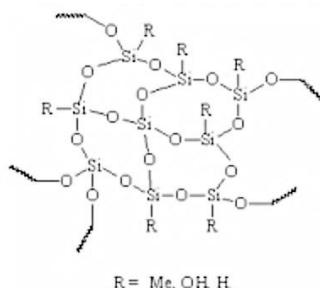
FIG. 4 Estructura del PDMS



Fuente: <http://tecnologiadelosplasticos.blogspot.com>

El segundo grupo más grande de materiales de silicona está basado en resina de silicona, que se forman por oligosiloxanos ramificados.

FIG. 5 Estructura de oligosiloxanos ramificados

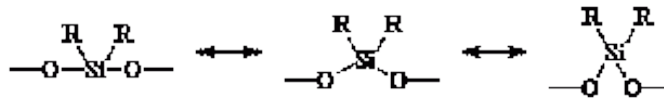


Fuente: <http://tecnologiadelosplasticos.blogspot.com>

#### 1.4.4. Aceite De Silicona

Las siliconas constituyen buenos elastómeros porque la cadena principal es muy flexible. Los enlaces entre un átomo de silicio y los dos átomos de oxígeno unidos, son altamente flexibles a la vez que son muy fuertes. El ángulo formado por estos enlaces, puede abrirse y cerrarse como si fuera una tijera, sin demasiados problemas. Esto hace que toda la cadena principal sea flexible.

FIG. 6 Estructura enlaces silicio – oxígeno



Fuente: <http://tecnologiadelosplasticos.blogspot.com>

### **1.4.5. Impacto Ambiental**

La silicona no es contaminante, de hecho, es biocompatible y se emplea en productos medicinales. Es inodora, insípida y no hace de soporte para el desarrollo de bacterias. Incluso hay siliconas reutilizables que se emplean para moldes, etc; y que se pueden fundir varias veces sin perder sus propiedades.

### **1.4.6. Consideraciones Sobre Eliminación**

#### *1.4.6.1. Método De Tratamiento De Residuos*

Reutilizar, si es posible. Los residuos del producto deben considerarse residuos especiales no peligrosos. La disposición debe ser llevada a cabo por un gestor de desechos autorizado para el manejo de residuos, de acuerdo con las regulaciones nacionales y locales.

El recipiente contaminado debe ser valorizado o eliminado de acuerdo con la normativa de gestión de residuos nacional.

## **1.5. Destilación**

### **1.5.1. Generalidades**

Con el nombre de destilación se entiende la separación de los componentes de una mezcla líquida por vaporización parcial de la misma, de tal manera que la composición del vapor obtenido sea distinta de la composición del líquido residual.

La destilación es una de las operaciones básicas más importantes de la industria química y permite separar los componentes de una mezcla líquida al estado de sustancias puras.

Una mezcla de dos líquidos miscibles destila a una temperatura que no coincide con las temperaturas de ebullición de los dos líquidos componentes de la mezcla. Esta temperatura puede ser intermedia entre las dos, superior o inferior. El vapor que se desprende no tiene la composición del líquido original, sino que es más rico en el volátil.

En la recuperación de solventes, después de un tratamiento inicial, los solventes sucios destinados para reuso como tal son destilados para separar las mezclas de solventes y para remover impurezas disueltas.

### **1.5.2. Definición**

“Proceso en el cual una mezcla de vapor o líquida de dos o más sustancias es separado en sus componentes de pureza deseada, por la aplicación o remoción de calor.”

### **1.5.3. Descripción De La Operación Unitaria**

Los procesos de separación alcanzan sus objetivos mediante la creación de dos o más zonas que coexisten y que tienen diferencias de temperatura, presión, composición y fase. Cada especie molecular de la mezcla que se vaya a separar reaccionará de modo único ante los diversos ambientes presentes en esas zonas.

En consecuencia, cada especie establecerá una concentración diferente en cada zona y esto da como resultado una separación entre las especies. El proceso de separación denominado Destilación utiliza fases de vapor y líquido, a la misma temperatura y presión, para las zonas coexistentes, en la cual se utilizan varios tipos de dispositivos para cuyo proceso.

La destilación puede efectuarse de acuerdo a dos métodos:

- 1) El primer método se basa en la producción de vapor mediante la ebullición de la mezcla líquida que se desea separar y condensación de los vapores sin permitir que el líquido retorne al calderín. Es decir, no hay reflujo.
- 2) El segundo método se basa en el retorno de una parte del condensado a la columna, en unas condiciones tales que el líquido que retorna se pone en íntimo contacto con los vapores que ascienden hacia el condensador. Cualquiera de los dos métodos puede realizarse de forma continua o por cargas.

#### **1.5.4. Factores Que Intervienen En El Proceso De Destilación**

##### *1.5.4.1. Temperatura*

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

- Temperatura de ebullición

La temperatura de ebullición de los diferentes líquidos a separar.

- Temperatura de la mezcla en el momento de la destilación.
- También, pero en menor medida, la temperatura del condensador en el que se recuperarán los líquidos separados, ya que esta debe ser menor a la temperatura de fusión de los líquidos de la mezcla.

#### *1.5.4.2. Presión De Vapor*

La presión o tensión del vapor de un líquido, es la presión de su valor a una temperatura dada en la cual las fases de vapor y líquido de la sustancia pueden existir en equilibrio.

Si se mantiene constante la temperatura y se comprime el vapor sobre el líquido puro, tendrá lugar una condensación hasta que no se desprenda nada de vapor. Recíprocamente, si se ensancha el espacio ocupado por el vapor, se produce evaporación.

- Presión del sistema

A menor presión menor temperatura de ebullición

#### **1.5.5. Principios De La Destilación**

La separación de componentes de una mezcla líquida mediante destilación depende de las diferencias de los puntos de ebullición de los componentes individuales. Además, dependiendo de las concentraciones de los componentes presentes, la mezcla líquida tendrá diferentes características de su punto de ebullición. En consecuencia, el proceso de destilación depende de las características de presión de vapor de las mezclas líquidas.

##### *1.5.5.1. Presión De Vapor Y Ebullición*

La presión de vapor de un líquido a una temperatura particular es una presión de equilibrio ejercida por las moléculas saliendo y entrando a la superficie del líquido.

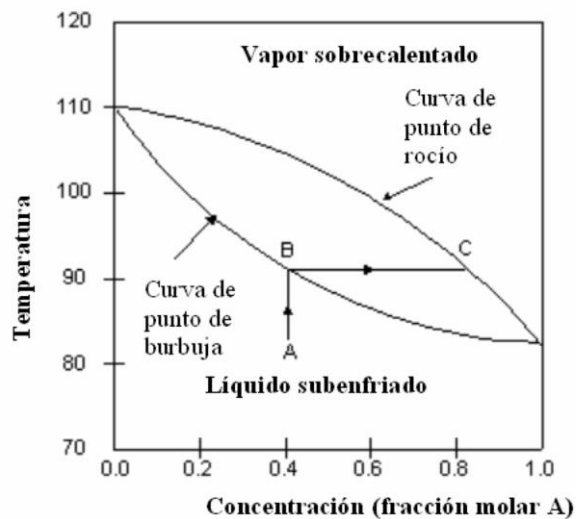
- La entrada de energía eleva la presión de vapor.
- La presión de vapor está relacionado con la ebullición.
- Un líquido hierve cuando su presión de vapor iguala la presión circundante.
- La facilidad con que un líquido hierve depende de su volatilidad.
- Líquidos con altas presiones de vapor (líquidos volátiles) bullirán a temperaturas inferiores.

- La presión de vapor y por tanto el punto de ebullición de una mezcla líquida depende de las cantidades relativas de los componentes en la mezcla.
- La destilación ocurre a causa de las diferencias en la volatilidad de los componentes en la mezcla líquida.

### 1.5.5.2. Diagrama Del Punto De Ebullición

El diagrama del punto de ebullición muestra como varían las composiciones de equilibrio de los componentes de una mezcla líquida con la temperatura a una presión determinada

FIG. 7 Relación Temperatura-concentración



Fuente: UDEP (Universidad de Piura)

El punto de ebullición de A es el que corresponde cuando la fracción molar de A es 1. El punto de ebullición de B es el que corresponde cuando la fracción molar de A es 0. En este ejemplo, A es el componente más volátil y por tanto tiene un punto de ebullición menor que el de B. La curva superior en el diagrama es llamada la curva del punto de rocío mientras que una es llamada la curva del punto de burbuja.

El punto de rocío es la temperatura al cual el vapor es saturado. El punto de burbuja es la temperatura al cual el líquido comienza a hervir.

La región arriba de la curva del punto de rocío muestra la composición de equilibrio del vapor sobrecalentado mientras la región debajo de la curva del punto de burbuja muestra la composición de equilibrio del líquido subenfriado.

Por ejemplo, cuando un líquido subenfriado con fracción molar de A =0.4 (punto A) es calentado, su concentración permanece constante hasta alcanzar el punto de burbuja (punto B), por lo que empieza a ebullicir. El vapor evoluciona durante la ebullición hasta alcanzar la composición de equilibrio dada por el punto C, aproximadamente donde la fracción molar de A es 0.8. Esto es aproximadamente 50% más rico en A que el líquido original.

La diferencia entre las composiciones de líquido y vapor es la base de las operaciones de destilación.

#### 1.5.5.3. Volatilidad Relativa

La volatilidad relativa es la medida de la diferencia de las volatilidades entre 2 componentes, y por tanto de sus puntos de ebullición. Indica cuan fácil o difícil puede resultar la separación. La volatilidad relativa del componente  $i$  con respecto al componente  $j$  está definido como:

$$\alpha_{ij} = \frac{\left(\frac{y_i}{x_i}\right)}{\left(\frac{y_j}{x_j}\right)}$$

Ec. 1.5.1

Donde:

$y_i$ = fracción molar del componente  $i$  en el vapor

$x_i$ = fracción molar del componente  $j$  en el líquido

- Aplicaciones

De esta manera, si la volatilidad relativa entre dos componentes es bastante cercana a uno, indica que tienen características de presión de vapor bastante similares.



Esto significa que tienen puntos de ebullición bastante similares y por tanto, será difícil separar los dos componentes mediante destilación.

### **1.5.6. 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.

a. Procesos de destilación continua:

- Destilación instantánea
- Destilación con rectificación

b. Procesos de destilación discontinua:

- Destilación simple
- Destilación fraccionaria

### **1.5.7. Tipos De Destilación**

Entre los principales tipos de destilación más usados en forma industrial tenemos:

CUADRO 3 Descripción De Tipos De Destilación Principales

Destilación al vacío	Consiste en reducir la presión de operación para obtener la ebullición a temperaturas bajas, ya que un líquido empieza a hervir cuando su presión de vapor iguala la presión de operación.
Destilación Simple	La destilación simple 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.
Destilación Azeotrópica	Técnicas usadas para romper un azeótropo en la destilación. Una mezcla azeotrópica es aquella mezcla líquida de dos o más componentes que poseen una temperatura de ebullición constante y fija, esta mezcla azeotrópica se forma debido a que al pasar al estado vapor se comporta como un líquido puro, es decir como si fuese un solo componente.
Destilación Extractiva	Utilizada para separar mezclas binarias azeotrópicas, en la que se adiciona un agente de separación o solvente, cuya característica principal es que no presenta la formación de azeótropos con ninguno de los componentes de la mezcla a separar.
Destilación Fraccionada	Proceso físico utilizado para separar mezclas de líquidos mediante el calor, y con un amplio intercambio calórico y másico entre vapores y líquidos. Se emplea principalmente cuando es necesario separar compuestos de sustancias con puntos de ebullición distintos pero cercanos. La principal diferencia que tiene con la destilación simple es el uso de una columna de fraccionamiento.
Destilación por Arrastre de Vapor	Separación de sustancias poco solubles en agua. La destilación por arrastre de vapor se emplea para separar una sustancia de una mezcla que posee un punto de ebullición muy alto y que se descomponen al destilar.
Destilación por Cambio de Presión	Usado para la separación de mezclas azeotrópicas y se basa en el principio similar de la destilación al vacío, esto es debido a la manipulación de puntos de ebullición por el cambio de presión de la

	atmósfera a la cual una solución es expuesta.
Destilación Repentina o Flash	Separación de una sola etapa. Si la mezcla que se desea separar es líquida, se alimenta a un intercambiador de calor donde se aumenta su temperatura y entalpía vaporizando parte de la mezcla, luego la mezcla entra a un volumen suficientemente grande (tambor de separación) donde el líquido y el vapor se separan.

Fuente: <http://operaciones-unitarias-1.wikispaces.com/Tipos+de+Destilacion>; 2014

#### 1.5.7.1. Destilación Simple Por Lotes O Batch

En las destilaciones por lotes, llamadas también batch, se carga al equipo una determinada cantidad de la mezcla de interés para que, durante la operación, uno o más compuestos se vayan separando de la mezcla original.

Un ejemplo común corresponde a las destilaciones que ocurren en los laboratorios, donde el líquido es vaciado en un recipiente y calentado hasta hervir. El vapor formado se retira continuamente por condensación, que corresponde al compuesto más volátil.

En las separaciones por lotes no hay estado estable y la composición de la carga inicial cambia con el tiempo. Esto trae consigo un incremento en la temperatura del recipiente y decremento en la cantidad de los componentes menos volátiles a medida que avanza la destilación.

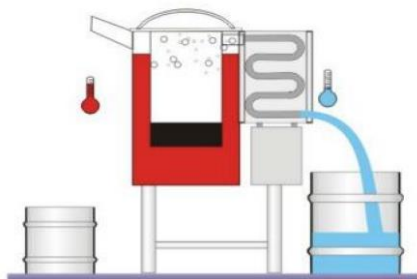
La destilación por lotes se utiliza en los siguientes casos:

- I. Cuando la capacidad requerida es tan pequeña que no permite la operación continua a una velocidad práctica. Las bombas, boiler, tuberías y equipos de instrumentación generalmente tienen una capacidad mínima de operación industrial.

II. Los requerimientos de operación fluctúan mucho con las características del material alimentado y con la velocidad de procesamiento. El equipo para operación por lotes generalmente tiene mayor flexibilidad de operación que los que operan en forma continua. Esta es la razón por la cual predomina el equipo de operación por lotes en plantas piloto.

III. La destilación intermitente se utiliza también cuando la mezcla a separar tiene un alto contenido de sólidos. El uso de una unidad por lotes puede mantener a los sólidos separados y permitir que se remuevan fácilmente al final del proceso.

FIG. 8 Equipo de destilación por Lotes o Batch



Fuente: Guangzhou Hongyi Equipment Co., Ltd.

## 1.6. Recuperación Del Percloroetileno Por Destilación Simple

### 1.6.1. Definición

La continua generación de solventes sucios en el sector industrial representa un grave problema económico y medioambiental. Hasta ahora las industrias tienen que decidir que hacer con el solvente sucio producido: confinarlo, recuperarlo para su posterior venta a terceros o recuperarlo para retornarlo a su producción.

El servicio de recuperación de solventes aparece como una alternativa con muchas ventajas ya que garantiza un alto porcentaje de recuperación del solvente sucio en el mismo lugar donde se ha generado, reduciendo notablemente la necesidad de compra del solvente nuevo (la compra de solventes es un problema económico) y la cantidad de residuos reenviados para su tratamiento cumpliendo con las nuevas leyes medioambientales así como con las certificaciones ISO 14001.

### **1.6.2. Instalación**

Se cuantifica la instalación de acuerdo a la cantidad diaria, semanal o mensual, necesaria de solvente sucio a regenerar; una vez establecida la operativa más idónea para la empresa se pone en marcha todo el proceso.

Se instala la planta de destilación lo más cerca posible al depósito de solvente sucio almacenado por la empresa y se procede al envío del solvente sucio directamente a la zona de destilación.

El solvente recuperado y depositado en el contenedor de entrega no ha perdido sus propiedades de calidad y está listo para ser devuelto a la zona de producción.

### **1.6.3. Objetivo**

La recuperación de solvente mediante este equipo permite ahorrar tiempo y dinero mediante la reducción de su dependencia del solvente virgen en la compra de disolvente y los honorarios. El solvente recuperado y depositado en el contenedor de entrega no ha perdido sus propiedades de calidad y está listo para ser devuelto a la zona de producción.

La aplicación de recuperación de solventes es altamente benéfica ya que permite la recuperación del 100% del solvente sucio otorgando importantes beneficios económicos al ser incorporada, ahorrando en la compra de nuevo solvente. La recuperación del solvente dentro de las propias instalaciones garantiza la cero existencia de cualquier otro agente contaminante por lo que puede ser reutilizado con toda confianza.

Las pruebas de destilación realizadas en laboratorio arrojan resultados alentadores, brindando una eficiencia promedio de hasta el 92%, tomando en cuenta que habrá pérdidas del destilado para asegurar la calidad como es el caso que se debe desechar la “cabeza” del destilado.

A este producto se le realizaron los ensayos necesarios para verificar el cumplimiento de parámetros tanto en laboratorio de la ESPOCH como en laboratorios especializados, confirmando que presenta todas las garantías para su reutilización, siendo este el producto deseado.

#### **1.6.4. Principio De Operación Del Destilador Simple De Percloroetileno**

Tomando en cuenta que la mezcla cumple con los parámetros descritos anteriormente: la capacidad requerida de recuperación es pequeña, cuenta con gran contenido de sólidos, los puntos de ebullición entre el componente más volátil y menos volátil son bastante distantes, y en base a pruebas satisfactorias en laboratorio (con ciertas consideraciones) decimos que aplica la destilación simple batch para el diseño del equipo.

Para iniciar el ciclo se procede a trasvasar la mezcla percloroetileno-silicona (previamente filtrada) en la tanque de ebullición [se puede instalar una bolsa de poliamida muy resistente a altas temperaturas en el depósito de la máquina de recuperación]. Se coloca la tapa, se programa el proceso y comienza el ciclo de purificación del solvente mediante su exposición a altas temperaturas. Debido a que los solventes sucios están compuestos por diferentes elementos, cada nivel de temperatura hace reaccionar al tipo de elemento que queremos separar de la mezcla

El solvente purificado se vuelve gaseoso ante la exposición al calor y se eleva dejando la suciedad y elementos sólidos en la parte baja del depósito para su posterior expulsión.

El solvente purificado en su estado gaseoso se vuelve líquido por un sistema de enfriamiento y es dirigido a un tanque de recepción. El solvente recuperado libre de elementos contaminantes pasa del depósito a un contenedor madre donde se almacena.

Para la obtención de dicho efecto, se requiere de una serie de dispositivos, elementos y sistemas detallados a continuación:

### ❖ **Tanque de ebullición**

O generador de vapor; lugar de disposición de la alimentación Percloroetileno-silicona que se destilará.

### ❖ **Chaqueta Térmica**

Lugar de disposición de aceite diatérmico en donde se encuentran dos resistencias eléctricas para su calentamiento.

### ❖ **Aceite diatérmico**

El aceite térmico es el que se utiliza como medio de calefacción. El aceite es ideal para calentar a altas temperaturas. El aceite térmico se utiliza en un circuito cerrado hasta temperaturas de 340 °C aproximadamente, sus sistemas no corren riesgos de explosión y son más eficientes que el vapor.

### ❖ **Bolsa de poliamida**

Bolsa plástica resistente a altas temperaturas, empleada para colocar en el tanque de ebullición y ahí verter la mezcla. Esto se puede obviar de no ser posible su adquisición.

### ❖ **Tuberías**

Conducto formado por tubos que sirve para distribuir líquidos o gases; colocado en el tanque de ebullición para salida de percloroetileno hacia el condensador; se emplea tubería de cobre para una mejor transferencia de calor.

### ❖ **Válvulas de control**

Dispositivo mecánico o electromecánico empleados para el apertura cierre y control de flujo de fluidos: paso de evaporado al condensador, salida del destilado.

Además se dispondrá de una válvula de bola en la parte superior del tanque de aceite diatérmico para cuando se requiera la carga y una por la parte inferior para purga (medida de seguridad).

Válvulas a la entrada y salida del condensador para control del flujo de agua empleada para condensar.

#### ❖ Nivel del solvente

El volumen de carga mínima y máxima de alimentación de la mezcla a destilar, se cuantifica en función del nivel que alcance en el tanque de ebullición.

#### ❖ Nivel de Aceite diatérmico

Altura a la que se deberá aforar la cantidad de aceite diatérmico que estará alojado en la chaqueta térmica

#### ❖ Resistencia calentadora (eléctrica)

Las resistencias calentadoras convierten energía eléctrica en calor. Las Resistencias selladas son resistencia calentadora chaqueta de cobre cromado para inmersión donde un alambre de níquel-cromo se cubre con cerámica y después se enchaqueta con cobre cromado (níquel 45%, cromo 30%, hierro 22%, cobre 3%), es más resistente al óxido, y son generalmente para calentamiento de líquidos por inmersión.

#### ❖ Condensador

Su función 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).

#### ❖ Chiller

Enfriador de agua ó water chiller es un caso especial de máquina frigorífica cuyo cometido es enfriar un medio líquido, generalmente agua. Trabaja en forma cíclica llevando agua a baja temperatura hacia el condensador del solvente, saldrá de este con una temperatura mayor y se dirigirá hacia el chiller para ser enfriado.



### ❖ Depósito del condensado

El solvente recuperado saldrá del condensador en estado líquido pero aún presentará una temperatura elevada, por lo que será alojado en un recipiente cerrado hasta finalizar la destilación de toda la carga; donde reposará hasta llegar a temperatura ambiente. Después podrá ser trasvaso a contenedores de almacenamiento por la persona que opere el equipo (empleando el EPP adecuado).

## 1.7. Diseño

### 1.7.1. Balance De Masa

Los balances de masa o balances de materia se basan en la ley de la conservación de la materia, que establece que la materia no se crea ni se destruye; son utilizados en el diseño de un nuevo proceso o en el análisis de uno ya existente. Con el balance de masa se calcula todos los flujos y las concentraciones de entrada y salida del destilador.

#### 1.7.1.1. Balance General

$$F = D + B$$

Ec. 1.7.1

Donde:

F= Alimentación (Entrada)

D= Destilado (Salida)

B= Fondo (Acumulación)

#### 1.7.1.2. Balance Por Componentes

Percloroetileno:  $F * x_{Fperc} = D * x_{Dperc} + B * x_{Bperc}$

Ec. 1.7.2

Silicona:  $F * x_{Fsilc} = D * x_{Dsilc} + B * x_{Bsilc}$  Ec. 1.7.3

Donde:

$X_F$ = fracción molar alimentación

$X_D$ = fracción molar destilado

$X_B$ = fracción molar fondo

1) Despejamos B de la ecuación Ec. 1.8.2-1:

$$B = \frac{(F * X_{F perc}) - (D * X_{D perc})}{X_{B perc}}$$

Ec. 1.7.4

2) Sustituimos B en el balance general y despejamos D:

$$D = \frac{(F * X_{B perc}) - (F * X_{F perc})}{X_{B perc} - X_{D perc}}$$

Ec. 1.7.5

3) Sustituimos D en la ecuación Ec. 1.8.2-2 y despejamos B:

$$B = \frac{(F * X_{F silc}) - (D * X_{D silc})}{X_{B silc}}$$

Ec. 1.7.6

### 1.7.2. Coeficiente De Dilatación

El coeficiente de dilatación es el cociente que mide el cambio relativo de longitud o volumen que se produce cuando un cuerpo sólido o un fluido dentro de un recipiente cambia de temperatura provocando una dilatación térmica; este comportamiento de respuesta ante la temperatura se expresa mediante el coeficiente de dilatación térmica (típicamente expresado en unidades de  $^{\circ}\text{C}^{-1}$ ):

$$\alpha = \frac{1}{T} \left( \frac{\partial V}{\partial T} \right)$$

Ec. 1.7.7

Donde:

$\alpha$ : Coeficiente de dilatación

T: Temperatura

$\partial V$ : Derivada parcial del volumen

$\partial T$ : Derivada parcial de temperatura

### 1.7.2.1. Gases Y Líquidos

En gases y líquidos es más común usar el coeficiente de dilatación volumétrico  $\alpha_V$  o  $\beta$ , que viene dado por la expresión:

$$\alpha_V = \frac{d \ln V}{dT} \approx \frac{1}{V} \frac{\Delta V}{\Delta T}$$

Ec. 1.7.8

Donde:

$\alpha$ : Coeficiente de dilatación volumétrico

V: Volumen

$\Delta V$ : Diferencia de volumen ( $V_f - V$ )

$\Delta T$ : Diferencia de temperatura ( $T_f - T_i$ )

Para el cálculo del volumen final despejando tendremos que:

$$V_f = [\alpha_V * V * (T_f - T_i)] + V$$

Ec. 1.7.9

### **1.7.3. Consideraciones Para La Construcción**

#### *1.7.3.1. Materiales*

Nos planteamos una disminución del impacto ambiental por lo que esta premisa se debe considerar en todas las instancias del proyecto. La selección de materiales debe contribuir a una fácil limpieza, evitar la corrosión, durabilidad.

#### *1.7.3.2. Acero Inoxidable*

El acero inoxidable es una aleación de hierro que comprende de 10,5 a 30 por ciento de cromo; muestra una excelente resistencia entre los materiales que soportan la corrosión en varios entornos, enorme resistencia a la fatiga y la capacidad de absorción de energía, estas cualidades garantizan la idoneidad del material para la construcción de la cámara de ebullición, la cámara térmica de aceite y el condensador.

#### *1.7.3.3. Tubería Y Accesorios*

Se requiere tubería a la salida de los vapores hacia el condensador, necesitando un material apto para la transferencia de calor eficaz, condensando rápidamente al solvente.

#### *1.7.3.4. Resistencias Eléctricas*

Alojadas en la base del tanque de aceite, empleando 220V de corriente (instalaciones existentes en la empresa) y de 5.1 KW. Con controlador en panel para la regulación de temperatura del aceite.

TABLA 2 Resistencia Eléctrica vs. Capacidad equipo

<b>De la Capacidad (L)</b>	<b>Refrigeración</b>	<b>De energía</b>	<b>Máxima potencia</b>
15	De aire de enfriamiento	220v	2.7kw

20	De aire de enfriamiento	de	220v	2.0kw
40	De aire de enfriamiento		380v	3.0kw
60	De aire de enfriamiento	de	380v	5.0kw
80	De aire de enfriamiento	de	380v	5.0kw
90	De aire de enfriamiento	de	380v	5.0kw
125	De aire de enfriamiento	de	380v	6.0kw
250	De aire de enfriamiento	de	380v	16kw
450	De aire de enfriamiento	de	380v	30kw
25	De agua de enfriamiento	de	220v	2.8kw
40-60	De agua de enfriamiento	de	220v	5.0kw

Fuente: HONGYI GUANGZHOU KUANBAO ENVIRONMENTAL EQUIPMENT CO., LTD.

# **CAPÍTULO II**

## **PARTE EXPERIMENTAL**

## **2. PARTE EXPERIMENTAL**

El desarrollo del presente proyecto de tesis tuvo inicio con la recolección de muestras de la solución problema existente en la máquina de lavado de suelas de la empresa LA FORTALEZA LTDA. ubicada en el parque industrial de la ciudad de Ambato, estas, posteriormente fueron llevadas al laboratorio de PROCESOS INDUSTRIALES de la Facultad de Ciencias de la ESPOCH para realizar los correspondientes análisis y el proceso de simulación mediante una destilación simple, fraccionada e industrial, permitiendo la obtención de los datos necesarios para realizar el diseño y dimensionamiento del equipo.

### **2.1. Muestreo**

El tipo de muestreo aplicado al presente proyecto fue un muestreo aleatorio sistemático, debido a que se toma una sola muestra una vez por semana en un mismo punto y volumen, esto para conocer la concentración inicial de la mezcla a destilar. Cuantificando que cantidad de solvente es añadido y la cantidad de silicona extraída.

Se tomaron muestras<sup>3</sup> durante dos meses; es decir un total de 8 muestras, se deberá tomar en cuenta que estas presentarán una variación notable en las concentraciones iniciales debido a que no es removido la mezcla en forma total del equipo de lavado cada semana, sino que se encuentra en función de la producción y el número de suelas que hayan sido lavadas.

Se estimará así el tiempo más apropiado y la cantidad de mezcla que será alimentada al equipo de recuperación; partiendo de esto para su dimensionamiento.

---

<sup>3</sup> ANEXO II

**TABLA 3**  
**Muestreo**

<b>Muestra</b>	<b>Receptor</b>	<b>Volumen</b>	<b>Frecuencia de Muestreo</b>	<b>Procedimiento</b>
Las muestras recolectadas son una mezcla percloroetileno + silicona, tomadas de la máquina de lavado de suelas empresa LA FORTALEZA.	Envases plásticos limpios y secos; de uso exclusivo para muestreo. De un galón de capacidad.	El volumen de la muestra a tomar es de 2 a 3 litros.	Se tomará una muestra por semana los días lunes en que se realiza la limpieza de equipo en la empresa La Fortaleza Ltda.	En la máquina de lavado en las mañana de lunes, la persona encarga de la operación del equipo, empleando el EPP adecuado tomará la cantidad especificada de la válvula de purga. Y pondrá en un recipiente limpio y seco. Estos serán identificados con la fecha del muestreo y almacenados en un lugar fresco, hasta ser llevados al laboratorio.

Fuente: RODRIGUEZ B. / MONTENEGRO L., 2014



## **2.2. Metodología**

### **2.2.1. Métodos Y Técnicas**

#### *2.2.1.1. Métodos*

Existe una conjugación de métodos a emplear para el desarrollo de la presente investigación, aplicando en gran medida los conocimientos adquiridos desde las aulas para empezar desde lo simple hacia lo complejo. Tomando ventaja de los datos conocidos para avanzar hacia una propuesta consensuada y eficaz para la implementación en la presente industria.

#### *2.2.1.2. Método Inductivo*

Se efectuó el muestreo de la mezcla percloroetileno – silicona de la máquina de lavado de suelas de la Empresa La FORTALEZA Ltda., una vez que la máquina fue vaciada y se encuentra con una carga inicial de solvente percloroetileno puro (100%) transcurrida una semana se cuantifica el número de suelas lavadas (cantidad de silicona) para reconocer cual sería el tiempo más adecuado de recuperación (destilado) del solvente.

Estas fueron llevadas a laboratorio para la realización de medición de parámetros iniciales (alimentación); después a través de un proceso de destilación simple estableciendo las variables necesarias para el diseño tales como temperaturas, volumen, rendimiento, tiempos.

Mediante destilación simple obtuvimos que la temperatura optima a la que debe llegar es de 108°C manteniéndola constante; obteniéndose así un 97% de eficiencia.

### *2.2.1.3. Método Deductivo*

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

Se planteó el dimensionamiento del equipo empezando por satisfacer las necesidades que presentaba la empresa, y tomando en cuenta el volumen de generación de solvente sucio a recuperar.

Pasamos por el empleo de fundamentos como cálculos básicos, balances, transferencia de calor para la correlación entre los datos obtenidos de las variables que presenta el manejo como tal de la destilación de nuestra solución problema a nivel de laboratorio, y que estos sean llevados a escala industrial.

Una vez obtenidos las muestras de destilado estas fueron calificadas en sus parámetros físicos químicos comprobando que cumplan en primera instancia con ser el producto requerido "Percloroetileno" y en segundo lugar que satisfagan las necesidades del cliente brindando así seguridad para su reutilización.

Esto fue posible mediante pruebas comparativas realizadas tanto al solvente puro que es normalmente adquirido para el proceso en la fábrica con los resultados con el solvente recuperado en laboratorio; pasando las pruebas realizadas que serán detalladas a continuación.

### *2.2.1.4. Método Descriptivo*

Menciona las características del dimensionamiento del sistema de recuperación de percloroetileno mediante un proceso de destilación.

La alimentación al equipo no requerirá ser bombeada, se dará a través de trasvase para reducir costos, y debido a que es en pequeñas cantidades, además

de contar como ventaja que se encontrará ubicado muy cerca del equipo de lavado de suelas de donde proviene la mezcla a destilar. En un futuro se le podría implementar un sistema de bombeo para facilitar el proceso de recuperación.

El equipo cuenta con un tanque de ebullición con tapa cónica para un cierre hermético evitando pérdidas de presión, energía o posibles fugas de gases. El suministro de calor viene dado por una chaqueta térmica en su exterior que cuenta con aceite diatérmico (hidráulico) calentando por medio de dos (2) resistencias eléctricas de 5.1KW, requiriendo para su funcionamiento corriente eléctrica de 220V disponible en la empresa La Fortaleza Ltda.

Este sistema de calentamiento al tanque de ebullición fue escogido debido a una serie de ventajas que presenta: control eficaz de temperatura del sistema, calentamiento uniforme a toda la mezcla, evita daños en la resistencia al no haber contacto con la mezcla (perc+silicona). El aceite diatérmico mantiene la temperatura constante y en forma prolongada consiguiendo así subir en forma rápida la temperatura sin pérdidas de energía que representaría un mayor costo al proceso de recuperación.

Una vez que el percloroetileno haya alcanzado su punto de ebullición (108°C laboratorio) este pasará a través de una tubería hacia el condensador que está diseñado en proporción a la producción obtenida del tanque de ebullición. Enfriado por la circulación de agua, la cual tendrá una temperatura inicial y una temperatura final ( $T_2 > T_1$ ), dirigiendo la salida hacia un chiller que ya cuenta la empresa, encontrándose en recirculación y evitando gran desperdicio del líquido vital. Al final contamos con un recipiente para la recolección del solvente destilado.

#### *2.2.1.5. Técnicas E Instrumentación*

Nos manejamos a través del empleo de técnicas para conseguir resultados veraces y en forma integral colaboran para llegar en forma adecuada a la obtención acertada de un objetivo propuesto.

El empleo de dichas técnicas y normas fue tomado en cuenta en cada una de las actividades llevadas a cabo ya sea desde la recolección de muestras representativa, pasando por las prácticas de laboratorio desarrolladas para la obtención del producto deseado, hasta los análisis que debían ser realizados como comprobación de nuestro cometido conseguido.

A continuación vienen descritos en detalle las prácticas de laboratorio realizadas para la validación del presente proyecto, así como sus técnicas, materiales, principios y fórmulas que sustentan.

#### *2.2.1.6. Análisis De Laboratorio*

Las análisis realizados con las técnicas necesarias fueron llevados a cabo en los laboratorios de Química Orgánica, Química Inorgánica, aguas, Química Analítica e Instrumental y Operaciones Industriales de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo y en el laboratorio Químico de Petroamazonas EP – Bloque 12, con la guía y consejos de sus correspondientes encargados y catedráticos; los cuales reflejan fiabilidad.

**TABLA 4**  
**Destilación simple**

<b>Fundamento</b>	<b>Objetivos y Alcance</b>	<b>Materiales y Reactivos</b>	<b>Procedimiento</b>	<b>Cálculos</b>
Operación en la cual se produce la vaporización de un material por la aplicación de calor, para llevar a cabo separaciones parciales de los componentes más volátiles de mezclas de líquidos miscibles.	Identificar y determinar las variables del proceso dentro de la operación de destilación de la mezcla.	<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.</p> <p>Armar el equipo de destilación simple.</p> <p>Encender el reverbero y esperar hasta que empiece a hervir la solución.</p> <p>Tomar los datos de temperatura cada 10ml destilados.</p> <p>Medir el soluto recuperado y comparar con el volumen inicial.</p>	<p>Volumen Recuperado</p> $V_r = V_f - V_i$ <p>Donde:  <math>V_f</math> : volumen final  <math>V_i</math> : volumen inicial</p>

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

**TABLA 5**  
**Determinación del pH**

<b>Fundamento</b>	<b>Objetivos y Alcance</b>	<b>Materiales y Reactivos</b>	<b>Procedimiento</b>	<b>Cálculos</b>
Técnica empleada para la determinación de pH en soluciones acuosas.	Determinar el pH que presenta el destilado obtenido de la recuperación del solvente.	<p>Vasos de precipitados 250 mL; pizetas de 500 mL; cepillo pequeño de cerdas suaves y barras de agitación magnéticas.</p> <p>Equipo pH metro. Agua destilada, Solvente recuperado (perc).</p>	<p>En un vaso de precipitado se vacía un volumen de 50 mL de cada muestra, se agrega una barra de agitación y se pone en una parrilla de agitación. Se introduce el electrodo en la muestra de manera que no toque el fondo para permitir la agitación. Esta medición se repite con otro volumen igual de muestra. Las lecturas no deben diferir por más de 0.1 unidades de pH.</p>	Se registran y anotan los valores del pH junto con la temperatura de las muestras.

Fuente: Prácticas de Química Analítica. Escuela de Ingeniería Química, ESPOCH.

**TABLA 6**  
**Determinación de la densidad**

Fundamento	Objetivos y Alcance	Materiales y Reactivos	Procedimiento	Cálculos
<p>El picnómetro es un instrumento sencillo utilizado para determinar con precisión la densidad de líquidos. El picnómetro usa el estándar ASTM D-854.</p>	<p>Determinar la densidad del solvente recuperado haciendo uso del picnómetro.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Picnómetro</li> <li>- Balanza analítica</li> <li>- Termómetro</li> <li>- Agua</li> <li>- Vaso de precipitación 100 ml.</li> </ul>	<p>Para medir la densidad de líquidos realizamos las siguientes pesadas:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1) Picnómetro vacío <b>M1</b></li> <li>2) Picnómetro con agua destilada <b>M2</b></li> <li>3) Picnómetro con el líquido problema <b>M3</b></li> </ol>	$\rho_P = \frac{M_3 - M_1}{M_2 - M_1}$ <p>Donde: <math>\rho_P</math>: densidad problema</p>

Fuente: Prácticas de Química Analítica. Escuela de Ingeniería Química, ESPOCH.

**TABLA 7**  
**Caracterización de Alquenos**

<b>Fundamento</b>	<b>Objetivos y Alcance</b>	<b>Materiales y Reactivos</b>	<b>Procedimiento</b>	<b>Cálculos</b>
<p>El reactivo de Baeyer, es usado en química orgánica como una prueba cualitativa para identificar la presencia de insaturaciones causadas por enlaces dobles o triples entre carbonos adyacentes.</p>	<p>Determinar la presencia de doble enlace en el destilado para confirmar la existencia de percloroetileno.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Tubos de ensayo</li> <li>- Pipeta</li> <li>- Gradilla</li> <li>- Gotero</li> <li>- Solvente recuperado</li> </ul>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1) Se coloca una cantidad considerable del compuesto recuperado en un tubo de ensayo.</li>   <li>2) Con la ayuda de un gotero, añadimos unas cuantas gotas de Permanganato de potasio al compuesto.</li>   <li>3) Observamos los cambios.</li> </ol>	<p>La reacción con los enlaces dobles (-C=C-) o triples (-C≡C-) en un material orgánico ocasiona que el color se desvanezca de <b>púrpura-rosado a marrón.</b></p>

Fuente: Prácticas de Química Orgánica. Escuela de Ingeniería Química, ESPOCH.



**TABLA 8**  
**Solventes. Determinación del Color en Escala APHA**

<b>Fundamento</b>	<b>Materiales y Reactivos</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><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 9**  
**Determinación de Espectro IR**

<b>Fundamento</b>	<b>Objetivos y Alcance</b>	<b>Materiales y Reactivos</b>	<b>Procedimiento</b>
<p>La espectrometría de infrarrojos (espectroscopia IV) es un tipo de espectrometría de absorción que utiliza la región infrarroja del espectro electromagnético.</p> <p>Como las demás técnicas espectroscópicas, puede ser utilizada para identificar un compuesto o investigar la composición de una muestra.</p>	<p>Determinar la composición del solvente recuperado y compararla con una muestra de solvente virgen a través de esta técnica rápida y fiable para medidas, control de calidad y análisis dinámicos.</p>	<p>- Espectrofotómetro IR - Vaso de precipitado - Blanco - Gotero - Solvente recuperado</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Se procede con el encendido del equipo IR y el computador que posee el software de control.</li> <li>• Se inserta la tarjeta que contiene la sustancia encerradora y se manda a correr el software. Se comparan los picos obtenidos con los de referencia de dicha sustancia.</li> <li>• Si presentan consistencia se puede continuar colocando una gota de la sustancia a analizar.</li> <li>• Se cierra el equipo y se da lectura de los picos obtenidos.</li> </ul>

Fuente: Prácticas de Química Instrumental. Escuela de Ingeniería Química, ESPOCH.

## **2.3. Datos Experimentales**

### **2.3.1. Diagnóstico**

La solución percloroetileno-silicona, es producto del percloroetileno en estado vapor empleado para el arrastre de grasa (silicona) contenida en las suelas de poliuretano una vez que son sacadas de los moldes. Presentando una concentración inicial de 100% percloroetileno y disminuyendo a medida que se van lavando dichas suelas, cada cierto tiempo se va añadiendo una cantidad de solvente perdido producto de la evaporación hasta llegar a un punto en el cual este se encuentra "saturado" de silicona, la mezcla es removida del equipo de lavado y recolectada en un tambor metálico para ponerlo a disposición de un gestor ambiental y ser desechado al ambiente (trayendo graves perjuicios de darse el caso de liberación a acuíferos).

En la etapa de lavado de suelas de la empresa La Fortaleza Ltda., se emplea alrededor de 200 kilos (125 L) al mes, para cargar el equipo completamente, cabe recalcar que este no es retirado completamente en reiteradas ocasiones sino más bien se añade solvente puro de acuerdo a la necesidad y que no todos los días se realiza el lavado de suelas, por lo que se aprovecharían los días de para de este equipo para proceder con el proceso de recuperación del solvente sucio.

Planteamos una media de 50 L. de solvente sucio que serán recuperados cada semana, siendo llevados al equipo, destilados, almacenados y reutilizados. Una vez que mediante pruebas de laboratorio se demostró que éste presenta características y propiedades semejantes a la del solvente puro que es adquirido por la empresa, siendo de por sí alentador la reducción en la cantidad de desechos producidos por la empresa y representativa la cantidad de solvente virgen que deberá ser adquirido a futuro.

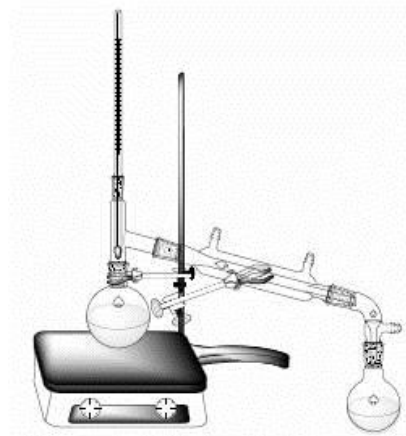
Representa un aliciente ante el resto de empresas del sector industrial de la provincia y el país que realizan el mismo tipo de actividad, y queda como precedente la búsqueda de la gerencia por brindar un servicio profesional y consciente para la sociedad y el ambiente.

El desarrollo del presente proyecto presenta el diseño de un destilador empleado para la recuperación de un solvente que presenta las garantías para su reutilización, dando seguridad al cliente. Una vez realizados los análisis se tiene que se dará un óptimo desempeño de lo requerido mediante la destilación simple por cargas (batch).

### **2.3.2. Datos Experimentales**

#### **2.3.2.1. Destilación Simple**

FIG. 9 Destilación Simple laboratorio



Fuente: Imágenes Google

**TABLA 10 Datos Destilación Simple**

Temperatura (°C)	Volumen (mL)	Tiempo (min)
45	5	15
75	15	20

80	40	25
108	83	45

Fuente: RODRIGUEZ B. 2014

**TABLA 11 Rendimiento Destilación Simple**

Alimentación (mL)	Destilado (mL)	Temperatura de ebullición (°C)	Rendimiento (%)
100	83	100	83
300	292	108	97
300	275	107	92
500	460	107	92
800	735	107	92
500	465	107	93

Fuente: RODRIGUEZ B. 2014

**2.3.2.2. Densidad**

- Método del Picnómetro

**TABLA 12 Determinación de la densidad del destilado**

<b>DESTILADO</b>	Peso del picnómetro vacío <b>M1</b> (g.)	Peso del picnómetro + agua destilada <b>M2</b> (g.)	Peso del picnómetro + muestra <b>M3</b> (g.)	Densidad (g./cm <sup>3</sup> )
1	13,5416	23,6589	29,9316	1,620
2	13,5440	23,7613	30,1461	1,625

Fuente: RODRIGUEZ B. 2014

## FOTOGRAFÍA 1 Determinación de la densidad



Fuente: RODRIGUEZ B. 2014

### 2.3.2.3. Caracterización De Alquenos

Mediante el empleo de Permanganato de potasio que presenta coloración púrpura (izq.) colocamos en el solvente recuperado obtenido observando que se da un cambio de coloración de transparente a café. Lo que según la técnica de la Tabla 2.2.1.2.1-4 corrobora la presencia de un doble enlace.

## FOTOGRAFÍA 2 Prueba de Alquenos



Fuente: RODRIGUEZ B. 2014

## 2.3.2.4. Ph

**TABLA 13 Medición del pH**

<b>Muestras Perc.</b>	Solvente puro (virgen)	Solvente recuperado (destilado)
1	7.14	7.11
2	7.22	7.34

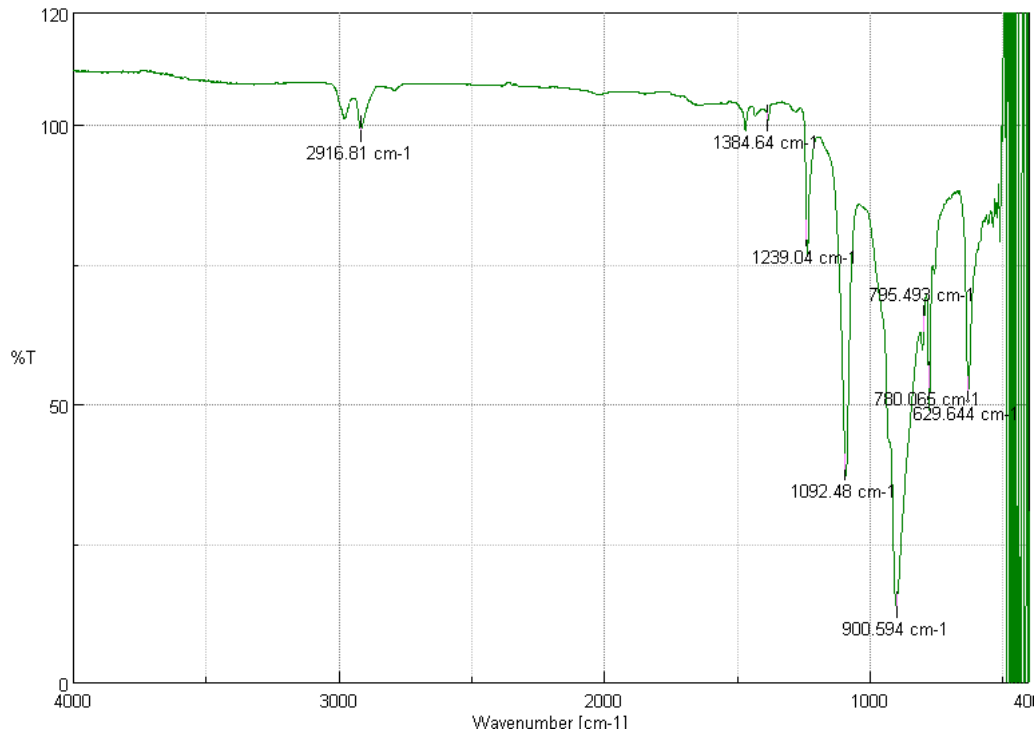
Fuente: RODRIGUEZ B. 2014

**FOTOGRAFÍA 3 Determinación del pH**

Fuente: RODRIGUEZ B. 2014

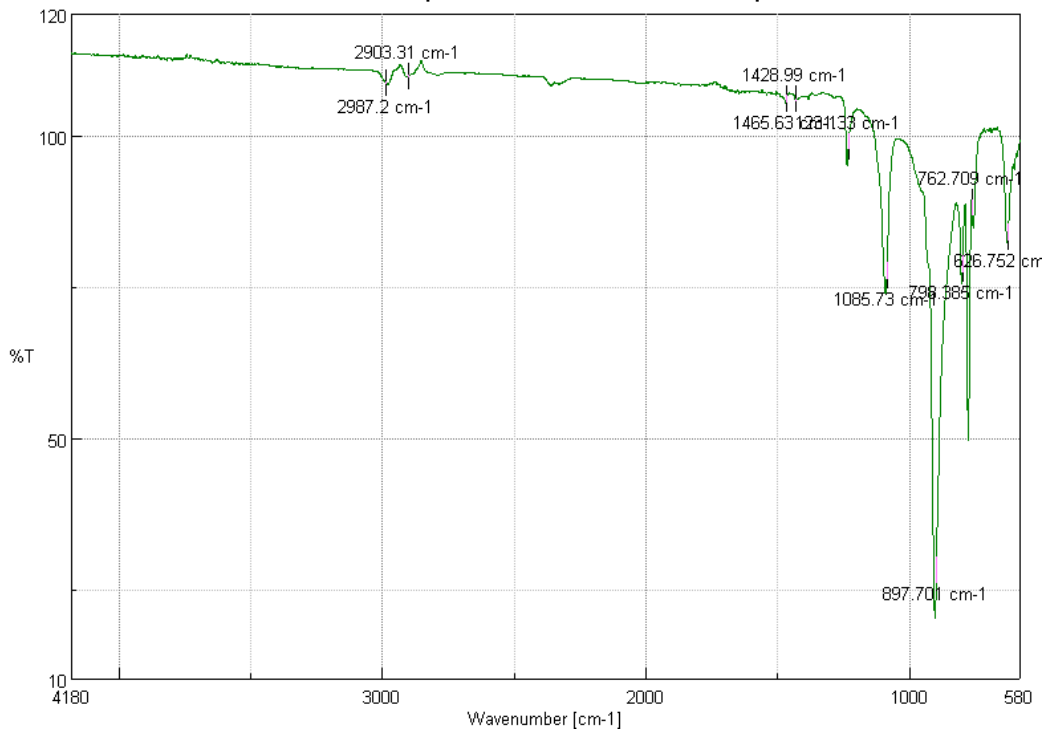
### 2.3.2.5. Determinación De Espectro Ir

GRÁFICO 1 Espectro IR solvente puro



Fuente: RODRIGUEZ B. 2014

GRÁFICO 2 Espectro IR solvente recuperado



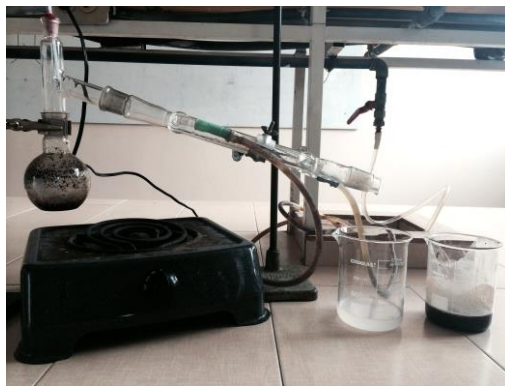
Fuente: RODRIGUEZ B. 2014



### 2.3.2.6. Resultados Análisis De Laboratorio

Una vez realizadas las distintas cargas de destilación y obteniendo una cantidad representativa de muestra destilada se proceden a realizar los distintos análisis físicos químicos de caracterización en los distintos laboratorios calificados con los que cuenta la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. Cumpliendo con los parámetros que manifiesta la ficha técnica de control de calidad del producto.

FOTOGRAFÍA 4 Prueba de destilación laboratorio



Fuente: RODRIGUEZ B. 2014

FOTOGRAFÍA 5 Prueba de destilación fraccionada



Fuente: RODRIGUEZ B. 2014

**TABLA 14 Análisis Percloroetileno Recuperado**

<b>Características</b>	<b>Unidades</b>	<b>Valor</b>	<b>Especificación</b>
pH	-	Conforme	$\geq 7$
Color	APHA	Conforme	$\leq 15$
Olor	-	Conforme	Característico
Densidad a 20°C (g/mL)		Conforme	1,620 -1,625
IR	-	Conforme	Comparación

Fuente: RODRIGUEZ B. 2014

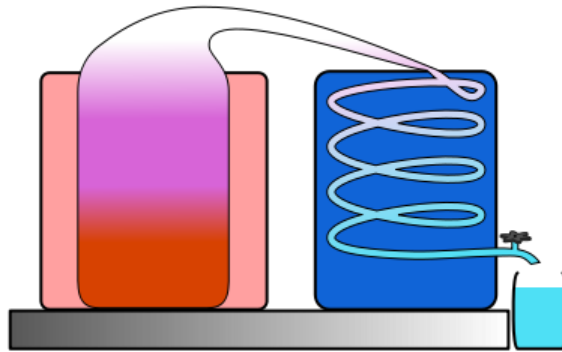
# **CAPÍTULO III**

## **DISEÑO**

### 3. DISEÑO

Al tratarse de un equipo de destilación simple, las partes o sistemas a diseñar serán: tanque de ebullición, tanque de aceite de calentamiento (chaqueta térmica), condensador, tanque de recepción del destilado; a todo esto integrado un sistema de control de temperatura.

FIG. 10 Diagrama de un Destilador simple



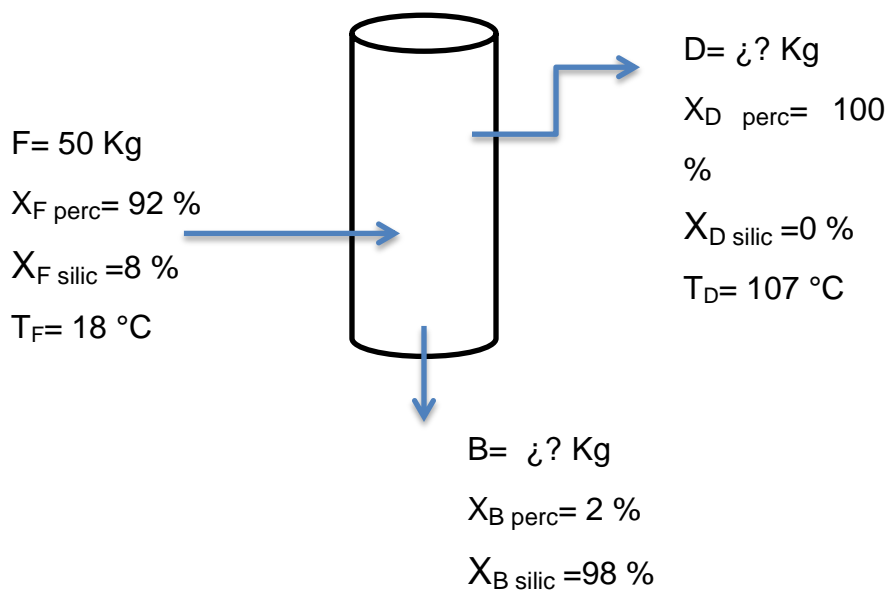
Fuente: Imágenes Google

#### 3.1. Cálculo De Balance De Masa

##### ALIMENTACIÓN

Sistema Estacionario:

Composición inicial 92% de percloroetileno en el solvente sucio.



### 3.1.1. Balance De Masa

$$F = D + B$$

$$50 = D + B$$

$$B = 50 - D$$

#### 3.1.1.1. Balance De Masa Percloroetileno

$$F * x_{Fperc} = D * x_{Dperc} + B * x_{Bperc}$$

$$(50)(0,92) = (D)(1) + (B)(0,02)$$

$$46 = D + 0,02B$$

$$D = 46 - 0,02B$$

- Reemplazando con la Ec. Obtenida en 3.1.1

$$D = 46 - (0,02 * (50 - D))$$

$$D = 46 - 1 + 0,02D$$

$$D = \frac{45}{0,98}$$

$$D = 45,92 \text{ Kg.}$$

$$B = 4,08 \text{ kg.}$$

$$x_{B perc} = 0,08 \text{ Kg.}$$

$$x_{B silic} = 4 \text{ Kg.}$$

\*Obteniendo 45,92 Kg. Percloroetileno Recuperado de los 50 kg. Alimentados.

### **3.2. Cálculo Del Tanque De Ebullición**

Debido a las condiciones que presenta la mezcla una vez que es expuesta al proceso de calentamiento, observamos en las pruebas de laboratorio que ésta crea una capa de espuma una vez alcanzados los 50 °C por lo que se debe tener un gran control en el aumento de temperatura y debe existir un amplio espacio (volumen) sin alimentar que le dará el tiempo de residencia necesario a los vapores en su camino hacia el condensador.

Por lo que la propuesta para la construcción consta cumpliendo los siguientes requisitos:

- La cantidad de alimentación mínima sea de 50 kg, (31 L.) hasta una carga de 80 kg (50 L) ocupando esta hasta un 60% del volumen del tanque de ebullición.
- Adicionar un 6% al volumen total como reserva en caso de imprevistos, y que en función a resultados prácticos –validación del equipo- se podrá dar el nivel máximo real de alimentación a destilar; comprobando que el destilado se mantenga cumpliendo con parámetros físico químicos de calidad para su reutilización.
- Se proyecta que el tiempo que tardará la destilación tendrá una duración de 4 horas.

#### **3.2.1. Cálculo De La Altura Del Cilindro**

Se tiene una remoción de alrededor de 80 kg. (50 L.) de solvente sucio promedio cada dos semanas en la empresa La Fortaleza: por motivos de espacio, manejabilidad y limpieza se establece que el diámetro óptimo de diseño es de 40 cm. (radio=20 cm.) basándose además en diseños anteriores que han conseguido buenos resultados. A este se deberá agregar el diámetro exterior que estará influenciado por el volumen de aceite diatérmico que estará alojado en la cámara exterior que contendrá a la de la alimentación.

Datos:

$$r = 20 \text{ cm} = 0,2 \text{ m}$$

$$F_{\text{máx.}} = 50 \text{ L}$$

\* 50 L  $\rightarrow$  60 % entonces 100 %= 83,33 L

$$83,33 \text{ L} * \frac{1 \text{ m}^3}{1000 \text{ L}} = 0,08333 \text{ m}^3$$

$$v = \pi * r^2 * h$$

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

$$h = \frac{0,08333}{\pi * (0,2)^2}$$

$$h = 0,66 \text{ m} = 66 \text{ cm.}$$

Con la adición del 6%:

La altura del tanque de ebullición será de **70 cm**.

### 3.2.1.1. Tapa Cónica

Datos:

$$r = 20 \text{ cm} = 0,2 \text{ m}$$

$$h = 5 \text{ cm} = 0,05 \text{ m}$$

$$v_{\text{tapa}} = \frac{\pi}{3} * r^2 * h$$

$$v_{tapa} = \frac{\pi}{3} * (0,2)^2 * (0,05)$$

$$v_{tapa} = 2 L.$$

\*Valor mínimo respecto al total por lo que puede considerarse despreciable para cálculos.

### 3.2.2. Volumen Operativo

Cuantifica el volumen de carga de alimentación PERC + silicona que será vertida en el tanque de ebullición.

#### 3.2.2.1. Alimentación Mínima

$$r = 20 \text{ cm} = 0,2 \text{ m}$$

$$V_{\text{Alim min.}} = 31 \text{ L} = 0,031 \text{ m}^3$$

$$h = \frac{0,031}{\pi(0,2)^2}$$

$$h = 25 \text{ cm}$$

Para lo cual le será de utilidad a operador del equipo que al trasvasar el solvente sucio a recuperar este llegue hasta 25 cm de altura en la cámara de ebullición.

#### 3.2.2.2. Alimentación Máxima

$$r = 20 \text{ cm} = 0,2 \text{ m}$$

$$V_{\text{Alim Máx.}} = 50 \text{ L} = 0,050 \text{ m}^3$$

$$h = \frac{0,050}{\pi(0,2)^2}$$

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



El operador podrá cargar hasta un nivel de 40 cm como máximo en la cámara de ebullición, para asegurar la calidad del solvente reciclado.

### 3.3. Cálculo Del Tanque De Aceite Diatérmico

El tanque de aceite cumplirá con las siguientes características:

- El radio del tanque que contendrá el aceite debe ser mayor al del tanque de ebullición.
- Estará ubicado 10 cm. por debajo del tanque de ebullición para alojar a las resistencias eléctricas.
- Su altura será 5 cm menor al del tanque de ebullición para la tubería de salida del percloroetileno evaporado hacía el condensador.

#### 3.3.1.1. Altura

Datos:

$$h_{\text{tanque eb.}} = 70 \text{ cm} = 0,7 \text{ m}$$

$$h_{\text{tanque aceite}} = h_{\text{tanque eb.}} + 10 - 5$$

$$h_{\text{tanque aceite}} = 70 + 10 - 5$$

$$\mathbf{h_{\text{tanque aceite}} = 75 \text{ cm.}}$$

#### 3.3.1.2. Volumen Total

Cuantifica el volumen total de la chaqueta térmica o tanque que alojará el aceite diatérmico.

Datos:

$$r = 24 \text{ cm} = 0,24 \text{ m}$$

$$h_{\text{tanque aceite}} = 75 \text{ cm} = 0,75 \text{ m}$$

$$v = \pi * (0,24)^2 * (0,75)$$

$$V_{T. Aceite} = 0,1357 \text{ m}^3 = 135,7 \text{ L}$$

\*Menos el volumen ocupado por el tanque de ebullición con 65 cm de altura.

$$v = \pi * (0,2)^2 * (0,65)$$

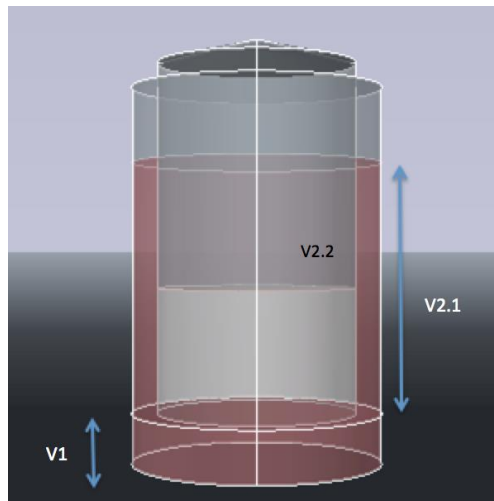
$$V_{T. Eb} = 0,08168 \text{ m}^3 = 81,68 \text{ L}$$

$$V_{Total} = V_{T. Aceite} - V_{T. Eb}$$

$$\mathbf{V_{Total} = 54 \text{ L}}$$

### 3.3.1.3. Volumen De Aceite

FIG. 11 Tanque de Ebullición



Fuente: RODRIGUEZ B. 2014

$$\mathbf{V_{Aceite} = V_1 + V_2}$$

$$V_1 = \pi * (0,24)^2 * (0,10) = 0,018 \text{ m}^3 = 18 \text{ L}$$

$$V_2 = V_{2.1} - V_{2.2}$$

$$V_{2.1} = \pi * (0,24)^2 * (0,40) = 0,072 \text{ m}^3 = 72,4 \text{ L}$$

$$V_{2.2} = \pi * (0,20)^2 * (0,40) = 0,050 \text{ m}^3 = 50,3 \text{ L}$$

$$V_2 = 72,4 - 50,3 = 22,1 L$$

$$V_{\text{Aceite}} = 40 L$$

#### 3.3.1.4. Temperatura De Ebullición De La Mezcla

$$T_{bm} = T_{b\ silc} * X_{silc} + T_{b\ perc} * X_{perc}$$

$$T_{bm} = (250 * 0,08) + (107 * 0,92)$$

$$T_{bm} = 118 C$$

##### 3.3.1.4.1. Volumen De Aceite A 118 C

Por equilibrio térmico el aceite deberá ser calentado hasta la temperatura de ebullición de la mezcla percloroetileno + silicona.

De la Ec. 1.8.3.1-2:

$$V_f = [\alpha_V * V * (T_f - T_i)] + V$$

Datos:

$$\alpha_{V\ aceite} = 0,00076$$

$$V = 40 L$$

$$T_i = 18 C$$

$$T_f = 118 C$$

$$V_f = [0,00076 * 40 * (118 - 18)] + 40$$

\* A 118 C:

$$V_{f\ Aceite} = 43,3 L$$

### 3.4. Cálculo Del Condensador

Datos:

$$r = 15 \text{ cm} = 0,15 \text{ m}$$

$$h = 40 \text{ cm} = 0,40 \text{ m}$$

$$v = \pi * (0,15)^2 * (0,40)$$

$$V_{\text{Condensador}} = 0,02827 \text{ m}^3 = 28,3 \text{ L}$$

### 3.5. Cálculo De Tanque Receptor

Si decimos que la carga máxima de alimentación será de 50 L (80 kg) y teniendo una recuperación ideal del 92%, entonces el volumen del tanque receptor deberá ser de alrededor de 46 L.

Datos:

$$V = 46 \text{ L} = 0,046 \text{ m}^3$$

$$r = 17 \text{ cm} = 0,17 \text{ m}$$

$$h = \frac{0,046}{\pi(0,17)^2}$$

$$h = 0,5066 \text{ m} = 51 \text{ cm}$$

Por razones de seguridad y proporcionalidad estética se hará de **55 cm** de altura.

### 3.6. Resultados

#### 3.6.1. Variables De Proceso

TABLA 15 Variables de Proceso

VARIABLE	UBICACIÓN	FLUÍDO	INDICADOR	INDICE
TEMPERATURA	Cámara de calentamiento	Aceite diatérmico	120	C
	Cámara de ebullición	Alimentación	118	
		Evaporado	107	
	Cámara de condensación	Entrada	107	
Condensado		20		
TIEMPO	Calentamiento	Alimentación	30	min
	Evaporación		3,5	h

Fuente: RODRIGUEZ B. 2014

### 3.6.2. Dimensiones Del Destilador

TABLA 16 Dimensiones del destilador

TANQUE DE EBULLICIÓN (1)	Material	Acero Inoxidable
	Diámetro (cm)	20
	Altura (cm)	70
	Volumen Total (L)	88
	Volumen Operativo (L)	53
	Espesor (mm)	1,5
TANQUE DE CALENTAMIENTO (2)	Material	Acero Inoxidable
	Diámetro (cm)	24
	Altura (cm)	75
	Volumen Total (L)	54
	Volumen Operativo (L)	40
	Espesor (mm)	1,5
–ACEITE DIATÉRMICO <sup>4</sup>		
RESISTENCIA	Potencia eléctrica (kw)	5.1

---

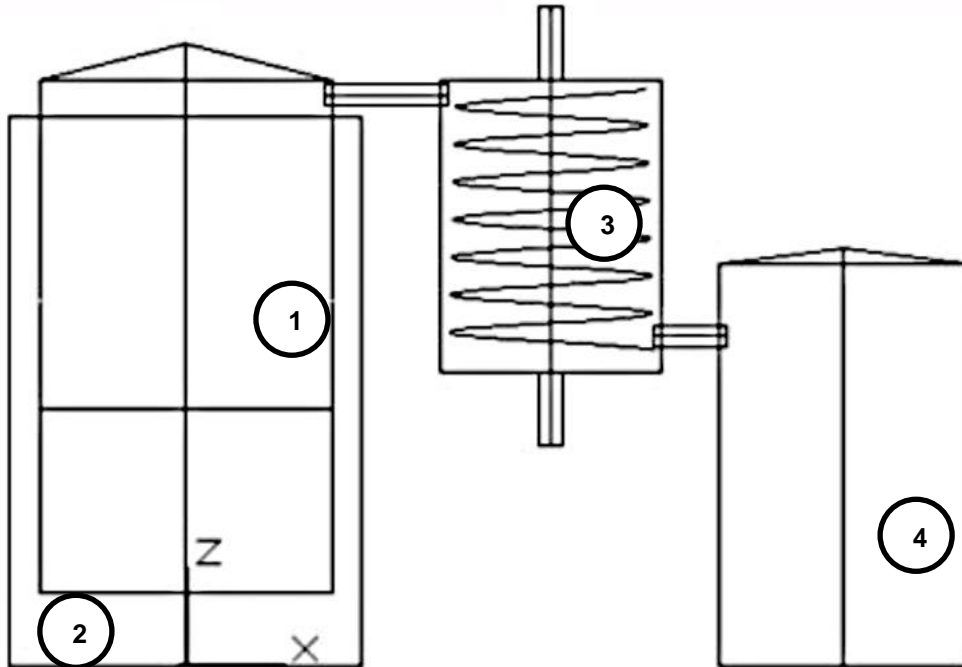
<sup>4</sup> ANEXO XIII

ELÉCTRICA	Corriente (V)	220
	Longitud (cm) *2	10
CONDENSADOR (3)	Diámetro (cm)	15
	Altura (cm)	40
	Volumen Total (L)	28,3
	Volumen Operativo (L)	-
	Espesor (mm)	1,5
SERPENTÍN	Material	Cobre
	Diámetro (plg)	1/2
	Longitud (m)	5
TANQUE DE RECEPCIÓN DEL DESTILADO (4)	Diámetro (cm)	17
	Altura (cm)	55
	Volumen Total (L)	50
	Volumen Operativo (L)	46
	Espesor (mm)	1,5

Fuente: RODRIGUEZ B. 2014

### 3.6.3. Diseño De Equipo

GRÁFICO 3 Diseño Sistema De Destilado



Fuente: RODRIGUEZ B. 2014

### 3.6.4. Cotización Del Equipo

El equipo constará de los siguientes componentes necesarios para su operación normal:

#### 3.6.4.1. Componentes<sup>5</sup>

1. Olla de Destilación Cap. 55 L. (inoxidable)
2. Resistencia Eléctrica 5000 Watts 220 VAC
3. Baño de Aceite Térmico Cap. 40 L
4. Nivel de Aceite Térmico – Vidrio Templado con Válvulas
5. Tablero de Control – Termostato (T1= Aceite, T2=Destilador, T3=Aguá del Condensador)
6. Tapa Hermética con empaque (tapa desmontable)
7. Condensador de Vapores – Agua Fría

<sup>5</sup> ANEXO XII

8. Recipiente de Destilado 50 L.
9. Estructura Soporte – Inoxidable en tubo cuadrado inoxidable
10. Ruedas – Transporte

#### 3.6.4.2. Valor Del Equipo

Total : \$ 2.700,00

Son: Dos mil setecientos dólares 00/100

#### 3.6.4.3. Forma De Pago

ANTICIPO TALLER	\$	1.500,00
SALDO ENTREGA DE EQUIPOS	\$	1.200,00
<b>TOTAL</b>	<b>\$</b>	<b>2.700,00</b>

#### 3.6.4.4. Garantía Técnica

CONSTRUCCIONES MECANICAS garantiza por el período de 1 año calendario todo el equipo de su manufactura.

#### 3.6.4.5. Plazo De Entrega

El plazo de entrega de construcción del equipo es de 30 días calendario. A partir de la confirmación de recepción del anticipo.

\* Depósitos a la cuenta Ahorros Banco Pichincha No. 5949150800 – Mario Proaño

#### 3.6.4.6. Contacto

Ing. Mario Proaño C. - CONSTRUCCIONES MECÁNICAS

Email: mproano3110@hotmail.com

Telf. 022537482 / 0998317478

Quito -Ecuador



### 3.7. Análisis Y Discusión De Resultados

En base a las muestras recolectadas en La Fortaleza Ltda. llevadas a laboratorio para análisis y obteniendo resultados positivos en el producto recuperado obtenido se procedió con el dimensionamiento a gran escala en función de los volúmenes de percloroetileno sucio generados por parte de la Empresa.

Con una concentración inicial de 92% de percloroetileno y 8 % de silicona, al ser sometida a calentamiento estos empiezan la ebullición a una Tmezcla de 118 C, volatilizandose el solvente percloroetileno puro y manteniendo su evaporado a 107 C. En pruebas de laboratorio se observó que al darse un aumento súbito de la temperatura en la mezcla, esta procedía a generar exceso de espuma y arrastre hacia el condensador, contaminando el destilado u obteniendo un producto de menor pureza. En base a fuentes bibliográficas recomendaba un proceso de transferencia de calor mas paulatino y uniforme a todo el sistema; es entonces que se decidió implementar un tanque de calentamiento que contenga aceite térmico con propiedades estables a altas temperaturas y que este transmita a la mezcla. Además como otra forma de prevención se aumenta la altura del tanque de alimentación para que se posea mayor tiempo de residencia los vapores.

Es así que el sistema de destilación consta de un tanque de alimentación de 40 cm de ancho y 75 cm de alto, un tanque de calentamiento de 48 cm de ancho y 75 cm de alto (10 cm. por debajo de la alimentación), un condensador con tubería de cobre para enfriamiento del evaporado y un tanque receptor de 34 cm de ancho y 55 cm de alto. Una vez que en cada punto crítico del sistema se aseguran las variables para el proceso de destilación diremos que el rendimiento en volumen de destilado versus volumen de carga será mayor al 90%.

Por lo que la compra del equipo de recuperación de solvente percloroetileno representa de manera significativa reducir la contaminación y los daños al medio ambiente con los residuos de solvente; y puede ahorrar dinero en la compra de disolvente limpio.

# **CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### Conclusiones

Una vez concluído el presente proyecto de investigación se concluye que:

La Empresa La Fortaleza Ltda. en una de sus etapas de proceso tiene como subproducto la formación de una mezcla constituida por solvente percloroetileno-silicona. Mediante un proceso de destilación simple se determina que es apta la recuperación del solvente percloroetileno siendo este el más volátil y presentando una diferencia significativa entre los puntos de ebullición de ambos componentes; todo esto validado con pruebas realizadas en laboratorio.

Una vez realizados los ensayos de caracterización del compuesto obtenido en base a las especificaciones técnicas del producto y comparadas con el solvente limpio (virgen) que es adquirido por la empresa, se comprueba que utilizando el principio de la destilación, un reciclador disolvente separa los contaminantes del disolvente original, para permitir su reutilización, así el Percloroetileno destilado presenta las garantías para su reutilización.

La mezcla percloroetileno-silicona será alimentada al tanque de ebullición con una concentración máxima de 8% silicona y 92% percloroetileno para asegurar la calidad del producto. Su carga mínima de operación será 31 L mientras que la máxima 50 L. Con la temperatura del aceite diatérmico igual a la  $T_{b_{mezcla}} = 118 \text{ C}$ , el percloroetileno evaporado mantendrá una temperatura de 107 C.

El sistema de destilación para la recuperación de percloroetileno está conformado por un tanque de ebullición donde contendrá el solvente sucio a recuperar, un tanque de calentamiento (chaqueta térmica) con 40 L de aceite diatérmico, un condensador (intercambiador de calor) que estará enfriado por agua en recirculación proveniente del chiller que posee la empresa ubicado cerca al equipo, y un tanque de recepción del condensado.

El rendimiento del proceso de destilación (volumen recuperado/volumen empleado) está sobre el 90% y este dependerá de la variación en las concentraciones de la alimentación.

Se tendrá controles de temperatura y presión en el tanque de ebullición y en el tanque del aceite, control de temperatura a la entrada y salida del condensador mediante termocuplas conectadas al panel de control.

### **Recomendaciones**

- Una vez extraída la mezcla percloroetileno + silicona de la máquina de lavado de suelas, esta deberá pasar por un filtrado primario para conseguir que el contenido de silicona (condensado) en la base de la cámara de ebullición sea menor y la limpieza sea más fácil. Así también conseguiremos mayor eficiencia en el proceso de calentamiento.
- Se deberá tener control en la salida del destilado, observando que este presente las características deseadas y una vez que se haya alcanzado el punto de ebullición (107 C).
- Se contará con una persona capacitada destinada a operar el equipo y éste deberá contar con el EPP (equipo de protección personal) adecuado: mascarilla, mandil, guantes de nitrilo, gafas. Tanto para la carga y descarga del solvente recuperado.
- Se deberá colocar un aislante térmico en el exterior del tanque de calentamiento para evitar accidentes como quemaduras y para conseguir un mayor aprovechamiento del calor suministrado a la mezcla.
- Ya finalizado el proceso de recuperación del solvente, apagado el equipo y con temperatura ambiente se procederá con la limpieza. Removiendo en primera instancia con "waípe"; queda estrictamente prohibido el empleo de agua para este propósito.

- La cámara contenedora del aceite diatérmico tendrá instalado un manómetro para controlar la presión en su aumento de temperatura, evitando así posibles accidentes.

**BIBLIOGRAFÍA**

ADRIANO, S., VALLE, V. Diseño Y Construcción De Una Torre De Destilación Con Rectificación Para La Purificación Del Thinner Usado Procedente De Las Mecánicas Automotrices. (Tesis) (Ing. Quim). ESPOCH, Ciencias, Ingeniería Química. Riobamba-Ecuador. 2012, 180 p.

CASTELLS, X. Reciclaje de Residuos Industriales. Madrid-España. Elías de Santos. 2000, pp. 93

COLOR APHA. Wikipedia. 2014

<http://es.wikipedia.org/wiki/Color%C3%ADmetro>

2014-07-17

EQUIPO DE RECUPERACIÓN DE SOLVENTES. Guangzhou Hongyi Equipment Co., Ltd. 2012

<http://spanish.alibaba.com/product-gs/hy60ex-a-d-hong-yi-perchlorethylene-solvent-recovery-equipment-616368480.html>

2014-02-17

HIMMELBLAU, D. Principios Básicos y Cálculos en Ingeniería Química. 6a. ed., México. Pearson. 1997, pp. 150-160

IDENTIFICACIÓN DE SUSTANCIAS PELIGROSAS. INSHT. 2012

<http://www.insht.es/InshtWeb/Contenidos/Documentacion/PUBLICACIONES%20PERIODICAS/ErgaFP/2012/ergafp81.pdf>

2014-07-17

INTRODUCCIÓN A LOS POLIURETANOS. Uretec S.r.l. 2011

[http://www.uretec\\_srl.com.ar/pdf/Introduccion%20a%20los%20Poliuretanos.pdf](http://www.uretec_srl.com.ar/pdf/Introduccion%20a%20los%20Poliuretanos.pdf)

2013-08-14

MANEJO Y TRATAMIENTO DE SOLVENTES. Estructplan. 2000  
<http://www.estrucplan.com.ar/producciones/entrega.asp?identrega=1857>  
2014-02-17

MCCABE, W. Operaciones Unitarias en Ingeniería Química. 4a. ed., México. Mc Graw Hill. 1995, pp. 100-112

MSDS PERCLOROETILENO. ATSDR. 2014  
[http://www2.udec.cl/matpel/hazardous\\_materials/tetrachloroethylene.pdf](http://www2.udec.cl/matpel/hazardous_materials/tetrachloroethylene.pdf)  
2014-07-17

MORRISON y BOYD. Química Orgánica. 5a. ed., EE.UU. Pearson. 1998, pp. 221-230

OCÓN, J. Problemas de Ingeniería Química. 4a.ed., México. Aguilar. 1980, pp. 133-177

PLANTA RECUPERADORA DE SOLVENTES. Servicio de Evaluación Ambiental Chile. 2013  
[http://www.e\\_seia.cl/archivos/Anexo\\_8\\_Planta\\_Recuperadora\\_de\\_Solventes\\_\\_PRS\\_\\_EDELPA.pdf](http://www.e_seia.cl/archivos/Anexo_8_Planta_Recuperadora_de_Solventes__PRS__EDELPA.pdf)  
2014-02-17

PERCLOROETILENO. Solvay Chemicals. 2014  
<http://www.solvaychemicals.com/EN/products/chlorinated/Chlorinatedsolvents/Perchloroethylene.aspx>  
2013-09-19

PERRY, R. Manual del Ingeniero Químico. 6a. ed., EE.UU. Mc Graw Hill. 1994, pp. 100p

POLIURETANOS EN EL CALZADO. Isopa. 2013  
<http://www.polyurethanes.org/index.php?page=calzado>  
2013-08-14

RIVEROS, H. Destilador de Doble Efecto para Laboratorio, Revista de la Sociedad Mexicana de Instrumentación. Vol., Nº 1. 1983, México, pp. 33-38

ROBALINO C., Diego F. Diseño De Un Sistema De Destilación Para La Purificación Del Thinner De Los Residuos De Pintura Automotriz En Multiservicios San Andrés. (Tesis) (Ing. Quim). ESPOCH, Ciencias, Ingeniería Química. Riobamba-Ecuador. 2012, 157 p.

SISTEMAS DE RECICLAJE DE SOLVENTES. Solutex. 2012

[http://www.solutex.co.uk/solvent\\_recycling.html](http://www.solutex.co.uk/solvent_recycling.html)

2014-03-17

TECNOLOGÍA DE LOS PLÁSTICOS. Mariano. 2011

<http://tecnologiadelosplasticos.blogspot.com/2011/12/siliconas.html>

2013-08-14

TIPOS DE DESTILACIÓN. Marco Nuñez E. 2012

<http://operaciones-unitarias-1.wikispaces.com/Tipos+de+Destiacion>

2013-09-19

USO DE PERCLOROETILENO. Christina Mcdonald-Legg. 2013

[http://www.ehowenespanol.com/percloroetileno-limpiar-metales-manera\\_259468/](http://www.ehowenespanol.com/percloroetileno-limpiar-metales-manera_259468/)

2014-07-17

WANKAT, P. Ingeniería de Procesos de Separación. 2a. ed., México. Pearson. 2008, 10p.



# **ANEXOS**

## ANEXO I

### RECONOCIMIENTO DE LA EMPRESA



(a)



(b)



(c)

NOTAS	CATEGORÍA DEL DISEÑO	ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA  FACULTAD DE CIENCIAS  ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA  REALIZADO POR: BYRON RODRÍGUEZ	SITIO DE APLICACIÓN DEL PROYECTO		
<p><b>(a)</b> Fachada Empresa La Fortaleza Ltda. Ambato</p> <p><b>(b)</b> Maquina de lavado de Suelas.</p> <p><b>(c)</b> PERC evaporado</p>	<p>○ Certificado    ○ Para Información</p> <p>○ Por Aprobar    ○ Por Calificar</p> <p>○ Aprobado</p>		LÁMINA	ESCALA	FECHA
			1	x: y:	2013-09-24

**ANEXO II**

**OBSERVACIÓN PROPIEDADES FÍSICAS**



(d)



(e)



(f)

NOTAS	CATEGORÍA DEL DISEÑO	ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA	PRIMEROS ENSAYOS DE LABORATORIO		
<p>(d) Muestra PERC+SILC</p> <p>(e) Proceso de filtración y decantado</p> <p>(f) Muestra una vez filtrada</p>	<p><input type="radio"/> Certificado   <input type="radio"/> Para Información</p> <p><input type="radio"/> Por Aprobar   <input type="radio"/> Por Calificar</p> <p><input type="radio"/> Aprobado</p>	<p>FACULTAD DE CIENCIAS</p>	LÁMINA   ESCALA   FECHA		
		<p>ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA</p> <p>REALIZADO POR: BYRON RODRÍGUEZ</p>	2	x: y:	2013-10-24

**ANEXO III**  
**MUESTRAS PERCLOREILENO + SILICONA**



(g)



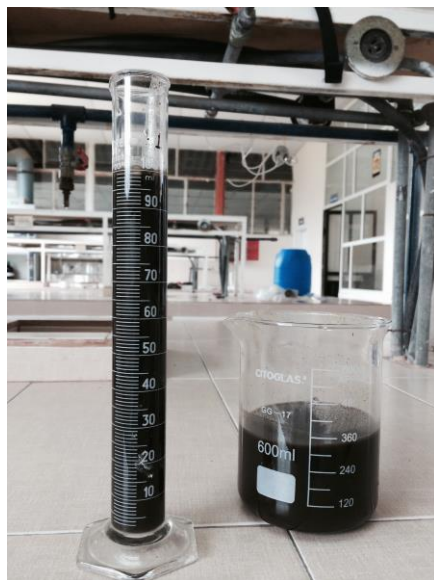
(h)



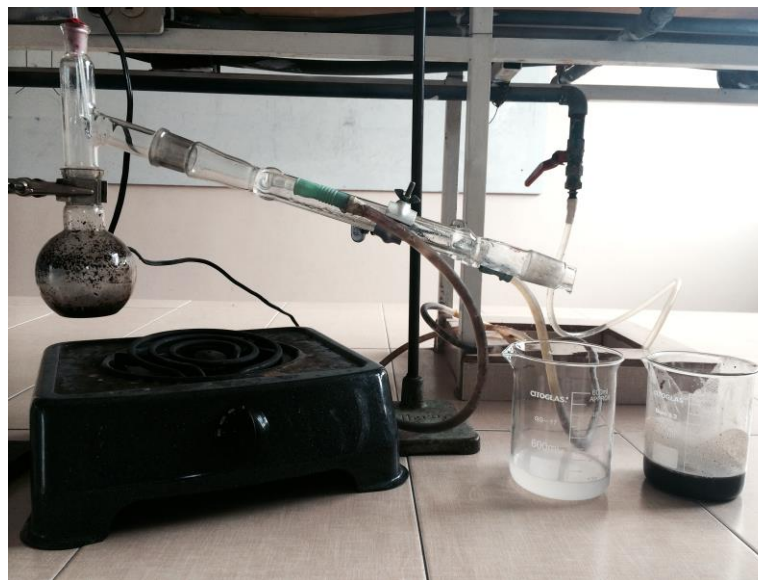
(i)

NOTAS	CATEGORÍA DEL DISEÑO	ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA	MUESTREO		
Muestra PERC+SILC a distintas concentraciones; de menos a más saturado con Silicona  (g) < (h) < (i)	<input type="radio"/> Certificado <input type="radio"/> Para Información  <input type="radio"/> Por Aprobar <input type="radio"/> Por Calificar  <input type="radio"/> Aprobado	FACULTAD DE CIENCIAS  ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA  REALIZADO POR: BYRON RODRÍGUEZ			
			LÁMINA	ESCALA	FECHA
			3	x: y:	2013-12-11

**ANEXO IV**  
**ENSAYOS DE DESTILACIÓN LABORATORIO**



(j)



(k)

NOTAS	CATEGORÍA DEL DISEÑO	ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA FACULTAD DE CIENCIAS	DESTILACIÓN SIMPLE		
(j) Medición de volumen inicial PERC+SILC a destilar	<input type="radio"/> Certificado <input type="radio"/> Para Información <input type="radio"/> Por Aprobar <input type="radio"/> Por Calificar	ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA	LÁMINA	ESCALA	FECHA
(k) Proceso de destilación	<input type="radio"/> Aprobado	REALIZADO POR: BYRON RODRÍGUEZ	4	x: y:	2014-01-24

**ANEXO V**  
**ENSAYOS DE DESTILACIÓN INDUSTRIAL**



(l)



(m)



(n)

NOTAS	CATEGORÍA DEL DISEÑO	ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA FACULTAD DE CIENCIAS	DESTILACIÓN A MAYOR ESCALA		
<p><b>(l)</b> Recolección de muestra 30 L.</p> <p><b>(m)</b> Filtrado necesario previo a cargar alimentación en el equipo.</p> <p><b>(n)</b> Equipo de destilación industrial -Lab. Op. Unit.</p>	<p><input type="radio"/> Certificado    <input type="radio"/> Para Información</p> <p><input type="radio"/> Por Aprobar    <input type="radio"/> Por Calificar</p> <p><input type="radio"/> Aprobado</p>	ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA	LÁMINA	ESCALA	FECHA
		REALIZADO POR: BYRON RODRÍGUEZ	5	x: y:	2014-02-12

## ANEXO VI CUANTIFICACIÓN DE LA INSTALACIÓN



(o)



(p)

08-02-2014	200	Manual	2000	Cambio
14-01	50	"	50	
21-01	50	REWATO	50	
24-01	25	Darwin	25	
27-01	25	"	25	
31-01	50	Darwin	50	
03-02	25	"	25	
04-02	50	"	50	
15-02-2014	31	Saulo	31	
14-02-2014	50	Saulo	50	
20-02-2014	125	Darwin	125	
25-02-2014	50	"	50	
06-03-2014	50	Saulo	50	
<del>11-03-2014</del>	<del>75</del>	<del>"</del>	<del>75</del>	
11-03-2014	75	Darwin	75	
17-03-2014	25	Saulo	25	
20-07-2014	50	Darwin	50	
09-03-2014	25	Darwin	25	
24-03-2014	50	"	50	
28-03	50	"	50	
10-04-2014	50	"	50	
12-04-2014	515	Saulo	515	
16-04-2014	50	Manual	50	
21-04-2014	50	Darwin	50	
23-04-2014	75	"	75	
23-04-11	25	"	25	
28-04-11	200	Manual	200	Cambio
01-05-11	75	Darwin	75	
2-11-11	50	"	50	

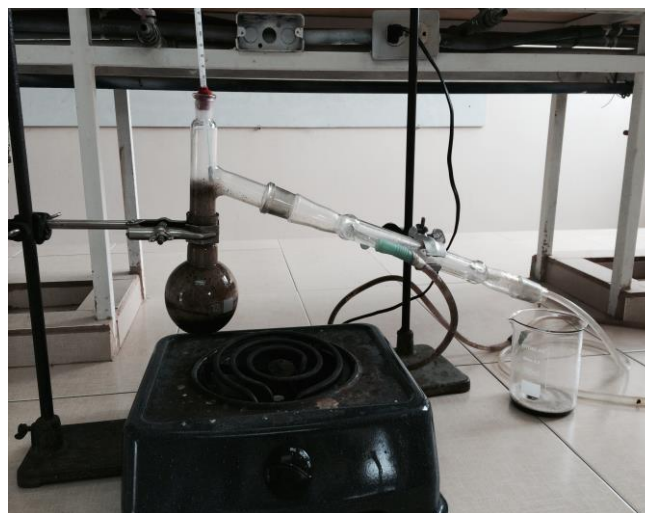
(q)

NOTAS	CATEGORÍA DEL DISEÑO	ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA	PARÁMETROS PARA EL DIMENSIONAMIENTO		
<p>(o) Muestra problema enfriada</p> <p>(p) Máquina de lavado de suelas vaciada.</p> <p>(q) Registro de cambios y adición de solvente PERC puro.</p>	<p><input type="radio"/> Certificado    <input type="radio"/> Para Información</p> <p><input type="radio"/> Por Aprobar    <input type="radio"/> Por Calificar</p> <p><input type="radio"/> Aprobado</p>	REALIZADO POR: BYRON RODRÍGUEZ	LÁMINA	ESCALA	FECHA
			6	x: y:	2013-10-24

**ANEXO VII  
INCOVENIENTES E IMPREVISTOS**



(r)



(s)



(t)

NOTAS	CATEGORÍA DEL DISEÑO	ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA	CONSIDERACIONES PARA DISEÑO		
<p>(r) Recuperado por destilación simple presenta doble fase.</p> <p>(s) Arrastre de silicona por calentamiento abrupto y poco espacio de permanencia.</p> <p>(t) Prueba de contenido humedad</p>	<p><input type="radio"/> Certificado    <input type="radio"/> Para Información</p> <p><input type="radio"/> Por Aprobar    <input type="radio"/> Por Calificar</p> <p><input type="radio"/> Aprobado</p>	<p align="center">FACULTAD DE CIENCIAS</p>			
		<p align="center">ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA</p>	LÁMINA	ESCALA	FECHA
		<p>REALIZADO POR: BYRON RODRÍGUEZ</p>	7	x: y:	2014-03-24



## ANEXO VIII

### PRODUCTO RECUPERADO ÓPTIMO



(u)



(v)

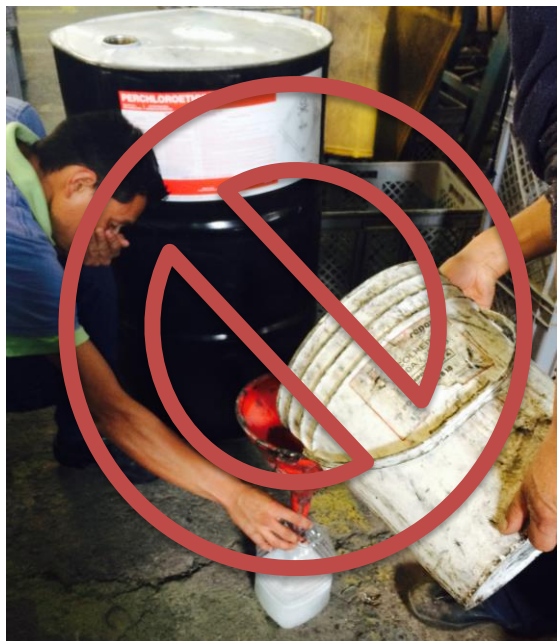


(w)

NOTAS	CATEGORÍA DEL DISEÑO	ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA FACULTAD DE CIENCIAS  ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA	SOLVENTE CONTAMINADO, PURO Y RECUPERADO		
<p>(u) Destilación fraccionada</p> <p>(v) Muestra solvente sucio (izq.) solv. Virgen (derec)</p> <p>(w) Solvente recuperado que presenta garantías -reutilizable</p>	<p><input type="radio"/> Certificado    <input type="radio"/> Para Información</p> <p><input type="radio"/> Por Aprobar    <input type="radio"/> Por Calificar</p> <p><input type="radio"/> Aprobado</p>	<p>REALIZADO POR: BYRON RODRÍGUEZ</p>	LÁMINA	ESCALA	FECHA
			8	x: y:	2014-03-24

## ANEXO IX

### EQUIPO DE PROTECCION PERSONAL



(x)



(y)



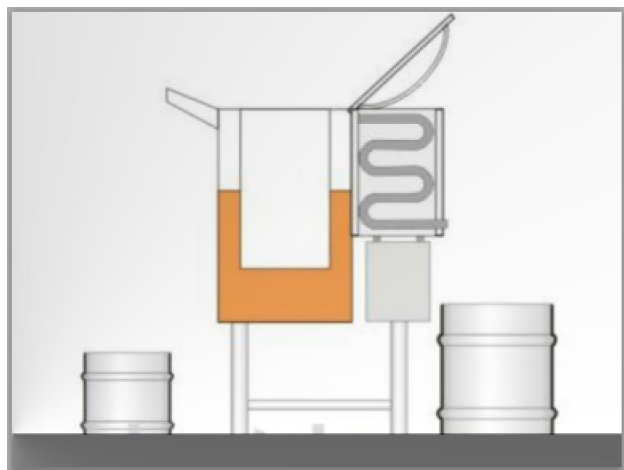
(z)



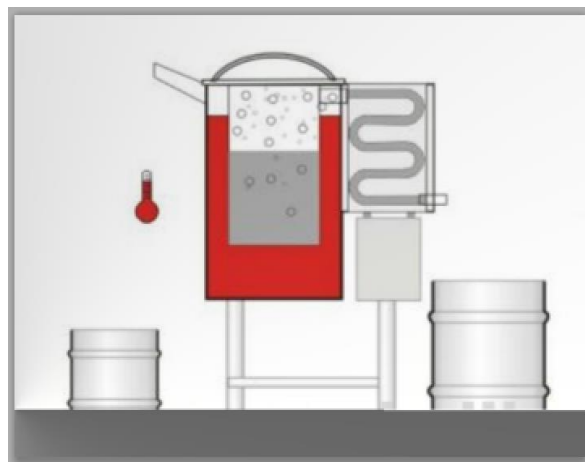
(za)

NOTAS	CATEGORÍA DEL DISEÑO	ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA FACULTAD DE CIENCIAS	SALUD, SEGURIDAD Y AMBIENTE		
<p>(x) Situación actual de manejo y trasvase de solvente químico en la empresa.</p> <p>(y, z, za) Dotación de EPP obligatorio para operario.</p>	<p><input type="radio"/> Certificado <input type="radio"/> Para Información</p> <p><input type="radio"/> Por Aprobar <input type="radio"/> Por Calificar</p> <p><input type="radio"/> Aprobado</p>	ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA	LÁMINA	ESCALA	FECHA
		REALIZADO POR: BYRON RODRÍGUEZ	9	x: y:	2014-08-24

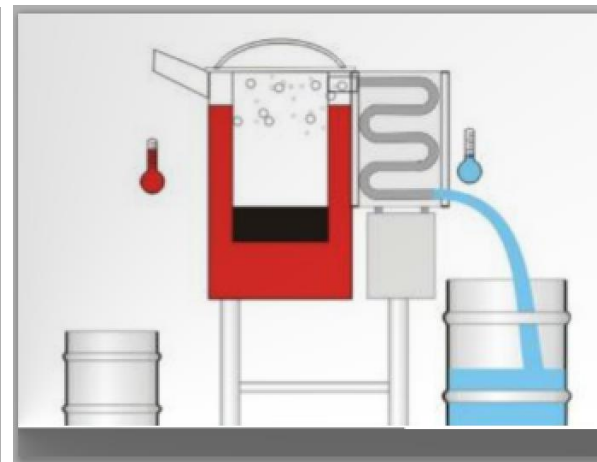
**ANEXO X**  
**PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO DEL EQUIPO**



(ab)



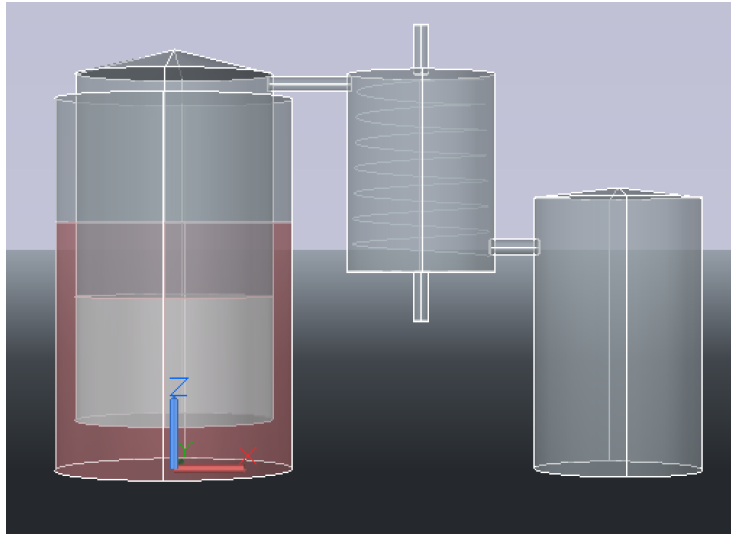
(ac)



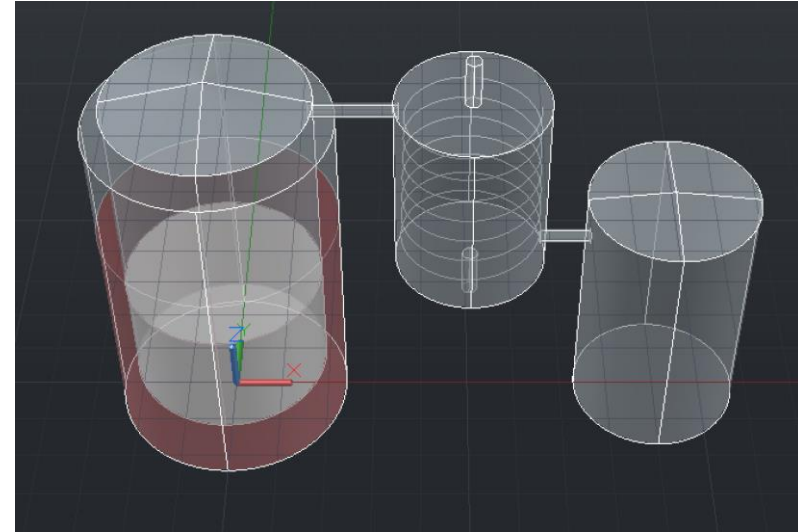
(ad)

NOTAS	CATEGORÍA DEL DISEÑO	ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA	SECUENCIA DE DESTILACIÓN		
(ab) Equipo vacío previa a carga	<input type="radio"/> Certificado <input type="radio"/> Para Información <input type="radio"/> Por Aprobar <input type="radio"/> Por Calificar	REALIZADO POR: BYRON RODRÍGUEZ	LÁMINA	ESCALA	FECHA
(ac) Calentamiento de aceite, ebullición de la mezcla (alimentación).	<input type="radio"/> Aprobado		10	x: y:	2014-07-24
(ad) Condensado recuperado					

**ANEXO XI**  
**DIAGRAMA DEL EQUIPO**



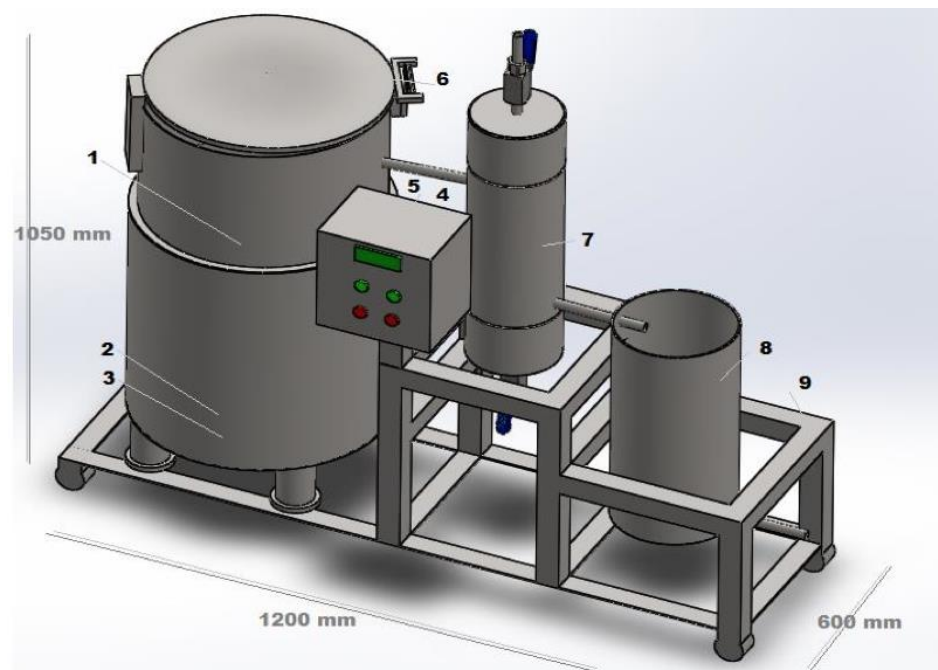
(ae)



(af)

NOTAS	CATEGORÍA DEL DISEÑO	ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA	MODELADO AUTOCAD DEL SISTEMA DE RECUPERACIÓN		
<p><b>(ae)</b> Vista Frontal del sistema de recuperación: Tanque de ebullición, condensador, contenedor.</p> <p><b>(af)</b> Vista Isométrica Superior</p>	<input type="radio"/> Certificado <input type="radio"/> Para Información <input type="radio"/> Por Aprobar <input type="radio"/> Por Calificar	REALIZADO POR: BYRON RODRÍGUEZ	LÁMINA	ESCALA	FECHA
	<input type="radio"/> Aprobado		11	x: y:	2014-08-24

**ANEXO XII  
COMPONENTES DEL EQUIPO**



NOTAS	CATEGORÍA DEL DISEÑO	ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA FACULTAD DE CIENCIAS	EQUIPO PROPUESTO PARA CONSTRUCCIÓN		
<p><b>(ag)</b> Localización de los componentes con los que cuenta el sistema de recuperación de PERC.</p>	<p><input type="radio"/> Certificado    <input type="radio"/> Para Información</p> <p><input type="radio"/> Por Aprobar    <input type="radio"/> Por Calificar</p> <p><input type="radio"/> Aprobado</p>	ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA	LÁMINA	ESCALA	FECHA
		REALIZADO POR: BYRON RODRÍGUEZ	12	x: y:	2014-08-24

## ANEXO XIII ACEITE DIATÉRMICO

### Shell Thermia Oil B Aceite para transferencia térmica



Shell Thermia B es un aceite mineral puro de baja viscosidad, baja tensión de vapor y alta resistencia a la oxidación desarrollado para transferencia de calor ya sea en sistemas de calefacción cerrados o bien en tratamiento térmico de metales.

#### Aplicaciones

El aceite Shell Thermia B está recomendado para sistemas cerrados de calefacción, ya sea por circulación natural o circulación forzada, que operen en un rango de temperaturas de hasta 320°C. Además su uso está indicado en hornos, hornos térmicos de metales, como por ejemplo templado y revenido de aceros.

#### Características Principales

- Alto coeficiente de transferencia de calor
- Alta estabilidad térmica y a la oxidación
- Buenos características de viscosidad/temperatura
- Bajo presión de vapor
- No corrosivo
- No tóxico

#### Estabilidad Térmica

Los aceites minerales están sujetos a dos tipos de degradación a temperaturas elevadas:

- Crazqueo, o rotura de las cadenas de hidrocarburos por medio del calor. Los cadenas largas se dividen en cadenas más pequeñas en sucesivos pasos. Algunos de ellas entran, como gases, pero otras son volátiles y forman humos. Los otros son componentes insolubles que forman depósitos.
- Oxidación, o la reacción del hidrocarburo con el oxígeno atmosférico. A veces ocurre ambiente la reacción ocurre con una velocidad relativamente lenta, pero esta se acelera conforme aumenta la temperatura. La oxidación produce la acidificación del aceite, algunos compuestos insolubles y generalmente va acompañado de un incremento de la viscosidad.

El aceite Shell Thermia B posee una excepcional estabilidad térmica a temperaturas de hasta 320°C. Aún a estas temperaturas, la tasa de craqueo y oxidación se mantiene en valores bajos, maximizando la vida útil del aceite. Esto

asume un sistema de calefacción eficiente, y manteniendo una circulación adecuada para asegurar que las temperaturas de piel de tubo no superen los 340°C.

#### Intervalo de Servicio

La vida útil del Shell Thermia B depende fundamentalmente del diseño y el modo de utilización del sistema. Para sistemas con diseños obsoletos, que no están ventilados o sobrecargados normalmente, la vida útil del aceite puede ser de unos días.

Es importante realizar un control periódico de las condiciones de las propiedades físicas y químicas del aceite. Los métodos más comunes para los valores parámetros observados. Es de particular común tener una muestra luego de una semana del llenado inicial y puesto en marcha a fin de establecer valores de referencia.

Luego, se recomienda tomar muestras cada seis meses y comparar los resultados de análisis con los valores previamente obtenidos.

Los valores más relevantes a evaluar son viscosidad, acidez, punto de inflamación (abiertos y cerrados) y contenido de insolubles.

#### Recomendaciones para el diseño

- La temperatura máxima admisible para la película adherida a la superficie de calefacción es de 340°C. La carga térmica debe ser mantenida al mínimo para reducir la temperatura de película.
- Una fuente potencial de datos el aceite es el calentador. A fin de mejorar la transferencia de calor y prolongar la vida útil del aceite se debe asegurar un flujo turbulento y un caudal constante en las superficies de calefacción, independientemente de las necesidades del proceso. Velocidades adecuadas a tal fin están en el orden de los 2,0 a 3,5 m/s dependiendo de la geometría del tubo. Es recomendable asegurar un caudal continuo a través del calentador, lo cual puede obtenerse por medio de un

### Shell Thermia Oil B Aceite para transferencia térmica



válvula de presión constante y una línea de by-pass.

- Para el caso de calentadores por llama, debe evitarse la incidencia directa de la misma sobre el serpentín de aceite a fin de evitar sobrecalentamientos localizados.
- Es necesario incluir en el circuito un tanque de expansión de capacidad suficiente para soportar la expansión térmica del fluido dentro del sistema. Como regla puede estimarse que el aceite a 300°C ocupa un 20% más de volumen que cuando se encuentra a temperatura ambiente. Es recomendable diseñar el tanque de tal modo de minimizar la superficie de contacto aceite/aire.
- El tanque debe estar colocado en el punto más alto del sistema y conectado a la succión de la bomba para proveer una altura neta positiva de succión (NPSH) suficiente para evitar la cavitación de la bomba.
- El circuito debe poseer ventosas a modo de poder eliminar las bolsas de vapor y de aire que pudieran formarse durante la puesta en marcha y operación.
- Para los casos de sistemas presurizados, es recomendable eliminar el agua que pudiera encontrarse en el sistema previamente a la puesta en marcha. Para ello, se sugiere elevar la temperatura lentamente hasta 110°C con ventosas continuas. Luego, puede incrementarse hasta los valores de trabajo con purgos periódicos de vapor.
- El sistema debe estar instrumentado para monitorear el caudal y temperatura del aceite en los puntos críticos, como ser a cada lado del calentador. Debe también contar con dispositivos de seguridad que actúen en caso de fallos de la bomba o temperaturas excesivas.

#### Características Típicas

Shell Thermia Oil B	
Viscosidad cinemática @ 40°C, cSt	35,0
Índice de viscosidad (VI)	95
Densidad a 15,4°C, g/cc	0,873
Punto de inflamación COC, °C	206
Punto de escurecimiento, °C	-12
Coficiente de expansión térmica, 1/°C	0,00076

Los valores indicados son representativos de la producción actual y no constituyen una especificación. La producción del producto se realiza conforme a las especificaciones de Shell.

#### Salud y Seguridad

El aceite Shell Thermia B no presenta riesgo para la salud cuando es usado en las aplicaciones recomendadas y se observan las medidas adecuadas de higiene personal e industrial. Para una información más detallada sobre higiene y seguridad, solicite la Hoja de Seguridad de Producto al Centro Técnico Shell.

#### Asesoramiento Técnico

Para aplicaciones no contenidas en esta publicación, consulte al Centro Técnico Shell.

### INSUMO PARA TANQUE DE CALENTAMIENTO

LÁMINA	ESCALA	FECHA
13	x: y:	2014-08-24

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA  
FACULTAD DE CIENCIAS  
ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA  
REALIZADO POR: BYRON RODRÍGUEZ

### CATEGORÍA DEL DISEÑO

- |                                   |  |
|-----------------------------------|--|
| <input type="radio"/> Certificado | <input type="radio"/> Para Información |
| <input type="radio"/> Por Aprobar | <input type="radio"/> Por Calificar    |
| <input type="radio"/> Aprobado    |  |

### NOTAS

SHELL THERMIA OIL B producto de calidad desarrollado para transferencia de calor en sistemas cerrados o abiertos.