



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERÍA

PROPUESTA E IMPLEMENTACIÓN DE UN PROCESO DE FILTRADO
PARA AUMENTAR LA EFICIENCIA DE LA RECUPERACIÓN DE LODOS
CON ALTO CONTENIDO DE PLATA RESIDUAL, EN EL PROCESO DE
FABRICACIÓN DE ESPEJO

INFORME DE EXPERIENCIA PROFESIONAL

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE

INGENIERO MECÁNICO

PRESENTA

MANUEL ALEJANDRO JAIME LEÓN

ASESOR: Dr. Arturo Barba Pingarrón

2015



ÍNDICE:

1- INTRODUCCIÓN

2- DESCRIPCIÓN DE LA EMPRESA

- 2.1- Historia
- 2.2- Misión y Visión
- 2.3- Organigrama

3- DESCRIPCIÓN DEL PUESTO DE TRABAJO

- 3.1- Objetivos del puesto desempeñado
- 3.2- Área de trabajo: Plano de distribución y descripción del proceso
 - 3.2.1- Zona de Carga y de Descarga
 - 3.2.2- Zona Química
 - 3.2.3- Zona de Pinturas y Curado
 - 3.2.4- Zona de Descarga

4- PARTICIPACIÓN EN LA EMPRESA

5- PROYECTO PRESENTADO

- 5.1- Antecedentes
- 5.2- Descripción del proceso
 - 5.2.1- Dosificación y aplicación de plata
 - 5.2.2- Proceso de sedimentación de plata
 - 5.2.3- Actividad de recuperación de lodos residuales
- 5.3- Propuesta de mejora
 - 5.3.1- Mantenimiento a fosa de sedimentación
 - 5.3.2- Calendarización de las actividades de recuperación
 - 5.3.3- Uso de filtro para captar lodos residuales
- 5.4- Resultados
- 5.5- Análisis e interpretación de datos

6- CONCLUSIONES

- 6.1 – Conclusiones del Proyecto
- 6.2 – Conclusiones Personales

7- BIBLIOGRAFÍA Y MESOGRAFÍA

1. INTRODUCCIÓN

En la gran mayoría de los procesos de producción las pérdidas de material, el exceso de consumo de materias primas y el aprovechamiento de los recursos disponibles pueden ser optimizadas. En los procesos que implican el uso de materiales de alto valor, como lo son los metales preciosos tales como el oro, la plata y el paladio, los proyectos enfocados a maximizar el aprovechamiento de las materias primas de alto valor son de gran prioridad. Sin embargo, en muchos de los casos existen también límites técnicos que limitan el aprovechamiento de dichos materiales y es en éstos casos donde los proyectos de recuperación de desechos de alto valor adquieren una prioridad igualmente importante. Tal es el caso del proceso de fabricación de espejos plateados.

Los residuos de plata durante el proceso de fabricación de espejos, no sólo representan una elevación en los costos de producción sino que también significan un riesgo al medio ambiente. Por ejemplo, en procesos en los que también se utiliza plata como materia prima fundamental, como lo es el procesamiento de radiografías, revelado de fotografías o fabricación de joyería, pueden existir concentraciones de hasta 6000 ppm en el agua de desecho, pudiendo ser la plata un bactericida dañino para los sistemas biológicos (Troupis, Hiskia, & Papaconstantinou, 2003).

Por otra parte, el alto valor comercial de la plata la convierte en un elemento cuya recuperación representa una alta prioridad cuando es utilizada en cantidades elevadas, como lo es el caso de la fabricación de espejos. En la Fig. 1-1 se puede observar que el precio por kilogramo de plata durante el año 2014 osciló entre los \$9,000.00 y los \$7,000.00 MXN (InfoMine Inc., 2015):



Fig. 1-1 Precio de kilogramo de plata metálica 2014 en MXN

Desde 2010, SGGM promedió un consumo de plata superior a los 3000 kg anuales. Suponiendo que se aprovecha un 75% de la plata en el proceso de plateado, existe un potencial de recuperación de 750 kg anuales, lo cual, tomando un costo promedio de \$8,000.00 MXN por kg de plata, le da un valor potencial a la recuperación de alrededor de \$6'000,000.00 MXN anuales.

La recuperación de plata es una práctica común en diversos sectores industriales. Existe una gran variedad de métodos y avances tecnológicos disponibles para realizar la recuperación de dicho metal. Dependiendo de las condiciones en las que se encuentre el material y de la inversión disponible, será el método que se recomiende para cada uno de los casos.

Un ejemplo es la recuperación de plata de las películas de radiografías. Una propuesta es la disolución con ácido nítrico, en donde la reacción con dicho metal produce nitrato de plata. Posteriormente, se utilizan dos complejos: *ditiosulfatoargentato* y *diaminoargentato* para la formación de cloruro de plata, el cual es recuperable mediante precipitación o mediante sustitución metálica. (Fábregas Mauri, Estrany Coda, & Oliver Pujol, 2002)

Otra alternativa para la recuperación de plata es mediante electrólisis, utilizando un cátodo de hierro y un ánodo de cobre. Al pasar una corriente eléctrica entre los electrodos, el ánodo quedará recubierto de plata. Algunas variantes incluyen añadir soluciones que aumenten el rendimiento de la recuperación, tal como es el caso del cianuro (Ajiwe & Anyadiegwu, 2000).

Cuando la plata metálica se encuentra en suspensión, la recuperación es posible mediante un proceso combinado de sedimentación. Esto dependerá de varios factores, tales como la velocidad del flujo en el que se encuentra suspendida la material, el tamaño y la densidad de las partículas. Los procesos de sedimentación, están comúnmente acompañados de sistemas de filtrado, que para grandes flujos de agua están compuestos de un lecho de grava y arena, el cual es lavado después de cierto tiempo para mantener su funcionalidad. Además de grava y arena, se pueden utilizar membranas filtrantes que permitan retener el material indeseado en el efluente y de la misma forma deben ser lavados o intercambiados para mantener la eficiencia del filtrado sin afectar la velocidad del flujo del caudal. (Hardenbergh & Rodie, 1981)

2- DESCRIPCIÓN DE LA EMPRESA

2.1- Historia

Saint-Gobain es una empresa multinacional creada en **Francia**, en 1665 por el Ministro de Finanzas, Jean-Baptiste Colbert, para, en aquel entonces, suministrar el vidrio para el Salón de los Espejos del Palacio de Versalles. Desde entonces, Saint-Gobain se ha focalizado en la fabricación de **materiales de construcción** y de alto desempeño, produciendo desde vidrio plano y transformado, como **espejo**, hasta materiales abrasivos, yeso, tubería, plásticos, fibra de vidrio, etc., logrando presencia en muchos países, tales como Brasil, Egipto, India, China, Italia, Alemania, entre muchos otros.

Saint-Gobain está presente en **México** desde hace medio siglo. En sus plantas industriales, alrededor del país, produce y distribuye vidrio plano, vidrio automotriz, vidrio para electrodomésticos, hilos para tejidos de refuerzo de fibra de vidrio, tela mosquitero de fibra de vidrio, yeso, paneles y plafones de yeso, abrasivos y plásticos de alto desempeño. También comercializa tuberías de hierro dúctil para la canalización de agua.

SGGM (Saint-Gobain Glass México) es la rama que se dedica, desde hace 18 años, a la elaboración de vidrio plano para la industrias automotriz y construcción a nivel nacional y exportación, principalmente a Centroamérica, Sudamérica y el Caribe, teniendo presencia también en los mercados Norteamericanos. (Saint-Gobain Glass, 2015)

SGGM es una empresa que ha crecido y evolucionado desde su fundación, incursionando en la industria del vidrio transformado. Actualmente cuenta con 3 líneas de transformación para la fabricación de vidrio para protección solar, vidrio laminado de seguridad y espejo plano, así como 2 líneas de recorte de primitivos para surtimiento de vidrio automotriz.

Desde hace 10 años, la **Línea Miralite** se ha encargado de la producción de espejo plano para la industria de la construcción. Actualmente, **produce más de 2.5 millones de metros cuadrados de espejo al año** en diferentes medidas y espesores entre 2 y 6 milímetros.

2.2- Misión y Visión

A través del documento llamado la Política de Calidad, Ambiental, Seguridad y Responsabilidad Social, SGGM, establece la misión y visión de la empresa

En Saint-Gobain México SA de CV, estamos comprometidos con la mejora continua y la rentabilidad a largo plazo. Nuestros esfuerzos se enfocan a ser la mejor opción en el mercado de vidrio plano, de seguridad, de control solar y espejo, a través de la satisfacción continua de las necesidades de nuestros clientes, del cuidado del medio ambiente, la seguridad y la responsabilidad social.

Fundamentados en los Principios de Conducta y Actuación del Grupo Saint-Gobain, nos conducimos con integridad y honestidad con todos los actores de nuestro entorno, clientes, proveedores, colaboradores y comunidad.

Con estos principios nos proponemos:

- *Cumplir los objetivos que permitan el crecimiento y la rentabilidad de la empresa.*
- *Cumplir los requisitos de nuestros clientes así como los legales y otros que la organización defina.*

- Desarrollar e involucrar al personal para prevenir, reducir o eliminar los impactos y riesgos ambientales asociados a nuestros productos y actividades.
- Crear una cultura de protección y prevención en seguridad y salud en todos los colaboradores como una forma permanente de actuar.
- Promover sistemas para integrar y enriquecer equipos de trabajo, obteniendo así un mejor desempeño en nuestras actividades cotidianas, procesos y productos.
- Implementar y difundir acciones para alcanzar una cultura de mejora continua, creando un verdadero compromiso con la calidad, nuestros clientes, accionistas y la sociedad.

2.3- Organigrama

El organigrama (Fig. 2-1) muestra el personal que directamente tiene responsabilidades de dirección, planeación y supervisión del área de Vidrio Transformado, dentro de los cuales se encuentra la línea Miralite (producción de espejo), la línea Cool-Lite (producción de vidrio de control solar) y la línea Stadip (producción de vidrio laminado).

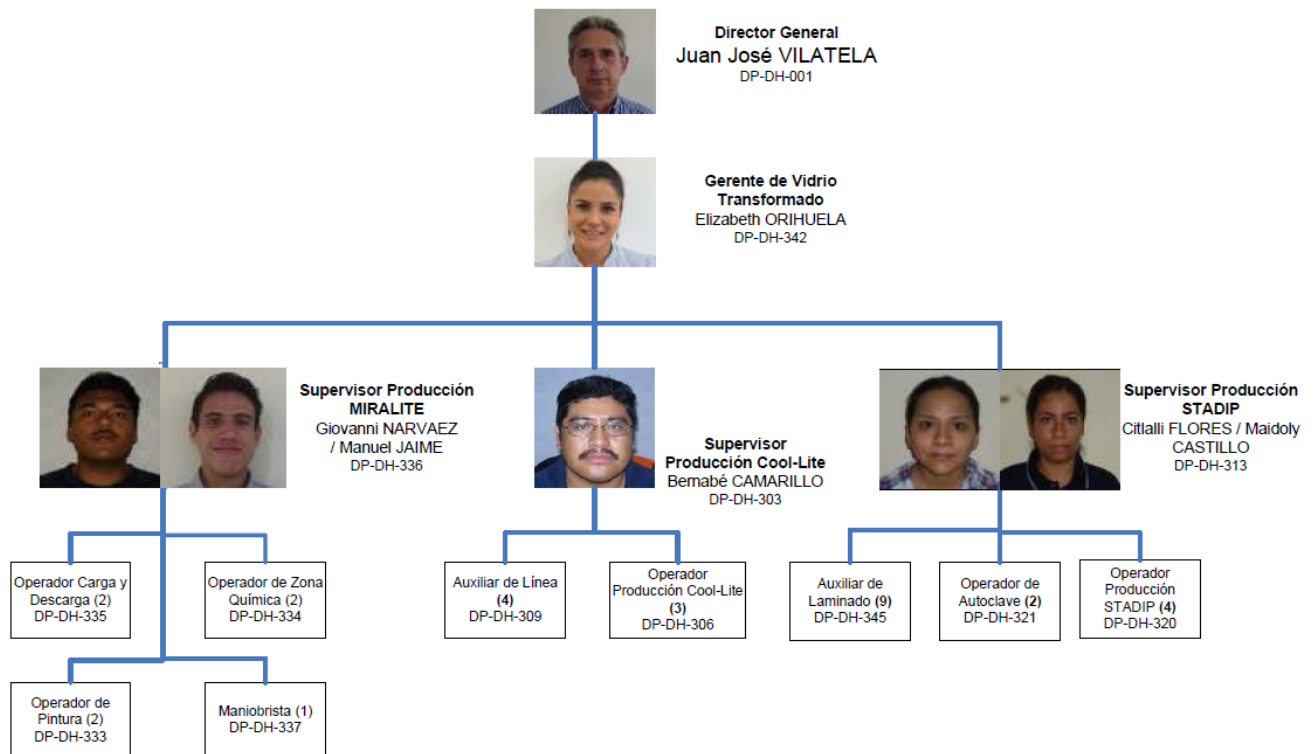


Fig. 2-1 Organigrama de producción de vidrio transformado

3- DESCRIPCIÓN DEL PUESTO DE TRABAJO

Puesto desempeñado: Supervisor de Producción de Línea Miralite. Manufactura de espejos planos de varios espesores y medidas.

3.1- Objetivos del puesto desempeñado

- Asegurar la producción de la línea Miralite, de acuerdo a los planes de ventas y los programas establecidos por el área de planeación.
- Asegurar el cumplimiento de los estándares de calidad especificados por el grupo, para el producto fabricado.
- Implementar y asegurar el adecuado cumplimiento de los programas de mantenimiento de la línea de producción y el funcionamiento óptimo de los equipos.
- Capacitar a los integrantes del equipo de trabajo, para asegurar los requerimientos en lo referente al conocimiento técnico, de seguridad y desempeño de la línea.
- Administrar el uso adecuado de los insumos de producción, reduciendo al mínimo la generación de desperdicio.
- Mantener la línea en condiciones ejemplares de orden y limpieza.
- Elaborar los reportes de producción solicitados por la alta gerencia y la dirección.
- Asegurar el cumplimiento de estándares de Manufactura de Clase Mundial (WCM) de la empresa, conforme a las normas y políticas establecidas.

3.2- Área de trabajo: Plano de distribución y descripción del proceso

La Línea Miralite está dividida en 3 zonas: carga y descarga, zona química y zona de pinturas, como se muestra en la fig.2.



Fig. 3-1 Plano de distribución de la Línea Miralite

3.2.1- Zona de Carga y de Descarga

La zona de carga permite comunicar los pedidos emitidos por el área de planeación al personal de almacén y garantizar el aprovisionamiento del vidrio base para su proceso de transformación. Está a cargo de un operador, quien se encarga de realizar, junto con un operador de calidad, la inspección del vidrio que será alimentado a la línea y coordinar con el resto de los operadores los tiempos de producción de cada uno de los productos.

Las responsabilidades y retos del supervisor de producción en esta zona son:

- Coordinar las actividades entre el Área de Planeación y el Almacén de Producto Terminado, de tal forma que se garantice la disponibilidad del vidrio que se ingresará a la línea y se asegure la entrega al almacén, del espejo solicitado por el Área de Planeación
- Garantizar la calidad del producto, tanto del que se ingresa a la línea, como del vidrio transformado en ella. Esto se coordina con el Departamento de Calidad para evitar el ingreso de producto fuera de especificación a la línea de producción y a su vez garantizar que no se envíe producto no conforme al cliente interno, en este caso, el almacén.
- Controlar el balance del inventario de producto que se ingresa a la línea y del producto que se entrega al almacén para determinar así dos de los principales indicadores de productividad en la línea: la **cadencia** (metros cuadrados producidos por hora) y el **rendimiento** (relación entre producto bueno entregado y producto ingresado).
- Proponer actividades de mejora que ayuden a reducir tiempos muertos y garanticen la fiabilidad de las máquinas durante los tiempos de producción.
- Organizar el registro de los tiempos muertos y de los defectos detectados durante la producción para identificar las mayores causas de pérdidas y desarrollar planes de acción y poder así contrarrestarlas adecuadamente.

3.2.2- Zona Química

En la zona química se realiza todo el proceso de transformación del vidrio a espejo.

Se inicia por un proceso de lavado y pulido del vidrio utilizando óxido de cerio. Posteriormente, se realiza una limpieza de este agente abrasivo y comienza la aplicación de diversas sustancias químicas. Por motivos de confidencialidad, no se dará a conocer el nombre de los reactivos químicos utilizados en la línea.

En primer lugar se aplica un sensibilizador para la superficie del vidrio. Después, se aplica un catalizador, el cual acelerará la reacción para optimizar el uso de las materias primas. Posteriormente, se aplica una solución concentrada de plata, la cual reacciona en la superficie del vidrio para convertirse en plata metálica, dándole el acabado reflejante al espejo. En seguida, se aplica un pasivador, el cual sella la reacción de la plata. Por último, se aplica un primer, el cual prepara el producto para la aplicación de pintura en la siguiente etapa del proceso.

Esta zona está a cargo de un operador, quien es responsable de la aplicación de los productos químicos descritos y de reportar al supervisor de producción, cualquier anomalía en el proceso y/o los equipos implicados.

Las responsabilidades y retos del supervisor de producción en esta zona son:

- Garantizar la disponibilidad de materias primas para la fabricación de espejo, por medio de un registro de consumos e inventarios.

- Dar seguimiento al consumo del recurso más caro, la plata, para así asegurar la rentabilidad del proceso mediante la disminución del consumo de la misma, proponiendo alternativas para hacer más eficiente el proceso. Asimismo, garantizar la recuperación de la plata residual del proceso de tal forma que se pueda recuperar todo aquello que no se queda en el espejo.
- Identificar y resolver todo tipo de problemas relacionados con la reacción química que produce el acabado del espejo, generando planes de acción y capacitación cuando se detectan desviaciones y anomalías en el proceso.
- Fomentar actitudes y condiciones de seguridad para los operadores que manejan sustancias químicas peligrosas, otorgando información, equipo de seguridad y capacitación continua al personal a mi cargo.
- Proponer proyectos de mejora que ayuden a reducir costos, mejorar rendimientos de las reacciones químicas y aumenten la calidad del producto terminado, de acuerdo a las especificaciones establecidas por Saint-Gobain.

3.2.3- Zona de Pinturas y Curado

En la zona de pinturas se lleva a cabo la aplicación de una capa de pintura como protección para la capa de plata.

Previo a la aplicación de la pintura, se realiza un pre-horneado del vidrio, y posterior a la aplicación de la pintura, el vidrio pasa por dos etapas de horneado, una para el secado de la pintura y otra para el curado y la polimerización de la misma. Después del horneado, el vidrio es sometido a un enfriamiento con aire a temperatura ambiente para promover el endurecimiento de la capa de pintura.

La importancia de la capa de pintura es dar la protección adecuada a la capa de espejo para garantizar la durabilidad del espejo. En la última etapa, se hacen pasar los espejos por unos rodillos impregnados de una solución ácida que remueve el exceso de plata que haya escurrido hacia la cara inferior de la hoja, lavándola con agua y cepillos cilíndricos, antes de llevarlo a la última zona de la línea.

Las responsabilidades y retos del supervisor de producción en esta zona son:

- Garantizar la disponibilidad de materias primas para la fabricación de espejo, por medio de un registro de consumos e inventarios.
- Dar seguimiento al consumo de la pintura para garantizar que éste se mantenga dentro del presupuesto
- Mediante un programa de inspección y mantenimiento, dar seguimiento al estado de las resistencias del horno para garantizar el curado adecuado de la pintura.
- Dar seguimiento a las pruebas de calidad aplicadas a producto terminado para garantizar que el producto cumple con las especificaciones de calidad establecidas por Saint-Gobain.

En la etapa final del proceso, el producto pasa por un puente de inspección en donde se inspecciona visualmente la capa de pintura de los volúmenes.

3.2.4- Zona de Descarga

Las hojas de espejo fabricadas, pasan por una volteadora y, previo al apilado, se inspeccionan visualmente en la cara espejo, buscando que la reacción de plata sea homogénea y que no existan defectos superficiales que afecten la calidad del producto terminado.

Las responsabilidades y retos del supervisor de producción en esta zona son:

- Dar seguimiento al cumplimiento de las campañas planeadas por producción, garantizando el correcto etiquetado del producto terminado y registrando la información en la base de datos de logística para poder tramitar la venta del producto.
- Llevar indicadores como el rendimiento, la cadencia, la productividad y la eficiencia de la producción para desarrollar planes de acción para atacar pérdidas en tiempos y producto no conforme, con el fin de aumentar la rentabilidad de la línea de producción.

4- PARTICIPACIÓN EN LA EMPRESA

Como supervisor de producción, además de trabajar para **garantizar la producción, calidad del producto terminado y la funcionalidad de la línea**, parte fundamental de mi trabajo es **proponer e implementar mejoras en el proceso y desarrollar proyectos de reducción de costos y de pérdidas**.

A lo largo de mi experiencia como supervisor de producción en Saint-Gobain, he participado en varios proyectos que han aportado a los planes de la empresa y a mi desarrollo profesional.

He tenido participación en proyectos tales como:

- Lanzamiento de nuevo producto: Miralite Revolution®: espejo de una capa de pintura
- Aumento de rendimiento de la línea Miralite
- Reducción del consumo de plata
- Reducción del tiempo de cambio de producto

Adicionalmente, he tenido la oportunidad de ser líder de varios proyectos, tales como:

- Reducción de paros en la zona de descarga
- Aumento de la eficiencia de recuperación de plata residual
- Reducción de inventarios de materia prima
- Reducción de corrosión en la prueba CASS-test mediante el control de parámetros de limpieza del vidrio y curado de pintura en el proceso
- Mejora al sistema de ventilación de la nave de plateo
- Kaizen al sistema de aplicación de pintura

Todos los proyectos en los que he participado han entregado resultados positivos, colocando a la línea Miralite de Saint-Gobain Glass México en los primeros lugares de desempeño, a nivel mundial.

5- PROYECTO PRESENTADO

En este reporte se presenta un proyecto de **propuesta e implementación de un proceso de filtrado para aumentar la eficiencia de la recuperación de lodo residual con un alto contenido de plata en el proceso de fabricación de espejo**, que se enfoca a uno de los aspectos relevantes del proceso global.

5.1- Antecedentes

Durante el proceso de elaboración de espejos, existen pérdidas inherentes al mismo y dado el alto costo de la materia prima principal, que es la plata, la recuperación de este elemento representa una actividad de altísima prioridad. Ésta no se recupera en forma de plata metálica, sino en forma de un sedimento que para fines del estudio denominaremos "lodo residual", con alto contenido de plata.

Durante los 10 años que ha operado la línea de espejos Miralite en México, la recuperación de plata ha sido una práctica común. Sin embargo, al ser considerada una actividad secundaria, gran cantidad de proyectos se han enfocado en la reducción del consumo de la misma y no tanto en la recuperación. De aquí surgió la idea de hacer una contribución de mejora al proceso, la cual está alineada con los objetivos de mi puesto y de la empresa.

El proceso de recuperación que actualmente se lleva a cabo, no es evaluado en términos de su eficiencia, por lo que no existe un registro organizado de los datos de la recuperación que permita establecer una línea base sobre la cual se puedan comparar los resultados de esta propuesta. Es por eso que como parte del proyecto, se ha decidido llevar a cabo un registro de 6 meses trabajando en condiciones actuales y establecer una línea base que permita compararlos con la mejora propuesta al cabo de un tiempo equivalente.

5.2- Descripción del proceso

A continuación se presenta un diagrama mediante el cual se explica, de manera general, el proceso de plateado. Se hace énfasis en dos bloques que representan las etapas del proceso donde es posible llevar a cabo la recuperación de lodo residual:

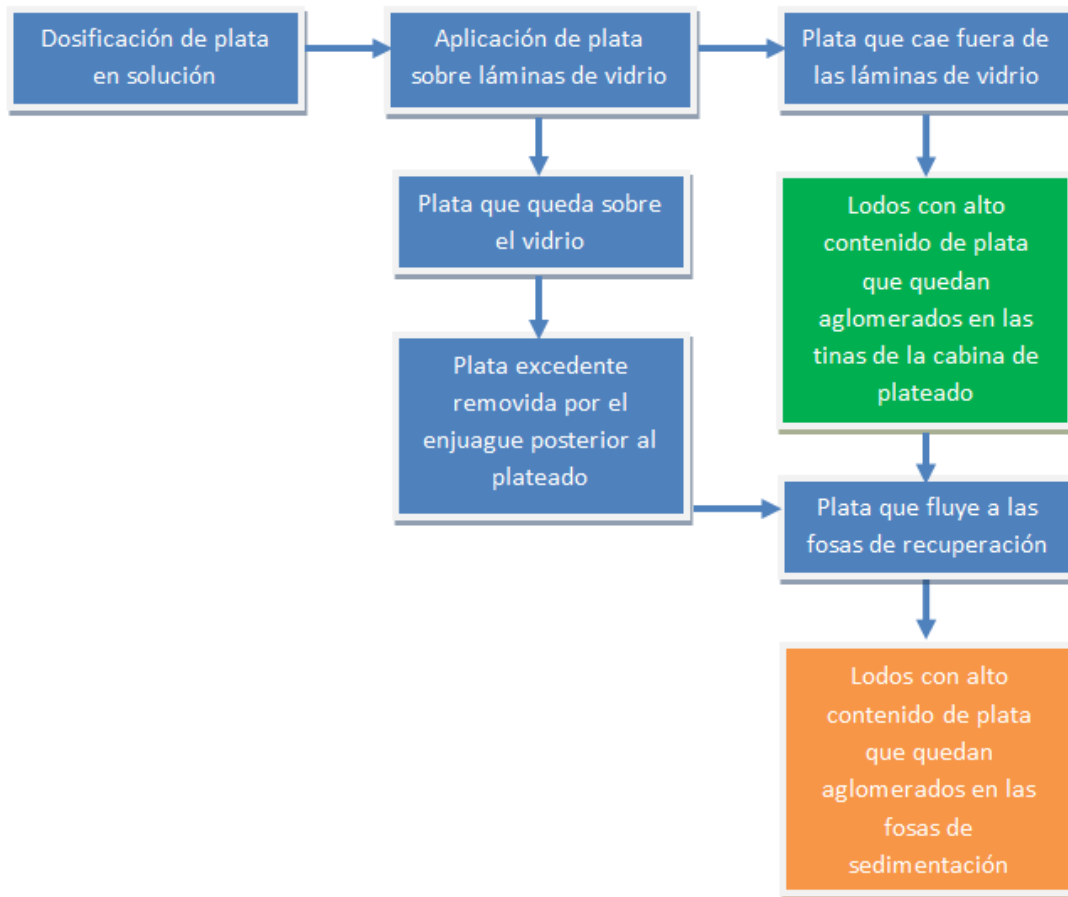


Fig. 5-1 Diagrama de flujo de solución de plata

5.2.1- Dosificación y aplicación de plata

La dosificación y aplicación de plata se lleva a cabo dentro de la cabina de plateado, la cual se muestra a continuación (fig. 3).



Fig. 5-2 Cabina de aplicación de plata o cabina de plateado

La solución de plata es aplicada en las láminas de vidrio a través de un proceso de rocío pirolítico a baja temperatura (Aguilar Castillo, 2012) utilizando aspersores colocados en un tren que oscila de lado a lado dentro de la cabina, en sentido transversal al flujo del vidrio. A través de los aspersores fluye una solución de nitrato de plata diluida en una solución de agua y amoníaco, la cual reacciona con un reductor alcalino para transformarse en plata metálica y quedar adherida al vidrio, dándole la capa reflectora al espejo.

Cabe mencionar que todos los químicos aplicados son diluidos en agua desmineralizada para evitar que sales y cloruros contenidos en el agua afecten la reacción.

La reacción química que se lleva a cabo es la siguiente:

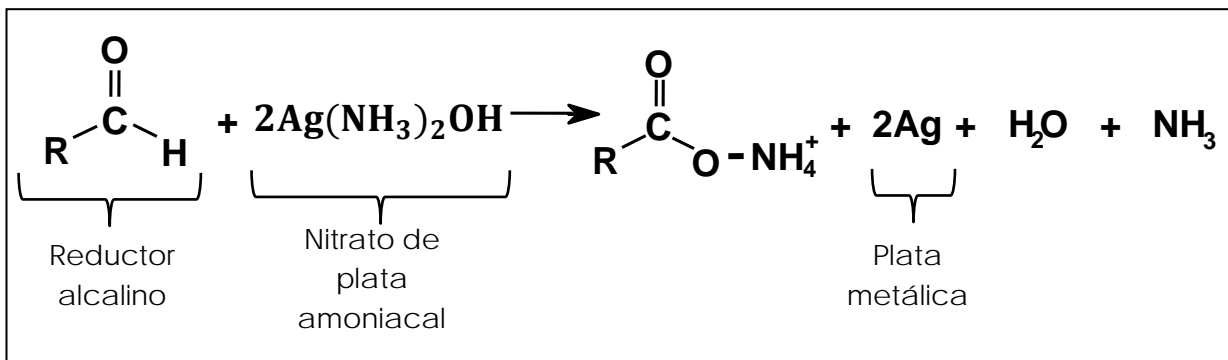


Fig. 5-3 Reacción de reducción de nitrato de plata amoniacal (Gutsche & Pasto, 1979)

La mayor parte de plata queda adherida al vidrio, mientras que la plata que no queda en él queda suspendida en el agua y se dirige a las tinajas de la cabina de plateado. Las láminas de vidrio avanzan a la denominada zona de reacción, donde se da tiempo para que la plata reaccione adecuadamente y quede adherida al vidrio. Por último, hay un enjuague final que remueve el exceso de plata que ya reaccionó pero que no ha quedado adherida al vidrio. El agua con esta plata no aprovechada se dirige hacia la zona denominada fosa de sedimentación.

5.2.2- Proceso de sedimentación de plata

La plata que no queda adherida en el vidrio es desalojada de la cabina de plateado suspendida en el flujo de agua proveniente del proceso. La plata, al ser un metal suspendido, se sedimenta de manera gradual conforme el flujo de agua es evacuado de la zona de proceso. La primera parte de la sedimentación ocurre inicialmente en las tinajas al fondo de la cabina de plateado. La segunda etapa de la sedimentación se lleva a cabo en fosas diseñadas para promover éste proceso de separación, por ende, éstas se denominan fosas de sedimentación.

Por experiencia, se ha observado que la mayor cantidad de lodos residuales recuperables se aglomeran y solidifican en el fondo de las tinajas de la cabina de plateado, formando costras de dicho lodo. Éstas son retiradas después de un periodo de tiempo, de acuerdo a las prácticas que se siguen actualmente. El mecanismo mediante el cual se aglomeran dichos lodos se comenta a detalle en el punto 5.3.3.



x

Fig. 5-4 Ejemplo de costra de lodo residual formada al fondo de las tinas

La plata que no se sedimenta en las tinas de la cabina de plateado fluye suspendida en el agua hacia la fosa de sedimentación.

La fosa está constituida por una serie de trampas físicas que dividen las tinas en 6 secciones y que tienen el fin de promover la sedimentación de la plata suspendida en el flujo de agua proveniente de la cabina de plateado, de la zona de reacción y de la zona de enjuagues (Fig. 5-5).

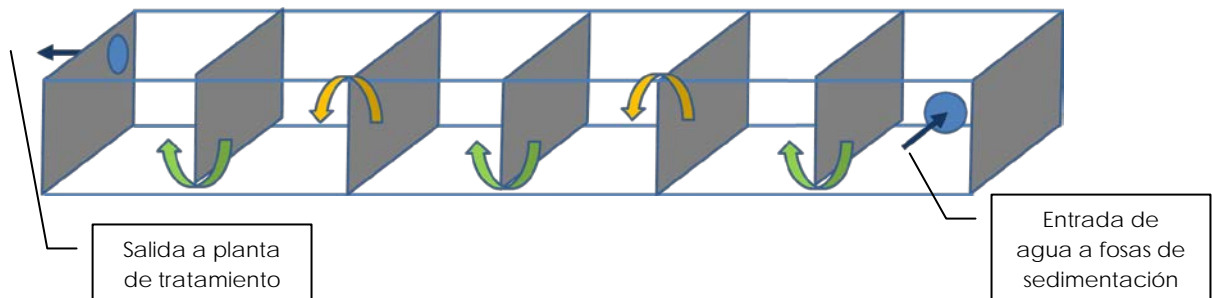


Fig. 5-5 Flujo de agua residual a través de fosas de recuperación

De la fosa se recupera un lodo húmedo que es secado para estimar el peso total de plata contenido en el mismo, previo a su envío a recuperación como plata metálica.

5.2.3 – Actividad de recuperación de lodos residuales

La recuperación de lodo residual se lleva a cabo en las dos zonas mencionadas previamente.

En la cabina de plateado se realiza mediante el uso de espátulas y cinceles para picar y separar las costras que quedan adheridas a las paredes de la cabina. Posteriormente, se utilizan palas para transferir los residuos fuera de la cabina, como se puede observar en las figuras 5.6 y 5.7.



Fig. 5-6



Fig. 5-7

Figs. 5-6 y 5-7 Recuperación costras de lodo residual en cabina de plateado

En las fosas de sedimentación (Fig. 5-8 y 5-9), previo al traspaleo de lodos, se draga la fosa utilizando una bomba. Dado que la claridad del agua dentro de las fosas no es completamente cristalina, es notable que cierta cantidad de lodos aún se encuentran suspendidos en ella, por lo que el método mediante el cual se realiza la succión del agua para obtener los lodos sedimentados al fondo, existen pérdidas de lodos residuales asociadas al método actualmente utilizado. Una vez extraída el agua de las fosas, se obtienen lodos húmedos, los cuales son retirados mediante el uso de palas y cubetas.



Fig. 5-8



Fig. 5-9

Figs. 5-7 y 5-8 Recuperación de lodo residual en fosas de sedimentación

5.3- Propuesta de mejora

Se propone mejorar la recuperación de la plata metálica sedimentada mediante tres acciones principales:

1. Dar mantenimiento correctivo a las paredes de la fosa de sedimentación
2. Estandarizar los periodos de recuperación, para mejorar el control de los rendimientos de esta operación. Éstos se llevarán a cabo de manera trimestral.

3. Utilizar una tela porosa apropiada para filtrar los lodos suspendidos en el agua y estimular la actividad de recuperación.

5.3.1- Mantenimiento a fosa de sedimentación

Debido a que los reactivos químicos utilizados en el proceso de plateado pueden ser altamente agresivos (DR.-ING. SCHMITT GMBH, 2013), las paredes de la fosa de sedimentación han recibido daños significativos (Fig. 5-10 y 5-11), por lo que fue necesario realizar un mantenimiento correctivo con el fin de regresar las fosas a sus condiciones iniciales y poder hacer una evaluación representativa de las actividades de recuperación.



Fig. 5-10



Fig. 5-11

Figs. 5-10 y 5-11 Daño a paredes de fosa de sedimentación



Fig. 5-12 Mantenimiento a paredes de fosa

5.3.2- Calendarización de las actividades de recuperación

La programación de la recuperación se organizó en periodos trimestrales, en base a recomendaciones establecidas por la Dirección Técnica Internacional de Grupo Saint-Gobain y las prácticas seguidas en otras líneas de espejo del grupo en el mundo. El objetivo de dicha periodización es llevar un mejor control sobre los cálculos que permitan evaluar la eficiencia de recuperación.

Los meses de recuperación de lodos fueron Marzo, Junio, Septiembre y Diciembre de 2014. De los meses de Enero a Junio de 2014, la recuperación se llevó a cabo de la misma forma en la que se realizaba anteriormente con el fin de establecer una referencia respecto a la eficiencia de la recuperación. En los meses de Julio a Diciembre se utilizó un elemento filtrante como propuesta de mejora con la hipótesis de aumentar los rendimientos de recuperación respecto a la referencia obtenida durante las dos primeras recuperaciones.

5.3.3- Uso de filtro para captar lodos residuales

La idea del uso de la tela-filtro de poliéster para recuperar lodos de plata surge a partir de una visita de entrenamiento que realicé en 2013 a la línea de espejos Miralite en Pisa, Italia. El uso particular que se le estaba dando en dicha línea era exclusivo para la recuperación de paladio, otro metal de alto valor usado en el proceso de producción.

La colocación de la tela porosa en las tinas de la cabina de plateado permite que el agua, en la que está suspendida la plata metálica fluya a través de éste previa a su descarga hacia las fosas de recuperación. Durante la reacción química, donde el nitrato de plata experimenta la transformación (reacción de reducción) a plata metálica y dado que se encuentra a una temperatura por debajo de su temperatura de fusión, durante el cambio de estado (líquido-sólido) se forman dendritas de plata dentro del filtro durante su transformación a sólido (Porter & Easterling, 1992). Éstas, al adquirir tamaños mayores al del poro del mismo (5 micras) comienzan a crecer, saturando el filtro y formando una "torta" de lodos por encima

del mismo. Adicionalmente, el filtro y la formación de la "torta de lodos" por encima de ésta, favorecen la reducción de velocidad en el flujo de agua, dando mayor tiempo a la plata de asentarse en las fibras del filtro. (McCabe, Smith, & Harriot, 1998)

El tratamiento de los lodos residuales para la recuperación de plata es realizada por un tercero, externo a SGGM, mediante procesos de incineración. La empresa contratada para dicha actividad fue consultada para saber si las telas de poliéster tenían algún impacto negativo durante el proceso de recuperación. Dado que la recuperación por parte del externo se realiza mediante un proceso de incineración y puesto que el poliéster es un compuesto orgánico que se desintegra a una temperatura aproximada de 250°C, mientras que la temperatura de fusión de la plata es alrededor de los 962 °C (Lenntech BV, 2015), este no presenta consecuencias negativas a su proceso.

El filtro se colocó en dos zonas principalmente:

- En las tinas de la cabina de plateado, a lo largo de la sección que abarca el tren de aplicación de plata, con el fin de recibir el exceso de plata que escurre por los bordes del vidrio durante la aplicación y la plata que cae directamente de las boquillas de aplicación en los espacios entre las láminas de vidrio y en los bordes (Fig. 5-13 y 5-14).



Fig. 5-13



Fig. 5-14

Fig. 5-12 y 5-13 Colocación de tela-filtro de poliéster en tinas de cabina de plateado. La tela filtrante fue impregnada con la misma solución sensibilizadora que se utiliza para promover la adhesión de la plata con la superficie del vidrio con el fin de promover la adhesión de la plata metálica al filtro.

- También se colocaron fragmentos de la tela-filtro en las trampas de la fosa de sedimentación, con el fin de capturar más fácilmente las partículas de plata suspendidas en el agua que fluye a través de la fosa (Fig. 5-15).



Fig. 5-15 Colocación de tela-filtro en fosa de sedimentación

5.4- Resultados

Una vez implementadas las mejoras y transcurridos los 3 meses de cada periodo establecido, se procedió a realizar la recuperación de los lodos ricos en plata.



Fig. 5-16 Costras de lodo formadas sobre tela-filtro

Como se observó en la sección 5.2.3, la recolección se llevaba a cabo con palas. El uso del filtro modificó el procedimiento mediante el cual se lleva a cabo la recolección de los lodos. En lugar de tener la necesidad de utilizar espátulas, palas y cinceles, la tela se desprende fácilmente del fondo de la tina y se puede enrollar para ser retirada. Esto redujo una labor que normalmente tardaba entre 10 y 12 horas para 2 operadores, en una labor de 2 a 3 horas con la misma cantidad de personal (Fig. 5-17 y 5-18)



Fig. 5-17 Enrollado de tela impregnada de costras de lodo residual



Fig. 5-18 Rollos de tela retirados de las tinajas de la cabina de plateado

Para la recuperación en las fosas de sedimentación se realizó un procedimiento similar al que se realizaba antes de la implementación de la mejora: Se realizó el desfogue en la última sección de las fosas usando una bomba, pero en ésta ocasión se observó una diferencia importante en la turbidez del agua entre las zonas divididas por la tela-filtro colocada. Además, los operadores reportaron una reducción notable en la cantidad de lodos que se pudieron recuperar en ésta zona (Fig. 5-19).



Fig. 5-19 Diferencia de turbidez visible entre fosas separadas por el filtro

A continuación se presenta el programa de recuperación de los lodos ricos en plata residual con la descripción del uso de los filtros para cada caso.

Trimestre		Fecha de recuperación	Filtros en cabina de plateado	Filtros en fosa de sedimentación	Cantidad de Lodo recuperado por metro cuadrado de vidrio ingresado a producción
1er Trimestre	Enero-Marzo	22/03/2014	No	No	186 mg Lodo/m ²
2do Trimestre	Abril-Junio	11/07/2014	No	No	94 mg Lodo/m ²
3er Trimestre	Julio-Sept.	26/09/2014	Si	Si	212 mg Lodo/m ²
4to Trimestre	Octubre-Dic.	09/01/2015	Si	Si	188 mg Lodo/m ²

Fig. 5-20 Programa de recuperación de lodos residuales

5.5- Análisis e interpretación de datos

Como se mencionó al inicio de éste reporte, proyectos adicionales enfocados a la reducción de consumo de plata fueron implementados en paralelo a éste proyecto, y dado que el cálculo del rendimiento de la recuperación está relacionado tanto con el consumo como con la deposición de plata en el espejo, resulta interesante comparar el comportamiento de estas tres variables a lo largo del periodo estudiado.

En el primer análisis se observa la cantidad de lodo recuperado por metro cuadrado de vidrio ingresado a producción. También se observa el consumo de plata por metro cuadrado de vidrio ingresado a la línea y el depósito medido en el espejo por metro cuadrado ingresado a producción.

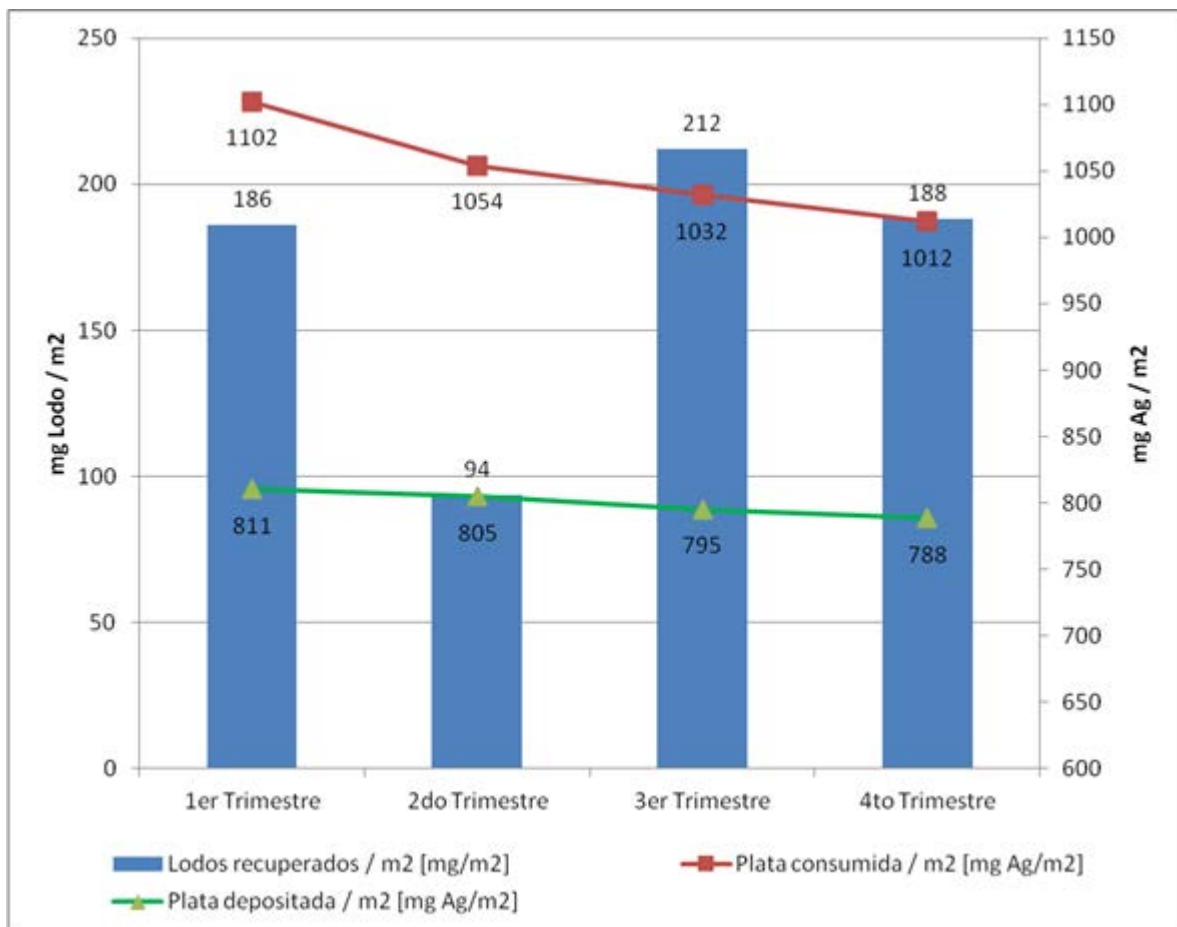


Fig. 5-21 Lodo recuperado vs plata utilizada vs plata depositada

Como se puede observar en la gráfica de la Fig. 5-21, el consumo de plata se redujo considerablemente durante el periodo en el que se midió la recuperación, alrededor de 100 mg de Ag por metro cuadrado ingresado a la línea. Junto a ello, el depósito que quedó en el espejo sólo sufrió un pequeño decremento, menos de 30 mg de Ag por metro cuadrado de vidrio ingresado a la línea. La cantidad de lodo recuperado por metro cuadrado de espejo ingresado a proceso, tuvo comportamientos similares durante el primero, el tercero y el cuarto trimestres. Durante el segundo trimestre hubo una caída notable, la cual no fue analizada a profundidad debido a que sólo se utilizó como marco de referencia de la eficiencia del proceso actual al igual que el primer trimestre. Todas las actividades de recuperación fueron supervisadas por el autor de este reporte y por otro supervisor para evitar desviaciones causadas por variaciones en el método de recuperación.

A pesar de haber reducido el consumo de plata durante el periodo analizado, la recuperación de lodo residual después de implementar el uso del filtro se mantiene estable en comparación con el primer trimestre de recuperación y aumenta considerablemente en comparación con el segundo trimestre de recuperación, en los que se estableció la línea base. Esto representa un **aumento en la eficiencia de captación de lodos** con el uso del filtro propuesto, cumpliendo con la hipótesis planteada al inicio de éste proyecto.

El lodo no está compuesto en su totalidad de plata, sino que también se compone de otros reactivos que se utilizan en la línea. Por ello, se enviaron muestras de lodo a un laboratorio externo para determinar su contenido de plata metálica pura. Los resultados de las muestras enviadas de una mezcla aleatoria de todos los lotes recuperados en 2014 permitieron determinar una pureza del 91.85%. Considerando dicha pureza como el promedio de los lodos de 2014, se puede comparar la tabla de la figura anterior en términos de plata metálica, como se ilustra en la Fig. 5-22.

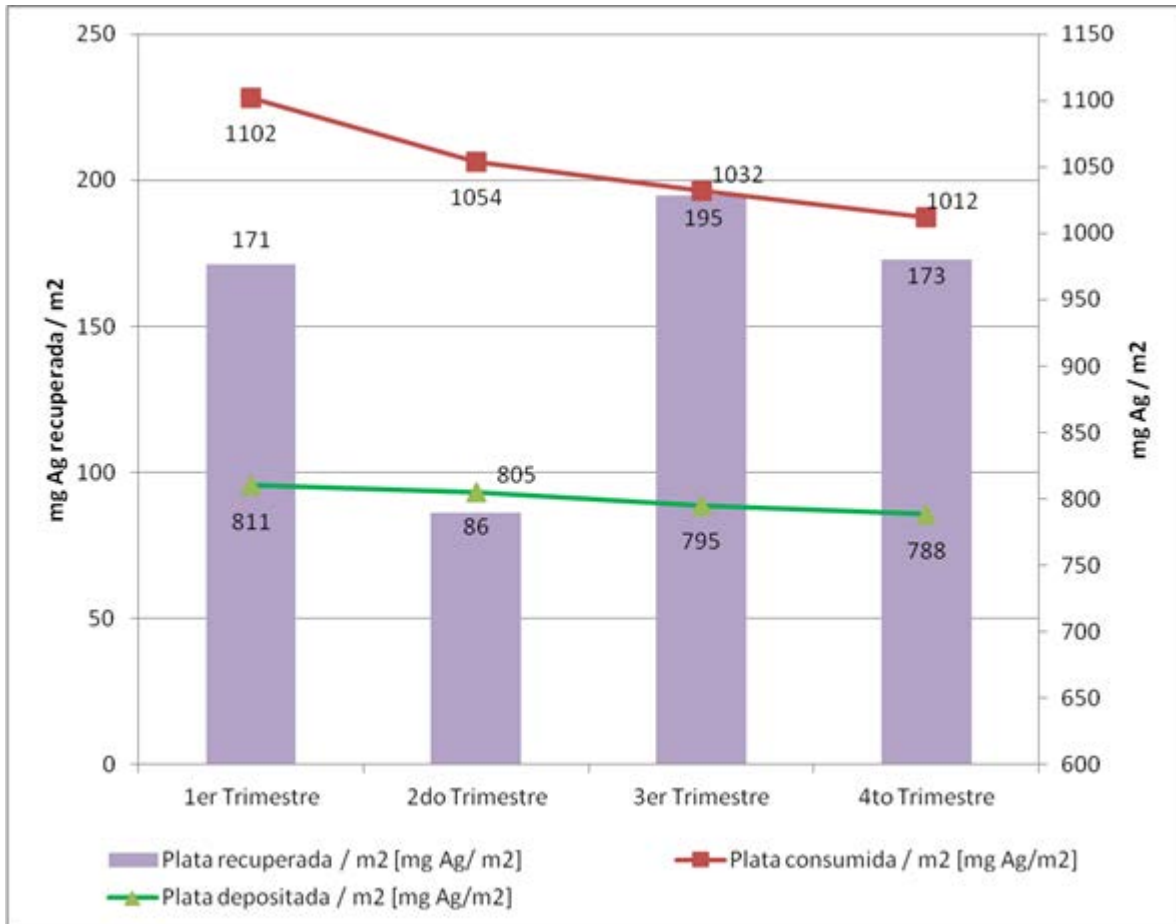


Fig. 5-22 Plata recuperada vs plata utilizada vs plata depositada

A partir de lo anterior, al realizar un balance de masa del sistema, se obtiene la siguiente gráfica:

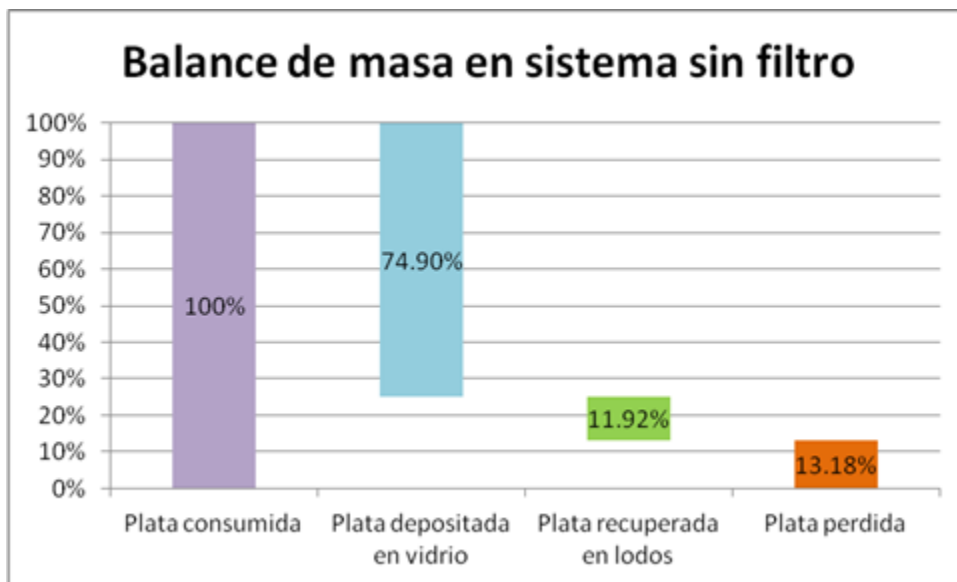


Fig. 5-23 Balance de masa en sistema de recuperación sin filtro

En la Fig. 5-23 se puede observar que la mayor cantidad de plata ingresada a proceso queda depositada en el vidrio. Alrededor del 25% de la plata utilizada no es

aprovechada y se va al sistema de recuperación. En las condiciones iniciales, tan sólo un 12% es retenido por el sistema de recuperación existente. El 13% de la plata total utilizada en el proceso se pierde por la incapacidad del sistema de retener los lodos que resultan del uso en exceso.

Del balance de masa del sistema con el uso de filtro, se obtuvieron los siguientes resultados:

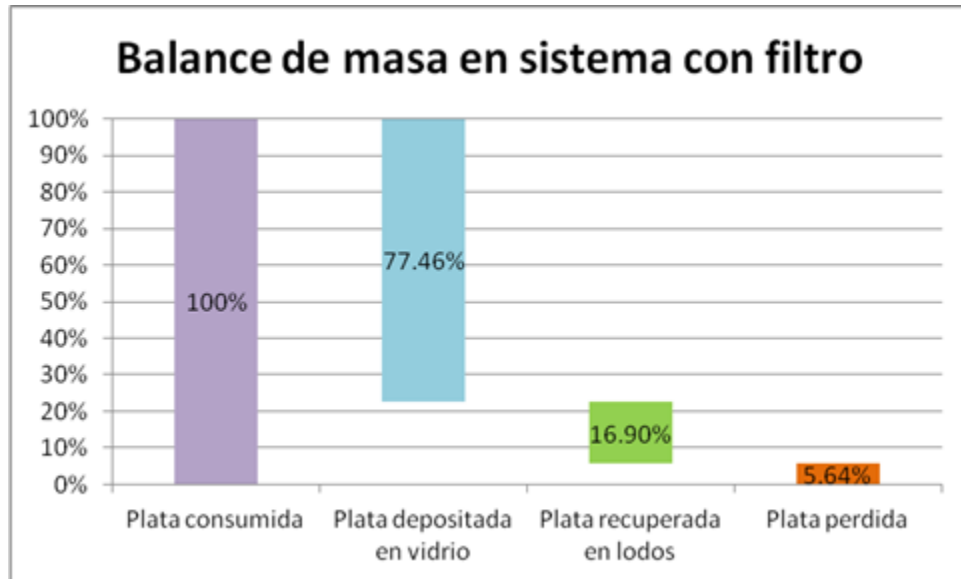


Fig. 5-24 Balance de masa en sistema de recuperación con filtro

Después de las mediciones realizadas durante el segundo semestre del año, se observó un comportamiento similar en el porcentaje de plata aprovechada para la fabricación de espejos. Cerca del 23% de la plata utilizada se fue al sistema de recuperación donde, **con el uso del filtro, se recuperó un 5% más** que con el sistema en condiciones originales, teniendo un desperdicio de la plata total cercana al 6% contra el 13% que se presentó en la situación anterior. En otras palabras, la plata perdida en proceso se redujo en más de la mitad.

Tomando la plata perdida en proceso como un 100% y comparando la eficiencia de recuperación del sistema sin filtro y con filtro, se obtiene la siguiente gráfica:

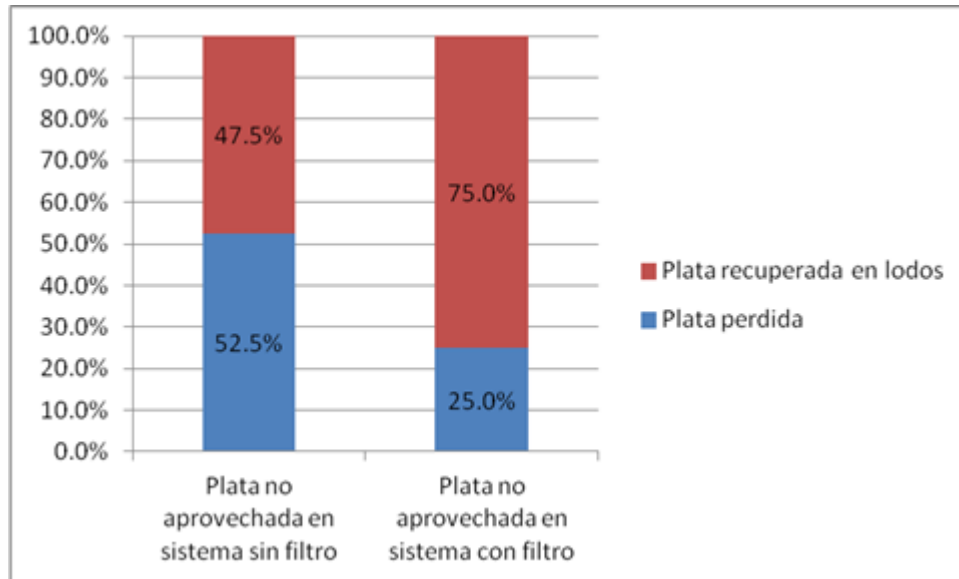


Fig. 5-25 Gráfica 5 Comparativo de Plata recuperada y plata perdida con el proceso tradicional vs la mejora implementada

Mediante la Fig. 5-25 queda demostrado que la propuesta implementada ayudó a aumentar la eficiencia de recuperación en 27.5%, reduciendo a menos de la mitad la cantidad de plata perdida como desperdicio de proceso, lo que, sin duda puede representar un valor económico recuperado de alta relevancia para la empresa y el Grupo.

6- CONCLUSIONES

6.1 – Conclusiones del Proyecto

La propuesta realizada para la implementación de un proceso de filtrado para aumentar la eficiencia de la recuperación de lodos con alto contenido de plata residual, en el proceso de fabricación de espejo. para aumentar la eficiencia de la recuperación entrega resultados prometedores. Teniendo como referencia que anteriormente se perdía más del 13% de la plata utilizada en el proceso, se logró reducir dicha pérdida a menos del 6% con una inversión de bajo costo, sin afectar los parámetros del proceso. Sin embargo, la recuperación de éste último porcentaje implicaría una inversión mucho mayor, desde un diseño especializado de las fosas de sedimentación de acuerdo a las condiciones en las que actualmente se encuentra el proceso, hasta un sistema más elaborado para recuperación de los lodos, tal como puede ser un filtro prensa, lo que quizá, en un futuro próximo, la empresa pueda considerar.

Uno de los lineamientos de la mejora continua, que es una filosofía mediante la cual una gran cantidad de empresas se maneja actualmente, como es el caso de Saint-Gobain, es implementar iniciativas de bajo costo, no aumentando la posibilidad de recuperar los desperdicios, sino reduciendo su generación. Bajo éste concepto es importante recalcar que la prioridad de las prácticas no deben estar enfocadas en la recuperación del lodo, sino en la capacidad de reducir su generación.

En las condiciones actuales del proceso, cerca del 25% de la plata no es depositada sobre el cristal. Esto le da importancia a la recuperación de dicho material y le da relevancia y sustento al proyecto propuesto, dado que se demostró que tres cuartas partes de la plata no aprovechada puede ser recuperada con el uso del filtro. Si los proyectos en paralelo que tienen el enfoque de optimizar el aprovechamiento de la plata en el vidrio, el porcentaje de plata no aprovechada se reducirá, sin embargo con el uso del filtro se mantendrá la capacidad de recuperación de 75% de los lodos residuales del proceso.

Como se mencionó en la sección 3.2.2 de éste proyecto, parte de mis objetivos es dar seguimiento cauteloso al consumo y recuperación de la plata, así como proponer proyectos que permitan reducir los costos de operación. Dados los resultados obtenidos por el proyecto, se puede concluir que el trabajo propuesto y desarrollado está alineado y cumple de manera satisfactoria con los objetivos planteados dentro de mis funciones como supervisor de producción de la línea Miralite de Saint-Gobain Glass México.

6.2 – Conclusiones Personales

Trabajar en Saint-Gobain Glass ha marcado de manera profunda mi vida, tanto en el ámbito personal como en el profesional. Al tomar la responsabilidad de una línea de producción, mi forma de pensar, mi formación académica y mis experiencias personales se conjuntaron para provocar el que pueda dar lo mejor de mí mismo. Desde el primer día de labor ha sido un orgullo para mí formar parte del gran equipo de trabajo que me ha hecho crecer y que, realizando un esfuerzo conjunto, hemos roto paradigmas para tener el notable éxito que hemos alcanzado el día de hoy.

Al principio me planteé a mí mismo objetivos sumamente ambiciosos, los cuales en muchas ocasiones parecían inalcanzables. Pero todos y cada uno de los retos asumidos me han formado el carácter que hoy me hace un mejor ser humano.

Gracias al emprendimiento de un reto tan grande como lo ha sido para mí ser líder de un grupo de trabajo y estar a cargo de una línea de producción, de la cual al principio desconocía por completo, considero que mi formación como ingeniero mecánico se ha consolidado, haciéndome mucho más consciente de los retos y las necesidades que tiene un país como México. Durante éstos años de esfuerzo y sacrificio me he visto en la necesidad de aprender cosas nuevas, como lo son el liderazgo y la filosofía de mejora continua, incursionar en temas que antes desconocía, como la química y el control de procesos industriales, y reforzar herramientas que adquirí durante mi formación académica, como la termodinámica y la mecánica de fluidos.

El puesto de trabajo al que fui asignado, sería mucho más congruente para un ingeniero químico. Esto, más allá de ser un problema, se convirtió en un gran complemento para la formación académica que recibí en la Facultad de Ingeniería. La estructura mental que te da la educación como ingeniero me permitió participar de manera dinámica y propositiva, siempre enfocado hacia la solución de problemas en base al análisis y a la lógica.

Con lo que respecta a mi formación en la facultad de ingeniería, la perspectiva que me ha desarrollado el estar en el campo laboral ha cambiado la forma en la que visualizo las necesidades formativas de los ingenieros mexicanos. México es un país lleno de oportunidades. Las posibilidades de innovar y de emprender proyectos tecnológicos en México son sumamente altas, dado que no somos un país que desarrolle una gran cantidad de tecnología. Por el contrario, la formación que recibimos como ingenieros muchas veces se ve truncada en el mercado laboral por la alta demanda de puestos técnicos que no requieren de la implementación de la ingeniería como tal. En la UNAM, ésta área de oportunidad no ha sido explotada del todo y creo que es buen momento de utilizar la gran cantidad de herramientas de comunicación para fomentar a que los estudiantes conozcan las innovaciones que se están desarrollando en otras partes del mundo. Esto no sólo con la idea de importar dicha tecnología, sino de inspirar a la gran creatividad que tenemos culturalmente y fomentar a los jóvenes a buscar desarrollar ingeniería y no sólo implementarla.

Dentro de mis sugerencias, complementarí la formación en la facultad de la siguiente forma:

- Promover estudiar materias en otras facultades, tanto para ampliar la red de contactos, como para conocer la formación que se da en otros campos de estudio.
- Fomentar de manera más abierta los intercambios académicos con el fin de motivar a los estudiantes a tener una visión global, tanto de la cultura como de la tecnología.
- Vincular de manera más estrecha el contacto con las empresas, tanto nacionales como extranjeras, ubicadas en el país. En mi contacto con ellas, he descubierto que a pesar de que la UNAM es la máxima casa de estudios de México, las empresas tienen la perspectiva de que estudiantes de universidades de paga tienen una formación superior, cuando en el campo he descubierto que no es así.

7- BIBLIOGRAFÍA Y MESOGRAFÍA

- Aguilar Castillo, A. A. (2012). Codopaje de Tb³⁺ y Eu³⁺ Trivalente para la Emisión Verde y Roja de HfO₂. *UNAM Posgrado, Ciencia de Materiales*, 3.
- Ajiwe, V., & Anyadiegwu, I. (2000). Recovery of silver from industrial wastes, cassava solution effects. *Separation and Purification Technology*, 89-92.
- Avila-Rodriguez, M. (Enero de 2012). Recuperación de Plata de Soluciones Acuosas por medio de Formación de Nanopartículas Sobre Membranas de Filtración. Guanajuato, Guanajuato, México.
- DR.-ING. SCHMITT GMBH. (2013). *MSDS - 1000 Miraflex S (Solución concentrada de plata)*. Hannover: DEKRA Consulting GmbH.
- Fábregas Mauri, J., Estrany Coda, F., & Oliver Pujol, R. (2002). Recuperación de la plata de las radiografías. *Técnica Industrial* 245, 32-37.
- Guerrero, C. A. (2013). *Principios de Química Orgánica*. Colombia: Publicaciones de la Universidad Nacional de Colombia.
- Gutsche, C. D., & Pasto, D. J. (1979). *Fundamentals of Organic Chemistry*. New Jersey: Prentice Hall.
- Hardenbergh, W. A., & Rodie, E. B. (1981). *Ingeniería Sanitaria*. Scranton, Pensilvania: CECSA.
- InfoMine Inc. (2015). *InfoMine, Your Global Mining Resource*. Recuperado el 7 de Agosto de 2015, de InvestmentMine, Mining Markets & Investment: <http://www.infomine.com/ChartsAndData/ChartBuilder.aspx?z=f&gf=110576.USD.ozt&dr=1y&cd=1>
- Lenntech BV. (2015). *Lenntech*. Recuperado el 7 de Agosto de 2015, de <http://www.lenntech.com/periodic/elements/ag.htm>
- McCabe, W. L., Smith, J. C., & Harriot, P. (1998). *Operaciones Unitarias en Ingeniería Química*. España: McGraw Hill.
- Nakiboglu, N., Toscali, D., & Yasa, I. (2000). Silver Recovery from Waste Photographic Films by an Enzymatic Method. *TUBITAK*, 349-353.
- Porter, D. A., & Easterling, K. E. (1992). *Phase Transformations in Metals and Alloys*. Londres, Inglaterra: Chapman & Hall.
- Saint-Gobain Glass. (2015). *Saint-Gobain Glass México*. Recuperado el 7 de Agosto de 2015, de <http://mx.saint-gobain-glass.com/acerca-de-saintgobain>
- Troupis, A., Hiskia, A., & Papaconstantinou, E. (2003). Photocatalytic reduction—recovery of silver using polyoxometalates. *Applied Catalysis B: Environmental* #43, 305-315.