



**PROPUESTA DE GESTIÓN DE RESIDUOS LÍQUIDOS INDUSTRIALES DE UNA EMPRESA DE
PINTURA Y REVESTIMIENTOS**

GINA LEIDY LÓPEZ PAREDES

**UNIVERSIDAD DEL VALLE
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA DE RECURSOS NATURALES Y DEL AMBIENTE
INGENIERÍA SANITARIA Y AMBIENTAL
SANTIAGO DE CALI
2015**



**PROPUESTA DE GESTIÓN DE RESIDUOS LÍQUIDOS INDUSTRIALES DE UNA EMPRESA DE
PINTURA Y REVESTIMIENTOS**

GINA LEIDY LÓPEZ PAREDES

**Trabajo de Grado presentado como requisito para optar al título de Ingeniera Sanitaria y
Ambiental**

Directora: Ing. INÉS RESTREPO TARQUINO

**UNIVERSIDAD DEL VALLE
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA DE RECURSOS NATURALES Y DEL AMBIENTE
INGENIERÍA SANITARIA Y AMBIENTAL
SANTIAGO DE CALI
2015**

*A Dios, mis hermanos, mis abuelos y mis padres,
por ser mi motivación para superarme
y alcanzar mis sueños.*

AGRADECIMIENTOS

Mi mayor agradecimiento es para Dios por guiarme, llenarme de fortaleza y sabiduría en la realización de este trabajo.

A mis padres, Sonia y Francisco, por su paciencia, amor y apoyo incondicional.

A mi directora de trabajo de grado Inés Restrepo Tarquino por su acompañamiento y apoyo.

A la empresa que me proporcionó la información necesaria para la realización de este trabajo, en especial al jefe de producción, por dedicar su tiempo y aportar su conocimiento.

A la Universidad del Valle y a mis profesores por la formación y los conocimientos aportados.

CONTENIDO

	pág.
RESUMEN.....	x
1 INTRODUCCIÓN.....	11
2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	12
3 ANTECEDENTES.....	13
4 JUSTIFICACIÓN.....	14
5 MARCO TEORICO	15
5.1 Pinturas como producto industrial.....	15
5.2 Resinas.....	16
5.2.1 Resinas poliéster	16
5.2.2 Resinas alquídicas.....	16
5.3 Destilación	17
5.4 Torre de enfriamiento	17
5.5 Factores, aspectos e impactos ambientales	19
5.5.1 Factores ambientales	19
5.5.2 Aspecto ambiental	19
5.5.3 Impacto ambiental	19
5.6 Contaminación del suelo	19
5.7 Algunos procesos empleados en los tratamientos de agua residual industrial	20
5.7.1 Tratamientos biológicos.....	20
5.7.2 Reactivo de Fenton:.....	20
5.7.3 Electrocoagulación	21
5.7.4 Coagulación-floculación.....	23

6	OBJETIVOS.....	24
6.1	General.....	24
6.2	Específicos	24
7	METODOLOGIA	25
7.1	Revisión ambiental inicial	25
7.2	Evaluación del uso del agua en los procesos productivos.....	25
7.3	Opciones de manejo o tratamiento de los residuos líquidos industriales.....	26
7.4	Residuos líquidos potencialmente recuperables y/o reutilizables	26
8	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	27
8.1	Revisión ambiental inicial	27
8.1.1	Actividades y procesos productivos de la empresa	27
8.1.1.1	Recepción y almacenamiento de materia prima.	27
8.1.1.2	Proceso de producción de resinas.....	28
8.1.1.3	Agua de enfriamiento.....	30
8.1.1.4	Destilación en la fabricación de resinas y solventes	31
8.1.1.5	Proceso de producción de pastas poliéster y alquídicas	33
8.1.1.6	Producción de pinturas y otros revestimientos	33
8.1.1.7	Otras actividades	35
8.1.1.8	Almacenamiento de producto terminado	35
8.1.2	Identificación de aspectos ambientales	35
8.1.2.1	Consumos en los procesos productivos	35
8.1.2.2	Generación de residuos en los procesos productivos	37
8.2	Evaluación del uso del agua en los procesos productivos.....	47

8.2.1	Uso del agua en el laboratorio, la molienda y el lavado de tanques de fabricación de pinturas a base de agua	47
8.2.2	Agua de reposición	48
8.3	Opciones de manejo o tratamiento de los residuos líquidos industriales.....	51
8.3.1	Volúmenes de agua residual generados en la fabricación de resinas	51
8.3.2	Componentes de las aguas residuales generadas en la fabricación de resinas y pinturas a base de agua	53
8.3.3	Alternativas de tratamiento de aguas residuales generadas en la fabricación de resinas y pinturas a base de agua	55
8.3.4	Propuesta de tratamiento de los residuos líquidos industriales	67
8.4	Residuos líquidos potencialmente recuperables o reutilizables	71
9	CONCLUSIONES	78
10	RECOMENDACIONES	80
11	REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.....	83
	ANEXOS.....	90

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Consumo de agua en los procesos productivos	36
Tabla 2. Consumo de agua en la descarga de los sanitarios	36
Tabla 3. Equipos que consumen energía eléctrica en la empresa	37
Tabla 4. Residuos sólidos generados en la empresa	37
Tabla 5. Agua residual industrial generada en la fabricación de resinas	38
Tabla 6. Agua residual generada en el laboratorio y el lavado de tanques de fabricación de pinturas a base de agua	39
Tabla 7. Equipos que generan ruido en la empresa	39
Tabla 8. Jerarquización de aspectos ambientales	41
Tabla 9. Normatividad ambiental aplicable a la empresa	44
Tabla 10. Volúmenes de destilado líquido de cada resina registrados de enero a junio de 2015.....	51
Tabla 11. Volumen total mensual de agua destilada en los procesos de fabricación de resinas.....	52
Tabla 12. Volúmenes promedio y totales de destilado líquido y frecuencia de fabricación de cada resina.....	52
Tabla 13. Materias primas y temperaturas del proceso de destilación de cada resina	54
Tabla 14. Condiciones de proceso y resultados bajo condiciones óptimas en diferentes alternativas de tratamiento de aguas residuales de fabricación de resinas y pinturas a base de agua	59
Tabla 15. Parámetros de calidad del agua residual de fabricación de resinas antes y después del tratamiento.....	73
Tabla 16. Parámetros de calidad de la pintura a base de agua fabricada con agua residual.....	73
Tabla 17. Características del agua residual cruda y tratada mediante coagulación, floculación y microfiltración	76

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Torre de enfriamiento con ventilación mecánica de tiro forzado.....	18
Figura 2. Reactores para electrocoagulación tipo bach con electrodos en paralelo (a) o serie (b)....	22
Figura 3. Proceso de fabricación de resinas con sus respectivas entradas de materia prima y salidas de residuos	29
Figura 4. Esquema del suministro de agua de pozo.....	30
Figura 5. Destilación en el proceso de fabricación de resinas	32
Figura 6. Destilación en la fabricación de acetato de amilo.....	32
Figura 7. Proceso de fabricación de pastas con sus respectivas entradas de materias primas e insumos y salidas de residuos	34
Figura 8. Proceso de fabricación de pinturas y otros revestimientos con sus respectivas entradas de materias primas e insumos y salidas de residuos.....	34
Figura 9. Tratamiento de agua residual generada en la fabricación de resinas y pinturas a base de agua mediante coagulación, floculación y sedimentación	70

RESUMEN

En una empresa productora de pinturas y otros revestimientos, se identificaron alternativas de tratamiento, reutilización y disposición de las aguas residuales generadas en la fabricación de resinas y el lavado de tanques de fabricación de pinturas a base de agua. Se realizó una revisión ambiental inicial, una evaluación del uso del agua en los procesos productivos, se calcularon las cantidades de agua residual producida y se identificaron los componentes de las mismas. Se revisaron experiencias de tratamientos y reutilización de este tipo de aguas residuales, llevadas a cabo a escala de laboratorio y escala real.

La revisión ambiental inicial mostró que el vertimiento de agua residual industrial es el aspecto ambiental significativo más negativo y afecta negativamente el suelo utilizado como cuerpo receptor. Se encontró que en el lavado de tanques de fabricación de pinturas a base de agua, la molienda y el laboratorio, el uso del agua es adecuado y no es factible reducir el consumo, mientras que en la torre de enfriamiento empleada en los procesos de fabricación de resinas puede reducirse el consumo evitando las pérdidas de agua por fugas. En la fabricación de resinas se genera entre 5.100 y 7.225 L de aguas residuales por mes, mientras que en el lavado de tanques de fabricación de pinturas a base de agua y el laboratorio se generan 100 y 1.362 L/mes respectivamente. Estas aguas residuales industriales presentan gran variedad de contaminantes, muchos de ellos tóxicos. Un tratamiento biológico puede no resultar viable para este tipo de aguas residuales, mientras que tratamientos como la electrocoagulación o coagulación-floculación, de acuerdo con las experiencias, resultaron más prometedores. Las experiencias también mostraron que tanto las aguas residuales generadas en la fabricación de resinas, como en el lavado de tanques de fabricación de pinturas a base de agua, pueden ser reutilizadas para la elaboración de pinturas a base de agua.

Se concluyó que para el tratamiento de las aguas residuales industriales de esta empresa se requiere un sistema con reactores de operación discontinua, empleando un tratamiento fisicoquímico y tratando las aguas residuales como dos corrientes separadas. Además, es necesaria la caracterización de estas aguas y un estudio de viabilidad económica y aspectos técnicos de cada alternativa de tratamiento.

Palabras claves: Agua residual industrial, pinturas, resinas, electrocoagulación, coagulación-floculación, reutilización.

1 INTRODUCCIÓN

La industria de pinturas y revestimientos tiene una importante presencia en la vida diaria, debido a que se encuentra implícita en casi todos los objetos usados y los espacios habitados por hogares, empresas e instituciones (Proexport Colombia, 2011). En Colombia, las industrias de pinturas en su mayoría, se encuentran ubicadas en departamentos como Cundinamarca, Antioquia, Atlántico y Valle del Cauca. Para la elaboración de una amplia gama de productos, entre ellos pinturas a base de agua o solvente, lacas, barnices, masillas, esmaltes y resinas requeridas como materia prima para las pinturas (Intec-Chle, 2000), estas industrias utilizan cientos de materias primas y generan agua residual, residuos sólidos y contaminantes del aire (Dursun y Sengul, 2006). Los residuos líquidos industriales provenientes de este tipo de industrias, pueden contener residuos peligrosos que llegan a ser tóxicos para el ambiente (Gondal y Hussain, 2007) si se hacen vertimientos sin previo tratamiento, pudiendo contaminar los recursos suelo y agua, afectando los seres vivos que en ellos habitan. Consciente de la contaminación que genera en el ambiente, una pequeña empresa dedicada a la producción de pinturas y revestimientos, ubicada en la recta Cali-Palmira en el Valle del Cauca, tiene el interés de realizar una adecuada gestión de sus residuos líquidos industriales, por tal motivo, este documento presenta una propuesta de trabajo de grado para buscar alternativas al manejo de los residuos líquidos de la industria de pinturas y revestimientos mencionada. Inicialmente, se presenta el planteamiento del problema, los antecedentes y la justificación, seguidamente, el marco teórico, los objetivos, la metodología, resultados y discusión, conclusiones y recomendaciones.

2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La empresa de pinturas y revestimientos, en la que se basa este trabajo, se dedica a la producción de resinas, pinturas, masillas, anticorrosivos, lacas, entre otros productos y se encuentra ubicada sobre la recta Cali-Palmira en el Valle del Cauca, en un corregimiento considerado como área de actividad especializada Industrial Mixta (Concejo Municipal de Palmira, 2001). Dicha área tiene alrededor de 300 empresas industriales y comerciales, dedicadas a actividades como la metalmecánica, la construcción y la producción de papeles, alimentos para animales, baterías, abonos, químicos y pinturas (El País, 2011), y no cuenta con sistema de alcantarillado para la evacuación de las aguas residuales generadas en estas empresas. Adicionalmente, la fuente de agua superficial más cercana a la empresa bajo estudio, es el río Cauca que se encuentra a 1.036 m de su entrada principal. Debido a lo anterior, la empresa realiza el vertimiento de sus residuos líquidos industriales al suelo. Dichos residuos líquidos provenientes del lavado de tanques de fabricación de pinturas a base de agua y del proceso de destilación realizado en la fabricación de resinas y solventes, trasladan al suelo los residuos químicos que contienen y que provienen de las materias primas empleadas en la elaboración de esos productos. Esta situación ocurre porque el agua residual industrial se vierte sin realizársele un tratamiento previo, ya que la industria no cuenta con una planta de tratamiento de agua residual industrial y aunque adopta algunas medidas para evitar el vertimiento de algunos residuos líquidos altamente contaminantes, la prevención de la contaminación solo es posible si se definen técnicas apropiadas de manejo, tratamiento y disposición del agua residual (Romero, 2004).

3 ANTECEDENTES

La reducción del consumo de agua en las plantas de fabricación de pinturas ha sido enfocada en la limpieza de equipos y tanques de fabricación de pinturas a base de agua, debido a que en muchas empresas esta actividad es la que genera la mayor cantidad de aguas residuales (Comisión nacional del medio ambiente, 1998).

Dado que los residuos líquidos de la industria de pintura pueden ser sometidos a una amplia gama de tratamientos, dependiendo de sus características, ha sido casi imposible proponer un tratamiento específico, sin embargo, como resultado de la experiencia de muchas industrias del rubro alrededor del mundo, un esquema de tratamiento que ha dado bastante buen resultado es el que presenta las siguientes etapas: 1). Remoción de aceites y grasas. 2). Ecualización y neutralización. 3). Floculación. 4). Aireación. 5). Clarificación (Comisión nacional del medio ambiente, 1998). El anterior esquema ha sido empleado en plantas con sistema batch de tratamiento fisicoquímico siendo poco efectivo para la remoción de la DBO, por lo que ha sido necesario un tratamiento posterior con oxidación aeróbica principalmente (Comisión nacional del medio ambiente, 1998).

Distintos estudios han abordado el tratamiento de los residuos líquidos de la industria de pintura mediante procesos convencionales o avanzados. Entre los procesos estudiados se encuentran la coagulación-floculación convencional (Dovletoglou *et al.*, 2002; Aboulhassan *et al.*, 2006), tratamiento electroquímico (Korbahti *et al.*, 2007; Korbahti y Tanyolac, 2009), electrocoagulación (Akyol, 2012) y el reactivo de Fenton y Foto-Fenton (Kurt *et al.*, 2006; Schwingel *et al.*, 2007),

La empresa de pinturas y revestimientos en la que se basa este trabajo nace en el año 1975 en la ciudad de Cali. En 1984 se traslada a Palmira y desde entonces descarga sin tratar sus residuos líquidos industriales, los cuales se convierten en preocupación hacia el año 2014 a raíz de unas visitas realizadas por la autoridad ambiental, por lo cual se realizan unos análisis en el laboratorio de la compañía, empleando soda caustica para neutralizar la acidez de los destilados líquidos generados en la fabricación de resinas y emplearlos en la fabricación de productos a base de agua, lo cual no fue posible por la presencia de distintos componentes en los destilados y sus olores característicos. En el año 2015 se realiza el actual trabajo como una base en la búsqueda de las alternativas de gestión de los residuos líquidos industriales de esta empresa.

4 JUSTIFICACIÓN

En general, el vertimiento de residuos líquidos industriales sin tratar, provenientes de la fabricación de pinturas, causa la contaminación de cuerpos receptores como el agua o el suelo, dado que, por la variedad de productos químicos utilizados, contienen concentraciones considerables de la demanda biológica de oxígeno (DBO), demanda química de oxígeno (DQO) y compuestos tóxicos (Dey *et al.*, 2004). Diferentes experiencias reportan concentraciones de DBO que oscilan entre 588 y 9.687 mg/l y de DQO entre 5.632 y 23.390 mg/l (Dey et al, 2004; Aboulhassan *et al* 2006; Gomez, 2010; Akyol, 2012), estos valores se encuentran por encima de los valores máximos permisibles en la resolución 0631 del 2015, los cuales son 400 y 800 mg/l para la DBO y DQO respectivamente.

La empresa de pinturas y revestimientos en la que se basa este trabajo, no cuenta con una planta de tratamiento de agua residual industrial y por lo tanto vierte sus residuos líquidos industriales al suelo sin un tratamiento previo. Esta situación es preocupante dado que estos residuos líquidos podrían contener concentraciones similares a las reportadas en las experiencias y por lo tanto el suelo podría estar siendo contaminado. Debido a lo anterior, se propuso este trabajo para buscar alternativas de manejo, tratamiento y disposición de los residuos líquidos industriales de esta empresa.

En este trabajo se considera que antes de afrontar el problema del tratamiento del agua residual industrial es necesario tener en cuenta otros aspectos como la revisión de las etapas de los procesos productivos y los usos del agua que se hagan en éstos, con el fin de identificar las posibilidades de reducir los volúmenes de agua utilizados y minimizar las aguas residuales que produce la empresa. En este sentido, este trabajo busca realizar aportes significativos a la empresa en cuanto a la gestión de sus residuos líquidos industriales. Dichos aportes le permitirán conocer qué aspectos se podrían mejorar en los usos del agua en los procesos, qué manejo o tratamiento de los residuos líquidos son adecuados antes de descargarlos al suelo y qué residuos líquidos pueden ser potencialmente recuperables o reutilizables.

5 MARCO TEORICO

5.1 *Pinturas como producto industrial*

Las pinturas son sistemas dispersos constituidos generalmente por sólidos finamente particulados (pigmentos) y dispersados en un medio fluido denominado vehículo, el cual está basado en una sustancia aglutinante también llamada formadora de película o ligante, dispuesta en un solvente o mezcla solvente al cual se le incorporan aditivos y eventualmente plastificantes (Giudice y Pereyra, 2009). Los aglutinantes pueden ser naturales, naturales modificados o resinas. Las resinas pueden ser de tipo poliéster, alquídicas, entre otras.

Los pigmentos están constituidos por partículas pequeñas de sólidos finamente divididos, que pueden reflejar la luz y producir un efecto blanco o absorber ciertas longitudes de onda de la luz para producir un efecto coloreado. Los pigmentos pueden ser funcionales o extendedores, los primeros otorgan propiedades especiales tales como resistencia a la corrosión metálica (pigmentos inhibidores), a la incrustación biológica (biocidas), a la acción del fuego (ignífugos), etc y los segundos sirven de refuerzo para completar las propiedades de otros pigmentos. Existen pigmentos inorgánicos naturales y sintéticos, orgánicos de origen sintético, policíclicos, pigmentos de complejos metálicos, metálicos no ferrosos, anticorrosivos, entre otros (Giudice y Pereyra, 2009).

Los disolventes y diluyentes son sustancias que deben tener la capacidad de solubilizar el material formador de película, deben ser volátiles bajo las condiciones particulares en que se forma la película, aunque también existen los que producen una reacción química durante la formación de la película para convertirse en parte del aglutinante, perdiendo en consecuencia sus propiedades como solvente. Los disolventes pueden ser compuestos hidrocarbonados tanto alifáticos como aromáticos o compuestos oxigenados que incluyen éteres, cetonas, ésteres, éter-alcoholes y alcoholes simples (Giudice y Pereyra, 2009).

Por otra parte, los aditivos son componentes que se encuentran en un bajo nivel porcentual en la pintura, usualmente en valores inferiores al 2%, pero influyen significativamente sobre muchas propiedades de la pintura en estado líquido y también sobre la película seca. Pueden ser

tensioactivos, agentes antiespumantes, aditivos para controlar la flotación y el sangrado de pigmentos, agentes secantes, biocidas, entre otros (Giudice y Pereyra, 2009).

5.2 Resinas

5.2.1 Resinas poliéster

Una resina poliéster es un material obtenido por reacción de condensación de uno o más poliácidos con uno o más polialcoholes. Desde un punto de vista químico el término poliéster involucra a poliésteres saturados e insaturados y a los productos alquídicos; sin embargo, estos últimos incluyen generalmente una modificación con ácidos grasos y por lo tanto se los considera en forma separada (Giudice y Pereyra, 2009).

Las resinas poliéster son tal vez el ejemplo más representativo de los polímeros de condensación; la síntesis se lleva a cabo generalmente a alta temperatura, en presencia de catalizadores. La diversidad de poliácidos y polialcoholes con distinta funcionalidad (mono, di, tri, etc.) y diferente estructura (lineal, ramificada, ciclo alifática y aromática) hace posible el diseño de resinas poliéster con ciertas propiedades finales (Giudice y Pereyra, 2009).

5.2.2 Resinas alquídicas

Son materiales poliméricos derivados de la reacción de polioles y poliácidos. El término alquid se aplica exclusivamente a productos modificados con ácidos grasos naturales o sintéticos. La reacción involucra la combinación de los grupos carboxilo de los poliácidos y de los hidroxilo de los polioles; la modificación de la cadena poliéster se desarrolla a través de reacciones de esterificación de los hidroxilo remanentes de la cadena poliéster y los carboxilo de los ácidos grasos (Giudice y Pereyra, 2009).

Un alquid puro es un polímero formado únicamente por la reacción de poliesterificación del anhídrido ftálico como diácido y glicerina y/o pentaeritritol como polioles y ácidos grasos secantes, semisecantes o no secantes, en diferentes proporciones entre sí, como modificadores primarios del poliéster. Por otra parte, los alquídicos modificados tienen en su composición otros poliácidos y polioles diferentes al ftálico y glicerina y/o pentaeritritol que conforman un alquid puro; estos poliácidos y polioles se los denomina frecuentemente modificadores estructurales (Giudice y Pereyra, 2009).

5.3 Destilación

La destilación es un proceso que consiste en separar los componentes de una mezcla líquida, con base en la diferencia de puntos de ebullición. En la destilación la mezcla se calienta hasta una temperatura tal que el líquido más volátil empieza su desprendimiento en forma de vapor; éste es luego condensado por enfriamiento, utilizando un mecanismo de intercambio de calor, entre el vapor y un medio refrigerante, que puede ser el agua. El líquido condensado es recolectado y se denomina destilado líquido. Mientras el componente más volátil destila, la temperatura permanece constante, hasta iniciar la destilación del componente siguiente, en orden de puntos de ebullición ascendente. Las sustancias no volátiles disueltas en la mezcla no alcanzan la ebullición, quedando como residuos sólidos dentro del recipiente (Villa, 2007).

5.4 Torre de enfriamiento

Las torres de enfriamiento son equipos utilizados para disminuir la temperatura del agua caliente proveniente de algún circuito de refrigeración y poder usarla de nuevo en el proceso (Morales y Sánchez, 2011). El equipo produce una nube de gotas de agua por pulverización o por caída libre (Ministerio de sanidad, servicios sociales e igualdad, 2012) y el enfriamiento se lleva a cabo mediante un intercambio de calor sensible y latente con una corriente de aire seco y frío que circula en contraflujo por el interior de la torre, esto se logra cuando la gota se mantiene en contacto el mayor tiempo posible con el aire y se le evapora la película exterior, enfriándola consecuentemente (Morales y Sánchez, 2011).

El objeto que se persigue en la torre es que la gota esté el mayor tiempo posible en contacto con el aire, lo cual se logra con la altura de la misma y además interponiendo obstáculos (el relleno), que la van deteniendo y al mismo tiempo la van fragmentando facilitando más el proceso evaporativo (Real Time Service S.A, 2011).

Las torres de enfriamiento pueden ser de tiro natural o con ventilación mecánica, a su vez, estas últimas pueden ser de tiro forzado o inducido. Los equipos de tiro forzado disponen de ventiladores ubicados en la parte baja de la torre que impulsan el aire al interior de la misma sobrepresurizando e impulsando por tanto su salida por la parte superior a través del relleno, mientras que los equipos de tiro inducido funcionan en depresión, es decir, el ventilador localizado en la parte superior de la torre,

extrae aire del interior de la unidad que se renueva a través de aperturas localizadas en la parte baja de la misma (Ministerio de sanidad, servicios sociales e igualdad, 2012). La Figura 1 muestra el esquema general de una torre de enfriamiento con ventilación mecánica de tiro forzado.

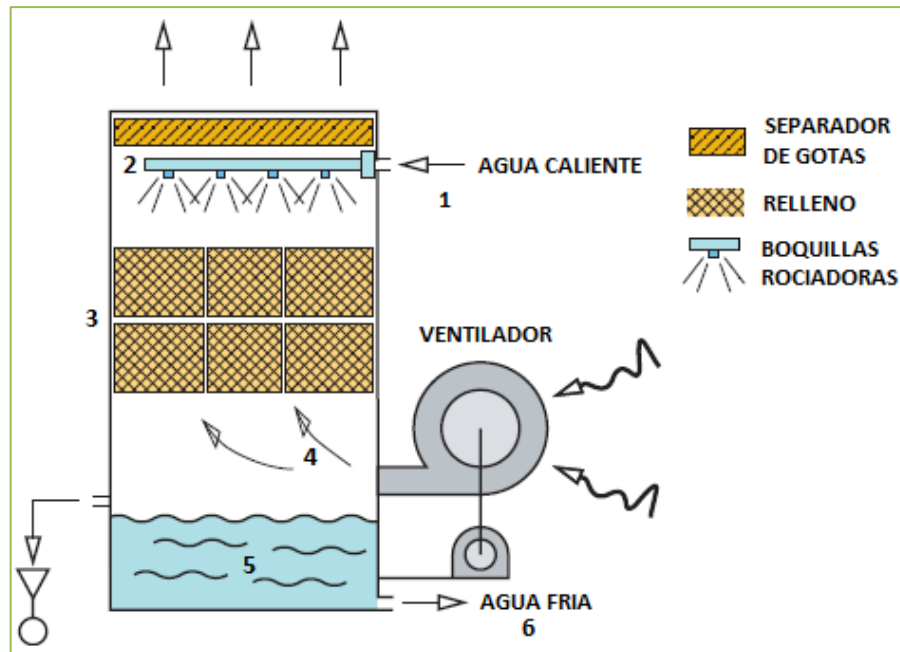


Figura 1. Torre de enfriamiento con ventilación mecánica de tiro forzado

Fuente: Tomada y modificada de Asociación Técnica Española de Climatización y Refrigeración (ATECYR), 2007.

El agua procedente del punto de uso (1) es esparcida por la parte superior de la torre (2), pasa a través del relleno (3) y se pone en contacto con el aire ascendente (4) que ingresa a la torre a través del ventilador. En el relleno se produce el enfriamiento. El agua cae refrigerada a la balsa de la torre (5) y posteriormente se impulsa (6) por medio de equipos de bombeo para reiniciar el ciclo de intercambio de calor en el punto de uso (ministerio de sanidad, servicios sociales e igualdad, 2012).

5.5 Factores, aspectos e impactos ambientales

5.5.1 Factores ambientales

“Son los diversos componentes del medio ambiente, soporte de toda actividad humana. Conforman la fuente de recursos naturales. Resultan el producto de las interrelaciones entre el hombre, la flora y la fauna; el suelo, el agua, el aire, el clima y el paisaje; pero también, los bienes materiales y el patrimonio cultural” (Dellavedova, 2011).

5.5.2 Aspecto ambiental

Elemento de las actividades, productos o servicios de una organización que puede interactuar con el medio ambiente. Un aspecto ambiental significativo tiene o puede tener un impacto ambiental significativo (ICONTEC, 2004).

5.5.3 Impacto ambiental

Cualquier cambio en el medio ambiente, ya sea adverso o beneficioso, como resultado total o parcial de los aspectos ambientales de una organización (ICONTEC, 2004).

5.6 Contaminación del suelo

El suelo hace un papel de receptor y amortiguador de la contaminación, y actúa en general como una barrera protectora de otros medios más sensibles (hidrológicos y biológicos), filtrando, descomponiendo, neutralizando o almacenando contaminantes y evitando en gran parte su biodisponibilidad. Esta capacidad depuradora del suelo depende de los contenidos en materia orgánica, carbonatos e hidróxidos de hierro y manganeso, de la proporción y tipo de minerales de la arcilla, de la capacidad de cambio catiónico del suelo, del pH, textura, permeabilidad y actividad microbiana, por lo tanto, para cada situación, el poder depurador de un suelo tiene un límite y cuando se supera para una o varias sustancias, el suelo se contamina y es fuente de contaminantes (Galán y Romero, 2008). Aunque los metales pesados y en general los elementos trazas se encuentran presentes en concentraciones relativamente bajas en los suelos, las concentraciones nocivas causan su degradación (Galán y Romero, 2008). El vertimiento de agua residual industrial sin tratar aporta contaminantes al suelo y cuando éste está asociado a un acuífero, también puede contaminar las aguas subterráneas con metales pesados y compuesto orgánicos tóxicos (Foster *et*

al., 2006). Esta contaminación debe evitarse dado que la degradación de la calidad del agua subterránea se vuelve un proceso irreversible y su remediación es muy compleja (Álvarez *et al.*, 2011).

5.7 Algunos procesos empleados en los tratamientos de agua residual industrial

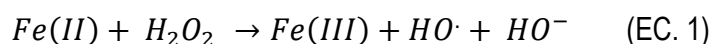
5.7.1 Tratamientos biológicos

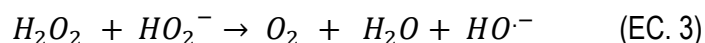
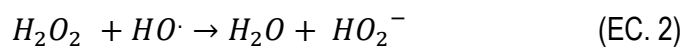
Constituyen una serie de importantes procesos de tratamiento que tienen en común la utilización de microorganismos (entre los que destacan las bacterias) para llevar a cabo la eliminación de componentes indeseables del agua, aprovechando la actividad metabólica de los mismos sobre esos componentes. La aplicación tradicional consiste en la eliminación de materia orgánica biodegradable, tanto soluble como coloidal, así como la eliminación de compuestos que contienen elementos nutrientes (N y P) (Rodríguez *et al.*, 2006).

En la mayor parte de los casos, la materia orgánica constituye la fuente de energía y de carbono que necesitan los microorganismos para su crecimiento. Además, también es necesaria la presencia de nutrientes, que contengan los elementos esenciales para el crecimiento, especialmente los compuestos que contengan N y P, y por último, en el caso de sistema aerobio, la presencia de oxígeno disuelto en el agua. Este último aspecto será clave a la hora de elegir el proceso biológico más conveniente (Rodríguez *et al.*, 2006).

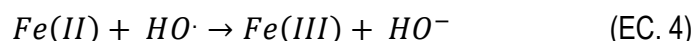
5.7.2 Reactivo de Fenton:

El reactivo de Fenton (Peróxido de hidrógeno y catalizador, H_2O_2/Fe^{2+}) es un proceso avanzado de oxidación (AOP) en el cual una sal de hierro (habitualmente $FeSO_4$) genera radicales hidroxilo (OH) gracias a la interacción del peróxido de hidrógeno (H_2O_2) con la forma reducida $Fe(II)$. El mecanismo es el siguiente (Rodríguez *et al.*, 2006):

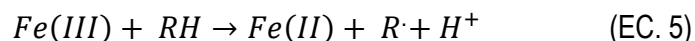




La interacción con la forma reducida del hierro genera en última instancia radicales hidroxilo, aunque éstos pueden intervenir también en la oxidación directa del hierro:



La regeneración de la forma reducida se produce normalmente mediante la intervención de un compuesto orgánico del medio:



La velocidad de generación de radicales está determinada por la reacción del Fe(II) con el peróxido de hidrógeno, por lo que la concentración de hierro limita la velocidad de oxidación (Rodríguez *et al.*, 2006). La eficiencia de la reacción de Fenton además depende de las propiedades de las aguas residuales, el valor del pH, la dosis de H₂O₂ y el tiempo de reacción (Kurt, *et al.*, 2006).

La velocidad de degradación de contaminantes orgánicos con sistemas Fenton resulta notablemente acelerada por la irradiación con luz Ultravioleta-Visible (longitudes de onda mayores de 300 nm). En estas condiciones, la fotólisis de complejos Fe (III), permite la regeneración de la forma reducida del catalizador favoreciendo el ciclo catalítico que se indicó en anteriormente (Rodríguez *et al.*, 2006).

5.7.3 Electrocoagulación

La electrocoagulación es un proceso utilizado para remover contaminantes de las aguas residuales aplicando el principio de la coagulación-floculación, pero sin hacer uso de un coagulante químico (Restrepo *et al.*, 2006). El proceso consiste en inducir corriente eléctrica en el agua residual a través de placas metálicas paralelas de diversos materiales, dentro de los más comúnmente utilizados están el hierro y el aluminio (Holt *et al.*, 2005; Chen, 2004). La corriente eléctrica proporciona la fuerza electromotriz que provoca unas reacciones químicas que desestabilizan los contaminantes

presentes, ya sea que se encuentren de forma suspendida, emulsionada o disuelta. En el proceso de electrocoagulación hay generación de coagulantes *in situ* por la disolución de iones de aluminio o de hierro de los electrodos de aluminio o hierro respectivamente. Los iones aportados por los electrodos puede remover diversos contaminantes, bien sea por reacción química y precipitación o agregando materiales coloidales que bien pueden flotar o precipitarse. Si el agua contiene partículas coloidales, aceites u otros contaminantes, éstos se mueven a través del campo eléctrico aplicado y pueden ionizarse, sufrir reacciones de electrólisis o de hidrólisis o formar radicales libres que alteran las propiedades físicas y químicas del agua y de los contaminantes, resultando en un estado reactivo y excitado lo cual es causa de la liberación, destrucción o insolubilidad de los contaminantes (Mollah *et al.*, 2001).

Los reactores para la electrocoagulación pueden ser tipo batch o reactores de sistema continuo. La selección de uno u otro depende de las características del contaminante y de su concentración, así como de las cantidades de agua residual a tratar. Los reactores pueden diseñarse con sólo coagulación, o con coagulación y flotación. Los primeros son aquellos que no aprovechan la electrocoagulación para generar burbujas que separen los agregados del contaminante por flotación (Restrepo *et al.*, 2006), mientras que los segundos si aprovechan tales burbujas. En el caso de los reactores con coagulación y flotación, la generación de iones metálicos tienen lugar en el ánodo y en el cátodo hay liberación de burbujas de hidrógeno gaseoso (Chen, 2004).

La Figura 2 muestra dos reactores para electrocoagulación tipo batch, el reactor (a) tiene electrodos monopolares conectados en paralelo, mientras que el reactor (b) tiene electrodos monopolares conectados en serie (Restrepo *et al.*, 2006).

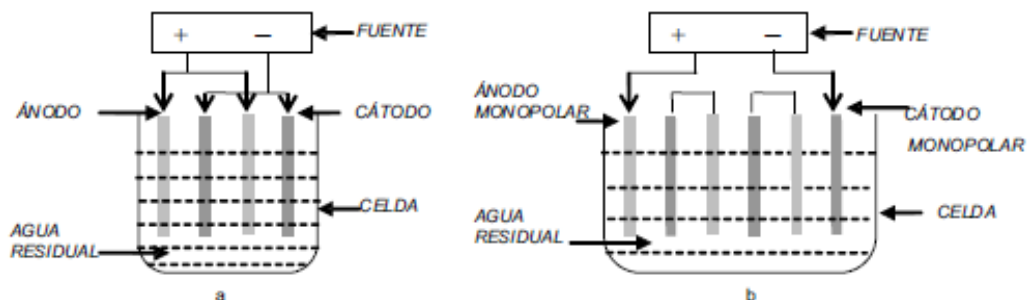


Figura 2. Reactores para electrocoagulación tipo batch con electrodos en paralelo (a) o serie (b)

Fuente: Restrepo *et al.* (2006)

5.7.4 Coagulación-floculación

En muchos casos parte de la materia en suspensión puede estar formada por partículas de muy pequeño tamaño (10^{-6} – 10^{-9} m), lo que conforma una suspensión coloidal. Estas suspensiones coloidales suelen ser muy estables, en muchas ocasiones debido a interacciones eléctricas entre las partículas. Por tanto tienen una velocidad de sedimentación extremadamente lenta, por lo que haría inviable un tratamiento mecánico clásico. Una forma de mejorar la eficacia de todos los sistemas de eliminación de materia en suspensión es la adición de ciertos reactivos químicos que, en primer lugar, desestabilicen la suspensión coloidal (coagulación) y a continuación favorezcan la floculación de las mismas para obtener partículas fácilmente sedimentables (Rodríguez *et al*, 2006).

Los coagulantes suelen ser productos químicos que en solución aportan carga eléctrica contraria a la del coloide. Habitualmente se utilizan sales con cationes de alta relación carga/masa (Fe^{3+} , Al^{3+}) junto con polielectrolitos orgánicos, cuyo objetivo también debe ser favorecer la floculación (Ramteke y Gogate, 2015). De estos últimos se necesita dosificar cantidades mucho menores que las sales y tienen alta eficiencia pero también altos costos (Rodríguez *et al*, 2006).

Los equipos en los que se lleva a cabo el proceso de coagulación-floculación, suelen constar de dos partes bien diferenciadas: una primera donde se adicionan los reactivos, y se somete el agua a una fuerte agitación durante un corto periodo de tiempo, con el objetivo de conseguir una buena y rápida mezcla de reactivos y coloide para llevar a cabo la coagulación. A continuación se pasa a una zona donde la agitación es mucho menos intensa y donde el agua permanece más tiempo. En este caso el objetivo es que se produzca la floculación (Rodríguez *et al*, 2006).

6 OBJETIVOS

6.1 *General*

Proponer alternativas para la gestión de residuos líquidos industriales provenientes de los procesos de una industria de pinturas y revestimientos.

6.2 *Específicos*

- Identificar la situación ambiental de la empresa y proporcionar recomendaciones.
- Evaluar el uso del agua en los procesos productivos.
- Proponer opciones de manejo o tratamiento de los residuos líquidos antes de ser vertidos.
- Identificar los residuos y/o subproductos líquidos potencialmente recuperables y /o reutilizables.

7 METODOLOGIA

7.1 *Revisión ambiental inicial*

Tomando como guía la GTC93 (ICONTEC, 2007) se realizó a la empresa una revisión ambiental inicial en tres etapas: la primera comprendió la definición del objetivo y el alcance de la revisión, así como la realización del plan de trabajo. La segunda etapa comprendió la recolección de información primaria mediante la realización de visitas a la empresa, en las cuales se hizo observación directa, revisión de la documentación existente en la empresa en materia ambiental y entrevistas no programadas al personal de cada área de trabajo y en su mayoría al jefe de producción. Adicionalmente, se hizo recolección de información secundaria mediante revisión bibliográfica, y posteriormente se revisó, clasificó y evaluó la información obtenida. La tercera etapa consistió en la elaboración y entrega del informe final y las recomendaciones.

Para la identificación de aspectos e impactos ambientales generados en las actividades y procesos productivos, se empleó como herramienta la matriz de Leopold presentada en el Anexo A, la cual se elaboró con el apoyo de los criterios mostrados en el Anexo B. Se realizaron los diagramas de cada proceso productivo de la empresa, con sus respectivas entradas de materias primas e insumos y salidas de residuos. Adicionalmente, se revisó la normatividad aplicable a la empresa en materia ambiental y el cumplimiento o incumplimiento de ésta por parte de la compañía.

7.2 *Evaluación del uso del agua en los procesos productivos*

Se revisaron en las diferentes actividades y procesos productivos de la empresa, el origen y las cantidades de agua utilizada. Así mismo, se revisó diariamente durante un mes las lecturas de un medidor de agua tipo volumétrico instalado en el sistema de tratamiento de agua de pozo, para cuantificar el agua de reposición empleada en la torre de enfriamiento del proceso de fabricación de resinas.

7.3 Opciones de manejo o tratamiento de los residuos líquidos industriales

Para conocer la cantidad de agua residual industrial generada en la empresa, se consultaron en la bitácora de fabricación de resinas las cantidades de destilado líquido generadas en el proceso de fabricación de cada tipo de resinas, las cuales se encuentran reportadas semanalmente (ver la tabla 10 del subcapítulo 8.3), a partir de esa información se estimaron los volúmenes de destilado líquido generados por cada resina mensual y semestralmente (ver la tabla 11 del subcapítulo 8.3). Cabe aclarar que las cantidades de destilado líquido reportadas en la bitácora son medidas por los operarios del área de resinas a través de un isotanque de 1000 L de capacidad y corresponden al periodo de enero a junio del 2015. Por otra parte, se calculó la cantidad de agua residual generada en el laboratorio, la molienda y el lavado de tanques de fabricación de pinturas a base de agua (los cálculos se muestran en el Anexo C).

Se revisaron en las hojas de seguridad de las materias primas, las propiedades físicas, químicas y la información ecotoxicológica de las mismas, para hacer una aproximación a las características de los residuos químicos que posiblemente forman parte de las aguas residuales generadas en la fabricación de resinas y el lavado de tanques de fabricación de pinturas a base de agua.

Se revisaron investigaciones realizadas a escala de laboratorio o piloto reportadas en la literatura, sobre distintos tratamientos aplicados a aguas residuales generadas en la fabricación de resinas y pinturas a base de agua. De igual forma, se revisaron experiencias sobre tratamientos aplicados a escala real en empresas de fabricación de pinturas.

Con base en la cantidad de agua residual generada en la fabricación de resinas y pinturas vinílicas, la aproximación de sus posibles componentes y las diferentes alternativas de tratamiento revisadas, se propusieron opciones que podrían ser aplicadas por la empresa para realizar una adecuada gestión de sus residuos líquidos.

7.4 Residuos líquidos potencialmente recuperables y/o reutilizables

Se revisaron experiencias reportadas en la literatura llevadas a cabo a escala de laboratorio y escala real, para identificar las posibilidades de reutilización de las aguas residuales generadas en la fabricación de resinas y pinturas a base de agua.

8 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

8.1 *Revisión ambiental inicial*

La revisión ambiental inicial se realizó sobre los procesos productivos que ejecuta la empresa, no se tuvieron en cuenta aspectos relacionados con la obtención de materias primas, transporte de éstas ni de producto terminado. Las diferentes instalaciones que constituyen la empresa de pinturas y revestimientos se muestran en el Anexo D.

8.1.1 Actividades y procesos productivos de la empresa

8.1.1.1 *Recepción y almacenamiento de materia prima.*

Para el abastecimiento de materia prima, se hace recepción por intermedio del coordinador de almacén, quien verifica que la documentación, orden de compra, factura y certificado de análisis corresponda en referencia y cantidad a los insumos embalados en sacos, canecas o tambores, enviados por el proveedor. El auxiliar lleva una muestra de la materia prima al laboratorio, el cual con el certificado de análisis verifica las condiciones del producto y le da la aprobación, posteriormente se le asigna un lote o número de MP y se ubica en su área asignada quedando así disponible para producción. El mismo procedimiento se hace para la recepción de la materia prima a granel, la cual por medio de una bomba se deposita en tanques.

Las materias primas líquidas vienen en carro tanques y son almacenadas en tanques que tienen todas las especificaciones técnicas requeridas para su almacenamiento, mientras que las materias primas sólidas vienen en empaques de bultos y su almacenamiento es estibado. En la zona de diques se almacenan diferentes materias primas las cuales están contenidas en tanques herméticos, fabricados en acero al carbón, todos se encuentran debidamente rotulados con el rotulo de la NFPA (National Fire Protection Association) y cada sustancia manejada cuenta con la ficha técnica apropiada (Romo y Noguera, 2013). Los tanques que almacenan materias primas como dietilenglicol, varsol y xileno cuentan con diques anti derrames mientras que el tanque de almacenamiento de propilenglicol no tiene dique.

Las materias primas como estireno, resina poliéster y acetato de amilo son almacenadas en tambores que tienen la capacidad de almacenar 190, 220 y 170 kg de producto respectivamente. Dichos tambores identificados y rotulados con el rombo de seguridad correspondiente, se ubican sobre estibas para facilitar su manipulación y se almacenan en las bodegas de la zona 4. La materia prima contenida en sacos (de 25 kg) es ubicada en el almacén de la zona 5, al cual el área de producción le hace una programación bajo fórmulas para que suministre materias primas al área de producción de resinas, al área de molienda y al área de producción de pinturas a base de agua, a base de solventes y otros revestimientos.

En la zona 4 se dispone de un área cerrada donde se almacenan materias primas controladas, que por requerimientos de la Oficina de Estupefacientes deben estar custodiadas para que no sean utilizadas sin previa autorización. Entre las materias primas controladas se encuentran la nitrocelulosa, pentaeritritol, acetato n propilo y metanol.

En la empresa se realizan procesos de producción de resinas, pastas poliéster y alquídicas, pinturas a base de agua, a base de solventes y otros revestimientos.

8.1.1.2 Proceso de producción de resinas

Teniendo en cuenta la programación de ventas de la empresa, se hace una planeación de la producción de resinas iniciando con una solicitud de materias primas y de todos los materiales que participan en la fabricación de una resina. Un operario recibe el programa o proceso de fabricación de resinas y hace el alistamiento de todos los materiales, otro operario le verifica dichos materiales para comenzar la preparación de las resinas en unos rectores que se calientan mediante un serpentín que recircula aceite caliente suministrado desde una caldera que funciona con gas natural y energía eléctrica. Unos sistemas hidráulicos permiten el funcionamiento de los mezcladores de los reactores, los cuales se cargan con la materia prima previamente pesada y se inicia un control de procesos de acuerdo a lo estipulado en cada procedimiento. Durante el proceso se hace control de variables tales como: temperatura, destilado, acidez, viscosidad, entre otras.

Entre los componentes de las materias primas se producen reacciones químicas que generan fracciones de agua, las cuales son extraídas mediante destilación. En los condensadores o intercambiadores utilizados en la destilación, se emplea agua de pozo como medio refrigerante y el

destilado líquido, que arrastra consigo residuos químicos, es recogido en un isotanque (de 1000 L de capacidad) y cuantificado. Después que toda el agua es extraída, se producen otras reacciones químicas y se hacen unos análisis de laboratorio para saber si las resinas están en su punto óptimo para pasarlas a los tanques de dilución, donde se diluyen en solventes aromáticos o alifáticos dependiendo de las características de cada producto. Para cada resina hay un solvente que es agregado a ciertas temperaturas, por lo tanto en los tanques de dilución se usa agua de enfriamiento (agua de pozo) para bajar las temperaturas y poder adicionar los solventes y materias primas necesarias antes de terminar el proceso de preparación de las resinas. Las resinas fabricadas se bombean a unos tanques de almacenamiento, quedando disponibles para la fabricación de masillas, lacas, barnices, esmaltes, anticorrosivos, y otros productos, todos a base de solventes. En la Figura 3 se muestra el proceso de fabricación de resinas con sus respectivas entradas de materias primas e insumos (flechas azules) y salidas de residuos (flechas rojas).

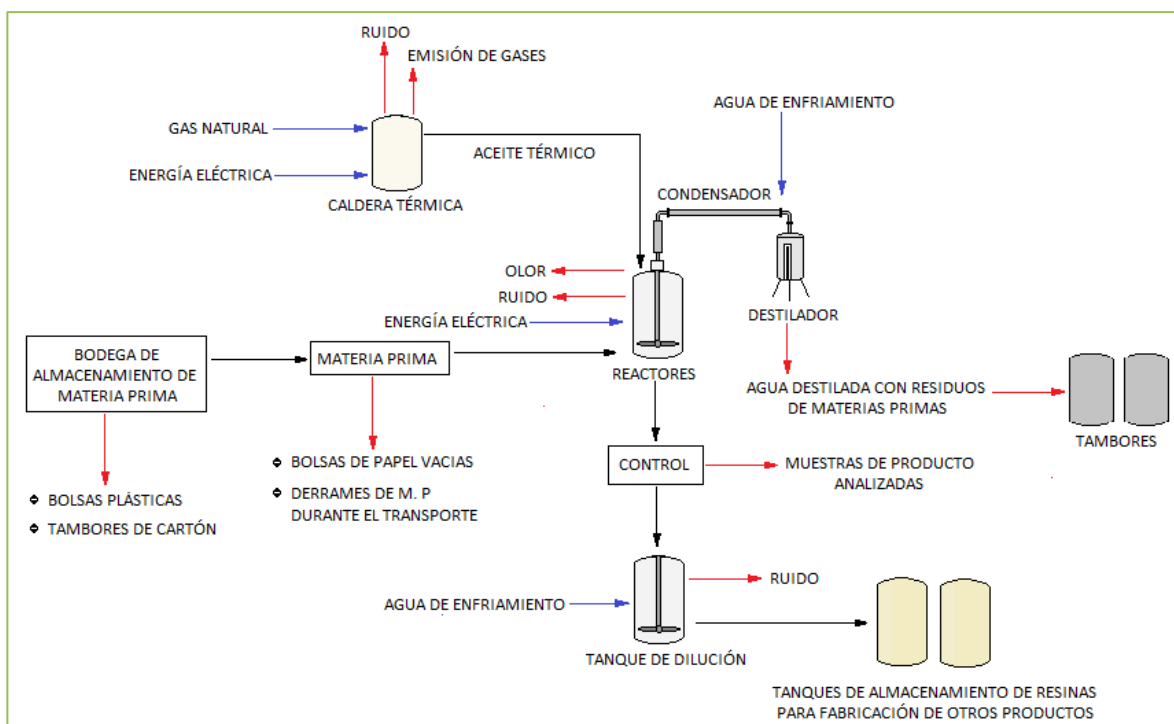


Figura 3. Proceso de fabricación de resinas con sus respectivas entradas de materia prima y salidas de residuos

8.1.1.3 Agua de enfriamiento

El agua se capta de un pozo de aproximadamente 6 metros de profundidad, se bombea hacia una columna de tanques con carbón activado, cae a través de ella a un tanque (a) donde se le adiciona sulfato de aluminio, luego se dirige a tres tanques (b, c y d) donde se le adiciona hipoclorito de sodio y posteriormente llega a un cuarto tanque (e) donde sedimenta. Desde este último, el agua se bombea hacia un filtro y luego se envía a una tubería (f) que suministra este recurso a la planta para descargar los sanitarios. De la anterior tubería se deriva otra tubería (g) que abastece un quinto tanque (h), del cual se bombea agua (agua de reposición) hacia la torre de enfriamiento (i). En este tanque (h) se aplica un químico para evitar incrustaciones en las tuberías del sistema de enfriamiento. Tanto en la torre de enfriamiento como en el cuarto tanque, existe un flotador que acciona respectivamente la bomba que suministra agua de reposición a la torre y la bomba que capta el agua del pozo. La Figura 4 muestra el esquema del suministro de agua de pozo.

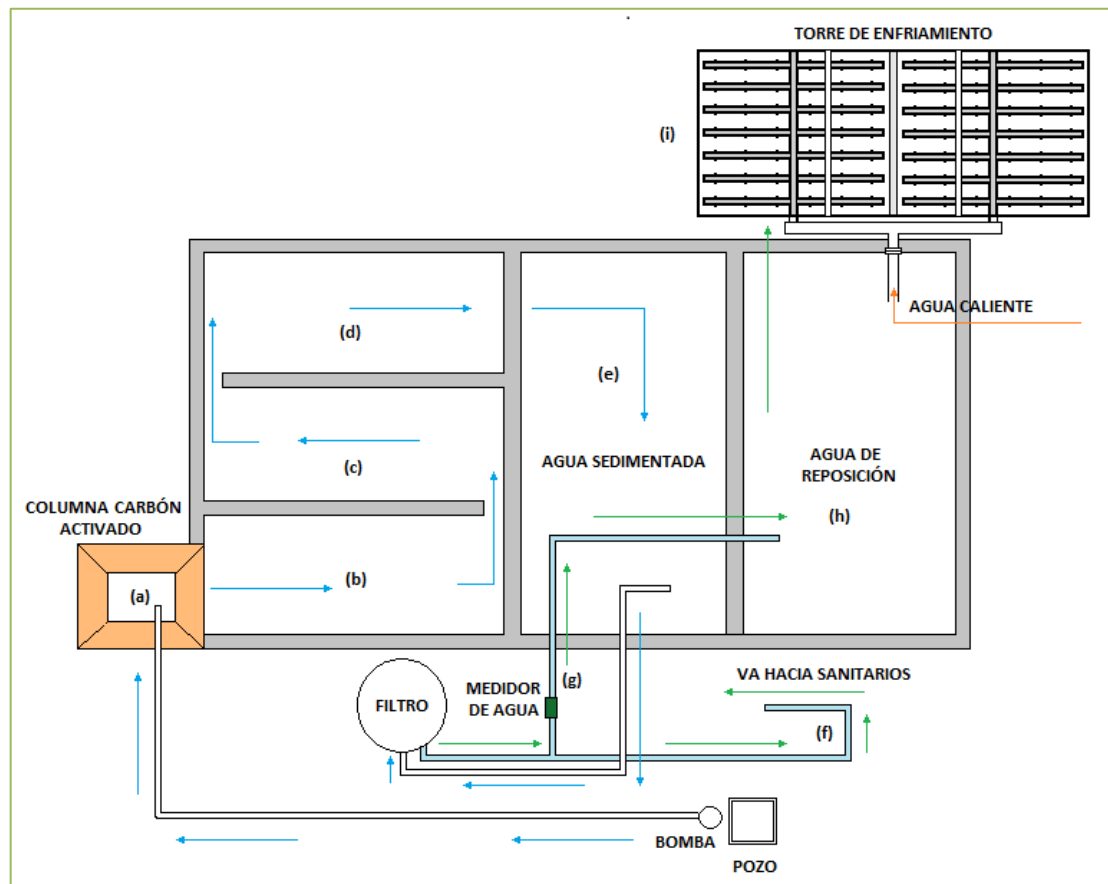


Figura 4. Esquema del suministro de agua de pozo

8.1.1.4 Destilación en la fabricación de resinas y solventes

En la Figura 5 se muestra el proceso de destilación realizado en la fabricación de resinas, con sus respectivas entradas de insumos (flechas azules) y salidas de residuos (flechas rojas).

Los reactores cargados con las materias primas se calientan hasta temperaturas que permiten que las sustancias más volátiles se desprendan en forma de vapor, dichos vapores salen de los reactores hacia los condensadores o intercambiadores en los cuales pasan a estado líquido. Dado que el proceso tiene una etapa en la que se requiere que haya solo reflujo, se cierran las válvulas 2 y 3 y se deja abierta la válvula 1 para que el sistema funcione en ciclo. Posteriormente hay una etapa en la cual se debe deshidratar la resina, por lo tanto se cierra la válvula 1 y se dejan abiertas las válvulas 2 y 3 para permitir la destilación del agua que se produce en las reacciones.

El tanque de destilación se llena con un solvente aromático no miscible en el agua, el cual por la diferencia de densidades queda en parte de arriba mientras que el destilado líquido queda en la parte de abajo. El destilado líquido (agua residual) se evacua del destilador cuando su nivel se aproxima a la tubería que conduce al reactor, permitiendo que a éste pase únicamente el solvente (llamado xileno), cuya función es ingresar al reactor, atrapar humedad y conducirla al destilador.

En la Figura 6 se muestra el proceso de destilación realizado en la fabricación de acetato de amilo (solvente), con sus respectivas entradas de insumos (flechas azules) y salidas de residuos (flechas rojas).

Para la fabricación del acetato de amilo la materia prima se deshidrata cerrando las válvulas 1, 3 y 5 y dejando abiertas las válvulas 2 y 4. Estas dos últimas válvulas permiten el paso del destilado líquido (agua residual) a un isotanque. Cuando termina la deshidratación, se chequea una propiedad llamada número ácido, se cierra la válvula de la tubería que conduce el agua al isotanque (válvula 4), se abre la válvula 5 y se destila hacia un tanque alterno los alcoholes subiendo hasta 140°C la temperatura del reactor. Finalmente el acetato de amilo queda en el tanque alterno y en el reactor queda un residuo pastoso, que es retirado y almacenado en unos tambores.

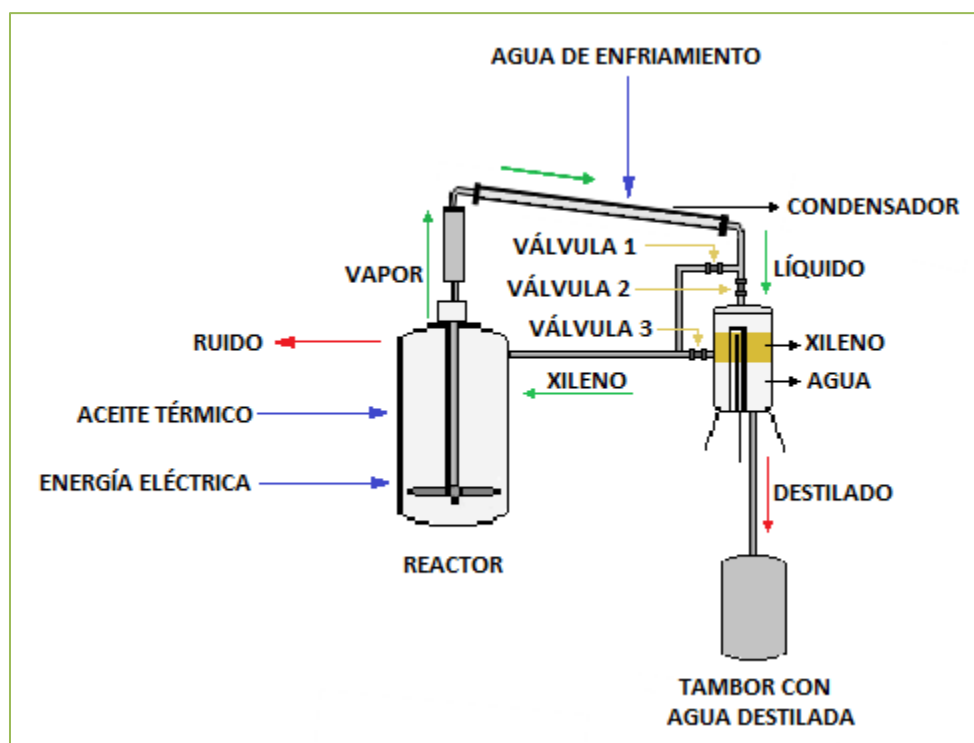


Figura 5. Destilación en el proceso de fabricación de resinas

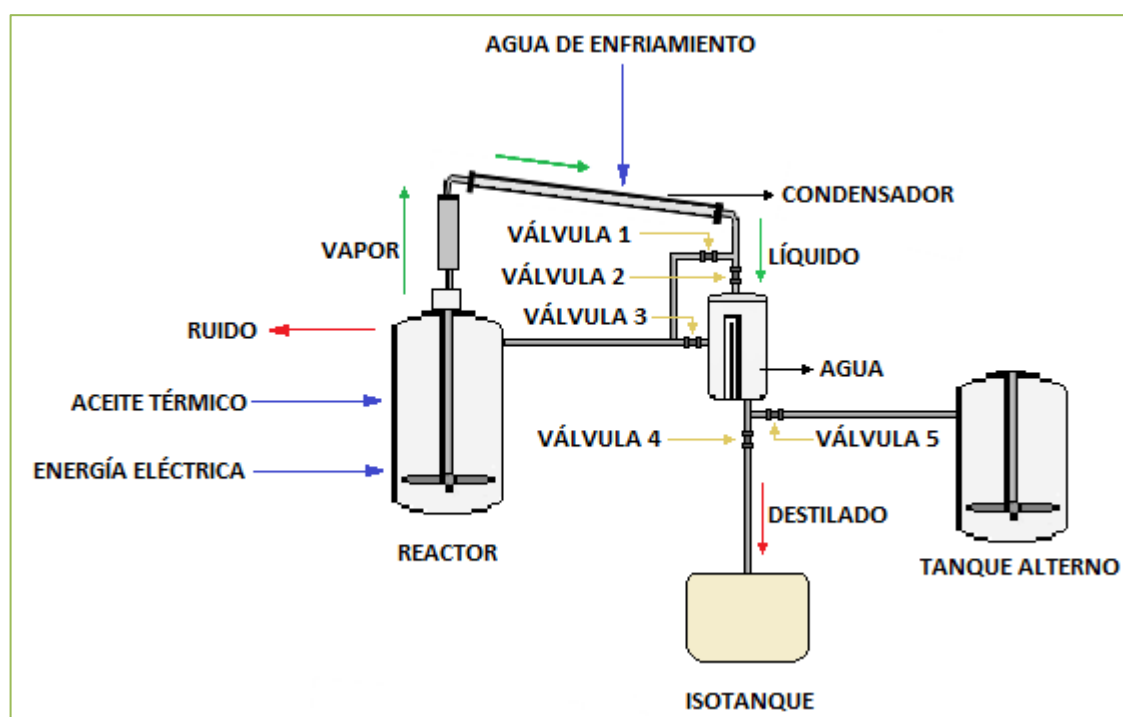


Figura 6. Destilación en la fabricación de acetato de amilo

8.1.1.5 Proceso de producción de pastas poliéster y alquídicas

Las pastas poliéster o dispersiones pigmentarias en resinas poliéster, parten de la composición de materias primas balanceadas e incluyen resinas, pigmentos sólidos, solventes y aditivos que forman el sistema, estos materiales se cargan en un tanque con agitación y se mezclan, luego se pasan a un molino tricilíndrico y posteriormente a control de calidad, si no es aprobado debe seguir con el proceso de molienda, si es aprobado, se homogeneiza en un tanque con un agitador, después se pasa al área donde se envasa en presentaciones como galón y cuarto, finalmente se lleva a la bodega de producto terminado. Las pastas poliéster son productos para venta y no materia prima para fabricación de pinturas.

El proceso de producción de pastas alquídicas es similar al de las pastas poliéster, la diferencia es que la mezcla es con características alifáticas, y se carga en un molino de piedras en lugar de pasarse por uno tricilíndrico. Las pastas al ser aprobadas por control de calidad se descargan en tambores quedando disponibles para la fabricación de pinturas. En la Figura 7 se muestra el proceso de fabricación de pastas, con sus respectivas entradas de materias primas e insumos (flechas azules) y salidas de residuos (flechas rojas).

8.1.1.6 Producción de pinturas y otros revestimientos

La producción de las pinturas y revestimientos, inicia con la mezcla de resinas, solventes, aditivos y pastas pigmentarias alquídicas en equipos (cowles) diseñados para que el sistema esté disperso y estable donde posteriormente se hace un proceso de coincidencia de colores. En el control de calidad se determinan propiedades como viscosidad, densidad, apariencia, entre otras, finalmente los productos son envasados y etiquetados. Este procedimiento es empleado para fabricar pinturas y otros revestimientos, lo que varía son las formulas, los tiempos de molienda, de mezcla y las materias primas. En la Figura 8 se muestra el proceso de fabricación de pinturas y otros revestimientos con sus respectivas entradas de materias primas e insumos (flechas azules) y salidas de residuos (flechas rojas).

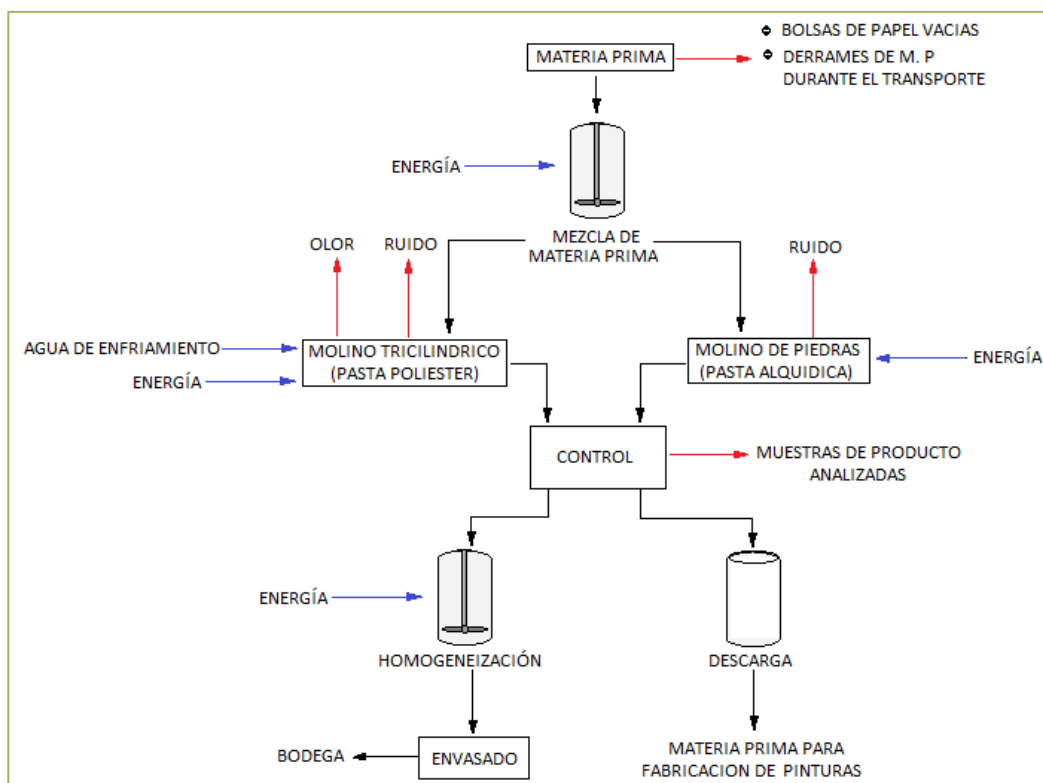


Figura 7. Proceso de fabricación de pastas con sus respectivas entradas de materias primas e insumos y salidas de residuos

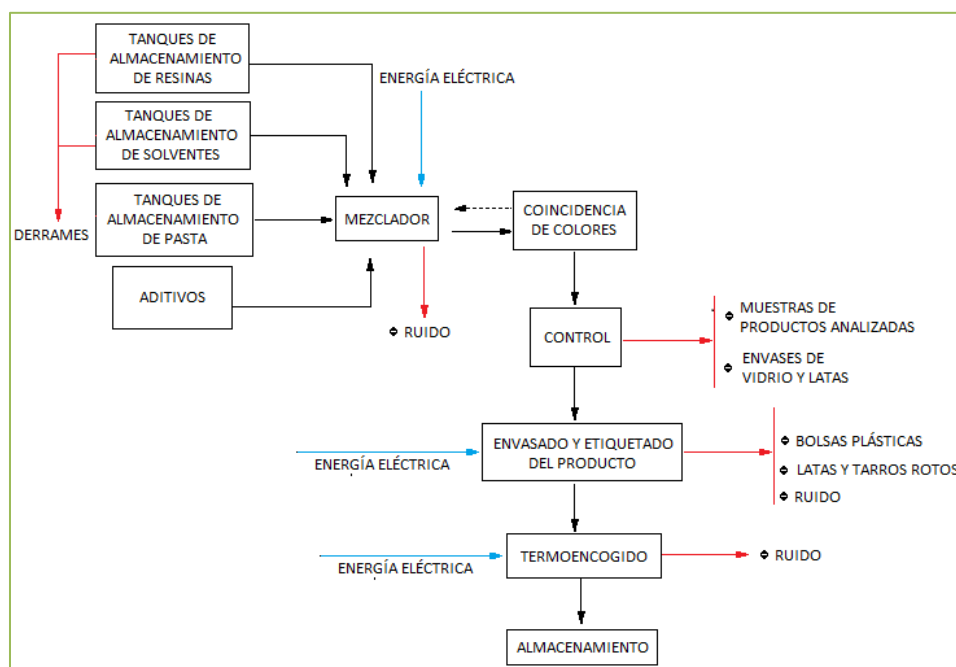


Figura 8. Proceso de fabricación de pinturas y otros revestimientos con sus respectivas entradas de materias primas e insumos y salidas de residuos

8.1.1.7 Otras actividades

Para la obtención de los diferentes productos es necesaria la realización de otras actividades, tales como el transporte de las materias primas dentro de la industria, el cual es realizado con montacargas que funcionan con gas natural, el envasado y etiquetado de los productos, el termoencogido que permite realizar la agrupación de varias unidades de un producto en un solo paquete de embalaje, y el lavado de los tanques y recipientes donde se fabrican las pinturas a base de agua o a base de solventes, las resinas y otros productos. Los tanques de fabricación de pinturas a base de agua son lavados con agua de pozo, mientras que los tanques y recipientes donde se fabrican productos a base de solventes son lavados con solventes como propilo o acetato de amilo. El propilo permite la recuperación del producto que queda adherido en los tanques mientras que el acetato de amilo no sirve para dicha recuperación y por lo tanto, después del lavado de los recipientes y tanques, debe ser recuperado para utilizarlo como materia prima para la fabricación de otros productos. El acetato de amilo se recupera mediante destilación, lo cual genera un residuo pastoso que se almacena en los tambores de desechos.

8.1.1.8 Almacenamiento de producto terminado

El producto terminado es empacado en material termoencogible y almacenado sobre estibas para facilitar su manipulación.

8.1.2 Identificación de aspectos ambientales

8.1.2.1 Consumos en los procesos productivos

Además de las materias primas propias de cada producto, en la empresa se consume agua potable, agua de pozo, energía eléctrica y gas natural. En la Tabla 1 se muestran los consumos de agua en los procesos productivos de la empresa (los cálculos se presentan en el Anexo C).

Tabla 1. Consumo de agua en los procesos productivos

Origen	Lugar de uso	Uso	Cantidad (L/mes)
Agua potable	Laboratorio	Aseo del laboratorio, lavado de instrumentos químicos	1.363
	Producción	Fabricación de pinturas a base de agua	1.144
		Fabricación de esmaltes emulsionados	7.587
Agua de pozo	Área de Resinas	Enfriamiento de los condensadores y tanques de dilución	52.716
	Molienda	Enfriamiento del molino trícilíndrico	200
	Producción	Lavado de tanques de fabricación de pinturas a base de agua	100

Adicionalmente, existe un consumo de agua de pozo para la descarga de los sanitarios de la empresa como se muestra en la Tabla 2.

Tabla 2. Consumo de agua en la descarga de los sanitarios

Baño (No.)	No. Personas que usan el baño	Frecuencia de uso por persona	L/descarga de cada sanitario	Total	
				L/día	L/mes
1	8	3	12	288	6.912
2	13	3	8	312	7.488
3	3	4	6	72	1.728
4	5	3	6	90	2.160
5	3	3	12	108	2.592
6	7	3	12	252	6.048
7	3	2	12	72	1.728
Total				1194	28.656

Con respecto a los datos de la Tabla 2, si todos los sanitarios fueran de 6 litros de agua para descarga, se consumiría mensualmente 18.144 L en lugar de 28.656 L.

En la empresa la energía eléctrica se utiliza constantemente durante toda la jornada laboral y su consumo en el año 2015 fue entre 7.004 y 17.970 kWh. En la Tabla 3 se muestran los equipos que consumen energía eléctrica.

Tabla 3. Equipos que consumen energía eléctrica en la empresa

Lugar de uso	Equipos en los que se usa energía
Envasado y termoencogido	Banda transportadora, termoencogido
Laboratorio	Balanzas, lámparas
Molienda	Bomba de los molinos, Bomba del pozo
Área de resinas	Condensadores, bombas hidráulicas, mezcladores de los reactores, caldera.
Almacén	Indicador electrónico de la báscula, gato hidráulico
Oficina de despachos, Administración y Gerencia por departamentos. Cocineta	Impresoras, computadores, ventiladores, lámparas, Reloj Biométrico, equipo de sonido, televisor. Nevera

8.1.2.2 Generación de residuos en los procesos productivos

Como puede observarse en las Figuras 3, 5, 6, 7 y 8, en los diferentes procesos productivos se generan residuos sólidos, agua residual industrial, ruido y emisiones atmosféricas.

- **Residuos sólidos**

La Tabla 4 muestra los residuos sólidos generados en las actividades y procesos productivos, éstos al igual que los residuos domésticos hasta el momento no han sido cuantificados y no se presentan de forma separada al vehículo de recolección de residuos.

Tabla 4. Residuos sólidos generados en la empresa

Residuo	Lugar de generación	Destinos habituales
Papel	Laboratorio, portería, Almacén (Zona de pesaje), gerencia	Se deposita en la caneca de residuos, a excepción de los papeles provenientes de la gerencia que son reciclados
Cartón	Almacén (Zona de pesaje), Administración	El cartón de la administración se deposita en la caneca de residuos sólidos y el cartón del almacén (Zona de pesaje) se vende.
Bolsas y Botellas plásticas	Área de envasado, laboratorio, Almacén (Zona de pesaje), Administración, gerencia.	Caneca de residuos sólidos
Vidrio	Laboratorio, Administración	Caneca de residuos sólidos

Latas y tarros rotos	Área de envasado, laboratorio	Se venden como chatarra
Sólidos separados en la recuperación de solventes	Área de resinas	Se almacenan en tambores de desechos, aun no se tiene una disposición final ni un objetivo con dichos residuos

- **Agua residual industrial**

La Tabla 5 muestra el agua residual industrial generada en la destilación realizada en los procesos de fabricación de resinas y acetato de amilo, es decir el destilado líquido, cuantificado durante el periodo de enero a marzo del 2015 (en jornada laboral de 24 horas). De acuerdo con información proporcionada en el área de producción, durante febrero y marzo se presentó una alta producción de resinas y otros productos, (siendo pico la producción de plastificante DOP y resina poliéster flexible, ver Anexo E), lo cual está directamente relacionado con una mayor generación de agua residual industrial.

Tabla 5. Agua residual industrial generada en la fabricación de resinas

Resina	Referencia	Volumen destilado (L/trimestre)
Resina poliéster modificada	1264	3.155
Acetato de amilo	1245	5.320
Resina poliéster nueva	1319	5.230
Dioctil ftalato (DOP)	1313	390
Resina a base de colofonia	1321	175
Resina de ácidos grasos	1495	220
Resina alquídica media en soya	1499	1.575
Resina alquídica corta en palmiste	1637	110
Resina poliéster flexible	1392	2.335
Fusel deshidratado	1329	370
Total		18.880

En la Tabla 6 se muestra el agua residual industrial generada en el lavado de tanques de fabricación de pinturas a base de agua y el lavado de equipos del laboratorio.

Tabla 6. Agua residual generada en el laboratorio y el lavado de tanques de fabricación de pinturas a base de agua

Agua utilizada	Origen del vertimiento	Cantidad Vertida (L/mes)
Potable	Aseo del laboratorio, lavado de instrumentos químicos	1.363
De pozo	Lavado tanques de fabricación de pinturas base agua	100

- **Ruido**

La empresa genera ruido debido a los distintos equipos utilizados en las actividades y los procesos productivos. No han sido implantadas medidas de protección contra el ruido, ni se cuenta con mediciones de los niveles del mismo, simplemente los trabajadores utilizan tapones u orejeras para la protección de sus oídos. En la Tabla 7 se muestran los equipos que generan ruido en la empresa.

Tabla 7. Equipos que generan ruido en la empresa

Lugar de generación de ruido	Equipos que generan ruido
Área de envasado y termoencogido	Montacargas, Termoencogido
Administración	Impresora de puntos, ventiladores
Oficina de despachos	Teléfonos
Área de molinos	Molinos tricilíndrico y de piedras
Área de resinas	Reactores, bombas hidráulicas, Compresor
Almacén	Carreta, montacargas

- **Emisiones atmosféricas**

La empresa tiene una caldera de aceite térmico industrial que funciona con gas natural y energía eléctrica. La combustión del gas natural genera emisiones que no han sido cuantificadas. De igual forma los solventes y los montacargas generan emisiones que tampoco han sido cuantificadas.

A partir de la información presentada en las Tablas de los puntos 8.1.2.1 y 8.1.2.2 y los diagramas de entrada de materias primas e insumos y salidas de residuos de cada uno de los procesos productivos de la empresa (Figuras 3, 5, 6, 7 y 8), se identificaron los siguientes aspectos ambientales que pueden causar impactos sobre los factores ambientales que conforman el área de influencia de la empresa.

Los aspectos ambientales derivados de condiciones normales son:

- Consumo de agua de pozo y agua superficial
- Consumo de energía eléctrica
- Vertimiento de agua residual industrial
- Emisiones de gases
- Emisiones de compuestos orgánicos volátiles (COVs)
- Generación de ruido
- Generación de olores
- Generación de residuos sólidos

Los aspectos ambientales derivados de condiciones incidentales/accidentales son:

- **Sucedidos:** derrame de materia prima
- **No sucedidos:** explosión o incendio

A partir de la matriz de Leopold presentada en el Anexo A se obtuvo la jerarquización de aspectos ambientales presentada en la Tabla 8.

Tabla 8. Jerarquización de aspectos ambientales

Proceso/Actividad	Aspecto ambiental	Agregación de impactos
Fabricación de resinas Lavado de recipientes de fabricación de pinturas base agua	Vertido de agua residual industrial	-30
Fabricación de resinas Fabricación de pastas Fabricación de pinturas base agua Fabricación de pinturas base solvente Envasado/etiquetado Termoencogido	Consumo energía eléctrica	-28
Lavado de recipientes de fabricación de pinturas base agua Fabricación de resinas Fabricación de pastas	Consumo de agua de pozo	-26
Transporte de materia prima dentro de la industria Fabricación de pastas Fabricación de pinturas base agua Fabricación de pinturas base solvente Fabricación de resinas Termoencogido	Generación de Ruido	-21
Fabricación de resinas Fabricación de pastas Fabricación de pinturas base agua Fabricación de pinturas base solvente Envasado/etiquetado	Generación residuos sólidos	-17
Recepción y almacenamiento de materia prima Fabricación de resinas Fabricación de pinturas base solvente	Emisión de compuestos orgánicos volátiles (COVs)	-15
Transporte de materia prima dentro de la industria Fabricación de resinas	Emisión de gases	-13
Fabricación de resinas Fabricación de pastas	Generación de olores	-8
Fabricación de pinturas base agua	Consumo de agua superficial	-4
Recepción y almacenamiento de materia prima	Derrames de materia prima	-1
Recepción y almacenamiento de materia prima Fabricación de resinas Fabricación de pastas Fabricación de pinturas base agua Fabricación de pinturas base solvente Envasado/etiquetado Termoencogido Almacenamiento y despacho de producto	Genera empleo	40

terminado		
Fabricación de resinas	Produce ingresos	67
Fabricación de pastas		
Fabricación de pinturas base agua		
Fabricación de pinturas base solvente		
Envasado/etiquetado		
Almacenamiento y despacho de producto terminado		

La jerarquización de aspectos ambientales obtenida a partir de la agregación de impactos que se muestra en la matriz de Leopold (Anexo A) evidencia que el vertimiento de agua residual industrial es el aspecto significativo más negativo, es decir, más desfavorable y que requiere mayor e inmediata atención. Este resultado indica, además, que el factor ambiental suelo está siendo altamente afectado de forma negativa. Esto se debe a que los procesos de fabricación de resinas generan agua residual industrial que está siendo descargada al suelo sin ningún tratamiento previo, causando posiblemente la alteración de este factor ambiental. Según la Tabla 5 del punto 8.1.2.2, de los procesos de fabricación de resinas se generó en un trimestre (enero a marzo) alrededor de 18.880 L de destilado líquido (agua residual), sin embargo, debe tenerse en cuenta que estos procesos se realizan de acuerdo con la programación de ventas de la empresa y a la planeación de producción, por lo cual el volumen de agua residual puede aumentar y merece gran atención debido a su contenido de residuos químicos, que son trasladados al suelo al descargar el agua sin tratarse. En el Anexo E puede observarse que adicional a los picos de producción presentados en el trimestre evaluado (enero a marzo en jornada laboral de 24 horas), se presentan otros picos en los meses de abril y octubre, lo cual evidencia que la generación de agua residual varía de un mes a otro ya que está directamente relacionada con la cantidad y tipo de producto fabricado. Por otra parte, en un trimestre la empresa genera alrededor de 300 L de agua residual proveniente del lavado de tanques de fabricación pinturas a base de agua que también aportan contaminantes al suelo.

El segundo aspecto ambiental significativo y negativo es el consumo de energía eléctrica, debido a que este recurso se utiliza de manera continua durante toda la jornada de trabajo en casi todas las actividades y procesos llevados a cabo en la empresa.

El consumo de agua de pozo es el tercer aspecto ambiental significativo y negativo debido a que, como se muestra en la tabla 1, representa el mayor consumo de agua en la empresa y por lo tanto, puede significar una gran presión para el factor ambiental agua subterránea.

En el cuarto lugar aparece la generación de ruido, este aspecto es significativo e importante debido a que puede causar impactos negativos sobre el factor salud ocupacional. Por otro lado, el quinto aspecto significativo y negativo es la generación de residuos sólidos. Esto se debe a que en la empresa se realiza un manejo inadecuado de los residuos sólidos que se generan, puesto que no hay una adecuada separación entre residuos peligrosos y no peligrosos, todos estos se presentan mezclados al vehículo de recolección de residuos y por lo tanto es menor la posibilidad de recuperar material reciclable que finalmente puede aportar a la disminución de la vida útil del relleno sanitario en el que la empresa de recolección de residuos hace la disposición final.

Las emisiones de compuestos orgánicos volátiles (COVs) es un aspecto ambiental menos negativo que los mencionados anteriormente, debido a que los solventes que pueden originarlos son almacenados con las especificaciones técnicas que requieren y algunos se almacenan en tanques herméticos, y por lo tanto, las emisiones en su mayoría pueden presentarse en los posibles derrames y en la utilización de los solventes para la fabricación de productos o el lavado de tanques.

La emisión de otros gases como CO₂, por ejemplo, se generan por la combustión del gas natural cuando se utiliza la caldera y los montacargas y es un aspecto ambiental que aparece en la séptima posición debido a que entre los combustibles fósiles, el gas natural emite la menor cantidad de contaminantes al aire (Rahim *et al*, 2015).

En cuanto a los derrames de materia prima se observa que es el aspecto menos negativo, con un valor de -1, esto se debe a que obtuvo la más baja magnitud e importancia dentro de los aspectos ambientales, debido a que la existencia de diques antiderrames para los tanques de almacenamiento de materias primas y el suelo pavimentado de la compañía disminuyen la posibilidad que ocurran derrames directamente en el suelo, el cual por lo tanto, se ve afectado en su mayoría por los vertimientos de agua residual industrial sin tratar.

Hasta la fecha no se han registrado explosiones ni incendios dentro de las instalaciones de la empresa, a pesar de ello, no se descarta la probabilidad de ocurrencia de éstos y por eso se han contado como aspectos ambientales no ocurridos.

La matriz de Leopold muestra que el recurso hídrico es el factor ambiental más afectado negativamente (con un valor de -58), por encima del factor ambiental suelo, debido a que posiblemente existe una presión sobre el recurso a causa del elevado uso del agua de pozo y la energía eléctrica, la cual requiere del recurso hídrico para su obtención.

Los resultados horizontales en la matriz de Leopold permitieron identificar los impactos que causan las actividades en conjunto sobre cada factor ambiental, mientras que los resultados verticales permitieron conocer qué actividad es la que genera más impactos sobre todos los factores ambientales. De acuerdo con lo anterior, la actividad que genera la mayor cantidad de impactos sobre los factores del ambiente es la fabricación de resinas, cuyos aspectos ambientales asociados y posibles impactos ambientales pueden observarse en el Anexo F.

Hasta el momento se han mencionado los aspectos ambientales relacionados con los procesos y actividades de la empresa que generan impactos negativos, sin embargo, debe destacarse que existen aspectos que generan impactos positivos, como la generación de empleo y la producción de ingresos, siendo mayor este último impacto. En la matriz de Leopold (Anexo A) pueden observarse las actividades o procesos en los que se generan empleo y/o ingresos.

Además de la identificación de los aspectos ambientales y posibles impactos, se revisó la normatividad ambiental aplicable a la empresa y el cumplimiento o incumplimiento de esta. Los resultados se muestran en la Tabla 9 e indican un cumplimiento enfocado en el vertimiento de aguas residuales domésticas.

Tabla 9. Normatividad ambiental aplicable a la empresa

NORMATIVIDAD	CUMPLIMIENTO/ INCUMPLIMIENTO
SOBRE VERTIMIENTOS: DECRETO 3930 DE 2010	(Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, 2010)

Artículo 31. Soluciones individuales de saneamiento. Toda edificación, concentración de edificaciones o desarrollo urbanístico, turístico o industrial, localizado fuera del área de cobertura del sistema de alcantarillado público, deberá dotarse de sistemas de recolección y tratamiento de residuos líquidos y deberá contar con el respectivo permiso de vertimiento.	La empresa tiene dos tanques sépticos como tratamiento primario para las aguas residuales domésticas, pero no cuenta con un sistema de tratamiento para las aguas residuales industriales. La empresa está gestionando la obtención del permiso de vertimiento.
Artículo 41. Requerimiento de permiso de vertimiento. Toda persona natural o jurídica cuya actividad o servicio genere vertimientos a las aguas superficiales, marinas, o al suelo, deberá solicitar y tramitar ante la autoridad ambiental competente, el respectivo permiso de vertimientos.	Actualmente la empresa está realizando la gestión para la obtención del permiso de vertimiento.
Artículo 43. Evaluación ambiental del vertimiento. Para efectos de lo dispuesto en el numeral 19 del artículo 42 del presente Decreto (Decreto 3930 de 2010), la evaluación ambiental del vertimiento solo deberá ser presentada por los generadores de vertimientos a cuerpos de agua o al suelo que desarrollen actividades industriales, comerciales y de servicio, así como los provenientes de conjuntos residenciales y deberá contener como mínimo: (continua)	La empresa realizó la evaluación ambiental del vertimiento de agua doméstica.
Artículo 44. Plan de gestión del riesgo para el manejo de vertimientos. Las personas naturales o jurídicas de derecho público o privado que desarrollen actividades industriales, comerciales y de servicios que generen vertimientos a un cuerpo de agua o al suelo deberán elaborar un Plan de Gestión del Riesgo para el Manejo de Vertimientos en situaciones que limiten o impidan el tratamiento del vertimiento. Dicho plan debe incluir el análisis del riesgo, medidas de prevención y mitigación, protocolos de emergencia y contingencia y programa de rehabilitación y recuperación.	La empresa cuenta con un plan de gestión del riesgo para el manejo de vertimientos de agua doméstica.
DECRETO 4728 DE 2010 (Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, 2010)	
Artículo 3º: Plan de Contingencia para el Manejo de Derrames de Hidrocarburos o Sustancias Nocivas. Los usuarios que exploren, exploten, manufacturen, refinan, transformen, procesen, transporten o almacenen	La empresa cuenta con un plan de contingencia para la prevención y control de derrames, elaborado por dos ingenieros y documentado, sin embargo, en él no se establece la empresa

hidrocarburos o sustancias nocivas para la salud y para los recursos hidrobiológicos, deberán estar provistos de un plan de contingencia y control de derrames, el cual deberá contar con la aprobación de la autoridad ambiental competente.	especializada en residuos peligrosos para el manejo del derrame frente a un evento catastrófico.
SOBRE VERTIMIENTOS: RESOLUCIÓN 0631 DE 2015 (Ministerio de Ambiente y Desarrollo sostenible, 2015)	
Artículo 13. En este artículo se establecen los parámetros fisicoquímicos a monitorear y sus valores límites máximos permisibles en los vertimientos puntuales de aguas residuales no domésticas a cuerpos de aguas superficiales de actividades asociadas con fabricación y manufactura de bienes.	La empresa no ha caracterizado sus aguas residuales industriales por lo cual no pudo conocerse si los valores de los parámetros fisicoquímicos se encuentran dentro de los valores permitidos en esta resolución.
SOBRE RUIDO: RESOLUCIÓN 0627 DE 2006 (Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, 2006)	
Artículo 9°. Estándares máximos permisibles de emisión de ruido. En este artículo se establecen los estándares máximos permisibles de niveles de emisión de ruido expresados en decibeles ponderados A (dB(A)).	No se cuenta con mediciones de niveles de emisión de ruido.
SOBRE RUIDO: RESOLUCIÓN 8321 DE 1983 (Ministerio de Salud, 1983)	
Artículo 41. La duración diaria de exposición de los trabajadores a niveles de ruido continuo o intermitente no deberá exceder los valores límites permisibles que se fijan en la Tabla No. 3 del artículo 41.	No se cuenta con mediciones de ruido.
SOBRE ENERGÍA: DECRETO 3450 DE 2008 (Ministerio de Minas y Energía, 2008)	
Artículo 1°. Objeto y campo de aplicación. En el territorio de la República de Colombia, todos los usuarios del servicio de energía eléctrica sustituirán, conforme a lo dispuesto en el presente Decreto, las fuentes de iluminación de baja eficacia lumínica, utilizando las fuentes de iluminación de mayor eficacia lumínica disponibles en el mercado.	En la empresa se cuenta con bombillas ahorradoras.
SOBRE EMISIONES A LA ATMÓSFERA: RESOLUCIÓN 0909 DE 2008 (Ministerio de ambiente, vivienda y desarrollo territorial, 2008)	
Artículo 4°. Estándares de emisión admisibles para actividades industriales. En la Tabla 1 se establecen los estándares de emisión admisibles de contaminantes al aire para las actividades industriales definidas en el artículo 6° de la presente resolución.	No se cuenta con mediciones de emisiones a la atmósfera.
Artículo 69. Obligatoriedad de construcción de un	La caldera de aceite térmico industrial cuenta con

ducto o chimenea. Toda actividad que realice descargas de contaminantes a la atmósfera debe contar con un ducto o chimenea cuya altura y ubicación favorezca la dispersión de estos al aire, cumpliendo con los estándares de emisión que le son aplicables.	una chimenea.
SOBRE RESIDUOS PELIGROSOS: DECRETO 4741 DE 2005 (Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, 2005)	
Artículo 9°. De la presentación de los residuos o desechos peligrosos. Los residuos o desechos peligrosos se deben envasar, embalar, rotular, etiquetar y transportar en armonía con lo establecido en el Decreto N° 1609 de 2002 o por aquella norma que la modifique o sustituya.	Este tipo de residuos no son presentados a la empresa de aseo de la manera que indica este artículo.
Artículo 11. Responsabilidad del generador. El generador es responsable de los residuos o desechos peligrosos que él genere. La responsabilidad se extiende a sus afluentes, emisiones, productos y subproductos, por todos los efectos ocasionados a la salud y al ambiente.	La empresa según este Decreto es generador de residuos peligrosos y por tal motivo debe tener presente las responsabilidades que tiene sobre éstos.

8.2 Evaluación del uso del agua en los procesos productivos

8.2.1 Uso del agua en el laboratorio, la molienda y el lavado de tanques de fabricación de pinturas a base de agua

En la Tabla 1 del punto 8.1.2.1, se muestran las cantidades de agua potable y agua de pozo consumidas mensualmente en las actividades y procesos productivos. Se encontró que en la fabricación de pinturas a base de agua, el lavado de tanques de fabricación de las mismas, la molienda y el laboratorio, se utiliza el agua necesaria para cada actividad sin hacerse un uso desmedido de este recurso. El uso adecuado y controlado del agua en estos procesos y actividades se debe por una parte a que la planta debe abastecerse de agua potable mediante contenedores traídos desde una bodega externa a la empresa, debido a la inexistencia de acueducto en la misma, y por otra parte, el consumo de agua en la fabricación de pinturas a base de agua viene establecido en las fórmulas de fabricación.

En la molienda se presenta un bajo consumo de agua debido a que, de los molinos utilizados, únicamente el tricilindrico requiere agua para enfriamiento, la cantidad empleada es alrededor de

100 L cada 15 días. En otras palabras, para enfriar el molino tricilindrico se utilizan 100 L de agua que se recirculan durante 15 días y luego se reemplazan. Por otro lado, el bajo consumo de agua en el lavado de tanques de fabricación de pinturas a base de agua se debe a que la empresa produce en el mes solo dos lotes de pinturas vinílicas (uno de vinilo tipo I y otro tipo II) y por cada uno emplea 50 litros de agua para el lavado de los tanques usados en la fabricación.

En la Tabla 1 del punto 8.1.2.1, se observa que el mayor consumo de agua se presenta en el sistema de enfriamiento de los condensadores y los tanques de dilución empleados en los procesos de fabricación de resinas. Las lecturas del medidor del agua suministrada al sistema de enfriamiento, es decir el agua de reposición, mostraron que la demanda de agua depende del tipo de resina que se fabrique (Ver el Anexo G) y el consumo en promedio registrado por día es 2,11 m³.

8.2.2 Agua de reposición

El agua caliente proveniente de los tanques de dilución y condensadores empleados en el proceso de fabricación de resinas, llega por una tubería, es asperjada por la parte superior de la torre de enfriamiento y desciende a través de un relleno que sirve para aumentar el tiempo y la superficie de intercambio de calor entre el agua y el aire ascendente (Asprilla, 2011) que entra a la torre a través de dos ventiladores.

La confluencia del aire con el agua a enfriar en contracorriente evapora parte de ésta y además favorece al arrastre mecánico no deseado de gotas de agua (Asprilla, 2011). El agua tras ser enfriada cae a la balsa de la torre y posteriormente es impulsada mediante bombeo para reiniciar el ciclo de intercambio de calor en los tanques de dilución y condensadores del proceso de fabricación de resinas. Al sistema debe suministrársele una cantidad de agua para reponer las pérdidas que se generan durante el enfriamiento. La cantidad de agua de reposición es conocida según Asprilla (2011) como aporte y se define como:

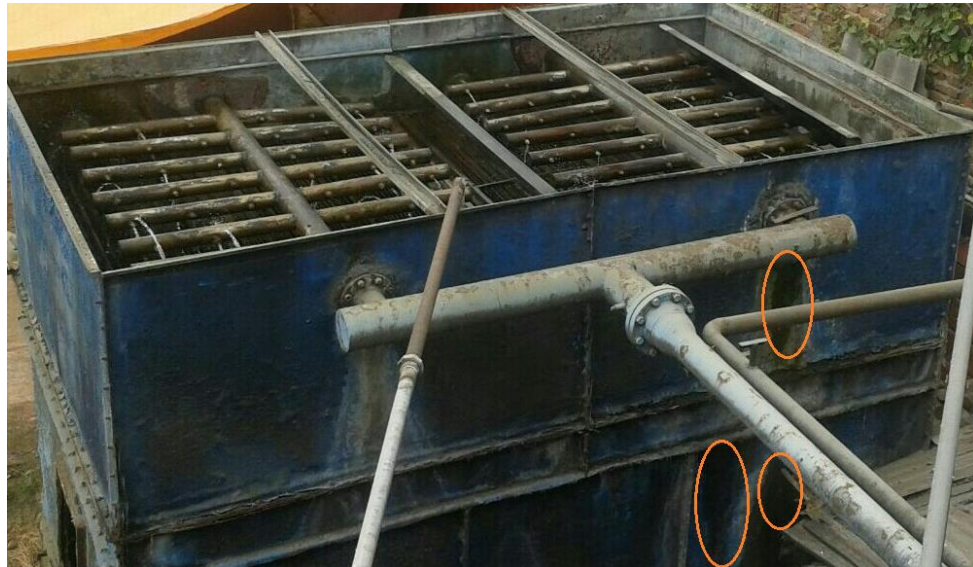
$$\text{Aporte} = \text{Pérdida por evaporación} + \text{Purga} + \text{Arrastre} \quad (\text{Ec. 6})$$

Se considera que 2,11 m³ por día es un consumo bajo si se compara con otros casos en los que las torres de enfriamiento requieren, por ejemplo, 78 m³/día de agua de reposición (Asprilla, 2011). Sin

embargo, este valor podría disminuir si la torre de enfriamiento estuviera en óptimas condiciones, puesto que, al hacer inspección visual a este equipo se encontró que, como se muestra en la Fotografía 1, la estructura presenta deterioro y fugas de agua (círculos rojos), lo cual hace que aumente el consumo de agua de reposición (Asprilla, 2011).

De la ecuación 6 cabe destacar que las pérdidas por purga no contribuyen al consumo de agua de reposición, puesto que la torre de enfriamiento actualmente no está siendo purgada. De acuerdo con lo anterior, el consumo de agua de reposición se debe a las pérdidas por evaporación, arrastre y fugas de agua.

Fotografía 1. Torre de enfriamiento con ventilación mecánica de tiro forzado



La torre de enfriamiento tiene un relleno de goteo o salpicadura, sobre el cual el agua al caer desde las boquillas rociadoras se fracciona en gotas cada vez más pequeñas. Según Jareño (2012), este tipo de relleno tiene varios inconvenientes, entre ellos, se presenta un caudal de arrastre de gotas importante, por lo tanto, para minimizar la emisión de partículas de agua a la atmósfera, las torres de enfriamiento deben tener en la parte superior un dispositivo de separadores de gotas de alta eficiencia (Asprilla, 2011). Sin embargo, como se observa en la Fotografía 1, la torre de enfriamiento no cuenta con dichos elementos, también llamados eliminadores de gotas, cuya misión consiste en

evitar que las pequeñas gotas sean arrastradas fuera de la torre por la velocidad del aire a la salida del relleno (Jareño, 2012), agrupándolas y haciéndolas caer de nuevo a la torre (Asprilla, 2011).

Cabe aclarar que esta torre de enfriamiento estaba provista de separadores de gotas, pero tras sus aproximadamente 25 años de funcionamiento los ha perdido. Si una torre tiene separadores de alta eficiencia, el arrastre de gotas puede significar desde un 0,01% hasta un 0,002% (en ciertos modelos) del caudal de agua en recirculación, por lo tanto, la posible cantidad de agua perdida por arrastre no es significativa (Lamúa y Cuesta, 2013), pero si los separadores se encuentran en mal estado se genera un mayor consumo de agua de reposición (Asprilla, 2011). Lo anterior evidencia que la falta de separadores de gotas en la torre de enfriamiento en cuestión significa un arrastre considerable de gotas de agua a la atmosfera, lo que finalmente repercute en el consumo de agua de reposición.

Usar menos agua en la planta de fabricación de pinturas genera menos aguas residuales (Dursun y Sengul, 2006), sin embargo, se observó que no es factible reducir los consumos de agua en el laboratorio, la molienda y el lavado de tanques de fabricación de pinturas a base de agua. Por otro lado, debido a que en la torre de enfriamiento el agua se recircula tras ser enfriada y actualmente no se le realiza purga, no existen vertimientos provenientes de la torre. Adicionalmente, el agua de enfriamiento tras ser usada en la molienda no se considera como un vertimiento, ya que el Decreto 3930 de 2010 define a éste como una descarga final a un cuerpo de agua, a un alcantarillado o al suelo, de elementos, sustancias o compuestos contenidos en un medio líquido (Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, 2010), sin embargo, para el enfriamiento del molino se emplea agua subterránea que no entra en contacto con materias primas por lo cual no se contamina con las mismas y se descarga al suelo a una temperatura similar a la del ambiente. Debido a lo anterior, el agua de enfriamiento de la molienda no se consideró como un aporte al agua residual industrial total generada en la empresa, por lo tanto, los vertimientos mensuales son aproximadamente los que se muestran en la Tabla 5 del punto 8.1.2.2, además de los vertimientos del agua residual industrial provenientes de la destilación realizada en los procesos de fabricación de resinas y acetato de amilo que se muestran en el subcapítulo siguiente.

8.3 Opciones de manejo o tratamiento de los residuos líquidos industriales

8.3.1 Volúmenes de agua residual generados en la fabricación de resinas

En la Tabla 10 se muestran los volúmenes de destilado líquido de cada resina, registrados desde enero hasta junio de 2015 en la bitácora de fabricación de resinas.

Tabla 10. Volúmenes de destilado líquido de cada resina registrados de enero a junio de 2015

Nombre resina	Referencia	Enero			Febrero				Marzo			Abril				Mayo			Junio			V Promedio (L/Proceso)	V Total (L/Semestre)
Resina poliéster modificada	1264	435			430	440	450		450	470	480	475	470			475	470	475	480	470	480	463,3	6950
Resina a base de colofonia	1321	0			175				0			150				0			155			160	480
Acetato de amilo	1245	890	920		900				870	860	880	970	790			850	750		820	770		855,8	10270
Resina alquidica corta en palmiste	1637	0			0				110			0				0			0			110	110
Resina alquidica media en soya	1499	180	175	175	180	170	170		175	170	180	175	180	170		180	175	170	175	175		175	2975
Resina de acidos grasos	1495	0			0				220			0				0			0			220	220
Resina poliéster flexible	1392	385	380		395	390			395	390		400	405			400	395		395			393,6	4330
Fusel deshidratado	1329	0			370				0			0				0			0			370	370
Resina poliéster nueva	1319	525	530	520	520	515	525	520	530	520	525	530	540	545	380	390	395	390	395	390	395	479	9580
Diotil ptalato (DOP)	1313	0			390				0			300				0			0			345	690
Destilado Líquido Total																						35975	

En la Tabla 11 se muestran los volúmenes de destilado líquido generados mensualmente en la fabricación de resinas durante el periodo de enero a junio del 2015.

Tabla 11. Volumen total mensual de agua destilada en los procesos de fabricación de resinas

Nombre resina	Referencia	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio
Resina poliéster modificada	1264	435	1.320	1.400	945	1.420	1.430
Resina a base de colofonia	1321	0	175	0	150	0	155
Acetato de amilo	1245	1.810	900	2.610	1.760	1.600	1.590
Resina alquídica corta en palmiste	1637	0	0	110	0	0	0
Resina alquídica media en soya	1499	530	520	525	525	525	350
Resina de ácidos grasos	1495	0	0	220	0	0	0
Resina poliéster flexible	1392	765	785	785	805	795	395
Fusel deshidratado	1329	0	370	0	0	0	0
Resina poliéster nueva	1319	1.575	2.080	1.575	1.995	1.175	1.180
Diofil ptalato (DOP)	1313	0	390	0	300	0	0
Volumen Total (L/mes)		5.115	6.540	7.225	6.480	5.515	5.100
Volumen Total (m3/mes)		5,1	6,5	7,2	6,48	5,515	5,1

En la Tabla 12 se muestran los volúmenes promedio y totales de destilado líquido y la frecuencia de fabricación de cada resina en el periodo de enero a junio de 2015.

Tabla 12. Volúmenes promedio y totales de destilado líquido y frecuencia de fabricación de cada resina

Referencia	Frecuencia de producción (No. procesos/ Semestre)	V Promedio (L/Proceso)	V Total (L/Semestre)
1245	12	855,8	10270
1319	20	479	9580
1264	15	463,3	6950
1392	11	393,6	4330
1329	1	370	370
1313	2	345	690
1495	1	220	220
1499	17	175	2975
1321	3	160	480
1637	1	110	110
Total			35975

Como puede observarse en la Tabla 11, los volúmenes de destilado líquido generados mensuales varían entre 5.100 y 7.225 L debido a que todos los meses no se fabrican los mismos tipos de resinas, puesto que la producción depende de la programación de ventas de la empresa.

Según la Tabla 10, el mayor volumen de destilado líquido por proceso se genera en la fabricación de acetato de amilo (solvente), seguido por las resinas 1319, 1264, 1392, 1329 y 1313, sin embargo, como puede observarse en la Tabla 12 el volumen total de destilado líquido aportado por cada resina durante el semestre, no solo depende del promedio que destile la resina sino también de la frecuencia con que estas se fabriquen, por lo tanto, las resinas 1329 y 1313 durante el semestre no aportan un volumen total de destilado líquido significativo, debido a su baja frecuencia de fabricación, mientras que la resina 1499 a pesar de generar un bajo volumen de destilado líquido con respecto al volumen aportado por las resinas ya mencionadas, aporta el quinto volumen total más alto de destilado líquido, debido a su alta frecuencia de producción (17 procesos por semestre).

8.3.2 Componentes de las aguas residuales generadas en la fabricación de resinas y pinturas a base de agua

En la Tabla 13 se muestran las temperaturas del proceso de destilación de cada resina y las materias primas que podrían estar presentes en el destilado líquido.

Para conocer los residuos de las materias primas que podrían estar presentes en el destilado líquido, se analizaron las temperaturas a las cuales inicia y finaliza el proceso de destilación en cada resina, las materias primas que no alcanzan su punto de ebullición o sublimación dentro del rango de temperaturas del proceso, se descartaron (se muestran en la Tabla 13 sin resaltar). Cabe aclarar que en la Tabla 13 se resaltaron unas materias primas a pesar de que sus puntos de sublimación son mayores que las temperaturas del proceso de destilación, esto se hizo porque se sospecha que estas materias primas podrían ser arrastradas en el destilado ya que se evidenció la presencia de materia prima sólida adherida al fondo y las paredes de los tanques donde se recogen los destilados. Dicha materia prima se muestra en la fotografía 2.

Las materias primas mostradas en la Tabla 13 son aquellas que se adicionan a los reactores de fabricación de resinas antes de realizarse el proceso de destilación, por lo cual tienen la posibilidad

de ser arrastradas en el destilado líquido. Cabe aclarar que existen otras materias primas no mostradas en la Tabla 13, que no se tuvieron en cuenta porque son adicionadas después de haberse realizado la destilación. Como puede observarse, dentro de las materias primas no hay incluidos metales pesados, por lo tanto, las aguas residuales (destilado líquido) provenientes de la fabricación de resinas y acetato de amilo posiblemente están compuestas por residuos químicos que incluyen anhídridos (maleico, ftálico), polioles (pentaeritritol), glicoles (monoetilenglicol, propilenglicol), aceites, hidrocarburo aromático (xileno) y ácidos (acético, paratoluensulfónico, fosfórico).

Por otra parte, las pinturas a base de agua que produce la empresa son vinilos blancos, que a diferencia de las resinas incluyen dentro de sus materias primas polímeros, nonilfenol, benzoato de sodio, dióxido de Titanio, nitrito de sodio, amoníaco, etilenglicol, etanol, caolín, entre otros, cuyos residuos hacen parte del agua residual generada en el lavado de los tanques de fabricación de estas pinturas.

Tabla 13. Materias primas y temperaturas del proceso de destilación de cada resina

Materia prima	Estado	Punto de ebullición (°C)	REFERENCIA DE RESINAS									
			1264	1321	1245	1637	1499	1495	1392	1329	1319	1313
soda cáustica en	sólido	1390				X						
Aceite de palmiste	sólido	>350				X						
Aceite de castor	líquido	>300										
Glicerina	líquido	290		X		X						
Hidroquinona grado fot.	sólido	287	X						X		X	
Anhidrido Ftalico	sólido	284 Sublima	X			X	X	X	X		X	X
Pentaeritritol	sólido	276 Sublima					X	X				
Colofonia	sólido	250		X								
Dietilenglicol	líquido	245,8							X			
Aceite de soya	líquido	210					X					
Anhidrido Maleico	sólido	202	X	X					X		X	
Monoetilenglicol	líquido	197					X	X			X	
Propilenglicol	líquido	187-188	X								X	
Ácido fosforico	líquido	135-160		X								
Xilol	líquido	137-144		X	X	X	X	X	X		X	
Ácido acetico glacial	líquido	117,9			X							
Ácido paratoluensulfonico	sólido	140			X							X
Fusel	líquido	98			X					X		
Fusel Deshidratado	líquido	98										X
TEMPERATURAS INICIAL Y FINAL DEL PROCESO DE DESTILACIÓN (°C)			155-200	175-250	95-140	180-250	175-250	220-220	160-206	95-98	160-206	70-98

Fotografía 2. Materia prima sólida presente en los tanques de recolección de destilado líquido de la fabricación de resinas



8.3.3 Alternativas de tratamiento de aguas residuales generadas en la fabricación de resinas y pinturas a base de agua

El agua residual proveniente de la fabricación de pinturas contiene concentraciones considerables de la demanda biológica de oxígeno (DBO), demanda química de oxígeno (DQO) y compuestos tóxicos (Dey *et al.*, 2004). Akyol (2012) reportó un agua residual de fabricación de pinturas con concentraciones de DBO₅ y DQO de 2.800 mg/l y 19.700 mg/L respectivamente, mientras que Aboulhassan *et al.* (2006) reportaron concentraciones de 1.465,20 mg/l y 16.342,32 mg/L respectivamente. La relación DBO₅/DQO constituye una buena medida de la biodegradabilidad de un agua residual, con una relación DBO₅/DQO > 0,4 se puede considerar completamente biodegradable (Chamarro *et al.*, 2001), sin embargo, las relaciones DBO₅/DQO para las aguas reportadas por Akyol, (2012) y Aboulhassan *et al.* (2006) son respectivamente 0,14 y 0,09, lo cual indica que un tratamiento biológico parece ser difícil y entonces se requiere un proceso fisicoquímico (Aboulhassan *et al.*, 2006).

En el tratamiento del agua residual reportada por Akyol (2012) se realizó una prueba de inhibición de lodos activados para evaluar el riesgo de ecotoxicología de las aguas residuales. La tasa de respiración del lodo activado disminuye cuando el agua residual contiene sustancias tóxicas o

inhibidores. La reducción de la tasa de respiración mostró que los microorganismos eran afectados por la muestra de agua residual cruda, cuya toxicidad fue de 0,67% (Akyol, 2012). En este caso, se optó por investigar el tratamiento del agua residual mediante electrocoagulación (Akyol, 2012), mientras que en el caso reportado por Aboulhassan *et al.*, (2006) se investigó el tratamiento del agua residual mediante un proceso de coagulación-floculación mejorado.

Por otra parte, Ramteke y Gogate (2015) investigaron el tratamiento de aguas contaminadas con xileno y otros hidrocarburos, a través de oxidación biológica aerobia, la cual fue combinada con el reactivo de Fenton (únicamente) o con Fenton + ultrasonido + agitación mecánica como pretratamientos. Se encontró que tanto para el tratamiento con reactivo de Fenton como para Fenton + ultrasonido + agitación, el tiempo óptimo de operación fue de 40 min con 2,0 g/l de Fe^{2+} y 1,0 g/l de peróxido de hidrógeno, concentraciones suficientes para reducir eficazmente la carga de contaminantes a los valores deseados para mejorar la biodegradabilidad del agua residual. La relación DBO_5/DQO aumentó de 0,17 a 0,39. La remoción de xileno fue de 71,6% para el tratamiento con reactivo de Fenton. Dado que el peróxido de hidrógeno puede disociarse en presencia de ultrasonido dando radicales hidroxilo adicionales, el pretratamiento combinado de Fenton + ultrasonido + agitación mecánica dio mejores resultados que los obtenidos empleando solo reactivo de Fenton, pues la remoción de xileno fue de 93,6 %, el grado de remoción de DQO fue de 84% y aumentó la velocidad de oxidación aeróbica en comparación con el pretratamiento con reactivo de Fenton (únicamente). Alrededor del 95% de remoción de DQO se obtuvo utilizando la combinación Fenton + ultrasonido + agitación mecánica + oxidación aeróbica.

Como puede observarse en los casos anteriores, los tratamientos biológicos han sido estudiados entre las alternativas de tratamiento de las aguas residuales generadas en la fabricación de pinturas, debido a que los procesos biológicos son los menos costosos (Rodríguez *et al.*, 2006) en cuanto a su operación y mantenimiento, sin embargo, para el caso de las aguas residuales generadas en la fabricación de resinas y pinturas vinílicas en las que se basa el presente trabajo, aplicar un tratamiento biológico podría resultar difícil, debido a que algunas de las materias primas usadas en la fabricación de resinas y pinturas vinílicas, son tóxicas, tales como el ácido acético, monoetilenglicol, xileno, nitrito de sodio, amoníaco, etilenglicol y nonilfenol, mientras que otras como el propilenglicol, pentaeritritol, xileno, benzoato de sodio, etanol y etilenglicol son biodegradables

(Ver Anexo H), sin embargo, un compuesto que en forma aislada es biodegradable, no necesariamente puede ser tratado biológicamente, ya que su biodegradabilidad depende de la presencia de otros compuestos orgánicos. Es el balance de nutrientes y de factores físico-químicos lo que es importante (Comisión nacional del medio ambiente, 1998).

Por lo tanto, aplicar un tratamiento biológico a estas aguas residuales podría no ser viable ya que por una parte es necesario realizar una previa remoción de los compuestos tóxicos, y por otra, según lo demuestran las experiencias citadas, este tipo de efluentes tienen bajos valores de la relación DBO_5/DQO , lo que indica una difícil biodegradación, además, para la supervivencia de los microorganismos se requiere una disponibilidad de nitrógeno y fósforo que evidentemente son deficientes en estas aguas residuales, por lo cual se daría la necesidad de adicionar estos nutrientes generando un aumento de costos dentro del tratamiento biológico. Para tratar el agua residual proveniente de la fabricación de resinas y pinturas vinílicas mediante un proceso biológico se requerirá, como en la mayoría de efluentes industriales, un tratamiento químico previo, ya que la combinación químico-biológico puede ser más eficaz basada en la expectativa de que muchos productos de oxidación de los contaminantes pueden ser fácilmente digeridos por microorganismos (Gogate y Pandit, 2004).

Un tratamiento químico puede resultar costoso dependiendo de los reactivos utilizados, como los de la experiencia reportada por Ramteke y Gogate (2015), además, para asegurar que aumente la relación DBO_5/DQO y por lo tanto la biodegradabilidad del agua residual, se requerirá mayores tiempos de pretratamiento (Ramteke y Gogate, 2015). En un efluente pretratado con un proceso químico como Fenton, los compuestos orgánicos se transforman en fragmentos ácidos particularmente adecuados para un biotratamiento (Rodríguez *et al.*, 2006), sin embargo, los mayores porcentajes de remoción alcanzados con este tratamiento están asociados a mayores costos del proceso como se mostrará posteriormente.

En la literatura se reportan otras alternativas para el tratamiento de las aguas residuales provenientes de la fabricación de resinas y pinturas a base de agua, tales como tratamiento electroquímico (Korbahti *et al.*, 2007; Korbahti y Tanyolac, 2009), electrocoagulación (Akyol, 2012), reactivo de Fenton y Foto-Fenton (Schwingel *et al.*, 2007; Kurt *et al.*, 2006) y coagulación-floculación (Aboulhassan *et al.*, 2006). Las condiciones de proceso y los resultados obtenidos en condiciones

óptimas utilizando los procesos anteriormente mencionados en distintas experiencias se muestran en la Tabla 14.

En la información de la Tabla 14 puede observarse que Schwingel *et al.*, (2007) utilizando reactivo de Fenton alcanzaron un porcentaje de remoción de DQO de 75,2% el cual no es un valor insignificante, sin embargo, para alcanzar mejores eficiencias de remoción el proceso requirió ser mejorado empleando luz artificial o natural (Foto-Fenton). El proceso Foto-Fenton con luz natural alcanzó un porcentaje de remoción de DQO mayor (99,5%) que el alcanzado con el proceso Foto-Fenton con luz artificial (81,8%), sin embargo, los autores observaron que la eficiencia del proceso con luz natural se ve limitada a ciertas horas del día, (10 a.m.-4 p.m.) en las cuales se da un periodo solar más intenso (Schwingel *et al.*, 2007).

Por otro lado, Ramteke y Gogate (2015) encontraron que un grado de remoción de DQO máximo de 84% se obtuvo cuando el proceso Fenton fue combinado con ultrasonido y agitación mecánica. Sin embargo, no siempre es justificable usar ultrasonido porque además de aumentar la eficiencia del proceso Fenton, aumenta el costo del tratamiento y refleja problemas para la operación a gran escala (Ramteke y Gogate, 2015). Adicionalmente, Ramteke y Gogate (2015) observaron que las eficacias de remoción aumentaron con un aumento de la dosis de peróxido de hidrógeno y la dosis de Fe^{2+} hasta un cierto nivel óptimo.

Tabla 14. Condiciones de proceso y resultados bajo condiciones óptimas en diferentes alternativas de tratamiento de aguas residuales de fabricación de resinas y pinturas a base de agua

Método de tratamiento	Condiciones de proceso y variables	Resultados en condiciones óptimas
Fenton; Foto-fenton (con luz natural o luz artificial) (Schwingel <i>et al.</i> , 2007)	Reactor de vidrio capacidad: 0,2L; 0,15L de Agua residual; pH de 2,55-3,52; 7,7 a 15,15 × 10-3 mol/L de FeSO ₄ ; 0,30-0,55 mol/L de H ₂ O ₂ ; Tiempo reacción de 3-6 h. Lampara de mercurio (60 W) (para Fotofenton con Luz artificial) Luz solar: (para Fotofenton con Luz natural)	Condiciones óptimas: pH 3,0; 15,15 × 10-3 mol /L FeSO ₄ y 0,30 mol/L H ₂ O ₂ (con adiciones suplementarias) Tiempo de reacción de 6 h Reducción DQO: 75,2% para Fenton Reducción DQO: 99,5% para Foto-fenton con luz solar Reducción DQO: 81,8% para Foto-fenton con luz artificial
Fenton (Kurt <i>et al.</i> , 2006)	Se emplearon columnas y reactores de mezcla. Columna 1: Tamaño 10 cm de alto y 1,5 cm de diámetro; Partículas de óxido: 0,3-0,6 mm (fuente de hierro); pH 1,5; 1110 mg/L H ₂ O ₂ ; 40mg/L de Fe+ Columna 2: Tamaño 5,0 cm de alto y 5,0 cm de diámetro; Partículas de óxido: 0,6-1,2 mm (fuente de hierro); pH 2,7; 3330 mg/L de H ₂ O ₂ ; 105 mg/L de Fe+ Reactores de mezcla: FeSO ₄ 7H ₂ O como fuente de hierro: pH 3.0; 100 mg/L de Fe ²⁺ 3320 mg/L de H ₂ O ₂ Óxido como fuente de hierro: pH 1,4; 10 g/L de óxido;	Los estudios de columna demostraron que la oxidación Fenton con partículas de óxido no es lo suficientemente eficaz para ser práctico. Los reactores de mezcla mostraron tasas de remoción de DQO de 80% con dosis de 10 g/L de partículas de óxido en aproximadamente 70 h. La remoción de DQO en la presencia de FeSO ₄ 7H ₂ O es un poco más eficiente que en los experimentos con óxido sólo.
Tratamiento electroquímico (Korbahti <i>et al.</i> , 2007)	Reactor electroquímico (en forma discontinua) ; volumen 600 ml; tres pares de electrodos de carbono; agitador con paleta; 50 carreras. Mediante un software se variaron 5 factores: %Carga contaminante: 20-100%; diferencia de potencial: 2-10V; concentración de electrolito (NaCl): 0-50 g/L; temperatura de reacción: 25-45 °C; tiempo de reacción: 0-8 h	La carrera No. 32 presento la mejor eliminación de DQO: 65,68% despues de 8 h. El pH del medio disminuyó de 10,2 a 7,0 en menos de 3 h, siendo una ventaja para la neutralización de las aguas tratadas sin utilizar ningún producto químico. Se optimizaron las condiciones a 100% de la carga contaminante; concentración de electrolitos de 35g/L; temperatura de reacción de 30 °C , diferencia de potencial de 8V (densidad de corriente 64,37 mA/cm ²), después de 6,79 h de tiempo de reacción dio como resultado una reduccion de la DQO de 68,7%.
(Körbahti y Tanyolac, 2009)	Reactor tubular continuo; (*)	El consumo mínimo de energía (42 kWh/kg DQO eliminada) se obtuvo en un tiempo de residencia de 6 h, considerado como tiempo de funcionamiento optimo. El pH final del agua fue de 7,33. La remoción de DQO fue 44,3%, para las condiciones optimas (**)
Electrocoagulación (Akyol, 2012)	Reactor de dimensiones: 120 mm×110 mm×110 mm Agua residual a tratar: 0,80 L Electrodos de Al ó Fe (2 catodos, 2 anodos); pH inicial 2-10; Densidad de corriente de 5–80 A/m ² ; Tiempo de operación 0-50 minutos. Diferencia de potencial: 2,10 a 16,36 V para Fe; 2,22 a 14.47 V para Al	Condiciones óptimas: 15 minutos de funcionamiento; pH 6,95; densidad de corriente 35 A/m ² . Remoción de DQO para los electrodos de Fe y Al: 93% y 94% respectivamente Costos de operación para los electrodos de Fe y Al : 0,187 €/m ³ y 0,129 €/m ³ respectivamete. El electrodo de Al se comportó mejor que el electrodo Fe en términos de eficacia de remoción de DQO y costos de operación. Las cantidades de lodos generados para los electrodos de Fe y Al fueron: 9,63 kg/m ³ y 7,73 kg/m ³ respectivamente.
Proceso Coagulación-floculación (mejorado) (Aboulhassan <i>et al.</i> , 2006)	Prueba de jarra (de 4 puestos); volumen de cada vaso 1000 ml; Cantidad de agua residual a tratar: 1000 ml; 650 mg/L de coagulante cloruro de hierro (FeCl ₃); Floculantes: (PO) Floculante Polysep 3000 (polímero orgánico natural) ; (SU) Floculante Superfloc A-1820 (poliacrilamida aniónica); (PR) polielectrolito aniónico Praestol 2515 TR ; Tiempos de operación: Coagulación-monofloculación: Mezcla rápida 5 min; mezcla lenta 15 min; sedimentación 1 hora Coagulación-bifloculación: Mezcla rápida 60 segundos; mezcla lenta 15 min; sedimentación 1 hora	Los resultados para las combinaciones de coagulante yfloculantes fueron: Fe: 650 mg/L; Remoción de DQO 82,55%; 198 ml/L de lodo; costo de 0,453 €/m ³ . Fe-PO: 650-160mg/L; Remoción de DQO 88,46%; 186 ml/L de lodo; costo de 0,880 €/m ³ . Fe-SU: 650-2,4mg/L; Remoción de DQO 88,37%; 152 ml/L de lodo; 0,461 €/m ³ . Fe-PR: 650-5mg/L; Remoción de DQO 84,42%; 90 ml/L de lodo; 1,703 €/m ³ . Fe-PO-SU: 650-80-1,2mg/L; Remoción de DQO 90,35%; 168 ml/L de lodo; 0,670 €/m ³ . Fe-PO-PR: 650-80-2,5mg/L; Remoción de DQO 90,80%; 128 ml/L de lodo; 1,291 €/m ³ . La combinación más adecuada para el tratamiento de las aguas residuales de pintura es Fe-PO-PR a pesar de que afecta (aumenta) el costo.

* Se usaron las mismas condiciones de proceso y variables que Korbahti et al. (2007).

** Las condiciones óptimas fueron las mismas presentadas por Korbahti et al. (2007).

Dado que el peróxido de hidrogeno es un reactivo costoso (Rodríguez *et al.*, 2006), el aumento de la dosis de Fe^{2+} resulta más prometedor en lugar de aumentar la dosis de H_2O_2 para una aplicación eficiente de la química de Fenton. Sin embargo, no es prudente utilizar demasiado hierro ferroso en la práctica debido a los mayores costos de reactivo, problemas con el exceso de lodos y la exigencia de su posterior tratamiento para la eliminación de hierro residual, por lo tanto, es deseable usar un nivel óptimo de carga oxidante (Ramteke y Gogate, 2015) así como hacer una adecuada elección de la fuente de hierro (Schwingel *et al.*, 2007).

Kurt *et al.*, (2006) encontraron que una fuente de hierro económica tal como las partículas de óxido, obtenidas de residuos de proceso de una industria de hierro y acero, permitió alcanzar un grado de remoción de DQO muy bajo y por lo tanto el proceso Fenton no resultó ser lo suficientemente eficaz para ser práctico. Por otro lado, la reacción de Fenton fue bastante lenta debido a que las formas de contaminación del agua residual eran disueltas y refractarias, lo que indicó que, además de la fuente y concentración de hierro, la velocidad de la reacción de Fenton depende de las características de los contaminantes. En ese mismo estudio se observó que utilizando un reactor de mezcla se logró obtener una remoción de DQO de 80% a costa de un tiempo de reacción mucho más largo (70 h) comparado con el tiempo de reacción (6 h) de los procesos Fenton y foto-Fenton investigados por Schwingel *et al.*, (2007).

El pH óptimo del proceso con reactivo de Fenton se sitúa en el intervalo 3-6, a $\text{pH} < 3$ se reduce la eficacia de remoción y se afecta considerablemente a la economía del proceso, y en el caso de corrientes concentradas se fuerza a controlar el pH de forma permanente con el consiguiente costo de reactivos, puesto que el medio tiende a acidificarse con el transcurso de la reacción (Rodríguez *et al.*, 2006).

Como puede observarse en la tabla 14, el proceso Fenton es la tercera alternativa que ha presentado buena eficiencia en el tratamiento de aguas residuales generadas en la fabricación de resinas y pinturas a base de agua y puede dar mejores resultados si se combina con otras técnicas, sin embargo presenta algunas desventajas como:

- El hierro y H_2O_2 residual pueden contaminar el medio receptor (Levchuk et al., 2014; Babuponnusami & Muthukumar, 2014).
- Presenta alta sensibilidad al pH. Requiere de un ajuste de pH antes y después del tratamiento, así como de un tratamiento posterior para eliminar el hierro residual en el efluente (Levchuk et al., 2014; Bautista et al., 2007).
- En ocasiones, no se consigue la mineralización completa del contaminante (Burbano et al., 2008, Maciel et al., 2004).
- Formación de complejos de hierro estables (Dopar et al., 2011). Los complejos de hierro disminuyen la capacidad del Fe^{+2} de disociar el H_2O_2 deteniéndose el ciclo (Salas, 2010).

Debido a las limitaciones presentadas y a los costosos reactivos utilizados, el proceso Fenton merece un estudio minucioso como posible alternativa para el tratamiento de las aguas residuales provenientes de los procesos de fabricación de resinas y pinturas vinílicas de la empresa en la que se basa el presente trabajo.

En la Tabla 14 se observa que de las alternativas de tratamiento presentadas, con el tratamiento electroquímico reportado por Korbahti *et al.* (2007) y Korbahti y Tanyolac (2009) se alcanzaron los menores porcentajes de remoción de DQO. En un reactor batch inicialmente se obtuvo una remoción de DQO máxima de 65,68% en un tiempo mayor (8 h) que el tiempo de reacción requerido en el tratamiento Fenton y Foto-Fenton (6 h), al optimizar las condiciones de proceso, para un tiempo de reacción de 6,79 h se obtuvo una reducción de la DQO de 68,7%, lo cual no es muy significativo con respecto al resultado obtenido en condiciones sin optimizar.

En condiciones óptimas pero empleando un reactor tubular continuo, la remoción de DQO fue de 44,3% en un tiempo de 6 horas, determinado como tiempo óptimo por presentar el menor consumo de energía. La remoción de DQO en este caso, es casi dos veces menor que la remoción observada en el tratamiento Foto-Fenton (con luz solar) para el mismo tiempo de reacción. Como regla general, la velocidad de reacción aumenta a medida que aumenta la temperatura, sin embargo, Korbahti *et al.*, (2007) encontraron que el aumento de la temperatura no tenía un efecto significativo sobre la remoción de la DQO y fue el aumento de la concentración de electrolito y el voltaje lo que aumentó la conductividad y la corriente simultáneamente, lo que a su vez mejoró la velocidad de reacción de la destrucción electroquímica.

La principal ventaja del proceso electroquímico es evitar o reducir la introducción de reactivos en disolución (Rodríguez *et al.*, 2006), sin embargo, tiene como desventajas la duración de los electrodos y un costo elevado debido al consumo de energía eléctrica, además es necesario convertir el efluente en conductor, para lo que suele ser necesario añadir una sal (Rodríguez *et al.*, 2006).

Por otra parte, en el estudio del tratamiento electroquímico reportado por Körbahti y Tanyolac (2009), se especifican los consumos de energía eléctrica en kW.h/kg mientras que en el proceso de electrocoagulación los autores no especificaron los valores de los consumos, solo sus unidades (kW.h/m³), por tal motivo no pudo hacerse una comparación entre los dos procesos con respecto a los consumos de energía eléctrica.

Los resultados del tratamiento electroquímico reportado por Korbati *et al.* (2007) y Korbati y Tanyolac (2009) no son satisfactorios con respecto a la baja remoción de DQO en comparación con los otros procesos, por lo que se descartó como alternativa para el tratamiento de las aguas residuales generadas en la fabricación de resinas y pinturas a base de agua, abordadas en este trabajo.

Los procesos que presentaron las más altas remociones de DQO con menores tiempos de operación, son la electrocoagulación y la coagulación-floculación mejorada. Como se observa en la Tabla 14, en la electrocoagulación la cantidad de lodos producida se reporta en Kg por volumen y en la coagulación-floculación mejorada en ml por volumen, al desconocer la densidad de los lodos (no se reporta en ambos casos) no fue posible comparar las cantidades producidas, sin embargo, según Powell Water Systems INC (2001) y Akyol (2012) la electrocoagulación genera lodos más compactos y en menor cantidad, lo cual involucra una menor problemática de disposición de estos lodos.

En la Tabla 14 se puede observar que la electrocoagulación presentó otras ventajas frente al tratamiento con coagulación-floculación mejorado, tales como un menor tiempo de operación, menores costos de operación y mayores porcentajes de remoción de DQO, lo cual concuerda con las ventajas del proceso presentadas en la literatura, donde se afirma que los costos de operación de la electrocoagulación son menores que los de procesos convencionales que usan polímeros (Powell Water Systems INC, 2001).

El proceso de electrocoagulación tiene otras ventajas principales como:

- Requiere de equipos simples y fáciles de operar, con la suficiente libertad operacional para manejar los problemas encontrados en su funcionamiento (Arango, 2005).
- Elimina requerimientos de almacenamiento y uso de productos químicos (Powell Water Systems INC, 2001).
- Los flóculos formados por la electrocoagulación son similares a los producidos químicamente, pero más grandes, contienen menos agua ligada, son antiácidos y más estables (Arango, 2005).
- Alta efectividad en la remoción de un amplio rango de contaminantes (Mollah, 2004; Powell Water Systems INC, 2001).
- Produce efluentes con menor cantidad de SDT comparado con los tratamientos químicos (Arango, 2005).
- Remueve las partículas coloidales más pequeñas, ya que el campo eléctrico aplicado las pone en movimiento más rápidamente facilitando la coagulación (Arango, 2005).
- Las burbujas de gas producidas pueden llevar el contaminante a la superficie de la solución, donde puede concentrarse fácilmente, ser recuperado y removido (Arango, 2005).

Diferentes publicaciones sobre electrocoagulación hacen referencia a diseños no patentados, desarrollados a escala de laboratorio y piloto, (Morante, 2002; Arango y Garcés, 2007; Morales y Acosta, 2010; Papaleo y Rodríguez, 2011; Medina y Peralta, 2015). Algunos diseños como el llamado Sistema TREAC (Alvartis, Consultoría y Asistencia Técnica, 2010) y el sistema PROELEC modelo 500, 1000, 2000 y 4000 (Lacueva, 2010), han sido tecnologías ofrecidas por empresas Europeas de servicios técnicos de ingeniería y consultoría, para el tratamiento de aguas residuales del sector papelerero, de curtidos, lavandería, mecánica, lácteo, conservación de pieles (Lacueva, 2005), entre otros. Cabe resaltar que el sistema PROELEC se reporta como una tecnología patentada ante la Oficina Española de Patentes y Marcas (O.E.P.M). El Sistema TREAC (Tratamiento por Electrocoagulación de Aguas Contaminadas) es un sistema compacto y fácilmente transportable, diseñado y optimizado después de una etapa de investigación desarrollada tanto a escala de laboratorio como a escala Planta Piloto, en la Universidad de Alicante, cuyo objetivo fue identificar los principales criterios de diseño que optimizan el proceso de electrocoagulación,

mientras que el sistema PROELEC modelo 500, 1000, 2000 y 4000, son equipos que permiten tratar agua residual en continuo, con caudales nominales de 500, 1000, 2000 y 4000 l/h (Lacueva, 2010).

Debido a las ventajas presentadas, la electrocoagulación es una opción atractiva como posible tratamiento para las aguas residuales generadas en la fabricación de resinas y pinturas vinílicas discutidas en el presente trabajo, a pesar de no estar reportadas dentro de las aguas tratadas por los sistemas anteriormente mencionados. En este trabajo se tuvo en cuenta la electrocoagulación ya que es un método tecnológico alternativo muy prometedor y brinda un potencial muy grande debido a la remoción de diversos contaminantes introducidos en el agua (Papaleo y Rodríguez, 2011).

Por otra parte, como toda tecnología, la electrocoagulación tiene sus desventajas, entre las principales están (Mollah *et al.*, 2001):

- Es necesario reponer los electrodos de sacrificio.
- Los lodos contienen altas concentraciones de hierro y aluminio, dependiendo del material del electrodo de sacrificio utilizado.
- Puede ser un tratamiento costoso en regiones en las cuales el costo de la energía eléctrica sea alto.
- El óxido formado en el ánodo puede, en muchos casos, formar una capa que impide el paso de la corriente eléctrica, disminuyendo de esta forma la eficiencia del proceso.

Alvartis, Consultoría y Asistencia Técnica (2010) afirma que para sacar el máximo rendimiento a la electrocoagulación se deben seguir una serie de pasos:

1. Estudio de Viabilidad: se realiza a escala de laboratorio y es fundamental para saber si la tecnología de la electrocoagulación es válida para el agua residual estudiada, para determinar las condiciones óptimas de operación del equipo y obtener una primera aproximación para determinar los parámetros de eficacia.

2. Optimización: se realiza a escala planta piloto y se obtienen, de manera real, datos sobre consumos y rendimientos, además sirve para diseñar el equipo, a medida del agua residual estudiada.

3. Diseño: en este paso se diseña el equipo.

Por otra parte, los costos de montaje y operación son fundamentales en la aplicación de esta tecnología y dependen del caudal a tratar, de la naturaleza del agua residual, de los contaminantes a ser removidos y en buena medida del material de los electrodos, por eso cada caso en particular requiere de un estudio y análisis minucioso de los aspectos técnicos y económicos del proceso (Restrepo *et al.*, 2006).

Por otro lado, otra tecnología que siempre ha atraído considerable atención por la obtención de alta eficiencia de remoción en el tratamiento de aguas residuales es la coagulación-floculación convencional; este proceso puede ser aplicado directamente al agua residual para eliminar compuestos orgánicos junto con sólidos en suspensión, sin ser afectado por la toxicidad del agua (Aboulhassan *et al.*, 2006). A pesar de que las experiencias reportadas ponen a esta tecnología en desventaja con respecto a la electrocoagulación, a diferencia de esta última, la coagulación-floculación tiene como gran ventaja ser un proceso implementado a escala real para el tratamiento de aguas residuales generadas en la fabricación de pinturas, el cual ha permitido obtener aguas con calidad suficiente para la aprobación de permiso de vertimiento (Corporación Autónoma Regional de las cuencas de los ríos Negro-Nare, 2015).

El proceso de coagulación-floculación requiere ser mejorado para superar problemas como la formación de pequeños flóculos o el rompimiento de los mismos. Además se requiere obtener un efluente de buena calidad y una rápida sedimentación de los flóculos formados (Aboulhassan *et al.*, 2006). Para ello varios productos floculantes pueden ser utilizados para reunir y aglutinar los flóculos formados por el coagulante con el fin de aumentar su densidad y, por lo tanto, mejorar la sedimentación (Aguilar *et al.*, 2002; Aguilar *et al.*, 2005).

La mejora de la remoción de contaminantes y la cantidad de lodos producidos depende de los floculantes específicos utilizados, por lo tanto es importante elegir una combinación adecuada de coagulante y floculante (Aboulhassan *et al.*, 2006). Dey *et al.*, (2004), encontraron que con una dosis óptima de alumbre se logró una reducción de la DQO del 65%, y al combinarla con un polímero se alcanzó una reducción del 74%. Aboulhassan *et al.* (2006) encontraron que al utilizar una dosis óptima de FeCl_3 solamente se lograba una reducción de 82,55% de DQO y se generaba 198 ml/L de lodo, mientras que al combinar ese coagulante con floculantes se alcanzaban remociones entre 84 y 88% de DQO con una generación de lodos entre 90 y 186 ml/L, y al adicionarse

coagulante y doble floculante se alcanzaron remociones del 90,8% con una generación de lodos de 128 ml/L. Como puede observarse, la cantidad de los lodos producidos durante el proceso de coagulación-floculación es altamente dependiente de los coagulantes y floculantes utilizados (Aguilar *et al.*, 2002).

En algunas experiencias se han utilizado como coagulante cloruro de hierro (FeCl_3) (Aboulhassan *et al.*, 2006; El-Gohary *et al.*, 2002) sulfato ferroso $\text{Fe}(\text{SO}_4)$, sulfato de aluminio ($\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$), policloruro de aluminio (Dovletoglou *et al.*, 2002) y como floculantes polímero orgánico natural, poliacrilamida aniónica y Polielectrolito aniónico (Aboulhassan *et al.*, 2006), pero según Rodríguez *et al.* (2006), no hay reglas generales en cuanto a qué coagulante es más eficaz en cada caso. Normalmente, para un agua residual concreta, se hace un denominado “ensayo de jarras” (jar test) donde se analiza la eficacia de los distintos productos (o mezclas de los mismos) así como el pH y la dosificación óptima. Además de la eficacia, es necesario tener en cuenta la generación de lodos así como los costos de los productos químicos.

La coagulación-floculación podría ser una buena alternativa para el tratamiento de las aguas residuales generadas en la fabricación de resinas y pinturas vinílicas de la empresa en cuestión, teniendo en cuenta lo siguiente:

- Para realizar un estudio de viabilidad en primer lugar es necesario que la empresa caracterice sus aguas residuales industriales, para conocer sus propiedades físicas y constituyentes químicos.
- Se deben optimizar condiciones como el pH, ya que el uso de coagulante en pH óptimo muestra una máxima eliminación de contaminantes (Aboulhassan *et al.*, 2006). Para ello, se adiciona una dosis fija de coagulante y se ajusta el pH de la mezcla adicionando ácido o base. La eficacia del coagulante en diversos pH puede medirse en términos de la turbidez (Dey *et al.*, 2004).
- Se deben buscar las dosis óptimas de coagulante y floculante empleando un equipo de prueba de jarras. El pH óptimo debe dejarse fijo mientras se varía la cantidad de coagulante para encontrar la dosis mínima de éste que permita una mayor remoción. Para encontrar las dosis óptimas de floculantes, éstas deben variarse mientras el pH óptimo y la dosis de coagulante mínima se mantienen constantes.

- Debe estimarse el volumen de lodo decantado, lo cual puede hacerse por el método volumétrico utilizando conos Imhoff (Aboulhassan *et al.*, 2006).
- Para evaluar la eficiencia del coagulante y floculante en el tratamiento de las aguas residuales se pueden considerar parámetros como la turbidez, demanda química de oxígeno y la cantidad de lodo generado (Aboulhassan *et al.*, 2006).

8.3.4 Propuesta de tratamiento de los residuos líquidos industriales

En la empresa bajo estudio, la cantidad de agua usada en el laboratorio y por lo tanto la cantidad de agua residual generada, varía de un día a otro dependiendo de la necesidad de lavado de los equipos, el agua residual del lavado de tanques de fabricación de pinturas vinílicas (pinturas a base de agua) solo se genera dos veces al mes y, como se observa en la Tabla 10 del punto 8.3.1 el agua residual generada en la fabricación de resinas, es decir el destilado líquido, depende del tipo de resina fabricada y se encuentra en el rango de 110 a 970 L por proceso. De acuerdo con lo anterior, la generación de agua residual en la empresa es discontinua y para esta situación es adecuado un sistema en el que se emplee uno o más reactores con operación discontinua (Bach).

Se recomienda no mezclar las aguas residuales provenientes de la fabricación de resinas con las aguas residuales generadas en el lavado de tanques de fabricación de pinturas a base de agua, para evitar la mezcla de sustancias incompatibles que causen problemas en el tratamiento. Debido a la baja cantidad de agua residual generada en el laboratorio, 56.75 l/día aproximadamente, y en el lavado de tanques de fabricación de pinturas a base de agua, 50 L/día (solo 2 días por mes), estas dos corrientes de agua residual pueden mezclarse, además el agua del laboratorio no se contamina con una variedad de sustancias químicas como en el caso de las otras dos corrientes de agua residual, por lo que posiblemente no se presentaría problemas por incompatibilidad. De acuerdo con lo anterior, se tendrían dos corrientes de agua residual que requieren ser sometidas a un tratamiento. El esquema de tratamiento que se propone empleando un proceso de coagulación-floculación y sedimentación es el siguiente:

El agua residual primero deberá ser conducida a un tanque de homogenización con dos compartimentos, uno para el agua residual generada en la fabricación de resinas y otro para la

mezcla del agua residual del laboratorio y el lavado de tanques de fabricación de pinturas a base de agua, esta unidad debe ser construida debajo del terreno. El agua residual se bombea hacia un reactor en el cual se realizará el ajuste de pH, la coagulación, floculación y sedimentación en la misma unidad. Este reactor de forma cilíndrica debe estar provisto de un agitador mecánico y debe tener un fondo cónico para facilitar la extracción de los lodos. No se sugiere realizar la sedimentación en una unidad separada de la coagulación-floculación para evitar un mayor requerimiento de espacio.

Los productos que salen de este tratamiento, son agua relativamente libre de materia orgánica y lodos no estabilizados que son la suma de la materia orgánica suspendida y disuelta, removida del agua y los coagulantes-floculantes añadidos (Guevara *et al.*, 2006). Debido a que el suelo es el único cuerpo receptor disponible, el efluente tratado puede conducirse a un campo de infiltración en forma de espina de pescado, mientras que los lodos pueden gestionarse mediante las siguientes opciones:

Los lodos deben ser deshidratados con el propósito de concentrarlos y reducir su volumen, para manejarlos fácilmente, reducir los costos de transporte y disposición final. Adicionalmente esto permite aumentar su poder calorífico debido a la disminución de la humedad. Una opción para deshidratar los lodos es empacarlos en bolsas permeables (big bags), en las cuales los lodos permanecen mientras escurre parte del agua que contienen. Estas bolsas deben colocarse directamente sobre una superficie preparada o sobre un lecho de secado típico de arena (SNatural, 2011), el cual consiste en una estructura rectangular de poca profundidad, con un fondo poroso sobre una red de drenaje subterráneo (Fuquene, 2013).

El lecho de secado deberá tener una tubería de desagüe que permita que el agua fluya hacia la entrada del tanque de homogenización que recibe el agua residual del lavado de tanques de fabricación de pinturas a base de agua y el agua residual del laboratorio. Dependiendo del tejido de las bolsas permeables, el drenaje inicial se puede dar en unas cuantas horas pudiendo concentrar hasta 15% de sólidos (SNatural, 2011) pasado ese tiempo, la deshidratación y evaporación en el lodo podrían tardar entre 8 y 10 días (Corporación Autónoma Regional de las cuencas de los ríos Negro-Nare, 2015).

Las bolsas llenas se sellan y se retiran de la unidad (lecho de secado), pudiéndose almacenar en otro sitio de la empresa para posteriormente ser transportadas al sitio de disposición final. Las bolsas permeables deberán tener tamaños adecuados para que el lecho de secado sobre el que se soportaran no requiera grandes dimensiones.

Otra alternativa si no se quiere utilizar bolsas permeables, es deshidratar los lodos descargándolos directamente sobre la superficie del lecho de secado. Al igual que en el caso anterior, éste deberá tener una tubería de desagüe que permita que el agua fluya hacia la entrada del tanque de homogenización que recibe el agua residual del lavado de tanques de fabricación de pinturas a base de agua y el agua residual del laboratorio.

Algunas de las ventajas de los lechos de secado son su bajo costo y que no requieren operación especial (Gómez, 2012), sin embargo como desventaja requieren disponibilidad de terreno, dado que el lodo debe ser extendido en capas entre 20 y 25 cm de espesor (Gómez, 2012). En este sentido, se requerirá lechos de secado de mayores dimensiones que el lecho en el que se soportaran las bolsas permeables, o se requerirán mayor cantidad de lechos de las mismas dimensiones, lo cual no es viable debido a que la empresa tiene limitaciones de área disponible, por lo tanto, una medida para manejar la situación podría ser, emplear un tanque donde se almacenen temporalmente los lodos, mientras el o los lechos de secado estén completamente ocupados. Es necesario que este tanque tenga una tubería que transporte el agua escurrida de los lodos hacia la tubería de desagüe del lecho de secado.

Esta última alternativa puede hacer más complejo el trabajo para los operadores por lo cual es más atractiva la opción de gestionar los lodos mediante big bags. En cualquiera de las alternativas es necesario una adecuada deshidratación de los lodos para realizar una disposición final en rellenos sanitarios, dado que de esta manera disminuye la formación de lixiviados (Fuquene, 2013). Por lo tanto es necesario que los lechos de secado sean cubiertos para evitar que en épocas de lluvia los lodos se mojen y aumenten su humedad.

Se debe realizar un análisis a los lodos generados en el sistema, para determinar si son o no peligrosos. Si no son peligrosos podrían disponerse como residuos ordinarios mediante la empresa gestora de residuos, pero si son peligrosos, deben disponerse en un relleno sanitario de seguridad. El Valle del Cauca cuenta con el relleno de seguridad La Esperanza, que opera en el relleno

sanitario regional Presidente, localizado en el municipio de San Pedro, el cual constituye una solución ambiental para la problemática de disposición final de residuos peligrosos (Proactiva de Servicios S.A. E.S.P, 2015).

En la Figura 9, se presenta el esquema de tratamiento del agua residual industrial de la empresa en cuestión, empleando un proceso de coagulación-floculación y sedimentación.

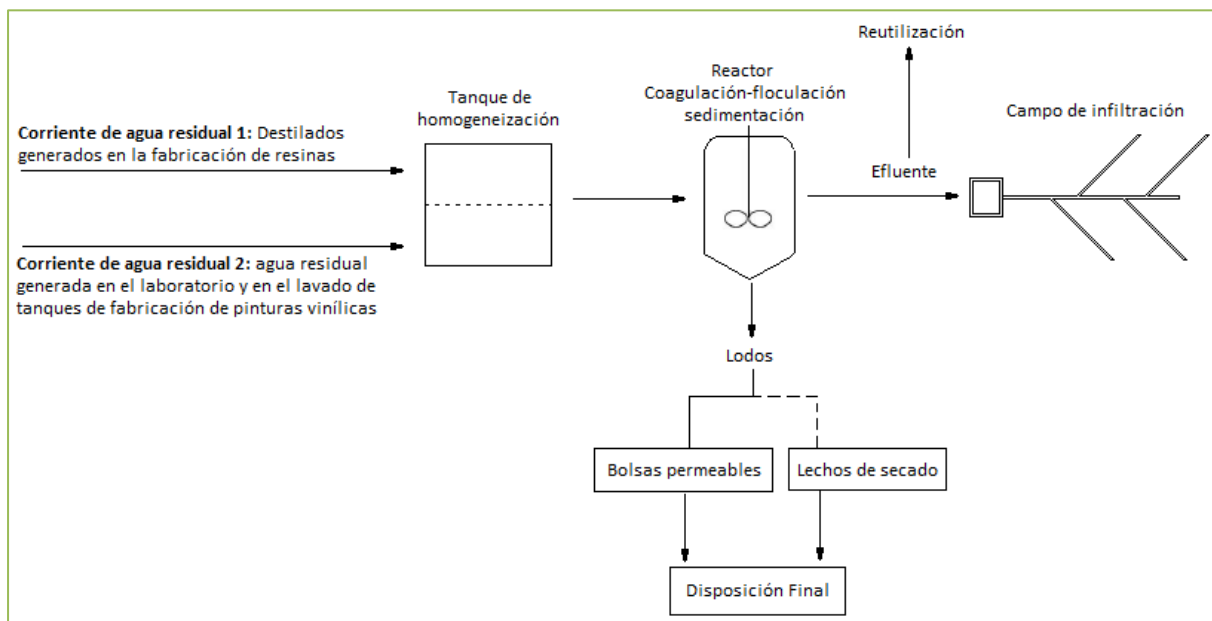


Figura 9. Tratamiento de agua residual generada en la fabricación de resinas y pinturas a base de agua mediante coagulación, floculación y sedimentación

Si en lugar del proceso de coagulación-floculación se utiliza la electrocoagulación como tratamiento de las aguas residuales industriales, la diferencia con el esquema anterior sería el uso de un reactor electrocoagulador tipo batch seguido por un clarificador. Este último debe ser una unidad separada.

Realizar los pasos sugeridos por Alvartis, Consultoría y Asistencia Técnica (2010) es un reto bastante grande para una empresa de pequeño tamaño, como lo es la empresa en cuestión, la cual presenta limitaciones para desarrollar una investigación sobre viabilidad y optimización de esta tecnología que aún no ha sido ampliamente implementada y exitosa a escala real en el tratamiento de aguas residuales generadas en la fabricación de resinas y pinturas a base de agua, ya que implica inversiones previas a la construcción del sistema de electrocoagulación que pueden significar

costos muy elevados para la empresa. Sin embargo, esta alternativa de tratamiento aunque pueda resultar costosa inicialmente, no debe ser descartada dado que según las experiencias es un tratamiento eficiente y además genera menor cantidad de lodos comparada con otras alternativas, lo cual es muy importante debido a que los costos de manejo, transporte y disposición de estos productos (lodos) también son menores. Este último aspecto es relevante dado que la empresa cuenta con un espacio disponible reducido para llevar a cabo una adecuada gestión de lodos.

8.4 *Residuos líquidos potencialmente recuperables o reutilizables*

El obstáculo principal asociado con el reciclaje del agua en los procesos de fabricación de pintura a base de agua, es la contaminación microbiana y el deterioro de la calidad del producto y la vida útil. Los problemas comunes asociados con la degradación microbiana y actividad de hongos son los cambios en la viscosidad, pH, color y pérdida de propiedades de adhesión superficial (Dey *et al.*, 2004).

Las bacterias y hongos crecen en la pintura a base de agua y son capaces de producir celulasa, una enzima notablemente eficaz a concentraciones tan bajas como 10 y 5 unidades por cm^3 , en la subdivisión de agentes espesantes celulósicos de cadena larga, produciendo pequeñas unidades oligoméricas residuales que no cumplen la función del material original. Las Bacterias fermentativas producen gas de la descomposición del espesante celulósico degradando la celulosa primero en glucosa, la cual se fermenta para producir ácido y dióxido de carbono (Dey *et al.*, 2004). Otras bacterias conocidas como reductores de sulfato, bajo condiciones anaeróbicas pueden utilizar el oxígeno de sulfatos que conducen en última instancia a la formación de sulfuro de hidrógeno. Debido a estas razones, el reciclaje del agua no es una práctica generalizada en los procesos de fabricación de pintura a base de agua (Dey *et al.*, 2004), sin embargo, existen experiencias reportadas en la literatura que demuestran que las aguas residuales provenientes de la fabricación de resinas y pinturas a base de agua después de ser sometidas a un tratamiento adecuado, pueden ser reutilizadas en el lavado de tanques y en la fabricación de pinturas a base de agua.

En un estudio realizado por Gómez (2010), en el laboratorio de investigación y desarrollo de la empresa Pinturas Condor ubicada en la ciudad de Quito (Ecuador), la autora concluyó que el agua

residual de la fabricación de resinas después de ser sometida a un tratamiento adecuado puede emplearse en la fabricación de pinturas a base de agua. En ese estudio, el agua residual era una mezcla de destilado líquido de los procesos de fabricación de resinas alquídicas, poliéster y urea-formaldehído. Dicha agua se caracterizó antes y después de ser sometida a un tratamiento que consistió en la aireación del agua residual durante diferentes tiempos (24, 48, 72 y 96 horas), acelerando el proceso de oxidación con la ayuda de peróxido de hidrógeno y estabilizando el pH con sosa caústica ya que este era muy ácido (3.5) inicialmente. Posteriormente se elaboró pintura a base de agua con diferentes porcentajes de participación del agua residual (tratada) para definir el porcentaje que se podía reutilizar sin alterar ninguno de los parámetros de calidad de la pintura acuosa (Gómez, 2010).

El agua residual en porcentajes de 5, 10, 15, 20, 25 y 30% se adicionó en la parte final del proceso de fabricación de pintura, es decir, una vez que se agregó el espesante, la resina y los preservantes. Los parámetros de calidad del agua residual cruda y tratada fueron la DBO, DQO, pH, formol libre e isobutanol, mientras que los parámetros de calidad de la pintura acuosa fueron el color, cubrimiento húmedo, cubrimiento seco, brillo, viscosidad, densidad, finura, limpieza, porosidad, resistencia a la abrasión y olor. Los parámetros de calidad del agua residual cruda y tratada se muestran en la Tabla 15.

Los resultados indicaron que a medida que aumentó el tiempo de aireación, el pH aumentó (se estabilizó) y disminuyeron la DQO, la DBO, el porcentaje de formol y la concentración de isobutanol (Gómez, 2010). Aquí es necesario aclarar que la reducción de formol se obtuvo gracias a la adición de urea al proceso de aireación.

Por otra parte, en los parámetros de calidad de la pintura tales como color, cubrimiento húmedo y seco, brillo, limpieza, porosidad y resistencia a la abrasión, en todos los porcentajes de agua residual adicionados al proceso de fabricación, se obtuvo un resultado igual al estándar, mientras que los resultados de los parámetros densidad, viscosidad, pH y finura no presentaron variaciones significativas como se muestra en la Tabla 16, dichos resultados indicaron que los parámetros de calidad de la pintura no fueron afectados con la utilización del agua residual tratada a excepción del olor, que por la presencia de formol libre dio como resultado olor irritante (Gómez, 2010) pero fue

disminuyendo a medida que aumento el tiempo de aireación. En la Tabla 16 se muestran los parámetros de calidad de la pintura a base de agua con variaciones insignificantes.

Tabla 15. Parámetros de calidad del agua residual de fabricación de resinas antes y después del tratamiento

Muestra Agua residual	Horas aireación	pH	DQO (mg/l)	DBO (mg/l)	Formol libre (%)	Isobutanol (mg/l)
Cruda	0	3.5	23390	9687.42	10	4438.02
Tratada	24	5.2	17305	7219.54	7	4342.57
Tratada	48	6.1	12170	4931.77	5	2817.23
Tratada	72	6.9	5432	3209.34	3	1983.61
Tratada	96	7.4	2040	1012.5	1	184.29

Fuente: Tomada y modificada de Gómez (2010)

Tabla 16. Parámetros de calidad de la pintura a base de agua fabricada con agua residual

Horas de aireación	Parámetros de calidad de la pintura	Porcentajes de agua residual adicionados en la fabricación de pintura acuosa					
		5%	10%	15%	20%	25%	30%
24	Densidad (g/ml)	1.33	1.332	1.34	1.35	1.32	1.3
48		1.31	1.32	1.334	1.315	1.362	1.30
72		1.30	1.312	1.344	1.356	1.321	1.33
96		1.333	1.323	1.314	1.335	1.322	1.321
24	viscosidad (KU)	125	124	123	122	125	122
48		125	119	118	121	120	122
72		118	121	119	120	123	122
96		119	122	121	118	125	120
24	pH	7.93	7.9	7.8	7.3	8	8.2
48		7.6	7.4	7.7	7.2	8	7.1
72		7.1	7.6	7.8	7.4	7.3	7.4
96		7.3	7.6	7.4	7.3	7.2	7
24	Finura (NS)	4.5	4	4.6	3.5	4.5	4
48		4.5	4	4.5	4.5	4	4
72		4.5	4	4.6	3.5	4.5	4

96		4.5	4	4.6	3.5	4.5	4
24	Olor	Estándar	leve Irritante	Irritante	Irritante	Irritante	Irritante
48		Estándar	Estándar	leve irritante	Irritante	Irritante	Irritante
72		Estándar	Estándar	Estándar	leve irritante	Irritante	Irritante
96		Estándar	Estándar	Estándar	Estándar	Irritante	Irritante

Fuente: Tomada y modificada de Gómez (2010)

Gómez (2010) concluyó que el porcentaje de reutilización óptimo de agua residual fue del 20% en un tiempo de aireación de 96 horas, en el cual no se produjo inconvenientes, olor desagradable y ni afectación de los parámetros de calidad.

En un estudio sobre la factibilidad de la reincorporación de agua tratada al proceso de elaboración de pinturas emulsionadas económicas realizado por Maita (2012) en la empresa Corimon Pinturas C.A ubicada en Carabobo (Venezuela), se determinó estadísticamente cómo influye la calidad del agua residual tratada en las diferentes propiedades y en el cumplimiento de las normas de calidad de ese producto. Las aguas residuales estudiadas por Maita (2012) provenían del lavado de tanques de fabricación de pinturas a base de agua y eran tratadas en una PTAR mediante un proceso fisicoquímico, el cual consistía en una coagulación, floculación y posterior sedimentación.

En ese estudio Maita (2012) comprobó que la cantidad de agua tratada incorporada en la fabricación de pintura emulsionada económica no afectó parámetros de calidad como la densidad y el color, en cambio sí afectó significativamente la viscosidad, el pH y la estabilidad de la pintura en el envase. Transcurridos seis (6) meses, la autora evaluó el grado de sedimentación de la pintura y encontró que aquellas fabricadas con un 50%, 75% y 100% de agua (residual) tratada, tenían una definida porción de sedimento, pero no observó corrosión, mal olor, ni presión al destapar el envase. Observó desmejoras en la apariencia del producto por pequeñas formaciones de grumos, el pH inicial varió aproximadamente en 1 unidad al compararlo con el pH final del producto y la viscosidad fluctuó aproximadamente en 10 unidades con respecto a la viscosidad inicial, lo que indicó poca estabilidad del sistema (Maita, 2012).

Maita (2012) realizó pruebas de aplicaciones de pintura con brocha y observó que las muestras de pintura elaboradas con 50%, 75% y 100% de agua tratada presentaban mayor presencia de

espuma. La existencia de una baja tensión superficial y un alto contenido de sulfato en el agua tratada afectaron la calidad del producto aumentando la espumabilidad. Ese alto contenido de sulfato en el agua residual tratada se debía a la dosificación en exceso de sulfato de aluminio realizado en el tratamiento fisicoquímico. Adicionalmente, la viscosidad se vio afectada debido a que el agua tratada contenía una gran cantidad de electrolitos.

Por otro lado, Maita (2012) observó que el agua residual tratada utilizada para elaborar la pintura no condujo al deterioro del producto por microorganismos, lo cual indicó que la cantidad de biocida empleado en la fórmula era suficiente para controlar la proliferación de microorganismos.

En este estudio la autora concluyó que el efluente era apto para ser considerado materia prima en la formulación de pinturas emulsionadas económicas, pero, según sus evaluaciones, no debía utilizarse más de un 25% de agua tratada en la fórmula de la pintura, debido principalmente al pH, la cantidad de sulfatos, la tensión superficial y la dureza total del efluente de la planta de tratamiento. La afectación de parámetros de calidad como la estabilidad en el envase, la viscosidad y el pH de la pintura, indicó que se debe mejorar el tratamiento fisicoquímico realizado a las aguas residuales para optimizar la calidad del agua tratada y tener la posibilidad de reincorporarla en mayor proporción a la pintura emulsionada económica sin que se vean afectadas ninguna de sus características (Maita, 2012).

La recuperación del agua residual generada en la fabricación de resinas y pinturas a base de agua, es una opción atractiva porque puede reducir considerablemente el consumo de agua potable en el proceso de elaboración de pintura a base de agua, sin embargo, para que en la formulación puedan incorporarse altos porcentajes de agua residual, ésta requiere tratamientos efectivos que le permitan obtener una calidad suficiente para no alterar las propiedades y evitar la contaminación microbiana de la pintura acuosa. Por tal motivo, en algunos casos se busca obtener una buena calidad del agua residual mediante tratamientos de pulido como la microfiltración realizada después de un tratamiento fisicoquímico, como lo reporta Dey *et al.* (2004) en un estudio realizado en una empresa de fabricación de pinturas ubicada en Kuala Lumpur (Malasia), en la cual el agua residual es sometida a un tratamiento de coagulación-floculación y sedimentación.

En ese estudio, la microfiltración se realizó mediante una membrana de acetato de celulosa con tamaño de poro de 0,2 μ m y se obtuvo como resultado un agua filtrada libre de materia en

suspensión, bacterias y materia coloidal, es decir, con la calidad adecuada y aceptada para reutilizarse en diferentes etapas dentro de la fabricación de pinturas a base de agua y en diversos usos dentro de la planta de fabricación (Dey *et al.*, 2004), con el objetivo de reducir el consumo de agua y la descarga de efluentes a los cursos externos de agua. Las características del agua cruda y la mejora de éstas mediante el tratamiento de coagulación, floculación y microfiltración se muestran en la Tabla 17.

Tabla 17. Características del agua residual cruda y tratada mediante coagulación, floculación y microfiltración

Parámetro	Unidad	Agua residual sin tratamiento	Agua tratada mediante coagulación-floculación	Agua tratada mediante coagulación floculación y microfiltración
pH		8,5	7,5	7,5
DBO5	mg/l	588	96,7	28
DQO	mg/l	5632	354,12	65
SST	mg/l	2864	8	5
OD	mg/l	0,58	7,03	7,25
Temperatura	°C	30,2	27	27
Turbiedad	NTU	5632	8,6	0,3

Fuente: Dey *et al.*, (2004)

En el estudio realizado en la empresa Pinturas Condor se escogió el tratamiento de aireación-oxidación debido a que el agua residual tenía pH muy ácido, presencia de compuestos orgánicos muy volátiles y formol, lo cual dificultó un posible tratamiento biológico, sin embargo se sugirió la búsqueda de otra alternativa de tratamiento para poder reutilizar mayores porcentajes de agua residual tratada (Gómez, 2010).

En el caso del estudio realizado en la empresa Corimon Pinturas C.A se sugirió una optimización del tratamiento fisicoquímico realizado al agua residual, dado que el efluente de la PTAR presenta altos contenidos de sulfatos y electrolitos que no permiten reutilizar el agua en porcentajes mayores al 25% dentro de la fórmula de fabricación de pinturas emulsionadas, dado que afecta propiedades como el pH, la estabilidad en el envase y la viscosidad. En el estudio realizado en la empresa de

pinturas en Kuala Lumpur los autores concluyeron a partir de los ensayos realizados, que el tratamiento químico por sí solo no podría eliminar las bacterias del agua residual de ese caso, por lo que fue necesario realizar una filtración por membrana para eliminar las bacterias y poder producir agua de calidad suficiente para su uso dentro de la planta.

Para el caso del presente trabajo, no se sugiere un tratamiento como el realizado en la empresa Pinturas Condor, dado que se considera que no es el más adecuado, puesto que retira la contaminación del agua residual pero la traslada al aire, lo cual no es deseable. Por otra parte, el tratamiento fisicoquímico sugerido podría producir un agua de calidad inadecuada para ser incorporada en porcentajes significativos en la formulación de pinturas a base de agua, si no se utiliza el tipo y la dosis adecuada tanto de coagulante como de floculante, por lo tanto se reitera la necesidad de realizar una evaluación de las combinaciones de éstos, por un lado para evitar problemas como la presencia de altos contenidos de electrolitos o sulfatos en el agua tratada y por otro, una buena combinación logra reducir la cantidad de lodos generada (Aboulhassan *et al.*, 2006), y por lo tanto, los costos de tratamiento, transporte y disposición final de éstos. Adicionalmente, una posible reutilización del agua residual tratada reduce el vertimiento de este efluente en el suelo.

9 CONCLUSIONES

- La jerarquización de aspectos ambientales a partir de la matriz de Leopold mostró que el vertimiento de agua residual industrial es el aspecto ambiental significativo más negativo y requiere inmediata atención porque puede estar afectando negativamente el factor ambiental suelo, no obstante, el consumo de energía eléctrica y el consumo de agua de pozo que son los siguientes aspectos ambientales más significativos y negativos, también requieren una adecuada gestión dado que son aspectos que se generan de actividades y procesos indispensables para el funcionamiento de la compañía, y en conjunto están afectando el factor ambiental hídrico.
- Es evidente que la empresa ha realizado esfuerzos que buscan dar cumplimiento solo a la normatividad de vertimientos con respecto al agua residual doméstica, por lo tanto es necesario que emprenda acciones enfocadas en el cumplimiento de otras normatividades en materia ambiental que le son aplicables y que contribuyen al cuidado del entorno donde la empresa tiene influencia, en especial la resolución 0631 de 2015 sobre vertimientos de aguas residuales no domésticas y el decreto 4741 de 2005 sobre residuos peligrosos, puesto que la empresa como generadora de este tipo de residuos no tiene una claridad sobre sus responsabilidades con respecto a los mismos y no les realiza una adecuada gestión.
- En el lavado de tanques de fabricación de pinturas a base de agua, la molienda y el laboratorio se hace uso adecuado del agua y no es factible disminuir los consumos de este recurso, sin embargo si es posible la disminución del consumo de agua de reposición mediante la reparación de la torre de enfriamiento, ya que el deterioro de su estructura genera fugas de agua que pueden ser evitadas.
- Tratar las aguas residuales generadas en la fabricación de resinas y pinturas a base de agua mediante un proceso biológico, no es una opción viable debido al contenido de residuos tóxicos,

la ausencia de nutrientes y posiblemente la baja relación DBO_5/DQO de estas aguas, por lo cual es necesaria la aplicación de un tratamiento fisicoquímico.

- Las experiencias muestran que utilizando procesos de tratamiento como la electrocoagulación o coagulación-floculación se alcanzan altos porcentajes de remoción de DQO de las aguas residuales provenientes de la fabricación de pinturas, siendo la electrocoagulación más eficiente con menores costos de operación, tiempo de operación y menor generación de lodos, pero a diferencia de este último proceso, la coagulación-floculación + sedimentación ha sido implementada en varias empresas de pinturas y revestimientos para el tratamiento de sus aguas residuales industriales, con algunas fallencias que tras ser superadas pueden hacer de este proceso una buena alternativa para tratar las aguas residuales generadas en la fabricación de resinas y pinturas a base de agua abordadas en el presente trabajo.
- Este trabajo es una aproximación a los tratamientos que posiblemente podrían emplearse para el agua residual industrial de la empresa bajo estudio, pero decidir cuál opción es mejor que otra requiere de un estudio de viabilidad económica y un análisis minucioso de los aspectos técnicos de cada proceso, siendo indispensable realizar la caracterización del agua residual y las pruebas de laboratorio necesarias.
- Las experiencias muestran que los mayores porcentajes de reutilización de las aguas residuales generadas en la fabricación de resinas y en el lavado de tanques de fabricación de pinturas vinílicas, para la fabricación de pinturas acuosas, están asociados con las eficiencias de los tratamientos que se hagan a estas aguas, es decir, el aprovechamiento es mayor a medida que el agua tratada presenta una mejor calidad, por lo cual realizar un tratamiento efectivo al agua residual permite por una parte un mayor aprovechamiento del agua residual y por otro disminuye el vertimiento de la misma al suelo.

10 RECOMENDACIONES

- **Programa de uso eficiente del agua y/o optimización del consumo**

Dado que la salud ocupacional y la integridad de los trabajadores es una parte fundamental que no debe ser descuidada por la empresa y debe ser abordada dentro de las gestiones de mejora que realice la misma, es indispensable que la compañía tenga consciencia de la necesidad de implementar el servicio de agua potable en la planta, por una parte se requiere en la atención de eventuales accidentes donde el trabajador tiene contacto con productos químicos, y por otra, por cuestión de higiene de los empleados.

Hasta el momento el consumo de agua potable se tiene controlado por el esfuerzo que implica el traer este recurso hasta la planta en contenedores, sin embargo, una vez implementado el servicio de agua potable debe realizarse un programa de uso eficiente del agua, en el cual la dirección y los trabajadores aseguren un compromiso, técnicas y buenas prácticas para un adecuado consumo y ahorro del agua. Dicho programa debe además incluir el uso eficiente del agua de pozo, dado que representa el mayor consumo de la empresa. Este último requiere además de una adecuación de los sanitarios y de la torre de enfriamiento que se encuentran en estado de deterioro, puesto que ello influye en los elevados consumos de este recurso.

Adicionalmente, durante varias visitas se pudo observar que luego un evento de lluvia el suelo de la zona 6 se satura de agua y resulta incómodo para la movilidad de la materia prima y los empleados, por lo tanto, el programa mencionado puede contemplar el aprovechamiento del agua lluvia en cuanto sea posible, para operaciones de limpieza que no requieran uso de agua potable, contribuyendo de esta forma a la disminución del uso del agua de pozo épocas de lluvias.

- **.Estudio de uso eficiente de la energía eléctrica**

Tras revisar las facturas de los consumos de energía eléctrica de enero a diciembre del año 2015, se encontró que los consumos varían entre 7.004 y 17.970 kWh y se reflejan en costos entre 2.528.140 y 7.185.840 \$, al comparar esta información con la producción del año 2015 (ver anexo E) se observó que los meses de mayor producción coinciden con los de mayor consumo de energía eléctrica. Debido a esto, se recomienda realizar un estudio de uso eficiente de la energía eléctrica, en el cual se identifiquen los puntos críticos de los procesos con altos consumos de energía, se analicen las variables, tolerancias y capacidades para flexibilizar los procesos en busca de una

reducción del consumo de energía en los mismos, se identifiquen las oportunidades de ahorro energético y se aborde el tema del mantenimiento de las máquinas y equipos utilizados en los procesos de fabricación, dado que éste se encuentra asociado con el ahorro de energía. Dicho mantenimiento debe ser tanto preventivo como correctivo para asegurar la conservación y funcionamiento adecuado de las máquinas y equipos de producción.

Por otra parte, los equipos de oficina representan un menor consumo de energía eléctrica comparado con los consumos generados los procesos productivos, no obstante, se recomienda a los directivos y empleados mantener buenas prácticas de consumo ya que estos equipos se usan de forma continua en la jornada laboral. Deben apagarse o desconectarse los equipos cuando no se estén utilizando (por ejemplo los ventiladores) o apagarles solo la pantalla en el caso de equipos que requieran tenerse encendidos en todo el horario laboral (como los computadores por ejemplo).

- Para saber cuál de las opciones de tratamiento en particular podrá presentar beneficios reales que puedan compensar los costos de la puesta en marcha y operación de un sistema de tratamiento de agua residual industrial, se recomienda realizar un estudio de viabilidad económica a través de un análisis costo beneficio hasta niveles económica y técnicamente factibles.
- A pesar de la importancia de la torre de enfriamiento en los procesos de fabricación de resinas, es evidente la falta de un mantenimiento preventivo a la misma, pues se puede observar que algunas boquillas rociadoras presentan obstrucciones, uno de los ventiladores dejó de funcionar, existe una pérdida del relleno y en general la estructura presenta un avanzado deterioro. Para disminuir el consumo de agua de reposición se recomienda que la torre de enfriamiento sea sometida a reparaciones, puesto que en la última visita se pudo observar que las pérdidas de agua en este equipo se deben por una parte al deterioro y agrietamiento de paredes y por otra a que el agua asperjada se eleva por lo menos 50 cm por encima de la torre y posteriormente una parte se escurre por fuera del equipo y cae directamente al suelo y otra se eleva a la atmosfera.
- Para caracterizar el agua residual industrial de la empresa en cuestión, se recomienda tomar en total 4 muestras puntuales de las referencias 1319, 1499, 1245 y una del agua residual generada

en lavado de tanques de fabricación de pinturas vinílicas. Los parámetros a medir son los siguientes: pH, Temperatura, Demanda Química de Oxígeno (DQO), Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅), SST, Grasas y aceites, acidez total, alcalinidad total, Dureza total, fosforo total, BTEX (Benceno, Tolueno, etilbenceno y xileno), y fenol solo para el caso del agua residual del lavado de tanques fabricación de pinturas vinílicas. En el Anexo I se presenta la forma como se seleccionaron las referencias de las resinas para la toma de muestras.

- La industria debe tener presente que de acuerdo con el Decreto 4741 de 2005, es un generador de residuos peligrosos, los cuales son definidos como aquellos residuos o desechos que por sus características corrosivas, reactivas, explosivas, tóxicas, inflamables, infecciosas o radiactivas pueden causar riesgo o daño para la salud humana y el ambiente. Así mismo, se considera residuo o desecho peligroso los envases, empaques y embalajes que hayan estado en contacto con ellos, por lo tanto, es deber de la empresa darle cumplimiento al Decreto iniciando por realizar una adecuada separación y presentación de dichos residuos.
- Por el bienestar de los empleados, es conveniente conocer cuáles son los niveles de ruido a los que ellos están expuestos en sus jornadas laborales, por ello se recomienda hacer mediciones de ruido.
- Se puede observar que el consumo de agua por mes en las descargas de los sanitarios es elevado, debido al volumen de los tanques de dichos aparatos. Se recomienda cambiar los sanitarios actuales por unos de bajo consumo, ya que existe un desperdicio de agua que podría emplearse en los procesos productivos.
- El tratamiento sugerido en el esquema 9 podría ser más eficiente si el efluente del tratamiento fisicoquímico es posteriormente sometido a una oxidación biológica, siempre y cuando la caracterización de dicho efluente muestre que éste ha aumentado su biodegradabilidad hasta un valor adecuado para ser tratado biológicamente. Por lo tanto, se recomienda analizar el efluente del tratamiento fisicoquímico y estudiar la viabilidad de la implementación de un sistema que incluya coagulación-floculación, sedimentación, oxidación biológica, lecho de secado de lodos.

11 REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Aboulhassan, M.A., Souabi, S., Yaacoubi, A y Baudu, M. (2006). Improvement of paint effluents coagulation using natural and synthetic coagulant aids. *Journal of Hazardous Materials*, B138, 40–45.
- Aguilar, M.I., Saez, J., Llorens, M., Soler, A y Ortuño, J.F. (2002). Nutrient removal and sludge production in the coagulation–flocculation process. *Water Research*, 36, 2910–2919.
- Aguilar, M.I., Saez, J., Llorens, M., Soler, A., Ortuno, J.F., Meseguer, V y Fuentes, A. (2005). Improvement of coagulation–flocculation process using anionic polyacrylamide as coagulant aid. *Chemosphere*, 58, 47–56.
- Akyol , A. (2012). Treatment of paint manufacturing wastewater by electrocoagulation. *Desalination*, 285, 91-99.
- Álvarez, A., D'Elía, M., Paris, M., Fasciolo, G y Barbaza, C. (2011). Evaluación de la contaminación de acuíferos producida por actividades de saneamiento y re-uso de efluentes en el norte de la provincia de Mendoza. *Rev. Fac. Cienc. Agrar., Univ. Nac.*, 43, 19-39.
- Alvartis, Consultoría y Asistencia Técnica. (2010). *Sistema TREAC: Tratamiento por Electrocoagulación de Aguas Contaminadas*. Recuperado el 2 de Octubre de 2015, de <http://alvartis.com/treac.pdf>.
- Arango, A. (2005). La electrocoagulación: una alternativa para el tratamiento de aguas residuales. *Revista Lasallista de Investigación*, 2 (1), 49-56.
- Arango, A y Garcés, L.F. (2007). Diseño de una celda de electrocoagulación para el tratamiento de aguas residuales de la industria láctea. *Revista Universidad EAFIT*, 43 (147), 56-67
- Asociación Técnica Española de Climatización y Refrigeración (ATECYR). (2007). *Guía técnica torres de refrigeración*. Madrid, España.
- Asprilla, W. E. (2011). *Análisis de funcionamiento y optimización de un sistema de refrigeración para una planta de colorantes*. Barcelona-España.
- Babuponnusami, A y Muthukumar, K. (2014). A review on Fenton and improvements to the Fenton process for wastewater treatment. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 2 (1), 557-572.
- Bautista, P., Mohedano, A.F., Gilarranz, M.A., Casas, J.A y Rodríguez, J.J. (2007). Application of Fenton oxidation to cosmetic wastewaters treatment. *Journal of Hazardous Materials*, 143 (1-2), 128-134.

- Burbano, A.A., Dionysiou, D.D y Suidan, M.T. (2008). Effect of oxidant-to-substrate ratios on the degradation of MTBE with Fenton reagent. *Water Research* 42 (12), 3225-3239.
- Chamarro, E., Esplugas, S y Marco, A. (2001). Use of Fenton Reagent to Improve Organic. Chemical Biodegradability. *Water Research*, 35, 1047-1051.
- Chen, G. (2004). Electrochemical technologies in wastewater treatment. *Separation and Purification Technology*, 38(1), 11-41.
- Comisión nacional del medio ambiente. (1998). *Guía para el control y prevención de la contaminación industrial: industria elaboradora de pinturas*. Recuperado de http://www.sinia.cl/1292/articles-39925_recurso_1.pdf.
- Concejo Municipal de Palmira. (2001). *Acuerdo No. 109 de 2001*. Recuperado el 8 de Octubre de 2014, de <http://www.palmira.gov.co/pot/Acuerdo%20N%20109%20-%202001/Documentos%20-%20Acuerdos/>.
- Corporación Autónoma Regional de las cuencas de los ríos Negro-Nare, Cornare. (2015). *Resolución No. 112-0737 por medio del cual se renueva un permiso de vertimientos y se adoptan otras disposiciones*. Recuperado el 28 de Septiembre de 2015, de http://www.cornare.gov.co/boletin_oficial/2015/Marzo/Res/112-0737-2015.pdf.
- Dellavedova, M.G. (2011). *Guía metodológica para la elaboración de una evaluación de impacto ambiental*. (1ed.). La Plata.
- Dey, B.K., Hashim, M.A., Hasan, S. y Sen Gupta, B. (2004). Microfiltration of water-based paint effluents. *Advances in Environmental Research*, 8, 455–466.
- Dopar, M., Kusic, H y Koprivanac, N. (2011). Treatment of simulated industrial wastewater by photo-Fenton process. Part I: The optimization of process parameters using design of experiments (DOE). *Chemical Engineering Journal* 173 (2), 267-279.
- Dovletoglou, O., Philippopoulos, C y Grigoropoulou, H. (2002). Coagulation for treatment of paint industry wastewater. *J. Environ. Sci. Health*, A37, 1361–1377.
- Dursun, D y Sengul, F. (2006). Waste minimization study in a solvent-based paint manufacturing plant. *Resources, Conservation and Recycling*, 47, 316–331.
- El-Gohary, F.A., Wahaab, R.A., Nasr, F.A y Ali, H.I. (2002). Three Egyptian industrial wastewater management programmes. *Environmentalist*, 22, 59–65.
- El País. (2011). *Corregimiento de La Dolores quiere hacer parte de Roza*. Recuperado el 8 de Octubre de 2014, de <http://www.elpais.com.co/elpais/valle/dolores-quiere-irse-para-roza>.

- Foster, S., Garduño, H., Tuinhof, A., Kemper, K y Nanni, M. (2006). *Gestión Sostenible de Aguas Subterráneas: Recarga del Agua Subterránea con Aguas Residuales Urbanas: evaluación y manejo de los riesgos y beneficios*. Recuperado el 2 de Octubre de 2014, de http://siteresources.worldbank.org/EXTWAT/Resources/4602122-1210186362590/GWM_Briefing_12_sp.pdf.
- Fuquene, D. M. (2013). *Sistemas de tratamiento de aguas residuales*. Recuperado el 15 de Noviembre de 2015, de http://dateca.unad.edu.co/contenidos/358003/Residuales_Contentido_en_linea/leccin_28_deshidratacin_de_lodos.html.
- Galán, E y Romero, A. (2008). Contaminación de suelos por metales pesados. *Conferencia Contaminación de suelos por metales pesados*, (págs. 48-60). Sevilla.
- Giudice, C y Pereyra, A. (2009). *Tecnología de pinturas y recubrimientos: componentes, formulación, manufactura y control de calidad. 1a ed.* Buenos Aires: Edutecne.
- Gogate, P. R y Pandit, A. B. (2004). A review of imperative technologies for wastewater treatment II: hybrid methods. *Advances in Environmental Research*, 8, 553–597.
- Gómez, C. P. (2012). *Manejo de aguas residuales en pequeñas comunidades*. Recuperado el 15 de Noviembre de 2015, de <http://dateca.unad.edu.co/contenidos/358041/EXE/protocolo.html>.
- Gómez, M. G. (2010). *Reutilización del agua residual de las resinas poliéster, alquídicas y urea formaldehído para la fabricación de pintura base agua (Latex)*. Tesis de ingeniería. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba, Ecuador.
- Gondal, M.A y Hussain, T. (2007). Determination of poisonous metals in wastewater collected from paint manufacturing plant using laser-induced breakdown spectroscopy. *Talanta*, 71, 73–80.
- Guevara, S., Parrales, N y Villamar, F. (2006). Dimensionamiento del sistema de tratamiento de aguas residuales industriales en la industria de la pintura. Recuperado de <https://www.dspace.espol.edu.ec/handle/123456789/143>.
- Holt, P. K., Barton, G.W., y Mitchell, C. A. (2005) The future for electrocoagulation as a localised water treatment technology. *Chemosphere*, 59, 355-367.
- Icontec . (2004). *Norma técnica colombiana NTC-ISO 14004:2004 sistemas de gestión ambiental. Directrices generales sobre principios, sistemas y técnicas de apoyo*. Recuperado de http://enormas.icontec.org.bd.univalle.edu.co/icontec_enormas_mobile/visor/HTML5.asp.
- Icontec. (2007). *Guía técnica colombiana GTC 93:2007 Guía para la ejecución de la revisión ambiental inicial (RAI) y del análisis de las diferencias (GAP ANALYSIS), como parte de la*

- implementación y mejora de un sistema de gestión ambiental*. Recuperado de http://e-normas.icontec.org.bd.univalle.edu.co/icontec_enormas_mobile/visor/HTML5.asp.
- INTEC-CHILE. (2000). *Documento de difusión opciones de gestión ambiental: Fabricación de pinturas*. Recuperado de <http://www.ingenieroambiental.com/4014/dif-pinturas.pdf>.
- Jareño, M. (2012). *Diseño de un sistema de agua de refrigeración en ciclo cerrado*. Madrid-España.
- Korbahti, B. K., Aktas, N y Tanyolac, A. (2007). Optimization of electrochemical treatment of industrial paint wastewater with response surface methodology. *Journal of Hazardous Materials*, 148, 83–90.
- Körbahti, B. K y Tanyolac, A. (2009). Electrochemical treatment of simulated industrial paint wastewater in a continuous tubular reactor. *Chemical Engineering Journal*, 148, 444–451.
- Kurt, U., Avsar, Y y Gonullu, M. T. (2006). Treatability of water-based paint wastewater with Fenton process in different reactor types. *Chemosphere*, 64, 1536–1540.
- Lacueva, C. (2005). *PROELEC Sistema de electrocoagulación: descontaminación de aguas residuales por electrólisis en continuo*. Recuperado el 6 de diciembre de 2015, de <http://www.procontrolsl.com/sites/default/files/Descarga%20Articulo%20Tecnico%20Electrocogulacion%202005.pdf>
- Lacueva, C. (2010). *Electrocoagulación: tratamiento y depuración de aguas residuales*. Recuperado el 6 de diciembre de 2015, de <http://www.procontrolsl.com/sites/default/files/PROELEC%20Spanish.pdf>
- Levchuk, I., Bhatnagar, A y Sillanpää, M. (2014). Overview of technologies for removal of methyl tert-butyl ether (MTBE) from water. *Science of The Total Environment* 476-477, 415-433.
- Lamúa, M y Cuesta, F. (2013). *El uso eficiente del agua en torres de refrigeración: tratamiento y reutilización*. Recuperado el 12 de Septiembre de 2014, de <http://www.esferadelagua.es/agua-y-tecnologia/uso-eficiente-del-agua-en-torres-de-refrigeracion-tratamiento-y-reutilizacion>.
- Maciel, R., Sant'Anna, G.L y Dezotti, M. (2004). Phenol removal from high salinity effluents using Fenton's reagent and photo-Fenton reactions. *Chemosphere* 57 (7), 71-719.
- Maita, M.A. (2012). *Evaluación de la factibilidad de la reincorporación del efluente de la planta de tratamiento de aguas residuales al proceso de elaboración de pinturas emulsionadas económicas*. Tesis de licenciatura Química. Universidad de Carabobo, Bárbula, Venezuela.

- Medina, J.F y Peralta, M.O. (2015). *Validación de un prototipo de electrocoagulación para el tratamiento de aguas residuales de alta carga orgánica presentes en la industria*. Tesis de ingeniería. Universidad politécnica Salesiana sede Cuenca, Ecuador.
- Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. (2005). *Decreto 4741 de 2005*. Recuperado el 9 de Octubre de 2014, de <http://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Norma1.jsp?i=18718>.
- Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. (2006). *Resolución 627 de 2006*. Recuperado el 8 de Octubre de 2014, de <http://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Norma1.jsp?i=19982>.
- Ministerio de ambiente, vivienda y desarrollo territorial. (2008). *Resolución 0909 de 2008*. Recuperado el 18 de Agosto de 2015, de http://www.icbf.gov.co/cargues/avance/docs/resolucion_minambientevdt_0909_2008.htm.
- Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. (2010). *Decreto 3930 de 2010*. Recuperado el 9 de Octubre de 2014, de <http://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Norma1.jsp?i=40620>.
- Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. (2010). *Decreto 4728 de 2010*. Recuperado el 9 de Octubre de 2014, de http://www.fenavi.org/index.php?option=com_content&view=article&id=2394:Decreto-4728-23-de-diciembre-de-2010&catid=393:uso-de-recursos.
- Ministerio de ambiente y desarrollo sostenible. (2015). *Resolución 0631 de 2015*. Recuperado el 22 de Julio de 2015, de http://www.fenavi.org/index.php?option=com_content&view=article&id=3167:resolucion-0631-de-2015&catid=393:uso-de-recursos
- Ministerio de Minas y Energía. (2008). *Decreto 3450 de 2008*. Recuperado el 9 de Octubre de 2014, de <http://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Norma1.jsp?i=32715>.
- Ministerio de Salud. (1983). *Resolución 8321 de 1983*. Recuperado el 8 de Octubre de 2014, de <http://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Norma1.jsp?i=6305>.
- Ministerio de sanidad, servicios sociales e igualdad. (2012). *Torres de refrigeración y condensadores evaporativos*. Recuperado el 6 de Octubre de 2014, de http://www.msssi.gob.es/ciudadanos/saludAmbLaboral/agenBiologicos/pdfs/4_leg.pdf.
- Mollah, M. A., Schennach, R., Parga, J. R y Cocke, D. L. (2001). Electrocoagulation (EC) science and applications. *Journal of Hazardous Materials*, 84, 29–41.

- Mollah, M. A., Morkovsky, P., Gomes, J.G., Kesmez, M., Parga, J y Cocke, D. (2004). Fundamentals, present and future perspectives of electrocoagulation. *Journal of Hazardous Materials*, 114, 199-210.
- Morales, N.B y Acosta, G.E. (2010). Sistema de electrocoagulación como tratamiento de aguas residuales galvánicas. *Ciencia e Ingeniería Neogranadina*, 20 (1), 33-44.
- Morales, N y Sánchez, A. I. (2011). *Comisionamiento y automatización de la torre de enfriamiento didáctica, ubicada en el laboratorio de transferencia de calor*. Tesis de ingeniería. Universidad pontificia Bolivariana, Bucaramanga, Colombia.
- Morante, G. (2002). Electrocoagulación de aguas residuales. *Revista Colombiana de Física*, 34 (2), 484-487.
- Pacurucu, A.R. (2011). *Plan de manejo ambiental para la industria láctea "productos san salvador"*. Tesis de ingeniería. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba, Ecuador.
- Papaleo, M. A y Rodríguez, S. E. (2011). *Diseño y construcción del prototipo de un sistema de electrocoagulación de tratamiento de aguas residuales*. Tesis de ingeniería. Universidad de San Buenaventura Cali, Santiago de Cali, Colombia.
- Powell Water Systems INC. (2001). *Powell electrocoagulation: sustentable technology for the future*. Recuperado el 15 de Octubre de 2015, de <http://earthmoving.ellers.com.au/documents/PWS%20Technical%20Bulletin.pdf>.
- Proactiva de Servicios S.A. E.S.P. (2015). *Proyectos Macro en los Próximos Trienios*. Recuperado el 18 de Noviembre de 2015, de <http://www.proactiva.com.co/colombia/proactiva-de-servicios/>.
- Proexport Colombia. (2011). *Pintura en polvo, sinónimo de menores costos*. Recuperado el 12 de Septiembre de 2014, de www.colombiatrader.com.co/sites/.../PINTURA%20EN%20POLVO.pdf.
- Rahim, N., Ghasem, N y Al-Marzouqi, M. (2015). Absorption of CO₂ from natural gas using different amino acid salt solutions and regeneration using hollow fiber membrane contactors. *Journal of Natural Gas Science and Engineering*, 26, 108-117.
- Ramteke, L. P y Gogate, P. R. (2015). Treatment of toluene, benzene, naphthalene and xylene (BTNXs) containing wastewater using improved biological oxidation with pretreatment using Fenton/ultrasound based processes. *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*, 28, 247-260.

- Real Time Service S.A. (2011). *Sistema de optimización de torres de enfriamiento de agua*. Recuperado el 22 de Agosto de 2015, de http://realtimeservice.com.ar/en/la_empresa/organizacion/torres_enfriamiento.pdf.
- Restrepo, A. P., Arango, A y Garcés, L. F. (2006). La Electrocoagulación: retos y oportunidades en el tratamiento de aguas. *Producción + Limpia*, 1(2), 58-77.
- Rodríguez, A., Letón, P., Rosal, R., Dorado, M., Villar, S y Sanz, J. M. (2006). *Tratamientos avanzados de aguas residuales industriales*. Madrid.
- Romero, J. (2004). *Tratamiento de aguas residuales: teoría y principios de diseño*. (3 ed.). Colombia: Editorial escuela Colombiana de ingeniería.
- Romo, G y Noguera, E. (2013). *Plan de contingencia para la prevención y control de derrames Industrias Macar Palmira S.A.*
- Salas, G. (2010). Tratamiento por oxidación avanzada (reacción Fenton) de aguas residuales de la industria textil. *Rev. Per. Quím. Ing. Quím.*, 13 (0 1), 30-38.
- Schwingel, I., Viana, L., Verona, C y Vargas, V. L. (2007). Alkydic resin wastewaters treatment by fenton and photo-Fenton processes. *Journal of Hazardous Materials*, 146, 564–568.
- SNatural. (2011). *Sacos para Desidratação de Lodo: Remoção de Sólidos*. Recuperado el 17 de Noviembre de 2015 , de <http://www.snatural.com.br/Saco-Desidracao-Lodo.html>.
- Villa, M. R. (2007). *Manual de prácticas: Química general*. (2da ed.). Medellín: Sello editorial.

ANEXOS

Anexo A. Matriz de Leopold

FACTORES DEL MEDIO ACCIONES			Recepción y almacenamiento de materia prima	Transporte de materia prima dentro de la industria	Fabricación de resinas	Fabricación de pastas	Fabricación de pinturas base agua	Lavado de tanques de fabricación de pinturas base agua	Fabricación de pinturas base solvente	Envasado/etiquetado	Termoencogido	Almacenamiento y despacho de producto terminado	Total impactos por aspectos		
													Impactos positivos	Impactos negativos	Agregación de impactos
Componente	Aspectos ambientales														
TIERRA	Suelos	Derrames de materia prima	-1 1										0	1	-1
		Vertido de agua residual industrial			-9 3			-3 1					0	2	-30
HÍDRICO	Agua subterránea	Consumo de agua			-8 3	-1 1		-1 1					0	3	-26
		Consumo de agua					-2 2						0	1	-4
	Agua superficial	Consumo energía eléctrica			-8 2	-2 1	-2 1		-5 1	-1 2	-1		0	6	-28
ATMOFÉRICO	Calidad del aire	Emisión de gases		-3 3	-2 2								0	2	-13
		Emisión de COVS	-3 1		-3 2			-3 2					0	3	-15
SOCIO-ECONÓMICO	Salud ocupacional y seguridad laboral	Generación de olores			-2 2	-2 2							0	2	-8
		Generación de Ruido		-1 1	-2 3	-2 2	-2 1		-3 2		-2		0	6	-21
	Empleo	Genera	+2 1	+2 2	+3 3	+1 2	+1 1	+1 1	+3 3	+2 2	+2 2	+2	10	0	40
	Ingresos	Produce		+3 3	+6 3	+3 2	+2 1		+6 3	+3 2	+2 2	+2	8	0	67
SERVICIOS E INFRAESTRUCTURAS	Relleno sanitario	Generación residuos sólidos			-3 2	-3 2	-2 1		-2 1	-1 1			0	5	-17
Total impactos por Actividad		Impactos Positivos	1	2	2	2	2	1	2	2	2	2			
		Impactos negativos	2	2	8	5	4	2	4	2	2	0			
		Agregación de impactos	-2	3	-66	-9	-7	-3	8	7	5	8			

Anexo B. Criterios para la valoración de la magnitud e importancia en la Matriz de Leopold

Tabla 1. Criterios para la valoración de la magnitud en la Matriz de Leopold

MAGNITUD		
Calificación	Intensidad	Afectación
1	Baja	Baja
2	Baja	Media
3	Baja	Alta
4	Media	Baja
5	Media	Media
6	Media	Alta
7	Alta	Baja
8	Alta	Media
9	Alta	Alta
10	Muy alta	Alta

Fuente: CONESA, 1997 citado en Pacurucu, (2011).

Tabla 2. Criterios para la valoración de la importancia en la Matriz de Leopold

IMPORTANCIA		
Calificación	Intensidad	Afectación
1	Temporal	Puntual
2	Media	Puntual
3	Permanente	Puntual
4	Temporal	Local
5	Media	Local
6	Permanente	Local
7	Temporal	Regional
8	Media	Regional
9	Permanente	Regional
10	Permanente	Regional

Fuente: CONESA, 1997 citado en Pacurucu, (2011).

Anexo C. Calculos de los consumos presentados en la tabla 1

Laboratorio: Debido a que la empresa no cuenta con servicio de agua potable, ésta es traída a la planta en contenedores desde una bodega externa. Se ha destinado diariamente para las actividades de aseo y lavado de equipos del laboratorio 3 cuñetes de agua potable, dado que es la cantidad que usualmente se consume en este lugar. En el laboratorio se trabaja 24 días al mes, por lo tanto el agua consumida se calculó como se muestra a continuación:

$$\frac{3 \text{ cuñetes}}{\text{día}} * \frac{5 \text{ galones}}{1 \text{ cuñete}} * \frac{3,785 \text{ L}}{1 \text{ galon}} * \frac{24 \text{ dias}}{1 \text{ mes}} = 1.362,6 \frac{\text{L}}{\text{mes}}$$

Fabricacion de pinturas a base de agua: Las pinturas a base de agua fabricadas en la empresa son vinilos tipo I y tipo II. En la fabricación de 1 lote de vinilos tipo I las cantidades de agua potable adicionadas según la formulación son 450, 20 y 10 L, mientras que las cantidades adicionadas en los vinilos tipo II son 630, 17 y 17 L. Estos datos fueron suministrados por el área de producción de la empresa. Debido a que cada mes se fabrican solo dos lotes de pinturas vinilicas (uno tipo I y otro tipo II), la cantidad de agua consumida es:

$$(450\text{L} + 20\text{L} + 10\text{L}) + (630 + 17 + 17) = 1.144 \frac{\text{L}}{\text{mes}}$$

Fabricacion de esmaltes emulsionados: Los esmaltes emulsionados se fabrican a partir de una emulsion elaborada con agua potable. La cantidad de agua potable consumida y presentada en la tabla 1 fue un dato suministrado por el área de producción y corresponde a un porcentaje del 64,66% de la emulsión.

Agua de reposición para enfriamiento de los condensadores y tanques de dilución

El consumo de agua de reposición mostrado en la tabla 1, se obtuvo de la sumatoria de los datos mostrados en el anexo G.

Molienda: En el proceso de molienda, un tambor de 200 L de capacidad se llena hasta la mitad con agua de pozo para el enfriamiento del molino trcilindrico, es decir, en esta actividad se utilizan 100 L de agua, los cuales se recirculan durante 15 días y posteriormente se remplazan por otros 100 L de agua. El cambio de agua se hace cada 15 días, por lo tanto, cada mes en la molienda se utilizan 200 L de agua de pozo.

Lavado de tanques de fabricación de pinturas a base de agua

En el mes se fabrican dos (2) lotes de pinturas a base de agua, un lote de vinilos tipo I y otro tipo II. En cada lote se fabrican 300 galones de pinturas vinilicas y se requieren aproximadamente 13 galones para el lavado de los recipientes usados en el proceso de fabricación, por lo tanto, en el mes se consumen 26 galones de agua de pozo en esta actividad, que corresponden a 100 L de agua aproximadamente.

Anexo D. Instalaciones de la empresa de pinturas y revestimientos

Zona 1: Constituida por la Portería, vestier, Kiosco, piscina y zonas verdes.

Zona 2: Esta zona se divide en dos partes, una zona de diques donde van ubicados los tanques de almacenamiento de materia prima líquida y una zona constituida por el área de producción y el laboratorio.

Zona 3: Constituida por un almacén de material de empaque, el termoencogido, una bodega de producto no conforme (PNC) y el área de envasado y etiquetado.

Zona 4: Constituida por tres bodegas, una de materia prima, una bodega de tránsito de materia prima y otra de tránsito de producto terminado, una oficina de despachos y dos pisos donde se almacena el producto terminado.

Zona 5: La constituye un almacén de materia prima empacada en sacos.

Zona 6: Se encuentra el área de tambores, la torre de enfriamiento, el área de fabricación de resinas y los molinos.

Zona 7: Se encuentran los tanques de almacenamiento de resinas, el área de tanques móviles y el taller.

Zona 8: Constituida por la administración, la cocineta, sala de juntas, archivador y las gerencias general, de compras y financiera.

Zona 9: Corresponde a la bodega 10.

Anexo E. Cantidades (kg) de productos fabricados en el año 2015

REF.	PRODUCTO FABRICADO (kg)	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE
1245	ACETATO DE AMILO	3.517	7.615	10.854	6.984	7.219	11.101	9.423	3.644	7.243	13.944	11.583	2.888
1264	RESINA POLIESTER MODIFICADA	5.170	12.200	13.210,5	14.269,4	8.103	11.790	11.860	7.784	11.662	15.514	7.980	8.080
1313	PLASTIFICANTE DOP	0	3.576	0,0	0,00	3.363	0	3.310	0	0	3.143	0	0
1319	RESINA POLIESTER NUEVA	19.410	25.880	19.410	25.880	25.880	19.410	32.092,9	25.748	25.880	38.820	25.880	25.756,1
1321	RESINA DE COLOFONIA	0	7.149,5	0	7.000	0	7.200	0	7.100	7.100	0	7.100	7.100
1329	FUSEL DESHIDRATADO	0	3.165	0	3.393	515	0	2.210	0	2.115	637	0	2.572
1392	RESINA POLIESTER FLEXIBLE	6.700	19.600	13.600	13.550	13.320	12.560	11.920	12.650	12.050	12.090	12.080	12.670
1495	RESINA ACIDOS GRASOS	0	0	7.200	0	0	0	0	0	6.800	0	0	0
1499	RESINA ALK EN SOYA	13.400	26.650	19.900	19.950	19.750	13.200	13.400	13.400	13.300	33.500	26.600	26.500
1637	RESINA AC.PALMISTE	0	0	3.942	0	0	0	3.680	0	0	3.744	0	0

1	
2	
3	

Nota: 1). Todos los valores están dados en kg

2). Cada color representa un orden descendente de cantidades de producto fabricado por mes, siendo 1 la mayor cantidad.

**Anexo F. Matriz de identificación de impactos negativos en la industria de pinturas y revestimientos
bajo estudio**

PROCESO/ACTIVIDAD	ASPECTOS AMBIENTALES	IMPACTOS AMBIENTALES	FACTORES AMBIENTALES					
			Agua		Calidad del aire	Suelo	Relleno Sanitario	Ser humano
			Superficial	Subterránea				
RECEPCIÓN Y ALMACENAMIENTO DE MATERIA PRIMA	Derrames de materia prima	Contaminación del suelo				x		
	Emisión de COVs	Precusores de ozono troposférico, Afectación de la salud de los trabajadores			x			x
TRASPORTE DE MATERIA PRIMA DENTRO DE LA INDUSTRIA	Emisión de gases	Contribución de gases efecto invernadero			x			
	Generación de ruido	Afectación de la salud de los trabajadores						x
FABRICACIÓN DE RESINAS	Generación de ruido	Afectación de la salud de los trabajadores						x
	Consumo energía eléctrica	Presión sobre el recurso agua	x					
	Emisión de gases	Contribución de gases efecto invernadero			x			
	Consumo de agua de pozo	Presión sobre el recurso agua subterránea		x				
	Generación de residuos sólidos	Presión sobre relleno sanitario					x	
	Vertido de agua residual industrial	Contaminación del suelo				x		
	Generación de olores	Molestias en los trabajadores						x
	Emisión de COVs	Precusores de ozono troposférico, Afectación de la salud de los trabajadores			x			
FABRICACION DE PASTAS	Generación de ruido	Afectación de la salud de los trabajadores						x
	Generación de residuos sólidos	Presión sobre relleno sanitario					x	
	Consumo energía eléctrica	Presión sobre el recurso agua	x					
	Consumo agua de pozo	Presión sobre el recurso Agua subterránea		x				
	Generación de olores	Molestias en los trabajadores						x
FABRICACIÓN DE PINTURAS BASE AGUA	Consumo agua potable	Presión sobre el recurso Agua	x					
	Generación de ruido	Afectación de la salud de los trabajadores						x
	Consumo energía eléctrica	Presión sobre el recurso agua	x					
	Generación de residuos sólidos	Presión sobre relleno sanitario					x	
LAVADO DE RECIPIENTES DE FABRICACIÓN DE PINTURAS BASE AGUA	Vertido de agua residual industrial	Contaminación del suelo				x		
	Consumo agua de pozo	Presión sobre el recurso Agua		x				
FABRICACIÓN DE PINTURAS BASE SOLVENTE	Consumo energía eléctrica	Presión sobre el recurso agua	x					
	Generación de ruido	Afectación de la salud de los trabajadores						x
	Emisión de COVs	Precusores de ozono troposférico, Afectación de la salud de los trabajadores			x			x
	Generación de residuos sólidos	Presión sobre relleno sanitario					x	
ENVASADO/ETIQUETADO	Consumo energía eléctrica	Presión sobre el recurso agua	x					
	Generación de residuos sólidos	Presión sobre relleno sanitario					x	
TERMOENCOGIDO	Consumo energía eléctrica	Presión sobre el recurso agua	x					
	Generación de ruido	Afectación de la salud de los trabajadores						x

Anexo G. Lecturas del medidor del agua de reposición del sistema de enfriamiento

Hora de lectura	Fecha de Lectura	Resina fabricada	Lectura medidor	Consumo (m3/día)
6 a.m.	18-jun-15	1319	4370,417	2,72
6 a.m.	19-jun-15	1245	4373,132	2,06
6 a.m.	20-jun-15		4375,192	2,13
6 a.m.	21-jun-15	1392	4377,326	1,87
6 a.m.	22-jun-15	1264	4379,196	2,02
6 a.m.	23-jun-15		4381,216	2,33
6 a.m.	24-jun-15	1499	4383,546	0
6 a.m.	25-jun-15		4383,546	2,58
6 a.m.	26-jun-15	1319	4386,126	2,73
6 a.m.	27-jun-15	1264	4388,851	2,08
6 a.m.	28-jun-15		4390,931	2,20
6 a.m.	02-jul-15	1499	4393,131	2,62
6 a.m.	03-jul-15	1319	4395,751	2,60
6 a.m.	04-jul-15		4398,351	0,82
6 a.m.	05-jul-15		4399,167	0
6 a.m.	06-jul-15		4399,167	2,48
6 a.m.	07-jul-15	1392	4401,651	1,24
6 a.m.	08-jul-15	1637	4402,887	2,60
6 a.m.	09-jul-15		4405,484	0
6 a.m.	10-jul-15	1329	4405,484	2,27
6 a.m.	11-jul-15		4407,757	0
6 a.m.	12-jul-15	1319	4407,757	0,72
6 a.m.	13-jul-15		4408,48	1,95
6 a.m.	14-jul-15	1264	4410,429	2,22
6 a.m.	15-jul-15		4412,646	2,14
6 a.m.	16-jul-15	1499	4414,79	2,65
6 a.m.	17-jul-15	1687	4417,437	0,89
6 a.m.	18-jul-15	1392	4418,324	2,04
6 a.m.	19-jul-15	1319	4420,363	2,77
6 a.m.	20-jul-15		4423,133	

Anexo H. Materias primas empleadas en la fabricación de resinas y pinturas vinílicas

Sustancia	Información ecológica			
	Ecotóxico	Biodegradable	Bioacumulable	Movilidad en el suelo
Aceite de soya	-	-	No	-
Ácido acético	Si	Si	No	Móvil en suelo
Ácido fosfórico	Si		Poco bioacumulable	Baja
Anhídrido ftálico	-	-	No se acumula significativamente	En suelo húmedo se hidroliza
Anhídrido maleico	-	Si	No se bioacumula significativamente	
Colofonia	No	-	-	-
Monoetilenglicol	Si	Si	No	Potencial de movilidad alto
Propilenglicol	Si	Si	Baja capacidad de bioacumularse	Alta movilidad en el suelo
Pentaeritritol	No	Si	No	-
xileno	Si	Si	No se bioacumula significativamente	-
Benzoato de sodio	Si	Si	No	-
Nitrito de sodio	Si	-	-	-
Amoniaco	Si	-	-	-
Caolín	Irrelevante	No	Irrelevante	Despreciable
Dióxido de titanio	No	No	-	Limitada
Etilenglicol	Débilmente toxico	Si	No se bioacumula significativamente	Puede absorberse en el suelo
etanol		Si	-	-
Nonilfenol	Si	-	-	-

Fuente: la información fue consultada en las hojas de seguridad de las materias primas, que hacen parte de los archivos de la empresa de pinturas y revestimientos

Anexo I. Selección de las resinas para la toma de muestras representativas de destilado líquido

Debido a que en la empresa se fabrican diferentes referencias de resinas y acetato de amilo, se realizó la selección de unas referencias para tomar las muestras representativas de los destilados para la caracterización de los mismos. Dicha selección se hizo teniendo en cuenta el volumen promedio de destilado de cada resina por proceso de fabricación, la frecuencia de producción de las mismas y el número de materias primas que posiblemente estarán presente en el destilado líquido de cada resina, de acuerdo con los puntos de ebullición y las temperaturas de proceso. Los parámetros que deben medirse en la caracterización del agua residual generada en las empresas de fabricación de pinturas, se encuentran en la página 19 de la resolución 0631 del 2015 (Ver Anexo J).

A partir de la información contenida en las Tablas 12 y 13 se seleccionaron, para tomar las muestras de destilado para la caracterización, las resinas de referencia 1319 y 1499 y el destilado del solvente acetato de amilo cuya referencia es 1245. La resina 1319 se seleccionó porque es la que tiene la frecuencia de producción más alta (20 veces), tiene uno de los volúmenes promedios de destilado líquido más altos y 4 de sus materias primas podrían estar presentes en el agua destilada. La resina 1499 se seleccionó porque a pesar de tener un volumen promedio de destilado líquido bajo, la frecuencia con la que se produce es una de las más altas (17 veces), adicionalmente 3 de sus materias primas podrían estar contenidas en el destilado líquido. El solvente 1245 tiene una frecuencia de producción de las más altas, su volumen promedio de destilado líquido es el más alto y 4 de sus materias primas podrían estar presentes en el destilado. Por otro lado, debido a que en la empresa las pinturas a base de agua producidas son únicamente vinilo blanco, se requiere una muestra puntual de agua residual del lavado de tanques de fabricación de las mismas.

Anexo J. Parámetros fisicoquímicos y valores límites máximos permisibles en los vertimientos puntuales de aguas residuales generadas en las empresas de fabricación de pinturas (Resolución 0631 de 2015).

PARÁMETRO	UNIDADES	FABRICACIÓN DE SURFACTANTES	FABRICACIÓN DE PLAGUICIDAS Y OTROS PRODUCTOS QUÍMICOS DE USO AGROPECUARIO	FABRICACIÓN DE PINTURAS, BARNICES Y REVESTIMIENTOS SIMILARES	FABRICACIÓN DE JABONES, DETERGENTES Y PRODUCTOS COSMÉTICOS
Generales					
pH	Unidades de pH	6,00 a 9,00	6,00 a 9,00	6,00 a 9,00	5,00 a 9,00
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg/L O ₂	500,00	600,00	800,00	500,00
Demanda Biológica de Oxígeno (DBO ₅)	mg/L O ₂	100,00	200,00	400,00	250,00
Sólidos Suspendidos Totales (SST)	mg/L	100,00	200,00	200,00	80,00
Sólidos Sedimentables (SS _{ED})	mL/L	5,00	1,00	2,00	1,00
Grasas y Aceites	mg/L	20,00	10,00	20,00	15,00
Fenoles	mg/L	0,20	0,20	0,20	0,20
Formaldehído	mg/L			Análisis y Reporte	
Sustancias Activas al Azul de Metileno (SAAM)	mg/L	750,00	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte	10,00
Hidrocarburos					
Hidrocarburos Totales (HTP)	mg/L	10,00		10,00	10,00
Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos (HAP)	mg/L			Análisis y Reporte	Análisis y Reporte
BTEX (Benceno, Tolueno, Etilbenceno y Xileno)	mg/L			Análisis y Reporte	Análisis y Reporte
Compuestos Orgánicos Halogenados Adsorbibles (AOX)			Análisis y Reporte	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte
Compuestos de Fósforo					
Ortofosfatos (PO ₄ ³⁻)	mg/L	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte		Análisis y Reporte
Fósforo Total (P)	mg/L	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte
Compuestos de Nitrógeno					
Nitratos (N-NO ₃ ⁻)	mg/L	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte		Análisis y Reporte
Nitritos (N-NO ₂ ⁻)	mg/L				Análisis y Reporte
Nitrógeno Amoniacal (N-NH ₃)	mg/L	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte		Análisis y Reporte
Nitrógeno Total (N)	mg/L	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte
Iones					
Cloruros (Cl ⁻)	mg/L	250,00	Análisis y Reporte		250,00
Sulfatos (SO ₄ ²⁻)	mg/L	10.000,00	Análisis y Reporte		400,00
Sulfuros (S ²⁻)	mg/L	1,0			1,0
Metales y Metaloides					
Arsénico (As)	mg/L		0,10		0,1
Cadmio (Cd)	mg/L			0,05	0,05
Cinc (Zn)	mg/L		3,00	3,00	3,00
Cobalto (Co)	mg/L			0,10	
Cobre (Cu)	mg/L		1,00	1,00	1,00
Cromo (Cr)	mg/L		0,50	0,50	0,50
Mercurio (Hg)	mg/L		0,01	0,01	0,01
Níquel (Ni)	mg/L			0,50	0,50
Plomo (Pb)	mg/L			0,20	0,20
Titanio (Ti)	mg/L			Análisis y Reporte	
Otros Parámetros para Análisis y Reporte					
Acidez Total	mg/L CaCO ₃	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte
Alcalinidad Total	mg/L CaCO ₃	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte
Dureza Cálcica	mg/L CaCO ₃	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte
Dureza Total	mg/L CaCO ₃	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte
Color Real (Medidas de absorbancia a las siguientes longitudes de onda: 436 nm, 525 nm y 620 nm)	m ⁻¹	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte

Fuente: Ministerio de ambiente y desarrollo sostenible (2015).