



**UNIVERSIDAD
DE ANTIOQUIA**

**IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE
SEPARACIÓN DE SÓLIDOS TOTALES EN EL
AGUA RESIDUAL DEL PROCESO DE
ESMALTADO EN LA PLANTA DE LOCERIA
COLOMBIANA S.A.S.**

Autor

Manuela Alejandra Hernández Herrera

Universidad de Antioquia

Facultad de Ingeniería, Escuela Ambiental

Medellín, Colombia

2021



IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE SEPARACIÓN DE SÓLIDOS TOTALES EN EL
AGUA RESIDUAL DEL PROCESO DE ESMALTADO EN LA PLANTA DE LOCERIA
COLOMBIANA S.A.S.

Manuela Alejandra Hernández Herrera

Trabajo de investigación presentado como requisito parcial para optar al título de:
Pregrado de Ingeniería Ambiental

Asesora Interna

Diana Catalina Rodríguez Loaiza

Ph.D, Msc. Ingeniera Sanitaria

Asesor Externo

Carlos Andrés Martínez

Ing. Ambiental especialista en gerencia de proyectos– Jefe del sistema de gestión ambiental

Universidad de Antioquia
Facultad de Ingeniería, Escuela Ambiental
Medellín, Colombia

2021

CONTENIDO

RESUMEN	3
1. INTRODUCCIÓN.....	3
2. OBJETIVOS.....	4
2.1 OBJETIVO GENERAL	4
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	4
3. MARCO TEÓRICO	5
4. METODOLOGIA.....	7
4.1 Primera Etapa	7
4.2 Segunda Etapa	8
4.3 Tercera Etapa.....	8
4.4 Cuarta Etapa	9
4.5 Quinta Etapa.....	9
4.6 Etapa Final.....	10
5. RESULTADOS Y ANÁLISIS	10
6. CONCLUSIONES.....	19
7. REFERENCIAS	19

RESUMEN

El proceso de esmaltado de piezas cerámicas hace parte del proceso productivo de fabricación de vajillas en Locería Colombiana, este proceso genera detrimentos de esmalte por la aplicación a través de aspersion, aunque este material se reusa después del lavado de las maquinas esmaltadoras conlleva perdidas de materia prima, suministros químicos y tiempos de espera prolongados, en este trabajo de investigación se buscó la implementación de un sistema de separación eficiente de partículas de esmalte disueltas en el agua. A través de la determinación de las variables críticas, se construyó una línea base que permitió el reconocimiento del proceso y se construyó una calificación cualitativa de la eficiencia en la sedimentación de cada uno de los 15 esmaltes que hacen parte de la planta de porcelana, se encontró que la perdidas alcanzan hasta el 2% del esmalte fabricado en un inicio, y su recuperación tarda hasta 31 días, finalmente, fue posible construir una tabla de caracterización completa lo cual constituyo la partida de un proceso de selección de alternativas con 10 empresas y 2 universidades, recibiendo 2 propuestas de pruebas de tratabilidad para sistemas de tratamiento, de esta manera se consiguió la selección de una propuesta de prueba de tratabilidad para un sistema de ultra filtración (UF).

1. INTRODUCCIÓN

Locería Colombiana es una empresa productora de vajillas, los productos elaborados en la planta atraviesan un proceso de esmaltado en la etapa final de producción, garantizando la durabilidad y resistencia de las piezas. Locería ejecuta el proceso de elaboración de esmaltes y su posterior aplicación a cada una de las piezas, la aplicación se hace en cabinas esmaltadoras mediante aspersion, inmersión, cascada y atomización. La elaboración del esmalte es un proceso que ocasiona impactos ambientales de agotamiento de recursos debido a la composición de las materias primas y al elevado consumo del recurso hídrico tanto en la preparación, como en los pasos que conforman el proceso de aplicación y posterior lavado de maquinaria. Para reducir los impactos asociados al proceso, se hace un reuso del esmalte sobrante, esto se logra gracias a la recolección del esmalte que es disipado en las cabinas, también se hace recolección del agua sobrante después del lavado de las cabinas, posteriormente, este sobrante se almacena en isotanques para propiciar la separación de los sólidos disueltos en el agua a través de un proceso de sedimentación, permitiendo después de un proceso de recuperación, el reuso del esmalte en preparaciones posteriores y asegurando la calidad del agua que llega a la planta de aguas residuales (PTAR) que hace parte de Locería.

La gestión de los impactos asociados al proceso da buenos resultados ya que se recupera un porcentaje cercano al 50% del esmalte que no se usa de manera eficiente dentro de la cabina de esmaltado, sin embargo, los tiempos de espera para una sedimentación eficiente son extensos, de otro lado, el espacio de almacenamiento e inventario de los isotanques donde ocurre la

sedimentación es escaso, por lo que en muchas ocasiones se envía un porcentaje mayor de agua con esmalte a la PTAR. En adición, Locería tiene un inventario de colores extenso que van siendo utilizados según la demanda lo requiera, con lo cual el espacio de almacenamiento para los isotanques de cada uno de los colores resulta ineficiente y por tanto se pone el riesgo el proceso de recuperado y el tratamiento eficiente de las aguas residuales.

En consecuencia, se evidencia que existe la necesidad de evaluar la viabilidad de la implementación de procesos que permitan una separación de los sólidos disueltos y el agua de manera más eficiente, optimizando los tiempos para garantizar la recuperación del esmalte y a su vez garantizando que se consiga un tratamiento adecuado de las aguas resultantes en la PTAR de la planta.

Finalmente, de la mano de empresas especializadas y dos universidades, se exploraron varias opciones de optimización de la separación de sólidos, encontrando diferentes alternativas, asociadas a diversos costos. Dentro de las alternativas que se presentaron fueron centrifugadoras, sistemas DAF, telas percoladoras, sistemas de filtración y tratamientos fisicoquímicos.

2. OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GENERAL

Evaluar la implementación de un proceso de separación física de sólidos disueltos, que permita la optimización en el tratamiento de las aguas residuales y la disminución de la presión sobre los recursos naturales.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Caracterizar los esmaltes de acuerdo con las variables establecidas en el proceso de producción, a través de un análisis en la velocidad de precipitación, demanda y composición específica.
- Establecer la línea base del flujo de materiales en el proceso de producción y aplicación de esmaltes, mediante la determinación del KPI y recolección de información a través de formatos administrados por los operarios de las esmaltadoras.
- Determinar las variables críticas del proceso de recuperación de esmaltes mediante una matriz de comparación de tiempos, costos, flujo de materiales y consumo de materias primas.
- Establecer la mejor alternativa de separación de sólidos disueltos en el agua mediante la priorización de las variables críticas, definiendo las condiciones de operación del proceso seleccionado a través de la determinación de manuales de funcionamiento.

3. MARCO TEÓRICO

El producto cerámico según Galán & Aparicio (1990) es el producto final de un proceso industrial en el que se transforman y endurecen los materiales de partida (minerales), la producción de vajillería hace parte de la industria cerámica a través de la fabricación de loza y porcelana, su proceso productivo incluye un listado importante de procedimientos, iniciando con la elección de materias primas correctas según las características finales esperadas, pretratamiento de materias primas, formulación de la pasta, dosificación, mezclado/homogenización, preparación de la pasta, prensado, secado de la pieza, esmaltado, decoración y finalizando con la cocción (Reyes, 1995).

El esmaltado hace parte de los procesos finales de la producción de vajillas, según Reyes (1995), el esmalte es una mezcla homogénea de sólidos en suspensión, con aplicación líquida en base acuosa, este proceso aporta protección a las propiedades mecánicas, es decir, brinda resistencia al uso, protección a la abrasión y al deslizamiento, desde las propiedades químicas aporta valor estético. Según la sociedad española de Cerámica y Vidrio los esmaltes presentan composiciones químicas muy variadas, que se alcanzan mezclando minerales, óxidos y materias primas semielaboradas. Estas mezclas, son puestas en forma de suspensión acuosa (Gómez et al., 2009). El proceso de esmaltado deja como resultante agua residual industrial con sólidos disueltos de esmalte (sólidos homogéneos y clasificables) resultado de la preparación de este y por el lavado de la maquinaria, por tanto, la separación de los sólidos es fundamental para minimizar los impactos ambientales del proceso asociados a agotamiento de recursos y contaminación del agua. Como menciona Rojas (2002), el tratamiento de aguas residuales es la conversión del agua residual proveniente del uso de las aguas de abastecimiento, en un efluente final aceptable a las condiciones del ambiente y la disposición adecuada de los sólidos (lodos) obtenidos durante el proceso de purificación y dentro de la calidad del agua residual es necesario el análisis de los sólidos totales (SST) que incluye los sólidos disueltos y los sólidos suspendidos.

Existen diversos procesos que facilitan la separación de partículas disueltas en el agua, pueden ser procesos físicos, químicos o una combinación de ambos en un proceso físico-químico, estos tratamientos varían en costos y viabilidades de implementación, como menciona Rocha (2010), dentro de los métodos se incluye la floculación proceso que provoca la formación de partículas de mayor tamaño y densidad, a partir de los coágulos producidos anteriormente que floculan por la acción de un agente químico, el mismo autor menciona procesos de coagulación que fomentan la formación de partículas de mayor tamaño y peso específico, a partir de material coloidal. Por las condiciones del esmalte se pueden incluir tratamientos como las micro membranas, según Rani et al. (2021), el papel de una membrana es identificar y recuperar las partículas de la mezcla de reacción. El agua y los compuestos de bajo peso molecular penetran a través de una membrana mientras se retienen los coloides y las macromoléculas, de manera complementaria Sun et al. (2021) mencionan que, esta separación es considerada ecológica, de bajo consumo de energía,

diseño compacto, bajo costo operativo y fácil integración en las fábricas existentes. Adicionalmente, las membranas también tienen el potencial de combinarse con otras tecnologías para mejorar sinérgicamente el rendimiento de la separación. La tecnología de membranas, en particular el proceso de microfiltración (MF) / ultrafiltración (UF), es considerada una alternativa atractiva a los procesos de tratamiento convencionales debido a sus distintas ventajas, entre las que se incluyen la separación selectiva, el funcionamiento automático, el reducido espacio necesario y el uso de productos químicos. La coagulación química combinada con el proceso de UF / MF se considera una solución prometedora a estos problemas (Basturk et al., 2020).

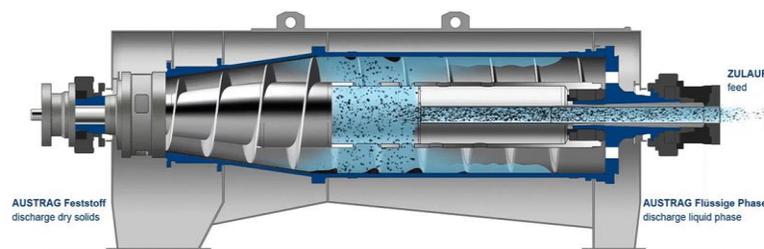


Imagen 1. Centrifugadora Decanter

Por otro lado, autores como T. Beveridge, (2000) proponen métodos netamente físicos para la separación de sólidos como el centrifugado, las centrifugadoras se utilizan para una variedad de propósitos relacionados con la separación de materiales sobre la base de la densidad. Esta separación generalmente implica la separación de partículas insolubles de los líquidos sobrenadantes, pero también puede incluir la extracción de sustancias disueltas de un líquido inmisible a otro de diferente densidad, separando los líquidos mezclados por centrifugación. Según el Grupo Flottweg las centrífugas se utilizan para separar mezclas de sólido-líquido con un alto contenido de sólidos. Estas centrífugas con tambor macizo y tornillo sinfín o decanter funcionan de manera continua, al contrario que los filtro-prensas de cámara. (Ver imagen 1) Las altas fuerzas centrífugas separan las partículas sólidas finas de la suspensión debido a las diferentes densidades. Debido a que el sedimento (fase sólida) tiene una densidad más alta, este se acumula en la pared del tambor. El tornillo sinfín de transporte lleva el sólido hasta las aberturas de descarga de manera continua. La fase o fases líquidas fluyen a lo largo del tornillo sinfín (*Centrífugas Decanter Para Una Separación Óptima | Decanter Flottweg, n.d.*). Finalizando, existe un método de separación físico que es el método de flotación por aire disuelto (DAF), este proceso elimina de manera eficiente una serie de contaminantes, como partículas coloidales, finas y ultrafinas, precipitados orgánicos e inorgánicos, iones, microorganismos, proteínas, aceites dispersos y emulsionados en agua. En el método DAF, el agua saturada con aire a presión pasa por una boquilla formando las burbujas que llegan a la cámara de flotación. Luego, el agua sobresaturada es forzada a través de válvulas de aguja y se

producen nubes de burbujas justo aguas abajo de la constricción, flotando y removiendo los contaminantes. (Azevedo et al., 2018)

En conclusión, la existencia de la diversidad de métodos de separación de sólidos disueltos abre diversas posibilidades de tratamientos complementarios de aguas residuales gracias a que poseen características adaptables a distintos procesos y sus condiciones propias, las posibilidades son tan diversas que como en el caso de locería es posible discriminar la recuperación completa y sin alteraciones tanto del agua como del lodo.

4. METODOLOGIA

4.1 Primera Etapa

La primera etapa del proyecto consto de entrevistas como instrumento de recolección de información, consiguiendo el reconocimiento del proceso de preparación, aplicación y recuperación del esmalte dentro de la planta, junto con el jefe del sistema de gestión ambiental y asesor interno del proyecto, se llevaron a cabo reuniones con el facilitador del proceso de preparación y recuperación de esmalte, con el facilitador de acomodación de inventario, con el personal del área técnica, con el facilitador del proceso de esmaltado y lavado de cabinas, con el personal a cargo de las labores operativas relacionadas, desde la preparación hasta el personal de PTAR y con el encargado del inventario, permitiendo conocer con claridad el desarrollo de cada etapa del proceso y las maquinas que lo componen (Ver imagen 2), el flujo de las materias primas y sobrantes, los costos asociados a la perdida de esmalte, la distribución de los espacios de almacenamiento y el tratamiento del agua – esmalte que resulta cuando no es posible alcanzar un porcentaje óptimo de recuperación. Paralelamente, se realizó revisión bibliográfica tanto propia de la empresa como de carácter académico para expandir los conocimientos de la industria de la cerámica y del esmalte.



Imagen 2. Máquina esmaltadora

4.2 Segunda Etapa

Partiendo de información que había sido edificada históricamente junto con los ingenieros facilitadores de proceso de preparación de esmalte, se construyó una calificación cualitativa para los 15 esmaltes usados dentro de la planta de porcelana, midiendo la eficacia en la sedimentación de cada uno de estos, obteniendo una lista de esmaltes diferenciados por dificultad baja, intermedia y alta para sedimentar cómo es posible visualizar en la Tabla 1. Posteriormente, se priorizo dentro de la lista inicial a 6 esmaltes con la mayor demanda dentro de la producción, esta lista de esmaltes incluye distintas calificaciones cualitativas.

Se complementó la información que construye el ingeniero ceramista con análisis de laboratorio de tamaño y la distribución de partículas, datos que complementaron la información que constituye las fichas técnicas de cada uno de los esmaltes.

Tabla 1. Calificación cualitativa de esmaltes.

Calificación	Descripción	Cantidad
Alta	Menor a 5 días para completa sedimentación	3
Media	(5-7) días para completa sedimentación	1
Baja	Mayor a 7 días para completa sedimentación	11

	Priorizados por demanda
--	-------------------------

4.3 Tercera Etapa

Para el establecimiento de una línea base para el proyecto se construyeron dos formatos, el primero de ellos para el área de preparación y recuperación de esmalte y el segundo para los colaboradores encargados del lavado de las máquinas esmaltadoras, asegurando de esta manera la recolección de más información, con posibilidades de comparación, indagación e identificación de las variables críticas. Los formatos se diseñaron para recolectar información de demanda de colores para la producción del presente año, tiempos de recuperación y flujos de materia prima. Adicionalmente

se llevaron a cabo ensayos de test de jarras para la evaluación del comportamiento de los floculantes ya usados en el proceso, floculantes que no intervienen en las propiedades reológicas, de otro lado, se realizó un ensayo a escala con el color de esmalte más difícil de sedimentar, evaluando las pérdidas de esmalte asociadas al agua esmalte que llega a la planta de agua.



imagen 3. Test de Jarras.

4.4 Cuarta Etapa

En el periodo de tiempo transcurrido en las primeras 3 etapas, y adelantando el proceso de caracterización y priorización por demanda de producción de cada esmalte, fue posible identificar los Kpis del proceso. Seguido de esto, se inició la búsqueda de proveedores que diseñaran y propusieran soluciones optimas de tratamiento de agua residual industrial teniendo como objetivo principal la recuperación del lodo (esmalte) y no del agua, esto gracias a que el agua puede ser posteriormente tratada en la PTAR de Locería y la prioridad es la recuperación del lodo sin alteración alguna en las características físicas y químicas de este. Se pidió a cada proveedor una solución netamente física, buscando no alterar las condiciones reológicas de los esmaltes. A través del seguimiento de formatos existentes que buscan cuantificar el consumo de agua se evaluó el consumo de agua de cada lavado.

4.5 Quinta Etapa

Al finalizar el periodo de búsqueda de proveedores, fue posible reunirse con 10 empresas especializadas en tratamiento de aguas y 2 universidades de la ciudad de Medellín, de estas empresas 5 visitaron la planta y pudieron ver de primera mano el proceso, todos los proveedores consultados fueron citados a una reunión virtual inicial en donde se explicó con detalle la necesidad

del proceso. Adicionalmente se compartió la información a medida que se iba construyendo. Al finalizar esta etapa se recibieron 2 propuestas de pruebas de tratabilidad y 1 propuesta de la Universidad de Antioquia para disponer de un practicante universitario para la investigación de la necesidad.

4.6 Etapa Final

En la última etapa del proyecto se evaluaron las 2 propuestas finales, se presentaron los avances y propuestas ante gerencia. Al finalizar esta etapa fue posible iniciar el proceso de prueba de tratabilidad.

5. RESULTADOS Y ANÁLISIS

El proceso de preparación y recuperación de esmalte depende de la demanda y preparación de materias primas como las arcillas y pastas que determinan como se moverá el inventario de colores. La venta de piezas de porcelana ha disminuido sustancialmente, la pandemia ha afectado más fuerte a restaurantes y hoteles, por tanto, ha impactado directamente a los principales clientes de estas piezas, es así como el esmaltado se planea con frecuencias y cantidades variables adaptándose a cada cambio en solicitud, sin embargo, la causa inicial de la variabilidad en el proceso no fue la pandemia, este proceso es más voluble a diversos factores, lo que no permite una estandarización en producción, debido a esto, el proceso tiene falencias en recolección de información. El primer paso para intervenir el proceso de recuperación de esmalte fue una consolidación de información a través de una caracterización cualitativa de eficiencia en la sedimentación de cada uno de los 15 esmaltes que hacen parte del inventario de la planta de porcelana y de las esmaltadoras por aspersión que alimentan el Horno 3 (Ver Tabla 2). Esto permitió familiarizarse con la mayor dificultad que se constituye en la diferencia de eficiencias en la sedimentación debido a los diversos materiales que componen los esmaltes.

Tabla 2. Calificación cualitativa y priorización de esmaltes.

Número de parte	Descripción	Sedimentación
NEMC901H3	Esmalte color taupe monococción H3	
NEMC904	Esmalte color baby pink monococción	
NEMC922H3	Esmalte color verde azul monococción H3	
NEMC925H3	Esmalte color azul oscuro mono horno 3	
NEMC929	Esmalte color nude monococción	
NEMC941H3	Esmalte color pluto reactivo H3	
NEMC942	Esmalte color mercury reactivo	
NEMC943	Esmalte color venus reactivo	
NEMC944H3	Esmalte color moon reactivo platos H3	
NEMC946H3	Esmalte color gris claro horno 3	
NEMC950	Esmalte color negro cromat mon	
NEMC954H3	Esmalte blanco opacificado H3	
NEMC958H3	Esmalte color verde monococción H3	
NEMC968H3	Esmalte color verde azul monococción H3	
NEMC985H3	Esmalte color rojo monococción H3	

Esta calificación cualitativa es la partida para la construcción de consolidados de información, adicionalmente, se priorizaron 6 esmaltes por diversidad en la capacidad de sedimentación y persistencia en la demanda de producción. Con estos últimos 6 esmaltes se llevaron a cabo los análisis de laboratorio complementarios a las fichas técnicas existentes que se pueden observar en la siguiente tabla.

Tabla 3. Resultados de mediciones de gravedad específica.

MUESTRAS VARIAS		Gravedad Especifica (g/cc)		
Muestra	Código		Recepcion	Emisión
Recuperado esmalte NEMC922 H3	VC909	2,75	23/03/2021	6/04/2021
Recuperado esmalte NEMC925 H3	VC910	2,70	23/03/2021	6/04/2021
Recuperado esmalte NEMC901 H3	VC911	2,73	23/03/2021	6/04/2021
Recuperado esmalte NEMC950 H3	VC912	2,71	23/03/2021	6/04/2021
Recuperado esmalte NEMC968 H3	VC913	2,70	23/03/2021	6/04/2021
Recuperado esmalte NEMC941 H3	VC914	2,84	23/03/2021	6/04/2021

Adicionalmente, se realizó una DTP láser, con los resultados de laboratorio se diligencio una tabla de caracterización más completa (Ver Tabla 4), permitiendo a muchos de los proveedores la revisión de alternativas de separación de solidos disueltos, adicionalmente, resaltó las importantes

implicaciones de la recepción de esmaltes tanto en la PTAR como en el tratamiento secundario de osmosis inversa, ya que en un inicio no se tenia en el radar los incrementos de conductividad y pH resultantes del lavado de las esmaltadoras. Dentro de los análisis que se llevaron a cabo se realizo un test de jarras con el floculante Stellmitel, especializado para materiales reológicos, sin embargo, no se obtuvieron conclusiones ni cambios contundentes, en la actualidad solo se utiliza este suministro para fomentar la separación del esmalte de la capa inferior del isotanque, no se usa como catalizador del proceso de sedimentación.

Tabla 4. Caracterización de esmaltes priorizados.

Esmalte	CONDICIONES INICIALES DEL ESMALTE RECUPERADO		pH	Conductividad	Gravedad específica	µm		%		
	Densidad (kg/m ³)	Viscosidad				<9,21	<0.96	Gruesos	Medios	Finos
NEMC922H3	1600-1610	310-320	9,8	1,66	2,75	55,2	7,5	44,9	47,6	7,51
NEMC925H3	1600-1610	310-320	9,8	1,8	2,7	53,7	7	46,3	46,7	7,04
NEMC941H3	Cabina Atomización PESPE 1590-1600	290-300	9,6	6,9	2,84	54,3	9,3	45,7	45,1	9,25
	Inmersión Pocillos PESPE 1590-1600	330-340								
NEMC950	1570-1635	Cabina 1570-1580	9,7	1,51	2,71	52,4	6,3	47,6	46,1	6,25
		Makin e Inmersión 1520-1530								
		Banda 1550-1560								
		Coloniado 1625-1635								
NEMC968H3	1600-1610	310-320	9,5	2,01	2,7	50,1	7,1	50	42,9	7,14
NEMC901	1600-1610	310-320	9,7	1,21	2,73	56,9	7,9	43,1	49	7,88

A través de los formatos ubicados en los procesos fue posible conocer el movimiento de esmaltes, las cantidades preparadas y las pérdidas de esmalte resultado de los lavados de las cabinas, (ver imágenes 4 y 5) estos resultados no solo constituyeron una línea base del proyecto, sino que permitieron identificar problemas adicionales, como es el caso de retrasos debido a que en muchas ocasiones los isotanques a pesar de estar sedimentados no son recuperados inmediatamente, ya que para los operarios esto involucra tiempo adicional, aumentando la problemática de ausencia de espacio de almacenamiento o mal uso de espacios internos. El diligenciamiento del formulario también evidencio la necesidad de documentar la información del proceso completo, como es el caso del personal que solicita la preparación del esmalte, esta área de producción no evidencia en un archivo formal cada cuanto hace la solicitud de preparación de un esmalte ni la cantidad, con lo cual las pérdidas de tiempo o materia prima y la variación en la demanda de un color no se conocen con exactitud, sumado a esto, la formulación de los esmaltes es continua, y no hay certeza de la evolución en el aprovechamiento o desaprovechamiento basado en las modificaciones de composición. Hace algunos años el área técnica de la fábrica determinó que las perdidas en el lavado estaban entre el 1%-2%, asumiendo un 2% para todos los esmaltes, se calcularon las pérdidas económicas y de materia prima actuales debido a la baja eficiencia en el tratamiento de recuperación de esmalte. En la siguiente tabla se muestra un balance de los 6 esmaltes prevalecidos, la perdida de materia prima es asumida como el esmalte que termina por ingresar a la PTAR, ya que de ahí el siguiente paso es el desecho de el esmalte en los lodos que se filtro prensan en la planta.



Imagen 4. Tanque Homogeneizador contaminado por esmaltes.



Imagen 5. Espacio usado inadecuadamente para ubicación de isotanques.

Tabla 5. Balance de pérdidas de esmalte

Fecha de preparación	Esmalte	Cantidad entregada (Kg)	Cantidad sobrante (Kg)	Bidones resultantes (Unidades)	Cantidad recuperado (Kg)	SEDIMENTACIÓN		Días en sedimentar	Cantidad en PTAR (Kg)
						Inicio	Fin		
1/03/2021	NEMC901H3	3570	782	4	572	4/03/2021	11/03/2021	7	71,40
13/04/2021	NEMC941H3	3300	1011	2	494	27/04/2021	11/05/2021	14	66,00
26/04/2021	NEMC944H3	1400	390	1	306	14/05/2021	14/06/2021	31	28,00
11/05/2021	NEMC941H3	1400	775	1	200	24/05/2021	10/06/2021	17	28,00
10/06/2021	NEMC941H3	1515	620	1	200	15/05/2021	26/05/2021	11	30,30
2/07/2021	NEMC968	7152							143,04
28/06/2021	NEMC941H3	950							19,00

Se calculan pérdidas de materia prima de hasta 385,34 Kg y eso representa pérdidas en lo que va corrido del año de aproximadamente \$3'500.000. Adicionalmente, hay un incremento importante del uso de químicos en la planta de tratamiento de agua cada que hay un lavado, el proceso de la PTAR se ve sumamente afectado, la pasta residual, resultado de filtro prensar los lodos de la PTAR pierde calidad y en el caso de esmaltes con menor eficiencia de sedimentación el uso de químicos para la recuperación y reúso aumenta, debido a que es necesario acelerar el proceso. De otro lado es difícil cuantificar la pérdida de materia prima y dinero debido al aumento de consumo de químicos a lo largo del proceso y hasta la PTAR, ya que no esta cuantificado ni estandarizado la frecuencia de lavado, ni los litros de agua contaminada resultantes, por tanto, no se mide el

aumento de químicos en la PTAR, sin embargo, no hay duda de que disminuye la calidad en el tratamiento de aguas de manera importante. Finalmente, los tiempos de sedimentación constituyen como se había planteado en un inicio en uno de los factores mas importantes, las demoras en el proceso de sedimentación van desde 7 días, hasta 31 días, únicamente en los 6 esmaltes que se presentan en la tabla 5, por lo cual la disminución de estos tiempos sigue siendo un objetivo fundamental.

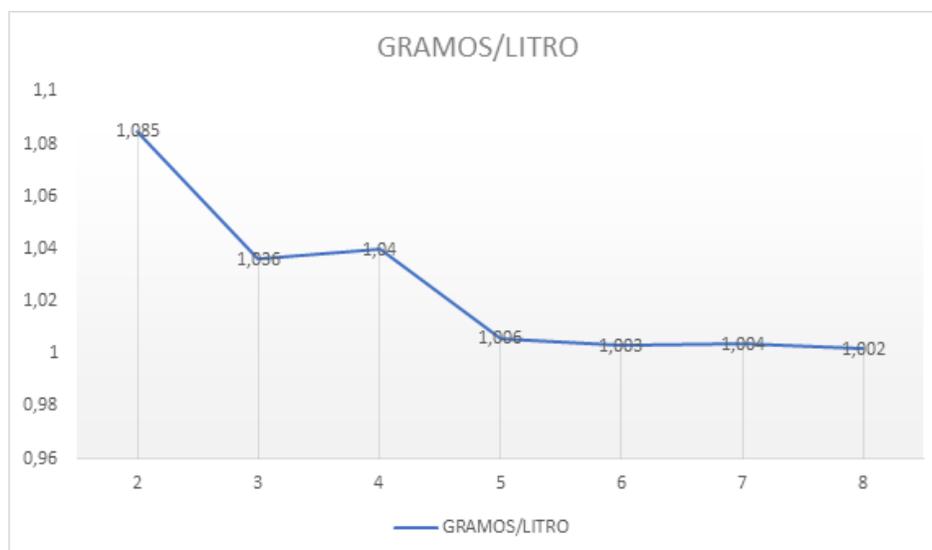
Para complementar la información y verificar el flujo de materias primas se llevo a cabo un ensayo con el color NEMC941, la maquina esmaltadora justo antes de iniciar el lavado, luce como en las imágenes 6, durante la lavada de este color no se permitió el ingreso de agua a la PTAR, el agua saliente se almaceno en 8 isotanques, el primero de ellos se dejó para recuperación, a los otros 7 se les realizo mediciones de solidos disueltos, y después de llenar los 8 bidones se permitió el ingreso del agua contaminada a la PTAR, asumiendo contenido mínimo de esmalte en ella con este ensayo fue posible verificar los porcentajes de pérdida determinados por el área técnica, dio como resultado pérdidas de 10,9 kg, por 10900 litros de agua consumida solo en el lavado de la cabina, contabilizando más de 2000 litros que habían dentro de la esmaltadora al momento de iniciar el lavado, las pérdidas fueron de 1,14%, este es el esmalte que en la actualidad menos recuperado produce debido a los óxidos que lo componen y el que más impacta el proceso en la PTAR, es también el esmalte que más horas de lavado requiere. En la Locería se conoce a la densidad como gramos/litro, por lo que en la tabla 6 se nombra de esta manera. Para finalizar, es posible visualizar en la Gráfica 1 que a medida que pasan los bidones disminuye la cantidad de partículas disueltas de esmalte, sin llegar a cero, con lo que la eficiencia en la sedimentación podría incrementar notoriamente las cantidades recuperadas y las cantidades que ingresen a la PTAR.



Imagen 6. Cabina esmaltadora contaminada con esmalte NEMC941

Tabla 6. Resultados ensayo NEMC941

BIDON	GRAMOS/LITRO	HORA DE FINALIZACIÓN DE LLENADO	Kg/BIDÓN
2	1.085	11:09	1,085
3	1.036	11:20	1,036
4	1.040	11:30	1,040
5	1.006	01:00	1,006
6	1.003	01:12	1,003
7	1.004	03:55	1,004
8	1.002	04:20	1,002
		TOTAL, Kg en PTAR	7,176



Gráfica 1. Resultados de ensayo NEMC941

Con la información recolectada y analizada fue posible contactar a 10 empresas y 2 universidades (Ver Tabla 7) de la ciudad de Medellín, con estos proveedores fue posible evaluar diversas posibilidades de tratamiento, se dificultó la evaluación de propuestas de tratamiento netamente físicas, con lo cual únicamente 2 de estos proveedores encontraron viable llevar a cabo el diseño de una solución. Se recibieron 2 propuestas técnico-económicas de pruebas de tratabilidad, la primera de ellas de la empresa Moksa que incluye una alternativa con modificaciones de pH y consumo de suministros químicos y la segunda es la empresa Distrisoluciones quien propone un sistema de ultrafiltración basado en una prueba de ensayos de celdas en laboratorio. Ambos proveedores proponen pruebas de tratabilidad con resultados en 45 días, para un posterior diseño y construcción de la solución (Ver tabla 8).

Tabla 7. Proveedores.

Empresa	Primer contacto	Reunion Preliminar	Información Compartida	Visita Presencial	Propuesta
Eduardoño	x	x	x	x	x
AIC Internacional	x	x	x		
Ática	x	x	x		
Servisépticos	x	x		x	
ByR	x	x	x		
Proton	x	x	x		
DISIN	x				
Moksa	x	x	x	x	
Edospina	x				
UdeA	x	x	x	x	
UPB	x	x	x		
Distrisoluciones	x		x		x

Tabla 8. Propuestas de proveedores.

Aspectos a evaluar	Moksa	Distrisoluciones
Propuesta	La propuesta de la empresa incluye 2 alternativas, la primera de ellas es la filtración, que se considera una opción siempre y cuando se tenga la selección adecuada del medio y/o material filtrante que se emplearía en este proceso. Esta será una ruta crítica por evaluar teniendo en cuenta que los tiempos de operación deben ser los adecuados para que se permita tener la unidad disponible para tratar agua de la esmaltadora con otro color diferente en un periodo no mayor a las 24 horas. La segunda alternativa es la modificación del ph, el esmalte y el agua establecer un equilibrio de fases similar al que se observa en las emulsiones. Este equilibrio debe desestabilizarse para disminuir el tiempo de sedimentación. Empleando los insumos químicos adecuados para no comprometer la composición del esmalte ni su desempeño en la aplicación, el equilibrio puede “romperse” por efecto de modificación de pH llegando así al efecto deseado.	La propuesta de la empresa incluye 2 pruebas de tratabilidad, la segunda prueba es alimentada con información de la primera prueba de tratabilidad, la primera prueba consta de ensayos en celdas a escala de laboratorio con diferentes productos químicos y dosis para realizar los procesos de oxidación, coagulación, floculación, ayudantes y modificadores de pH para determinar las condiciones óptimas de operatividad para el tratamiento u operaciones unitarias necesarias para la recuperación del esmalte. Este test simula el proceso de coagulación/floculación que se utiliza para eliminar las partículas en disolución que pueden producir turbidez, olor o cambio del efluente. La segunda etapa es la realización de pruebas piloto por el método de ultra-absorción, a través de la mezcla no reactiva altamente hidrofílica con las sustancias inertes UHSORB03 Y CFCARMAG03, que permite la separación sustrato – solvente acuoso sin modificación de la composición química del producto.
Aspectos positivos	<ul style="list-style-type: none"> * El proveedor esta establecido en la ciudad de Medellín. * La duración de la prueba de tratabilidad no supera los 2 meses. * Incluye una prueba de tratabilidad previa a la implementación del sistema de separación. 	<ul style="list-style-type: none"> *La duración de la prueba de tratabilidad no supera los 2 meses. * Incluye una prueba de tratabilidad previa a la implementación del sistema de separación. *No incluye modificaciones químicas en el proceso de separación.
Aspectos negativos	*La propuesta involucra insumos químicos que ponen en juego las características reológicas de los esmaltes	* El proveedor no esta establecido en la ciudad de Medellín
Duración	Prueba de tratabilidad: 45 días	Prueba de tratabilidad: 45 días
Valor	\$ 7.897.000,00	\$ 3.584.280,00

Evaluando las dos propuestas se decidió continuar el proceso con Distrosoluciones, pensando en las alternativas propuestas y el costo de la prueba de tratabilidad, ya se enviaron muestras de los 6 esmaltes que fueron priorizados, cada muestra es de 20 litros, y se procederá a empezar la prueba a partir del 12 de julio del 2021. Se espera que los resultados de la prueba de tratabilidad sean positivos para proceder de manera inmediata a la construcción de la solución.

Para finalizar, el desarrollo del proyecto dejo aprendizajes en diversos aspectos para todos los integrantes del equipo, el área de producción directamente implicada es un área extensa y por tanto

involucra un numero importante de colaboradores, lo que en ocasiones represento retos de comunicación y flujo de información, el desarrollo de los ensayos sin embargo, consiguió demostrar las capacidades de organización con una meta en conjunto, se consiguió unir a 3 áreas distintas de producción en horarios nocturnos permitiendo el desarrollo satisfactorio de los ensayos, la recolección de datos fue ordenada y coordinada y las entrevistas fueron enriquecedoras, demostrando así la importancia de la recolección certera y oportuna de información en búsqueda de mejoras en ámbitos ambientales y de calidad.

6. CONCLUSIONES

- Los esmaltes producidos en Locería colombiana son diversos en composición y comportamiento durante el proceso de recuperación de esmalte, el proceso es variable en demanda de producción y estructura de los propios esmaltes, por tanto, la caracterización y documentación en cada dimensión del proceso es fundamental. Asociado a esto, la falta de registro de flujos internos de materiales incide en la ausencia de estandarización y formalización de procedimientos y por tanto futuras mejoras.
- Dentro del análisis de la problemática fue posible identificar que las variables críticas del proceso son, los tiempos perdidos, flujos de materiales, gestión de inventarios y espacios de almacenamiento y pérdidas económicas por desperdicio de materia prima.
- La mejor alternativa de separación para recuperación de esmalte es una alternativa netamente física, esto disminuye las probabilidades de modificaciones en la reología de los esmaltes, por tanto, el reuso sería completamente seguro y sin consecuencias secundarias en la calidad de las piezas.
- La implementación de un proceso eficiente de sedimentación disminuye significativamente los impactos asociados al esmaltado de piezas, reduciendo el impacto de agotamiento de recursos por desperdicio y demanda de materia prima, por incrementos de consumo en insumos químicos en el proceso de tratamiento de agua y disminución de la calidad de la pasta residual, y finalmente incrementa la eficiencia del tratamiento de aguas residuales llevado a cabo en la fábrica, aumentando la eficiencia en la recirculación de aguas y disminuyendo por tanto el uso del recurso hídrico.
- La implementación de un sistema de separación de solidos disueltos de esmalte en el agua evitaría el desaprovechamiento de alrededor de 770Kg de esmaltes priorizados al año, adicionalmente disminuiría significativamente el consumo de insumos químicos en la PTAR de Locería, y no implicaría disminuciones constantes en la calidad del proceso de tratamiento de aguas residuales.

7. REFERENCIAS

Azevedo, A., Oliveira, H. A., & Rubio, J. (2018). Treatment and water reuse of lead-zinc sulphide

- ore mill wastewaters by high rate dissolved air flotation. *Minerals Engineering*, 127(August), 114–121. <https://doi.org/10.1016/j.mineng.2018.07.011>
- Basturk, S. B., Dancer, C. E. J., & McNally, T. (2020). Journal Pre. *Pharmacological Research, Journal of Membrane Science*, 1–34. <https://doi.org/10.1016/j.memsci.2021.119532>
- Centrífugas decanter para una separación óptima | Decanter Flottweg*. (n.d.). Retrieved June 19, 2021, from <https://www.flottweg.com/es/la-gama-de-productos/centrifugas/>
- Galán, E., & Aparicio, P. (1990). Materias primas para la industria cerámica. *Universidad de Sevilla*.
- Gómez, M. P., Bou, E., Moreno, A., Cook, S., & Galindo, M. (2009). *Cerámica y Vidrio de esmaltes cerámicos. Estudio de su solubilidad*. 48(Boletín de la sociedad española de cerámica y vidrio).
- Rani, C. N., Karthikeyan, S., & Prince Arockia Doss, S. (2021). Photocatalytic ultrafiltration membrane reactors in water and wastewater treatment - A review. *Chemical Engineering and Processing - Process Intensification*, 165(April), 108445. <https://doi.org/10.1016/j.cep.2021.108445>
- Reyes, J. (1995). Cerámica Industrial: Producción de Pavimento y Revestimiento Cerámico. *Universidad de Alicante*, 1–19.
- Rocha Castro, E. (2010). Ingeniería de Tratamiento y Acondicionamiento de Aguas. *Revista*, Pág 1-22. <http://www.oocities.org/edrochac/sanitaria/carbon6.pdf>
- Rojas, R. (2002). Depuración de aguas residuales municipales con humedales artificiales. *Organización Mundial de La Salud*, 1(3), 39–51.
- Sun, J., Wang, Y., Liu, J., Xu, Q., & Yin, J. (2021). Highly selective separation of CO₂/N₂ using [Emim][Tf₂N] supported ionic liquid membranes prepared by supercritical fluid deposition. *Journal of Supercritical Fluids*, 170(December 2020), 105139. <https://doi.org/10.1016/j.supflu.2020.105139>
- T. Beveridge. (2000). *Large-Scale Centrifugation*. <https://doi.org/10.3389/fneur.2018.00477>