

Dedicatoria

Dedicado a Mami Lira, a mi padre y a mi Tía América las únicas personas que siempre han creído en mi capacidad.

Carlos

Agradecimiento

Agradezco a mis padres y a toda mi familia por todo el apoyo no solo ahora, sino de toda la vida.

Un agradecimiento especial al Ing. Adrián Peña, ya que sin su colaboración este proyecto no se habría podido realizar, además gracias por enseñar con el ejemplo.

Gracias a todos mis compañeros que han colaborado desinteresadamente con este proyecto en especial a: Gustavo, Alfonso y al personal de Viatelecom,

Carlos

AGRADECIMIENTO

El esfuerzo y la constancia son dos factores claves para la realización del presente trabajo. Estos factores no serían nada sin el apoyo de las personas a las cuales dirigimos nuestro más sincero agradecimiento:

Mi agradecimiento primero a Dios por la vida tan valiosa que me dio y regalarme la sabiduría para saber afrontar los problemas.

A mis padres por tanto amor y bienestar que me prodigaron con su ejemplo me enseñaron a tener valores y ser un hombre responsable y luchador. A mis hermanas, mis cuñados y sobrinos, a toda mi familia en general por darme tanto cariño y hacerme sentir un ser muy privilegiado desde el día que nací. Gracias por todo y mi gratitud eterna.

Un sincero agradecimiento a mis padres que siempre me han respaldado y han sabido respetar mis decisiones; y sin su colaboración este proyecto nunca se habría podido realizar.

Un agradecimiento especial al Ing. Adrián Peña y al Ing. Ernesto Soria, ya que sin su colaboración no se hubiera podido realizar este proyecto. Gracias por todos los valores y conocimientos impartidos durante el desarrollo de este estudio.

Gracias a todos mis compañeros que han colaborado desinteresadamente con este proyecto, en especial a: Gustavo, Alfonso, al personal de VIATELECOM y de ILUTEC por todo su apoyo.

Carlos

Primeramente al ser que me ha dado la vida y él cuál día a día me ha impulsado a seguir adelante. El siempre ha estado acompañándome y levantándome cuando me he caído.

Mis padres, seres incondicionales que me han dado todo lo que necesito, han sabido tolerarme y apoyarme en esta ardua tarea que he emprendido, no hoy, sino desde el primer día de mi nacimiento. A ellos gracias por ser como son y por estar conmigo en estos momentos difíciles que se presentan en la vida.

A la Escuela Politécnica del Ejército, a la Facultad de Ingeniería Mecánica, y a sus profesores, por los conocimientos impartidos en toda mi carrera universitaria.

De igual forma y con mucha gratitud al Ing. Adrián Peña e Ing. Ernesto Soria directores del presente, que han entregado todo de sí, no solo intelectual sino también por los valores y consejos que han inculcado.

Julio

RESUMEN

La empresa Stilo Muebles se dedica a la fabricación de muebles metálicos para oficina como sillas, escritorios y otros artículos de oficina; utilizando procesos metal mecánicos tales como doblado, corte, suelda, limpieza, pintura y armado.

Para el acabado final de sus productos la empresa utiliza pintura electrostática, recubrimiento que permite obtener excelente calidad, recuperación de la materia prima, mayor resistencia a los factores ambientales, es recomendable para producción en serie debido a la reducción del tiempo de aplicación y secado.

Para el diseño del horno se utilizará GLP (Gas Licuado de Petróleo) como combustible, debido a que con éste se obtiene una combustión más pura minimizando las emisiones contaminantes de otros combustibles como diesel u otros derivados de petróleo, ya que éstas perjudican la calidad de los productos en la operación continua del horno. En el mundo se está tratando de evitar el uso de combustibles contaminantes, pasando a ser una norma de calidad. Durante el proceso es necesario realizar el control de la temperatura en el interior del horno, debido a que ésta debe llegar a 180°C, aproximadamente, sobre las superficies metálicas, y mantenerse constante durante un cierto tiempo para obtener productos de alta calidad, éste se obtiene realizando las pruebas necesarias para determinar la temperatura adecuada; para lo cual es necesario utilizar sistemas de control, éstos pueden ser manuales o automáticos; además se pueden incluir otros elementos para controlar la calidad del aire que ingresa a la cámara.

La empresa Stilo Muebles se benefició con el diseño de este proyecto, con lo que brindará el apoyo económico y técnico para la elaboración del mismo. Como la empresa dispone de equipos y herramientas en metal mecánica, la construcción del horno se realizará en la misma planta de la empresa, contando con la mano de obra calificada de la empresa.

El primer punto importante del presente proyecto era cerrar la cadena de producción de la empresa, realizar todos los procesos dentro de la planta facilita el ensamblaje de los productos para su posterior comercialización.

Se ha propuso por parte de la empresa y los ejecutores del proyecto, implementar este Sistema de Pintura Electroestática en el espacio necesario para su correcta ubicación dentro de la planta, debido a los requerimientos de la empresa el horno desea usar GLP (Gas Licuado de Petróleo) como combustible para el sistema de calentamiento, además del factor económico, un factor determinante es el hecho de que este combustible no produce emisiones tan contaminantes obteniendo una combustión más pura. Como norma de calidad se debe usar combustibles que contaminen lo menos posible tanto al exterior como en el interior del horno, por ese motivo es necesario controlar la calidad del aire caliente que ingresa al horno, ya que si éste contiene impurezas éstas se van a pegar en los productos y es posible que la pintura no seque adecuadamente por lo que el producto se puede trizar, la pintura se despega o se quiebra, produciendo fallas en los productos y por ende afectando al nombre de la empresa.

Este proyecto tiene por objeto demostrar las ventajas de utilizar pintura en polvo como recubrimiento en piezas metálicas a través de un prototipo de un sistema de pintado electrostático, cabina y horno; se prevé obtener costos inferiores que los ofertados por los fabricantes de estos sistemas. Para las pruebas se utilizará instrumentación básica, ya que dentro de la empresa no se cuenta con equipo sofisticado; además se pueden realizar pruebas directamente en los productos pintados que demuestren si el funcionamiento del sistema es el correcto.

En este proyecto se presentan conceptos básicos acerca de la pintura en Polvo, principales características, propiedades y componentes, los diferentes tipos de esta pintura, el funcionamiento de un sistema electrostático, las ventajas que ésta presenta con respecto a la pintura líquida, principales aplicaciones en la industria metal mecánica nacional.

Se realiza una descripción exhaustiva acerca del proceso de pintado, analizando cada una de sus fases desde el Proceso de limpieza, métodos y equipos de aplicación electrostática; se presenta una explicación del funcionamiento de los sistemas más usados en el país y los parámetros necesarios para una correcta selección del equipo.

Se efectuó un análisis del antiguo proceso de Producción de la empresa, y de los sistemas que ésta decidió implementar en el nuevo taller; también se

describe a la cabina y al horno, se realiza el dimensionamiento del espacio interior que ambos necesitan, de acuerdo al tamaño de los productos que la empresa fabrica y al volumen de producción, además se describe al sistema de calentamiento del Aire del Sistema.

Para el diseño térmico se realizó el estudio de las condiciones atmosféricas del sitio de instalación de los componentes del sistema, el análisis termodinámico del combustible, el análisis de temperaturas en el horno, la determinación del flujo de calor por unidad de área y el espesor del aislante, la potencia que se requiere para alcanzar la temperatura máxima en el interior del horno. El diseño del sistema de calentamiento de aire, el diseño de los quemadores de línea.

Para la construcción y montaje de los modelos de cabina y horno se realizó un análisis previo, involucrando el diseño mecánico respectivo, los procedimientos de soldadura, cortado y otras operaciones utilizadas durante la fase de construcción.

En el protocolo de pruebas se describen el equipo utilizado y el procedimiento previo a realizar las pruebas de funcionamiento de la cabina y el horno de curado. Con los resultados obtenidos en las pruebas se procedió a analizarlos para determinar las características principales del horno y la cabina en operación.

También se realizó un estudio financiero que demostró la factibilidad del proyecto, además comparando con otros sistemas del mismo tipo resulta sumamente económico la adquisición del proyecto.

CAPITULO I

GENERALIDADES

En este capítulo se presenta la Introducción del Proyecto, la Justificación e Importancia, los Objetivos, el Alcance del mismo. Se realiza una descripción de la presentación general del Proyecto, basándose en los parámetros acordados entre la Empresa Stilo Muebles y los ejecutores del proyecto.

CAPÍTULO I

1. GENERALIDADES

1.1. Introducción

La Empresa Stilo Muebles se dedica a la fabricación de muebles metálicos para oficina como sillas, escritorios y otros artículos de oficina; utilizando procesos metal mecánicos tales como doblado, corte, suelda, limpieza, pintura y armado.

Para el acabado final de sus productos la empresa utiliza pintura electrostática, recubrimiento que permite obtener excelente calidad, recuperación de la materia prima, mayor resistencia a los factores ambientales, es recomendable para producción en serie debido a la reducción del tiempo de aplicación y secado.

Actualmente la empresa terceriza esta parte del proceso, aumentando sus costos de producción ya que necesita transportar las piezas a otro lugar con el riesgo adicional de que éstas sufran daños en el trayecto del viaje; por este motivo la empresa ha analizado la posibilidad de implementar este proceso dentro de la planta.

Con estos antecedentes los principales de la empresa tomaron la decisión de desarrollar el siguiente proyecto Diseñar y Construir la Cabina y el Horno para el curado de las piezas mediante el uso de Pintura electrostática. Para la realización de este proyecto, como lo debe hacer un alumno de la Facultad de Ingeniería Mecánica (FIME) de la Escuela Politécnica del Ejército (ESPE), se buscarán las mejores alternativas de acuerdo al presupuesto de la Empresa, para lo cual es necesario reforzar y aplicar los conocimientos adquiridos en las diferentes áreas de la carrera.

Para el diseño del horno se utilizará GLP (Gas Licuado de Petróleo) como combustible, debido a que con éste se obtiene una combustión más pura minimizando las emisiones contaminantes de otros combustibles como diesel u otros derivados de petróleo, ya que éstas perjudican la calidad de los productos en la operación continua del horno. En el mundo se está tratando de evitar el uso de combustibles contaminantes, pasando a ser una norma de calidad. Durante el proceso es necesario realizar el control de la temperatura en el interior del horno, debido a que ésta debe llegar a 150°C, aproximadamente, sobre las superficies metálicas, y mantenerse constante durante un cierto tiempo para obtener productos de alta calidad, éste se obtiene realizando las

pruebas necesarias para determinar la temperatura adecuada; para lo cual es necesario utilizar sistemas de control, éstos pueden ser manuales o automáticos; además se pueden incluir otros elementos para controlar la calidad del aire que ingresa a la cámara.

La empresa Stilo Muebles se beneficiará con la consecución de este proyecto, con lo que brindará el apoyo económico y técnico para la elaboración del mismo. Como la empresa dispone de equipos y herramientas en metal mecánica, la construcción del horno se realizará en la misma planta de la empresa, contando con la mano de obra calificada de la empresa.

1.2. Antecedentes

1.2.1. Situación Actual

Desde hace algún tiempo la empresa Stilo Muebles, y específicamente su departamento de producción, no puede realizar todos los procesos de manufactura dentro de su propia planta, para la elaboración de sillas, escritorios y otros artículos de oficina, ya que no dispone de un horno para el curado de piezas mediante el uso de pintura electrostática, por lo que actualmente es necesario que subcontrate esta fase del proceso, lo cual incrementa los costos y disminuye los volúmenes de producción. Para agilizar el proceso la empresa cuenta con tanques de limpieza para la preparación de las partes previo a la pintura.

1.2.2. Necesidad Insatisfecha

El departamento de producción necesita que todos los procesos en la elaboración de sus productos se realicen dentro de la misma planta para que la cadena de producción sea continua optimizando de esta manera los tiempos y costos de producción.

1.2.3. Problema a Resolver

La empresa debe gastar en el transporte de los productos, aumentando los costos de producción, además éstos pueden sufrir daños en los viajes obligando a repintar o reconstruirlos. La contaminación del ambiente también influye en la presentación de la empresa, un sistema de pintura electrostática, instalado correctamente, disminuye la nube de polvo y la almacena para su reutilización. El diseño y construcción de la cabina y horno para el curado de partes de muebles metálicos en la empresa pretende disminuir

al mínimo los tiempos muertos en la línea de producción ocasionados por la falta de este dispositivo.

1.3. Justificación e Importancia

En todo el mundo, y así también en Ecuador, la necesidad de implantación de sistemas de control de calidad es indispensable, debido al alto nivel de exigencia por parte del consumidor final. La empresa STILO MUEBLES, pensando en el futuro, desea mejorar su cadena de producción a fin de que ésta cumpla con los más altos estándares de calidad en cada uno de sus procesos y en el producto terminado.

La pintura en polvo ofrece algunas ventajas que a la postre justifican la inversión inicial que debe realizar la empresa, entre las cuales se puede destacar:

- Es menos costosa tanto en su aplicación como en el mantenimiento de las instalaciones.
- La materia prima que no es usada se puede recoger y reutilizar.
- No desprende gases ni olores durante el proceso, ya que no utiliza disolventes. Disminuyendo la contaminación ambiental.
- Sus componentes reaccionan a temperaturas altas, formando una capa fuertemente adherente, insoluble y estable.
- Mayor espesor de pintura, excelente resistencia a la intemperie y rayos UV (exteriores). Menor tiempo de horneado respecto a los epoxis.
- Entre las principales aplicaciones podemos mencionar: Aluminio Arquitectónico, muebles para exterior, en general para reemplazar anodizados, accesorios para automóviles, extintores, equipos eléctricos, lámparas de iluminación externas, acero galvanizado, etc.

El presente proyecto no solo beneficia a la empresa STILO MUEBLES, sino también a sus ejecutores, ya que como estudiantes de la carrera de Ingeniería Mecánica, se deberá aplicar los conocimientos adquiridos en las diferentes áreas de nuestra carrera, tales como Termodinámica, Transferencia de Calor, Mecánica de Fluidos, Instrumentación, Automatización, Procesos de Manufactura, entre las más importantes, e investigar, empleando estos conceptos básicos, buscando solucionar el problema de la empresa.

Por otro lado, datos estadísticos analizados por miembros de la FIME demuestran que la mayoría de egresados de esta facultad en algún momento de su vida profesional laboran,

son dueños o se asocian en empresas del sector metal mecánico; por este motivo es necesario que los egresados conozcan acerca del trabajo con pintura en polvo para mejorar la calidad de sus compañías y poder competir con productos extranjeros; este proyecto pretende dar a conocer lo básico de los sistemas electrostáticos de pintado.

1.4. Objetivos

1.4.1. Objetivo General

Diseñar y construir la Cabina y el Horno para el curado de partes de Muebles Metálicos usando Pintura Electrostática en la Empresa STILO MUEBLES, con el fin de mejorar la cadena de producción y la calidad de los productos.

1.4.2. Objetivos Específicos

- Investigar y analizar el proceso de pintado de piezas metálicas existente en el medio, así como las características y ventajas de la pintura electrostática.
- Describir la cabina, el horno y sus componentes, en base a los requerimientos y exigencias de la empresa.
- Realizar el diseño térmico del horno de acuerdo al tamaño requerido por la empresa, a fin de determinar el espesor de las chapas y del aislante, chimenea para salida de gases y la potencia necesaria para cumplir el proceso.
- Construir el horno utilizando equipos, herramientas y mano de obra de la empresa.
- Instalar los implementos necesarios para el Control y la Instrumentación del Equipo.
- Realizar pruebas para evaluar el funcionamiento del horno y sus componentes, a fin de compararlos con los parámetros requeridos, especialmente en la calidad de los productos.
- Realizar el análisis económico-financiero del proyecto.

1.5. Alcance

El presente proyecto persigue solucionar la necesidad de la empresa de completar sus procesos dentro de la misma planta. Stilo Muebles al subcontratar el servicio de pintado a través de otra empresa o taller pierde tiempo y dinero, ya que debe transportar los productos desde su planta, una vez pintados estos regresan a la planta para ser ensamblados y convertidos en productos finales o son almacenados para ser utilizados en el futuro; estos productos, en muchas ocasiones, sufren daños como raspones por el contacto con otros productos, deformaciones en la estructura metálica al ser golpeados durante el viaje; entre otros factores perjudiciales que afectan directamente a la calidad de los productos.

El primer punto importante del presente proyecto es cerrar la cadena de producción de la empresa, realizar todos los procesos dentro de la planta facilita el ensamblaje de los productos para su posterior comercialización.

Se ha propuesto por parte de la empresa y nosotros, implementar este Sistema de Pintura Electrostática en el espacio necesario para su correcta ubicación dentro de la planta, debido a los requerimientos de la empresa el horno desea usar GLP (Gas Licuado de Petróleo) como combustible para el sistema de calentamiento, además del factor económico, un factor determinante es el hecho de que este combustible no produce emisiones tan contaminantes obteniendo una combustión más pura. Como norma de calidad se debe usar combustibles que contaminen lo menos posible tanto al exterior como en el interior del horno, por ese motivo es necesario controlar la calidad del aire caliente que ingresa al horno, ya que si éste contiene impurezas éstas se van a pegar en los productos y es posible que la pintura no seque adecuadamente por lo que el producto se puede trizar, la pintura se desprende o se quiebra, produciendo fallas en los productos y por ende afectando al nombre de la empresa.

Este proyecto tiene por objeto demostrar las ventajas de utilizar pintura en polvo como recubrimiento en piezas metálicas a través de un prototipo de un sistema de pintado electrostático, cabina y horno; se prevé obtener costos inferiores que los ofertados por los fabricantes de estos sistemas. Para las pruebas se utilizará instrumentación básica, ya que dentro de la empresa no se cuenta con equipo sofisticado; además se pueden realizar pruebas directamente en los productos pintados que demuestren si el funcionamiento del sistema es el correcto.

CAPÍTULO II

PINTURA ELECTROSTÁTICA

En este capítulo se presentan conceptos básicos acerca de la pintura en Polvo, Principales Características, Propiedades y Componentes, los diferentes tipos de esta pintura, el funcionamiento de un Sistema Electrostático, las Ventajas que ésta presenta con respecto a la pintura líquida, Principales Aplicaciones en la industria Metal Mecánica Nacional. Se realiza una descripción exhaustiva acerca del Proceso de Pintado, analizando cada una de sus fases desde el Proceso de Limpieza, Métodos y Equipos de Aplicación Electrostática; se presenta una explicación del funcionamiento de los Sistemas más usados en el país y los parámetros necesarios para una correcta selección del Equipo.

CAPÍTULO 2

2. PINTURA ELECTROSTÁTICA

2.1. Generalidades

2.1.1. Introducción

Comúnmente se aplican revestimientos a la superficie de los artículos para decoración, textura, resistencia a la corrosión, aislamiento eléctrico, facilidad de lubricación y protección contra las temperaturas altas. Los estándares comunes son los revestimientos de conversión formados por la reacción química con la superficie, revestimientos orgánicos o pintura, recubrimientos metálicos y revestimientos inorgánicos o vítreos.

El uso de la pintura en polvo se desarrolló a finales de los años 60 como una alternativa a las pinturas líquidas y su empleo se debe a 3 factores:

1. La adopción de nuevas leyes para el control de emisiones de compuestos volátiles a la atmósfera.
2. La urgencia de economizar los recursos energéticos no renovables y
3. Los avances tecnológicos en el recubrimiento y de los sistemas de Aplicación.

2.1.2. Proceso de Fabricación de la Pintura en Polvo

Es importante conocer acerca del proceso de fabricación de este tipo de pinturas, a continuación en las figuras se detalla este proceso:

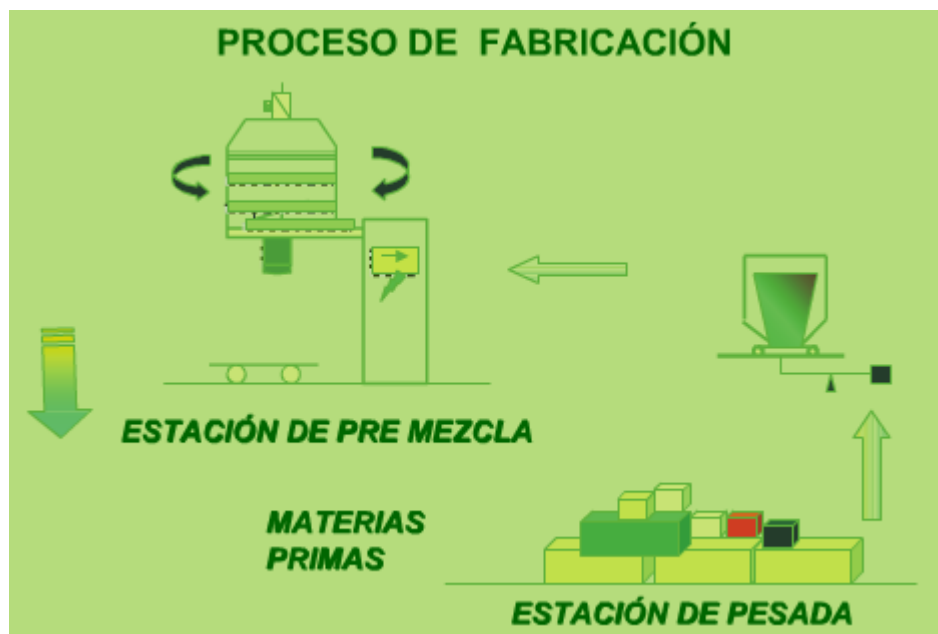


Figura N° 2.1 Procesos de fabricación

El Proceso de Fabricación de Pintura en Polvo se puede simplificar tal como se indica en la figura N° 2.1, donde la materia prima llega a la Estación de Pesada para tener las

cantidades exactas de cada componente, para luego ser clasificadas de acuerdo al tamaño de las partículas utilizando filtros y un separador centrifugo, desechando las que no cumplen con el tamaño se almacenan en depósitos especiales para ser reprocessadas, finalmente se llega a la estación de Pre-mezcla donde se fusionan los componentes, obteniéndose la pintura en polvo.

2.1.3. Funcionamiento básico de un sistema de pintura electrostática

La mayoría de las pinturas en polvo son aplicadas con equipo electrostático, un sistema de aplicación que tiene una fuente de voltaje que genera corriente a través de un cable y lo conduce hacia el electrodo de la pistola donde se produce la ionización del aire y las partículas de polvo son cargadas. El sistema utiliza un compresor con aire comprimido, para transportar la pintura hacia la pistola y luego al objeto a recubrir. A medida que la pintura pasa a través del campo electrostático, esta recoge una carga y es atraída a un sustrato conectado a tierra. Continuando la aplicación, el objeto es llevado a un horno para ser curada. En él, la pintura se derrite, sus componentes reaccionan, convirtiéndose en una capa plenamente curada sobre el sustrato y se completa el proceso.

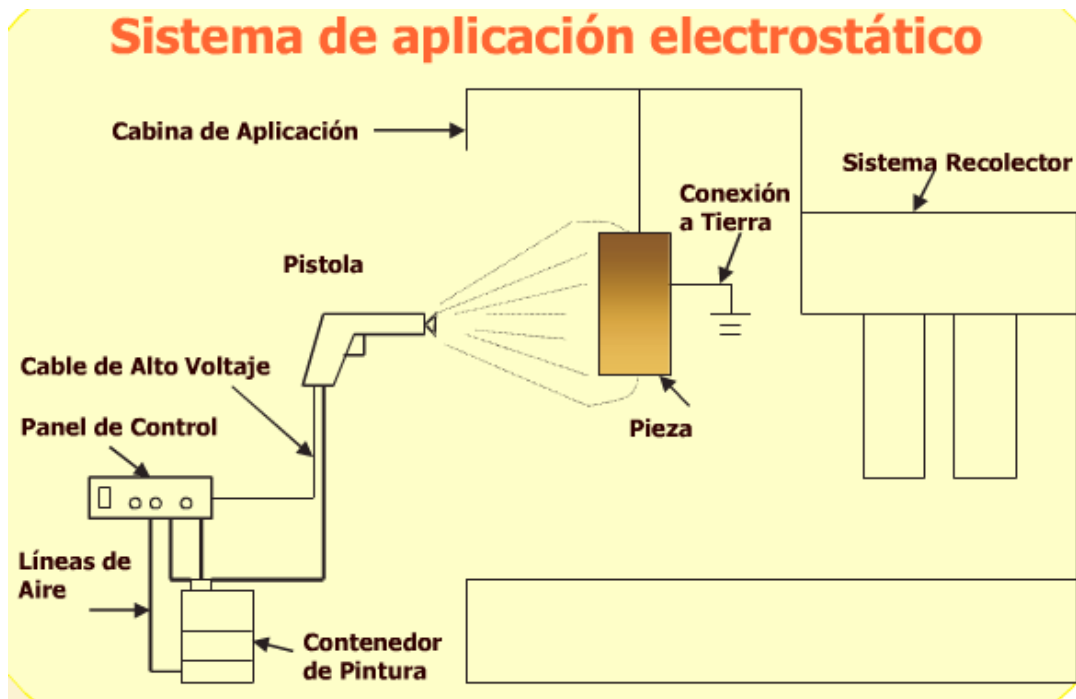


Figura N° 2.2 Sistema de aplicación electrostático

El sistema de aplicación electrostático (Fig. N° 2.2), requiere un método de pretratamiento para preparar la superficie, una cabina de aplicación con un sistema de recuperación para contener el material que no se adhirió al sustrato, un transportador o conveyor u otro medio para movilizar la pieza y un horno de curado.

El diseño, mantenimiento y el control adecuado de cada uno de los subsistemas darán los mejores resultados.

Para el diseño y funcionamiento del sistema, es necesario entender las variables que afectan el proceso. La limpieza, el secado, el enfriamiento, la conexión a tierra, una carga eficiente de la pintura y un curado apropiado, son esenciales para pintar con

pintura en polvo. En el desarrollo de este capítulo se realiza un análisis completo del Funcionamiento y Componentes de un Sistema de Pintura Electroestática.

2.1.4. Tipos de pintura

2.1.4.1. Pinturas termoplásticas

Existen tres resinas primarias usadas en las pinturas termoplásticas, vinilos, nylons y poliésteres. Estos materiales son usados para algunas aplicaciones de contacto con alimentos, anaqueles de supermercado, estantes de hospital y otras aplicaciones. Algunas propiedades físicas de los diferentes recubrimientos están en la tabla N° 2.1.

Resina Primaria	Vinilo	Nylon	Poliéster
Punto de derretimiento °F	266 - 302	367	320 - 338
Calor típico pre/post °F	544 - 446	590 - 482	572 - 482
Gravedad Específica g/cm ³	1.20 - 1.35	1.01 - 1.15	1.30 - 1.40
Adhesión	B - E	E	E
Apariencia de Superficie	Tersa	Tersa	Capa Delgada
Brillo, 60°	40 - 90%	20 - 95%	60 - 95%
Dureza al lápiz	HB - 2H	B	B - H
Flexibilidad 1/8"	Pasa	Pasa	Pasa
Resistencia al Impacto	E	E	B - E
Resistencia a cámara salina	B	E	B
Resistencia a Intemperie	B	B	E
Resistencia a la Humedad	E	E	B
Acido	E	E	B
Álcali	E	F	B
Solvente	F	E	F
		E	Excelente
		B	Bueno
		F	Falla

Tabla N° 2.1 Propiedades de las pinturas termoplásticas

2.1.4.2. Pinturas termoestables

Son más utilizadas que las termoplásticas. Están compuestas de resinas sólidas de peso molecular relativamente alto y un entrecruzante (compuestos para mejorar el rendimiento o el curado). Son utilizadas en una amplia variedad de aplicaciones decorativas y protectoras, son aplicadas por el proceso electrostático generalmente y horneadas a la temperatura necesaria para obtener el curado final.

Las resinas más utilizadas en la formulación de pinturas en polvo termoestables son:

- Epóxicas
- Poliéster
- Acrílico

Estas resinas son combinadas con diferentes entrecruzantes para producir una variedad de pinturas en polvo. Entrecruzantes o agentes de curado, utilizados en las pinturas en polvo son: aminas, anhídridos, melaminas, e isocianatos bloqueados o no bloqueados. Algunas pinturas tipo híbrido utilizan más de una de estas resinas en su formulación.

Cuando una pintura termoestable es aplicada y sometida al calor, se derrite, fluye y se entrecruza químicamente para formar una capa de pintura de un nuevo polímero, que suministra excelente resistencia.

Una pintura termoestable que se ha curado y se ha entrecruzado no se derrite ni fluye nuevamente por segunda vez.

2.1.4.2.1. Clases de pinturas termoestables

2.1.4.2.1.1. Epóxicas puras

Fueron los recubrimientos termoestables comercialmente disponibles por primera vez y son las más utilizadas en las pinturas hoy. Se consiguen en una amplia variedad de formulaciones para aplicaciones funcionales de capa gruesa y decorativa de capa delgada. Suministran excelente dureza, resistencia química, a la corrosión y flexibilidad. La desventaja con las pinturas en polvo epóxicas puras, es que se entizan cuando se someten a radiación ultravioleta, por esta razón no son recomendadas para aplicaciones en exteriores.

2.1.4.2.1.2. Híbridos (poliéster - epóxicas)

Como el nombre lo indica, combinan resinas epóxicas con resinas poliéster para formar una pintura de excelentes propiedades. Algunos híbridos son de menor resistencia a químicos y solventes. Son duros, flexibles y de precio competitivo.

Los recubrimientos híbridos son utilizados en las mismas aplicaciones de las epóxicas. Además de la pequeña mejoría en la resistencia a la intemperie, la resina poliéster a veces mejora las características de carga para aplicación electrostática y aumenta la flexibilidad.

2.1.4.2.1.3. Poliéster

Son usadas para formular poliéster de uretano y materiales de poliéster triglicidil isocianurato (TGIC).

2.1.4.2.1.4. Poliéster – Uretano

Las pinturas poliéster - uretano tienen excelente resistencia al exterior, dureza y excelente apariencia a espesores bajos (1 ó 2 mils de capa), para productos de alta calidad.

Es común el entrecruzamiento en el poliéster - uretano con aminocaproinsaurilactam (E-CAPROLACTAM) Para comenzar el proceso de entrecruzamiento, el material debe alcanzar una temperatura superior al límite del agente de bloqueo. Con E-CAPROLACTAM, el desbloqueo ocurre aproximadamente a 300°F (182°C). Las

temperaturas deben ser mayores a 360°F para comenzar la fase del ciclo de curado.

La pintura que contiene aminocaproinsaurilactam E-CAP(E-CAPROLACTAM) no es recomendada para aplicaciones superiores de 3 mils. Las capas más gruesas con poliéster - uretano pierden algunas de sus propiedades mecánicas y causan embombamiento debido a la liberación de aminocaproinsaurilactam (E-CAPROLACTAM).

Son usadas en aplicaciones exteriores tales como muebles de jardín, rines para automotores, adornos y podadoras entre otras.

2.1.4.2.1.5. Poliéster TGIC(triglicidil isocianurato)

Las pinturas de poliéster TGIC utilizan el entrecruzador funcional epóxico triglicidil isocianurato (TGIC). Los TGIC tienen características de adhesión, resistencia a la corrosión y durabilidad exterior muy buenas.

Pueden ser curadas a temperaturas menores que los uretano y/o en un ciclo de curado más corto. En el ciclo de curado, tienen excelente resistencia sobre horneado y son menos sensibles a embombamiento por gases. También presenta un buen cubrimiento de bordes a capas delgadas (3-5 mil/75-100 micras). Tiene una resistencia a la corrosión igual que el poliéster - uretano, pero menor resistencia a los agentes químicos. Ampliamente usados para recubrir rines para automotores, acondicionadores de aire, muebles de jardín y gabinetes de aire acondicionado.

El triglicidil isocianurato (TGIC), a causado algunos temores respecto a la salud. Las materias primas y varios de los volátiles que se emiten durante el curado, han demostrado que estos materiales no son amenazas para la salud, siempre y cuando sean manejadas apropiadamente. Sin embargo, las personas con condiciones pulmonares sensibles, o con sensibilidad de la piel a estos materiales, si se presenta pueden tener problemas con niveles bajos de exposición. Algunas también han exhibido sensibilidad de la piel a estos materiales. Si una persona muestra síntomas de sensibilidad a estos materiales, no debiese continuar el trabajo con estos compuestos. Los hornos deben ser ventilados para impedir que los gases escapen al interior de la planta. Es posible que se generen productos de descomposición tóxica durante el curado, especialmente si la temperatura del horno es alta. La evacuación del horno debería ser igual o mayor a 2.2 pies cúbicos por minuto para cada libra de polvo curado.

2.1.4.2.1.6. Acrílicas

Como los poliésteres, los acrílicos dan una excelente durabilidad al exterior. Estas pinturas incluyen acrílicos - uretano (resinas funcionales hidroxil), híbridos - acrílicos (resinas funcionales ácidas) y acrílicos GMA (glycidyl metacrilato).

Los acrílicos - uretano, requieren temperaturas de curado de 360°F (182°C). Como los poliésteres uretano, pueden presentar problemas con gases a espesores mayores (3mil/75micras). Ofrecen excelente apariencia a bajos espesores de aplicación, buena resistencia química y recubrimientos de alta dureza. La flexibilidad y la resistencia al impacto son usualmente pobres.

Los acrílicos GMA, pueden ser curados en menos tiempo o a temperaturas más bajas, que los acrílicos uretano y con mejor desempeño a la intemperie. Estas pinturas brindan una transparencia excepcional, por ello son especiales para acabados clear aplicados sobre cobre, aluminio o pinturas metalizadas y perladas. La flexibilidad es limitada, son aplicadas en capas mayores de 3,3 mils (75micras), sin el riesgo de embombamiento que es característico de los uretano. Los acrílicos GMA no son compatibles con otras resinas y se aplican en sistemas que están aislados de otras pinturas.

Los híbridos acrílicos combinan la resina acrílica con un ligante epóxico. Son mejores que un híbrido poliéster/epóxico pero no se consideran aceptables para uso externo; con las propiedades mecánicas de las Epóxicas y tienen una flexibilidad mucho mejor que otros acrílicos.

Debido a su buena apariencia, dureza superficial, excepcional resistencia a la intemperie y características de aplicación electrostática excelentes, los acrílicos son utilizados para aplicaciones en productos que tienen un alto estándar de calidad como electrodomésticos, automóviles y otros productos que requieren durabilidad en un ambiente agresivo. Las aplicaciones típicas incluyen rines de automóviles, y aleaciones entre otras.

2.1.4.2.2. Principales propiedades de las pinturas termoestables

Las propiedades de las pinturas varían incluso si son de la misma familia química. Los formuladores podrán desarrollar pinturas para cumplir unas necesidades específicas. A continuación hay un resumen de las propiedades de cada tipo genérico de Pintura Termoestable.

- Epóxicas Duras
Buena resistencia química
Pobre durabilidad al exterior (entizamiento)
- Híbridas:
Desempeño de capa decorativa similar a las Epóxicas
Mejor resistencia al sobre horneado y a rayos ultravioleta
No durables en exteriores
- Poliéster - Uretano:
Durables en exteriores
Recubrimiento en polvo de capa delgada
- Poliéster - TGIC:
Durables en exteriores
Buen cubrimiento de bordes
Se pueden aplicar capas más gruesas sin problema
- Acrílicas:
Excelente resistencia a intemperie
Excelente apariencia
Buena resistencia al impacto.

2.2. Características, propiedades y componentes de las pinturas termoestables

2.2.1. Características

Es una pintura horneable seca, sin necesidad de vehículo volátil para efectos de flujo y aplicación. Es una formulación hecha con base en polímeros termoestables y aditivos reducidos en forma de polvo fino.

Los componentes de este tipo de pintura (pintura, resinas, pigmentos y otros) son homogeneizados mediante un proceso de fusión, mezclados, para finalmente ser reducidos a polvo. Los costos de producción utilizando este tipo de pintura se reducen tanto en aplicación como mantenimiento, debido a que no requieren de solventes y diluyentes tóxicos, con lo cual se reduce la contaminación del área de trabajo, protegiendo a los operarios. Es recomendable almacenar en un lugar con baja humedad si es posible seco y con temperaturas inferiores a 40°C.

2.2.2. Propiedades

- No desprende gases ni olores durante el proceso, ya que no utiliza disolventes, disminuyendo la contaminación ambiental.
- Sus componentes reaccionan a temperaturas altas, formando una capa fuertemente adherente, insoluble y estable, buena resistencia química.
- Mayor espesor de pintura, excelente resistencia a la intemperie y rayos UV (exteriores). Menor tiempo de horneo respecto a los epoxis.
- Buena elasticidad, adhesión y resistencia a los golpes y contacto con otras superficies.
- Alto rendimiento de aplicación, debido a que la materia prima que no es usada se puede recoger y reutilizar.
- Disminución de riesgo de accidentes ocasionados por el uso de sustancias volátiles, tales como disolventes, resinas, etc.
- Se estima un tiempo promedio de 15 a 20 minutos para el curado a una temperatura promedio de 180°C sobre la superficie de la placa, dependiendo de las características del horno y de la pintura utilizada.

Algunas de las Propiedades Específicas para este tipo de pinturas son:

- Gravedad Específica: 1.2 a 1.6 g/cm³ (dependiendo del color)
- Punto de Fusión: 70°C a 90°C
- Rendimiento: de 9.0 hasta 13.0 m²/kilo, a espesor de 44 a 50 micras

2.2.3. Componentes

Las pinturas en polvo son fabricadas y aplicadas sin el uso de solventes. Lo que indica que, las pinturas en polvo no emiten gases tóxicos.



Figura N° 2.3 Componentes de la pintura en polvo

Las pinturas en polvo están compuestas de resinas, pigmentos activos, pigmentos rellenos y endurecedores (Fig. N° 2.3). Cuando se exponen al calor, estas partículas se derriten para formar una capa continua de alta durabilidad y resistencia química.

2.3. Ventajas y principales aplicaciones en la industria metal mecánica

2.3.1. Ventajas

- Con el uso de pintura en polvo aumenta el rendimiento por producto pintado, ya que existe menor desperdicio en comparación con la pintura líquida (pintura en polvo 80% y pintura líquida 40 – 50% dependiendo de la habilidad del operario).
- La pintura en polvo no utiliza disolventes, mientras que para la líquida se requiere mezclar con un 15-25% de disolvente.
- Este tipo de recubrimiento no es inflamable.
- Es menos tóxica que la pintura líquida.
- Mejores propiedades mecánicas y químicas.
- El espesor de la pintura se puede controlar directamente en el equipo, para obtener un buen acabado sin tener que realizar varias aplicaciones.

2.3.2. Comparación de costos entre pintura líquida y pintura en polvo

Las tablas N° 2.2 y 2.3 muestran una comparación de costos operativos anuales entre un material en polvo y uno líquido. Los costos reales de cualquier material dependen de las variables de precio por unidad, los sólidos en porcentaje, la eficiencia de transferencia, la labor de utilización del material etc.

Variable	Pintura Líquida	Pintura en Polvo
Costo de la Pintura	US \$21/Gal	US \$3.00/Kilo
% de sólidos	60% (diluido)	100%
Gravedad Específica	No	1.6
Rendimiento teórico pie ² /Lb o galón al 100% de eficiencia	962	120
% de utilización	70%	95% con recuperación
Espesor de la película	1.2 Mils	1.5 Mils
Rendimiento real pie ² /Lb o por galón	449	76
Costo del material / pie ²	US \$0.047	US \$0.039

Tabla N° 2.2 Tabla comparativa de costos entre la pintura líquida y la pintura en polvo
Fuente: Pintuco

Eficiencia de los Diferentes Métodos de Aplicación			
Sistema de Aplicación	Pistola Convecional	Electrostático Líquido	Electrostático Polvo con Recuperación
Eficiencia	40%	50-70%	95-98%

Tabla N° 2.3 Eficiencia de los Diferentes Métodos de Aplicación

2.3.3. Aplicaciones

Las principales aplicaciones de este tipo de pintura en la industria metal mecánica ecuatoriana son:

- Aluminio Arquitectónico
- Muebles para interior y exterior
- Para reemplazar anodizados, rines y accesorios para automóviles,
- Extintores,
- Equipos eléctricos y electrodomésticos,
- Lámparas de iluminación externas,
- Acero galvanizado,
- Utensilios de cocina

De acuerdo al tipo de aplicación que se requiera, interior o exterior, se pueden usar las diferentes clases de pintura en polvo.

2.3.3.1. Pintura en polvo tipo epoxi

Para decorar y proteger accesorios interiores para vehículos, acoples, aparatos de laboratorio, básculas y balanzas, calentadores, campanas extractoras, cilindros para gas, equipo hospitalario, cajas eléctricas, equipos para gimnasia, extintores, herramientas para jardín, interior de congeladores, juguetes entre otros.

Para uso exclusivo en interiores. En exteriores presenta entizamiento, decoloración y

pérdida de brillo. La calidad del pretratamiento, los espesores aplicados y las condiciones de curado son críticas en el resultado de estos ensayos.

2.3.3.2. Pintura en polvo tipo epoxi poliéster

Para decorar y proteger todo tipo de piezas de uso interior, accesorios interiores para vehículos, electrodomésticos en general, herramientas, griferías, cajas metálicas, filtros, elementos de decoración, muebles metálicos, bandejas porta cables, estructuras para lámparas, juguetes, medidores de gas, entre otros.

En exteriores se presenta entizamiento, decoloración y pérdida de brillo.

2.3.3.3. Pintura en polvo tipo poliéster

Para decorar y proteger todo tipo de piezas de uso exterior. Acondicionadores de aire, sillas y mesas de jardín, iluminación de exteriores, toldos, techos metálicos, autopartes, tableros eléctricos, electrodomésticos, herramientas, griferías, muebles de decoración, transformadores, bicicletas, etc.

2.4. Proceso de pintado electrostático

Los productos manufacturados naturalmente colectan aceite, suciedad, virutas, etc., durante el proceso. Estos residuos deben eliminarse para ciertas operaciones, como inspección y pintura, para ensamblaje y en especial para su venta. Por tanto, es necesario realizar un adecuado proceso de revestimiento de las superficies a fin de proteger a los productos de los factores dañinos del medio en el que se encuentran y ofrecer una mayor durabilidad y calidad.

El Proceso de Pintado usando Pintura en Polvo no es tan simple como el de la Pintura Líquida, la figura N° 2.4 muestra el esquema de pasos básicos que se sigue en un proceso de pintado en polvo, es necesario detallar estos pasos y métodos para la Preparación de Piezas y Equipos con el fin de obtener productos de buena calidad. A continuación se describen las fases de un adecuado Proceso de Pintado.

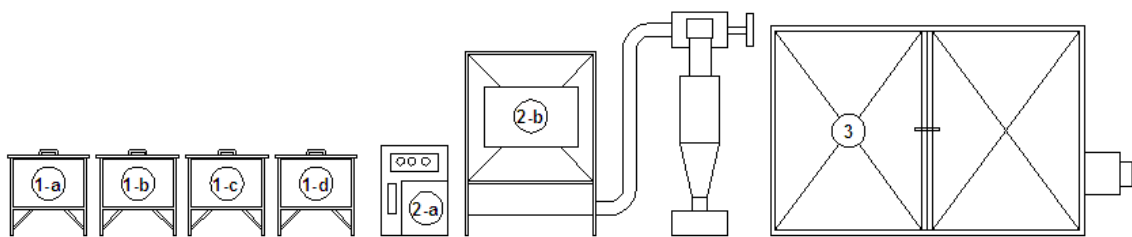


Fig. N° 2.4 Esquema Básico del Proceso de Pintado

Número	Proceso
1	Limpieza
1-a	Desengrase
1-b	Enjuague
1-c	Fosfatización
1-d	Enjuague
2	Aplicación de pintura en polvo

2-a	Equipo electrostático
2-b	Cabina para aplicación
3	Horno de curado

Tabla N° 2.4 Esquema básico para un Proceso de pintado electrostático

2.4.1. Proceso de limpieza

En el proceso de almacenamiento, manipulación y trabajo, las piezas recogerán contaminantes. Se depositan grasas de petróleo, grasa animal o aceites vegetales, que sirven de protección temporal contra el óxido durante el proceso de maquinado. También pueden estar presentes grasas de lubricación o ceras y algunos sólidos tales como: carbono, grafitos, sobrantes metálicos, productos de brillado, óxidos metálicos, productos emitidos por el vaciado y oxidación blanca o roja. La remoción de éstos sólidos previa al proceso de pintura, es esencial para la vida exitosa de los productos. Esto afecta la adherencia inicial y el desempeño final del producto recubierto.

Estos contaminantes pueden ser quitados por una variedad de métodos químicos y mecánicos.

El método que debe utilizarse en una situación dada, se determina por la parte que va a ser pintada (tamaño, configuración, material), el tipo de contaminante (polvo, cera, aceite, cristales de sal, etc.) y los requerimientos de desempeño del producto acabado.

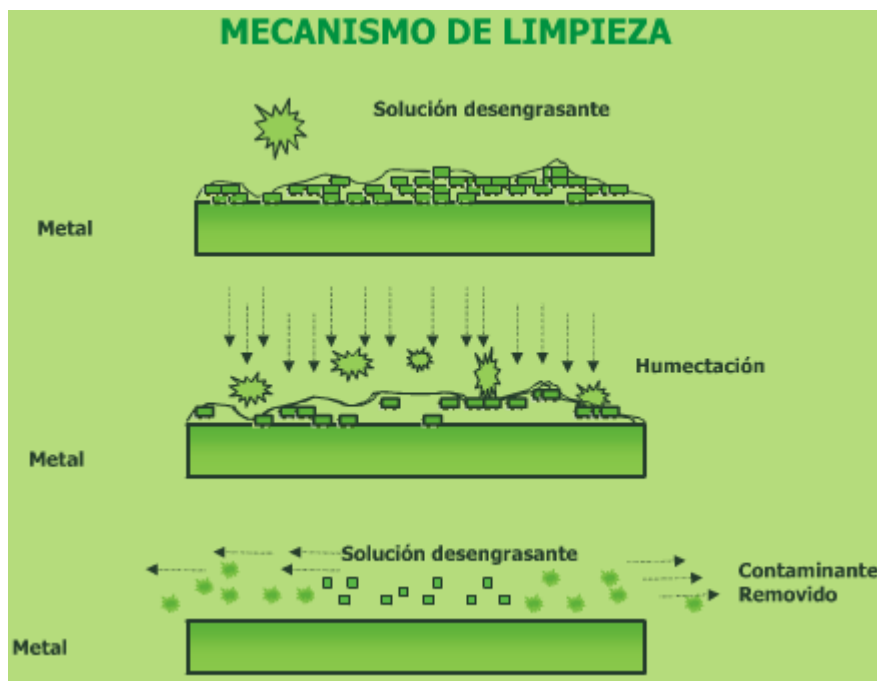


Fig. N° 2.5 Proceso de limpieza

La figura N° 2.5 esquematiza el proceso de Limpieza de un metal previo a la aplicación de pintura en polvo.

2.4.1.1. Proceso de limpieza de metales

2.4.1.1.1. Substratos

Cada clase de metal tiene sus propias características que afectarán el desempeño y la aplicación de un acabado de pintura. Estas características incluyen las propiedades sólidas del metal base en sí mismo y también los atributos de superficie variados que son determinados por la composición química y los procesos usados en la producción del metal.

Estos atributos de superficie consisten en principio de una mezcla de óxidos, hidratos y sales de los elementos metálicos, los cuales constituyen la composición metal y muy poco del metal en sí mismo. Además de estos constituyentes naturales un número de contaminantes están presentes.

Por ejemplo, sobre el acero, éstos incluirían carbonos de superficie, aceites, lubricantes, partículas finas de metal, inclusiones de superficie no metálicas, calamina, carburos, mugre, productos de corrosión, y desechos, depósitos de hongos y otros. Las superficies de zinc tiene aceites, lubricantes, productos de corrosión, partículas finas de metal, polvo, mugre, y otros elementos extraños. El aluminio es similar al zinc pero también incluye depósitos pesados de óxido de aluminio. El óxido de aluminio no está considerado como un contaminante clásico en sí mismo pero éste puede interferir con la remoción de otros contaminantes.

No hay un método universal de preparación de las piezas, que pueda ser utilizado para tratar todos los metales y sus diferentes contaminantes y ser efectivo en todos los casos. Un conocimiento de los diferentes metales, sus características y los diferentes métodos de tratamiento, es importante para la persona que utiliza la pintura en polvo.

El acero inoxidable está relativamente libre de hidratos de hierro que son un componente común del acero al carbón. Éste debe ser limpiado para quitarle los aceites de superficie y la mugre por la manipulación en producción. La capa de óxido pasivo presente en el acero inoxidable, es relativamente inerte a los limpiadores alcalinos y otros compuestos químicos que son comúnmente utilizados en el acero de carbono. La limpieza normal quitará aceites sueltos pero no adecua la superficie para recibir al fosfato de hierro.

Los procesos de decapado o abrasión mecánica son utilizados para quitar la capa de óxido pasivo presente y crear, una superficie porosa apta para recubrir. Estos procesos ayudan a promover la adherencia pero no suministran ninguna resistencia adicional a la humedad.

2.4.1.1.2. Contaminantes frecuentes y tratamientos típicos

En la tabla N° 2.4 se pueden observar los contaminantes usuales de acuerdo al tipo de metal y el tratamiento típico a aplicarse.

Metal	Contaminantes	Tratamiento Típico
--------------	----------------------	---------------------------

Hot Rolled	Escamas de laminación, óxido, carbono sobrante, grasa, aceite, polvo y mugre	Arenado, limpieza alcalina, fosfato de hierro o zinc
Cold Rolled	Inhibidores de corrosión, aceites, polvo y mugre	Limpieza alcalina, fosfato de hierro o zinc
Acero inoxidable	Mugre, aceites, capa de óxido pasivo	Arenado o decapado, ácido para quitar la capa de óxido, limpieza alcalina y enjuague
Acero galvanizado	Mugre, aceites de manipulación	Limpieza alcalina, fosfato de hierro o zinc
Aluminio Extruido	Capa de óxido, mugre y aceites de manipulación	Limpieza alcalina. Para mayor resistencia a la corrosión se debe hacer tratamiento con cromatos.
Aluminio Vaciado	Componentes emitidos por el vaciado, mugre y aceite	Arenado o brillado para quitar sobrantes en el vaciado, limpieza alcalina.
Zinc Vaciado	Componentes emitidos por el vaciado, mugre y aceite	Arenado o pulido para quitar excesos del vaciado, limpieza alcalina y fosfato de hierro.

Tabla N° 2.5 Limpieza de metales – contaminantes y tratamiento típico

2.4.1.2. Limpieza mecánica

Los contaminantes pueden ser sustancias orgánicas tales como aceites o materiales inorgánicos como inhibidores de óxido mineral.

Estos contaminantes pueden ser quitados de manera efectiva por abrasión mecánica de la superficie. Los métodos mecánicos, incluyen cepillo de alambre y/o con arena. La limpieza mecánica utiliza herramienta manual, implica trabajo considerable. Los procesos automatizados hacen esta labor más fácil. A veces es la única manera de quitar la mugre excesiva o el óxido. Estándares de limpieza por arenado a alta presión dependen del requerimiento de calidad de la superficie.

Los estándares gráficos fueron originalmente desarrollados por el comité de corrosión sueco y posteriormente adoptados por el consejo de pintura de estructuras de acero (SSPC) y otras organizaciones. Los cuatro grados de limpieza a presión definidos por la SSPC son:

Limpieza metal blanco: Remoción de todo el óxido visible, pintura y material extraño. Utilizado en condiciones donde la resistencia a la corrosión es importante y el medio ambiente es altamente corrosivo.

Limpieza de metal casi blanco: Es una limpieza hasta eliminar por lo menos el 95% de los residuos visibles, utilizado para medios ambientes rudos donde el producto esta expuesto.

Limpieza grado comercial: Una limpieza hasta que al menos 2/3 partes de la superficie estén libres de todos los residuos visibles, empleado para ambientes no corrosivos.

Limpieza brush-of: Limpieza a presión con arena para eliminar los residuos que no están firmemente adheridos. Esto es aceptable en ambientes no corrosivos donde el recubrimiento a largo plazo no es exigido.

La textura de una superficie limpiada a presión variará con los diferentes medios. El espesor de la capa de la pintura debe ser lo suficientemente grueso para cubrir los picos y valles del patrón creado por la abrasión, aproximadamente 1 milímetro por encima de los picos del patrón.

2.4.1.3. Limpieza química

El primer paso en el proceso de pretratamiento químico es la remoción de aceites, mugre y otros contaminantes que interferirán con el desarrollo de un fosfato de buena calidad, buena adherencia del recubrimiento o la causa de defectos en la superficie. La limpieza química puede ser lograda por aspersión o inmersión; el desengrasante puede ser alcalino, ácido, un solvente neutro o una emulsión. La naturaleza del desengrasante utilizado dependerá de los sólidos a ser removidos, el tamaño y tipo de la pieza y de la pintura a ser aplicada.

Los desengrasantes alcalinos son los más comunes, los hay también ácidos y emulsiones. El desengrasante seleccionado debe tener la capacidad de quitar una amplia variedad de sólidos, impedir la redeposición, suministrar limpieza incluso cuando esté contaminado o cuando haya contaminación, proveer control de espuma, ser fácilmente enjuagable y ser económico.

La limpieza apropiada de algunas piezas puede requerir una combinación de etapas de aspersión y de inmersión. La etapa de aspersión combina las propiedades químicas del desengrasante con la acción mecánica de la presión. La etapa de inmersión penetra las áreas de la pieza que pueden ser inaccesibles a la aspersión.

Los procesos de aspersión o de inmersión pueden ser utilizados en operaciones manuales. Los sistemas continuos por aspersión deben tener el número apropiado de pasos. Los sistemas por inmersión son apropiados para menores volúmenes con menos estándares de calidad. A continuación se presentan algunos de los tipos de sistemas manuales y como pueden compararse unos con otros.

- Fosfatización por aspersión - Es el método más apropiado para partes de gran tamaño y altos volúmenes de producción.
- Limpieza a vapor - Para piezas de pequeño volumen altamente contaminadas. Derrite la grasa.
- Agua caliente a alta presión - La mejor para limpiar piezas de gran tamaño con el fin de eliminar grasas, debe tener 4 - 5 Gpm, 1000 psi más la capacidad de calor en la boquilla de 160 – 200°F (71 – 93°C).

2.4.1.4. Limpieza alcalina

Los desengrasantes alcalinos son el método más común de remoción de sólidos para la preparación de metales, previa a la aplicación de pintura en polvo. Se componen de hidróxido de sodio (soda cáustica), son muy económicos donde la limpieza por saponificación sea deseable. Los desengrasantes alcalinos son altamente reactivos con superficies no ferrosas, causan resquebrajamiento del aluminio y en superficies de zinc crean limaña y por consiguiente le agregan zinc a la solución. Los residuos de soda cáustica son difíciles de enjuagar especialmente si la temperatura de la solución está en el rango alto. Un desengrasante alcalino suave (Ph de 9 a 10), proveerá una mejor remoción de sólidos y una vida de baño mayor de lo que lo hace una solución cáustica.

Los residuos de sales alcalinas consumirán el ácido libre, vertiendo las sales de metal y degenerando el baño de fosfato. Un limpiador alcalino suave, previo al fosfato ayudará en la formación de un recubrimiento de fosfato denso más uniforme facilitando la adherencia de la pintura y mayor protección contra la corrosión.

2.4.1.4.1. Factores de desempeño de los desengrasantes

Con el tiempo, los residuos retirados de las piezas se acumularán en la solución desengrasante. Las partículas sólidas se asentarán y algunas flotarán en la parte superior de dicha solución. Hay un límite respecto a la cantidad de contaminación que un baño desengrasante puede tolerar antes de que se desgaste, necesite ser vaciado y/o recargado.

Al sobrecargar la solución se reduce la acumulación de elementos flotantes pero, los sólidos (lodos), causan problema y desgastan la solución generando mayor consumo de reactivo químico. La remoción periódica del aceite y los lodos alargan la vida del desengrasante.

2.4.1.4.2. Parámetros de control

Los parámetros para el control del proceso de una solución desengrasante son: tiempo de proceso, concentración química, temperatura, presión del aire, tiempo de residencia, y el volumen de contaminantes en la solución. Estos son los puntos que deben ser monitoreados, registrados y mantenidos dentro de rangos apropiados para que se logre una buena limpieza.

2.4.1.5. Limpieza ácida

La limpieza ácida está basada en el ataque de una superficie por ácidos sulfúricos, hidroc্লóricos, nítricos, fosfóricos, hidrofлуóricos, fluorbóricos, o crómicos y varias sales de estos ácidos. Estas generalmente incluyen tensoactivos, secuestrantes de iones de metal, solventes tipo alcohol, y un inhibidor para impedir o prevenir el ataque en exceso del metal. Estos pueden ser útiles para la remoción de óxidos livianos, residuos orgánicos, sales persistentes y otros residuos que ya están disueltos en el ácido.

Debido al hecho de que los ácidos son corrosivos y por lo tanto más difíciles de bombear y manipular son menos utilizados. Para los metales que son susceptibles de endurecimiento por hidrógeno tales como los aceros de aleación y los grados de carbono alto del acero, la limpieza ácida no es una opción. Los ácidos pueden también reaccionar con algunos metales para formar subproductos insolubles que interfieren en

procesos posteriores.

En un proceso tres en uno el primer nivel combina la limpieza con fosfato de hierro, estas soluciones estarán constituidas por ácido fosfórico, un agente humectante, y un activador.

Las soluciones ácidas también pueden ser utilizadas para remover calamina. Estas soluciones ácidas inorgánicas relativamente fuertes utilizan ácido sulfúrico, hidroc্লórico, fosfórico y nítrico. Este tipo de solución puede ser útil para la remoción de contaminación difícil. Un uso particularmente bueno es la remoción de la costra al cortar con láser. El corte con láser del acero formará una capa de óxido que es resistente a la limpieza alcalina, pero existe el riesgo de un ataque agresivo sobre el metal.

2.4.2. Fosfatización

La Fosfatización o recubrimiento por conversión, es la aplicación al sustrato de una capa de fosfato de zinc o de hierro. El recubrimiento por conversión, es una parte muy crítica del proceso de pretratamiento, sumándose de manera significativa al desempeño de la pintura aplicada.

Un recubrimiento de fosfato convierte el sustrato en una superficie inerte uniforme lo cual mejora la adherencia, minimiza la oxidación, si la pintura es rasgada o impactada, y mejora la resistencia a la corrosión general de la pieza final.

Un recubrimiento de conversión puede ser una película de hierro, zinc, policristalina, cromado, o fosfato de manganeso. Estas son depositadas tanto sobre superficies ferrosas y no ferrosas (zinc, aluminio y manganeso). Las piezas son sometidas a un baño ácido y a una conversión química que forma una película completa sobre la superficie de la pieza cambiando la naturaleza física y química de la superficie del metal.

En la tabla N° 2.5 se muestra los fosfatos más comunes sustratos mas utilizados a nivel industrial

Metal	Fosfato de Hierro	Fosfato de Zinc	Fosfato Crómico	Óxido de Cromo
Acero	x	x		
Acero Galvanizado	x	x	x	x
Aluminio	x	x	x	

Tabla N° 2.6 Selección del Fosfato de acuerdo al Sustrato

2.4.2.1. Fosfato de hierro

El fosfato de hierro es la película de fosfato más delgada. En el proceso de aplicación un óxido de hierro como base se desarrolla seguido de una capa superior de fosfato de metal amorfo. La superficie de metal tratada típicamente tendrá un color gris azul iridiscente o azul oro iridiscente dependiendo del peso del recubrimiento y del metal de base. En una solución de fosfato de hierro la superficie de metal es resquebrajada

emitiendo algo de hierro dentro del baño. Cuando los iones de metal son desplazados de la superficie de la pieza, el sustrato se carga positivamente. Los iones de metal en el baño son convertidos en fosfato de hierro cargado negativamente. Un aumento en el pH se presenta en la parte intermedia entre la solución y la pieza haciendo que los iones de fosfato de hierro se depositen como un recubrimiento amorfo sobre la superficie de metal.

El fosfato de hierro puede ser aplicado por inmersión o aspersion. El número y tipo de pasos del proceso depende directamente de los requerimientos de la pieza acabada. Una combinación desengrasante/fosfatizante seguida por un enjuague es la mínima limpieza química. La adición de pasos en el proceso suministrará un mejor desempeño.

El método más utilizado y efectivo es por aspersion de múltiples pasos. Estos están conformados desde 3 hasta 8 pasos.

Tres pasos: limpieza/ fosfato, enjuague, / sellado.

Cuatro pasos: limpieza/fosfato, enjuague, enjuague/sellado, agua DI.

Cinco pasos: limpieza, enjuague, fosfato, enjuague, enjuague/sellado.

Seis pasos: limpieza, enjuague, fosfato, enjuague, enjuague/sellado, enjuague DI.

Siete pasos: Limpieza, limpieza, enjuague, fosfato, enjuague, enjuague/sellado, enjuague agua DI.

Ocho pasos: Limpieza, enjuague, limpieza, enjuague, fosfato, enjuague, enjuague/sellado, enjuague DI.

(DI: Agua Desionizada). El agua Desionizada; es agua que ha sido filtrada para remover iones positivos y negativos.

2.4.2.1.1. Peso del recubrimiento

El fosfato de hierro es medido en miligramos por pie cuadrado o gramos por metro cuadrado (mg/pie^2). Los pesos del recubrimiento varían con los diferentes niveles de pretratamiento. La calidad de la adherencia de la pintura y la resistencia a la corrosión están afectadas por el peso del recubrimiento de fosfato. El peso promedio de un fosfato de hierro está entre 35 y 70 mg/pie^2 .

2.4.2.1.2. Controles de fosfato de hierro

Además del número de niveles del proceso, los factores que afectan el peso de un recubrimiento de fosfato de hierro son: El tiempo de permanencia en inmersión o aspersion, la temperatura recomendada, la concentración, la cantidad de ácido consumido (pH) de acuerdo al número de piezas tratadas, la condición del sustrato y la presión del sistema por aspersion.

2.4.2.1.3. Tiempo en el proceso

Entre más tiempo tengan que trabajar los químicos más trabajo realizará. Para obtener un recubrimiento uniforme sobre la superficie, el tiempo debe ser adecuado.

2.4.2.1.4. Temperatura en la solución

Los reactivos se hacen más agresivos en una solución caliente.

2.4.2.1.5. Concentración

Una concentración más alta de químicos con la ayuda de aceleradores genera más peso de recubrimiento.

Es importante también mantener un control consistente de estas variables. Las soluciones alcalinas pueden ser cargadas dentro de la solución del fosfato y generan aumento en el pH o los operarios no hacen los ajustes a la solución con la suficiente frecuencia para mantenerla consistente. Esto puede causar manchas en la pintura y en algunas áreas puede ocurrir una rápida producción de óxido. Las soluciones deben ser controladas frecuentemente (3 veces por turno), para asegurarse que estén en buenas condiciones.

2.4.2.2. Fosfato de cinc

El fosfato de zinc es un recubrimiento cristalino no metálico que se adhiere químicamente al sustrato. Los tratamientos de zinc son extremadamente adherentes, proveen un recubrimiento uniforme con propiedades mejoradas de adhesión. Tienen un mejor recubrimiento en áreas difíciles y una mayor resistencia a la corrosión.

El fosfato de zinc viene de la solución misma, no de la superficie de la pieza, como el recubrimiento de fosfato de hierro. Los cristales comienzan formándose en sitios anódicos sobre la superficie de la pieza y dejan de formarse cuando estos tocan otro cristal. Entre más sitios de origen haya, mejor será la densidad de la capa. Los cristales más grandes de fosfato no permiten que la pintura en polvo humedezca completamente la superficie y que se forme una capa capilar bajo la pintura, causando corrosión y desprendimiento de la pintura. Contrario al fosfato de hierro, un fosfato de zinc no puede limpiar y recubrir simultáneamente en un proceso de tres etapas.

2.4.2.2.1. Activación (previo al fosfato de cinc)

Cuando se hace fosfato con zinc, la superficie de metal es activada por un aditivo en el baño limpiador o por un enjuague con acondicionador previo a la fosfatización. Los acondicionadores son suspensiones suaves de sales de titanio activas que se adhieren al acero, al zinc, y al aluminio en sus superficies. El acondicionador montará una red de sitios receptores uniformes para que los cristales de zinc se depositen, esto aumentará el número de cristales de zinc, disminuirá su tamaño y mejorará la calidad del recubrimiento de fosfato de zinc. Los cristales pequeños serán más uniformes y disminuirá el peso promoviendo adherencia de la pintura en polvo, controlando el costo de la fosfatización y generando menos lodos.

El fosfato de zinc es el recubrimiento de conversión preferido utilizado por la industria automotriz y de refrigeración ya que tiene una resistencia superior a la corrosión. El recubrimiento se adhiere firmemente al metal por un enlace iónico, la estructura cristalina porosa provee una superficie extendida para la adherencia de la pintura y si ésta es rayada el recubrimiento inorgánico protege contra la corrosión.

Una solución de fosfato de zinc producirá continuamente lodos por la oxidación de hierro soluble a un estado insoluble que se precipita. Se debe utilizar un sistema de remoción de estos lodos.

2.4.2.2. Comparación entre los fosfatos de hierro y de cinc

Desde un punto de vista ambiental, el fosfato de hierro no genera grandes cantidades de metales pesados que requieran tratamiento de desperdicios. En algunos países, una solución de fosfato de hierro puede ser neutralizada y desechada a través de las cañerías. Algunas plantas tienen un control asesorado por expertos.

El zinc en algunos países está en la lista como sustancia peligrosa sujeta a regulaciones y control de desperdicios. Debe ser tratado previo a ser evacuado y el residuo sólido debe ser removido como basura. En términos de desempeño el fosfato de zinc con un sellador de cromo provee mayor resistencia a la corrosión. El fosfato de hierro es el adecuado para casi todas las aplicaciones, no es recomendado para elementos expuestos a la intemperie donde la resistencia a la corrosión es crítica. El zinc es requerido para productos de uso exterior con requerimientos superiores de resistencia a la corrosión. El uso final del producto es el factor más importante al decidir entre fosfato de hierro y de zinc. Para el uso en ambientes no corrosivos, el hierro funciona bastante bien, tiene ventajas económicas y ambientales, el zinc da la protección necesaria para el producto utilizado en exteriores o en ambientes altamente corrosivos. La calidad del desengrasante y la capa de fosfato también deben ser consideradas, parte de los beneficios de la pintura en polvo es la durabilidad de la película, una buena limpieza y una pintura adecuada, pueden permitir el uso de menos recubrimiento.

2.4.3. Enjuague

Un apropiado enjuague entre las etapas del proceso es esencial para un exitoso pretratamiento. Un enjuague pobre, dejará residuos en la superficie de la pieza que interferirán con los procesos posteriores. Si el desengrasante alcalino no es completamente enjuagado traerá por consiguiente mayor espesor de fosfato y un uso excesivo de químicos o un pobre desempeño del fosfato. Si el enjuague final es inadecuado, las sales pueden quedar en la superficie de la pieza e interferir con la adherencia de la pintura y la resistencia a la corrosión.

El enjuague final debe ser mantenido por debajo de 300 partes por millón (ppm) de dureza. Ésta puede ser medida con los sólidos disueltos totales (STD), nos indicará las libras disueltas en un millón de libras o litros de agua o 120.000 galones americanos. Una ppm es igual a un miligramo por litro (mg/ Lt).

Las impurezas del agua arruinan el duro trabajo del proceso de preparación y pintado y acortan la vida útil del producto final. Los contaminantes en el agua pueden producir costra, lodos, espuma y defectos de superficie. La dureza en el agua es la principal fuente de costra, formación de jabones y manchas de agua que aparecerán a través de la pintura o problemas con la adherencia de la pintura.

Un enjuague con agua limpia ayuda a evitar estos problemas reducir el mantenimiento a las boquillas del túnel de pretratamiento, si es que es un proceso en serie, y la reducción

de lodos.

2.4.4. Osmosis inversa

El enjuague/sellado, es frecuentemente seguido de un enjuague con agua desionizada (DI) para quitar cualquier acumulación del fosfato o del enjuague de sellado, lo cual podría impedir la adherencia de la pintura o su buen desempeño. Los filtros del sistema de agua DI toman los iones de película de recubrimiento dispareja y problemas de adherencia; el enjuague DI eliminará el manchado, las sales corrosivas, los grumos de humedad, y las partículas orgánicas que pueden causar defectos de superficie.

El agua DI dentro del tanque negativos y positivos del agua para crear un agua pura sin contenido de minerales. El residuo de fosfato sobre el sustrato, puede causar una deposición durante de recirculación, no debe exceder a 50 microhomios en conductividad y el agua de reparación DI fresca suministrada por el halo no debería exceder 10 microhomios.

La osmosis reversa (OR), purifica el agua pasándola a presión por una membrana la cual no permite el paso de sales disueltas. La OR es ligeramente menos efectiva que la desionización y el equipo es costoso de conseguir y mantener.

2.4.5. Procesos de lavado por aspersión

El sistema de fosfato de hierro de tres etapas es utilizado para aplicaciones que no tratan partes con residuos pesados. El proceso de fosfato de hierro de tres etapas, combina la limpieza y los pasos de fosfatización en un solo paso reduciendo los costos de pretratamiento y requiriendo menos espacio. La solución desengrasante es alcalina mientras que la solución fosfatizante es ácida.

El sistema de tres etapas debe comprender los dos procesos produciendo resultados menos que perfectos. Una mejor limpieza y fosfatización, se logra cuando estos procesos son separados con enjuagues. Lo cual permite que los procesos sean ajustados para un máximo beneficio de cada etapa.

2.4.5.1. Procesos de los fosfatos por aspersión.

Fosfato de hierro en tres etapas

Etapas 1-Desengrase/fosfato 90 segundos a 71°C

Etapas 2-Enjuague 30 segundos a temperatura ambiente

Etapas 3-Enjuague/sellado 30 segundos a 49°C

Fosfato de hierro en cinco etapas

Etapas 1-Desengrase alcalino 90 segundos a 71°C

Etapas 2-Enjuague 60 segundos a temperatura ambiente

Etapas 3-Fosfato de hierro 60 segundos a 60°C

Etapas 4-Enjuague 30 segundos a temperatura ambiente

Etapas 5-Enjuague/sellado 30 segundos a 49°C

Fosfato de cinc en siete etapas

Etapas 1-Desengrase alcalino 90 segundos a 71°C

Etapa 2-Enjuague 30 segundos entre 43 - 49°C
Etapa 3-Enjuague activado 30 segundos a temperatura ambiente
Etapa 4-Fosfato de cinc 60 segundos a 60°C
Etapa 5-Enjuague 30 segundos a temperatura ambiente
Etapa 6-Sellado crómico 30 segundos a 49°C
Etapa 7-Enjuague con DI 30 segundos a temperatura ambiente

2.4.6. Sistema de inmersión – aspersion

Muchos métodos de conversión de superficie y de limpieza pueden ser usados por aspersion o inmersión, los cuales tienen ventajas y limitaciones. La inmersión tiene la ventaja de llegar a resquicios u otras áreas de las piezas en las cuales no pueden ser accesibles por la aspersion. Las bolsas de aire atrapado causan problemas para los métodos de inmersión, éstas pueden impedir la entrada de la solución desengrasante en resquicios y en casos extremos hacer imposible sumergir una pieza.

Es más fácil controlar la temperatura en los métodos de inmersión ya que un gran volumen de líquido es utilizado, el calor se pierde más rápido cuando los líquidos calientes están atomizados.

Un punto importante para recordar en un proceso de inmersión es que cualquier residuo que permanezca sobre la superficie de la solución desengrasante o del enjuague, se fijará sobre la pieza a medida que ésta es sacada del tanque.

Para ayudar a impedir esto, se recomienda un enjuague por aspersion. El sistema por aspersion utiliza la presión del líquido para ayudar a disolver la mugre y el líquido esparcido puede ser direccionado a resquicios que contienen bolsas de aire atrapado. Las boquillas del sistema por aspersion, deben tener un adecuado mantenimiento para que funcionen correctamente y evitar la obstrucción u otros problemas que pueden llevar un pobre patrón de esparcimiento y reducirán la efectividad del proceso. Tanto los sistemas por aspersion como los de inmersión requieren bombas para la circulación, filtros y tubería, ambos requieren un monitoreo cercano de las temperaturas y de las concentraciones químicas y ambos están sujetos a contaminación repentina y gradual. En algunos casos una combinación de inmersión y aspersion se requiere para proveer la limpieza completa de la pieza. Los chasis de carros son pretratados frecuentemente de esta manera.

2.4.7. Métodos y equipos de aplicación de pintura en polvo

2.4.7.1. Aplicación por lecho fluidizado

Al comienzo de la historia de las pinturas en polvo, los materiales termoplásticos, eran aplicados por inmersión de la pieza en el lecho fluidizado. El lecho fluidizado, es un contenedor que tiene la pintura en polvo con una cámara de aire en la parte inferior la cual se llama plenum de entrada. El contenedor y el plenum, están separados por una membrana que es lo suficientemente porosa para que el aire pase a través de ella, pero no, lo suficiente para que los sólidos la crucen. El aire comprimido es introducido dentro del plenum y en dirección hacia arriba a través de la membrana.

A medida que el aire comprimido pasa hacia arriba a través del contenedor, las

partículas en polvo son suspendidas en él. En este estado suspendido, fluidización, la mezcla pintura/aire se comporta de alguna manera como un líquido.

La aplicación del recubrimiento se logra precalentando la pieza y sumergiéndola dentro del lecho fluidizado. El material de pintura se fusiona al contacto con la pieza caliente, creando una película continua gruesa (10-20 milímetros) sobre el sustrato. En casos donde la pieza no tiene masa suficiente para fusionar completamente la pintura, la pieza es pasada a través de un corto ciclo de post curado, de 3 y 5 minutos a 400 hasta 500° F (204 a 260° C).

2.4.7.1.1. Recubrimiento por lecho fluidizado electrostático

La aplicación del lecho fluidizado electrostático (fig. N° 2.6), utiliza la misma técnica del proceso de inmersión en lecho fluidizado convencional, pero con mucho menos profundidad de pintura en el lecho. Una carga electrostática, es situada dentro del lecho de manera que el material en polvo, se cargue a medida que el aire fluidiza la pintura. Las partículas cargadas de pintura se mueven hacia arriba y forman una nube. La pieza conectada a tierra es pasada a través de la nube cargada, las partículas serán atraídas hacia su superficie. La pieza no está precalentada como lo estaría para el lecho fluidizado convencional.

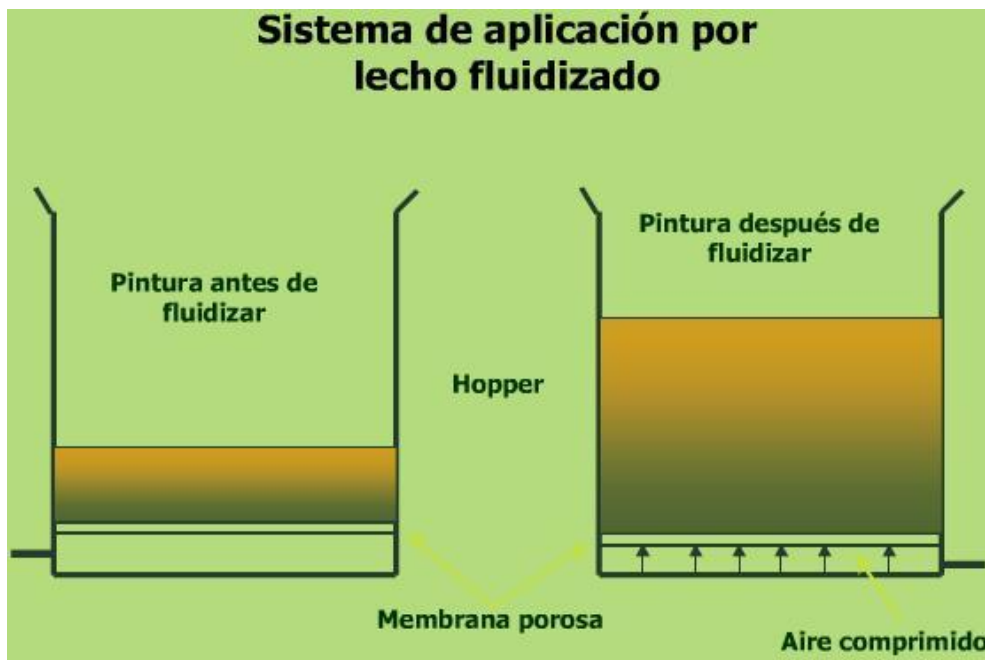


Fig. N° 2.6 Sistema de aplicación por lecho fluidizado

2.4.7.2. Aplicación electrostática

La aplicación electrostática, utiliza un lecho fluidizado en el hopper de alimentación para contener la pintura y fluidizarla (fig. N° 2.7), de manera que pueda ser bombeada hacia la punta de una pistola con aire comprimido, para transportar la pintura hacia la

punta de la pistola. La pistola está diseñada para impartir una carga electrostática a la pintura en polvo y dirigirla hacia una pieza conectada a tierra. Este proceso hace posible aplicar recubrimientos mucho más delgados, con una amplia variedad de características de protección y decoración.

La carga electrostática, puede ser impartida por inducción con voltaje llamado carga por corona o por fricción con la parte interna de la pistola, llamada tribocarga.

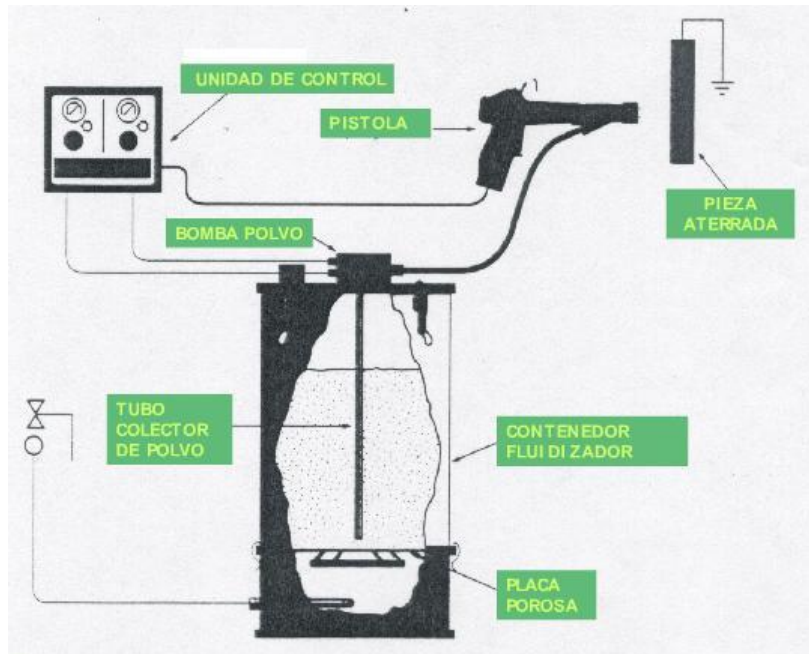


Fig. N° 2.7 Sistema de pintura electrostática, elementos para fluidizar el polvo

En el sistema de carga corona, la fuente de voltaje genera corriente hacia la punta de la pistola a través de un cable para cargar la pintura. La pintura es bombeada a través de la pistola y hacia afuera de la punta de la pistola utilizando aire comprimido. A medida que la pintura pasa a través del campo electrostático en la punta de la pistola (electrodo), ésta recoge una carga y es atraída hacia un sustrato conectado a tierra. La pieza es entonces llevada al horno para obtener el curado final de la pintura. Dentro del horno de curado, la pintura se derrite y se entrecruza para formar una película dura. La aplicación electrostática de pintura en polvo, es el método de aplicación más común. Las partes a ser recubiertas son limpiadas, secadas y enfriadas; la pintura es aplicada y curada a la temperatura requerida por el tiempo recomendado y luego enfriada para sacarla a la línea.

Un sistema de aplicación electrostático incluye de un sistema de carga y otro de entrega. Las partes básicas del equipo son:

- El depósito de pintura (hopper).
- La pistola.
- La fuente de corriente electrostática.
- Los controles.

Estos componentes son conectados por mangueras y cables a todos los reguladores.

La pintura produce abrasión sobre los componentes, generando fusión por impacto y causando restricciones al flujo. Las piezas de desgaste dentro de la bomba venturi y el cañón de la pistola, deben ser revisadas frecuentemente y reemplazadas cuando la cantidad de desgaste cause problemas de fluido.

Las mangueras deben ser lo más cortas como sea posible, para evitar giros que restringirán el flujo y contribuirán a la fusión por impacto.

2.4.8. El Sistema de entrega de la pintura

El sistema de entrega de la pintura, utiliza aire comprimido para "fluidizar" la pintura, transportarla hacia la punta de la pistola y crear un apropiado patrón de aplicación. Los componentes del sistema de entrega incluyen el tubo de recogida, la bomba venturi, la manguera de suministro de pintura y los controles neumáticos, que son utilizados para ajustar la presión de aire comprimido.

La fluidización es la mezcla de aire comprimido y la pintura que está en el hopper de alimentación, tanque de almacenamiento. El aire, ayuda a romper los aglomerados de partículas de la pintura en polvo, y suministrar una apropiada consistencia para facilitar su transporte.

Cuando la pintura es apropiadamente fluidizada, el material se eleva en el hopper y la superficie parece estar moviéndose como agua a fuego lento. Si la presión de aire de fluidización es demasiado alta la pintura que está dentro del hopper se elevará y hará difícil ver la superficie, causando patrones inconsistentes. Si la presión es demasiado baja, pequeñas burbujas y geysers aparecen en sitios irregulares sobre la superficie de la pintura mientras que el resto de la superficie parecerá inerte, hará que el flujo de pintura ondule y necesitará más presión de bombeo para llevar pintura desde el hopper de alimentación. Si la presión de fluidización es demasiado alta, dará patrones inconsistentes. La pintura migrará de la parte superior del hopper de alimentación y cubrirá el área generando contaminación. La pintura puede ser separada por tamaño de partícula y crear inconsistencias en el acabado de la pintura.

El dispositivo de bombeo, o venturi (fig. N° 2.8), utiliza aire comprimido para levantar la pintura desde el hopper de alimentación, conducirla por una manguera hacia la pistola de aplicación. El aire comprimido es pasado a través de la bomba venturi, creando un efecto de sifón, el vacío resultante hala la pintura hacia arriba y la conduce el aire de transporte.

Una segunda dosis de aire comprimido es agregada al aire de entrega para atomizar más aún la pintura y suministrar la velocidad de transporte necesaria para conducir la pintura a través de la manguera hacia la pistola. Estos dos flujos de aire son balanceados para suministrar un consistente flujo de pintura sin que hallé interrupción. Además de la presión de fluidización, del balance de flujo y de los controles de atomización, la bomba tipo venturi debe suministrar un flujo parejo de pintura hacia la pistola.

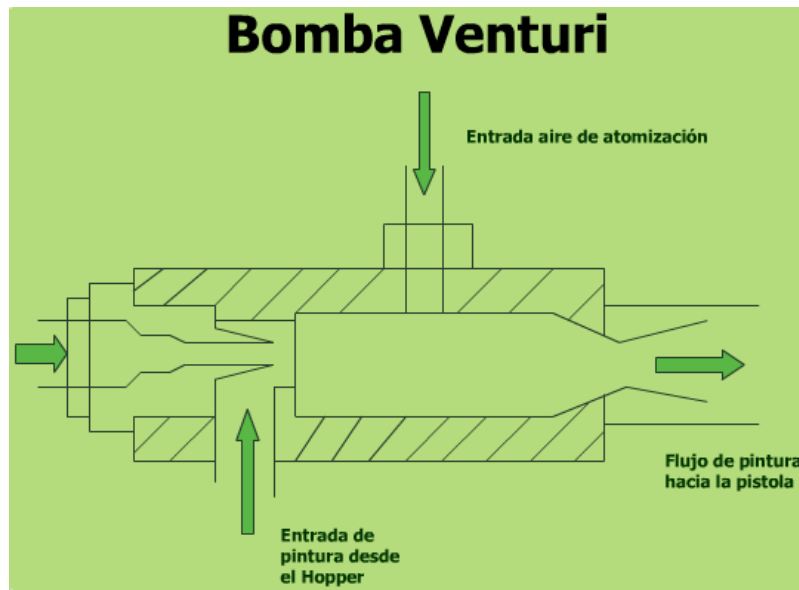


Figura N° 2.8 Funcionamiento de la bomba Venturi

Las bombas venturi deben ser inspeccionadas y limpiadas regularmente. Las piezas plásticas se desgastan debido a la naturaleza abrasiva de la pintura. Las partes desgastadas traen como resultado un pobre flujo de pintura, un aumento en la fusión por impacto y posteriores problemas de mantenimiento. Las partes desgastadas deben ser reemplazadas inmediatamente para evitar problemas.

El aire de fluidización rompe la pintura en el hopper para facilitar el transporte por la bomba venturi. El bajo volumen de pintura en el hopper afecta el constante flujo. Si el hopper tiene bajo nivel de pintura, la relación aire respecto a pintura se descompensa y tendrá más velocidad el flujo de pintura y menor suministro de material.

Los hopper de alimentación de pintura se consiguen en una variedad de diseños y tamaños que dependen de los requerimientos del sistema y del usuario. Las pistolas manuales requieren poco volumen de pintura (50 libras). Algunas pistolas manuales son alimentadas directamente desde la caja.

Las unidades con alimentación desde la caja utilizan la vibración mecánica y poco aire para hacer que la pintura suba por el tubo de alimentación. Estas unidades reducen el tiempo requerido para el cambio de colores. Algunas pinturas no fluyen bien desde la caja como lo hacen desde un hopper de alimentación con lecho fluidizado, particularmente pinturas con baja gravedad específica, recubrimientos metalizados o materiales con alta humedad.

La principal ventaja de estas unidades es el cambio de color rápido. No hay hopper a limpiar, las cajas son intercambiadas cuando se introduce un nuevo color. El tubo de alimentación, la bomba venturi, la manguera, la tapa de aire y los acoples son soplados con aire comprimido y el equipo queda listo para el cambio de color. Esta operación puede tomar entre 5 y 10 minutos.

Los conjuntos automáticos de pistolas requieren un volumen más grande de pintura y por lo tanto un hopper de alimentación de mayor capacidad. Estos depósitos tienen capacidad para almacenar entre 150 y 250 libras, no son diseñados realmente para

hacer cambios de color. Son empleados para tener un solo color y se deben tener tantos como colores se trabajen en la línea.

Los hopper grandes son muy difíciles para el cambio de color. Tamizado de la pintura. En sistemas automáticos, son utilizados dispositivos de tamizado continuo para eliminar la mugre, grumos de pintura u otros contaminantes. En el mercado hay disponibles dos tipos de tamizadores: vibratorios y rotatorios.

Los tamizadores rotatorios son montados formando parte integral del sistema de recuperación y alimenta automáticamente el hopper de pintura virgen con el material recuperado. La pintura recuperada siempre debe ser tamizada para eliminar contaminantes.

Los sistemas automáticos sin un tamizador recogerán mugre que impedirá el buen flujo de la pintura, causando defectos de acabado y aglomerados alrededor del electrodo, interfiriendo con la eficiencia de carga. En los sistemas manuales se debe utilizar un tamizador vibratorio para quitar la contaminación de la pintura recuperada antes de mezclarla con producto virgen. La malla más recomendada es de nylon anti estática con una abertura de 150 micrones.

2.4.9. Tamizado de la pintura

En sistemas automáticos, son utilizados dispositivos de tamizado continuo para eliminar la mugre, grumos de pintura u otros contaminantes. Existen dos tipos de tamizadores: vibratorios y rotatorios.

Los tamizadores rotatorios son montados formando parte integral del sistema de recuperación y alimenta automáticamente el hopper de pintura virgen con el material recuperado. La pintura recuperada siempre debe ser tamizada para eliminar contaminantes.

Los sistemas automáticos sin un tamizador recogerán mugre que impedirá el buen flujo de la pintura, causando defectos de acabado y aglomerados alrededor del electrodo, interfiriendo con la eficiencia de carga.

En los sistemas manuales se debe utilizar un tamizador vibratorio para quitar la contaminación de la pintura recuperada antes de mezclarla con producto virgen. La malla más recomendada es de nylon anti estática con una abertura de 150 micrones

2.4.9.1. Suministro de aire

El aire utilizado para fluidizar la pintura y suministrar flujo a las pistolas, debe estar limpio y seco. Aceite, humedad dentro de la línea de aire comprimido contaminan la pintura, taponan la membrana porosa o los reguladores y afecta la ionización.

Para los sistemas de pintura en polvo son adecuados los compresores rotatorio o recíprocante. El compresor recíproco es el más común, pero la unidad rotatoria es menos costosa, más silenciosa y más fácil de instalar. Los separadores en la unidad rotatoria capturan el lubricante utilizado para sellar y enfriar y se deben limpiar regularmente para evitar su paso hacia el sistema de aire.

La pintura en polvo necesita que el suministro de aire comprimido tenga un punto de rocío de +38° F o menor pero con menos de 0.1 PPM de aceite y con partículas no mayores de 0.3 micras. Un sistema de suministro de aire comprimido para pintura en polvo típico incluye los siguientes elementos:

- El compresor
- Un post enfriador
- Un separador
- Tanque
- Un filtro de eliminación de humedad
- Un secador de aire
- Un filtro final.

2.4.9.2. Sistema de carga

La pintura en polvo sin carga, flotará y aterrizará con un patrón inconsistente. Para aplicar la pintura sobre una superficie con un patrón uniforme, debe ser suministrada una carga al polvo. Las partículas de pintura pasan a través de un campo de carga generado en el sistema para impartir una carga electrostática. La pintura electrostáticamente cargada es atraída a un sustrato llevado a tierra.

2.4.9.3. Funciones de las pistolas electrostáticas

Las principales funciones de las pistolas electrostáticas son: La orientación del flujo de pintura, controlar la forma del patrón de aplicación, su tamaño e impartir una carga electrostática a la pintura. Hay una amplia variedad de pistolas electrostáticas disponibles, manuales y automáticas, con diferentes métodos de suministro de carga. Los tipos más comunes de pistolas utilizados son: Corona y Tribo.

2.4.10. Carga por corona

Es el tipo más utilizado (fig. N° 2.9). Éste utiliza voltaje para suministrar una carga a las partículas de la pintura en polvo. Un electrodo de carga en la punta de la pistola está conectado a un generador de alto voltaje. El generador puede estar en el tablero de control y conectado al electrodo por un cable de alto voltaje o puede estar localizado dentro del cuerpo de la pistola. Los multiplicadores de alto voltaje dentro del cuerpo de la pistola están conectados al tablero de control por un cable de bajo voltaje.

Cuando es accionada una pistola de carga por corona, se creará un campo eléctrico en la punta de la pistola y la pintura es cargada. Las líneas de campo se desarrollarán entre la punta del electrodo de la pistola y el sustrato a recubrir conectado a tierra.

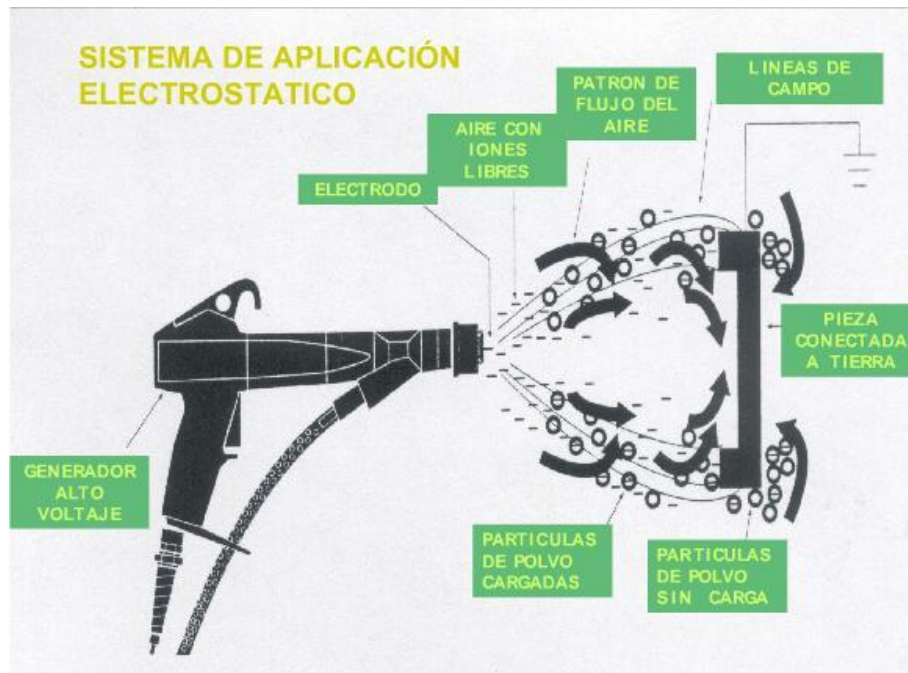


Fig. N° 2.9 Sistema de aplicación de pintura electrostática, carga por corona

Siempre se tendrá electrones o iones libres en el aire. Estos iones libres, pasan a través del campo eléctrico fuerte que está en la punta de la pistola, comenzarán a moverse a lo largo de las líneas de campo y se acelerarán. A medida que los electrones se aceleran a lo largo de las líneas de campo éstos colisionarán con las moléculas de aire.

Cuando el voltaje aplicado y el electrodo crean un campo eléctrico en exceso superando la fuerza de rompimiento del aire, se genera una descarga por corona. El impacto de los iones libres sobre la molécula de aire será lo suficientemente fuerte para partirla en dos, formando dos iones secundarios uno negativo y otro positivo. Los electrones secundarios se acelerarán en el campo eléctrico y repetirán el proceso de partir moléculas de aire para formar más iones. Los iones negativos resultantes se acelerarán a lo largo de las líneas de campo hacia la pieza mientras que el sobrante de iones positivos se acelerará a lo largo de las líneas de campo en la dirección opuesta hacia el electrodo de la pistola. El espacio entre la pistola y la pieza llevada a tierra se llena de millones de electrones libres y de iones positivos.

Las piezas llevadas a tierra, suministran un electrodo receptor para formar un campo electromagnético entre la pistola y la pieza. A medida que las partículas en polvo pasan a través de este campo, se cargan, con iones negativos y siguen el campo electromagnético del aire para formar un campo electrostático. A medida que el aire lleva las partículas a través de unos pocos centímetros de la pieza, la atracción electromagnética hala las partículas hacia la superficie de la pieza y hace que ellas se adhieran ahí hasta que alguna otra fuerza actúe o que sean curadas por la inducción de calor o energía radiante.

La capacidad de recibir carga, es afectada principalmente por la fuerza del campo, el tamaño y forma de la partícula en polvo y el tiempo que la partícula gasta dentro del área de carga. La fuerza eléctrica, empujará la partícula hacia el sustrato llevado a tierra. La resistencia del aire, la fuerza aerodinámica, la fuerza de gravedad halan la

pintura alejándola de la pieza. La corriente de aire conducirá la partícula hacia la pieza pero, si la partícula no está cargada o la fuerza del campo no es suficiente la pintura cargada será alejada de la pieza por estas fuerzas.

La polaridad del electrodo de carga puede ser positiva o negativa. Es preferida la carga negativa ya que los iones son generados en mayor cantidad.

Los factores que afectan la carga por corona son: la distancia entre la pistola y el objeto a pintar, la velocidad de la pintura, la configuración de la boquilla, el electrodo y la presencia de una pieza bien llevada a tierra para actuar como el electrodo receptor.

Las líneas del campo electrostático se desarrollan entre el electrodo de la pistola y la pieza llevada a tierra. Estas líneas de campo se concentran en las aristas de la pieza, produciendo una mayor deposición en estos puntos. Las partículas en polvo, salen de la pistola y capturan algunos de los iones del área y se cargan. Muchos de los iones permanecen libres. La pintura cargada y los iones libres sobrantes viajan a lo largo de las líneas de campo hacia al pieza conectada a tierra. Esta combinación de partículas en polvo cargadas y iones libres tiene un potencial acumulativo llamado " carga en espacio". En un sistema de carga por corona, el campo eléctrico cerca de la superficie de la pieza es constituido por los campos creados por el electrodo de descarga de la pistola y la carga en espacio. Estos dos campos se combinan para suministrar eficiente deposición de pintura en polvo sobre la pieza llevada a tierra.

2.4.11. Efecto de jaula Faraday

Las grandes superficies planas, son el objetivo perfecto para los campos eléctricos creados por el sistema de carga por corona. Las mismas fuerzas que suministran eficiente deposición sobre grandes superficies planas pueden crear algunos problemas sobre piezas con geometría más complejas. Esto crea el fenómeno conocido como efecto jaula Faraday, llamado así por el Señor Michael Faraday quien realizó muchos experimentos respecto a la electricidad estática. Las áreas de Faraday (fig. N° 2.10) están en las esquinas internas que son resistentes a la deposición de la pintura.

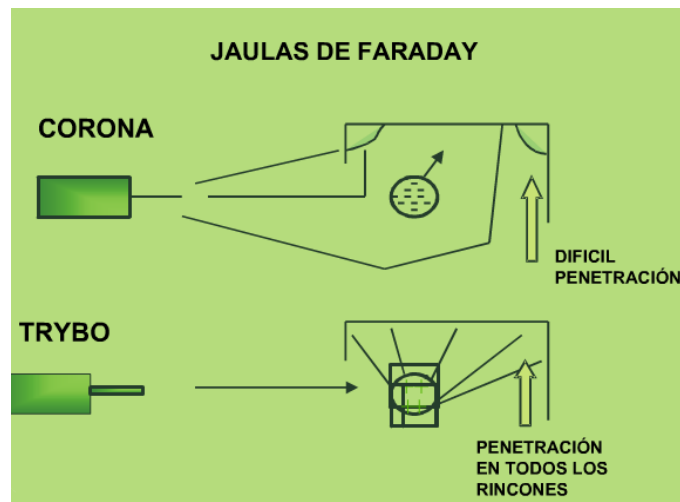


Fig N° 2.10 Efecto de jaula de Faraday

Las líneas electrostáticas de fuerza tenderán a concentrarse más y más sobre los bordes, ya que hay menos resistencia a las fuerzas eléctricas. La pintura se acumulará rápidamente en los bordes siguiendo las líneas de campo y menos pintura caerá dentro de los resquicios. A medida que la pintura se acumula sobre los bordes cortantes y sobre los puntos prominentes, ésta produce un campo de imagen sobre la superficie de la pieza y comienza a hacerse autolimitante. Además, la superficie conductiva de la pieza hace un escudo a las esquinas interiores del campo electrostático producido por la pistola. También, el aire que transporta la pintura tiende a girar dentro de esa área Faraday barriendo la pintura. Esta combinación de fuerzas hace del pintado de los resquicios uno de los desafíos más complicados enfrentados por el usuario de pintura en polvo. La única fuerza que contribuye a la deposición dentro del resquicio es el campo creado por la carga en espacio de las partículas en polvo que son llevadas por la corriente de aire adentro del resquicio.

Ya que las líneas de campo desde el electrodo de descarga seguirán el sendero de menor resistencia hacia los bordes del resquicio, hay un desarrollo rápido de fuerza de campo en esas áreas. Esto generará algunos iones positivos, reduciendo la fuerza de carga de esas partículas que pasan los bordes y continúan hacia adentro del resquicio. Cuando esto sucede, la carga en espacio acumulativo de las partículas que pasan los bordes del área Faraday no es suficiente para permitir que la pintura sea atraída a la superficie a recubrir. Este problema es directamente relacionado a la acumulación de iones libres en la superficie de la pieza.

El problema con la penetración en las esquinas interiores, es mucho más difícil en situaciones donde la pieza está pobremente llevada a tierra. Muchos pintores no revisan con regularidad la calidad de la conexión a tierra de la pieza. Los chequeos de la tierra debían ser parte rutinaria de la operación diaria del sistema de pintura en polvo.

La mayoría de pistolas corona suministran una carga negativa. La partícula en polvo entra a la pistola en una condición neutra y los iones libres presentes en el campo corona agregan electrones adicionales a la partícula en polvo. Siguiendo la naturaleza de la materia, las partículas son atraídas a una fuente llevada a tierra para descargar estos electrones y volver a ganar neutralidad. Esto es lo que causa que la pintura se adhiera a la pieza a pintar.

Las fases en la secuencia de carga de una pistola de carga negativa por corona son:

- El voltaje es suministrado al electrodo en la punta de la pistola.
- El voltaje crea un campo eléctrico.
- El campo eléctrico ioniza el aire.
- El aire ionizado genera una carga por corona.
- La corona emite electrones.
- Los electrones se recolectan sobre moléculas de oxígeno para formar iones negativos.
- Estos iones siguen las líneas de campo establecida por la descarga de voltaje.
- Las partículas en polvo distorsionan el campo que las rodea.
- El campo dirige a los iones hacia las partículas en polvo.
- A medida que los iones colisionan con las partículas en polvo los electrones son transferidos a las partículas de la pintura suministrándoles una carga negativa.

El éxito del proceso depende de muchas variables. La carga es fuertemente afectada por la fuerza de campo, tamaño y forma de la partícula y el tiempo que la partícula pasa en el área de carga. Una partícula en polvo individual tiene muy poca masa, algunas partículas no se cargan y algunas son influenciadas por el flujo de aire y otras fuerzas pero muchas de las partículas se cargarán y buscarán la tierra. Para una buena eficiencia de transferencia es esencial que la pieza objeto posea la mejor conexión a tierra.

La mayoría de las pinturas en polvo son dieléctricas. Una vez que están cargados, la carga no se retirará rápidamente. A medida que las partículas en polvo llegan a la superficie, llevada a tierra ellas inducen una carga de igual valor y de polaridad opuesta sobre el metal. Los electrones adentro del metal dejarán vacía el área, dejando una carga positiva que atrae la pintura en polvo cargada negativamente. Esta carga en el metal es comúnmente llamada "carga por espejo". Las cargas opuestas se atraen unas a otras y sostienen a la partícula en polvo sobre la superficie. Ellas generan otro campo eléctrico entre sí. Una partícula en polvo más grande con carga más alta contribuirá a un campo eléctrico más fuerte entre ella misma y la superficie de la pieza.

Las partículas en polvo más grandes adquieren más carga que las partículas más pequeñas. A medida que se acumulan sobre la superficie, pueden crear resistencia a la deposición de partículas más pequeñas con una carga más débil. Este es uno de los factores que puede contribuir al acabado "cáscara de naranja" o sea ligeramente texturizados. Esto será notable si la pintura no permanece en el lecho de flujo suficiente tiempo para ayudar que la película se nivele después de curada.

2.4.12. Retroionización

A medida que el número de partículas cargadas aumenta sobre la superficie, la carga negativa en la película de pintura y la "carga por espejo" positiva dentro del metal aumentan, causando un aumento en la fuerza del campo eléctrico dentro de la capa de pintura en polvo. Si la aplicación de pintura continúa, la fuerza del campo eléctrico puede subir a un punto donde comenzará a ionizar el aire atrapado entre las partículas en polvo. Esto causará un efecto muy similar al campo corona en la punta de la pistola. Los electrones extraviados se acelerarán en el campo eléctrico y partirán las moléculas de aire, generando un gran número de electrones negativos y de iones positivos. Los electrones negativos tenderán a atraerse a la tierra positiva, mientras que los iones positivos tratarán de abrirse paso saliendo de la película de pintura hacia el electrodo negativo en la punta de la pistola.

Esta acumulación crea pequeñas chispas que se disparan a través de la capa de pintura. Este fenómeno se le llama comúnmente retroionización (back ionization). Esta fuerza repelente forma microcráteres sobre la superficie de pintura a lo que comúnmente se les llama "estrellas". También, a medida que los iones positivos viajan a lo largo de las líneas de fuerza hacia el electrodo de la pistola, ellos colisionan con partículas en polvo cargadas negativamente, neutralizándolas, contribuyendo a la autolimitación de la aplicación electrostática y reduciendo la eficiencia de transferencia. Este proceso se puede apreciar con la figura N° 2.11:

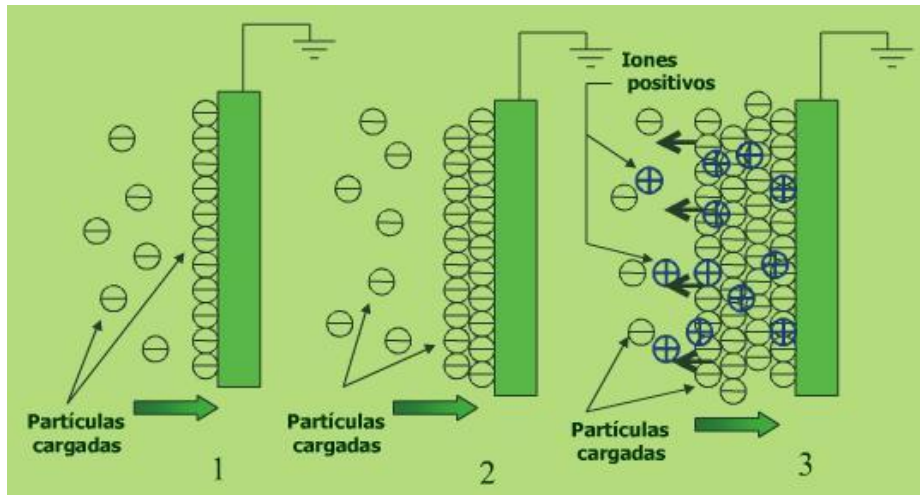


Fig. N° 2.11 Retroionización

En la etapa 1 la pintura comienza a depositarse sobre la pieza llevada a tierra. En la etapa 2 el espesor de la pintura sobre la superficie aumenta y así lo hace la carga acumulativa de la capa, la carga por espejo resultante. El aumento en estas dos cargas incrementará la fuerza del campo eléctrico dentro de la capa de pintura en polvo y la superficie.

A medida que la pintura continua acumulándose sobre la superficie, la fuerza del campo eléctrico de la capa de pintura en polvo, eventualmente se hará lo suficientemente alta para ionizar el aire atrapado entre las partículas en polvo. Cuando el aire empieza a ionizarse, crea la misma atmósfera que hay en la descarga por corona, acelerando los electrones extraviados en el campo eléctrico, partiendo partículas de aire y crea iones positivos y negativos adicionales. Ya que los opuestos se atraen, los iones negativos corren velozmente hacia la carga positiva de la superficie de la pieza y los iones positivos comenzarán a salirse de la película de la pintura hacia el electrodo negativo de la pistola como se muestra en la etapa 3. Este flujo intenso de iones dentro de la película de pintura hará que se creen rastros en la pintura recientemente aplicada. Estas líneas son como pequeños manchones de chispa que salen disparados a través de la película. Las manchas cargan iones positivos sacándolos a través de la capa de pintura causando el rompimiento de la superficie y neutralizando las partículas cargadas negativamente. Este rompimiento interno la superficie de la pintura se llama retroionización (back ionization).

Las fuerzas asociadas con la retroionización drásticamente reducen la eficiencia de transferencia, contribuyen a la cáscara de naranja y crean "estrellas", cráteres pequeños en la superficie de la pintura.

Un gran número de iones libres está en el aire entre la pistola y la pieza. Antes de que la pintura comience a acumularse sobre la superficie hay baja resistencia a la conductividad eléctrica y el sendero hacia la tierra no queda obstruido. A medida que la pintura se acumula, aísla la superficie y crea resistencia.

Los iones libres viajan a lo largo de las líneas de campo y a medida que ellos llegan a la superficie contribuyen a la rápida retroionización y a dificultar la aplicación en las áreas de jaula Faraday.

2.4.13. Envolvimiento electrostático

A medida que la pintura se aproxima a la pieza conectada a tierra a lo largo de las líneas de campo, una gran porción de la pintura será atraída hacia la superficie a partir de una fuerza que es comúnmente llamada como efecto electrostático (fig N° 2.12).

El "envolvimiento" en una situación particular dependerá de la eficiencia de carga, de las características del flujo de aire en la cabina y del equipo de entrega. Los flujos de aire de la cabina no deben ser tan fuertes para que interfieran con la deposición electrostática y los flujos de la pistola no deben tener alta velocidad como para lanzar la pintura más allá de la pieza.

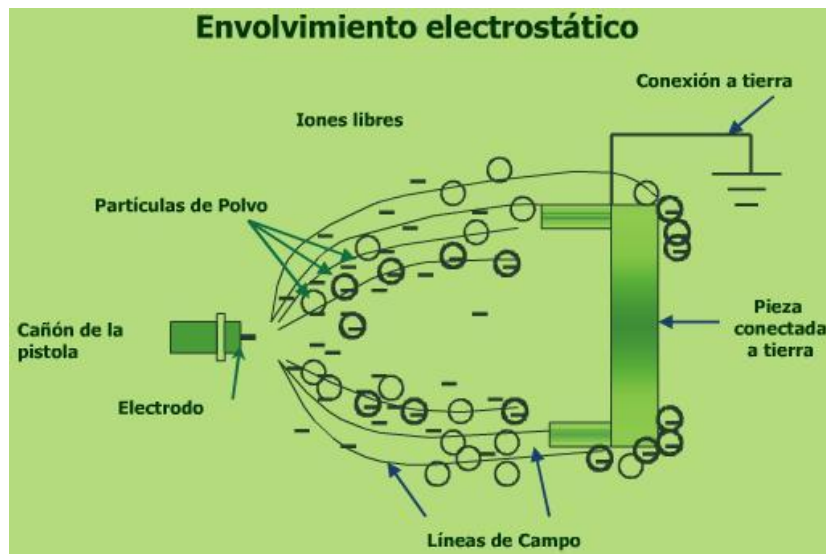


Fig. N° 2.12 Proceso de envolvimiento electrostático

2.4.14. Carga interna y externa

Como se mencionó previamente, el alto voltaje puede ser suministrado a partir de una fuente externa a través de un cable de alto voltaje o aumentado dentro del cañón de la pistola por un multiplicador.

2.4.14.1. Pistola de carga externa

Con una pistola de carga externa, una carga electrostática de 30 - 100 kilovoltios es generada por un transformador de alto voltaje localizado en el tablero de control y conducido por un cable de alto voltaje hacia el electrodo en la punta de la pistola. La carga electrostática sobre el electrodo es de polaridad negativa y es regulada por la fuente de corriente electrostática. El nivel de carga electrostática utilizada depende de la forma de la pieza y de la pintura que está siendo aplicada. Generalmente las superficies que no tienen mucha área Faraday (resquicios y esquinas internas), deben ser recubiertos al más alto voltaje posible o de acuerdo con la recomendación del proveedor de la pintura con el menor flujo de aire posible. Las áreas Faraday usualmente se pintan mejor a bajo voltaje y facilita la pintada de la pieza.

Todas las pinturas no se comportan de la misma manera cuando se someten a una carga electrostática. Por ejemplo, un poliéster puro o un híbrido epóxy/poliéster se pueden cargar mejor que un epóxico. Por lo tanto, puede ser necesario reducir los porcentajes de flujo y/o de voltaje para controlar el espesor del recubrimiento para reducir la retroionización con algunas pinturas. El tamaño de la partícula y su distribución también afectan el espesor de la película de pintura.

La posición de la pistola, la distancia entre la ésta y el sustrato, el nivel de carga electrostática, la rata de flujo y la rata de atomización determinan el espesor de pintura aplicado.

2.4.14.2. Pistola de carga interna

Con este tipo de pistola (fig. N° 2.13), el voltaje es elevado adentro del cañón de la pistola. Una señal de bajo voltaje, es suministrada a la pistola a partir de una fuente de corriente DC en el tablero de control a través de un cable de bajo voltaje hacia un oscilador. La señal desde el oscilador, es aumentada por un transformador de alto voltaje de 10 kilovoltios. Esta señal es elevada hasta un rango de 80 a 100 kilovoltios por el multiplicador en cascada que está dentro del cañón de la pistola. Un resistor de bloqueo dentro del cuerpo de la pistola, impide la descarga de energía almacenada en una sola onda, para suministrar la segura operación y evitar defectos de superficie.



Fig. N° 2.13 Pistola de carga interna

2.4.14.3. Contraelectrodo

Una pistola corona desarrolla líneas de fuerza que se extienden desde el electrodo de carga hacia la pieza objetivo. Las líneas de fuerza influyen el sendero de la pintura y la deposición resultante. Las líneas de fuerza tienden a "conectarse" a la pieza en puntos que son los más fáciles para que viaje el voltaje. En piezas con geometría regular, las líneas de fuerza se concentran sobre las superficies más prominentes y evitando los resquicios cerrados o las esquinas muy internas, efecto de jaula Faraday.

Las pistolas corona pueden ser ajustadas para superar las áreas Faraday, pero es uno de

los temas más comunes que desafían a los que pintan en polvo (fig. N° 2.14).



Fig. N° 2.14 Pistola de carga interna con colector

Una opción en la tecnología de aplicación que ayuda a reducir el impacto de áreas Faraday, es un contraelectrodo. Este tipo de pistola tiene un electrodo ionizante y un contraelectrodo. La mayoría de los iones producidos por el electrodo de ionización son halados hacia el contraelectrodo, dirigiendo las líneas de fuerza lejos de la pieza. La pistola electrostática con contraelectrodo, puede producir películas consistentes y buena penetración sin producir altos espesores en las partes complejas.

El voltaje para esta pistola se maneja entre 35 y 40 kv., la corriente útil es de 80 microamperios. Las tasas de flujo son generalmente bajas para asegurar una buena carga. Como resultado, la pistola contraelectrodo es más apropiada para aplicaciones de bajo volumen, donde hay necesidad de penetración de áreas Faraday al tiempo que se controla el espesor en las áreas planas. Es esencial que el electrodo de carga se mantenga limpio en todas las pistolas corona asegurándose de que el campo de iones esté efectivamente cargando la pintura. Con la pistola contraelectrodo es importante mantener ambos electrodos limpios.

2.4.14.4. Tribocarga

Otro método que puede ayudar a superar el efecto Faraday es la pistola de tribocarga (fig.N° 2.15). En una pistola de tribocarga, las partículas en polvo son cargadas por fricción con el material que está dentro del cuerpo de la pistola. Una mezcla de pintura y aire, entra a la pistola a través de una sección tubular que está hecha de un material un buen aceptor de electrones, como el teflón. A medida que las partículas en polvo colisionan con las paredes del tubo, recogen una carga positiva y otorgan electrones al tubo. La carga negativa, es pasada desde el cuerpo de la pistola hacia la tierra a través de un cable.

La pintura en polvo debe ser formulada con materias primas que sean donantes de electrones, como nylon, epóxico o poliéster puro. No todos los materiales en polvo pueden ser utilizados efectivamente en una pistola de carga tribo. Además de la

composición química de la pintura, los sistemas tribo son más sensibles al tamaño de las partículas que la pistola corona. Generalmente, las partículas más grandes son más efectivas para una formulación en una pistola tribo. Los fabricantes de pintura en polvo, trabajan con el usuario, para asegurarse que el material a usar sea apropiado para la aplicación tribo. El sistema tribo, ayuda en la penetración de las áreas Faraday, ya que tiene la carga positiva generada por fricción y no tiene las líneas de campo que están presentes en una carga por corona. Sin tener descarga de alto voltaje, como la que se utiliza en la pistola corona, no hay acumulación de iones libres sobre la superficie, que interfiera con la deposición del recubrimiento.

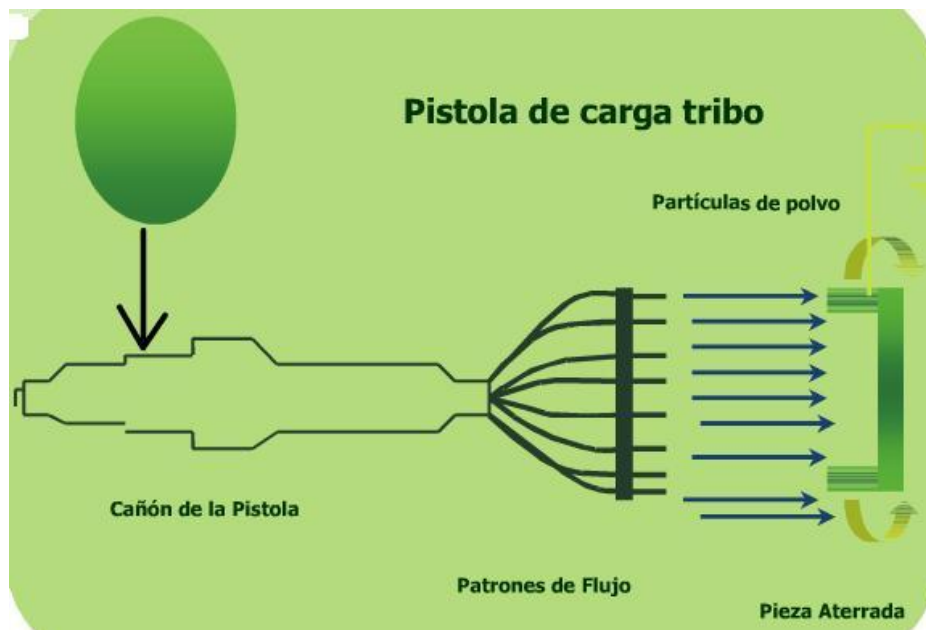


Fig. N° 2.15 Pistola de tribo carga

Otra ventaja de la pistola tribo, es la habilidad para repintar piezas sin retroionización. Como la superficie no recibe gran número de iones libres, ésta no opone resistencia para recibir una segunda capa que se adhiera a la primera. Nuevamente, no hay retroionización, entonces la pintura puede cubrir sin interferencia del sistema de carga con voltaje.

El método de carga tribo puede ayudar a lograr un cubrimiento uniforme sobre una superficie con ángulos. En aplicaciones donde se requiera una profunda penetración, la pistola tribo suministra buen cubrimiento, sin acumulación excesiva de pintura en los bordes externos.

Los materiales deben ser compatibles con la carga por fricción. Algunos no funcionan en una pistola de carga tribo. Un recubrimiento con alto contenido de partículas finas causará problemas de aplicación.

2.4.15. Campanas y discos

La campana o turbina para la aplicación de pintura en polvo está basada en los mismos principios que las pistolas rotatorias hechas para la aplicación de pinturas líquidas.

La campana en polvo (fig. N° 2.16) está montada en una posición horizontal sobre un montaje de pistola estacionario o recíprocante. Una turbina rota en forma de campana en la punta de la pistola. La pintura es entregada a la campana por aire comprimido. La fuerza centrífuga de la campana, expulsa la pintura en un patrón parejo desde pequeños agujeros o ranuras alrededor del borde del disco. El electrodo de carga tiene forma de disco o de aguja y está localizado en la punta de la pistola. El campo corona y el método de carga es el mismo como en la pistola electrostática estándar. El patrón y la velocidad pueden ser controlados por la velocidad de giro de la campana y por una fuente de aire "que suministre la forma".

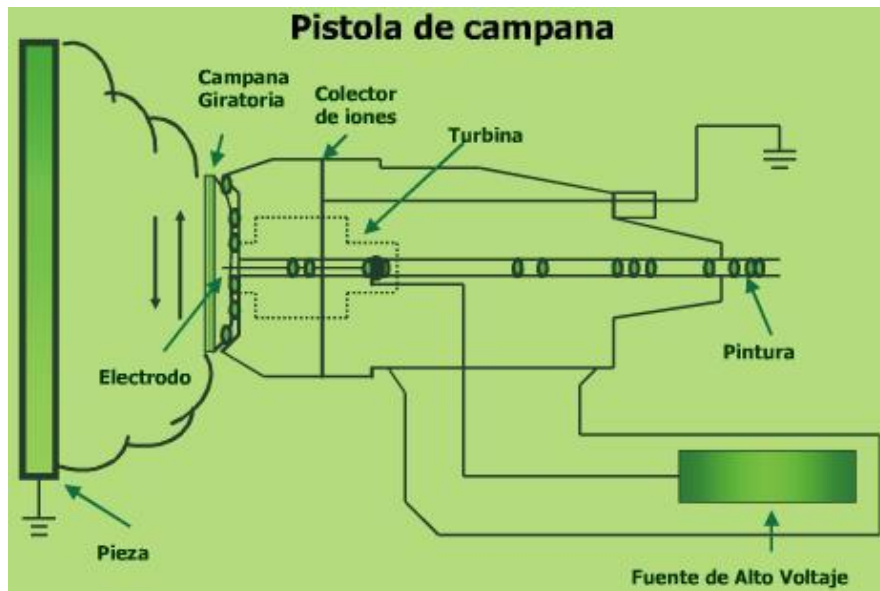


Fig. N° 2.16 Pistola de campana

La campana, puede entregar un gran volumen de pintura sobre una amplia área de superficie con un alto nivel de eficiencia de carga. Superficies grandes sin áreas Faraday significativas, pueden ser pintadas con excelente control del espesor de la película y una alta eficiencia de transferencia en la primera pasada (AEPP).

El patrón de la pintura entregada desde la campana es más amplio que el de una pistola normal y más concentrado alrededor de los bordes que el del centro. La campana necesita ser accionada antes de que la pieza llegue y permanecer activada hasta que pase. Como el patrón de la campana puede ser hasta de 18 pulgadas, se genera demasiado sobrepintado durante la llegada a la zona de aplicación y la salida de esa zona por la pieza.

El disco en polvo está montado sobre un recíprocante vertical de golpe largo, dentro de una cabina en forma de "Omega". Al igual que la campana, éste es capaz de suministrar una alta eficiencia de transferencia. El tiempo de permanencia en la zona de aplicación

es mayor que el de una convencional, el envolvimiento y penetración son muy buenos. Distinto a la campana el disco no rota. La pintura es tribocargada y entregada a un disco grande, el cual está localizado en la parte inferior del cuerpo de la pistola. El disco suministra la pintura en un patrón circular hacia las piezas a medida que ellas pasan a través de la cabina "omega".

El disco es capaz de suministrar flujos de pintura de hasta 180 libras por hora, lo cual se pueden cubrir hasta 950 mts² por hora.

2.4.16. Búsqueda y selección del sistema de aplicación

Escoger el sistema de aplicación más apropiado depende de la naturaleza de la tarea. La pistola corona, la pistola tribo, la campana y el disco, son todas herramientas que pueden cumplir ciertos requerimientos. Ninguna herramienta es perfecta para cada aplicación de pintura en polvo.

Una pistola de carga por corona, ofrece más ajustes para diferencias de tamaños en piezas y geometrías. Los patrones de flujo de aire, volumen de aire, velocidad y nivel de voltaje, deben ser ajustados para acomodarse a diferentes piezas y pinturas. Esto da al operador mucha flexibilidad al controlar el espesor de la película, disminuir el efecto Faraday y otras variables de proceso que son comunes en las instalaciones de producción. El uso de voltaje de descarga, crea líneas de campo y un campo eléctrico altamente ionizado que puede causar una variedad de desafíos en la aplicación.

Generalmente, un sistema tribo funcionará en situaciones donde no hay mucha variedad de piezas y pinturas. Con una pistola tribo, pueden ser ajustados el volumen de pintura y la distancia hacia el objetivo. La mejor aplicación para las pistolas tribo es aquella donde hay poca o ninguna necesidad de ajuste. Una pintura y una mezcla bien consistente de piezas pueden trabajar muy efectivamente con una pistola tribo. La pistola tribo puede ser muy efectiva, con la pintura en polvo correcta. Se deben realizar muestreos para asegurarse de que la pintura en polvo es compatible con los dispositivos de carga positivos.

La mayoría de operaciones en polvo, utilizan la pistola de carga por corona, para sacar ventaja de la flexibilidad del control de voltaje y la habilidad de aplicar cualquier pintura termoestable, de manera efectiva. En Europa son utilizadas más pistolas tribo, para sacar ventaja de las características de penetración.

La campana es apropiada para líneas de alto volumen de producción. Sería grandiosa por ejemplo para paneles pero no muy buena para cuadros o marcos donde hay mucha área vacía y muy poca superficie. Una pistola de carga tribo suministrará mejor penetración en las áreas de efecto Faraday, de lo que lo hace una campana.

El disco es una pieza especializada para aplicaciones de grandes áreas y con un espesor de recubrimiento muy pequeño. Extrucciones en aluminio, grandes lotes de piezas pequeñas y elementos de alambre son usos apropiados para este equipo.

Los procesos deben ser examinados, probados, documentados y utilizados para ayudar con el arranque cuando la instalación está lista para la producción.

2.4.16.1. Sistema automático

Muchos sistemas de pintura en polvo están equipados únicamente con equipo de aplicación manual. Con piezas, entre 70 centímetros de ancho por 130 centímetros de altura, dos operarios son capaces de mantener una línea a 1,8 metros/minuto.

A medida que el volumen aumente bien sea por tamaño de pieza o por velocidad de la línea o por ambos, se hace necesaria la aplicación automática. Al automatizarse una línea de producción, se reduce el trabajo manual, se obtiene mejor eficiencia en la aplicación. Las pistolas automáticas pueden cubrir entre 80 a 100% de las piezas. Puede ser necesario disponer de operarios para cubrir las partes difíciles y cumplir la función de inspectores. En algunos casos, las piezas son totalmente pintadas con las pistolas automáticas y no hay necesidad de refuerzo manual.

2.4.16.2. Pivotantes

Son equipos que suministran movimiento hacia arriba y abajo de las pistolas de aplicación, llamados también reciprocantes u osciladores (fig. N° 2.17). Un oscilador es típicamente un brazo con un diseño de rueda libra que puede suministrar un golpe vertical de 15 a 61 cm. Un reciprocante es un dispositivo más complejo con un drive reversante o recíproco y ajuste de 41 a 366 cm. La velocidad de golpe es también ajustable. Con ambos dispositivos, las pistolas pueden ser montadas en línea vertical recta, una línea horizontal o combinación de ambas dependiendo de las necesidades de operación.

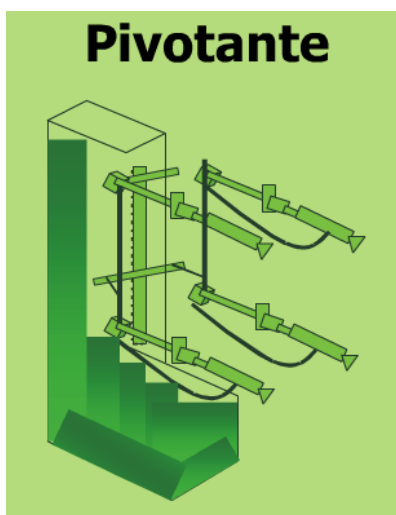


Fig. N° 2.17 Pivotantes

2.4.16.3. Oscilador radial

Un oscilador radial utiliza dos barras verticales, una que lo mueve hacia arriba y hacia abajo con el drive y una que es estacionaria. La estructura de la pistola es montada sobre

ambas barras, de manera que a medida de que una barra se mueve, ésta produce un movimiento de oscilación respecto a la horizontal.

2.4.16.4. Máquinas multi-eje

Una máquina multi - eje, llamada comúnmente una máquina XYZ, mueve las pistolas en más de una dirección, es una mejora al sistema pivotante. Además del movimiento vertical de un recíproco, ésta también mueve en el mismo sentido de la cadena y hacia adentro y hacia fuera. Es un sistema más flexible para pintar formas complejas y maximiza la eficiencia de la aplicación.

2.4.16.5. Robots

Las ventajas de utilizar un robot son el reemplazo de la labor manual y la aplicación repetitiva más consistente. Éste es capaz también de hacer ajustes en voltajes y porcentajes de flujo en mitad de la operación través del controlador PLC. Hay robots hidráulicos y eléctricos utilizados para pintar. El robot hidráulico es menos costoso pero, el eléctrico es preferido porque es más suave, más preciso, más veloz y requiere menos mantenimiento.

2.4.17. Activación de la pistola (Gatillo)

Además de los pivotantes, cada vez es más común utilizar activación automática (gatillo). Una foto celda o un banco de foto celdas, van montados a un lado de la cadena, en línea con reflectores al otro lado. A medida que las partes pasan a través de la foto celdas, las piezas rompen el rayo de luz del reflector y envían una señal a un microprocesador para suministrar información del tamaño de las piezas. Un codificador es utilizado para sentir el movimiento de la banda y suministra información sobre la posición de las piezas para el cálculo y la activación de la pistola. La salida a partir del microprocesador, controla el momento de activar las pistolas.

La activación de la pistola es utilizada para identificar la presencia de las piezas y los baches de línea. Es utilizada para determinar el tamaño de la pieza y reaccionar respecto a la longitud, activando únicamente el número de pistolas que sean necesarias. Ésta también puede ser utilizada para reducir o aumentar el involucramiento electrostático, ayudando a reducir los bordes gruesos en un producto simple plano y para mejorar, el cubrimiento de bordes en los lados de las piezas.

Para el aplicador de pintura en polvo, la activación de la pistola puede suministrar ahorros significativos en varias áreas:

- Mejor utilización del material en polvo general. Un porcentaje del material es perdido cuando es atomizado, se pierde hacia los estantes, se pierde por la manipulación o en el proceso de limpieza, etc. Para reducir la cantidad total aplicada.
- Los materiales en polvo, son entregados en un rango particular de tamaño medido en micras. El análisis muestra que después de reciclar la pintura, el rango de tamaño se mueve y la mezcla tiene un porcentaje más alto de partículas finas y/o partículas virgen. Usualmente, el desempeño y apariencia de la pintura reciclada

es menor que el material virgen. Como resultado, el material virgen y los materiales reciclados son mezclados para suministrar resultados satisfactorios. El porcentaje de mezcla puede ser 50/50 o puede ser de un porcentaje más alto de pintura virgen, dependiendo de las características de desempeño en particular. En algunos casos, después de que el mismo material ha sido reciclado varias veces la pintura se satura con partículas finas y el desempeño se hace tan pobre que el material debe ser desechado.

- Consumo de aire comprimido. El aire comprimido cuesta dinero al ser generado. Teniendo pistolas únicamente prendidas cuando las piezas están presentes reduce el consumo de aire.
- Desgaste en las piezas de la pistola. Las superficies por acción de la pintura sufren desgaste. Menos aplicación significa menos desgaste y menos reemplazo de piezas.

Otras características del control de pistolas

El mismo sistema basado en microprocesador que controla la activación de la pistola puede ser utilizado para suministrar una variedad de funciones. La cantidad de las pistolas y su movimiento pueden ser alterados para suministrar ajuste preciso para las necesidades de una pieza en particular. Las características que incluyen son:

- Voltaje
- Presión de aire
- Velocidad de desplazamiento de las pistolas
- Distancia de recorrido (hacia arriba/ hacia abajo, hacia adentro/ hacia afuera, de lado a lado).

El control sobre estas variables puede suministrar un grado mucho más alto de eficiencia de una pieza a otra, reduciendo el desperdicio y mejorando la calidad del producto final.

2.4.18. Selección del sistema apropiado y el número de pistolas

Hay varios factores que deben ser considerados al determinar el sistema de aplicación apropiado.

- Tamaño y forma de la pieza.
- La variedad de piezas a ser pintadas.
- El tipo de pintura y la variedad colores.
- El espesor de película deseado.
- El número de piezas a pintar por turno.
- Velocidad de línea.
- Capital disponible.

El tamaño de la pieza y la configuración determinarán la apertura dentro de la cabina. También es necesario el tamaño máximo de la pieza al seleccionar el número de pistolas automáticas y su reemplazo, la selección de los pivotantes de pistola y los ajustes de pistola, o la determinación del número de operarios en un sistema.

El número correcto de pistolas para una aplicación depende de la superficie a ser pintada, la forma de la pieza y la velocidad de línea. Básicamente, el número de pistolas debería considerar cuanta superficie será pintada en un tiempo dado y seleccionar suficientes pistolas.

Una regla para determinar el número de pistolas requeridas considera:

$$\text{numerodepistolas} = \frac{(\text{numerodepiezasporhora}) \times (\text{areadelapieza})}{(\text{espesordepintura}) \times (\text{suministropinturaKg/hora})}$$

Ecuación 2.1 Cálculo del Número de Pistolas de acuerdo a la pieza

Otra manera de calcular el número de pistolas a tener en un tren de aplicación se puede obtener mediante:

$$\text{numerodepistolas} = \frac{(\text{altodelapieza}) \times (\text{velocidaddelalinea}) \times \text{espesor[mils]} \times (\text{ladospintar})}{(\text{factordedificultad})}$$

Ecuación 2.2 Cálculo del Número de Pistolas incluyendo un Factor de Dificultad

FACTORES DE DIFICULTAD	
ALTO	240
MEDIO	300
BAJO	360

Tabla N° 2.7 Factores de dificultad
Fuente: Pintuco

2.4.19. Rendimiento de las Pinturas

Una libra de pintura cubre 192,3 pies² a un espesor de un mils (25.4 micrones), con una gravedad específica de 1 y al 100% de utilización. Considerando el espesor de pintura, su gravedad específica en particular y la eficiencia de transferencia puede estimar el cubrimiento del producto. Para tener una idea más ajustada se aplica la siguiente fórmula:

$$\text{rendimiento}(t) = \frac{(192.3) * 100\%}{(\text{gravedadespecifica}) \times (\text{espesor[mils]})}$$

Ecuación 2.3 Cálculo del Rendimiento de las Pinturas

Para tener una cifra más ajustada a la realidad del área que se puede recubrir con una

pintura determinada, el cubrimiento teórico lo afectan una serie de factores en el proceso así:

Piezas planas y partes interiores = 0.60

Piezas grandes = 0.50

Partes pequeñas o complicadas = 0.40

Rines = 0.25

A continuación se muestra un cuadro de gran utilidad para tener como herramienta de trabajo en los cálculos de las necesidades de las pinturas en polvo.

Tomando el valor teórico de este cuadro y multiplicando por los factores de aplicación de acuerdo con el tipo de pieza a recubrir se logran los rendimientos prácticos muy ajustados a la realidad y así determinar el costo por metro² de la pintura.

$$192.2 \times (\%) \text{ Eficiencia Planta} = \text{Pie}^2$$

$$\text{Gravedad Especifica} \times \text{Espesor De Película} = \text{Lb.}$$

ESPESOR DE PELICULA										
GRAVEDAD ESPECIFICA	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	MILS	MILS	MILS	MILS	MILS	MILS	MILS	MILS	MILS	MILS
1	192,2	96,1	64,1	48,1	38,4	32	27,5	24	21,4	19,2
1,1	174,7	87,4	58,2	43,7	34,9	29,1	25	21,8	19,4	17,5
1,2	160,2	80,1	53,4	40	32	26,7	22,9	20	17,8	16
1,3	147,8	73,9	49,3	37	29,6	24,6	21,1	18,5	16,4	14,8
1,4	137,3	68,6	45,8	34,3	27,4	22,9	19,6	17,2	15,3	13,7
1,5	128,1	64,1	42,7	32	25,6	21,4	18,3	16	14,2	12,8
1,6	120,1	60,1	40	30	24	20	17,2	15	13,3	12
1,7	113,1	56,5	37	28,3	22,6	18,8	16,2	14,1	12,6	11,3
1,8	106,8	53,4	35,6	26,7	21,4	17,8	15,3	13,3	11,9	10,7
1,9	101,2	50,6	33,7	25,3	20,2	16,9	14,5	12,6	11,2	10,1
2	96,1	48,1	32	24	19,2	16	13,7	12	10,7	9,6

**Tabla N° 2.8 Cuadro de cubrimiento de las pinturas en polvo
Pie cuadrado por libra con 100% de eficiencia**

2.4.20. Dispositivos de recolección de iones libres

Un recolector de iones libres (fig. N° 2.18), es un electrodo llevado a tierra que está montado sobre la pistola detrás del electrodo de carga. Funciona como el contraelectrodo impidiendo que los iones libres contribuyan a la rápida carga sobre la pieza que causa la retroionización. El colector de iones, es ubicado cerca del electrodo de carga de la pieza. El campo eléctrico, seguirá la vía de menos resistencia y se desarrollará entre el electrodo de la pistola y el colector de iones, en vez de entre el electrodo y la pieza. Como resultado, el campo eléctrico cerca de la superficie de la pieza será creado por la carga de espacio de las partículas en polvo a medida que ellas llegan a la superficie. Ésto será un campo más débil del que sería generado si los iones libres se les permitiera fluir hacia la pieza. Sin embargo, si la pintura en polvo, tiene suficiente carga, la eficiencia de transferencia no será más baja y la penetración

mejorará.

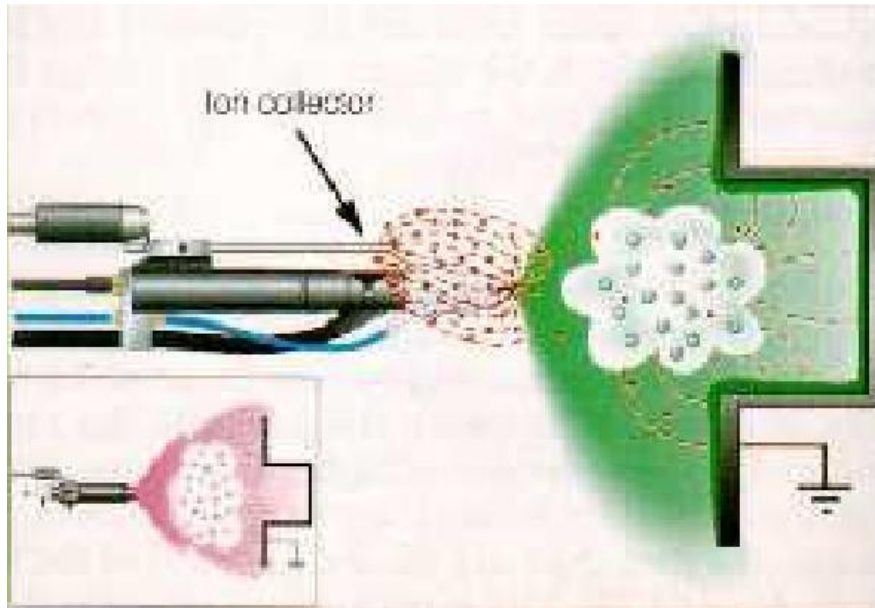


Fig. N° 2.18 Recolección de iones libres

Hay una importante proporción entre estas dos distancias. El recolector de iones debe estar más cerca del electrodo que el sustrato llevado a tierra, pero si éste está demasiado cerca al electrodo se reducirá el área de carga a un punto donde la eficiencia de carga se afectará. En principio el colector de iones se monta aproximadamente a la mitad de la distancia que hay entre el electrodo y la pieza.

Además de dar una buena penetración en zonas de jaula Faraday, un colector de iones instalado apropiadamente ayudará a evitar la retroionización al repintar las piezas.

Debido a la sensible naturaleza de la proporción de distancia entre la punta del electrodo, el recolector de iones, y la superficie de la pieza, estos no son igualmente efectivos en todas las situaciones. El área alrededor de la punta de la pistola que tiene una densa condensación de iones libres disponibles para la carga, es más corta si el colector de iones está demasiado cerca al electrodo.

2.4.21. Curado

Una vez pintadas las piezas en una cabina de pintura en polvo, es un compartimiento diseñado para el proceso de aplicación, se procede al último paso, el curado de las piezas. Un sistema de recuperación es adherido al cuerpo de la cabina. El sistema de recuperación utiliza un extractor para evitar que la pintura no aplicada emigre de la cabina.

Un horno para el curado de las piezas es necesario, este tipo de recubrimiento debe ser secado a temperaturas altas para evitar grietas, entizamiento y otros defectos que se pueden presentar en el producto terminado.

Este es el último paso en el proceso de Pintado y el objeto del presente proyecto, su análisis exhaustivo se realizará en los capítulos venideros.

CAPÍTULO III

CABINA Y HORNO PARA APLICACIÓN DE PINTURA ELECTROSTÁTICA

En este capítulo se realiza un análisis del antiguo proceso de Producción de la empresa, y de los sistemas que ésta decidió implementar en el nuevo taller; también se describe a la cabina y al horno, se realiza el dimensionamiento del espacio interior que ambos necesitan, de acuerdo al tamaño de los productos que la empresa fabrica y al volumen de producción, además se describe al Sistema de Calentamiento del Aire del Sistema.

CAPÍTULO 3

CABINA Y HORNO PARA APLICACIÓN DE PINTURA ELECTROSTÁTICA

3.1 Descripción del proceso de producción

3.1.1 Antiguo proceso de producción de Stilo Muebles

La Empresa Stilo Muebles se encontraba localizada en el Sector de Ricaurte en la ciudad de Cuenca, ya que se decidió el cambio de sitio del taller por uno más grande que facilite la ubicación de la maquinaria actual y de los nuevos equipos que la empresa desea implementar. El presente proyecto es una innovación, ya que actualmente la empresa subcontrata el proceso de pintado en otro lugar.

En el antiguo taller los procesos se encontraban distribuidos como muestra la fig. 3.1:

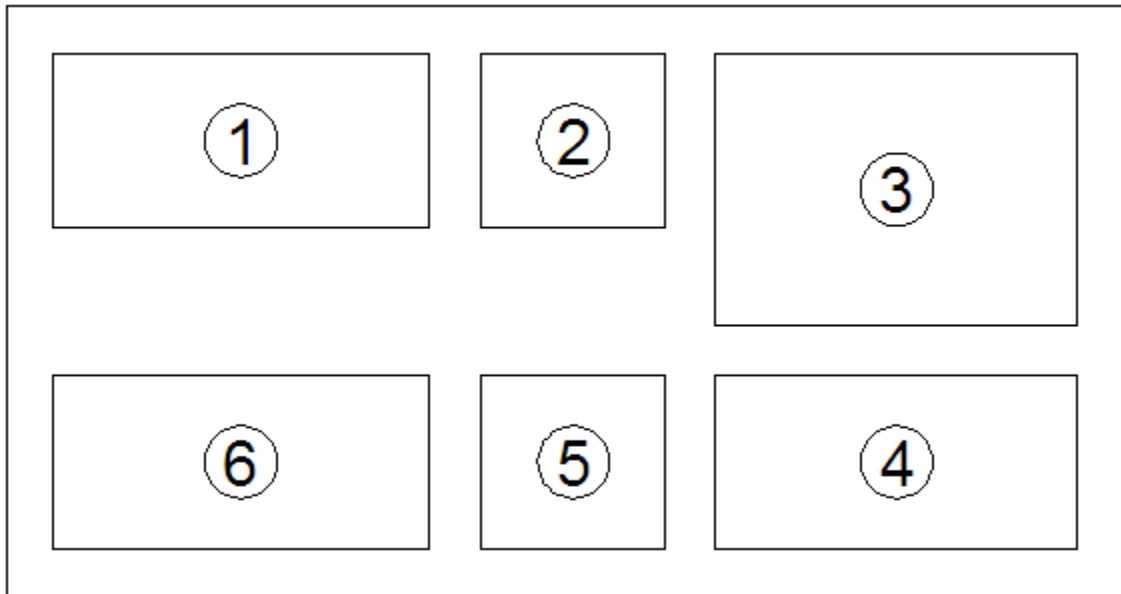


Fig. 3.1 Esquema de los Procesos del Antiguo Taller de Stilo Muebles

Tabla 3.1 Descripción de los Procesos del Antiguo Taller de Stilo Muebles

Número	Proceso	Funcionamiento
1	Recepción y Almacenaje de Materia Prima	SI
2	Limpieza de materiales antes de Conformado	SI
3	Operaciones de conformado de metales	SI
4	Limpieza antes del Proceso de Pintado	NO
5	Almacenaje de Productos No Terminados	SI
6	Ensamblaje y Almacenaje de Productos Terminados	SI

3.1.2 Nuevo proceso de producción de Stilo Muebles

Los dueños de la empresa con la finalidad de realizar todos los procesos dentro de la misma planta decidieron trasladarla hacia las calles Nazacota Puento Lote 96 y calle S/N , parroquia Totoracocha, Ciudad de Cuenca, Provincia del Azuay; debido a que en este sitio se tiene mayor espacio para el taller, teniendo en cuenta que en el nuevo taller se incluye el Proceso de Pintado.

Con el fin de cumplir con normas ambientales y la inversión a mediano plazo se decidió que el Sistema de Pintado Electrostático era la mejor opción para los productos de la empresa, dado que con la Pintura Líquida contamina y no es eficiente aplicar en este tipo de muebles metálicos, debido a que al ensamblar y transportar los productos pintados con este tipo de pintura éstos no resisten golpes, abrasión, torsión y otros factores que pueden crear grietas, raspones, embombamiento en la superficie, los cuales perjudican la calidad de los muebles fabricados en la empresa.

El nuevo taller se diseño para que los diferentes procesos funcionen sin complicaciones, a continuación se detalla la ubicación de los diferentes procesos en la fig. 3.2:

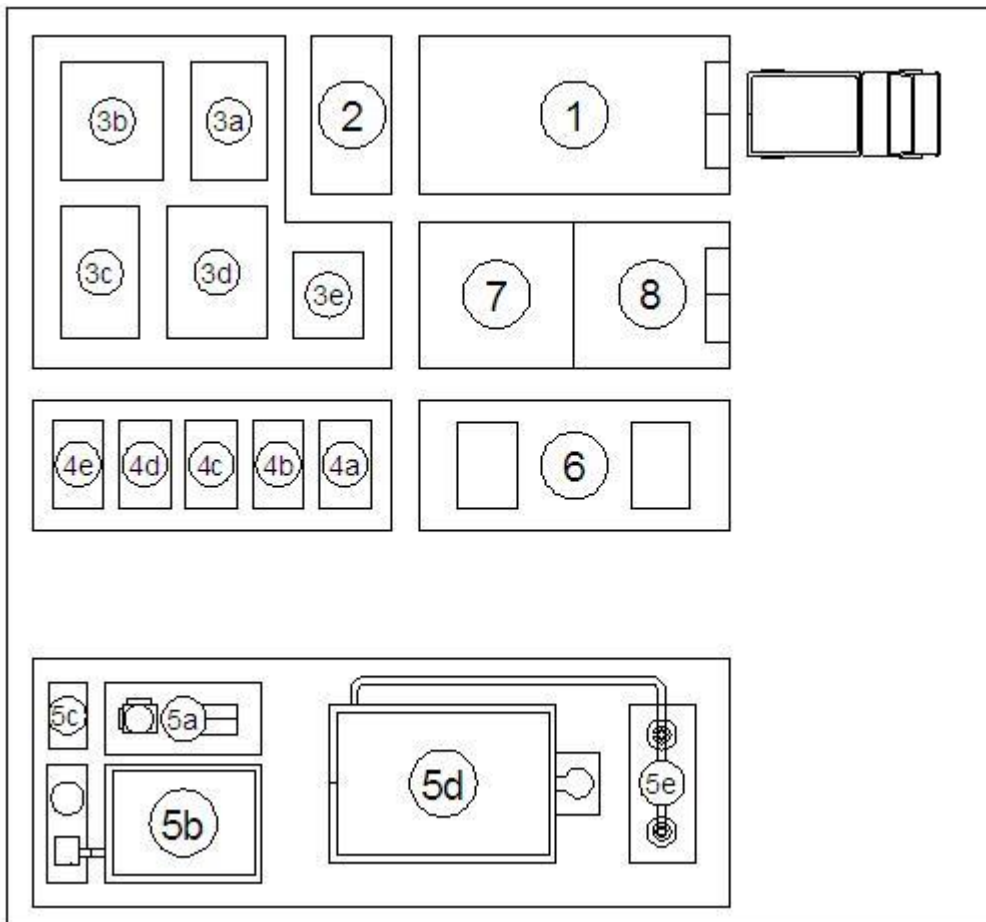


Fig. 3.2 Esquema de los Procesos del Nuevo Taller de Stilo Muebles

Tabla 3.2 Descripción de los Procesos del Nuevo Taller de Stilo Muebles*

Número	Proceso
--------	---------

1	Recepción y Almacenaje de Materias Primas
2	Limpieza y eliminación de rebabas, aceites, etc
3	Procesos de Conformado de acuerdo a la planificación del departamento de producción
3-a	Trazado de las partes de acuerdo a los planos constructivos
3-b	Cortado de las piezas, según las especificaciones del trazado
3-c	Taladrado o troquelado de las piezas si son necesarias perforaciones
3-d	Doblado de las piezas, según las especificaciones del trazado
3-e	Soldado de las diferentes partes, si es necesario
4	Limpieza de las piezas previo al proceso de pintado
4-a	Lavado con agua
4-b	Lavado con agentes desengrasantes
4-c	Enjuague
4-d	Fosfatización
4-e	Enjuague
5	Proceso de Pintado en Polvo
5-a	Equipo para la aplicación de pintura electrostática
5-b	Cabina para la aplicación de pintura electrostática
5-c	Compresor, de acuerdo a las especificaciones del equipo
5-d	Horno de Curado de piezas metálicas
5-e	Tanques de GLP conectados al sistema de calentamiento del horno
6	Ensamblado de las partes para formar los productos
7	Bodega de almacenamiento de los productos terminados
8	Oficina del taller de producción

*Cabe recalcar que la empresa en este nuevo taller ubicó sus procesos de acuerdo al criterio de sus dueños, ellos dispusieron la ubicación de la maquinaria y la distribución de los empleados. El proceso de Pintado es nuevo dentro de la empresa y es el único en que los ejecutores del presente proyecto pueden intervenir, disponer de cuanto espacio necesitan, sugerir los equipos y materiales adecuados tanto para la cabina como para el horno.

3.1.3 Área para el proceso de pintado en el antiguo taller de Stilo Muebles

En el antiguo taller, en ocasiones, se realizaba la limpieza de las partes de los productos para que éstas sean enviadas a pintar en una empresa dedicada a dar este tipo de servicio, para esto se disponía de un espacio aproximado de 4x3m o sea 12m², en el que se encontraban 3 tinas con los respectivos agentes de limpieza como agua, desengrasantes, fosfatos. Como desde hace algún tiempo, los dueños ya tenían pensado el cambio de ubicación del taller a un sitio mucho más amplio, en el antiguo taller no se dispuso de un espacio para el Sistema de Pintura.

3.1.4 Área para el proceso de pintado en el nuevo taller de Stilo Muebles

Como ya se mencionó los ejecutores de éste proyecto no están autorizados a sugerir cambios en el espacio que ocupan los procesos de recepción de materias primas, conformado de metales, ensamblado y almacenaje de productos terminados; además en este grupo se incluye la limpieza de productos, que la empresa decidió encargarse de este proceso por su propia cuenta, después se podrá sugerir determinados químicos y agentes desengrasantes recomendados por los fabricantes y distribuidores de pinturas en el país.

Para el presente proyecto, los dueños de la empresa han dispuesto entregar un espacio de 10x5m o sea un área de 50m², dentro del taller para evitar pérdidas de calor en el horno, los ejecutores del proyecto pueden disponer de este sitio a su conveniencia, optimizando el espacio de tal forma que todos los equipos estén en esta área de trabajo.

En este punto cabe mencionar que el Volumen de Producción se estima entre 40 y 50 unid/semana del producto más grande, estructura de silla de oficina, por lo que el sistema de pintado electrostático no es de uso continuo.

3.2 Dimensionamiento de la Cabina

3.2.1 Cabinas de pintura en polvo

Una cabina de pintura en polvo, es un compartimiento diseñado para el proceso de aplicación. En algunos casos un sistema de recuperación es adherido al cuerpo de la cabina. El sistema de recuperación utiliza un extractor para evitar que la pintura no aplicada emigre de la cabina.

Las cabinas para pintura en polvo más simples, son diseñadas para un operario que aplica manualmente pintura a un producto estacionario. Otras cabinas son diseñadas, de manera que las piezas puedan ser transportadas a través de una entrada. El estilo particular, el tamaño y el número de las cabinas necesarias están relacionados con el tamaño del producto, el espacio disponible, la cantidad de capital y el volumen de producto a ser pintado.

3.2.1.1 Tipos de cabinas para aplicación manual

Las cabinas para pequeños lotes son producidas para trabajo de laboratorio y situaciones de bajo volumen de producción. Estas tienen un área de trabajo relativamente pequeño (típicamente entre 4 x 4pies ó 1.20 x 1.20m de abertura) apropiada para colgar paneles de muestras o piezas pequeñas. El sistema de recuperación está localizado en la parte trasera de la cabina y la pintura es aplicada a desperdicio.

3.2.1.1.1 Cabinas de acceso directo

Las cabinas manuales de acceso directo son grandes. Son utilizadas para situaciones donde no hay reciclaje integrado, fig. N°3.3. Las cabinas de acceso directo son útiles para productos grandes o para operaciones de pequeño volumen. Las cabinas de acceso directo pueden ser utilizadas con o sin sistema de banda y pueden tener el tamaño prácticamente para cualquier tipo de producto.



Fig. N° 3.3 Cabina para Aplicación Manual de Pintura en Polvo

3.2.1.1.2 Cabinas para aplicación con sistema de conveyor

Las cabinas con conveyor o transportador, son diseñadas para aplicación manual, automática o una combinación de las dos. Ellas son usadas para la aplicación continua con piezas que viajan a través de ella sobre un sistema de cadenas (fig.N° 3.4).



Figura N° 3.4 Cabina de Aplicación de Pintura en Polvo con un Sistema Conveyor

Estas cabinas, dan altos volúmenes de producción sin los procesos de manipulación asociados con la aplicación por lotes.

La cabina tendrá un protector con una abertura de pieza en cada extremo y aberturas para el equipo de aplicación a los lados. El sistema de recuperación estará diseñado para capturar la pintura para ser reutilizada.

Muchos de estos son diseñados para dos operarios, uno para cada lado de la cabina con el fin de hacer los retoques necesarios. Las aberturas de los operarios, están dispuestas para evitar la aplicación directamente del uno hacia al otro. Una plataforma debajo de la abertura manual levanta al operario al nivel apropiado. La punta del colgador de la banda está a un mínimo de 6 pulgadas por encima del techo de la cabina.

La misma configuración de cabina puede ser diseñada para la aplicación automática o para una combinación de aplicación manual y automática. Los sistemas automáticos, requieren siempre de un sistema de detección contra incendios para apagar el equipo si se detecta un conato de incendio. Si una llama, chispa o llamarada se presenta en el sistema, avisa al operario para suspender la operación y evitar el incendio.

Las aberturas para la aplicación, deben ser ubicadas al lado del colector para evitar contra flujos de aire. Si la pintura es aplicada demasiado cerca del colector, ésta no llega a la pieza antes de que la aerodinámica del sistema de recuperación la aleje de la pieza.

3.2.1.2 Selección de la cabina, materiales y dimensiones

De acuerdo a los requerimientos de la empresa y al volumen de producción, entre 40 a 50 unidades por semana, es recomendable una Cabina de acceso directo, dado que no se realiza producción continua sino por lotes, un sistema transportador no es necesario. Por el momento la empresa ha decidido dejar pendiente la construcción del sistema de recuperación del polvo, aunque los ejecutores del proyecto recomiendan realizarlo, ya que con éste se puede volver a utilizar casi la totalidad del material que no se adhiere a la pieza metálica, pero por el momento no es indispensable su construcción para el funcionamiento del proceso de pintura.

Generalmente las paredes de las cabinas de pintura en polvo son hechas de acero pintado, acero inoxidable, pero también se utiliza polipropileno, policarbonato u otro plástico transparente, otras de polietileno. El acero pintado es una buena opción, pero existe el riesgo de que la pintura se despegue y se mezcle con el polvo dificultando la posterior recolección del mismo. Para el caso de Stilo Muebles se recomienda usar acero inoxidable, ya que el polvo resbala y facilita su recolección. En el capítulo 5 de la construcción se realizará el análisis de los materiales para la cabina y el horno, de acuerdo a costos y factibilidad de encontrarlos en la ciudad de Cuenca. Los ejecutores del proyecto recomiendan armar una estructura de tubo cuadrado de acero, como no va a soportar un peso excesivo se puede utilizar cualquier tubo que se encuentre en la empresa, tal como muestra la fig. 3.5; luego se procede a recubrir esta estructura con planchas de acero inoxidable cortadas a la medida requerida.

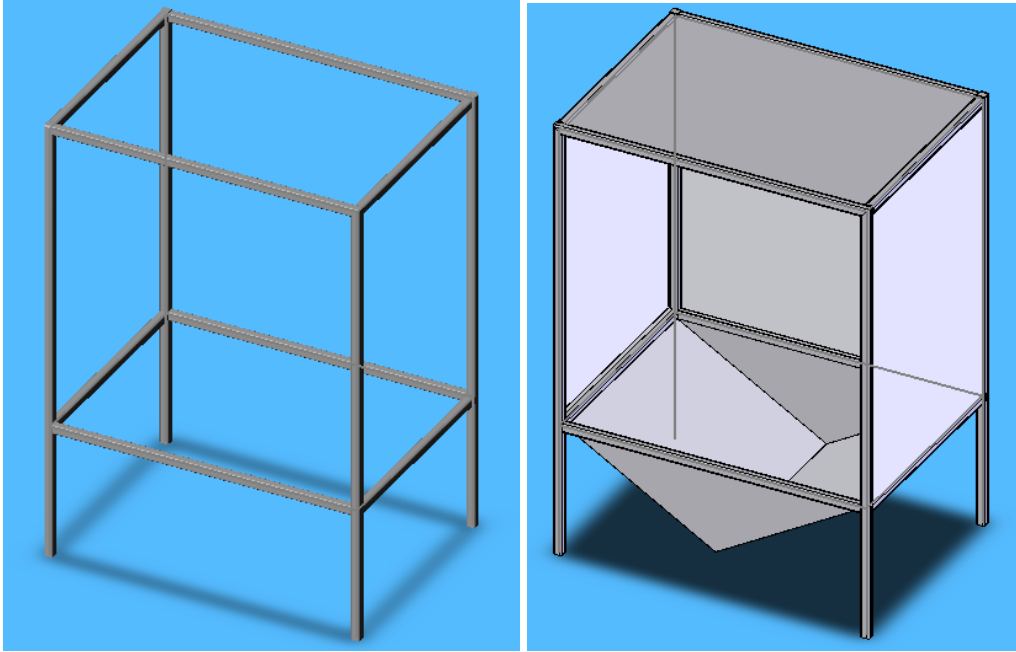


Fig. N° 3.5 Esquema de la estructura de la cabina y de la cabina con recubrimiento

El producto más grande que realiza la empresa es un tipo de silla, lo que va a ser pintado es la estructura metálica, tal como muestra la fig. 3.6, cuyas dimensiones son 900mm de altura, 750mm de ancho y 550mm de largo.

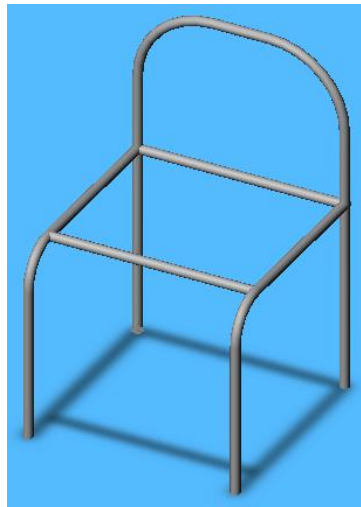


Fig. N° 3.6 Esquema del producto más grande que se fabrica en la empresa.

Teniendo en cuenta que la pieza necesita tener el espacio necesario para poder entrar, girar y salir de la cabina, la abertura debe permitir que el pintado se realice sin complicaciones, por ese motivo los fabricantes de pintura recomiendan dejar un espacio entre la pared de la cabina y el producto de por lo menos 13cm, pero que pasa si la empresa requiere un producto más grande, además la pieza debe girar para poder pintar las caras posteriores, para evitar estos inconvenientes se estima que el tamaño de la abertura para pintar un producto es 1400x1400mm, fig. 3.7, con lo que entraría cualquier producto fabricado en la empresa, fig. 3.8, es importante mencionar que el

fondo o profundidad de la cabina para que las piezas puedan girar libremente es 1000mm.

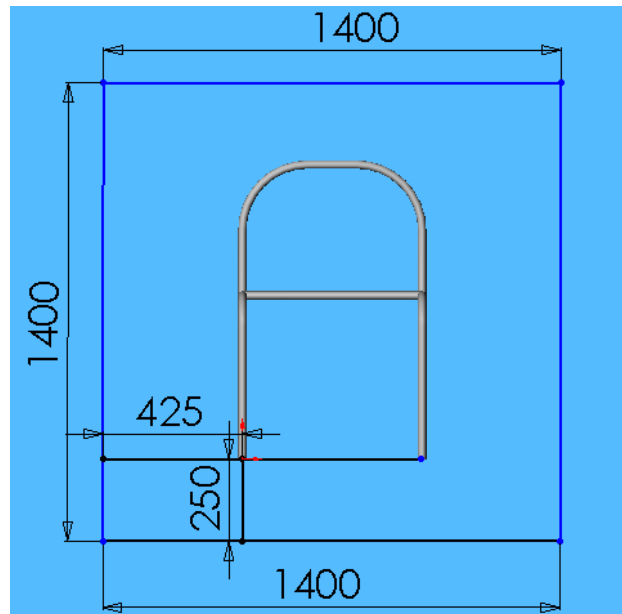


Fig. N° 3.7 Dimensiones de la abertura de la cabina

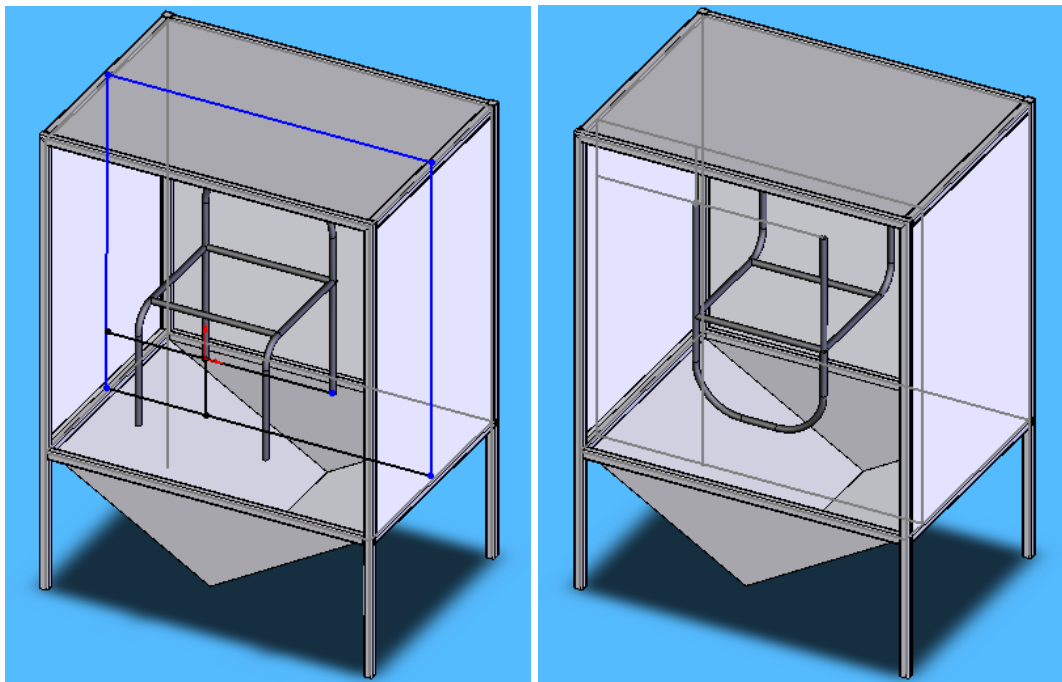


Fig. N° 3.8 Esquema para pintar un solo producto en la cabina

Si se desea pintar dos productos al mismo tiempo con el fin de incrementar el volumen de producción sería necesario duplicar el ancho de la cabina, fig. 3.9, este es un buen sistema ya que mientras se pinta un producto el otro ya pintado puede ser sacado e ingresar al horno disminuyendo los tiempos de paro, lógico se necesitan dos operarios para trabajar de esa forma.

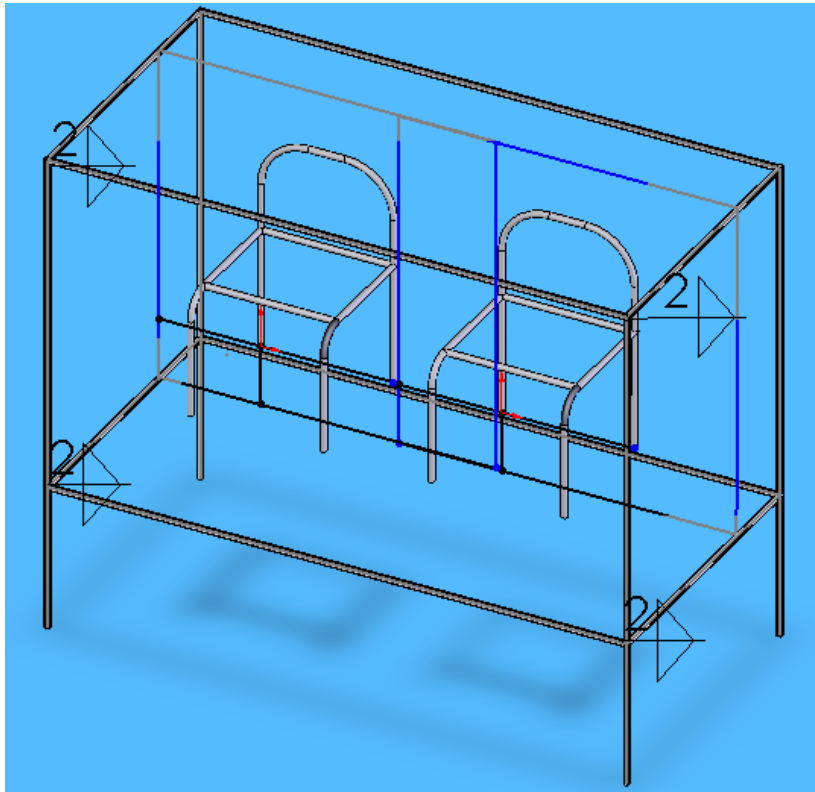


Fig. N° 3.9 Esquema de Cabina para pintar dos sillas

Es importante recalcar que una buena conexión a tierra es indispensable, sin ésta es mucho más difícil hacer que la pintura quede en la pieza con un patrón parejo y penetrar las áreas Faraday.

3.3 Dimensionamiento del Horno

3.3.1 Hornos de curado

3.3.1.1 Comportamiento de la pintura en polvo durante el curado

Cuando una pintura termoestable es expuesta a temperatura (110°C Aprox.), comenzará a derretirse. A medida que el material comienza a derretirse, este fluirá y luego reaccionará químicamente para formar un polímero de peso molecular más alto, con una estructura tipo red. Este proceso de entrecruzamiento requiere cierto grado de temperatura por un tiempo determinado para poder llegar a un curado pleno y establecer las propiedades de película plenas para las cuales la pintura fue diseñada. La figura N° 3.10 representa una curva teórica de curado para una pintura en polvo. La pintura curaría a cualquier punto de la curva desde 10 minutos a 215°C hasta 25 minutos a 160°C.



Figura N° 3.10 Curva de Curado Característica para Pintura en Polvo (eje x: tiempo (minutos), eje y: temperatura (°C))

En la Figura N° 3.3 denominada Curva de Curado Característica para Pintura en Polvo podemos observar claramente las diferentes fases de este proceso (los valores del tiempo son datos promedio, tomados en diversos hornos del medio):

- Desde que ingresa el material al horno hasta 3 minutos aproximadamente las piezas todavía no experimenta cambio de temperatura en una Fase de Acondicionamiento. (Esto teóricamente, en la práctica puede variar dependiendo del tipo de horno utilizado).
- A partir de los 3 minutos la pieza comienza a calentarse y se espera llegar hasta 215°C en 8 minutos, contados desde el ingreso al horno, entendiéndose a esto como Fase de calentamiento.
- Esa temperatura debe mantenerse por unos minutos, empezando la Fase de Curado, esta se mantiene hasta cerca del minuto 10 y comienza a bajar la temperatura gradualmente hasta el minuto 25 con 160°C, donde se puede decir que una pieza pintada en polvo va a estar curada correctamente.
- Hay que notar que existe la Fase del Enfriamiento, el cual va a ser gradual para completar el proceso en un tiempo de 25 minutos. Como es lógico es necesario que las piezas permanezcan dentro del horno hasta igualar la temperatura del interior con la del ambiente, antes no se recomienda abrir el horno.

El suministro de energía al producto para ser curado puede ser logrado por hornos de curado por convección u hornos de curado infrarrojos o electrón been.

3.3.1.2 Funcionamiento de un horno de convección

Un horno de convección utiliza una fuente de calor, comúnmente es un quemador de gas propano, gas licuado de petróleo o eléctrico y un ventilador para calentar el interior. Las pinturas en polvo requieren diferentes temperaturas de curado, comúnmente en un rango entre 177 - 204° C (350° F a 400° F). La pieza es calentada por el aire dentro del horno. El recubrimiento debe permanecer a un tiempo y temperatura determinada para llegar a un curado total. Entonces el ciclo de curado, es de tantos minutos a tantos grados de temperatura. El tiempo que toma llevar el metal hasta la temperatura apropiada, debe ser sumado al tiempo de curado para determinar el ciclo pleno dentro del horno.

El tiempo de curado por convección, puede estar entre 10 y 30 minutos dependiendo de la masa del sustrato y de los requerimientos de curado de la pintura. El curado por convección es confiable y flexible. El horno puede ser ajustado en un amplio rango de temperaturas y de velocidades de línea. La pieza puede estar expuesta por un período más largo de tiempo de lo que se requiere de acuerdo con las necesidades del usuario, sin ningún cambio en el color, brillo o desempeño del recubrimiento. El consumo de energía está relacionado a la carga de piezas dentro del horno, el aislamiento y el volumen del aire circulante en el interior. Un horno a gas es muy eficiente y efectivo en costos. El GLP aproximadamente da 1.000 BTU por pie³.

El tamaño del horno dependerá del tamaño y la masa del producto a ser pintado, así como del volumen de producción. Para manipular la pieza, el horno debe tener un tamaño más grande y capacidad suficiente para albergar la carga más pesada. Está entre 20 a 25 minutos la permanencia adecuada para una pieza pintada en polvo dentro del horno, en la fase de curado. El interior del horno debe ser lo suficientemente largo para obtener un curado total. El tamaño interior de un horno, está determinado por la pieza más grande y la velocidad de la línea de producción. Si el metal de la pieza se demora cinco minutos para subir a la temperatura de curado y la pintura toma 15 minutos de tiempo de curado, el tiempo total del ciclo será de veinte minutos.

El tiempo del ciclo se lo puede determinar en forma práctica mediante la ecuación N° 3.1:

$$\text{tiempodelciclo} = \text{tiempodeelevamiento} + \text{tiempodecurado}$$

Ec N° 3.1 Cálculo del Tiempo del Ciclo

3.3.2 Selección de Dimensiones y Materiales del Horno

3.3.2.1 Dimensionamiento de la Cámara de Transferencia de Calor

En este punto del proyecto es fundamental determinar las dimensiones que tendrá la cámara de carga o de transferencia de calor, ya que sin éstas no se puede establecer el volumen del horno ni empezar el diseño térmico del mismo, ahora en el caso de la empresa Stilo Muebles tenemos como producto más grande una silla especial que tiene por dimensiones 900mm de altura, 750mm de ancho y 550mm de largo, aproximándolas por eventuales cambios que se puedan efectuar en este producto se tiene 900mm de altura, 800mm de ancho y 600mm de largo, con respecto a la altura interior del horno hay que considerar que una persona promedio en el Ecuador mide 1.67m, con esta medida se puede afirmar que una altura prudente para facilitar colocar y sacar los productos es 1.80m.

3.3.2.1.1 Distribución de las piezas en el interior del horno

En el apartado anterior se analizó la altura del horno, pero para poder definir las dimensiones de la base hay que tener en cuenta el volumen de producción deseado, la fabricación de la silla antes mencionada está entre 40 a 50 unidades por semana, es decir un promedio de 45 unidades semanales, para cumplir con esta cantidad es necesario realizar una distribución de las piezas en el interior, hay que tener en cuenta que para

toda el área de pintura se ha considerado un espacio de 10x5m, por este motivo no se puede construir un horno demasiado grande. Dimensiones acordes a estas exigencias estarían alrededor de 2.50x3.00m para la base, ya que a esto se debe incluir el espacio para la cabina, el compresor, el equipo de pintado electrostático, el sistema de calentamiento. Para optimizar el espacio en el interior del horno se realizó la siguiente distribución que se puede apreciar en la fig. 3.11:

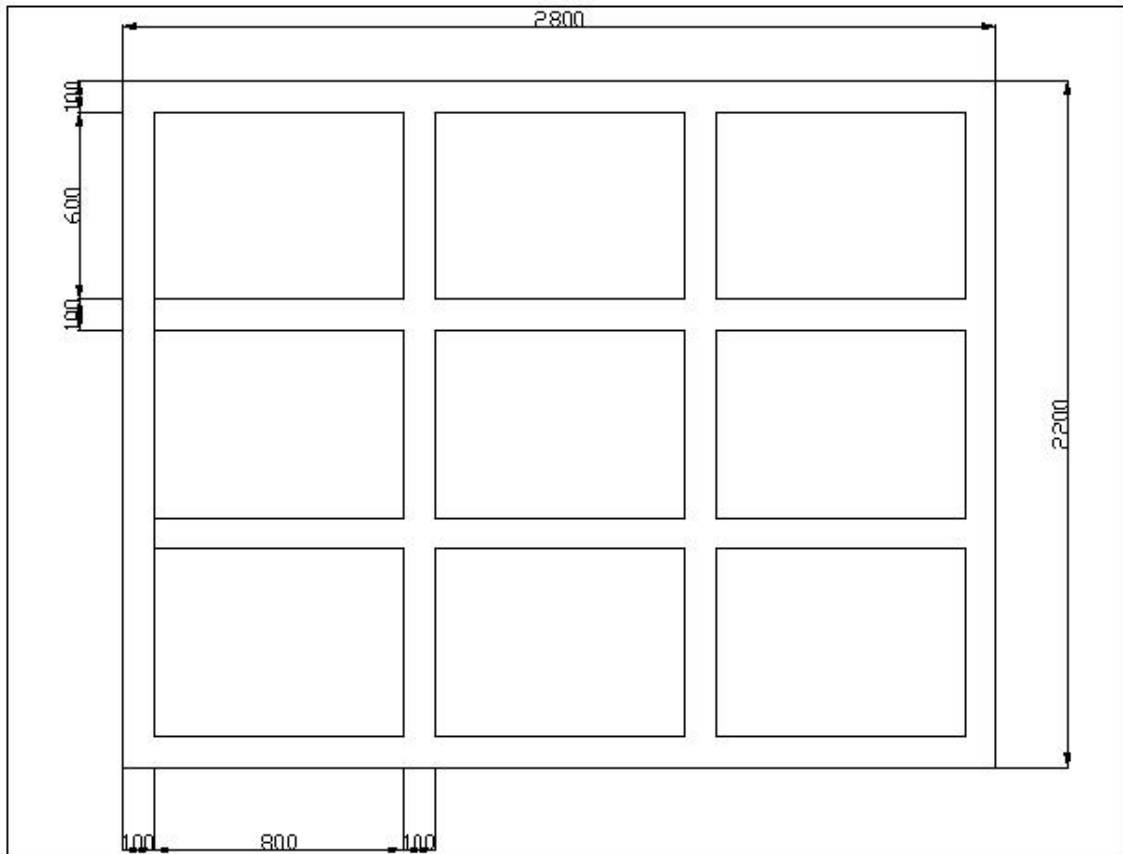


Fig. N° 3.11 Distribución de los productos en el interior del horno, vista de planta

En el gráfico se puede ver que colocando 9 productos en el interior del horno se obtienen como dimensiones de la base del horno 2.80x2.20mm, dejando unos espacios entre productos y las paredes del horno de 100mm que es suficiente para evitar el contacto entre las piezas. Con esta distribución se necesita encender el horno 5 veces para alcanzar el volumen de producción deseado, la consecución de esta cantidad depende de la habilidad del pintor y de los operarios del taller.

3.3.2.1.2 Dimensiones definitivas de la cámara de transferencia de calor

Como ya se definió que la altura va a ser de 1.80m y la base va a tener 2.80x2.20m, tal como muestra la fig. 3.12, se obtiene un volumen interior del horno de 11.1m³, este valor es importante para los cálculos posteriores del diseño térmico.

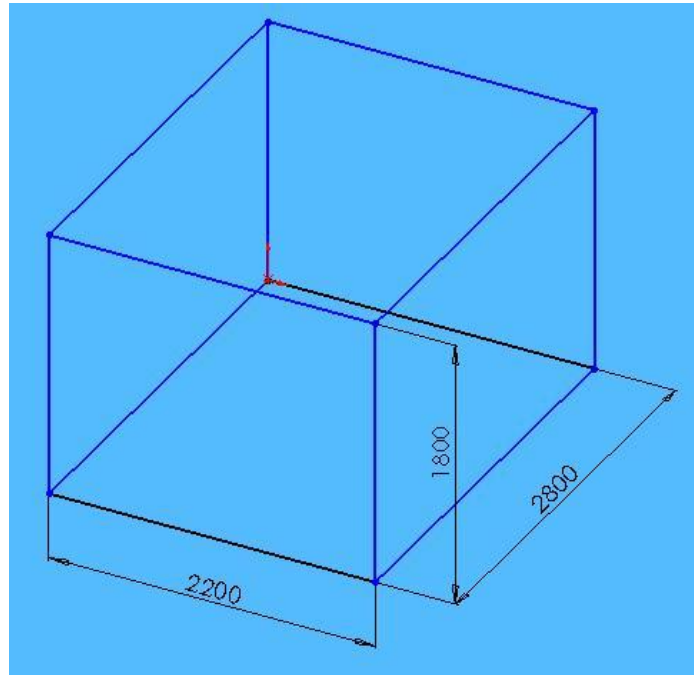


Fig. N° 3.11 Dimensiones de la cámara de transferencia de calor

3.3.2.2 Materiales

Para levantar la estructura se emplearán tubos cuadrados de metal, como refuerzos se colocarán perfiles en C o en I, estos sirven para colocar fácilmente las planchas de acero y del aislante. El espesor de la estructura depende de los cálculos posteriores del diseño térmico en los que se presentarán las situaciones más críticas y se tratará de optimizar los materiales.

Como la temperatura no es extremadamente alta, no se justifica el uso de material refractario como aislante, debido a que la acumulación de energía en las paredes no es indispensable, las temperaturas bajo las cuales va a operar el horno no afectan las propiedades del acero y el aislante.

En la estructura metálica se deben formar paredes con las planchas y el aislante como se indica en el esquema de la figura N° 3.12. Por facilidad del mercado se utilizarán planchas de acero de 1 mm de espesor y como aislante térmico se usará fibra de vidrio de la Compañía Fyberglass o de Andifibras, empresa de la ciudad de Riobamba que puede ser útil por la cercanía con la ciudad de Cuenca, cuyas dimensiones son 2.40x1.20m y desde 1pulg de espesor, en la fig. 3.13 se puede apreciar como será conformada la pared del horno.

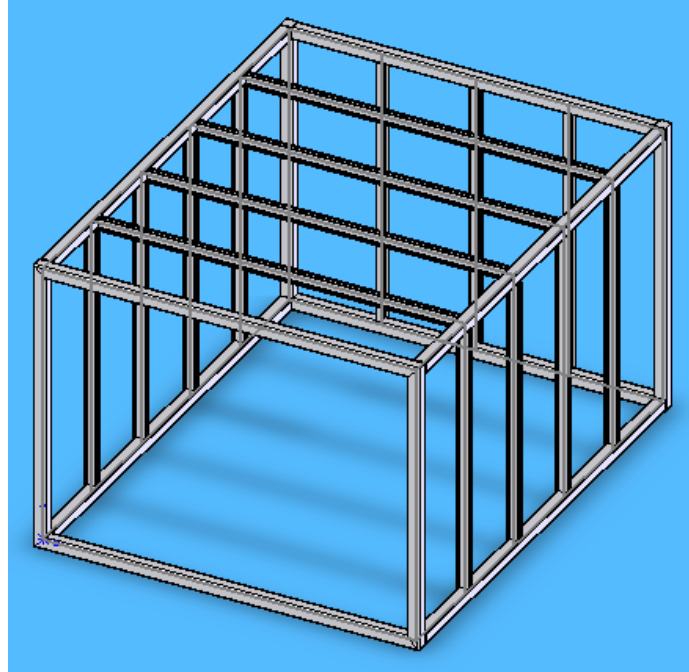


Fig. N° 3.12 Esquema de la Estructura del Horno

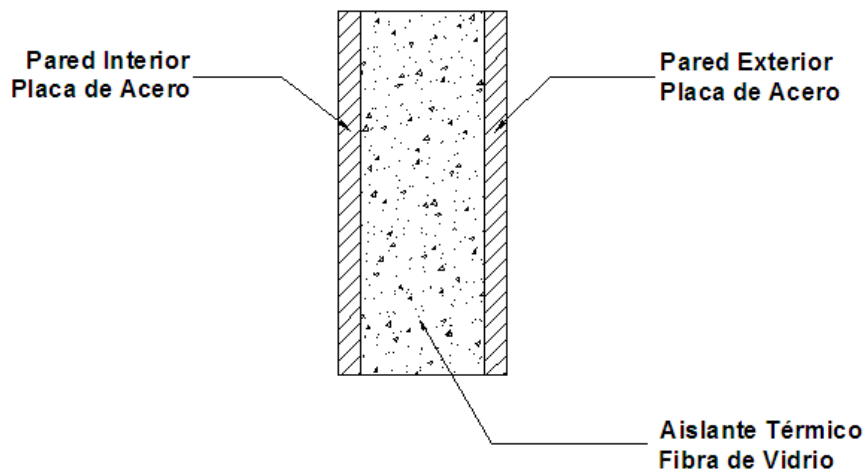


Fig. N° 3.13 Esquema de las Paredes del Horno

3.4 Sistema de calentamiento del aire y elementos de control

En este proyecto se requiere un horno industrial, ya que se requiere transmitir calor a la carga para elevar la temperatura de la misma, sin que exista ningún tipo de reacción química o cambio de estado. Tomando en cuenta el precepto mencionado se requiere calentar las piezas metálicas ubicadas en el interior del horno, pero para poder conseguirlo se debe calentar el fluido que envuelve la carga, el aire, este debe llegar a temperaturas mucho más altas que las de las placas metálicas. En este punto cabe mencionar que una clasificación de los hornos industriales se da por la forma de generación de calor, encontrándose 2 tipos:

- Combustión del combustible

- Conversión de energía eléctrica en calor

En la empresa se analizó las 2 alternativas, para la segunda hay que tener en cuenta el alto costo de la electricidad y la posibilidad de cortes de energía lo que ocasionaría graves pérdidas si se necesita utilizar en cualquier momento el horno, además el Ecuador ha iniciado una gran campaña de ahorro de energía eléctrica premiando si se consume menos y castigando si se incrementa el consumo; por otro lado la primera opción obtener calor con la combustión de un químico es lo más prudente en este país.

3.4.1 Selección del combustible a ser utilizado

Un combustible es cualquier material que pueda ser quemado para liberar una buena cantidad de energía, con esta definición hay que tomar en cuenta un aspecto muy importante el tipo de llama. Con el diesel y la gasolina se debe acondicionar la flama, por eso a los quemadores que los usan se los denomina de llama indirecta, ya que se pierde alrededor de un 30% del combustible acondicionando para que el ambiente en el interior no se contamine con los productos de la reacción química.

Por otro lado el Gas Licuado de Petróleo (GLP) permite tener llama directa, debido a que contamina mucho menos que otros combustibles, optimizando su uso con lo que se puede obtener un gran beneficio, pero hay que considerar que debe utilizarse los tanques industriales de 45kilogramos o conseguir un tanque especial industrial que almacena entre 100 y 120kilogramos de GLP que es recargado una vez que se vaciá, pero éste es demasiado costoso y difícil de conseguir en la ciudad de Cuenca. Aún tomando en cuenta el costo de \$15 del tanque comercial de 45kilos, el GLP resulta mucho más eficiente y contamina mucho menos que otros combustibles. Por estos motivos Stilo Muebles ha decidido utilizar GLP como combustible para calentar el horno.

3.4.2 Distribución de los Tanques

Los tanques deben encontrarse en un lugar libre del riesgo de explosiones, lejos de máquinas y objetos que puedan causar chispas como una soldadora, un esmeril, una amoladora, etc. La mejor opción es tener los tanques fuera del galpón del taller, fig. 3.14, en una especie de tina que puede ser metálica, aunque de preferencia cemento con paredes delgadas, además es recomendable colocar agua caliente para que los tanques no sufran cambios en el interior por las variaciones climáticas.

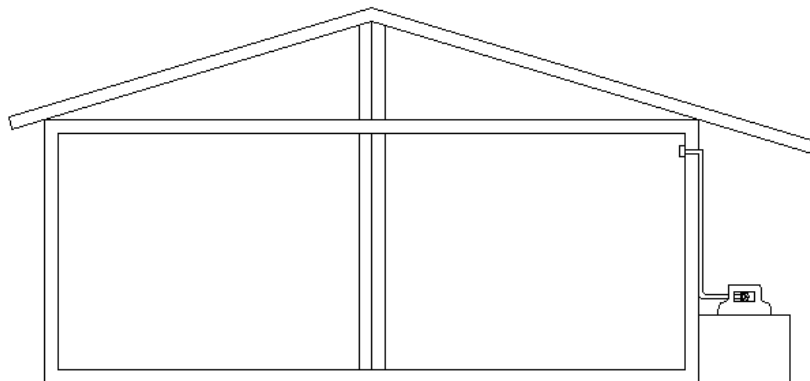


Fig. 3.14 Esquema de los tanques de gas fuera del galpón.

Para definir el espacio necesario que ocuparán los tanques hay que tener en cuenta que con el fin de evitar paros en la producción como recomendación se deben tener 2 tanques, uno de reserva, cerca del sitio de la conexión de las tuberías hacia el horno. Un tanque industrial tiene aproximadamente 30cm de diámetro, como son 2 para dejar un espacio lo suficientemente grande para que quepan y no estén demasiado cerca la tina o el recipiente que albergue a los tanques debe tener por lo menos 1m de largo y 40cm de ancho en la base de la tina y una altura de 50 a 60cm, para que quepan 2 tanques, fig. 3.15.

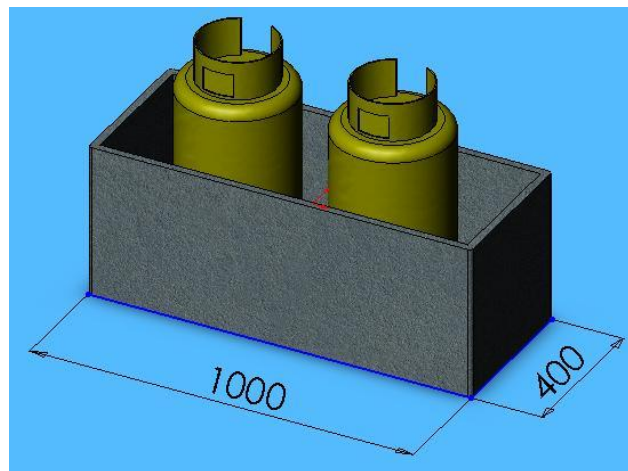


Fig. N° 3.15 Esquema de la tina que contiene los tanques de GLP

3.4.3 Equipo liberador de calor

Un equipo liberador de calor, es la parte fundamental del sistema de calentamiento en un horno, consiste en un dispositivo de combustión o en un elemento eléctrico de calentamiento. Cuando un horno es diseñado correctamente, éste y el equipo liberador, están adaptados adecuadamente forman una combinación integral que genera y utiliza calor.¹

Un equipo ideal de liberación de calor debe satisfacer las siguientes especificaciones:

- Permitir alcanzar una temperatura controlada y uniforme en el interior del horno.
- No se destruya por el calor que libera.

Habiendo visitado algunos talleres dedicados a realizar aplicaciones para pintura electrostática, los directivos de Stilo Muebles creen conveniente que por el volumen de producción no se justifica realizar una inversión con un intercambiador de calor y un quemador con ventilador incluido, ya que los hornos que poseen este sistema de calentamiento del aire miden entre 6 ó 7m de largo y el intercambiador va de 2.50 a 3m, además la inversión que se requiere es muy grande para una pequeña industria, por este motivo los directivos de la empresa han encargado a los ejecutores del proyecto diseñar un sistema que asegure llegar a la temperatura deseada, no cause accidentes y sea económico.

Con estos antecedentes se procedió a realizar la investigación respectiva con el resultado que actualmente en algunos talleres se realizan las conocidas flautas, que son

¹ HORNOS INDUSTRIALES, Trinks W. y Mawhinney M.H., Volumen II

simples tubos circulares con huecos, pero que no son seguros para quien los utiliza, estos equipos para generar calor dentro del análisis de hornos industriales son conocidos, técnicamente, como quemadores de cinta y línea, fig. 3.16, estos permiten obtener una llama estable con lo que se puede controlar la temperatura y mantenerla uniforme, además se puede obtener una mezcla rica de aire y gas, optimizando combustible².

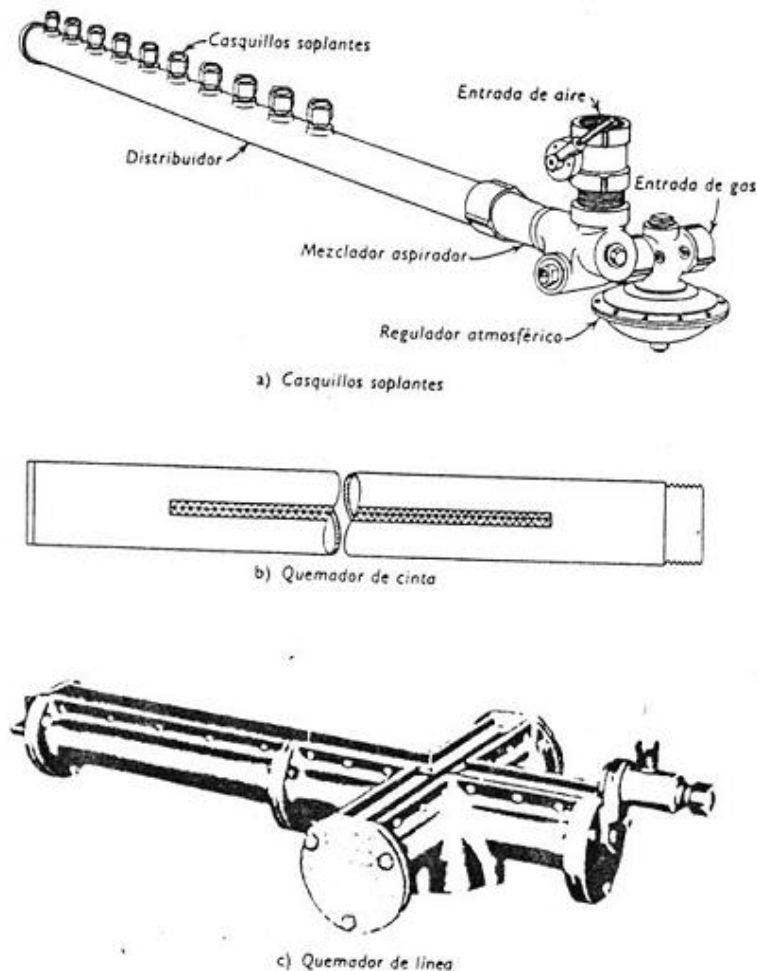


Fig. N° 3.16 Quemadores de casquillos, cinta y línea

El reto del presente proyecto es obtener una llama estable y volver seguros a este tipo de quemadores. En el capítulo 4 se realizará el diseño térmico del horno, en éste se incluye el diseño del Sistema de Calentamiento del Aire.

3.4.4 Equipos adicionales al sistema de pintura electrostática y elementos de control

Para realizar el Proceso de Pintado en Polvo existen varios elementos indispensables:

- El compresor

² Hornos Industriales, Trinks W – Mawhinney M.H., Volumen II

- El sistema de pintura electrostática incluye algunos controladores como presión de salida del polvo, la carga utilizada, un vibrador para que el polvo sea tamizado en el interior del tanque de pintura, estos se pueden regular en el propio equipo.
- Tuberías y válvulas de entrada de aire comprimido.

Básicamente en un horno de pintura electrostática existen algunos elementos necesarios para realizar una correcta Instrumentación del sistema de calentamiento del aire, se debe medir la temperatura, como el parámetro fundamental para determinar el adecuado funcionamiento del mismo, también es primordial llevar un registro de la presión en los tanques de gas así como la presión del aire de salida, el tiempo se debe medir y analizar para establecer cuanto demora el curado de las partes; además como es lógico se requiere encender y apagar el horno de una forma rápida pero segura. Tomando en cuenta todas estas variables van a ser necesarios algunos elementos de control para poder analizar el funcionamiento del horno:

- Sensores de Temperatura, pueden ser termocuplas y termopares para el ambiente y otros para el análisis en la placa metálica curada en el horno.
- Manómetros para controlar la presión de los gases.
- Válvulas de paso y de seguridad antiretorno.
- Válvulas de caudal para controlar la mezcla aire combustible
- Se debe utilizar válvulas especiales o sensores para encender y apagar el horno, para evitar accidentes.

Capítulo IV Diseño Térmico.....	lxxx
4.1 Análisis termodinámico del horno	lxxx
4.1.1 Análisis termodinámico del combustible.....	lxxx
4.1.1.1 Análisis termodinámico del combustible.....	lxxxii
4.1.1.1.1 Relación aire combustible	lxxxvii
4.1.1.1.2 Análisis de los productos después de la combustión por kgmol de GLP	lxxxviii
4.1.1.1.3 Temperatura de flama adiabática	lxxxix
4.2 Análisis de temperaturas en el horno.....	xciii
4.3 Coeficientes de transferencia de calor.....	xcv
4.3.1 Coeficientes de transferencia de calor en el interior del horno	xcv
4.3.1.1 Coeficiente interior por radiación (h_{ri})	xcv
4.3.1.2 Coeficiente interior por convección (h_{ci}).....	ciiii
4.3.2 Coeficiente de transferencia de calor hacia el exterior	cvii

4.3.2.1	Coeficiente de transferencia de calor externo por convección (h_{ca})	cvii
4.3.2.2	Coeficiente de transferencia de calor externo por radiación (h_{ra})	... cxii
4.3.2.3	Coeficiente total de transferencia de calor externo (h_a)	..... cxiii
4.4	Determinación del espesor del aislante térmico	..... cxiii
4.4.1	Flujo de calor por unidad de área	..... cxiv
4.4.2	Representación de la analogía eléctrica	..... cxv
4.4.3	Determinación del espesor del aislante térmico	..... cxvi
4.5	Diseño del Sistema de Calentamiento del Aire	..... cxviii
4.5.1	Tipo de horno	..... cxviii
4.5.2	Diseño de quemadores	..... cxix
4.5.2.1	Aprovechamiento del Espacio de Combustión	..... cxx
4.5.2.2	Capacidad total de los quemadores en kW	..... cxxi
4.5.2.3	Número de agujeros en los tubos	..... cxxiv
4.5.2.4	Encendido de los quemadores	..... cxxviii
4.5.2.5	Piso del horno	..... cxxix
4.6	Balance energético	..... cxxx
4.6.1	Análisis de Balance energético	..... cxxxiii
4.6.2	Determinación del calor necesario para calentar la carga	..... cxxxiv
4.6.3	Determinación del calor absorbido por las paredes del horno	..... cxxxv
4.6.4	Determinación del calor que se pierde hacia el ambiente	..... cxxxviii
4.6.5	Determinación del calor que se pierde por los gases de escape	..... cxxxix
4.6.5.1	Cálculo del tiempo de calentamiento	..... cxli
4.6.6	Determinación de la potencia requerida para calentar el horno	..... cxliii
4.7	Diseño del Recuperador de Pintura	..... cxliv
4.7.1	Equipo de aplicación	..... cxlv
4.7.2	Cuerpo de la cabina	..... cxlvi
4.7.3	Sistema de absorción por ciclón	..... cxlvii

4.7.3.1	Tubería entre cabina y depósito de recolección	cxlviii
4.7.3.1.1	Cálculo de los parámetros para seleccionar el ventilador por el método de la fricción constante	cxlix
4.7.3.2	Ventilador.....	viii
4.7.3.3	Depósito para recolección de polvo	ix
4.7.3.3.1	Codo de acople, tanque de distribución, cono decantador y receptor de polvo.....	x
4.7.4	Batería de filtros.....	xi
4.7.5	Cantidad de polvo que se espera recuperar	xii

CAPÍTULO IV DISEÑO TÉRMICO

4.1 ANÁLISIS TERMODINÁMICO DEL HORNO

Realizar el diseño de cualquier proyecto que requiera un análisis termodinámico, en el Ecuador es especial, no se puede generalizar por las condiciones atmosféricas en las que se encuentra el país, existen factores como la altura sobre el nivel del mar, la densidad del aire, la presión atmosférica, la humedad relativa que influyen en algunos quemadores, ventiladores, motores disminuyendo su eficiencia.

4.1.1 ANÁLISIS TERMODINÁMICO DEL COMBUSTIBLE

Para obtener una temperatura específica, se requiere generar calor, existen dos métodos³:

- Combustión del combustible
- Conversión de energía eléctrica en calor.

³ HORNOS INDUSTRIALES, Trinks W. y Mawhinney M.H., Volumen II

Es muy cierto que usar un sistema de calentamiento infrarrojo o eléctrico, no produce ningún tipo de contaminación y se puede controlar fácilmente, pero existe un problema la grave crisis energética existente en el país, las fuertes multas por exceder el consumo, cortes que pueden ocasionar paros en la producción, además el costo de la electricidad en el país es alto, es mejor utilizar la combustión del combustible.

Para el presente proyecto no es necesario mencionar el origen geológico de los combustibles ni de las otras fuentes de energía calorífica que se pueden utilizar para el curado de las piezas.

Para calentar un horno con combustión existen diversas alternativas en combustibles: gasolina, diesel, gas natural, fuel-oil, alquitrán, gas licuado de petróleo, gases especiales para hornos. Analizando cual es la más conveniente se tiene que el GLP, gas licuado de petróleo fue seleccionado porque presenta algunas ventajas con respecto a las otras:

- Facilidad de disponibilidad, se lo puede adquirir sin problemas, incluso para uso comercial o industrial.
- Se obtiene una reacción química con llama pura, por lo que no produce tanta contaminación como otros combustibles como el diesel o la gasolina.

4.1.1.1 Análisis termodinámico del combustible

La combustión se puede definir simplemente como una reacción química durante la cual se oxida un combustible y se libera gran cantidad de energía; interpretando esta expresión se encuentra que en la propia naturaleza existe el agente oxidante más utilizado en los procesos de combustión, el Aire. La composición del Aire es simple 21% de Oxígeno y 79% de Nitrógeno.

Finalmente es necesario mencionar que en una reacción química los componentes que existen antes de la reacción reciben el nombre de reactivos y los que existen después de la reacción se denominan productos.

En el Ecuador, de acuerdo a los estudios realizados por PetroEcuador en los laboratorios de Esmeraldas y Lago Agrio, el GLP proporciona un poder calórico de 49190 (kJ/kg) y una composición volumétrica variable entre dos componentes:

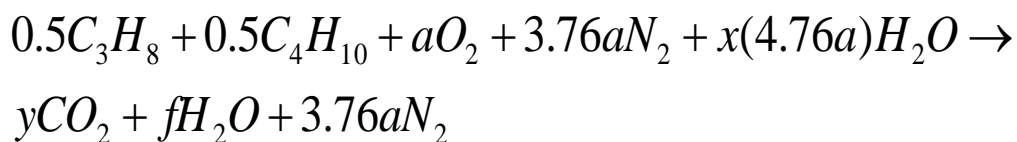
- Propano (C_3H_8), el cual varía del 40 al 60%
- Butano (C_4H_{10}), el cual varía del 40 al 60%

Estos valores son aproximados tomados en diferentes muestras, para este análisis se tomará como composición del GLP, tanto molar como volumétrica, 50% de Propano y 50% de Butano.

Teniendo en cuenta que el modelo se construirá en Quito, hay que considerar los datos meteorológicos en esta zona del país:

- Altitud (m): 2840m
- Temperatura media: 14°C
- Temperatura mínima: 10°C
- Humedad Relativa (ϕ): 70%
- Presión Atmosférica(P): 0.72 atm = 0.73 bar = 72.954 kPa

Una vez que se conocen las condiciones del medio ambiente para proseguir con el análisis termodinámico del combustible es necesario igualar la ecuación estequiométrica del combustible para este proceso, Ecuación 1:



Ecuación 4.1. Ecuación estequiométrica para el GLP

El valor de x en la ecuación representa los moles de H_2O /moles de aire, este valor de x se puede obtener analizando los conceptos de humedad del aire, usando la definición de humedad absoluta y relativa se obtiene la ecuación 2⁴:

$$\omega = \frac{0.622\phi P_g}{P - \phi P_g}$$

Ecuación 4.2. Fórmula para el cálculo de la humedad absoluta

Donde:

ω : Humedad absoluta

ϕ : Humedad relativa

P_g : Presión Parcial de agua saturada @10°C

P : Presión total

El valor de P_g a la temperatura mínima del ambiente es 1.2276 kPa, Presión del ambiente, P es 73 kPa y la humedad relativa, ϕ es del 70%,

Donde $\omega = 7.409 \times 10^{-3}$ (kg H_2O /kg de aire)

Con esta humedad absoluta y con los pesos moleculares tanto del aire como del H_2O , se obtiene moles H_2O /mol aire, ya que para encontrar la humedad absoluta se utiliza la ley universal de los gases, una vez efectuada esta comparación se encuentra el valor de x . El peso molecular del H_2O , M_{H_2O} es 18 y el peso molecular del aire se obtiene:

⁴ TERMODINÁMICA, Yunus A. Cengel – Boles Michael

$$M_{O_2} = 0.21 \times 2 \times 16 \quad M_{N_2} = 0.79 \times 2 \times 14$$

$$M_{O_2} = 6.72 \frac{kg_{O_2}}{mol} \quad M_{N_2} = 22.12 \frac{kg_{O_2}}{mol}$$

$$M_{Aire} = M_{O_2} + M_{N_2}$$

$$M_{Aire} = 28.84 \frac{kg_{Aire}}{mol}$$

Ahora para encontrar el valor de x , se usan los pesos moleculares, reemplazando se obtiene la Ec. 4.3:

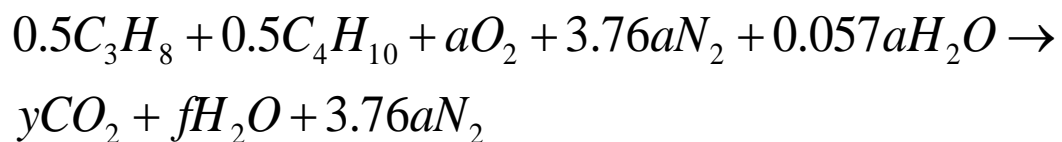
$$x = \frac{M_{Aire}}{M_{H_2O}}$$

Ecuación 4.3. Cálculo de x moles H_2O/mol aire

Donde:

$$x = 0.012 \frac{mol_{H_2O}}{mol_{Aire}}$$

Reemplazando en la Ec. 4.1, se obtiene:



Realizando el balance químico da como resultado el siguiente sistema de ecuaciones:

$$\text{H: } 0.5 \times 8 + 0.5 \times 10 + 2 \times 0.057a = 2f$$

$$\text{O: } 2a + 0.057a = 2y + f$$

$$\text{C: } 0.5 \times 3 + 0.5 \times 4 = y$$

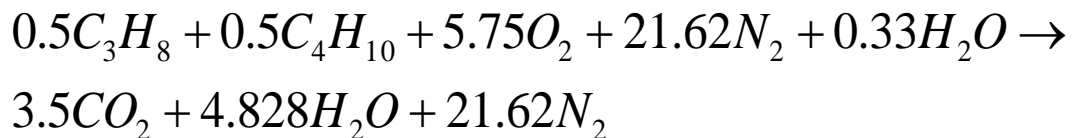
El resultado de las ecuaciones es:

$$a=5.75$$

$$y=3.5$$

$$f=4.82$$

Reemplazando en la Ec. 4.1:



Ecuación 4.4. Ecuación estequiométrica Real

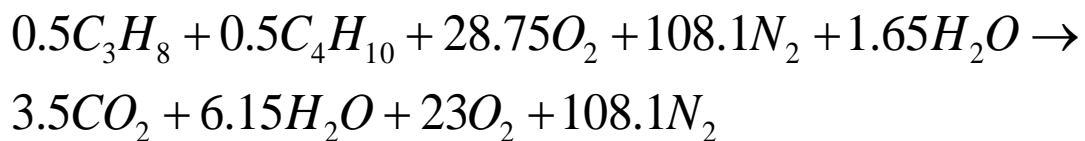
Debido a que la temperatura de trabajo más alta es aproximadamente, 215°C en la placa metálica, la relación aire combustible que corresponde a esta ecuación estequiométrica provocará una temperatura de Flama Adiabática en el orden de 1000-1800°C, por este motivo es necesario considerar un exceso de aire con respecto a la teórica para disminuir la temperatura de los productos. En los hornos se usan frecuentemente quemadores con exceso de aire para proporcionar una llama estable, reducir la temperatura e incrementar el volumen de gases que deben ser desalojados o filtrados. Cuando la temperatura a emplear es inferior a 500°C es recomendable evitar puntos calientes cerca de los quemadores y aumentar la circulación de aire en el interior del horno para alcanzar una temperatura uniforme.⁵

⁵ HORNOS INDUSTRIALES, Trinks W – Mawhinney M.H.

Se ha investigado que de acuerdo a la composición del combustible y la temperatura máxima a emplearse en un horno de similares dimensiones se utiliza entre 200% a 1000% de la cantidad teórica.

Con estos antecedentes, se eligió un exceso de 400% de aire, pero se debe tener en cuenta que si la temperatura de los productos es inferior a 500°C, estos pueden ser afectados por otros procesos de transferencia de calor, como la radiación que puede presentarse en los gases de combustión, si la diferencia de temperatura entre los gases que realizan la transferencia de calor y la temperatura dentro del horno es menor a 300°C esto puede afectar el proceso de combustión, con lo que sería necesario cambiar el exceso de aire para aumentar la temperatura.

Tomando en cuenta la corrección del aire en los productos se encontrará Oxígeno, la nueva ecuación con 400% de exceso de aire es:



Ecuación 4.5. Ecuación con 400% de exceso de aire.

4.1.1.1.1 Relación aire combustible

Con base a la Ec. 4.5, se puede determinar la relación Aire Combustible (A/C) que representa la cantidad de aire utilizada por unidad de masa de combustible durante el proceso de combustión, teniendo en cuenta la cantidad de moles de agua ya que es parte del aire.⁶

$$A/C = \frac{m_{aire}}{m_{combustible}} = \frac{(NM)_{aire}}{(NM)_C + (NM)_{H_2}}$$

⁶ TERMODINÁMICA, Yunus A. Cengel – Boles Michael

Ecuación 4.6. Relación aire combustible

$$A/C = \frac{(28.75 \times 4.76 \text{ kmol}) \left(28.84 \frac{\text{kg}_{\text{Aire}}}{\text{kmol}} \right)}{(0.5 \times 7 \text{ kmol}) \left(12 \frac{\text{kg}_C}{\text{kmol}} \right) + (0.5 \times 18) \left(1 \frac{\text{kg}_{\text{H}_2}}{\text{kmol}} \right)}$$

$$A/C = \frac{3946.75 \text{ kg}_{\text{Aire}}}{51 \text{ kg}_{\text{combustible}}}$$

$$A/C = 77.39 \frac{\text{kg}_{\text{Aire}}}{\text{kg}_{\text{combustible}}}$$

4.1.1.1.2 Análisis de los productos después de la combustión por kgmol de GLP

Sustancia	Moles (N _i)	Fracción Molar (N _i /N)	Masa molar (M _i)	(N _i /N)(M _i)
CO ₂	3.5	0.025	44	1.094
H ₂ O	6.15	0.044	18	0.787
N ₂	108.1	0.768	28	21.505
O ₂	23	0.163	32	5.229
	N = 140.75	Σ = 1	M _m = Σ _m = 28.615	

Tabla 4.1 Análisis de los productos después de la combustión

La tabla 4.1 presenta valores que se utilizarán en el cálculo de los coeficientes de transferencia de calor, además permite obtener las fracciones molares de los productos de la combustión, con éstas se podrá calcular las pérdidas de calor por los gases de escape.

4.1.1.1.3 Temperatura de flama adiabática

La temperatura de flama adiabática es la temperatura máxima de una cámara de combustión cuando el proceso es completo y no se libera calor hacia los alrededores, es decir que no existe pérdida de calor durante la combustión.⁷

Para poder determinar esta temperatura se considera un proceso de combustión de flujo permanente y en condiciones normales (temperatura del ambiente 25°C). Teniendo en cuenta un aspecto importante para poder realizar este cálculo, $Q=0$ y $W=0$, partiendo de la expresión para el principio de la conservación de la energía para un sistema de flujo permanente químicamente reactivo, al cual se lo puede agregar las relaciones molares para obtener la ecuación 7:

$$Q - W = H_{\text{Prod}} - H_{\text{React}} \text{ (kJ/kmol combustible)}$$

$$H_{\text{Prod}} = H_{\text{React}}$$

$$\sum N_p (h_f^\circ + h - h^\circ)_p = \sum N_r (h_f^\circ + h - h^\circ)_r$$

Ecuación 4.7. Relación de la conservación de la energía para un sistema de flujo permanente.

Donde N_r y N_p representan el número de moles del reactivo r y el producto p , respectivamente por mol de combustible.

⁷ TERMODINÁMICA, Yunus A. Cengel – Boles Michael

h_f° Representa a la entalpía de formación del componente a 298K.

h Representa a la entalpía del componente a la temperatura del ambiente indicada.

h° Representa a la entalpía del componente a la temperatura de 298K

La temperatura mínima promedio en Quito es 10°C ó 283K, con estos datos se procedió a buscar las entalpías respectivas⁸:

Reactantes			
Sustancia	h_f° kJ / kgmol	$h_{T=283K}$ kJ / kgmol	h° kJ / kgmol
C ₄ H ₁₀	-126150	0	0
C ₃ H ₈	-103850	0	0
O ₂	0	8150	8682
N ₂	0	8141	8669
H ₂ O	-241820	9296	9904

Productos			
Sustancia	h_f° kJ / kgmol	$h_{T=283K}$ kJ / kgmol	h° kJ / kgmol
CO ₂	-393520	$h_T CO_2$	9364
H ₂ O	-241820	$h_T H_2O$	9904
O ₂	0	$h_T N_2$	8682
N ₂	0	$h_T O_2$	8669

Tabla 4.2 Entalpías para reactantes y productos

⁸ TERMODINÁMICA, Yunus A. Cengel – Boles Michael

Reemplazando en la Ecuación 4.7, se obtiene:

$$\Sigma N_p (h_f^\circ + h - h^\circ)_p = \Sigma N_r (h_f^\circ + h - h^\circ)_r$$

$$\Sigma N_r (h_f^\circ + h - h^\circ)_r = 0.5(-126150) + 0.5(-103850) + 28.75(8150 - 8682) + 108.1(8141 - 8669) + 1.65(-241820 + 9296 - 9904)$$

$$\Sigma N_r (h_f^\circ + h - h^\circ)_r = -587378$$

$$\Sigma N_p (h_f^\circ + h - h^\circ)_p = 3.5(-393520 + h_T CO_2 - 9364) + 6.15(-241820 + h_T H_2O - 9904) + 23(h_T O_2 - 8682) + 108.1(h_T N_2 - 8669)$$

Reemplazando los valores en la ecuación 4.7:

$$-587378 + 4095001.5 = 3.5h_T CO_2 + 6.15h_T H_2O + 23h_T O_2 + 108.1h_T N_2$$

$$3507623.5 = 3.5h_T CO_2 + 6.15h_T H_2O + 23h_T O_2 + 108.1h_T N_2$$

Ecuación 4.8. Iteración para encontrar h_T

Esta expresión se puede resolver realizando iteraciones de los diferentes componentes para obtener un valor de entalpía de cada uno que satisfaga la ecuación 8. En un primer paso se supone que solo existe N_2 en los productos, por ser el componente de mayor presencia en el aire, obteniéndose:

$$3507623.5 = 140.75h_T N_2$$

$$h_T N_2 = \frac{3507623.5}{140.75} = 24920.9485 \frac{kJ}{kmol}$$

Con este valor de entalpía para el N_2 , la temperatura de flama adiabática se aproxima a 840K, pero como es lógico esta debe ser menor, así se buscan

valores inferiores en las tablas de cada componente y se procede a calcular de acuerdo al número de moles para poder realizar una iteración y obtener el valor más cercano para un proceso con exceso de aire.

	h (kJ/kmol) a 810	h (kJ/kmol) a 820	h (kJ/kmol) a 830
3.5 $h_T CO_2$	32694x3.5	33212x3.5	33730x3.5
6.15 $h_T H_2O$	28284x6.15	28672x6.15	29062x6.15
108.1 $h_T N_2$	24027x108.1	24342x108.1	24658x108.1
23 $h_T O_2$	24861x23	25199x23	25537x23
$\Sigma h_T Componente$	3457497.3	3503522	3549667.1

Tabla 4.3 Comparación de sumatoria de entalpías por cantidad de cada componente

Por lo tanto realizando la iteración que satisfaga la ecuación 8 usando estos valores de 810, 820 y 830 K se obtiene que la temperatura de flama adiabática va a ser:

$$T_c = 820.88K = 547.88^\circ C$$

Como esta temperatura es superior a 500°C no es necesario cambiar el porcentaje de exceso de aire.

4.2 ANÁLISIS DE TEMPERATURAS EN EL HORNO

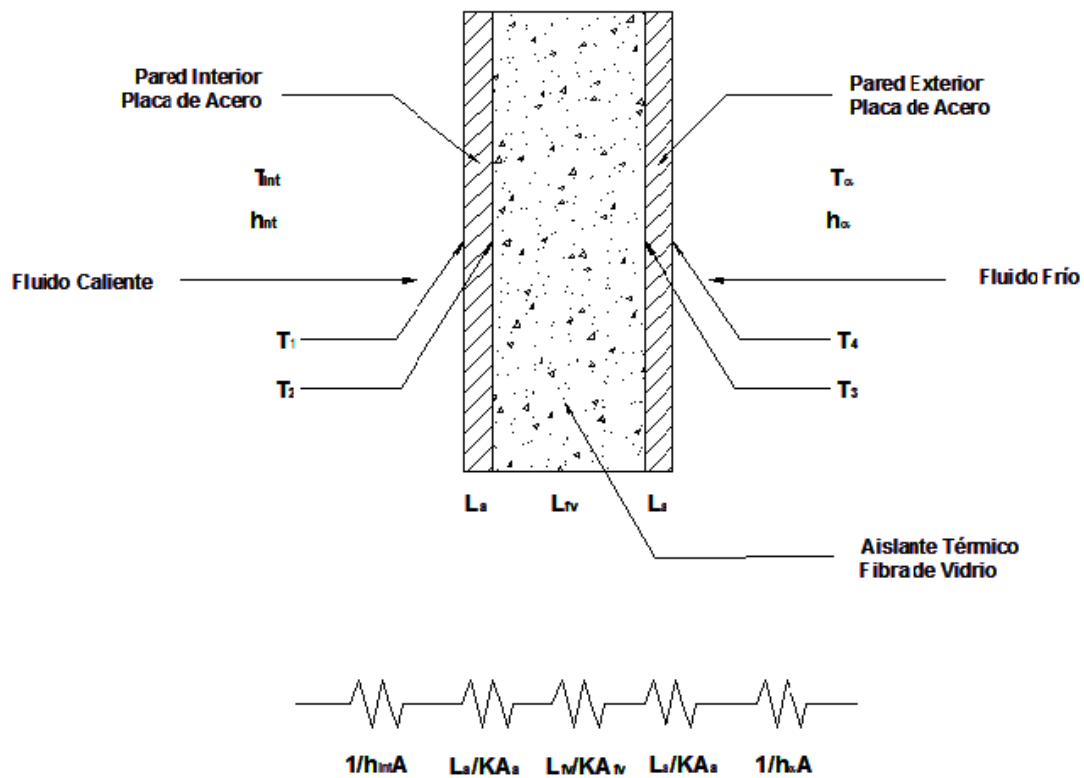


Fig. N°4.1 Esquema del análisis de temperaturas en las paredes del horno

La figura N°4.1 muestra el análisis de temperaturas en las paredes del Horno, considerando estado estable, como se puede apreciar existe un Fluido caliente y uno frío, lógicamente el uno circula en el interior y el otro en el exterior del horno, respectivamente.

Se utiliza una analogía eléctrica para representar como ocurre la transferencia de calor a lo largo de la pared que está en contacto con el interior y con el medio ambiente.⁹

A continuación se describe que representa cada símbolo utilizado en el Esquema:

T_{int} : Temperatura en el interior del horno

h_{int} : Coeficiente de Transferencia de Calor interno

T_a : Temperatura del medio ambiente

h_a : Coeficiente de Transferencia de Calor por el Ambiente

T_1 : Temperatura de contacto entre la cara interior de la placa interior y el fluido caliente

T_2 : Temperatura de contacto entre la cara exterior de la placa interior y el aislante térmico.

T_3 : Temperatura de contacto entre la cara interior de la placa externa y el aislante térmico.

T_4 : Temperatura de contacto entre la cara externa de la placa exterior y el ambiente, esta en algunos cálculos futuros puede ser mencionada como T_p o T_s .

L_a : Espesor de la placa de acero

L_{fv} : Espesor del aislante térmico

A_x : Área de la cara del elemento a calcular.

4.3 COEFICIENTES DE TRANSFERENCIA DE CALOR

Un aspecto fundamental en el diseño térmico son los coeficientes de transferencia de calor, ya que en base a ellos se puede determinar el espesor del aislante, obtener el calor que se genera por los gases y el que se pierde por el contacto de las paredes exteriores con el ambiente. Teniendo en cuenta lo

⁹ FUNDAMENTOS DE TRANSFERENCIA DE CALOR, Incropera Frank – De Witt David

anteriormente citado, se tendrá coeficientes en el interior del horno y de éste hacia el ambiente.

4.3.1 COEFICIENTES DE TRANSFERENCIA DE CALOR EN EL INTERIOR DEL HORNO

En el interior del horno se presentan dos efectos de la transferencia de calor, la radiación y la convección de los gases producidos por la combustión del GLP, h_{ri} , h_{ci} respectivamente, el coeficiente total en el interior del horno es la suma de los dos anteriores, en la Ecuación 4.9¹⁰:

$$h_i = h_{ri} + h_{ci}$$

Ecuación 4.9. Coeficientes de transferencia de calor en el interior del horno.

4.3.1.1 Coeficiente interior por radiación (h_{ri})

Se puede definir a La radiación térmica como la energía emitida por la materia que se encuentra a una temperatura medible, aunque generalmente se cree que este efecto solo actúa sobre superficies sólidas, está demostrado que también puede provenir de líquidos o gases. En el desarrollo del modelo van a existir aberturas por construcción, por ese motivo va a existir radiación producida por los gases de combustión que están en contacto con las placas metálicas.

Estudios en Ingeniería Química han determinado que para realizar el cálculo de este coeficiente se debe considerar que los únicos gases de los productos que permiten la transmisión de calor por radiación son el CO₂ y el H₂O, debido a que el resto son elementos a los que este efecto no los afecta, así se tendrá que para calculo del h_{ri} la fórmula es¹¹:

¹⁰ FUNDAMENTOS DE TRANSFERENCIA DE CALOR, Incropera Frank – De Witt David

¹¹ PRINCIPIOS ELEMENTALES DE LOS PROCESOS QUÍMICOS, Felder Richard.

$$h_{ri} \left[\frac{W}{m^2 K} \right] = \sigma (\varepsilon_s) \frac{[\varepsilon_g (T_g)^4 - \alpha_g (T_s)^4]}{(T_g - T_s)}$$

Ecuación 4.10. Fórmula para determinar h_{ri} en radiación de gases

Donde:

ε_s : Emisividad de la superficie

ε_g : Emisividad del gas

T_s : Temperatura de la superficie

T_g : Temperatura del gas

α_g : Absortancia del gas

σ : Constante de Stefan-Boltzmann $5.669 \times 10^{-8} \frac{W}{m^2 K^4}$

Para el caso del acero inoxidable empleado en la construcción, se tiene que la emisividad de superficie es $\varepsilon_s = 0.24$, de acuerdo a la temperatura a la que va a estar sometida la placa. Al hablar de temperatura de la superficie hay que recalcar que esta es la máxima que llegará a tener la pieza metálica para el curado es de 215°C ó 488K = T_s .

Las expresiones para la emisividad y la absortancia del gas son:

$$\varepsilon_g = \varepsilon_{CO_2} + \varepsilon_{H_2O} - \Delta\varepsilon$$

$$\alpha_g = \alpha_{CO_2} + \alpha_{H_2O} - \Delta\alpha$$

Ecuación 4.11. Emisividad y absorptancia gaseosas

Analizando estas ecuaciones se tiene:

ε_{CO_2} : Emisividad del Bióxido de Carbono

ε_{H_2O} : Emisividad del Vapor de Agua en una mezcla con gases

$\Delta\varepsilon$: Factor de Corrección de Emisividad

α_{CO_2} : Absortancia del Bióxido de Carbono

α_{H_2O} : Absortancia del Vapor de Agua en una mezcla con gases

$\Delta\alpha$: Factor de Corrección de Absortancia

Un dato importante, no conocido, es la Temperatura del gas T_g , para poder obtener este valor hay que considerar algunos parámetros ya encontrados con anterioridad, T_g es el promedio entre la Temperatura de Combustión y la media aritmética entre la Temperatura de la superficie de la placa y la temperatura del ambiente, así se encontró la siguiente expresión matemática¹²:

$$T_g = \frac{T_c + \frac{(T_p + T_a)}{2}}{2}$$

Ecuación 4.12. Expresión para el cálculo de la temperatura del gas

Donde:

T_c : Temperatura de combustión (de flama adiabática)

T_p : Temperatura de la superficie de la placa

T_a : Temperatura del ambiente en el exterior

¹² FUNDAMENTOS DE TRANSFERENCIA DE CALOR, Incropera Frank – De Witt David

Reemplazando se obtiene:

$$T_g = \frac{547.88 + \frac{(215 + 10)}{2}}{2}$$

$$T_g = 330.19^\circ\text{C} = 603.19\text{K}$$

De los gráficos de Emisividad y Absortancia, se encuentra que en el eje de las abscisas está la temperatura del gas, y en el de las ordenadas los dos parámetros a encontrarse, pero es necesario conocer otro factor que aparece en la gráfica, $P_{w/c}L$, representa la presión parcial del gas $P_{w/c}$ en atm, para el bióxido o el vapor de agua, por el espesor medio de la masa gaseosa L en pies. La expresión para encontrar la presión parcial es¹³:

$$P_{w/c} = \left(\frac{N_i}{N} \right) P$$

Ecuación 4.13. Expresión para calcular la presión parcial del gas.

Con anterioridad en este capítulo ya se obtuvo las respectivas fracciones molares N_i/N , en la tabla 4.1 Análisis de los productos después de la combustión, P es la presión atmosférica de 0.72 atm.

Reemplazando

$$P_{CO_2} = 0.025 \times 0.72(\text{atm}) = 0.018\text{atm}$$

$$P_{H_2O} = 0.064 \times 0.72(\text{atm}) = 0.032\text{atm}$$

¹³ FUNDAMENTOS DE TRANSFERENCIA DE CALOR, Incropera Frank – De Witt David

Al espesor medio de la masa gaseosa se lo puede relacionar con la longitud media del rayo, L , cuyo valor se puede obtener usando la siguiente expresión¹⁴:

$$L = 3.6 \left(\frac{V}{A} \right)$$

Ecuación 4.14. Expresión para calcular la longitud media del rayo

Donde:

V : volumen total del interior del horno

A_e : área de la superficie envolvente

$$V := 2.802 \cdot 201.8$$

$$V = 11.088 \quad \text{m}^3$$

$$A_e := 2(2.80 \cdot 2.20) + 2(2.20 \cdot 1.80) + 2(2.80 \cdot 1.80)$$

$$A_e = 30.32 \quad \text{m}^2$$

Reemplazando en la ecuación 14 se tiene:

$$L = 3.6 \left(\frac{11.1}{30.32} \right) = 1.31(m) = 4.32 \text{ pies}$$

Con los valores obtenidos en los pasos anteriores ya se puede encontrar el factor pL :

$$p_{CO_2} L = 0.018 \times 4.32 = 0.078 [\text{atm} - \text{pies}]$$

¹⁴ TRANSFERENCIA DE CALOR, Holman J.P. 8ª Edición.

$$p_{H_2O}L = 0.044 \times 4.32 = 0.19 [\text{atm} - \text{pies}]$$

Con estos datos se procede a encontrar las respectivas emisividades con los siguientes gráficos¹⁵:

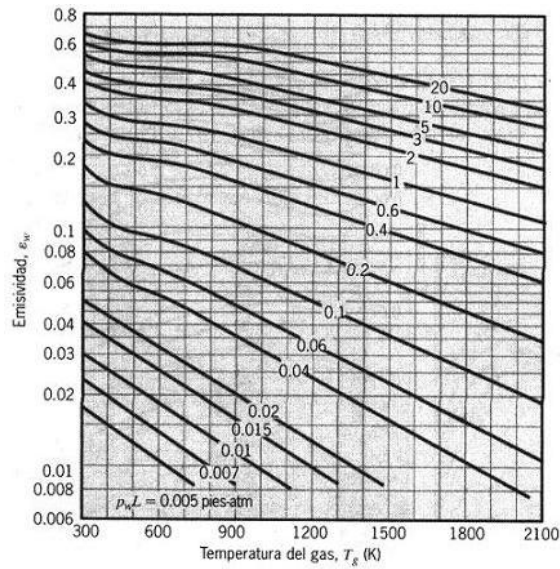
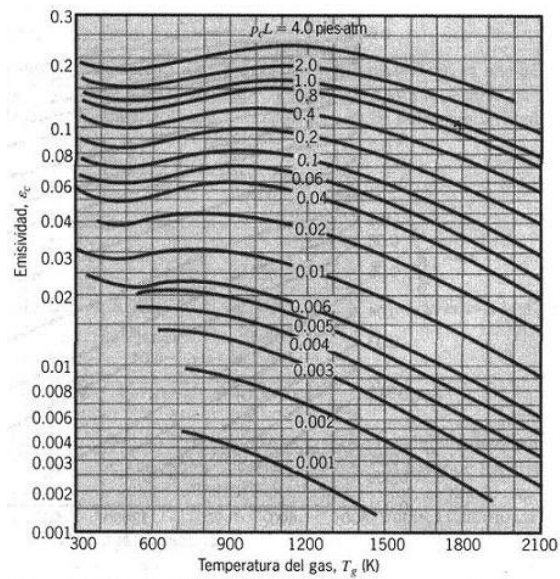


Fig. N° 4.2 Emisividad de vapor de agua en una mezcla con gases no radiantes a 1atm de presión total.



¹⁵ FUNDAMENTOS DE TRANSFERENCIA DE CALOR, Incropera Frank – De Witt David

Fig. N° 4.3 Emisividad de bióxido de carbono en una mezcla con gases no radiantes a 1atm de presión total.

Usando los gráficos antes mencionados se encuentran los valores para la Emisividad respectiva:

$$\varepsilon_{CO_2} = 0.04$$

$$\varepsilon_{H_2O} = 0.035$$

El factor de corrección se obtiene en la siguiente gráfica¹⁶:

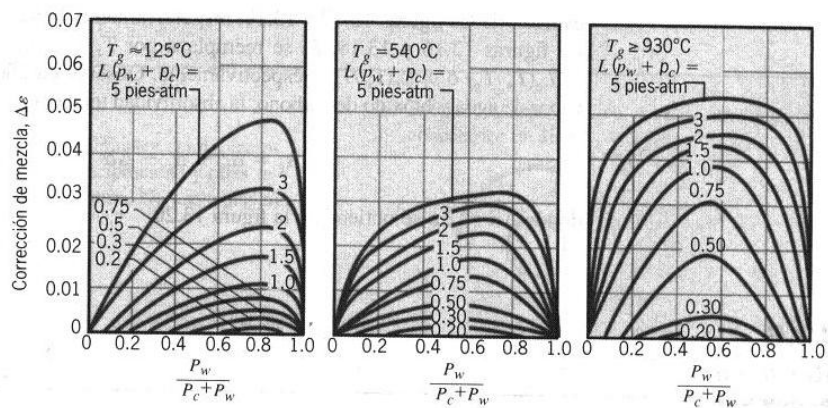


Fig. N° 4.4 Factor de corrección asociado con mezclas de vapor de agua y bióxido de carbono.

Como la temperatura del gas no es mayor a 500°C se uso la gráfica intermedia por ser la más cercana. Para ello es necesario hallar algunos factores que constan en la gráfica:

$$\frac{P_{H_2O}}{P_{H_2O} + P_{CO_2}} = 0.7$$

¹⁶ FUNDAMENTOS DE TRANSFERENCIA DE CALOR, Incropera Frank – De Witt David

$$L(p_{H_2O} + p_{CO_2}) = 1.15[\text{pies} - \text{atm}]$$

Así se obtiene un factor de corrección es $\Delta\varepsilon = 0.02$

Un dato curioso encontrado en esta investigación es que se pueden utilizar estas gráficas para encontrar la absorptancia dado que la $T_g > T_s$, en este caso $T_s = T_p$, utilizando el concepto de Absortividad, que es una propiedad que determina la fracción de la irradiación absorbida por una superficie; se realiza el mismo procedimiento que para la emisividad reemplazando la T_g por $T_p = 215^\circ\text{C} = 488\text{K}$.

Con estas acotaciones los valores de absorptancia son:

$$\alpha_{H_2O} = 0.038$$

$$\alpha_{CO_2} = 0.04$$

$\Delta\alpha = 0.01$, en la primera gráfica debido a que la temperatura es la más cercana a ésta.

Con estos valores, se reemplaza en la ecuación 4.11 y se obtiene:

$$\varepsilon_g = 0.04 + 0.035 - 0.02 = 0.055$$

$$\alpha_g = 0.04 + 0.038 - 0.01 = 0.068$$

Ahora ya se puede obtener el coeficiente por radiación interno, reemplazando en la ecuación 4.10:

$$h_{ri} = 5.7(0.24) \frac{\left[0.055 \left(\frac{603.19}{100} \right)^4 - 0.068 \left(\frac{488}{100} \right)^4 \right]}{(603.19 - 488)}$$

$$h_{ri} = 0.407 \left[\frac{W}{m^2 K} \right]$$

4.3.1.2 Coeficiente interior por convección (h_{ci})

La convección se refiere a la transferencia de calor que ocurre entre una superficie y un fluido en movimiento cuando están a diferentes temperaturas.

El fenómeno de la convección interviene directamente con el ambiente, en forma particular con el aire, por ello para efecto de cálculo solo se tomará en cuenta este gas, ya que como se pudo apreciar en la Tabla N°4.1 Análisis de los productos después de la combustión, el N₂ y el O₂ son los componentes de mayor fracción molar y por ende no tomar en cuenta a los demás gases casi no afecta el resultado de los cálculos para este coeficiente. Generalmente en este tipo de hornos se usan entradas de aire, ya sea aire comprimido o por ventiladores, pero los fabricantes recomiendan que no se utilice una velocidad excesiva, porque esta puede afectar a la película de pintura en la placa y hacer que ésta se desprenda de la pieza, ellos recomiendan que esta velocidad de entrada no sea mayor a 1.25 ft/s. Con estos antecedentes se procede a calcular este coeficiente.

Otro aspecto importante son las propiedades del aire a la temperatura alrededor de la placa, la que es necesario encontrar debido a que existe la temperatura del gas y la temperatura máxima a la que debe llegar la placa, el promedio entre estas dos va a ser el del aire alrededor de la pieza, se lo conocerá como Temperatura de Película Interna (T_{pi}), y se obtiene¹⁷:

$$T_{pi} = \left(\frac{T_g + T_p}{2} \right)$$

Ecuación 4.15. Expresión para la temperatura de película interna promedio

¹⁷ FUNDAMENTOS DE TRANSFERENCIA DE CALOR, Incropera Frank – De Witt David

$$T_{pi} = \left(\frac{603.19 + 488}{2} \right)$$

$$T_{pi} = 545.6K$$

Con esta temperatura se procede a encontrar las propiedades termofísicas necesarias para el cálculo de este coeficiente en las propiedades de la materia para los gases a presión atmosférica¹⁸¹⁹:

Viscosidad Cinemática (ν): $45.57 \times 10^{-6} \left[\frac{m^2}{s} \right]$

Coficiente de Conductividad Térmica (k): $43.9 \times 10^{-3} \left[\frac{W}{mK} \right]$

Número de Prandlt (Pr): 0.683

(Propiedades Termofísicas de la Materia (Gases a presión atmosférica) pág. 839)

Es necesario calcular el Número de Reynolds (Re)

$$Re = \frac{Vel \times L}{\nu}$$

Ecuación 4.16. Expresión para calcular el número de Reynolds

Considerando que la velocidad en el interior no debe superar los 1.25 ft/s, se tiene:

$$1.25 \frac{ft}{s} = 0.38 \frac{m}{s}$$

¹⁸ FUNDAMENTOS DE TRANSFERENCIA DE CALOR, Incropera Frank – De Witt David

¹⁹ TRANSFERENCIA DE CALOR, J.P. Holman, 8.a Edición

L representa la longitud característica, para este caso se usará 2m, ya que es la longitud máxima de espacio útil en el interior del horno.

$$Re = \frac{0.38 \times 2.8}{45.57 \times 10^{-6}} = 2.335 \times 10^4$$

Como el flujo no es para nada turbulento, se puede obtener el Número de Nusselt que permitirá calcular el coeficiente de convección.

$$Nu = 0.67 Re^{\frac{1}{2}} Pr^{\frac{1}{3}}$$

Ecuación 4.17. Expresión para calcular el número de Nusselt.

Donde $Nu = 90.16$

Partiendo del concepto del Número de Nusselt

$$Nu = \frac{h_{ci} L_T}{k}$$

Ecuación 4.18. Expresión de la definición del número de Nusselt

L_T es la longitud total del horno en este caso es 2.80m

De donde
$$h_{ci} = \frac{Nu \times k}{L_T}$$

$$h_{ci} = \frac{90.16 \times 43.9 \times 10^{-3}}{2.80} = 1.414 \frac{W}{m^2 K}$$

Ahora se puede encontrar el Coeficiente de transferencia de calor interno, ecuación 4.9, con la suma de los dos componentes, radiación y convección:

$$h_i = 0.407 + 1.414$$

$$h_i = 1.822 \frac{W}{m^2 K}$$

4.3.2 COEFICIENTE DE TRANSFERENCIA DE CALOR HACIA EL EXTERIOR

El coeficiente del horno hacia el ambiente, para facilidad se lo denotará h_α , tal como en el interior aquí también intervienen los efectos de la radiación y la convección, por lo que se tendrá²⁰:

$$h_\alpha = h_{c\alpha} + h_{r\alpha}$$

Ecuación 4.19. Coeficiente de transferencia de calor hacia el exterior

4.3.2.1 Coeficiente de transferencia de calor externo por convección

$$(h_{c\alpha})$$

Dado que para este cálculo interviene la Convección Libre se van a encontrar coeficientes, para las tres dimensiones del horno, va a ser uno para paredes, otro para el techo y otro para el piso. Es necesario analizar la temperatura que se generará alrededor del horno, lógicamente ésta no va a ser similar a la del ambiente. Esta temperatura será denominada como Temperatura de Película

²⁰ FUNDAMENTOS DE TRANSFERENCIA DE CALOR, Incropera Frank – De Witt David

Externa (T_{fext}), está relacionada con la Temperatura de las placas exteriores del horno (T_{pext}), por recomendación de fabricantes de hornos ésta no debe ser superior a 37°C en la superficie del metal y la temperatura del ambiente (T_α) que como ya se mencionó es de 10°C. Así se tiene:

$$T_{fext} = \frac{T_{pext} + T_\alpha}{2}$$

Ecuación 4.20. Expresión para la temperatura de película externa

$$T_{fext} = \frac{37 + 10}{2} = 23.5^\circ C = 296.5 K$$

Con esta temperatura se pueden encontrar las Propiedades termofísicas del aire alrededor del horno²¹:

Viscosidad Cinemática (ν): $15.89 \times 10^{-6} \left[\frac{m^2}{s} \right]$

Coefficiente de Conductividad Térmica (k): $26.3 \times 10^{-3} \left[\frac{W}{mK} \right]$

Número de Prandlt (Pr): 0.707

Otro factor importante en la Convección libre es el Coeficiente Volumétrico de Expansión Térmica (β), se presenta ya que la densidad en el ambiente puede ser variable.

$$\beta = \frac{1}{T_{fext}}$$

²¹ FUNDAMENTOS DE TRANSFERENCIA DE CALOR, Incropera Frank – De Witt David

Ecuación 4.21. Expresión para el coeficiente volumétrico de expansión térmica

Donde $\beta = 3.373 \times 10^{-3} K^{-1}$

Para proseguir con los cálculos, es necesario encontrar el Número de Rayleigh (Ra):

$$Ra = GrPr$$

Ecuación 4.22. Expresión para el número de Rayleigh

En esta expresión se encuentran dos parámetros importantes el Número de Prandtl (Pr) y el número de Grashof, el cual debe ser calculado como si el aire estuviera en reposo:

$$Gr = \frac{g\beta(T_{pext} - T_{\alpha})L^3}{\nu^2}$$

Ecuación 4.23. Expresión para el número de Grashof

En esta expresión g es la gravedad, L va a depender de las dimensiones, 1.80m para los lados laterales y 2.40m x 2.80m para el piso y el techo, en este caso se usa la relación del área por el perímetro de la placa, pero como no se conoce todavía el espesor del aislante no se puede usar este precepto, la teoría recomienda cuando se tiene una placa larga horizontal, establecer L como la mitad del ancho de la placa.

Con estos antecedentes primero se calcula el Rayleigh para las paredes laterales (Ra_l):

Con L=1.80m

$$Gr_l = \frac{9.8 \times 3.373 \times 10^{-3} (37 - 10) 1.80^3}{(15.89 \times 10^{-6})^2} = 2.061 \times 10^{10}$$

Donde:

$$Ra_l = 2.061 \times 10^{10} \times 0.707$$

$$Ra_l = 1.457 \times 10^{10}$$

En este punto se calcula el Rayleigh para el techo y el piso (Ra_t):

Como ya se menciona se usará L igual a la mitad del ancho que en este caso es 2.20m; por ende L_t será 1.1m.

$$Gr_t = \frac{9.8 \times 3.373 \times 10^{-3} (37 - 10) 1.10^3}{(15.89 \times 10^{-6})^2} = 4.704 \times 10^9$$

Donde:

$$Ra_t = 4.704 \times 10^9 \times 0.707$$

$$Ra_t = 3.326 \times 10^9$$

Generalmente por definición el Número de Nusselt para Convección libre se obtiene por medio de la expresión:

$$Nu_L = C(Ra_L)^n$$

Ecuación 4.24. Expresión para el número de Nusselt en convección libre

En este caso C y n son factores que dependen de la geometría y de la posición de las placas. El subíndice L solo indica que se trata de un caso de Convección Libre.

Pero para el caso de las paredes laterales que vienen a ser placas verticales existen otras expresiones que permiten encontrar el Número de Nusselt con más exactitud. La expresión para el número de Nusselt para placas verticales con el valor de Rayleigh obtenido es:

$$Nu_{Ll} = \left\{ 0.825 + \frac{0.387(Ra_l)^{1/6}}{\left[1 + \left(\frac{0.492}{Pr} \right)^{9/16} \right]^{8/27}} \right\}^2$$

Ecuación 4.25. Expresión para el número de Nusselt en convección libre, caso de paredes verticales.

Reemplazando los valores se obtiene $Nu_{Ll} = 284.044$

Con este dato se calcula el coeficiente de convección hacia el ambiente que generan las paredes laterales solo se aplica de nuevo la ecuación 4.18:

$$h_{cal} = \frac{Nu_{Ll} \times k}{L_l} = \frac{284.044 \times 26.3 \times 10^{-3}}{1.80}$$

$$h_{cal} = 4.15 \left[\frac{W}{m^2 \cdot K} \right]$$

Para el caso del techo se lo puede representar como placa caliente horizontal con las consideraciones que la temperatura de superficie y la posición de los fluidos estipulan para los valores de C y n, para el cálculo se puede utilizar la ecuación 25, esto se puede apreciar en la siguiente tabla:

Placa horizontal	C	n	$Nu_L = C(Ra_L)^n$	$h_{cax} = \frac{Nu_L \times k_\alpha}{L_t}$ $\left(\frac{W}{m^2 \cdot K} \right)$
Placa superior techo	0.15	1/3	223.905	5.35

Tabla 4.4 Número de Nusselt de las Placas Horizontales (Piso y Techo)

4.3.2.2 Coeficiente de transferencia de calor externo por radiación ($h_{r\alpha}$)

Como al horno se lo puede considerar como un cuarto grande, el coeficiente de radiación se lo puede encontrar con la siguiente expresión:

$$h_{r\alpha} = \varepsilon_s \sigma (T_{pext} + T_\alpha) (T_{pext}^2 + T_\alpha^2)$$

Ecuación 4.26. Expresión para calcular el coeficiente de transferencia de calor por radiación.

Para aplicar esta expresión hay que mencionar el valor de algunos parámetros que aparecen en la ecuación:

Constante de Stefan-Boltzman (σ): $5.669 \times 10^{-8} \frac{W}{m^2 K^4}$

Emisividad de la Superficie, acero inoxidable (ε_s): 0.24

Temperatura de la Pared Exterior (T_{pext}): $37^{\circ}\text{C} = 310\text{K}$

Temperatura del medio ambiente (T_{α}): $10^{\circ}\text{C} = 283\text{K}$

Reemplazando los valores se obtiene:

$$h_{r\alpha} = 0.24 \times 5.67 \times 10^{-8} (310 + 283)(310^2 + 283^2)$$

$$h_{r\alpha} = 1.422 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}}$$

4.3.2.3 Coeficiente total de transferencia de calor externo (h_{α})

Analizando los resultados obtenidos, se puede apreciar que debido al efecto de la Convección, en las placas del horno se generan 3 coeficientes dependiendo de la geometría y la posición de la placa. Es conveniente enumerar los diferentes resultados de coeficientes de calor externo de acuerdo a las placas:

Posición de la placa	Coeficiente por convección externo, h_{ca} $\left(\frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}}\right)$	Coeficiente por radiación externo, h_{ra} $\left(\frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}}\right)$	Coeficiente de transferencia de calor externo, $h_{\alpha} = h_{ra} + h_{ca}$ $\left(\frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}}\right)$
Paredes laterales	4.15	1.422	5.572
Techo	5.35		6.775

Tabla 4.5 Evaluación de Coeficientes de Transferencia de Calor Externos

4.4 DETERMINACIÓN DEL ESPESOR DEL AISLANTE TÉRMICO

Como aislamiento térmico se utilizará la fibra de vidrio, básicamente por la facilidad adquisitiva de este material en el mercado ecuatoriano.

A continuación se presenta las propiedades a utilizarse en los cálculos. Las propiedades del Acero Inoxidable se indican en la tabla 4.6:

Material	Densidad, ρ $\left(\frac{kg}{m^3}\right)$	Conductividad Térmica, k $\left(\frac{W}{m \cdot K}\right)$	Calor Específico, c_p $\left(\frac{J}{kg \cdot K}\right)$
Acero Inoxidable AISI	7900	14.9	477
Fibra de vidrio	38	0.067	835

Tabla 4.6 Propiedades de los materiales de las paredes del horno

4.4.1 FLUJO DE CALOR POR UNIDAD DE ÁREA

La conducción se puede definir como la transferencia de calor que se produce a través de un sólido o un fluido estacionario, con los estudios realizados por Fourier se obtuvo la siguiente expresión que permite encontrar el flujo de calor²²:

$$q = k \frac{\Delta T}{x_{esp}}$$

²² FUNDAMENTOS DE TRANSFERENCIA DE CALOR, Incropera Frank – De Witt David

Ecuación 4.27. Expresión para calcular el Flujo de calor por unidad de área en la conducción.

En esta expresión los términos utilizados representan:

k : Conductividad Térmica del Material

ΔT : Diferencia de Temperaturas

x_{esp} : Espesor de la Placa analizada.

Para la convección y la radiación, como ya se analizó con anterioridad en este capítulo con los coeficientes de transferencia de calor de estos procesos de transferencia de calor se puede establecer un total $h = h_c + h_r$, que se puede utilizar en la siguiente expresión para el flujo de calor:

$$q = h \cdot \Delta T$$

Ecuación 4.28. Expresión para el flujo de calor conocidos los coeficientes de transferencia de calor por convección y radiación.

4.4.2 REPRESENTACIÓN DE LA ANALOGÍA ELÉCTRICA

Según la fig. 4.1 en el Análisis de temperaturas en las paredes del horno, para facilitar algunos cálculos se puede utilizar una analogía eléctrica, tal como se muestra en la siguiente figura:

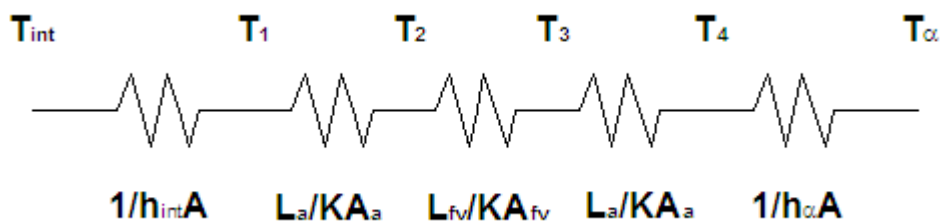


Fig. N°4.5 Analogía eléctrica de la pared del horno

Se establecen las siguientes resistencias térmicas para determinar el flujo de calor por unidad de área:

$$R_1 = \frac{1}{h_{\text{int}}}, R_2 = \frac{L_a}{K_a}, R_3 = \frac{L_{fv}}{K_{fv}}, R_4 = \frac{L_a}{K_a}, R_5 = \frac{1}{h_\alpha}$$

$$R_T = R_1 + R_2 + R_3 + R_4 + R_5$$

$$R_T = \frac{1}{h_{\text{int}}} + \frac{L_a}{K_a} + \frac{L_{fv}}{K_{fv}} + \frac{L_a}{K_a} + \frac{1}{h_\alpha}$$

Ecuación 4.29. Expresión para representar la resistencia térmica total

El Flujo de Calor se puede representar de la siguiente manera:

$$q = \frac{T_{\text{int}} - T_1}{R_1} = \frac{T_1 - T_2}{R_2} = \frac{T_2 - T_3}{R_3} = \frac{T_3 - T_4}{R_4} = \frac{T_4 - T_\alpha}{R_5}$$

$$q = \frac{\Delta T}{R_T} = \frac{T_{\text{int}} - T_\alpha}{R_T}$$

Ecuación 4.30. Expresiones para el flujo de calor utilizando la resistencia térmica total.

4.4.3 DETERMINACIÓN DEL ESPESOR DEL AISLANTE TÉRMICO

Para las paredes del horno se utilizarán planchas de acero inoxidable de 1mm de espesor; se puede realizar una aproximación para el espesor del aislamiento térmico tomando en cuenta que el espesor de los rollos de fibra de vidrio va desde 1pulg ó 2.54cm en adelante, de esa forma se van a realizar iteraciones para encontrar el flujo de calor. Con el fin de mostrar los resultados obtenidos se realizarán algunas iteraciones, teniendo en cuenta que la temperatura máxima que se tendrá en el interior, T_{int} , será igual a la temperatura de gas producto de la combustión, T_g , la temperatura del ambiente T_α , se estimo en un mínimo de 10°C se recalculo la temperatura T_2 , pese a que

es de transición entre la pared posterior de la placa de acero y la cara frontal del aislamiento, como es lógico el acero no ofrece mucha resistencia a la Transferencia de Calor por Conducción así que ésta va a ser casi igual a la temperatura T_1 , la que debe ser 215°C para que las piezas introducidas en el horno queden curadas completamente; por otro lado T_3 debe ser muy cercana a T_4 la que por normas de seguridad no debe superar los 37°C ²³.

De la ecuación 4.30 se tiene que:

$$q = \frac{T_2 - T_3}{R_3} = \frac{L_{fv}(T_2 - T_3)}{K_{fv}}$$

Con está expresión se puede volver a calcular el espesor del aislante térmico

$T_{\text{int}} = T_g = 330.19^{\circ}\text{C}$		$T_1 = 215^{\circ}\text{C}$	$T_4 = T_3 = 37^{\circ}\text{C}$	$T_a = 10^{\circ}\text{C}$
Espesor del aislante (supuesto), L_{fv} (cm)	Resistencia térmica, R_T ($\frac{\text{m}^2\text{K}}{\text{W}}$)	Temperatura 2, T_2 (K)	Flujo de calor, q ($\frac{\text{W}}{\text{m}^2}$)	Espesor del aislante (calculado), L_{fvr} (cm)
2.54	1.108	214.981	288.959	4.1
5.08	1.487	214.986	215.299	5.5
7.62	1.848	214.986	173.227	6.9
10.16	2.192	214.99	146.094	8.2

Tabla 4.7 Análisis del flujo de calor con aislamiento de diferentes espesores

La secuencia utilizada en la tabla 4.7 está dada por el espesor que los distribuidores de aislamiento poseen en el mercado, él cual viene en pulgadas,

²³ MANUAL PINTUCO, 2003

se inicia la secuencia en 1pulg hasta 4pulg. Se recalculo el espesor una vez obtenido el flujo de calor, si el espesor calculado es menor al supuesto éste no cumple los requerimientos de temperatura.

Analizando los resultados obtenidos en la tabla 4.7 se puede apreciar que no se puede seleccionar 2.54cm de aislamiento ya que el flujo de calor es muy alto y volviendo a calcular el espesor, éste valor es menor al supuesto, dejando como conclusión que no es el conveniente, con 5.08cm se tiene que recalculando se obtiene 5.5cm, este espesor es mayor al supuesto, pero todavía es muy cercano; para no correr riesgos y tomando en cuenta que la estructura del horno debe soportar además el peso de la carga es recomendable tener un espesor desde 7.62cm ó 10.16cm, ya que fácilmente estos pueden soportar la estructura con carga y con los cálculos efectuados este espesor supuesto es mucho mayor al recalculado con lo que se asegura que la pérdida de calor va a ser mucho menor, además las paredes exteriores del horno es más que seguro que no superarán la temperatura de 37°C²⁴.

4.5 DISEÑO DEL SISTEMA DE CALENTAMIENTO DEL AIRE

Para diseñar el sistema que permita calentar el aire para elevar la temperatura de las placas metálicas hay tener definido la forma del horno, la forma y capacidad de los quemadores, la forma de evacuación de gases.

4.5.1 TIPO DE HORNO

Como ya se definió el tipo de horno de acuerdo a la clasificación por la forma de generar el calor, ya que se usará la combustión del GLP; y otra clasificación que se da en base a la manipulación de material en su paso a través del horno. Existen dos tipos principales²⁵:

²⁴ MANUAL DE PINTUCO 2003

²⁵ HORNOS INDUSTRIALES, TRINKS W. – Mawhinney M.H., Volumen I

- El horno “dentro-fuera” o tipo de horno de carga por lotes, periódico o intermitente.
- El horno continuo.

Generalmente si se tiene un horno de tipo continuo, se necesita realizar una gran inversión ya que es necesario realizar calentamientos sucesivos y se debe recircular el aire caliente, tal como muestra la figura N° 4.11, además un transportador para las piezas.

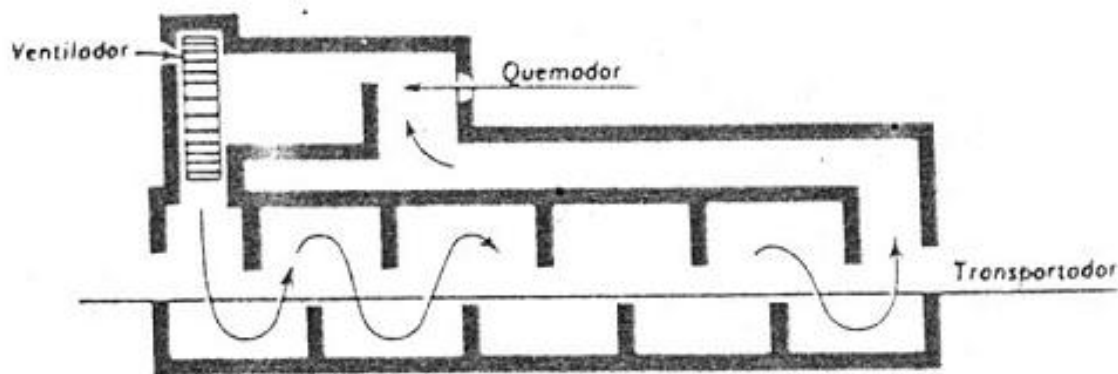


FIG. 10. Horno de recirculación.

Fig. N° 4.11 Horno de recirculación

Como ya se expuso en el capítulo 3 que actualmente la producción es por lotes, ya se decidió que el tipo de horno es “dentro-fuera”.

Para cualquier tipo de horno es indispensable determinar el lugar donde se realizará la combustión y la forma de dirigir los productos de la misma. Si las llamas se desarrollan en el propio interior del horno se dice que es de calefacción directa, algunos también se denominan hornos de caja o tipo estufa.

Si la llama se produce por debajo del hogar y luego pasa hacia arriba a la cámara de calefacción, se dice que es un horno de “calefacción por la parte inferior”, figura N° 4.11. Se eligió este tipo de horno debido a que es más fácil dirigir los productos de la combustión, si se tomaba un horno de calefacción lateral o por la parte superior se debía guiar de alguna forma los gases rodeen a las piezas.

4.5.2 DISEÑO DE QUEMADORES

Ya definido el tipo de horno, es necesario realizar el diseño de los quemadores, para este efecto se decidió utilizar quemadores de línea, figura N° 4.12, que son similares a los utilizados en hornos de las cocinas industriales y algunas domésticas²⁶.

Se eligió este tipo debido a que estos funcionan generalmente con GLP, obteniendo buenos resultados, no contaminan ni el interior ni el exterior, pero hay que tomar algunas consideraciones para mejorar la eficiencia de los mismos.

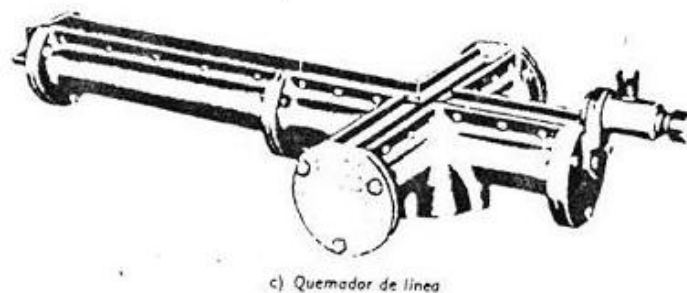


Fig. N° 4.12 Quemador de línea

4.5.2.1 Aprovechamiento del Espacio de Combustión

El aprovechamiento del espacio de combustión es indispensable para optimizar la temperatura del aire en el interior. Una llama larga, como en la figura N° 4.13, produce un mal aprovechamiento del espacio de combustión, ya que si se coloca un solo quemador grande en el centro del piso del horno no se obtienen buenas condiciones de combustión.

²⁶ DISEÑO DE QUEMADORES ATMOSFÉRICOS A GAS, Tesis EPN 1981.

El término condición de combustión se refiere a las combinaciones de diversos elementos del proceso y requiere tener claros los parámetros de diseño térmico para poder ser interpretados²⁷.

Con 1 solo quemador en el centro del horno, figura N° 4.13, se obtiene que la condición de combustión es: mezcla muy mala del aire y del combustible, combustible grueso, aire frío, se estropea el espacio que rodea al quemador. El aire no sobrepasa los 260°C.

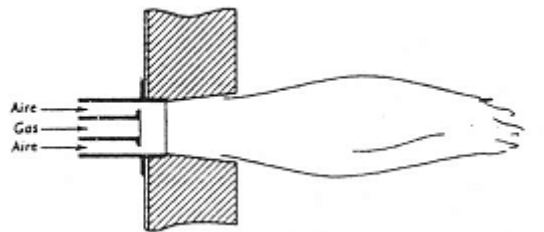


Fig. 4.13 Mal aprovechamiento del espacio de combustión por un quemador excesivamente grande.

Por el contrario con algunos quemadores pequeños, figura N° 4.14, se utiliza mejor el espacio de combustión trabajando con llamas más cortas, como condición de combustión se tiene: mezcla completa de aire y combustible, utilización perfecta del espacio de combustión, atomización muy fina o pulverización del combustible. Se estima que el aire bordea los 538°C, muy cercana a la temperatura encontrada para el gas en el análisis termodinámico del combustible.

²⁷ HORNOS INDUSTRIALES, Trinks W. – Mawhinney M.H., Volumen II

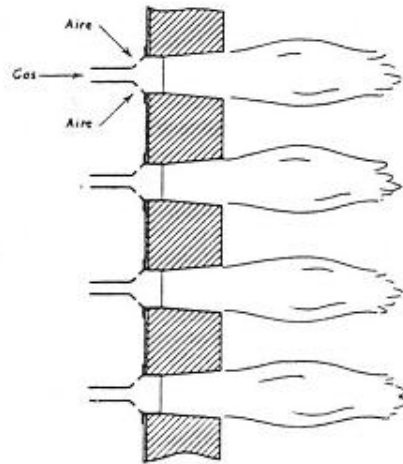


Fig. N° 4.14 Buen aprovechamiento del espacio de combustión por medio de cuatro quemadores pequeños.

4.5.2.2 Capacidad total de los quemadores en kW

Para los quemadores en línea se ha previsto usar tubos de 2pulg de diámetro y 2.60m de largo, ahora hay que establecer la capacidad en kW para solventar a la necesidad del horno, como ya se menciona es mejor tener más de 2 quemadores distribuidos proporcionalmente en el horno.

El valor de la capacidad de un quemador de horno de cocina industrial está entre 18000 y 25000BTU/h.²⁸ Investigando se encontró que éstos tienen 2 tubos de 1pulg de diámetro y 60cm de largo. Teniendo en cuenta que por los tubos va a pasar un determinado volumen de mezcla en base a este se puede determinar una relación volumétrica y compararla con la capacidad del horno de cocina industrial.

Para efectos de calculo se utilizará para la capacidad de un quemador de horno de cocina industrial 18000BTU/h, que equivale a 5.275kW.

$$Vol_{cocina} = 1.20 \times \frac{\pi}{4} \left(\frac{25.4}{1000} \right)^2 = 0.00061m^3$$

²⁸ DISEÑO DE QUEMADORES ATMOSFÉRICOS A GAS, Tesis EPN 1981.

$$Vol_{quemador} = 2.60 \times \frac{\pi \left(\frac{50.8}{1000} \right)^2}{4} = 0.005 m^3$$

$$r_{vol} = \frac{Vol_{quemador}}{Vol_{cocina}} = \frac{0.005}{0.00061} = 8.19$$

Cap_{cocina} : Capacidad de 1 quemador de horno de cocina industrial, 5.275kW.

$$Cap_{quemador} = Cap_{cocina} \frac{Vol_{quemador}}{Vol_{cocina}}$$

Ec. 4.38 Expresión para determinar la capacidad de un quemador para el horno de curado

$$Cap_{quemador} = 5.275 \times \frac{0.005}{0.00061} = 43.2 kW$$

$$Cap_{quemador} = 43.2 kW$$

Teniendo en cuenta que estos son valores experimentales tabulados por fabricantes de hornos de cocinas industriales en países que se encuentran sobre el nivel del mar, hay que considerar que se puede perder potencia en los quemadores por efecto de estar a más de 2500m de altura. Los distribuidores de quemadores, ventiladores, algunas bombas señalan que en la región Sierra del Ecuador se pierde un 30% de la potencia teórica, así se obtiene una eficiencia en los quemadores, $\eta_{quemador}$ del 70%.

$$Cap_{quemadorealtura} = \eta_{quemador} \times Cap_{quemador}$$

Ec. 4.39 Expresión para encontrar la capacidad de un quemador con la pérdida por los efectos de la altura.

$$Cap_{quemadorealtura} = \frac{70}{100} \times 43.2W$$

$$Cap_{quemadorealtura} = 30.24kW$$

El valor de la capacidad de un quemador en la altura permite tener una idea del flujo de calor necesario para calentar al horno de tal forma que éste llegue a la temperatura de curado en un intervalo de tiempo conveniente a los intereses de la producción de la empresa.

Como ya se menciona en este apartado es mejor tener algunos quemadores que puedan calentar uniformemente todo el interior del horno que uno solo que va a tardarse más en alcanzar la temperatura requerida.

Los quemadores de llama indirecta con GLP como combustible que se pueden encontrar en el mercado tienen una capacidad de 400000BTU/h, teniendo en cuenta este antecedente para igualar la capacidad de un quemador utilizado en este tipo de hornos se necesitarían 4 quemadores atmosféricos.

$$Cap_{total} = 4 \times Cap_{quemadorealtura} = 4 \times 30.24kW$$

$$Cap_{total} = 120.96kW$$

Realizando las transformaciones de unidades se obtiene que ésta capacidad de 4 quemadores, 120.96kW es 412732.6BTU/h. Este valor es solo una referencia de acuerdo con la capacidad de quemadores de llama indirecta utilizados por fabricantes de este tipo de hornos.

4.5.2.3 Número de agujeros en los tubos

En los quemadores de línea tal como se indica en la figura 4.12, existen orificios a lo largo del tubo, por ellos fluye la mezcla aire-gas y se produce las llamas tal como en los hornos comunes de casa. Es importante determinar un

número de agujeros en el quemador que permita satisfacer la potencia necesaria.

Primero se ha decidido utilizar brocas tipo 32 que equivalen a 0.118pulg, aproximadamente 3mm.

En estudios realizados en la Escuela Politécnica Nacional se ha establecido que en quemadores similares el GLP produce una carga por unidad de área de

$$C_{arg a_{GLP}} = 28850 \frac{BTU}{hpulg^2} = 11106.685 \frac{kW}{m^2}$$

este valor fue tabulado con datos

encontrados experimentalmente, de acuerdo a la cantidad de exceso de aire en la mezcla.²⁹

Con el valor de la carga por unidad de área del GLP, se puede encontrar el área total necesaria para los agujeros.

$$A_{totalagujeros} = \frac{Cap_{quemadoremltura}}{C_{arg a_{GLP}}}$$

Ec. 4.40 Expresión para determinar el área total de los agujeros

$$A_{totalagujeros} = \frac{30.24kW}{11106.685 \frac{kW}{m^2}} = 0.002m^2$$

Como ya se tiene el área total necesaria, se puede establecer el número total de agujeros, conociendo el área de cada agujero, ecuación 4.41:

$$Num_{agujeros} = \frac{A_{totalagujeros}}{A_{1agujero}}$$

Ec. 4.41 Expresión para encontrar el número de agujeros

$$Num_{agujeros} = \frac{0.002m^2}{\frac{\pi \left(\frac{3 \times 25.40m}{1000} \right)^2}{4}} = 345.573$$

²⁹ DISEÑO DE QUEMADORES ATMOSFÉRICOS A GAS, Tesis EPN 1981

Se ha obtenido que para un quemador se necesitan 345 agujeros a lo largo del tubo, para facilidad constructiva se ha decidido utilizar 3 filas, así tenemos:

$$Num_{agujxfla} = \frac{Num_{agujeros}}{3} = \frac{345}{3} = 115$$

Estos serán dispuestos en un tubo de 2.60m de longitud con una separación de 150mm de la tapa del tubo y una separación de 20mm entre ellos, figura 4.15.

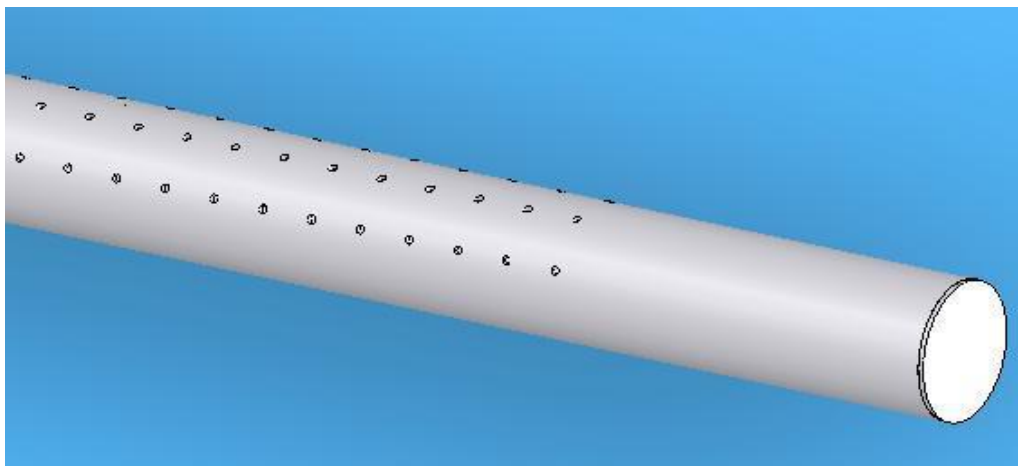


Fig. N° 4.15 Gráfico de un quemador con agujeros

Con el fin de optimizar el ingreso de mezcla al quemador se instalará una línea de retorno para reducir la presión y aumentar la velocidad de entrada con una reducción como la de la figura 4.16.

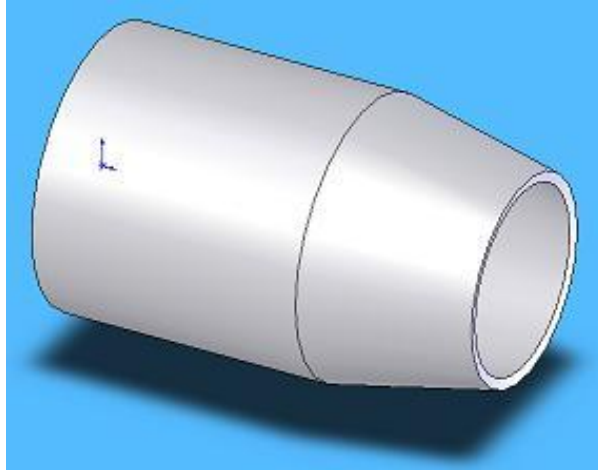


Fig. N° 4.16 Gráfico de la reducción de diámetro en el quemador

La reducción se instala para reducir la presión y aumentar la velocidad a la entrada, esto se decidió por seguridad al encender los quemadores se pueden producir accidentes si la entrada de la mezcla se realiza directamente al quemador de línea, además pueden existir inconvenientes si no ha salido toda la mezcla después de que el horno haya sido utilizado y vaya a ser encendido para otro ciclo, a la reducción se instala otro tubo de 2.60m para mantener la caída de presión y al final de este se coloca otra reducción para aumentar la presión a la entrada del quemador, por eso a este componente del dispositivo se lo denomino cámara de expansión. La figura 4.17 muestra el trayecto que tendrá que realizar el gas, ingresa a la reducción, que es un venturi, luego pasar a la cámara de expansión en donde se mezclara con los restos existentes en el quemador, para cuando éste sea encendido producir las llamas.

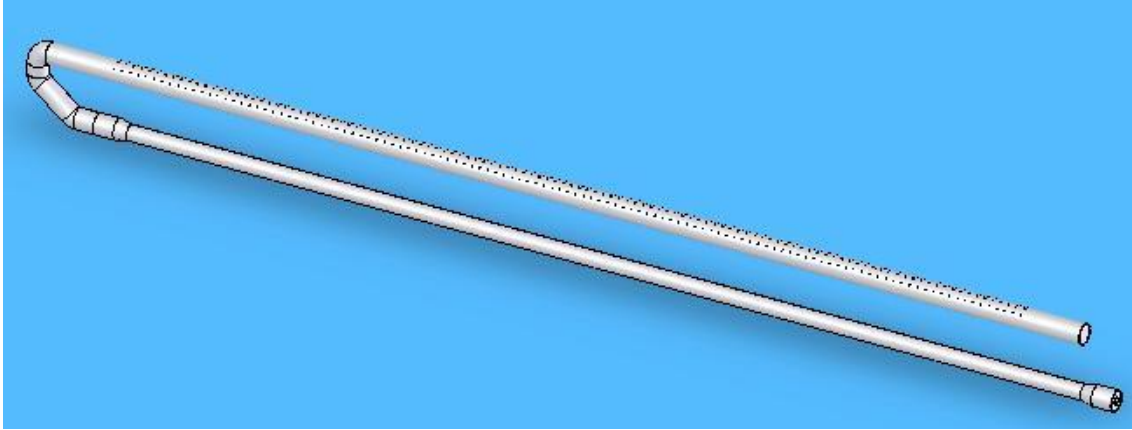


Fig. N° 4.17 Gráfico de un quemador completo

Para la instalación final de los quemadores debajo del horno, se requiere colocar una tubería que conduzca el gas a través de cada uno de los cuatro quemadores, tal como en la figura 4.18, se debe tener en cuenta que el gas debe ingresar por la reducción conectada a la cámara de expansión en la que se incluye un esquema de la tubería que permite el ingreso del gas.

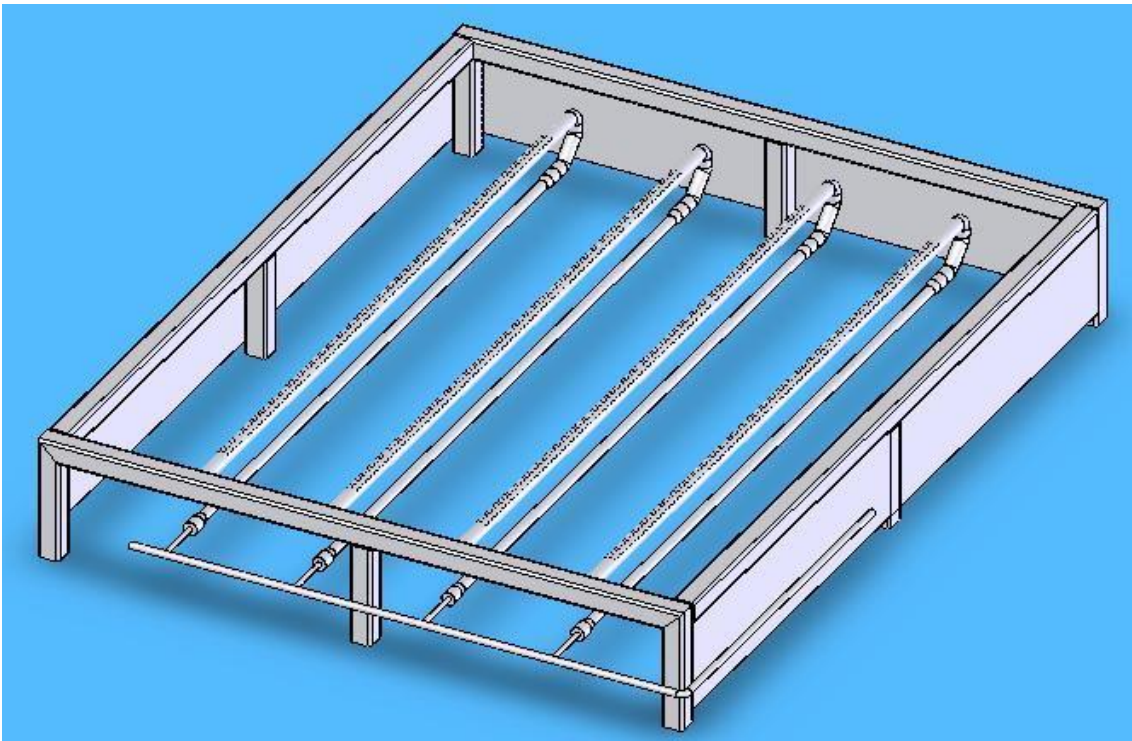


Fig. N° 4.18 Esquema de los quemadores en el horno.

4.5.2.4 Encendido de los quemadores

Al igual que la entrada del gas a los quemadores, el encendido de los mismos debe ser seguro, en hornos de este tipo se utiliza un encendido de llama piloto, este es un dispositivo que al prenderse y abrir la entrada de gas a los quemadores permite encenderlos de una manera uniforme y segura.³⁰

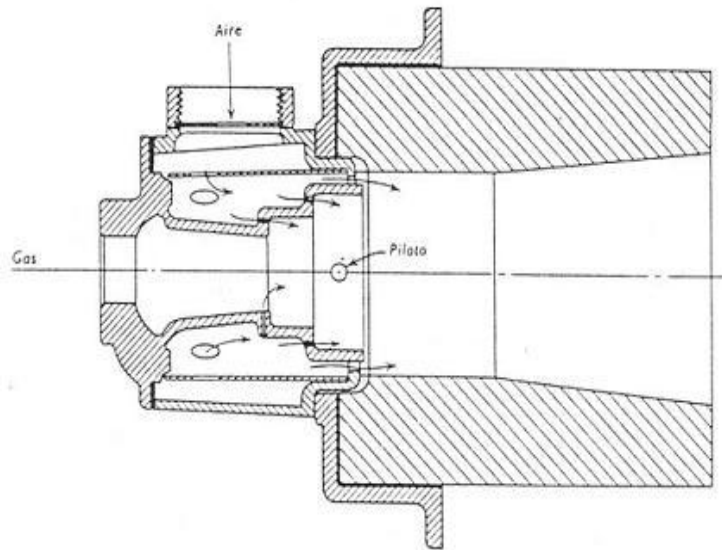


FIG. 37. Quemador con exceso de aire.

Fig. N° 4.19 Esquema de uso de la llama piloto.

Para este proyecto se utilizarán cuatro pilotos, uno por cada quemador, en el momento en que los pilotos estén encendidos se permitirá la entrada de gas a los quemadores, para que estos se prenda uniformemente.

4.5.2.5 Piso del horno

Para efectos de prueba en esta instancia se analizó la posibilidad de usar malla metálica, la que se pueda conseguir en el mercado, ya que es necesario pisar en el interior del horno para colocar y sacar las piezas, además de permitir más fácilmente el calentamiento del aire. La figura 4.20 muestra como se puede colocar la malla metálica sobre perfiles similares a los de este proyecto.

³⁰ HORNOS INDUSTRIALES, Trinks W. – Mawhinney M.H., Volumen II

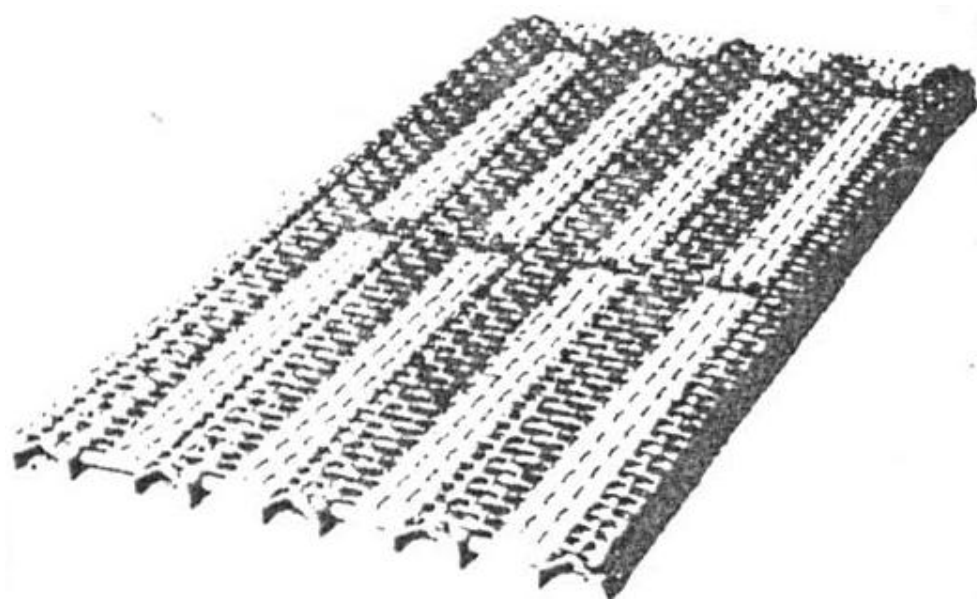


Fig. N° 4.20 Esquema del uso de malla metálica en el piso de hornos

4.6 BALANCE ENERGÉTICO

El balance energético se puede representar a través de un esquema acorde a la definición de la Primera Ley de Termodinámica:

$$\sum Q_{Entrada} = \sum Q_{Salida} + \sum Q_{Acumula}$$

Ec. 4.31 Expresión para el Balance de Energía

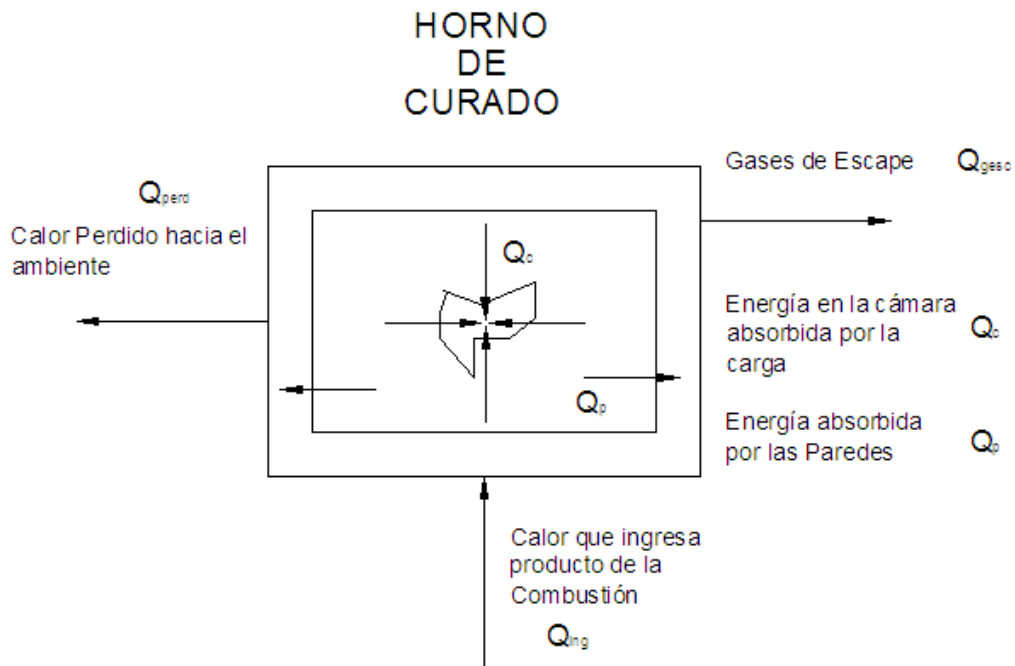


Fig. N°4.6 Esquema del balance energético para el horno de curado

Partiendo del concepto de Balance de Energía, los términos usados en la Fig. 4.6 representan:

$$\sum Q_{Entrada} = \sum Q_{Salida} + \sum Q_{Acumula}$$

$$Q_{ing} - Q_{perd} = Q_c + Q_p + Q_{gasesescape}$$

Ec. 4.31 Expresión para el calor que ingresa al horno

$$Q_{ing} - Q_{perd} = mCp\Delta T |_{p,c} + Q_{gasesescape}$$

$$Q_{gasesescape} = Q_{esc}$$

Donde:

Q_{ing} : Calor que ingresa al horno por la combustión del GLP

Q_c : Energía necesaria para calentar la carga.

Q_p : Energía absorbida por las paredes del horno.

Q_{esc} : Calor que se pierde por los gases de escape producto de la combustión.

$Q_{perd} = Q_{\alpha}$: Calor que se pierde desde el horno hacia el medio ambiente.

Analizando este Balance energético para el horno de curado, fig. 4.6, hay que mencionar que lo que genera el cambio de temperatura es la combustión del GLP que se traslada a través de un fluido o medio, el aire, obteniéndose Energía calorífica, de esta forma se puede decir que al horno:

Ingresa:

- Energía calorífica producida por el quemador a través de la combustión del GLP.

Sale:

- Energía calorífica por las fronteras, lo que quiere decir paredes y aberturas. Este horno tiene una entrada por la que ingresan las piezas de los productos. En las paredes se produce un cambio en la energía interna por la diferencia de temperaturas en el estado transitorio (calentamiento).
- Energía calorífica que se acumula directamente en las piezas de los productos o más fácil de explicar la Energía acumulada por la carga. Se calcula como la variación de energía interna producida por la diferencia de temperaturas en estado transitorio.
- Energía calorífica por gases de combustión, siempre en un proceso de combustión existen gases que se escapan.
- Energía calorífica que se pierde desde el horno hacia el medio ambiente, por el efecto directo de la convección.

4.6.1 ANÁLISIS DE BALANCE ENERGÉTICO POR FLUJO DE CALOR

Considerando que el objetivo del proyecto es que el horno alcance la temperatura de curado en el menor tiempo posible para mejorar la producción de la empresa, es necesario encontrar el tiempo de calentamiento del horno.

Analizando el balance energético se encontró que se puede relacionar el flujo de calor con el calor que absorben la carga y las paredes, con las pérdidas por frontera, estos valores se detallan en próximos apartados, a continuación se realiza el análisis del balance energético:

$$\sum \dot{Q} = \dot{Q}_{gasesescap} + \frac{dU}{dt} |_{p,c}$$

$$\sum \dot{Q} = \dot{Q}_{gasesescap} + d \frac{mCp\Delta T}{dt} |_{p,c}$$

$$\int_0^t \sum \dot{Q} dt = \int_0^t \dot{Q}_{gasesescap} dt + mCp\Delta T |_{p,c}$$

$$\int_0^t \dot{Q}_{ing} dt - \int_0^t \dot{Q}_{perd} dt = \int_0^t \dot{Q}_{gasesescap} dt + mCp\Delta T |_{p,c}$$

$$Q_{ing} - \int_0^t \dot{Q}_{perd} dt = Q_{gasesescap} + mCp\Delta T |_{p,c}$$

Estudios realizados por técnicos especializados en cámaras de combustión en el Ecuador, se estima que durante el proceso de calentamiento del horno las pérdidas por los gases que escapan por la chimenea están en el orden del 8 al 10% con respecto a la energía que ingresa al horno, producida por el sistema de calentamiento de los quemadores atmosféricos de línea. Como para este proyecto es importante que las pérdidas sean mínimas se considerará el 8% con respecto a la energía que ingresará al horno.³¹

³¹ CONSERVACIÓN ENERGÉTICA EN EL SECTOR INDUSTRIAL, Instituto Nacional de Energía, Junio 1984. Anexo 1 Tablas.

$$Q_{ing} - \int_0^t Q_{perd} dt = 0.08Q_{ing} + mCp\Delta T |_{p,c}$$

$$0.92Q_{ing} - \int_0^t Q_{perd} dt = mCp\Delta T |_{p,c}$$

$$0.92\dot{Q}_{ing} - \dot{Q}_{perd} \Delta t = mCp\Delta T |_{p,c}$$

$$0.92\dot{Q}_{ing} \Delta t - \dot{Q}_{perd} \Delta t = mCp\Delta T |_{p,c}$$

Los componentes de esta expresión se calcularán a continuación, para luego proceder al cálculo del intervalo de tiempo para que la temperatura del horno llegue a estabilizarse. Es importante encontrar el tiempo de calentamiento para conocer en que momento el horno puede alcanzar la temperatura de curado.

$$\Delta t = \frac{mCp\Delta T |_{p,c}}{0.92\dot{Q}_{ing} - \dot{Q}_{perd}}$$

Ec 4.32 Cálculo del tiempo de calentamiento

4.6.2 DETERMINACIÓN DE LA ENERGÍA NECESARIA PARA CALENTAR LA CARGA

Como se estimó que en el interior del horno estarán 9 estructuras de sillas metálicas, realizadas con tubos de acero normal o al carbón que es el más comercializado en el país. Se estableció que el peso de una silla fabricada es de 12.6 kg, aplicando la temperatura máxima de curado considerando la expresión siguiente:

$$Q_c = m_c C_{p_{acero}} \Delta T_c$$

Ec. 4.33 Expresión para calcular el calor en diferentes sólidos

Donde se tiene que:

Q_c : Calor necesario para calentar la carga

m_c : Masa total de la carga

Cp_c : Calor específico para el acero al carbón, $434 \frac{J}{kgK}$

ΔT_c : Diferencia de temperatura en la placa con respecto al ambiente

Aplicando los valores se obtiene

$$Q_c = (9 \times 12.6)(0.434)(215 - 10)$$

$$Q_c = 10409.5kJ$$

4.6.3 DETERMINACIÓN DE LA ENERGÍA ABSORBIDA POR LAS PAREDES DEL HORNO

La energía acumulada en las paredes del horno constituye uno de los aspectos sobresalientes que afectan a la economía de los hornos, no va a ser el mismo si el horno es de funcionamiento continuo que por lotes.

Para poder calcular el Calor total que absorben las paredes del horno se utilizo la misma expresión que para la carga, Ec. 4.33, con pequeños cambios como que en este caso existen varios componentes y se debe calcular separados porque la diferencia de temperatura no es la misma, así se tiene que³²:

$$Q_p = \sum m_i Cp_i \Delta T_i$$

Donde se tiene que:

Q_p : Energía que absorben las paredes

³² HORNOS INDUSTRIALES, Trinks W. – Mawhinney M.H.

m_i : Masa de cada componente de la pared, se obtuvo aplicando la fórmula de

$$\rho = \frac{m(kg)}{Area(A) \times espesor(e)(m^3)}$$

la densidad

Cp_i : Calor específico de cada componente

ΔT_i : Diferencia de temperatura de cada componente en la placa con respecto al ambiente

Material	A (m ²)	e (m)	$\rho \left(\frac{kg}{m^3} \right)$	$m(kg)$	$Cp \left(\frac{kJ}{kgK} \right)$	$\Delta T(K)$	$mCp\Delta T(kJ)$
Acero Inoxidable AISI	24,160	0,001	7900,0	190,864	0,477	(215-10)	18663,636
Aislante Térmico Fibra de Vidrio	24,160	0,051	38,0	46,638	0,835	(126-10)*	4517,402
Acero Inoxidable AISI	24,160	0,001	7900,0	190,864	0,477	(37-10)	2458,137
Malla Metálica ó Acero Inox	6,160	0,002	7900,0	97,328	0,477	(215-10)	9517,218
Total				525,694			35156,394

*El valor de 126°C representa la temperatura en el punto medio del aislamiento.

Tabla 4.8 Calculo de la energía total que absorben las paredes

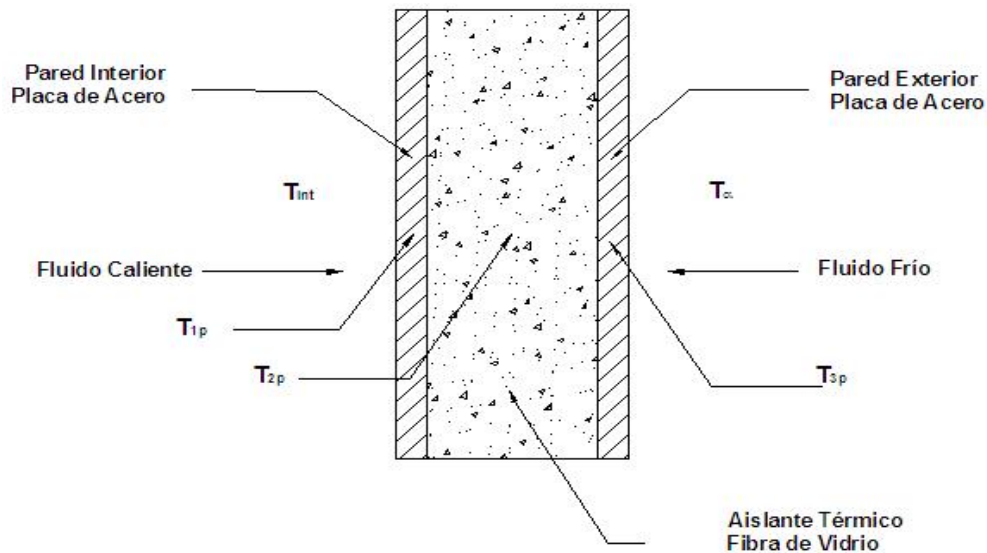


Fig. N° 4.8 Análisis de temperaturas para el cálculo del calor acumulado en las paredes del horno.

En la tabla N°4.8 se presentan los cálculos relacionados con la energía acumulada en las paredes. En la figura N°4.8 se presenta la disposición de las temperaturas en las paredes del horno para el cálculo del calor acumulado en ellas. T_{1p} es 215°C , T_{2p} es la temperatura en el punto medio del espesor del aislante, y T_{3p} la temperatura de la placa exterior de 37°C , valor estimado para evitar accidentes si existe contacto con esta pared. La temperatura del ambiente está representada por T_{α} .

$$T_{2p} = \frac{T_{1p} + T_{3p}}{2}$$

Ec. 4.33 Expresión para la temperatura en el punto medio del aislante

$$T_{2p} = \frac{215 + 37}{2} = 126^{\circ}\text{C}$$

En la tabla 4.8 se obtuvo el valor total de energía acumulada por las paredes $Q_p = 35156.4\text{kJ}$, es para el calentamiento de la placa y del ambiente, ya que de acuerdo a la curva de funcionamiento después de 8 minutos que la pieza ingreso a la cámara llega a la temperatura máxima, permanece así por 10

minutos y luego empieza la fase de enfriamiento para poder sacar la pieza del horno.

4.6.4 DETERMINACIÓN DEL CALOR QUE SE PIERDE HACIA EL AMBIENTE

En el análisis del flujo de calor, éste se calculo en estado estacionario, no se considero la transición desde la temperatura ambiente hasta la temperatura de curado, debido a que se sobredimensiono este valor con el fin de evitar accidentes precautelando la seguridad física de los operarios.

El intervalo de tiempo, Δt , se calculará después con la ecuación 4.32 obtenida en apartados anteriores.

El Calor total por pérdidas por unidad de tiempo se puede relacionar con el flujo de calor por unidad de área, como ya se tienen calculados los respectivos coeficientes de calor, así se utilizó la siguiente expresión³³:

$$\frac{Q}{\Delta t} = q \cdot A$$

Ec. 4.34 Expresión para el calor total por unidad de tiempo

Con la expresión utilizada en la Ec. 4.28 se puede reemplazar y obtener el flujo de calor:

$$\frac{Q}{\Delta t} = h \cdot \Delta T \cdot A$$

Con los coeficientes de transferencia de calor obtenidos con anterioridad se puede calcular el Calor total perdido hacia el ambiente:

³³ TERMODINÁMICA, Yunus Cengel – Boles Michael

Posición	$h_{\alpha} \left(\frac{W}{m^2 K} \right)$	$A(m^2)$	$\Delta T(K)$	$h_{\alpha} \cdot A \cdot \Delta T(W)$
Paredes laterales	5.572	18,000	(37-10)	2707.992
Techo	6.775	6,160	(37-10)	1126.818
$\frac{Q_{\alpha}}{t} (W)$	$\dot{Q}_{\alpha} = \dot{Q}_{perd}$			3834.810

Tabla 4.9 Cálculo del flujo de calor que se pierde hacia el ambiente

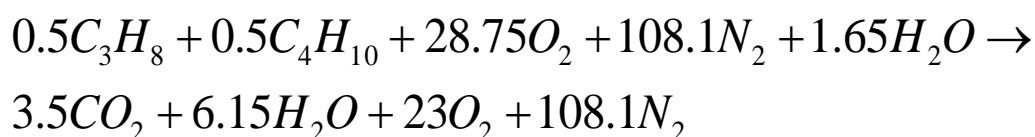
El resultado obtenido se lo puede referir a un tiempo Δt para obtener la siguiente expresión:

$$\dot{Q}_{\alpha} = \dot{Q}_{perd} = 3.834(kW)$$

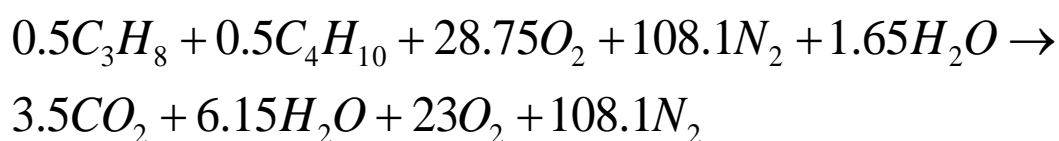
$$Q_{\alpha} = 3.834 \cdot \Delta t(kJ)$$

4.6.5 DETERMINACIÓN DEL CALOR QUE SE PIERDE POR LOS GASES DE ESCAPE

Para analizar como escapan los gases es necesario recordar los componentes con sus respectivas fracciones molares, tomando como referencia las ecuaciones 4.4 y 4.5, ecuación estequiométrica para el GLP y ecuación con 400% de exceso de aire, respectivamente, y la temperatura de calentamiento, para encontrar la diferencia de entalpías entre la temperatura máxima y la del ambiente, se puede observar en la tabla 4.10:



Ec. 4.4 Ecuación estequiométrica del gas licuado de petróleo



Ec. 4.5 Ecuación con 400% de exceso de aire

N_i (kmol)	$h_{488} \left(\frac{kJ}{kmol} \right)$	$h_{283} \left(\frac{kJ}{kmol} \right)$	$(h_{488} - h_{283}) \left(\frac{kJ}{kmol} \right)$	$N_i (h_{488} - h_{283}) (kJ)$
3,5 CO_2	17232	8697	8535	29872,5
5,49 H_2O	16477	9296	7181	39423,69
64,86 N_2	14285	8.141	6144	398499,84
11,5 O_2	14460	8.150	6310	72565
$\sum N_i (h_{488} - h_{283}) (kJ)$				540361,03

Tabla 4.10 Cálculo de los productos de escape de la combustión

Considerando que peso molecular del GLP es $51 \frac{kg}{kmol}$, se puede relacionar con el valor obtenido en la Tabla 4.10 y calcular el calor que se pierde por los gases de combustión:

$$Q_{esc} = \frac{540361.03}{51} = 10595.314 \frac{kJ}{kgGLP}$$

Al inicio de este capítulo se menciona que el Poder calórico del GLP existente

en el Ecuador es $49190 \frac{kJ}{kg}$:

$$\frac{10595.314 \frac{kJ}{kgGLP}}{49190 \frac{kJ}{kgGLP}} \times 100 = 21.53\%$$

Con este valor se puede decir que estos gases de escape hacen que se pierda el 21.5% de la energía calorífica que ingresa a la cámara de transferencia de calor, durante la fase estacionaria, curado, donde ya se ha producido la combustión y ya existen productos de la misma, pese a esto se estima que durante la fase transitoria, calentamiento, las pérdidas sean mínimas con un

máximo promedio de un 8-10%, con el horno aislado correctamente a la temperatura de cambio de estado^{34, 35}.

Como en apartados anteriores se encontró la capacidad de un quemador atmosférico de línea, 30.24kW, se puede analizar de acuerdo a este flujo de calor las pérdidas producidas por los gases de escape durante el calentamiento y el curado. Así se pueden obtener las siguientes expresiones:

a. En el Calentamiento: $\dot{Q}_{gesc} = 0.08 \cdot \dot{Q}_{ing}$

b. En el Curado: $\dot{Q}_{gesc} = 0.215 \cdot \dot{Q}_{ing}$

Ec. 4.35 Expresión para representar el flujo de calor que se pierde por los gases de escape (a en el calentamiento, b en el curado)

Con el valor de la capacidad de un quemador se tiene que para este horno se puede escapar:

a. En el Calentamiento: $\dot{Q}_{gesc} = 2.42kW$

b. En el Curado: $\dot{Q}_{gesc} = 6.5016kW$

Cabe mencionar que estos valores están referidos a la capacidad de un quemador, el número de quemadores que se utilicen para calentar el horno y la carga va a depender de tiempo necesario para estabilizar la temperatura en el horno.

4.6.5.1 Cálculo del tiempo de calentamiento

Con la expresión obtenida en la ecuación 4.32 se puede encontrar el intervalo de tiempo de calentamiento. El flujo de calor que ingresa al horno \dot{Q}_{ing} , se puede obtener teniendo en cuenta la capacidad del quemador atmosférico diseñado, que se obtuvo en el apartado 4.5.2.2, que tiene una capacidad de 30.24kW, en base a este valor se puede conocer en que momento las placas

³⁴ CONSERVACIÓN ENERGÉTICA EN EL SECTOR INDUSTRIAL, Instituto Nacional de Energía, Junio 1984.

³⁵ DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA CABINA HORNO PARA EL ACABADO Y SECADO DE LA PINTURA APLICADA EN LA CARROCERÍA DE VEHÍCULOS PARA EL CENTRO MECÁNICO DE SERVICIOS NAVAS INGENIERÍA AUTOMOTRIZ, Tesis, Bohórquez Roberto, Febrero 2005

alcanzarían la temperatura de curado. Para encontrar este valor se utilizó los valores máximos de $mCp\Delta T$ tanto para las paredes como para la carga.

En los apartados anteriores se especificaron los cálculos respectivos para la energía absorbida tanto por las paredes, 4.6.3, como por la carga 4.6.2, las pérdidas hacia el ambiente 4.6.4, las pérdidas por los gases de escape 4.6.5. Por otro lado se encontró el flujo de calor que ingresa al horno de acuerdo al número de quemadores. Con la expresión obtenida en la ecuación 4.32 se puede encontrar el tiempo de calentamiento, valores obtenidos en la tabla 4.11:

$$\Delta t = \frac{mCp\Delta T |_{p,c}}{0.92 \dot{Q}_{ing} - \dot{Q}_{perd}}$$

Ec. 4.32 Expresión para obtener el tiempo de calentamiento

N° de Quemadores	\dot{Q}_{ing} kW	$mCp\Delta T_p$ kJ	$mCp\Delta T_c$ kJ	\dot{Q}_{perd} kW	Δt (s)	Δt (min)
1	30,24	35156,4	10409,5	3,834	1450	24,16
2	60,48	35156,4	10409,5	3,834	784,1	13,07
3	90,72	35156,4	10409,5	3,834	552,35	9,206
4	120,96	35156,4	10409,5	3,834	433,817	7,23

Tabla 4.11 Cálculos para el tiempo de calentamiento

En la tabla 4.11, se pueden apreciar los valores obtenidos para el intervalo de calentamiento, de acuerdo al número de quemadores colocados en el horno. Como el objetivo de la empresa es mejorar la producción, se escogió realizar el diseño del horno con 4 quemadores atmosféricos, pero sobredimensionando el tiempo de calentamiento de 7.23min a 8min, debido a que pueden existir fugas de calor por las uniones de las paredes y las puertas por la misma construcción y montaje del horno. Por otro lado los fabricantes recomiendan tener un tiempo de calentamiento de 8min para alcanzar el tiempo de calentamiento, caso contrario existe el riesgo de que la pintura pierda sus propiedades.

Con el tiempo de 8min proporcionado por los 4 quemadores se pueden obtener el calor que ingresa al horno y las pérdidas por los gases de escape durante el calentamiento:

$Q_{ing} = \dot{Q}_{ing} \Delta t = 120.96kW \times 480s = 58060.8kJ$, valor del calor que ingresa al horno 58060.8kJ.

$Q_{esc} = 0.08 \dot{Q}_{ing} \Delta t = 0.08 \times 120.96kW \times 480s = 4644.86kJ$, valor del calor por pérdidas por los gases de escape 4644.86 durante el calentamiento.

4.6.6 DETERMINACIÓN DE LA POTENCIA REQUERIDA PARA CALENTAR EL HORNO

- Como la pintura requiere estabilizar sus componentes para el curado en un tiempo base de 8min se ha tomado el tiempo de 7.23min, usando 4 quemadores.
- Con este número de quemadores la Potencia es igual a 120.96kW lo que equivale a 412732.6BTU/h.
- En el mercado los fabricantes de pintura recomiendan utilizar quemadores de 400000BTU/h, por los efectos de la altura.

En la siguiente figura se presenta una curva típica de funcionamiento de un horno en la que se puede apreciar que la temperatura, después del calentamiento, en las placas pintadas tiende a estabilizarse y esto permite que la pintura se adhiera completamente a la placa.

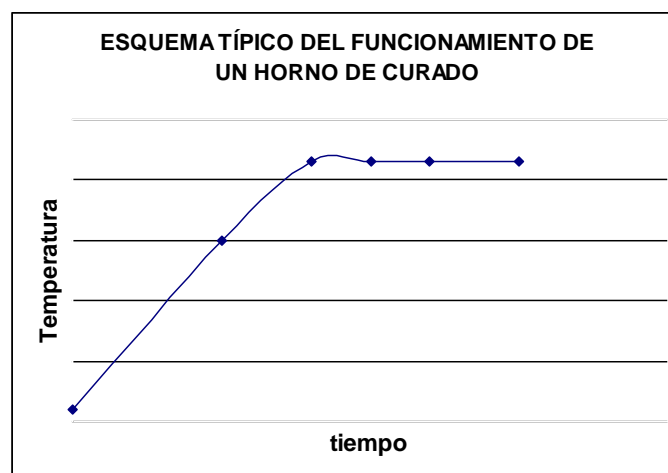


Fig. N° 4.9 Curva Típica de funcionamiento de un horno de curado T (°C) vs. t (min)

En el gráfico 4.9 se puede apreciar el comportamiento de la pintura para el calentamiento, el curado y el posterior enfriamiento. Se necesitan alrededor de 8 a 10 min para calentar las placas, luego viene el tiempo de curado en el que existe mayor cantidad de gases de escape, se estima apagar el horno a los 20 min de encendido para dejar que siga bajando la temperatura, 100°C a los 30 min de haber sido encendido y continúa el enfriamiento.³⁶

4.7 DISEÑO DEL RECUPERADOR DE PINTURA

En un sistema de aplicación de pintura electrostática es importante el diseño de un recuperador de polvo, ya que si éste es eficiente se puede volver a utilizar el 90% del polvo recuperado, lo que representa un ahorro significativo y justifica su inversión.

Para el presente proyecto se tiene aplicación manual, por este motivo se han especificado los componentes del sistema de acuerdo a las necesidades básicas de una pequeña industria, como se muestra en la figura 4.23 y se describen en la tabla 4.12, se ha tratado de innovar con materiales y equipos fáciles de conseguir en el mercado local.

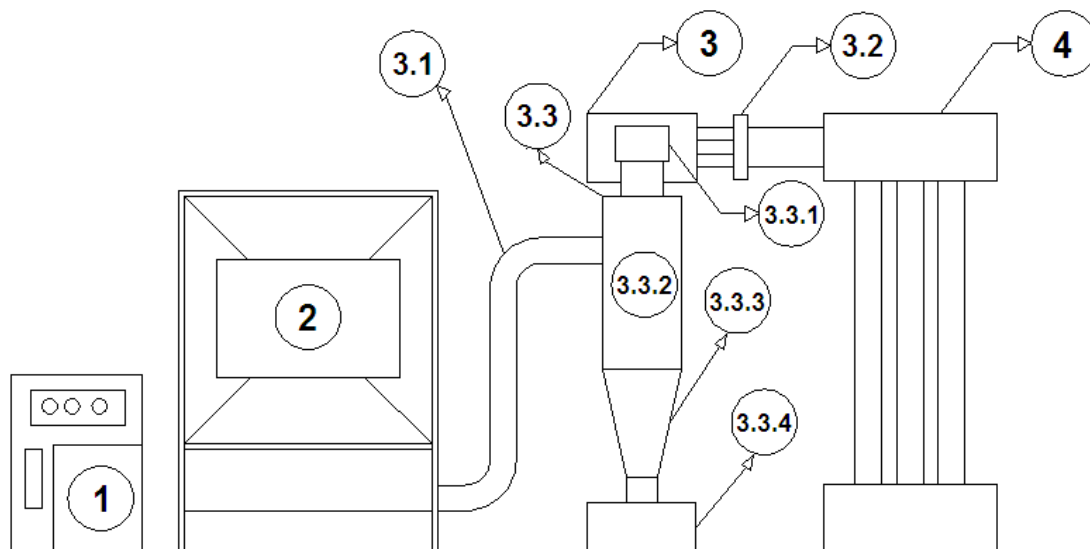


Fig. 4.23 Esquema de un sistema de aplicación de pintura en polvo con recuperación

³⁶ Manual PINTUCO, 2003

Componentes del Sistema de Aplicación	
Número de componente	Descripción
1	Equipo de Aplicación
2	Cuerpo de la cabina
3	Sistema de absorción por ciclón
3.1	Tubería entre cabina y depósito de recolección
3.2	Ventilador
3.3	Depósito para recolección de polvo
3.3.1	Acople entre tubería y depósito
3.3.2	Tanque de distribución
3.3.3	Cono decantador
3.3.4	Receptor de polvo
4	Batería de Filtros

Tabla 4.12 Descripción de componentes del sistema de aplicación de pintura en polvo con recuperador

4.7.1 EQUIPO DE APLICACIÓN

Este equipo fue estudiado con detenimiento en el capítulo II del presente proyecto, incluyendo funcionamiento, tipos de equipos para aplicación y otros aspectos que clarifican el uso de la pintura en polvo. Como en la mayoría de pequeñas industrias se utilizará un equipo de pistola de carga interna que es el más comercializado en el país. Para las pruebas se utilizará un sistema manual para aplicación de pintura en polvo “Sure Coat” Powder Coating, de marca NORDSON. Los requerimientos mínimos son presión de salida 60psi, utilizar un separador o válvula secadora de aire que permite obtener aire con menos humedad, además el equipo, al igual que la cabina, debe ser conectado a tierra para evitar descargas; es necesario mangueras especiales la entrada del aire al equipo.

4.7.2 CUERPO DE LA CABINA

Existen muchas formas para la cabina, las mismas que vienen dadas por el tipo de aplicación, ya sea automática y manual; o por la posición de la entrada de la tubería de absorción, si existe un recuperador de polvo. Para el presente proyecto, se tiene especificado el diseño de un prototipo de aplicación manual con recuperación para lo cual se colocará la succión por la parte inferior del cuerpo. El cuerpo de la cabina consta de una estructura realizada en tubo cuadrado de 1 pulg, recubierta con planchas de acero inoxidable con el fin de evitar que el polvo se adhiera a las paredes de la cabina, figura 4.24.

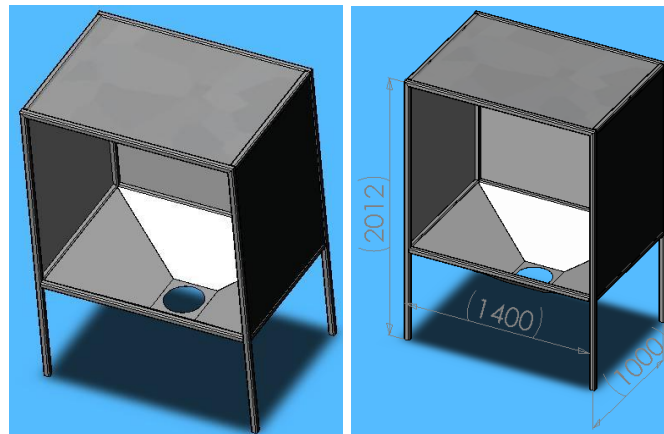


Fig. 4.24 Esquema de la cabina armada

En la figura 4.25 se puede apreciar el ángulo de rodadura para que el polvo pueda caer fácilmente hacia la boca de succión, se eligió realizar esto en la parte baja por facilidad de construcción en el taller, en los trabajos de recolección de polvos se recomienda no exceder más de 45° el ángulo de rodadura, porque el polvo no tendría dificultad para llegar hacia la boca de succión.³⁷

³⁷ INDUSTRIAL VENTILATION, AMERICAN CONFERENCE OF GOVERNMENTAL INDUSTRIAL HYGIENISTS, Edición 24, 2001

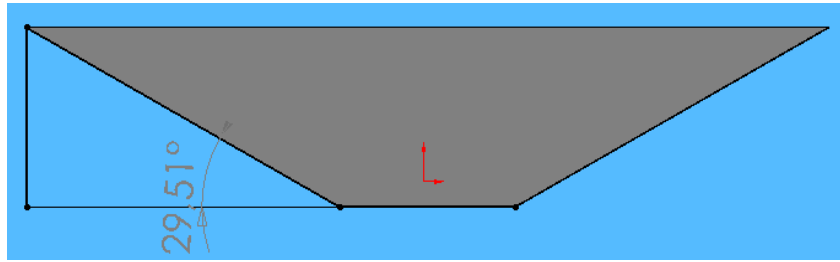


Fig. 4.25 Ángulo de rodadura en la tolva conectada a la boca de succión

4.7.3 SISTEMA DE ABSORCIÓN POR CICLÓN

El ciclón es un equipo diseñado para recolectar la pintura en polvo que no se adhiere a la pieza metálica, estos funcionan directamente con la cabina de aplicación, los ciclones vienen conectados a las cabinas y extraen el polvo no adherido a las placas por succión. Existen dos razones por las cuales la recuperación de la pintura es necesaria:

- Evitar la contaminación al ambiente, no solo hacia al exterior sino al interior de la empresa, ya que las partículas con tamaño promedio de 25 micras, si no existe recuperación éstas se esparcirán alrededor del área de trabajo, afectando las vías respiratorias de las personas que operen alrededor de la cabina.
- Con un buen recuperador se estima que se puede volver a utilizar el 90% del polvo no adherido, lo que representa un ahorro para la empresa, que justifica la inversión de la cabina.

El principio de funcionamiento de un ciclón viene dado por la fuerza centrífuga producida por la velocidad tangencial dada al aire cargado de polvo por el movimiento del ventilador; las partículas son expulsadas y van hacia las paredes del ciclón y siguen una trayectoria descendente hasta llegar a un receptor. El aire sin partículas toma una dirección axial y asciende hacia el interior del ventilador y sale por el tubo de desfogue a la batería de filtros donde se almacena el polvo más fino que no se puede volver a utilizar. Los ciclones son sistemas de extracción local, ya que el aire se extrae en el mismo sitio de trabajo se puede controlar fácilmente la contaminación, tiene un bajo costo de operación y mantenimiento.

Existen dos parámetros básicos que influyen en el desempeño de un ciclón:

- La altura a la cual se encontrará el ventilador, en este caso es más de 2m que es grande respecto a otras cabinas fabricadas en el país; por este motivo se requerirá que se cumplan con énfasis ciertas características técnicas del ventilador.
- El diámetro de la cabeza del ciclón, este es fundamental, por recomendación de fabricantes éste debe servir para poder acoplar perfectamente el ventilador y el depósito de polvo. Por recomendación de fabricantes locales este diámetro no debe exceder 700mm, debido a que produciría una diferencia de presión demasiado alta, afectando directamente el funcionamiento del ventilador.

La forma de aspirar el aire mezclado con el polvo se realiza a través de ductos conectados a un ventilador centrífugo, para calcular los parámetros de selección utilizará el Método de la fricción constante.

4.7.3.1 Tubería entre cabina y depósito de recolección

En los ciclones para los ductos de absorción existen dos alternativas:

- Utilizar tubos con el diámetro obtenido después de agregar las pérdidas producidas por el trayecto que sigue la tubería desde la cabina hasta el tanque de depósito.
- Utilizar la sección rectangular equivalente al diámetro calculado, tal como se utiliza en los ductos de los proyectos de climatización.

Los fabricantes de equipos de pintura recomiendan emplear tubería de sección circular, debido a que las aristas de la sección rectangular dificultan el paso del polvo al tanque de depósito y el polvo se puede acumular en ellas.

El trayecto que debe seguir la tubería pasa por un espacio de 1.50x2m, para cubrir este espacio entre el ciclón y la cabina se utilizará para la tubería tramos rectos de 1.1m y 1.6m, figura 4.26.

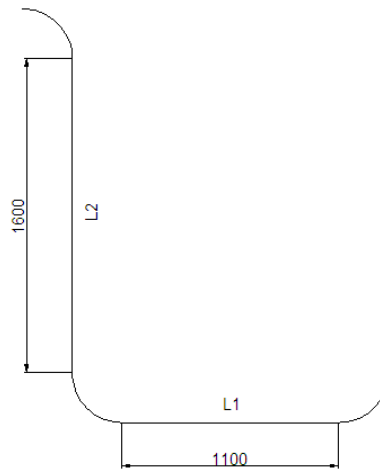


Fig. 4.26 Esquema del trayecto de la tubería recta

De preferencia el polvo no debe adherirse a la tubería, por eso se recomienda utilizar acero inoxidable o algún polímero. Además los fabricantes recomiendan en lo posible usar la menor cantidad de piezas soldadas, ya que los cordones de soldadura pueden interrumpir el recorrido del polvo.

En el taller, en el que los ejecutores del proyecto construirán el dispositivo, no existen las facilidades para realizar este tipo de tubería en metal. Para el prototipo se utilizará tubería de PVC de alta presión que se puede encontrar en varios diámetros. El mínimo espesor es 5mm que soporta agua en movimiento a una presión máxima de 0.5MPa, que es suficiente para el prototipo.

El diámetro de la tubería será encontrado en los cálculos para la selección del ventilador.

4.7.3.1.1 Cálculo de los parámetros para seleccionar el ventilador por el método de la fricción constante

Existen algunos parámetros que son necesarios conocer para poder seleccionar el ventilador, que a su vez permiten obtener el diámetro de los ductos de la tubería. Como primer paso hay que establecer la velocidad de absorción circundante a la cabina, la misma que en ventilación industrial se conoce como velocidad de captura, para el caso de aire con partículas de polvo

los fabricantes de estos dispositivos se tiene entre 100-200fpm.³⁸ Para este caso se utilizará la mínima velocidad de captura de 100fpm, ya que el tamaño de la cabina es pequeño con respecto a los cuartos estudiados en proyectos de climatización.

$$Vel_{cap}=100fpm$$

Es necesario conocer el área de captura en la cabina que se puede apreciar en la figura 4.27, esta superficie es la que circunda el espacio por donde entrará el polvo a la cabina y de preferencia para cálculos posteriores es mejor usar esta superficie en pies.

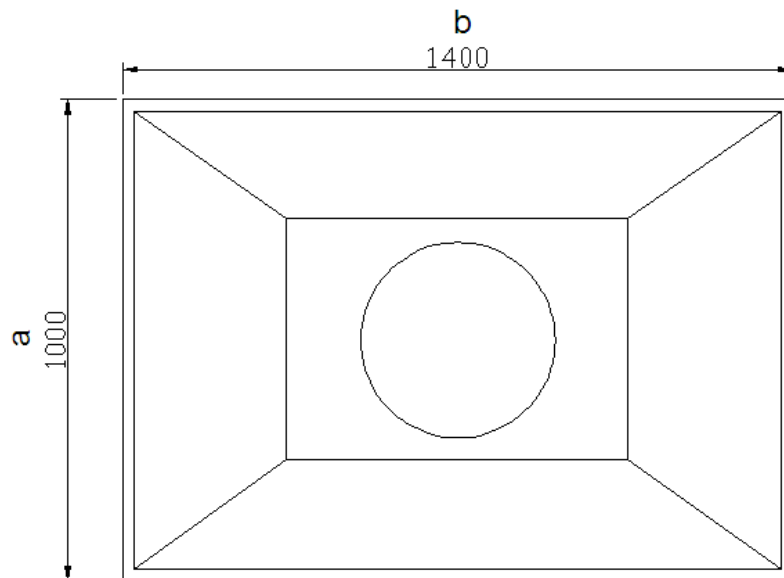


Fig. 4.27 Dimensiones de la cabina para el área de captura

$$a=1.0m$$

$$b=1.4m$$

$$A_{cap}=axb$$

$$\text{Ec. 4.45}$$

³⁸ MANUAL PINTUCO, 2003

$$A_{cap}=1.4m^2$$

$$A_{capft}=15.07ft^2$$

Con la velocidad y el área de captura se puede establecer el caudal que deberá proporcionar el ventilador³⁹:

$$QI=A_{capft} \times Vel_{cap} \quad \text{Ec 4.46}$$

$$QI=1507cfm$$

En los ductos existe otra velocidad diferente a la de captura que para este caso se denominará velocidad de ducto⁴⁰:

$$Vel_{duc}=2500fpm$$

Con la velocidad del ducto y el caudal obtenido se puede determinar un valor para el factor de las pérdidas por fricción en la tubería recta, encontrado en tablas de pérdidas en ductos de ventilación.

$$f_{duc} = \frac{0.8inH_2O}{100ft}$$

Esto quiere decir que las pérdidas son de 0.8inH₂O por cada 100pies de tubería.

³⁹ INDUSTRIAL VENTILATION, American Conference of Governmental Industrial Hygienists, Edición 24, 2001

⁴⁰ TRANE AIR CONDITIONING MANUAL, 2001

Con estas pérdidas también se puede determinar el diámetro de la tubería adecuado para la velocidad del ducto y el caudal encontrados.

$$D_{\text{duc}}=10\text{pulg}$$

Como el terreno donde será ubicado el dispositivo está en la altura se necesita efectuar las correcciones al factor de densidad con la siguiente expresión:

$$df = df_e \times df_m \times df_T \quad \text{Ec. 4.47}$$

Donde:

df: Factor de corrección de densidad total

df_e: Factor de corrección de densidad por la altura

df_m: Factor de corrección de densidad por la humedad

df_T: Factor de corrección de densidad por temperatura

Para cada una de estas expresiones existen expresiones que permiten obtener sus valores fácilmente, así para el factor de corrección de densidad por la altura se tiene:

$$df_e = [1 - (6.73 \cdot 10^{-6}) \cdot (z)]^{5.258} \quad \text{Ec. 4.48}$$

Donde:

z: La altura del lugar de instalación en pies, en este caso 9200pies.

$$df_e = 0.715$$

Para el factor de corrección de densidad por humedad se tiene la siguiente expresión:

$$df_m = \frac{(1 + \omega)}{(1 + 1.607 \cdot \omega)}$$

Ec. 4.49

Donde:

ω : Humedad absoluta, en este caso 0.0123pulg H₂O por cada pulg de aire seco

$$df_m = 0.993$$

El factor de corrección de densidad por temperatura se obtiene con la siguiente expresión:

$$df_T = \frac{530}{(T_F + 460)}$$

Ec. 4.50

Donde:

T_F: es la temperatura de 73.4°F.

$$df_T = 0.994$$

Reemplazando los factores de corrección en la ecuación 5.3, se obtiene el factor de corrección de densidad total:

$$df = 0.705$$

Para encontrar las pérdidas por fricción se utilizará una variación de la ecuación de Darcy:

$$hf = f_{duc} \times VP$$

Ec. 4.51

Donde:

f_{duc} : El factor de pérdidas por fricción obtenido.

VP: Presión dinámica

La presión dinámica se puede calcular de la siguiente forma:

$$VP = \left[df \cdot \left(\frac{Vel_{duc}}{4005} \right) \right]^2 \quad \text{Ec. 4.52}$$

Reemplazando los valores del factor de corrección de densidad (df) y la velocidad del aire en el ducto (Vel_{duc}) se obtiene la presión dinámica:

$$VP = 0.194 \text{ inH}_2\text{O}$$

En la ecuación de Darcy, Ec. 4.51, para los tramos de tubería recta es necesario incluir la longitud del ducto. Como todas estas expresiones están dadas por organismos de Estados Unidos, es necesario transformar las longitudes de los tramos de tubería, $L_2 = 1.1\text{m}$ y $L_1 = 1.6\text{m}$ que equivalen a 3.61pies y 5.25pies respectivamente.

$$hf_{L_1} = f_{duc} \cdot L_1 \cdot VP$$

$$hf_{L_1} = 0.008 \text{ inH}_2\text{O}$$

$$hf_{L_2} = f_{duc} \cdot L_2 \cdot VP$$

$$hf_{L_2} = 0.006 \text{ inH}_2\text{O}$$

Para los codos se piensa utilizar el mismo para tres uniones que es necesario realizar, una entre la cabina y la tubería, otra para el cambio de dirección en los ductos y la última para la entrada al tanque de distribución.

Para encontrar el factor de fricción es necesario dimensionar el radio completo del codo, con el radio real que va hacia la mitad del codo.

El radio corto del codo, r es de 5pulg y el diámetro del ducto, D_{duc} es 10pulg, el radio real del codo, R_c se obtiene con la siguiente expresión:

$$R_c = \frac{D_{duc}}{2} + r \quad \text{Ec. 4.53}$$

Reemplazando se obtiene el radio real el codo que va a ser utilizado para determinar las pérdidas

$$R_c = 10 \text{ pulg}$$

El radio real, es 10pulg, tal como muestra la figura 4.27.

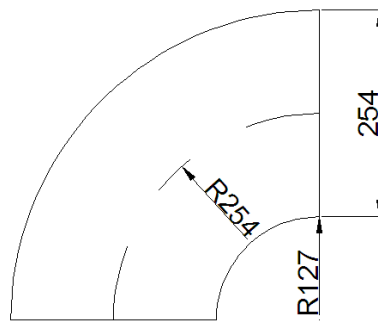


Fig. 4.27 Gráfico explicativo de los radios en los codos

Para encontrar el factor de fricción en los codos es necesario establecer la relación entre el radio real del codo y el diámetro del ducto, con este valor y la forma de construcción del codo se puede determinar en tablas el factor de fricción.

$$\frac{R_c}{D_{duc}} = 1$$

Con esta relación usando un codo normal se tiene un factor de fricción, f_c de 0.22. Este valor se reemplaza en la ecuación de Darcy y se obtiene:

$$hf_c = f_c \times VP$$

$$hf_c = 0.043 \text{ inH}_2\text{O}$$

Para las pérdidas totales se encuentran sumando las pérdidas en los tramos rectos y en los codos, de la siguiente manera:

$$hf = hf_{L1} + hf_{L2} + 3 \cdot hf_c \quad \text{Ec. 4.54}$$

$$hf = 0.141 \text{ inH}_2\text{O}$$

4.7.3.2 Ventilador

Para la selección del ventilador primero se definió que éste debe ser centrífugo, ya que de este tipo son la mayoría de ciclones. Los parámetros de selección ya han sido calculados en el apartado anterior, se necesitan un caudal de 2000cfm y pérdidas por fricción de 0.14inH₂O, además se debe considerar la altitud, 9200pies y la temperatura promedio de trabajo de 70°F.

Con estos antecedentes se eligió un ventilador centrífugo de la marca GREENHECK, modelo QEP-60, figura 4.28, con un peso de 180lb sin incluir el motor que tiene una potencia máxima de 1.5HP, con 1200rpm.

Se eligió este ventilador, primero porque es industrial, tiene la capacidad suficiente de absorber el aire con polvo rápidamente y no genera mucho ruido.

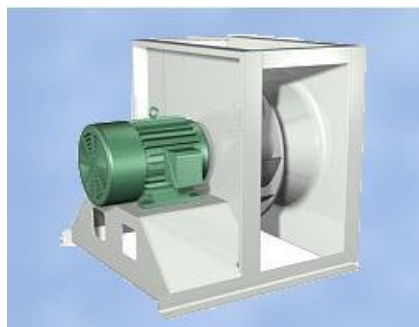


Fig. 4.28 Ventilador Greenheck modelo QEP-60. Fuente manual Greenheck 2003.

En el lugar en el que los ejecutores del proyecto construyen el prototipo del sistema no existe conexión trifásica, en el mercado local es muy difícil conseguir buenos ventiladores de estas características en corriente monofásica, por ese motivo se tuvo que adecuar un ventilador, utilizando piezas de otros y acondicionándolas a un motor monofásico de la marca WEG tipo LNF de 1.5HP y 1800rpm, figura 4.29. Se decidió incluir este motor porque es prácticamente sellado y garantiza que el polvo no ingrese a través de la carcasa. El ensamblaje del ventilador no corrió por cuenta de los ejecutores del proyecto.

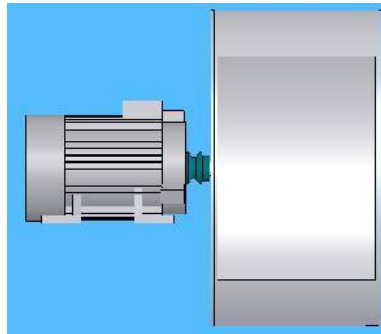


Fig. 4.29 Ventilador para prototipo (vista lateral)

4.7.3.3 Depósito para recolección de polvo

Una parte fundamental de la recolección es donde se va a almacenar el polvo absorbido por el ventilador. Una vez que el aire con polvo pasa a través de la tubería entra al tanque de distribución, el cual consta de un tanque de entrada, un cono que guía la caída del polvo hacia un receptor de polvo.

El parámetro fundamental para el depósito está dado por el área de descarga del polvo, se estima que ésta no debe ser mayor a 2m^2 , valor que se tiene con un tanque de 700mm de diámetro y 1m de altura.

En el caso de este sistema, para el prototipo se tendrá que adecuar la entrada del aire al depósito de recolección con un codo que a éste con la salida del ventilador, figura 4.30, el codo se conecta al tanque de entrada y distribución

con uniones bridadas, estas facilitarían la limpieza del depósito cuando se necesite cambiar de color.

Al tanque se conectó la entrada del ducto por la que pasará el aire con polvo, una vez que el aire ingresa al tanque éste choca contra las paredes y procede a caer simplemente por gravedad; algunos fabricantes recomiendan construir una especie de serpentín en el interior del tanque para guiar al polvo hacia el receptor, pero por la fuerza del ventilador y dado que el tamaño de la cabina es pequeño en este caso no es necesario.

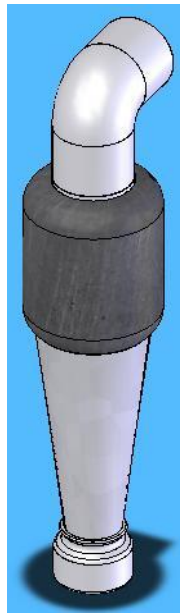


Fig. 4.30 Depósito para recolección armado

4.7.3.3.1 Codo de acople, tanque de distribución, cono decantador y receptor de polvo

Todos los elementos del depósito de recolección deberían ser construidos en acero inoxidable, galvanizado o plástico para evitar que las partículas de polvo se adhieran, ya que incluso algunas todavía podrían estar cargadas incluso después de haber pasado por la tubería.

Estos elementos deben desarmarse fácilmente porque si existe cambio de color en la pintura es necesario limpiarlos con aire comprimido, ya que no debe

quedar residuos de otros colores en el receptor, caso contrario el polvo no se puede volver a utilizar, los fabricantes recomiendan usar uniones bridadas.

El tanque de distribución para su construcción necesita de un proceso de rolado y una soldadura especial, además la unión al codo y al cono debe ser precisa para evitar posibles fugas. Por facilidad en este dispositivo se utilizó un termostato antiguo, que se pudo adaptar a la superficie del codo y del cono, de acuerdo a la superficie de ambos.

El receptor final debe ser fácilmente desarmable del sistema ya que por este se puede limpiar el resto de componentes, se recomienda usar conexiones bridadas para armarlo al depósito.

4.7.4 BATERÍA DE FILTROS

Existe un problema con este tipo de ciclones, el ventilador aspira con tanta fuerza que no todo el polvo pasa al depósito de recolección, los más pequeños van mezclados con el aire directamente al ventilador, fácilmente puede pasar al motor del ventilador, reduciendo la vida útil del mismo y aumenta el mantenimiento que se le debe dar; por este motivo se tuvo que sacar un desfogue de la carcasa del ventilador, ésta se la saco hacia la batería de filtros, figura 4.31, donde se almacenarán los polvos más pequeños que por recomendación es preferible no volver a utilizarlos.

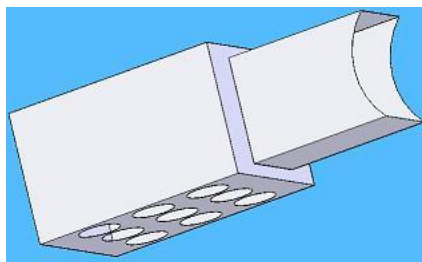


Fig. 4.31 Batería de filtros

La batería de filtros consta de tubos de manta filtrante a la que el polvo se pega fácilmente, ésta al ser movida por vibración hace que el polvo acumulado caiga hacia un receptor, figura 4.32.

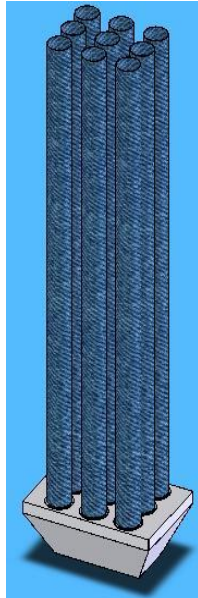


Fig. 4.32 Tubos de manta filtrante y receptor de polvo

La manta filtrante tiene un alto costo y no es fácil de encontrar en el país, para este prototipo se decidió utilizar tela de jean, que se puede adaptar por su dureza y resistencia puede almacenar y conservar el polvo por varias semanas sin que éste escape al medio ambiente.

4.7.5 CANTIDAD DE POLVO QUE SE ESPERA RECUPERAR

El polvo que se desea recolectar está dado por la eficiencia teórica proporcionada por los fabricantes, se estima en el 90% del polvo que no se adhiere a la pieza.

$$\eta_{ciclon} = 90\%$$

Teniendo en cuenta que la pintura viene en cajas de 25kg, los fabricantes de pintura estiman que se utiliza el 80% del contenido esto quiere decir que se

utilizan 20kg. El sobrante es 5kg, de esto se espera recolectar el 90%, es decir se espera utilizar 20kg y recuperar 4.5kg por cada caja de pintura de 25kg.

Cantidad de polvo que se espera utilizar: 20kg

Cantidad de polvo que se espera recuperar: 4.5kg

Capítulo 5

Diseño Mecánico

Capítulo 5

5. Diseño Mecánico

5.1. Cabina

El dimensionamiento del espacio interior de la cabina fue realizado en el capítulo 3; actualmente dado el volumen de producción de la empresa no es indispensable la construcción de un sistema de recuperación del polvo, pero los ejecutores del proyecto consideran importante el análisis del funcionamiento de un sistema de recuperación, por ese motivo a este estudio se ha incluido el diseño y construcción de un prototipo de cabina de aplicación manual con recuperación.

5.1.1. Componentes del sistema de aplicación de pintura en polvo con recuperación de pintura

A continuación se vuelven a detallar los componentes necesarios para que el sistema funcione de acuerdo a lo esperado, la figura 5.1 muestra los diferentes componentes los mismos que se describen en la tabla 5.1

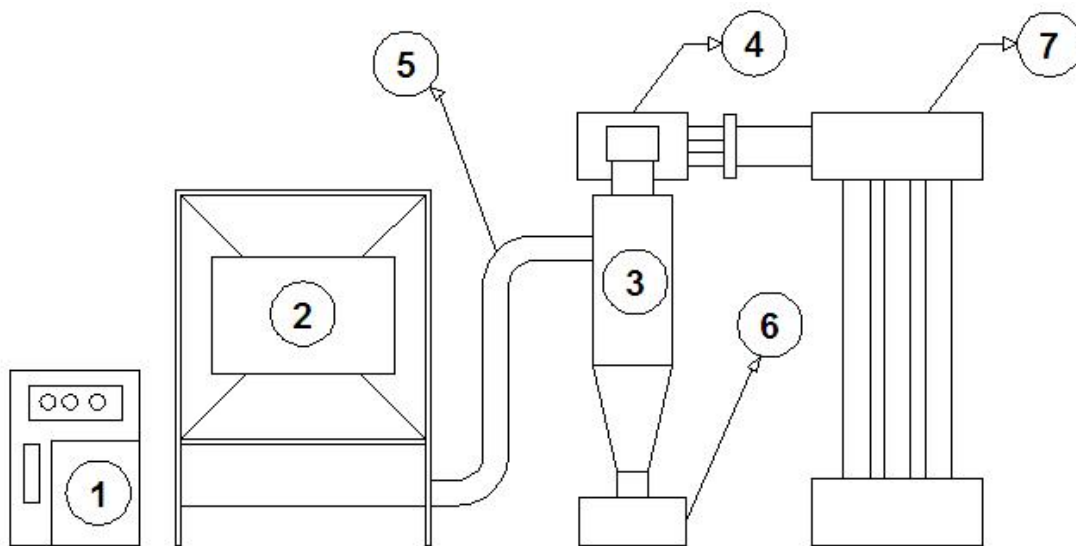


Fig. 5.1 Esquema de un sistema de aplicación de pintura en polvo con recuperación

Componentes del Sistema de Aplicación	
Número de componente	Descripción
1	Equipo de Aplicación
2	Cuerpo de la cabina
3	Tanque de distribución y dosificador
4	Cabeza del ciclón (Ventilador)
5	Tubería
6	Depósito para recolección (Receptor de polvo)
7	Batería de Filtros

Tabla 5.1 Descripción de componentes del sistema de aplicación de pintura en polvo con recuperador

5.1.2. Construcción y montaje del prototipo de la cabina con recuperación de pintura

Uno de los objetivos del presente proyecto es innovar en la construcción del prototipo, no limitarse por no poseer facilidades tecnológicas para conseguir la meta final. Para este fin era necesario tener diseñado todos los componentes del sistema, en la figura 5.2 se puede apreciar el diseño del sistema completo.

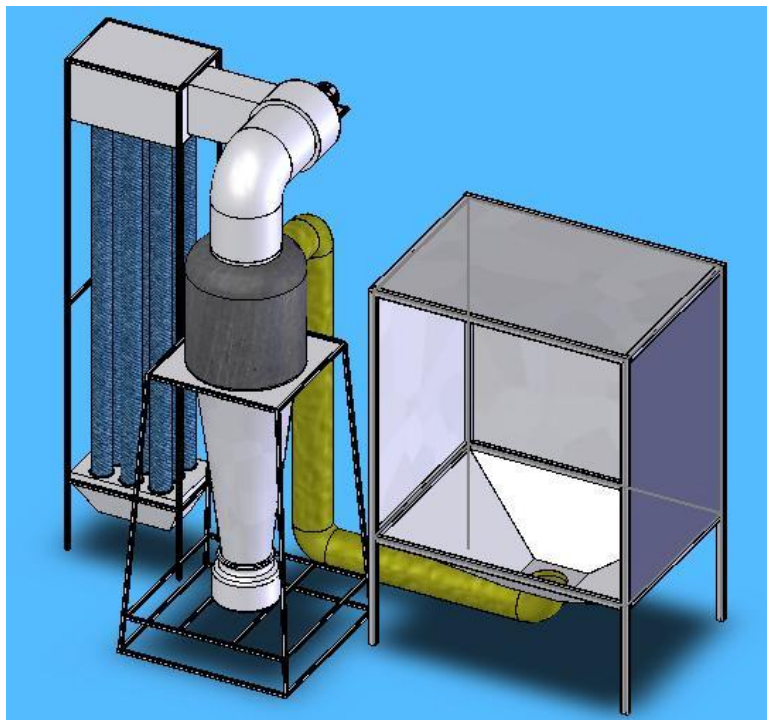


Fig. 5.2 Esquema completo de la cabina con recuperador de pintura

5.1.2.1. Cronograma de actividades principales

Se establecieron actividades que es necesario planificar para la construcción del prototipo:

- a. Construcción de la estructura y cuerpo de la cabina
- b. Construcción del depósito para recolección y estructura soporte
- c. Ensamblaje de la tubería a la cabina y al tanque del depósito
- d. Construcción de la batería de filtros y estructura soporte
- e. Ensamblaje del ventilador al depósito y a la batería de filtros
- f. Adecuación de instalaciones eléctricas para equipo de aplicación y ventilador.

Cabe señalar que el peso de los componentes del sistema no es excesivo, una estructura simple puede soportarlos y no es necesario utilizar materiales especiales para la construcción de las estructuras. Del mismo modo el peso de las piezas a ser pintadas en la cabina es mínimo, por ese motivo no es necesario construir una estructura pesada. Para el cuerpo de la cabina se utilizará acero inoxidable para el polvo no se adhiera a las paredes.

Las estructuras serán construidas por personal con experiencia en obras de metal mecánica.

Para el tanque de distribución del depósito de recolección se acondicionó un termostato antiguo que cumplía con las especificaciones del área de descarga. Para el receptor se utilizará un recipiente que se pueda acoplar al cono decantador.

Para las instalaciones eléctricas se recibió ayuda de técnicos eléctricos. Del mismo modo los tubos de manta filtrante fueron hechos por fabricantes de toldos y objetos similares.

Para evitar paros en las actividades del taller, los operarios se turnaban y combinaban sus actividades habituales con la construcción del sistema, hay que señalar que los tiempos muertos en la ejecución del proyecto no fueron incluidos para el cronograma, en algunas ocasiones el personal debía dar prioridad a los trabajos del taller.

Los ejecutores del proyecto cuentan con el respaldo de dos operarios con gran experiencia en trabajos de metal mecánica como soldadura de estructuras metálicas, conformado de partes de muebles metálicos y otros procesos de manufactura.

La instalación de la red de aire comprimido en el taller ya está hecha, se dispone de un compresor marca INGERSOLL-RAND de 5HP, se realizará una conexión al equipo de aplicación de pintura electrostática a través de mangueras especiales para proyectos neumáticos.

En la cabina se debe colocar un eje de acero, sobre el cual se sostendrán las piezas a ser pintadas, los ganchos también deben ser de acero, porque la pieza debe estar completamente conectada a metales para que las partículas cargadas eléctricamente se peguen fácilmente a su superficie.

Este cronograma está basado en información de trabajos realizados en el taller y en la propia experiencia de los operarios, como es lógico no se incluyen los fines de semana que no se labora en el taller.

Tabla 5.2 Cronograma de actividades para construcción de la cabina con recuperador de pintura.

CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES																				
CONSTRUCCIÓN DE LA CABINA CON RECUPERADOR DE PINTURA																				
Días	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Semanas	Sem. 1					Sem. 2					Sem. 3					Sem. 4				
Construcción de la cabina																				
Construcción estructuras																				
Cortar tubos de acero cuadrados	■	■	■	■																
Soldar estructura		■	■	■	■	■														
Corte planchas de acero			■	■	■	■														
Soldar planchas a estructura			■	■	■	■														
Construcción del depósito de recolección																				
Codo al ventilador																				
Corte piezas acero								■												
Soldar piezas								■												
Tanque de distribución																				
Acondicionamiento del tanque									■											
Cono decantador																				
Corte acero inoxidable									■											
Rolar y soldar									■											
Receptor de polvo																				
Ensamblaje partes										■										
Ensamblaje de tubería																				
Corte de tubos											■	■								
Acople a la cabina y al depósito											■	■								
Construcción de la batería de filtros																				
Corte y soldado caja de batería y receptor													■							
Construcción de tubos de manta filtrante													■	■	■					
Ensamblaje de los tubos a la batería																■	■			
Ensamblaje del ventilador																				
Verificar funcionamiento del ventilador													■							
Acople del ventilador a la estructura													■							
Ensamblaje al depósito de recolección y la batería de filtros														■	■	■				
Instalación eléctrica																			■	■

5.1.2.2. Maquinaria, materiales y herramientas para construir el prototipo de la cabina con recuperador de pintura

La construcción de este dispositivo requiere aplicar algunos procesos de manufactura metal mecánica, por ello es necesario mencionar que equipo y maquinaria se utilizó, los materiales a emplearse y las herramientas, incluyendo las de protección a los operarios.

5.1.2.2.1. Maquinaria

- Tronzadora, cortadora tubos y perfiles
 - Entrada: voltaje 220V
 - Salida: corte
- Soldadora eléctrica de arco para electrodo
 - Entrada: voltaje 220V, electrodo específico
 - Salida: unión de tubos
- Roladora manual
 - Entrada: placa de acero
 - Salida: placa rolada
- Amoladora
 - Entrada: voltaje 110V, disco de desbaste, disco de corte
 - Salida: desbaste de acero
- Cizalla
 - Entrada: placa de acero
 - Salida: placa cortada
- Dobladora
 - Entrada: placa de acero
 - Salida: placa doblada
- Torno
 - Entrada: 220V
 - Salida: balanceo eje del ventilador

5.1.2.2.2. Herramientas

- Flexometro
- Escuadra para trabajos en metal
- Llave de boca
- Multimetro

- Pie de rey, calibrador

5.1.2.2.3. Herramientas de protección personal

- Gafas de protección
- Overol
- Guantes para soldar
- Casco de soldador
- Botas de seguridad

5.1.2.2.4. Material

- Planchas de acero inoxidable de 0.7mm de espesor
- Tubos cuadrados de acero negro de 20x20mm
- Electrodos E6011 y E7018 de AGA de 1/8 de diámetro
- Discos abrasivos para corte
- Discos para desbaste
- Pernos de 12mm de diámetro por 30mm
- Flexiglass, material sellante para evitar fugas en las uniones

5.1.2.2.5. Personal

- Proyectista 1
- Proyectista 2
- Soldador
- Ayudante de soldador

5.1.2.3. Esquema de construcción de la cabina con recuperador de pintura

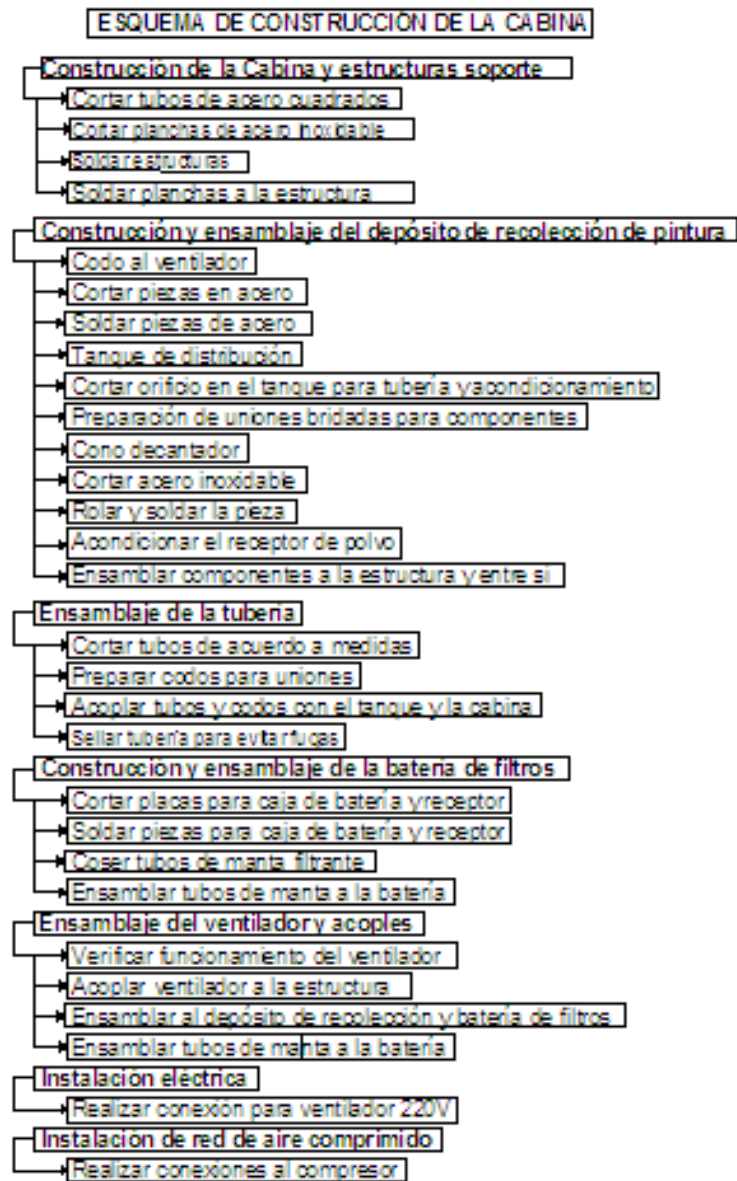


Fig. 5.3 Esquema de Construcción de la cabina con recuperador de pintura

5.1.2.4. Proceso de soldadura

La cabina requiere una estructura, primero se cortan los tubos cuadrados de acuerdo al diseño y luego se soldadura de electrodo para las estructuras de la cabina y los soportes para el depósito de recolección y la batería de filtros. Los tubos cuadrados para las estructuras se soldarán con electrodo 6011 recomendado para estructuras y bastidores para máquinas de diámetro 1/8 pulg, para soldar el cono decantador, el codo de acople entre el tanque y el ventilador se utilizará electrodo 7018 recomendado para aceros de bajo contenido de carbono. Una vez soldadas las estructuras se procede al

desbaste de rebabas para las uniones de los tubos, es bueno mencionar que el ángulo de ensamble entre los tubos será de 45° que es el más habitual en este tipo de construcciones.

5.1.2.5. Montaje del ventilador

El ventilador es de tipo centrífugo de posición horizontal, se eligió este tipo debido a que era más fácil de acondicionar con piezas en el mercado local, por ese motivo es necesario acoplarlo a un soporte soldado a la estructura de la batería de filtros, se estima que el peso del ventilador armado es 100lb, un ventilador Greenheck tipo QEP pesa 180lb, pero en él las piezas del motor y algunos otros componentes son totalmente de acero, ese peso requeriría de un análisis de esfuerzos adicional, pero el ventilador de este proyecto no es tan pesado debido a que algunas de las piezas del motor son de plástico y la carcasa no tiene tantas aletas metálicas como el ventilador americano. Este es horizontal porque la recomendación del distribuidor del motor fue colocarlo en esa posición y no vertical como en muchos de los ciclones fabricados en el país.

En el montaje del ventilador es primordial disponer del espacio necesario para colocar un soporte al ventilador y este va sobre el motor, ya que la carcasa se acopla al codo del depósito de recolección con lo que se soporta en la estructura de éste, la figura 5.4 muestra como quedará el ventilador una vez acoplado al resto de componentes.

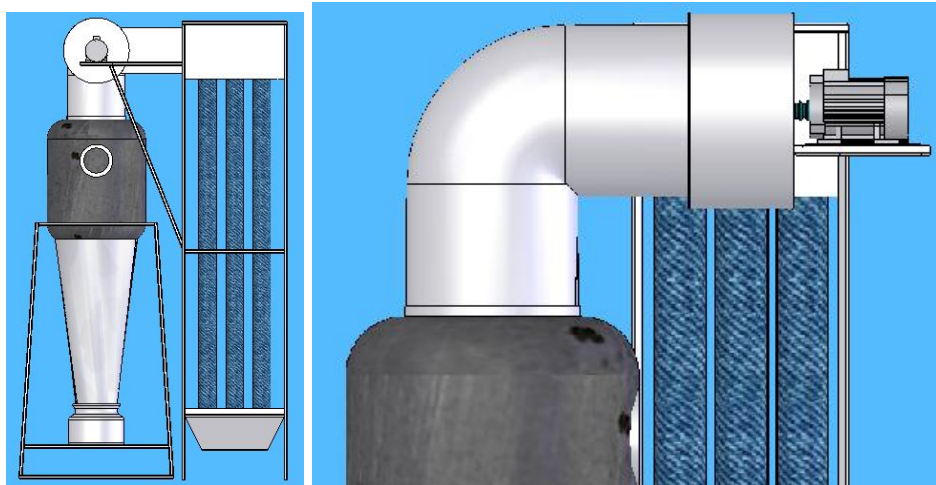


Fig. 5.4 Vista posterior y lateral del montaje del ventilador

5.1.2.6. Guía de Operación

El procedimiento para encender el sistema de aplicación es simple, pero necesario de seguir para evitar accidentes y daños en los equipos, a continuación se detalla el procedimiento:

- Verificar el estado del compresor, nivel de aceite, manómetros de presión.
- Encender el compresor, en el mismo se encuentra un dispositivo que lo enciende y apaga.

- Encender el equipo de aplicación, se enciende primero el compresor debido a que se localiza en otro lugar del taller y es mejor que la red de aire comprimido esté cargada antes de la aplicación, se conecta un switch a 110V, ya que el equipo funciona en la corriente normal.
- Verificar el estado del equipo, de carga de partículas, presión de salida, voltaje promedio del equipo y espesor de la película deseado.
- Conectar la manguera para aire comprimido entre la entrada al equipo y la salida del secador de aire.
- Verificar el estado de la pistola de aplicación.
- Encender el ventilador, verificando que este perfectamente conectado a 220V.
- Colocar las piezas en la cabina y proceder a pintar.

5.2. Diseño del piso del horno

El piso del horno es un área rectangular de 3000x2400mm, apoyado en un marco con tubo cuadrado de 100mm y 2mm de espesor, y perfiles C de 100x50mm y 2mm de espesor, figura 5.5; además se colocó una malla metálica tipo red para que las llamas del quemador accedan más fácilmente a la cámara de transferencia de calor y también se pueda pisar para colocar las piezas en el interior.

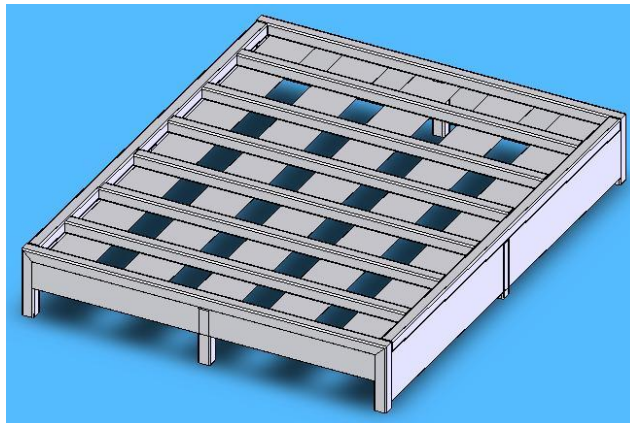


Fig. 5.5 Estructura para el piso del horno

5.2.1. Análisis de resistencia

A fin de garantizar que los perfiles resistan el peso del horno es necesario determinar el espaciamiento mínimo requerido entre los mismos, para lo cual se procederá de la siguiente manera:

- Determinar la carga distribuida en cada uno de los perfiles.
- Calcular el momento máximo que se produce en los mismos considerándolos como una viga apoyada en los extremos, y
- Determinar el coeficiente de sección requerido.

Para determinar la carga distribuida debemos tener en cuenta el peso del horno con carga que es de 940kg, la misma que debe ser distribuida en toda el área

del piso, la misma que es de 7.2m^2 , figura 5.6. La carga distribuida sobre cada uno de los perfiles es la carga por unidad de área dividida entre dos contiguos. Así el peso sobre cada perfil resulta de la división del peso total del horno para el área del piso, la misma que es de $130.56\text{kg}/\text{m}^2$. El área entre dos perfiles es $2.4*d\text{ m}^2$, por tanto la carga distribuida sobre cada uno de los perfiles es de $130.56*d\text{ kg}/\text{m}$.

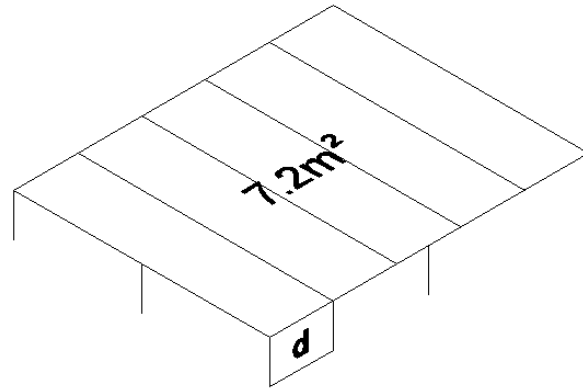


Fig. 5.6 Esquema del piso del horno

Para el cálculo del momento máximo se considerará a cada uno de los perfiles como una viga simplemente apoyada en los extremos y se procederá a su resolución de acuerdo a los métodos gráficos, que son los más simples en este tipo de resolución:

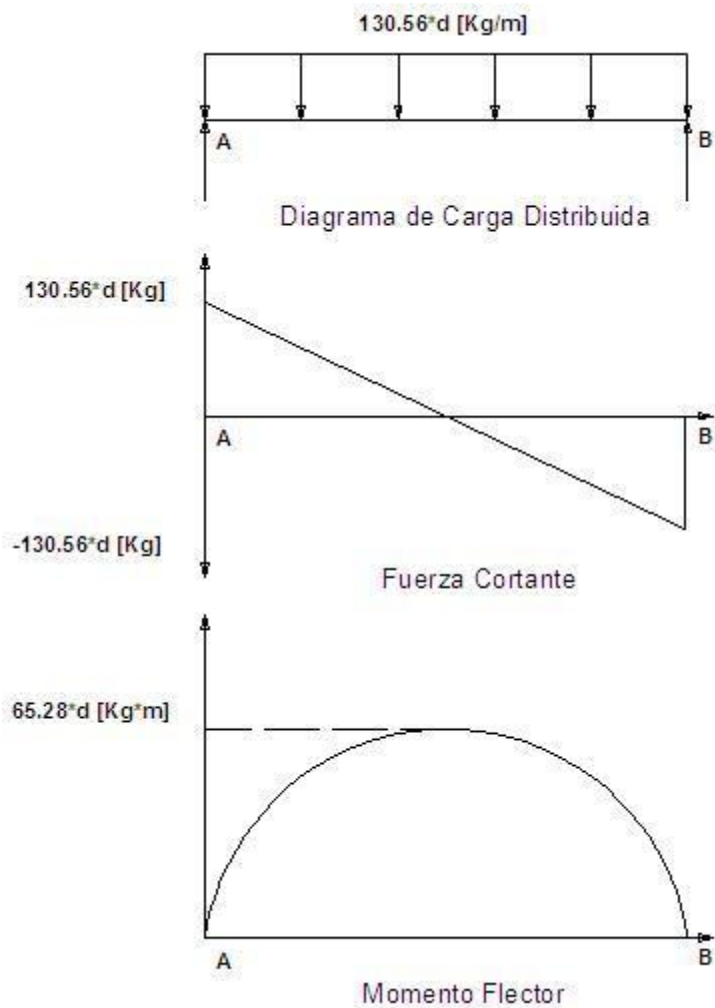


Fig. 5.7 Diagramas de fuerza y momento

Con el coeficiente de sección y dado que es un perfil estandarizado se puede simplificar el cálculo de la distancia d que debe existir entre cada uno de los perfiles a fin de evitar que las deflexiones en cada uno de ellos sean excesivas.

$$\sigma = \frac{M}{Z} \quad \text{Ec. 5.1}$$

Pero,

$$\sigma = \frac{Sy}{FS} \quad \text{Ec. 5.2}$$

Donde:

$$Z = 40 \cdot 10^{-6} \text{ m}^{-3}$$

$$S_y = 36 \cdot 10^6$$

$$FS = 3$$

$$M = 65.28 \cdot d \text{ kg} \cdot \text{m}$$

Reemplazando se tiene que la distancia d entre perfiles es

$$d = 7.35 \text{ m}$$

De lo obtenido se concluye que cualquier separación que se adopte a lo largo del piso del horno nos va a permitir que este opere sin ningún problema, pero también debemos tener en cuenta cuál es la máxima deflexión permitida para las planchas de acero calculada a la mitad de la distancia d mostrada en la figura 5.4. Como la plancha va a estar soldada a los perfiles debemos tener en cuenta la ecuación:

$$E \cdot I \cdot y_m = W \cdot a^3 / 192 \quad \text{Ec. 5.3}$$

Donde:

$$E: \text{módulo de elasticidad} = 200 \cdot 10^8 \text{ kg/m}^2$$

$$I: \text{inercia} = 5.5 \cdot 10^{-9} \text{ m}^4$$

Despejando la distancia d , se tiene

$$d = 1.056 \text{ m}$$

De acuerdo a recomendaciones de diseño se sabe que la distancia entre los perfiles debe ser menor al valor de la distancia d antes calculado, por lo que se montaran los perfiles con una separación de 0.6m entre ellos y a lo largo de todo el piso del horno, tal como muestra la figura 5.5.

5.3. Estructura metálica

La estructura del horno consta de 4 columnas de tubo cuadrado, figura 5.8, conectadas entre si mediante tirantes del mismo material para darle la mayor resistencia a la misma y permitir que se suelden las planchas tanto interiores como exteriores, además son el soporte para las vigas del techo igualmente de tubo cuadrado.

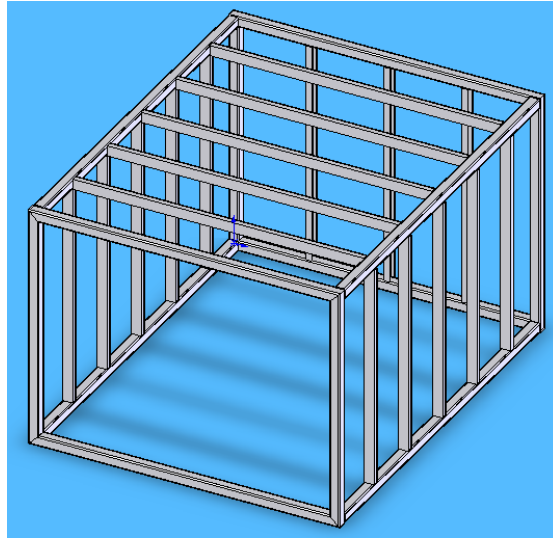


Fig. 5.8 Estructura metálica del horno

5.3.1. Análisis de resistencia

En el techo del horno no se aplicarán cargas exteriores de elevada magnitud, pero es necesario determinar la carga admisible que puede soportar el mismo, para lo cuál se procederá de la siguiente manera:

- Cálculo de la razón de delgadez.
- Cálculo de la constante de la columna.
- Con los resultados anteriores se determina el tipo de columna.
- Cálculo de la carga crítica.

Cálculo de la delgadez ($k \cdot l / r$),

Donde:

k: factor de fijación en los apoyos = 1

l: longitud de la columna = 1800mm

r: radio de giro = 19.81mm

De donde la razón de delgadez es: 101

Cálculo de la constante de la columna C_c .

$$C_c = (2 * \pi * E / S_y)^{1/2} \quad \text{Ec. 5.4}$$

En este caso por ser acero AISI 1010, $C_c=106$

Como $k * \frac{l}{r} < C_c$, se trata de una columna corta y por tanto el cálculo de la carga crítica W_{cr} viene dado por:

$$W_{cr} = A * S_y \left(1 - S_y * \left(k * \left(\frac{l}{r} \right)^2 \right) * \frac{1}{(4 * \pi^2 * E)} \right)$$

Ec. 5.5

De la ecuación se obtiene que la carga que produce el pandeo en el techo va a ser de 5230kg, por lo que es necesario utilizar un factor de diseño de 3 para asegurar que en ningún momento se va a producir pandeo en las columnas ya que el techo nunca llegará al nivel de carga crítica.

5.4. Paredes y Techo

Las paredes y el techo constan con el marco de la estructura y están recubiertos con 2 planchas de acero de 1mm de espesor, figura 5.9; y en el medio de ellas fibra de vidrio de la marca Fyberglass, tal como se menciona en el diseño térmico.

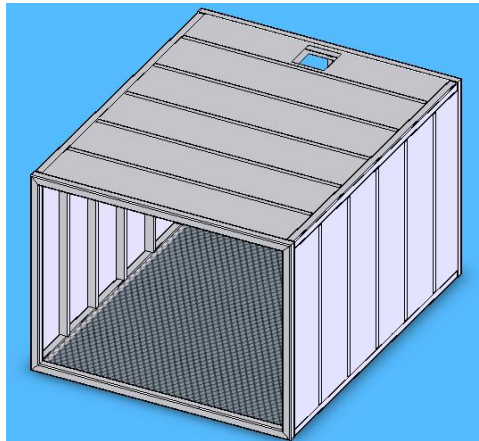


Fig. 5.9 Horno recubierto con planchas de acero

5.5. Puerta de acceso

Para las puertas de acceso al horno se utilizó una estructura similar a la de las paredes, recubierta con 2 planchas de acero de 1mm de espesor, figura 5.10, y entre ellas fibra de vidrio como aislante. La movilidad de estas puertas es muy importante deben girar fácilmente, de preferencia casi dar una vuelta completa; por este motivo se utilizaron bisagras de camión, que no son muy costosas y cumplen perfectamente con el giro necesitado.

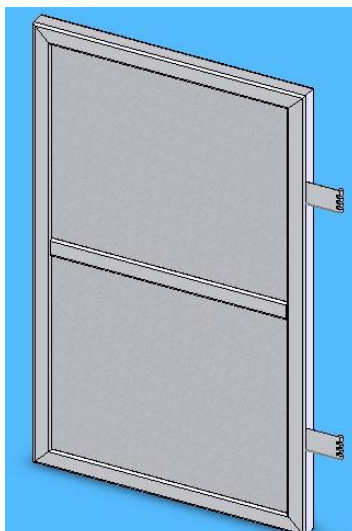


Fig. 5.10 Puerta del horno con bisagra

5.6. Instrumentación y control

Este es un modelo del horno, el propósito de su construcción es comprobar el funcionamiento de los quemadores, es decir que las piezas queden curadas en el tiempo que los proyectistas han establecido.

Para controlar el proceso se requieren de los siguientes dispositivos, que se pueden apreciar en la tabla 5.3:

Tabla 5.3 Lista de instrumentos para control del horno de curado

Instrumento	Cantidad
Manómetro de presión 0-100psi	1
Válvula reguladora de presión (nominal 350bar)	2
Válvula de caudal mariposa	1
Válvula de cierre	1
Encendedor de chispa	1
Termómetro Bimetálico, 0-300°C	1

Es bueno mencionar que se pensaba incluir para el control del tiempo de curado un temporizador, que permita obtener productos uniformes luego de ser curados en el horno, pero los proyectistas consideran pertinente realizar en primera instancia las pruebas respectivas con varios tiempos y temperaturas de curado, solo establecidas las características específicas del horno se puede controlar el funcionamiento del mismo.

En el caso del termómetro bimetálico, se lo conectará en una de las paredes del horno o en la puerta del mismo, por recomendación de fabricantes de pintura, la lectura mostrada por el termómetro no es la de las piezas curadas en el horno, porque éste pasa a través de la pared de acero-fibra de vidrio-acero y va a entregar una lectura diferente a la de la placa de las piezas, pero se estima que con una corrección de 20°C aproximadamente se obtiene la lectura correcta.

Lastimosamente no se pudo conseguir un termógrafo, ya que con este dispositivo se habría podido establecer la curva de temperatura directamente en la placa.

5.7. Modelo del horno con el sistema de calentamiento del horno

El horno de curado consta de una estructura metálica recubierta con planchas de acero y fibra de vidrio, para no perder calor hacia el exterior y evitar accidentes si alguien toca la pared exterior del horno. El horno consta de algunos componentes como la estructura metálica, paredes, puerta, quemadores, tanques de gas, tubería y equipo de control, figura 5.11; es muy importante para la construcción del modelo que el sistema de calentamiento encaje en la posición correcta para que el curado sea uniforme a lo largo del horno.

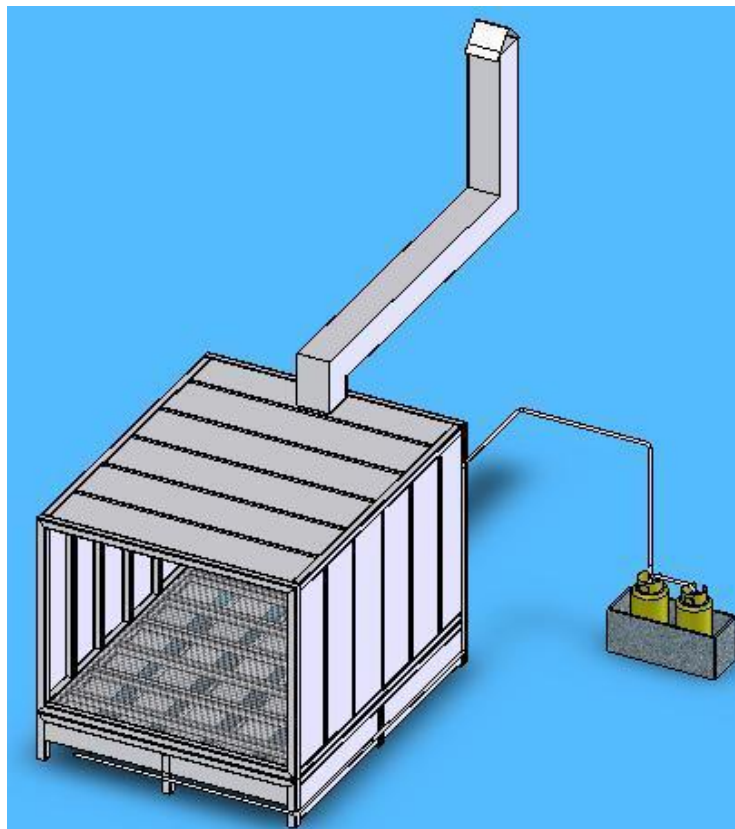


Fig. 5.11 Horno de curado con todos sus componentes.

5.7.1. Construcción y montaje del modelo del horno de curado

El proceso para la construcción del modelo del horno es similar al de la cabina, con algunas variaciones como incluir tubería galvanizada para la conexión a los tanques de GLP, como ya se menciona en un apartado anterior la construcción de este sistema depende mucho de la innovación tanto de los proyectistas como de los operarios, para cumplir los procesos con el equipo y maquinaria disponible en el taller.

5.7.1.1. Cronograma de actividades principales

Al igual que para la cabina se establecieron actividades principales en las cuales se basará la construcción del modelo:

- a. Construcción de la estructura metálica del horno
- b. Construcción de las paredes del horno
- c. Armado de las paredes a la estructura metálica
- d. Construcción del sistema de calentamiento, quemadores de línea
- e. Construcción de la chimenea
- f. Instalación de instrumentos de control en el horno
- g. Instalación de tubería y accesorios para los tanques de GLP

Las paredes serán de acero-aislante-acero, pero en el techo es necesario dejar el orificio para ubicar la chimenea de los productos de la combustión.

Los quemadores de línea fueron estudiados en el capítulo anterior, en éste se mencionan los procesos a seguir para la fabricación del sistema de calentamiento. En el diseño de los quemadores se definieron todos los componentes, incluso el material a ser utilizado.

La instalación de los instrumentos de control y la tubería para gas va por cuenta de los operarios del taller, los cuales han demostrado su experiencia en trabajos con gases y otros fluidos.

Como ya se menciona en la construcción de la cabina, el taller facilita el equipo y maquinaria necesarios para el proyecto, al igual que el personal, pero si los operarios deben ir a cumplir con sus tareas habituales estos tiempos de paro no se tomarán en cuenta para el cronograma de actividades.

Tabla 5.2 Cronograma de actividades para construcción del horno de curado.

CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES																									
CONSTRUCCIÓN DEL MODELO DE HORNO DE CURADO																									
Días	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20					
Semanas	Sem. 1					Sem. 2					Sem. 3					Sem. 4									
Construcción del horno																									
Construcción estructuras																									
Cortar tubos de acero cuadrados	■	■	■	■	■																				
Soldar estructura						■	■	■	■																
Corte planchas de acero						■	■	■																	
Soldar planchas a estructutra										■	■														
Ensamblar paredes del horno, acero y aislante																									
Cortar el aislante del rollo										■	■														
Armar paredes del horno										■	■														
Construcción de quemadores																									
Cortar tubos redondos de 2pulg de diámetro											■														
Cortar tubos redondos de 1.5pulg de diámetro											■														
Taladrar agujeros en el tubo de 2pulg												■	■												
Verificar acople de las reducciones													■												
Soldar acoples a los tubos														■											
Ensamblar quemadores de línea															■										
Construir chimenea																									
Cortar acero inoxidable o galvanizado																■									
Doblar el material formando ductos																■									
Soldar ductos de chimenea																	■	■							
Instalación de instrumentos de control																									
Colocar válvulas en las tuberías y termómetro en la pared del horno																							■		
Colocar manómetro de presión y valvulas reguladoras en los tanques																								■	
Instalación de tubería y tanques de GLP																									■

5.7.1.2. Maquinaria, materiales y herramientas para construir el modelo del horno de curado de pintura

La construcción de este dispositivo requiere aplicar algunos procesos de manufactura metal mecánica, por ello es necesario mencionar que equipo y maquinaria se utilizó, los materiales a emplearse y las herramientas, incluyendo las de protección a los operarios.

5.7.1.2.1. Maquinaria

- Tronzadora, cortadora tubos y perfiles
 - Entrada: voltaje 220V
 - Salida: corte

- Soldadora eléctrica de arco para electrodo
 - Entrada: voltaje 220V, electrodo específico
 - Salida: unión de tubos

- Roladora manual
 - Entrada: placa de acero
 - Salida: placa rolada

- Amoladora
 - Entrada: voltaje 110V, disco de desbaste, disco de corte
 - Salida: desbaste de acero

- Cizalla
 - Entrada: placa de acero
 - Salida: placa cortada

- Dobladora
 - Entrada: placa de acero
 - Salida: placa doblada

- Torno
 - Entrada: 220V
 - Salida: balanceo eje del ventilador

- Taladro de pedestal
 - Entrada: 220V, tubo de acero
 - Salida: agujeros en el tubo

5.7.1.2.2. Herramientas

- Flexometro
- Escuadra para trabajos en metal
- Llave de boca
- Multímetro
- Pie de rey, calibrador
- Broca de 3mm o 1/8pulg
- Entenalla

- Esmeril
- Taladro 110V

5.7.1.2.3. Herramientas de protección personal

- Gafas de protección
- Overol
- Guantes para soldar
- Casco de soldador
- Botas de seguridad

5.7.1.2.4. Material

- Planchas de acero inoxidable de 1mm de espesor
- Tubos cuadrados de acero negro de 100x100mm de 2mm de espesor
- Perfiles en C de 100x50mm y 2mm de espesor
- Rollos de fibra de vidrio Fiberglass de 16x1.2m y 1.5pulg de espesor
- Electrodo E6011 y E7018 de AGA de 1/8 de diámetro
- Discos abrasivos para corte
- Discos para desbaste
- Pernos de 12mm de diámetro por 30mm
- Flexiglass, material sellante para evitar fugas en las uniones
- Tubos redondos de 2pulg de diámetro de 2mm de espesor
- Tubos redondos de 1.5pulg de diámetro de 2mm de espesor
- Tubería de 1pulg galvanizada

5.7.1.2.5. Personal

- Proyectista 1
- Proyectista 2
- Soldador 1
- Soldador 2
- Ayudante de soldador

5.7.1.3. Esquema de construcción del horno de curado

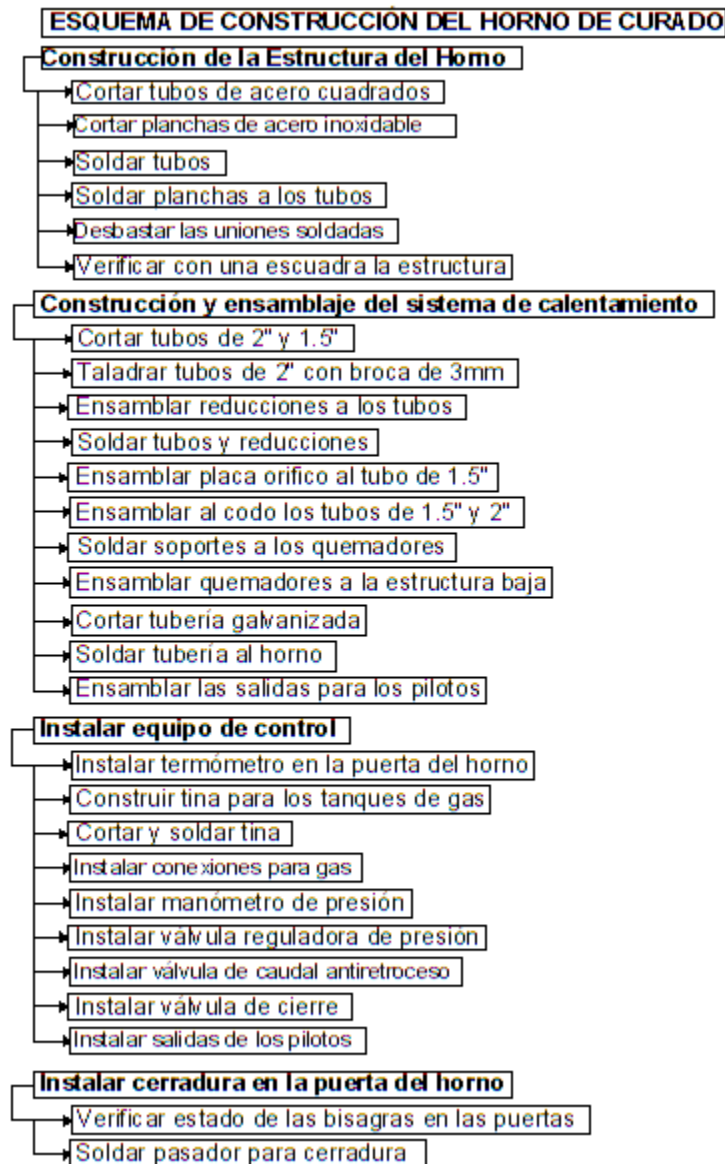


Fig. 5.12 Esquema de Construcción del horno de curado

Es importante mencionar que la instalación de la chimenea se realizará al final cuando ya se tenga la posición definitiva del horno.

5.7.1.4. Proceso de soldadura

La estructura del horno consta de tubos cuadrados y perfiles en C, para cortar estos elementos de acuerdo a las dimensiones establecidas se utilizó una tronzadora para metales que permite cortar los tubos y perfiles en diferentes ángulos de corte; después se procedió a soldar los elementos, se empleo un soldadora de electrodo, el electrodo 6011 de AGA es recomendado para estructuras y bastidores para máquinas de diámetro 1/8pulg, para soldar las paredes se utilizó electrodo 7018 recomendado para aceros de bajo contenido de carbono. Una vez soldadas las estructuras y las paredes se procede al desbaste de rebabas en las uniones. Solo después de recubrir las paredes con

metal se coloca el aislamiento de fibra de vidrio, ya que si se coloca antes las chispas de la suelta pueden encender la fibra y ésta propagarse.

5.7.1.5. Montaje del sistema de calentamiento por quemadores de línea

La estructura del horno consta de dos partes, la del horno recubierto con planchas de acero y la parte baja donde se colocarán los quemadores de línea. Primero se construyó la estructura del horno recubierto y luego se la levanto con poleas y sogas para soldar los soportes de la estructura baja comprobando que está soporta el peso de todo el horno, para en el espacio de abajo instalar los quemadores.

El sistema de calentamiento consta de 4 quemadores de línea con un peso de 150kg, que fácilmente puede ser soportado por la estructura del horno con unos simples soportes soldados en los extremos de los quemadores, para realizar esta operación los soldadores cortaron pequeños perfiles que se soldaron en posiciones específicas, figura 5.13. Para evitar fugas de calor se soldaron 5 placas protectoras de calor. La tubería que conduce el gas consta de 2 fases, la primera va directamente a los quemadores y tiene su válvula de caudal antirretroceso y la segunda va a los encendedores de la llama piloto con una válvula de cierre. Solo una vez encendidos los pilotos se procede a dejar salir el gas que enciende progresivamente los quemadores.

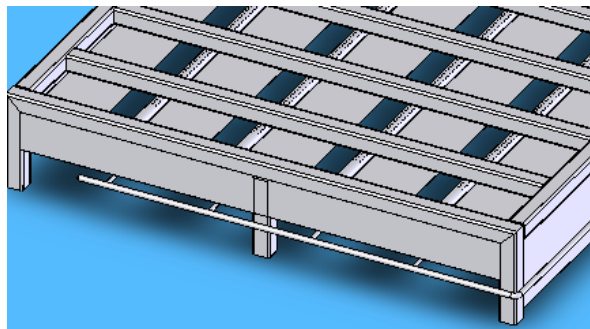


Fig. 5.13 Quemadores de línea instalados en la estructura baja

5.7.1.6. Montaje de la chimenea

Para la chimenea se construyeron ductos en acero galvanizado con dimensiones ya estudiados en el diseño térmico, para la instalación en el horno se cortó un orificio de 300x300mm en el techo del horno. Es necesario instalar la chimenea para facilitar la salida de los productos de la combustión. En este momento no se ha establecido instalar un ventilador para guiar la salida de los gases, porque esta salida de aire a una velocidad excesiva puede hacer que el polvo se despegue de las piezas.

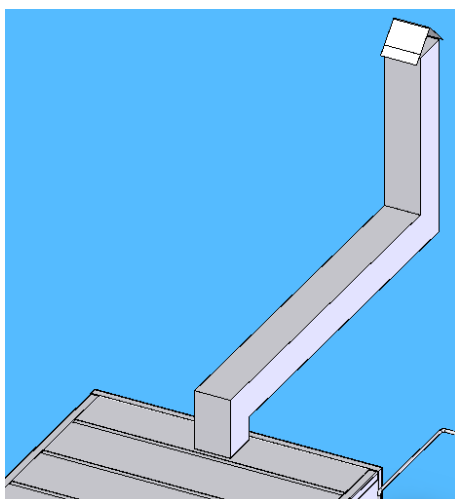


Fig. 5.14 Ducto de la chimenea en el horno

5.7.1.7. Guía de Operación

El procedimiento para encender el sistema de calentamiento es muy simple y por ese motivo no se requiere de un control sofisticado, a continuación se detalla el procedimiento:

- Verificar el estado de los tanques de gas con la lectura del manómetro de presión.
- Abrir las válvulas reguladoras de presión para llenar las tuberías.
- Abrir la válvula que conduce a los pilotos y encenderlos.
- Abrir la válvula de caudal antiretroceso que permite el ingreso del gas a los quemadores de línea.
- Establecer la posición correcta de la válvula para que la entrada del gas sea uniforme.
- Verificar temperatura en el interior del horno
- Cerrar la válvula de caudal de entrada del gas.
- Dejar que las piezas permanezcan el tiempo necesario hasta que la temperatura se equilibre con la del ambiente.

Pruebas y Evaluación.....	xv
6.1. Elaboración del protocolo de pruebas.....	xvi
6.1.1. Protocolo de pruebas para la cabina con recuperador de pintura en polvo	xvi
6.1.2. Protocolo de pruebas para el horno de curado	xvii
6.2. Equipo utilizado y procedimiento.....	xvii
6.2.1. Equipo utilizado.....	xviii

6.2.2.	Procedimiento	xviii
6.2.3.	Procedimiento para las pruebas al recuperador de pintura en polvo	xviii
6.2.4.	Procedimiento para las pruebas al horno y a las piezas después del curado	xix
6.3.	Pruebas.....	xx
6.3.1.	Pruebas al recuperador de pintura en polvo	xx
6.3.2.	Pruebas al horno y a las piezas después de ser curadas	xxii
6.3.2.1.	Prueba de adherencia de la cuchilla	xxv
6.3.2.2.	Prueba de falta de curado.....	xxv
6.4.	Análisis de resultados	xxvii
6.4.1.	Análisis de resultados para el recuperador de pintura en polvo	xxvii

PRUEBAS Y EVALUACIÓN

En este capítulo se describe el protocolo de pruebas, el equipo utilizado y el procedimiento previo a realizar las pruebas de funcionamiento de la cabina y el horno de curado. Con los resultados obtenidos en las pruebas proceder a analizarlos para determinar las características principales del horno y la cabina en operación. Además en este capítulo se presenta un programa de mantenimiento de los componentes.

ELABORACIÓN DEL PROTOCOLO DE PRUEBAS

El sistema completo consta de dos componentes la cabina con recuperador de polvo y el horno de curado de piezas metálicas, por este motivo es necesario establecer pruebas de funcionamiento a los dos. Hay que señalar que no se contaba con la instrumentación adecuada para el control del proceso. El proyecto se construyó en el taller de una pequeña industria, como los proyectistas tienen como unos de sus objetivos ser innovadores, aplicando el verdadero significado que esa palabra tiene en la ingeniería, tratar de solucionar necesidades insatisfechas con creatividad.

PROTOCOLO DE PRUEBAS PARA LA CABINA CON RECUPERADOR DE PINTURA EN POLVO

Para realizar el control del funcionamiento de la cabina con recuperador de polvo se debe determinar la cantidad de polvo recuperado, esto se puede determinar únicamente después de utilizar el sistema. Por otro lado es importante resaltar dos aspectos que influyen en el funcionamiento del sistema, el ruido producido por el ventilador, el compresor, las conexiones eléctricas y de aire comprimido.

Con estos antecedentes se estableció la metodología para las pruebas a realizarse en la cabina:

- Verificar el estado de las conexiones tanto eléctricas como de aire comprimido hacia el equipo electrostático.
- Establecer el porcentaje de polvo recuperado, se debe pesar algunas piezas pintadas antes y después de aplicar pintura en polvo, para conocer cuanta pintura, en masa, se utiliza en cada pieza.
- Recoger el contenido de los receptores de polvo del tanque recuperador y de la batería de filtros, tamizar el polvo y pesar el polvo contenido en el recuperador.
- Revisar la cantidad de humedad en el aire que sale del compresor.

PROTOCOLO DE PRUEBAS PARA EL HORNO DE CURADO

A continuación se detallan las pruebas a realizarse tanto en el horno como en las piezas metálicas:

- Verificar en los tanques de GLP la presión de gas en el manómetro antes y después de realizar la prueba.
- Es necesario medir la temperatura con el horno encendido, para confirmar el tiempo de curado, apagando el horno en el tiempo establecido.
- Realizar el control de temperatura de acuerdo al tiempo, ya que ésta debe cumplir un ciclo hasta llegar a la temperatura de curado. Es importante señalar que este control debe realizarse con el horno lleno, a media carga y con diferentes productos con el fin de observar el comportamiento del horno. Del mismo modo este control se debe hacer en diferentes días.
- En las piezas se deben realizar algunas pruebas para verificar el funcionamiento no solo del horno, sino de todo el sistema desde la aplicación. Pro ejemplo se pueden realizar dos pruebas efectivas, la de adherencia con la cuchilla y la de falta de curado, que se realiza frotando un paño con thinner a la superficie pintada.

EQUIPO UTILIZADO Y PROCEDIMIENTO

Para realizar el control de los pasos mencionados en el apartado anterior, no se pudo contar con algunos tales como un termógrafo para obtener la curva de temperatura del ambiente en el interior del horno o un sonómetro para poder obtener el nivel de ruido producido por el ventilador y el compresor. La temperatura se mide con termómetros colocados en algunas posiciones, en el segundo caso normas de seguridad dictan que un sistema de este tipo funciona

si los decibelios alrededor del área de análisis permiten mantener una conversación para no interferir con el resto de actividades del taller.

EQUIPO UTILIZADO

A continuación se indican los elementos utilizados para realizar el control de las operaciones del sistema completo:

- Termómetros Bimetálicos
Rango: 0-300°C
Apreciación: 5°C
Entrada: par bimetálico cobre-constantan
Cantidad: 3
- Cronómetro digital
Rango: 0-24h
Apreciación: 0.1s
- Balanza electrónica
Rango: 0-100kg
Apreciación: 0.01kg

PROCEDIMIENTO

El procedimiento a seguir está dividido en 2 etapas, las pruebas realizadas para revisar el funcionamiento del recuperador de pintura y las efectuadas al horno, en las que se incluyen las que se realizan directamente en las piezas después de haber sido curadas.

PROCEDIMIENTO PARA LAS PRUEBAS AL RECUPERADOR DE PINTURA EN POLVO

Para efectuar las pruebas al recuperador se observó la siguiente secuencia:

- Conectar el equipo de aplicación electrostática a la red eléctrica y a la red de aire comprimido, verificando el estado de todas las conexiones.
- Colocar el polvo en el hopper de alimentación, ubicado en el propio equipo de aplicación.
- Cerrar el circuito que debe formar el sistema haciendo tierra en la cabina, conectar los cables indicados del equipo de aplicación para cerrar el circuito.
- Encender el compresor, verificando el nivel de aceite y la presión de salida del aire comprimido.
- Encender el ventilador, verificando que todas las uniones del sistema estén bien ajustadas.
- Encender el equipo de aplicación electrostática, regular la carga, el voltaje y el espesor de película deseados.
- Pesar en la balanza electrónica aleatoriamente algunas piezas antes de ser pintadas.
- Aplicar pintura en polvo a un determinado número de piezas hasta que se termine el polvo proporcionado al equipo.
- Pesar las piezas después de ser pintadas y antes de ingresar al horno para ser curadas.
- Establecer el número de piezas pintadas con toda la cantidad del polvo proporcionado.
- Verificar si el nivel del ruido del ventilador y el compresor permite realizar el resto de actividades en el taller.

PROCEDIMIENTO PARA LAS PRUEBAS AL HORNO Y A LAS PIEZAS DESPUÉS DEL CURADO

El horno de curado exige la verificación de comportamiento en varios días y con diferente carga; a continuación se detalla la secuencia a seguir:

- Ubicar los termómetros en sitios estratégicos.

- Medir las temperaturas iniciales que marque cada termómetro.
- Verificar el estado de los tanques, la presión inicial en el manómetro.
- Encender los pilotos, luego abrir la válvula para encender los quemadores.
- Medir las temperaturas en los termómetros cada minuto, hasta llegar al tiempo teórico de curado.
- Apagar los quemadores y dejar que el horno se enfríe para sacar las piezas.
- Una vez salidas las piezas del horno, realizar la prueba de la adherencia de la cuchilla, con un cuchillo o un estilete se hacen cortes a 2mm cada uno formando una cuadrícula de 5 ó 6cm, si se desprende toda la cuadrícula la pieza no está bien curada.
- Otra prueba a realizarse es la de falta de curado, se toma un paño y se lo unta con un poco de thinner, se realizan 10 frotos en la superficie pintada si transfiere pintura quiere decir que hace falta más tiempo de curado.

PRUEBAS

La ejecución de las pruebas se realiza en dos etapas primero las del recuperador y después las del horno.

PRUEBAS AL RECUPERADOR DE PINTURA EN POLVO

Se siguió el procedimiento de pruebas en el cual se pesaron 5 piezas cualquiera para saber cual es el promedio antes de ser pintadas, para este análisis se utilizó una pieza como la de la figura 6.1, con unas dimensiones de 600x600x80mm con un espesor de 05mm



Fig. 6.1 Pieza a ser analizada, sin el difusor de aluminio.

Los pesos antes de curado son los que se indican en la tabla 6.1.

Tabla 6.1 Piezas pesadas antes de ser pintadas

Pieza N°	Peso (kg)
1	2,17
2	2,17
3	2,16
4	2,17
5	2,17
Promedio	2,17

Luego se procedió a pintar hasta que se termine el polvo de la caja del proveedor, obteniendo como resultado que con una caja de 25kg de polvo se pueden pintar 250 piezas. Se peso las mismas piezas para establecer el promedio y trabajar con ese peso.

Tabla 6.2 Piezas pesadas después de ser pintadas

Pieza N°	Peso (kg)
1	2,24
2	2,23

3	2,25
4	2,23
5	2,24
Promedio	2,24

Una vez que se pinto todas las piezas hasta que se termine el polvo suministrado por el proveedor se procedió a pesar el polvo recolectado tanto en el receptor del tanque recolector del ciclón como en la batería de filtros, obteniendo que se tiene una masa recolectada, m_r de 5.3kg.

Con estos resultados se realizará el análisis respectivo en el siguiente apartado.

Con respecto al nivel de ruido producido por el compresor y el ventilador, se observó que el producido por el ventilador se puede soportar, pero el compresor genera ruido fuerte así que se aisló este componente con paredes de poliuretano recubiertas con planchas de acero de 0.5mm, después de realizados estos trabajos se obtuvo un nivel de ruido menor.

PRUEBAS AL HORNO Y A LAS PIEZAS DESPUÉS DE SER CURADAS

El primer paso de las pruebas en el horno es ubicar los termómetros, se decidió colocarlos en 3 posiciones, tal como muestra la figura 6.2, considerando que a la entrada de las piezas y en las paredes laterales es donde se pueden producir pérdidas de calor más grandes.

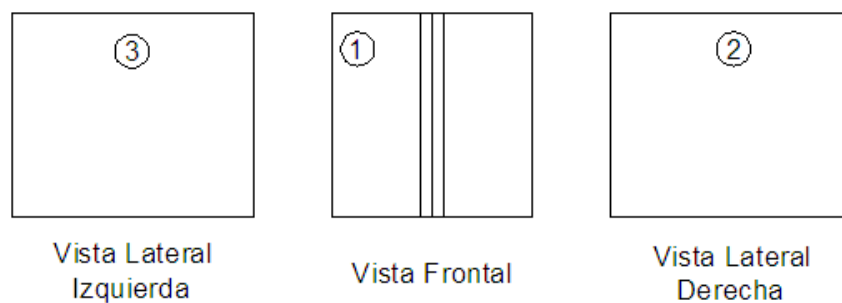


Fig. 6.2 Ubicación de los termómetros bimetálicos en el horno

Siguiendo la secuencia de funcionamiento se encendieron los quemadores, y se tomaron las temperaturas cada minuto, incluso antes de encender los quemadores.

Se tomaron las temperaturas con el horno cargado completamente con el mismo producto con el que se hicieron las pruebas del recuperador. En el horno entraron en el interior 52 productos.

Tabla 6.3 Medición de temperaturas con el horno lleno de productos

Tiempo (min)	Temperatura 1 (°C)	Temperatura 2 (°C)	Temperatura 3 (°C)	Temperatura Promedio (°C)
0	25	25	25	25,00
1	50	50	50	50,00
2	80	80	80	80,00
3	105	105	105	105,00
4	128	127	128	127,67
4,5	137	138	137	137,33
5	144	145	144	144,33
5,5	152	151	152	151,67
6	165	165	165	165,00
6,5	175	175	175	175,00
7	188	188	187	187,67
7,5	195	195	195	195,00
8	200	200	200	200,00
8,5	205	205	205	205,00
9	207	208	208	207,67
9,5	210	210	210	210,00
10	215	215	215	215,00
11	218	218	215	217,00
12	220	218	218	218,67

Se realizó el mismo procedimiento otro día con el horno cargado a la mitad, con algunos productos similares al usado antes y otros más pequeños.

Tabla 6.4 Medición de temperaturas con el horno cargado a la mitad de su capacidad.

Tiempo (min)	Temperatura 1 (°C)	Temperatura 2 (°C)	Temperatura 3 (°C)	Temperatura Promedio (°C)
0	22	22	22	22,00
1	47	47	47	47,00
2	75	75	75	75,00
3	105	105	105	105,00
4	128	127	128	127,67
4,5	137	138	137	137,33
5	144	145	144	144,33
5,5	152	151	152	151,67
6	165	165	165	165,00
6,5	175	175	175	175,00
7	188	188	187	187,67
7,5	195	195	195	195,00
8	200	200	200	200,00
8,5	205	205	205	205,00
9	207	208	208	207,67
9,5	210	210	210	210,00
10	215	215	215	215,00
11	218	218	215	217,00
12	220	218	218	218,67

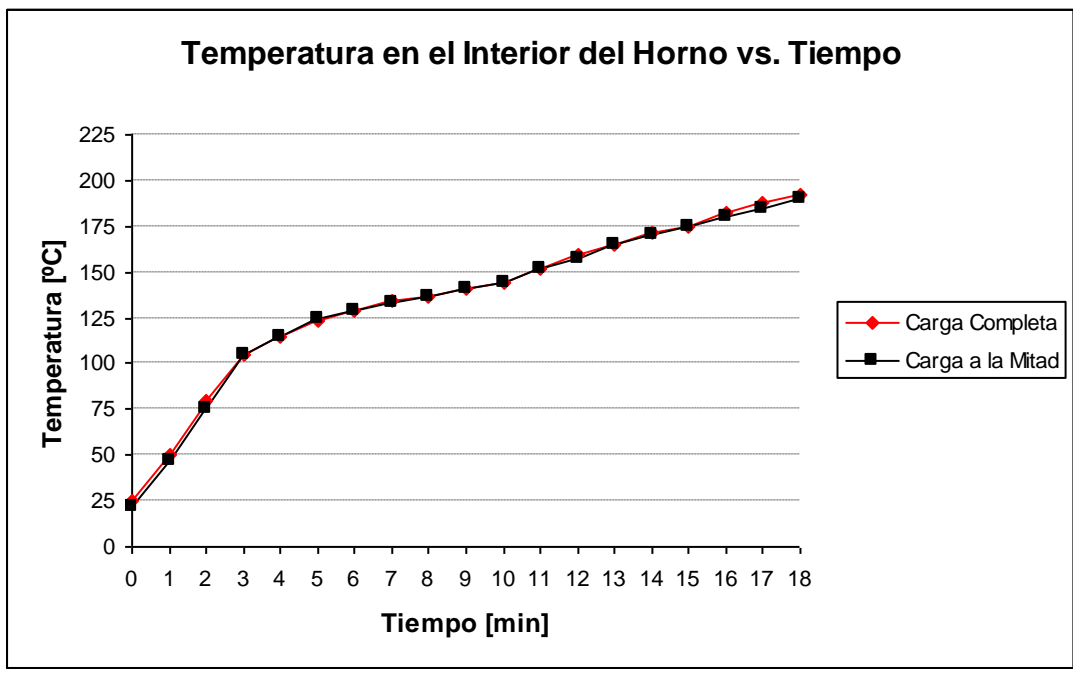


Fig. 6.3 Comparación de las temperaturas en el interior del horno en función de la carga

Como se puede observar en la fig. 6.3 la temperatura en el interior del horno no varía mayormente, aunque esté trabajando a la mitad de la capacidad. De esta manera se demuestra que el comportamiento del horno no varía en función de la carga a ser ingresada.

Prueba de adherencia de la cuchilla

Después de sacar las piezas del horno, curadas completamente se realizó la prueba de adherencia de la cuchilla, con un estilete se realizaron cortes en forma de cuadrícula, la pintura no se despegó. Esta prueba se realiza para comprobar si la carga utilizada produce un espesor de película adecuado ni que falte pintura ni que se sobrecargue la pieza de pintura.

Prueba de falta de curado

En algunas piezas se observó después del curado que tenían ciertas porosidades, así que se decidió realizar la prueba de falta de curado, para ello se untó un paño con thinner y se froto en una superficie 10 veces y luego se observó que una pequeña cantidad de pintura se transfirió al paño, la prueba presenta un resultado malo, que hace falta tiempo de curado a las piezas en el horno.

Para solucionar este problema se decidió aumentar el tiempo de curado en dos minutos, luego se realizó la prueba de la falta de tiempo de curado y esta vez no se tuvo problemas, ya que no se transfirió pintura al paño con thinner, esto se realizó en algunas piezas y se obtuvieron buenos resultados.

Tabla 6.5 Medición de temperaturas con incremento de 2 minutos en el tiempo de curado

Tiempo (min)	Temperatura 1 (°C)	Temperatura 2 (°C)	Temperatura 3 (°C)	Temperatura Promedio (°C)
0	25	25	25	25,00
1	50	50	50	50,00
2	80	80	80	80,00
3	105	105	105	105,00
4	128	127	128	127,67
4,5	137	138	137	137,33
5	144	145	144	144,33
5,5	152	151	152	151,67
6	165	165	165	165,00
6,5	175	175	175	175,00
7	188	188	187	187,67
7,5	195	195	195	195,00
8	200	200	200	200,00
8,5	205	205	205	205,00
9	207	208	208	207,67
9,5	210	210	210	210,00
10	215	215	215	215,00
11	218	218	215	217,00
12	220	218	218	218,67
13	220	220	220	220,00
14	220	220	220	220,00

La tabla 6.5 permite analizar la superficie de temperaturas de acuerdo al tiempo en la gráfica que se muestra en la figura 6.4

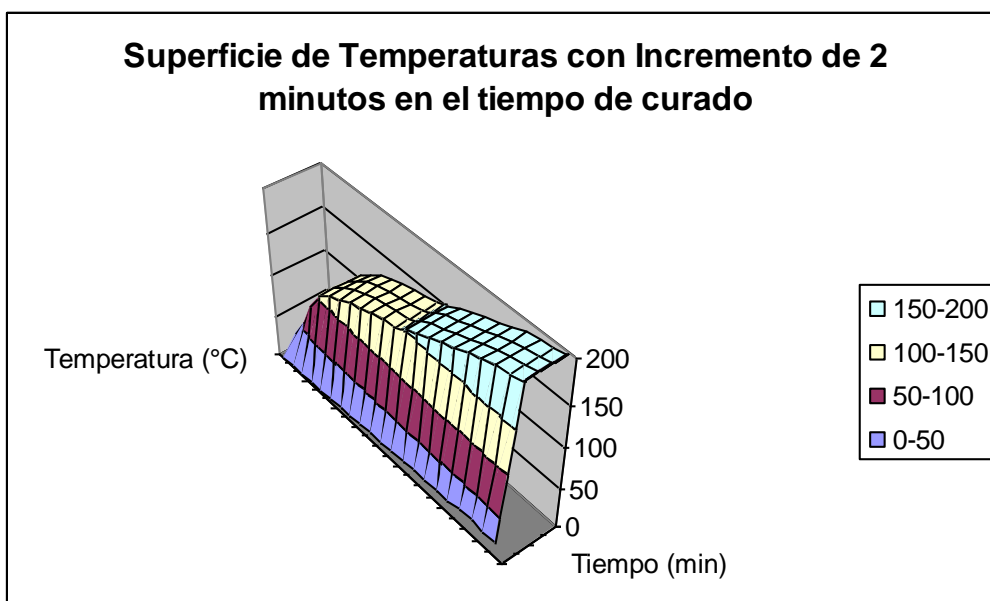


Fig. 6.4 Superficie de temperaturas con un incremento de 2 minutos al tiempo de curado

Como se ve el calentamiento del horno es uniforme, esto se puede afirmar ya que los termómetros están colocados en 3 posiciones diferentes. Esta característica de funcionamiento ayuda a que todas las piezas también sean uniformes una vez curadas.

Con este incremento de 2 minutos al tiempo de curado, también se obtuvo una curva práctica del funcionamiento del horno que se muestra en la figura 6.5.

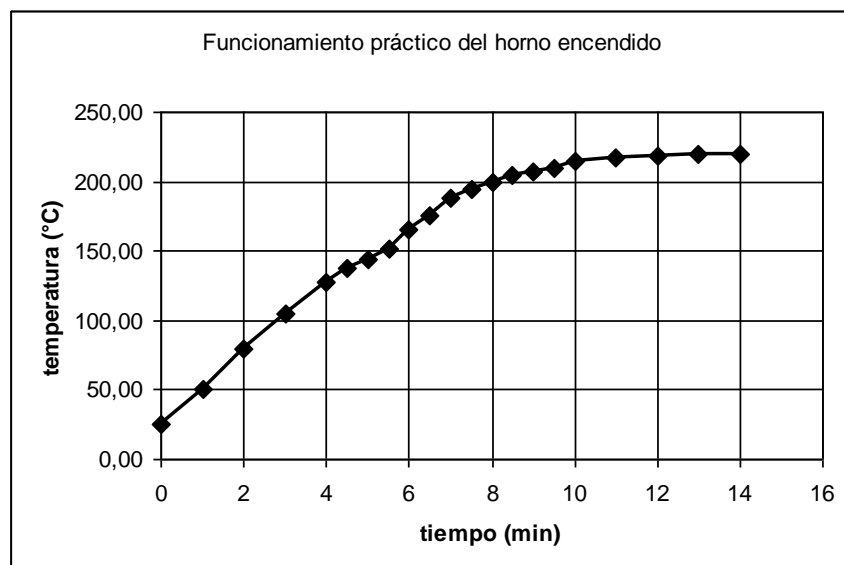


Fig. 6.5 Curva práctica del funcionamiento del horno.

Los cálculos del diseño térmico dieron como resultado que se necesitaban 18 minutos para el tiempo de curado, pero en la práctica se tuvo que incrementar 2 minutos para que las piezas sean curadas completamente.

ANÁLISIS DE RESULTADOS

Siguiendo con la metodología utilizada se tienen 2 análisis uno para el recuperador y otro para el horno

ANÁLISIS DE RESULTADOS PARA EL RECUPERADOR DE PINTURA EN POLVO

Las pruebas entregaron datos que sirven perfectamente para este análisis:

Masa promedio de una pieza sin pintar, $m_{sp}=2.17\text{kg}$

Masa promedio de una pieza pintada, $m_{pp}=2.24\text{kg}$

Número de piezas pintadas, $N_{piezas}=250$

Masa total de pintura según proveedor, $M_{total}=25\text{kg}$

Masa recolectada en el tanque recuperador y la batería de filtros, $m_{rec}=5.3\text{kg}$

Con estos datos se establece el resultado de haber invertido en un recuperador de polvo.

Primero hay que obtener que cantidad de pintura es utilizada en cada pieza pintada:

$$m_{cp}=m_{pp}-m_{sp} \quad \text{Ec. 6.1}$$

$$m_{cp}=0.67\text{kg}$$

Con este valor se establece el total de pintura que se utilizó para pintar todas las piezas:

$$M_{tp}=250*m_{cp} \quad \text{Ec.6.2}$$

$$M_{tp}=18.13\text{kg}$$

Con este resultado se puede obtener una cantidad de polvo teórico total que no se utiliza para pintar las piezas:

$$m_{teo}=M_{total}-M_{tp} \quad \text{Ec.6.3}$$

$$m_{teo}=6.87\text{kg}$$

Con este dato se obtiene la eficiencia del recuperador:

$$\eta_{rec} = \frac{m_{rec}}{m_{teo}} \times 100 \quad \text{Ec. 6.4}$$

$$\eta_{rec} = 77.11\%$$

Con los datos encontrados, incluso se puede obtener el porcentaje de reutilización del polvo:

$$\%reu = \frac{m_{rec}}{M_{total}} \times 100$$

$$\text{Ec. 6.5}$$

$$\%reu = 21.17\%$$

Con el análisis de estos datos se puede afirmar que el recuperador funciona bien, no acorde a lo que se esperaba que era una eficiencia del 90%, pero el porcentaje de polvo recuperado que se puede volver a utilizar es bueno y se puede decir que con este se recupera la inversión realizada al construir un recuperador de pintura.

CAPITULO VII

7. Análisis económico financiero.

Con el análisis económico financiero se pretende determinar el beneficio que se va a obtener con la consecución del mismo. Es una comparación entre los gastos que conlleva la realización del presente proyecto frente a los beneficios que dejará. De esta comparación se determinará la depreciación del bien así como la tasa de recuperación de la inversión.

7.1. Inversión en equipos y materiales.

Para calcular el valor de la inversión en equipos y materiales para la construcción del presente proyecto se ha realizado una sumatoria simple de los costos de materia prima, mano de obra e instrumentos de control que se utilizaron en el mismo.

Así en el área de equipos y accesorios se tuvo una inversión de USD 995, (ver anexo planos). Aquí se puede observar el detalle de los materiales usados y las cantidades de los mismos.

En cuanto a materiales existe una inversión de USD 3558.97, (ver anexos planos) en estos se realiza el detalle de cada una de las partes que comprenden

el horno y la cabina tomando en cuenta los costos del material así como la mano de obra utilizada en cada uno de los trabajos realizados para la obtención del producto final.

Con estos precedentes el valor de la inversión efectuada para la construcción del horno y la cabina para pintado utilizando pintura electrostática es de USD 4553.97.

7.2. Inversión total.

Este cálculo se realiza con el objetivo de determinar el tiempo de recuperación de la inversión y la depreciación de las máquinas.

A continuación se tiene un cuadro de la inversión realizado por áreas determinadas anteriormente.

Tabla 7.1 Inversión Total

Tipo de Inversión	Monto (usd)
Equipos y accesorios	995
Materiales	3823.97
Mano de obra	530
TOTAL	5348.97

Fuente: Información recopilada durante el proyecto.

7.3. Depreciación y recuperación de la inversión.

La depreciación en este caso se va a calcular para el ventilador y el quemador. La depreciación de estos bienes se va a realizar con una tasa del 10% por cada año a partir

del momento en que se realice la compra del mismo en el primer caso y de la construcción en el segundo.

Por lo tanto la depreciación de las máquinas se determinó de la siguiente manera.

Tabla 7.2 Depreciación

DEPRECIACIÓN		
Máquinas	Quemador	Ventilador
Tiempo (años)		
1	120	800
2	108	720
3	97.2	648
4	87.48	583.2
5	78.74	524.88
6	70.87	472.4
7	63.79	425.16
8	57.42	382.65
9	51.68	344.39
10	46.52	309.96

Ahora se procederá a calcular los costos de producción antes de la operación del horno para compararlo y poder saber cuanto se ahorra con la implementación del proceso.

Los datos que se ocuparon para el cálculo de los costos fueron los años 2004 y 2005

Tabla 7.3 Costos de producción en el proceso de pintado

COSTOS DE PRODUCCION EN EL PROCESO DE PINTADO				
DESCRIPCION		CANTIDAD/ AÑO	P.UNITARIO	PRECIO TOTAL
MANO DE OBRA		900	2	1800
PINTADO		12000	4	48000
			TOTAL	49800

Tabla 7.4 Costos de producción en el proceso de pintado 2005

COSTOS DE PRODUCCION EN EL PROCESO DE PINTADO AÑO 2005				
DESCRIPCION		CANTIDAD/ AÑO	P.UNITARIO	PRECIO TOTAL
MANO DE OBRA		900	2	1800
PINTADO		12000	3,2	38400

	TOTAL	40200
--	-------	-------

Como se puede observar en la comparación entre los gastos de año 2004 vs. los de 2005 se puede observar un ahorro bastante significativo con la implementación del horno para el proceso de pintura electrostática para la empresa Stilo Muebles, el mismo que asciende a USD 9600 lo cual nos indica a simple vista que el proyecto tiene buenas expectativas para los intereses de la empresa.

7.4. Cálculo del TIR, VAN. Relación Costo – Beneficio.

Para determinar el valor actual neto (VAN) de la inversión realizada por STILO MUEBLES es igual a la suma de los valores actualizados de los flujos netos de caja (ingresos líquidos) asociados a la inversión.

$$VAN = \sum_{x=0} \frac{FNC}{(1+i)^x} \quad \text{Ec. 7.1}$$

Donde:

FNC Flujo neto de caja.

i tasa de interés.

x número de períodos (años).

El ahorro de la empresa a partir del funcionamiento del horno será el siguiente:

Tabla 7.5 Datos económicos del proceso

Proceso	Costo por pintar una pieza (usd)
Pintado en polvo	4.00
Pintado en líquido	2.00

Fuente: Empresa Stilo Muebles

Tomando en cuenta que el ahorro que se va a tener con la implementación del proyecto es de alrededor de USD 9600 el tiempo de recuperación de la inversión es de un año, a partir de la fecha en que empiece a funcionar el horno. La tasa de préstamos bancarios es del 18% y el flujo neto de caja para los un año es:

$$FNC_1 = \frac{\text{Ahorro}}{(1+i)^1}$$

De donde se obtiene lo siguiente:

Tabla 7.6. Flujo neto de caja.

Tasa de interés (i)	18	%
Costo Total FNC (0)	-5348.97	USD
FNC (1)	8135	USD
VAN	2786.03	USD

Fuente: Cálculos realizados.

El VAN en este caso fue positivo, con lo cual se confirma que la inversión realizada estuvo bien encaminada.

La TIR o tasa interna de retorno (TIR) nos indica la factibilidad del proyecto, si el proyecto de inversión es o no rentable. Es decir indica el beneficio neto que proporciona la inversión en función de un porcentaje anual, igualando el valor actual de los costos y beneficios ($VAN = 0$); por lo que se tiene, por un tipo de procedimiento la interpolación de dos tasas de interés que den como resultado un valor actual neto positivo y negativo:

$$TIR = i_1 + (i_2 - i_1) * \left[\frac{VAN_1}{VAN_1 - VAN_2} \right]$$

Ec. 7.2

Tabla 7.7. Flujo neto de caja.

Tasa de interés (i)	18	%
	1.5	
Costo Total FNC (0)	-5348.97	USD
FNC (1)	4631.97	USD
VAN	-717,0	USD

Fuente: Cálculos realizados.

Tabla 7.8. Flujo neto de caja.

Tasa de interés (i)	18	%
	0.75	
Costo Total FNC (0)	-5348.97	USD
FNC (1)	8930.23	USD
VAN	3581.27	USD

Fuente: Cálculos realizados.

Tabla 7.9 Cálculo del TIR.

TIR	0,21	
	21	%

Fuente: Cálculos realizados.

Con este porcentaje siendo mayor que la tasa de interés bancaria se determina que el proyecto es rentable.

Capítulo VIII

8. Conclusiones y Recomendaciones

8.1. Conclusiones

- El estudio de la pintura en polvo ha permitido tener una excelente base teórica que podrá ser utilizada por la comunidad FIME, datos estadísticos de la propia facultad indican que más del 70% de sus egresados están vinculados a los procesos metal mecánicos en algún momento de sus carreras. Este tipo de recubrimiento está siendo muy utilizado en la actualidad e incorporado en muchas empresas para mejorar sus procesos, el proyecto cumple su función ofreciendo una base teórica que ayude al entendimiento de las características y propiedades de la pintura en polvo y del funcionamiento de los sistemas de aplicación.
- El análisis del diseño térmico del horno se realizó en base a los procesos de transferencia que influyen en los cambios producidos después del encendido; como es lógico en cualquier proceso en el que actúe la combustión de un combustible se produce el calentamiento del fluido, en este caso el aire, generando el movimiento global y aleatorio de las moléculas del fluido, fenómeno conocido como advección, pese a no tener gran velocidad existe convección hacia las paredes y las piezas. Por otro lado también existe radiación.
- En el transcurso del análisis del diseño térmico se encontró que si existe combustión en los productos esta siempre genera anhídrido carbónico y vapor de agua, estas son moléculas polares que emiten y absorben energía por el amplio margen de temperatura existente, esto se conoce como radiación gaseosa, ésta genera un flujo de calor radiante de un gas a una superficie contigua.

- En el análisis del diseño térmico no se considero las piezas que ingresan al horno, debido a que no se puede generalizar la geometría de pieza, que a su vez no permite definir la geometría del flujo dando lugar a que no se puede determinar los parámetros básicos para analizar la convección generada alrededor de la pieza.
- En el interior del horno existe radiación entre superficies, entre las paredes del horno y las piezas, analizando las propiedades de los materiales utilizados en la construcción del prototipo se obtuvo que el acero inoxidable o el galvanizado tiene gran reflectividad y poca absorptividad, al contrario la pintura sobre la pieza hace que esta adquiera gran absorptividad y poca reflectividad. Con estas características se puede afirmar que la pintura ayuda a atraer el calor hacia la pieza.
- La construcción de los prototipos se realizó con tecnología básica de un taller de metal mecánica. Al costo del proyecto \$5400 hay que añadirle \$2000 que sería el valor de la automatización del control del horno; el valor presupuestado por fabricantes para este tipo de horno es de \$12000, comparando los dos valores definitivamente resulta rentable la construcción del proyecto.
- Después de realizar las pruebas de funcionamiento se pudo determinar que el tiempo total de curado es de 20 minutos, con los quemadores encendidos. Se produjo un desfase de 2 minutos con respecto al tiempo programado en los cálculos; después de realizar una inspección se encontró que existían fugas en las puertas del horno. El consumo de gas se estima en dos tanques de 15kg en un mes de trabajo.
- Entre los principales problemas que se puede encontrar si falla algún paso del proceso de pintado están los siguientes:

- Bajo cubrimiento se debe a: deficiente aterramiento, patrón de aplicación incorrecto, mala ubicación de la pistola, incorrecto suministro de pintura, voltaje muy alto o bajo.
 - Baja resistencia al impacto y flexibilidad se produce por: pobre limpieza y pretratamiento, pintura mal curada, espesor de película de pintura muy alto.
 - Baja dureza se debe a que la pintura no está curada completamente.
 - Mala adherencia se debe a: deficiente pretratamiento del sustrato, pintura no curada totalmente, pintura muy gruesa.
 - Baja resistencia a la corrosión se produce por: un deficiente pretratamiento del sustrato, deficiente curado de pintura.
- Después de realizar este proyecto se concluye que la tecnología siempre será una herramienta, para acortar distancias y tiempos. Sin embargo, es determinante en la medida en que quienes no la adoptan se marginan.
 - Desde el punto de vista netamente económico, los ejecutores de este proyecto se han podido dar cuenta que antes que impulsar funciones operativas de manufactura e industrialización, se debe dar prioridad a la innovación, que quiere decir aprender a cubrir necesidades insatisfechas con creatividad.
 - Un emprendedor que quiere desarrollar un negocio en el área industrial debe poseer el conocimiento suficiente con respecto a su área de trabajo. Un negocio exitoso en esta área se diferencia de otros en ofrecer una forma fácil de resolver problemas con la tecnología disponible.

8.2. Recomendaciones

- Antes de tomar la decisión de implementar cualquier sistema tecnológico, hay que realizar un estudio de factibilidad tanto económico como físico; en base al cual se pueda concluir si es rentable asumir el costo de dicha inversión.

- Cuando se trabaja con pintura en polvo es necesario que la cabina esté perfectamente conectada a tierra, de esa forma es más fácil cerrar el circuito; de preferencia se debe aterrizar el elemento donde se cuelgan las piezas.
- Para evitar problemas con el recuperador es mejor tener conexión trifásica, ésta permite seleccionar un ventilador industrial totalmente sellado por el que el polvo no puede ingresar y afectar al motor.
- Para que el mantenimiento de los quemadores sea más fácil se recomienda utilizar roscas en las uniones de los componentes, para que éstos se puedan desmontar y ser limpiados o reemplazados fácilmente.
- Para poder pintar piezas pequeñas es preferible utilizar un carro transportador que pueda ingresar al horno fácilmente, ya que pintando una por una se pierde tiempo y se pueden producir daños en las piezas.
- Si se desea emprender un negocio exitoso en la industria, no solo se debe poseer la información necesaria sino saber como usarla, por eso se recomienda que los emprendedores migren de la sociedad del conocimiento a la sociedad de la innovación.