

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA

FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA



**ESTUDIO PARA LA INCINERACIÓN DE LOS
COMPUESTOS ORGÁNICOS VOLÁTILES EN UN
PROCESO DE BARNIZADO DE LÁMINAS DE
HOJALATA CON UN HORNO RECUPERADOR**

INFORME DE SUFICIENCIA

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:
INGENIERO MECÁNICO**

FERNANDO ENRIQUE ORTIZ URTECHO

PROMOCIÓN 1984-I

LIMA-PERU

2012

DEDICATORIA

*A mis padres Segundo y Francisca,
a mis hermanos por su amor,
dedicación y confianza.*

*A mi esposa Rosa y a mis hijos que
me inspiraron fortaleza y
constancia.*

ÍNDICE

PRÓLOGO.....	1
CAPÍTULO I	
INTRODUCCIÓN.....	3
1.1. Antecedentes	3
1.2. Objetivo	3
1.3. Alcance	4
1.4. Descripción General de las Instalaciones	4
CAPÍTULO II	
EL PROCESO DE BARNIZADO DE LÁMINAS DE HOJALATA	9
2.1. Introducción a la Industria de Envases Metálicos	9
2.2. El proceso de Barnizado.....	11
2.3. Tipos de Barnices	15
2.4. Compuestos Orgánicos Volátiles (COV)	38
2.5. Tecnologías de Eliminación de los COV	45
2.5.1. Sustitución de COV y cambio de Proceso	45
2.5.2. Oxidación Térmica	46
2.5.3. Adsorción	53
2.5.4. Condensación	54
2.5.5. Absorción	55
2.5.6. Biofiltros	56

2.5.7. Separación por Membrana	58
2.6. Tecnologías Aplicables en el Proceso Analizado	64
CAPÍTULO III	
ANÁLISIS DEL HORNO RECUPERATIVO	70
3.1. Introducción	70
3.2. Régimen de Operación Actual	70
3.2.1. Análisis Energético del Horno Actual	73
3.2.2. Proceso Térmico Recuperativo	93
3.2.3. Proceso Térmico Recuperativo Integrado	101
CAPÍTULO IV	
ESTRUCTURA DE COSTOS	109
4.1. Introducción	109
4.2. Costos de Inversión y Operación	109
4.3. Análisis Económico	110
CONCLUSIONES	112
RECOMENDACIONES	114
BIBLIOGRAFÍA	116
PLANOS	117
PLANO 1 – Diagrama de Operación del Quemador Recuperativo	
PLANO 2 – Detalle de Motores	
PLANO 3 – Diagrama de Operación Recuperativa del Horno	
PLANO 4 – Detalle de Entradas y Salidas del Intercambiador	
PLANO 5 – Detalle de Tuberías de Entradas y Salidas	

ANEXOS118

ANEXO 1 - Análisis de Gases del Horno – Cynide

ANEXO 2 - Parámetros del Proceso de Barnizado

ANEXO 3 - Presupuesto de un equipo incinerador Integrado

PRÓLOGO

El presente estudio analiza una solución técnica y económica para la eliminación de Compuestos Orgánicos Volátiles, presente en los gases de Escape de un Horno de Barnizado de Láminas de Hojalata de uso en envases metálicos de uso alimentario, que a la vez evite consumir energía adicional al proceso actual.

La necesidad de tener el aire más limpio, y el control de las emisiones atmosféricas, es parte de una legislación cada vez más exigente. El control de olores cercano a centros poblados, también requiere de atención, pues permite convivir armoniosamente con el entorno social.

El segundo capítulo comprende una explicación del proceso de Barnizado, los equipos utilizados, y los barnices empleados específicamente para esta aplicación.

Asimismo se hace una revisión de Compuestos Orgánicos Volátiles (COV) presente en los barnices utilizados, y de los métodos generales de control de COV.

Al final del capítulo se revisa cada sistema de control, en relación a la aplicación bajo estudio, y se perfila el método a utilizar.

En el tercer capítulo se analiza la solución propuesta, haciendo un balance de masa y calor al horno actual y se analiza también los consumos de combustible para un incinerador recuperativo normal y uno integrado al horno.

Finalmente se termina en el cuarto capítulo con un análisis económico de la solución hallada, con datos de fabricantes de equipos.

Sobre la base de resultados se expone las Conclusiones y Recomendaciones, y se acompaña con la Bibliografía, Planos y Anexos.

Mi agradecimiento a la compañía EPINSA por las facilidades para el desarrollo del presente informe.

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

1.1 ANTECEDENTES

En los procesos de protección de la superficie de la Hojalata que se usan en los envases metálicos de conservas alimenticias, se utilizan barnices con distintos tipos de resinas, que requieren de solventes orgánicos para su adecuada aplicación. Estos solventes llamados Compuestos Orgánicos Volátiles (COV) forman parte de una amplia gamma de sustancias usadas en diferentes campos de la industria, que vertidos a la atmósfera, constituyen un peligro de contaminación. Existen diferentes métodos desarrollados para mitigar estas emisiones. Para el caso puntual de este Informe se analizará el método de Incineración de los COV con recuperación de Calor, en el proceso analizado.

1.2 OBJETIVO

El objetivo del presente Informe es Analizar la Factibilidad Técnico Económica para la modificación de un Horno Continuo de Barnizado Convencional de emisión de gases directo hacia un Horno con Incinerador de COV recuperativo. Esta modificación propuesta cumplirá el objetivo de

eliminar los COV en los gases de combustión, así como de la recuperación del calor de combustión de los COV hacia el proceso, ahorrando combustible.

1.3 ALCANCE

El análisis está basado en un Horno Continuo marca Wagner Litho de 80 láminas por minuto con 3 quemadores de GLP , de 42 metros de longitud, con 13 minutos de travesía interna. El alcance del presente Informe solo analiza el balance de Energía y masa de la solución propuesta para determinar la eficiencia calorífica bruta del proceso; así como la de estimar los costos de la modificación, para un Análisis de Factibilidad Técnico Económico de la misma.

1.4 DESCRIPCIÓN GENERAL DE LAS INSTALACIONES

El horno del estudio está situado en una planta de fabricación de envases metálicos alimenticios, que se ubica en Chimbote.

La planta fue construida hace 30 años en una zona industrial situada en las afueras de la ciudad, con poca presencia de viviendas cercanas, en un terreno que presenta inclinación de elevación hacia el norte y este.

Con el devenir del crecimiento de la ciudad, la planta fue rodeada por asentamientos humanos, estando en la actualidad contigua a varias poblaciones urbano marginales, las cuales perciben el olor de las emanaciones gaseosas de COV del proceso en el horno, y que debido a la permanente

dirección de los vientos, estos olores recaen sobre una franja poblada muy específica, problema que se requiere mitigar. (Fig. 1)

El horno posee 3 chimeneas, de las cuales, la primera es la que evacúa la totalidad de los COV y gases de combustión, a una temperatura de 127°C y a una altura de 15 m. sobre el nivel de la planta.



Fig 1 : Ubicacion de Planta
Flecha Celeste : direccion de Viento
Flecha Roja : Ubicacion de la Chimenea del Horno de Barnizado

Fig. 1 - Ubicación de planta en Chimbote – Dirección del viento (Fuente: Google Maps)

El horno continuo de barnizado contiene 3500 parrillas en total, acopladas a 2 cadenas paralelas de 85 m. de desarrollo, con una zona de recepción de láminas, y una zona de descarga, a una velocidad de 80 láminas por minuto. (Fig. 2)



Fig. 2 - Horno de Barnizado: Zona de Ingreso

La barnizadora que se encuentra delante de horno, aplica la capa de barniz mediante un rodillo de poliuretano, el cual es mojado por el rodillo de transferencia y el rodillo regulador. (Fig. 3)

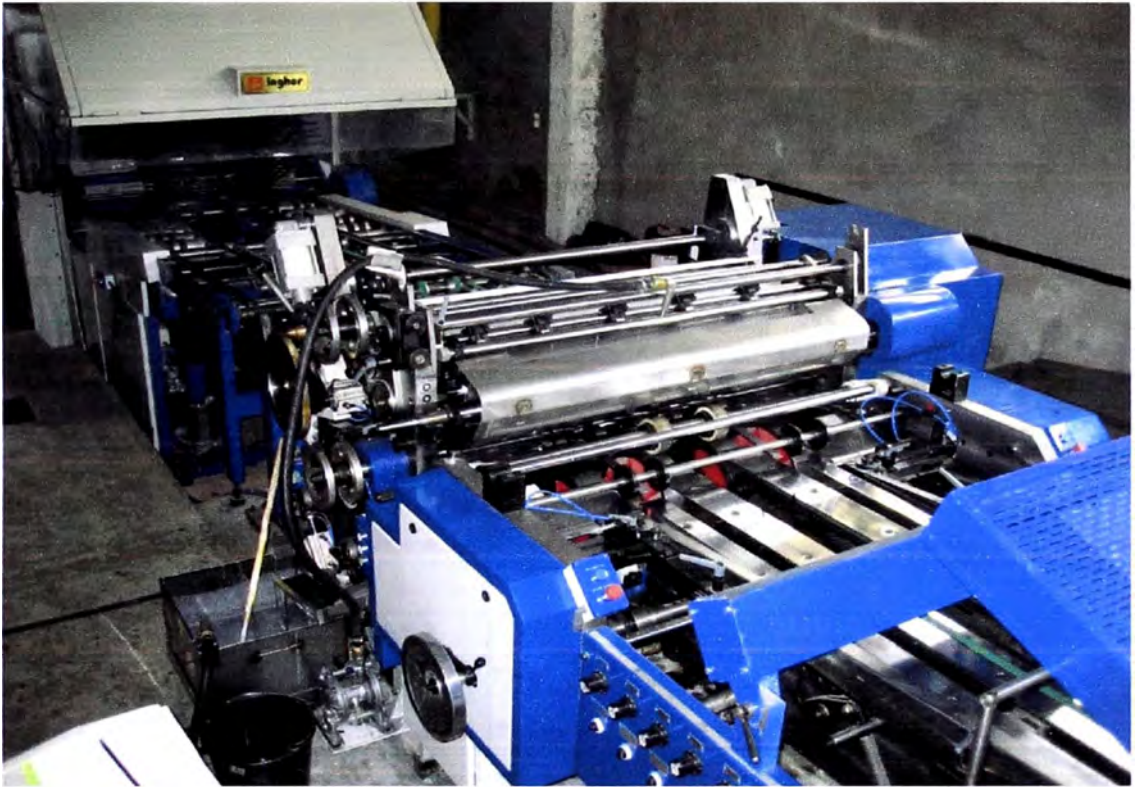


Fig. 3 - Barnizadora de láminas de Hojalata

La capa de barniz se aplica con diferentes espesores, según la aplicación específica y con diferentes tipos de barniz. En la tabla 1 se muestran los diferentes tipos de barniz utilizados en la industria de envases metálicos.

Tabla 1 : Tipos de Barnices para Envases Metálicos Alimentarios

CARACTERISTICAS DE BARNICES

Los datos reflejados en este cuadro deben tomarse con carácter general ya que cada barniz presenta sus características específicas

Tipo	Secado	Flexibilidad y adhesión	Resistencia a la sulfuración	Resistencia química	Uso	Aplicaciones
Oleoresinosos "R"	205°C/12'	Buena	Mala	Resistente a ácidos	Barnices interiores	Frutas ácidas Vegetales
Oleoresinosos "C"	205°C/12'	Buena	Buena	No resiste a ácidos	Barnices interiores	Alimentos ricos en proteínas
Fenólicos	200°C/15'	Mala	Muy buena	Buena	Barniz acabado B. interior	Carnes y pescados
Epoxi-fenólicos	200°C/15'	Buena	Regular	Buena	B. interior B. enganche	Alimentos ricos en proteínas
Epoxi-fenólicos + Al	200°C/15'	Buena	Muy buena	Buena	B. interior	Alimentos ricos en proteínas
Epoxi-fenólicos + OZn	200°C/15'	Buena	Buena	No apta para ácidos	B. interior	Alimentos ricos en proteínas
Epoxi-aminas	195°C/12'	Buena	Regular	Buena	B. enganche B. exterior	Decoración
Epoxi-éster	180°C/12'	Buena	Mala	Regular	B. acabado B. exterior	Decoración
Epoxi-modificado	190°C/15'	Buena	Buena	Buena	B. blanco inter B. enganche B. exterior	Productos agresivos Decoración
Vinílicos	180°C/10'	Muy buena	Mala	Regular	B. interior Esmalte blanco B. enganche	Bebidas Decoración
Acrílicos	190°C/15'	Muy buena	Muy buena pigmentados	Muy buena	Esmalte blanco B. acabado	Legumbres Vegetales poco pigment. Decoración
Poliéster	200°C/12'	Variable	Regular	Buena	B. blanco inter B. interior B. enganche Esmalte blanco	Env. embut. y tapas en 2 pases Bebidas Decoración
Organosoles	195°C/15'	Muy buena	Buena	Buena	B. blanco inter B. interior	Tapas fácil apertura Tapas Env. embut.

CAPÍTULO II

EL PROCESO DE BARNIZADO DE LÁMINAS DE HOJALATA

2.1 INTRODUCCIÓN A LA INDUSTRIA DE ENVASES METÁLICOS

La industria del envase metálico para alimentos, o industria del enlatado nace en 1809 con el invento del inglés Peter Durand, estas primeras latas de hojalata (acero con recubrimiento de estaño) eran soldadas con estaño y plomo en el cuerpo y en la tapa y fondo (Envases de 3 piezas). Fueron usados ampliamente en Europa en los ejércitos en las guerras entre países, y tuvo un auge en la 1ra. Guerra mundial para el abastecimiento de los soldados en los frentes de batalla.

En 1904 la Can American Company de USA, inventó el cerrado mecánico por doble cierre de los fondos y tapas, lo que mejoró la junta de todo el envase.

En 1960 se modifica el proceso de fabricación del cuerpo con la soldadura por puntos con 2 roldanas giratorias y alambre de cobre, lo cual evitaba el uso de soldadura de estaño y plomo.

Paralelamente los fabricantes de pinturas fueron creando barnices para ayudar a la durabilidad y resistencia del envase interna y externamente, del ataque químico del alimento y en el proceso de fabricación y distribución, respectivamente.

También existen envases de 2 piezas, cuerpo embutido y tapa, que se fue desarrollando en la medida de la aparición de hojalatas para embutición.

En las formas, existen en la actualidad formas circulares, ovaladas y rectangulares tanto para envases de 2 y 3 piezas, de diversas capacidades volumétricas. (Fig. 4)

En las hojalatas, actualmente ya existen aplicaciones de 0.14 mm de espesor, y la tendencia es a ir reduciendo el mismo. También se usa acero cromado o TFS (Tin Free Steel) como alternativo a la hojalata, considerando la seguridad que el barniz aplicado ofrece actualmente.

En las tapas se inventaron tapas de fácil apertura (Open Easy o Abre Fácil), las cuales vienen con precorte y un asa para facilitar la apertura por el usuario final, sin necesidad de un abrelata o elemento cortante.



Fig. 4 - Tipos de envases metálicos para alimentos

2.2 EL PROCESO DE BARNIZADO

Una altísima parte de los envases metálicos que se consumen hoy día, sea cual sea su uso, alimentación, bebidas, industria, aerosoles, etc., van provistos de un revestimiento de protección interna e incluso también externa. Este último puede decorarse con lo que se consigue una buena imagen además de protección. Dicha protección se consigue por medio de barnices.

TÉCNICAS DE APLICACIÓN DE BARNICES

Existen tres procedimientos básicos para los barnices aplicados en estado líquido:

- Aplicación sobre hojas en una cara de las mismas por medio de rodillos
- Aplicación sobre bobinas por ambas caras
- Aplicación por pulverización

Hojas por rodillos

Es el procedimiento más antiguo y extendido de barnizado. En él se hace pasar cada hoja de metal a través de una pareja de rodillos, uno de ellos – elástico, está impregnado del barniz a aplicar. El material de dicho rodillo es gelatina o goma sintética, no atacable por los disolventes. Con los adecuados ajustes se controla el espesor del revestimiento aplicado. (Fig. 5)

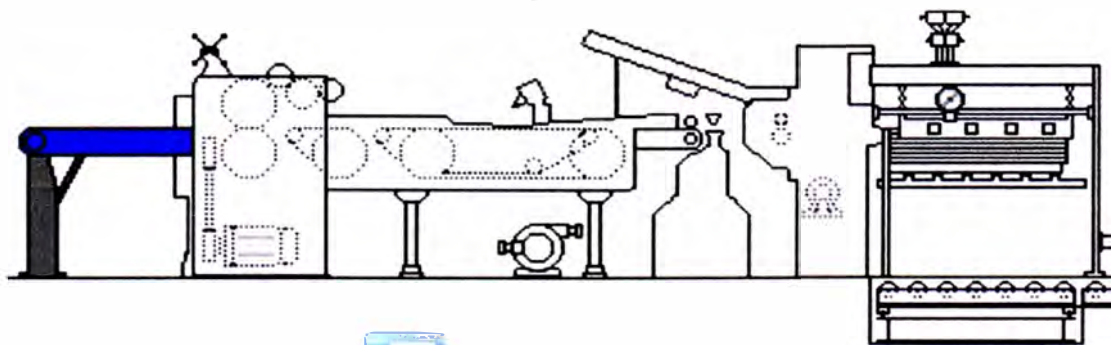


Fig. 5 - Esquema de Barnizadora por Rodillos

El conjunto de dispositivos que permiten alimentar a partir de un paquete cada una de sus hojas, desplazarlas y hacerlas pasar a través del sistema

aplicador, recibe el nombre de máquina barnizadora. A continuación de la misma va montado un horno continuo que seca el barniz, eliminando los disolventes del mismo y permitiendo a la película de residuos sólidos que quedan adheridos a la hoja alcanzar el grado de polimerización y reticulado adecuado para su función protectora. (Fig. 5)

Las condiciones de horneado son variables según el tipo de resina usado. Con carácter muy general puede rondar los 200°C y un tiempo de 12 minutos. La temperatura nunca será superior a 232°C - fusión del estaño - para evitar que los efectos perjudiciales de refusión del mismo.

Esta técnica de barnizado es la más común en la industria metal gráfica, ya que es muy flexible, adaptándose a todas las necesidades de barnices como a las distintas partes del envase. Así, haciendo las adecuadas “reservas” sobre el rodillo elástico, se pueden barnizar cuerpos para envases de tres piezas, donde las zonas a soldar tienen que estar exentas de barniz, envases embutidos, tapas, etc.

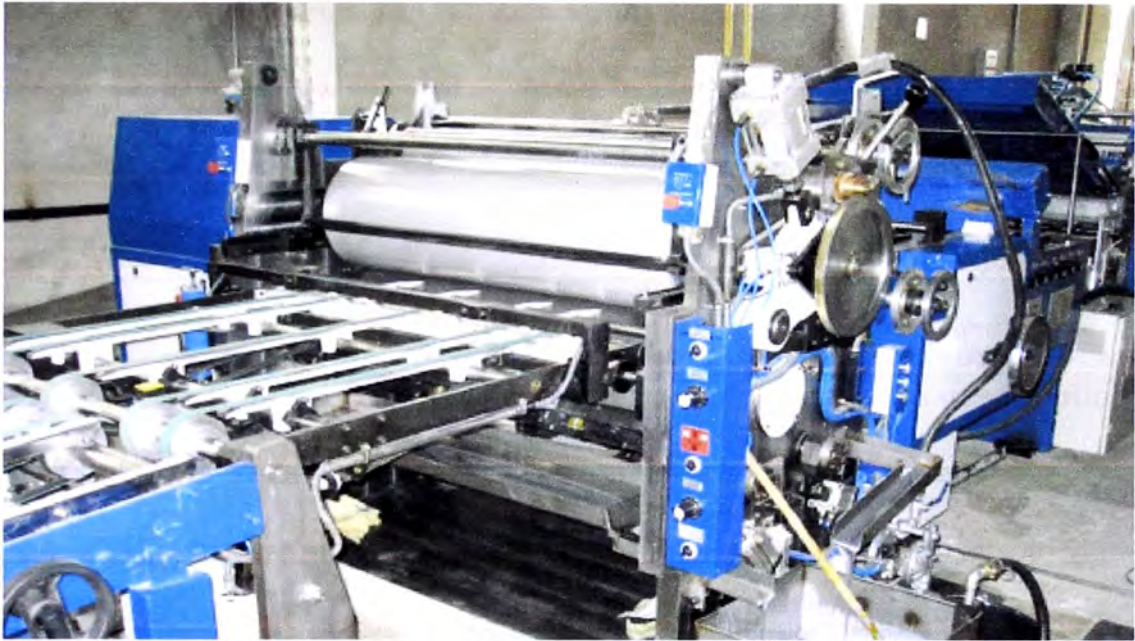


Fig. 6 - Máquina Barnizadora

Bobinas

Es posible barnizar bobinas en un proceso parecido al anterior, pero de forma continua. Es mucho más complejo y tiene más limitaciones, pues no es posible hacer reservas de barniz. Su uso está limitado a tapas y cuerpos embutidos en grandes tiradas.

Pulverización

Hay algunas utilidades de envases que por la agresividad o delicadeza del producto, por ejemplo: bebidas carbonatadas, requieren que su superficie interior esté totalmente exenta de metal expuesto, poros, rayas, abrasiones, etc., y se requiere aplicar el barniz, usualmente en varias capas de distinto tipo, una vez que está el envase terminado. En estos casos se recurre a la

aplicación por pulverización, utilizando una pistola fija ó móvil mientras el envase gira a gran velocidad. Posteriormente el proceso de secado es parecido a la primera técnica. Esta aplicación es típica de los envases “dos piezas” DWI.

También una manera parecida de barnizar por pulverización se puede aplicar para cubrir la zona de la costura lateral de los cuerpos de envases “tres piezas”. Dicha área se ha reservado de barniz para hacer posible la soldadura y posteriormente se precisa protegerla, recurriendo para ello a la aplicación por atomización y secado posterior. Este procedimiento estuvo en vigor durante bastante tiempo pero hoy en día ha sido desplazado por otro sistema de aplicación de barniz en polvo.

Estos barnices en polvo son del tipo termoplástico o termoestable, se aplican por una técnica de deposición electrostática sobre la superficie a proteger y posteriormente se someten a calor para provocar su fusión. Presentan la ventaja de reducir la emisión de solventes a la atmósfera ya que el 100% de los mismos son sólidos.

2.3 TIPOS DE BARNICES

Desde principios del siglo XX los fabricantes de recubrimientos comenzaron a apoyar al desarrollo del mercado del envase, llegando muy pronto a la fabricación de barnices interiores a base de resinas oleorresinosas; más tarde llegaron las fenólicas, hasta que en el año 1935 se comienzan a enlatar

cervezas, lo que supuso la aparición de los revestimientos vinílicos. Después aparecen las epoxi-fenólicas, los organosoles, acrílicas, y la evolución de los recubrimientos continúa resolviendo los desafíos que la industria del envase presenta en su afán de enlatar mayor diversidad de productos (alimentos ácidos, sulfurosos, bebidas carbónicas, etc.), y buscar nuevos diseños y materiales para los envases.

Dentro de la industria metal gráfica, la utilización de barnices y lacas siempre ha originado un subsector especial de conocimientos muy especializados, dando lugar a una industria auxiliar dedicada a su aplicación, junto con la litografía, en la que se apoyan muchos fabricantes de envases sobre todo los de pequeño tamaño.

La utilización de barnices, se inició pronto en la industria metal grafica como respuesta al ataque interno, por la acción del producto, y externo, agentes ambientales de los envases. Para envasar productos muy agresivos como escabeches, encurtidos y sobre todo bebidas. En seguida se apreció que por muy alta protección por estaño que tuviese la lámina de acero de la hojalata, era simplemente una cuestión de tiempo la aparición de ataques y/o perforaciones pero ya mucho antes el producto había perdido sus cualidades adecuadas para su consumo.

El estaño es un metal caro y los esfuerzos de las siderurgias, fabricantes de hojalata, se centró en la reducción de su consumo, primero con el uso de

hojalata electrolítica y después con el desarrollo de las hojalatas diferenciales, distinto recubrimiento en cada cara, de bajo recubrimiento -LTS - e incluso en la sustitución del estaño por el cromo - TFS - de menor coste. En todos estos casos, los barnices (ó recubrimientos orgánicos) proporcionan la adecuada protección al producto y al metal base de envase.

Los revestimientos se emplean, tanto recubriendo el interior del envase, en contacto con el producto, como en su exterior en presencia de los agentes externos. Hay barnices de uso común para ambas utilizaciones pero en general suelen diferenciarse, al menos en las condiciones de aplicación, ya que las demandas a cubrir son diferentes, siendo más exigentes las requeridas para la protección interior.

Comúnmente los revestimientos se clasifican en:

- 1.- Revestimientos interiores de protección, están en contacto con el producto envasado y son designados como “barnices sanitarios”.
- 2.- Revestimientos exteriores pigmentados, que sirven de base a la impresión decorativa del envase, denominados “blancos couches” por ser de este color. También se les llaman “esmaltes blancos” ó “lacas blancas”.
- 3.- Revestimientos exteriores transparentes, que también sirven de base a la impresión, denominados “barnices de enganche”, si el envase va con impresión. En caso de que no lleve impresión sirven para proteger el exterior de los agentes ambientales externos.

4.- Revestimientos exteriores transparentes, que protegen la impresión, ya que las tintas soportan mal las manipulaciones posteriores, conocidos como “barnices de acabado”.

Con carácter general, los recubrimientos empleados en los envases tienen una función de barrera protectora que puede desglosarse en los siguientes fines fundamentales:

- Protege al metal de su contenido.
- Protege al producto de la contaminación por los iones metálicos procedentes del envase.
- Facilita la fabricación.
- Proporciona una base para la decoración.
- Actúa como una barrera contra la abrasión y corrosión externa.

La reacción entre el metal de la lata y su contenido se manifiesta en un elevado número de formas:

- Disolución y producción de hidrógeno, solubilización de iones metálicos y en casos extremos la perforación de la lata (asociada a productos ácidos).
- Transformación de la superficie interna del envase por el producto, formando sulfuros de hierro y azufre por reacción entre el metal y los

compuestos azufrados derivados de la degradación proteica durante el proceso.

Los barnices interiores impiden o al menos dificultan estas reacciones.

Es frecuente que la corrosión interna de la lata y la contaminación del producto sean procesos complementarios. La contaminación del producto no siempre supone un deterioro de su calidad nutricional, pero usualmente afecta a su calidad organoléptica. Por ejemplo la disolución de hierro en muy pequeños niveles afecta a las bebidas y cerveza alterando su sabor aunque no sea perjudicial. En general los alimentos toleran mejor la captación de pequeñas cantidades de metales que las bebidas. Hay una dilatada legislación que determina la cantidad máxima de metales medidas en ppm (partes por millón) que pueden tener los alimentos y productos para consumo humano enlatados para que en ningún caso puedan ser perjudiciales para la salud. Estos valores pueden variar de unos países a otros.

Hay productos que la disolución de estaño de la lata en ellos es beneficiosa hasta ciertos niveles como son las frutas blancas, por ejemplo: peras, para mantener su color y sabor. También en otros casos, como espárragos, el sabor que aporta el estaño suele ser del agrado del mercado, por estar habituado a él desde siempre.

Los barnices interiores minimizan estas migraciones de metales al producto.

La permanencia en contacto con los alimentos trae como consecuencia que todos los productos utilizados en su formulación deben estar incluidos en la lista positiva de la FDA (Food and Drugs Administración) organismo norteamericano de referencia, u otros similares europeos de reglamentación sanitaria.

Estos revestimientos, ya sean protectores o decorativos, se aplican generalmente en forma líquida y consisten, en los términos más simples, en una la disolución o dispersión de una mezcla de resinas/polímeros capaces de formar filmes, en un conjunto de disolventes de naturaleza orgánica con sus aditivos correspondientes (plastificantes, catalizadores, lubricantes, etc.) y en algunos casos pigmentos para usos especiales, más adelante aclararemos el uso de estos pigmentos. Una vez aplicados se hornean a la temperatura requerida en cada caso, evaporándose el disolvente. En esta operación se produce un entrecruzamiento químico de la estructura de los polímeros que les confieren una gran resistencia química, insolubilidad y dureza.

Los disolventes orgánicos usados en la formulación no son sanitarios, sin embargo, a la temperatura de horneado adecuada, estos disolventes se evaporan, abandonando totalmente el recubrimiento, evitando así cualquier riesgo de contaminación. Hay una gama de barnices denominada de “base agua” donde el disolvente principal es agua y es por lo tanto sanitario, pero aun en este caso sigue siendo necesario el uso de disolventes convencionales no sanitarios aunque en menor proporción. Esta gama de barnices es

compleja de aplicar y su uso se circunscribe a ciertas utilizaciones, principalmente para envases de bebidas DWI. Lo que sí se puede afirmar es que todos los productos residuales que forman el extracto seco depositado sobre el metal son sanitarios.

Los barnices, para cumplir su función de barrera, deben de reunir las siguientes características:

- Ser compatibles con el producto envasado y resistir su agresividad.
- Tener una elevada adherencia sobre la hojalata u otro metal.
- Estar libres de sustancias tóxicas.
- No afectar a las características organolépticas del producto envasado.
- No contener ningún producto prohibido por las legislaciones sanitarias.
- Resistir la esterilización y/o tratamiento a que vaya a ser sometido el producto durante su envasado.
- Soportar adecuadamente la operación de soldadura del cuerpo en los envases de tres piezas y la embutición en los de dos, si el barnizado se ha aplicado con anterioridad a ellas.

El mercado ha desarrollado una amplia gama de barnices para diferentes utilizaciones. Todos ellos parten de un tipo de resina base de la que reciben su nombre genérico. Los fabricantes suelen codificar con un código o número empírico cada tipo de barniz que desarrollan, no solo para facilitar su designación sino también para mantener un cierto secreto sobre su

formulación, ya que detrás de cada barniz suele haber un largo trabajo de I+D.

Las resinas bases más usuales que intervienen en la composición de los diferentes barnices no son muy numerosas:

- Oleorresinosas
- Fenólicas
- Epoxídicas
- Vinílicas
- Acrílicas
- Poliéster
- Organosol

Las resinas oleorresinosas son las únicas naturales, el resto son sintéticas, es decir, son producto de la síntesis química, aunque pueden contener ciertos ingredientes naturales. Es frecuente combinar más de una de ellas en la formulación de un barniz con objeto de conseguir un más amplio espectro de propiedades.

A veces, en aplicaciones donde se requiera soportar unas condiciones muy duras donde una sola capa de barniz no da garantía de soportar las mismas se puede aplicar dos o más capas sucesivas de un mismo barniz o incluso de barnices distintos cuyas propiedades se complementen.

Pasamos a describir las características principales de los grupos de barnices formulados con estas resinas base.

- **Oleorresinosos**

Son obtenidos por la mezcla de resinas naturales, como gomas naturales, y un aceite secante, por ejemplo ricino. Se secan por oxidación y polimerización térmica, simultáneamente. Son los más económicos. Son flexibles y resistentes a los ácidos pero permeables al ion sulfuro. Carecen de resistencia frente al proceso y presentan unas pobres características de color.

Son uno de los grupos de barnices más antiguos. Su utilización es prácticamente nula en Europa, pero continúa usándose algo en Estados Unidos. En su versión normal se emplean para frutas ácidas o vegetales bajo el nombre de barnices tipo R y pigmentados con pasta de óxido de zinc (Ozn), para enmascarar la sulfuración, para alimentos que contienen cantidades importantes de proteínas y en este caso reciben el nombre de barnices tipo C. En general puede decirse que ya no presentan gran interés pues hay otros grupos de barnices con mejores prestaciones.

- **Fenólicos**

Se fabrican a partir de resinas sintéticas obtenidas por condensación de fenoles sustituidos con aldehídos. Tienen una buena impermeabilidad y resistencia química a los ataques del contenido. Por el contrario

presentan escasa flexibilidad, por lo que su resistencia a la deformación, por ejemplo, en envases embutidos no es buena, por ello suelen aplicarse con poco espesor de película. Pueden comunicar sabor al producto. A diferencia de los oleorresinosos, presentan una gran densidad de reticulación que los hace impermeables a los iones sulfurosos, por lo tanto están aconsejados para carnes, vegetales y pescados que son productos sulfurantes. Lo mismo que los oleorresinosos, son poco empleados en Europa.

- **Epoxi**

Las resinas epoxi, derivadas de la reacción de condensación entre la epiclorhidrina y el bifenol A (difenoil propano), forman la base de una amplia variedad de materiales de protección y decorativos. Existen diversos tipos de combinación de resinas epoxi. Los cuatro más importantes son: epoxi-fenólicas, epoxi-aminas, epoxi-ésteres y epoxi modificados. Con diferencia las de más utilización son las primeras y por lo tanto las de más interés en nuestro caso.

Los barnices epoxi-fenólicos son los más universales en cuanto a uso. La resina fenólica aporta las propiedades de resistencia química y la epoxi las mecánicas y de adherencia. El mercado ofrece una gran variedad de barnices epoxi-fenólicos con distintas relaciones de ambas resinas. En general, tienen una excelente adhesión y flexibilidad, por lo que son adecuados para envases embutidos. Su tonalidad es dorada.

Presentan una buena resistencia a la agresividad de la mayor parte de alimentos. Su resistencia a la sulfuración aunque buena, es inferior a la de los barnices fenólicos pero tienen mejor resistencia que estos a la acción de los polifosfatos y otros aditivos empleados en la conserva de cárnicos. Para estos productos sulfurantes se le añaden aditivos como polvo de aluminio (Al) o de óxido de zinc (OZn). El primero de ellos enmascara el fenómeno de la sulfuración, mientras que el OZn absorbe el ion sulfuro formado como consecuencia de la degradación de las proteínas por el calor de la autoclave, formando sulfuro de zinc que es blanco, no alterando apenas el aspecto final del envase.

Son utilizados para casi todo tipo de conserva, como carne, pescado, zumos, frutas, verduras, etc. También se aplican en el caso de cervezas y bebidas refrescantes pero debido a que pueden transmitir sabor al producto, requieren un segundo barnizado vinílico sobre ellos.

Algunas conservas sólidas o pastosas se adhieren a estos barnices dificultando su extracción. Para mejorar la misma existe una variante de este tipo de epoxi-fenólicos que son los pigmentados anteriormente citados - con Al o OZn - que además contienen un aditivo deslizante que permite extraer con facilidad los productos sólidos, jamón cocido, mortadelas, "chopped-pork" y otros. Esta variante recibe el apelativo de barnices con "meat reléase". El aditivo es una disolución de ceras sanitarias que en el proceso de horneado emerge a la superficie exterior.

Los barnices epoxi-aminas resultan a partir de resinas epoxi con resinas amino tales como los formaldehídos de urea o de melanina, también se les conoce como barnices epoxi-urea. Tienen elevada resistencia química y son casi incoloros. Se usan para fines decorativos y como “enganches”.

Los epoxi-éster se obtienen de resinas epoxi esterificadas con ácidos grasos. Son barnices de excelente flexibilidad e incoloros. Su uso principal es para exteriores (barnices de acabado).

Los barnices epoxi-modificados usados en los sistemas interiores son una de las posibilidades (adecuadamente pigmentados) de los barnices blancos, porcelánico o porcelanizados, como alternativa a los organosoles y poliéster blancos.

Además como incoloros pueden usarse como barnices de enganche o simplemente como barnices incoloros exteriores.

- **Vinílicos**

Se formulan a base de resinas vinílicas obtenidas por copolimerización de cloruro y acetato de vinilo, se caracterizan por su buena adhesión, su alta flexibilidad y su nula transmisión de sabor pero tienen una escasa resistencia al vapor y a la esterilización. Consecuencia de ello es su poca utilización en conservas procesadas pero son muy empleados como

segundo pase “top coat”, en cervezas y bebidas carbónicas fabricados con tecnología DWI. También pueden usarse como barnices de acabado exterior. No son válidos para envases de tres piezas de cualquier utilización ya que no soportan, carbonizándose, el calor generado en la costura lateral de los cuerpos dada su baja temperatura de secado.

- **Acrílicos**

Las resinas de los mismos están formadas por ésteres del ácido poliacrílico. Su empleo inicialmente bajo se ha ido poco a poco ampliándose por el excelente aspecto que presentan, asociados a una buena sanidad y limpieza. Legumbres, verduras y frutas blancas son sus aplicaciones más comunes cuando se usan en sistemas interiores. Son menos aconsejables para productos muy ricos en pigmentos, tomate, frutas rojas, etc. - pues toman su color, y la presentación de los mismos se empobrece. No obstante, sus principales campos de aplicación son en sistemas exteriores como esmaltes blancos y barnices de acabado en versiones incoloras.

Presentan buenas cualidades en cuanto a resistencia química y sus propiedades mecánicas son también excelentes: Resisten bien elevadas temperaturas, la embutición profunda, el plegado, etc.

en solventes hidrocarbonados más un plastificante. Estos recubrimientos constituyen una de las mejores alternativas a los epoxi-fenólicos. Frecuentemente se emplean como primer pase de trabajos de barnizado aplicados en dos capas para utilidades de mucha seguridad. Su uso principal es en tapas, ya que presentan una excelente adhesión con los compuestos y plastisoles usados en los cierres. Son los barnices ideales para las tapas de fácil apertura, ejemplo específico de dos pases de barniz, ya que a la ventaja anterior se une su buena flexibilidad y por tanto soportan bastante bien el daño sufrido en la operación de troquelado de la incisión de desgarre y de la formación del remache de fijación de la anilla de apertura. Por circunstancias parecidas también se comportan

- **Poliéster**

Sus resinas basadas en ácido isoftálico, no reaccionan con los aceites y presentan aceptable flexibilidad, buena resistencia a los ácidos y baja resistencia a sulfuros. Una de sus principales aplicaciones es como barnizado interior de envases de bebida. En general se emplean también frecuentemente en sistemas interiores como incoloros ó dorados y pigmentados como porcelánicos y, en sistemas exteriores como barniz de enganche ó esmalte blanco, este último también pigmentado.

- **Organosoles**

Realmente forman parte de la familia de los vinílicos pero dada su creciente importancia forman un subgrupo propio. Son dispersiones de resinas de cloruro de polivinilo (PVC) de alto peso molecular disueltas

muy bien en envases embutidos. Presentan ausencia de sabor y una resistencia química razonable.

Frente a los epoxi-fenólicos presentan las ventajas de su alta flexibilidad, como ya se ha indicado, y en general un mejor compromiso entre sus propiedades químicas y mecánicas. Son una gama de barnices que por sus cualidades cada vez tendrán mayores aplicaciones

Los parámetros más importantes en el proceso de barnizado son los siguientes:

Barniz en estado líquido:

- Viscosidad
- Peso específico
- Tipo de resina
- Disolvente

Pruebas de cesión o migración Barniz aplicado seco:

- Carga o peso de película
- Control de curado
- Adherencia
- Porosidad
- Resistencia a la autoclave
- Resistencia al rayado
- Resistencia a la sulfuración.

La carga ó peso de película seca es la cantidad de extracto seco que queda sobre el metal después de aplicado el barniz en húmedo y horneado. Se mide en g/m^2 (o en mg/pg^2)

Orientativamente puede tener los siguientes valores:

Sistemas interiores:

- Barnices en general Entre 5 a 7 g/m^2
- Barnices + Al “ 6 a 9 “
- Barnices + OZn “ 7 a 10 “
- Blancos “ 9 a 15 “
- Organosoles “ 13 a 21 “

Sistemas exteriores:

- Enganches Entre 2 a 5 g/m^2
- Esmaltes blancos “ 14 a 17 “
- Barnices de acabado “ 5 a 7 “

CORROSIÓN EN ENVASES BARNIZADOS

- a) Corrosión bajo la película: En la Fig. 7 se muestra el ataque por corrosión que ocurre a través de los poros del barniz al sustrato de la hojalata

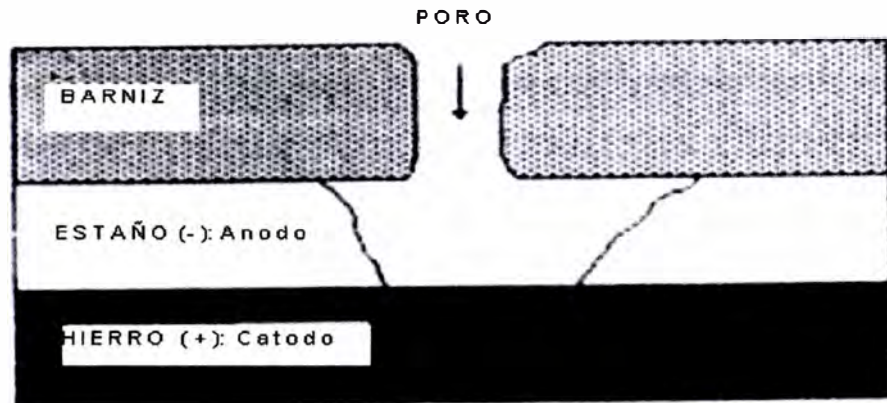


Fig. 7 - Esquema de Corrosión bajo película

Un efecto de corrosión electroquímica se puede generar en la pila formada por estaño-hierro protegida por el barniz. En este caso el estaño actúa como ánodo de sacrificio y el hierro aprovecha la protección catódica. Esto se origina a través de un poro en el barniz por donde se introduce el líquido de gobierno del producto que funciona como electrolito, como consecuencia de ello se pueden desarrollar áreas negras de corrosión bajo la película del barniz, incluyendo desprendimientos localizados del mismo. Aunque afecta al aspecto interior del envase, no amenaza a la vida útil de este ya que no hay riesgo de perforación. La contaminación metálica del producto se mantiene limitada.

- b) Perforación: en la Fig. 8 se presenta el esquema de ataque por perforación al envase

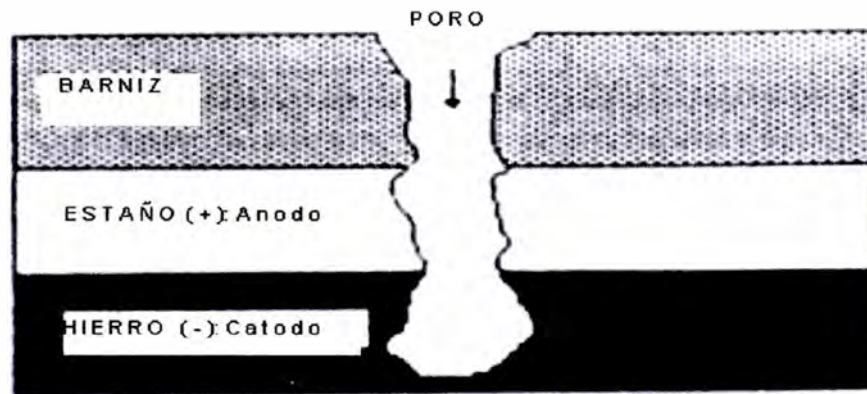


Fig. 8 - Esquema de perforación del envase

Algunas veces se invierte el funcionamiento de la pila estaño-hierro bajo la película de barniz; entonces se corroe el hierro. Aumenta la contaminación por hierro del producto del envase, terminando frecuentemente en perforación.

El hierro tiene un efecto desfavorable sobre el color de algunos alimentos. Los compuestos polifenólicos (taninos) junto con el ión hierro, producen complejos de color negro.

En la celda cromo-hierro, el hierro puede considerarse siempre anódico en relación al cromo. El hierro se disuelve al exponerse a la corrosión (estas "picaduras" llegan a veces a perforaciones). Los materiales

recubiertos de cromo deberían de llevar siempre una protección orgánica reforzada en comparación con la hojalata.

Migración

Los barnices interiores, para envases alimentarios, no deberían de presentar ningún riesgo de toxicidad. El estar en contacto directo con las conservas conlleva, obviamente, la aplicación de determinadas normas referentes a la selección de materiales empleados en su formulación y a asegurar la calidad de su aplicación.

Químicamente, los barnices utilizados se relacionan de cerca con materiales plásticos; en consecuencia, los problemas de migración y compatibilidad están ligados con ellos.

Cualquiera que sea la naturaleza del recubrimiento orgánico, hay que respetar tres criterios esenciales:

- 1º. Todos sus componentes deben de figurar en una lista positiva FDA.
- 2º. La película de barniz orgánico, una vez aplicada y curada de acuerdo con las especificaciones del proveedor, no debe de liberar ningún componente en cantidad mayor de la estipulada por las normativas en vigor.

3°. El recubrimiento debe de cumplir con eficacia su papel de barrera entre la base metálica y el alimento. Sobre todo, no debe de dañar las cualidades organolépticas del último.

En general, cada país tiene sus propias regulaciones, pero las que marcan la pauta a nivel mundial son sobre todo las emanadas de la FDA americana y también las emitidas por el Mercado Común Europeo.

En lo que respecta al problema de migración hay que tener en cuenta dos aspectos:

* **Aspectos cuantitativos**

Los valores máximos quedan determinados por las normativas específicas de cada país que fijan la cantidad máxima de migración permitida al alimento. Esta cantidad se evalúa generalmente en miligramos de sustancias migradas por cada kilogramo de alimento (mgrs/kg) o también en miligramos de sustancias migradas por cada decímetro cuadrado de superficie de contacto entre barniz y alimento.

En general, los laboratorios que se dedican a pruebas de análisis aseguran que si el recubrimiento se aplica en las condiciones recomendadas por los proveedores, los resultados se sitúan por debajo de los límites oficiales.

* **Aspectos cualitativos**

Aquí también se fijan límites de migración específicos. La atención se dirige en particular a ciertos monómeros considerados como muy tóxicos. Existen listas de productos con indicación específica de la cantidad máxima de migración permitida. Estas cantidades se suelen fijar en ppb (partes por billón) o en mgrs/Tm (miligramos de migración por tonelada de producto). Puede decirse que, con respecto a los barnices utilizados en el envasado de alimentos, hay seguridad añadida porque:

- Los monómeros son naturalmente de lo más reactivo; por tanto desaparecen o se incorporan fácilmente en la estructura macromolecular que se vuelve químicamente inerte.
- En el curso del curado del barniz (que suele ser al menos 200 °C durante 12 minutos) y conociendo la temperatura de ebullición de los monómeros, es impensable que subsistan incluso trazas valorables.
- Se puede aplicar el mismo razonamiento a los disolventes del barniz, algunos de los cuales también son tóxicos. También estos desaparecerán rápidamente a la temperatura de curado de los diversos recubrimientos orgánicos, mucho antes de llegar a la reticulación y a las propiedades funcionales para las que han sido diseñados.

Los Barnices y el Medio Ambiente

Los barnices utilizados en los envases metálicos para su protección, contienen en el momento de su aplicación una pequeña cantidad de disolventes. Durante

el curado en el horno, se liberan los mismos y se sueltan a la atmósfera. Se ha buscado otras alternativas que resuelvan este problema.

Así se emplean:

- Barnices con alto contenido en sólidos (Por encima del 50%)
- Barnices con diluyentes reactivos, que por tanto quedan incorporados al extracto seco.
- Barnices base agua
- Barnices en polvo.

Merece especial comentario los dos últimos. Los barnices con fórmulas basadas en agua siempre aportan una pequeña cantidad de disolventes (entre un 15 a un 20%) respecto a la fracción volátil total pero muy por debajo de un barniz convencional. Han encontrado gran aplicación en el campo de los envases para bebidas. Los barnices en polvo tienen su aplicación más generalizada es la protección interior de la costura lateral de los envases tipo tres piezas.

Hay otras técnicas de barnizado disponibles que han tenido unos resultados irregulares por diferentes motivos: Tecnología no completamente desarrollada, elevado costo, resultados variables. Entre ellas pueden citarse la protección orgánica por medio de electroforesis y electro deposición. Esta técnica es antigua dentro de la industria automotriz pero escasamente desarrollada en el sector metalgráfico. Se usan barnices con formulación en

base agua. El poder de cobertura es muy localizado pues la deposición solo se da en áreas no protegidas del metal. Aunque el principio de funcionamiento es muy simple, la instalación es bastante compleja al tener que disponer de área de aclarado, filtrado de barnices, tanques de líquidos, etc.

En los tiempos presentes gravitan de forma decisiva sobre el sector del envase, así como el de los barnices para su protección, las diferentes legislaciones sobre reciclaje, medio ambiente y migración. Ello trae consigo que no solo haya que tener en cuenta la idoneidad continente-contenido sino también su incidencia en estos campos.

Los barnices contienen en su composición COV cuya emisión a la atmósfera está restringida por la contaminación ambiental que provocan.

2.4 COMPUESTOS ORGÁNICOS VOLÁTILES (COV)

Durante las últimas décadas, se ha incrementado el interés por la protección del medio ambiente por parte de los gobiernos y de las industrias. Dentro de la contaminación del medio ambiente, la producida por los compuestos orgánicos volátiles (COV) es una de las principales. En general el término COV no está totalmente definido, la más aceptada es la de la Comisión Económica para Europa de las Naciones Unidas del año 1991, que textualmente los define como “compuestos orgánicos volátiles, distintos del metano, de naturaleza antropogénica capaces de producir oxidantes fotoquímicos (Ozono) en presencia de luz solar por reacción con óxidos de

nitrógeno”. Se refiere a aquellos compuestos orgánicos volátiles que producen un efecto negativo sobre el medio ambiente, incluso en concentraciones de pocos ppm. Son líquidos o sólidos orgánicos con presión de vapor por encima de 0.0007 atm a 20°C, y con un punto de ebullición menor a 260°C, lo que implica la mayoría de los compuestos de hasta 12 átomos de carbono.

Dentro del término, compuestos orgánicos volátiles, se incluyen una amplia variedad de compuestos orgánicos, hidrocarburos volátiles y CFC (compuestos fluorocarbonados) hasta C12, como por ejemplo: hidrocarburos aromáticos, alifáticos y halogenados, aldehídos y cetonas, alcoholes, glycoles, éteres, fenoles y otros; los que constituyen la mayoría de los compuestos peligrosos en el aire.

Esta reacción química implica una eliminación del contaminante primario por transformación del mismo en compuestos a veces de mayor carácter tóxico (contaminación secundaria).

Las principales fuentes de COV's están relacionadas directa o indirectamente con el petróleo y sus derivados: vapores de automóviles por combustión incompleta (aromáticos, olefinas y parafinas), industrias de pinturas, tintas, lacas y esmaltes (alcanos y cicloalcanos), vapores de gasolinas emitidos desde los tanques de almacenamiento, disolventes empleados en pinturas y operaciones de desengrasado y limpieza (hexano, ciclohexano y aromáticos

derivados del tolueno y xileno), adhesivos (metil-etil cetona, derivados tipo nafta, tricloroetano), aerosoles, industrias de plásticos (compuestos clorados).

En la tabla 3, se aprecia la distribución de COV en las fuentes de contaminación, y en Tabla 4, se muestra la distribución de COV en la industria de pinturas, pegamentos y solventes. .

El proceso de barnizado de láminas de hojalata del presente estudio utiliza barnices con diversos COV en su composición, y diversos tipos de resina. La composición de productos peligrosos en cada barniz y diluyente utilizados difiere según el tipo de barniz, resina usada y fabricantes. Ver Tabla 2, 3, 4 y 5.

Tabla 2 - Composición de Barnices Utilizados: COV y Sustancias Peligrosas

Laca Exterior de envases metalicos alimentarios Nombre :Darex Protection Lacquer PL1333-08 Fabricante :Grace Darex GmbH, Germany		
Nombre	Min	Max
Butanol	0.0%	5.0%
Ácido Fosfórico	0.0%	1.0%
Isopropilbenceno	0.0%	1.0%
Xileno (Mix)	2.0%	5.0%
Mesitileno	1.0%	2.0%
1,2,4-Trimetilbenceno	2.0%	5.0%
1,2,3-Trimetilbenceno	2.0%	5.0%
Propilbenceno	0.0%	1.0%
2-Butoxyethanol	1.0%	2.0%
Acetato De 2-Metoxipropilo	0.0%	1.0%
Acetato De 1-Metil-2-Metoxietilo	20.0%	30.0%
Acetato De 2-Butoxietilo	2.0%	5.0%
1-Metoxi-2-Propanol R	0.0%	1.0%
2-(2-Butoxiethoxi)Etanol	2.0%	5.0%
(Metil-2-Metoxietoxi)Propanol	10.0%	20.0%
Fenol	0.0%	1.0%
Etilbenceno	0.0%	1.0%
Aluminium Powder	2.0%	5.0%

Laca Porcelana Blanca Interior de Envases Metalicos Alimentario Darex Internal White IW 1282-33 Grace Darex GmbH		
Nombre	Min	Max
Isopropilbenceno	0.0%	1.0%
Xileno (Mix)	0.0%	1.0%
Mesitileno	0.0%	1.0%
1,2,4-Trimetilbenceno	0.0%	1.0%
1,2,3-Trimetilbenceno 0,0-1,0%	0.0%	1.0%
Propilbenceno	0.0%	1.0%
1-Metoxi-2-Propanol	2.0%	5.0%
2,6-Dimetil-4-Heptanona	10.0%	20.0%
2-Butoxietanol	0.0%	1.0%
2-(2-Butoxiethoxi)Etanol	5.0%	10.0%
4-Metil-2-Pentanona	2.0%	5.0%
Carbonato De Propileno	2.0%	5.0%
Acetato De 1-Metil-2-Metoxietilo	10.0%	20.0%
Butanol	0.0%	1.0%

Laca Transparente Interior para Envases Metalicos Alimentarios Producto : 640 C 321 Clear Sanitary Enamel Fabricante : Ici Paints North America		
Nombre	Min	Max
Ethylbenzene	5.0%	10.0%
2-Butoxyethanol	10.0%	20.0%
Diacetone Alcohol	10.0%	20.0%
Xylene	20.0%	30.0%
Epoxy Resin	20.0%	30.0%
Formaldehyde	0.0%	0.1%
Heavy Aromatic Solvent Naphtha	1.0%	5.0%
Urea-Formaldehyde Resin	1.0%	5.0%
N-Butanol	1.0%	5.0%
Naphthalene	0.1%	1.0%
Pseudocumene	0.1%	1.0%

Fuente : Fabricantes de Barniz - Planta Chimbote

Tabla 4 - VOC más usados en la industria de pinturas y barnices

*Emissiones relativas de VOC (% en peso)
de industrias de pinturas, adhesivos y disolventes*

Compuesto químico	Pinturas			Pinturas industriales	Adhesivos industriales
	(a)	(b)	(c)		
alcanos C9-	6.4		1.0	1.8	11.4
alcanos C10	20.2		3.1	5.7	10.8
alcanos C11	11.6		1.7	3.1	5.8
alcanos C12+	5.0		0.6	1.1	2.1
cicloalcanos C9-	8.8		1.3	2.4	4.6
cicloalcanos C10	20.5		3.2	5.8	11.0
cicloalcanos C11	3.4		0.5	0.9	1.7
cicloalcanos C12+	3.1		0.5	0.9	1.6
tolueno	3.2		20.7	14.7	5.6
xileno	1.0		11.6	15.8	0.1
otros aromáticos	1.6		5.9	4.9	
acetona	0.1		10.3	3.1	2.1
metilacetona	1.2		16.0	8.1	12.2
metilbutilcetona	1.6		0.6	5.9	
metanol	0.1				0.2
etanol	0.1		11.8	2.7	0.1
2-propanol	2.3		5.0	3.5	0.4
butanoles	2.2		0.3	6.4	
etilenglicol		44			0.2
propilenglicol		29			0.1
éteres glicólicos		27		6.6	0.2
acetato de etilo			3.7	2.0	0.2
acetato de propilo			0.9	1.6	
acetato de n-butilo	2.9		1.4	3.1	0.3
1,1,1-tricloroetano	2.2				9.3
diclorometano					1.7
otros	1.2				18.2

Notas:

(a) disolventes orgánicos

(b) disolventes acuosos

(c) diluyentes

Tabla 5 - VOCs Emitidos según Industria o Proceso

INDUSTRIA	VOCS, SOLVENTES TÍPICOS Y OTROS GASES
Acetate Finish Coating	Silicate Solution
Alcohol Synthesis	C1, C2, C3, C6 Hydrocarbons
Automobile Coating	Ketones, Xylene, Toluene, Phenols
Bakery Ovens	Ethanol
Can Coating	Ketones, Alcohols, Aromatic Hydrocarbons, Ethers
Coffee Roasting	Heavy Oils from coffee beans
Coil Coating	Phosphates, Solvesso, Cyclohexanol, Alcohols, Carbitols, Hydrocarbons
Electronic Components	Butyl Acetate, Xylene, MEK, Cellosolve
Fiberglass Coating	Teflon Emulsion, Fiberglass, Synthetics, Styrene
Flexographic Printing	Flexographic Ink Derivatives, Alcohols, Glycol
Formaldehyde	Formaldehyde, Methanol, CO
Lithographic Print/Paint	Butyl Cellosolve, Ciacetone Alcohol, Solvesso, Cellosolve Acetate, Xylene, MIBK
Metal Coating	Alcohols, Cellosolve Acetate, Phthalates, Solvesso
Paper Coating	High-Boiling Organics, Latexes
Pharmaceuticals	Isoproponol, Toluene, Hydrocarbons
Phthalic Anhydride Mfg.	Organic Acids
Resin Plant	Formaldehyde, Phenols, Phthalic Anhydride
Rubber Processing	
Soil Remediation	Benzene, Toluene, Ethylene, Xylene
Sterilizers	Ethylene Oxide
Vinyl Surgical Glove	Polyvinyl Chloride, Ciocyl Phathalate
Wire Enameling	Cellosolve Acetate

2.5 TECNOLOGÍAS DE ELIMINACIÓN DE LOS COV

Se han desarrollado diversos métodos para la eliminación de los compuestos orgánicos volátiles (COVs), debido al aumento continuo de emisiones, en relación con restricciones legislativas cada vez mayores.

Para la eliminación de los COV se plantean una serie de tecnologías, entre las principales podemos citar: sustitución o cambio de proceso, reactores de oxidación térmicos y catalíticos, condensadores, sistemas de adsorción, sistemas de absorción, biofiltros, y separación por membranas; aplicadas a diferentes fuentes contaminantes, categorías, tipos y concentraciones de COV. Adelante una descripción breve de cada tecnología en general.

2.5.1. Sustitución de COV y cambio de Proceso

La forma primaria de evitar la emisión de VOC es sustituyéndolo de los procesos. Algunos procesos industriales que utilizan insumos que contienen COV pueden reemplazarse con compuestos orgánicos no volátiles o por otros COV de menor toxicidad, y en el caso de solventes, por compuestos de base agua. Sin embargo esta sustitución solo es parcial o aún no viable en muchas industrias y procesos.

Otra posibilidad aquí, es el cambio del proceso industrial utilizado, por otro que evite o disminuya el uso de COV. Por ejemplo el cambio de pintura con solventes al de pintura electrostática, o el uso de

litografía ultravioleta. En el caso del transporte uso de motores eléctricos o híbridos.

Existe mucha investigación al respecto a la sustitución o cambio de proceso, y aún es difícil de hacerlo en varios campos de aplicación, pero a menudo es la forma más eficaz en el costo para reducir las emisiones de COV

2.5.2. Oxidación térmica

Aquí los vapores de COV son incinerados a una temperatura suficiente que causa su oxidación completa. Normalmente el proceso de oxidación térmica opera a 800 - 850°C. Se requiere un tiempo de exposición de 0.6 a 2 segundos, a esa temperatura para lograr una combustión completa que genera agua y CO₂. En función de la cantidad de COV en el volumen de la mezcla, la combustión va a requerir de energía adicional y O₂ para mantener el proceso y temperatura estable. Puede recuperarse calor de los gases de combustión.

Una combustión segura, sin peligro de explosión, se consigue por debajo del límite inferior, o encima del límite superior de explosión; o por sus siglas en inglés LEL y UEL (Low and Upper Explosive Limit), respectivamente.

El LEL es la menor concentración (%) en volumen, de gas o vapor de combustible, en una mezcla con aire, en la cual se produce una llama de fuego, en presencia de una fuente de ignición (arco, flama, calor).

El UEL es la máxima concentración (%) en volumen, de gas o vapor combustible, en una mezcla con aire, en la cual se produce una llama de fuego, en presencia de una fuente de ignición (arco, flama, calor).

Una concentración por debajo del LEL, es muy “pobre”, para lograr generar una explosión.

Una concentración por encima del UEL, es muy “rica”, para lograr generar una explosión. Un valor comprendido entre el LEL y UEL es muy peligroso de manejar. En las siguientes tablas (6 y 7), se indican los valores de LEL y UEL de diferentes COV de uso común. Variables como la temperatura, presión, cantidad de Oxígeno y Gases Inertes puede variar estos límites.

Tabla 6 - Valores LEL y UEL para Combustibles

AFC International, Inc.

Gas Detection & Air Monitoring Specialists



Combustibles

Material	LEL (%Vol)	UEL (%Vol)	TLV/TWA (ppm)	IDLH (ppm)	Density (Air = 1.0)
Acetone	2.5	12.8	750	2,500	2.0
Acetylene	2.5	100.0	-A-	-A-	.9
Ammonia	15.0	28.0	25	300	0.6
Benzene	1.2	7.8	1.0	500	2.6
Butane	1.6	8.4	800	-U-	2.0
n-Butyl Acetate	1.7	7.6	150	1,700	4.0
Diborane	0.8	88.0	0.1	15	1.0
Ethane	3.0	12.5	-A-	-A-	1.0
Ethanol	3.3	19.0	1,000	-U-	1.6
Ethyl Acetate	2.0	11.5	400	2,000	3.0
Ethyl Ether	1.9	36.0	400	1,900	2.6
Ethylene Oxide	3.0	100.0	1	-C-	1.5
Gasoline (100 Octane)	1.4	7.6	300	-U-	3-4.0
Heptane	1.05	6.7	400	750	3.5
Hexane	1.1	7.5	50	1,100	3.0
Hydrogen	4.0	75.0	-A-	-A-	0.1
Isopropyl Alcohol	2.0	12.0	400	2,000	2.1
Methane	5.0	15.0	-A-	-A-	0.6
Methanol	6.0	36.0	200	6,000	1.1
Methyl Ethyl Ketone	1.4	11.4	200	3,000	2.5
Pentane	1.5	7.8	600	15,000	2.5
Propane	2.1	9.5	1,000	2,100	1.6
Propylene Oxide	2.3	36.0	20	400	2.0
Styrene	0.9	6.8	50	700	3.6
Toluene	1.1	7.1	50	500	3.1
Turpentine	0.8	?	100	800	4.7
Vinyl Acetate	2.6	13.4	10	-U-	3.0
Vinyl Chloride	3.6	33.0	1.0	-C-	2.2
Xylene	0.9	6.7	100	900	3.7

LEL Limite Inferior de explosión

UEL Limite Superior de Explosión

PPM Partes por Millón

TLV/TWA Limite del Umbral de exposición/
Tiempo Promedio Ponderado

IDLH Concentración inmediatamente Peligrosa para la Vida o Salud

A Asfixiante

C Carcinógeno

U Dato no disponible

N/C No Combustible

Tabla 7 - Valores LEL y UEL para Productos Tóxicos

AFC International, Inc.

Gas Detection & Air Monitoring Specialists



Toxics

Material	TLV/TWA (ppm)	IDLH	LEL (ppm)	LEL (%/Vol)	Density (Air=1)
Acetone	750	2,500	25,000	2.5	2.0
Ammonia	25	300	160,000	16.0	0.6
Benzene	1.0	-C-	12,000	1.2	2.6
Butane	800	-U-	16,000	1.6	2.0
n-Butyl Acetate	150	1,700	17,000	1.7	4.0
Carbon Dioxide	5,000	40,000	N/C	N/C	1.5
Carbon Monoxide	25	1,200	125,000	12.5	1.0
Chlorine	0.5	10	N/C	N/C	2.5
Ethylene Oxide	1	-C-	30,000	3.0	1.5
Ethyl Ether	400	19,000	19,000	1.9	2.6
Gasoline	300	-U-	14,000	1.4	3-4.0
Heptane	400	750	10,500	1.05	3.5
Hexane	50	1,100	11,000	1.0	3.0
Hydrogen Cyanide	10	50	56,000	5.6	0.9
Hydrogen Sulfide	10	100	40,000	4.0	1.2
Isopropyl Alcohol	400	2,000	20,000	2.0	2.1
Methyl Acetate	200	3,100	31,000	3.1	2.6
Methanol	200	6,000	60,000	6.0	1.1
Methyl Chloride	50	2,000	81,000	8.1	1.8
Methyl Ethyl Ketone	200	3,000	14,000	1.4	2.5
Methyl Methacrylate	100	1,000	17,000	1.7	3.5
Nitric Oxide	25	100	N/C	N/C	1.0
Nitrogen Dioxide	3	20	N/C	N/C	1.6
Pentane	600	15,000	15,000	1.5	2.5
n-Propyl Acetate	200	1,700	17,000	1.7	3.5
Styrene	50	700	9,000	.9	3.6
Sulfur Dioxide	2	100	N/C	N/C	2.2
1,1,1-Trichloroethane	350	700	75,000	7.5	4.6
Toluene	50	500	11,000	1.1	3.2
Trichloroethylene	50	1,000	80,000	8.0	4.5
Turpentine	100	800	8,000	0.8	4.7
Vinyl Chloride	1.0	-C-	36,000	3.6	2.2
Xylene	100	900	9,000	.9	3.7

Existen varios métodos desarrollados para la eliminación de los COV por oxidación térmica:

A. Incineración por llama directa (Flare)

Permite una reducción mayor al 99%, con un sistema muy simple donde la corriente gaseosa que contiene los COV es conducida a un incinerador especial para este fin, que elimina los gases

combustionados a la atmósfera. Este método tiene un alto costo de operación, por la necesidad de suministrar energía adicional para mantener la llama estable, y por la falta de aprovechamiento del calor generado, pero tiene un costo de inversión y mantenimiento muy bajo, se recomienda su uso cuando se tiene un bajo volumen de aire y una alta concentración de COVs ,(40-100% LEL)

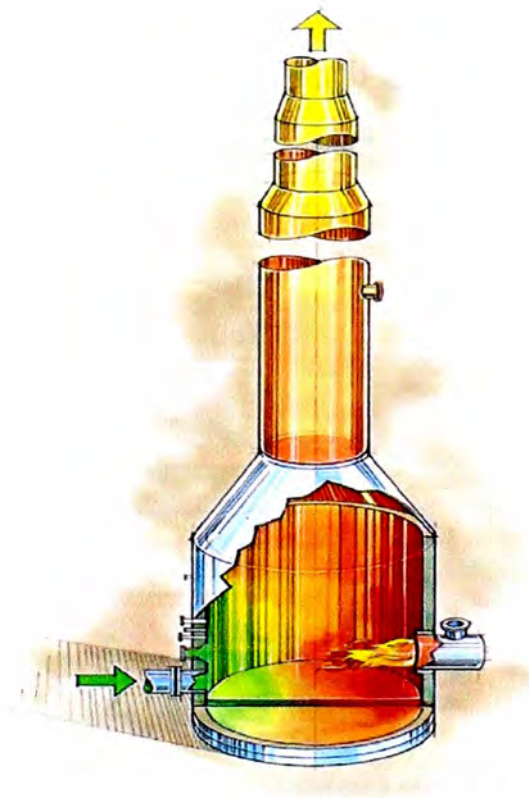


Fig 9 - Combustión por Llama Directa

B. Incineración con Recuperación de Calor. (TO Recuperativo)

En el este sistema se realiza la incineración en una cámara de combustión, con el aporte adicional de aire y combustible, pero

recuperando el calor generado en la combustión para precalentar los gases contaminados que se van a incinerar, y/o calentando aire para algún proceso térmico en planta. De este modo el existe un alto % de recuperación de calor, en la medida que se pueda aprovechar la combustión de los gases con COVs, devolviendo calor a la planta y minimizando el consumo extra de combustible en la incineración, a través de intercambiadores de calor de precalentamiento.

Este sistema se recomienda cuando la concentración de VOC en el aire contaminado, se sitúa entre 15 A 30 % del LEL, y flujos bajos a medios.

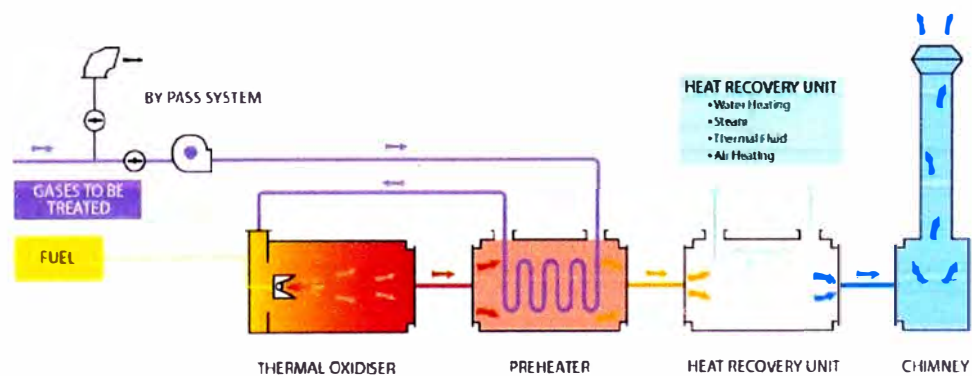


Fig. 10 - Esquema de un sistema recuperador de calor

C. Incineración con Regeneración de Calor , (RTO)

En este sistema se almacena el calor producido con la combustión de los COV en los gases con aporte adicional de aire y combustible, en 2 o más compartimientos que contienen un medio

cerámico, en el cual se regenera el calor almacenado invirtiendo el flujo del proceso cada cierto tiempo entre los compartimientos, para mantener una temperatura óptima en la cámara de combustión. Se logra eficiencia térmicas entre 85% y 95%, y eficiencias de destrucción de VOC del 95%. Se puede procesar aire contaminado con una concentración de 0% a 20% del LEL, y flujos muy bajos de operación.

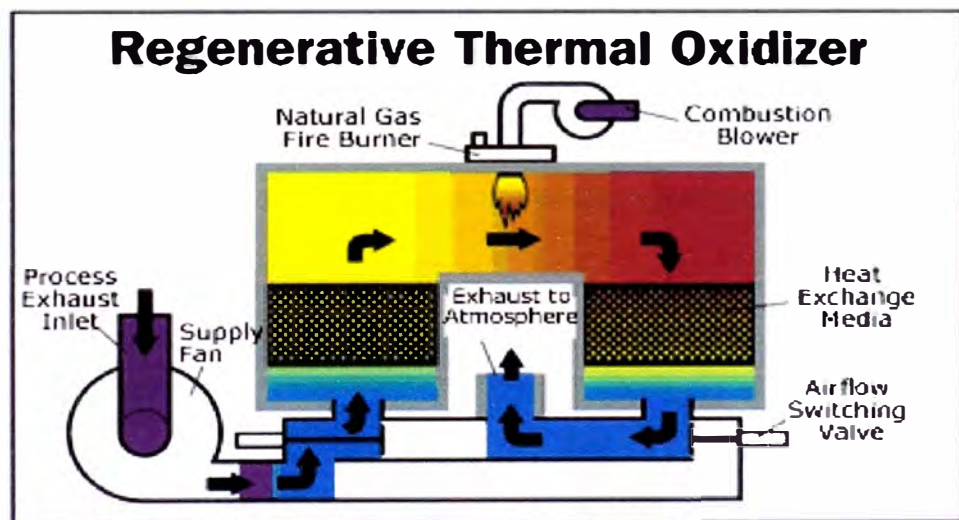


Fig. 11 - Esquema de un Oxidador Térmico Regenerativo

D. Incineración catalítica o combustión catalítica

La incineración catalítica es esencialmente un proceso de combustión sin llama, en el cual un lecho catalítico inicia la reacción a una temperatura mucho más baja. En incineradores catalíticos, la temperatura inicial del gas debe ser de 252°C a 327°C. La mezcla del efluente gaseoso pasa directamente del pre calentador al catalizador, en cuya superficie ocurre la oxidación

exotérmica a temperaturas entre 377°C y 477°C. Esto hace que se reduzca la emisión de NO_x.

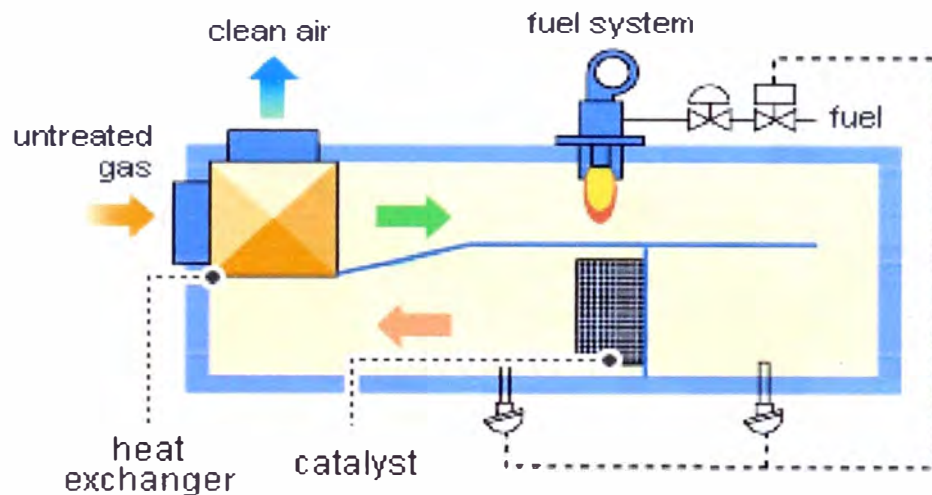


Fig. 12 - Esquema de Incineración Catalítica

2.5.3. Adsorción

El método de adsorción tiene una eficiencia mayor al 99%, y se basa principalmente en el uso de adsorbentes como el Carbón Activado, Sílica Gel, Zeolitas y Polímeros. El proceso es reversible, cuando el adsorbente se satura la eficiencia disminuye, por lo que es necesario calentar el adsorbente y recuperar los COVs captados. Este método es útil para grandes corrientes gaseosas y bajas concentraciones de COVs y bajas temperaturas de emisión. Los COVs, pueden ser recuperados en un proceso de condensación posterior, o ser eliminados por un proceso térmico de oxidación. El volumen de aire requerido para regenerar el agente adsorbente es típicamente 1 a 10 al volumen de

aire tratado, por lo que este aire de regeneración se puede combinar con un sistema de incineración térmica y mejorar la eficiencia térmica del conjunto.

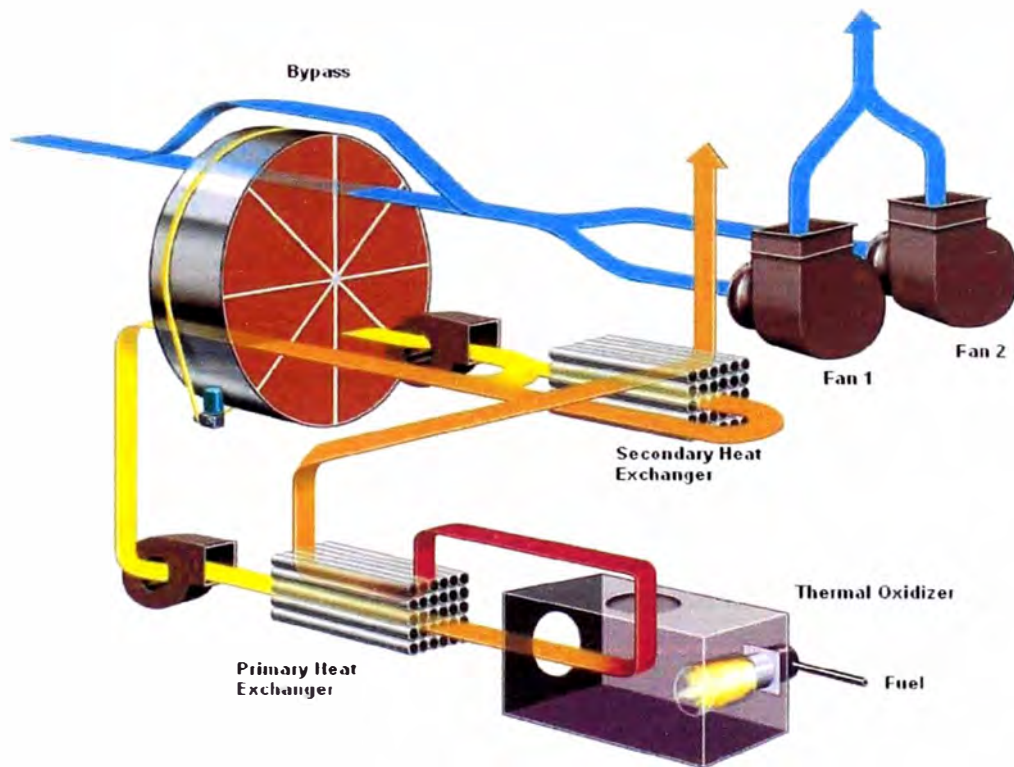


Fig. 13 - Esquema de un Sistema de Adsorción

2.5.4. Condensación

El método de condensación requiere de un sistema de enfriamiento que permita la remoción de los condensados. Es útil cuando se tienen bajos volúmenes de emisión y bajas temperaturas, y los COV diluidos tengan alta temperatura de ebullición, y de preferencia con pocos componentes, que permita su reuso en estado líquido en el proceso. La eficiencia de recuperación se sitúa entre 70 y 90%.

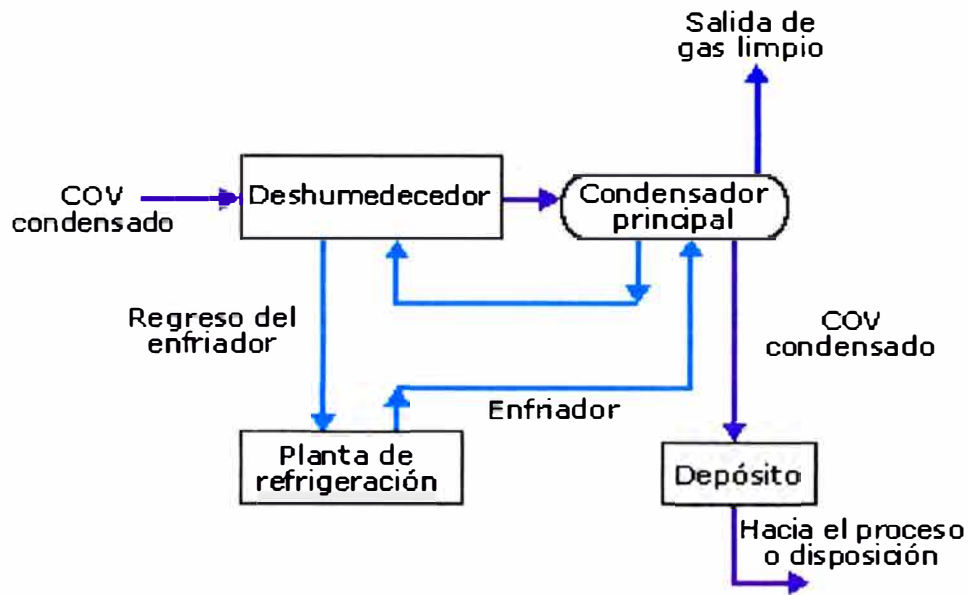


Fig. 14 - Esquema de un Sistema de Condensación

2.5.5. Absorción

La absorción es el proceso mediante el cual un contaminante gaseoso se disuelve en un líquido. El agua es el absorbente más usado. A medida que el flujo de gas pasa por el líquido, éste absorbe el gas. La absorción se usa comúnmente para recuperar productos o purificar gases con alta concentración de COV. Un problema potencial con la absorción es la generación de aguas residuales, lo que convierte un problema de contaminación del aire en un problema de contaminación del agua.

Los absorbedores son frecuentemente llamados lavadores de gas y existen varios tipos de ellos. Los más usados son las torres rociadoras, columnas de relleno, cámaras rociadoras y lavadores Venturi.

El absorbedor de columna de relleno contiene una sustancia inerte (no reactiva), como plástico o cerámica, que aumenta la superficie del área líquida para la interfaz líquida/gaseosa. El material inerte ayuda a maximizar la capacidad de absorción de la columna. Además, la introducción del gas y líquido en extremos opuestos de la columna permite que la mezcla sea más eficiente debido al flujo contra corriente que se genera. Los absorbedores pueden alcanzar una eficiencia de remoción mayor de 95 por ciento.

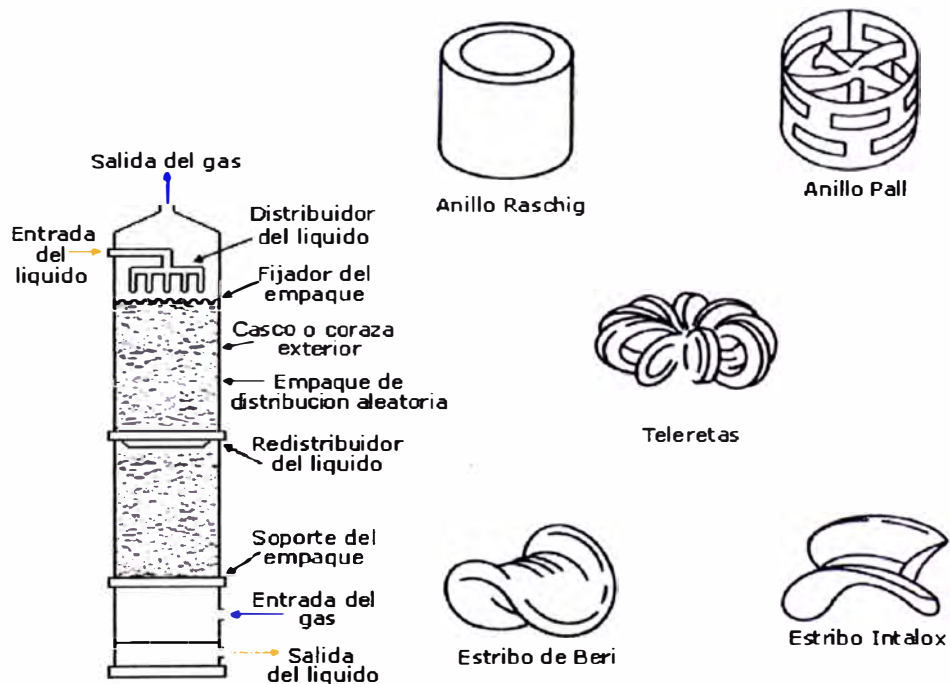


Fig. 15 - Esquema de una Torre de Absorción

2.5.6. Biofiltros

El aire contaminado pasa a través de un medio poroso (lecho de material orgánico ejemplo: compost, material inorgánico) en el cual

los componentes son solubilizados, absorbidos y adheridos sobre la superficie del material poroso usado. Los componentes se solubilizan en la capa de la humedad del medio que rodea las partículas o se fijan por adsorción directamente a su superficie. Las bacterias y hongos presentes en el medio húmedo utilizan los compuestos como sustrato y son biológicamente oxidados a CO₂, H₂O, sales inorgánicas y aire puro que son descargados al ambiente. Es crítico crear las adecuadas condiciones para el desarrollo de la flora bacteriana. La mantención de las adecuadas condiciones de t°, humedad, nivel de nutrientes son esenciales para alcanzar un eficiente control de los olores y eficiencia máxima del sistema. Este sistema maneja concentraciones de hasta 5 gr/m³ de COV, bajas temperatura de los gases a procesar, requerimiento de agua en el proceso de humidificación. La capacidad de degradación de los microorganismos involucrados en estos procesos depende de las características de los contaminantes. Para compuestos o mezclas biogénicas es fácil encontrar, por su ubicuidad, microorganismos que degraden los contaminantes a partir de suelos contaminados, lodos activados y compostas. Para la biodegradación de compuestos más recalcitrantes es necesario realizar un proceso de selección para encontrar microorganismos eficientes para la oxidación de los contaminantes.

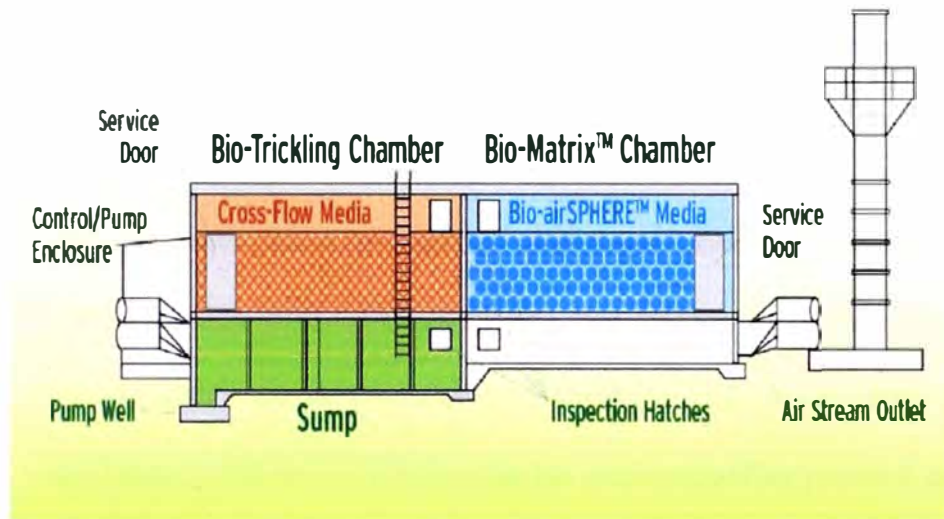


Fig. 16 - Esquema de un Sistema con Biofiltros

2.5.7. Separación por membrana

Una membrana es una capa de material que permite que una sustancia pueda pasar a través de él mientras que bloquea a otro, en presencia de una fuerza de impulsión. Esta selectividad puede basarse en el tamaño de partícula, fase de material (líquido vs gas), o de la solubilidad. Además, la separación se produce en presencia de una fuerza impulsora, tal como una diferencia en la presión, la temperatura o la concentración entre un lado de la membrana y el otro.

Existen diferentes tipos de membranas de fibras huecas, están son:

- **Membranas densas:** es un material sólido, sin poros o agujeros. Los ejemplos incluyen polímeros (tales como silicona), metales (tal como paladio), y cerámicas. Estas permiten que las sustancias pasen a través de ellos por un proceso de disolución y difusión, se

disuelven en la membrana y pasan a través de un lado hacia el otro lado.

Membranas porosas: Es la que tiene poros o agujeros, de un tamaño o gama de tamaños. Estas membranas separan sobre la base de exclusión de tamaño: las sustancias más grandes que los poros no pasan a través, mientras que las más pequeñas pasan a través de él.

- Las **membranas asimétricas:** Se compone de un solo material, a menudo poroso, que tiene diferentes características (tales como tamaño de poro) de un lado al otro. Esta característica permite “ajustar” la selectividad que se produzca en la superficie y tener menos restricción cuando un material pasa a través del centro de la membrana.

- **Membranas de material compuesto:** Se componen de más de un material, a menudo una capa delgada selectiva de un material denso aplicado a una capa de soporte porosa. Generalmente, el objetivo es hacer que la capa selectiva tan delgada como sea posible y la capa de soporte porosa como sea posible para mejorar la transferencia de la sustancia.

La permeabilidad de un gas a través de una membrana densa es directamente proporcional a la solubilidad y la velocidad de difusión del gas. El transporte de masa depende de la cantidad de área de superficie de la membrana y su espesor.

La membrana polimérica densa más usada, es la silicona (polidimetilsiloxano, o PDMS), es uno de los materiales más permeables a los gases, por un mecanismo de solución/difusión, por lo que la tasa de permeación de gas es directamente proporcional al producto de solubilidad del gas, y la velocidad de difusión del gas disuelto en silicona.

El coeficiente de permeabilidad es un parámetro definido como el flujo de transporte de un gas (velocidad de permeación de gas por unidad de área), por unidad de fuerza motriz de transmembrana, por unidad de espesor de membrana. Además, la membrana densa también proporciona un medio para la separación de gases debido a la diferencia de permeabilidad entre los gases en silicona.

La fuerza motriz de la transferencia de gas es la diferencia de presión parcial de cada gas a través de la membrana.

Los compuestos orgánicos volátiles (COV) en el aire o líquido plantean un desafío para los enfoques de separación. La recuperación

y el reciclaje de tales compuestos y disolventes pueden ser deseables económicamente, ya que muchos tienen un valor comercial significativo o puede ser reutilizado en el proceso. Disminución de la secreción y un menor consumo de productos químicos reduce los costos de operación. Además, los requisitos reglamentarios, cada vez más estrictos, hacen que la recuperación de COV sea cada vez más importante.

Las membranas densas pueden utilizarse en la separación y recuperación de compuestos orgánicos volátiles debido a las características únicas del material. Ciertos compuestos orgánicos volátiles tienen un permeado muy bueno de la membrana, y pueden ser efectivamente eliminados de la corriente de alimentación. En un sistema de pervaporación, los vapores de VOC están impregnados de la corriente de alimentación, en un sistema de recuperación de vapor, un vacío o un gas de barrido inerte se utiliza para crear la fuerza de conducción a través de la membrana.

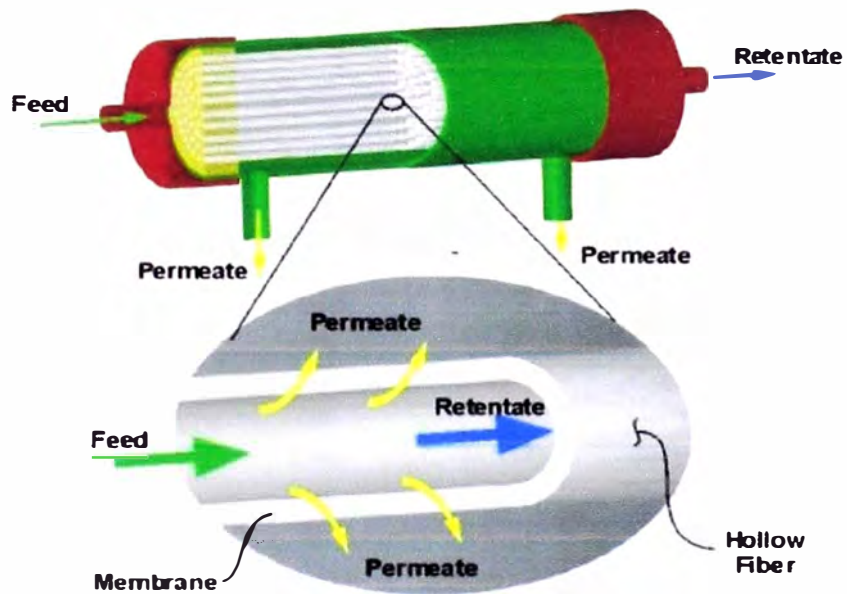


Fig. 17 - Separación de gases en membrana de fibras huecas (MedArray Inc.)

En la tabla 8, se muestran los valores de permeabilidad en membrana de silicona para diferentes gases, una relación de permeabilidad alta entre los gases componentes de la corriente de entrada, asegura una adecuada separación entre ellos, en esta aplicación. En todo caso se logra separar y concentrar los gases COV para su posterior tratamiento o uso.

Tabla 8 - Permeabilidad de Gases en Membrana de Silicona (MedArray Inc.)

GAS NAME	FORMULA	SILICONE PERMEABILITY COEFFICIENT (Barrer)*
Acetone	C ₃ H ₆ O	5860
Ammonia	NH ₃	5900
Argon	Ar	600
Benzene	C ₆ H ₆	10800
Butane	n-C ₄ H ₁₀	9000
Carbon dioxide	CO ₂	3250
Carbon disulfide	CS ₂	90000
Carbon monoxide	CO	340
Ethane	C ₂ H ₆	2500
Ethylene	C ₂ H ₄	1350
Helium	He	350
Hexane	n-C ₆ H ₁₄	9400
Hydrogen	H ₂	650
Hydrogen sulfide	H ₂ S	10000
Methane	CH ₄	950
Methanol	CH ₃ OH	13900
Nitric oxide	NO	600
Nitrogen	N ₂	280
Nitrogen dioxide	NO ₂	7500
Nitrous oxide	N ₂ O	4350
Octane	n-C ₈ H ₁₈	8600
Oxygen	O ₂	600
Pentane	n-C ₅ H ₁₂	20000
Propane	C ₃ H ₈	4100
Sulfur dioxide	SO ₂	15000
Toluene	C ₇ H ₈	9130
Water vapor	H ₂ O	36000

*1 Barrer = 10⁻¹⁰ cm³ (STP) · cm / cm² · s · cm-Hg

2.6 TECNOLOGÍAS APLICABLES EN EL PROCESO ANALIZADO

En el capítulo anterior, se hace una exposición general de las tecnologías existentes para control de los COV.

A continuación un análisis de la aplicabilidad de estas tecnologías para el proceso en el horno de barnizado de láminas de hojalata bajo este estudio.

- * **Sustitución**, los barnices utilizados en el proceso, aún no pueden ser reemplazados por barnices de base agua, aún no existen desarrollos en base agua que garanticen la adherencia, el acabado y la fiabilidad de la barrera química que los barnices actuales ofrecen, principalmente porque las resinas utilizadas requieren el uso de solventes y compuestos orgánicos. Solo se utiliza barniz en polvo electrostático para el recubrimiento de una zona interior muy limitada sobre la soldadura en envases de 3 piezas. También se usa esta técnica en zona del pre corte de tapas abre fácil para recubrir la fisura dejada en el troquel. Sin embargo para procesos de barnizado en láminas aun se sigue utilizando los barnices base solvente.

- * **Adsorción**, para grandes volúmenes de aire y de alta a mediana concentración. Es un equipo que concentra los COV para posteriormente tratarlos por otro medio. Se requiere de inyección de calor para regenerar el equipo. En el caso estudiado las concentraciones de COV son de baja a media y la temperatura de los gases de escape del horno es relativamente

alta, por lo que se descarta esta aplicación en este caso. Aparte que se requiere de una inversión en otro sistema, para finalmente disponer y/o eliminar los COV del proceso.

- * **Condensación**, se requiere de una gran inversión en equipos de compresión y frío, para lo casos donde un tipo de COV sea muy predominante en los gases y que se pueda reusar en el proceso, esta es una opción a revisar. Sin embargo, la multiplicidad de COV empleados en los barnices aplicados, y la imposibilidad de reusarlos en el proceso, al ser los barnices formulados en fábrica, descarta la aplicación de este sistema en el presente estudio.

- * **Absorción**, sistema que lava los COV en una corriente líquida, de tal forma que absorbe a los mismos. Mediante otra técnica adicional se separa el VOC de los líquidos residuales del proceso para su reúso. Se descarta este sistema en el presente estudio, porque contaminamos agua, que luego hay que tratar, para posteriormente recién disponer del COV residual. La diversidad de COV empleados en los barnices también agrega complejidad en este sistema.

- * **Biofiltros**, este sistema requiere de temperaturas bajas de procesamiento, y de bajas concentraciones, así como flujos y tipos constantes de COV, esto para determinar la capa biológica adecuada en cada caso. Además de necesitar agua en el proceso. No se recomienda este sistema para la

aplicación estudiada. La eficiencia de tratamiento es baja, comparada con otros métodos.

- * **Membrana**, sistema que separa gases de otros, mediante la solubilidad diferencial sobre el material de la membrana. En la aplicación estudiada, existe una diversidad de gases COV y productos en el flujo de aire contaminado, que harían inestable el proceso y de baja eficiencia, por lo que descarta este sistema.

- * **Oxidación Térmica**, considerando la composición de los COV, que los barnices utilizados contienen, que es muy diversa y variada, con una carga muy variable dependiendo del espesor aplicado sobre la lámina , y del % de volátiles presente en los barnices, la opción de oxidación térmica se presenta como ventajosa sobre otras tecnologías, en esta aplicación.

La combustión exotérmica de los COV presenta la ventaja de incorporar energía calorífica en el flujo de aire contaminado, y permite la eliminación de los contaminantes al final del proceso. En otras tecnologías se separan o concentran los COV para tratamiento o recuperación posterior.

Un parámetro importante para definir el tipo de proceso de oxidación térmica es el % de concentración de volátiles en el flujo de aire caliente,

a la salida del horno continuo. Para obtener una combustión adecuada se requiere una temperatura por encima de los 700 a 1000°C, y sostener durante 0.5 a 1.5 segundos esta temperatura para lograr oxidar la mayoría de los COV.

- * **Oxidación Directa por Flama,** este sistema está concebido para eliminar gases tóxicos cuando el aporte de energía de estos gases, en el flujo es suficiente para mantener la estabilidad de la flama por sí misma, con el un aporte mínimo de combustible o comburente. Se requiere por lo menos tener una concentración de VOC entre 40 a 100 % del LEL. Cuando estos parámetros no están cercanos a este punto, el costo de operación de la flama se vuelve alto. Muchas refinerías de petróleo tienen este sistema como alternativa de eliminación de emergencia o para uso de batchs controlados. En el presente estudio no se considera esta alternativa, por ser antieconómica, al perderse a la atmósfera el calor que la incineración de VOC generaría.

- * **Oxidación Recuperativa,** en este caso, el calor generado por la combustión de los VOC se recupera hacia el proceso, de tal forma de se reduce el aporte de combustible adicional para la oxidación de los VOC.

En el proceso típico el calor obtenido por intercambiadores de calor se retorna al comienzo del flujo de aire contaminado, y/o al proceso

primario de tal forma de optimizar la eficiencia energética, a la vez de eliminar los COV.

Dentro de las ventajas de este sistema para la aplicación dada, no es afectada por los cambios en los COV de los distintos barnices utilizados. Fácil recuperación de calor mediante intercambiadores de calor. Relativamente baja inversión. Poco espacio y peso de la instalación. Ingreso de COV puede alcanzar el 50 % LEL.

En los contras, es alto el consumo de combustible, si la concentración de COV es baja, debido a que se tiene que alcanzar la temperatura de oxidación entre 700 a 1000°C

Esta alternativa es la que se ha escogido en este estudio, principalmente porque se puede integrar la recuperación de calor y la destrucción de los COV en un solo equipo, con una muy buena integración con el horno de barnizado en un solo conjunto, logrando una eficiencia más alta, que si se aplica a un proceso general de oxidación recuperativa de COV separado del horno.

- * **Oxidación Regenerativa**, en este caso el calor generado por la combustión de los COV se almacena en 2 o más lechos de cerámicas logrando regenerar el calor acumulado en estos lechos, mediante alternancia en los flujos de aire a través de estos lechos. Dentro de los

pro, se tiene que puede operar con bajas concentraciones de COV, bajos costos de operación y no le afecta el cambio de tipo y concentración de los contaminantes. En los contras requiere una instalación separada, voluminosa y pesada, la máxima concentración manejada es de 25% del LEL, altas temperaturas en la cámara de combustión con posible formación de NOx y sensibilidad al polvo o algunos vapores de los COV, que acortarian la vida de las cerámicas del lecho.

Es una alternativa viable al horno de láminas estudiado, pero que se excluye del presente estudio para enfocarnos en las posibilidades de solución con un proceso recuperativo adaptado a la aplicación estudiada.

CAPÍTULO III

ANÁLISIS DEL HORNO RECUPERATIVO

3.1 INTRODUCCIÓN

En este capítulo se señalarán las condiciones actuales de operación del horno de láminas barnizadas, y se analizarán las modificaciones del mismo, para integrarse a un sistema de oxidación recuperativo de COV, que mantenga las condiciones de operación iniciales internas del horno y que permita la recuperación de calor al proceso en forma eficiente.

3.2 REGIMEN DE OPERACIÓN ACTUAL

El horno de barnizado bajo estudio procesa láminas de hojalata de espesores entre 0.16 mm y 0.24 mm, con aplicación de diferentes pesos de recubrimiento seco de película de barniz, con barnices de diferente composición con relación a los COV emitidos, con una temperatura de polimerización entre 190°C y 210°C durante un tiempo de permanencia de 10 a 11 minutos, y una velocidad de procesamiento de 80 láminas por minuto.

El horno está dividido en 3 secciones:

1ra Zona: Tramo de calentamiento de la lámina desde la temperatura ambiente hasta la temperatura de polimerización del barniz. En esta zona se genera la evaporación de solventes contenidos en el barniz. El calor lo proporciona un quemador de GLP en conjunto con un ventilador de recirculación. En esta zona se encuentra la chimenea de salida de gases con tiro forzado mediante ventilador separado.

2da y 3ra Zona: Tramos de sostenimiento de la temperatura, cada zona con un quemador de GLP y ventilador de recirculación

A la salida del horno hay una zona de enfriamiento y apilamiento de las láminas.

Ver en la figura 18 un esquema actual de funcionamiento del Horno.

ESQUEMA ACTUAL DE FUNCIONAMIENTO DE HORNO DE BARNIZADO

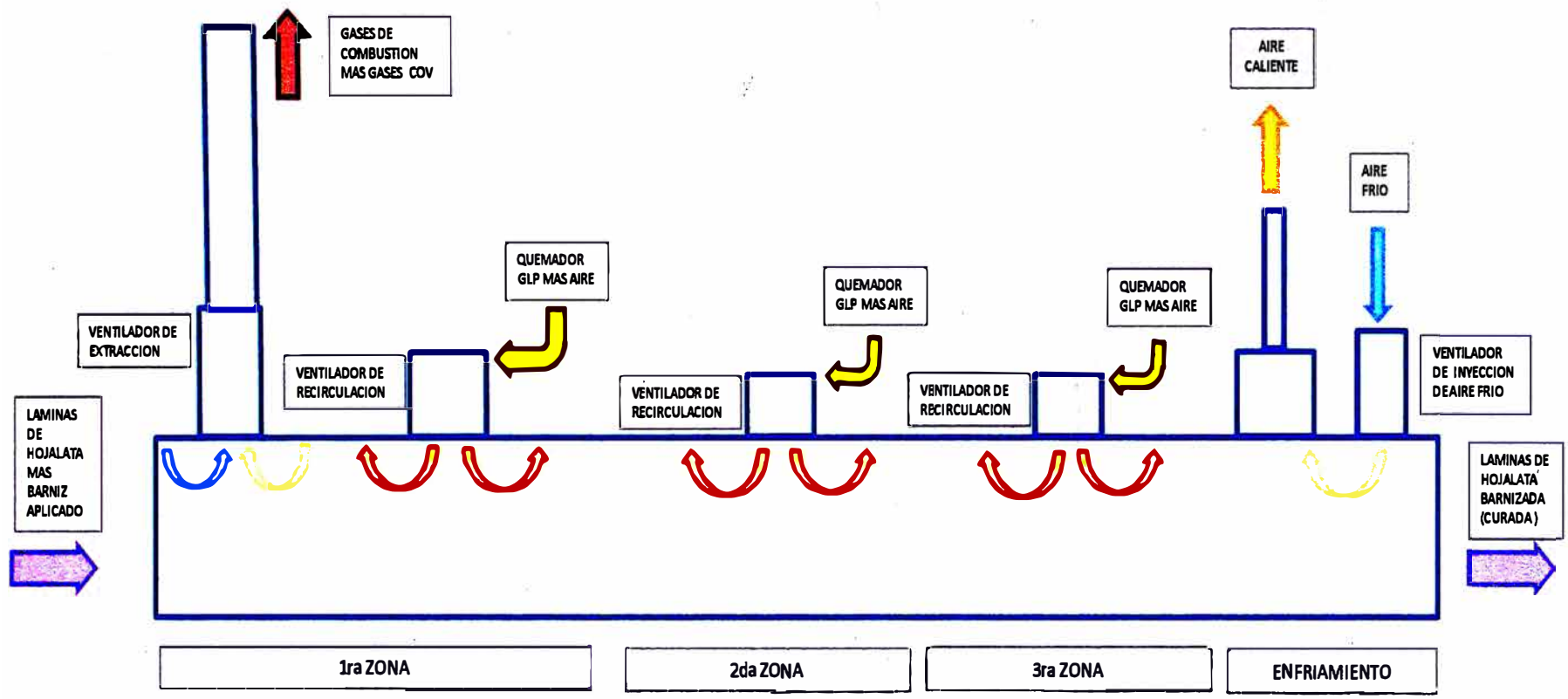


Fig. 18 - Esquema Actual de Funcionamiento del Horno de Barnizado

Los parámetros de operación y medición de gases se pueden revisar en detalle en el Anexos (Informe de Cinyde Emisiones en Horno).

Parámetros de Operación considerados para el Estudio:

Temperatura del Aire: 20°C

Temperatura de salida de gases de Proceso: 125°C

Laminas Procesadas por minuto: 80 u/min

Peso Min / Max de cada lamina: 0.85 / 1.05 Kg

Peso Min / Max de Solventes por Lamina: 6 / 16 g

Consumo de GLP promedio: 23 Glns / Hora

Volumen de Aire de escape en la Chimenea Principal:

9720 M3 / HR (Condiciones en la Chimenea)

6839 / HR (Condiciones Normales)

3.2.1. Análisis Energético del Horno actual:

El análisis energético nos permitirá evaluar la distribución de la energía del combustible en el horno y nos permitirá hacer un análisis inicial del cambio a un horno recuperativo integrado.

Como datos tenemos la cantidad de combustible consumido, la masa de láminas procesadas, las condiciones de salida de los gases de la chimenea.

Para efectos de cálculo se consideran las siguientes premisas:

- La zona de enfriamiento no aporta masa de aire a la zona de calentamiento, por lo que se le separa del análisis de las zonas de calentamiento 1, 2 y 3 del horno actúan sobre el calentamiento de las láminas y transportadores hasta la temperatura de 200 °C
- Estas 3 zonas también actúan en el mantenimiento de la temperatura durante el tiempo de 12 minutos.
- Los gases de combustión de los 3 quemadores de estas 3 zonas son eliminadas por la chimenea principal totalmente.

CÁLCULO TÉRMICO DEL HORNO ACTUAL

Se revisarán las fórmulas para cálculo de combustión:

Composición del Combustible $C_x H_y$

Peso molecular sería $= 12x + y$, ahora se va a calcular el peso centesimal del combustible cuyo peso molar sea 1.

$$\% \text{ en peso C} = \frac{C}{C + H} = \frac{12x}{12x + y}$$

$$\% \text{ en peso H} = \frac{H}{C + H} = \frac{y}{12x + y}$$

$$C + H = 1 \text{ kg}$$

$$x = C/12$$

$$y = H/1$$

Mediante un analizador de gases se tomaron los datos de gas seco de combustión.

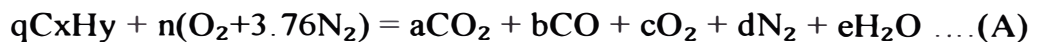
$$\%CO_2 = a$$

$$\%CO = b$$

$$\%O_2 = c$$

$$\%N_2 = d$$

La ecuación química para 100 moles de gas de salida seco es:



$$a + b + c + d = 100$$

Balance de Nitrógeno:

$$n \cdot 3.76 \cdot 2 = d \cdot 2 \quad n = d / 3.76$$

Balance de Carbono:

$$q \cdot x = a + b \quad q = (a + b) / x$$

Balance de Hidrógeno:

$$q \cdot y = 2 \cdot e \quad e = q \cdot y / 2 \quad e = (a + b) \cdot y / 2x$$

Balance de Oxígeno

$$2 \cdot n = 2 \cdot a + b + 2 \cdot c + e$$

Aire Teórico:

Calculando y reemplazando los pesos moleculares en la ecuación de balance (A), y el cálculo de “n” del Balance de Nitrógeno

Peso Aire Teórico Ar

$$Ar = n(O_2 + 3.76N_2) = (d / 3.76) \cdot (16 \cdot 2 + 3.76 \cdot 28) \text{ kg de aire seco}$$

$$Ar = d \cdot 137.28 / 3.76$$

$$Ar = \%N_2 \cdot 137.28 / 3.76$$

Masa de Combustible

Calculando y reemplazando los pesos moleculares en la ecuación de balance (A), y el cálculo de “q” del Balance de Carbono

$$\text{Masa de Combustible} = M_c$$

$$M_c = qC_xH_y$$

$$M_c = q * (\text{peso molecular de } C_xH_y = 1 \text{ kg}) \quad M_c = q * 1$$

$$M_c = q \quad q = (a + b) / x$$

$$q = (\%CO_2 + \%CO) / (C/12)$$

Relación Aire / Combustible Real

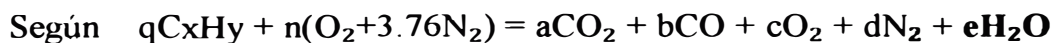
Reemplazando los valores del Aire real (A_r) y Masa de combustible (M_c)

$$R_{A/C_r} = A_r / M_c = (\%N_2 * 137.28 / 3.76) / ((\%CO_2 + \%CO) / (C/12))$$

$$R_{A/C_r} = (3.0425531 * \%N_2 * C) / (\%CO_2 + \%CO) \text{ kg Aire / kg Combustible}$$

De igual modo se calcula la Relación Aire / Combustible teórica

$$R_{A/C_t} = 137.28 n = 137.28 * (C/12 + H/4)$$

Cálculo del Flujo de Gases

Se van deducir todas las relaciones para cálculo

Ratio Peso CO_2 / Peso Comb

$$\text{Ratio Peso } CO_2 / \text{Peso Comb} = a * \text{peso molecular de } CO_2$$

$$a = \% CO_2 \text{ del análisis del gas seco}$$

$$\text{Peso } CO_2 = a * 44 \quad \text{Peso Combustible} = q$$

$$q = (a + b) / x$$

$$\text{Ratio Peso CO}_2 / \text{Peso Comb} = (a * 44) / ((a + b) / (C/12)) = 44/12$$

$$* C * (a / (a + b)) \text{ Kg CO}_2 / \text{Kg Comb}$$

Ratio Peso CO/ Peso Comb

$$\text{Peso CO} = b * \text{peso molecular de CO}$$

$$b = \% \text{ CO}$$

$$\text{Peso CO} =$$

$$\text{Peso Combustible} = q \quad \text{Peso Combustible} = q$$

$$\text{Ratio Peso CO} / \text{Peso Comb} = (b * 28) / ((a + b) / (C/12)) = 28/12$$

$$* C * (b / (a + b)) \text{ Kg CO} / \text{Kg Comb}$$

Ratio Peso O₂ / Peso Comb

En la salida es la diferencia entre el peso real menos peso teórico de O₂. Ósea el O₂ en exceso

$$\text{Ratio Peso O}_2 = (R A/C r - R A/C t) * \text{fracción en Peso O}_2 \text{ en el aire}$$

$$\text{Ratio Peso O}_2 = (R A/C r - R A/C t) * 0.233$$

Peso N₂ / Peso Comb

Todo el N₂ que ingresa es extraído

$$\text{Ratio Peso N}_2 = (R A/C r) * 0.767$$

Se han calculado todos los productos secos en peso = (CO₂ + CO + O₂ + N₂) / Kg de comb

Ratio Peso H₂O/ Peso Comb

Agua por Combustión = e*peso molecular de H₂O

$$e = q * y / 2 \quad \text{Peso H}_2\text{O} = (q * y / 2) * 18$$

Peso Combustible = q

$$\text{Ratio Peso H}_2\text{O} / \text{Peso Comb} = (q * y / 2) * 18 / q = 9 y = 9 * H \quad \text{Kg H}_2\text{O} / \text{Kg Comb}$$

Agua por Humedad del Aire

$$\text{Peso H}_2\text{O} \quad \text{Peso H}_2\text{O} = W * R \text{ A/C t}$$

W es la relación de humedad del aire entrante

$$\text{Peso total H}_2\text{O} / \text{Kg Comb} = 9 * H + W * (R \text{ A/C t})$$

Balance de Energía***Calores Entrantes***

$$- \text{Calor entrante de la carga} = Q_1$$

Q_1 = Calor contenido en la Carga por diferencia de temperatura a la entrada

$$Q_1 = M \text{ lam} * \text{CESP lam} * (T_i - T_r)$$

Donde

M lam = Masa de la carga de láminas en kg/hr

CESP lam = Calor específico de la carga en Kcal/kg o KJ/hr

T_i = Temperatura de ingreso de la Carga

T_r = Temperatura de referencia

En este caso la temperatura $T_i = T_r$, las láminas están a la temperatura ambiente

$$Q_1 = 0$$

- ***Calor entrante del Combustible = Q_2***

$Q_2 =$ Calor de combustión del combustible + Calor por Variación de temperatura del combustible

$$Q_2 = M \text{ comb} * PCS + M \text{ comb} * CESP \text{ comb} * (T_{ic} - T_r)$$

$M \text{ comb} =$ Masa de combustible en kg/hr

$PCS =$ Poder Calorífico Superior del Combustible en Kcal/kg o KJ / kg

$CESP \text{ comb} =$ Calor específico del combustible Kcal/kg $^{\circ}C$ o KJ/kg- $^{\circ}C$

$T_{ic} =$ Temperatura de ingreso del combustible $^{\circ}C$

$T_r =$ Temperatura de referencia $^{\circ}C$

En este caso $T_{ic} = T_r$, el GLP está a la temperatura ambiente

Simplificando

$$Q_2 = M \text{ comb} * PCS$$

- ***Calor entrante en el Aire Primario de Combustión (Húmedo) = Q_4***

$Q_4 =$ Calor en el Aire Primario Seco por diferencia de Temperatura + Calor contenido en el vapor de agua del Aire Primario

$$Q_4 = M_{ap} * CESP_a * (T_a - T_r) + M_{av} * H_{av}$$

$M_{ap} =$ Masa de Aire primario Seco

$CESP_a =$ Calor específico del aire primario

$T_a =$ Temperatura del aire primario

T_r = Temperatura de referencia

M_{av} = Masa de Vapor de Agua contenido en el Aire Primario

H_{av} = Entalpia del Vapor de Agua en el Aire Primario

- ***Calor entrante del Aire de Dilución (Húmedo) = Q_5***

Q_5 = Calor en el Aire de Dilución por diferencia de Temperatura +
Calor contenido en el vapor de agua del Aire de Dilución

$Q_5 = M_{ar} * CESP_a * (T_{ar} - T_r) + M_{avr} * H_r$

M_{ar} = Masa de Aire de Dilución

$CESP_a$ = Calor especifico del aire de dilución

T_{ar} = Temperatura del aire de Dilución

T_r = Temperatura de referencia

M_{avr} = Masa de Vapor de Agua contenido en el Aire de Dilución

H_{avr} = Entalpia del Vapor de Agua en el Aire de Dilución

Calores Salientes

- ***Calor saliente de la carga = Q_6***

Q_6 = Calor en la Carga a la temperatura de salida

$Q_6 = M_{lam} * CESP_{lam} * (T_s - T_r)$

Donde

M_{lam} = Masa de la carga de láminas en kg/hr

$CESP_{lam}$ = Calor especifico de la carga en Kcal/kg o KJ/hr

T_s = Temperatura de salida de la Carga

T_r = Temperatura de referencia

- ***Calor saliente en los Gases de Escape = Q_7***

Q_7 = Calor en los Gases por diferencia de Temp. + Calor contenido en el vapor de agua en los Gases + Calor no utilizado por inquemados CO

$$Q_7 = M_g * C_{ESPg} * (T_g - T_r) + M_{gv} * H_{gv} + M_{co} * PC_{Ico}$$

M_g = Masa de Gases Seco

C_{ESPg} = Calor especifico de los gases

T_g = Temperatura de los gases

T_r = Temperatura de referencia

M_{gv} = Masa de Vapor de Agua contenido en los Gases

H_{gv} = Entalpia del Agua contenido en los gases

M_{co} = Masa de CO

PC_{Sco} = Poder Calorifico Superior del CO en Kcal/kg o KJ / kg

$$M_{co} = R_{co/c} * M_c$$

$R_{co/c}$ = Relación de masa Co / masa Comb

$$M_{co} = 28/12 * C * (b/(a + b)) * M_c$$

- ***Calor Perdido a traves de las Paredes Envolvertes = Q_8***

Q_8 = Calor perdido por Radiación + Calor perdido por Convección

$$Q_8 = (Q_8' + Q_8'') * A_i$$

$$Q_8' = 4.88 * 4.184 * 10^{-8} * e * ((t_s + 273)^4 - (t_r + 273)^4) \text{ KJ/hr-m}^2$$

$$Q_8'' = (f * (2 / (t_s + t_r))^{0.188} * (t_s - t_r)^{1.226}) * 4.184 \text{ KJ/hr-m}^2$$

Donde

$f = 2.75$ Pared vertical

$f = 3.53$ Pared horizontal hacia arriba

$f = 1.75$ Pared horizontal hacia abajo

$e =$ Emitancia de la superficie exterior del Horno = 0.9 para chapa de acero pintada

$t_s =$ Temperatura de la Superficie Exterior

$t_r =$ Temperatura de referencia

$A_i =$ Area según se aplique el factor f

- ***Calor Perdido en los COV por calentamiento fase líquida + evaporación + calentamiento fase vapor = Q_9***

$$Q_9 = M_{cv} * CESP_{cvl} * (T_{ecv} - T_r) + M_{cv} * CEV_{cv} + M_{cv} * CESP_{cvg} * (T_g - T_{ecv})$$

$M_{cv} =$ Masa de COV kg/hr

$CESP_{cvl} =$ Calor específico del COV en fase líquida

$T_{ecv} =$ Temperatura de vaporización del COV

$T_r =$ Temperatura referencial = temperatura ambiente

$CEV_{cv} =$ Calor de Vaporización del COV

$CESP_{cvg} =$ Calor específico del COV en fase gaseosa

$T_g =$ Temperatura de los gases

Se asume Tolueno o Metilbenceno como VOC preponderante para el cálculo.

Calculando los Valores de Masa y Calor para el Caso en Estudio

Datos para el Horno

	Cant.	Largo	Ancho	Área	T Superficie
		m.	m.	m ²	°C
Paredes Verticales	2	35	2.5	175	28
Pared Horizontal Arriba	1	35	1.6	56	32
Pared Horizontal Abajo	1	35	1.6	56	25

$e =$ Emitancia de la superficie exterior del Horno = 0.9

Datos para el Combustible

Composición del GLP C_xH_y

Variable	Valor	Observación
x	0.0690	Composición molecular de C
y	0.1719	Composición molecular de H
C	0.8281	kg de C/kg de combustible
H	0.1719	kg de H/kg de combustible

PCS = 44609KJ/kg

Densidad a 23 °C y 100 psi = 0.483 kg/lit

Aire teórico de Combustión del GLP

$R_{A/C t} = 137.28 * (C/12 + H/4)$

$R_{A/C t} = 15.37 \text{ kg/Kg}$

$M_{comb} = \text{Masa de combustible en kg/hr} = 88.6 \text{ Lt/hr} = 42.76 \text{ kg/hr}$

Composición de la Carga de Láminas

Características de la Lámina de Hojalata

Largo	Ancho	Espesor	Densidad	Peso	Área
mm	mm	Mm	kg/m ³	kg	m ²
920	835	0.24	7865	1.450	0.768

CESP lam = Calor específico de la carga = 0.4600 J/kg-°C

Velocidad de Carga de Láminas al Horno

V lam = 4800 Lam/hr

M lam = V lam * peso lam = 6960 kg/hr

Ti = Temp Ingreso laminas 23°C

Ts = Temp Salida laminas = 200°C

Características del recubrimiento de Barniz de la Lámina

Peso de Barniz y Solvente Aplicados

Código VALSPAR 4001S13V

Tipo de barniz: B. Int. Blanco Epoxi-fenol.

Cont.	Dens.	Peso	Peso	Peso	Veloc.	Peso
Solidos	Barniz	Sólido	Solvent	Solvent	Láminas	Solvent
%	kg/lt	kg/m ²	kg/m ²	kg/lam	Lam/hr	kg/hr
50%	1.167	0.00659	0.00659	0.005061	4800	24.29

Mcv = Masa de COV kg/hr = 24.29 kg/hr

Dato de Metilbenceno o Tolueno como COV preponderante

CESPcvl = Calor específico del COV en fase líquida = 1.696 KJ/kg -°C

Tecv = Temperatura de vaporización del COV = 111°C

CEVcv= Calor de Vaporización del COV = 413.7 KJ/kg

CESPcvg = Calor específico del COV en fase gaseosa = 1.127 KJ/kg -°C

PCScv = Poder Calorífico Superior para Tolueno = 42434.7 KJ/kg

Datos para el Aire Ambiente

Tr = Temperatura Ambiente = 23 °C

HR = Humedad Relativa 67.3 %

Hesp = Humedad Especifica W = 0.012 kg vapor / kg aire seco

Hav = Entalpia del Vapor de Agua en el Aire a 23 °C = 2542 KJ/kg

Hav = Entalpia del Vapor de Agua en el Aire a 300 ° C = 3200 KJ/kg

Hav = Entalpia del Vapor de Agua en el Aire a 127 ° C = 2540 KJ/kg

peso O₂ = 23.31%

peso N₂=76.69%

CESPa = Calor específico del Aire = 1.00416 KJ/kg-°C

Ta = Temp Aire Primario = 23 °C

Tar = Temp Aire de Dilucion = 23 °C

Datos para los Gases

CESPg = Calor específico de los gases promedio = 1.00416 KJ/kg-°C

Hgv = Entalpia del Agua contenido en los gases a 127 °C = 2726 KJ/kg

Análisis de los Gases de Escape

O₂ = 19.4000 %

CO₂ = 1.1200 %

CO = 0.0183 %

$$N_2 = 79.4617 \%$$

$$\text{Total} = 100 \%$$

$$T_g = \text{Temperatura de los gases a la salida} = 127.5 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$\text{PCSCO} = \text{Poder Calorífico Superior del CO} = 10131 \text{ KJ/kg}$$

BALANCE DE MATERIA

1. Aire Teórico

$$\text{Mat} = R \text{ A/C t } * M \text{ comb}$$

$$\text{Mat} = 15.373 * 42.76 = 657.4 \text{ kg Aire Seco / hr}$$

2. Aire Primario con exceso de 25%

Asumimos un 25%

$$\text{Map} = \text{Mat} * (1 + \text{EA})$$

$$\text{Map} = 657.4 * (1 + 0.25) = 821.75 \text{ kg Aire Seco / hr}$$

Mav = Humedad en el aire primario

$$\text{Mav} = \text{Map} * W = 9.861 \text{ kg Agua/hr}$$

3. Aire de ingreso

$$\text{Ma} = R \text{ A/C r } * M \text{ comb}$$

$$R \text{ A/C r} = (3.0425531 * \%N_2 * C) / (\%CO_2 + \%CO)$$

$$R \text{ A/C r} = (3.0425531 * \%N_2 * C) / (\%CO_2 + \%CO)$$

$$R \text{ A/C r} = (3.0425531 * 79.4342 * 0.8281) / (1.01 + 0.0158)$$

$$R \text{ A/C r} = 175.89 \text{ kg aire seco / kg Comb}$$

$$\text{Ma} = 175.89 * 42.76 = 7521.25 \text{ kg aire seco / hr}$$

4. Humedad del Aire Primario y de Dilucion

$$M_h = M_a * W$$

$$M_h = 7521.25 * 0.012 = 90.25 \text{ kg / hr}$$

5. Aire de Dilución

$$M_{ar} = M_a - M_{ap}$$

$$M_{ar} = 7521.25 - 821.75 = 6699.50$$

M_{avr} = Humedad en el aire de dilución

$$M_{avr} = M_{ar} * W = 80.39 \text{ kg Agua/hr}$$

6. Caudal de Gases

Productos de Combustión (secos)

$$M_{CO_2} = R_{CO_2/Comb} * M_c$$

$$\text{Ratio } CO_2 / \text{Comb} = 44/12 * C * (a/(a + b))$$

$$\text{Ratio } CO_2 / \text{Comb} = 44/12 * C * (CO_2/(CO_2 + CO))$$

$$\text{Ratio } CO_2 / \text{Comb} = 44/12 * 0.8281 * (1.01/(1.01 + 0.0158))$$

$$\text{Ratio } CO_2 / \text{Comb} =$$

$$M_{CO_2} = 2.989 * 42.76 = 127.76 \text{ kg/hr}$$

$$M_{CO} = R_{CO/Comb} * M_c$$

$$\text{Ratio } CO / \text{Comb} = 28/12 * C * (b/(a + b))$$

$$\text{Ratio } CO / \text{Comb} = 28/12 * C * (CO/(CO_2 + CO))$$

$$\text{Ratio } CO / \text{Comb} = 28/12 * 0.8281 * (0.0158/(1.01 + 0.0158))$$

$$\text{Ratio CO / Comb} = 0.03106$$

$$\text{MCO} = 0.02976 * 42.76 = 1.33 \text{ kg/hr}$$

$$\text{MO}_2 = (\text{Ma} - \text{Mat}) * \text{peso}\% \text{O}_2$$

$$\text{MO}_2 = (\text{Maire-gases} - \text{Maire teórica}) * \text{peso}\% \text{O}_2$$

$$\text{MO}_2 = (7521.25 - 657.40) * 0.2331 = 1599.97 \text{ kg/hr}$$

$$\text{MN}_2 = (\text{Maire-gases}) * \text{peso}\% \text{N}_2$$

$$\text{MN}_2 = (\text{Ma}) * \text{peso} \% \text{N}_2$$

$$\text{MN}_2 = (7521.25) * 0.7669 = 5768.04 \text{ kg/hr}$$

$$\text{Mg} = \text{MCO}_2 + \text{MCO} + \text{MO}_2 + \text{MN}_2$$

$$\text{Mg} = 7497.10 \text{ kg/hr}$$

$$\text{Mgv} = \text{Humedad en gas de Escape}$$

$$\text{Mgv} = \text{Humedad de combustión} + \text{agua en el aire ingresante}$$

$$\text{Humedad de combustión} = 9 * \text{H} * \text{Mc}$$

$$\text{Humedad de combustión} = 66.81 \text{ kg/hr}$$

$$\text{Humedad en el Aire ingresante} = 90.3 \text{ kg/hr}$$

$$\text{Mgv} = 157.07 \text{ kg/hr}$$

BALANCE DE MATERIA

ENTRADA

BALANCE DE MATERIA		
ENTRADA	kg/hr	%
1. Combustible	43	0.29%
2. Producto	6960	47.55%
3. COV	24	0.17%
4. Aire Combustión	822	5.61%
5. Aire Dilución	6699	45.77%
6. Humedad del Aire	90	0.62%
Total	14639	100.00%
SALIDA		
1. Gases de Chimenea Secos	7497	51.21%
2. Vapor de Agua	157	1.07%
3. Producto	6960	47.55%
4. COV	24	0.17%
Total	14639	100.00%

BALANCE DE ENERGIA

A) Calores entrantes

Q_1 = Calor contenido en la Carga por diferencia de temperatura a la entrada

$$Q_1 = 0 \text{ KJ/hr}$$

Q_2 = Calor de combustión del combustible + Calor por Variación de temperatura del combustible

$$Q_2 = M_{\text{comb}} * PCS = 42.76 * 44609 = 1907601 \text{ KJ/hr}$$

Q_4 = Calor en el Aire Primario Seco por diferencia de Temperatura + Calor contenido en el vapor de agua del Aire Primario

$$Q_4 = M_{\text{ap}} * C_{\text{ESPa}} * (T_a - T_r) + M_{\text{av}} * H_{\text{av}}$$

$$M_{\text{ap}} = \text{Masa de Aire primario Seco} = 821.75 \text{ kg Aire Seco / hr}$$

$CESPa = \text{Calor específico del aire primario} = 1.00416 \text{ KJ/kg-}^\circ\text{C}$

$Ta = \text{Temperatura del aire primario} = 23^\circ\text{C}$

$Tr = \text{Temperatura de referencia} = 23^\circ\text{C}$

$Mav = \text{Humedad en el Aire Primario} = 9.861 \text{ kg Agua/hr}$

$Hav = \text{Entalpia Vapor de Agua en el Aire Primario} = 104.6 \text{ KJ/kg}$

$Q_4 = 1031.5 \text{ KJ/hr}$

$Q_5 = \text{Calor en el Aire de Dilución por diferencia de Temperatura} +$
 $\text{Calor contenido en el vapor de agua del Aire de Dilución}$

$Q_5 = Mar * CESPa * (Tar - Tr) + Mavr * hr$

$Mar = \text{Masa de Aire de Dilución} = 6699.50 \text{ kg aire seco / hr}$

$CESPar = \text{Calor específico del aire de dilución} = 1.00416 \text{ KJ/kg-}^\circ\text{C}$

$Tar = \text{Temperatura del aire de Dilución} = 23^\circ\text{C}$

$Tr = \text{Temperatura de referencia} = 23^\circ\text{C}$

$Mavr = \text{Humedad en el aire de dilución} = 80.39 \text{ kg Agua/hr}$

$Havr = \text{Entalpia del Vapor de Agua en el Aire de Dilución} = 104.6 \text{ KJ/kg}$

$Q_5 = 8409.2 \text{ KJ/hr}$

B) Calores salientes

$Q_6 = \text{Calor en la Carga a la temperatura de salida}$

$Q_6 = M_{lam} * CESP_{lam} * (Ts - Tr)$

$M_{lam} = \text{Masa de la carga de láminas} = 6960 \text{ kg/hr}$

$CESP_{lam} = \text{Calor específico de la carga} = 0.4600 \text{ J/kg-}^\circ\text{C}$

$Ts = \text{Temperatura de salida de la Carga} = 200^\circ\text{C}$

$T_r = \text{Temperatura de referencia} = 23^\circ\text{C}$

$Q_6 = 566704 \text{ KJ/hr}$

Calor saliente en los Gases de Escape = Q_7

$Q_7 = \text{Calor en los Gases} + \text{Calor en el vapor de agua en los Gases}$

+ Calor no utilizado por inquemados CO

$Q_7 = M_g * C_{ESPg} * (T_g - T_r) + M_{gv} * H_{gv} + M_{co} * PC_{Sco}$

$M_g = \text{Masa de Gases Seco} = 7497.10 \text{ kg/hr}$

$C_{ESPg} = \text{Calor específico de los gases} = 1.00416 \text{ kJ/kg-}^\circ\text{C}$

$T_g = \text{Temperatura de los gases} = 127.5^\circ\text{C}$

$T_r = \text{Temperatura de referencia} = 23^\circ\text{C}$

$M_{gv} = \text{Masa de Vapor de Agua contenido en los Gases} = 157.07 \text{ kg/hr}$

$H_{gv} = \text{Entalpia del Agua contenido en los gases} = 2726 \text{ KJ/kg}$

$PC_{Sco} = \text{Poder Calorífico Superior del CO} = 10131 \text{ KJ/kg}$

$M_{co} = \text{Masa de CO} = 1.33 \text{ kg/hr}$

$Q_7' = \text{Calor en los Gases} = 786706 \text{ KJ/hr}$

$Q_7'' = \text{Calor en el vapor de agua en los Gases} = 428169 \text{ KJ/hr}$

$Q_7''' = \text{Calor no utilizado por inquemados CO} = 13458 \text{ KJ/hr}$

$Q_{7iv} = \text{Calor en los gases de dilución} = 703010 \text{ KJ/hr}$

$Q_{7v} = \text{Calor en el vapor de aire dilución} = 219154 \text{ KJ/hr}$

$Q_7 = 1228333 \text{ KJ/hr}$

Calor Perdido a través de las Paredes Envloventes = Q_8

$Q_8 = \text{Calor perdido por Radiación} + \text{Calor perdido por Convección}$

$$Q_8 = (Q_8' + Q_8'') * A_i$$

$$Q_8' = 4.88 * 4.184 * 10^{-8} * e * ((t_s + 273)^4 - (t_r + 273)^4) \text{ KJ/hr-m}^2$$

$$Q_8'' = (f * (2 / (t_s + t_r))^{0.188} * (t_s - t_r)^{1.226}) * 4.184 \text{ KJ/hr-m}^2$$

Donde

f = 2.75 Pared vertical

f = 3.53 Pared horizontal hacia arriba

f = 1.75 Pared horizontal hacia abajo

e = Emitancia de la superficie exterior del Horno = 0.9

t_s = Temperatura de la Superficie Exterior

t_r = Temperatura de referencia

A_i = Área según se aplique el factor f

Paredes Verticales Tipo 1

Pared Horizontal Arriba Tipo 2

Pared Horizontal Abajo Tipo 3

Tipo	Área	f	T _s	T _r	Q _{8'}	Q _{8''}	Q ₈
	m ²	factor	°C	°C	KJ/hr-m ²	KJ/hr-m ²	KJ/hr
1	175	2.75	28	23	97.8	45.0	24986
2	56	3.53	32	23	179.6	117.1	16614
3	56	1.75	25	23	38.5	9.4	2684

$$Q_8 = \text{Total} \quad 44285 \text{ KJ/hr}$$

Calor Perdido en los COV por calentamiento fase líquida +
evaporación + calentamiento fase vapor

$$Q_9 = M_{cv} * C_{ESPcvl} * (T_{ecv} - T_r) + M_{cv} * C_{EVcv} + M_{cv} * C_{ESPcvg} * (T_g - T_{ecv})$$

$M_{cv} = \text{Masa de COV kg/hr} = 24.29 \text{ kg/hr}$

$CESPC_{vl} = \text{Calor específico del COV en fase líquida} = 1.696 \text{ KJ/kg } ^\circ\text{C}$

$T_{cv} = \text{Temperatura de vaporización del COV} = 111 \text{ KJ/kg}$

$T_r = \text{Temperatura referencial} = \text{temperatura ambiente} = 23 \text{ }^\circ\text{C}$

$CEV_{cv} = \text{Calor de Vaporización del COV} = 413.7 \text{ KJ/kg}$

$CESPC_{vg} = \text{Calor específico del COV en fase gaseosa} = 1.127 \text{ KJ/kg } ^\circ\text{C}$

$T_g = \text{Temperatura de los gases} = 127.5 \text{ }^\circ\text{C}$

$Q_9 = 14125 \text{ KJ/hr}$

BALANCE DE ENERGÍA			
ENTRANTE		KJ/hr	%
Producto	$Q_1 =$	0	0.0
Combustible	$Q_2 =$	1907601	89.3
Aire Combustión	$Q_4 =$	25067	1.2
Aire Dilución	$Q_5 =$	204442	9.6
	Total	2137110	100.0
SALIENTE			
		KJ/hr	%
Producto	$Q_6 =$	566704	26.5%
Gases Secos de dilución	$Q_7' =$	786706	36.8%
Humedad Gases	$Q_7'' =$	426441	20.0%
Inquemados Gaseosos	$Q_7''' =$	13458	0.6%
Radiación y Convección	$Q_8 =$	44285	2.1%
Vaporización COV	$Q_9 =$	14125	0.7%
Calentamiento de parrillas		285390	13.4%
	Total	2137110	100.0%

3.2.2. Proceso Térmico Recuperativo

El proceso térmico recuperativo posterior, toma los gases de escape contaminados del horno, son precalentados con los gases de salida del

oxidador recuperativo (separado del horno) de tal forma que eleva la temperatura de los gases, antes de ser oxidados, con lo que el aporte de energía en el oxidador se reduce. Sin embargo, el oxidador como el horno tienen sus quemadores separados.

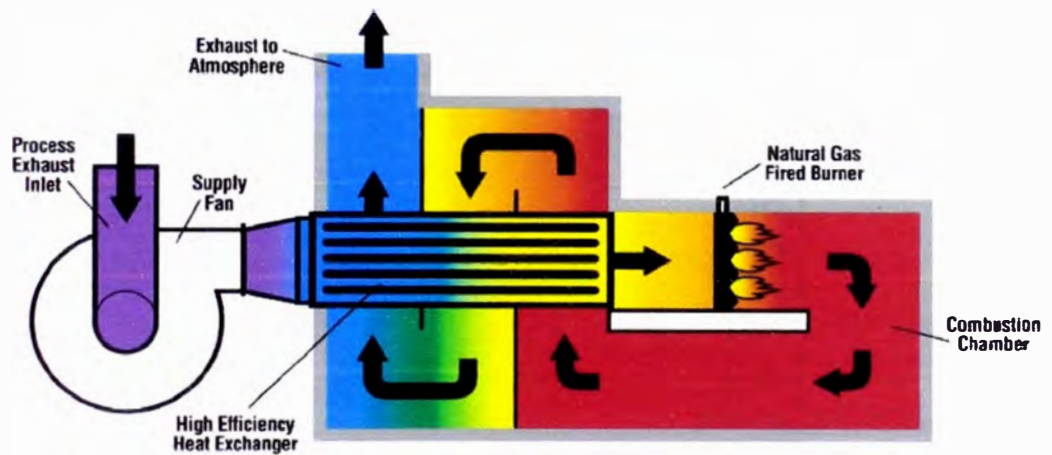


Fig. 19 - Esquema de un Ciclo Recuperativo Simple

Este esquema tiene eficiencia moderada, y aumenta en función de la carga de VOC en los gases contaminados.

Cálculo Másico

Los gases de escape del Horno es la entrada al Incinerador Recuperativo.

A continuación se desarrollará el cálculo térmico tomando esta consideración y se calculará la masa de combustible que se requiere en el incinerador.

Del cálculo de la sección anterior se obtiene la composición másica de los gases de escape del Horno:

Análisis de los Gases a la salida del Horno		
Componente	kg / hr	Composición
CO ₂	127.8	1.7%
CO	1.3	0.0%
O ₂	1600.0	20.8%
N ₂	5768.0	75.1%
H ₂ O	157.1	2.0%
COV	24.3	0.3%
Total	7678.5	100.0%

Notar que existe un contenido alto de O₂, que permitiría que la combustión de los COV y del combustible adicional que se requiere.

Si los COV presentes en los gases de escape se oxidan completamente se generarían productos de combustión que se calculara:

Datos del VOC		
Formula	C₇H₈	Tolueno
C	0.9130	kg C /kg comb
H	0.0870	kg H /kg comb
X	0.0761	Cx
Y	0.0870	Hy
PCSvc	42434.7	kJ/kg

Balance de la combustión de los COV de 24.3 kg/hr contenido en los gases de escape del Horno, los demás componentes no cambian.

Productos Generados por COV		
CO ₂	250.17	kg/hr
H ₂ O	38.02	kg/hr
Consumo para COV		
O ₂	76.04	kg/hr

Para el consumo de GLP adicional en este proceso de incineración se analiza el proceso de combustión:

Calculo para 1 kg GLP			
Peso de C	C =	0.8281	kg C / kg Comb
Peso de H	H =	0.1719	kg H / kg Comb
O ₂ Consumido	= 32*(C/12 + H/4)	3.583	kg/ kg comb
CO ₂ Generado	= 44*C	36.437	kg/ kg comb
H ₂ O Generado	= 18*H	3.094	Kg/ Kg comb
PCS		47063	kJ/kg comb

Si M_{c1} es el gasto de GPL en el incinerador por hora, el balance de masa en el incinerador quedaría así:

Masa entrante + Masa comb glp = Masa gases chimenea incinerador

$$7865.5 \text{ kg} + M_{c1} = M_{gi}$$

Aquí se resume el cálculo de masa para los gases de escape del incinerador en función de la masa de combustible del incinerador que es incógnita.

	Gases Entrada	Combustión VOC	Combustión GLP	Total
Gases Secos	kg/hr	kg/hr	kg/hr	kg/hr
CO ₂	127.8	250.17	= 36.437*Mci	
CO	1.3	0.00	0.0	
O ₂	1600.0	-76.04	= -3.583*Mci	
N ₂	5768.0	0.00	0.0	
Total	7497.1	174.13	=32.854*Mci	=7671.2 + 32.854*Mci
Humedad	kg/hr	kg/hr	kg/hr	kg/hr
H ₂ O	157.1	38.02	3.094*Mci	=195.1 + 3.094*Mci

Donde Mci es la masa del glp del incinerador.

Calculo Energético

Si asumimos pérdidas de calor en el incinerador con un factor F y una Temperatura de salida de los gases óptimo de 250°C (100°C por encima del valor de entrada) y a 550°C por debajo de los 800 °C de la temperatura de la cámara, que se requiere para incinerar los gases, y considerando la alta presencia de aire en los gases, se tendría:

Para el incinerador:

$$(\text{Calor ingresante} + \text{Calor combustibles}) * F = \text{Calor saliente}$$

Para los gases ingresantes:

Calor ingresante, del balance del Horno del primer caso, se tiene:

Calor en los gases secos = 786706 kJ / hr

Calor en agua en los gases = 426441 KJ / hr

Total = 1213147 KJ/hr

Calor Combustibles = Calor COV + Calor glp

Calor COV = 1030761 KJ

Calor glp = $Mc_1 * 47063$ KJ/hr

Calor ingresante = $1213147 + 1030761 + 47063 * Mc_1$

Calor ingresante = $2243908 + 47063 * Mc_1$

Calor disponible = $F*(2243908 + 47063*Mc_1)$

Calor disponible = $F*(G + H*Mc_1)$ parametrizado.

Calor saliente en los Gases de Escape = Q_s

$Q_s = \text{Calor en los Gases} + \text{Calor en el vapor de agua en los Gases}$

$Q_s = M_{gi} * CESP_g * (T_g - Tr) + M_{gv} * H_{gv}$

$M_{gi} = \text{Masa de Gases Seco del incinerador}$ Kg/hr

$CESP_g = \text{Calor específico de los gases} = 1.00416$ KJ/kg-°C

$T_{gi} = \text{Temperatura de los gases del incinerador} = 250^\circ\text{C}$

$Tr = \text{Temperatura de referencia} = 23^\circ\text{C}$

$M_{giv} = \text{Masa de Vapor de Agua en los Gases del incinerador}$ KJ/kg

$H_{giv} = \text{Entalpia del Agua contenido en los gases} = 2875.5$ KJ/kg

$Q_s = M_{gi} * CESP_g * (T_{gi} - Tr) + M_{gv} * H_{gv}$

Si $M_{gi} = A + B*M_{ci}$ y $M_{gv} = C + D*M_{ci}$

$Q_s = (A + B*M_{ci})*CESP_g*(T_{gi}-Tr) + (C + D*M_{ci})*H_{gv}$

Calor Disponible = Calor Saliente

$F*(G + H*M_{ci}) = (A+ B*M_{ci})*CESP_g*(T_{gi}-Tr) + (C + D*M_{ci})*H_{gv}$

$$F \cdot G + F \cdot H \cdot M_{ci} = A \cdot CESP_g \cdot (T_{gi} - T_r) + B \cdot M_{ci} \cdot CESP_g \cdot (T_{gi} - T_r) + C \cdot H_{gv} + D \cdot H_{gv} \cdot M_{ci}$$

$$(F \cdot H - B \cdot CESP_g \cdot (T_{gi} - T_r) - D \cdot H_{gv}) \cdot M_{ci} = A \cdot CESP_g \cdot (T_{gi} - T_r) + C \cdot H_{gv} - F \cdot G$$

$$M_{ci} = (A \cdot CESP_g \cdot (T_{gi} - T_r) + C \cdot H_{gv} - F \cdot G) / (F \cdot H - B \cdot CESP_g \cdot (T_{gi} - T_r) - D \cdot H_{gv})$$

Reemplazando los valores de:

$$\text{Masa de gases secos} = 7671.2 + 32.854 \cdot M_{ci}$$

$$\text{Masa de humedad} = 195.1 + 3.094 \cdot M_{ci}$$

$$A = 7671.2$$

$$B = 32.854$$

$$C = 195.1$$

$$D = 3.094$$

$$\text{Calor disponible} = F \cdot (2243908 + 47063 \cdot M_{c1})$$

$$F = 0.97 \text{ (3 \% de perdidas en el incinerador)}$$

$$G = 2243908$$

$$H = 47063$$

Reemplazando estos valores :

$$M_{ci} = 5.416 \text{ kg / hr}$$

Con relacion al consumo de glp en el horno se tiene este valor:

$$R_{i/h} = 5.416 / 42.760 = 12.67 \% \text{ adicional}$$

Es decir se requiere combustible adicional para poder quemar los COV de gases de escape.

Si en la ecuación ponemos $M_{ci} = 0$ kg/hr, obtendremos la Temperatura a la cual se consigue un consumo adicional nulo

$$T_{gi} = (F \cdot G - C \cdot H_{gv}) / (A \cdot CESP_g) + T_r$$

$$T_{gi} = 230^\circ\text{C} \text{ y } M_{ci} = 0 \text{ kg/hr}$$

Es decir si el intercambiador se diseña de tal forma que la temperatura de a la salida del intercambiador, puede ser más bajo de este valor, no habría forma de ahorrar combustible, para el proceso en el horno.

Aparte para en el diseño de la Cámara de combustión del Incinerador, es necesario que los gases alcancen la máxima temperatura posible cercana a los 800°C y sostenerlo durante 1 segundo, para garantizar la incineración de los VOC, y de allí tenemos que bajar la temperatura de los gases al mínimo posible en el intercambiador posterior a la salida de la Cámara de Combustión, para mejorar la eficiencia del proceso.

En el estudio se ha tomada la mayor carga que se maneja en planta. Siendo que existe carga de VOC menores en espesores de Barnices más delgados, o barnices con menor contenidos de VOC.

3.2.3. Proceso Térmico Recuperativo Integrado

A fin de maximizar la eficiencia térmica se propone un ciclo integrado con el horno, de tal forma que solo haya un solo quemador central a alta temperatura, que derive calor al proceso dentro del horno, y un sistema de control que permita tener parámetros de flujo y temperatura regulados, en conjunto con la variación de carga de laminas y concentraciones de solventes en los barnices.

En los planos se muestra el sistema propuesto, que se monta encima del horno actual, utilizando los mismos ventiladores de circulación existentes, pero reemplazando los quemadores actuales por ductos con servo válvulas, y motores de velocidad variable.

En la Fig.20, se muestra un esquema simplificado del sistema integrado.

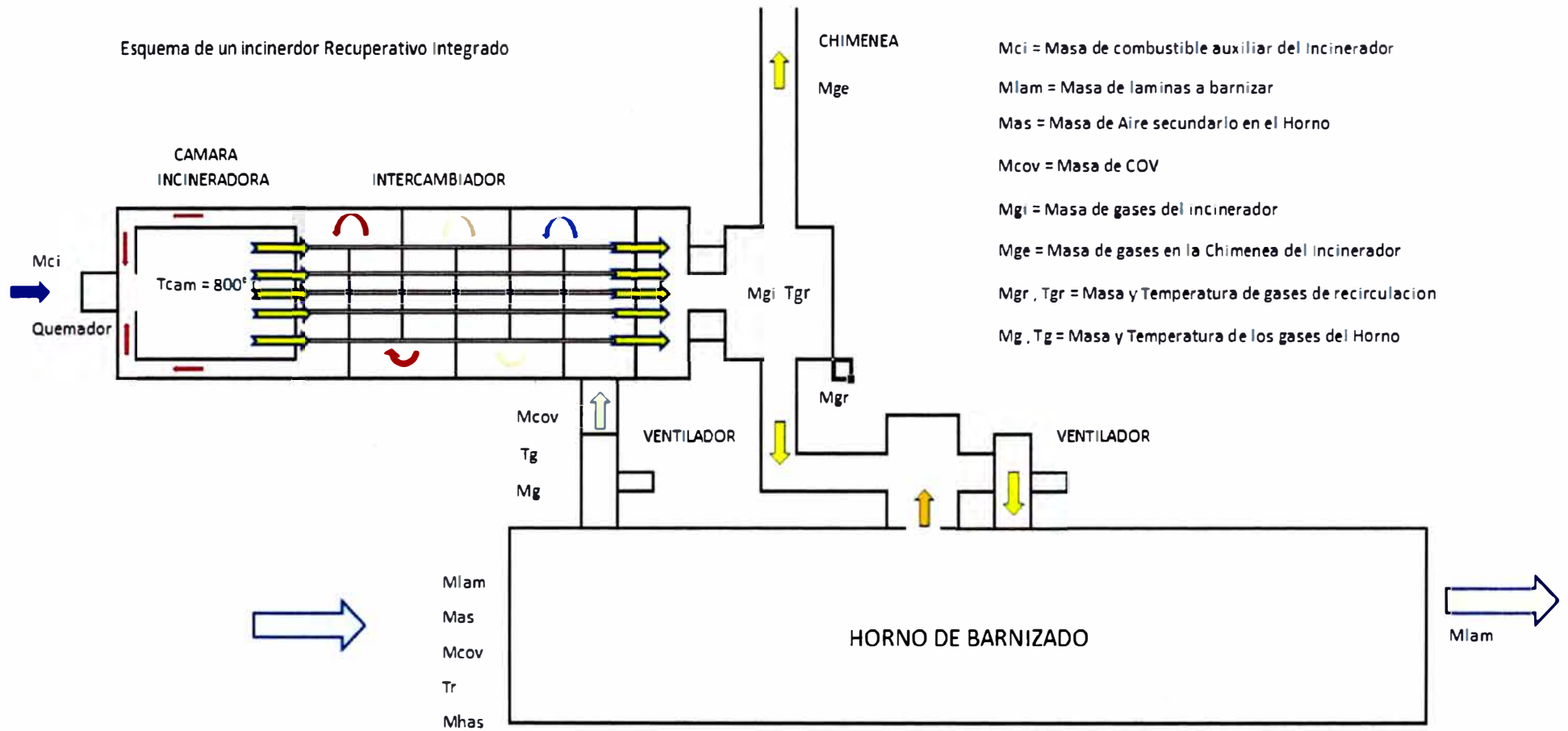


Fig. 20 - Esquema de Incinerador Regenerativo Integrado

Para efectos de cálculo haremos algunas consideraciones:

Horno de Barnizado:

- Masa de Aire Secundario es la misma que en los casos anteriores, porque depende de la geometría del horno.
- La masa de Láminas Barnizadas es la misma (M_{lam})
- La masa de COV es la misma (M_{cov})
- La $T_r = 23^\circ\text{C}$ es la misma
- La temperatura de gases del Horno es la misma, depende de la estabilidad y gradiente de distribución de la temperatura dentro del horno, la cual no ha sido modificada.
- $T_g = 127.5^\circ\text{C}$
- La masa de Aire Secundario contiene suficiente Oxígeno para sostener la combustión en el Incinerador
- Los calores por pérdidas, calor de láminas, calor del Aire Secundario; sea entrantes y salientes no varían.

Incinerador:

- La temperatura de los Gases de salida es la misma
- $T_{gr} = 250^\circ\text{C}$
- La temperatura de Cámara de Incineración es la misma
- $T_{cam} = 800^\circ\text{C}$
- Se asume la misma pérdida de calor $F = 0.97$

Balance de Masa al conjunto Horno-Incinerador tenemos lo siguiente:

Masa Entrante:

- M_{lam} = Masa de láminas
- M_{as} = Masa de aire secundario Seco
- M_{sh} = Humedad en el Aire Secundario
- M_{cov} = Masa de COV
- M_{ci} = Masa de glp del incinerador

Masa Saliente

- M_{lam} = Masa de Laminas
- M_{ge} = Masa de gases de Escape Seco
- M_{geh} = Humedad en gases de Escape

Balance para cada componente de los Gases de Escape:

$$\text{Para } O_2(M_{ge}) = +O_2(M_{as}) - O_2(M_{cov}) - O_2(M_{ci})$$

Donde cada término corresponde a la masa de oxígeno entrante (+) menos la masa consumida (-) en la combustión de M_{cov} y M_{ci}

$$\text{Para } H_2O(M_{geh}) = + H_2O(M_{as}) + H_2O(M_{cov}) + H_2O(M_{ci})$$

Donde cada término corresponde a la masa de agua entrante en el M_{geh} y el generado por la combustión de M_{cov} y M_{ci} .

Para N_2 (Mge) = Para N_2 (Mas) no existe variación porque no interviene en los procesos químicos.

$$\text{Para } CO_2 \text{ (Mge)} = CO_2 \text{ (Mcov)} + CO_2 \text{ (Mci)}$$

Entonces sumando los factores:

$$Mge = O_2(Mge) + N_2(Mge) + CO_2 (Mge)$$

$$Mge = +O_2(Mas) - O_2(Mcov) - O_2(Mci) + N_2(Mas) + CO_2 (Mcov) + CO_2 (Mci)$$

$$Mgeh = H_2O(Mgeh)$$

Se resumen los pesos calculados

	Gases Entrada	Combustión VOC	Combustión GLP	Total Gases Escape
Gases Secos	kg/hr	kg/hr	kg/hr	kg/hr
CO ₂	0.0	250.17	= 36,437*Mci	
CO	0.0	0.00	0.0	
O ₂	1561.7	-76.04	= -3,583*Mci	
N ₂	5137.8	0.00	0.0	
Total	6699.5	174.13	=32,854*Mci	=6873.63 + 32,854*Mci
Humedad	kg/hr	kg/hr	kg/hr	kg/hr
H ₂ O	80.4	38.02	3,094*Mci	=118.4 + 3,094*Mci

Balance de Calor:

Los calores de entrada son:

Calor en la Carga de Láminas, está a la temperatura del ambiente

$$Q_1 = 0 \text{ KJ/hr}$$

Calor en la masa de aire secundario, del Balance de Energía del primer caso analizado. (Aire seco más humedad)

$$Q2 = 204442 \text{ KJ/hr}$$

Calor del VOC, del cálculo del segundo caso analizado.

$$Q3 = 1030761 \text{ KJ/hr}$$

Calor del glp en el incinerador

$$Q4 = PCS * M_{ci} \text{ KJ/hr}$$

Los calores de Salida:

Calor en las láminas, del cálculo del caso inicial

$$Q5 = 566704 \text{ KJ/hr}$$

$$Q6 = \text{Calor Perdido en Parrillas} = 329675 \text{ KJ/hr}$$

Calor en los Gases de Escape

$$Q7 = \text{Calor en Gases secos} + \text{Calor en humedad}$$

$$Q7 = M_{ge} * C_{ESPge} * (T_{gr} - T_r) + M_{gev} * H_{gev}$$

Entonces:

$$F(Q1 + Q2 + Q3 + PCS * M_{ci}) = Q5 + Q6 + M_{ge} * C_{ESPge} * (T_{gr} - T_r) + M_{gev} * H_{gev}$$

$$F(1235203 + PCS * M_{ci}) = 869379 + (6873.63 + 32.854 * M_{ci}) * C_{ESPge} * (T_{gr} - T_r) + (118.4 + 3.094 * M_{ci}) * H_{gev}$$

Reemplazando:

$$C_{ESPge} = 1.00416 \text{ KJ/kg-}^\circ\text{C}$$

$$T_{gr} = 250^\circ\text{C}$$

$$T_r = 23^\circ\text{C}$$

$$F = 0.97$$

$$\text{PCS} = 47063 \text{ KJ/kg}$$

$$\text{Hgev} = 2875.5 \text{ KJ/kg}$$

Tabulando resultados modificando los valores de Tge, Hgev y Mci se obtiene:

Tge	Mci	Operación Normal	Ahorro	Operación/año	Ahorro Anual
°C	kg/hr	kg/hr	kg/hr	hrs	kgs
250	54.91	42.76	0	4224	0
200	39.90	42.76	2.86	4224	12080
180	32.39	42.76	10.37	4244	43802

Es decir, que bajando la temperatura de los gases Tge se puede obtener ahorros en el consumo de glp con este sistema integrado.

En el segundo caso de un incinerador recuperativo simple, podemos consumir cero combustible adicional, si bajamos la temperatura de salida del incinerador, pero aun así, seguimos consumiendo en el horno la misma cantidad de combustible.

Verificando el diseño de la Cámara de Incineración y del Intercambiador se puede obtener temperaturas con un diferencial de 30 a 40° C, que permitiría obtener estos ahorros.

Revisando la cotización de los fabricantes de estos equipos, ofrecen operar la temperatura de salida de los gases hasta 180°C, lo cual coincide con los cálculos realizados.

CAPÍTULO IV

ESTRUCTURA DE COSTOS

4.1 INTRODUCCIÓN

El objetivo principal del estudio es eliminar los COV presentes en la chimenea del Horno, con el mejor aprovechamiento posible de la energía calorífica de la combustión de los mismos COV, logrando un balance de operación en todo el rango. El sistema de un Horno con Incinerador Recuperativo integrado combina los dos objetivos del Estudio. Experiencias de los fabricantes de estos equipos en el tiempo, nos dan un punto de comparación económica para distintas alternativas. Asimismo experiencias cercanas de compañías afines, confirman el estimado de ahorros involucrados.

4.2 COSTOS DE INVERSIÓN Y OPERACIÓN

En el anexo 3, se muestra un presupuesto de un equipo incinerador por recuperación integrado.

Costo de Adquisición, Envío y nacionalización:	US \$ 421,050
Gastos de instalación	US \$ 20,000
Total Inversión:	US\$ 441,000
Gastos de Mantenimiento Anual (Estimado)	US\$ 4,000
Gastos de operación Anual (Energía eléctrica)	US\$ 6000

4.3 ANÁLISIS ECONÓMICO

Para hacer un análisis se requiere saber el ahorro anual del equipo para calcular el retorno de la inversión y el plazo para amortizarlo.

De los cálculos de la sección anterior se tiene un ahorro de consumo de glp estimado por año.

El costo actual del GLP es de US\$ 0.98/kg y considerando el ahorro de glp máximo calculado, se tendría: $43802 \text{ kg} * 0.98 = \text{US\$ } 42925$

Aparte se gasta al año US\$ 12000 por análisis ambientales derivados de la emisión de COV.

Si el peso de película del barniz se aplica, tal como se estaba ya ensayando con barnices de otras marcas, implica que la cantidad de solvente puede aumentar, con lo que el ahorro extra se puede dar. Estimado un 20% extra del ahorro.

Resumiendo:

Ahorro proyectado anual	US\$ 42925
Ahorro de gastos en Análisis Ambientales	US\$ 12000
Ahorro extra por incremento de espesor de Barniz	US\$ 8585
Total ahorro	US\$ 63510
Menos Gastos anuales	US \$ 10000
Ahorro neto anual	US \$ 53510
Tiempo para amortizarlo	8.24 años

CONCLUSIONES

Luego de este estudio de un Sistema de Oxidación Térmica Regenerativa Integrado con un Horno de Barnizado de Láminas de Hojalata, se tiene las siguientes conclusiones:

1. El objetivo principal de eliminación de COV está cubierto con esta solución. Otra solución no integrada al proceso, implicaría un consumo adicional pequeño o nulo, pero no lograría un ahorro efectivo que permita generar flujo para el retorno de la inversión.
2. Se verifica un ahorro de 24.25 % en combustible a un régimen mediano de concentración de VOC, contra el consumo actual.
3. El ahorro de combustible, es muy sensible de la temperatura de salida de los gases en el incinerador, y la capacidad de eliminar un alto % de COV depende del correcto funcionamiento en flujo y temperatura en la Cámara de Incineración. Se optó por consultar con empresas con experiencia en estos equipos.

4. El retorno directo es de 8 años, y es sensible al precio del glp en Chimbote, así como a la velocidad de operación del Horno, así como al desarrollo de películas más gruesas de barnizado, que incremente el peso de COV en la lámina.

5. El costo de Inversión se recupera contra el ahorro obtenido de combustible, independientemente del ahorro obtenido, el eliminar la contaminación de COV tiene un costo social e impacto sobre la imagen de la compañía, ante las autoridades y la comunidad muy alta, no cuantificable.

RECOMENDACIONES

Se observaron a lo largo del Estudio las siguientes recomendaciones para mejorar el desempeño del Horno actual.

1. Se encontró presencia de CO en la composición de los gases por encima de los límites de 100 ppm, para un aire en exceso de 20%. Aquí se encontró valores muy por encima, en la chimenea, para gases de escape muy diluidos. Se procede a hacer un ajuste del quemador, y recomendar la compra de un analizador de gases para verificación constante. En el transcurso del Estudio se reparó la cámara circular donde se genera la llama, en el quemador principal del Horno. Este presentaba fugas que se mezclaban con los COV.
2. La llama presenta un largo por encima de la longitud de la cámara circular, Se recomienda instalar otra boquilla de tal forma que la llama se mantenga dentro de la cámara, y/o se modifique la geometría del mismo.
3. Se verificó que para procesar solventes en un horno, se requiere una dilución muy alta con Aire, para que asegure que los límites LEL de explosión de los

solventes volátiles, estén por debajo de estos valores. Cuando se analiza como un caldero, el % de exceso de aire parece muy alta.

4. Se debe mejorar el aislamiento del Horno para llegar a valores más bajos de pérdida, y evitar fugas de calor.
5. Los tiempos de parada del horno encendido sin carga afectan la eficiencia general del Horno, se recomienda revisar las paradas de carga / descarga, así como cambio de barnices para evitar pérdidas de calor.
6. Se recomienda trabajar en turnos continuos de 4 o 5 días a la semana, para evitar prender cada día el horno y perder la energía de calentamiento.

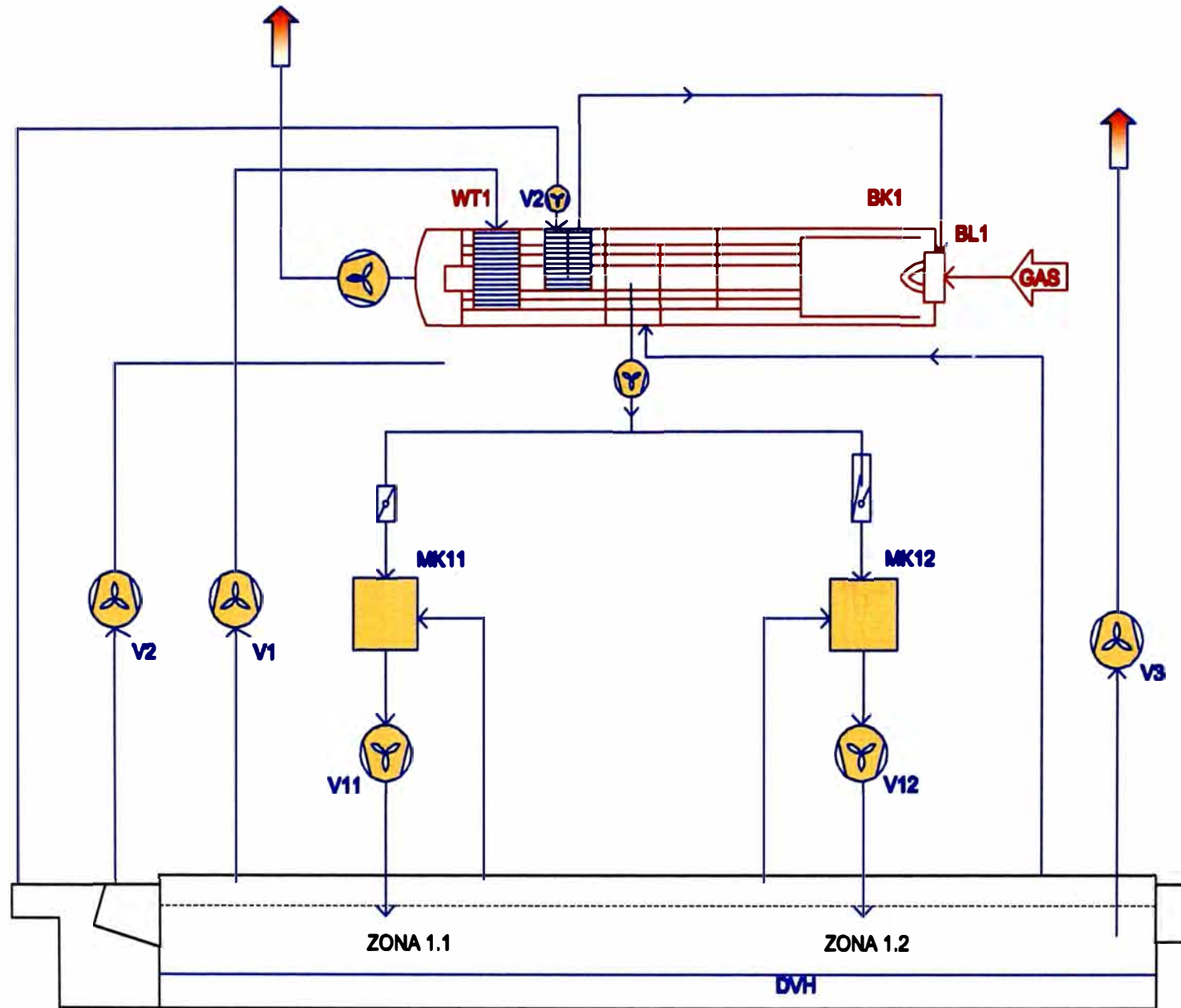
BIBLIOGRAFÍA

1. “Contaminación del Aire” W. Strauss S.J. Mainwaring 2da. Edición Editorial Trillas.
2. “Contaminación del Aire- Origen y Control” Wark-Warmen Limusa 1ra. Edición.
3. EPA – Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos www.epa.gov.
4. KBA Metal Print GmbH www.kba-cleanair.de
5. Procesos de Transferencia de Calor y Masa. Donald Kern 1988.
6. Uso eficiente de la Energía – Instituto para la diversificación y ahorro de la Energía -IDEA Madrid, España 1988.
7. Combustible y su combustión – Manual Técnico para la conservación de la Energía – IDEA. Madrid -España.
8. Página Web de Osinerming : Propiedades del GLP.
9. INDECOPI. Norma Técnica Peruana. INDECOPI. Perú, 2002, pp. 321.007.2002.
10. Principio de Transferencia de Calor – Kreith

PLANOS

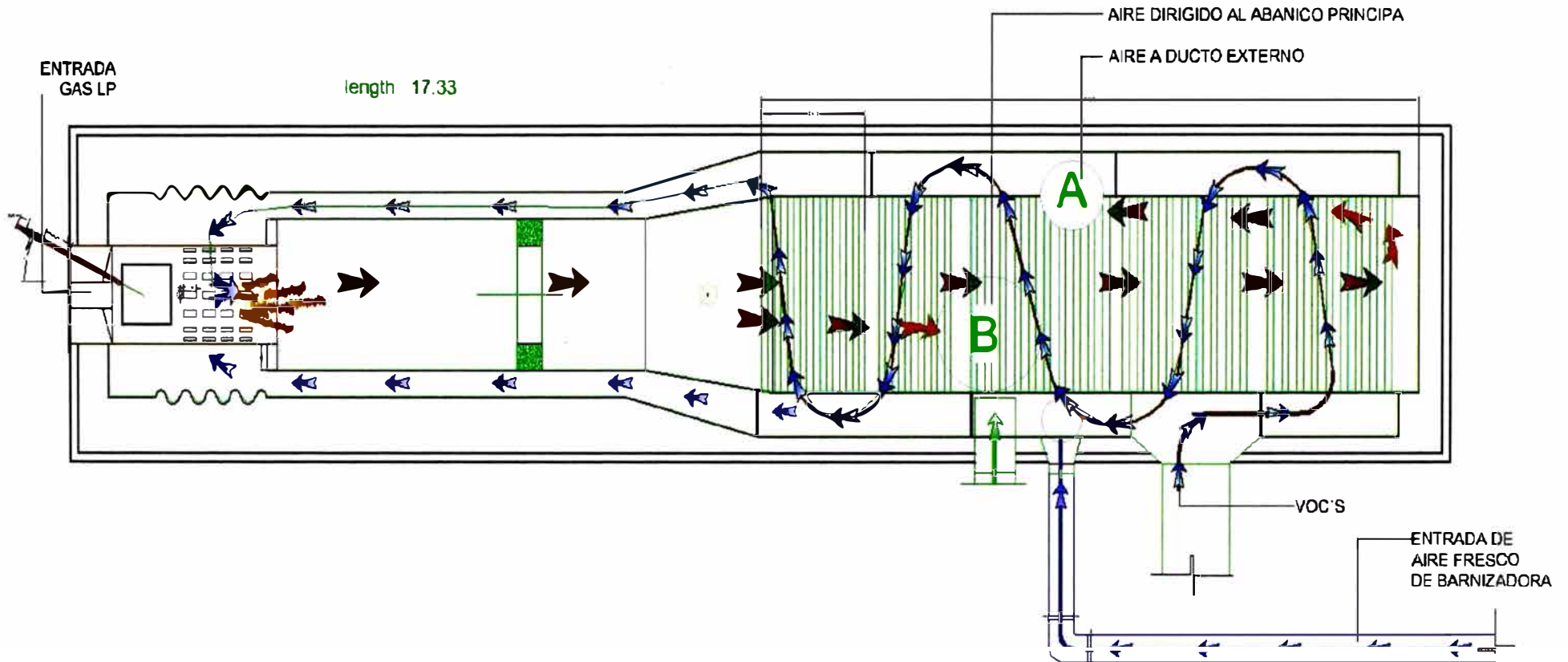
- PLANO 1. DIAGRAMA DE OPERACIÓN DEL QUEMADOR RECUPERATIVO**
- PLANO 2. DETALLE DE MOTORES**
- PLANO 3. DIAGRAMA DE OPERACIÓN RECUPERATIVA DEL HORNO**
- PLANO 4. DETALLE DE ENTRADAS Y SALIDAS DEL INTERCAMBIADOR**
- PLANO 5. DETALLE DE TUBERÍAS DE ENTRADA Y SALIDAS**

DIAGRAMA DE OPERACIÓN DEL QUEMADOR RECUPERATIVO



MAXIMIZADOR 2L

DIAGRAMA DE OPERACIÓN RECUPERATIVA DEL HORNO



ANEXOS

- ANEXO 1** **Análisis de Gases del Horno - Cynide**
- ANEXO 2** **Parámetros del Proceso de Barnizado**
- ANEXO 3** **Presupuesto de un equipo incinerador integrado.**



cinyde

Consultoría Internacional en Ingeniería
y Gestión para el Desarrollo S.A.C.

INFORME N° IA-013-2012

ANÁLISIS DE LAS EMISIONES DE CHIMENEA DEL HORNO DE SECADO DE BARNIZ DE EPINSA Y CALIDAD DEL AIRE DEL ENTORNO

Lima, 25 de Enero de 2012

*Este informe ha sido elaborado por CINYDE S.A.C.
por requerimiento del ENVASES LOS PINOS S.A.C. según
Orden de Servicio N° 4 del 14/10/2011*

3.3 RESULTADOS

A continuación se presentan los resultados de las mediciones realizadas por CINYDE S.A.C en la chimenea CH1 del horno de secado de barniz.

3.3.1 Análisis de gases de combustión

En el Cuadro N° 3.2 se muestran los resultados de los análisis de gases y otras mediciones en la chimenea CH1 del horno de secado de barniz en operación normal, es decir con quemador encendido e ingreso de planchas barnizadas; mientras que en el Cuadro N° 3.3 se muestran los resultados estando el horno sin ingreso de carga, pero con el quemador encendido.

En ambos casos los resultados se presentan tal como se miden con los instrumentos (condiciones actuales), expresándose las concentraciones de gases en base volumétrica (% ó ppm) y seca.

Cuadro N° 3.2
Resultados de análisis de gases en la chimenea del horno de EPINSA – Operación Normal
(Fecha: 05/12/2011)

Parámetro	Unidad	Resultados			
		Medición 1	Medición 2	Medición 3	Promedio
Oxígeno (O ₂)	%	19,44	19,35	19,4	19,4
Dióxido de Carbono (CO ₂)	%	1,09	1,15	1,11	1,12
Monóxido de Carbono (CO)	ppm	184	188	176	182,7
Dióxido de Azufre (SO ₂)	ppm	0	0	0	0
Óxidos de Nitrógeno (NOx)	ppm	6	7	5	6
Temperatura del gas	°C	121,6	136,3	124,8	127,5
Opacidad de gases (Indice Bacharach)	#	2	2	2	2

Cuadro N° 3.3
Resultados de análisis de gases en la chimenea del horno de EPINSA - Operación sin carga
(Fecha: 06/12/2011)

Parámetro	Unidad	Resultados			
		Medición 1	Medición 2	Medición 3	Promedio
Oxígeno (O ₂)	%	19,62	19,55	19,46	19,54
Dióxido de Carbono (CO ₂)	%	0,96	1,0	1,07	1,01
Monóxido de Carbono (CO)	ppm	175	151	148	158
Dióxido de Azufre (SO ₂)	ppm	0	0	0	0
Óxidos de Nitrógeno (NOx)	ppm	4	4	4	4
Temperatura del gas	°C	143,1	150,0	148,9	147,3
Opacidad de gases (Indice Bacharach)	#	3	1	0	1,3

De acuerdo a los resultados del Cuadro N° 3.2 y 3.3 podemos hacer los siguientes comentarios:

Existe un alto nivel de O₂ en chimenea en virtud de que los gases de combustión del GLP están altamente diluidos por el aire de calentamiento de proceso.

No obstante haber un alto nivel de O₂, se observa presencia de una elevada concentración de CO que alcanza 182,7 ppm como promedio en operación normal y 158 ppm en operación sin carga. El nivel de los otros gases contaminantes como el SO₂ ha resultado cero debido a que el GLP no contiene prácticamente azufre (solo mercaptano para darle olor característico), y el NOx ha resultado en niveles bajos.

Es posible determinar cuál sería el nivel de CO, NOx y SO₂ en la combustión misma del GLP (considerando un nivel de 3% de O₂), sin el efecto de la dilución, mediante la ecuación:

$$\text{Concentración (mg/Nm}^3\text{) a 3\% O}_2 = \text{Concentración medida (ppm)} \times F \times (21 - 3) / (21 - \%O_2 \text{ medido})$$

Donde F es un factor de conversión de ppm a mg/Nm³, siendo:

F = 1,25 para CO

F = 2,05 para NOx

F = 2,86 para SO₂

De esta manera en el Cuadro N° 3.4 se incluye las concentraciones de CO, NOx y SO₂ sin efecto de dilución, siendo que los valores se comparan con los límites permisibles de emisiones de combustión de España, los cuales se toman como referencia al no haber en Perú límites permisibles de combustión para la industria.

Cuadro N° 3.4
Resumen de emisiones de combustión del Horno de Secado de Barniz de EPINSA
Concentraciones Corregidas a C.N. y 3% de O₂

Parámetros	Resultados de emisiones de chimenea (mg/Nm ³)		Límite Permissible ⁽¹⁾
	Operación normal	Operación sin carga	
SO ₂ (mg/Nm ³)	0	0	300
NOx (mg/Nm ³)	138,4	101,1	450
CO (mg/Nm ³)	2 569,2	2 434,9	100
Opacidad (IB)	2	1,3	0
Tipo de combustible	Gas		-

(1) Límites de emisión para calderas según la Reglamentación Ambiental de Cataluña (España): Decreto 319/1998 - Límites de emisión para instalaciones industriales de combustión de potencia térmica < 50 MWt e instalaciones de cogeneración.

De esta manera se obtiene que la concentración de CO, ya sea en operación normal o sin carga, ha resultado por encima del límite permisible ambiental, lo mismo que la opacidad de gases. El alto nivel de CO hallado se debería básicamente a deficiencias de combustión en los quemadores del Horno. En operación con carga el CO se incrementa un poco debido tal vez a una post-combustión de material residual (barniz) dentro del horno.

El estado deficiente de la combustión se manifiesta también en la producción de inquemados (hollín), lo cual no debería suceder, ya que la combustión del gas debe ser totalmente limpia, con cero hollín.

Una posible causa de los inquemados (CO y hollín) podría ser el enfriamiento de la llama del quemador por efecto del aire secundario de secado que podría estar incidiendo en la llama, lo cual debe estudiarse.

3.3.2 Análisis de VOC en Chimenea

Los resultados de los análisis de VOC se incluyen en el Informe de Ensayo MA1116184 de SGS en el **ANEXO 4**, donde se incluyen todos los componentes encontrados bajo la denominación VOC. Este informe contiene dos columnas con los resultados de las muestras; la primera de ellas fue tomada a las 9:00 am y la segunda las 5:00 pm. Los resultados totales de VOC de cada una de las muestras se detallan a continuación:

Carga Alta: VOC total: 10,79 mg/m³ (miligramos por metro cúbico de emisiones gaseosas)

Carga Baja: VOC total: 7,01 mg/m³ (miligramos por metro cúbico de emisiones gaseosas)

Como referencia se indica que el D.S. 015-2006-EM, Reglamento para la Protección Ambiental en las Actividades de Hidrocarburos, establece como límite máximo permisible provisional para emisiones atmosféricas en cuanto a VOC, el valor de 20 mg/Nm³.

3.3.3 Caudal de gases

En el Cuadro N° 3.5 se muestran los parámetros medidos para determinar el caudal de gases en la chimenea CH1 y los resultados de caudal obtenidos. El caudal mostrado en el Punto 8 se expresa bajo diferentes condiciones de Presión y Temperatura, siendo la condición actual (15 009 m³/h ó 8 834 CFM) la que se obtuvo a las condiciones de operación del horno (127°C). Asimismo la velocidad del gas promedio (14,5 m/s) corresponde a la condición actual. Esta velocidad se considera aceptable por las buenas prácticas de ingeniería, que recomiendan una velocidad de diseño de 10 m/s.

3.3.4 Análisis de olor en chimenea

Los resultados de las pruebas de olor de la muestra de gases obtenida en la chimenea CH1 del Horno de Secado de Barniz se muestran en el Cuadro N° 3.6.

Cuadro N° 3.6
Resultados de percepción de olor del panel de prueba – Chimenea Horno Secado Barniz

Muestra	Panelista 1	Panelista 2	Panelista 3	Panelista 4	Panelista 5	Panelista 6	Percepción de Olor
Chimenea del Horno	No	No	No	No	No	Sí	16%

El Decreto Supremo N° 25 (23/08/1961) establece que ningún establecimiento industrial podrá arrojar a la atmósfera gases que en una medicación realizada por un mínimo de seis (6) personas, el resultado sea tal, que no más del 50% de las personas hayan percibido el olor de los gases, cuando la dilución es el 1:100.

Dado que el panel de seis personas resultó que sólo el 16% percibió olor del gas de chimenea diluido en 1:100, podría decirse que no habría inconvenientes en su descarga a la atmósfera.

Cuadro N° 3.5
Resultados de las mediciones de caudal en el Horno de EPINSA

**CALCULO DE VELOCIDAD Y CAUDAL EN DUCTOS DE GASES
MEDIANTE TUBO PITOT**

DATOS GENERALES	
PLANTA	: EPINSA
HORNO	: Horno de secado de barniz
PRODUCTO	: Platina barnizada
FECHA	: 05 de diciembre del 2010
ELABORADO POR	: Ing Martin Delfin

1. CONDICIONES AMBIENTALES	Valor	Unidad
Presion	790	mmHg
	101,3	kPa
Temperatura	20	°C
Humedad relativa	75	%
Humedad absoluta (masa)	0,0109	kgH2O/kgAS
Volumen húmedo	0,8430	m3AH/kgAS
Humedad del aire	1,1	%vol
2. DATOS DEL DUCTO		
Tipo de ducto : Circular = 1 ; Rectangular = 2	1	#
Diámetro (ducto circular)	0,600	m
Ducto rectangular :		
Lado mayor	#	m
Lado menor	#	m
Area del ducto	0,2827	m2
3. TUBO PITOT USADO		
Tubo tipo L = 1 ; Tubo tipo S = 2	2	#
4. COMPOSICIÓN DEL GAS (SECO)		
Oxigeno	18,5	% vol
Dioxido de carbono	1,0	% vol
Monoxido de carbono	0,0	% vol
Nitrogeno	79,4	% vol
Peso molecular	28,954	
5. HUMEDAD DEL GAS		
Contenido de humedad del gas	10,0	% vol

6. DATOS DE MEDICIONES CON TUBO PITOT

Punto	Pd (pulg H2O)	Pd (mmH2O)	Ps (pulg H2O)	Ps (kPa)	Temperatura (°C)
1	0,05	1,27	0,25	0,062	127
2	0,07	1,78	0,25	0,062	127
3	0,08	2,29	0,25	0,062	127
4	0,13	3,30	0,25	0,062	127
5	0,30	9,14	0,25	0,062	127
6	0,60	15,24	0,25	0,062	127
7	0,65	21,59	0,25	0,062	127
8	1,13	28,70	0,25	0,062	127
9	1,15	29,21	0,25	0,062	127
10	1,15	29,21	0,25	0,062	127
Promedio	0,56	14,17	0,25	0,062	127,0

7. CALCULO DE VELOCIDAD

Punto	D ₁ (mm)	D ₂ (mm)	V (m/s)	V (pies/min)
1	1,244	0,849	5,0	976
2	1,244	0,849	5,9	1154
3	1,244	0,849	6,6	1309
4	1,244	0,849	8,0	1573
5	1,244	0,849	13,3	2618
6	1,244	0,849	17,2	3379
7	1,244	0,849	20,4	4022
8	1,244	0,849	23,6	4638
9	1,244	0,849	23,8	4679
10	1,244	0,849	23,8	4679
Promedio	1,244	0,849	14,7	2903

8. CALCULO DE CAUDAL

Caudal	Unidad	Base	Resultado
Actual	m3/h	T y P actual	15009
Normal	Nm3/h	0°C y P atm	10250
Estandar	Sm3/h	20°C y P atm	10477
Actual	CFM	T y P actual	8834
Estandar	CFM	20°C y P atm	6167
Estandar (seco)	CFM	20°C y P atm	5550

PARAMETROS DEL PROCESO DE BARNIZADO EN PLANTA EPINSA

Peso de laminas de Hojalata

largo	ancho	espesor	densidad	peso	area
mm	mm	mm	Kg/m3	Kg	m2
935	890	0.16	7865	1.047	0.832
867	790	0.20	7865	1.077	0.685
920	835	0.24	7865	1.450	0.768

Peso de Barniz y Solvente Aplicados

	<u>Tipo de barniz</u>	<u>Codigo</u>	<u>% Solidos</u>	<u>Peso espec.</u>	<u>Peso Barniz aplica</u>	<u>Peso Solvente x lam. y pasad.</u>	
I640263A	B. Siz. Incoloro Epoxi-urea	ICI 640-C-263	39.5%	0.989 g/ml	3.875 g/m2	5.935 g/m2	(*)
I640321A	B. Ext. Incoloro Epoxi-urea	ICI 640-C-321	31.8%	0.974 g/ml	7.750 g/m2	16.621 g/m2	(*)
	B. Ext. Incoloro Epoxi-modif.	VALSPAR 88X003A	39.5%	0.985 g/ml	7.750 g/m2	11.870 g/m2	(*)
I5639A	B. Int. Aluminio Epoxi-fenol.	ICI SB5639	31.5%	0.990 g/ml	8.525 g/m2	18.539 g/m2	(*)
G1333A	B. Int. Aluminio Epoxi-fenol.	GRACE PL-1333-08	36.0%	1.030 g/ml	8.525 g/m2	15.156 g/m2	
I642118A	B. Int. Aluminio Organ.	ICI 642-E-119	57.5%	1.158 g/ml	11.625 g/m2	8.592 g/m2	
G1072A	B. Int. Blanco Epoxi-fenol.	GRACE IW-1282-33	46.0%	1.180 g/ml	13.175 g/m2	15.466 g/m2	(*)
V4001A	B. Int. Blanco Epoxi-fenol.	VALSPAR 4001S13V	50.0%	1.167 g/ml	13.175 g/m2	13.175 g/m2	(*)
G1231A	B. Int. Dorado Epoxi-fenol.	GRACE GL-1231-04	35.0%	1.000 g/ml	10.075 g/m2	18.711 g/m2	

(*) Mayor consumo



INGENIERIA Y HORNOS
inghor

SECCIÓN METALÚRGICA

HORNOS Y EQUIPOS
PARA TRATAMIENTOS TÉRMICOS,
CALENTAMIENTO, ETC

SECCIÓN METALGRÁFICA

HORNOS DE SECADO
INCINERADORES DE SOLVENTES
ALIMENTADOR DE HOJAS
MAQUINAS DE BARNIZAR, ETC

EPINSA

Zona Industrial Los Pinos Lotes 5 y 6
Panamericana Norte Km. 438

Chimbote - PERU

Att. Eduardo Arrospide

INGENIERIA Y HORNOS **INGHOR**, S.A. - Av Jose Luis Goyoaga 32, 3º Dpto 306 - 48950 ERANDIO

su referencia

su escrito del

nº escrito del

nº referencia

4118 111028

28 de octubre de 2011

ERANDIO (SPAIN)

***Equipo de Incineración Térmica para una
línea de barnizado Inghor o de un tercero***

- Especificaciones
- Descripción
- Características
- Suministro
- Condiciones de Venta

=====

====

=



ESPECIFICACIONES

El equipo trabaja siempre que la estufa esté trabajando, este equipo sustituye a los quemadores actualmente instalados en cada zona. Es decir aparte de depurar el aire se encarga de suministrar al horno la energía necesaria para calentarlo.

La oferta se compone de:

1. Equipo básico de incineración para un caudal máximo de 12.000 Nm³/h. Este equipo básico incluye:

- a. Aspirador de solventes realizado en doble calderería y, por tanto, aislado térmicamente. Incluye válvula con servomotor neumático para control del caudal de extracción con arrancador estático o variador de frecuencia.
- b. Incinerador-Intercambiador monoblock.
Realizado en doble calderería, por tanto aislando térmicamente.
Quemador con todo el equipo de programa, control y seguridades de gas.
- c. Intercambiador de calor de haz tubular, de sección circular y realizado en doble calderería, por tanto, aislado térmicamente.
- d. Elementos necesarios para incorporar al cuadro eléctrico para realizar el control y regulación.
- e. Estructura y plataforma para apoyo de los equipos.
- f. Elementos del circuito: presostatos, transductores de presión y termopares.

2. Además del equipo básico de incineración será necesario realizar:

- a. Conductos de aspiración hacia el incinerador.
- b. Conductos de unión de la campana de entrada hasta cámaras.
- c. Conductos de alimentación de humos hacia las cámaras.
- d. Se enviarán válvulas, actuadores neumáticos, juntas de expansión, presostatos, termopares.

3. Circuito de gas para quemador completo.



CARACTERISTICAS

Capacidad máx.	: 12.000 Nm ³ /h.
Máxima extracción de solventes	: 110 Kg/h.
Potencia intercambiador	: 1.200 Kw.
Temperatura de incineración	: 700 – 750° C.
Tiempo de estancia a temperatura	: 0,7 segundos
Concentración VOC's en chimenea	: <20 mgC/Nm ³
Potencia calorífica instalada	: 1.150 Mcal/h.
Combustible	: Gas natural o GLP
Potencia eléctrica instalada	: 55 Kw.
Tensión frecuencia	: a definir.

=====



CONDICIONES DE VENTA

PRECIOS

EUROS

EQUIPO INCINERAC. TÉRMICA 12.000 Nm³/h 268.695 €

Opciones que se recomiendan:

Cables y conductos eléctricos 4.715 €

PRECIOS: F.O.B. Bilbao para envío en contenedores

PRECIO TOTAL 273.410 €

MONTAJE Y PUESTA EN MARCHA

En los precios ofertados está incluida la prestación de nuestros Técnicos para la supervisión y montaje mecánico de los equipos.

La instalación eléctrica será realizada por el Comprador, nuestros Técnicos facilitarán el asesoramiento y la documentación necesaria.

El Cliente pondrá a disposición de nuestros Técnicos la ayuda de 5 ó 6 operarios cualificados.

Además de esto, el Cliente pagará: el costo del viaje, dietas de bolsillo, estancia (lavandería, acceso a Internet, Fax y llamadas de trabajo, etc.).

**PLAZO DE ENTREGA**

Del orden de 4 meses

CONDICIONES DE PAGO

20% Contra pedido

80% Previo a embarque

5% A la finalización de la puesta en marcha

VALIDEZ DE LA OFERTA

3 meses

OTRAS CONDICIONES

Para cuanto no se halla expresamente especificado serán de aplicación las Condiciones Generales de Venta, LW 188 de Ginebra de marzo 1953.

=====