

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA

FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA Y TEXTIL



“OPTIMIZACIÓN DEL PROCESO DE RECUPERACIÓN DE SOLVENTES MEDIANTE DESTILACIÓN AL VACÍO EN LA INDUSTRIA DE IMPRESIÓN FLEXOGRAFICA”

INFORME DE SUFICIENCIA

PARA OPTAR POR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERA QUÍMICA

POR LA MODALIDAD DE ACTUALIZACIÓN DE CONOCIMIENTOS

PRESENTADO POR:

JAKYLINE ROCÍO ALEJO LANDA

**LIMA – PERÚ
2014**

RESUMEN

En el presente informe se describe el estudio técnico-económico realizado para la optimización del proceso de recuperación de solventes que, a la fecha, está permitiendo a la empresa de impresión flexográfica Emusa Perú SAC, reducir sus costos en materia prima.

En el capítulo III se analiza el proceso actual de recuperación de solventes y se hace el análisis de productividad y costos. Con los resultados obtenidos se procede a revisar dos propuestas para la optimización del proceso.

En este mismo capítulo se describen las propuestas y se hace un análisis detallado de cada una de ellas para finalmente tomar una decisión sobre cuál implementar.

En la parte final del capítulo III se hace una evaluación de los resultados obtenidos posterior a la instalación y puesta en funcionamiento del equipo elegido.

Finalmente en el capítulo IV se concluye que, a la fecha, los balances certifican que terminada la implementación del proyecto, la empresa está obteniendo ahorros significativos en lo que respecta a costos en la compra de solvente virgen y en el proceso de recuperación de solventes.

ÍNDICE

I. INTRODUCCIÓN	9
II. CONCEPTOS GENERALES	11
2.1 Industria de la conversión de empaques flexibles	11
2.2 Impresión de empaques flexibles	12
2.3 Los solventes en el proceso de impresión de empaques flexibles	16
III. OPTIMIZACIÓN DEL PROCESO DE RECUPERACIÓN DE SOLVENTES	28
3.1 Estrategia de Mejora	28
3.2 Acciones para la mejora	28
3.3 Beneficios alcanzados	37
IV. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	47
4.1 Conclusiones	47
4.2 Recomendaciones	47
V. BIBLIOGRAFÍA	48

INDICE DE FIGURAS

Figura 1:	Sistema de impresión flexográfica	14
Figura 2:	Sistema de entintado	15
Figura 3:	Plancha flexible grabada	15
Figura 4:	Equipos y flujo del proceso de impresión de films	21
Figura 5:	Diagrama de flujo del proceso de impresión de films	22
Figura 6:	Recuperadora de solvente a presión atmosférica	30
Figura 7:	Diagrama de flujo del manejo del solvente sucio en Emusa Perú SAC. Periodo 2010-2012	31
Figura 8:	Recuperadora de solvente al vacío	34
Figura 9:	Parte interna de la recuperadora de solvente al vacío	34
Figura 10:	Diagrama de flujo del proceso de recuperación de solvente por destilación al vacío	35
Figura 11:	Diagrama de flujo del manejo del solvente sucio en Emusa Perú SAC. Periodo 2013-2014	38
Figura 12:	Variación del consumo y costos del n-propil acetato	42
Figura 13:	Variación del costo de recuperación de solvente sucio. Periodo: Enero 2010 – Junio 2014	44
Figura 14:	Proceso actual de generación y recuperación de solvente sucio	46

INDICE DE TABLAS

Tabla 1:	Coefficientes de evaporación de solventes basados en la velocidad de evaporación de un volumen estandarizado de éter etílico	18
Tabla 2:	Temperatura de ebullición de los solventes	19
Tabla 3:	Composición de las mezclas de solventes para impresión	20
Tabla 4:	Composición de la mezcla de solvente para limpieza	23
Tabla 5:	Composición promedio del solvente recuperado por un proveedor externo	23
Tabla 6:	Composición promedio del solvente recuperado por Emusa Perú 2010-2012	24
Tabla 7:	Disposición del solvente sucio generado 2010-2012	25
Tabla 8:	Densidades de las mezclas de solventes	25
Tabla 9:	Detalle de la generación del excedente de solvente sucio	26
Tabla 10:	Porcentajes de solvente recuperado por Emusa Perú SAC y por un tercero	27
Tabla 11:	Costos involucrados en la recuperación del solvente sucio	28
Tabla 12:	Costo por recuperación de solvente (\$/gal)	29
Tabla 13:	Solvente recuperado por Emusa Perú SAC 2010-2012, Producción y Costos promedio	29
Tabla 14:	Producción y costos alcanzados con la primera propuesta	32

Tabla 15:	Producción y costos alcanzados con la segunda propuesta	36
Tabla 16:	Producción y costos reales tras la instalación del destilador de solvente al vacío	40
Tabla 17:	Composición del solvente preparado para limpieza Periodo: 2010-2012	41
Tabla 18:	Composición promedio del solvente recuperado por Emusa Perú 2013-2014.	41
Tabla 19:	Índices de consumo y costos del n-propil acetato	42
Tabla 20:	Costos de recuperación de solvente sucio. Periodo: Enero 2010 – Junio 2014	43
Tabla 21:	Índices de consumo y costos del solvente virgen	45

I. INTRODUCCIÓN

Los empaques flexibles son cada vez más apreciados en las diferentes industrias gracias a su gran versatilidad que hace posible reducir el uso de materiales, el peso del empaque y los costos, además se adaptan a diversos productos y suministran tecnología en barrera y protección.

Emusa Perú S.A.C. es una empresa convertidora de empaques tipo flexibles para la industria de alimentos y artículos en general, la cual inició sus funciones en 1986 como Envases Múltiples S.A. formando parte del Grupo Fishman.

Hasta 1997 la empresa se dedicaba básicamente a fabricar envases para las otras empresas del grupo; sin embargo, hoy en día Emusa Perú S.A.C. ha crecido de una forma importante, tanto en volumen de ventas como participación en el mercado, iniciando sus exportaciones desde 1999.

Actualmente emplea a 450 colaboradores trabajando en 2 turnos de 12 horas y posee una capacidad productiva de 15,000 Tn/año de empaque convertido.

Una industria de este tipo, dedicada a la conversión de empaques, en general consume cantidades importantes de solvente que se usa principalmente en el proceso de impresión y en las operaciones de limpieza de las máquinas y sus accesorios. Los solventes sucios, producto de los procesos de limpieza, con restos de pigmentos, resinas, grasas, entre otros, constituyen un residuo especial.

Con anterioridad a la puesta en marcha de este proyecto, la empresa Emusa Perú S.A.C. sólo recuperaba en promedio el 45% del solvente sucio que generaba y el resto se almacenaba hasta acumular un volumen suficiente para ser enviado a un proveedor externo. El solvente recuperado de esta manera tenía un alto costo y baja calidad por lo que para ser utilizado debía ser reforzado con una buena cantidad de solvente virgen para que pudiera ser efectivo en la limpieza de las máquinas impresoras y sus accesorios.

Analizada esta situación, se decidió armar un proyecto que involucró la compra de nuevos equipos para la recuperación de solventes con el fin de otorgar a la empresa la capacidad de recuperar internamente todo el solvente sucio que generaba y a la vez obtener un solvente recuperado de buena calidad que pudiera ser utilizado tanto en limpieza como en el proceso de impresión.

Se presentó el proyecto teniendo como objetivos, por un lado ahorrar costos en solvente virgen asegurando la calidad del solvente recuperado y por el otro reducir los gastos que generaba el tratamiento de los solventes sucios por terceros.

II. CONCEPTOS GENERALES

2.1. Industria de la conversión de empaques flexibles

Una empresa convertidora de empaques flexibles, es aquella que convierte los rollos o bobinas de un sustrato flexible en materiales de empaque con o sin impresión. Los sistemas de impresión son variados siendo la flexografía la que ha ganado más terreno en los últimos años gracias a su gran versatilidad.

El empaque flexible cubre materiales que han sido sometidos a un proceso de conversión, incluida la impresión, laminación, extrusión y recubrimiento, y puede involucrar diferentes sustratos tales como láminas de plástico, papel y aluminio.

Los tipos de empaques flexibles incluyen bolsas de plástico, películas de embalaje y termosellado, bolsas de papel, envoltorios, laminados de papel de aluminio, cubiertas de aluminio, blíster y sobres, entre otros.

Los materiales de empaque flexible se pueden utilizar por separado o en combinación para el envasado de alimentos, así como también para aplicaciones no alimentarias, como el envasado de tabaco, cosméticos, detergentes, productos farmacéuticos y medicamentos. Las películas de embalaje flexible se pueden hacer de sustratos simples como plásticos flexibles (PE, PP, poliéster o PA), láminas flexibles y papeles flexibles, o pueden ser recubiertas, laminadas o coextruidas con otros materiales para mejorar sus propiedades físicas en diferentes maneras.

El mercado mundial de consumo de envases flexibles se ha valorado en MMUS\$ 58.300, en el 2011 y se prevé que crezca en 1,4% para alcanzar MMUS\$ 71.300 en 2016, según las últimas investigaciones de Smithers Pira International.

El crecimiento del mercado de envases flexibles ha sido impulsado por la sustitución de los tipos de envases tradicionales, tales como latas, botellas de vidrio y plástico, el cartón y el líquido a través de una amplia gama de sectores de uso final. El tonelaje para el mercado mundial de envases flexibles se estima en 18,1 millones de dólares en 2011 y se prevé que alcance 22,5 millones de toneladas en 2016.

En América Latina, el mercado de empaques flexibles goza de una muy buena posición y se prevé un futuro positivo, es lo que refiere Dolores Brizuela, Gerente de Marketing para Empaques Especiales para Alimentos, Higiene y Salud, en Dow. Específicamente con los empaques flexibles es posible reducir el uso de materiales, el peso del empaque y los costos se adaptan a diversos productos, y suministran tecnología en barrera y protección.

Los empaques flexibles representan el 63% de la industria de alimentos y en el área no alimentos la presencia de estos es cada vez más evidente. La actual participación de los flexibles promueve cada vez más inversiones en el desarrollo de nuevas tecnologías. La previsión de crecimiento anual de empaques flexibles hasta 2015 es cercana al 5%.

Las tendencias en los empaques, se modifican en función de los cambios que la sociedad sufre, para suplir a las nuevas demandas. Específicamente en Latinoamérica al incrementarse la clase media, el consumo se eleva y las preferencias se dirigen a los empaques que ofrezcan valores agregados como mayor vida de anaquel o facilidad en su uso. Por su parte, las personas con menor poder adquisitivo pueden sin embargo comprar productos a los que antes no tenían acceso, muchos de los cuales usan empaques flexibles.

2.2. Impresión de empaques flexibles

Muchas veces el corazón de la conversión de empaques es el proceso de impresión debido a que es ahí donde convergen varios subprocesos para conseguir

que el empaque final produzca el mayor impacto en góndola.

Existen varios sistemas de impresión como huecograbado, serigrafía, offset, litografía, flexografía, entre otros. Este último es el sistema utilizado por la empresa Emusa Perú SAC.

La Flexografía está considerada como el sistema de impresión con mayor crecimiento en un futuro próximo. Soportes simples o coextrusionados, tintas y, sobre todo, nuevos materiales cerámicos y metálicos en la composición de las máquinas impresoras, han elevado la calidad de impresión de la flexografía hasta cotas impensables hace una década.

La Flexografía es un sistema de impresión rotatorio: para cada revolución del cilindro de impresión se produce una imagen completa. Los tres tipos de prensas más comúnmente empleados en la industria Flexográfica son el stack, la impresión en línea, y la impresión de tambor central. El corazón del sistema flexográfico es la sencillez de su sistema de entintado.

Las planchas para la impresión en flexo pueden ser de caucho vulcanizable o de una variedad de resinas de polímero sensible a la luz U.V. Las planchas tienen un área en alto relieve que imprime directamente sobre el sustrato con una ligera presión denominada “presión al beso”. A diferencia de las pesadas planchas metálicas empleadas por la imprenta offset, las planchas flexográficas son adaptables y desplazables. Las planchas se montan al cilindro, con una cinta doble-adhesiva llamada comúnmente stick-back.

Proceso de impresión flexográfica:

1. Preparar la plancha (1), ver figura 1, con un material flexible y sensible a la luz, la imagen debe ser grabada de forma invertida (en espejo). Las zonas que van a imprimir van en relieve con respecto a las zonas no imprimibles.

2. Ajustar la plancha al cilindro portaplancha o portaplancha (2), ver figura 1, ayudándose de un adhesivo (stick-back) para conseguir sujetarlo bien.

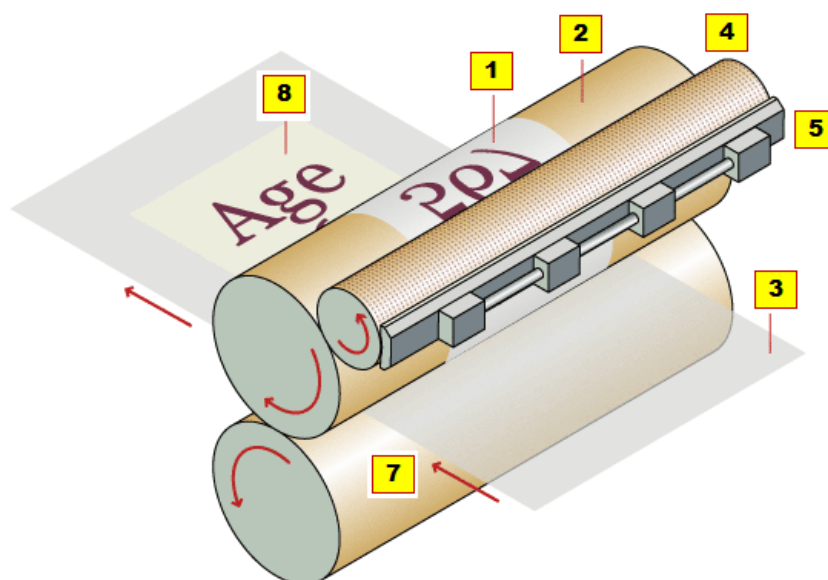


Figura 1: Sistema de impresión flexográfica

Fuente: Página web www.gusgsm.com/flexografia

3. Ubicar el cilindro portaplancha en uno de los cuerpos de la máquina impresora. Una máquina puede tener entre 4 y 12 cuerpos, cada uno debe ser montado con un color diferente.
4. Enganchar el sustrato (3), ver figura 1, al sistema de manera que rodee al tambor central (7), ver figura 1, y pase por los polines de la máquina para generar la tensión requerida para el proceso.
5. Un cilindro de cerámica o acero llamado anilox (4), ver figura 1, grabado con miles de huecos en forma de celdillas, recibirá la tinta.
6. Una vez en marcha, una cámara cerrada (5), ver figura 1, proporciona tinta al cilindro anilox. Una rasqueta (6), ver figura 2, extremadamente precisa, elimina el sobrante de tinta del cilindro e impide que la tinta escape de la cámara.
7. Al girar, el cilindro anilox entra a su vez en contacto directo con la plancha, situada en el cilindro portaplancha y le proporciona tinta en las

zonas de relieve. Las zonas más bajas quedan secas. El uso del cilindro anilox es esencial para distribuir la tinta de forma uniforme y continuada sobre la plancha.

8. La plancha, ya entintada, sigue girando y entra en suave contacto directo con el sustrato, que puede ser papel, cartón o films de polímeros.
9. El sustrato recibe la imagen de tinta de la plancha y sale ya impreso (8), ver figura 1, secándose en las campanas y túnel de secado de forma muy rápida.

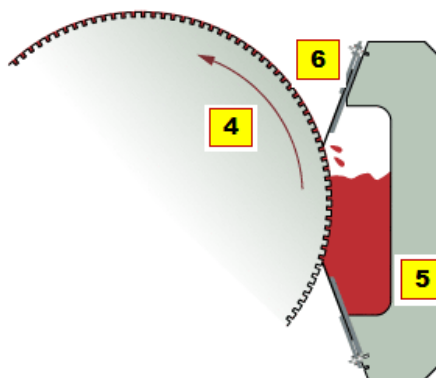


Figura 2: Sistema de entintado

Fuente: Página web www.gusgsm.com/flexografia

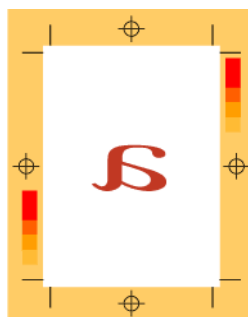


Figura 3: Plancha flexible grabada

Fuente: Página web www.gusgsm.com/flexografia

Este proceso imprime un color. Cada sistema de cilindros, plancha, y entintado es un cuerpo de rotativa capaz de imprimir un color. Para imprimir ocho colores hacen falta ocho cuerpos, aunque las variantes y posibilidades son muy numerosas.

2.3. Los solventes en el proceso de impresión de empaques flexibles

2.3.1. Generalidades

El solvente es un constituyente clave en las tintas. Su función principal es solubilizar las resinas, además de dar propiedades a la tinta como producto de impresión para el transporte de ésta al soporte.

Los solventes deben tener las siguientes propiedades:

- Una gran solubilidad de las resinas utilizadas para dar la adecuada viscosidad y fluidez.
- Una buena humectación del soporte.
- Durante el proceso de impresión no deben alterar las propiedades físicas ó químicas de clichés, camisas y anilox.
- Es necesario que los disolventes se eliminen por secado rápidamente, y sin quedarse retenidos en la película de tinta.
- La menor toxicología.
- Poder separarse por destilación y sin efectos negativos por incineración.
- Eliminarse de la resina
- Adaptarse a los requerimientos del usuario final

Los solventes más comunes utilizados para adelgazar o diluir las tintas para impresión flexográfica son los alcoholes y los esterres.

Alcoholes

- Etanol Anhidro al 99,9% de pureza.

- Isopropanol (habitualmente dentro de la nitrocelulosa, resina principal usada en la fabricación de tintas, como humectante)
- N- Propanol (Normal propanol)

Esteres

- Acetato de Etilo
- Acetato de Isopropilo
- Acetato de N-Propilo (solvente óptimo para limpieza)

Los solventes dentro de una tinta deben cumplir con:

- Disolver la resina presente en la tinta, para esto se utilizan los acetatos ya por sus propiedades son considerados como los disolventes verdaderos.
- Controlar la viscosidad de utilización en máquina, se consigue con el uso de los alcoholes que son considerados los diluyentes o codisolventes de la tinta.

Un solvente formulado para impresión flexográfica debe estar compuesto por una mezcla de acetato y alcohol. Generalmente la proporción de mezcla de éstos es de 80% en peso de alcohol más el 20% en peso de acetato.

La elección de unos solventes u otros en las formulaciones depende principalmente del coeficiente de evaporación de éstos. Entiéndase por coeficiente de evaporación a la relación que existe entre el volumen evaporado de éter etílico y el volumen evaporado de un solvente cualquiera en un tiempo determinado, ver Tabla 1.

Las razones del uso de un solvente no sólo están relacionadas con sus propiedades de solubilización de resinas ó aditivos sino también con sus propiedades en relación al proceso de impresión donde es importante controlar la velocidad de secado de las tintas para obtener imágenes bien definidas, por ello se habla de:

- Acelerantes (Bajo coeficiente de evaporación)
- Retardantes (Alto coeficiente de evaporación)

Tabla 1: Coeficientes de evaporación de solventes basados en la velocidad de evaporación de un volumen estandarizado de éter etílico

Solvente	Coefficiente de Evaporación
Éter etílico	1.0
Etanol	8.2
Isopropanol	9.5
N-propanol	16.5
N-butanol	33.0
Metoxi propanol (Dowanol PM)	23.0
Etoxipropanol	33.0
Acetato de Isopropilo	4.2
Acetato de N-propilo	6.3
Acetato de Etilo	2.8
Acetato de Butilo 98/100%	12.1
Acetato de Metil glicol	35.0
Acetato de Metoxi propilo (PMA)	43.0
Acetato de Etil glicol	46.0
Acetona	2.1
Metil etil cetona (MEK)	2.8
Diacetona alcohol	14.7
Tolueno	6.1

Fuente: Presentación PPT. Moreno, R. (2011). Jornadas Avanzadas de Flexografía

2.3.2. Uso de los solventes en el proceso de producción de Emusa Perú SAC

Los solventes son una de las principales materias primas que se utilizan para la conversión de empaques ya que poseen una incidencia económica relevante representando el 10 % del costo de la materia prima. Los solventes se emplean en dos subprocesos, impresión y limpieza.

Tabla 2: Temperatura de ebullición de los solventes

	Punto de Ebullición Normal (°C)
Acetatos o Esteres	
Acetato de Etilo	77
Acetato de Isopropilo	89
Acetato de N-Propilo	101.5
Acetato de Isobutilo	118
Acetato de N-Butilo	126
Alcoholes	
Alcohol Etilico o Etanol	78
Alcohol Isopropílico o Isopropanol	82
Alcohol N-Propílico o N-Propanol	97
Alcohol N-Butílico o Butanol	118

Fuente: Elaboración propia en base a datos recogidos de las Hojas Técnicas de Seguridad de los solventes

- En impresión, como diluyente de las tintas con las que se imprimen los films, constituyendo una mezcla con 80% de n-propil acetato y 20 % de solventes derivados de alcoholes.
- En limpieza, como solvente con el que se realiza la limpieza de todos los elementos utilizados en el proceso, partes de maquinas, accesorios y herramientas.

2.3.2.1. Subproceso de impresión

Los solventes llegan a la planta en cilindros y no son utilizados de manera directa, sino que se preparan mezclas de ellos en unos tanques especiales. Las mezclas están formuladas teniendo en cuenta el coeficiente de evaporación de los solventes ya que dependiendo del tipo de imagen que se va a imprimir se puede necesitar una mezcla que demore en evaporarse (mezcla retardada) o una que se

evapore rápidamente (mezcla acelerada). Por ejemplo, para la impresión de imágenes formadas por puntos muy finos y en degradé se necesita una mezcla retardada de manera que al imprimir los puntos, éstos demoren en secarse dando tiempo para que salgan bien definidos y formen una imagen limpia. En cambio si se trata de imprimir imágenes solidas, es decir aquellas que están formadas por un solo color y no por la superposición de puntos, es suficiente usar una mezcla acelerada.

Tabla 3: Composición de las mezclas de solventes para impresión

Solvente	Mezcla Retardada	Mezcla Acelerada
N-propil acetato (NPA)	20%	20%
N-propanol	60%	0%
Etanol	20%	80%
Coficiente de Evaporación	10.3	6.3

Fuente: Elaboración propia. Formulaciones desarrolladas por la empresa Emusa Perú SAC.

Las mezclas preparadas son distribuidas a los puntos de consumo dentro de la planta según las necesidades.

La calidad del solvente es crítica para el proceso, motivo por el cual se dispone de especificaciones técnicas que deben ser respetadas por los proveedores.

Balance de solvente en el subproceso de impresión:

$$\text{Solvente}_{\text{INGRESA}} = 0.9995 * \text{Solvente}_{\text{EVAPORADO}} + 0.0005 * \text{Solvente}_{\text{RETENIDO}}$$

Solvente retenido se refiere a aquél que no consigue ser evaporado durante el proceso y queda retenido en la estructura final.

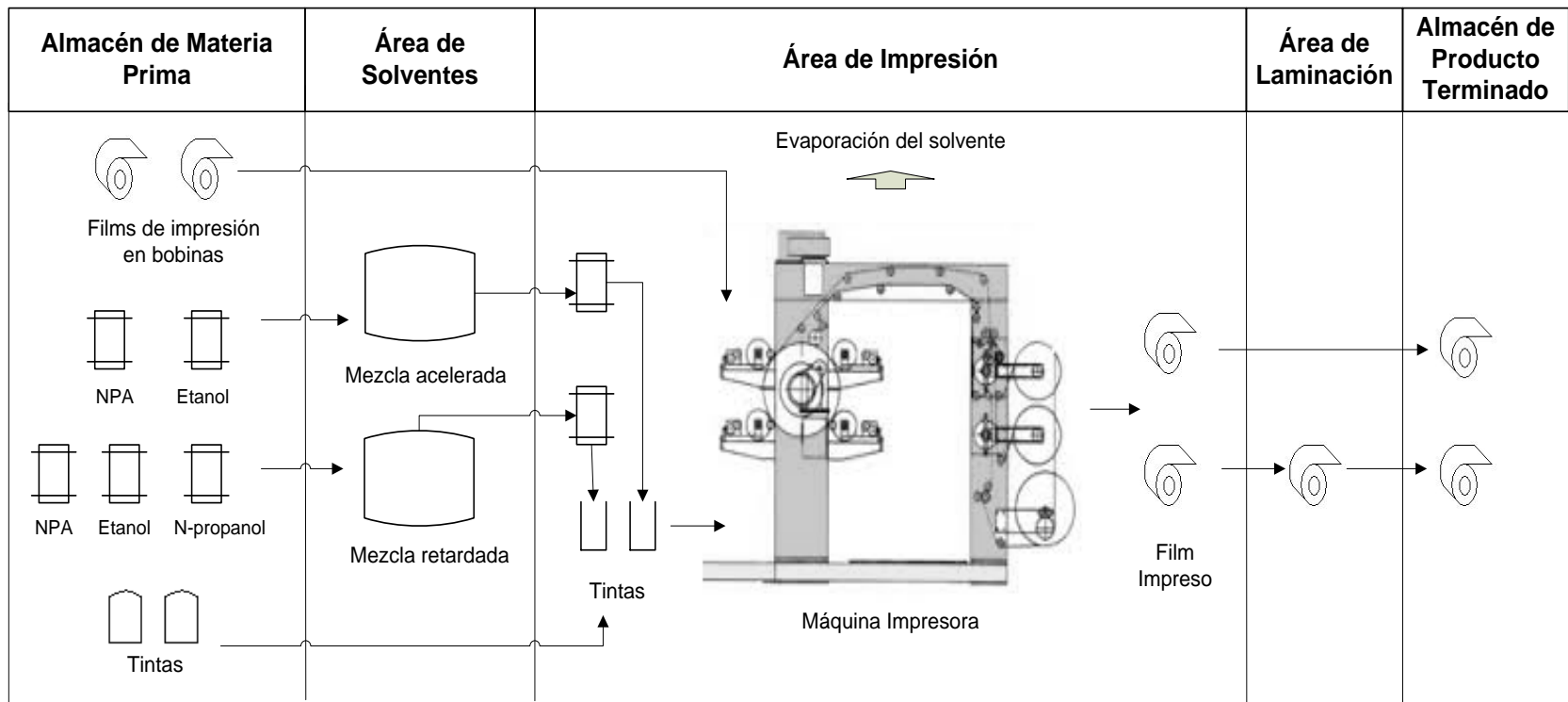


Figura 4: Equipos y flujo del proceso de impresión de films

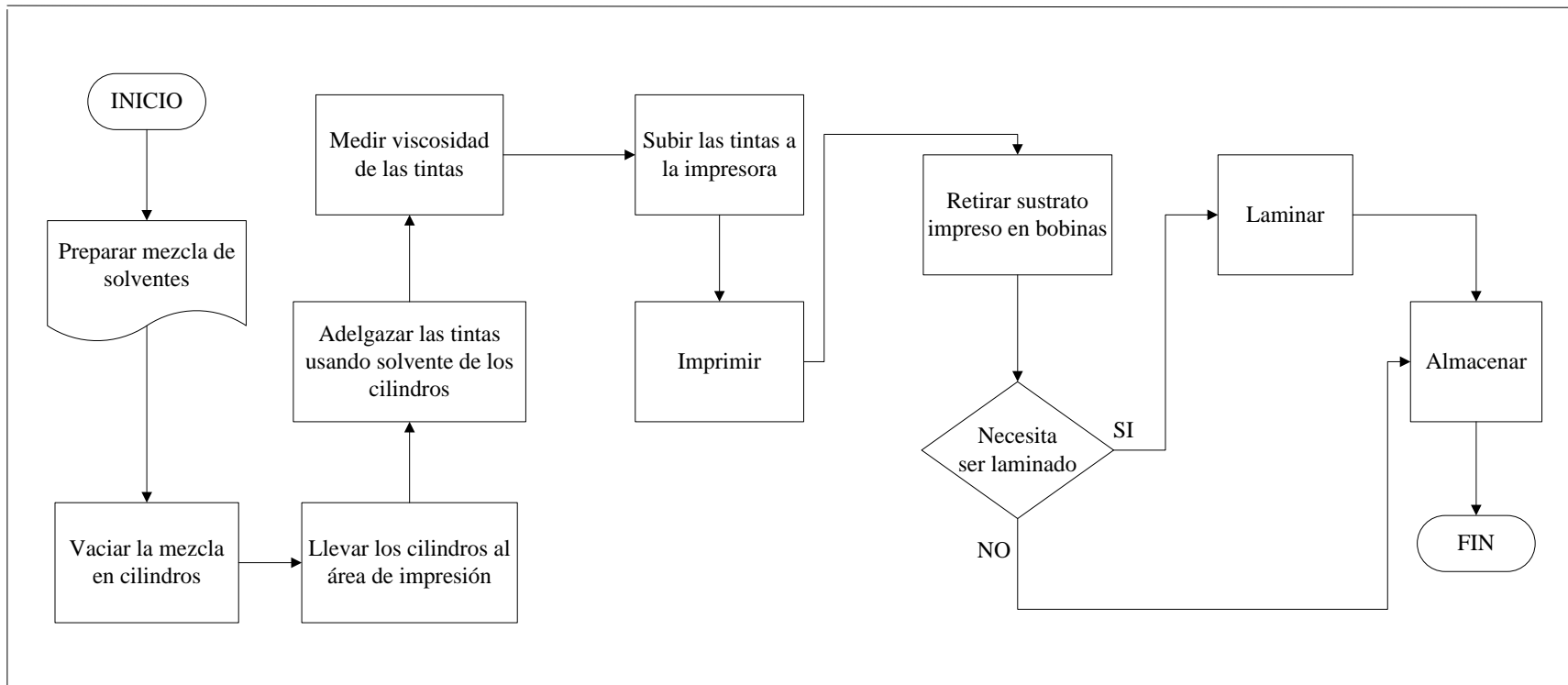


Figura 5: Diagrama de flujo del proceso de impresión de films

2.3.2.2 Subproceso de limpieza

El consumo de solvente para las tareas de limpieza representa el 19% del total de solvente virgen consumido. Para este subproceso también se utiliza una mezcla de solventes.

Tabla 4: Composición de la mezcla de solvente para limpieza

Solvente	Porcentajes en peso
N-propil acetato (NPA)	20%
Solvente recuperado	80%

Fuente: Elaboración propia. Formulación desarrollada por la empresa Emusa Perú SAC.

El solvente recuperado se refiere al solvente que ha pasado por un proceso de destilación para separarlo de los contaminantes que arrastra durante la limpieza de máquinas y accesorios. En las tablas 5 y 6 se detalla la composición del solvente recuperado tanto por Emusa Perú SAC como por un tercero.

Tabla 5: Composición promedio del solvente recuperado por un tercero

Solvente	Porcentaje en peso
N-propil acetato (NPA)	18%
N-propanol	13%
Etanol	67%
Otros	2%

Fuente: Elaboración propia. Promedio de resultados de análisis cromatográficos del solvente recuperado.

Las once impresoras instaladas se limpian con cada cambio de trabajo; para ello se retiran todas las partes que han estado en contacto con las tintas y se llevan al

área de lavado de accesorios. Es necesario además, hacer circular el solvente de limpieza por las partes internas de las máquinas impresoras de manera que arrastre todos los restos de tinta.

Tabla 6: Composición promedio del solvente recuperado por Emusa Perú

2010-2012	
Solventes	Porcentaje en peso
N-propil acetato (NPA)	39%
N-propanol	56%
Etanol	3%
Otros	2%

Fuente: Elaboración propia. Promedio de resultados de análisis cromatográficos del solvente recuperado.

En el lavadero se dispone de una máquina semiautomática para el lavado de accesorios, donde se realiza la limpieza por el efecto de una lluvia de solvente a presión sobre las piezas. El solvente permanece en el equipo de lavado hasta que por su calidad debe ser reemplazado por solvente limpio. El contenido de solvente para limpieza en los tanques de la lavadora, está en el orden de los 650 litros, y el tiempo aproximado entre recambios es de 24 horas. El solvente sucio producto del lavado de accesorios y de la limpieza interna de las impresoras por recirculación, es dispuesto tal como se indica en la tabla 7.

Siempre se genera un excedente de solvente sucio que no es necesario recuperar por lo que se comercializa con empresas autorizadas para el manejo de residuos peligrosos.

Para realizar las conversiones de galones a kilogramos se tuvo en cuenta las densidades de las mezclas de solventes medidas con un densitómetro de inmersión. Los valores obtenidos se muestran en la tabla 8.

Tabla 7: Disposición del solvente sucio generado 2010-2012

Año	Para recuperación interna	Para recuperación externa	Para venta como solvente sucio
2010	61%	23%	16%
2011	44%	40%	16%
2012	32%	52%	16%

Fuente: Elaboración propia en base a registros históricos de generación de solvente sucio en Emusa Perú SAC.

Tabla 8: Densidades de las mezclas de solventes

Mezcla	Densidades (g/cm³)
Solvente de limpieza	0.87
Solvente sucio	0.85
Solvente recuperado	0.86

Fuente: Elaboración propia

Balance de solvente en el proceso de limpieza:

$$\text{Solvente sucio generado} = 0.937 * \text{Solvente para limpieza} + 0.063 * \text{Sólidos arrastrados}$$

El 84% del solvente sucio generado es recuperado por destilación, de este porcentaje, hasta el 2012, sólo se recuperaba internamente en promedio el 43%, con un porcentaje de recuperación del 89%.

Balance de solvente en el proceso interno de recuperación:

$$\text{Solvente sucio generado} = 0.890 * \text{Solvente recuperado} + 0.110 * \text{Merma}$$

Merma se refiere a los residuos sólidos que son separados del solvente sucio durante su recuperación.

Tabla 9: Detalle de la generación del excedente de solvente sucio

Año	Recuperación de solvente sucio Eficiencia del proceso: 89%		Preparación de solvente para limpieza			Retorno de solvente sucio considerando que en el proceso de limpieza arrastra en promedio un 6.3% en peso de sólidos* (kg/día)	Solvente sucio generado en exceso		
	Solvente sucio (kg/día)	Solvente recuperado (kg/día)	(a) Solvente recuperado (kg/día)	(b) N-propil acetato (kg/día)	(a) + (b) Total (kg/día)		(kg/día)	(gal/día)	%
2010	1,191	1,060	1,060	265	1,325	1,414	223	69	16%
2011	1,266	1,127	1,127	282	1,408	1,503	237	74	16%
2012	1,333	1,186	1,186	297	1,483	1,583	250	78	16%

Fuente: Elaboración propia basado en registros históricos del control de solvente sucio en la empresa Emusa Perú SAC.

*El porcentaje de sólidos en peso del solvente sucio está calculado según Norma ASTM D-4713-92 (Reapproved 2007): Standard Test Methods for Nonvolatile Content of Heatset and Liquid Printing Ink Systems.

Tabla 10: Porcentajes de solvente recuperado por Emusa Perú SAC y por un tercero

Año	Solvente recuperado por Emusa		Solvente recuperado por un tercero	
	Galones	%	Galones	%
2010	60,972	52%	56,210	48%
2011	47,567	38%	77,028	62%
2012	50,689	39%	80,516	61%

Fuente: Elaboración propia basado en registros históricos de control de solvente recuperado en Emusa Perú SAC.

III. OPTIMIZACIÓN DEL PROCESO DE RECUPERACIÓN DE SOLVENTES

3.1 Estrategia de Mejora

Atendiendo la misión de la empresa Emusa Perú SAC de elaborar sus productos con calidad y eficiencia en costos, se trabajó bajo el principio de aprovechamiento eficiente de las materias primas, con el objetivo básico de mejorar el uso integral de los solventes, lo que implica:

- Aumentar su reciclaje, reaprovechando al máximo los materiales
- Dar la mejor disposición posible al solvente sucio generado.

El trabajo se realizó en coordinación directa con la jefatura del área de Tintas y Solventes, desarrollando actividades, evaluando y proponiendo alternativas en la medida que se detectaban las posibilidades de gestión, utilizando los servicios de terceros o con instalaciones propias repotenciadas.

3.2 Acciones para la mejora

Dado que el 84% del solvente sucio generado debe ser recuperado para cubrir las necesidades de la empresa, se empezó por analizar los costos involucrados en el proceso de recuperación y cuáles eran los factores que influían en éstos.

Tabla 11: Costos involucrados en la recuperación del solvente sucio

Año	Solvente recuperado por Emusa			Solvente recuperado por un tercero			(a) + (b) Costo total por recuperación de solvente (\$)
	galones	%	(a) Costo (\$)	galones	%	(b) Costo (\$)	
2010	60,972	52%	11,585	56,210	48%	119,727	131,312
2011	47,567	38%	9,989	77,028	62%	164,070	174,059
2012	50,689	39%	10,645	80,516	61%	171,499	182,144

Fuente: Elaboración propia en base a datos históricos de la empresa Emusa Perú

Tabla 12: Costo por recuperación de solvente (\$/gal)

Año	Emusa	Tercero
2010	0.19	2.13
2011	0.21	2.13
2012	0.21	2.13

Fuente: Elaboración propia basado en el registro de costos de la empresa Emusa Perú SAC

Como se observa en la Tabla 12, el costo por recuperación de un tercero, excede en promedio en un 93% al costo de recuperar internamente. Conocido esto, se empezó con el análisis del proceso de recuperación interna para ver la forma de repotenciarlo con el fin de aumentar su capacidad de producción.

3.2.1. Manejo del solvente sucio en Emusa Perú SAC

El solvente sucio generado en planta está formado por una mezcla de solventes con restos de pigmentos, resinas y grasas por lo que en este estado es considerado como un residuo del proceso. Este residuo es sometido a un proceso de destilación con la finalidad de obtener solvente recuperado capaz de ser reutilizado en la preparación de solvente para limpieza.

Tabla 13: Solvente recuperado por Emusa Perú SAC 2010-2012, Producción y Costos promedio

Capacidad de producción total (3 maquinas)	558 l/día
Flujo de recuperación	10.3 l/h
Porcentaje recuperado del total de solvente sucio generado	43%
Costo promedio de recuperación	895 \$/mes
Composición del solvente recuperado	Ver Tabla 6

Fuente: Elaboración propia basado en registros históricos de la empresa Emusa Perú SAC.

El solvente sucio que no puede ser recuperado internamente, se manda a recuperación por un tercero o se vende como residuos peligrosos a empresas especializadas en el tratamiento de los mismos.

En la figura 6 se presenta una imagen de las recuperadoras de solvente utilizadas por Emusa Perú SAC entre los años 2010-2012. En la figura 7 se muestra el proceso de recuperación de solventes en ese mismo periodo.



Figura 6: Recuperadora de solvente a presión atmosférica

Fuente: Página web, www.impq.com.mx

3.2.2. Primera propuesta de mejora

La primera propuesta fue comprar 1 máquina más similar a las que ya se tenía pero de mayor capacidad. Es decir que a partir de enero de 2013 se trabajaría con 4 máquinas recuperadoras, 3 antiguas, cuya producción en promedio era de 10.3 l/h y una nueva con producción de 55 l/h según datos técnicos proporcionados por el proveedor.

Para los cálculos de producción y costos se tuvo en cuenta que a inicios del 2013 se empezaría a trabajar con 3 impresoras más por lo que sería necesario una mayor cantidad de solvente recuperado.

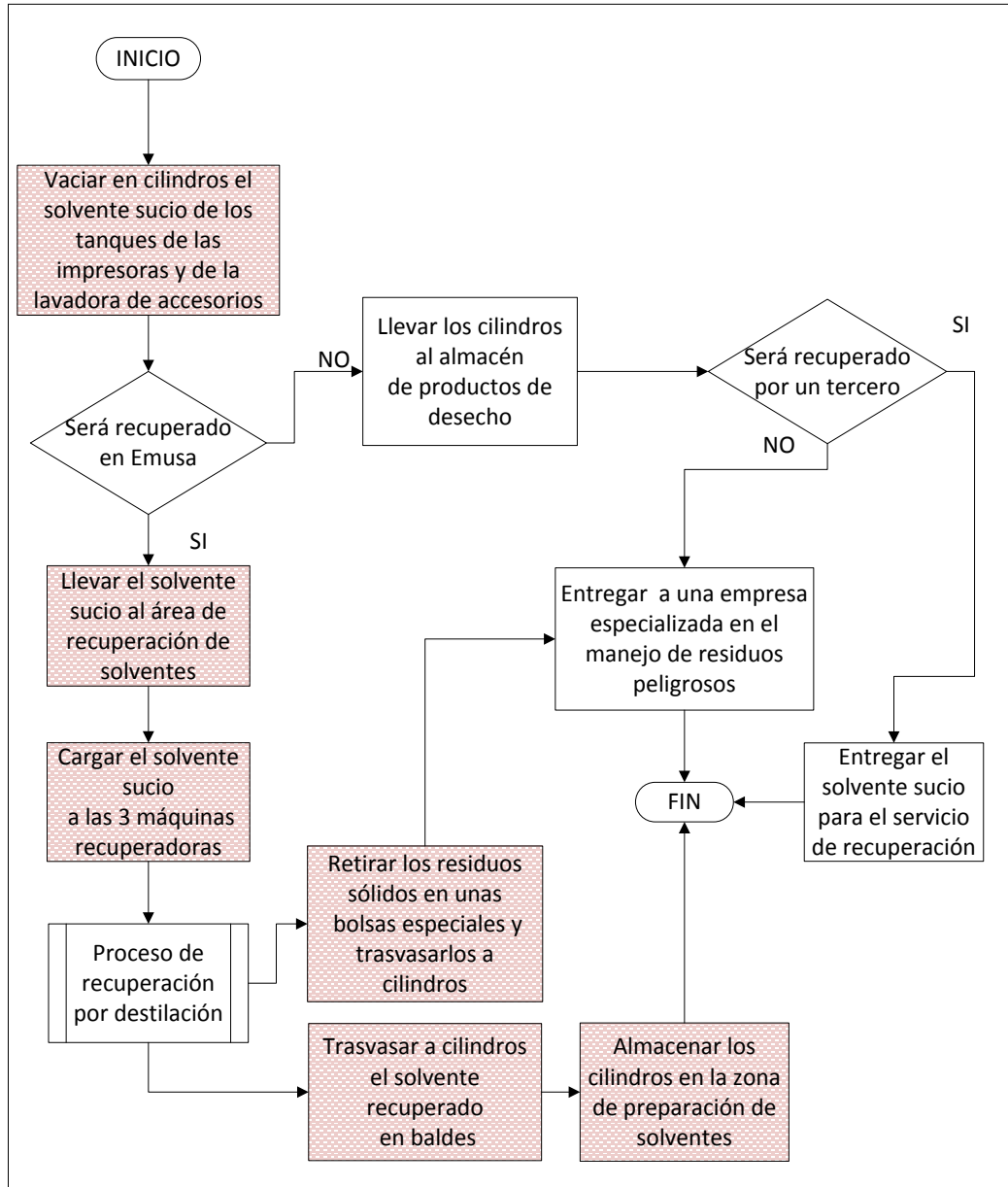


Figura 7: Diagrama de flujo del manejo del solvente sucio en Emusa Perú SAC.

Periodo 2010-2012

En la tabla 14 se muestra en resumen los cálculos realizados para la evaluación de esta propuesta.

Tabla 14: Producción y costos alcanzados con la primera propuesta de mejora

	Periodo 2010-2012	Proyección 2013-2014	Unidad
Solvente recuperado requerido por Emusa	1,307	1,977	l/día
Capacidad de producción de solvente recuperado	556	1,546	l/día
Duración del ciclo de recuperación	4.5	4.5	h
Flujo de recuperación promedio	10.3	21.5	l/h
Porcentaje cubierto del requerimiento de solvente recuperado	43%	78%	-
Costo promedio de recuperación Emusa (a)	926	3,064	\$/mes
Costo promedio de recuperación por un tercero (b)	12,675	7,270	\$/mes
Costo total por recuperación (a) + (b)	13,601	10,334	\$/mes
Composición del solvente recuperado	Tabla 6	Tabla 6	
Inversión	-	57,359	\$
Retorno de la inversión	-	18	meses

Fuente: Elaboración propia basado en registros históricos de la empresa Emusa Perú SAC.

Beneficios:

- Se recuperaría el 78% del total de solvente sucio generado, disminuyendo esto los costos aproximadamente en un 24%.

Puntos en contra:

- Para el manejo de 4 máquinas recuperadoras se necesitaría más personal y más espacio, éste último se torna crítico ya que la empresa está en continuo crecimiento y los espacios son cada vez más reducidos.
- Es necesario seguir trabajando con un tercero ya que no se logra cubrir el total del volumen de solvente recuperado requerido por la empresa.

3.2.3. Segunda propuesta de mejora

Durante el proceso de evaluación de posibles alternativas se encontró una propuesta interesante de una recuperadora de solventes mediante destilación al vacío. En principio esta alternativa fue tomada en cuenta principalmente porque se podrían destilar solventes con altos puntos de ebullición. Si bien es cierto esto no es necesario para el solvente sucio generado en los procesos de impresión y limpieza, sí es importante cuando hablamos de aquellos que se usan en el área de grabación de planchas, donde encontramos solventes pesados con puntos de ebullición hasta de 200°C.

Funcionamiento de la recuperadora de solventes por destilación al vacío:

El solvente sucio generado en las diversas áreas es cargado por bombeo a un tanque y de allí es transferido al evaporador gracias a la actuación de la bomba de vacío. Se deben fijar los parámetros de acuerdo al solvente que se está recuperando y controlar que estos permanezcan constantes durante el proceso. Terminado el ciclo de recuperación, los residuos sólidos son retirados por gravedad directamente a un cilindro contenedor el cual posteriormente es entregado a una empresa especializada en el tratamiento de residuos sólidos peligrosos. El destilado / solvente limpio fluye continuamente desde la unidad de destilación hasta el tanque lateral.

De adquirir este equipo, a partir de enero de 2013 se trabajaría sólo con esta destiladora ya que según datos técnicos proporcionados por el proveedor, con un flujo de 95 l/h sería capaz de cubrir las necesidades de solvente recuperado de la empresa.



Figura 8: Recuperadora de solvente al vacío

Fuente: Pagina web de la empresa OFRU Recycling

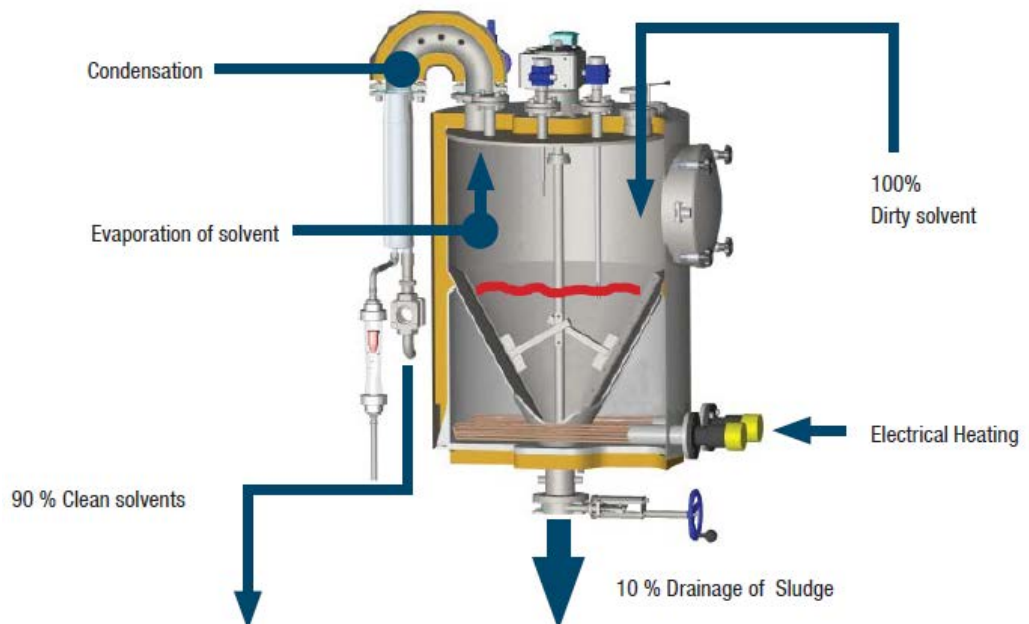


Figura 9: Parte interna de la recuperadora de solvente al vacío

Fuente: Pagina web de la empresa OFRU Recycling

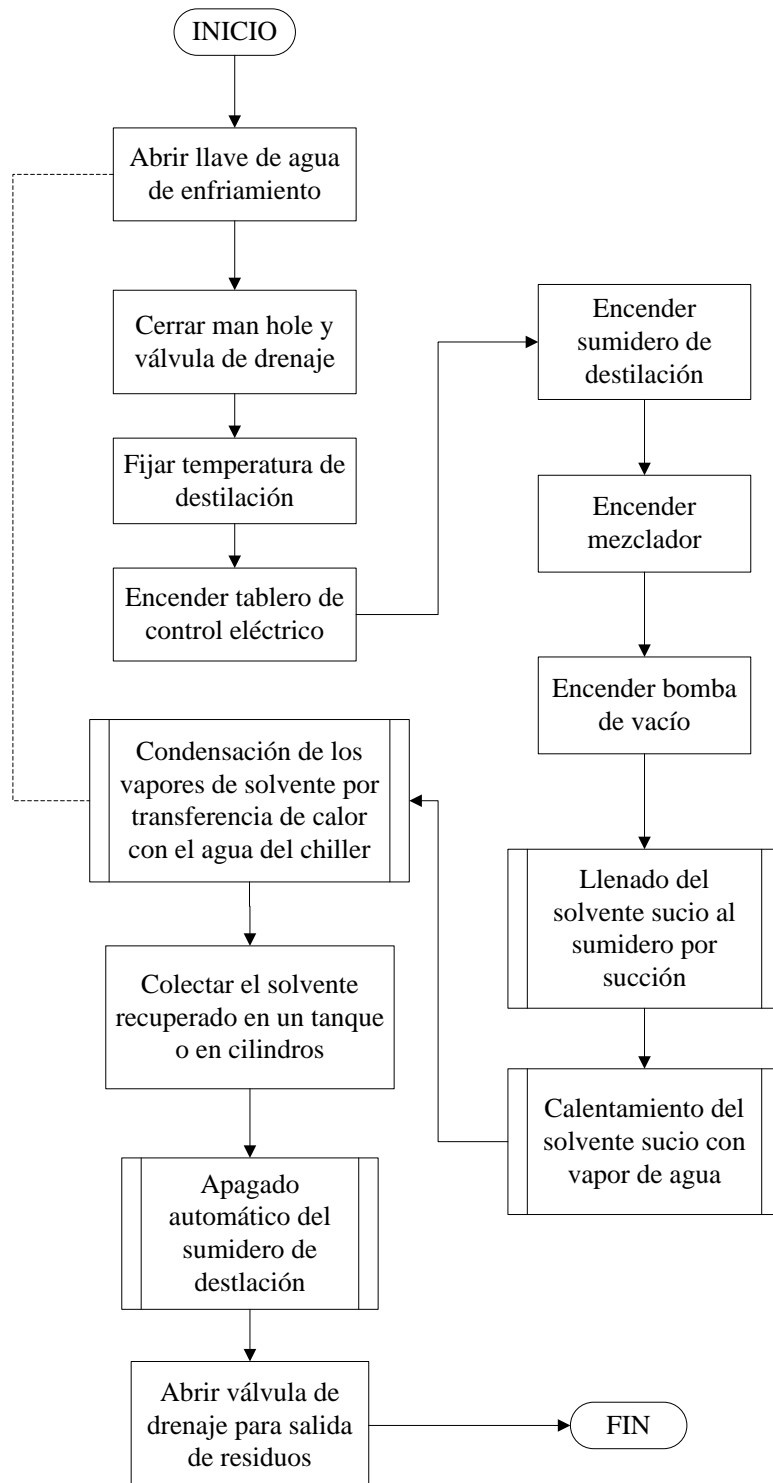


Figura 10: Diagrama de flujo del proceso de recuperación de solvente por destilación al vacío

Beneficios:

- Se recuperaría el total de solvente sucio generado, disminuyendo esto los costos hasta en un 61%.
- El excedente que se logre recuperar puede ser utilizado en el proceso de impresión siendo previamente compensado con solvente virgen.
- Se trabajaría con un solo equipo semi automatizado controlado por un PLC que reduciría de forma importante las horas/hombre, además de ser

Tabla 15: Producción y costos alcanzados con la segunda propuesta de mejora

	Periodo 2010-2012	Proyección 2013-2014	Unidad
Solvente recuperado requerido por Emusa	1,307	1,977	l/día
Capacidad de producción de solvente recuperado	556	2,090	l/día
Duración del ciclo de recuperación	4.5	5.5	h
Flujo de recuperación promedio	10.3	95.0	l/h
Porcentaje cubierto del requerimiento de solvente recuperado	43%	100%	
Costo promedio de recuperación Emusa (a)	926	5,301	\$/mes
Costo promedio de recuperación por un tercero (b)	12,675	0	\$/mes
Costo total por recuperación (a) + (b)	13,601	5,301	\$/mes
Composición del solvente recuperado	Tabla 6	-	
Inversión		105,321	\$
Retorno de la inversión		13	meses

Fuente: Elaboración propia basado en registros históricos de la empresa Emusa Perú SAC.

más seguro teniendo en cuenta que el trabajo con solventes industriales es considerado de alto riesgo.

Puntos en contra:

- El costo de recuperación por galón se incrementa de 0.21 \$/gal a 0.32 \$/gal debido principalmente al mayor consumo de energía.

Finalmente, luego de analizar las 2 propuestas presentadas se llegó a la conclusión de que ambas significaban una reducción en los costos de recuperación de solventes, sin embargo se optó por la segunda propuesta por ser la más rentable.

3.3 Beneficios alcanzados

La recuperadora de solvente por destilación al vacío se instaló en la planta a fines del año 2012 y partir de entonces se pudieron observar los beneficios reales de haber adquirido el equipo.

3.3.1. En cuanto al manejo del solvente sucio:

Haciendo la comparación entre el diagrama de flujo de la figura 7 y el de la figura 11, notaremos que las actividades en rojo han desaparecido o se han modificado dando paso a un proceso más eficiente y con ahorro de espacio y tiempo en horas/hombre.

3.3.2. En cuanto a costos:

3.3.2.1 Disminución del costo del solvente recuperado.

De acuerdo a la proyección hecha previa a la adquisición del equipo, el requerimiento de solvente recuperado para los procesos de planta, debía ser cubierto al 100% por el solvente recuperado por Emusa. Sin embargo como

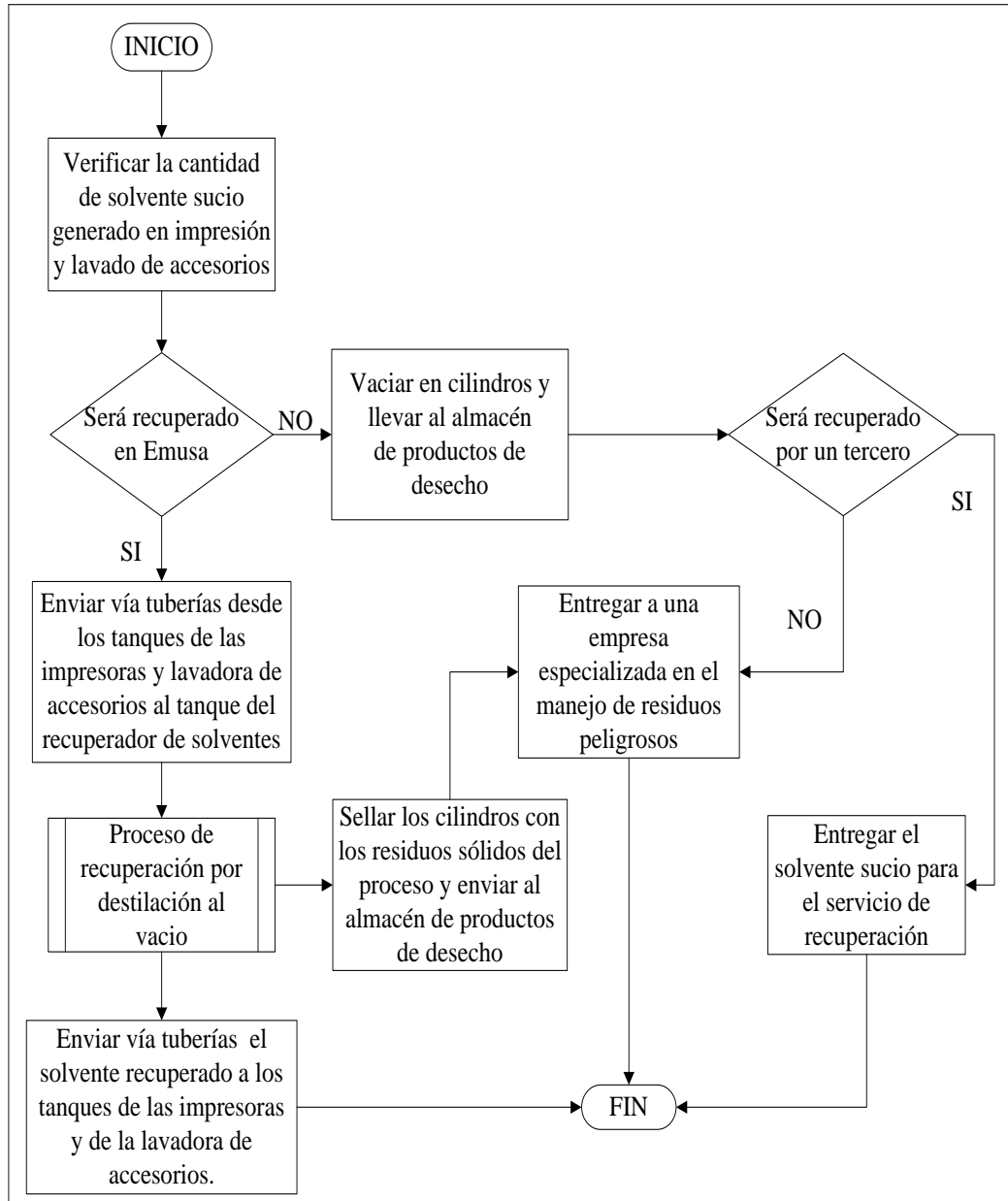


Figura 11: Diagrama de flujo del manejo del solvente sucio en Emusa Perú SAC.

Periodo 2013-2014

podemos apreciar en la Tabla 16, no se ha cumplido totalmente con esta proyección debido principalmente a los siguientes factores:

- En los últimos años, la tendencia de los clientes es variar constantemente el diseño de sus empaques, esto implica que los tirajes sean más cortos, es decir, que hayan más cambios de trabajo en máquina y recordemos que por cada cambio se debe limpiar la impresora con recirculación de solvente. Por ejemplo, si antes se producían 100,000 m² de un producto X con un solo diseño y no se paraba la impresora durante todo el tiraje, actualmente esa producción se divide en 40,000 m² del diseño A, 30,000 m² del diseño B y 50,000 m² del diseño C, esto implica que haya más consumo de solvente de limpieza debido a los cambios.
- Los empaques flexibles retortables están siendo utilizados como sustitutos de las latas e incluso de los tarros de vidrio. Estos empaques deben soportar temperaturas de hasta 130°C por lo que para su impresión se utiliza un tipo de tinta especial que no puede mezclarse con la tinta de uso común. Este hecho implica que debe limpiarse la maquina internamente antes y después de realizado un trabajo de este tipo.
- Está remplazando al n-propil acetato virgen en la preparación de solvente para limpieza.

Aún así se ve una disminución de 39% en los costos.

La capacidad de producción proyectada fue de 95 l/h, sin embargo hasta junio de 2014 se ha tenido una producción promedio de 98 l/h, con picos de 120 l/h si se trabaja a mayor temperatura, es decir que se puede incrementar la capacidad de producción del recuperador.

Tabla 16: Producción y costos reales tras la instalación del destilador de solvente al vacío

	Periodo 2010-2012	Periodo 2013-2014	Unidad
Solvente recuperado requerido por Emusa	1,307	2,325	l/día
Capacidad de producción de solvente recuperado	556	2,156	l/día
Flujo de recuperación promedio	10.3	98.0	l/h
Porcentaje cubierto del requerimiento de solvente recuperado	43%	93%	
Costo promedio de recuperación por Emusa (a)	926	5,468	\$/mes
Costo promedio de recuperación por un tercero (b)	12,675	2,850	\$/mes
Costo total por recuperación (a) + (b)	13,601	8,318	\$/mes
Composición del solvente recuperado	Tabla 6	Tabla 17	
Inversión		105,321	\$
Retorno de la inversión		20	meses

Fuente: Elaboración propia basado en registros históricos de la empresa Emusa Perú SAC.

3.3.2.2 Disminución del costo del solvente preparado para limpieza

Como se ha explicado en el capítulo anterior, el solvente que mejor remueve la tinta de las superficies es el n-propil acetato (NPA), por ello es necesario que esté presente en un porcentaje mínimo del 40% en el solvente preparado para limpieza. El solvente recuperado por un tercero, tiene en su composición el 18% de NPA, mientras que el recuperado por Emusa entre los años 2010-2012, tenía un 39% de NPA en su composición. Con esta calidad de solvente recuperado, la preparación

del solvente para limpieza se hacía como se describe en la tabla 17, de esta manera se tenía el 43% de NPA en el solvente para limpieza.

Tabla 17: Composición del solvente preparado para limpieza

Periodo: 2010-2012

Solvente preparado para limpieza	NPA	43%	47%	Solvente virgen
			53%	Proviene del solvente recuperado
	Otros componentes del solvente recuperado	57%		

Fuente: Elaboración propia basado en registros históricos de la empresa Emusa Perú SAC.

El solvente recuperado que entrega el equipo adquirido, está compuesto en promedio de un 57% de n-propil acetato. Este número puede variar dependiendo de las condiciones de recuperación, sin embargo de acuerdo a varias mediciones que se han hecho, no cae a menos del 40%. En otras palabras, el solvente recuperado puede usarse para limpieza sin necesidad de ser reforzado con n-propil acetato virgen como se hacía anteriormente.

Tabla 18: Composición promedio del solvente recuperado por Emusa Perú

2013-2014

Solvente	Porcentaje en peso
N-propil acetato (NPA)	57%
N-propanol	20%
Etanol	22%
Otros	1%

Fuente: Elaboración propia. Promedio de resultados de análisis cromatográficos del solvente recuperado

Es deducible que esto representa una disminución considerable en el consumo de n-propil acetato.

Tabla 19: Índices de consumo y costos del n-propil acetato

Año	kg de NPA consumidos/ 1000 m ² impresos	Precio NPA (\$/kg)	\$/1000 m ² impresos
2010	1.2	1.46	1.8
2011	1.1	1.71	1.8
2012	1.0	1.56	1.6
2013	0.9	1.65	1.5
2014	0.7	1.62	1.2

Fuente: Elaboración propia en base a registros históricos de la empresa Emusa Perú SAC.

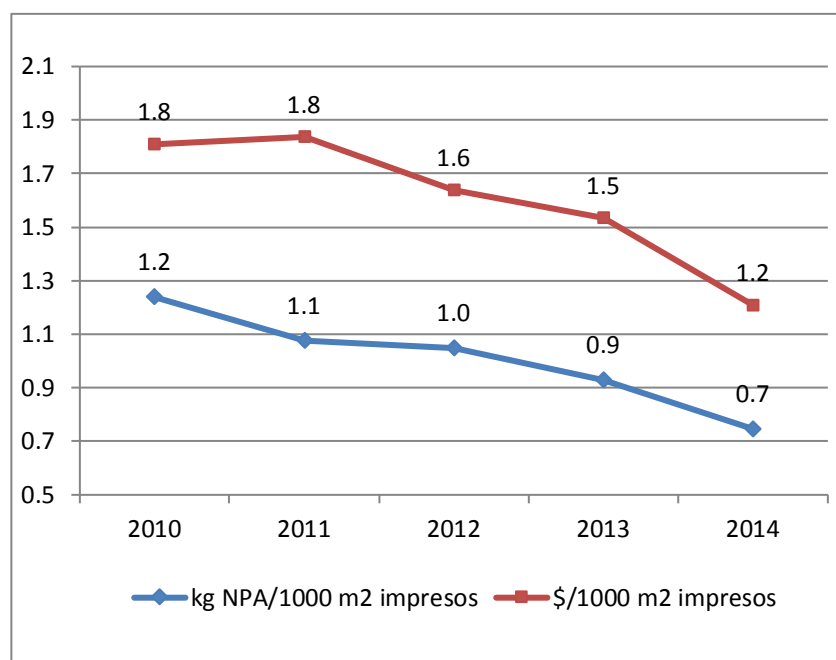


Figura 12: Variación del consumo y costos del n-propil acetato

Tabla 20: Costos de recuperación de solvente sucio. Periodo: Enero 2010 – Junio 2014

Año	Solvente recuperado por Emusa			Solvente recuperado por un tercero			Costo promedio ponderado del solvente recuperado (\$/gal)
	gal	Costo de recuperación (\$)	% de total de solvente recuperado	gal	Costo de recuperación (\$)	% de total de solvente recuperado	
2010	60,972	11,585	52%	56,210	119,727	48%	1.12
2011	47,567	9,989	38%	77,028	164,069	62%	1.40
2012	50,689	10,645	39%	80,516	171,499	61%	1.39
2013	205,774	65,848	93%	14,670	31,247	7%	0.44
2014	102,370	32,758	92%	8,525	18,158	8%	0.46

Fuente: Elaboración propia en base registros históricos de la empresa Emusa Perú SAC.

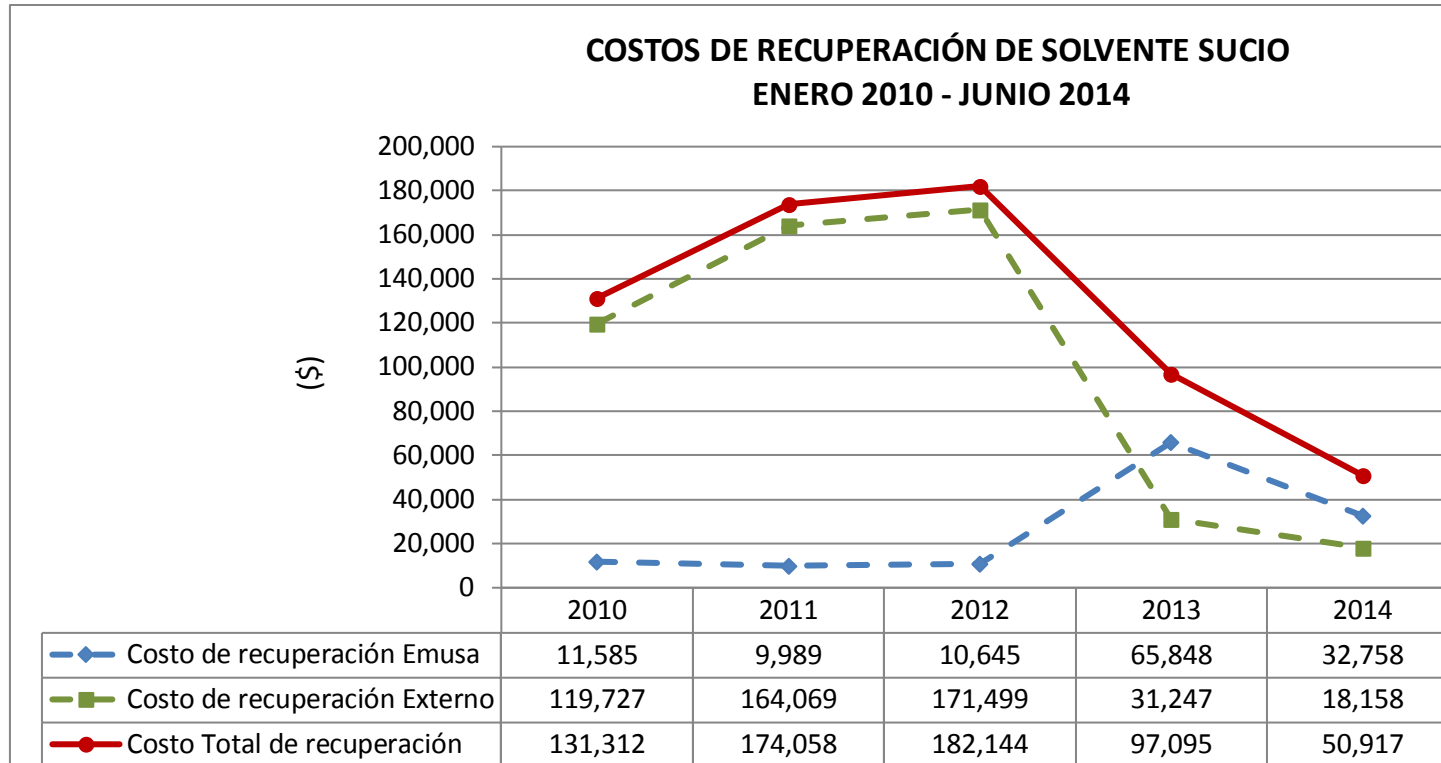


Figura13: Variación del costo de recuperación de solvente sucio. Periodo: Enero 2010 – Junio 2014

3.3.2.3 Disminución del consumo de solvente virgen en general

La disminución en el consumo de n-propil acetato y el uso de solvente recuperado para el proceso de impresión gracias a su óptima calidad, ha impactado también en el costo total por consumo de solvente virgen.

En el 2013 y lo que va del 2014, se ha tenido un ahorro de 0.01\$/kg. Considerando que la producción promedio de Emusa Perú SAC es de 8,000 t/año, estamos hablando de un ahorro de 80,000 \$/año.

Tabla 21: Índices de consumo y costos del solvente virgen

Año	kg de solvente virgen/ 1000 m² impresos	Precio promedio ponderado del solvente virgen (\$/kg)	\$/1000 m² impresos	\$/Kg de material impreso
2010	4.84	1.44	4.91	0.14
2011	3.55	1.64	5.88	0.17
2012	3.51	1.59	5.53	0.16
2013	3.44	1.56	5.39	0.15
2014	3.29	1.57	5.17	0.15

Fuente: Elaboración propia en base a registros históricos de la empresa Emusa Perú SAC.

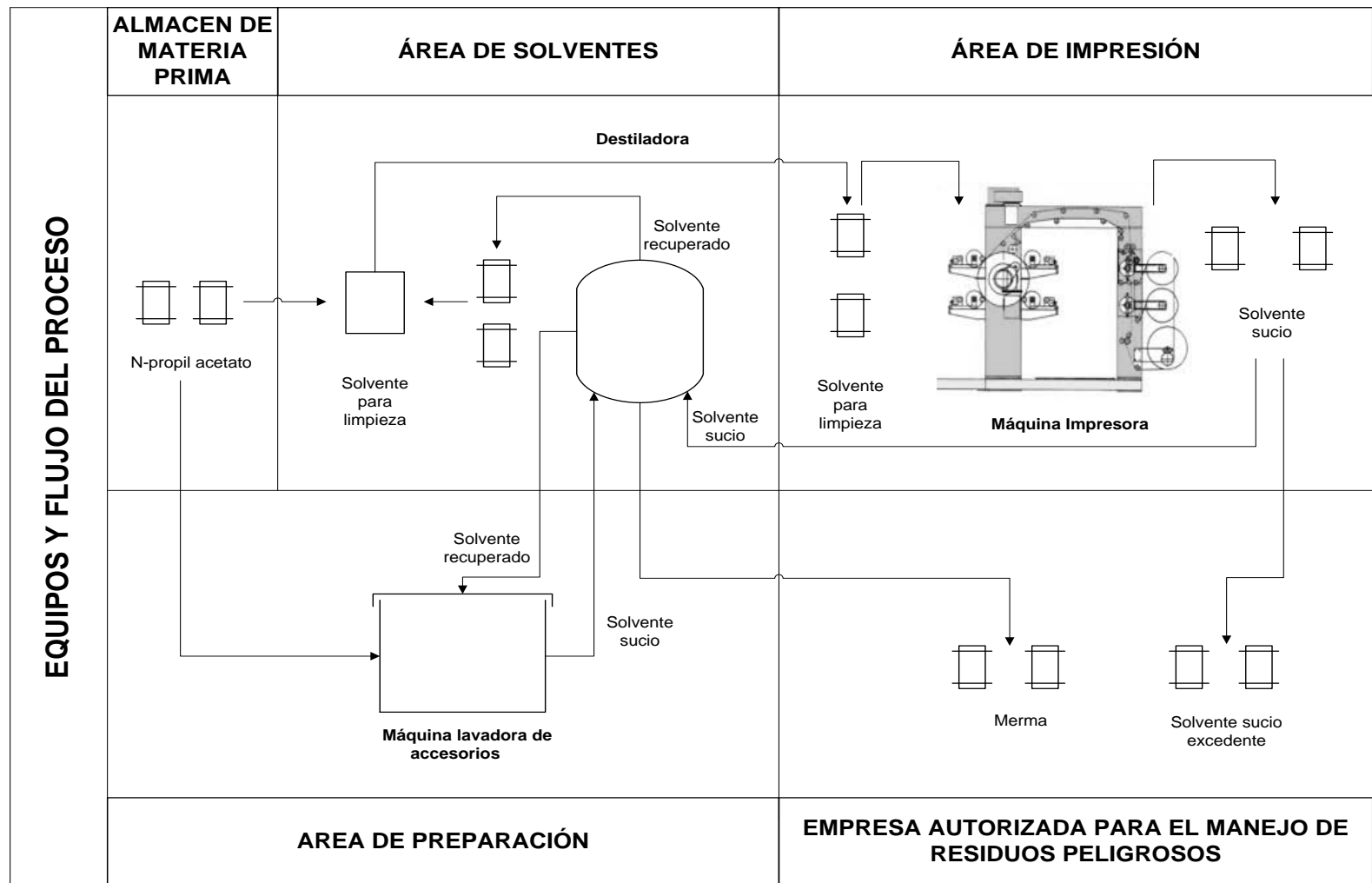


Figura 14: Proceso actual de generación y recuperación de solvente sucio

IV. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1 Conclusiones

1. La implementación y puesta en marcha del equipo sugerido en la segunda propuesta de optimización, está generando ahorros significativos en los costos de obtención de solvente recuperado por un monto promedio de 65,000 \$/año.
2. En cuanto al consumo del solvente virgen en general, también se nota una importante disminución en costos, incluso llegando a ahorrar en los 2 últimos años 80,000 \$/año.
3. El proceso de recuperación de solventes se ha semiautomatizado con la adquisición del recuperador por destilación al vacío, se han reducido drásticamente las horas/hombre debido a tareas que se han eliminado u optimizado.

4.2 Recomendaciones

1. Se sugiere continuar con el análisis del proceso actual ya que se han detectado posibilidades de mejora.
2. Continuar con las evaluaciones cromatografías del solvente recuperado obtenido para certificar y mejorar, mediante variaciones en las condiciones de recuperación, la calidad del solvente obtenido a fin de poder usarlo en mayor porcentaje en el proceso de impresión.

V. BIBLIOGRAFÍA

1. Bodwell, R. y Scharfenberg J. (2012). La Industria del Empaque Hoy. El Avance de la Flexografía, pp. 9-10. Disponible en: http://www2.dupont.com/Packaging_Graphics/es_MX/assets/downloads/pdf/latin_america/AdvFlexo_Brochure_ES.pdf
2. Calvo, J. (2011). “Pinturas y Recubrimientos”. Recuperado de: http://books.google.com.pe/books?id=yiljHIDqIyMC&printsec=frontcover&source=gbs_ge_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false
3. Centro de Envases y Embalajes. (2014). Especial Packaging. El Journal del Packaging de Chile, 45 (5). Recuperado de: <http://www.cenem.cl/newsletter.php>
4. De las Salas, P., Mendoza M. y Vásquez Y. (2009). “Selección de un sistema de destilación para la recuperación de solventes de impresión flexográfica para Polyban Internacional S.A.”. [Trabajo de Grado]. Universidad de San Buenaventura, Cartagena, Colombia. Recuperado de: <http://letravirtual.usbctg.edu.co/index.php/ingeniator/search/titles?searchPage=4>
5. Guía para el control y prevención de la contaminación industrial. Recuperación de Solventes (1999). Santiago de Chile: Comisión Nacional del Medio Ambiente - Región Metropolitana. Disponible en: http://www.respel.cl/ResiduosPeligrosos/documentos_respel/RECUPERACION%20DE%20SOLVENTES%20respel.pdf
6. Impulsora Mexicana de Productos Químicos SA. (2014). Venta de máquinas destiladoras, reciclaje de solventes gastados. Recuperado de: <http://www.impq.com.mx/destiladores/maquinas-destiladoras/k30/>

7. Masschelein-Kleiner, L. (2004). "Los Solventes". Recuperado de:
<http://dglab.cult.gva.es/Archivos/Pdf/DIBAMsolventes.pdf>
8. Moreno, R. (2011). Jornadas Avanzadas de Flexografía 4.0. Brasil: Montenegro. 142 diapositivas.
9. OFRU Recycling. (2014). Productos. Recuperado de:
<http://www.ofru.com/en/products/solvent-recycling/series-asc.html>
10. Smithers Pira, (2014). Flexible Packaging Market Reports. Recuperado de:
<http://www.smitherspira.com/products/market-reports/packaging/flexible-packaging>
11. Sánchez, G. (4 de julio 2014). Imagen Digital. Apuntes sobre diseño y artes gráficas. [Artículo de Blog]. Disponible en: www.gusgsm.com/flexografia