



Universidad de San Carlos de Guatemala
Facultad de Ingeniería
Escuela de Ingeniería Química

**RECUPERACIÓN DE SOLVENTES QUÍMICOS A PARTIR DE MEZCLAS DE SOLVENTES
CONTAMINADOS DE DIFERENTES EMPRESAS EN GUATEMALA, UTILIZANDO LA
TÉCNICA DE DESTILACIÓN Y CROMATOGRFÍA DE GASES EN LA PLANTA DE
POCHTECA DE GUATEMALA, S. A.**

Andrea Alejandra Godoy Pivaral

Asesorado por el Ing. Jorge Emilio Godínez Lemus

Guatemala, abril de 2015.

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**RECUPERACIÓN DE SOLVENTES QUÍMICOS A PARTIR DE MEZCLAS DE SOLVENTES
CONTAMINADOS DE DIFERENTES EMPRESAS EN GUATEMALA, UTILIZANDO LA
TÉCNICA DE DESTILACIÓN Y CROMATOGRFÍA DE GASES EN LA PLANTA DE
POCHTECA DE GUATEMALA, S. A.**

TRABAJO DE GRADUACIÓN
PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA
POR

ANDREA ALEJANDRA GODOY PIVARAL

ASESORADO POR EL ING. JORGE EMILIO GODÍNEZ LEMUS

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERA QUÍMICA

GUATEMALA, ABRIL DE 2015

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. Angel Roberto Sic García
VOCAL I	
VOCAL II	Ing. Pablo Christian de León Rodríguez
VOCAL III	Inga. Elvia Miriam Ruballos Samayora
VOCAL IV	Br. Narda Lucía Pacay Barrientos
VOCAL V	Br. Walter Rafael Véliz Muñoz
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
EXAMINADOR	Ing. Williams Guillermo Álvarez Mejía
EXAMINADORA	Inga. Adela María Marroquín González
EXAMINADORA	Inga. Lorena Victoria Pineda Cabrera
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

En cumplimiento con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

**RECUPERACIÓN DE SOLVENTES QUÍMICOS A PARTIR DE MEZCLAS DE SOLVENTES
CONTAMINADOS DE DIFERENTES EMPRESAS EN GUATEMALA, UTILIZANDO LA
TÉCNICA DE DESTILACIÓN Y CROMATOGRFÍA DE GASES EN LA PLANTA DE
POCHTECA DE GUATEMALA, S. A.**

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Química, con fecha de febrero de 2014.

Andrea Alejandra Godoy Pivaral

Guatemala, 09 de febrero de 2015.

Ingeniero
Víctor Manuel Monzón Valdez
DIRECTOR
Escuela de Ingeniería Química.
Facultad de Ingeniería
Presente

Estimado Ingeniero

Por medio de la presente hago constar que he aprobado el informe final titulado: "Recuperación de solventes químicos a partir de mezclas de solventes contaminados de diferentes empresas en Guatemala, utilizando la técnica de destilación y cromatografía de gases en la planta de Pochteca de Guatemala. S.A.", de la estudiante de Ingeniería Química Andrea Alejandra Godoy Pivaral, con carné No. 200915274.

Sin otro en particular, me es grato suscribirme

Atentamente


Ing. Qco. Jorge Emilio Godínez Lemus
Asesor

Ing. Jorge Emilio Godínez Lemus
INGENIERO QUÍMICO
Colegiado 874



Guatemala, 17 de febrero de 2015.

Ref.EPS.DOC.123.02.15.

Ing. Silvio José Rodríguez Serrano
Director Unidad de EPS
Facultad de Ingeniería
Usac.

Ing. Rodríguez Serrano:

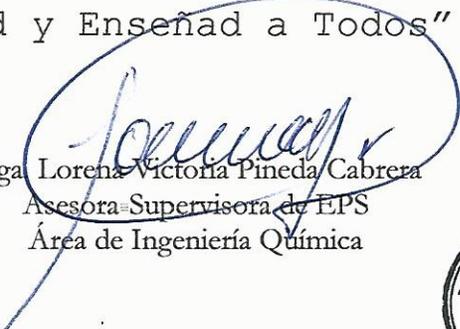
Por este medio atentamente le informo que como Asesora-Supervisora de la Práctica del Ejercicio Profesional Supervisado (E.P.S.), de la estudiante universitaria **Andrea Alejandra Godoy Pivaral** de la Carrera de Ingeniería Química, con carné No. **200915274**, procedí a revisar el informe final, cuyo título es **“RECUPERACIÓN DE SOLVENTES QUÍMICOS A PARTIR DE MEZCLAS DE SOLVENTES CONTAMINADOS DE DIFERENTES EMPRESAS EN GUATEMALA, UTILIZANDO LA TÉCNICA DE DESTILACIÓN Y CROMATOGRAFÍA DE GASES EN LA PLANTA DE POCHTECA DE GUATEMALA, S.A.”**.

En tal virtud, **LO DOY POR APROBADO**, solicitándole darle el trámite respectivo.

Sin otro particular, me es grato suscribirme.

Atentamente,

“Id y Enseñad a Todos”


Inga Lorena Victoria Pineda Cabrera
Asesora-Supervisora de EPS
Área de Ingeniería Química

c.c. Archivo
LVPC/ra





Guatemala, 14 de marzo de 2013
P.IQ.05.05.14

Ing. Victor Manuel Monzón Valdéz
Director Escuela de Ingeniería Química
Facultad de Ingeniería
Presente

Estimado Ingeniero Monzón Valdéz:

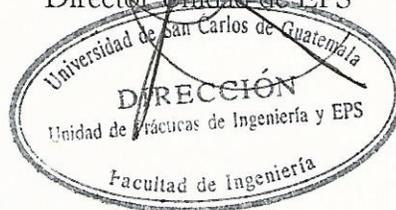
Por este medio le envío para el dictamen y aprobación respectiva el anteproyecto del Ejercicio Profesional Supervisado (E.P.S.) titulado: **RECUPERACIÓN DE SOLVENTES QUÍMICOS A PARTIR DE MEZCLAS DE SOLVENTES CONTAMINADOS DE DIFERENTES EMPRESAS EN GUATEMALA UTILIZANDO LA TÉCNICA DE DESTILACIÓN Y CROMATOGRAFÍA DE GASES EN LA PLANTA POCHTECA DE GUATEMALA, S.A.**. Para realizar dicho proyecto en un período mínimo de 6 meses, a partir del 19 de marzo de 2014, fue seleccionada la estudiante universitaria **Andrea Alejandra Godoy Pivaral** carné No. **200915274**, quien cursa la Carrera de Ingeniería Química y es debidamente asesorada y supervisada por la Ingeniera Lorena Victoria Pineda Cabrera.

Sin otro particular y agradeciendo de antemano su colaboración.

Atentamente,

“Id y Enseñad a Todos”

Ing. Silvio José Rodríguez Serrano
Director Unidad de EPS



cc. Archivo
SJRS/ra



Guatemala, 24 de marzo de 2015.
Ref. EIQ.TG-IF.016.2015.

Ingeniero
Víctor Manuel Monzón Valdez
DIRECTOR
Escuela de Ingeniería Química
Facultad de Ingeniería

Estimado Ingeniero Monzón:

Como consta en el registro de evaluación del informe final EIQ-PRO-REG-007 correlativo **032-2014** le informo que reunidos los Miembros de la Terna nombrada por la Escuela de Ingeniería Química, se practicó la revisión del:

INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADUACIÓN
-Modalidad Ejercicio Profesional Supervisado-

Solicitado por la estudiante universitaria: **Andrea Alejandra Godoy Pivaral**.
Identificada con número de carné: **2009-15274**.
Previo a optar al título de **INGENIERA QUÍMICA**.

Siguiendo los procedimientos de revisión interna de la Escuela de Ingeniería Química, los Miembros de la Terna han procedido a **APROBARLO** con el siguiente título:

**RECUPERACIÓN DE SOLVENTES QUÍMICOS A PARTIR DE MEZCLAS DE SOLVENTES
CONTAMINADOS DE DIFERENTES EMPRESAS EN GUATEMALA, UTILIZANDO LA TÉCNICA DE
DESTILACIÓN Y CROMATOGRAFÍA DE GASES EN LA PLANTA DE POCHTECA DE GUATEMALA, S. A.**

El Trabajo de Graduación ha sido asesorado por el Ingeniero Químico: **Jorge Emilio Godínez Lemus**.

Habiendo encontrado el referido informe final del trabajo de graduación **SATISFACTORIO**, se autoriza al estudiante, proceder con los trámites requeridos de acuerdo a las normas y procedimientos establecidos por la Facultad para su autorización e impresión.

"ID Y ENSEÑAR A TODOS"


Licda. Ingrid Lorena Benítez Pacheco
COORDINADORA DE TERNA
Tribunal de Revisión
Trabajo de Graduación



C.c.: archivo



.Ref.EIQ.TG.049.2015

El Director de la Escuela de Ingeniería Química de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer el dictamen del Asesor y de los Miembros del Tribunal nombrado por la Escuela de Ingeniería Química para revisar el Informe del Ejercicio Profesional Supervisado (**EPS final**) de la estudiante **ANDREA ALEJANDRA GODOY PIVARAL** titulado: **“RECUPERACIÓN DE SOLVENTES QUÍMICOS A PARTIR DE MEZCLAS DE SOLVENTES CONTAMINADOS DE DIFERENTES EMPRESAS EN GUATEMALA, UTILIZANDO LA TÉCNICA DE DESTILACIÓN Y CROMATOGRAFÍA DE GASES EN LA PLANTA DE POCHTECA DE GUATEMALA, S.A.”** Procede a la autorización del mismo, ya que reúne el rigor, la secuencia, la pertinencia y la coherencia metodológica requerida.

“Id y Enseñad a Todos”

Ing. Víctor Manuel Monzón Valdez
DIRECTOR
Escuela de Ingeniería Química



Guatemala, abril de 2015

Cc: Archivo
VMMV/ale



DTG. 167.2015

El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Química, al Trabajo de Graduación titulado: **RECUPERACIÓN DE SOLVENTES QUÍMICOS A PARTIR DE MEZCLAS DE SOLVENTES CONTAMINADOS DE DIFERENTES EMPRESAS EN GUATEMALA, UTILIZANDO LA TÉCNICA DE DESTILACIÓN Y CROMATOGRAFÍA DE GASES EN LA PLANTA DE POCHTECA DE GUATEMALA, S. A.**, presentado por la estudiante universitaria: **Andrea Alejandra Godoy Pivaral**, y después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:

Ing. Angel Roberto Sic García
Decano

Guatemala, 21 de abril de 2015



/gdech

ACTO QUE DEDICO A:

- Dios** Ya que sin ti, nada sería posible, me enseñaste a que todo siempre pasa por alguna razón, eres tan perfecto que todo lo haces con el mejor propósito para mi vida.
- Mis padres** Santiago Godoy y Lucrecia de Godoy, por su apoyo incondicional durante toda mi carrera, los consejos, compañía de desvelos, por creer en mí. De verdad muchas gracias papá y mamá, los amo con todo mi corazón y saben que este logro no es solo mío, definitivamente es nuestro.
- Mi familia** Mi hermano Alan Godoy, mis primos que son como mis hermanos Suanny, Vinicio, Taty, Hebert, Mónica, Mariajosé, Guillermo y abuela Elena Godoy , por el amor que nos tenemos y su apoyo siempre que lo necesité.
- Mi abuela** Hilda Vásquez (q.e.p.d.), porque ella siempre creyó en que este día llegaría, yo sé que le hubiera encantado verme convertida en ingeniera química, pero desde el cielo sé que lo estás celebrando.

Mis amigos

Mario Velásquez, Ana Paola Méndez, Leonel Morataya, José Alberto Coyoy, Fernando Mendoza, German Pérez, Rafael Flores, Francisco Morejón, Justo Antonio Pérez, Yampi Rivera, Luis Alfonso, Ninnete Mazariegos, Carlos Ortiz, Eva López, Russel Pop, Juan Pierri, Keny López, Andrey Valero, Julio Cruz, Miguel Juárez, María José Martínez, Carlos Véliz, Titi Leal, Johana Godoy, familia Herrera López, por todo el cariño, apoyo sincero y amistad incondicional.

Grupo Estrella

Pablo Herrera, Juan Pablo Samaniego Duarte y Ana Lucía Martínez, sin ustedes nada de esto sería posible, nuestros 100 en los prereportes del Laboratorio de Fisicoquímica fueron históricos, el trabajo en equipo, desvelos, tareas, risas, carreras, todo nuestro esfuerzo se refleja, más que compañeros 2009, son mis amigos y me complace grandemente que los cuatro nos convirtiremos en excelentes ingenieros químicos y que sigamos en contacto.

Edgar Higueros

Por el apoyo brindado, por sus consejos de vida, visión inteligente y llena de amor hacia mi persona.

AGRADECIMIENTOS A:

- Dios** Por darme la sabiduría, paciencia, perseverancia e inteligencia necesaria para llevar a cabo con éxito todas las metas propuestas.
- Inga. Ingrid López** Por ser mi asesora técnica y darme la oportunidad de realizar este proyecto en la planta de Pochteca de Guatemala, compartir sin egoísmo todos sus conocimientos, amistad, la confianza y apoyo incondicional durante toda la realización del proyecto.
- Ing. Jorge Godínez** Por el excelente aporte académico brindado, experiencia y amistad incondicional durante toda la carrera universitaria.
- Inga. Lorena Pineda** Por el apoyo como asesora - supervisora.
- Mis amigos de batalla** Pablo Herrera y Juan Pablo Samaniego Duarte, por la bonita amistad y excelente apoyo académico durante toda la carrera y realización del EPS.
- Licda. Ingrid Benítez** Por la aprobación del anteproyecto y los excelentes comentarios sobre el mismo.

USAC

Por ser mi casa de estudios, me siento orgullosa de ser sancarlista.

Ckrishnashi Samayoa

Por todo su cariño y ayuda a recuperar mi estado de salud emocional y físico.

Colaboradores

Santiago Godoy, Lucrecia de Godoy, Ing. Felipe Albanez, Ing. Edwin Fernández, Héctor Alejandro Gramajo, Sandra Echeverría, Herbert Arévalo, José Carlos Sosa, Carlos Rodríguez, José García, Hugo Arana, Wilber Hernández, por la colaboración en el proyecto al brindarme muestras de solventes, conocimientos, experiencias y amistad.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	V
LISTADO DE SÍMBOLOS.....	IX
GLOSARIO.....	XI
RESUMEN.....	XV
OBJETIVOS.....	XVII
Hipótesis.....	XVIII
INTRODUCCIÓN.....	XIX
1. ANTECEDENTES.....	1
2. MARCO TEÓRICO.....	3
2.1. Solventes.....	3
2.2. Solventes más comunes.....	6
2.2.1. Métodos para el análisis de un solvente.....	8
2.2.1.1. Contenido de humedad.....	9
2.2.1.2. Cromatografía de gases.....	10
2.2.1.3. Densidad.....	12
2.2.2. Las propiedades básicas por evaluar de los solventes.....	13
2.2.3. Usos de los solventes orgánicos.....	13
2.2.4. Solventes recuperados.....	14
2.2.1.4. Almacenamiento.....	15
2.2.1.5. Tratamiento inicial.....	16
2.2.1.6. Destilación.....	16

2.2.5.	Criterios para selección de equipo de destilación.....	17
2.2.6.	Mezclas de solventes azeotrópicos	18
2.2.7.	Purificación	19
3.	DISEÑO METODOLÓGICO	21
3.1.	Variables	21
3.1.1.	Variables dependientes y respuesta.....	21
3.1.2.	Variables independientes	21
3.1.3.	Variables intervinientes.....	21
3.2.	Delimitación de campo de estudio.....	22
3.3.	Recursos humanos disponibles.....	23
3.4.	Recursos materiales disponibles	23
3.5.	Técnica cuantitativa.....	25
3.5.1.	Cálculo del volumen de solvente recuperable	25
3.5.2.	Cálculo del volumen total de solvente recuperable.....	26
3.5.3.	Cálculo de la densidad	26
3.5.4.	Cálculo de porcentaje de solubilidad en agua	27
3.6.	Recolección y ordenamiento de la información	29
3.6.1.	Determinación de los solventes que se recuperaron a partir de los solventes contaminados	29
3.6.2.	Establecimiento de la cantidad de solvente que se recuperó partir de las diferentes empresas que proporcionaron los solventes contaminados, empleando la cromatografía de gases	29
3.6.3.	Caracterización de los solventes recuperados ..	30

3.6.4.	Selección de un destilador para la recuperación de solvente	30
3.7.	Tabulación, ordenamiento y procesamiento de la información	39
3.8.	Análisis estadístico	58
4.	RESULTADOS	61
4.1.	Solventes recuperados.....	61
4.2.	Características de los solventes recuperados comparados con solventes puros.....	67
4.3.	Selección del destilador para la recuperación de solvente químico	72
4.3.1.	Características del destilador.....	73
5.	INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS.....	75
6.	LOGROS OBTENIDOS	79
	CONCLUSIONES	81
	RECOMENDACIONES	83
	BIBLIOGRAFIA.....	85
	APÉNDICES	89
	ANEXOS	103

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Esquema general del proceso de recuperación de solvente.....	15
2.	Diagrama de cálculo de la cantidad de solvente recuperable	28
3.	Diagrama del procedimiento experimental para la destilación de solvente.....	31
4.	Diagrama para la determinación de la densidad de los solventes recuperados	33
5.	Diagrama para la determinación de la pureza los solventes recuperados	34
6.	Diagrama para la determinación de la temperatura de ebullición los solventes recuperados	36
7.	Diagrama para la determinación del porcentaje de solubilidad en agua de los solventes recuperados.....	37
8.	Determinación del contenido de humedad en los solventes recuperados	38
9.	Volumen mensual de acetona/hexano recuperable por empresa	63
10.	Volumen mensual de isopropanol recuperable por empresa	63
11.	Volumen mensual de metil etil cetona recuperable por empresa.....	64
12.	Volumen mensual de tolueno recuperable por empresa	64
13.	Volumen mensual de xileno recuperable por empresa	65
14.	Volumen total mensual de solventes recuperable	65
15.	Destilador de solventes	72
16.	Destilador Modelo D160 Axi.....	72

TABLAS

I.	Solventes comerciales y sus respectivas normas	9
II.	Empresas proveedoras de muestras de solventes contaminados.....	23
III.	Determinación de solventes recuperados a partir de los cromatogramas obtenidos	39
IV.	Densidad acetona / hexano (gramos/mililitros).....	40
V.	Densidad isopropanol (gramos/mililitros).....	41
VI.	Densidad metil etil cetona (MEK) (gramos/mililitros)	42
VII.	Densidad tolueno (gramos/mililitros)	43
VIII.	Densidad xileno (gramos/mililitros).....	44
IX.	Contenido de humedad isopropanol (porcentaje).....	45
X.	Contenido de humedad acetona/ hexano (porcentaje).....	46
XI.	Contenido de humedad metil etil cetona (MEK) (porcentaje)	47
XII.	Contenido de humedad tolueno (porcentaje)	48
XIII.	Contenido de humedad xileno (porcentaje).....	49
XIV.	Análisis fisicoquímicos acetona/ hexano	50
XV.	Análisis fisicoquímicos isopropanol	51
XVI.	Análisis fisicoquímicos metil etil cetona (MEK).....	52
XVII.	Análisis fisicoquímicos tolueno.	53
XVIII.	Análisis fisicoquímicos xileno.	54
XIX.	Volumen de solvente recuperable por mes, de cada empresa.....	55
XX.	Desviación estándar de las mediciones de densidad de los solventes recuperados.....	56
XXI.	Coeficiente de variación de las mediciones de densidad de los solventes recuperados.	57
XXII.	Volumen de solvente recuperable por mes, de cada empresa.....	62
XXIII.	Volumen total de solvente recuperable	66

XXIV.	Características de acetona y hexano recuperados comparados con acetona y hexano puro	67
XXV.	Características de isopropanol recuperado comparado con isopropanol puro	68
XXVI.	Características de metil etil cetona recuperado comparado con metil etil cetona puro.	69
XXVII.	Características del tolueno recuperado comparado con tolueno puro...	70
XXVIII.	Características del xileno recuperado comparado con xileno puro	71

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
Σ	Coefficiente de variación
C	Concentración
P	Densidad
$\bar{\rho}$	Densidad promedio
S	Desviación estándar
°C	Grado Celsius
G	Gramo
Ha	Hipótesis alternativa
H0	Hipótesis nula
IPA	Isopropanol
Kw	Kilo watt
A	Lectura de separación
L	Litro
M	Masa
MEK	Metil etil cetona
Mm	Micrómetro
mL	Mililitro
mm	Milímetro
mmHg	Milímetro de mercurio
N	Número de corridas
%H	Porcentaje de humedad
%S	Porcentaje de solubilidad

V	Volumen
Vtsc	Volumen de solvente contaminado
Vr	Volumen recuperable
Vt	Volumen total

GLOSARIO

Alícuota	Parte que se toma de una masa o un volumen, para ser usada en una prueba de laboratorio.
Butil cellosolve	Líquido incoloro miscible con agua y la mayoría de los solventes orgánicos. Utilizado como solvente en fórmulas de recubrimientos, como intermediario químico en la manufactura de esteres y como agente coalescente para estabilizar ingredientes inmiscibles en limpiadores de metal, lubricantes textiles.
Columna DB-WAX	Columna especial para la separación de disolventes, cetonas, alcoholes y glicoles.
Cromatografía	Método de separación física en el cual los componentes a separar se distribuyen entre dos fases, una de las cuales constituye la fase estacionaria, de gran área superficial y la otra es un fluido (fase móvil) que pasa a través o a lo largo de la fase estacionaria.

Destilador	Equipo basado en el principio de la destilación simple, que separa el producto contaminante (resinas, pigmentos, pinturas, tintas aceites y otros.) del disolvente original que es recogido en un contenedor para la siguiente reutilización.
Fisicoquímicos	Subdisciplina de la química que estudia la materia empleando conceptos físicos y químicos.
Isopropanol	También conocido como alcohol isopropílico, es un alcohol incoloro, inflamable, con olor intenso y muy miscible con el agua.
Kimax	Marca comercial que identifica al vidrio borosilicatado utilizado en la fabricación de cristalería de laboratorio, se caracteriza por su durabilidad y alta resistencia química y calórica.
LCLMS	“Líquido claro libre de material en suspensión”.
MEK	Metil etil cetona, compuesto químico orgánico, familiar de las cetonas, se encuentra como líquido incoloro con un olor aromático a menta y se utiliza como base disolvente en diferentes aplicaciones.
Rec bag	Bolsas descartables, utilizadas en los destiladores, para contener los residuos de la destilación y evitar toda operación de limpieza interior del equipo.

USP

En inglés, *United States Pharmacopeia*, Farmacopea de Estados Unidos, establece estándares para los alimentos, químicos y medicamentos, en este caso se utiliza helio grado USP, para denominar que el helio es de alta pureza.

RESUMEN

El siguiente estudio consistió en recuperar solventes químicos presentes en mayor cantidad de 9 muestras de solventes contaminados, los cuales fueron caracterizados y comparados con solventes químicos puros.

La técnica utilizada para la recuperación de solvente fue la de destilación simple, la destilación se realizó a nivel laboratorio, utilizando un condensador recto. Se destiló 100 mL de cada muestra de solventes contaminados, después de destilada la muestra, se filtró el condensado utilizando filtros de jeringa de 0,22 μm , se colocó 1 mL de la muestra filtrada en un vial, posteriormente se inyectó el contenido del vial en el cromatógrafo de gases, el cual mostró la composición porcentual de la muestra del solvente recuperado.

Se determinaron las concentraciones de acetona, hexano, isopropanol, metil etil cetona, tolueno y xileno mediante cromatografía de gases. Posteriormente se calculó el volumen de solvente aprovechable a partir de la producción promedio de contaminante de las empresas, se determinó que se puede recuperar un total de 31,33 toneles de solvente. A cada solvente se le realizó análisis fisicoquímico como: densidad, pureza, temperatura de ebullición, contenido de humedad, solubilidad en agua, apariencia (color, olor, transparencia).

Después de haber determinado los solventes recuperables, se seleccionó el destilador D160x Axi, que separa el producto contaminante (pintura, pigmentos, tintas, resinas, aceites y otros) del disolvente mediante el proceso de destilación simple, es capaz de destilar todo tipo de solventes, se obtiene una

máxima pureza de los solventes reciclados, produce entre 30 a 40 L/h y la capacidad máxima de carga es de 160 L.

OBJETIVOS

General

Recuperar solvente químico a partir de las mezclas de solventes contaminados de diferentes empresas en Guatemala, utilizando la técnica de destilación simple y cromatografía de gases en la planta de Pochteca de Guatemala S. A.

Específicos

1. Determinar los solventes que se recuperarán a partir de los solventes contaminados.
2. Establecer la cantidad de solvente que se recuperará a partir de las diferentes empresas que puedan proporcionar los residuos o solventes contaminados, empleando la cromatografía de gases.
3. Caracterizar los solventes recuperados y compararlos con las características de los solventes puros.
4. Seleccionar un destilador adecuado para la recuperación de solvente químico.

Hipótesis

Hipótesis científica

Es posible la recuperación de solvente químico a partir de la destilación de mezclas de solventes contaminados.

Hipótesis estadística

- Hipótesis alternativa (Ha):

Existen diferencias significativas en las propiedades de los solventes recuperados, como el contenido de humedad, densidad, solubilidad, punto de ebullición.

$$\mu_1 = \mu_2 = \mu_3$$

- Hipótesis nula (Ho):

No existen diferencias significativas en las propiedades de los solventes recuperados, contenido de humedad, densidad, punto de ebullición.

$$\mu_1 \neq \mu_2 \neq \mu_3$$

INTRODUCCIÓN

Los solventes son sustancias químicas que sirven para diluir líquidos, sólidos o gases, están constituidos de hidrocarburos volátiles (derivados del petróleo y del gas) que se evaporan al entrar en contacto con el aire.

Debido a que los solventes son extraídos del petróleo, su precio tiende a cambiar considerablemente, lo cual afecta directamente los costos de los procesos industriales donde la utilización de los solventes para realizar distintas mezclas es primordial (Torijano, E., 2012).

Muchas empresas con procesos de la industria farmacéutica, química, alimenticia y otros utilizan solventes químicos y a su vez generan residuos de los mismos. La opción preferida para el manejo de residuos de solvente es con frecuencia su regeneración y recuperación, mediante procesos tales como la evaporación o destilación, no obstante, consideraciones de tipo más económico que técnico hacen a veces desistir de su uso.

Por tal razón, el propósito del proyecto es la recuperación de solvente químico a partir de los residuos, dichos residuos fueron analizados para determinar los componentes más ricos de las mezclas y así determinar y analizar las ventajas y desventajas que conlleven a la recuperación de dichos componentes, lo que permitirá ayudar al medio ambiente y a mejorar los costos de producción de las distintas mezclas.

1. ANTECEDENTES

En la actualidad, la industria química, alimenticia y farmacéutica utilizan grandes cantidades de solventes químicos para llevar a cabo sus procesos, los solventes son extraídos mediante la destilación del petróleo y productos orgánicos.

Con el nacimiento de los recubrimientos sintéticos, surgió la necesidad de utilizar un disolvente diferente al agua, lo cual generó la utilización de los solventes en el proceso de recubrimientos.

Desde 1920 surgen mezclas de solventes utilizadas en los recubrimientos sintéticos, con el fin de diluir los recubrimientos antes de ser aplicados, para obtener el producto final (Garbelotto, 2008).

Los solventes puros o mezclas de solventes utilizados en los diferentes procesos industriales para obtener productos terminados, generan residuos que contienen solventes. De acuerdo a los anuarios estadísticos de diferentes petroleras (PEMEX, Saudi Aranco, Nacional Iranian Oil), las industrias con mayor compra de solventes son las de pinturas (Armenta, 2008).

De acuerdo con la información del Diario de ventas Solventes S. A, 2010-2012, en Guatemala, los mayores compradores de solventes como: tolueno, metanol, xileno, hexano, tetracloroetileno, y otros, son las industrias de pinturas y productos afines; lo que significa que los residuos actualmente utilizados por las empresas recicladoras son los provenientes de la industria de pinturas.

Las empresas recuperadoras de solvente para uso como combustible y reuso como solvente de limpieza se encuentran en Chile, México y otros países (Quiminet, 2011).

En la Región Metropolitana de Chile, las empresas recuperadoras de solvente usado son: Química Ecopar LTDA, Reciclajes EcoTRANS LTDA, Sociedad Comercial e Industrial SERCOIN SCI LTDA, Bravo Energy Chile S. A, y Society Recycling Instruments LTDA. Y en México: Química Wimer, Ampex Chemical y Alternos y Reciclados Pavetech. (Respel, 1999).

En 2004 en Guatemala, la empresa Transmerquim brindó el servicio de recuperación de solventes por destilación, exclusivamente a sus clientes cobrándoles únicamente los costos de transporte y operación. Teniendo una capacidad máxima de 240 galones al día y utilizaban un 50 por ciento como consumo interno (PROARCA, 2004).

2. MARCO TEÓRICO

2.1. Solventes

Líquidos, de incoloros a ligeramente amarillos de olor característico, destilan sin descomponerse, volátiles a temperatura ambiente, capaces de disolver aceites, polímeros, resinas, dispersar sustancias para producir nuevas, cuya composición sea la más adecuada a las necesidades requeridas.

Una solución está constituida, por lo menos, por dos componentes: una de estas sustancias se llama solvente y por lo regular es el componente que se encuentra presente en mayor cantidad. Las demás sustancias de la solución se denominan solutos y se dice que están disueltas en el disolvente (Brown, et al. 1998). Las soluciones se obtienen a partir de la mezcla de componentes sólidos, líquidos y/o gaseosos con líquidos.

Los solventes se pueden dividir en acuosos, no acuosos y orgánicos y se usan en la industria como portadores (*carriers*) y como medio para síntesis químicas.

Los solventes orgánicos se clasifican de acuerdo con el grupo funcional de la molécula: alcoholes, cetonas, aminas, glicoles, ésteres, éteres, éter, hidrocarburos aromáticos, alifáticos, ciclo alifático, halogenados o nitrados y terpenos. La presencia de un determinado grupo indica los tipos de interacciones físicoquímicas que pueden ocurrir entre el soluto y el solvente (Brown, et al. 1998).

Los solventes principales son:

- Solventes aromáticos

Los solventes aromáticos y alifáticos están formados exclusivamente por carbono e hidrógeno, los aromáticos tienen la estructura del anillo aromático o anillo bencénico, no tienen enlaces fuertemente polares, teniendo propiedades físicas semejantes a los demás hidrocarburos. Son inmiscibles en agua, cuando se mezcla un hidrocarburo aromático con agua se forman dos fases, la superior es la orgánica y la inferior la acuosa. Todos los compuestos con estructura de anillo bencénico tienen como mínimo seis átomos de carbono, se encuentran en estado líquido o sólido a temperatura y presión constante (Brown, et al. 1998).

- Solventes alifáticos

Los solventes alifáticos no presentan un anillo aromático, estos hidrocarburos se pueden clasificar como cíclicos o acíclicos (cadena cerrada o abierta), lineales o ramificados o insaturados. Son inmiscibles en agua, cuando se mezcla un hidrocarburo con agua se forman dos fases, de las cuales la capa superior es la orgánica y la inferior la acuosa porque los hidrocarburos son menos pesados que el agua. Son solubles entre sí y tienden a solubilizar otros compuestos a polares (como grasas y ceras) (Verneret, 1983).

- Solventes halogenados

Estos solventes están constituidos por carbono, hidrógeno y por lo menos un átomo de halógeno unido a la cadena carbonada. Estos compuestos de

baja masa molar son gases como los clorofluorocarbonos; los de masa molar más alta son líquidos y poco miscibles en agua. Al mezclar organohalogenados líquidos y agua se forman dos fases, la inferior orgánica y la superior acuosa, ya que estos compuestos son más densos que el agua (Armenta, 2008).

- Solventes oxigenados

Son los solventes cuyas moléculas están formadas por hidrógeno, carbono y al menos un átomo de oxígeno. (Brown, 1998). Ejemplos de ellos son: alcoholes, cetonas, éteres, ácidos carboxílicos, y otros.

La materia prima principal para la obtención de cetonas es el petróleo. La acetona se obtiene como coproducto de la fabricación del fenol. La acetona es la materia prima para producir acetona alcohol por condensación aldólica. Por deshidratación de la acetona alcohol se obtiene óxido de mesitilo y por hidrogenación selectiva de este se obtiene MIBK (Metil Isobutil cetona).

Esta se produce a partir de la deshidrogenación del 2-butanol, que se produce a partir de la hidratación del 2-buteno. Los acetatos son los ésteres más utilizados como solventes, se obtienen por esterificación de diferentes alcoholes con ácido acético. La reacción es reversible y se produce agua. El ácido acético para la producción de acetatos se obtiene por la carbonilación del metanol. La reacción está catalizada por complejos de rodio o iridio y ocurre en presencia de iodo metano (Celanese, 2005).

- Solventes nitrogenados y sulfonados.

Los compuestos nitrogenados que se pueden utilizar como solventes son aminas, amidas, nitrilos y nitrocompuestos. Las aminas tienen por lo menos un átomo de nitrógeno unido a un átomo de carbono saturado. En las amidas el nitrógeno unido a un grupo carbonilo. Los nitrilos tienen por lo menos un átomo de nitrógeno unido a un átomo de carbono por una triple ligadura. Los nitro alcanos tienen un átomo de nitrógeno unido a un átomo de carbono y a dos átomos de oxígeno (Chang, 2010).

Entre los compuestos sulfurados utilizados como solventes están los sulfóxidos y las sulfotas. La molécula de los sulfóxidos tienen un átomo de azufre unido a dos átomos de carbono distintos y a un átomo de oxígeno por una doble ligadura (Solomons, et al. 2000).

2.2. Solventes más comunes

- Acetato de butilo

Es un líquido transparente e incoloro con un olor a fruta. Es miscible con un número de disolventes orgánicos; casi insolubles en agua. Acetato de butilo puede ser fácilmente hidrolizado en presencia de ácidos o soluciones alcalinas.

- Acetato de etilo

El acetato de etilo es un líquido incoloro, característico de los ésteres, no residual. Es miscible con hidrocarburos, cetonas, alcoholes y éteres y poco soluble en agua. Se emplea en arte como disolvente universal.

- Acetona

Es una sustancia química que también se encuentra de forma natural en el medio ambiente. También se conoce como dimetil cetona, 2-propanona, y beta-ketopropane. Es un líquido incoloro con un olor y un sabor característicos. Se evapora fácilmente, es inflamable y se disuelve en el agua. La acetona se usa para hacer plásticos, fibras, medicamentos y otros productos químicos. También se usa para disolver otras sustancias.

- Butil Cellosolve

Es un líquido incoloro miscible con agua y a la mayoría de los solventes orgánicos. Es muy usado como solvente en fórmulas de recubrimientos, como intermediario químico en la manufactura de ésteres y como agente coalescente para estabilizar ingredientes inmiscibles en limpiadores de metal, lubricantes textiles, aceites cortantes y líquidos para el cuidado del hogar.

- Hexano

Es utilizado como disolvente para algunas pinturas y procesos químicos y para quitar etiquetas de precios, ya que disuelve el pegamento con que se adhieren. También fue muy utilizado en la industria del calzado y la marroquinería, aunque su uso en industrias controladas está más restringido.

- Metanol

También conocido como alcohol metílico o alcohol de madera, es el alcohol más sencillo. Es un disolvente industrial y se emplea como materia prima en la fabricación de formaldehído. El metanol también se emplea

como anticongelante en vehículos, combustible de estufas de acampada, solvente de tintas, tintes, resinas, adhesivos, biocombustibles y aspartame.

- Metil isobutil cetona

También conocido como MIK, es un compuesto químico orgánico de la familia de las cetonas utilizado como base disolvente en diversas aplicaciones y como intermediario de síntesis del peróxido de metil etil cetona. Está catalogado como precursor químico.

- Tolueno

Solvente que se utiliza como materia prima a partir de la cual se obtienen derivados del benceno, el ácido benzoico, el fenol, la sacarina, el diisocianato de tolueno (TDI), materia prima para la elaboración de poliuretano, medicamentos, colorantes, perfumes, TNT y detergentes.

- Xileno

Es un buen disolvente y se usa como tal. Forma parte de muchas formulaciones de combustibles de gasolina donde destacan por su elevado índice octano.

2.2.1. Métodos para el análisis de un solvente

Los solventes pueden ser analizados mediante una serie de características y propiedades fisicoquímicas para obtener las especificaciones del producto final como la densidad, acidez, color, basicidad, material no volátil, rango de destilación, contenido de agua, miscibilidad, resistencia a materiales y olor residual. (Morales 2009). También se determina el grado de pureza de los solventes, esto se puede realizar utilizando un cromatógrafo de gases.

En función del tipo de solvente utilizado se definen las especificaciones. En la tabla I se presenta un resumen de las principales características que constan en la especificación de algunos solventes comerciales y sus respectivos métodos analíticos normalizados (López, 2013).

Tabla I. **Solventes comerciales y sus respectivas normas**

Análisis Realizados	Referencias	Metodología
Pureza	-----	Cromatografía
Densidad	ASTM D-4 052	Análisis físico
Color (Pt-Co)	ASTM D-1 209	Análisis físico
Humedad	ASTM D-1 364-64	Análisis Químico
Acidez (Como ácido acético)	ASTM D-1 613-66	Análisis químico
Rango de Destilación (750 mm Hg)	ASTM D-1 078-70	Análisis físico
Olor residual	ASTM D-1 296	Análisis físico
Miscibilidad en agua	ASTM D-1 722	Análisis físico
Resistencia a KMnO_4	NBR-5 826	Análisis químico

Fuente: ASTM, 2002.

2.2.1.1. Contenido de humedad

El contenido de humedad en los disolventes puede ser determinado con la utilización del método más común, denominado Karl Fisher.

El método Karl Fisher es un método potenciométrico basado en la reacción de reducción del yodo por el dióxido de azufre en presencia de agua. La reacción permite determinar cuantitativamente el contenido de agua en el medio, en presencia de piridina y un alcohol primario que reaccionan con trióxido de azufre y ácido yodhídrico. (López, 2013).

El método descrito en la Norma ASTM D1 364 está indicado para intermediarios químicos y solventes volátiles utilizados en pinturas, barnices y productos similares y se puede utilizar tanto para la determinación de valores muy altos como muy bajos de agua. Los solventes que absorben con facilidad el agua del ambiente, como cetonas, acetatos y ésteres de glicol, se deben manipular con mucho cuidado para evitar este efecto (ASTM D1364).

Es aplicable a los compuestos orgánicos pero no en presencia de mercaptanos, peróxidos o aminas. Se podrá efectuar determinaciones en compuestos con carbonilos siempre y cuando se use una mezcla de metanol (1 parte), piridina (3 partes) y benceno (6 partes). 50 mL de metanol o de la mezcla anterior se titulan con el reactivo de Karl Fischer (solución de yodo, piridina y dióxido de azufre en relación molar de 1, 10 y 3 respectivamente) hasta agotar la humedad. Una cantidad determinada de muestra se agrega a la solución y en condiciones tales que la entrada de la humedad sea mínima, se efectúa la titulación con el reactivo Karl Fisher hasta agotar la humedad (Metrohm Manual, 2009).

2.2.1.2. Cromatografía de gases

La cromatografía es un método de separación física en el cual los componentes a separar se distribuyen entre dos fases, una de las cuales constituye la fase estacionaria, de gran área superficial y la otra es un fluido (fase móvil) que pasa a través o a lo largo de la fase estacionaria.

La fase estacionaria puede ser un sólido o un líquido dispuesto sobre un sólido que actúa como soporte, de gran área superficial. La fase móvil es un fluido (puede ser gas, líquido o fluido supercrítico) que se usa como portador de la mezcla.

En la cromatografía ocurren dos fenómenos muy importantes y que son prácticamente los rectores del proceso de separación: la adsorción y la absorción.

La adsorción es la retención de una especie química en los sitios activos de la superficie de un sólido, quedando delimitado el fenómeno a la superficie que separa las fases o superficie interfacial. Esta retención superficial puede ser física o química. La adsorción depende de la naturaleza de la sustancia adsorbida, de la temperatura, de la naturaleza y estado de subdivisión del adsorbente y de la concentración.

La absorción es la retención de una especie química por parte de una masa y depende de la tendencia que tiene esta a formar mezcla o reaccionar químicamente con la misma (Keulemans, 2006).

La cromatografía gaseosa es la técnica de mayor aplicación para el análisis de solventes. Es útil especialmente para analizar los componentes de una mezcla, separar, caracterizar y cuantificar los componentes e impurezas orgánicas presentes en los solventes disponibles en el mercado. También permite seguir el proceso de síntesis (Quirós, 2006).

En la cromatografía gaseosa de alta resolución (CGAR) se emplean columnas de longitud entre 10 y 100 m, con diámetro interno que varía entre 0,10 y 0,75 mm., la fase estacionaria es una película de polaridad variable. Los gases de arrastre que más se usan son el hidrógeno y el helio. Los detectores más utilizados son la ionización de llama o Flame Ionization Detector (*FID*) y de conductividad térmica o Thermal Conductivity *Detector* (*TCD*). Otro tipo muy utilizado es el fragmento de masas o Mass Spectrometry Detector

(MSD). También existen otros tipos de detectores como los de captura de electrones, los fotométricos de llama, los detectores específicos para especies nitrogenadas y fosforadas, los de fotoionización y los detectores compuestos que usan dos tipos de detección simultánea (Bertsch y Jennings, 1981).

2.2.1.3. Densidad

La densidad se define como la masa por unidad de volumen a una determinada temperatura. La densidad relativa es el cociente entre la densidad del producto a una determinada temperatura y la densidad del agua en las mismas condiciones (Solomons, et al. 2000).

$$\rho = \frac{m}{V}$$

Donde ρ es la densidad, m es la masa de la sustancia y V el volumen. Siendo así la densidad de cualquier líquido se puede determinar pesando cuidadosamente una cantidad de la sustancia y midiendo enseguida su volumen. Es importante controlar la temperatura a la cual se efectúa la medición debido a que cualquier variación de temperatura puede modificar considerablemente la densidad (Solomons, et al, 2000).

La densidad o densidad relativa es una magnitud física que indica, las características finales de aplicación del solvente. La Norma ASTM D4052 trata de los requisitos analíticos del ensayo para compuesto líquidos en la franja de 15 °C a 35 °C, cuya presión de vapor sea menor que 600 mm Hg y cuya viscosidad, menor que aproximadamente 15 000 cSt (mm²/s) a la temperatura del ensayo (que debe estar indicada) (ASTM D4052).

2.2.2. Las propiedades básicas por evaluar de los solventes

- Apariencia (color, olor y transparencia)
- Punto de inflamación
- Rango de destilación (punto de ebullición)
- Índice de acidez y pH
- Poder disolvente (kauri butanol)
- Porcentaje de humedad
- Peso específico
- Índice de solubilidad en agua

2.2.3. Usos de los solventes orgánicos

- Agentes reductores de viscosidad
- Niveladores de película
- Agentes de corte en reacción de polimerización
- Fluidos hidráulicos
- Anticongelantes
- Ambientes de reacción en industria farmacéutica
- Medios de extracción en la industria alimenticia
- Reactivos en síntesis química
- Desengrasantes
- Vehículos en la producción de insecticidas
- Agentes antisépticos y de limpieza

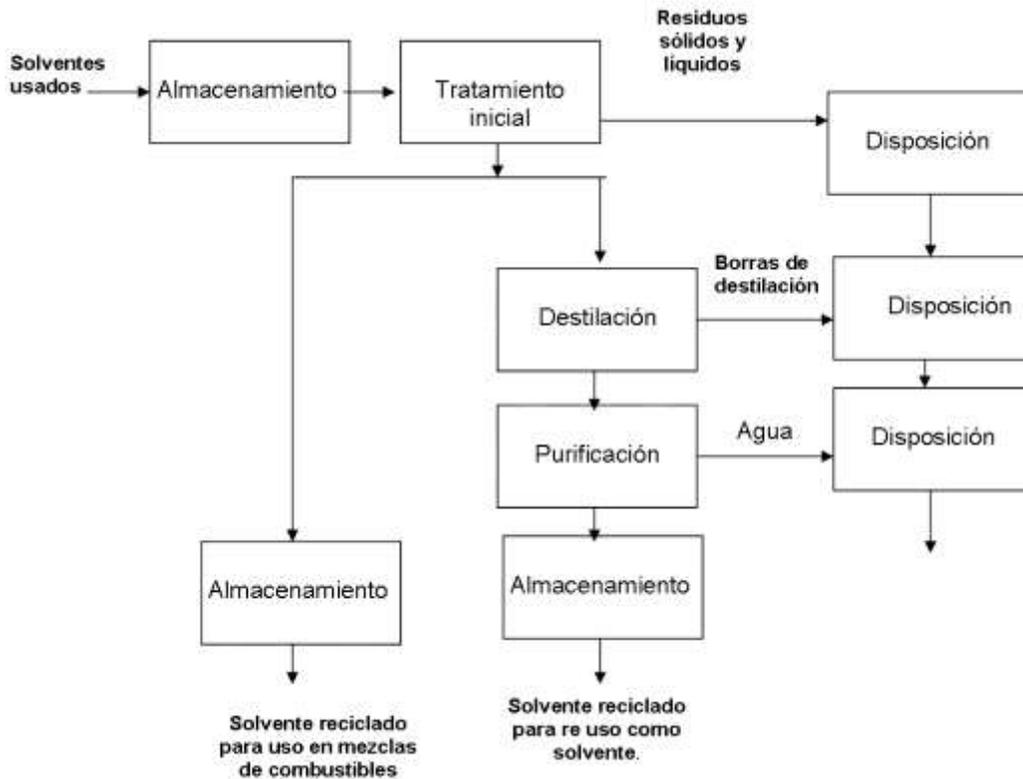
2.2.4. Solventes recuperados

Son aquellos solventes que se pueden obtener mediante la destilación de solventes sucios o mezclas de solventes ya utilizados, con el propósito de reutilizarlos como solventes de limpieza o en mezclas de combustibles alternativos.

Los productos que son reciclados para ser usados como solventes son refinados en unidades de destilación especialmente construidas, donde el solvente se separa en la forma de condensado de los componentes no volátiles, tales como resinas y pigmentos, que permanecen en el fondo del destilador. Los solventes sucios y residuos de destilación que son reciclados para ser usados como combustible, son generalmente recolectados y mezclados para satisfacer especificaciones predeterminadas para dicho combustible (Respel, 1999).

El proceso general de recuperación de solvente incluye las operaciones unitarias que se muestran en la siguiente figura 1.

Figura 1. Esquema general del proceso de recuperación de solvente



Fuente: *Guía para el control de la contaminación industrial, solventes recuperados.*

2.2.1.4. Almacenamiento

Todos los solventes son almacenados antes y después de su recuperación. Los solventes son transportados desde los recintos industriales, en camiones cisternas y toneles, hacia la planta de recuperación, donde son procesados y luego retornados al generador o vendidos a terceros para ser reusados (Respel, 1999).

En las empresas de recuperación de solvente para reuso como solvente, estos son almacenados en contenedores con capacidad de 208 L (en toneles) y 1 000 L (en recipientes plásticos). En las empresas de recuperación para uso en mezclas de combustibles alternativos estos son almacenados en estanques de 50 o 150 [m³], de techo fijo provistos con válvulas de alivio para evitar que los vapores de solvente ejerzan una presión excesiva en su interior. En general, el tiempo de almacenamiento de los toneles varía desde no más de 48 horas hasta 1 semana (Respel, 1999).

2.2.1.5. Tratamiento inicial

Los solventes sucios recibidos son inicialmente tratados mediante separación mecánica para remover sólidos suspendidos y agua. Los métodos de separación mecánica incluyen filtración y decantación. Esta última también es usada para separar el agua del solvente inmiscible (Respel, 1999).

2.2.1.6. Destilación

La destilación es un método para separar los componentes de una solución, depende de la distribución de las sustancias entre una fase gaseosa y una líquida y se aplica a los casos en que todos los componentes están presentes en las dos fases (Treybal, 2 edición 2005).

Después del tratamiento inicial, los solventes sucios destinados para reuso como solventes son destilados para separar las mezclas de solventes y para remover impurezas disueltas. Los solventes sucios destinados para ser reusados en mezclas de combustibles alternativos no son destilados (Respel 1999).

En la destilación simple por lotes, una cantidad de solvente usado es alimentada al evaporador. Después de ser cargado, los vapores son removidos y condensados continuamente. Los residuos remanentes en el fondo del destilador son removidos del equipo después de la evaporación del solvente. La destilación continua simple es similar a la destilación por lotes, exceptuando que el solvente es alimentado continuamente al evaporador durante la destilación y los residuos del fondo del evaporador son descargados continuamente.

La separación de mezclas de solventes generalmente requiere de destilaciones simples múltiples o rectificaciones. En la rectificación por lotes, los vapores del solvente pasan a través de la columna de fraccionamiento donde entran en contacto con solvente condensado (reflujo) ingresando por la parte superior de la columna. El solvente que no es retornado como reflujo es retirado como producto por el tope. Durante la rectificación continua, el solvente sucio es alimentado continuamente en un punto medio de la columna. Los solventes más volátiles son retirados por la parte superior de la columna mientras que los solventes con puntos de ebullición más elevados son recolectados en el fondo.

2.2.5. Criterios para selección de equipo de destilación

Los equipos de rectificación y destilación comunes no son apropiados para la recuperación de algunos solventes sucios. Por ejemplo, contaminantes resinosos o viscosos pueden recubrir las superficies de transferencia de calor resultando en pérdida de eficiencia del evaporador. Los evaporadores con serpentines expuestos a los solventes son solo adecuados con solventes con un contenido de sólidos inferior al 5 por ciento. Los evaporadores que evitan que los contaminantes deterioren las superficies de calentamiento son los de raspadores rotatorios o de película delgada. En los primeros, raspadores

rotatorios evitan que los contaminantes se adhieran a las superficies calientes del evaporador.

Para materiales viscosos o sensibles al calor, evaporadores de película delgada son los más adecuados. Mediante este diseño, el solvente es forzado a formar una película delgada sobre las paredes calientes del evaporador por unas cuchillas rotatorias. Estas cuchillas agitan el solvente mientras mantienen una pequeña distancia desde las paredes del evaporador para evitar la acumulación de contaminantes sobre las superficies para calentamiento.

Los solventes con puntos de ebullición elevados (155 °C) son destilados más eficientemente en vacío. La destilación en vacío reduce de manera importante la cantidad de calor que sería requerido por medio de destilación a presión atmosférica (Respel, 1999).

2.2.6. Mezclas de solventes azeotrópicos

Las mezclas de solventes azeotrópicos que generalmente son difíciles de separar pueden ser separadas durante la destilación adicionando un tercer solvente. Por ejemplo, la adición de fenol a mezclas de ciclohexano y benceno durante la destilación ocasiona que los coeficientes de actividad del ciclohexano sean aproximadamente el doble de los del benceno. Tal factor hace que la volatilidad del ciclohexano sea casi el doble de la del benceno, permitiendo una fácil separación por destilación.

La condensación de los vapores de solvente se logra durante la destilación mediante condensadores barométricos o de carcasa y tubos. Este último diseño consiste de tubos paralelos al interior de una carcasa cilíndrica. La condensación del solvente se logra por el flujo de agua de enfriamiento a

través de los tubos que están en contacto con los vapores de solvente en la carcasa. Este arreglo evita el mezclado del solvente recuperado con el agua de enfriamiento. En los condensadores barométricos, el vapor es condensado por contacto directo con un rocío de agua de enfriamiento. La condensación de vapor resulta en una mezcla de solvente y agua de enfriamiento. (Respel, 1999).

2.2.7. Purificación

Después de la destilación, agua adicional es removida del solvente por decantación o *salting*. Enfriamiento adicional de la mezcla solvente-agua antes de la decantación aumenta la separación de los dos componentes al disminuir su solubilidad. Mediante *salting*, el solvente es circulado a través de un lecho de cloruro de calcio donde el agua es removida por absorción.

Durante la purificación, algunos solventes recuperados pueden perder su capacidad para tamponar y necesitan ser estabilizados. La estabilización requiere la adición de tampones para asegurar que el pH se mantenga constante durante su uso. La composición de los aditivos usados para tamponar es considerada propiedad privada por la mayoría de las empresas (Respel, 1999).

3. DISEÑO METODOLÓGICO

3.1. Variables

A continuación se verá 3 tipos de variables: dependientes, independientes e intervinientes.

3.1.1. Variables dependientes y respuesta

- Empresas dispuestas a proporcionar las muestras de solvente contaminado.
- Solvente contaminado.
- Componentes presentes en el solvente contaminado.
- Composición del solvente recuperado.
- Temperatura de ebullición de los solventes (°C).
- Por ciento de solubilidad en agua de los solventes.
- Densidad de los solventes (g/mL).

3.1.2. Variables independientes

- Tipos de materiales presentes en el solvente contaminado

3.1.3. Variables intervinientes

- Humedad relativa

3.2. Delimitación de campo de estudio

La recolección de muestras de solventes contaminados fue llevada a cabo en diferentes empresas que proporcionaron sus residuos y están ubicadas en Guatemala, Escuintla, y en lugares cercanos a la planta de Pochteca de Guatemala, que se encuentra ubicada en carretera Panamericana Km 19,5 lote 7, Lo De Coy, Mixco.

El enfoque de la investigación consistió en recuperar solvente químico, dicha investigación fue de carácter experimental debido a que se analizaron diferentes muestras de solvente contaminadas para poder determinar el solvente presente en mayor cantidad, y así poder establecer cantidad recuperable y destilador adecuado para este fin.

Los análisis necesarios, como la determinación de la composición, contenidos de humedad, densidad, etc. en los solventes, fueron realizados en el laboratorio químico de la planta de Pochteca de Guatemala.

Las empresas de las cuales fueron obtenidas las muestras están identificadas con las letras A, B, C, D, E, F, G, y H por motivos de confidencialidad y son las que se muestran en la siguiente tabla.

Tabla II. **Empresas proveedoras de muestras de solventes contaminados**

Empresa	Dirección
Empresa A	Km 63,5 carretera a Masagua
Empresa B	2 avenida 3-53, zona 6 Los Álamos
Empresa C	Km 22,5 carretera al Pacífico, Colonia Covinta, Bárcenas, Villa Nueva
Empresa D	5 avenida 5-50 zona 6 Los Álamos
Empresa E	1 avenida "A" 2-65 zona 6, Villa Nueva
Empresa F	Km 22 lote 301, colonia Covinta, Bárcenas Villa Nueva
Empresa G	7 avenida 0-56, zona 2, colonia El Tesoro, Mixco.
Pochteca de a Guatemala	Carretera Panamericana, Lo de Coy, Mixco Km 19,5 lote 7. Interior de Ecobodegas.
Empresa H	3 avenida 7-80 zona 3 de Mixco, colonia El Rosario

Fuente: elaboración propia.

3.3. Recursos humanos disponibles

- Investigadora: Andrea Alejandra Godoy Pivaral
- Asesor: MSc. Inga. Qca. Ingreed Orieta López Zelada
- Jefe de planta, Pochteca de Guatemala: MSc. Inga. Qca. Ingreed Orieta López Zelada

3.4. Recursos materiales disponibles

- Material y reactivos
 - Aceite mineral
 - Agua desmineralizada
 - Filtros de jeringa de 0,22µm

- Helio grado USP
 - Metanol
 - Muestras de solvente contaminado
 - Reactivo de Karl Fischer
 - Rollo de papel parafilm
 - Tubos capilares
-
- Cristalería y equipo
 - Balanza: se utilizará para la determinación del peso de la muestra a temperaturas establecidas.
 - Beacker kimax de 500 mL: para contener y calentar el aceite mineral
 - Balón de destilación: se utilizará para colocar las alícuotas de solvente contaminado y poder destilarlas.
 - Condensador recto: se utilizará para poder destilar las muestras contaminadas.
 - Cromatógrafo de gases: se utilizará para poder determinar la composición de los solventes contaminados y pureza del solvente recuperado.
 - Picnómetro: para la medición de densidad de los solventes.
 - Probeta de 100 mL: se utilizará para la determinación de la solubilidad de los solventes.
 - Soporte universal: para sujetar cristalería.
 - Termómetro de mercurio: se utilizará para medir temperaturas de ebullición de los solventes.
 - Tubos de ensayo
 - Titulador de medición del porcentaje de humedad: para determinar el porcentaje de humedad contenida en los solventes se utilizará

un titulador automático en donde el reactivo será Karl Fisher, el cual determinará con una señal del electrodo a un pH neutro, el porcentaje de humedad contenido en la muestra y el del prototipo.

3.5. Técnica cuantitativa

Se dice que es cuantitativo porque el investigador introduce determinadas variables, las cuales son manipuladas por él, para observar la forma en que estas varían, siempre realizándola en situaciones controladas (López, 2013).

3.5.1. Cálculo del volumen de solvente recuperable

Ecuación 1

$$V_r = C * V_{\text{Total SC}}$$

Donde:

V_r = volumen de solvente recuperable (L)

C = concentración %

$V_{\text{Total SC}}$ = volumen total de solvente contaminado (L)

Ejemplo: cálculo del volumen de solvente recuperable (tolueno) obtenido de la empresa B.

$$V_r = 42,6898 \% * 1041,0125L = 444,4062 L$$

Nota: se realizó el mismo procedimiento para calcular los volúmenes de solvente recuperable de los demás solventes recuperados.

3.5.2. Cálculo del volumen total de solvente recuperable

Ecuación 2

$$V_T = \sum_{n=1}^i V_r$$

Donde:

V_r = volumen de solvente recuperable (L)

V_T = volumen total de solvente recuperable (L)

Ejemplo: cálculo del volumen de solvente recuperable (tolueno) obtenido de las empresas.

$$\begin{aligned} V_T &= \sum_{n=1}^i (1240,6318 + 444,4062 + 73,1462 + 297,6800 + 1156,756 + 71,7436)L \\ &= 3284,3638L \end{aligned}$$

Nota: se realizó el mismo procedimiento para calcular los volúmenes totales de solvente recuperable de los demás solventes recuperados.

3.5.3. Cálculo de la densidad

Ecuación 3

$$\rho = \frac{m}{v}$$

Donde:

ρ = densidad (g/mL)

m = masa (g)

v = volumen (mL)

Ejemplo: cálculo de la densidad para el tolueno obtenido de la empresa B.

$$\rho = \frac{21,311\text{g}}{24,842\text{mL}} = 0,8579\text{g/mL}$$

Nota: se realizó el mismo procedimiento para calcular las densidades de los demás solventes recuperados.

3.5.4. Cálculo de porcentaje de solubilidad en agua

Ecuación 4

$$\%s = \frac{(A - 50) * 100}{50}$$

Donde:

%S = porcentaje de solubilidad en agua

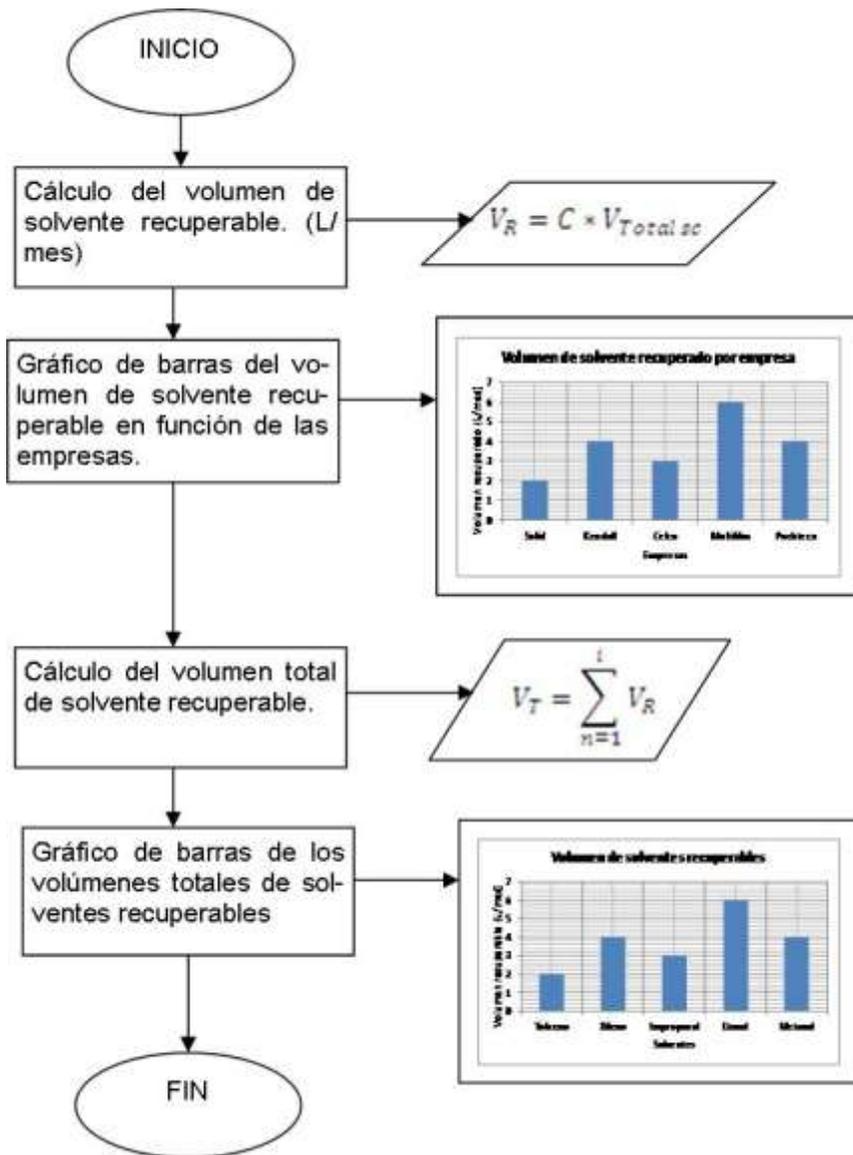
A = Lectura de separación

Ejemplo: cálculo del porcentaje de solubilidad en agua para el tolueno obtenido de la empresa B.

$$\%s = \frac{(52 - 50) * 100}{50} = 4,00 \%$$

Nota: se realizó el mismo procedimiento para calcular el porcentaje de solubilidad de los demás solventes recuperados.

Figura 2. Diagrama de cálculo de la cantidad de solvente recuperable



Fuente: elaboración propia.

3.6. Recolección y ordenamiento de la información

Cuando se recolecta la información se ordena alfabéticamente.

3.6.1. Determinación de los solventes que se recuperaron a partir de los solventes contaminados

Se destilaron 100 mL de cada muestra de solventes contaminados, después de destilada la muestra, se filtró el condensado utilizando filtros de jeringa de 0,22 μm , se colocó 1 mL de la muestra filtrada en un vial, que fue colocado en el cromatógrafo de gases, el cual mostró la composición porcentual de la muestra del solvente recuperado.

En el cromatograma se determinaron los solventes recuperados presentes en las muestras.

3.6.2. Establecimiento de la cantidad de solvente que se recuperó partir de las diferentes empresas que proporcionaron los solventes contaminados, empleando la cromatografía de gases

Se determinaron las concentraciones de acetona, hexano, isopropanol, metil etil cetona, tolueno y xileno utilizando el cromatógrafo de gases, después se calculó el volumen de solvente aprovechable a partir de la producción promedio de contaminante.

3.6.3. Caracterización de los solventes recuperados

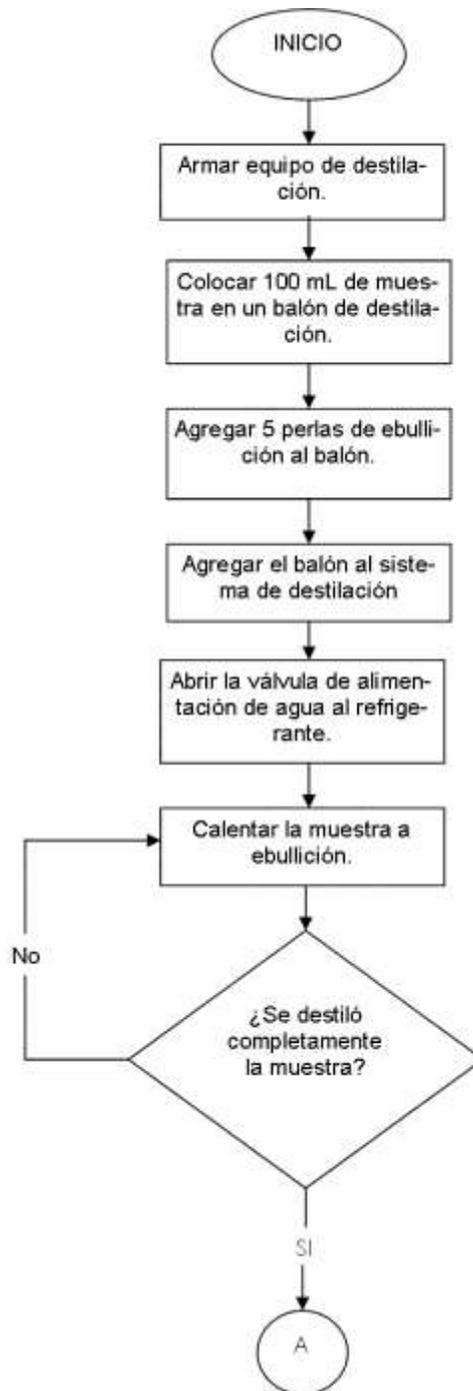
Para caracterizar los solventes, se realizaron diferentes análisis de laboratorio como:

- Densidad
- Pureza
- Temperatura de ebullición
- Porcentaje solubilidad
- Apariencia (color, olor y transparencia).
- Contenido de humedad

3.6.4. Selección de un destilador para la recuperación de solvente

Se seleccionó el destilador D160x Axi de acuerdo a las características que se muestran en el anexo 3.

Figura 3. Diagrama del procedimiento experimental para la destilación de solvente



Continuación de la figura 3.



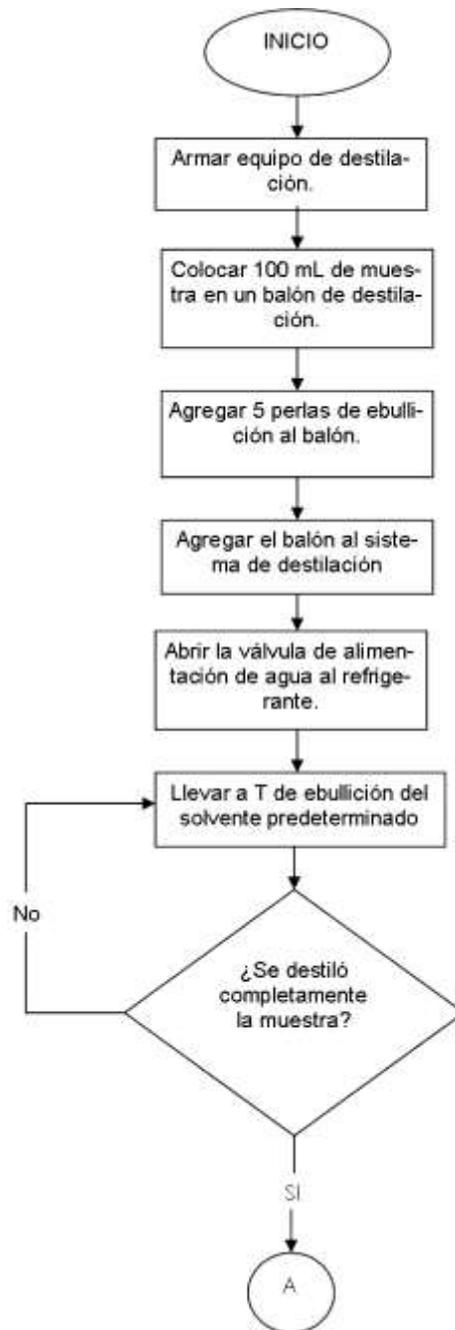
Fuente: elaboración propia.

Figura 4. **Diagrama para la determinación de la densidad de los solventes recuperados**



Fuente: elaboración propia.

Figura 5. Diagrama para la determinación de la pureza los solventes recuperados

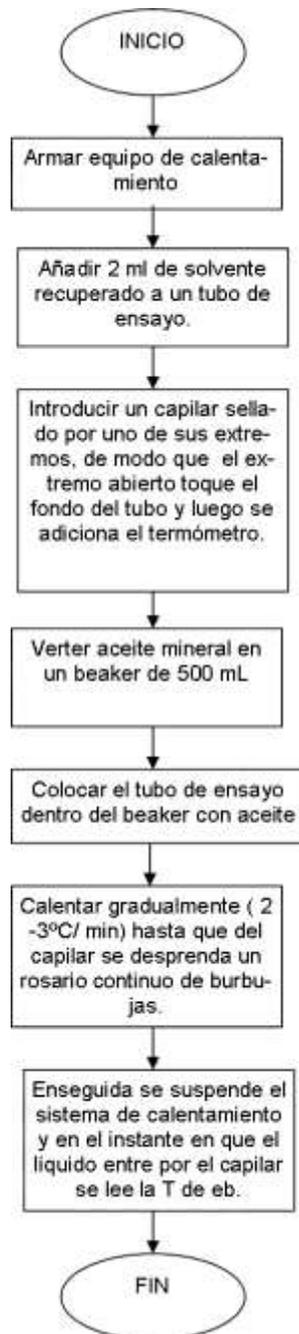


Continuación de la figura 5.



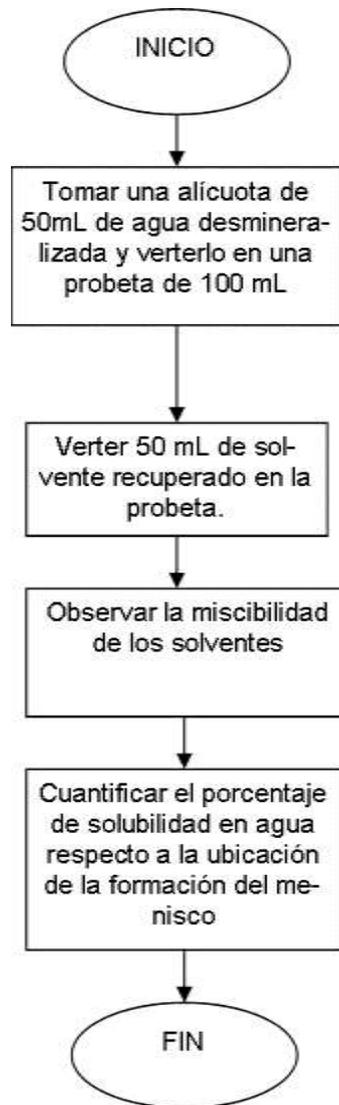
Fuente: elaboración propia.

Figura 6. Diagrama para la determinación de la temperatura de ebullición los solventes recuperados



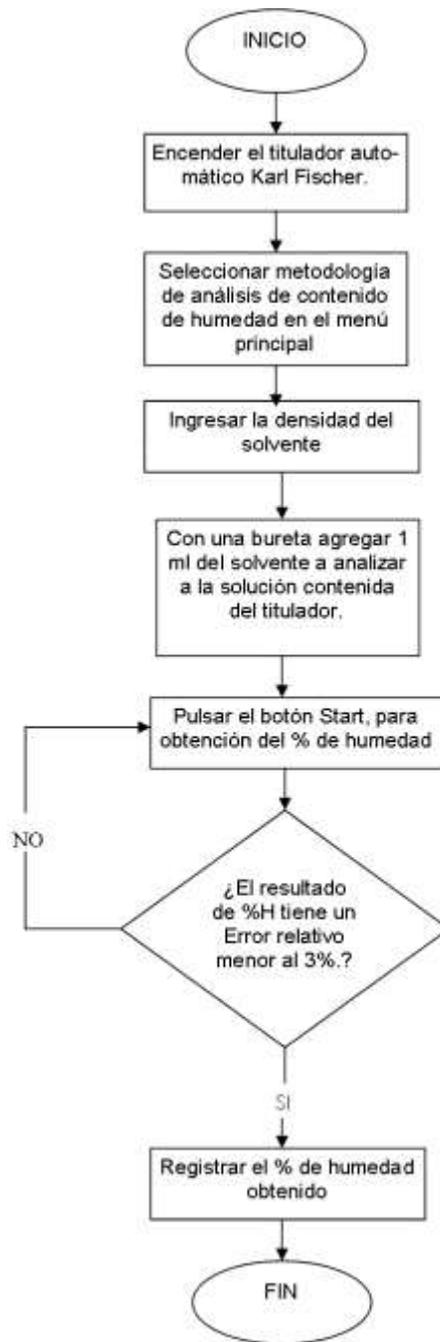
Fuente: elaboración propia.

Figura 7. **Diagrama para la determinación del porcentaje de solubilidad en agua de los solventes recuperados**



Fuente: elaboración propia.

Figura 8. **Determinación del contenido de humedad en los solventes recuperados**



Fuente: elaboración propia.

3.7. Tabulación, ordenamiento y procesamiento de la información

A continuación se presenta una tabla de tabulación, ordenamiento y procesamiento de la información.

Tabla III. **Determinación de solventes recuperados a partir de los cromatogramas obtenidos**

Muestra [] Solvente	A	B	C	Pochteca	D	E	F	G	H
Acetona	X	X	X	X			X	X	
Acetato de butilo				X			X		
Acetato de etilo	X	X	X	X	X			X	X
Acetato de N-propilo	X							X	
Agua	X	X	X	X			X	X	
Alcohol diacetona	X			X					
Butil Cellosolve	X								
Hexano		X	X	X			X		
IPA	X		X	X	X		X	X	X
Metanol	X								
MEK			X	X	X		X		
MIAK								X	
MIBK					X				
N- propanol								X	
PM-acetato				X	X				X
Tolueno	X	X	X	X	X	X	X		
Xileno	X	X			X	X			
Tricloro-etileno		X	X		X				X

Fuente: elaboración propia, Cromatogramas anexo 1.

Tabla IV. **Densidad acetona / hexano (gramos/mililitros)**

Empresa	Densidad 1	Densidad 2	Densidad promedio
A	----	----	----
B	----	----	----
C	0,7871	0,7934	0,7903
Pochteca de Guatemala	0,8005	0,7871	0,7938
D	----	----	----
E	----	----	----
F	----	----	----
G	----	----	----

Fuente: elaboración propia, ecuación 3.

Tabla V. **Densidad isopropanol (gramos/mililitros)**

Empresa	Densidad 1	Densidad 2	Densidad promedio
A	----	----	----
B	----	----	----
C	0,7882	0,7858	0,7870
Pochteca de Guatemala	0,7949	0,7947	0,7948
D	----	----	----
E	----	----	----
F	0,7921	0,7923	0,7922
G	0,7956	0,7955	0,7956

Fuente: elaboración propia, ecuación 3.

Tabla VI. **Densidad metil etil cetona (MEK) (gramos/mililitros)**

Empresa	Densidad 1	Densidad 2	Densidad promedio
A	----	----	----
B	----	----	----
C	0,7871	0,7934	0,7903
Pochteca de Guatemala	0,8121	0,8143	0,8132
D	----	----	----
E	----	----	----
F	----	----	----
G	----	----	----

Fuente: elaboración propia, ecuación 3.

Tabla VII. **Densidad tolueno (gramos/mililitros)**

Empresa	Densidad 1	Densidad 2	Densidad promedio
A	0,8607	0,8589	0,8598
B	0,8579	0,8588	0,8584
C	0,8573	0,8582	0,8578
Pochteca de Guatemala	----	----	----
D	0,8414	0,8390	0,8402
E	0,8631	0,8652	0,8642
F	0,8651	0,8640	0,8646
G	----	----	----

Fuente: elaboración propia, ecuación 3.

Tabla VIII. **Densidad xileno (gramos/mililitros)**

Empresa	Densidad 1	Densidad 2	Densidad promedio
A	0,8776	0,8700	0,8738
B	0,8441	0,8431	0,8436
C	----	----	----
Pochteca de Guatemala	----	----	----
D	----	----	----
E	0,8622	0,8594	0,8608
F	----	----	----
G	----	----	----

Fuente: elaboración propia, ecuación 3.

Tabla IX. **Contenido de humedad isopropanol (porcentaje)**

Empresa	Porcentaje de H	Porcentaje de H	Porcentaje de H promedio	Porcentaje de error en la medición
A	----	----	----	----
B	----	----	----	----
C	2,867	2,860	2,864	0,170
Pochteca de Guatemala	2,878	2,802	2,840	1,890
D	----	----	----	----
E	----	----	----	----
F	3,341	3,282	3,312	1,260
G	2,476	2,501	2,489	0,710

Fuente: elaboración propia, titular Karl Fischer.

Tabla X. **Contenido de humedad acetona/ hexano (porcentaje)**

Empresa	Porcentaje de H	Porcentaje de H	Porcentaje de H promedio	Porcentaje de error en la medición
A	----	----	----	----
B	----	----	----	----
C	1,713	1,662	1,688	2,140
Pochteca de Guatemala	2,999	3,100	3,050	2,340
D	----	----	----	----
E	----	----	----	----
F	----	----	----	----
G	----	----	----	----

Fuente: elaboración propia titulado Karl Fischer.

Tabla XI. **Contenido de humedad metil etil cetona (MEK) (porcentaje)**

Empresa	Porcentaje de H	Porcentaje de H	Porcentaje de H promedio	porcentaje de error en la medición
A	----	----	----	----
B	----	----	----	----
C	0,070	0,073	0,072	3,060
Pochteca de Guatemala	3,026	3,071	3,048	1,040
D	----	----	----	----
E	----	----	----	----
F	----	----	----	----
G	----	----	----	----

Fuente: elaboración propia, titulador Karl Fischer.

Tabla XII. **Contenido de humedad tolueno (porcentaje)**

Empresa	Porcentaje de H	Porcentaje de H	Porcentaje de H promedio	Porcentaje de error en la medición
A	0,045	0,046	0,046	1,554
B	0,057	0,060	0,058	3,790
C	0,068	0,070	0,069	3,090
Pochteca de Guatemala	----	----	----	----
D	0,070	0,073	0,072	3,060
E	0,136	0,141	0,139	2,590
F	0,181	0,169	0,175	4,860
G	----	----	----	----

Fuente: elaboración propia, titulador Karl Fischer.

Tabla XIII. **Contenido de humedad xileno (porcentaje)**

Empresa	Porcentaje de H	Porcentaje de H	Porcentaje de H promedio	Porcentaje de error en la medición
A	0,050	0,048	0,049	2,860
B	0,061	0,058	0,059	3,730
C	----	----	----	----
Pochteca de Guatemala	----	----	----	----
D	----	----	----	----
E	0,040	0,037	0,039	5,640
F	----	----	----	----
G	----	----	----	----

Fuente: elaboración propia, titulador Karl Fischer.

Tabla XIV. **Análisis fisicoquímicos acetona/hexano**

Empresa	Porcentaje de solubilidad en agua	Temperatura de ebullición (grados centígrados)	Pureza acetona/hexano (porcentaje)	Apariencia (color, transparencia, olor, observaciones)
A	----	----	----	----
B	----	----	----	----
C	32,0000	46,0000	31,9374/51,9100	LCLMS, olor característico.
Pochteca de Guatemala	100,0000	52,0000	94,1132/ 0,0000	LCLMS, olor característico.
D	----	----	----	----
E	----	----	----	----
F	----	----	----	----
G	----	----	----	----

Fuente: elaboración propia.

Tabla XV. **Análisis fisicoquímicos isopropanol**

Empresa	Porcentaje de solubilidad en agua	Temperatura de ebullición (grados centígrados)	Pureza (porcentaje)	Apariencia (color, transparencia, olor, observaciones)
A	----	----	----	----
B	----	----	----	----
C	100,0000	80,0000	88,7847	LCLMS, olor característico.
Pochteca de Guatemala	100,0000	75,0000	87,6600	LCLMS, olor característico.
D	----	----	----	----
E	----	----	----	----
F	100,0000	78,0000	89,8558	LCLMS, olor característico.
G	100,0 000	80,0000	79,0808	LCLMS, olor característico.

Fuente: elaboración propia.

Tabla XVI. **Análisis fisicoquímicos metil etil cetona (MEK)**

Empresa	Porcentaje de solubilidad en agua	Temperatura de ebullición (grados centígrados)	Pureza (porcentaje)	Apariencia (color, transparencia, olor, observaciones)
A	----	----	----	----
B	----	----	----	----
C	48,0000	70,000	84,2381	LCLMS, olor característico.
Pochteca de Guatemala	36,0000	72,0000	76,7503	LCLMS, olor característico.
D	----	----	----	----
E	----	----	----	----
F	----	----	----	----
G	----	----	----	----

Fuente: elaboración propia.

Tabla XVII. **Análisis fisicoquímicos tolueno**

Empresa	Porcentaje de solubilidad en agua	Temperatura de ebullición (grados centígrados)	Pureza (porcentaje)	Apariencia (color, transparencia, olor, observaciones)
A	4,0000	110,0000	85,9584	Lechoso a baja temperatura, olor característico.
B	4,0000	108,0000	85,6122	LCLMS, olor característico.
C	2,0000	104,000	95,0257	LCLMS, olor característico.
Pochteca de Guatemala	----	----	----	----
D	2,0000	102,0000	95,4261	LCLMS, olor característico.
E	0,0000	104,0000	96,7981	LCLMS, olor característico.
F	2,0000	90,4048	90,4048	LCLMS, olor característico.
G	----	----	----	----

Fuente: elaboración propia.

Tabla XVIII. **Análisis fisicoquímicos xileno**

Empresa	Porcentaje de solubilidad en agua	Temperatura de ebullición (grados centígrados)	Pureza (porcentaje)	Apariencia (color, transparencia, olor, observaciones)
A	4,0000	118,0000	71,9958	LCLMS, olor característico.
B	4,0000	126,0000	87,7171	LCLMS, olor característico.
C	----	----	----	----
Pochteca de Guatemala	----	----	----	----
D	----	----	----	----
E	4,0000	120,0000	80,0308	LCLMS, olor característico.
F	----	----	----	---
G	----	----	----	----

Fuente: elaboración propia.

Tabla XIX. **Volumen de solvente recuperable por mes, de cada empresa**

Empresa	Acetona / hexano (L/mes)	Isopropano l (L/mes)	Metil etil cetona(L/mes)	Tolueno (L/mes)	Xileno (L/mes)
A	----	172,0328	----	1240,6318	2377,8073
B	----	----	----	444,4062	344,9447
C	22,7900	21,7904	9,8320	73,1462	----
Pochteca de Guatemala	13,1600	23,8829	25,6851	----	----
D	----	----	----	297,6800	----
E	----	----	----	1156,7756	92,4043
F	----	29,7119	----	71,7436	----
G	----	105,1074	----	----	----

Fuente: elaboración propia.

Tabla XX. **Desviación estándar de las mediciones de densidad de los solventes recuperados**

Empresa	Acetona/ hexano (g/mL)	Isopropanol (g/mL)	Metil etil cetona(g/mL)	Tolueno (g/mL)	Xileno (g/mL)
A	----	----	----	0,0015	0,0054
B	----	----	----	0,0008	0,0007
C	0,0045	0,0017	0,0045	0,0007	-----
Pochteca de Guatemala	0,0095	0,0001	0,0016	----	----
D	----	----	----	0,0020	----
E	----	----	----	0,0017	0,0020
F	----	0,0001	----	0,0009	----
G	----	0,0001	----	----	----

Fuente: elaboración propia /análisis estadístico, ecuación 6.

Tabla XXI. **Coefficiente de variación de las mediciones de densidad de los solventes recuperados**

Empresa	Acetona/ hexano (g/mL)	Isopropanol (g/mL)	Metil etil cetona(g/mL)	Tolueno (g/mL)	Xileno (g/mL)
A	----	----	----	0,1480	0,6150
B	----	----	----	0,0824	0,0838
C	0,5637	0,2156	0,5637	0,0742	-----
Pochteca de Guatemala.	1,1937	0,0178	0,1913	----	----
D	----	----	----	0,2020	----
E	----	----	----	0,1718	0,2300
F	----	0,0179	----	0,0900	----
G	----	0,0089	----	----	----

Fuente: elaboración propia /análisis estadístico, ecuación 7.

3.8. Análisis estadístico

Para el análisis estadístico se conocerá la dispersión de los resultados y cuantificará la variación de las propiedades fisicoquímicas de los solventes específicamente de la densidad.

- Cálculo de la media aritmética

$$\bar{\rho} = \frac{\sum \rho_1}{n} \quad \text{Ecuación núm. 5}$$

Donde:

$\bar{\rho}$ = densidad promedio (g/mL)

$\sum \rho_1$ = es la sumatoria de las densidades medidas.

n = número de corridas de la medición.

Ejemplo: cálculo de la media aritmética de la densidad del tolueno obtenido de la empresa B.

$$\bar{\rho} = \frac{\sum 0,8579 \text{ g/mL} + 0,8588 \text{ g/mL}}{2} = 0,8584 \text{ g/mL}$$

Nota: se realizó el mismo cálculo de la densidad promedio para los demás solventes recuperados.

La desviación estándar (S), permite observar la dispersión entre valores para una misma medición respecto al promedio.

- Cálculo de la desviación estándar

$$s = \sqrt{\frac{\sum(\rho - \bar{\rho})^2}{n-1}}$$

Ecuación núm. 6

Donde:

s = desviación estándar

$\bar{\rho}$ = densidad promedio (g/mL)

ρ = densidad medida (g/mL)

n = número de corridas de la medición

Ejemplo: cálculo de la desviación estándar de la densidad del tolueno obtenido de la empresa B.

$$s = \sqrt{\frac{\sum(0,8579 - 0,8584)^2 + (0,8588 - 0,8584)^2}{2 - 1}} = 0,0007 \text{ g/mL}$$

Nota: se realizó el mismo cálculo de la desviación estándar de la densidad para los demás solventes recuperados.

- Cálculo del coeficiente de variación.

$$\sigma = \frac{s}{\bar{\rho}} * 100$$

Ecuación núm. 7

Donde:

$\bar{\rho}$ = media aritmética de la medición

σ = coeficiente de variación

s = desviación estándar de las mediciones de densidad

Ejemplo: cálculo del coeficiente de variación de la densidad del tolueno obtenido de la empresa B.

$$\sigma = \frac{0,0007}{0,8584} * 100 = 0,0824$$

Nota: se realizó el mismo cálculo del coeficiente de variación de la densidad para los demás solventes recuperados.

4. RESULTADOS

4.1. Solventes recuperados

Los solventes recuperados a partir de los solventes contaminados son:

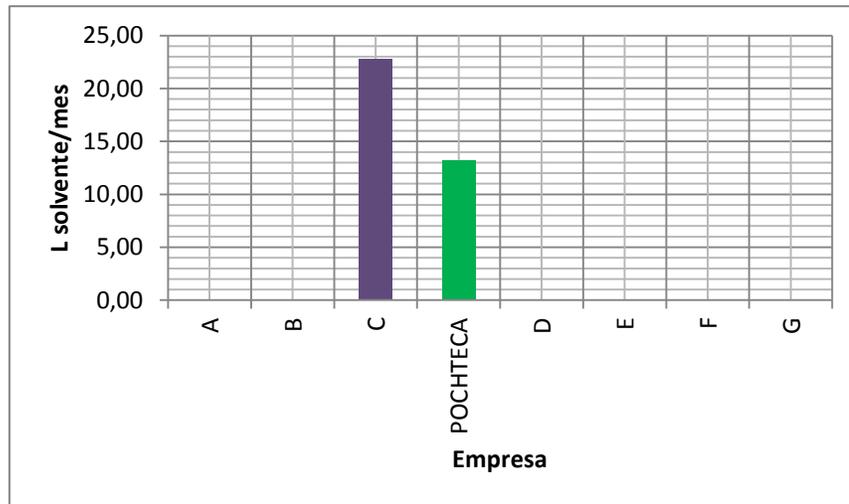
- Acetona
- Hexano
- Isopropanol
- Metil etil cetona
- Tolueno
- Xileno

Tabla XXII. **Volumen de solvente recuperable por mes, de cada empresa**

Empresa	Acetona / hexano (L/mes)	Isopropano I (L/mes)	Metil etil cetona (L/mes)	Tolueno (L/mes)	Xileno (L/mes)
A	----	172,0328	----	1240,6318	2377,8073
B	----	----	----	444,4062	344,9447
C	22,7900	21,7904	9,8320	73,1462	----
Pochteca de Guatemala	13,1600	23,8829	25,6851	----	----
D	----	----	----	297,6800	----
E	----	----	----	1 156,7756	92,4043
F	----	29,7119	----	71,7436	----
G	----	105,1074	----	----	----

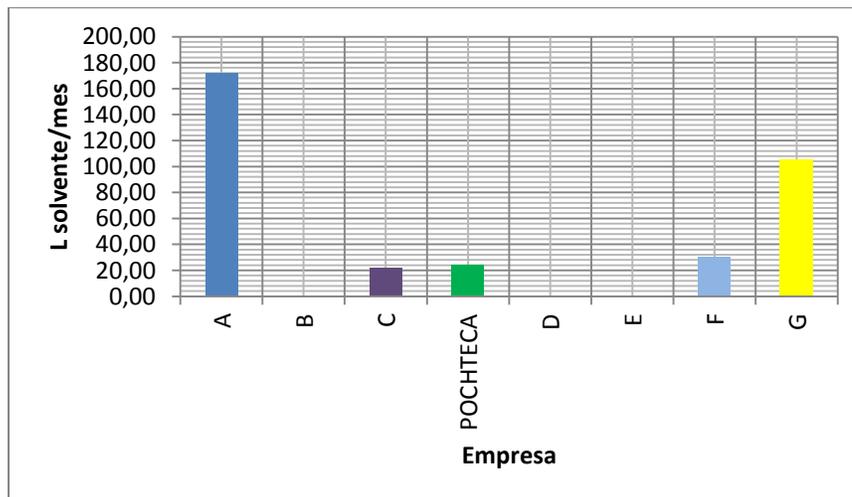
Fuente: tabulación, procesamiento y ordenamiento de la información tabla XIX.

Figura 9. **Volumen mensual de acetona/hexano recuperable por empresa**



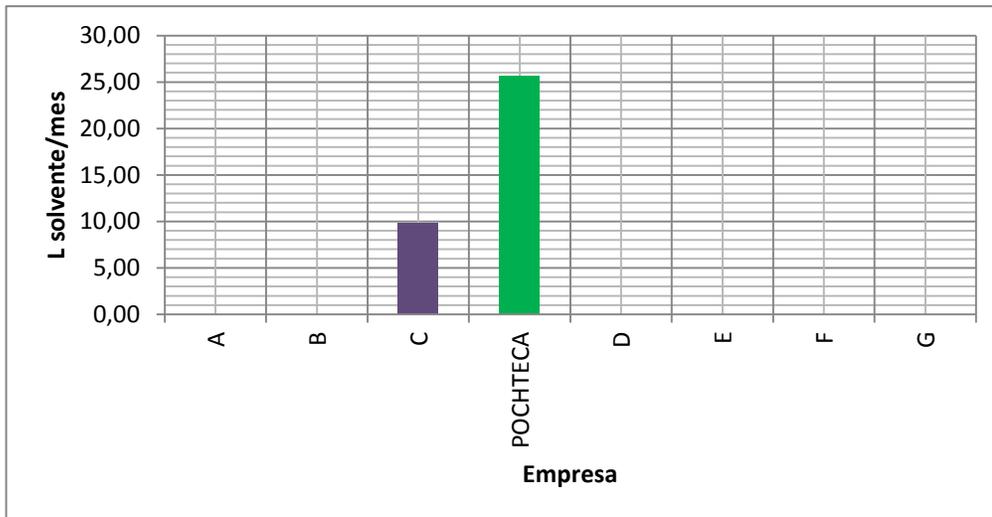
Fuente: resultados. de la tabla XXII.

Figura 10. **Volumen mensual de isopropanol recuperable por empresa**



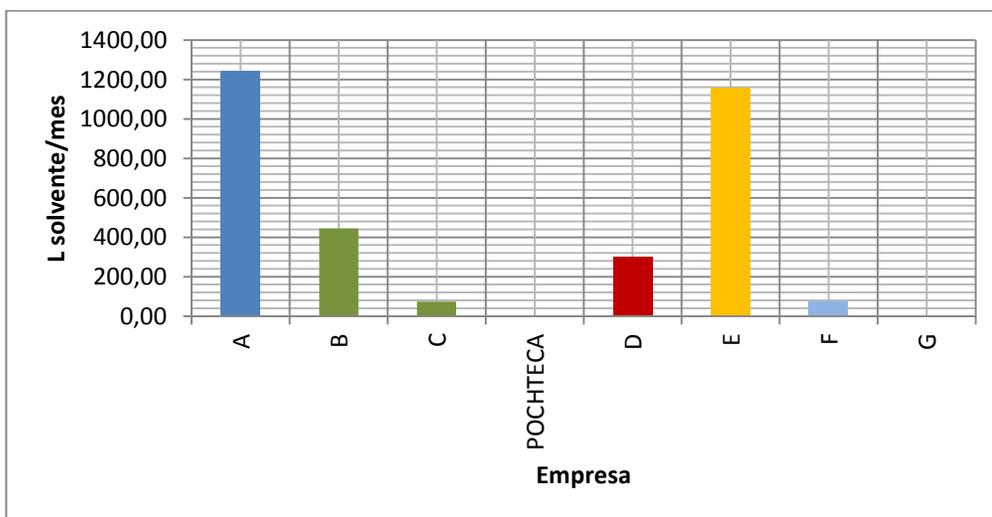
Fuente: resultados de la tabla XXII.

Figura 11. **Volumen mensual de metil etil cetona recuperable por empresa**



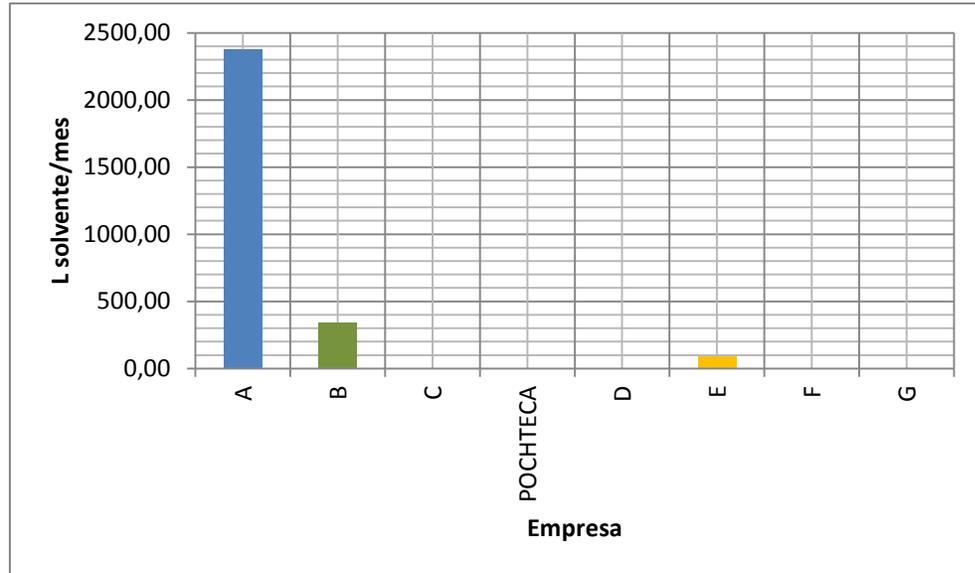
Fuente: resultados. de la tabla XXII.

Figura 12. **Volumen mensual de tolueno recuperable por empresa**



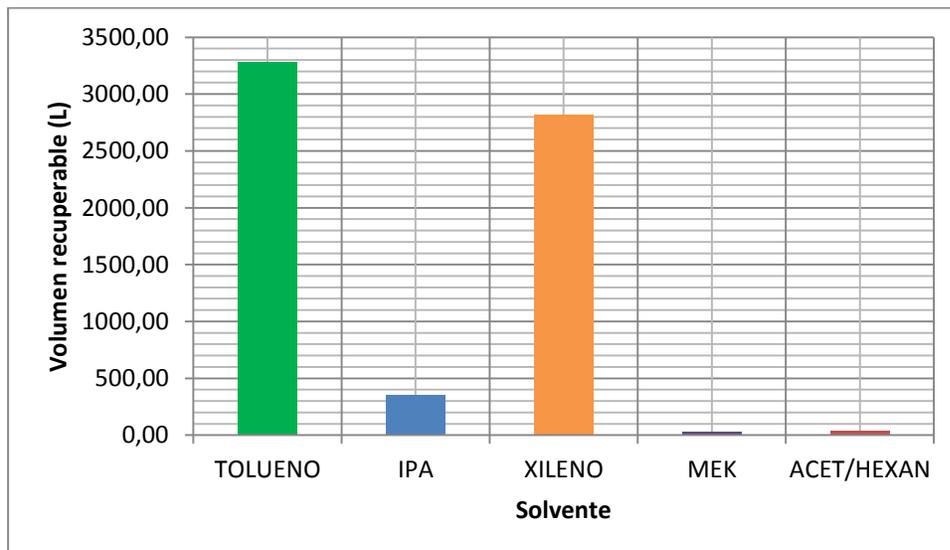
Fuente: resultados de la tabla XXII.

Figura 13. **Volumen mensual de xileno recuperable por empresa**



Fuente: resultados de la tabla XXII.

Figura 14. **Volumen total mensual de solventes recuperable**



Fuente: resultados de la tabla XXII.

Tabla XXIII. **Volumen total de solvente recuperable**

Solvente total recuperable (L)	Solvente total recuperable (Tonel)
6 523,54	31,33

Fuente: elaboración propia.

4.2. Características de los solventes recuperados comparados con solventes puros

Tabla XXIV. Características de acetona y hexano recuperados comparados con acetona y hexano puro

Empresa	Porcentaje de solubilidad en agua	Temperatura de ebullición (°C)	Densidad (g/ mL)	Contenido de Humedad (%)	Pureza (%)	Apariencia
A	----	----	----	----	----	----
B	----	----	----	----	----	----
C	32,0000	46,0000	0,7903	1,6880	31,9374/ 51,9100	LCLMS, olor característico.
Pochteca de Guatemala	100,0000	52,0000	0,7938	3,0500	94,1132/ 0,0000	LCLMS, olor característico.
D	----	----	----	----	----	----
E	----	----	----	----	----	----
F	----	----	----	----	----	----
G	----	----	----	----	----	----
Acetona pura	100,0000 Completa	----	0,7900- 0,7920	0,5000 MAX	99,5000 MIN	LCLMS, olor característico
Hexano puro	Incompleta	----	0,6600- 0,6930	0,5000 MAX	99,5000 MIN	LCLMS, olor característico.

Fuente: tabulación, procesamiento y ordenamiento de la información. Tabla XIV, anexo 2 (certificado de análisis acetona y hexano).

Tabla XXV. **Características de isopropanol recuperado comparado con isopropanol puro**

Empresa	Porcentaje de solubilidad en agua	Temperatura de ebullición (°C)	Densidad (g/mL)	Contenido de Humedad (%)	Pureza (%)	Apariencia
A	----	----	----	----	----	----
B	----	----	----	----	----	----
C	100,0000	80,0000	0,7870	2,864	88,7847	LCLMS, olor característico
Pochteca de Guatemala	100,0000	75,0000	0,7948	2,840	87,6600	LCLMS, olor característico
D	----	----	----	----	----	----
E	----	----	----	----	----	----
F	100,0000	78,0000	0,7922	3,312	89,8558	LCLMS, olor característico
G	100,0 000	80,0000	0,7956	2,489	79,0808	LCLMS, olor característico
Ipa puro	100,0 000 completa	70,0000 MIN	0,7840-0,7880	0,10000 MAX	99,8000 MIN	LCLMS, olor característico

Fuente: tabulación, procesamiento y ordenamiento de la información. Tabla XV, anexo 2 (certificado de análisis IPA).

Tabla XXVI. **Características de metil etil cetona recuperado comparado con metil etil cetona puro**

Empresa	Porcentaje de Solubilidad en agua	Temperatura de ebullición (°C)	Densidad (g/mL)	Contenido de Humedad (%)	Pureza (%)	Apariencia
A	----	----	----	----	----	----
B	----	----	----	----	----	----
C	48,0000	70,0000	0,7903	0,072	84,2381	LCLMS, olor característico.
Pochteca de Guatemala	36,0000	72,0000	0,8132	3,048	76,7503	LCLMS, olor característico.
D	----	----	----	----	----	----
E	----	----	----	----	----	----
F	----	----	----	----	----	----
G	----	----	----	----	----	----
MEK puro	Incompleta	----	0,7550-0,8550	0,1000 MAX	99,0000 MIN	LCLMS, olor característico.

Fuente: tabulación, procesamiento y ordenamiento de la información. Tabla XVI, anexo 2 (certificado de análisis MEK).

Tabla XXVII. **Características del tolueno recuperado comparado con tolueno puro**

Empresa	Porcentaje de Solubilidad en agua	Temperatura de ebullición (°C)	Densidad (g/mL)	Contenido de Humedad (%)	Pureza (%)	Apariencia
A	4,0000	110,0000	0,8598	0,046	85,9584	Lechoso a baja temperatura, olor característico.
B	4,0000	108,0000	0,8584	0,058	85,6122	LCLMS, olor característico.
C	2,0000	104,0000	0,8578	0,069	95,0257	LCLMS, olor característico.
Pochteca de Guatemala	----	----	----	----	----	----
D	2,0000	102,0000	0,8402	0,072	95,4261	LCLMS, olor característico.
E	0,0000	104,0000	0,8642	0,139	96,7981	LCLMS, olor característico.
F	2,0000	90,4048	0,8646	0,175	90,4048	LCLMS, olor característico.
G	----	----	----	----	----	----
Tolueno puro	Incompleta	----	0,7900 – 0,8730	0,1000 MAX	99,7000 MIN	LCLMS, olor característico.

Fuente: tabulación, procesamiento y ordenamiento de la información. Tabla XVII, anexo 2 (certificado de análisis Tolueno).

Tabla XXVIII. **Características del xileno recuperado comparado con xileno puro**

Empresa	Porcentaje de Solubilidad en agua	Temperatura de ebullición (°C)	Densidad (g/ mL)	Contenido de Humedad (%)	Pureza (%)	Apariencia
A	4,0000	118,0000	0,8738	0,049	71,9958	LCLMS, olor característico.
B	4,0000	126,0000	0,8436	0,059	87,7171	LCLMS, olor característico.
C	----	----	----	----	----	----
Pochteca de Guatemala	----	----	----	----	----	----
D	----	----	----	----	----	----
E	4,0000	120,0000	0,8608	0,039	80,0308	LCLMS, olor característico.
F	----	----	----	----	----	---
G	----	----	----	----	----	----
Xileno puro	Incompleta	----	0,8550 – 0,8720	0,1000 MAX	98,0000 MIN	LCLMS, olor característico.

Fuente: tabulación, procesamiento y ordenamiento de la información. Tabla XVIII, anexo 2 (certificado de análisis xileno).

4.3. Selección del destilador para la recuperación de solvente químico

El destilador adecuado es el Modelo D160x Axi.

Figura 15. **Destilador de solventes**



Fuente: anexo 3.

Figura 16. **Destilador Modelo D160 Axi**



Fuente: anexo 3.

4.3.1. Características del destilador

- Para todo tipo de disolventes
- Máxima pureza de los solventes reciclados
- Utilización de bolsas para una rápida extracción de los residuos sólidos
- Capacidad máxima de carga: 160 L
- Producción: 30-40 L/h
- Potencia instalada: 11 kW
- Medidas: 1 518 x 1 200 x 2 105 mm
- Peso: 465 kg
- Conexión: 380 V, 50 Hz trifásico

5. INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

Se recolectó muestras de solventes contaminados de nueve empresas, las muestras fueron destiladas y analizadas en el cromatógrafo de gases, con el propósito de determinar la composición de los solventes presentes en las mismas. Los solventes que se detectaron se encuentran listados en la tabla III, y los presentes en mayor cantidad fueron acetona, hexano, metil etil cetona, tolueno y xileno. Estos solventes se pudieron extraer solo de las muestras de ocho empresas, debido a que la muestra de la Empresa H no contuvo alguno de los solventes seleccionados.

Los solventes que se recuperaron a partir de las muestras de solventes contaminados utilizando la técnica de destilación son: acetona, hexano, isopropanol, metil etil cetona, tolueno y xileno. El solvente que se puede recuperar en mayor cantidad es el tolueno, debido que está presente en los residuos de seis de las ocho empresas, presentó purezas del 85,61 por ciento al 96,79 por ciento, al comparar las densidades obtenidas de tolueno recuperado con tolueno puro, se obtuvo que todas están dentro del rango de valores permitido 0,7900 g/mL a 0,8730 g/mL y los valores del coeficiente de variación no se alejan de la densidad promedio.

La acetona y el hexano se recuperaron juntos debido a que el rango de destilación de los dos es muy parecido, el de la acetona es (46-52 °C) y el del hexano (40 – 52 °C), lo que indica que no se pueden obtener con una pureza arriba del 90 por ciento, pero, la recuperación de esta mezcla se puede utilizar en la elaboración de Thinner u otras mezclas. Se recuperó acetona de la

muestra de Pochteca, la acetona recuperada tuvo una pureza del 94,11 por ciento, solubilidad completa y una temperatura de ebullición de 52 °C.

La pureza del isopropanol obtenido es del 79,08 al 89,86 por ciento, todos presentaron solubilidad completa, el contenido de humedad en todas las muestras es alto (2,48 - 3,31 por ciento) comparado con el de las especificaciones del puro (0,1 por ciento máx.) ésto se debe a que el solvente tiene trazas de otros solventes como agua, n- propanol y otros. Se obtuvo metil etil cetona de los solventes contaminados de Pochteca y la Empresa C, las características son muy parecidas, la pureza es de 76,75 a 84,23 por ciento, temperatura de ebullición: 72 °C y 70 °C respectivamente. El MEK recuperado de la Empresa C es de mejor calidad que el recuperado por Pochteca, debido a que todos los análisis fisicoquímicos a excepción de la pureza cumplen con las especificaciones de los puros, mientras que el MEK de Pochteca tiene un alto contenido de humedad 3,048 por ciento.

El xileno recuperado de mejor calidad fue el de la Empresa B, su pureza es del 87,71 por ciento, todos los análisis fisicoquímicos cumplen con las especificaciones del puro, exceptuando la densidad cuyo valor es 0,8436 g/mL y la del puro es (0,855 -0,872) g/mL. El coeficiente de variación entre densidades es de 0,0838, por lo que no hay diferencias significativas que afecten la calidad del solvente y tomando como dato teórico la densidad de 0,855 g/mL, se obtiene un error porcentual de 1,13 por ciento, también hay que considerar que el solvente recuperado tiene trazas de tolueno e isopropanol, lo que ocasionó variación en la densidad.

La cantidad mensual de cada solvente recuperable por empresa está descrita en la tabla XXII, y representados gráficamente en las figuras 9 a la figura 13. Los solventes que se pueden recuperar en mayor cantidad son

tolueno (1 240,63 L) y xileno (2 377,80 L). El volumen total de solvente recuperable es 6 523,54 L equivalentes a 31,33 toneles.

El destilador seleccionado fue el modelo D160x Axi, debido a las características que presenta; es el de mayor capacidad (160 L), puede utilizarse para todo tipo de disolventes, funciona mediante un proceso de destilación simple, separa el solvente original de todos los residuos contaminantes que tenga, dichos residuos se quedan en el fondo del hervidor que pueden ser descargados al hacer girar el aparato, los contaminantes sólidos se depositan en las bolsas *Rec-Bag*, haciendo más fácil la limpieza del destilador y la manipulación de contaminantes por el operador. (Ref. 6, anexo 3).

6. LOGROS OBTENIDOS

1. Se recuperó acetona, hexano, isopropanol, metil etil cetona, tolueno y xileno utilizando la técnica de destilación simple, por lo que la hipótesis planteada es totalmente comprobable.
2. Los solventes recuperados con pureza menor al 90 por ciento serán utilizados como premezcla para la realización del thinner.
3. Las empresas mencionadas además de proporcionar muestras de sus solventes contaminados, proporcionaron valiosa colaboración e información para el desarrollo del presente trabajo de graduación.
4. Se entregó a Pochteca de Guatemala un informe con los cálculos de costos de operación y consumo de energía, aproximados al momento de instalar el destilador.

CONCLUSIONES

1. Se determinó que los solventes que se pueden recuperar son: acetona, hexano, isopropanol, metil etil cetona, tolueno y xileno a partir de muestras de solventes contaminados utilizando la técnica de destilación simple.
2. La cantidad total mensual de los solventes recuperados que se puede obtener es de 6 523,54 litros equivalente a 31,33 toneles.
3. Se caracterizó y comparó los solventes recuperados con los solventes puros, los cuales presentan características muy similares y se determinó que el tolueno y xileno son los solventes recuperados con mayor pureza y cantidad.
4. El destilador seleccionado fue el modelo D160x Axi.

RECOMENDACIONES

1. A partir de los resultados de este trabajo de graduación se recomienda realizar el diseño de un destilador eficiente, para la recuperación de solvente químico.
2. Investigar otras técnicas de separación factibles para la recuperación de solvente químico, tomando en cuenta la formación de azeótropos en las mezclas de algunos solventes.
3. Buscar más empresas en Guatemala que puedan proporcionar sus residuos de solventes y con base en ello estimar la cantidad posible a recuperar, para realizar un estudio de factibilidad sobre la recuperación del solvente.

BIBLIOGRAFÍA

1. ARMENTA, Leticia. *La industria petroquímica y la estrategia de desarrollo industrial en México*. [en línea]. *Comercio exterior*. <58(10).:vrevistas.bancomext.gob.mx/rce/magazines /119/3/697Leticia_Amenta.pd.> [Consulta: 28 enero de 2014].
2. ASTM. *Standard test method for density and relative density of liquids by digital density meter, D4052*. USA: ASTM, 2000. 1900 p.
3. _____. *Standard test method for water in volatile solvents (Karl Fisher reagent titration method). D1364*. USA: ASTM, 2000. 1890 p.
4. BERTSCH, W.; JENNINGS, W.G.; KAISER, R.E. *Recent advances in capillary gas chromatography*. USA: University of Michiggan, 1981. 592 p.
5. Celanese. *Disolventes y sus especificaciones*. México: Celanese, 1999. 240 p.
6. Controlgraf. *Destiladores de disolventes*. [en línea] <www.controlgraf.com/destiladores_disolventes.htm> [Consulta: 20 de abril de 2014].
7. CHANG, R. *Química*. España: McGraw-Hill, 2010. 106 p.

8. FORMECO. *Destiladores de disolventes industriales*. [en línea]. <www.interempresas.net/Quimica/FeriaVirtual/Producto-Destiladores-para-disolventes-Formeco-D25A-5845.html> [Consulta: 20 de abril de 2014].
9. Keulemans. *Cromatografía de gases*. [en línea]: <www.relaq.mx/RLQ/tutoriales/cromatografia/Gas.htm>. [Consulta: 04 de febrero de 2014].
10. LÓPEZ, I. *Desarrollo de adelgazadores (thinner) para esmaltes y selladores del mercado de Guatemala a partir de solventes recuperados*. España: McGraw-Hill, 2003. 29 p.
11. MCNAIR, H. M.; MILLER, J. M. *Basic gas chromatography*. USA: McGraw-Hill, 2000. 204 p.
12. Metrohm. *870 KF titrino plus manual*. Germany: Methrohm, 2007. 15 p.
13. MORALES, Vidal E. *Solventes y thinners*. México: Solventes de México, 2009. 20 p.
14. PROARCA. *Reporte general de manejo de residuos de Guatemala*. [en línea]: <www.borsicca.com/downloads/gt1250181924.pdf> [Consulta: 09 de febrero de 2014].
15. Respel. *Guía para el control y prevención de la contaminación industrial: recuperación de solventes*. Santiago: Respel, 1999. 186 p.

16. QUIRÓS, M. B. *Principios de la cromatografía de gases*. Costa Rica: Universidad de Costa Rica, 2006. 60 p.
17. SOLOMONS, T. W.; FRYHLE, C. B. *Organic chemistry*. New York: Wiley, 2000. 1258 p.
18. SOLOMONS, T. W. G. *Fundamentos de química orgánica*. Nueva York: Wiley, 1996. 1215 p.
19. Solventes de Guatemala. *Diario de Ventas: (2010-2012)*. Guatemala: Solventes de Guatemala, 2012. 239 p.
20. TORIJANO, E. *Centroamérica: estadística de hidrocarburos 2011*. México: Naciones Unidas, 2012. 55 p.
21. TREYBAL, R. *Operaciones de transferencia de masa*. 2a ed. México: Naciones Unidas, 2005. 378 p.
22. VERNERET, H. *Solventes industriales: propiedades y aplicaciones*. San Paulo: Reverté, 1983. 144 p.

APÉNDICES

APÉNDICE 1

Fotografías del laboratorio



Fotografía del cromatógrafo de gases



Fotografía de la columna del cromatógrafo.



Fotografías Titulador Automático Karl Fischer



Fotografía del equipo de destilación



Fotografía de cristalería y viales utilizados



Fotografía de muestras recolectadas



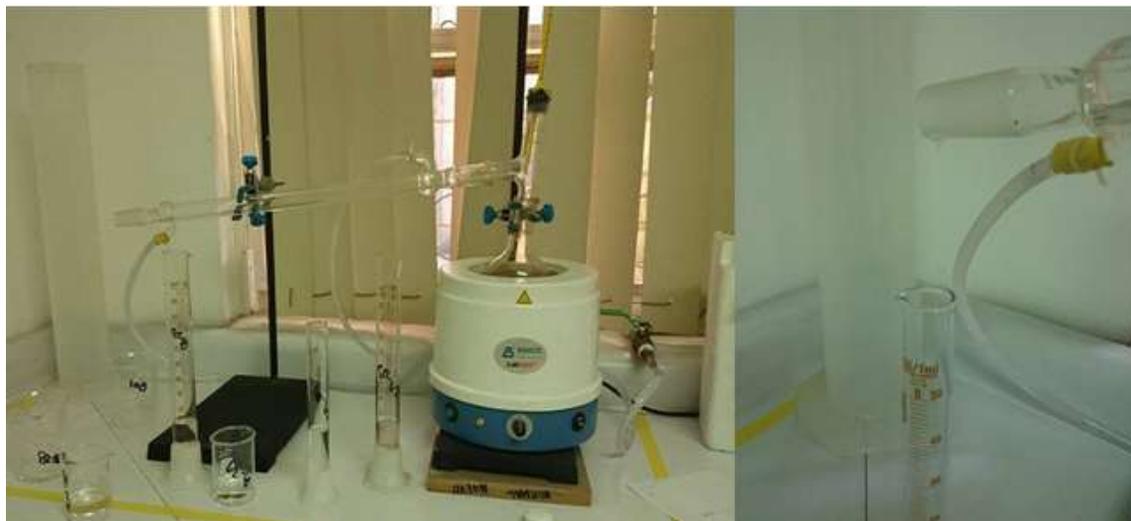
Fotografía de las muestras contaminadas destiladas.



Fotografía de muestras destiladas



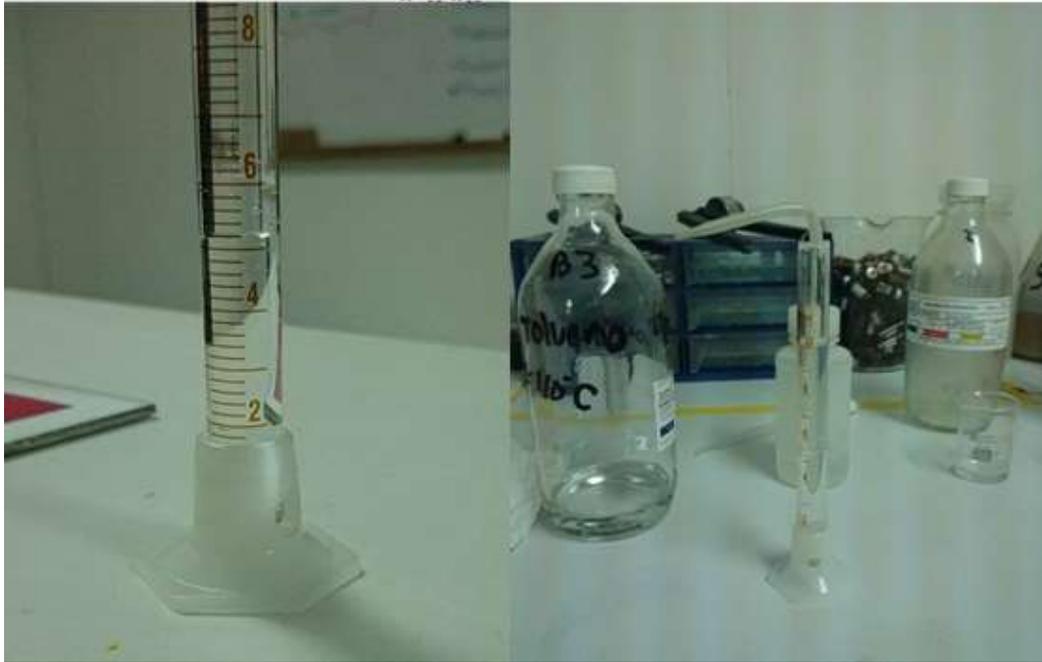
Fotografía destilación simple, recuperación de solvente químico.



Fotografía de los solventes químicos recuperados



Fotografía análisis de solubilidad de solvente químico



Fotografía determinación de la densidad de los solventes químicos



Fotografía determinación de contenido de humedad en los solventes.



Fotografía de determinación de la temperatura de ebullición de los solventes.





CELCO DE GUATEMALA, S.A.
 1a. Avenida "A" 2-65 Zona 6 Villa Nueva, Guatemala
 PBX: (502) 6644-2100 FAX: (502) 6644-2101.
 E-mail: ventasdirectas@celcodeguatemala.com
 www.celcodeguatemala.com

F-DV-14 *x alleg*

ENVIO
Nº 2980

Fecha: 7-5-2014

Consignado a:		Observaciones:
<u>Pachteca</u>		
Pedido:	Agente:	Enviado por:
DESCRIPCION		
<u>1 libro de Solrente Socio</u>		
<u>Observaciones:</u>		
<u>Producto en Calidad de Muestra</u>		

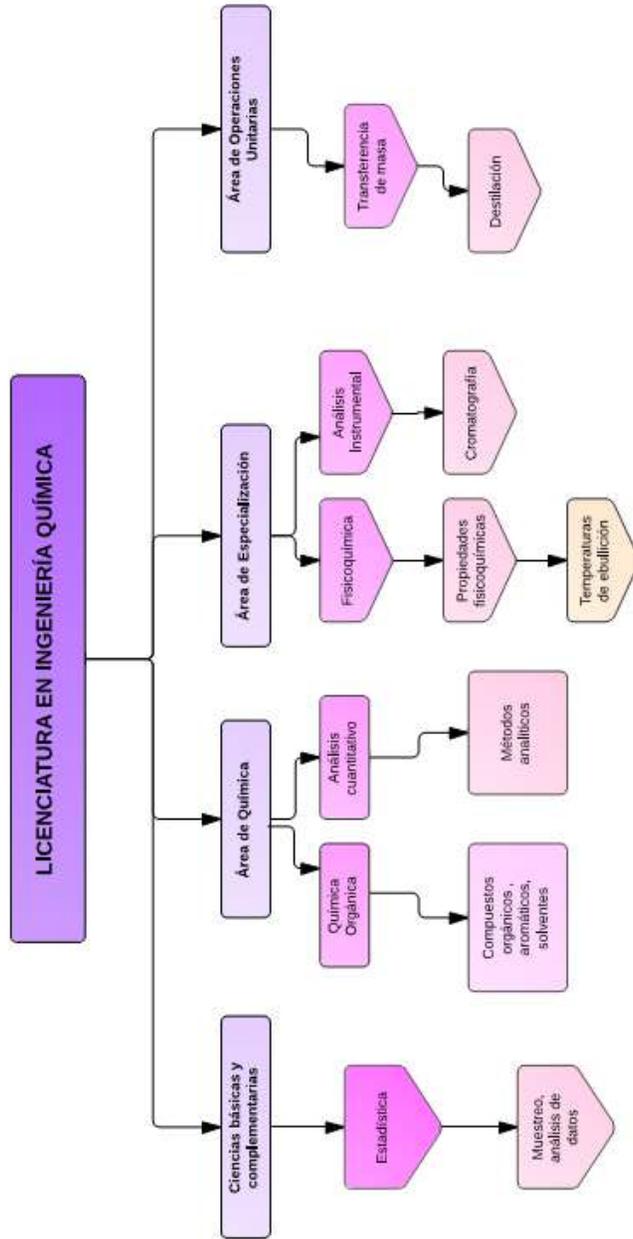
Recibí de Conformidad

Nombre de la persona que recibió: Andrea Godoy

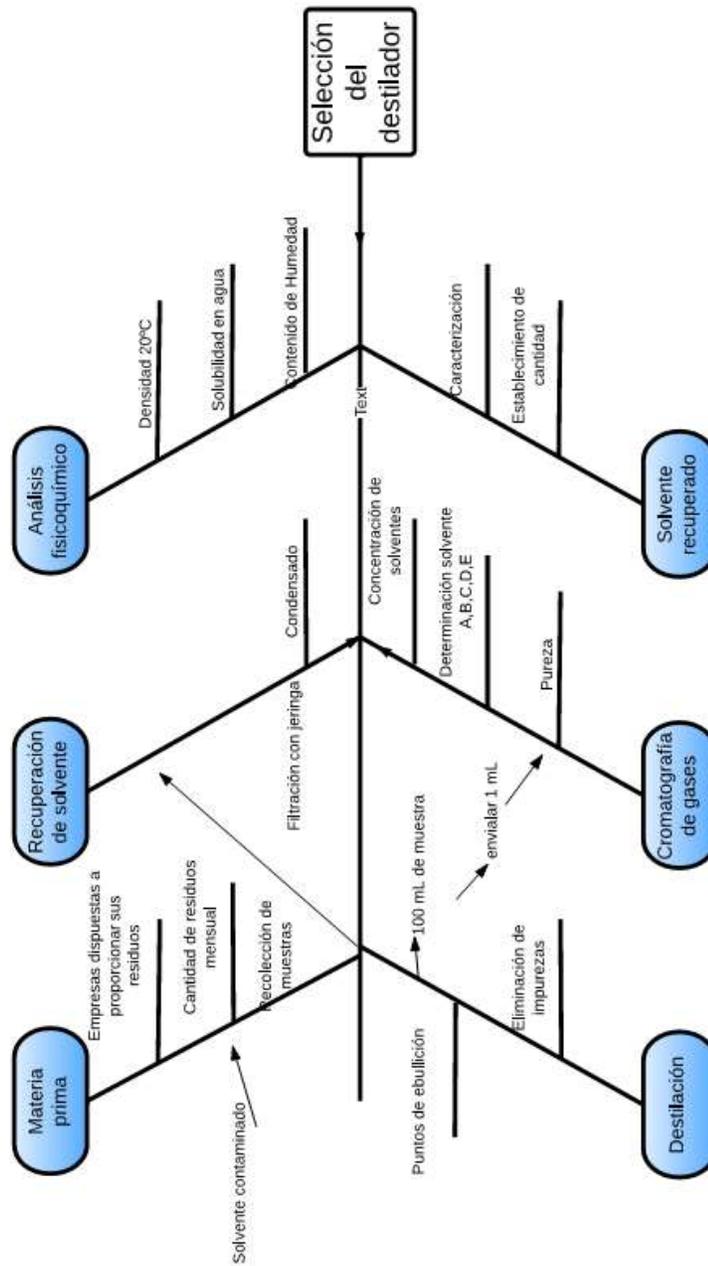
Firma y Sello:

APÉNDICE 3

DIAGRAMA DE REQUISITOS ACADÉMICOS DA



APÉNDICE 4
 DIAGRAMA DE ISHIKAWA



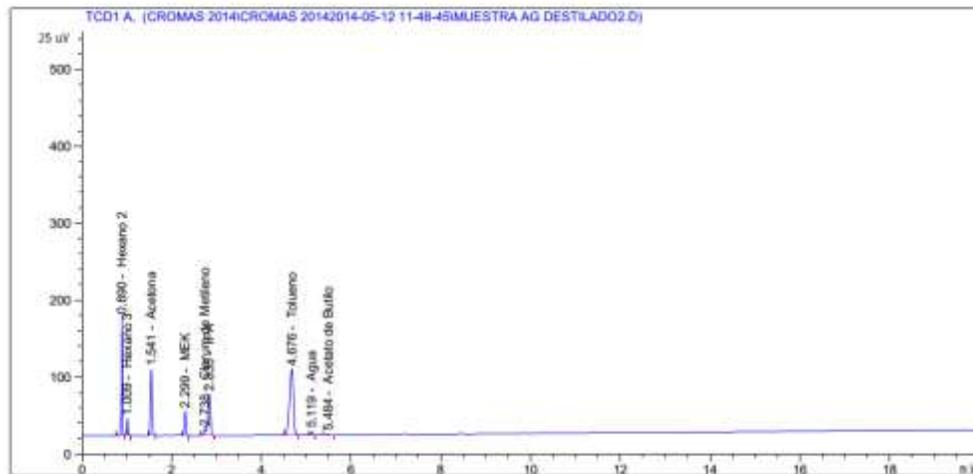
ANEXOS

ANEXO 1

Cromatogramas de los solventes contaminados destilados.

Data File C:\CHEM32\1\CROMAS 2014\CROMAS 20142014-05-12 11-48-45\MUESTRA AG DESTILADO2.D
Sample Name: BAPISA

```
-----  
Acq. Operator   : IO                               Seq. Line :    1  
Acq. Instrument : Instrument 1                     Location  : Vial 2  
Injection Date  : 12-May-14, 11:49:47             Inj       :    1  
                                                    Inj Volume: 0.2 µl  
  
Acq. Method     : C:\CHEM32\1\DATA\CROMAS 2014\CROMAS 20142014-05-12 11-48-45\NAFTAS.M  
Last changed    : 06/01/2011 03:28:52 p.m. by RFAP  
Analysis Method : C:\CHEM32\1\METHODS\SOLVENTES.M  
Last changed    : 28/04/2014 12:50:51 p.m. by IO  
Method Info     : metodo para analisis de solventes  
-----
```



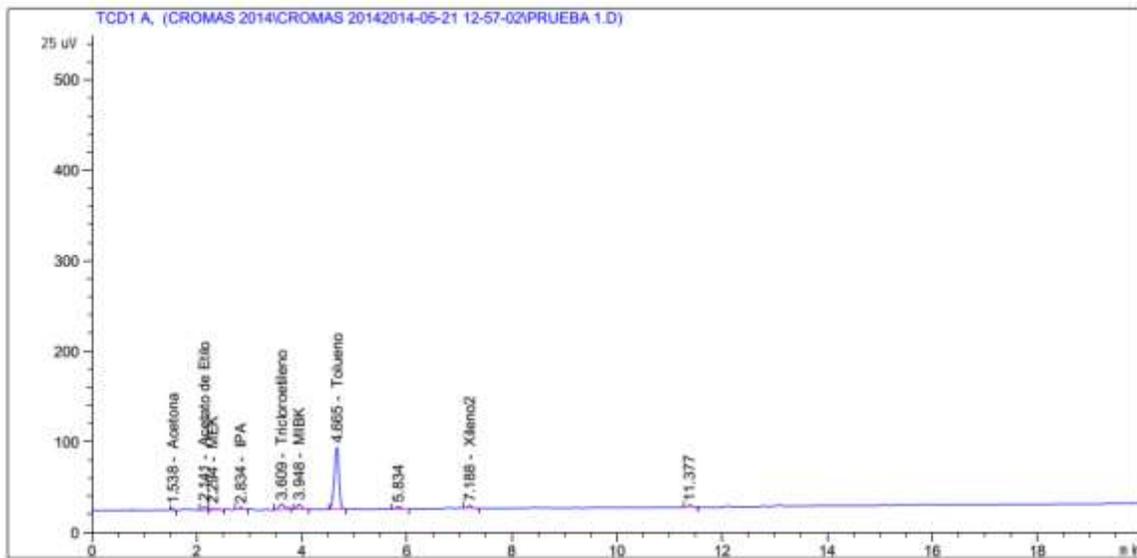
Area Percent Report

```
-----  
Sorted By      : Signal  
Calib. Data Modified : 31/07/2013 10:52:52 a.m.  
Multiplier:    : 1.0000  
Dilution:      : 1.0000  
Use Multiplier & Dilution Factor with ISTDs  
-----
```

Fuente: Cromatógrafo de gases Agilent 6850.

Data File C:\CHEM32\1\DATA\CROMAS 2014\CROMAS 20142014-05-21 12-57-02\PRUEBA 1.D
Sample Name: COPEBASE DESTILADO FINAL

```
-----  
Acq. Operator   : IO                               Seq. Line :    1  
Acq. Instrument : Instrument 1                     Location  : Vial 1  
Injection Date  : 21-May-14, 12:58:04             Inj       :    1  
                                                    Inj Volume: 0.2 µl  
  
Acq. Method     : C:\CHEM32\1\DATA\CROMAS 2014\CROMAS 20142014-05-21 12-57-02\THINNER.M  
Last changed    : 28/04/2014 10:59:31 a.m. by IO  
Analysis Method : C:\CHEM32\1\METHODS\SOLVENTES.M  
Last changed    : 28/04/2014 12:50:51 p.m. by IO  
Method Info     : metodo para analisis de solventes  
-----
```



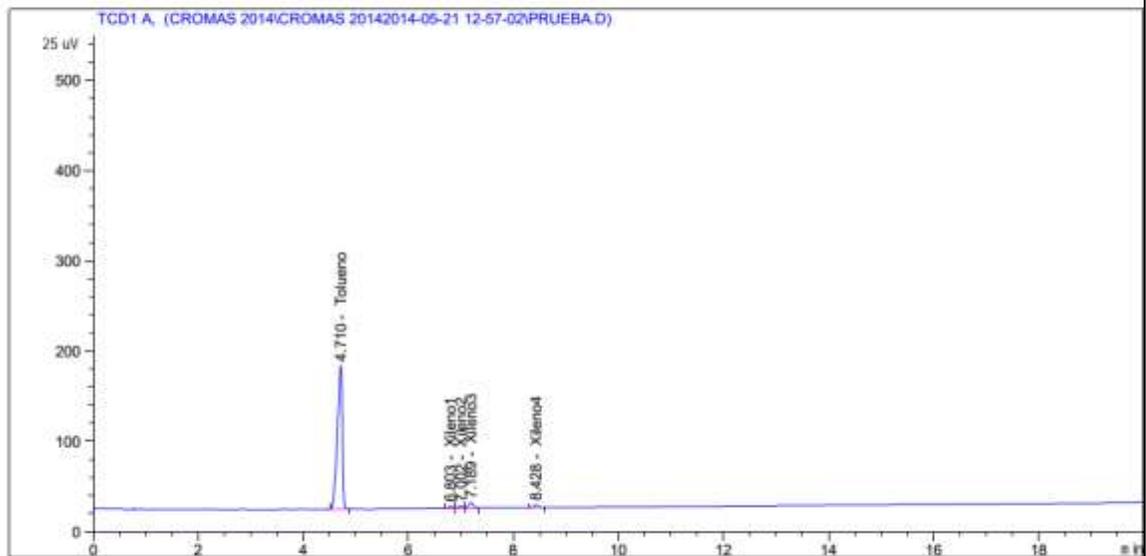
```
-----  
Area Percent Report  
-----
```

```
Sorted By      :      Signal  
Calib. Data Modified : 31/07/2013 10:52:52 a.m.  
Multiplier:    :      1.0000  
Dilution:      :      1.0000  
Use Multiplier & Dilution Factor with ISTDs
```

Fuente: Cromatógrafo de gases Agilent 6850.

Data File C:\CHEM32\1\DATA\CROMAS 2014\CROMAS 20142014-05-21 12-57-02\PRUEBA.D
Sample Name: CELCO DESTILADO FINAL

```
-----  
Acq. Operator   : IO                               Seq. Line :    2  
Acq. Instrument : Instrument 1                     Location  : Vial 2  
Injection Date  : 21-May-14, 13:22:56             Inj       :    1  
                                                    Inj Volume: 0.2 µl  
  
Acq. Method     : C:\CHEM32\1\DATA\CROMAS 2014\CROMAS 20142014-05-21 12-57-02\THINNER.M  
Last changed    : 28/04/2014 10:59:31 a.m. by IO  
Analysis Method : C:\CHEM32\1\METHODS\SOLVENTES.M  
Last changed    : 28/04/2014 12:50:51 p.m. by IO  
Method Info     : metodo para analisis de solventes  
-----
```



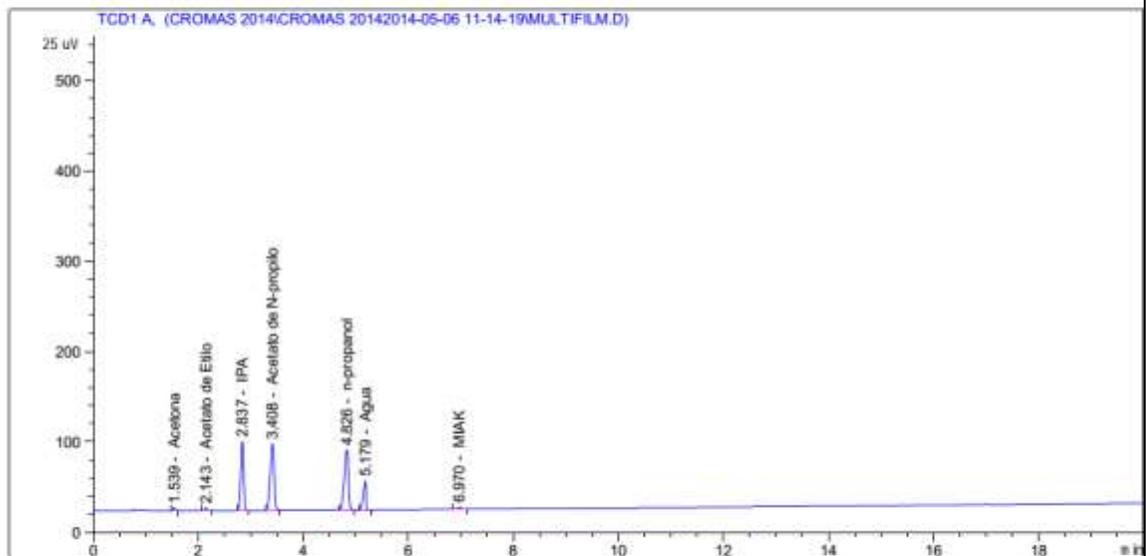
Area Percent Report

```
Sorted By      : Signal  
Calib. Data Modified : 31/07/2013 10:52:52 a.m.  
Multiplier:    : 1.0000  
Dilution:      : 1.0000  
Use Multiplier & Dilution Factor with ISTDs
```

Fuente: Cromatógrafo de gases Agilent 6850.

Data File C:\CHEM32\1\DATA\CROMAS 2014\CROMAS 20142014-05-06 11-14-19\MULTIFILM.D
Sample Name: MULTIFILM

```
-----  
Acq. Operator   : IO                               Seq. Line :    1  
Acq. Instrument : Instrument 1                     Location  : Vial 1  
Injection Date  : 06-May-14, 11:15:29            Inj       :    1  
                                                    Inj Volume: 0.2 µl  
  
Acq. Method     : C:\CHEM32\1\DATA\CROMAS 2014\CROMAS 20142014-05-06 11-14-19\NAFTAS.M  
Last changed    : 06/01/2011 03:28:52 p.m. by HFAP  
Analysis Method : C:\CHEM32\1\METHODS\SOLVENTES.M  
Last changed    : 28/04/2014 12:50:51 p.m. by IO  
Method Info     : metodo para analisis de solventes  
-----
```



Area Percent Report

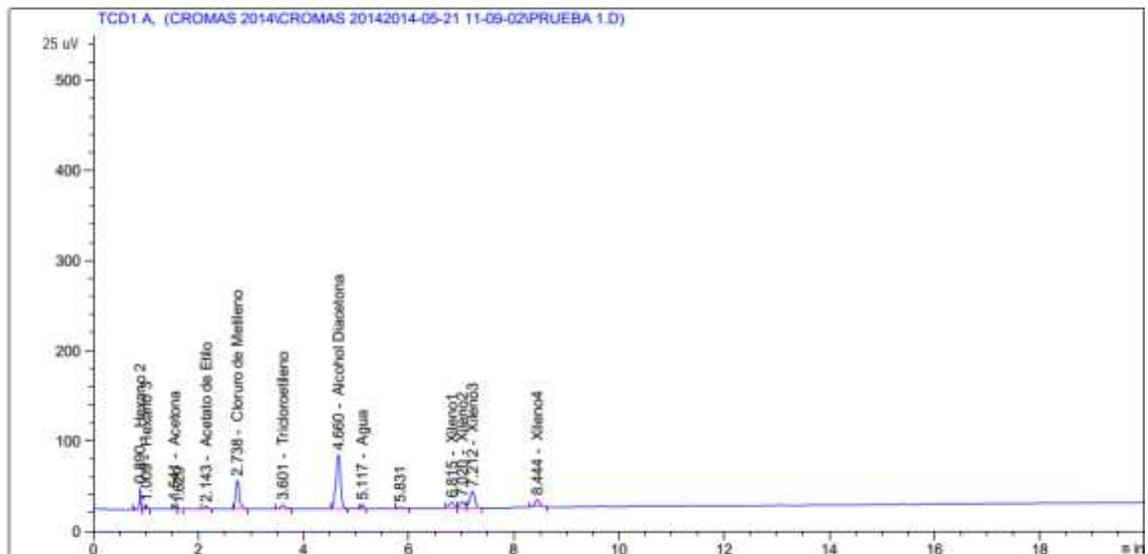
```
Sorted By      : Signal  
Calib. Data Modified : 31/07/2013 10:52:52 a.m.  
Multiplier:    : 1.0000  
Dilution:      : 1.0000  
Use Multiplier & Dilution Factor with ISTDs
```

Fuente: Cromatógrafo de gases Agilent 6850.

Data File C:\CHEM32\1\DATA\CROMAS 2014\CROMAS 20142014-05-21 11-09-02\PRUEBA 1.D
Sample Name: kendall DESTILADO

```
=====
Acq. Operator   : IO                               Seq. Line : 1
Acq. Instrument : Instrument 1                     Location  : Vial 1
Injection Date  : 21-May-14, 11:10:12            Inj       : 1
                                                    Inj Volume: 0.2 µl

Acq. Method    : C:\CHEM32\1\DATA\CROMAS 2014\CROMAS 20142014-05-21 11-09-02\THINNER.M
Last changed   : 28/04/2014 10:59:31 a.m. by IO
Analysis Method : C:\CHEM32\1\METHODS\SOLVENTES.M
Last changed   : 28/04/2014 12:50:51 p.m. by IO
Method Info    : metodo para analisis de solventes
=====
```



=====
Area Percent Report
=====

```
Sorted By      : Signal
Calib. Data Modified : 31/07/2013 10:52:52 a.m.
Multiplier:    : 1.0000
Dilution:      : 1.0000
Use Multiplier & Dilution Factor with ISTDs
```

Fuente: Cromatógrafo de gases Agilent 6850.

ANEXO 2

 <p>pochteca materias primas</p>	<p>CERTIFICADO DE ANÁLISIS</p>	<p>FECHA: 18-Ago-2014</p>
<p>Almacén: <u>Guatemala</u></p> <p>Dirección: <u>Km. 19.5 Carr. Panamericana, Lote 7, Lo de Coy Mixco.</u></p> <p>Teléfono: <u>2460-0090 al 99</u></p>		
<p>Producto: ACETONA</p>		<p>LOTE: 190614</p>
<p>Fecha de fabricación: <u>19/Jun/2014</u></p> <p>Fecha de Caducidad: ** <u>N.A.</u></p>		
PARÁMETROS	ESPECIFICACIONES	RESULTADOS
* Pureza	99.500	99.7
* Peso Especifico, 20°C, Kg/L	0.790 a 0.792	0.792
* Humedad KF %	Máx. 0.5	0.321
Color Pt-Co	Máx. 5	5
* Solubilidad en Agua	COMPLETA	COMPLETA
* Olor	Característico	Característico
* Apariencia	Líquido claro libre de material en suspensión	Líquido claro libre de material en suspensión.
<p>Elaborado por:</p> <div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;"> <div style="text-align: center;">  <p>Ingrid López</p> </div> <div style="text-align: center;">  </div> </div> <p style="text-align: center;">Departamento de Control de Calidad</p>		
<p><small>Nota: Los valores marcados con asterisco (*) son analizados por Pochteca Materias Primas y el resto de los resultados son copia fiel de los emitidos por nuestros proveedores.</small></p> <p><small>** En condiciones adecuadas de almacenamiento.</small></p>		

FCALDD-01-03

Fuente: Certificados de calidad, Pochteca de Guatemala.

CERTIFICADO DE ANÁLISIS

Almacén: Guatemala
 Dirección: Km. 19.5 Carr. Panamericana, Lote 7, Lo de Coy Mixco.
 Teléfono: 2460-0090 al 99

Producto: ALCOHOL ISOPROPÍLICO **LOTE: 14052014**

Fecha de fabricación: 14-May-14
 Fecha de Caducidad: ** 13-May-16

PARÁMETROS	ESPECIFICACIONES	RESULTADOS
* Apariencia	Líquido claro, libre de material en suspensión	Líquido claro, libre de material en suspensión
* Olor	Característico	Característico
* Densidad, 20°C, Kg/L <small>ASTM D 4052</small>	0.784 a 0.788	0.786
* Humedad, %m <small>ASTM D 1364</small>	Máx. 0.1	0.01
Color, Pt-Co <small>ASTM D 1209</small>	Máx. 10	5
* Punto Inicial de Ebullición °C	Mín. 70	82
* Solubilidad en agua	Completa	Completa
Acidez % <small>ASTM D 1613</small>	Máx. 0.002	0.0008
* Pureza % <small>PP-LAB-001</small>	99.8 Min.	99.948

Elaborado por:



Ingrid López
 Departamento de Control de Calidad



Nota: Los valores marcados con asterisco (*) son analizados por Pochteca Guatemala y el resto de los resultados son copia fiel de los emitidos por nuestros proveedores.

** En condiciones adecuadas de almacenamiento.

Almacén: Guatemala

Dirección: Km. 19.5 Carr. Panamericana, Lote 7, Lo de Coy Mixco.

Teléfono: 2460-0090 al 99

Producto: HEXANO

LOTE: 02042014D

Fecha de fabricación: 02/Abr/2014

Fecha de Caducidad: ** N.A.

PARÁMETROS	ESPECIFICACIONES	RESULTADOS
* Pureza	Min. 99.5	99.73
* Peso Especifico, 20°C, Kg/L	0.660 a 0.693	0.673
*Humedad KF %	Máx. 0.5	0.035
* Color APHA	Máx. 10	5
BENCENO	Máx. 0.50	0.06
* Solubilidad en Agua	INCOMPLETA	INCOMPLETA
*Olor	Característico	Característico
*Apariencia	Líquido claro libre de material en suspensión	Líquido claro libre de material en suspensión.

Elaborado por:



Ingrid López

Departamento de Control de Calidad



Nota: Los valores marcados con asterisco (*) son analizados por Pochteca Materias Primas y el resto de los resultados son copia fiel de los emitidos por nuestros proveedores.

** En condiciones adecuadas de almacenamiento.

CERTIFICADO DE ANÁLISIS

Almacén: Guatemala

Dirección: Km. 19.5 Carr. Panamericana, Lote 7, Lo de Coy Mixco.

Teléfono: 2460-0090 al 99

Producto: METIL ETIL CETONA

LOTE: 131118F1557

Fecha de fabricación: 18-Nov-13

Fecha de Caducidad: ** N.A.

PARÁMETROS	ESPECIFICACIONES	RESULTADOS
*Pureza %	99.00 Min	99.90
* Densidad, 20°C, Kg/L	0.755 a 0.855	0.806
*Humedad, %m	Máx. 0.1	0.063
Color, Pt-Co	Máx. 10	3
*Destilación IBP °C	Mín. 65	79
*Destilación DP °C	Máx. 88	82
*Solubilidad en agua	Incompleta	Incompleta
* Apariencia	Líquido claro, libre de material en suspensión	Líquido claro, libre de materia en suspensión
* Olor	Característico	Característico

Elaborado por:



Ingrid López
Departamento de Control de Calidad



Nota: Los valores marcados con asterisco (*) son analizados por Pochteca Guatemala y el resto de los resultados son copia fiel de los emitidos por nuestros proveedores.

** En condiciones adecuadas de almacenamiento.

ECAL00-01-03

CERTIFICADO DE ANÁLISIS

Almacén: Guatemala

Dirección: Km. 19.5 Carr. Panamericana, Lote 7, Lo de Coy Mixco.

Teléfono: 2484-4273 al 76

Producto: TOLUENO

LOTE: 19062014

Fecha de fabricación: 19-Jun-14

Fecha de Caducidad: * N.A.

PARÁMETROS	ESPECIFICACIONES	RESULTADOS
*Pureza %	99.70 Min	99.97
* Densidad, 20°C, Kg/L	0.790 a 0.873	0.872
*Humedad, %m	Máx. 0.1	0.03
* Punto Inicial de Destilación °C	Min. 110	110.4
*Solubilidad en agua	Incompleta	Incompleta
* Apariencia	Líquido claro, libre de material en suspensión	Líquido claro, libre de material en suspensión
* Olor	Característico	Característico

Elaborado por:



Ingrid López

Departamento de Control de Calidad



Nota: Los valores marcados con asterisco (*) son analizados por Pochteca Guatemala y el resto de los resultados son copia fiel de los emitidos por nuestros proveedores.

** En condiciones adecuadas de almacenamiento.

Almacén: Guatemala

Dirección: Km. 19.5 Carr. Panamericana, Lote 7, Lo de Coy Mixco.

Teléfono: 2460-0090 al 99

Producto: XILENO

LOTE: 6062014

Fecha de fabricación: 06/Jun/2014

Fecha de Caducidad: ** N.A.

PARÁMETROS	ESPECIFICACIONES	RESULTADOS
* Pureza	Min. 98.00	99.01
* Peso Especifico, 20°C, Kg/L	0.855 a 0.872	0.865
*Humedad KF %	Máx. 0.1	0.0125
Color APHA	Máx. 20	5
* Solubilidad en Agua	INCOMPLETA	INCOMPLETA
*Olor	Característico	Característico
*Apariencia	Líquido claro libre de materia extraña	Líquido claro libre de materia extraña

Elaborado por:



Ingrid López

Departamento de Control de Calidad



Nota: Los valores marcados con asterisco (*) son analizados por Pochteca Materias Primas y el resto de los resultados son copia fiel de los emitidos por nuestros proveedores.

** En condiciones adecuadas de almacenamiento.

FCALDD-01-03

ANEXO 3

Destiladores de disolventes Controlgraf.

Mediante un proceso de destilación simple, se separa el producto contaminante -resinas, pigmentos, pinturas, tintas aceites, etc.- del disolvente original, que es recogido en un contenedor para una posterior reutilización.

Al terminar el ciclo, el producto contaminante se queda en el fondo del hervidor, que se descarga fácilmente haciendo girar el aparato.

Las características del disolvente tratado no se alteran por este proceso, que puede así repetirse de modo indefinido.

Capacidad

La familia de destiladores de disolventes Controlgraf incluye aparatos de varias capacidades: 7,15, 30, 60, 120, 160 litros.

Descarga

En el caso de contaminantes líquidos, los residuos del proceso de destilación se extraen haciendo girar el aparato destilador. Los contaminantes sólidos utilizan las bolsas "Rec-Bag" que evitan la manipulación del operador, protegiendo su seguridad.

Todos los destiladores de disolventes pueden ser equipados con un grupo de vacío opcional, recomendado para disolventes con temperatura de ebullición muy alta o para disolventes inflamables con punto de ebullición cerca

del punto de autoencendido. El vacío puede ser alimentado por aire comprimido o por medio de una bomba eléctrica, en función de las exigencias del cliente.

A continuación se muestran las fichas técnicas de los distintos destiladores que Controlgraf ofrece.

controlgraf.com

Tel. 902 12 12 19 · 934 51 38 40 - Fax 93 451 26 78
www.controlgraf.com · controlgraf@controlgraf.com

Destilador de Disolventes de 120 litros



DESTILADOR D 120 Axi Recuperación de disolventes

- Para todo tipo de disolventes
- Disolvente reciclado de máxima pureza
- Extracción rápida del residuo sólido mediante bolsas
- Posibilidad de destilación al vacío
- Gran ahorro económico



CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS

- Antideflagrante o estanco
- Hervidor basculante
- Capacidad máxima de carga: 120 L
- Producción: 17-30 l/h.
- Potencia instalada: 6,6 KW
- Medidas: 1300 x 912 x 2000
- Peso: 400 Kg.
- Conexión: 380 V 50 Hz Trifásico

Fuente: Controlgraf, http://www.controlgraf.com/destiladores_disolventes.htm

Destilador de Disolventes de 160 litros

Recuperador de disolventes D 160 Axi



- PARA TODO TIPO DE DISOLVENTES.
- MAXIMA PUREZA DE LOS DISOLVENTES RECICLADOS.
- UTILIZACION DE BOLSAS PARA UNA RAPIDA EXTRACCION DE LOS RESIDUOS SOLIDOS.
- POSIBILIDAD DE DESTILACION AL VACIO.
- GRAN AHORRO ECONOMICO.

CARACTERISTICAS TECNICAS:

- ANTIDEFLAGRANTE O ESTANCO
- HERVIDOR BASCULANTE
- CAPACIDAD MAXIMA DE CARGA: 160 L
- PRODUCCION: 30-40 l/h.
- POTENCIA INSTALADA: 11 KW
- MEDIDAS: 1518 x 1200 x 2105
- PESO: 465 Kg.
- CONEXIÓN: 380 V, 50 Hz. Trifásico.



Fuente: Controlgraf, http://www.controlgraf.com/destiladores_disolventes.htm

controlgraf s.l.

EQUIPOS Y RECAMBIOS PARA LA INDUSTRIA GRÁFICA
Consell de Cent, 167 baixos 1ª - 08015 Barcelona
Tel.+34 93 451 38 40 Fax. +34 93 451 26 78
E-mail: controlgraf@controlgraf.com
Web: www.controlgraf.com

Pochteca
Att. Srta. Andrea Godoy

Barcelona, a 8 de Agosto de 2014

Señores,

Nos complace adjuntarles la siguiente oferta solicitada, esperando sea de su interés:

EQUIPO DESTILADOR PARA LA RECUPERACIÓN DE DISOLVENTES USADOS.

Mod. D120A Y D160 Axi.

- Equipo depurador para aguas contaminadas, para la capacidad de carga de **120 y 160 litros**, cuya duración puede oscilar entre 6 y 10 horas dependiendo de la calidad del efluente a tratar y el porcentaje de materias en suspensión (el timer puede programarse hasta 24 horas).
- Cada ciclo es totalmente automático, sin necesidad de estar pendiente de la maquina.
- Según naturaleza del efluente, se programa la temperatura de destilación y el tiempo de destilado. Como seguridad, existe un termostato a la salida de los vapores del condensador, que en ausencia de vapor, hace que se pare la maquina automáticamente.
- Este equipo lleva garantías de la CEE.

PRECIOS:

Mod. D 120 A..... 14.900,00 €
Mod. D 160 Axi..... 18.500,00 €

Pack 50 u. bolsas D 120 A para residuos..... 345,00 €
Pack 50 u. bolsas D 160 A para residuos..... 395,00 €
Aro-muelle sujeción D 120 A..... 85,00 €
Aro-muelle sujeción D 160 A..... 85,00 €



(en el caso que el disolvente a destilar tenga un punto de ebullición superior a los 140 C, se requeriría una BOMBA DE VACÍO):

DV1 120..... 5.600,00 €
DV1 160..... 5.800,00 €

CONDICIONES:

PORTES: A SU CARGO POR SUS MEDIOS O CONSULTAR COTIZACION.

PUESTA EN MARCHA: No incluida. Prácticamente nula, pues puede ser utilizada con el manual de instrucciones completo que viene con la maquina.

PLAZO DE ENTREGA: aprox. 4 semanas, a confirmar en el momento de recibir el pedido.

CONDICIONES DE PAGO: a la confirmación del pedido, mediante transferencia.

VALIDEZ DE LA OFERTA: 30 días

GARANTÍA: 1 año según normas vigentes de la Comunidad Europea.

Atentamente,

Xavier Costa
Controlgraf, s.l.

