

Universidad Internacional del Ecuador



Facultad de Ingeniería Mecánica Automotriz

Tesis de grado para la obtención del Título de Ingeniería Mecánica Automotriz

Diseño y Construcción de un horno para el secado de partes plásticas automotrices por medio de colectores solares planos de doble cubierta semitransparente con placa absorbidora corrugada.

Augusto Javier Guña Cruz

Andrés Fabián Altamirano Caicedo

Director: Ing. Gorky Reyes

Codirector: Msc. Andrés Castillo

Quito, Enero de 2016

CERTIFICACIÓN

Nosotros, AUGUSTO JAVIER GUAÑA CRUZ y ANDRÉS FABIÁN ALTAMIRANO CAICEDO, declaro bajo juramento, que el trabajo aquí descrito es de nuestra autoría; que no ha sido presentado anteriormente para ningún grado o calificación profesional y que se ha consultado la bibliografía detallada.

Cedo nuestros derechos de propiedad intelectual a la Universidad Internacional del Ecuador, para que sea publicado y divulgado en internet, según lo establecido en la Ley de Propiedad Intelectual, reglamento y leyes.



Augusto J. Guaña Cruz

C.I: 172443280-0



Andrés F. Altamirano Caicedo

C.I:180471942-3

Yo, Gorky Reyes, certifico que conozco a los autores del presente trabajo siendo él responsable exclusivo tanto de su originalidad y autenticidad, como de su contenido.

Firma del Director Técnico de Trabajo de Grado

Ing. Gorky Reyes.

DEDICATORIA

A dios por ser el pilar fundamental en todas las etapas de mi vida, por guiarnos y bendecirnos a toda mi familia.

A mis padres quienes han fomentado e inculcado los valores para ser una persona de bien, por su apoyo incondicional y sacrificio en mis estudios, a mis hermanos que siempre me han apoyado y respaldado en todos los momentos de mi vida y un agradecimiento fraterno a todos mis familiares y amigos.

Augusto Javier Guaña Cruz

A mi Dios todo poderoso, que me dio unos excelentes padres Fabián Altamirano y Marylene Caicedo, que siempre fueron mi referencia en la vida con sus ejemplos, por darme la oportunidad de cumplir con mis metas y aspiraciones personales y académicas.

A mis familiares, amigos que de una u otra forma fueron de gran ayuda para que yo pueda alcanzar este logro personal.

Andrés Fabián Altamirano Caicedo

AGRADECIMIENTO

Un agradecimiento al Ing. Andrés Gavilanes, por su amistad y gran ayuda la cual está reflejada en el presente trabajo mi más profundo agradecimiento.

Al Ing. Gorky Reyes, por su ayuda y amistad incondicional, con la cual permitirá la culminación del presente trabajo.

A la Universidad Internacional del Ecuador por contribuir en nuestro desarrollo profesional con una educación de calidad.

ÍNDICE

CAPITULO I	1
1. Introducción	1
1.1 Planteamiento, formulación y sistematización del proyecto.....	1
Capitulo II.....	4
2. Marco teórico	4
2.1 Tipos de transferencia de calor	4
2.1.1 Conducción.	4
2.1.2 Transmisión de calor por convección	5
2.1.3 Radiación solar.....	7
2.1.4 Tipos de Radiaciones	8
2.2 Colectores solares planos.....	9
2.2.1 Colector solar plano con superficie absoluta descubierta	11
2.2.2 Colector solar plano con superficie absorbente cubierta por una lámina trasparente 11	
2.2.3 Colector solar plano con superficie absorbente suspendida	12
2.2.4 Colector almacenador de energía solar con cubierta transparente.....	13
2.3 Secado	13
2.3.1 Secado por infrarrojos.....	15
2.3.2 Secador por aire forzado (sistema Venturi)	16
2.4 Cabinas.....	17
2.5 Tipos de plásticos automotrices	19
2.5.1 Tipos de plásticos:.....	19
2.6 Tipos de barniz.....	21
CAPÍTULO III.....	24

3.	Diseño y cálculo.....	24
3.1	Factores incidentes sobre el colector solar.....	24
3.1.1	Direccionamiento y ángulo del colector.	24
3.1.2	Ubicación del colector.	25
3.2	Métodos para el Análisis del recurso solar en la ciudad de Quito.	26
3.2.1	Método de Armstrong Page	26
3.2.2	Método IEPALA.....	29
3.2.3	Tablas del INAMHI.	33
3.4	Diseño térmico y neumático de la cabina	36
3.4.1	Parámetros de diseño	36
3.4.1.1	Dimensiones:.....	36
3.4.1.2	Tipo de cabina.....	37
3.4.1.3	Flujo de aire	38
3.4.1.4	Velocidad de aire.	38
3.4.1.5	Temperatura.	38
3.4.1.6	Recirculamiento del aire.	38
3.4.2	Cálculo del caudal y flujo másico de aire necesario	39
3.4.3	Dimensionamiento de los ductos	41
3.4.3.1	Dimensionamiento del conducto de admisión y recirculación de aire	41
3.4.4	Cálculo de la energía requerida.....	42
3.4.4.1	Calor sensible Q1	42
3.4.5	Calor por convección Q2	43
3.4.6	Calor perdido por las paredes de la cabina Q3	47
3.4.7	Calor perdido por los ductos de conexión Q4	49
3.5	Dimensionamiento de los colectores.	52

3.5.1	Calor captado por los colectores.	53
3.5.2	Calor captado por las placas de vidrio	54
3.5.3	Transferencia de calor entre las placas absorbedoras.	55
3.6	Selección del ventilador	57
3.7	Selección de perfil de estructura de soporte	57
3.7.1	Horno automotriz.	57
3.7.2	Colector solar	59
Capitulo IV		61
4.	Construcción de un sistema de secado con colectores solares planos de doble cubierta semitransparente con placa absorbidora corrugada.....	61
4.1	Levantamiento técnico de nuestro equipo.....	62
4.2	Horno de pintura para piezas plásticas.....	63
4.2.1	Rejilla	64
4.2.2	Puerta	64
4.2.3	Acoples de admisión	65
4.2.4	Aislante térmico	66
4.2.5	Diagrama de la estructura del horno.	69
4.2.6	Estructura de soporte del horno.	70
4.3	Sistema solar térmico de baja temperatura	71
4.3.1	Cubierta superior.....	72
4.3.2	Placa absorbidora superior e inferior	73
4.3.3	Tuberías de circulación internas.	75
4.3.4	Bases del colector	76
4.3.5	Diagrama de la estructura del colector.....	79
4.3.6	Estructura de soporte del colector.....	79

4.3.7	Diagrama de estructura de soporte del colector.....	80
4.4	Sistemas de suministro de aire.....	81
capitulo V.....		83
5.	Pruebas de funcionamiento.....	83
5.1	Pruebas en el sistema de admisión y de recirculación del aire.....	83
5.2	Pruebas del horno de pintura.....	84
5.3	Pruebas de secado del horno de pintura.....	86
5.3.1	Resultados de pruebas de secado.....	88
5.4	Pruebas de pintura.....	88
5.4.1	Prueba de adherencia Cross-Cut (Crosshatch).....	88
5.4.2	Prueba de resistencia al disolvente.....	90
5.5	Análisis de resultados de las pruebas.....	92
5.6	Costo del proyecto.....	95
5.6.1	Costos directos.....	95
5.6.2	Costo de Materia Prima.....	96
5.6.3	Costo de materia e Insumos.....	97
5.6.4	Costo de energía.....	98
5.6.5	Gastos de mano de Obra.....	99
5.6.6	Costo Directo Total.....	100
5.6.7	Costo Indirectos.....	100
5.6.7.1	Costos de investigación.....	100
5.7	Costo Total Indirecto.....	101
5.7.1	Costo Total.....	101
conclusiones:.....		102
Recomendaciones:.....		104

BIBLIOGRAFIA 105

Anexos **¡Error! Marcador no definido.**

INDICE DE TABLAS

Tabla 3.1	Factor de reflectancia según el valor Beta	25
Tabla 3.2	Factores climático y vegetación.....	26
Tabla 3.3	Hoja de Cálculo Amstrong page.....	27
Tabla 3.4	Radiación Solar Total por el Método de Amstrong Page	27
Tabla 3.5	Coefficiente de B basado en la latitud y el valor de Beta	30
Tabla 3.6	Aplicación del Método IEPALA	30
Tabla 3.7	Aplicación IEPALA.....	31
Tabla 3.8	Radiación Solar Total del Método IEPALA.....	31
Tabla 3.9	Radiación Solar Total del Método INAMHI	33
Tabla 3.10	Modelos de automóviles más vendidos en el Ecuador	36
Tabla 3.11	Promedio de ancho en automóviles más vendidos en el Ecuador	37
Tabla 5.1	Resultado de la prueba de admisión y recirculación del aire.....	84
Tabla 5.2	Resultado prueba horno de pintura basados en el tipo de clima.....	86
Tabla 5.3	Pruebas de secado horno de pintura de piezas plástica.....	88
Tabla 5.4	Análisis de resultados de las pruebas.....	92
Tabla 5.5	Revisión de equipo para su correcto funcionamiento.....	94
Tabla 5.6	Costo de Materia Prima	96
Tabla 5.7	Costo de materiales e Insumos.....	97
Tabla 5.8	Maquinaria, Equipos y Herramientas	98
Tabla 5.9	Costo Mano de Obra	99
Tabla 5.10	Costo Directo Total.....	100
Tabla 5.11	Costos de Investigación	101
Tabla 5.12	Costo Total Indirecto	101
Tabla 5.13	Costo Total.....	101

INDICE DE FIGURAS

Figura 2.1 Transferencia de calor por convección térmica.....	4
Figura 2.2 Proceso de convección del aire	6
Figura 2.3 Tipos de convección.....	7
Figura 2.4 Interacción de la radiación solar con la atmósfera	8
Figura 2.5 Colectores solares planos para calentar el aire.....	10
Figura 2.6 Colector solar plano con superficie absorbadora descubierta	11
Figura 2.7 Colector solar plano con superficie absorbente cubierta por una lámina transparente .	12
Figura 2.8 Colector solar plano con superficie absorbente suspendida.....	12
Figura 2.9 Colector almacenador de energía solar	13
Figura 2.10 Cabina en fase de pintado.....	14
Figura 2.11 Cabina en fase de secado.....	14
Figura. 2.12 Efecto Venturi	15
Figura 2.13 Secado de áreas pequeñas mediante lámpara de infrarrojos	16
Figura 2.14 Secadores de tipo Venturi instaladas en el techo de cabinas.....	17
Figura 2.15 Cabina de pintura automotriz	18
Figura 3.1 Radiación Solar Total del Método Amstrong Page.....	29
Figura 3.2 Radiación Solar Total del Método IEPALA	32
Figura 3.3 Radiación Solar Total del Método del INAMHI.....	34
Figura 3.4 Diagrama de la curva característica del colector plano.....	35
Figura 3.5 Cabina de flujo laminar horizontal.....	38
Figura 3.6 Diagrama de resistencias.....	47
Figura 3.7 Estructura ducto.....	50
Figura 3.8 Dimensiones Colector Solar.....	53
Figura 3.9 Energía solar incidente	54

Figura 3.10	Desplazamientos máximos y mínimos estructura del horno automotriz.....	58
Figura 3.11	Factor de seguridad del elemento más crítico	58
Figura 3.12	Tensión máxima y mínima.....	59
Figura 3.13	Desplazamiento máximos y mínimos; estructura del colector solar	59
Figura 3.14	Factor de seguridad del elemento más crítico	60
Figura 3.15	Tensión máxima y mínima.....	60
Figura 4.1	Sistema de secado mediante el uso de paneles solares.....	61
Figura 4.2	Partes constructivas del sistema de secado de partes plásticas automotrices.....	62
Figura 4.3	Horno de pintura de piezas plásticas	63
Figura 4.4	Rejilla para el secado de piezas plásticas	64
Figura 4.5	Puerta del horno de pintura para secado de piezas plásticas	65
Figura 4.6	Acoples de admisión del aire del horno de piezas plásticas.....	65
Figura 4.7	Acoples de escape del aire del horno de piezas plásticas.....	66
Figura 4.10	Aislante térmico Poly espuma.....	67
Figura 4.11	Proceso de Aislamiento del Horno de pintura.....	68
Figura 4.12	Diagrama de ensamblaje del Horno Automotriz.....	69
Figura 4.8	Estructura de soporte para el horno de pintura de piezas plásticas.	70
Figura 4.9	Diagrama de ensamblaje estructura de soporte del horno automotriz.	70
Figura 4.13	Colectores solares planos conectados en serie	71
Figura 4.14	Partes del colector solar plano de doble cubierta con placa absorbidora corrugada	72
Figura 4.15	Dimensiones de la cubierta superior e inferior.....	72
Figura 4.16	Proceso de construcción de lámina corrugada del colector.....	74
Figura 4.17	Placas absorbedoras.....	74
Figura 4.18	Corte de la tubería	75
Figura 4.19	Corte en la tubería para acoplamiento con las placas corrugadas	76

Figura 4.20 Conjunto de placas corrugadas con tubo de entrada y salida de aire montadas sobre base izquierda del colector.....	77
Figura 4.21 Conjunto de placas corrugadas con tubo de entrada y salida de aire montadas sobre todas las bases del colector.	77
Figura 4.22 Ubicación de la poly espuma en el tol.....	78
Figura 4.23 Aseguramiento de la poly espuma a la placa de tol	78
Figura 4.24 Diagrama de ensamblaje del colector solar	79
Figura 4.25 Estructura de soporte del colector solar plano	80
Figura 4.26 Diagrama de ensamblaje de la estructura de soporte del colector solar.....	80
Figura 4.27 Ventilador de aire	81
Figura 4.28 Caja del ventilador vista superior.....	82
Figura 5.1 Valores de Temperatura ambiente y Humedad relativa.	84
Figura 5.2 Velocidad del aire en la salida del colector.....	85
Figura 5.3 Temperatura de salida del aire en el colector	85
Figura 5.4 Temperatura al interior de la cabina.....	86
Figura 5.5 Pieza plástica terminada	87
Figura 5.6 Prueba de adherencia Cross-Cut	89
Figura 5.7 Resultado de la prueba de adherencia Cross-Cut.....	90
Figura 5.8 Prueba del disolvente.	91
Figura 5.9 Resultado de la prueba del disolvente.....	91

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ec [2.1] Cálculo de potencia transmitida.....	5
Ec[2.2] Potencia térmica.....	6
Ec[2.3] Radiación Global	9
Ec [3.1] Cálculo Irradiación Método IEPALA.....	29
Ec [3.2] Volumen interior de la cabina.....	39
Ec[3.3] Caudal con el área requerida.....	40
Ec[3.4] Densidad Promedio	40
Ec[3.5] Flujo másico.....	40
Ec [3.6] Dimensionamiento conductos.....	41
Ec [3.7]Área requerida conductos	41
Ec [3.8]Área requerida conductos	41
Ec [3.9]Calor sensible Q_1	43
Ec [3.10] Número de Reynolds.....	43
Ec [3.11] Número de Reynolds.....	44
Ec [3.12] Flujo de calor.	45
Ec [3.13] Coeficiente de Convección.	45
Ec [3.14] Número de Nusselt.....	46
Ec [3.13] Coeficiente de Convección.	46
Ec [3.12] Flujo de calor	46
Ec [3.15] Resistencia al flujo de calor	47
Ec [3.16] Resistencia por convección	48
Ec [3.17] Resistencia total	49
Ec [3.17] Flujo de Calor Q_3	49
Ec [3.18] Resistencia por convección Conductos.....	50

Ec [3.19] Resistencia por conducción Conductos	51
Ec [3.20] Resistencia por conducción Aislamiento Espuma	51
Ec [3.21] Resistencia total ducto, aislamiento	51
Ec [3.22] Calor perdido por los ductos de conexión Q_4	52
Ec [3.23] Calor perdido total.	52
Ec [3.24] Calor Captado Colectores	53
Ec [3.25] Cálculo Convección	56

RESUMEN

El aprovechamiento de la energía renovable que lleve a mejorar la calidad de vida y a cuidar del medio ambiente, fomenta el desarrollo de nuevas tecnologías. Una de éstas es, precisamente, el aprovechamiento de la energía solar. El Ecuador, gracias a su posición geográfica, cuenta con este valioso recurso que cada vez toma más importancia en nuestro país.

La idea de este proyecto es el aprovechamiento de la energía que brinda el sol.

Esta energía es útil para calentar el aire que requiere un horno de pintura de piezas plásticas automotrices en el proceso de secado. Se logra entonces nuestro objetivo, que es la reducción en el uso de energía no renovable y, por lo tanto, se genera un ahorro económico.

Para aprovechar de mejor manera la energía en el horno y evitar pérdida de temperatura, nuestro equipo cuenta con aislamiento térmico de Poly espuma de 1.27 cm. de espesor. El aislamiento se encuentra en nuestro horno de piezas plásticas y en las paredes de los dos colectores solares. En los codos y uniones de este sistema utilizamos lana de vidrio con revestimiento de aluminio por su facilidad a la hora de acoplarse.

Para calcular la energía que requiere un horno de pintura de $0.95m^3$ a una temperatura de $50^{\circ}C$ utilizamos el método de Armstrong Page tomando el mes más pobre en cuanto a emisión de rayos de sol para determinar la radiación solar requerida en nuestro proyecto. La dimensión del área del colector solar es de $4.3 m^2$, por lo cual, decidimos dividir esta superficie en dos partes por motivos de construcción. Cada una tiene una dimensión de $2.15m^2$.

ABSTRACT

The development of renewable energy to improve the quality of life and to care for the environment, promotes the development of new technologies. One of these is, precisely, the harnessing of solar energy. Ecuador, thanks to its geographical position, counts on this valuable resource which increasingly takes more importance in our country.

The idea of this project is the utilization of the energy that the sun provides.

This energy is useful to heat the air that a paint oven of automotive plastic parts requires in the drying process. Then, our goal is achieved, and this is the reduction in the use of non-renewable energy and, therefore, financial savings are generated.

For better use of energy in the oven and in order to avoid loss of temperature, our team counts on thermal insulation of Poly foam (polyethylene foam) of 1.27 cm thick. The insulation is in our oven of plastic parts and on the walls of the two solar collectors. We use glass wool aluminum-coated in the PVC elbows and connections of this system due to its facility to fit parts together.

To calculate the energy that a paint oven of 0.95m^3 to a temperature of $50\text{ }^\circ\text{C}$ requires, we use the method of Armstrong Page, considering the poorest month in terms of emission of rays of the sun to determine the solar radiation required in our project. The size of the area of the solar collector is 4.3 m^2 , that's why, we have decided to divide this surface into two parts for reasons of construction. Each of them has a dimension of 2.15m^2 .

CAPITULO I

1. Introducción

1.1 Planteamiento, formulación y sistematización del proyecto

El aprovechamiento de las energías renovables, para mejorar la calidad de vida y cuidado del medio ambiente nos llevan a fomentar el desarrollo de nuevas tecnologías, una de estas se basa en aprovechar la energía solar. El Ecuador gracias a su posición geográfica cuenta con este recurso valioso y cada vez toma fuerza en nuestro país.

La idea de este proyecto es el aprovechamiento de la energía que brindada el sol, para calentar el aire que requiere un horno de pintura de piezas plásticas automotrices en el proceso de secado, logrando nuestro objetivo, que son la reducción de energías no renovables y por lo tanto generando un ahorro económico.

Para aprovechar de mejor manera la energía térmica de nuestro sistema y evitar pérdidas de temperatura, nuestro equipo cuenta con aislamiento térmica de Poly espuma de 1.27 cm, en el horno de piezas plásticas y en las paredes de los dos colectores solares, en los codos y uniones de nuestro sistema, se utilizará lana de vidrio con revestimiento de aluminio por su facilidad a la hora de acoplarse.

Para calcular la energía que requiere un horno de pintura de $0.95m^3$ a una temperatura de $50^{\circ}C$ se utilizará el método de Armstrong Page tomando el mes más pobre para determinar la radiación solar requerida en nuestro proyecto. Las dimensiones del área del colector solar es de $4.3 m^2$ por lo cual se dividió en dos por motivos de construcción cada una tendrá una dimensión de $2.1m^2$.

Diseñar y construir un sistema de secado para un horno de pintura para partes plásticas automotrices por medio de colectores solares planos de doble cubierta semitransparente.

Dentro del proyecto se plantea cumplir con los siguientes objetivos específicos

- Conocer a cerca de los diferentes tipos de transferencia de calor, y colectores solares.
- Determinar las características funcionales para el sistema de secado con energía solar.
- Determinar materiales, insumos y dimensiones en el sistema de secado de partes plásticas automotrices.

En el alcance para el presente proyecto de diseño y construcción se determinará los parámetros que se requiere en la construcción de un sistema de secado por medio de colectores solares planos, el cual aprovechará el aire caliente para calentar un horno de piezas plásticas. A continuación se ha planteado la siguiente pregunta directriz ¿Cuáles serían los parámetros técnicos de construcción para un horno de pintura, en base a un estudio de radiación solar que permita el funcionamiento de los colectores solares como fuente de energía térmica?

Con este fin, es necesario realizar el dimensionamiento, diseño y construcción de los colectores y horno. Luego, realizar la instrumentación del sistema. Posteriormente se realizarán las pruebas experimentales para el secado con el propósito de realizar el levantamiento de datos que permitirán evaluar termodinámicamente el comportamiento de esta nueva tecnología de secado mediante la radiación solar térmica a través de parámetros tales como: temperatura de proceso, tiempo de secado, flujo de aire.

En la actualidad el uso e implementación de hornos de pintura para partes plásticas automotrices tanto en talleres particulares como en talleres de concesionarios se ha convertido en algo muy usual y necesario en vista del gran crecimiento del parque automotor en la ciudad de Quito.

El diseño de un horno de pintura para partes plásticas automotrices que funcione por medio de colectores solares planos de doble cubierta semitransparente, responde a la necesidad de tener un menor impacto ambiental, ya que la energía a utilizarse no es contaminante y es renovable.

Debido a la importancia de aplicar nuevos sistemas no contaminantes, con la implantación de este sistema se evitará el uso de motores de combustión interna o quemadores de gas.

No se requiere de mano de obra ni herramientas especializadas, ya que se utilizará elementos correspondientes a carpintería metálica para la construcción del presente proyecto.

Evita utilizar una cabina de gran tamaño cuando se va a trabajar en partes pequeñas generando un ahorro de espacio, tiempo y por ende de dinero.

CAPITULO II

2. Marco teórico

2.1 Tipos de transferencia de calor

2.1.1 Conducción.

Es la transmisión de calor a cualquier cuerpo solido por conducción térmica. Esta se da cuando hay una diferencia de temperatura entre las caras y una superficie, en la cual conducirá una corriente térmica que transportara calor de la cara más caliente a la más fría

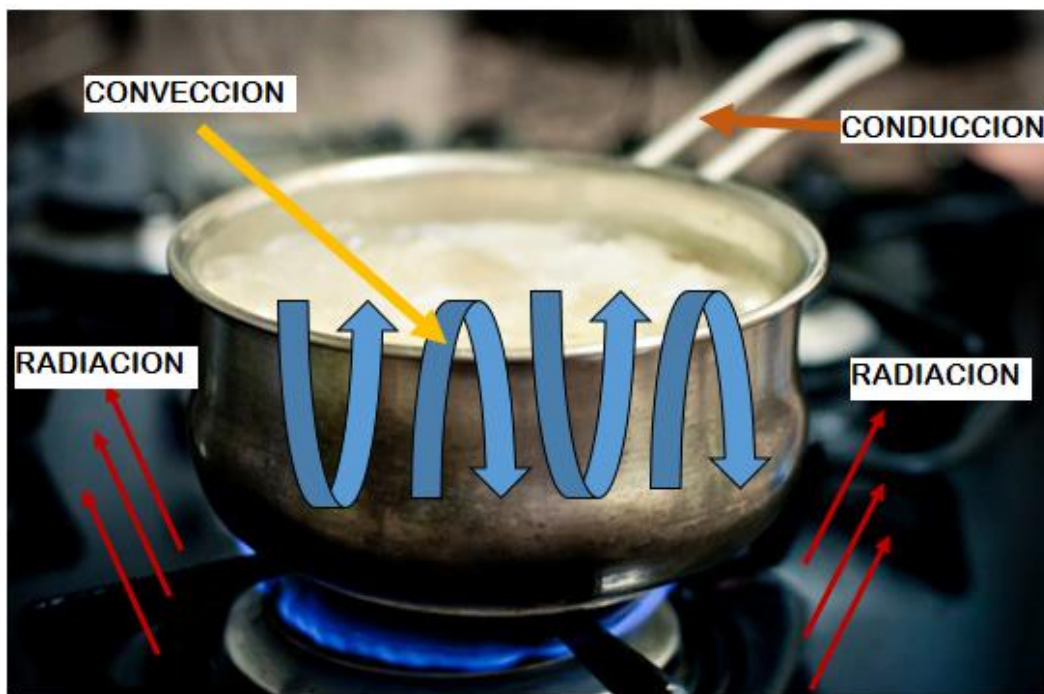


Figura 2.1 Transferencia de calor por convección térmica
Fuente: Guaña, Altamirano, fotografía tomada agosto del 2015.

El coeficiente de transmisión de calor se representa con la letra lambda λ y tiene por unidades $W/m\ ^\circ C$ e indica la potencia en W transmitida a través de una pared con espesor de $1m$.

Los cuerpos de conducción se clasifican en 3 grupos por su facilidad de conducción térmica:

Buenos conductores: los metales comprendidos entre 400 y $10\ W/m\ ^\circ C$.

Medianos conductores: materiales de construcción con λ entre 2 y $0,1\ W/m\ ^\circ C$.

Malos conductores: aislantes térmicos con λ y 0,01 W/m °C con materiales λ de entre 0,2.

Para establecer la potencia perdida por transmisión de calor en un cuerpo sólido, aparte de conocer su coeficiente de transmisión de calor λ , también es necesario saber el espesor y la diferencia de temperaturas entre sus dos caras opuestas.

El cálculo de la potencia transmitida es igual a la superficie y a la diferencia de temperaturas (ΔT), e inversamente proporcional al espesor del material. La fórmula que se aplica para el cálculo es la siguiente:

$$P = \frac{\lambda * S * \Delta T}{e}$$

Ec [2.1] Cálculo de potencia transmitida.

Donde:

λ = coeficiente de transmisión de calor.

S= superficie de intercambio

ΔT = la diferencia de temperatura entre la pared y el fluido a una cierta distancia de la pared

e= espesor del material.

2.1.2 Transmisión de calor por convección

“Consiste en la transferencia de calor entre un sólido y un fluido que puede ser un líquido o un gas. Como las moléculas del fluido no están fijas, éstas se mueven, llevándose consigo el calor, bien sea por efecto de la gravedad (el aire caliente sube, el frío baja) como por efecto de un sistema mecánico” (Ribot Martín, 2015), como puede ser un ventilador o una bomba hidráulica.

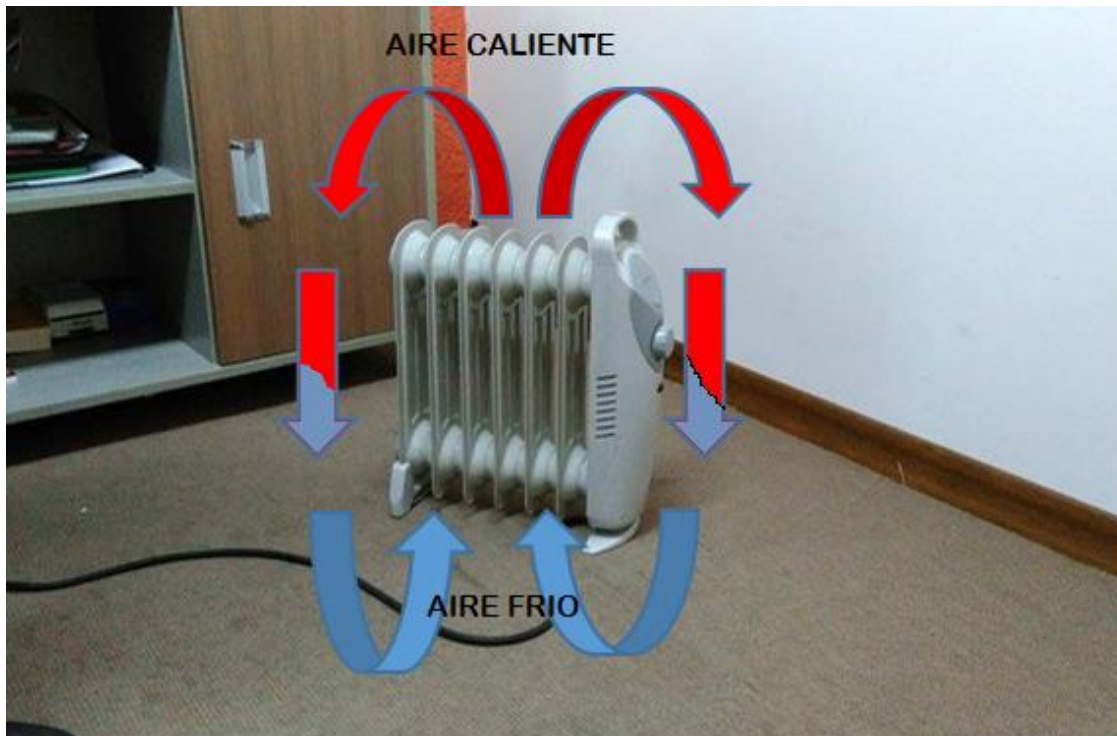


Figura 2.2 Proceso de convección del aire
Fuente: Guaña, Altamirano, fotografía tomada agosto del 2015.

La fórmula matemática para el cálculo de potencia térmica transmitida por convección:

$$P = h * S * \Delta T$$

Ec[2.2] Potencia térmica

Donde:

h = coeficiente de transmisión de calor por convección

S = la superficie de intercambio

ΔT = la diferencia de temperatura entre la pared y el fluido a una cierta distancia de la pared

Existen dos tipos de convección en este caso el fluido será aire y se distinguirá los siguientes:

Convección natural: Cuando ningún dispositivo mecánico ayuda con el movimiento del aire.

Convección forzada: Cuando el movimiento del aire se ve favorecido por ventiladores o turbinas

bien hay viento en el caso de paredes exteriores. El valor del coeficiente de transmisión de calor

(h) varía mucho en función de la velocidad del aire, de la rugosidad superficial, etc.



Figura 2.3 Tipos de convección

Fuente: Guaña, Altamirano, fotografía tomada agosto del 2015.

2.1.3 Radiación solar

“La radiación solar es la cantidad de energía que se toma directamente del sol en forma de señales electromagnéticas de diferentes frecuencias. Éstas pueden ser: luz visible, infrarrojo y luz ultravioleta.

La luz visible son las radiaciones correspondientes a $0,4 \mu\text{m}$ y $0,7 \mu\text{m}$ y pueden ser detectados por el ojo humano.” (Tonda, 2011)

Existen radiaciones establecida en la parte infrarroja del espectro terrestre de la cual una parte es ultravioleta. Esta radiación es medida con un instrumento denominado pirómetro.

En función de cómo reciben la radiación solar los objetos situados en la superficie terrestre, estos tipos de radiación se pueden diferenciarse.

2.1.4 Tipos de Radiaciones

Los tipos de radiación son como se indica en la figura 2.4

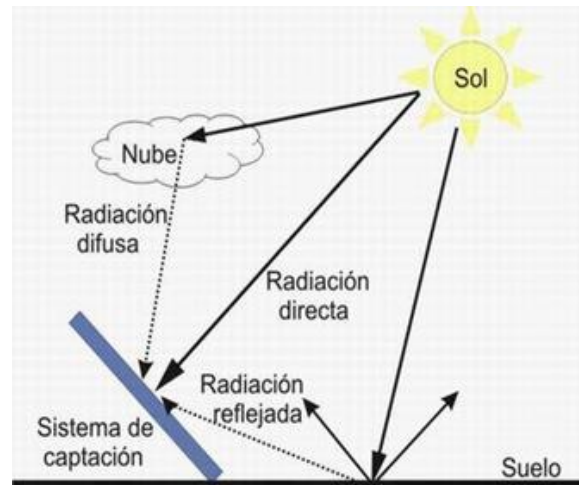


Figura 2.4 Interacción de la radiación solar con la atmósfera

Fuente: http://www.arquitects.com/2010/11/arquitectura-sostenible-conceptos_12.html

a) Radiación directa

Llega directamente del sol sin alterar su dirección. Se caracteriza por proyectar una sombra en los objetos opacos que la interceptan.

b) Radiación Difusa

Radiación que atraviesa la atmósfera y es reflejada por las nubes o absorbida por estas. Estas van en todas direcciones por eso se denomina difusa, como consecuencia de las reflexiones y absorciones, no solo las nubes son factores de difusión sino también las partículas de polvo atmosférico, montañas, etc.

c) Radiación Reflejada

Es aquella refractada por la superficie terrestre. La cantidad de radiación depende del coeficiente de reflexión sobre la superficie. Por consiguiente, las superficies verticales son las que más radiación reflejada reciben.

d) Radiación Global

Es la radiación total, suma de las tres radiaciones mencionadas (sumatoria de la radiación directa, difusa y reflejada).

$$H_g = H_b + H_d + H_r$$

Ec[2.3] Radiación Global

En donde:

H_g= radiación global

H_b= radiación directa

H_d= radiación difusa

H_r= reflejada o albedo

También, el valor de la radiación global depende de la posición relativa del sol respecto a las instalaciones, está además dependerá del período en el año, del montaje de las instalaciones sobre la superficie terrestre, de la orientación de los colectores y del estado atmosférico siendo este el que define notablemente tal radiación ya que el comportamiento de la atmósfera es altamente aleatorio.

Otra medida importante son las horas de sol. A este tiempo se lo llama parámetro de insolación que alcanza en la superficie terrestre en un área determinada. El equipo con el que se puede medir se llama heliógrafo y consiste en una esfera de cristal que quema una plantilla de papel. Al transcurrir el día, la cantidad de quemaduras sobre el papel en el rango dado, determina la cantidad de horas en dicho día en donde hubo mayor insolación.

2.2 Colectores solares planos

“El colector solar es el elemento más importante de todos los sistemas para el uso directo de la energía solar, el cual convierte la radiación solar en energía que en este caso calentará el aire(Dalpasquale, 1991).” Posee como distintivo esencial el que son más fáciles de analizar y son mucho más sencillos de construir.

El funcionamiento del colector solar plano (Figura 2.4), que se utiliza para pequeños incrementos de temperatura del aire, consiste en atrapar la radiación solar que incide en la superficie externa del colector.

Está hecho de un material transparente, el cual puede ser de vidrio o de plástico. La radiación solar que traspasa la película transparente del colector incurre en una superficie interna. El flujo de aire calentado por contacto con esta superficie se aprovechará para el secado.

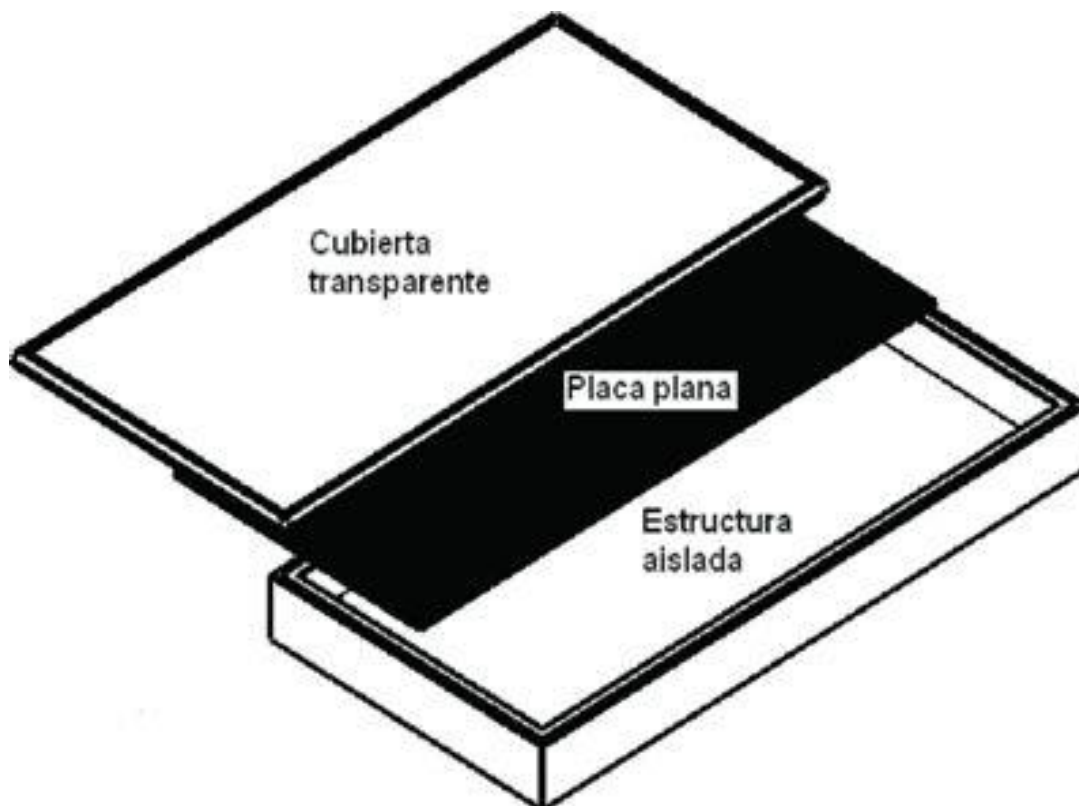


Figura 2.5 Colectores solares planos para calentar el aire

Fuente:http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0122-34612010000100006&lng=pt&nrm=iso&tlng=es

Existen muchos tipos de colectores solares calentadores de aire, que se diferencian por su material de construcción y por su forma.

A continuación se enuncian aquellos habitualmente empleados en las técnicas de secado.

2.2.1 Colector solar plano con superficie absoluta descubierta

“El colector plano de superficie absorbente descubierta (Figura 2.6) tiene una superficie promedio descendiente, en relación con los demás colectores que existe debido a la influencia del viento” (ROSSI, 1980)



Figura 2.6 Colector solar plano con superficie absorbente descubierta

Fuente: <http://www.fao.org/docrep/x5058s/x5058s04.htm>

“El colector de este tipo logra una eficacia media del 12% con la superficie sin pintar y un 30% con la superficie pintada de negro mate. El beneficio de la superficie vertical como la de muros y silos, reviste mayor interés en las latitudes ascendientes que en las regiones próximas al ecuador (CORTES, 1983).” El valor fijo de estos colectores puede descender si no se emplea aislante térmico.

2.2.2 Colector solar plano con superficie absorbente cubierta por una lámina transparente

Los colectores solares planos con superficie absorbente cubierta por una lámina transparente (Figura 2.6) consta con una placa, generalmente metálica, recubierta por una pintura negra mate, que captura la radiación del sol y está cubierta por una película semitransparente (vidrio templado, plástico rígido o flexible), la que opera como aislante térmico en la parte superior.

“En la parte inferior del colector lleva aislante térmico como poliuretano o lana de vidrio, entre otros. La eficiencia de estos colectores es óptima, en relación con la de superficie descubierta. Esta eficiencia llega al 50% con aumentos de temperatura de hasta 10°C. Para

incrementar la temperatura hay que instalar otra superficie trasparente (genera un doble efecto invernadero), paralela a la primera lámina" (Dalpasquale, 1991).

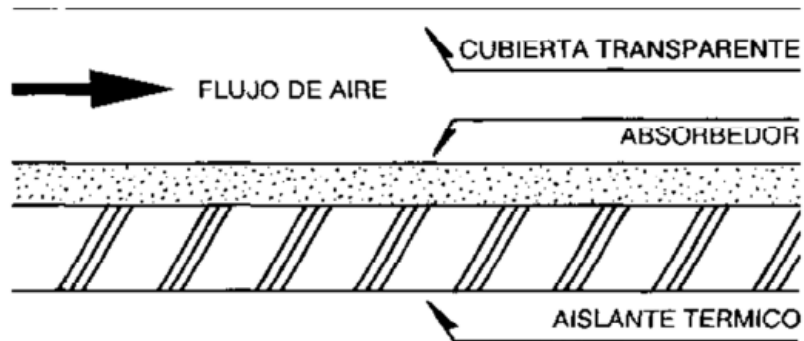


Figura 2.7 Colector solar plano con superficie absorbente cubierta por una lámina trasparente
Fuente: <http://www.fao.org/docrep/x5058s/x5058s04.htm>

2.2.3 Colector solar plano con superficie absorbente suspendida

Los colectores solares planos de superficie absorbente suspendida por el paso del flujo de aire por debajo o por los lados de la superficie absorbente (Figura 2.8). Son más eficientes que las mencionadas anteriormente y presentan un concepto opuesto en cuanto a la forma de la superficie absorbente, la que puede ser corrugada o lisa.

Un colector de superficie trasparente hecha de fibra de vidrio, malla absorbente de fibra de vidrio y superficie absorbente de metal galvanizado, registra una medida superior al 70% (STRATFORD, LAWAND, OLIVEIRA FILHO, JUTRAS, & CHAGNON, 1983)

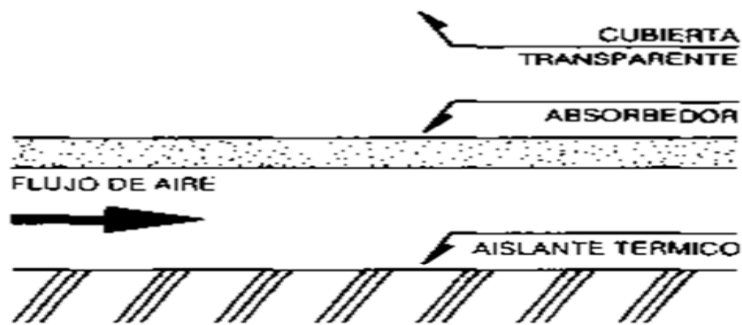


Figura 2.8 Colector solar plano con superficie absorbente suspendida
Fuente: <http://www.fao.org/docrep/x5058s/x5058s04.htm>

2.2.4 Colector almacenador de energía solar con cubierta transparente

Los colectores almacenadores de energía solar con cubierta transparente (Figura 2.9) almacenan una parte de energía solar a manera de calor sensible. Por ejemplo, en un lecho de piedras que opera como superficie absorbente, atenuando la subida brusca de temperatura y originando la estabilidad relativa de sus aumentos.

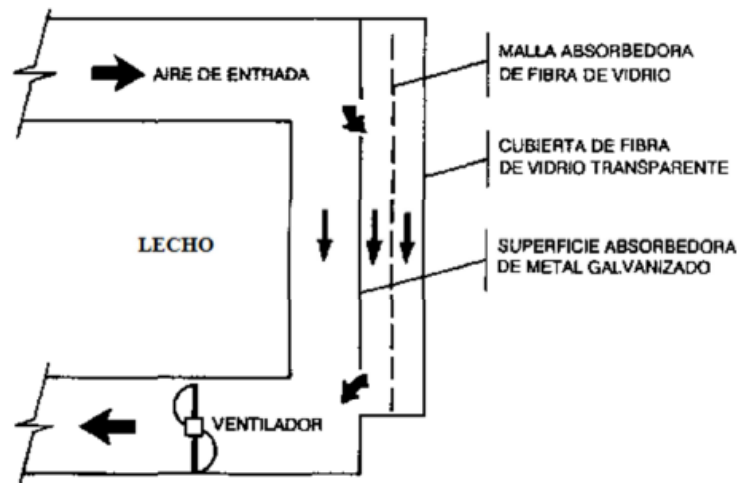


Figura 2.9 Colector almacenador de energía solar
Fuente: <http://www.fao.org/docrep/x5058s/x5058s04.htm>

“Estos colectores continúan calentando el aire durante cierto tiempo después de la puesta de sol, esto se debe a la temperatura almacenada en el lecho. La eficiencia energética del colector almacenador puede cambiar de entre el 55% y 66 %” (SANTOS, 1980).

2.3 Secado

El proceso de secado puede realizarse en la misma cabina de pintado o en una cabina de secado separadamente. “Las temperaturas de horneado varían entre los 20 y 80°C como máximo. La diferencia fundamental entre las dos fases recae en la fase de secado. El aire ingresa desde el exterior antes de ser impulsado al interior de la cabina y es recirculado a través de un intercambiador de calor en una proporción aproximada del 65% permitiendo de esta forma llegar

a la temperatura óptima de 60°C frente a la temperatura de 20°C que se alcanza durante la fase de pintado” (Bustamante Rodriguez, Castro Cardenas, & Dueñas Martinez, 2011), en la cual el aire pasa sin circulación a través del intercambiador de calor.

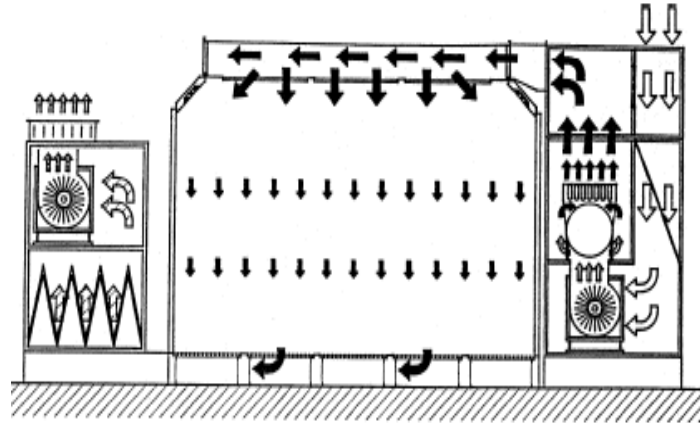


Figura 2.10 Cabina en fase de pintado

Fuente: http://www.istas.net/risctox/gestion/estructuras/_3090.pdf

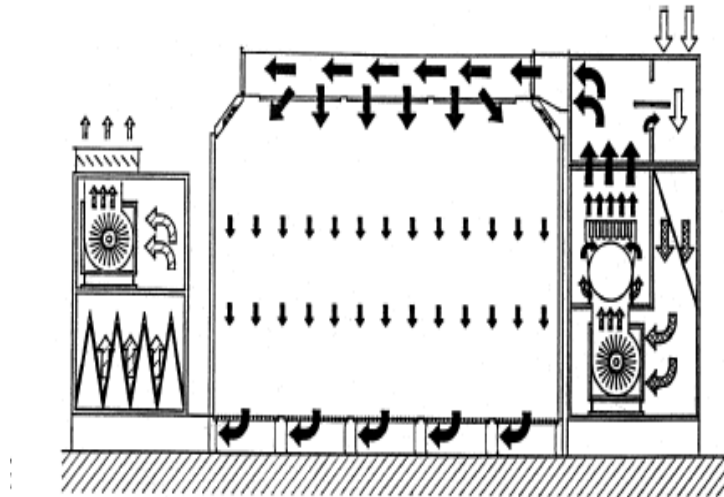


Figura 2.11 Cabina en fase de secado

Fuente: http://www.istas.net/risctox/gestion/estructuras/_3090.pdf

Existen varias alternativas para el proceso de secado. El sistema de aire forzado es una de ellas, el cual es utilizado en su gran mayoría para el secado de pinturas de base acuosa. El sistema aprovecha el efecto Venturi para proyectar grandes cantidades de aire filtrado a gran velocidad sobre la superficie pintada a secar, permitiendo de esta manera la evaporación de los diluyentes como muestra en la Figura. 2.12.

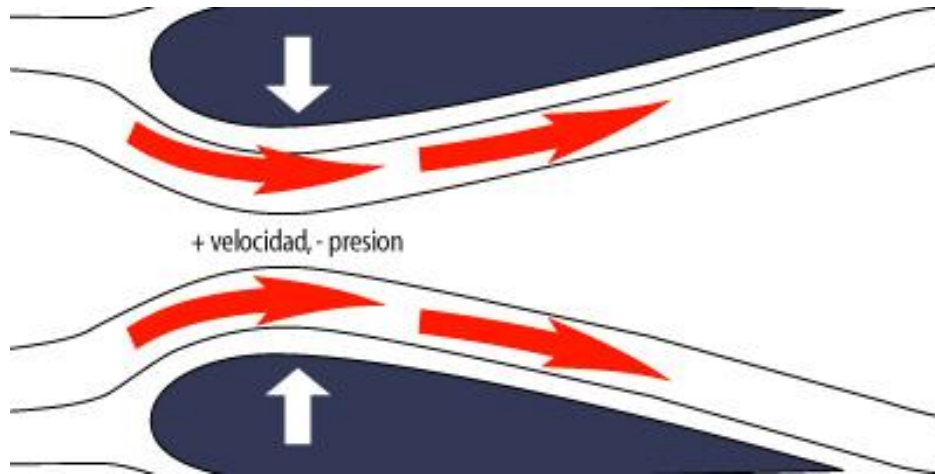


Figura. 2.12 Efecto Venturi

Fuente: <http://www.ecomextreme.com/viento.html>

2.3.1 Secado por infrarrojos

Para el secado de la pintura automotriz se necesita calor que permita evaporar los disolventes que incluyen el agua de la pintura. Con esto, se logrará un secado más rápido y de alta calidad. Estos componentes de la pintura deben reaccionar químicamente entre las dos partes para endurecer el material.

“El calor se aplica en un horno de gas, donde el endurecimiento de la pintura puede tardar hasta 45 minutos. Esta es la manera más frecuente de endurecer grandes superficies de pintura y repintados de vehículos. El uso de infrarrojos es para trabajos de pintura grandes, pero estos pueden tener ciertas delimitaciones debido a sombras y a puntos ciegos” (Jaurilaritza, 2007).

De los secadores de infrarrojo se podrá encontrar las siguientes ventajas:

No es necesario calentar todo el horno para secar ciertas áreas pequeñas de reparación, reduciendo considerablemente el costo energético.

El trabajo se realizará con mayor rapidez, lo que optimizará el rendimiento del taller de pintura automotriz.



Figura 2.13 Secado de áreas pequeñas mediante lámpara de infrarrojos
Fuente: Guaña, Altamirano, fotografía tomada agosto del 2015.

2.3.2 Secador por aire forzado (sistema Venturi)

Otro sistema de secado que se puede encontrar para el secado de pinturas, es el de chorro de aire con Venturi. Este sistema usa aire a compresión para forzar grandes cantidades de aire purificado a través de boquillas en la cabina de pintado. Mediante estas boquillas podrá dirigir el aire hacia la superficie a secar enviando grandes cantidades que aceleren la evaporación de los disolventes de pintura.

Para un trabajo de repintado que utiliza bases de pintura de agua se podrá acelerar el proceso usando salidas de aire Venturi, en un horno o a su vez en una cabina de pintura. Estos son más rápidos que usar las bases convencionales de pintura.

La base convencional necesita más tiempo de evaporización entre capas, mientras que la base de agua puede ser aplicada antes de que la primera capa esté seca. El problema en las bases de agua es que necesita un tiempo de enfriado.

Un secador de chorro con Venturi, puede hacer que la base en agua pueda secarse sin calor más rápido que la base convencional en comparación con el secado de infrarrojo que es más rápido pero exige mayor tiempo de enfriado.

Los secadores de tipo Venturi no tienen partes móviles, son fáciles de instalar y son relativamente más baratos. Además estos ventiladores se pueden encontrar en unidades montadas en el suelo para partes con áreas muy pequeñas hasta cabinas de secado industriales montadas en techos.



Figura 2.14 Secadores de tipo Venturi instaladas en el techo de cabinas
Fuente: Guaña, Altamirano, fotografía tomada agosto del 2015.

2.4 Cabinas

La cabina de pintado es una instalación en la que se produce un ambiente idóneo para el pintado del automóvil. Hoy en día no se realiza este tipo de operaciones en otros lugares.

La instalación de una cabina de pintura en talleres es indispensable, ya que permiten la presurización y ventilación necesarias para desarrollar las operaciones de pintado. También garantiza las condiciones óptimas para la protección física del aplicador y de seguridad, al evitar la producción de una atmósfera peligrosa, como se puede apreciar en la Figura 2.11.

“Una cabina de pintado es un ambiente cerrado cuyas dimensiones normales están en un rango de 7m x 4m x 3m. El aire circula a una temperatura de 20-25°C y a una velocidad de 0,30m/s desde el techo al suelo de la misma, donde el aire captado desde el exterior es depurado de forma minuciosa por medio de un filtro. Luego entra a un proceso de calentado y finalmente ingresa a la cabina pasando por filtros dispuestos en el techo de la misma, cuya función es depurar las partículas finas de polvo. El paso del aire hacia el suelo se da mediante la circulación por varias rejillas cuya función es la separación de partículas de pintura del aire de salida” (Jaurilaritza, 2007).



Figura 2.15 Cabina de pintura automatizada
Fuente: Guaña, Altamirano, fotografía tomada agosto del 2015.

2.5 Tipos de plásticos automotrices

El uso de plásticos en la industria automotriz, aumentado considerablemente ya que las características de estos materiales permiten adaptar a diferentes formas y aplicaciones que los constructores han buscado con el tiempo, desplazando cada vez más al acero.

Factores como el de diseño, costos y seguridad hacen que la elección de este material juegan un gran papel, al momento de tomar una decisión sobre cual material se debe utilizar para la construcción de ciertas partes automotrices.

2.5.1 Tipos de plásticos:

Poliuretano (PUR)

Su estructura es rígida, semirrígida y flexible muy resistente a los ácidos y disolventes, soporta bien el calor, y sirven además de aislantes térmicos y acústicos. Son utilizados en los sistemas de absorción de energía como juntas, spoilers.

Temperatura de soldadura: 300° 350°.

Arde: Bien.

Humo: Negro.

Color de la llama: Amarillo anaranjado.

Cloruro de polivinilo (PVC)

Muy buena resistencia al desgaste su estructuras puede ser desde rígidas a flexibles, este plástico se suelda bien químicamente. Se utiliza como revestimiento aislante de los cables por su bajo precio y su resistencia a la combustión.

Temperatura de soldadura: 265° 300°

Arde: Mal.

Humo: Negro.

Color de la llama: Amarillo y azul.

Polietileno (PE)

De una estructura muy elástica, con buena recuperación al impacto, resistente a la mayor parte de los disolventes y ácidos, a partir de 87° tiende a deformarse con muy buenas cualidades de moldeo. Se utiliza mucho en la fabricación de parachoques, aislantes para cableados, juntas, depósitos de combustible, cajas de batería.

Temperatura de soldadura: 275° 300°.

Arde: Mal.

Humo: No.

Color de la llama: Amarillo claro y azul.

Policarbonato (PC)

Muy resistente al impacto, fácil de soldar y pintar, soporta temperaturas en horno hasta 120°. Se utiliza en la fabricación de faros y pilotos donde su peso, resistencia al impacto y posibilidad de formas geométricas ha desplazado al vidrio. Éste plástico en estado puro se distingue por su gran transparencia.

Temperatura de soldadura: 300° 350°.

Arde: Mal.

Humo: Negro.

Color de la llama: Amarillo oscuro.

Acrilonitrilo butadieno estireno (ABS)

La estructura del material rígido y muy duro podemos encontrar rejillas, carcasas, guanteras, apoyabrazos o tapacubos. Éste plástico a temperatura de fusión, produce hervidos en la superficie y es muy deformable.

Temperatura de soldadura: 300° 350°.

Arde: Bien.

Humo: Muy negro.

Color de la llama: Amarillo anaranjado.

Poliamida (PA)

Se funde con facilidad con otros plásticos y admite cargas de refuerzo.

Presenta buenas propiedades mecánicas como: resistencia al impacto, desgaste por fatiga y resistencia a la abrasión. Se utiliza en tapacubos, rejillas, carcasas y ventiladores.

Temperatura de soldadura: 350° 400°.

Arde: Mal.

Humo: No.

Color de la llama: Azul.

2.6 Tipos de barniz

Barnices LS, MS, HS y UHS: Los barnices MS (Medio contenido en sólidos), HS (Alto contenido en sólidos) y UHS (Ultra contenido en sólidos), presentan un mayor espesor que los de

LS (Bajo contenido en Sólidos), debido a un aumento en materia sólida y a una disminución del disolvente.

Barniz de bajo contenido en COV (Compuestos Orgánicos Volátiles): Disponen de tecnología HS (Alto contenido en Sólidos) y su proceso de aplicación es similar a los barnices convencionales, la única diferencia es que la cantidad de compuestos orgánicos volátiles (COV) que emiten a la atmósfera es menor.

Barniz cerámico: Son productos que utilizan nanotecnología en su elaboración y proporcionan mayor resistencia a rayados superficiales y de lavado que un barniz convencional.

Barniz regenerativo: Los barnices regenerativos contienen una resina de alta elasticidad lo que hace que ante la presencia de pequeños arañazos como los que ocasionan los túneles de lavado o diversos agentes medioambientales, haga fluir el barniz a su estado inicial, también se denomina 'efecto memoria' ya que toma su forma original.

Barniz base agua: El proceso de trabajo con los barnices base agua es similar al del resto de los barnices, aunque los diferencia su aspecto lechoso durante la aplicación, esta apariencia resulta muy útil ya que el pintor puede valerse de ella como guía de aplicación.

Barniz UV: También existen barnices que para su secado utilizan una lámpara de rayos UV los cuales cuentan con partículas llamadas fotoiniciadores, sustancias sensibles a la radiación UV que gracias a ellas inician la reacción de polimerización o secado de la película de pintura.

Barniz Poliuretano: es un esmalte transparente de 2 componentes, formulado con resinas poliuretánicas de la más alta calidad.

Ideal para dar acabado final sobre sistemas metalizados, perlados o planos bicapa. Posee un excelente brillo y retención del calor, elevada resistencia a la intemperie y ambientes corrosivos. Se utilizó este tipo de barniz para nuestro proceso de pintura por su alto nivel de secado y posterior curado, alta durabilidad del acabado, sobresaliente dureza y resistencia a la abrasión y además la temperatura de trabajo es de 25°C. Otra ventaja de este tipo de barniz, es la facilidad de encontrarlo mercado nacional.

CAPÍTULO III

3. Diseño y cálculo

3.1 Factores incidentes sobre el colector solar

Los factores incidentes en un colector se basan en la necesidad energética, así como en la energía solar disponible. Para el cálculo de la energía solar disponible se deben tener en cuenta ciertas variables como son: el direccionamiento del colector, el ángulo de trabajo del colector, la temperatura ambiente y por último la ubicación del colector en la zona donde se instalará, ya que basados en todos estos datos se podrá calcular la energía disponible en la zona de ubicación.

3.1.1 Direccionamiento y ángulo del colector.

Para un aprovechamiento óptimo de la energía solar captada por el colector, es necesario que la superficie captora del mismo esté ubicada de forma en que los rayos solares incidan perpendicularmente sobre ella. Pero se debe tomar en cuenta que el colector solar va a estar en una estructura fija y la proyección de los rayos solares sobre la superficie colectora varía según el transcurso del día, por lo que no siempre van a ser perpendiculares con el mismo.

Para reducir estos problemas y maximizar la captación solar en la superficie colectora, el colector será ubicado en un ángulo basado en la latitud en la que vaya a funcionar el mismo. Así, el lugar se encuentra en la latitud 25, el ángulo del colector será de 25°.

El colector solar de nuestro sistema de secado será instalado en la latitud $-0^{\circ} 14' 39.36$ (Monteserrín) por ende rodea la latitud 0, y el ángulo al que debería ser ubicado el colector debería ser de 0°.

Pero esta ubicación presentaría problemas en el mantenimiento y limpieza del mismo.

Por lo tanto, será ubicado a una inclinación de 25 grados, lo cual nos ayudara a impedir que el polvo y suciedad se queden situados en el colector.

La dirección en la instalación del colector depende de igual forma del hemisferio en donde vaya a estar ubicado. Por tal motivo, al estar ubicado en la latitud 0, el Ecuador se encuentra en dos hemisferios así que el colector puede estar ubicado en 180° hacia el norte o viceversa hacia el sur.

Pero la latitud donde será instalado el colector es -0° 14' 39.36 (Monteserrín) este debe estar levemente ubicado hacia el sur.

3.1.2 Ubicación del colector.

El colector solar será ubicado en un lugar que cumpla con las siguientes características para que obtenga un óptimo funcionamiento.

El lugar de ubicación del colector debe facilitar la instalación en la dirección y ángulo calculados anteriormente.

La instalación del colector solar será sobre una superficie de cemento, la cual tiene un factor de reflectancia $\rho=0.4$ como se puede apreciar en la tabla 3.1 la cual será tomado para el cálculo de la energía solar reflejada disponible.

Tabla 3.1 Factor de reflectancia según el valor Beta

A	CEMENTO			HIELO	
	$\rho=0.2$	$\rho=0.3$	$\rho=0.4$	$\rho=0.5$	$\rho=0.6$
$\beta=5^\circ$	0.998	0.999	0.999	0.999	0.999
$\beta=15^\circ$	0.986	0.988	0.99	0.991	0.993
$\beta=25^\circ$	0.963	0.967	0.972	0.977	0.981
$\beta=35^\circ$	0.928	0.937	0.946	0.955	0.964

Fuente:(Marianela, 1999)

El sitio de instalación estará libre de árboles o edificaciones que afectará el buen funcionamiento del colector, ya que aquellos proyectan sombra a cualquier hora del día.

Tabla 3.2 Factores climático y vegetación

Factor Climático para la Sierra	0.25
Factor de Vegetación	0.45

Fuente: (INAMHI, 2015)

3.2 Métodos para el Análisis del recurso solar en la ciudad de Quito.

Los métodos para el análisis del recurso solar en la ciudad de Quito son varios, entre los más representativos se tiene: método Armstrong Page, método ISF, método por medio de las tablas del Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI).

El estudio de todos aquellos métodos nos ayudará a resolver dos grandes incógnitas sobre la radiación solar, como son: permitirnos estipular el valor máximo de energía solar incidente sobre el área de los colectores; así como también calcular la orientación de los colectores solares (utilizados en el sistema de secado de partes plásticas) con relación al sol, para así lograr obtener la máxima energía solar aceptable para el funcionamiento de dicho sistema.

3.2.1 Método de Armstrong Page

El método de Armstrong Page, nos permite analizar el recurso solar de una manera clara y simple por intermedio de un cálculo que se realiza en una hoja de Excel Anexo 1.

Para obtener el cálculo de este método se ingresa en una tabla de datos valores como: la latitud, el factor climático, el factor de vegetación, el factor albedo, el ángulo de inclinación.

El primer parámetro a determinar es la latitud la cual se obtuvo por medio de GPS.

Latitud (-0° 14'39.36) GPS

A continuación se determina el factor climático el cual está basado en la tabla 3.2

Factor climático para la sierra (a): 0.25

Factor de vegetación (b): 0.45

Albedo o reflectividad es (ρ):0.4 en este caso por ser una superficie de cemento, está basado en una tabla como fue explicado anteriormente en la tabla 3.1.

(β):+25° ángulo del colector que por motivos de evitar la acumulación de suciedad se opta por este valor.

Tabla 3.3Hoja de Cálculo Amstrong page

Datos de Entrada			
	Grados	Minutos	Segundos
Latitud	0	14	39.36
Latitud	-0,244266667		
Beta	25		
Armstrong Page			
A	0.25	Factor climático sierra	
B	0.45	Factor de vegetación	
Factor de albedo	0.4		

Fuente: Hoja de Excel Amstrong Page

Los datos ingresados en la hoja de cálculo de Excel nos dan como resultado la radiación solar total sobre una superficie inclinada Gdm(+25).

El cálculo nos entrega valores en (W h/m² y en (Langley). Para los resultados del promedio en la tabla 3.4, se trabajará con (KW h/m²).

Tabla 3.4 Radiación Solar Total por el Método de Amstrong Page

MES	KW h/m ²
ENERO	4.7137

FEBRERO	4.6135
MARZO	4.3392
ABRIL	3.8718
MAYO	3.4096
JUNIO	3.1700
JULIO	3.2679
AGOSTO	3.6569
SEPTIEMBRE	4.1372
OCTUBRE	4.5017
NOVIEMBRE	4.6698
DICIEMBRE	4.7162
PEOR MES JUNIO	3.1700
MEJOR MES DICIEMBRE	4.7162

Fuente: Guaña, Altamirano.

En la tabla 3.4 se tabuló de tal manera, en la cual se conozca durante todo el año cuando el sistema de secado para partes plásticas será más eficiente y cuando no. Por lo tanto como resultado se obtuvo que el mes de Junio sería el mes menos eficaz y el mes de Diciembre más eficaz.

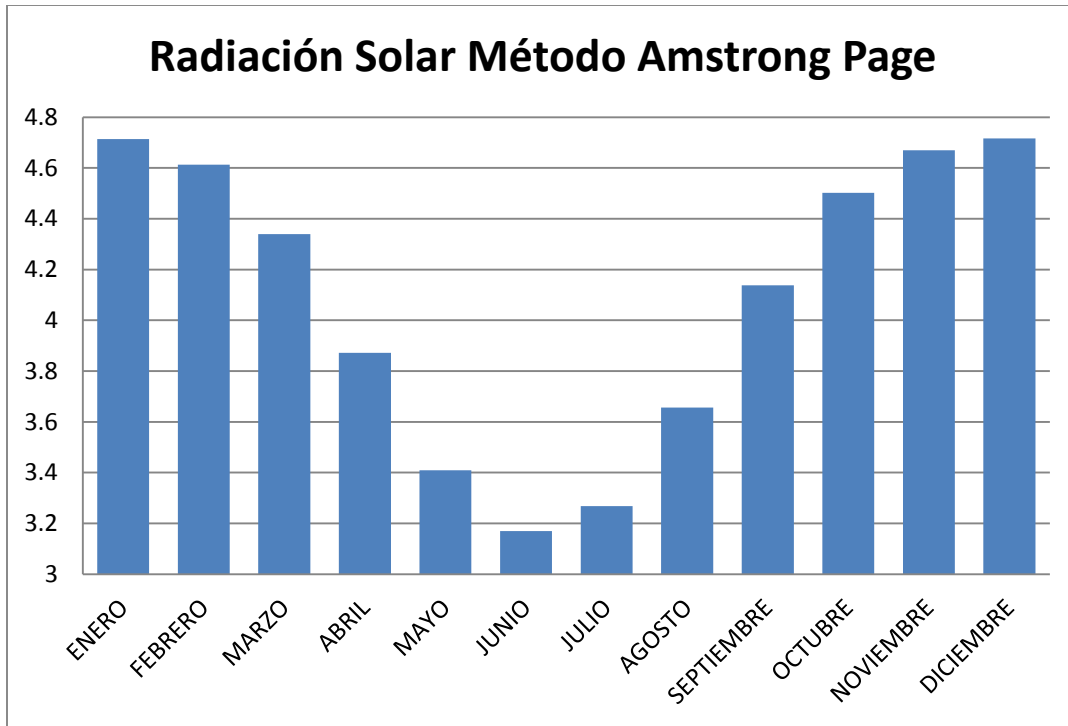


Figura 3.1 Radiación Solar Total del Método Amstrong Page
Fuente: Guaña, Altamirano.

3.2.2 Método IEPALA.

Este método permite encontrar de una forma manual la Irradiación global sobre una superficie inclinada plana. El cálculo de la Irradiación está basado en la ecuación:

$$G_{dm}(\beta) = A \cdot G_{dm}(0) + B \cdot (G_{dm}(0))^2$$

Ec [3.1] Cálculo Irradiación Método IEPALA.

Donde:

$G_{dm}(\beta)$: Radiación solar total sobre una superficie inclinada (W h/m²)

$G_{dm}(0^\circ)$: Radiación solar global directa (W h/m²)

A: Valor que depende del albedo ($\rho=0.4$) por ser una superficie de cemento y del ángulo de inclinación del colector ($\beta=+25^\circ$) que será constante para todos los meses del año. Los cuales están basados en la tabla 3.3 anteriormente explicada.

B: Coeficiente que depende de la latitud ($\phi = 0^\circ$) y del ángulo de inclinación del colector ($\beta=+25^\circ$) que varía según cada mes del año. Como se puede observar en la tabla 3.5.

Tabla 3.5 Coeficiente de B basado en la latitud y el valor de Beta

β ($\phi=0^\circ$)	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
B=+25°	0.0231	0 0229	-0.002	-0.0171	-0.0306	-0.0378	-0.0345	-0.0226	-0.0076	0.0074	0.204	0.0259
B=+20°	0.0196	0.0104	-0.008	-0.0131	-0.0241	-0.03	0.0273	-0.0175	-0.0053	0.0069	0.0174	0.0227
B=+15°	0.0155	0.0085	0	-0.0093	-0.0177	-0.0223	-0.0202	-0.0127	-0.0034	0.0058	0.0138	0.0178
B=+10°	0.0108	0.0061	0.0004	-0.0058	-0.0115	-0.0147	-0.0132	-0.0081	-0.0019	0.0043	0.0091	0.0124
B=+5°	0.0056	0.0033	0.004	-0.0027	-0.0056	-0.0072	-0.0065	-0.0039	-0.0007	0.0024	0.0051	0.0064
B=+0°	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
B=-5°	-0.008	-0.0037	-0.0008	0.0023	0.0052	0.0068	0.0061	0.0035	0.0003	-0.0028	-0.0054	-0.0068
B=-10°	-0.0123	-0.0077	-0.002	0.0042	0.01	0.0132	0.0117	0.0065	0.0002	-0.0059	-0.0112	-0.0138

Fuente: (Marianela, 1999)

Posteriormente se aplica el método ISF donde sustituimos los valores de Gdm (β), donde es ($\beta=+25^\circ$). Los coeficientes A y B que serán obtenidos de las siguientes tablas anteriormente explicadas.

Ejemplo:

$$Gdm(\beta) = A * Gdm(0) + B * (Gdm(0))^2$$

$$Gdm(+25^\circ) = 0.9720 * 4.3357 + 0.0231 * (4.3357)^2$$

$$Gdm(+25^\circ) = 4.6485 \text{ (KW h/m}^2\text{)}$$

Tabla 3.6 Aplicación del Método IEPALA

	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio
Gdm(0°)	4.3357	4.4752	4.5192	4.3833	4.1438	3.9919
A	0.9720	0.9720	0.9720	0.9720	0.9720	0.9720
B	0.0231	0.0119	-0.002	-0.0171	-0.0306	-0.0378
Gdm(+25)	4.6485	4.5882	4.3518	3.9320	3.5023	3.2777

Fuente: Guaña, Altamirano

Tabla 3.7 Aplicación IEPALA

	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Gdm(0°)	4.0470	4.2581	4.4409	4.4587	4.3483	4.2708
A	0.9720	0.9720	0.9720	0.9720	0.9720	0.9720
B	-0.0345	-0.0226	-0.0076	0.0074	0.0204	0.0269
Gdm(+25)	3.3686	3.7291	4.1666	4.4810	4.6122	4.6419

Fuente: Guaña, Altamirano

En la tabla 3.6 y 3.7 nos da como resultado la radiación solar total sobre la superficie inclinada Gdm(+25) los cuales están basados en un promedio del cálculo de la radiación global directa Gdm(0°) por medio del Método Armstrong Page. Anexo2

Tabla 3.8 Radiación Solar Total del Método IEPALA

MES	KW h/m ²
ENERO	4.6485
FEBRERO	4.5882
MARZO	4.3518
ABRIL	3.9320
MAYO	3.5023
JUNIO	3.2777
JULIO	3.3686
AGOSTO	3.7291
SEPTIEMBRE	4.1666
OCTUBRE	4.4810

NOVIEMBRE	4.6122
DICIEMBRE	4.6419
PEOR MES JUNIO	3.2777
MEJOR MES ENERO	4.6485

Fuente: Guaña, Altamirano

En la tabla 3.8 se tabuló de tal manera, que se conozca durante todo el año, cuando el sistema de secado para partes plásticas será el mes más eficiente y el peor mes. Por lo tanto como resultado se obtuvo que el mes de Junio sería el mes menos eficaz y el mes de Enero el más eficaz.

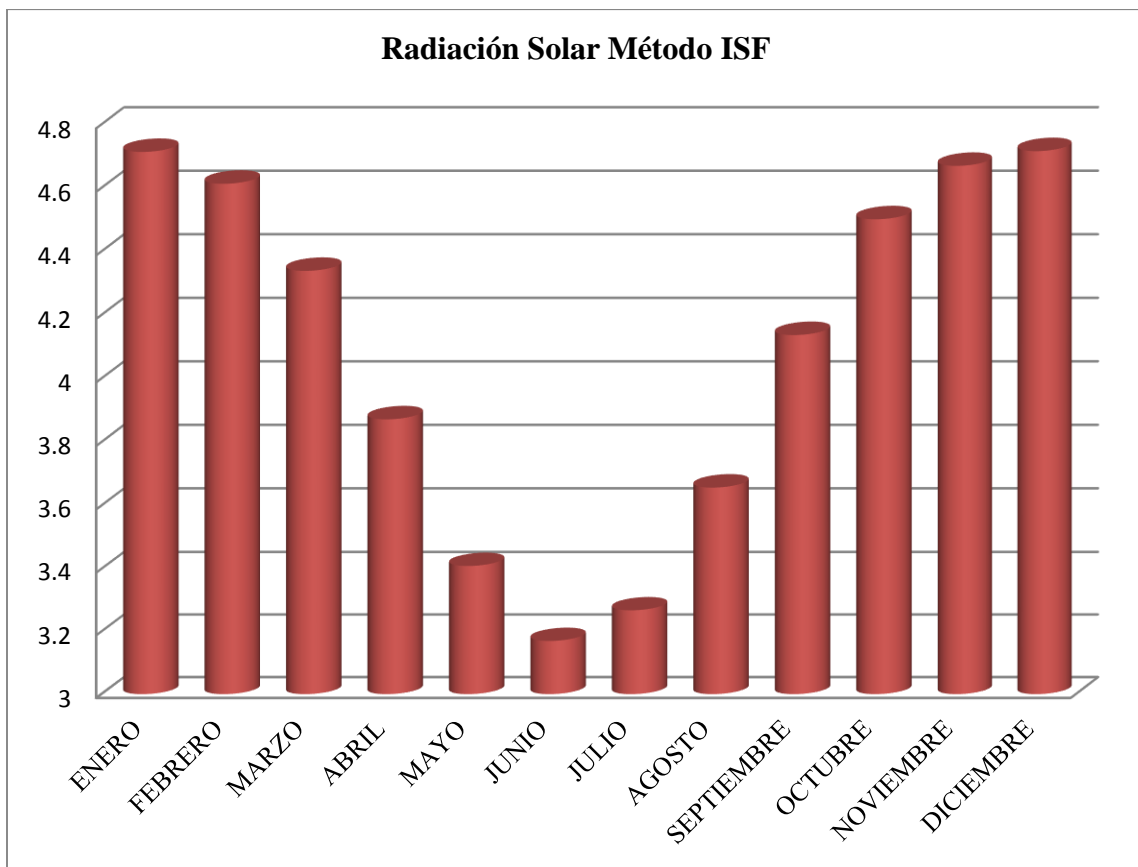


Figura 3.2 Radiación Solar Total del Método IEPALA

Fuente: Guaña, Altamirano

3.2.3 Tablas del INAMHI.

Las tablas del INAMHI, basadas en la localización del colector solar, nos permiten obtener un valor de la Irradiación solar, la cual tomada con relación a las horas del día, nos da como resultado las horas con mayor concentración solar en el día.

La ubicación de Monteserrín, según el mapa del INAMHI nos indica que dicho lugar está ubicado en un rango de 4.50 y 5.00 KW h/m² para lo cual se obtiene un valor intermedio de 4.75KW h/m².

El cálculo pertinente se lo realizo en una hoja de Excel (Anexo 3). Lo cual realizando un promedio de valores se obtuvo los siguientes datos como se puede observar en la tabla 3.9.

Tabla 3.9 Radiación Solar Total del Método INAMHI

MES	KW h/m ²
ENERO	5.1067
FEBRERO	4.8992
MARZO	4.6465
ABRIL	4.3689
MAYO	4.1207
JUNIO	3.9876
JULIO	4.0485
AGOSTO	4.2697
SEPTIEMBRE	4.5449
OCTUBRE	4.8202
NOVIEMBRE	5.0571

DICIEMBRE	5.1767
PEOR MES JUNIO	3.9876
MEJOR MES DICIEMBRE	5.1767

Fuente: Guaña, Altamirano

En la tabla 3.9 se tabuló de tal manera, en la cual se conozca durante todo el año cuando el sistema de secado para partes plásticas será más eficiente y cuando no. Por lo tanto como resultado se obtuvo que el mes de Junio sería el menos eficaz y el mes de Diciembre el más eficaz.

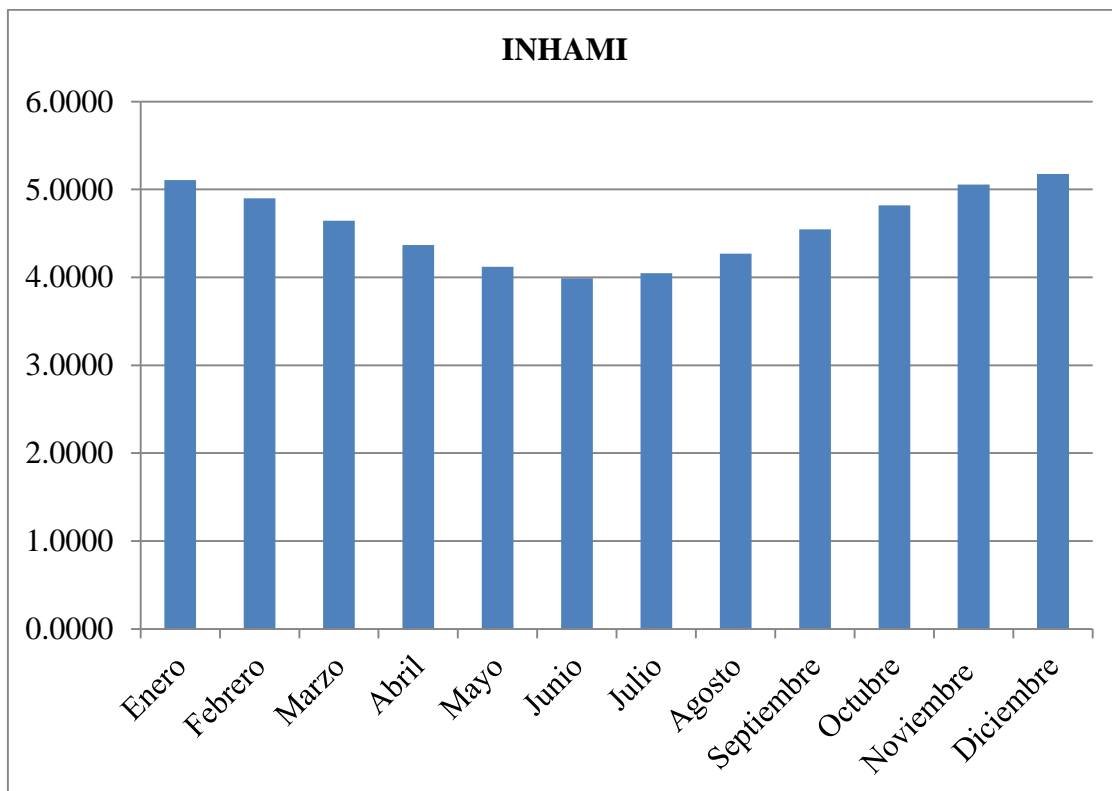


Figura 3.3 Radiación Solar Total del Método del INAMHI

Fuente: Guaña, Altamirano

3.3 Eficiencia del colector solar.

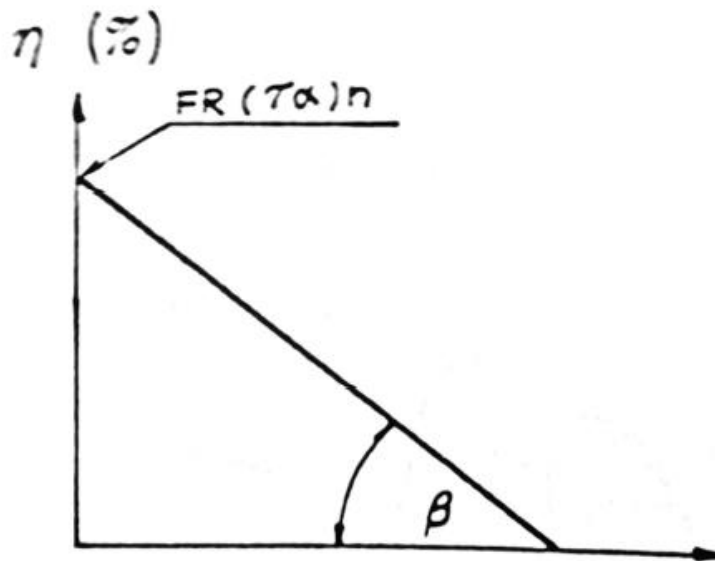


Figura 3.4 Diagrama de la curva característica del colector plano
Fuente: Aral. 1992

El siguiente gráfico nos proporciona información sobre los parámetros de la curva característica $F_R(\alpha \tau)$ y $F_R(U_L)$ del colector, quedando determinados por el corte de la curva con los ejes de la gráfica, como se observará en la Figura 3.4 al tener el valor de estos parámetros, queda fijado el comportamiento del colector ante posibles variaciones de los parámetros externos, por ejemplo, si el colector está trabajando a temperatura ambiente y a radiación determinada, a medida que se levanta la temperatura de fluido de entrada al colector el punto de trabajo sobre la gráfica se corre hacia la derecha y la eficiencia va bajando. Eventualmente, llega una temperatura de entrada para la cual la eficiencia se hace cero y el colector ya no es capaz de entregar energía útil. Toda la radiación incidente es devuelta al ambiente como pérdidas térmicas en el colector. Por otra parte, aunque el fluido esté a la misma temperatura que el ambiente, la eficiencia no es uno, puesto que no toda la radiación es absorbida. Ésta es la intersección a la izquierda de la curva denominándose eficiencia óptica del colector.

La curva característica del colector se obtendrá experimentalmente, por ejemplo, variando la temperatura de entrada del fluido y determinándose la eficiencia correspondiente a través de la medida de la temperatura de salida y la radiación incidente, esta curva da una indicación de lo eficiente que es el sistema de colector solar.

3.4 Diseño térmico y neumático de la cabina

3.4.1 Parámetros de diseño

La cabina es un elemento esencial para un taller de pintura, produce un ambiente ideal para los trabajos de repintado automotriz. Además de aportar ventajas en cuanto a un cavado de alta calidad, optimiza tiempos de secado y por lo tanto esto generara mayores ingresos económicos al taller.

Sin mencionar el aporte al medio ambiente, por cuanto el recurso solar que este tipo de cabina empleará tiende a reducir el consumo de energía notablemente al calentar hornos de pintura.

3.4.1.1 Dimensiones:

Según datos da la Asociación de Empresas Automotrices del Ecuador (AEADE), en el 2014 los modelos de automóviles más vendidos en el Ecuador fueron los siguientes:

Tabla 3.10 Modelos de automóviles más vendidos en el Ecuador

AUTOMOVILES		
MARCA	MODELO	UNIDADES
CHEVROLET	SAIL	11.514
CHEVROLET	AVEO FAMILY	9.386
CHEVROLET	AVEO EMOTION	3.643
KIA	RIO R	2.469
HYUNDAI	ACCENT	2.444

Fuente: Asociación de Empresas Automotrices del Ecuador

Basados en esta tabla 3.11 se realizará un dimensionamiento, tomando en cuenta que la mayor dimensión y tamaño en cuanto a piezas plásticas que tiene un vehículo es el “bumper” frontal y posterior, para eso se realizará una tabla de medidas con los vehículos ya mencionados.

Tabla 3.11 Promedio de ancho en automóviles más vendidos en el Ecuador

AUTOMOVILES		
MARCA	MODELO	ANCHURA
CHEVROLET	SAIL	1.735 mm
CHEVROLET	AVEO FAMILY	1.680 mm
CHEVROLET	AVEO EMOTION	1.680 mm
KIA	RIO R	1.720 mm
HYUNDAI	ACCENT	1.660 mm
PROMEDIO DE ANCHO EN AUTOMOVILES		1.695 mm

Fuente: Altamirano, Guaña

Con base en el resultado de la tabla 3.11 se obtiene un promedio de 1.695 mm como largo y un peso de 2 kg para nuestro horno de secado, sin antes mencionar que a este sobredimensionará 100 mm más por motivos de construcción, por lo que nuestra cabina tendrá las siguientes dimensiones:

- Largo: 1,80m
- Ancho: 0,80m
- Altura: 0,80m

Por ende la autoparte que mayormente estará enfocada será retrovisores y partes laterales de vehículos.

3.4.1.2 Tipo de cabina

Dadas las necesidades de recirculación de aire para optimizar el funcionamiento de nuestra cabina en cuanto al flujo laminar vertical (figura 3.5), el aire ingresará a la cabina por la parte superior y atravesará hacia el otro extremo para ser recirculado por ductos que lo llevarán hacia la turbina.

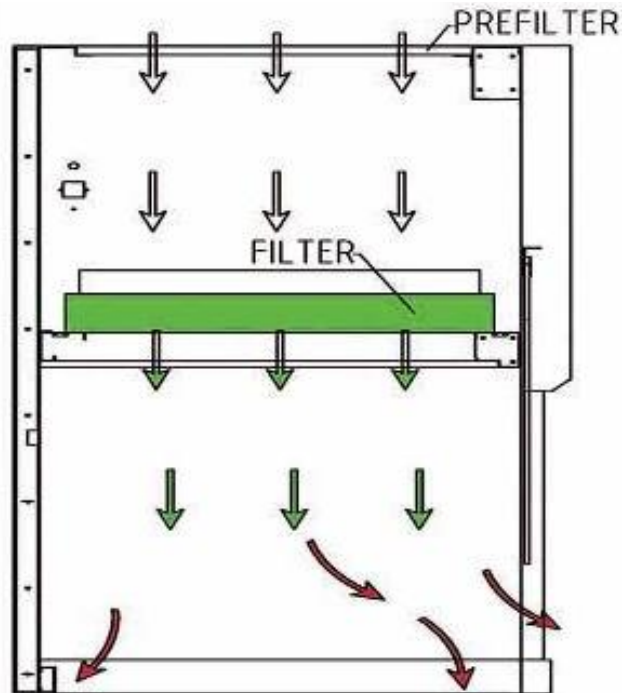


Figura 3.5 Cabina de flujo laminar horizontal

Fuente: http://www.zelian.com.ar/zelian/imagenes_productos/4B7D9E8182F604FDA9FA.JPG

3.4.1.3 Flujo de aire

Según la regulación de NFPA-33 (América, 2011), “estipula que el caudal de aire que ingresará a la cabina tendrá un ciclo de 120 renovaciones completas de aire por hora. Anexo 6

3.4.1.4 Velocidad de aire.

En cuanto a la velocidad del interior de la cabina para su recirculación tendrá velocidad media de 0.34 m/s”.

3.4.1.5 Temperatura.

Para el pintado de piezas plásticas se recomienda una temperatura de alrededor de los 20°C, y para la parte de secado la temperatura máxima que debe alcanzar es de 50°C.

3.4.1.6 Recirculamiento del aire.

Con la finalidad de optimizar los recursos para calentar el aire que entrará a la cabina, tendrá un sistema que re-circulará el 95% y el 5% será de aire nuevo.

Tomando en cuenta que los parámetros atmosféricos para la construcción y diseño de nuestra cabina están tomados en la ciudad de Quito, éstas influyen directamente en el funcionamiento del proyecto.

- Temperatura promedio del aire ambiente = $20^{\circ}\text{C} = 293,15\text{ K}$
- Altitud promedio de la ciudad de Quito = 2800 m
- Presión atmosférica en Quito = $790.\text{hPa} = 79\text{kPa}$

3.4.2 Cálculo del caudal y flujo másico de aire necesario

El caudal de aire (Q) que los ventiladores deben proporcionar se determinará en función del volumen de nuestra cabina y el número de renovaciones de aire por hora que necesita nuestra cabina

Dado que el espesor de nuestra cabina tendrá un aislante de $1,27\text{cm}$ ($1/2\text{plg}$), el volumen interior de la cabina será:

Donde:

\forall = Volumen

Q = Caudal

a = *Largo*

b = *Ancho*

c = *Alto*

$$\forall = a \times b \times c$$

$$\forall = (1,8 - 2 \times 0,0127) \times (0,8 - 2 \times 0,0127) \times 0,8$$

$$\forall = 0,958\text{m}^3$$

Ec [3.2] Volumen interior de la cabina

El caudal del área requerida:

$$Q = \forall \times \#renovaciones$$

$$Q = 0,958 \frac{m^3}{renov} \times 120 \frac{renov}{hora}$$

$$Q = 114,96 \frac{m^3}{hora} = 0,031 m^3/s = 65.69 \text{ CFM}$$

Ec[3.3] Caudal con el área requerida

Para calcular la densidad promedio que tiene la ciudad de Quito se debe obtener la siguiente ecuación (Willard W. Pulbarek, 2004) página 60

Donde:

p= presión atmosférica (Quito) = 79000 Pa

R=constante de los gases = 287 Nm/kg K

T= temperatura ambiente = 20°C =293,15 K

$$\rho = \frac{p}{R \times T}$$

$$\rho = \frac{79000 \frac{N}{m^2}}{287 \frac{Nm}{kg \cdot K} \times 293,15 \text{ } ^\circ K}$$

$$\rho = 0,938 \frac{kg}{m^3}$$

Ec[3.4] Densidad Promedio

Por la tanto el flujo másico que se requiere para nuestra cabina de secado es de:

$$\dot{m} = \rho \times A$$

$$\dot{m} = 0,938 \frac{kg}{m^3} \times 114,24 \frac{m^3}{hora}$$

$$\dot{m} = 107,15 \frac{kg}{h} = 0,031 \frac{kg}{s}$$

Ec[3.5] Flujo másico

3.4.3 Dimensionamiento de los ductos

Esta velocidad no debe ser mayor a los 10m/s dentro de los conductos de ingreso a la cabina, así se evitará la pérdida de presión y ruidos excesivo.

3.4.3.1 Dimensionamiento del conducto de admisión y recirculación de aire

Para calcular el área requerida por los conductos que requerirá nuestra cabina se utilizará la siguiente ecuación:

$$Q = \vec{v} \times A_1$$
$$A = Q/\vec{v}$$

Ec [3.6] Dimensionamiento conductos.

Dónde:

\vec{v} = velocidad máxima de los conductos = 10m/s

A= área transversal mínima requerida en los conductos

Despejando la ecuación y reemplazando los datos ya conocidos, se obtendrá el área requerida:

$$A_1 = \frac{0,031m^3/s}{10m/s}$$

$$A_1 = 0,0031m^2$$

Ec [3.7]Área requerida conductos

Por lo tanto, los ductos de entrada de nuestra cabina tendrán el siguiente diámetro dada la siguiente fórmula:

$$A\emptyset = \pi r^2$$

$$A\emptyset = \pi \times (5.08cm)^2$$

$$A\emptyset = 81.07cm^2 \div 10000$$

$$A\emptyset = 0,0081m^2$$

Ec [3.8]Área requerida conductos

El radio tomado para esta ecuación es de un ducto que tiene un diámetro de 2plg (5.08 cm), y dado que el resultado en la fórmula del cálculo anterior es de $0,0081m^2$ su aproximado que puede encontrar en el mercado sería de 4plg.

Para ingresar el aire a la cabina, se lo debe pasar por unos filtros o “plenum” que filtran el aire del polvo y partículas que se puedan adherir a la pintura.

En el “plenum” la velocidad del aire se debe reducir significativamente de forma que ingrese a la cabina lo más laminar posible y se dirija directamente a la superficie de las partes plásticas que se desea pintar.

Para lo cual, el plenum de admisión y salida de aire tendrá una sección rectangular de 1,75 m de largo por 0,42 m de ancho.

3.4.4 Cálculo de la energía requerida.

3.4.4.1 Calor sensible \dot{Q}_1

Para determinar la energía requerida por la aplicación se debe utilizar la condición más crítica que es la que ocurre cuando se efectúa el secado de una autoparte como un bumper plástico del máximo tamaño posible ya que en esta condición se requerirá la mayor carga energética. Para ello se fijan los siguientes parámetros:

$T_f = 50^\circ\text{C}$ (323 K)	Temperatura necesaria para el secado
$T_o = 20^\circ\text{C}$ (293 K)	Temperatura ambiental
$m = 2\text{kg}$	Masa promedio de un bumper

El primer proceso consiste en el aumento de temperatura de la autoparte desde la temperatura ambiente hasta la temperatura de secado, esto corresponde a calor sensible ya que aumenta la temperatura de un sólido pero no cambia su estado, así se tiene:

$C_p = 0.55 \text{ J/kg K}$ Calor específico del polietileno (Anexo 7)

$t = 3600 \text{ s}$ Tiempo aproximado del proceso de secado en la cabina

Q_1 Calor sensible necesario para provocar la elevación de temperatura de la autoparte.

\dot{Q}_1 Flujo de calor necesario para provocar la elevación de temperatura de la autoparte.

$$Q_1 = m \times C_p \times \Delta T$$

$$Q_1 = m \times C_p \times (T_f - T_o)$$

$$Q_1 = 2 \times 0.55 \times (323 - 293)$$

$$\dot{Q}_1 = \frac{33J}{3600s} = 0.00916W$$

Ec [3.9] Calor sensible \dot{Q}_1

3.4.5 Calor por convección \dot{Q}_2

Ahora se procede a calcular el flujo de calor por convección necesario para que el aire al interior de la cabina genere esta elevación de temperatura en la autoparte. Previamente se debe determinar si el proceso de convección que ocurre es natural o forzado, y eso se determina mediante el cálculo del número de Reynolds en la sección más crítica esto es en los ductos de entrada a la cabina. Si el flujo es laminar se puede considerar convección natural, pero si el flujo resulta turbulento se considerará convección forzada, así se tiene:

$$N_R = \frac{v \times D \times \rho}{\mu}$$

Ec [3.10] Número de Reynolds

N_R

$D = 4 \text{ plg (0.1m)}$

$\mu = 0.018 \text{ centipoises}$

$\rho = 0.938 \text{ kg/m}^3$

v

Número de Reynolds

Diámetro de los ductos de la cabina

Viscosidad cinemática del aire. Anexo 8

Densidad del aire previamente calculada

Velocidad del aire esperada de acuerdo a los ductos seleccionados

Los ductos seleccionados son de 4 pulgadas de diámetro para el caudal de aire de 0.031 m³/s previamente calculado, con lo cual se procede a calcular la velocidad del aire y así poder determinar el número de Reynolds.

$$q = v \times A$$

$$v = \frac{q}{A}$$

$$v = \frac{q}{\frac{\pi}{4} \times D^2}$$

$$v = \frac{0.031 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}}{\frac{\pi}{4} \times (0.1\text{m})^2}$$

$$v = 3.9 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

Antes de utilizar la ecuación indicada se procede a transformar la viscosidad cinemática de centipoises a Pa.s

$$0.018\text{cP} \times \frac{1\text{P}}{100\text{cP}} \times \frac{0.1\text{Pa.s}}{1\text{P}} = 1.8 \times 10^{-5}\text{Pa.s}$$

Así se tiene:

$$N_R = \frac{3.9 \frac{\text{m}}{\text{s}} \times 0.1\text{m} \times 0.938 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}}{1.8 \times 10^{-5}}$$

$$N_R = 20323.3$$

Ec [3.11] Número de Reynolds

De acuerdo al criterio que dice que si el número de Reynolds es inferior a 2000 se considera flujo laminar y mayor a 4000 se considera turbulento, se confirma que el flujo que circula por los

ductos es turbulento, lo cual es cierto ya que en este cálculo no se ha tomado en cuenta que el aire agitado procede de un ventilador y que las mangueras que conectan la cabina con los colectores son corrugadas lo que genera mayores perturbaciones difíciles de cuantificar; por tal razón la transferencia de calor por convección que existe entre el aire interior de la cabina y la autoparte se considera forzada.

Para calcular el flujo de calor entre el aire interior de la cabina y la pieza a pintar se utiliza la siguiente ecuación:

$$\dot{Q}_2 = h \times A \times \Delta T$$

$$\dot{Q}_2 = h \times A \times (T_f - T_o)$$

Ec [3.12] Flujo de calor.

Donde:

$T_f = 50^\circ\text{C}$ (323 K)

Temperatura necesaria para el secado

$T_o = 20^\circ\text{C}$ (293 K)

Temperatura ambiental

h

Coefficiente de convección forzada del aire

$A = 1.5\text{m}^2$

Área aproximada de un bumper de $1.735\text{m} \times 0.75\text{m}$

Debido a la naturaleza de la pieza a secar y al elevado número de Reynold obtenido, el valor del coeficiente de convección forzada para esta aplicación no está tabulado en ningún texto y se procede a calcular mediante la siguiente expresión:

$$h = \frac{k}{L} \times Nu$$

Ec [3.13] Coeficiente de Convección.

En donde:

$k = 0.02514 \text{ W/m K}$

Conductividad térmica del fluido en cuestión (Anexo 9)

$L = 1.735\text{m}$

Longitud de la autoparte a secar

Nu

Número de Nusselt

El número de Nusselt es un número que indica el incremento de la transmisión de calor desde una superficie a un fluido, en este caso se procede a calcular basados en la ecuación de la página 425 del libro de Cengel. (Anexo 10)

$$Nu = 0.0308 \times Re^{0.8} \times Pr^{1/3}$$

Ec [3.14] Número de Nusselt

En donde:

Re = 20323.3

Número de Reynold calculado anteriormente

Pr = 0.7309

Número de Prandtl

Cabe la pena indicar que el número de Prandtl es un número adimensional que resulta del cociente entre la viscosidad del fluido y la difusividad térmica siendo esta última la velocidad a la cual la temperatura cambia dentro de una sustancia. (Anexo 9)

$$Nu = 0.0308 \times (20323.3)^{0.8} \times (0.7309)^{1/3}$$

$$Nu = 77.54$$

Ahora que ya se cuenta con el número de Nusselt se procede a calcular el coeficiente de convección:

$$h = \frac{0.02514 \frac{W}{mK}}{1.735m} \times 77.54$$

$$h = 1.12 \frac{W}{m^2K}$$

Ec [3.13] Coeficiente de Convección.

Una vez que ya se tiene el coeficiente de convección se procede a calcular \dot{Q}_2

$$\begin{aligned} \dot{Q}_2 &= h \times A \times (T_f - T_o) \\ \dot{Q}_2 &= 1.12 \frac{W}{m^2K} \times 1.5m^2 \times (323 - 293) K \\ \dot{Q}_2 &= 50.4W \end{aligned}$$

Ec [3.12] Flujo de calor

3.4.6 Calor perdido por las paredes de la cabina \dot{Q}_3

Para evitar que el calor fugue por las paredes de la cabina, se ha utilizado espuma de poliuretano (poly espuma) el cual se consigue en el mercado con un espesor de 1,27 cm, por ello se realiza el siguiente análisis de conductividad térmica para saber en esta aplicación cuáles serán las fugas de calor por las paredes.

Para esto se hace el siguiente esquema el cual indica la disposición de los elementos; además es necesario efectuar una analogía eléctrica.

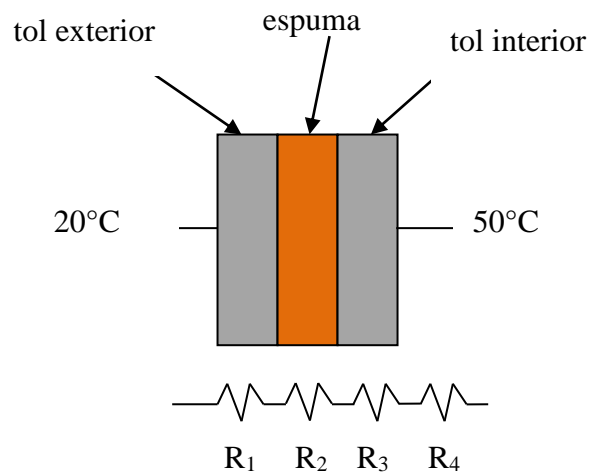


Figura 3.6 Diagrama de resistencias.

Fuente: Guaña, Altamirano

Se procede a calcular la resistencia a la transferencia de calor que representa cada capa de material. Es importante indicar que las resistencias R₁, R₂ y R₃ se producen por conducción de las capas aislantes, mientras que R₄ es la resistencia que se genera entre el aire interior y la primera capa de tol.

$$R = \frac{L}{K \times A}$$

Ec [3.15] Resistencia al flujo de calor

Donde:

R	Resistencia al flujo de calor
L	Espesor de la capa
K	Conductividad térmica
A	Área de transferencia de calor

Cabe la pena indicar que la capa de tol exterior e interior son iguales. Como las dimensiones de la cabina son 1.8m x 0.8m x 0.8m el área de transferencia de calor será la misma para todas las capas.

$$A_{Transferencia} = A_{laterales} + A_{Arribaabajo} + A_{Adelanteatras}$$

$$A_{Transferencia} = 2 \times (0.8 \times 0.8) + 2 \times (0.8 \times 1.8) + 2 \times (0.8 \times 1.8)$$

$$A_{Transferencia} = 7.04m^2$$

El área de transferencia de calor equivale a todas las paredes que está compuesta la cabina, para calcular la resistencia a la transferencia de cada capa se posee los siguientes valores:

$L_1 = L_3 = 0.7mm \approx (0.0007m)$	Espesor del tol
$L_2 = 1.27cm \approx (0.0127m)$	Espesor de la espuma
$K_1 = 110 W/m K$	Conductividad térmica del Toll. (Anexo 11)
$K_2 = 0.022 W/m K$	Conductividad térmica de la espuma

$$R_1 = R_3 = \frac{(0.0007m)}{110 \frac{W}{m K} \times (7.04m^2)} = 9.03 \times 10^{-7} \frac{K}{W}$$

$$R_2 = \frac{(0.0127m)}{0.022 \frac{W}{m K} \times (7.04m^2)} = 8.2 \times 10^{-2} \frac{K}{W}$$

Para calcular la resistencia R_4 por convección se utiliza la siguiente fórmula:

$$R = \frac{1}{h \times A}$$

Ec [3.16] Resistencia por convección

$$R_4 = \frac{1}{1.12 \frac{W}{m^2 K} \times 7.04 m^2}$$

$$R_4 = 0.126 \frac{K}{W}$$

$$R_{total} = R_1 + R_2 + R_3 + R_4$$

$$R_{total} = 9.03 \times 10^{-7} + 8.2 \times 10^{-2} + 9.03 \times 10^{-7} + 0.126$$

$$R_{total} = 0.208 \frac{K}{W}$$

Ec [3.17] Resistencia total

Una vez que se ha calculado la resistencia total se calcula el flujo de calor que se pierde por las paredes.

$$\dot{Q}_3 = \frac{\Delta T}{R_{total}}$$

$$\dot{Q}_3 = \frac{(T_f - T_o)}{R_{total}}$$

$$\dot{Q}_3 = \frac{(323 - 293) K}{0.208 \frac{K}{W}}$$

$$\dot{Q}_3 = 144.2 W$$

Ec [3.17] Flujo de Calor \dot{Q}_3

3.4.7 Calor perdido por los ductos de conexión \dot{Q}_4

Los ductos que interconectan los colectores con la cabina también representan una fuga de calor razón por la cual hay que determinar la cantidad de calor que se perderá por esta razón.

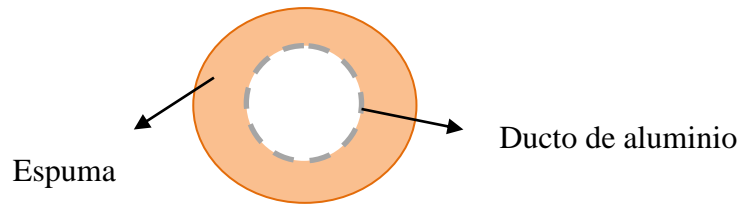


Figura 3.7 Estructura ducto
Fuente: Guaña, Altamirano

Para evitar mayores fugas de calor se utiliza espuma aislante alrededor de todos los ductos de conexión entre la cabina y los colectores.

Así como en el caso anterior se procede a utilizar una analogía eléctrica, en este caso cada capa será una resistencia, así se tiene la resistencia R_1 por convección que existe entre el aire que circula y el ducto de aluminio, la resistencia R_2 por conducción del tubo de aluminio y finalmente R_3 por conducción del aislamiento de espuma.

En donde:

$D_{ext}=0.10$ m

Diámetro exterior del ducto de aluminio

$D_{int}=0.098$ m

Diámetro interior del ducto de aluminio

$D_{esp}=0.1254$ m

Diámetro exterior de la capa de espuma

$K_{al} = 177$ W/m K

Conductividad térmica del aluminio. ANEXO 11

$K_{esp} = 0.022$ W/m K

Conductividad térmica de la espuma. espuma . (Dato basado en el cálculo página 68)

$L = 4.58$ m

Longitud total de los ductos.

Se procede a calcular la primera resistencia por convección.

$$R = \frac{1}{\pi \times D_{int} \times L \times h}$$

$$R_1 = \frac{1}{\pi \times 0.098m \times 4.58m \times 1.12 \frac{W}{m^2 K}} = 0.633 \frac{K}{W}$$

Ec [3.18] Resistencia por convección Conductos

Se calcula la resistencia por conducción del ducto de aluminio,

$$R = \frac{\ln\left(\frac{D_{ext}}{D_{int}}\right)}{2 \times \pi \times L \times K_{al}}$$

Ec [3.19] Resistencia por conducción Conductos

$$R_2 = \frac{\ln\left(\frac{0.10m}{0.098m}\right)}{2 \times \pi \times 4.58m \times 177 \frac{W}{m K}} = 3.97 \times 10^{-6} \frac{K}{W}$$

Se calcula la resistencia por conducción del aislamiento de espuma,

$$R = \frac{\ln\left(\frac{D_{esp}}{D_{ext}}\right)}{2 \times \pi \times L \times K_{esp}}$$

$$R_3 = \frac{\ln\left(\frac{0.1254m}{0.10m}\right)}{2 \times \pi \times 4.58m \times 0.022 \frac{W}{m K}} = 0.357 \frac{K}{W}$$

Ec [3.20] Resistencia por conducción Aislamiento Espuma

Una vez obtenidas las resistencias se obtiene la resistencia total

$$R_{total} = R_1 + R_2 + R_3$$

$$R_{total} = 0.633 + 3.97 \times 10^{-6} + 0.357$$

$$R_{total} = 0.990 \frac{K}{W}$$

Ec [3.21] Resistencia total ducto, aislamiento

Con la resistencia total se calcula el flujo de calor que fuga por las paredes.

$$\dot{Q}_4 = \frac{\Delta T}{R_{total}}$$

$$\dot{Q}_4 = \frac{(T_f - T_o)}{R_{total}}$$

$$\dot{Q}_4 = \frac{(323 - 293) K}{0.990 \frac{K}{W}}$$

$$\dot{Q}_4 = 30.3W$$

Ec [3.22] Calor perdido por los ductos de conexión \dot{Q}_4

La energía requerida es la suma de todas las energías calculadas anteriormente, esto va a servir de base para dimensionar el área de los colectores solares.

$$\dot{Q}_R = \dot{Q}_1 + \dot{Q}_2 + \dot{Q}_3 + \dot{Q}_4$$

$$\dot{Q}_R = 0.00916W + 50.4W + 144.2W + 30.3W$$

$$\dot{Q}_R = 224.9W$$

Ec [3.23] Calor perdido total.

3.5 Dimensionamiento de los colectores.

Una vez que se ha determinado el requerimiento calórico para el proceso, se necesita saber el tamaño que tendrán los colectores, para ello se parte de dos criterios, el primero la radiación disponible en el lugar donde operará el equipo, esto ya se determinó anteriormente dando un valor de 4.75 KW h/m² (pag 27)

Por otro lado la optimización de material, en lo que cabe al colector los elementos más influyentes en el dimensionamiento del mismo son las planchas de aluminio, ya que se depende de la disponibilidad en el mercado y sus dimensiones, además hay que recalcar que estas deberán ser corrugadas manualmente para brindar resistencia mecánica y evitar que se pandeen dentro del colector. Para ello de experiencias prácticas se asume que el espesor de 0.7 mm es adecuado ya que no se trisará la lámina al corrugar a 45° y que su longitud se acortará aproximadamente un 20% producto del corrugado. Las láminas de aluminio liso en el mercado tienen las siguientes dimensiones: 2m x 1m x 0.7mm

Así se parte con la premisa de que cada colector tendrá aproximadamente las siguientes dimensiones:

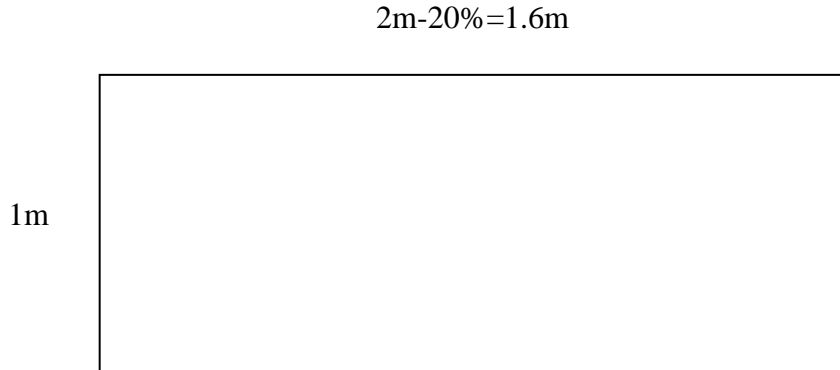


Figura 3.8 Dimensiones Colector Solar.

Fuente: Guaña, Altamirano

Así se tiene un área aproximada por colector de $1.6m^2$. Ahora se procede a determinar la cantidad de calor que los colectores con estas dimensiones serán capaces de proporcionar y ver si es que suplen el calor requerido antes determinado.

3.5.1 Calor captado por los colectores.

Una vez determinada el área de cada colector se procede a calcular la energía captada por los mismos.

$$\dot{Q}_c = \dot{Q}_d \times A_c$$

Ec [3.24] Calor Captado Colectores

Donde;

\dot{Q}_c	Flujo de calor captado por el colector
\dot{Q}_d	Flujo de calor disponible
A_c	Área de cada colector

$$\dot{Q}_c = 4750 \frac{Wh}{m^2} \times 2 \times 1.6m^2$$

$$\dot{Q}_c = 15200Wh$$

Tomando en cuenta que el proceso de la cabina tomará aproximadamente una hora, el flujo de calor captado será también analizado en una hora, por ende \dot{Q}_c será de 15200W.

3.5.2 Calor captado por las placas de vidrio

De acuerdo al diseño óptimo sugerido por el Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente (Vásquez, 2003) sugieren utilizar doble placa de vidrio en la parte superior del colector para que en el espacio de aire intermedio se genere una capa de aire caliente que tienda a estabilizar al colector, en este caso se utiliza vidrio templado de 4mm el mismo que dadas las dimensiones del colector trabajará sin pandearse y resistirá la intemperie.

Además, una vez determinado el flujo de calor captado por los colectores se analiza el flujo de calor transmitido por las placas de vidrio hacia las placas absorbedoras.

En el siguiente diagrama se observa que la energía calorífica irradiada por el sol es reflejada, absorbida y transmitida por cada placa de vidrio.

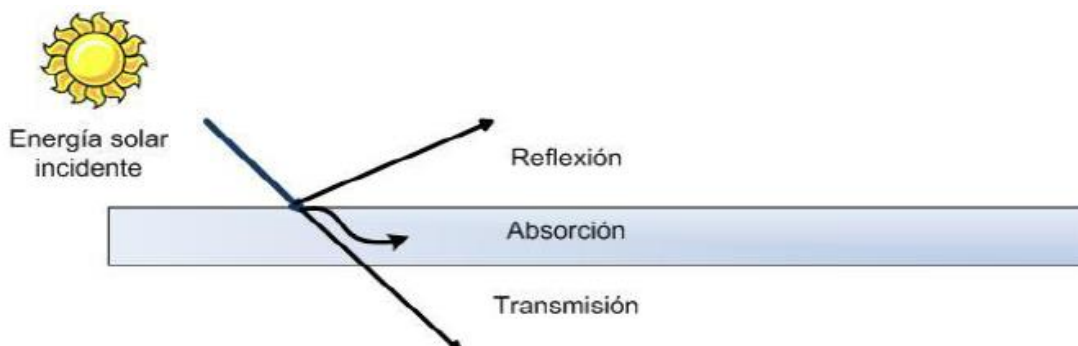


Figura 3.9 Energía solar incidente
Fuente: COA05

De acuerdo a lo indicado se plantea la siguiente ecuación:

$$\alpha + \tau + \rho = 100\%$$

Donde;

α	Absorbencia
τ	Transmitancia
ρ	Reflectancia

El vidrio templado que trabaja a la intemperie de espesores comerciales se tiene los siguientes valores: $\rho = 8\%$, $\tau = 85\%$ (según el contenido de hierro del vidrio) por ende se deduce que el valor de absorbencia α es del 7% aproximadamente. De esto se desprende que de la energía captada por la primera placa de vidrio solo el 85% traspasará, en este caso el 85% de 15200W es 12920W. Este calor es el que incidirá sobre la segunda placa de vidrio del colector. Es importante indicar que el calor absorbido por el primer vidrio permitirá mantener un efecto invernadero en el colector lo que le brindará estabilidad térmica en el mismo.

Ahora se procede a calcular la cantidad de energía que pasará la segunda placa de vidrio hacia las placas absorbedoras de aluminio, en este caso será el 85% de 12920W, o sea 10965W.

3.5.3 Transferencia de calor entre las placas absorbedoras.

Se utiliza el Aluminio de aleación 2024-T6 (Anexo 11) el cual se eligió por tres puntos, el primero su disponibilidad en el mercado, segundo por su conductividad térmica y tercero por su maleabilidad.

Según (R. Echazu, 2004) el aluminio tiene un valor de reflectancia de alrededor del 80% lo cual indica que únicamente el 20% de la energía incidente la absorbe, transfiriéndole al aire con la consecuente elevación de temperatura. En este caso el 20% de 10965W equivale a 2193W que es muy superior al calor requerido para la aplicación que fue calculado anteriormente de 224.9W.

De acuerdo a (Vásquez, 2003) los colectores solares no sobrepasan el 60% de eficiencia (Anexo 12), eso quiere decir que en la práctica únicamente pueden transferir el 60% como máximo de la energía teórica útil, en este caso considerando el proceso constructivo se asume una postura conservadora tomando como una eficiencia del 40%; al decir esto se estima que el 40% de 2193W es 877.2W serán los que se pueda transferir al aire para la aplicación.

Ahora se determinará si los colectores serán capaces de transmitir la energía necesaria para elevar la temperatura del aire para la aplicación.

Debajo de la placa absorbidora de aluminio a una distancia de 2cm se coloca otra placa de aluminio corrugada para evitar que el calor absorbido por la primera placa se fugue por la base del colector, también con este diseño basado en colectores solares anteriores según (Dalpasquale, 1991) estaríamos creando un efecto de encaminado del aire, a manera de ducto. Con lo cual se aprovechará de una mejor manera la energía máxima disponible.

Utilizando el coeficiente de convección previamente calculado se despeja la temperatura final de la ecuación de la convección,

$$\dot{Q}_2 = h \times A \times (Tf - To)$$

Ec [3.25] Cálculo Convección

$$Tf = \frac{\dot{Q}_2}{h \times A} + To$$

$$Tf = \frac{877.2W}{1.12 \frac{W}{m^2 \cdot K} \times 8m^2} + 293$$

$$Tf = 390.9^\circ K = 117.8^\circ C$$

Esto indica que los colectores teóricamente sobrepasan ampliamente la temperatura a la cual deben calentar el aire, lo cual sugiere que el diseño ha sido adecuado. Una vez construido el sistema y efectuadas las respectivas comprobaciones, se podrá efectuar cualquier ajuste que sea necesario para afinar el equipo.

3.6 Selección del ventilador

Dado que el aire al interior de la cabina debe re-circular, éste debe cumplir con dos funciones: la de impulsar el aire hacia la cabina, y la de extracción para poder recircularlo de una manera óptima. El ventilador se seleccionara del catálogo de Dayton Direct-Drive Blowers, (Anexo 4) a partir de los siguientes datos:

$$\text{Caudal requerido} = 114,24 \frac{m^3}{hora}$$

Presión estática > 27.43 mm cda

Velocidad del motor = 1075/3 rpm

Del catálogo de Greenheck se selecciona un ventilador de la marca Dayton de 1200 CFM, el mismo que está fabricado en láminas galvanizadas resistentes a la corrosión y lleva acoplado un motor eléctrico de 110 VAC y 60 Hz de potencia requerida. Es importante indicar que los CFM requeridos por el cálculo (pag. 39) son menores que los indicados por el ventilador, ya que es el dispositivo con menos capacidad en el mercado.

3.7 Selección de perfil de estructura de soporte

3.7.1 Horno automotriz.

Resultado de tensiones, aquí se muestra el lugar donde se encuentran los desplazamientos máximos y mínimos en un perfil de acero de 1x1x3mm.

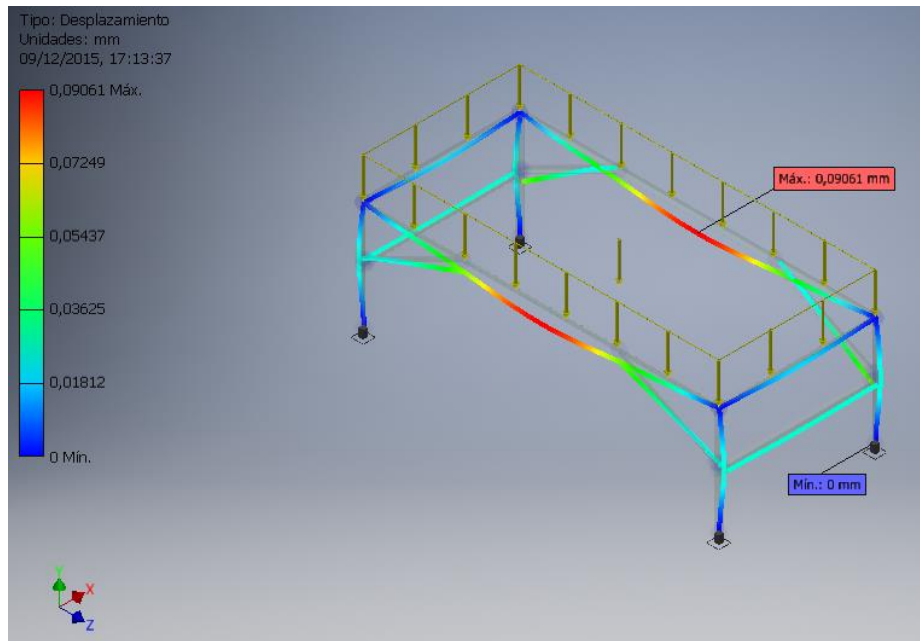


Figura 3.10 Desplazamientos máximos y mínimos estructura del horno automotriz
Fuente: Guaña, Altamirano

Factor de seguridad del elemento más crítico, aquí se muestra el lugar donde se tiene el menor factor de seguridad

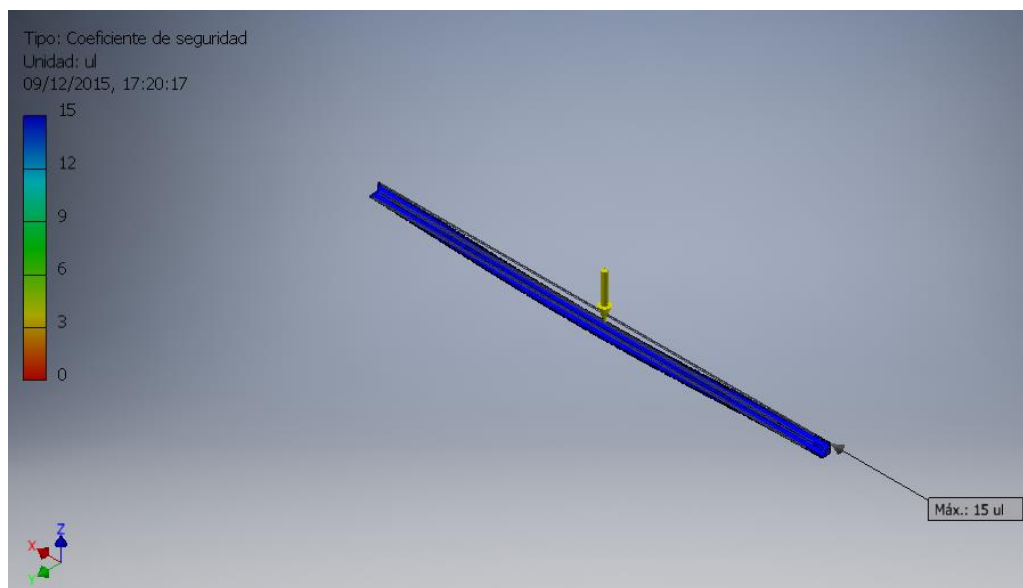


Figura 3.11 Factor de seguridad del elemento más crítico
Fuente: Guaña, Altamirano

Tensión: Aquí se indica el estado deformado indicando donde se encuentra la tensión máxima y mínima

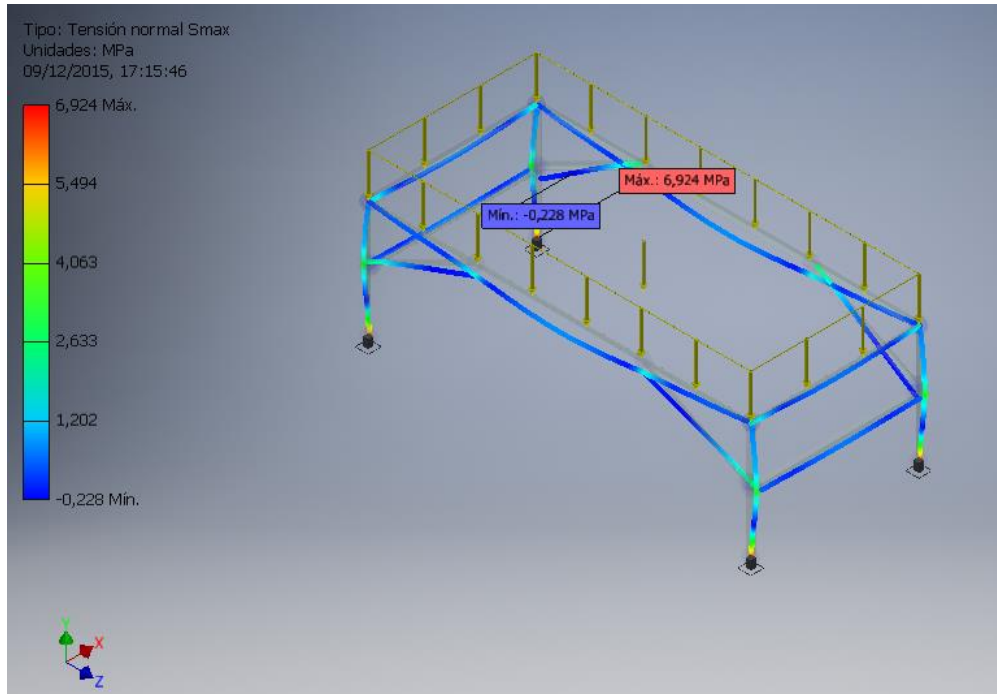


Figura 3.12 Tensión máxima y mínima
Fuente: Guaña, Altamirano

3.7.2 Colector solar

Resultado de tensiones, aquí se muestra el lugar donde se encuentran los desplazamientos máximos y mínimos

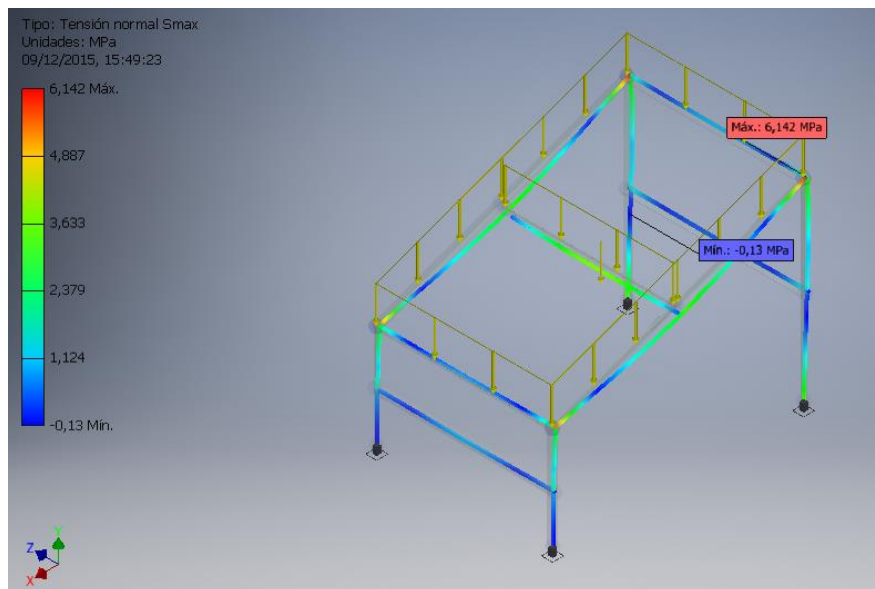


Figura 3.13 Desplazamiento máximos y mínimos; estructura del colector solar
Fuente: Guaña, Altamirano

Factor de seguridad del elemento más crítico, aquí se muestra el lugar donde se tiene el menor factor de seguridad

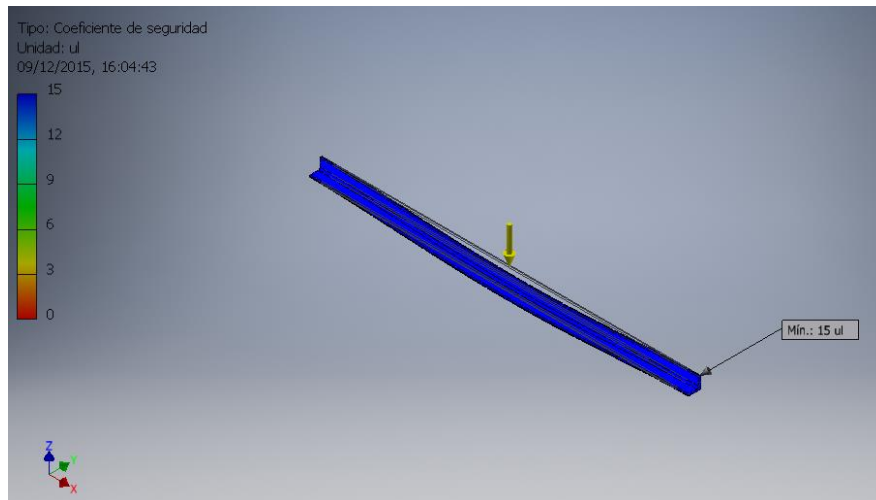


Figura 3.14 Factor de seguridad del elemento más crítico
Fuente: Guaña, Altamirano

Tensiones: Aquí se indica el estado deformado indicando donde se encuentra la tensión máxima y mínima

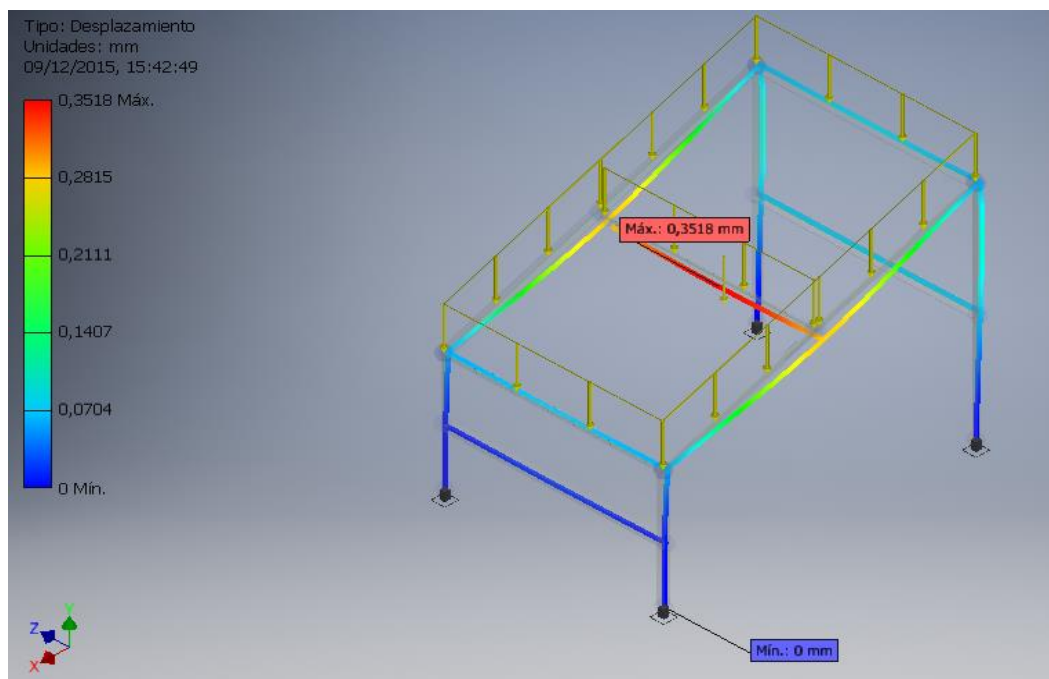


Figura 3.15 Tensión máxima y mínima
Fuente: Guaña, Altamirano

CAPITULO IV

4. Construcción de un sistema de secado con colectores solares planos de doble cubierta semitransparente con placa absorbidora corrugada

El sistema de secado mediante el uso de paneles solares de doble cubierta semitransparente para el secado de piezas plásticas consta de tres partes fundamentales que son: un ventilador en cual proporcionara el aire que nuestro sistema necesitará, dos colectores solares planos con hojas corrugadas y cubierta transparente que estarán conectados en serie de tal manera que proporcionen una alta temperatura al aire de ingreso a nuestra horno de pintura y finalmente el horno de pintura (donde se colocara las piezas plásticas a secar) que se puede apreciar en la Figura 4.1



Figura 4.1 Sistema de secado mediante el uso de paneles solares.
Fuente: Guaña, Altamirano, fotografía tomada agosto del 2015.

El funcionamiento principal del sistema de secado de piezas plásticas se basa en que, el aire va a ser suministrado a nuestros colectores solares de cubierta trasparente con planchas absorbedoras corrugada mediante un ventilador, que además ayudara a recircular el aire de nuestra cabina. El aire que ingresara al colector tendrá una temperatura ambiente y al ingresar al

primer colector aumentara su temperatura, luego al pasar por el segundo colector este aire tendrá ya un aumento de temperatura considerado, el aire ingresara al interior de unplenum donde será filtrado previamente, para por medio de unas rejillas que se encuentran en la parte inferior del plenum ingresará al el horno de pintura donde se encontrara la pieza plástica a secar. Este aire estará en recirculación de la cabina por medio de mangas de aluminio que se encuentran conectadas en serie con todo el sistema.

4.1 Levantamiento técnico de nuestro equipo

Las partes de contricción de nuestro sistema de secado solar de piezas plásticas son: ventilador de aire, sistema eléctrico de control del ventilador, colectores solares planos de doble hoja corrugada y horno de pintura, los planos de nuestro sistema y de cada parte de las piezas se encontraran adjuntas en el Anexo 5 como se puede apreciar en la Figura 4.2

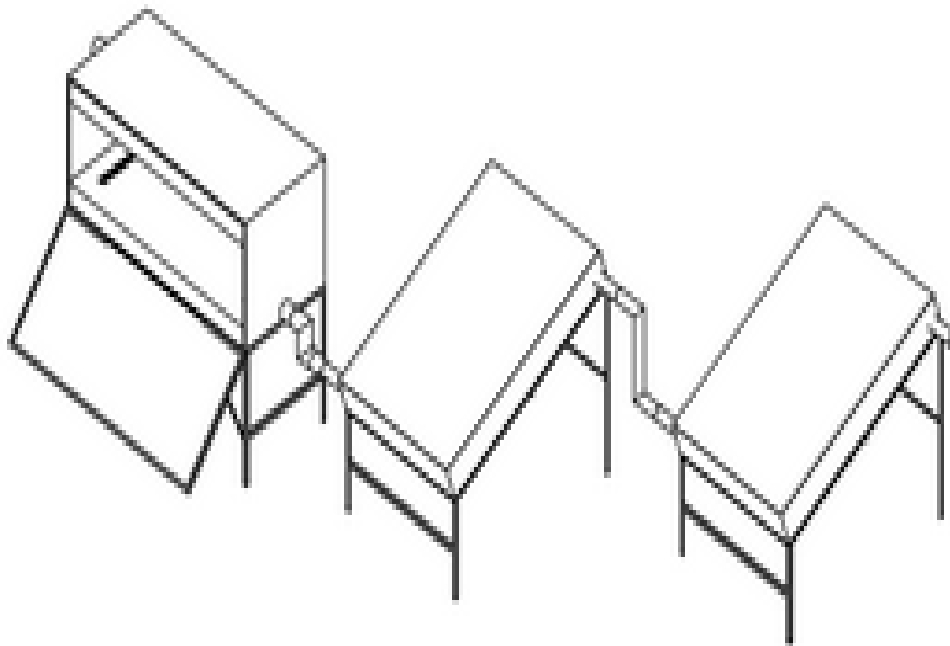


Figura 4.2 Partes constructivas del sistema de secado de partes plásticas automotrices
Fuente: Guaña, Altamirano.

4.2 Horno de pintura para piezas plásticas

El horno de pintura posee una forma rectangular (de 1,80 m de largo por 0,80m de ancho) y está construida en tol galvanizado de 0,7 mm de espesor, este se encuentra aislado térmicamente con Poly espuma de un centímetro de espesor para evitar pérdidas de calor con el medio ambiente, en su interior posee dos plenum de 0.14 m³cada uno para alojar el aire y repartir en el horno, estos están aislados térmicamente construidos en tool de 0,7m de espesor: uno de admisión del aire hacia el interior con una rejilla para suministrar el aire filtrado hacia el horno, y el otro de salida del aire mediante unas rejillas que se encuentra en el piso para recircular el aire hacia el ventilador como se puede apreciar en la Figura 4.3 que se muestra a continuación.



Figura 4.3Horno de pintura de piezas plásticas
Fuente: Guaña, Altamirano, fotografía tomada agosto del 2015.

4.2.1 Rejilla

El horno de pintura para piezas plásticas tiene una capacidad de 0.5607m^3 , en su interior posee una parilla de acero para colocar las piezas plásticas que van hacer sometidas a procesos de secado, esta parilla tiene una dimensión de 1.78 mde largo por 0.42m de ancho y se encuentra sostenida por ángulos que están en las paredes de la cabina y estos tiene diferentes regulaciones dependiendo de la altura de la pieza a secar.

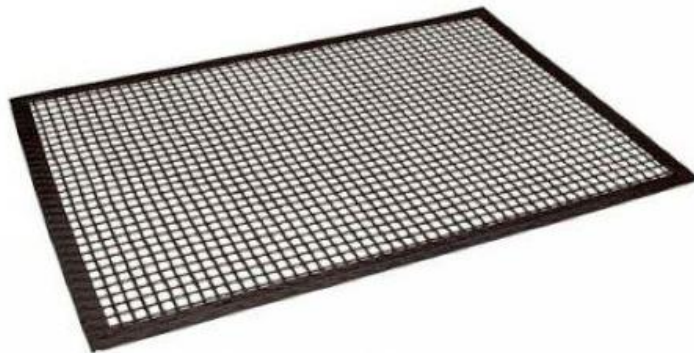


Figura 4.4 Rejilla para el secado de piezas plásticas
Fuente: Guaña, Altamirano, fotografía tomada agosto del 2015.

4.2.2 Puerta

El horno de pintura tiene una puerta de acceso al interior de esta misma, la puerta permite el ingreso y salida de las piezas que van hacer secadas al interior de la cámara, se encuentra construida en tol de 0,7mm de espesor y aislada térmicamente con Poly espuma de un centímetro de espesor para reducir la pérdida de calor. Esta se encuentra en la parte frontal de nuestra cabina está sujeta al horno por medio de tres bisagras de acero de 2", dos seguros que se cuentan en la parte frontal de esta para asegurar y permitir un sellado hermético del horno y una manilla para permitir un fácil acceso de la puerta como se apreciar en la Figura 4.5 que se muestra a continuación.

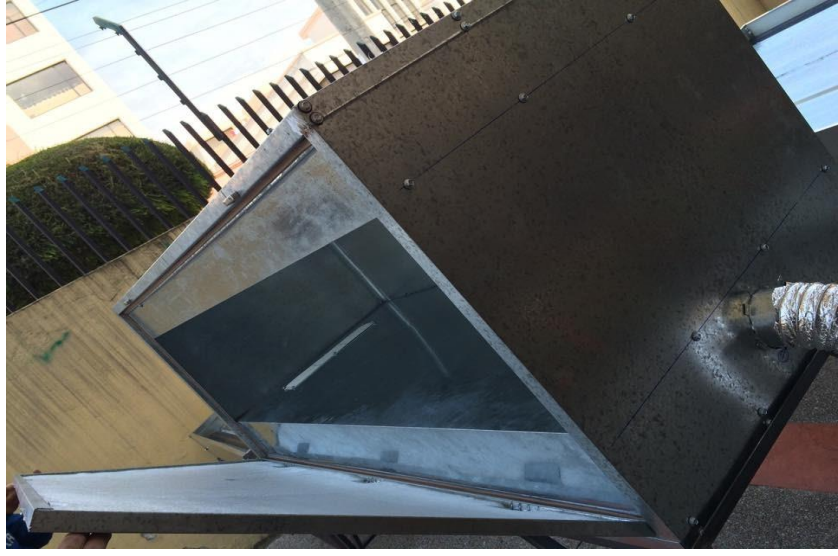


Figura 4.5 Puerta del horno de pintura para secado de piezas plásticas
Fuente: Guaña, Altamirano, fotografía tomada agosto del 2015.

4.2.3 Acoples de admisión

Tanto en la parte superior como en la inferior del plenum se encontrará acoples de 4" de diámetro para de esta manera conectar con las mangas de aluminio que conectaran con los colectores y el ventilador como se puede apreciar en la Figura 4.6 que se presenta a continuación.



Figura4.6 Acoples de admisión del aire del horno de piezas plásticas.
Fuente: Guaña, Altamirano, fotografía tomada agosto del 2015.



Figura 4.7 Acoples de escape del aire del horno de piezas plásticas.
Fuente: Guaña, Altamirano, fotografía tomada agosto del 2015.

4.2.4 Aislante térmico

Como aislante térmico se utilizará la espuma de poliuretano (Poly espuma) ya que es un material que tiene una conductividad térmica bien baja, se requiere de un mínimo de espesor (1.27 cm) para aislar en comparación con otros materiales, brindando un beneficio económico y de área requerida para el aislante, tiene una duración de vida útil de 50 años sin que se deteriore como se puede apreciar en la Figura. 4.10.



Figura 4.10 Aislante térmico Poly espuma

Fuente: Javier Guaña, Andrés Altamirano, fotografía tomada abril 2015.

La conductividad térmica que “Posee el gas espumante de sus células cerradas, que puede situarse en $10\text{ }^{\circ}\text{C} = 0,022\text{ W/m}\cdot\text{K}$, según la Norma **UNE 92202**, aunque este valor se eleva ligeramente con el paso del tiempo, hasta estabilizarse definitivamente. Después de 9 meses de envejecimiento, se considera que el valor es $10\text{ }^{\circ}\text{C} = 0,028\text{ W/m}\cdot\text{K}$, de acuerdo con **UNE 92120-1**.”(92202:1989, 2009)

La espuma de Poliuretano está compuesta por dos componentes químicos: “el Isocianato y el Polioliol, que se extraen a partir del petróleo y el azúcar siendo este un material sintético altamente reticulado y no fusible.”(92202:1989, 2009)







<p>Rollo de poliespuma</p>	<p>Medida de espesor necesaria para el aislamiento</p>
	
<p>Aislamiento de paredes del horno</p>	<p>Aislamiento del piso del horno</p>
	
<p>Ubicación de la puerta del colector previamente asilada</p>	<p>Aislamiento de la puerta del horno</p>
	

Figura 4.11 Proceso de Aislamiento del Horno de pintura
Fuente: Guaña, Altamirano, fotografía tomada abril 2015.

4.2.5 Diagrama de la estructura del horno.

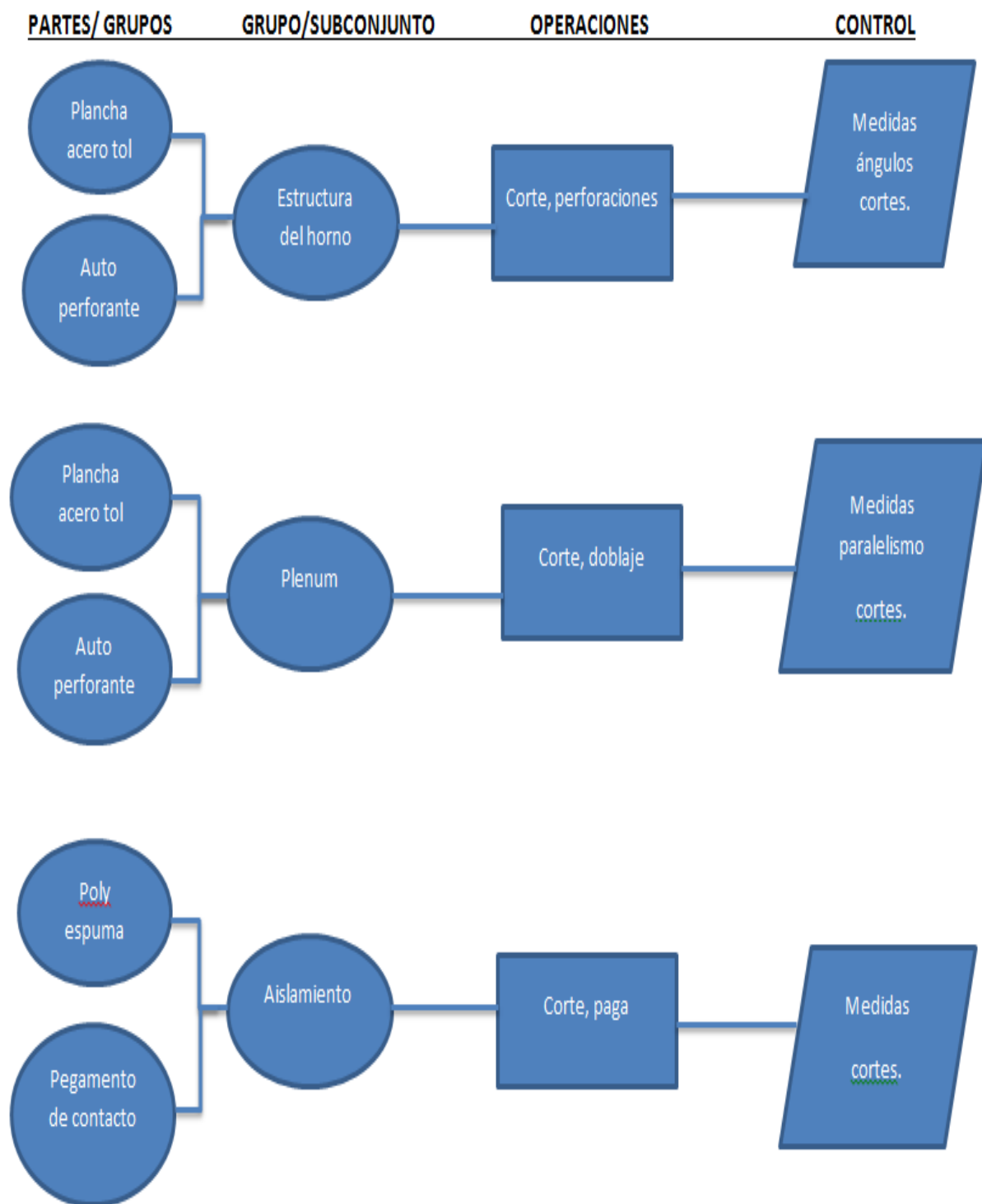


Figura 4.12 Diagrama de ensamble del Horno Automotriz.

Fuente: Guaña, Altamirano

4.2.6 Estructura de soporte del horno.

El horno de pintura se encuentra en descansando en una estructura de varilla angular de 1/8” por 1mm, la cual posee una altura de 0.80 m como se puede apreciar en la Figura 4.8 que se presenta a continuación.



Figura 4.8 Estructura de soporte para el horno de pintura de piezas plásticas.
Fuente: Guaña, Altamirano, fotografía tomada agosto del 2015.

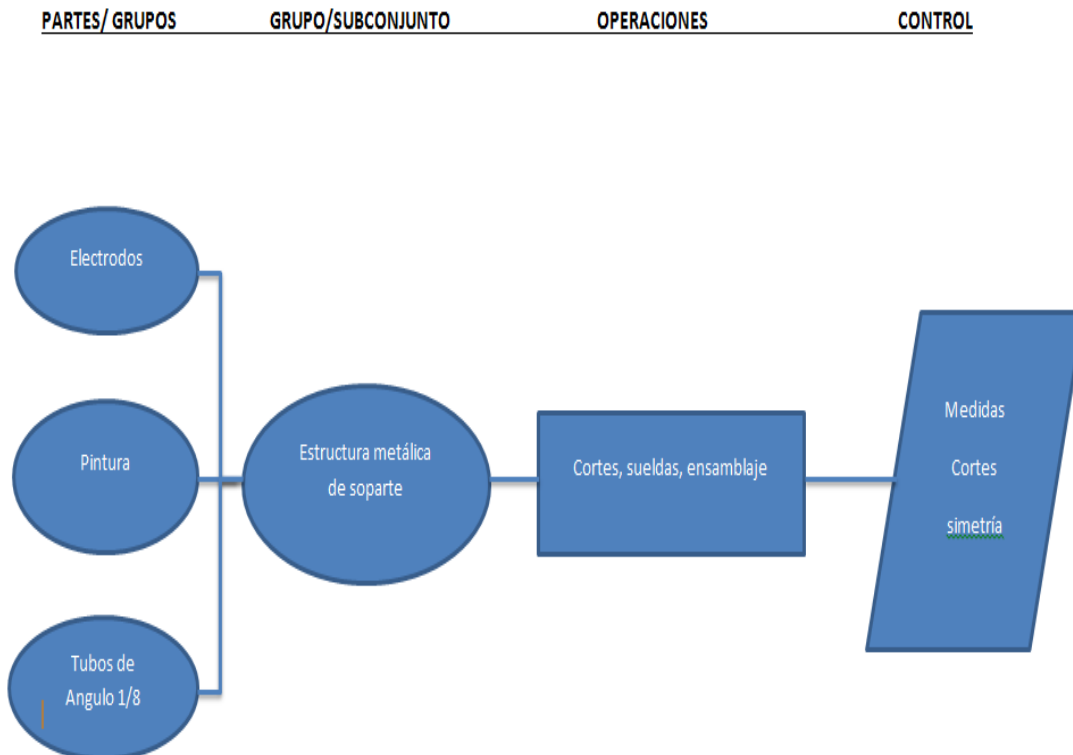


Figura 4.9 Diagrama de ensamblaje estructura de soporte del horno automotriz.
Fuente: Guaña, Altamirano

4.3 Sistema solar térmico de baja temperatura

El sistema que suministrara el aire caliente al proceso de secado estará formado por dos colectores solares planos de doble cubierta con placa absorbedora corrugada, estos estarán dispuestos en una conexión en serie, con el propósito de aprovechar la temperatura proporcionada por cada uno de los colectores y elevarla para su ingreso al horno de secado de partes plásticas automotrices.



Figura 4.13 Colectores solares planos conectados en serie
Fuente: Guaña, Altamirano, fotografía tomada mayo 2015.

El colector solar propuesto para este tipo de sistema tiene las siguientes partes. Como se presenta a continuación en la figura 4.14

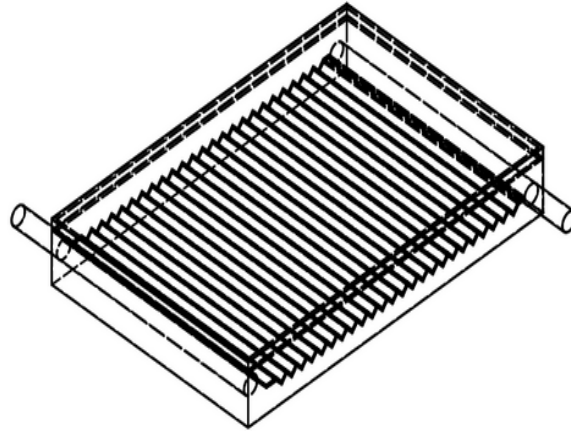


Figura 4.14 Partes del colector solar plano de doble cubierta con placa absorbente corrugada
Fuente: Guaña, Altamirano, Autocad 2013.

4.3.1 Cubierta superior.

En este tipo de colector solar utilizará vidrio templado de 4 mm de espesor el cual tiene propiedades térmicas que permiten resistir altas temperaturas. También otro factor importante en este tipo de colector es la utilización de una doble cubierta de vidrios templados los cuales nos ayudaran a crear un efecto invernadero en el interior de la cámara del colector lo cual ayudara a minimizar las perdidas en el mismo. Los vidrios templados serán de las siguientes dimensiones como se puede observar en la figura 4.15.



Figura 4.15 Dimensiones de la cubierta superior e inferior.
Fuente: Guaña, Altamirano, fotografía tomada mayo 2015

4.3.2 Placa absorbidora superior e inferior

Tanto la placa absorbidora superior e inferior tienen el mismo diseño el cual está basado en la disposición de aletas en 45°. El material que se utilizó es aluminio liso de 0.7 mm de espesor, el cual tiene una alta transferencia térmica. El proceso de contrición se basó en un cálculo previamente desarrollado el cual para producir una energía requerida de 11,21(Kw h) la superficie colectora debería tener un área de 4.3 m², pero por motivos de espacio esta área se dividió para dos lo cual nos daba como resultado la fabricación de dos colectores planos de área 2.15 m². El aire que fluirá a través de estas dos placas absorbedoras tendrá un incremento de temperatura notorio por transparencia de calor por radiación y convección que ayudara el pintar esta placa absorbidora del color negro-mate.



Rollo de aluminio liso de 0.7mm	Medición de lámina a utilizar
	
Corte de secciones en la lamina	Inicio del proceso de doblaje



Figura 4.16 Proceso de construcción de lámina corrugada del colector
Fuente: Guaña, Altamirano

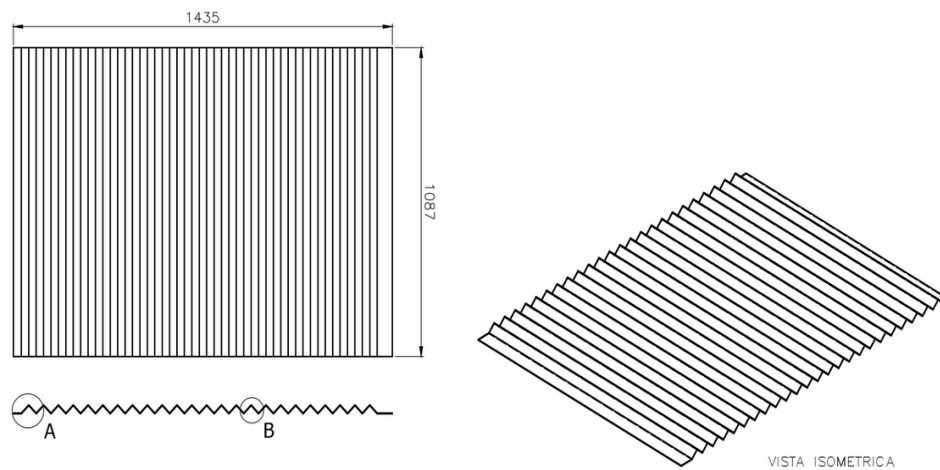


Figura 4.17 Placas absorbedoras.
Fuente: Guaña, Altamirano, Autocad 2013.

4.3.3 Tuberías de circulación internas.

La tubería que se utilizó en la construcción del colector es de acero con un diámetro de 4 pulgadas como se calculó en la Ec. 3.9. Estos se cortaron en una longitud de 1.36m como se puede observar en la figura 4.18



Figura 4.18 Corte de la tubería

Fuente: Guaña, Altamirano, fotografía tomada mayo 2015.

En este tipo de colector solar plano el número de tuberías del cual está constituido el mismo son dos, las cuales tienen un corte como se puede observar en la figura 4.19 de 2 cm el cual permite el acople de las placas corrugadas con la tubería y el ingreso de aire así alas mismas.

La primera tubería permite el ingreso del aire desde el ventilador al conjunto de placas corrugadas, por proceso de radiación eleva su temperatura. La segunda tubería permite la salida del aire hacia el horno de pintura.



Figura 4.19 Corte en la tubería para acoplamiento con las placas corrugadas
Fuente: Guaña, Altamirano, fotografía tomada mayo 2015.

4.3.4 Bases del colector

Fueron realizadas en tol 0.45 mm, este espesor facilitará el trabajo en doblaje el cual por ser un solo conjunto en el cuales estarán sujetos los vidrios templados, como también el conjunto de placas corrugadas con tubos de entrada y salida del aire como se puede apreciar en la figura 4.20.

Estas bases tendrán un aislamiento térmico el cual ayudará a reducir las pérdidas térmicas en el colector solar. Este aislamiento térmico estará compuesto de una poly espuma.



Figura 4.20 Conjunto de placas corrugadas con tubo de entrada y salida de aire montadas sobre base izquierda del colector

Fuente: Guaña, Altamirano, fotografía tomada mayo 2015



Figura 4.21 Conjunto de placas corrugadas con tubo de entrada y salida de aire montadas sobre todas las bases del colector.

Fuente: Guaña, Altamirano, fotografía tomada mayo 2015Cubierta Inferior

Esta cubierta es de tol galvanizado de 0.7 de espesor y tiene un recubrimiento igualmente de Poly espuma.



Figura 4.22 Ubicación de la poly espuma en el tol
Fuente: Guaña, Altamirano, fotografía tomada mayo 2015



Figura 4.23 Aseguramiento de la poly espuma a la placa de tol
Fuente: Guaña, Altamirano, fotografía tomada mayo 2015

4.3.5 Diagrama de la estructura del colector

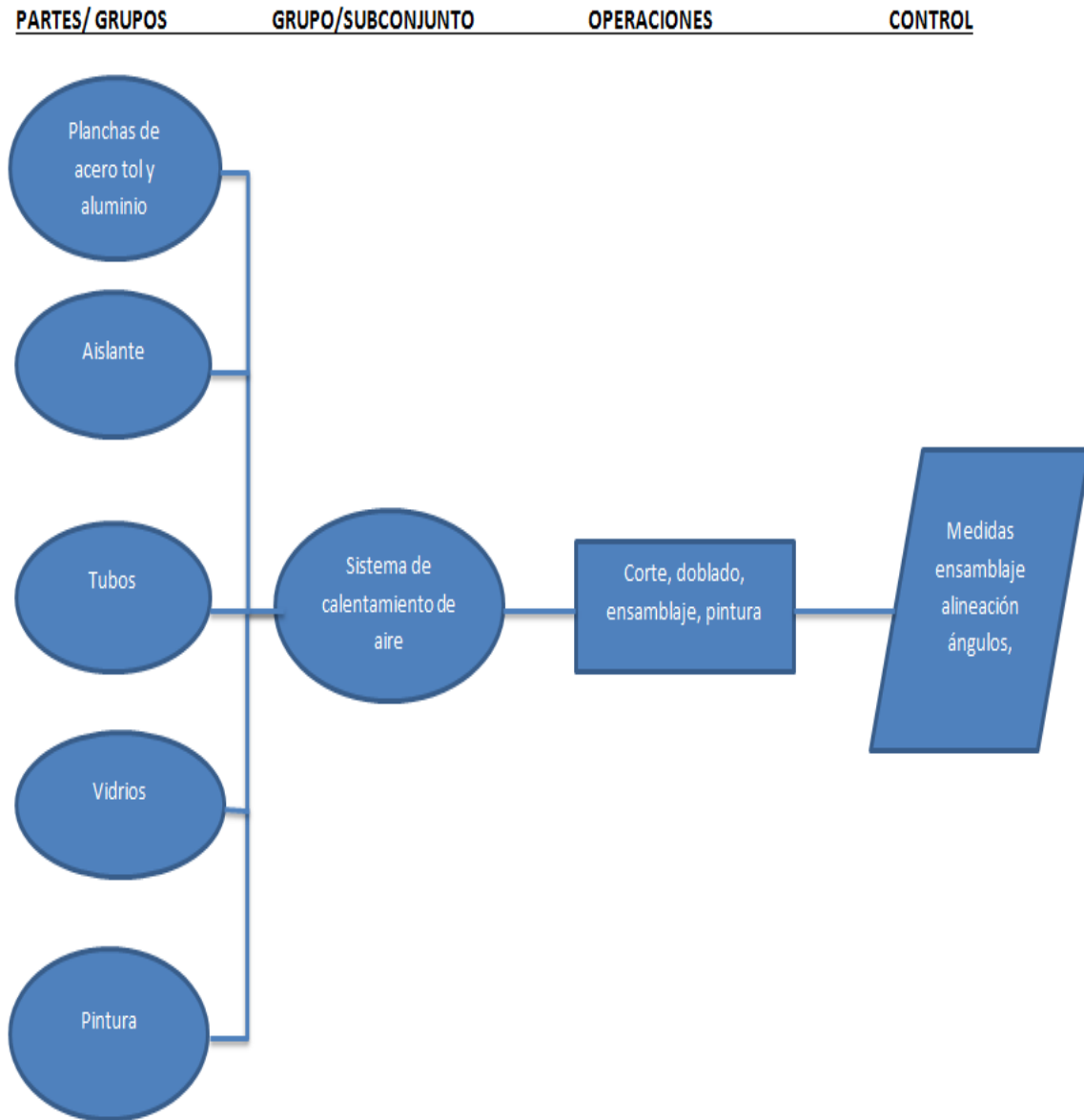


Figura 4.24 Diagrama de ensamble del colector solar
Fuente: Guaña, Altamirano

4.3.6 Estructura de soporte del colector

Los dos colectores solares planos reposan en una estructura de varilla de acero angular de 1/8” por 1mm como se aprecia en la figura. Estas tienen una inclinación de 20° la cual está basada en el cálculo de eficiencia del colector.



Figura 4.25 Estructura de soporte del colector solar plano
Fuente: Guaña, Altamirano, fotografía tomada mayo 2015

4.3.7 Diagrama de estructura de soporte del colector.

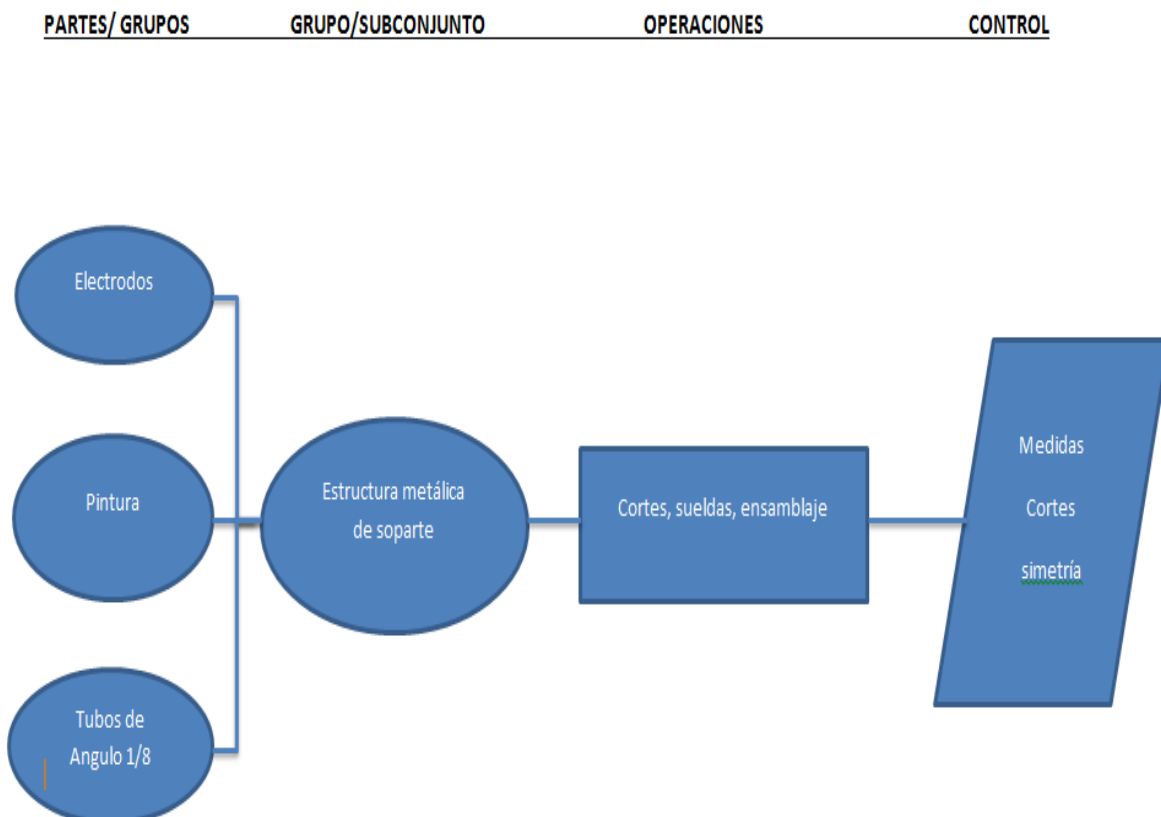


Figura 4.26 Diagrama de ensamble de la estructura de soporte del colector solar.
Fuente: Guaña, Altamirano

4.4 Sistemas de suministro de aire

Para la alimentación de aire hacia los colectores solares se utilizara un ventilador de marca Dayton de 1200 CFM, con un motor de 100VAC/60Hz y ½ HP la especificaciones técnicas de este dispositivo se la adjunta en el Anexo 4 como se puede apreciar en la Figura 4.27 que se muestra a continuación.



Figura 4.27 Ventilador de aire

Fuente: Guaña, Altamirano, fotografía agosto 2015.

Este ventilador se encuentra al interior de una caja de 0.208m³ construida de tol galvanizado de 0,7 mm de espesor la cual esta herméticamente sellada, esta posee una puerta la cual está sujeta por dos bisagras y un picaporte para poder acceder al ventilador.

En la caja del ventilador también presenta dos conductos en forma de cono, uno de salida de aire hacia el colector y el otro es de recirculación de aire que proviene de la salida del plenum como se puede apreciar en la Figura 4.28 que se muestra a continuación.

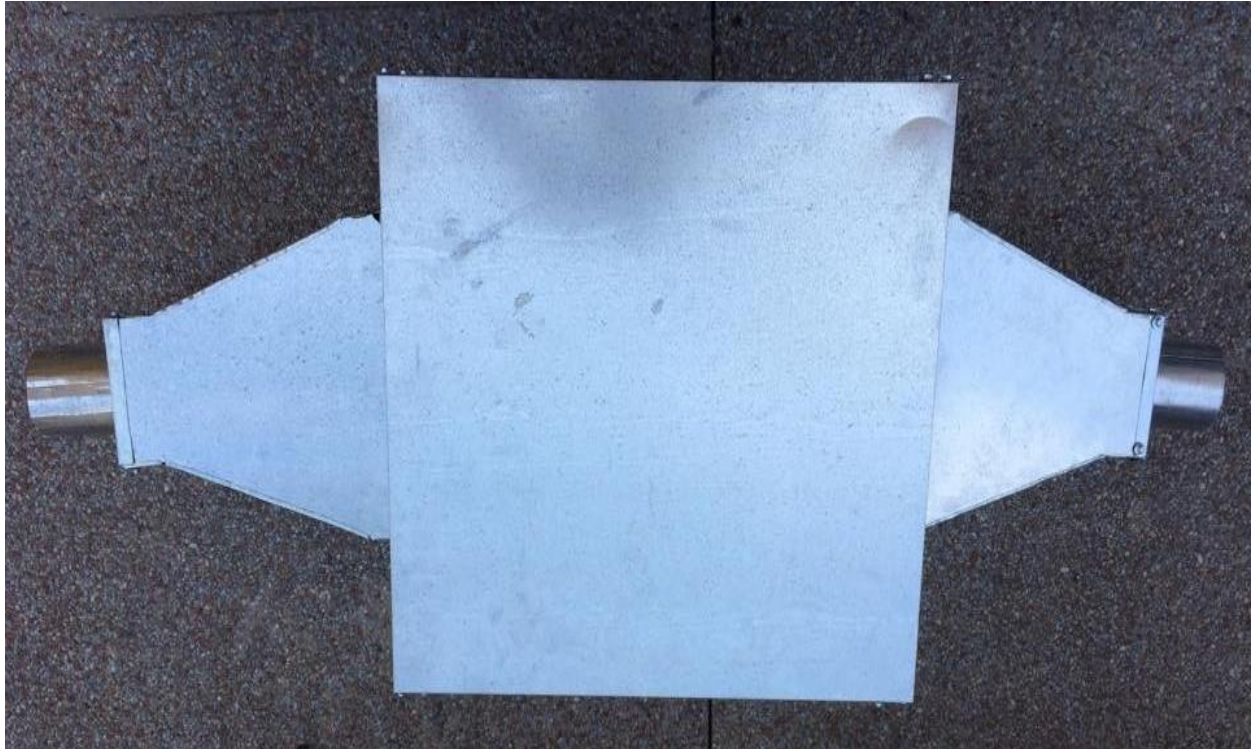


Figura 4.28Caja del ventilador vista superior
Fuente: Guaña, Altamirano, fotografía agosto 2015.

CAPITULO V

5. Pruebas de funcionamiento

5.1 Pruebas en el sistema de admisión y de recirculación del aire

Mediante las siguientes pruebas se podrá observar el correcto funcionamiento del horno de pintura, en la etapa de secado. Para completar el periodo de pruebas y evaluación de resultados se verifico el funcionamiento de cada sistema instalado.

Mediante los siguientes protocolos, de pruebas se podrá concluir el procedimiento correcto, el cual lleva a la verificación del equipo y verificación de las medidas tomadas.

1. Selección del instrumento: El instrumento a utilizar es un anemómetro de rueda alada, el cual por su característica de su tamaño pequeño de su rueda alada facilita las mediciones en los ductos de salida y entrada.
2. Verificación del funcionamiento del anemómetro: primero se debe verificar que la unidad de medida del anemómetro indique CFM y por último verificar que en la rueda alada no se encuentren objetos extraños al instrumento que permitan que la medición no sea precisa.
3. Una vez verificado el correcto funcionamiento y comprobar las unidades de medida en el anemómetro, se procede a realizar la primera medición, la cual consiste en ubicar el anemómetro en la salida de aire de la turbina, lo cual se comprueba el caudal de inicio.
4. La segunda medición se realiza en la salida del colector dos con lo cual se puede verificar el caudal final que ingresará a la cabina y por ende podremos analizar las pérdidas que se realizan por restricción al flujo del aire en las láminas corrugadas de los colectores.
5. La tercera medición se realiza en la salida de horno de pintura.

Tabla 5.1 Resultado de la prueba de admisión y recirculación del aire.

PRUEBAS (CONDICIONES)	TEMPERATURA AMBIENTE	HUMEDAD RELATIVA	CFM
SOLEADO	25°C	40 %	114
NUBLADO	18°C	59%	115
LLUVIOSO	14°C	70%	115-116

Fuente: Guaña, Altamirano.

5.2 Pruebas del horno de pintura

En las pruebas del horno de pintura se realiza los siguientes protocolos los cuales están basados en función del clima y de las horas sol en el día. Por lo tanto se dividió de la siguiente forma:

Día soleado, día nublado, día lluvioso en un horario de 12:00 PM a 15:00, tomando en cuenta que este horario la radiación solar es más intensa.

1. Los datos que se necesita para este tipo de prueba son temperatura y humedad relativa del ambiente como se puede observar en la figura 5.1



Figura 5.1 Valores de Temperatura ambiente y Humedad relativa.

Fuente: Guaña, Altamirano, fotografía agosto 2015

2. Se necesita los valores de CFM en la salida del segundo colector con lo cual se puede conocer el caudal requerido antes de ingresar a la cabina. Como se puede observar en la figura 5.2



Figura 5.2 Velocidad del aire en la salida del colector
Fuente: Guaña, Altamirano, fotografía agosto 2015

3. Se necesita el valor de la temperatura en la salida del segundo colector, el cual permite conocer el rendimiento de los mismos.



Figura 5.3 Temperatura de salida del aire en el colector
Fuente: Guaña, Altamirano, fotografía agosto 2015

4. Se necesita conocer el valor de temperatura en el interior de la cabina. El cual es el resultante de todos los datos anteriormente conocidos, y por lo cual conoceremos la temperatura final de trabajo.



Figura 5.4 Temperatura al interior de la cabina
Fuente: Guaña, Altamirano, fotografía agosto 2015

Tabla 5.2 Resultado prueba horno de pintura basados en el tipo de clima.

Clima	Temperatura ambiente	Humedad relativa	Temperatura horno de pintura	m/s en el horno de pintura
Soleado	25°C	40%	60°C	0.1 m/s
nublado	18°C	59%	39°C	0.1 m/s
lluvioso	14°C	70%	18°C	0.1 m/s

Fuente: Guaña, Altamirano

5.3 Pruebas de secado del horno de pintura

1. Poner en funcionamiento el horno de pintura para alcanzar una temperatura inicial de 30°C, con esto garantizamos que la pintura se adherirá de una mejor manera.
2. El pintado del espejo retrovisor se lo realizo previamente, con una temperatura ambiente de 15 grados.

3. Una vez la pieza plástica este al interior del horno llevaremos la temperatura del mismo hasta los 60°C, temperatura que se requiere para el secado de piezas plásticas de un vehículo.
4. El tiempo de secado de nuestra prueba es dura 40 min, una vez alcanzado este tiempo apagamos la turbina y dejar q la pieza plástica se enfrié.
5. Dejar que la temperatura interna del horno descienda hasta los 20°C para q la pieza se pueda secar en su totalidad y poder finalmente retirarla.

En la figura 5.5 se aprecia como la pieza plástica está completamente terminada, el brillo y la uniformidad del color de toda las pieza, también el proceso de secado se acorta al igual que el tiempo de entrega.



Figura 5.5 Pieza plástica terminada
Fuente: Guaña, Altamirano, fotografía septiembre 2015

En la tabla 5.3 muestra la temperatura y el tiempo, que refleja el secado de piezas plásticas tomando como referencia temperatura ambiente y el tiempo final que esta tarda en cumplir este proceso.

5.3.1 Resultados de pruebas de secado.

Tabla 5.3 Pruebas de secado horno de pintura de piezas plástica

RESULTADOS DE PRUEBAS DE SECADO SOLEADO.				
	Temperatura	Tiempo	Porcentaje de humedad	Velocidad del aire
Temperatura ambiente	25°C	-	40%	-
Temperatura inicial	20°C	0 minutos	36%	0.2 m/s.
Pieza plástica (bumper)	43°C	45 minutos	10%	0.1 m/s.
Pieza plástica (retrovisor)	39°C	30 minutos	10%	0.1 m/s.
Temperatura final	60°C	60 minutos	12%	0 m/s.

Fuente: Altamirano y Guaña

5.4 Pruebas de pintura

5.4.1 Prueba de adherencia Cross-Cut (Crosshatch)

1. Se selecciona la superficie que se va realizar la prueba en este caso un espejo retrovisor de un automóvil previamente pintado, limpiando y quitando todo tipo de impurezas q puedan afectar el resultado de la prueba.
2. Por medio de una cuchilla se realizar 7 líneas verticales y 7 horizontales así se obtendrá una cuadrícula, como se puede apreciar en la figura 5.6



Figura 5.6 Prueba de adherencia Cross-Cut
Fuente: Guaña, Altamirano, fotografía octubre 2015

3. Se coloca una tira de cinta Scotch sobre la superficie de la cuadrícula marcada. Verificando de que la cinta queda completamente adherida sobre la zona donde se realiza la prueba.

4. Retirar la de cinta Scotch con fuerza en sentido paralelo a la superficie.

Al retirar la cinta Scotch se observa que no existe ningún desprendimiento de pintura en la cuadrícula sometida a prueba, dando como resultado la adherencia del 100% de la pintura, como se puede apreciar en la figura 5.7



Figura 5.7 Resultado de la prueba de adherencia Cross-Cut
Fuente: Guaña, Altamirano, fotografía octubre 2015

5.4.2 Prueba de resistencia al disolvente.

1. Empapar un trozo de algodón o un huaípe con gasolina sobre el espejo retrovisor del automóvil.
2. Dejar que repose el algodón sobre la pieza sometida a prueba durante unos 30 min.
3. Transcurrido los 30 min se retirará el algodón de la pieza sometida a prueba y se observará si el combustible se disuelve o ablanda la pintura.

Resultados:

Se puede observar que no existe ningún tipo de desprendimiento ni ablandado en la pintura, dando como resultado positivo la prueba del disolvente, como se puede apreciar en la siguiente figura 5.8



Figura 5.8 Prueba del disolvente.

Fuente: Guaña, Altamirano, fotografía octubre 2015



Figura 5.9 Resultado de la prueba del disolvente.

Fuente: Guaña, Altamirano, fotografía octubre 2015

5.5 Análisis de resultados de las pruebas.

Tabla 5.4 Análisis de resultados de las pruebas.

Pruebas de funcionamiento	Análisis de resultados en las pruebas
Pruebas en el sistema de admisión y de recirculación del aire	Según la regulación de NFPA-33, en la que menciona que un sistema de secado para cabinas de pintura tendrá, un ciclo de 120 renovaciones completas de aire por hora y para su recirculación una velocidad media de 0.2 a 0.4 m/s”, tomamos estos parámetros establecidos y comparamos con la Tabla 5.1 en la cual se observa que se encuentra dentro de los parámetros requeridos por la regulación NFPA-33 con lo cual el sistema funciona dentro de las normas internacionales de seguridad y uso de medios de protección contra incendios.
Pruebas del horno de pintura	En esta prueba se tomó como referencia tres factores climáticos que tenemos en nuestra ciudad y también las horas en las cuales tenemos mayor incidencia solar, la cual permitirá que nuestro sistema funcione a su máxima capacidad. Como se observa en la Tabla 5.2 la mejor condición para el funcionamiento del sistema son los días soleados en la cual se obtiene las condiciones más óptimas que se requiere para el secado de piezas plásticas tanto como: factor de humedad, temperatura requerida por el

	<p>sistema y velocidad de recirculación, en comparación con los otros dos factores climáticos que no cumplen los parámetros requeridos.</p>
<p>Pruebas desecado del horno de pintura</p>	<p>En esta prueba se realiza el secado de piezas plásticas automotriz dependiendo su tamaño Tabla 5.3, en la cual todos los parámetros están dentro de los rangos requeridos para el funcionamiento para el secado de piezas plásticas.</p> <p>Sin embargo el resultado más notorio y desfavorable en relación con una cabinas de pintura convencionales es el tiempo, en el cual tarda más nuestro equipo en secar estas piezas plásticas, ya que una cabina convencional tarda un promedio de 20 minutos, en secar las piezas automotriz y la nuestra tarda un promedio de 37, 5 minutos.</p>
<p>Pruebas de pintura</p>	<p>Prueba de resistencia al disolvente</p> <p>En esta prueba en la cual se empapa un algodón en disolvente y se le deja reposar sobre la pieza pintada durante unos 30 minutos, para verificar si el disolvente penetra la pintura por un mal secado de la pintura.</p> <p>En nuestras pruebas realizada a la pieza plástica se obtuvo un resultado positivo ya que después de realizar estos pasos no obtuvimos ningún ablandamiento producido por un mal secado de la pintura como se puede apreciar en la Figura 5.9.</p>

	<p>Prueba de adherencia Cross-Cut (Crosshatch)</p> <p>Esta prueba de adherencia de pintura en la cual se le hace una cuadrícula sobre la pieza pintada con una cuchilla fila, y en la que después se le pega una cinta Scotch sobre la cuadrícula, para ser retirada y verificar si no hay desprendimiento de la misma.</p> <p>Los resultados de esta prueba sobre nuestra pieza plástica fueron favorables ya que no obtuvimos desprendimientos de pintura, como se puede apreciar en la Figura 5.7.</p>
--	---

Fuente: Guaña, Altamirano.

Tabla 5.5 Revisión de equipo para su correcto funcionamiento.

Partes del sistema	Análisis de resultados en las pruebas
Cuerpo de la cabina- horno	Se produjo pequeñas fugas de aire en las paredes internas del horno las cuales fueron solucionadas colocando silicona(silka) en los pequeños orificios. En cuanto a lo demás, no se presentaron problemas.
Puerta	Con la puerta y el marco, se encontró pequeñas fugas de aire ya que no se producía un cierre hermético con lo cual se procedió a pegar una cinta de caucho con el fin de sellar la cabina.

Sistema de admisión y extracción	El ventilador cuenta con una protección en el caso de que se produzca un sobre voltaje. Se verifico el correcto funcionamiento del ventilador y de su caja que le brinda protección mecánica a los mismos.
Sistema eléctrico	En las instalaciones eléctricas se deberá tener en cuenta el cable y aislamiento, ya que el voltaje que maneja el equipo es de 110W. Con el sistema de control eléctrico no se encontró ninguna dificultad.

Fuente: Altamirano y Guaña

5.6 Costo del proyecto

Para obtener el costo de nuestro proyecto se dividió en costos directos e indirectos para determinar un costo total final.

5.6.1 Costos directos

Se denomina costos directos a los que se encuentran vinculados directamente con la actividad a realizar, en este caso a la contrición de nuestro sistema, adquisición o modificación.

Para eso se dividió los costos directos de la siguiente manera:

- Costo de la Materia Prima
- Costo de Insumos y Materiales
- Costo de Equipos y Maquinaria

- Costo de Energía

5.6.2 Costo de Materia Prima

Tabla 5.6 Costo de Materia Prima

Descripción	Cantidad	Valor Unitario USD	Valor Total USD
ALUM. LISO 0.7mm x 1.22m	12	\$ 10,65	\$127,80
Tol galvanizado (0,70mm) 1/32	5	\$ 17,19	\$85,80
Tol galvanizado (0,45mm) 1/40	5	\$ 11,05	\$55,25
Aislante Poly espuma 1 cm	15	\$ 2,10	\$31,50
Galón Pega Africano	1	\$ 10,27	\$10,27
Ductos de aire flexible 4x8	2	\$ 21,45	\$42,90
Sellador Café 16x3 5m	1	\$ 2,33	\$2,33
Abrazadera 105-127 7mm	4	\$ 3,79	\$15,16
Angulo 1x1/8	6	\$ 7,41	\$44,46
Caja Auto perforante hexag ³ / ₄ x 10	1	\$ 2,20	\$ 2,20
Electrodo Esab 1/8 6011	40	\$ 2,59	\$ 2,59
Sika boom 75ml espuma	2	\$ 14,17	\$ 28,34
Tubo redondo 4x2	1	\$ 33,70	\$ 33,70
Sikabond at metalesgrisclaro	2	\$ 25,54	\$ 51,08
Silicon abro 1200 aluminio	2	\$ 3,50	\$ 7
Disco de corte 7mm 0,5cm	3	\$ 4,50	\$ 13,50

Manilla metal	1	\$ 4,50	\$ 4,50
Seguros metálicos	2	\$ 2,50	\$ 5
Bisagra acero 2"	6	\$ 2,5	\$ 15
Picaporte	1	\$ 1,45	\$ 1,45
Brocha	1	\$ 0,75	\$ 0,75
Caja Auto perforante hexag 1/8 x 10	1	\$ 2,75	\$ 2,75
¼ Pintura negra mate	1	\$ 4,50	\$ 4,50
1 Litro de Tiner	1	\$ 4,75	\$ 4,75
Huaipe	4	\$ 4	\$ 4
		IVA 12%	71,58
		TOTAL	668,16

Fuente: Altamirano y Guaña

Es el costo de todos los elementos del colector solar que no vayan a ser construidos, la materia prima de todos los elementos que vayan a ser construidos y elementos complementarios.

5.6.3 Costo de materia e Insumos

Los materiales e insumos son artículos utilizados para la elaboración de los proyectos pero que no forman parte del mismo.

Tabla 5.7 Costo de materiales e Insumos

Costo de materia e Insumos		
Cantidad	Material	Valor USD
4	Silicona	\$ 32.00
8	Lijas	\$ 6.00

10	Guipes	\$ 2.00
3	Gasolina	\$ 5.00
4	Sierras	\$ 6.00
1	Disco de amoladora	\$ 4.50
	Otros	\$ 10.00
	Subtotal	\$ 65.50
	IVA 12%	\$ 7.86
	Total	\$ 73.36

Fuente: Altamirano y Guaña

5.6.4 Costo de energía

Es la energía que ocupan los equipos y herramientas utilizadas.

Tabla 5.8Maquinaria, Equipos y Herramientas

Maquinaria, Equipos y Herramientas	
Recipiente para líquidos	Escuadra
Remachadora	Compas
Nivel	Martillo de goma
Flexo metro	Equipo de Seguridad
Tijera de tol	Playos de presión
Destornilladores	Compresor
Brocha	Amoladora(7in 2500W, 8500RPM)
Taladro de mano	Máquina de soldar Eléctrica
Llaves mixtas	Soplete
Dobladora de banco	Cizalla de banco

Rachas	Troqueladora
Broca	Punzón

Fuente: Altamirano y Guaña

La energía consumida por los equipos es mínima pero no despreciable, con la suma de 64 horas aproximadamente que tomo la construcción de los componentes del colector solar, se estima unas 15 horas de uso de los equipos que funcionan con luz, con el costo en centavos de 8,42 KW/h y un promedio de consumo de 35 KW/h, de los equipos se tendrá un costo de \$ 4.20, por la construcción de los colectores.

5.6.5 Gastos de mano de Obra

Es indispensable considerar el manejo de la maquinaria por el operador en los distancias procesos que se debe llevar a cabo en el proyecto, estimado el tiempo requerido en cada uno de esto, tal y como se presenta en la siguiente tabla:

Tabla 5.9 Costo Mano de Obra

Costo de Obra Directa			
Cortado de tol		Horas	USD
1	Operador	6.00	\$ 50
Dobladora			
1	Operador	12.00	\$ 300
Conformado			
1	Operario para montaje	4.00	\$ 100
Montaje y Soldadura			
1	Soldador Calificado	3.00	\$ 100
	Otros		

1	Operador	4.00	\$ 100
Total			\$ 650.00

Fuente: Altamirano y Guaña

5.6.6 Costo Directo Total

El costo total directo es la suma de todos los costos directos anteriores expresados en la siguiente tabla:

Tabla 5.10 Costo Directo Total

Tipo de costo	Subtotal
Costo de materia prima	\$ 668,16
Costo de materiales	\$ 73.36
Costo de mano de obra	\$ 650.00
Costo de energía	\$ 4.20
Total	\$ 1395.72

Fuente:Altamirano y Guaña

5.6.7 Costo Indirectos

Los costos indirectos son los que no están relacionados directamente con la construcción del colector, por que contribuyeron de alguna manera para su realización.

Se los conoce también como costos de administrativos y son los que se detalla a continuación.

- Costos de Investigación

5.6.7.1 Costos de investigación

Los costos de investigación son aquellos realizados para encontrar la información para la construcción sobre el colector solar y su funcionamiento que se detallan a continuación.

Tabla 5.11 Costos de Investigación

Costo de investigación			
#	Materiales	Cantidad	Valor USD
1	Libros	4	\$ 160.00
2	Internet	200h	\$ 40.32
3	Asesoría	8h	\$ 160.00
	Trasporte	-	\$ 50.00
		Total	\$ 410.32

Fuente: Altamirano y Guaña

5.7 Costo Total Indirecto

El costo indirecto es la suma de los costos indirectos y se detallan en la siguiente tabla.

Tabla 5.12 Costo Total Indirecto

Tipo de costo	Subtotal
Costo de investigación	\$ 410.32
Total	\$ 410.32

Fuente: Altamirano y Guaña

5.7.1 Costo Total

El costo total es el costo del proyecto sumando los costos directos e indirectos.

Tabla 5.13 Costo Total

Tipo de costo	Subtotal
Costo total directo	\$ 1395.72
Costo total indirecto	\$ 410.32
Total	\$ 1806.04

Fuente Altamirano y Guaña

CONCLUSIONES:

Se demuestra que mediante el cálculo de transferencia de calor, que la energía disponible en las placas absorbedoras es de 877.2W, lo cual satisface ampliamente la energía requerida por la aplicación de 222.4 para el proceso de secado de una autoparte automotriz.

Se ha logrado cumplir el objetivo principal que es diseñar y construir un sistema de secado para un horno de pintura para partes plásticas automotrices por medio de colectores solares planos de doble cubierta semitransparente, que opera de forma eficiente con normas y parámetros según regulaciones.

Los materiales que se utilizaron para la construcción tanto del horno como para los colectores, son de bajo costo y se los puede adquirir sin ningún problema. Por lo cual la construcción del mismo se puede realizar fácilmente ya que no requiere importación de ninguna parte que constituye el mismo.

Basados en la aplicación de los diferentes métodos de medición de radiación, se concluyó que el método más preciso es Amstrong page, en cual dio como resultado el mejor mes diciembre con 4.75 KWh/m² y el peor mes Julio, lo cual repercute en la eficiencia de nuestro sistema

La utilización de colectores solares para producir energía térmica y calentar el horno de piezas plásticas, reduce considerablemente el impacto medioambiental en relación con las cabinas comunes.

El tipo de barniz que se utilizó para nuestro proceso de pintura fue de tipo poliuretano, ya que se comprobó que tiene un alto nivel de secado y posterior curado, alta durabilidad del acabado, y resistencia a la abrasión y además la temperatura de trabajo es de 25°C. Y por último otra ventaja de este tipo de barniz, es la facilidad de encontrarlo mercado nacional.

Se concluyó como desventaja de nuestro sistema, son las constantes variaciones climáticas que existen en la capital, lo cual hacen que el sistema no mantenga un funcionamiento eficaz en su totalidad.

RECOMENDACIONES:

Brindar un mantenimiento de limpieza cada 6 meses a los colectores solares ya que el polvo e impurezas del medio ambiente no permiten que los rayos solares ingresen a la placa corrugada absorbadora.

En el país, no existen registros o datos de mediciones de la radiación solar con equipos especializados en el tema, solo existen predicciones y análisis estadísticos los cuales están basados en fotografías térmicas satelitales. Se recomienda para estudios futuros la utilización de aparatos específicos en la toma de datos de la radiación solar térmica, como son los medidores físicos los cuales nos ayudarían a obtener datos reales diarios, mensuales y anuales.

Se recomienda analizar la aplicación del tipo de colectores solares utilizados en el presente proyecto, como solución en el campo de calefacción de hogares que tienen falta de electricidad.

Se recomienda que la ubicación de los colectores, deba ser un lugar abierto exento de edificaciones las cuales proyecten sombra sobre estos, y por lo cual afecten en su funcionamiento, ya que con experiencias basadas en las pruebas de funcionamiento, se concluyó aquello.

Si en un futuro se desea utilizar el proyecto a gran escala, se deberá incluir un controlador electrónico, lo cual ayudará a un mejor control de la temperatura y por ende del acabado de la pintura.

BIBLIOGRAFIA

- 92202:1989, U. (2009). *THERMAL INSULATION MATERIALS. DETERMINATION OF THERMAL CONDUCTIVITY. HEAT FLOW METER METHOD*. EE.UU.
- América, T. C. (2011). *Regulacion cabinas de pintura*. EE.UU: Regulación de NFPA-33.
- Andres Altamirano, Javier Guaña. (2015). Sistema de secado por medio de colectores solares planos para partes plasticas automotrices. *Fuente*. Quito, Pichincha, Ecuador.
- Bustamante Rodriguez, H., Castro Cardenas, M., & Dueñas Martinez, E. (2011). *Academia.edu*. Obtenido de http://www.academia.edu/5792793/Proyecto_taller_de_pintura_aeronautica
- CORTES, P. &. (1983). Coletores solares a flujo de aire empleados en el secado de productos agrícolas. *SEMINARIO SOBRE SECAGEM DE PRODUTOS AGRICOLAS COM ENERGIA SOLAR*, 87-175.
- Dalpasquale, V. A. (1991). *DEPOSITO DE DOCUMENTOS DE LA FAO*. Obtenido de <http://www.fao.org/docrep/x5058s/x5058S00.htm#Contents>
- INEC. (Febrero de 2015). *ecuadorencifras.gob.ec*. Obtenido de <http://www.ecuadorencifras.gob.ec/ecuador-registra-una-inflacion-de-061-en-febrero/>
- Jaurilaritza, E. (2007). *Libro blanco para la minimización de residuos y emision*e. Vasco: IHOBE.
- Marianela, G. V. (1999). *Energía Solar Fotovoltaica y Cooperación al Desarrollo*. Madrid: IEPALA.
- Ministerio de Electricidad y Energía Renovables. (2011). *Energías Renovables*. Quito, Pichincha, Ecuador.
- R. Echazu, C. C. (2004). *Estudio de Materiales Reflectivos para Concentradores Solares*. Buenos Aires, Argentina.
- Ribot Martín, J. a. (2015). *Guía rápida de necesidades térmicas para calefacción y aire acondicionado*. España:: ProQuest ebrary.
- ROSSI, S. (1980). *Secagem e armazenamento de produtos agropecuarios*. Sao Paulo: Publicação ACIESP.
- SANTOS, L. (1980). *Construção e avaliação de um coletor-armazenador de energia solar, nao convencional, para aquecimento de ar na secagem de produtos agrico/as*. Sao Paulo, Brasil : Faculdade de Engenharia de Alimentos e Agrícola, UNICAMP,.
- STRATFORD, C., LAWAND, T., OLIVEIRA FILHO, D., JUTRAS, P., & CHAGNON, R. (1983). *Development of a barn integrated solar air prebeated for drying agricultural crops*. Canada: Brace Research Institute.
- Tonda, J. (2011). *Biblioteca digital*. Recuperado el Octubre de 2014, de <http://bibliotecadigital.ilce.edu.mx/sites/ciencia/volumen3/ciencia3/119/htm/orosolar.htm>

Vásquez, S. G. (2003). Diseño de Colectores Solares. Lima.

Willard W. Pulbarek. (2004). *Engineering Fundamentals of the Internal Combustion Engine*. New Jersey: Prentice Hall.

ANEXOS

ANEXO 1

Datos de entrada			
	Grados	Minutos	segundos
Latitud	0	14	39,36
	-		
Latitud	0,2442667		
Beta	25		
Amstrong page			
a	0,25	Factor climático	
b	0,45	Factor de veg.	
factor de albedo	0,4		

Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio
4713,7926	4613,5770	4339,2328	3871,8150	3409,6304	3170,0758
Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
3267,9351	3656,9194	4137,2060	4501,7142	4669,8450	4716,2012

Todos los datos obtenidos, son resultado de un cálculo extenso realizado en un libro de Excel, los cuales se adjuntan en un cd para su respectivo respaldo

ANEXO 2

RADIACIÓN GLOBAL DIRECTA, DATOS AMSTRONG PAGE. Gdm(0)

Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio
4,3357	4,4752	4,5192	4,3833	4,1438	3,9919
Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
4,0470	4,2581	4,4409	4,4587	4,3483	4,2708

Latitud φ	<i>-0° 14' 39.36"</i>					
Localidad	<i>Quito</i>					
Región	<i>Sierra</i>					
IEPALA						
	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio
Gdm(0)	4,3357	4,4752	4,5192	4,3833	4,1438	3,9919
A	0,9720	0,9720	0,9720	0,9720	0,9720	0,9720
B	0,0231	0,0119	-0,002	-0,0171	-0,0306	-0,0378
Gdm(β)	4,6485	4,5882	4,3518	3,9320	3,5023	3,2777
	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Gdm(0)	4,0470	4,2581	4,4409	4,4587	4,3483	4,2708
A	0,9720	0,9720	0,9720	0,9720	0,9720	0,9720
B	-0,0345	-0,0226	-0,0076	0,0074	0,0204	0,0269
Gdm(β)	3,3686	3,7291	4,1666	4,4810	4,6122	4,6419

ANEXO 3

TABLAS INAMHI						
	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio
Gdm(0)	4,75	4,75	4,75	4,75	4,75	4,75
A	0,972	0,972	0,972	0,972	0,972	0,972
B	0,0231	0,0119	-0,002	-0,0171	-0,0306	-0,0378
Gdm(β)	5,13819375	4,88549375	4,571875	4,23118125	3,9265875	3,7641375
	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Gdm(0)	4,75	4,75	4,75	4,75	4,75	4,75
A	0,972	0,972	0,972	0,972	0,972	0,972
B	-0,0345	-0,0226	-0,0076	0,0074	0,0204	0,0269
Gdm(β)	3,83859375	4,1070875	4,445525	4,7839625	5,077275	5,22393125

ANEXO 4

Sírvase leer con atención el presente manual antes del montaje, instalación, operación o mantenimiento de dicho producto. La observación de las instrucciones de seguridad protegerá a usted y los demás. Haga el favor de observar el manual de instrucciones de operación. Cualquier tipo de violación de las instrucciones de seguridad causaría graves perjuicios humanos o pérdidas de bienes. Guarde bien el presente manual para la consulta futura.

Ventilador de propulsión directa de Dayton®

Descripción

El ventilador de propulsión directa de Dayton se monta y transporta por las piezas sueltas. El embalaje contiene la carcasa cincada, impulsores, soporte de carcasa, arandelas elásticas de amortiguación, soporte de instalación de motor eléctrico, paquete de instalación de hardware. El ventilador de propulsión directa se dedica a aplicaciones especiales, tales como el sistema de alimentación de calor, el sistema de aire acondicionado y el sistema de ventilación. El ventilador montado se puede instalar de acuerdo con cuatro diferentes posiciones de rotación. (Véase la figura 2).

Abrir la caja y hacer inspecciones

Colocar ligeramente con cuidado. Chequear la lista de empaque, verificar las mercancías. Inspeccionar visualmente si haya daños durante el transporte, en su caso, sírvase solicitar la reclamación al transportista.

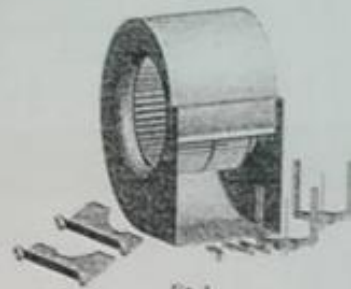


Fig. 1

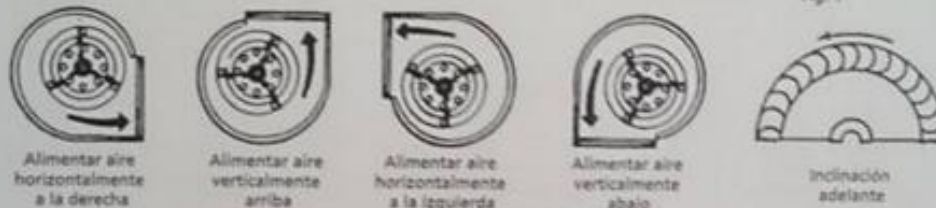


Fig. 2 Posición de rotación del ventilador

Instrucciones generales de seguridad

1. El ventilador solamente se permite instalar y mantener por los técnicos especiales.
2. La fuente de alimentación eléctrica debe seguir los requisitos del equipo.

Cuidado!

Para evitar la ocurrencia de graves perjuicios humanos y/o pérdidas de bienes, sírvase leer con atención el presente manual de instrucciones antes de hacer la instalación, operación o mantenimiento del ventilador.

Advertencia!

Corte la fuente de alimentación eléctrica antes de instalar o mantener el ventilador. Si la alimentación eléctrica no se corta, causaría posiblemente los incendios, choques eléctricos o graves perjuicios.

Advertencia!

No se use en el ambiente inflamable y explosivo.

3. La distribución eléctrica se debe manejar por el personal especial, siguiendo la norma de Regulación Eléctrica Estatal de América (NEC).

4. Todas las distribuciones eléctricas se deben manejar por los técnicos especiales.

5. Debe utilizar los cables de adecuadas medidas para disminuir el descenso eléctrico de presión del motor.

6. Se debe evitar que los cables toquen los artículos agudos, las superficies calientes, aceite y productos químicos. Repare o cambie a tiempo los cables dañados o desgastados.

7. Seguridad humana

a. En el momento de manejar el ventilador, deben ponerse de gafas protectoras y los guantes de protección;
b. Dejen los niños fuera de la zona de trabajo. Durante el funcionamiento del ventilador, los demás deben quedarse a la distancia segura.

c. La zona de trabajo debe llevar buena luz y ser limpia, y todas herramientas y equipos deben guardarse bien.

8. Dejen los dedos y las cosas extrañas apartados del ventilador y las demás aberturas. No meten ningún artículo en el motor eléctrico.

9. Durante el funcionamiento del motor eléctrico, no toquen la carcasa del motor.

Durante el funcionamiento de los motores certificados por UL, la temperatura será más alta.

Advertencia!

No toquen el motor eléctrico que causaría quemadura.

10. El sistema debe adoptar la medida de cerradura y colgar placa para evitar el consumo accidental de electricidad.

11. El motor debe estar fiablemente puesto a tierra.

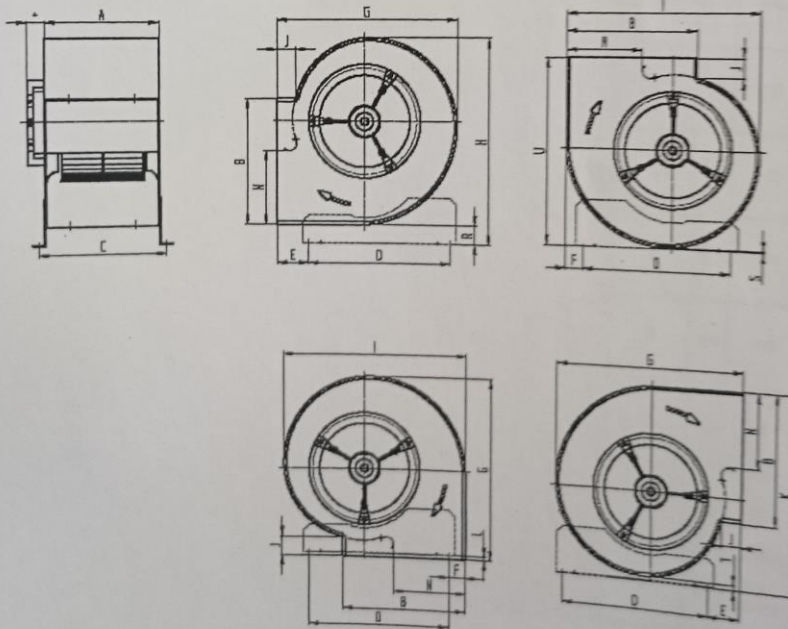
Ventilador de propulsión directa de Dayton®

Medidas

Modelo	Dia. de impulsor (Pulgada)	Anchura de impulsor (Pulgada)	Medida A (Pulgada)	Medida B (Pulgada)	Medida C (Pulgada)	Medida D (Pulgada)	Medida E (Pulgada)	Medida F (Pulgada)	Medida G (Pulgada)	Medida H (Pulgada)
5NRC3	9 1/2	6 3/4	9 3/16	10 3/8	10 1/4	11 25/32	2 5/8	1 3/8	15	16 3/4
5NRC4	9 1/2	9 1/4	11 3/4	10 5/16	12 13/16	11 3/4	2 5/8	1 3/8	15	16 3/4
5NRC5	10 5/8	8	10 5/8	11 1/2	11 3/4	13 3/8	2 5/8	1 9/16	16 3/4	19
5NRC6	10 5/8	10 3/8	13	11 1/2	14 1/8	13 3/8	2 5/8	1 9/16	16 3/4	19

Modelo	Medida I (Pulgada)	Medida J (Pulgada)	Medida K (Pulgada)	Medida L (Pulgada)	Medida N (Pulgada)	Medida R (Pulgada)	Medida S (Pulgada)	Medida T (Pulgada)	Medida U (Pulgada)	Peso (libra)
5NRC3	15 1/4	1 9/16	15 9/16	1/4	6	1 1/2	1/8	5/16	15	10.5
5NRC4	15 1/4	1 9/16	15 9/16	1/4	6	1 1/2	1/8	5/16	15	12.5
5NRC5	17 1/2	1 1/2	17 1/2	1/4	6 5/8	1 1/2	1/8	1/8	16 7/8	15
5NRC6	17 1/2	1 1/2	17 1/2	1/4	8	1 1/2	1/8	1/8	16 7/8	17

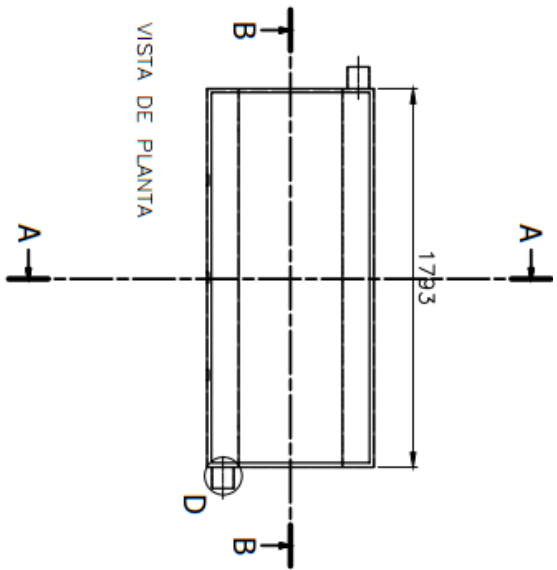
Medidas



(+) Se diferencia de acuerdo con la longitud del motor eléctrico

Fig.3 - Mmedidas del exterior

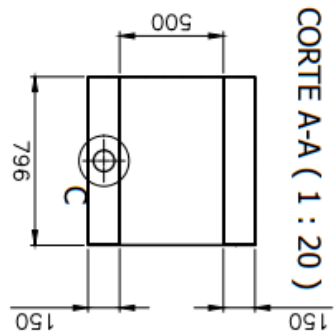
ANEXO 5



CORTE B-B (1 : 20)

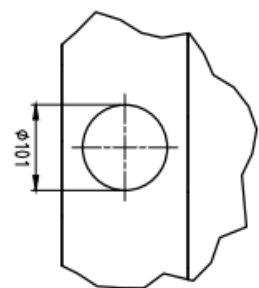
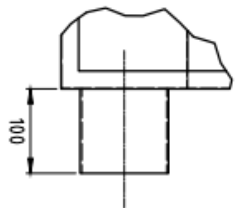


REGILLA DE AIRE

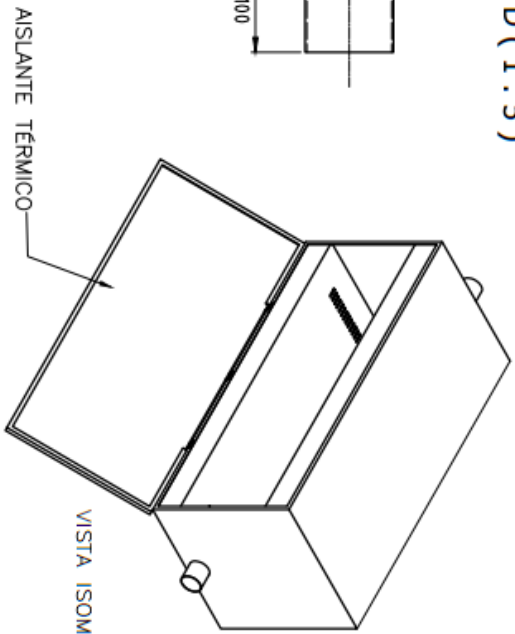


CORTE A-A (1 : 20)

CORTE D (1 : 5)



CORTE C (1 : 5)



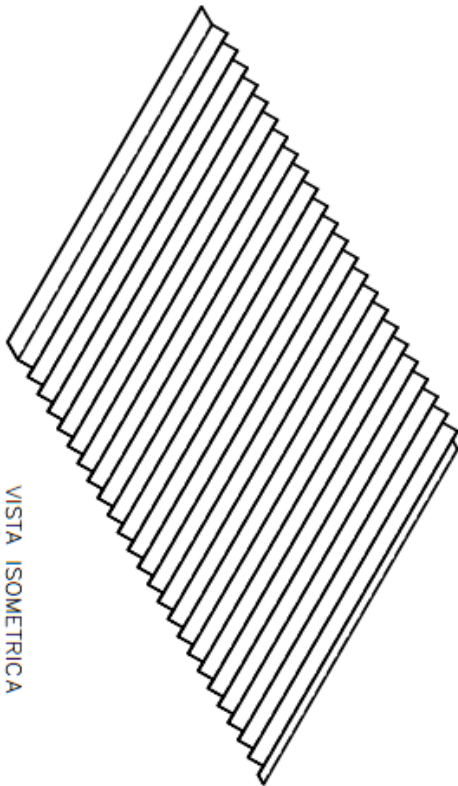
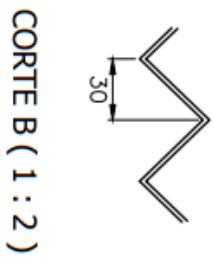
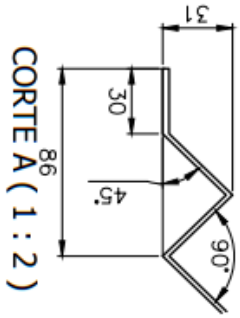
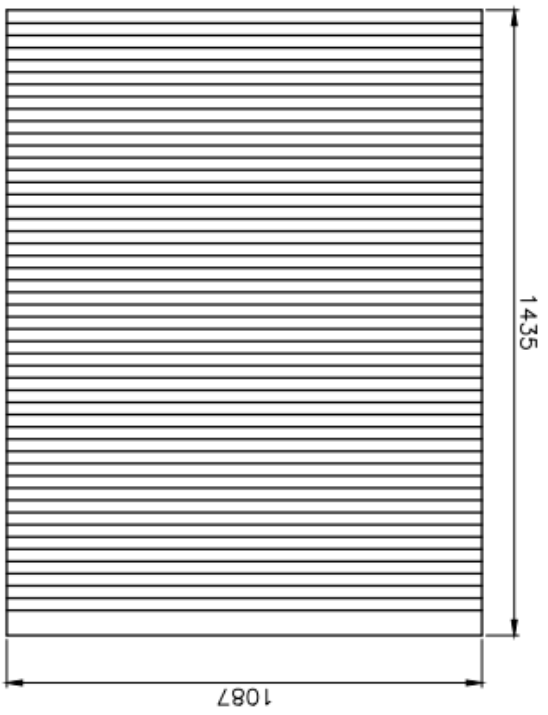
VISTA ISOMETRICA

ASLANTE TÉRMICO

NOTAS:
1.- Plancha de acero de 0,7 mm

Diseño de: Alvaro Mateo Guano Javier	Revisado por: G.A	Fecha: 20/07/2015	Hoja: 3/5
UNIVERSIDAD INTERNACIONAL DEL ECUADOR		ALTAMIRANO ANDRÉS GUAÑA JAVIER	Edición: 3/5
		HORNO SECADOR	

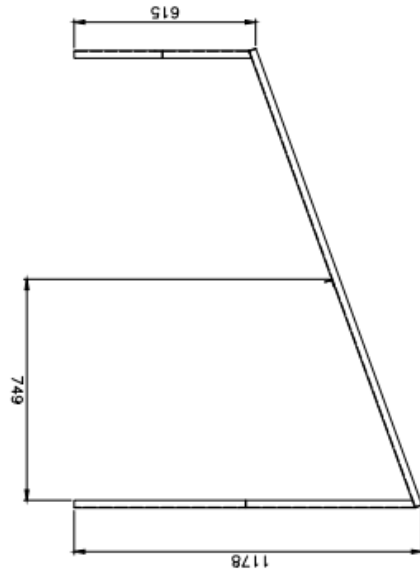
VISTA DE PLANTA



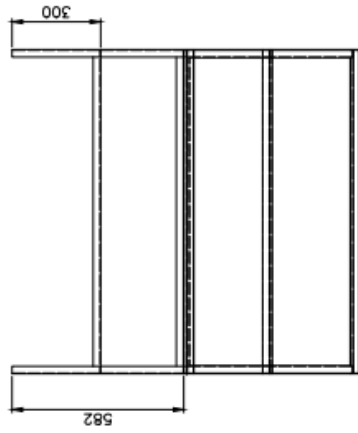
VISTA ISOMETRICA

Diseño de: Alfonso Melis Guaña Javier	Revisado por: G.A	Fecha: 20/07/2015	Edición:
UNIVERSIDAD INTERNACIONAL DEL ECUADOR		ALTAMIRANO ANDRÉS GUAÑA JAVIER	
PLACA ABSORBEDORA		Hoja: 5/5	

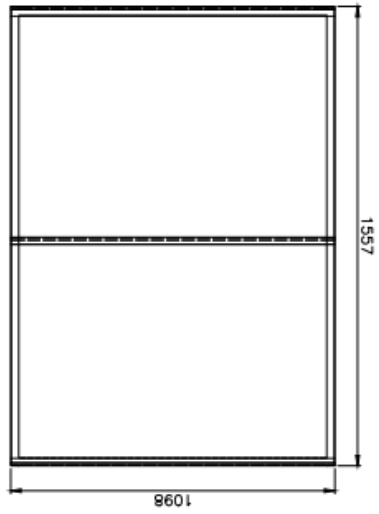
VISTA FRONTAL



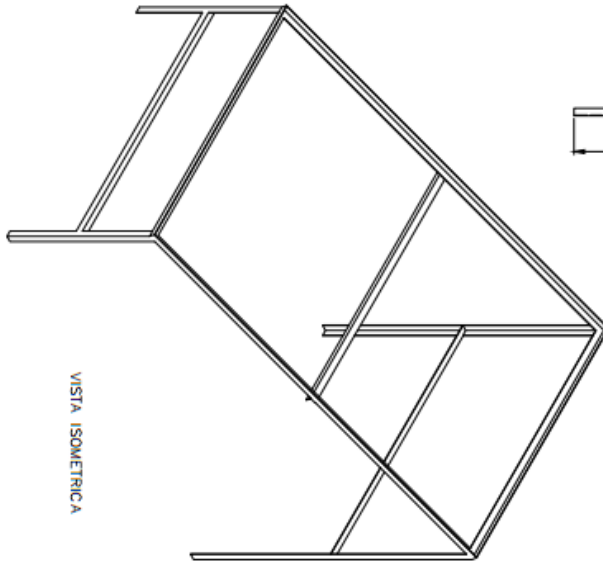
VISTA LATERAL



VISTA DE PLANTA



VISTA ISOMETRICA

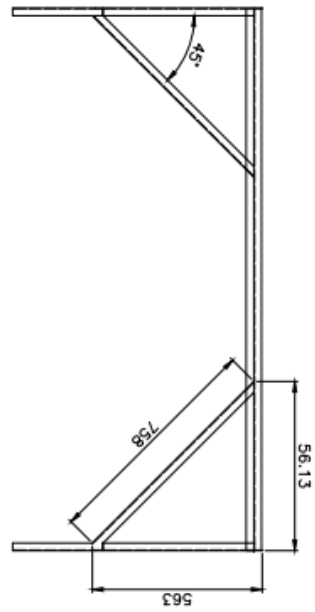


- NOTAS:
 1.-Eliminar aristas vivas
 2.-Eliminar defectos de soldadura
 3.-Se emplea un perfil angular de 1 plg.

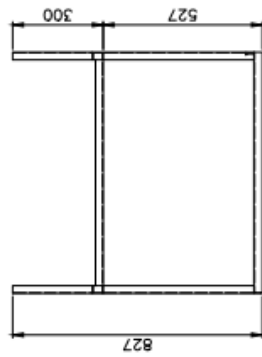
Doble de Gustavo García Velas	Elaborado por: G.A.	Fecha: 20/07/2015	Hojas: 2/5
UNIVERSIDAD INTERNACIONAL DEL ECUADOR		ALVARADO ANDRÉS GUANA JAVIER ESTRUCTURA BASE DEL COLECTOR	



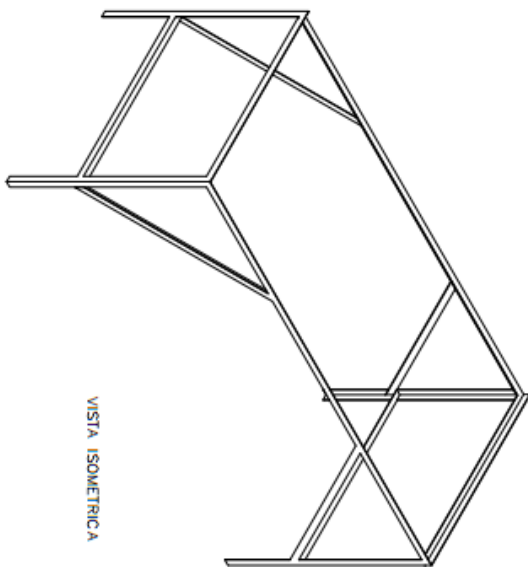
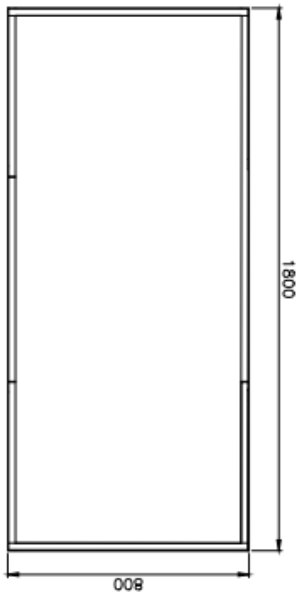
VISTA FRONTAL



VISTA LATERAL



VISTA DE PLANTA

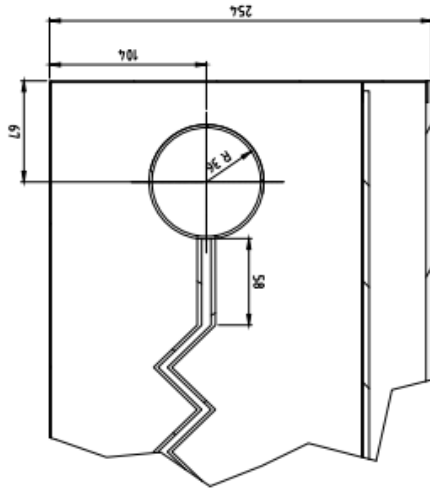


VISTA ISOMETRICA

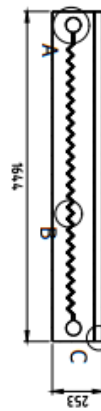
- NOTAS:
 1.-Eliminar aristas vivas
 2.-Eliminar defectos de soldadura
 3.-Se emplea un perfil angular de 1 plg.

Dado de Diseño Auto CAD 3D/1	Módulo por C.A.	Fecha: 20/07/2015	Hoja: 1 / 5
UNIVERSIDAD INTERNACIONAL DEL ECUADOR		ALVARADO ANDRÉS GUANA JAVIER	ESTRUCTURA BASE DEL HORNO

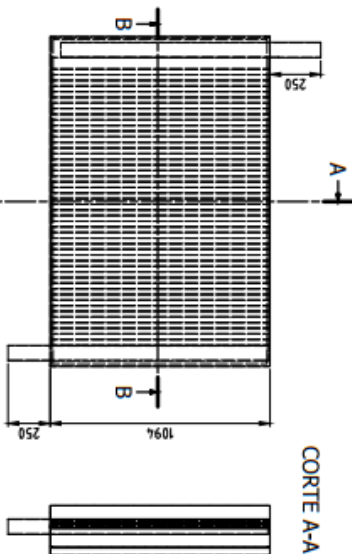
CORTE A (1 : 2)



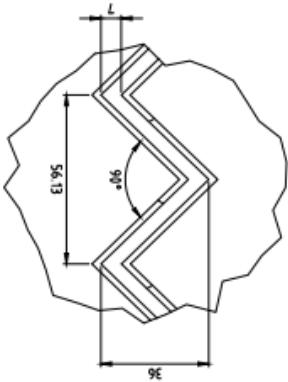
CORTE B-B (1 : 15)



CORTE A-A (1 : 15)

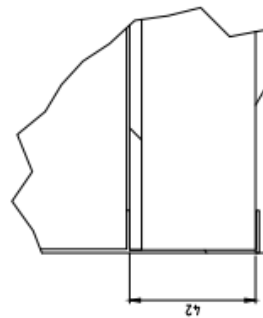


VISTA DE PLANTA

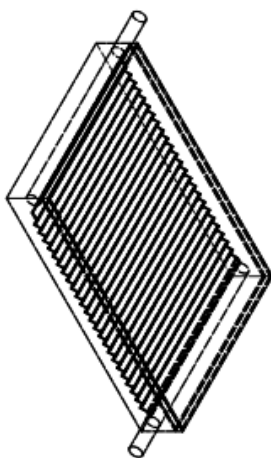


CORTE B (1 : 1)

CORTE C (1 : 1)



VISTA ISOMETRICA



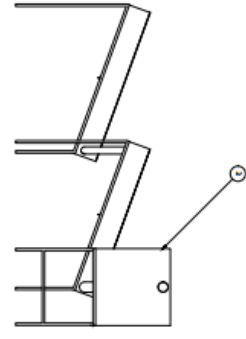
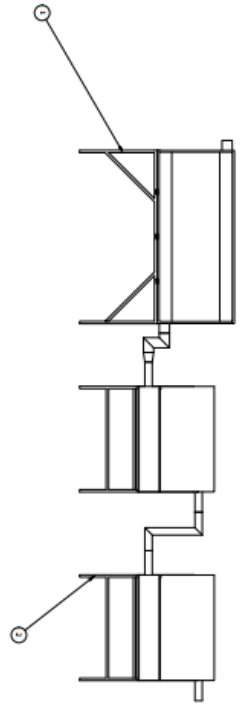
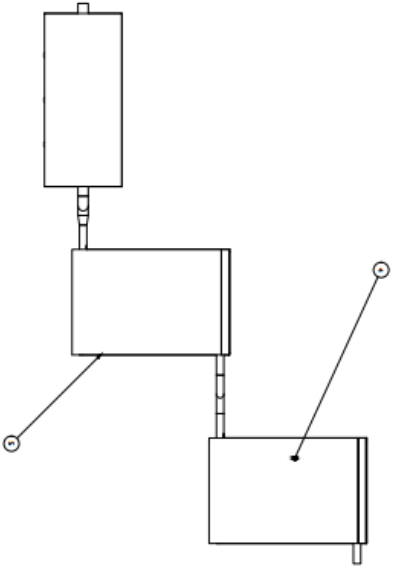
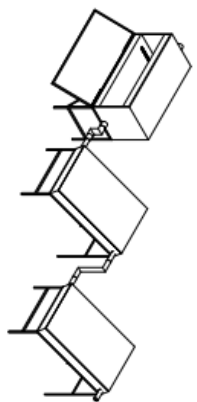
Diseño de: Mónica Meli Guano Javer	Elaborado por: G.A.A	Fecha de: 20/07/2015	Hoja de: 4/5
UNIVERSIDAD INTERNACIONAL DEL ECUADOR		ALTAMIRANO ANDRES GUANA JAVIER SECADOR SOLAR	

A

SISTEM BANGUNAN		SISTEM PERALATAN	
No.	Uraian	QTY	Uraian
1	1.1.1.1.1.1.1.1	1	1.1.1.1.1.1.1.1
2	1.1.1.1.1.1.1.2	1	1.1.1.1.1.1.1.2
3	1.1.1.1.1.1.1.3	1	1.1.1.1.1.1.1.3
4	1.1.1.1.1.1.1.4	1	1.1.1.1.1.1.1.4
5	1.1.1.1.1.1.1.5	1	1.1.1.1.1.1.1.5
6	1.1.1.1.1.1.1.6	1	1.1.1.1.1.1.1.6
7	1.1.1.1.1.1.1.7	1	1.1.1.1.1.1.1.7
8	1.1.1.1.1.1.1.8	1	1.1.1.1.1.1.1.8
9	1.1.1.1.1.1.1.9	1	1.1.1.1.1.1.1.9
10	1.1.1.1.1.1.1.10	1	1.1.1.1.1.1.1.10
11	1.1.1.1.1.1.1.11	1	1.1.1.1.1.1.1.11
12	1.1.1.1.1.1.1.12	1	1.1.1.1.1.1.1.12
13	1.1.1.1.1.1.1.13	1	1.1.1.1.1.1.1.13
14	1.1.1.1.1.1.1.14	1	1.1.1.1.1.1.1.14
15	1.1.1.1.1.1.1.15	1	1.1.1.1.1.1.1.15
16	1.1.1.1.1.1.1.16	1	1.1.1.1.1.1.1.16
17	1.1.1.1.1.1.1.17	1	1.1.1.1.1.1.1.17
18	1.1.1.1.1.1.1.18	1	1.1.1.1.1.1.1.18
19	1.1.1.1.1.1.1.19	1	1.1.1.1.1.1.1.19
20	1.1.1.1.1.1.1.20	1	1.1.1.1.1.1.1.20

UNIVERSITAS MERCUUURIP
 SURABAYA
 FAKULTAS TEKNIK
 JURUSAN TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN

SISTEM BANGUNAN
 SISTEM PERALATAN



ANEXO 6

Formal Interpretation

NFPA 33

Spray Application Using Flammable or Combustible Materials

2011 Edition

**Referencia: Capítulos 4 al 8, capítulo 10
F.I. 85-3**

Pregunta 1: Los capítulos 4 y 5 de la norma NFPA 33 se especifican los requisitos para el diseño, la ubicación y construcción de cabinas de pintura y salas de pulverización.

a) el cumplimiento de la Voluntad de estos requisitos aseguran que una cabina de pintura o sala de pulverización proporcionarán una protección adecuada contra los riesgos de salud a partir de materiales tóxicos?

Respuesta: No.

b) el cumplimiento de la voluntad de estos requisitos asegurar que una cabina de pintura o spray habitación satisfaga las normas de la Ley de Aire Limpio para las emisiones de escape?

Respuesta: No.

Pregunta 2: En el capítulo 6 de la norma NFPA 33, determinadas áreas dentro o adyacentes a pulverizar terminando áreas son designadas como lugares peligrosos, es decir, la clase I o II, División 1 o 2. ¿Indica esta designación la medida en que los trabajadores riesgos para la salud a partir de materiales tóxicos pueden estar presentes?

Respuesta: No.

Pregunta 3: En el capítulo 7 de la norma NFPA 33, se requiere la concentración de materiales inflamables en una corriente cabina de pintura o de ventilación de la sala de escape que se mantenga por debajo del 25 por ciento de la LFL

a) Voluntad cumplimiento de estas secciones también asegurar que las concentraciones de material tóxico se mantendrá en un nivel seguro, es decir, por debajo de los valores límite umbral?

Respuesta: No.

b) ¿El estándar permitirá la concentración que se eleva por encima de 25 por ciento de la LFL con el fin de cumplir con los requisitos de cumplimiento ambiental que limitan la cantidad de material que pueda ser dado de alta de una chimenea de escape?

Respuesta: No.

Pregunta 4: Capítulo 8 de la norma NFPA 33 establece los requisitos para el almacenamiento y manejo de líquidos inflamables y combustibles necesarias para evitar incendios y explosiones. ¿Será el cumplimiento de la Norma también asegurar que la exposición del trabajador a materiales tóxicos se mantendrá en un nivel seguro, es decir, - por debajo de los valores límite umbral?

Respuesta: No.

Pregunta (Continuación) 5: Capítulo 10 de la norma NFPA 33 establece los requisitos para el mantenimiento en un área de pulverización. Estos requisitos incluyen técnicas de eliminación de colecciones exceso de pulverización; raspados y trapos de residuos o material de desecho; el almacenamiento de la ropa contaminada; y la eliminación inmediata de los materiales y residuos contaminados.

a) el cumplimiento de la Voluntad de estos requisitos asegurar que se han tomado todas las medidas necesarias para evitar la exposición de los trabajadores a concentraciones peligrosas de sustancias tóxicas?

Respuesta: No.

b) ¿Los requisitos incluyen los pasos necesarios para asegurar el cumplimiento de las normas de la RCRA para la eliminación de residuos peligrosos?

Respuesta: No

Issue Edition: 1985

Reference: Chapters 4 through 8, Chapter 10

Date: September 1987

Reissued to correct error: January 2002

ANEXO 7

Tecnología de los Plásticos

Blog dedicado a los materiales plásticos, características, usos, fabricación, procesos de transformación y reciclado

PROPIEDADES TERMICAS

Las propiedades térmicas describen el comportamiento de los polímeros frente a la acción del calor. Para los termoplásticos algunas de ellas son extremadamente importantes.

Calor específico

Es la cantidad de calor requerida para elevar la unidad de masa de una sustancia en una unidad de temperatura o bien la cantidad de calor requerida para elevar la temperatura de una masa determinada de sustancia en 1 grado Celsius o un kelvin, a una especificada temperatura, expresada en $J/kg\ K$ (antes $cal/g^{\circ}C$). También es la razón de la capacidad térmica de una sustancia con la del agua a $15^{\circ}C$, pero si se considera como relación, el calor específico no tiene dimensión. Es necesario fijar la temperatura a la que se hizo la medición.

A continuación se muestran calores específicos a $20^{\circ}C$ de varios polímeros

Policloruro de vinilo	0,22
Poliestireno	0,30
Poliamidas	0,40 -0,50
Polietileno	0,55
Agua	1,00

ANEXO 8

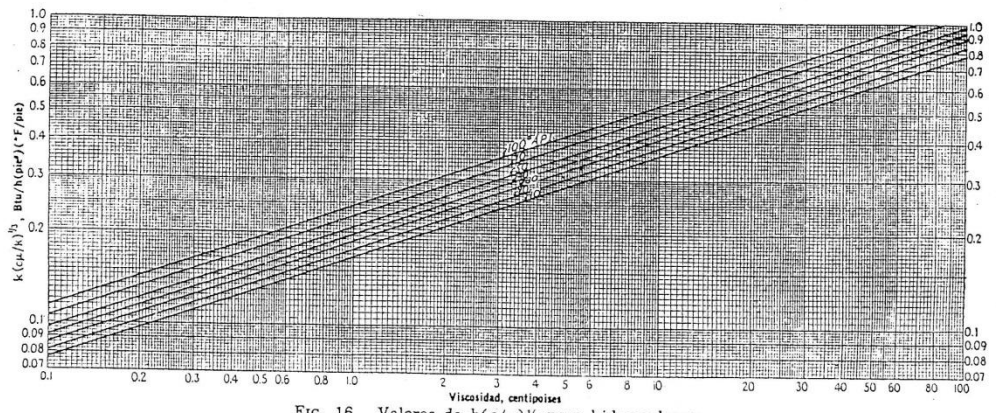
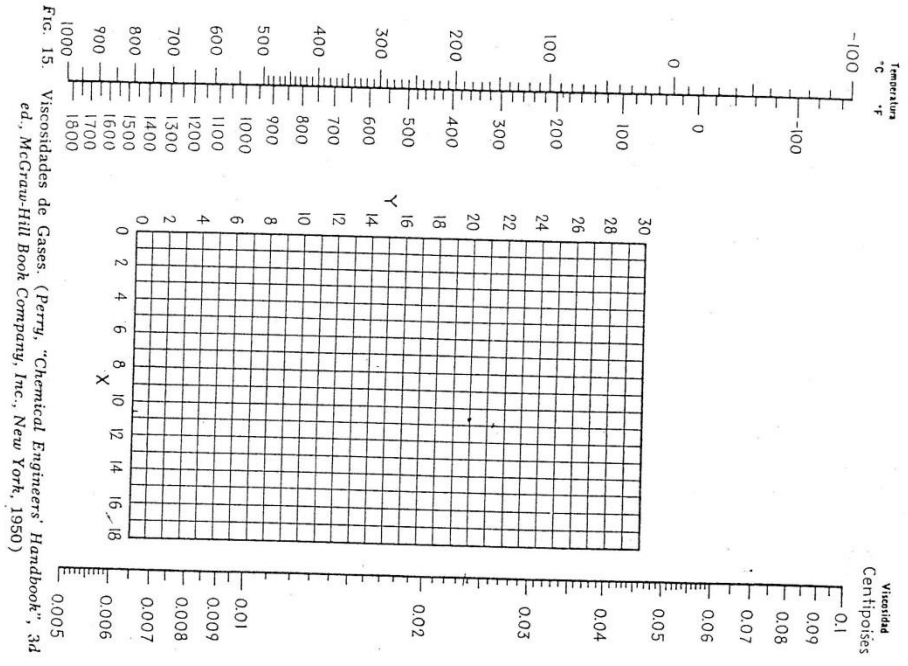


Fig. 16. Valores de $k(c/\mu)^{1/2}$ para hidrocarburos

ANEXO 9

Temp., $T, ^\circ\text{C}$	Densidad, $\rho, \text{kg/m}^3$	Calor específico, $c_p, \text{J/kg} \cdot \text{K}$	Conductividad térmica, $k, \text{W/m} \cdot \text{K}$	Difusividad térmica, $\alpha, \text{m}^2/\text{s}^2$	Viscosidad dinámica, $\mu, \text{kg/m} \cdot \text{s}$	Viscosidad cinemática, $\nu, \text{m}^2/\text{s}$	Número de Prandtl, Pr
-150	2.866	983	0.01171	4.158×10^{-6}	8.636×10^{-6}	3.013×10^{-6}	0.7246
-100	2.038	966	0.01582	8.036×10^{-6}	1.189×10^{-5}	5.837×10^{-6}	0.7263
-50	1.582	999	0.01979	1.252×10^{-5}	1.474×10^{-5}	9.319×10^{-6}	0.7440
-40	1.514	1002	0.02057	1.356×10^{-5}	1.527×10^{-5}	1.008×10^{-5}	0.7436
-30	1.451	1004	0.02134	1.465×10^{-5}	1.579×10^{-5}	1.087×10^{-5}	0.7425
-20	1.394	1005	0.02211	1.578×10^{-5}	1.630×10^{-5}	1.169×10^{-5}	0.7408
-10	1.341	1006	0.02288	1.696×10^{-5}	1.680×10^{-5}	1.252×10^{-5}	0.7387
0	1.292	1006	0.02364	1.818×10^{-5}	1.729×10^{-5}	1.338×10^{-5}	0.7362
5	1.269	1006	0.02401	1.880×10^{-5}	1.754×10^{-5}	1.382×10^{-5}	0.7350
10	1.246	1006	0.02439	1.944×10^{-5}	1.778×10^{-5}	1.426×10^{-5}	0.7336
15	1.225	1007	0.02476	2.009×10^{-5}	1.802×10^{-5}	1.470×10^{-5}	0.7323
20	1.204	1007	0.02514	2.074×10^{-5}	1.825×10^{-5}	1.516×10^{-5}	0.7309
25	1.184	1007	0.02551	2.141×10^{-5}	1.849×10^{-5}	1.562×10^{-5}	0.7296
30	1.164	1007	0.02588	2.208×10^{-5}	1.872×10^{-5}	1.608×10^{-5}	0.7282
35	1.145	1007	0.02625	2.277×10^{-5}	1.895×10^{-5}	1.655×10^{-5}	0.7268
40	1.127	1007	0.02662	2.346×10^{-5}	1.918×10^{-5}	1.702×10^{-5}	0.7255
45	1.109	1007	0.02699	2.416×10^{-5}	1.941×10^{-5}	1.750×10^{-5}	0.7241
50	1.092	1007	0.02735	2.487×10^{-5}	1.963×10^{-5}	1.798×10^{-5}	0.7228
60	1.059	1007	0.02808	2.632×10^{-5}	2.008×10^{-5}	1.896×10^{-5}	0.7202
70	1.028	1007	0.02881	2.780×10^{-5}	2.052×10^{-5}	1.995×10^{-5}	0.7177
80	0.9994	1008	0.02953	2.931×10^{-5}	2.096×10^{-5}	2.097×10^{-5}	0.7154
90	0.9718	1008	0.03024	3.086×10^{-5}	2.139×10^{-5}	2.201×10^{-5}	0.7132
100	0.9458	1009	0.03095	3.243×10^{-5}	2.181×10^{-5}	2.306×10^{-5}	0.7111
120	0.8977	1011	0.03235	3.565×10^{-5}	2.264×10^{-5}	2.522×10^{-5}	0.7073
140	0.8542	1013	0.03374	3.898×10^{-5}	2.345×10^{-5}	2.745×10^{-5}	0.7041
160	0.8148	1016	0.03511	4.241×10^{-5}	2.420×10^{-5}	2.975×10^{-5}	0.7014
180	0.7788	1019	0.03646	4.593×10^{-5}	2.504×10^{-5}	3.212×10^{-5}	0.6992
200	0.7459	1023	0.03779	4.954×10^{-5}	2.577×10^{-5}	3.455×10^{-5}	0.6974
250	0.6746	1033	0.04104	5.890×10^{-5}	2.760×10^{-5}	4.091×10^{-5}	0.6946
300	0.6158	1044	0.04418	6.871×10^{-5}	2.934×10^{-5}	4.765×10^{-5}	0.6935
350	0.5664	1056	0.04721	7.892×10^{-5}	3.101×10^{-5}	5.475×10^{-5}	0.6937
400	0.5243	1069	0.05015	8.951×10^{-5}	3.261×10^{-5}	6.219×10^{-5}	0.6948
450	0.4880	1081	0.05298	1.004×10^{-4}	3.415×10^{-5}	6.997×10^{-5}	0.6965
500	0.4565	1093	0.05572	1.117×10^{-4}	3.563×10^{-5}	7.806×10^{-5}	0.6986
600	0.4042	1115	0.06093	1.352×10^{-4}	3.846×10^{-5}	9.515×10^{-5}	0.7037
700	0.3627	1135	0.06581	1.598×10^{-4}	4.111×10^{-5}	1.133×10^{-4}	0.7092
800	0.3289	1153	0.07037	1.855×10^{-4}	4.362×10^{-5}	1.326×10^{-4}	0.7149
900	0.3008	1169	0.07465	2.122×10^{-4}	4.600×10^{-5}	1.529×10^{-4}	0.7206
1000	0.2772	1184	0.07868	2.398×10^{-4}	4.826×10^{-5}	1.741×10^{-4}	0.7260
1500	0.1990	1234	0.09599	3.908×10^{-4}	5.817×10^{-5}	2.922×10^{-4}	0.7478
2000	0.1553	1264	0.11113	5.664×10^{-4}	6.630×10^{-5}	4.270×10^{-4}	0.7539

Nota: Para los gases ideales, las propiedades c_p , k , μ y Pr son independientes de la presión. Las propiedades ρ , ν y α a una presión P (en atm) diferente de 1 atm se determinan al multiplicar los valores de ρ , a la temperatura dada, por P y al dividir ν y α entre P .

ANEXO 10

Resulta conveniente tener una sola correlación que se aplique a *todos los fluidos*, incluidos los metales líquidos. Mediante el ajuste de una curva obtenida con datos ya existentes, Churchill y Ozoe (1973) propusieron la siguiente relación, la cual es aplicable para *todos los números de Prandtl* y se afirma que es exacta hasta $\pm 1\%$,

$$Nu_x = \frac{h_x x}{k} = \frac{0.3387 Pr^{1/3} Re_x^{1/2}}{[1 + (0.0468/Pr)^{1/4}]^{1/4}} \quad Re_x Pr \geq 100 \quad (7-26)$$

Estas relaciones se han obtenido para el caso de superficies *isotérmicas* pero también podrían usarse de manera aproximada para el caso de las que no lo son, al suponer la temperatura superficial constante en algún valor promedio. Asimismo, se supone que las superficies son *lisas* y que en la corriente libre *no hay turbulencia*. Se puede tomar en cuenta el efecto de las propiedades variables al evaluar todas las propiedades a la temperatura de película.

Placa plana con tramo inicial no calentado

Hasta ahora se ha limitado esta consideración a situaciones para las cuales toda la placa está calentada desde el borde de ataque. Pero en muchas aplicaciones prácticas intervienen superficies con una sección inicial no calentada de longitud ξ , mostrada en la figura 7-12 y, como consecuencia, no existe transferencia de calor para $0 < x < \xi$. En esos casos, la capa límite de velocidad se empieza a desarrollar en el borde de ataque ($x = 0$), pero la térmica se desarrolla donde se inicia el calentamiento ($x = \xi$).

Considere una placa plana cuya sección calentada se mantiene a una temperatura constante ($T = T_s$, constante para $x > \xi$). Mediante métodos de solución integrales (véase Kays y Crawford, 1994), se determina que los números de Nusselt locales, tanto para los flujos laminares como para los turbulentos, son

$$\text{Laminar:} \quad Nu_x = \frac{Nu_x(\text{para } \xi=0)}{[1 - (\xi/x)^{3/4}]^{1/3}} = \frac{0.332 Re_x^{1/2} Pr^{1/3}}{[1 - (\xi/x)^{3/4}]^{1/3}} \quad (7-27)$$

$$\text{Turbulento:} \quad Nu_x = \frac{Nu_x(\text{para } \xi=0)}{[1 - (\xi/x)^{9/10}]^{1/4}} = \frac{0.0296 Re_x^{1/2} Pr^{1/3}}{[1 - (\xi/x)^{9/10}]^{1/4}} \quad (7-28)$$

para $x > \xi$. Nótese que para $\xi = 0$, estas relaciones se reducen a $Nu_x(\text{para } \xi = 0)$, la cual es la relación del número de Nusselt para una placa plana sin un tramo inicial no calentado. Por lo tanto, los términos entre corchetes en el denominador sirven como factores de corrección para las placas con tramos iniciales no calentados.

La determinación del número de Nusselt promedio para la sección calentada de una placa requiere la integración de las relaciones antes dadas del número de Nusselt local, lo cual no se puede realizar en forma analítica. Por lo tanto, las integraciones se deben efectuar numéricamente. Los resultados de las integraciones numéricas se han correlacionado para los coeficientes de convección promedio [Thomas (1977)] como

$$\text{Laminar:} \quad h = \frac{2[1 - (\xi/L)^{3/4}]}{1 - \xi/L} h_{x=L} \quad (7-29)$$

$$\text{Turbulento:} \quad h = \frac{5[1 - (\xi/L)^{9/10}]}{4(1 - \xi/L)} h_{x=L} \quad (7-30)$$

La primera relación da el coeficiente de convección promedio para la sección completa calentada de la placa cuando el flujo es laminar sobre toda la placa. Note que para $\xi = 0$, se reduce a $h_L = 2h_{x=L}$, como era de esperarse. La se-



FIGURA 7-11

Jean Claude Eugene Peclet (1793-1857), físico francés nacido en Besançon, Francia. Fue uno de los primeros académicos de la École Normale de Paris. Sus publicaciones se hicieron famosas por la claridad de su estilo, visiones agudas y experimentos bien desarrollados. El **número dimensional de Peclet** fue bautizado así en su honor. *École Centrale Paris*

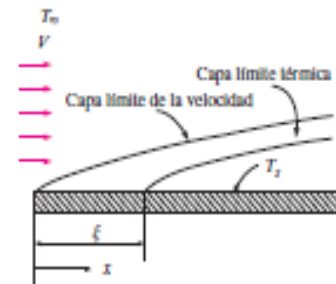


FIGURA 7-12

Flujo sobre una placa plana con un tramo inicial no calentado.

ANEXO 11

TABLA A-3

Propiedades de metales sólidos

Composición	Punto de fusión, K	Propiedades a 300 K				Propiedades a varias temperaturas (K), $k(W/m \cdot K)/c_p(J/kg \cdot K)$					
		ρ kg/m ³	c_p J/kg · K	k W/m · K	$\alpha \times 10^6$ m ² /s	100	200	400	600	800	1 000
Aluminio:											
Puro	933	2 702	903	237	97.1	302	237	240	231	218	
						482	798	949	1 033	1 146	
Aleación 2024-T6 (4.5% Cu, 1.5% Mg, 0.6% Mn)	775	2 770	875	177	73.0	65	163	186	186		
Aleación 195, fundido (4.5% Cu)		2 790	883	168	68.2	473	787	925	1 042		
						174		185			
Berilio	1 550	1 850	1 825	200	59.2	990	301	161	126	106	90.8
						203	1 114	2 191	2 604	2 823	3 018
Bismuto	545	9 780	122	7.86	6.59	16.5	9.69	7.04			
						112	120	127			
Boro	2 573	2 500	1 107	27.0	9.76	190	55.5	16.8	10.6	9.60	9.85
						128	600	1 463	1 892	2 160	2 338
Cadmio	594	8 650	231	96.8	48.4	203	99.3	94.7			
						198	222	242			
Cromo	2 118	7 160	449	93.7	29.1	159	111	90.9	80.7	71.3	65.4
						192	384	484	542	581	616
Cobalto	1 769	8 862	421	99.2	26.6	167	122	85.4	67.4	58.2	52.1
						236	379	450	503	550	628
Cobre:											
Puro	1 358	8 933	385	401	117	482	413	393	379	366	352
						252	356	397	417	433	451
Bronce comercial (90% Cu, 10% Al)	1 293	8 800	420	52	14		42	52	59		
							785	160	545		
Bronce al fósforo para engranes (89% Cu, 11% Sn)	1 104	8 780	355	54	17		41	65	74		
							—	—	—		
Latón para cartuchos (70% Cu, 30% Zn)	1 188	8 530	380	110	33.9	75	95	137	149		
							360	395	425		
Constantán (55% Cu, 45% Ni)	1 493	8 920	384	23	6.71	17	19				
						237	362				
Germanio	1 211	5 360	322	59.9	34.7	232	96.8	43.2	27.3	19.8	17.4
						190	290	337	348	357	375
Oro	1 336	19 300	129	317	127	327	323	311	298	284	270
						109	124	131	135	140	145
Iridio	2 720	22 500	130	147	50.3	172	153	144	138	132	126
						90	122	133	138	144	153
Hierro:											
Puro	1 810	7 870	447	80.2	23.1	134	94.0	69.5	54.7	43.3	32.8
						216	384	490	574	680	975
Amco (99.75% puro)		7 870	447	72.7	20.7	95.6	80.6	65.7	53.1	42.2	32.3
						215	384	490	574	680	975
Aceros al carbono:											
Simple al carbono (Mn \leq 1%, Si \leq 0.1%)		7 854	434	60.5	17.7			56.7	48.0	39.2	30.0
								487	559	685	1 169
AISI 1010		7 832	434	63.9	18.8			58.7	48.8	39.2	31.3
								487	559	685	1 168
Al carbono-silicio (Mn \leq 1%, 0.1% < Si \leq 0.6%)		7 817	446	51.9	14.9			49.8	44.0	37.4	29.3
								501	582	699	971

ANEXO 12

2.1 Ancho del colector

Como se observa en el gráfico 1, la eficiencia del colector se incrementa significativamente hasta que el ancho del colector se aproxime a 1 m. Sin embargo, para valores mayores a 1,5 m la eficiencia empieza a decrecer paulatinamente. Es oportuno anotar que el ancho del colector depende también del número de tubos.

Gráfico 1. Ancho del colector vs. eficiencia

