



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA EN SISTEMAS, ELECTRÓNICA E
INDUSTRIAL
CARRERA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL EN PROCESOS DE
AUTOMATIZACIÓN

TEMA

“IMPLEMENTACIÓN DE UNA CABINA DE PINTURA PARA COFRES MORTUORIOS EN LA FÁBRICA LAS MADERAS DE LA CIUDAD DE AMBATO”

Trabajo de graduación: modalidad TEMI Trabajo Estructurado de Manera Independiente, presentado previo a la obtención del título de Ingeniero Industrial en Procesos de Automatización.

SUBLÍNEA DE INVESTIGACIÓN: Gestión de sistemas mecánicos, neumáticos e hidráulicos.

AUTOR: Juan Fernando Guevara Guzmán

TUTOR: Ing. Darwin Santiago Aldás Salazar Mg.

AMBATO – ECUADOR

Junio 2015

APROBACIÓN DEL TUTOR

En mi calidad de Tutor del trabajo de investigación sobre el tema: IMPLEMENTACIÓN DE UNA CABINA DE PINTURA PARA COFRES MORTUORIOS EN LA FÁBRICA LAS MADERAS DE LA CIUDAD DE AMBATO, del señor Guevara Guzmán Juan Fernando, egresado de la Carrera de Ingeniería Industrial en Procesos de Automatización, de la Facultad de Ingeniería en Sistemas, Electrónica e Industrial, de la Universidad Técnica de Ambato, considero que el informe investigativo reúne los requisitos suficientes para que continúe con los trámites y consiguiente aprobación de conformidad con el Art. 16 del Capítulo II, del Reglamento de Graduación para obtener el título terminal de tercer nivel de la Universidad Técnica de Ambato.

Ambato, junio de 2015

EL TUTOR

Ing. Darwin Santiago Aldás Salazar, Mg.

AUTORÍA

El presente trabajo de investigación titulado: “IMPLEMENTACIÓN DE UNA CABINA DE PINTURA PARA COFRES MORTUORIOS EN LA FÁBRICA LAS MADERAS DE LA CIUDAD DE AMBATO”, es absolutamente original, auténtico y personal, en tal virtud, el contenido, efectos legales y académicos que se desprenden del mismo son de exclusiva responsabilidad del autor.

Ambato, junio de 2015

Juan Fernando Guevara Guzmán

CC: 1804483830

APROBACIÓN DE LA COMISIÓN CALIFICADORA

La Comisión Calificadora del presente trabajo conformada por los señores docentes Ing. Edwin Morales Perrazo, Ing. Luis Morales Perrazo, revisó y aprobó el Informe Final del trabajo de graduación titulado “IMPLEMENTACIÓN DE UNA CABINA DE PINTURA PARA COFRES MORTUORIOS EN LA FÁBRICA LAS MADERAS DE LA CIUDAD DE AMBATO”, presentado por el señor Guevara Guzmán Juan Fernando de acuerdo al Art. 17 del Reglamento de Graduación para obtener el título Terminal de tercer nivel de la Universidad Técnica de Ambato.

Ing. Vicente Morales Lozada, Mg.
PRESIDENTE DEL TRIBUNAL

Ing. Edwin Morales Perrazo, Mg.
DOCENTE CALIFICADOR

Ing. Luis Morales Perrazo, Mg.
DOCENTE CALIFICADOR

DEDICATORIA

Esta tesis la dedico a mi madre y a mis tíos por estar siempre a mi lado apoyándome incondicionalmente para llegar a esta instancia de mi carrera profesional.

También se la dedico a mis maestros y amigos que pese a todo continuaron teniendo esperanza en mí.

Para ellos esta dedicatoria de tesis y en forma especial para las personas que no creyeron en mí, esperando mi fracaso pues gracias a eso aprendí a salir adelante.

Fernando Guevara.

AGRADECIMIENTOS

Un agradecimiento a quienes conforman parte de la Universidad Técnica de Ambato y en especial a la Facultad de Ingeniería en Sistemas. Electrónica e Industrial por formarme como profesional, también a quienes integraron parte de la fase de investigación y desarrollo del presente proyecto.

Al Ingeniero Geovanny Guerrero, Gerente de la fábrica “Las Maderas”, por brindarme sus experiencias, sus conocimientos, su confianza y su apoyo en todos los proyectos que hemos realizado siempre con un enfoque de liderazgo.

A los trabajadores de la planta “Las Maderas” por formar parte durante el desarrollo del proyecto y por enseñarme cosas que solo en el campo laboral se puede aprender, gracias por todo.

Fernando Guevara.

ÍNDICE

APROBACIÓN DEL TUTOR	ii
AUTORÍA	iii
APROBACIÓN DE LA COMISIÓN CALIFICADORA	iv
DEDICATORIA	v
AGRADECIMIENTOS	vi
ÍNDICE DE TABLAS	xiii
ÍNDICE DE FIGURAS	xiv
RESUMEN	xviii
ABSTRACT.....	xix
GLOSARIO DE TÉRMINOS Y ACRÓNIMOS.....	xx
INTRODUCCIÓN	xxiv
CAPÍTULO I	1
EL PROBLEMA.....	1
1.1. Tema.....	1
1.2. Planteamiento del problema:	1
1.3. Delimitación	3
1.4. Justificación.....	3
1.5. Objetivos.....	4
1.5.1. General.....	4
1.5.2. Específicos	4
CAPÍTULO II	5
MARCO TEÓRICO	5
2.1. Antecedentes investigativos	5
2.2. Fundamentación teórica.....	6
2.2.1 El proceso de pintado	6

2.2.2.	Preparación de la superficie	8
2.2.3.	Composición de las pinturas y barnices	9
2.2.4.	Tipos de pinturas	10
2.2.5.	Técnicas de aplicación de las pinturas	12
2.2.6.	Equipos de pulverización	13
2.2.7.	Secado o curado de la pintura.....	13
2.2.8.	Problemáticas ambientales en el pintado industrial	15
2.2.9.	Medidas de producción limpia	16
2.2.10.	Proceso productivo	17
2.2.11.	Cabinas de pintura.....	19
2.2.12.	Funcionamiento	21
2.2.13.	Extracción de aire por presión positiva	21
2.2.14.	Extracción de aire por presión negativa.....	21
2.2.15.	Tipos de cabinas de pintura	22
2.2.16.	Conceptos y magnitudes	23
2.2.17.	Iluminación de la cabina.....	26
2.2.18.	Transferencia de calor.....	26
2.2.19.	Generador de aire caliente con intercambiador.....	27
2.2.20.	Consumo de energía	27
2.2.21.	Los desechos de madera como combustible.....	29
2.3.	Propuesta de solución	30
CAPÍTULO III		31
METODOLOGÍA		31
3.1.	Tipo de investigación.....	31
3.2.	Modalidad	31
3.3.	Población y muestra	31

3.4.	Recolección de información	32
3.5.	Procesamiento y análisis de datos	32
3.6.	Desarrollo del proyecto	32
CAPÍTULO IV	.....	33
DESARROLLO DE LA PROPUESTA	.....	33
4.1.	Descripción de la fábrica “LAS MADERAS”	33
4.2.	Estructura organizacional	34
4.3.	Análisis de la situación actual de la planta de producción	34
4.3.1.	Productos	35
4.3.2.	Levantamiento de procesos.....	35
4.3.3.	Segmentación de procesos	35
4.4.	Descripción del proceso de fabricación de ataúdes.....	37
4.4.1.	Proceso de corte	38
4.4.2.	Proceso ensamble cofre	40
4.4.3.	Proceso preparado.....	46
4.4.4.	Proceso pintado.....	50
4.4.5.	Proceso tapizado	54
4.5.	Distribución de planta.....	57
4.6.	Área de pintura	59
4.7.	Parámetros de diseño de la cabina de pintura y de la cámara de secado	62
4.7.1.	Dimensiones del cuarto de pintado y de la cámara de secado	64
4.7.2.	Diseño de la estructura de las cámaras de pintura y secado mediante Autodesk Inventor.	67
4.8.	Renovación de aire en el interior del cuarto de pintado y del horno de secado	71
4.8.1.	Velocidad de flujo del aire en ductos.....	72

4.8.2.	Cálculo de caudales	72
4.8.3.	Ductos.....	73
4.8.4.	Dimensionamiento de ductos.	73
4.8.5.	Ductos de transporte.....	74
4.8.6.	Corrección del diámetro en los ductos	74
4.8.7.	Entrada de aire por plenum	75
4.8.8.	Salidas de aire.....	77
4.8.9.	Pérdidas de carga en ductos.....	78
4.9.	Selección del ventilador	82
4.10.	Simulación del flujo de aire mediante Autodesk Simulation CFD	84
4.11.	Diseño del sistema de calefacción	87
4.11.1.	Balance térmico	88
4.11.2.	Pérdidas de calor en paredes.....	88
4.11.3.	Pérdida de calor en ventanas.....	94
4.11.4.	Pérdida de calor en ductos	95
4.11.5.	Pérdida de calor en el piso	97
4.11.6.	Pérdida total de calor dentro de las cámaras.....	98
4.11.7.	Cantidad de calor necesario para calentar el volumen de aire dentro de las cámaras	99
4.11.8.	Selección del generador de aire caliente.....	100
4.12.	Cálculo de la demanda energética.....	101
4.12.1.	Cálculo del combustible necesario	102
4.13.	Iluminación cámara de pintura.....	105
4.14.	Control de temperatura.....	110
4.15.	Control ventilador de la cámara de pintura.....	112
4.16.	Construcción de las cámaras de pintura y secado	113

4.16.1.	Construcción de las fosas	113
4.16.2.	Construcción de la estructura de las cámaras.....	114
4.16.3.	Aislamiento de paredes y techo.....	115
4.16.4.	Instalación de ventilación y calefacción de aire.....	116
4.17.	Instalación de las luminarias.....	119
4.18.	Pruebas de las cámaras de pintura y secado	120
CAPÍTULO V	.....	126
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	.....	126
5.1.	Conclusiones.....	126
5.2.	Recomendaciones	128
BIBLIOGRAFÍA	.....	129
ANEXOS	.....	132
	Anexo 1: Comparación para diferentes aspectos del secado al aire / secado forzado con el secado en horno.....	132
	Anexo 2: Productos realizados en la Fábrica Las Maderas	133
	Anexo 3: Ficha levantamiento de procesos	136
	Anexo 4: Diagrama de recorrido planta Las Maderas hasta el año 2013	137
	Anexo 5: Distribución de planta actual fábrica Las Maderas.....	138
	Anexo 6: Diagrama de recorrido actual planta Las Maderas	139
	Anexo 7: Soportes para el techo de la cámara de secado	140
	Anexo 8: Velocidad del aire en ductos	140
	Anexo 9: Nomograma para el cálculo de pérdidas de carga por rozamiento del aire en conductos de chapa galvanizada	141
	Anexo 10: Ventilador seleccionado para la cámara de pintura	142
	Anexo 11: Propiedades del aire a presión atmosférica	144
	Anexo 12: Selección generador de calor	144

Anexo 13: Requisitos iluminación.....	145
---------------------------------------	-----

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Simbología utilizada en diagramas DAP	37
Tabla 2: Cursograma analítico proceso de cortes	39
Tabla 3: Cursograma analítico ensamble cajón	42
Tabla 4: Cursograma analítico ensamble marco	43
Tabla 5: Cursograma analítico ensamble tapas	45
Tabla 6: Cursograma analítico del proceso de preparado	48
Tabla 7: Cursograma analítico proceso de pintado	52
Tabla 8: Cursograma analítico proceso tapizado	55
Tabla 9: Cofres pintados durante el mes de octubre de 2014	61
Tabla 10: Resumen análisis estructural	71
Tabla 11: Resumen ductos	75
Tabla 12: Coeficiente de relación para pérdidas en codos rectangulares con radio suave	79
Tabla 13: Coeficiente de relación para pérdidas en codos rectangulares a 90°	81
Tabla 14: Historial del peso de los desechos de tableros y madera generados en la fábrica Las Maderas	103
Tabla 15: Tiempos secado de pintura en cámara	120
Tabla 16: Cofres pintados en cabina de pintura	121

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Operación de pintado	6
Figura 2: Esquema general de los procesos de pintado.....	7
Figura 3: Preparación de la superficie de la madera a ser pintada	8
Figura 4: Pintura imprimante.	9
Figura 5: Partes principales de una cabina de pintura de flujo vertical.....	20
Figura 6: Extracción de aire con partículas de pintura por presión positiva	21
Figura 7: Extracción de aire con partículas de pintura por presión negativa	22
Figura 8: Ejemplos de tipos de cabinas de pintura y sus configuraciones	22
Figura 9: Ubicación de filtros en una cabina según la empresa Dayton Reliable Air Filter	25
Figura 10: Ejemplo ubicación de luminarias en una cabina de pintura: (a) vista transversal, (b) vista longitudinal.	26
Figura 11: Esquema general de circulación de aire caliente y expulsión de humos de combustión en un generador de aire caliente del catálogo de la empresa Mator.	27
Figura 12: Logotipo fábrica Las Maderas	33
Figura 13: Organigrama estructural Las Maderas.....	34
Figura 14: Segmentación de procesos fabrica las Maderas.....	35
Figura 15: Mapa global de procesos fábrica Las Maderas	36
Figura 16: Proceso de corte	39
Figura 17: Diagrama analítico del proceso de corte de tableros	40
Figura 18: Ensamble cajón.....	42
Figura 19: Ensamble tapas	44
Figura 20: Cofre ensamblado	45
Figura 21: Diagrama analítico del proceso de ensamble cofre	46
Figura 22: Proceso preparado.....	48
Figura 23: Diagrama analítico del proceso de preparado.....	49
Figura 24: Diagrama analítico del proceso de pintura	53
Figura 25: Transporte de cofres a ser tapizados	54
Figura 26: Proceso de tapizado	55

Figura 27: Diagrama analítico del proceso de tapizado.....	56
Figura 28: Capacidad de producción por cada proceso	57
Figura 29: Planta Las Maderas año 2013.....	58
Figura 30: Planta Las Maderas año 2014.....	59
Figura 31: Espacio utilizado para el proceso de pintado	59
Figura 32: Zona de pintura - planta Las Maderas.....	60
Figura 33: Zona de secado - planta Las Maderas	60
Figura 34: Cofres pintados del 29 de septiembre al 20 de octubre de 2014.....	61
Figura 35: Áreas destinadas para la cabina de pintura y el cuarto de secado.	63
Figura 36: Ubicación física designada para la cámara de pintura y secado – planta Las Maderas.....	63
Figura 37: Análisis geométrico para la cabina de pintura (medidas en milímetros)	64
Figura 38: Disposición de los cofres dentro de la cabina de pintura	65
Figura 39: Referencia entre operario y zona de trabajo.....	65
Figura 40: Cámara de pintura.	66
Figura 41: (a) Cámara de secado, (b) Disposición de los cofres dentro de la cámara....	66
Figura 42: Boceto estructural de las cámaras de pintura y secado	67
Figura 43: Estructura elementos ensamblados según boceto.....	68
Figura 44: Distribución de las cargas ocasionadas por el peso de las láminas de tol.....	70
Figura 45: Resultado del análisis estructural con la visualización de las cargas del techo.....	70
Figura 46: Resultado del análisis estructural sin la visualización de las cargas aplicadas.....	71
Figura 47: Entradas de aire por plenum – cámara de pintura	76
Figura 48: Entradas de aire por plenum – cámara de secado.....	77
Figura 49: Planos fosas para extracción de aire con partículas de pintura: a) medidas plano en 2D y b) vista en 3D	78
Figura 50: Selección del ventilador para la cámara de pintura.....	83
Figura 51: Ingreso de las variables para la selección del ventilador adecuado.	83
Figura 52: resultados con los ventiladores recomendados para la cámara de pintura	84
Figura 53: Diseño simplificado cámara de pintura en Autodesk Inventor	84
Figura 54: Diseño simplificado cámara de secado en Autodesk Inventor.....	85

Figura 55: Herramienta para exportación al programa de simulación de fluidos	85
Figura 56: Modelo dentro del software Autodesk Simulation CFD de la cámara de pintura.....	85
Figura 57: Modelo dentro del software Autodesk Simulation CFD de la cámara de secado	86
Figura 58: Trayectoria simulada del flujo del aire en la cámara de pintura.	86
Figura 59: Trayectoria simulada del flujo del aire en la cámara de secado.	87
Figura 60: Configuración de resistencias térmicas en paredes.....	89
Figura 61: Configuración de resistencias térmicas en vidrios.....	95
Figura 62: Configuración de resistencias térmicas en ductos	96
Figura 63: Desechos de madera generados en la planta de producción	102
Figura 64: Desechos depositados en el relleno sanitario de la ciudad de Ambato.....	103
Figura 65: Medidas cámara de pintura	105
Figura 66: Plano útil de trabajo	105
Figura 67: Selección de parámetros de diseño en Dialux Evo	106
Figura 68: Colocación de elementos dentro de la cámara para simulación	107
Figura 69: Selección de luminarias	108
Figura 70: Número de y disposición de lámparas en la cámara de pintura.....	108
Figura 71: Cálculo iluminación cámara de pintura	109
Figura 72: Resultados en el plano útil de trabajo	109
Figura 73: Vista de las luminarias desde otro ángulo	110
Figura 74: Controlador de temperatura.	110
Figura 75: Esquema según norma IEC del control y ventilador de la cámara de secado.	111
Figura 76: Esquema según norma IEC del ventilador de la cámara de pintura.	112
Figura 77: Construcción de las fosas de a cámara de pintura	113
Figura 78: Rejillas para las fosas de la cámara de pintura.	114
Figura 79: Construcción estructura de paredes y techo.....	114
Figura 80: Estructura ensamblada de las cámaras de pintura y secado.....	115
Figura 81: Aislamiento de paredes y techo de la estructura.....	115
Figura 82: Colocación de las láminas de tol en la estructura	116
Figura 83: Ducto y plenum de la cámara de pintura	116

Figura 84: Ductos elaborados con planchas de acero galvanizado.....	117
Figura 85: Filtros colocados en el sistema de ventilación	118
Figura 86: Instalación del generador de aire caliente	118
Figura 87: Instalación del panel de control de la cámara de secado y del sistema de ventilación.....	119
Figura 88: Instalación de luminarias.....	119
Figura 89: Comparación de tiempos de secado tras la implementación de las cámaras de secado.....	121
Figura 90: Comparación de cofres en el proceso de pintura tras la implementación de las cámaras de pintura y secado.	123
Figura 91: Comparación de secado de cofres mortuorios.....	124
Figura 92: Comparación de ventilación de partículas de pintura	124
Figura 93: Optimización del espacio dentro de la fábrica Las Maderas.....	125

RESUMEN

El presente trabajo de tesis describe el diseño, construcción e implementación de una cabina de pintura conjuntamente con una cámara de secado para el proceso de pintura de cofres mortuorios elaborados en la planta de producción de la fábrica Las Maderas.

Lo que se logra es disminuir el nivel de partículas de pintura contenidas en el aire o también denominadas *overspray* previniendo el riesgo de enfermedades profesionales de los trabajadores, además de mejorar la calidad de los productos, reducir los tiempos de secado de la pintura e incrementar la capacidad de producción y finalmente optimizar el espacio antes utilizado para realizar la actividad de tapizado en esta zona.

Previo a la implementación de las dos cámaras se analiza el proceso de los productos elaborados en planta y en especial la etapa de pintura estableciendo la capacidad que estas deben tener.

El diseño de la estructura, ventilación, calefacción e iluminación se realiza cumpliendo normas de construcción y seguridad para este tipo de equipos, mediante programas informáticos, simulando el comportamiento de los diseños para establecer la mejor configuración y selección de materiales y equipos utilizados durante la etapa de construcción.

La calefacción de la cámara de secado se realiza mediante un generador de aire caliente, el cual utiliza como combustible los retazos de madera resultantes del proceso de corte en donde la temperatura es vigilada mediante un control electrónico para mantener la cámara de secado a una temperatura constante.

Con la implementación de las cámaras de pintura y secado se mejora principalmente la capacidad de producción en un 35% gracias a la disminución de los tiempos de secado, se reducen las emisiones de las partículas dentro de las instalaciones evidenciando un acabado superficial sin imperfecciones de los productos, consiguiendo un proceso de pintura más eficiente.

ABSTRACT

This thesis describes the design, construction and implementation of a paint booth together with a drying chamber for the painting process mortuary chests made in the production plant factory Las Maderas.

What it does is reduce the amount of paint particles contained in the air or also called overspray preventing the risk of occupational diseases of workers, and improve product quality, reduce drying time of the paint and increase production capacity and ultimately optimize the space formerly used for upholstery activity in this area.

Prior to the implementation of the two chambers process plant products made analyzes and especially the painting step by establishing the capacity they should have.

The design of the structure, ventilation, heating and lighting is fulfilling construction and safety standards for this type of equipment by software, simulating the behavior of designs for the best setting and selection of materials and equipment used during stage construction.

The heating of the drying chamber is made using a hot air generator, which uses as fuel scraps resulting from the cutting process where wood temperature is monitored by an electronic control to maintain the drying chamber at a constant temperature .

With the implementation of painting and drying chambers are mainly improves the production capacity by 35% due to reduced drying times, particle emissions are reduced on site showing a surface finish without imperfections products, obtaining a more efficient painting process.

GLOSARIO DE TÉRMINOS Y ACRÓNIMOS

Aislante térmico: son cuerpos malos conductores de calor y capaces de frenar la intensidad de un flujo térmico.

Balance térmico: el balance térmico es un cálculo realizado para establecer las pérdidas o ganancias de calor de un cerramiento o una edificación.

Cabina de pintura: recinto o área cerrada y acondicionada con la iluminación y las condiciones ambientales y de trabajo adecuadas para el proceso óptimo del pintado de superficies.

Cámara de secado: recinto o área cerrada y acondicionada con calefacción para acelerar el secado de la pintura.

Caudal: cantidad de fluido, medido en volumen, que se mueve en una unidad de tiempo.

Conductividad térmica: propiedad física de los materiales que mide la capacidad de conducción de calor.

Consumo energético: es el gasto total de energía para un proceso determinado.

Convección: es una de las tres formas de transferencia de calor y se caracteriza porque se produce por medio de un fluido (líquido o gas) que transporta el calor entre zonas con diferentes temperaturas.

Cursograma de proceso: representación gráfica de procesos o procedimientos, es un instrumento que sirve de guía a la ejecución en forma ordenada y lógica de la secuencia del trabajo.

Demanda energética: energía necesaria para el uso funcional de un edificio, para mantener en el interior unas condiciones de confort que dependen del uso del edificio, de la zona climática en la que se ubique y de la época del año.

Diagrama de recorrido: esquema de distribución de planta en un plano bi o tridimensional a escala, que muestra dónde se realizan todas las actividades que aparecen en el DAP.

Ducto: conducto, canal, tubería.

Fluido: tipo de medio continuo formado por alguna sustancia entre cuyas moléculas sólo hay una fuerza de atracción débil.

Lumen: unidad del Sistema Internacional de Medidas para medir el flujo luminoso, una medida de la potencia luminosa emitida por la fuente.

Lux: unidad derivada del Sistema Internacional de Unidades para la iluminancia o nivel de iluminación.

Macroproceso: conjunto de procesos relacionados con características similares que mutuamente generan valor.

Numero de Nusselt: número adimensional que mide el aumento de la transmisión de calor desde una superficie por la que un fluido discurre (transferencia de calor por convección) comparada con la transferencia de calor si ésta ocurriera solamente por conducción.

Número de Prandtl: número adimensional proporcional al cociente entre la difusividad de momento (viscosidad) y la difusividad térmica.

Número de Reynolds: número adimensional utilizado en mecánica de fluidos, diseño de reactores y fenómenos de transporte para caracterizar el movimiento de un fluido.

Overspray: nube de pintura pulverizada en suspensión y que no llega a la pieza. Muy notoria en sistemas aerográficos y menos en sistemas de media presión. Causa de contaminación, suciedad, scrap, tiempos de limpieza y parada de producción.

Pintura: fluido que se aplica sobre una superficie en capas delgadas. Cuando se seca, la pintura se convierte en una película sólida que recubre dicha superficie.

Plenum: espacio cerrado en donde existen aire u otros gases a bajas velocidades y presiones ligeramente superiores a la atmosférica, como resultado de la acción de un ventilador o soplador mecánico.

Potencia calorífica: cantidad de calor que se desarrolla en la combustión completa de la unidad de masa de un combustible.

Presión: magnitud física que mide la proyección de la fuerza en dirección perpendicular por unidad de superficie, y sirve para caracterizar cómo se aplica una determinada fuerza

resultante sobre una línea. Fuerza que ejerce un gas, un líquido o un sólido sobre una superficie.

Presurización: aumentar la presión en ciertos lugares, haciéndola mayor que la presión atmosférica.

Proceso: conjunto de actividades mutuamente relacionadas o que al interactuar transforman elementos de entrada y los convierten en resultados.

Renovación de aire: Sustitución del aire contenido en una sala por otro equivalente de aire limpio en un período de tiempo determinado.

Resistencia térmica: capacidad de un material de oponerse al flujo del calor.

Subproceso: Es una parte bien definida y delimitada de un proceso. Actividad o secuencia ordenada de actividades con entidad propia dentro de un proceso.

Temperatura: magnitud referida a las nociones comunes de caliente, tibio o frío que puede ser medida con un termómetro, y se relaciona con la energía interna de un sistema termodinámico, definida por el principio cero de la termodinámica.

Ventilación: proporcionar aire limpio a un recinto para sustituir el aire viciado.

Ventilador centrífugo: aparato compuesto de un rodete de alabes o aletas que gira dentro de una carcasa espiral conocida como voluta. La rotación del rodete se asegura mediante un motor eléctrico con la finalidad de poner en movimiento aire o un fluido gasiforme.

CAP: Cursograma analítico de procesos.

CE: Consumo energético.

COV: Componentes orgánicos volátiles.

DAP: Diagrama analítico de procesos.

GIDSA: Gestión Integral de Desechos Sólidos de Ambato.

HVLP: High Volume Low Pressure” o Alto Volumen a Baja Presión.

IEC: International Electrotechnical Commission o Comisión Electrotécnica Internacional, es una organización de normalización en los campos: eléctrico, electrónico y tecnologías relacionadas.

MDF: Tablero de fibra de densidad media, del inglés Medium Density Fibreboard.

MDP: Tablero de Partículas de Densidad Media, del inglés Medium Density Particleboard

NFPA: Norma americana para la protección contra incendios, National Fire Protection Association por sus siglas en inglés o Asociación Nacional de Protección contra Incendios.

OSHA: Occupational Safety and Health Administration, es decir Administración de seguridad y salud ocupacional, este organismo forma parte del Departamento de Trabajo de los EE.UU.

UNE-EN: Una Norma Española-Norma Europea

UTA: Unidad de tratamiento de aire

INTRODUCCIÓN

El proceso de pintura a nivel industrial ha tenido un gran avance debido a los requerimientos y exigencias, principalmente en preservar la salud de los operarios. Con el análisis de las partículas de solventes y compuestos volátiles en suspensión (COV) en el proceso de pintura, se han establecido las renovaciones de aire recomendadas mediante cabinas y equipos necesarios para este fin.

Las cabinas de pintura son cámaras diseñadas con el fin de renovar el aire en su interior, llevándose consigo todas las partículas antes mencionadas manteniendo un ambiente idóneo para la aplicación de diversos tipos de pinturas [1].

En este proceso existen algunos factores que hacen indispensable la instalación de una cabina de pintura en talleres permitiendo la presurización y ventilación al realizar las operaciones de pintado, optimizando las condiciones del operador, al evitar una atmosfera dañina o peligrosa además de mejorar la calidad de los productos [1].

Las dos cámaras implementadas en el presente proyecto funcionan con presión positiva, al ingresar aire a través de un ventilador centrífugo que cumplan con la presión y caudal calculado. Con el fin de retener partículas que podrían caer sobre la superficie de los cofres pintados, se colocan filtros neumáticos especiales en la entrada del ventilador y en la entrada de las cámaras (plenums) [2].

El sistema de calefacción, consta de un generador de aire caliente y un ventilador que funciona independientemente del usado para renovar el aire en la cámara de pintura. Todas las paredes y el techo están recubiertas con aislante térmico para mantener la temperatura del aire caliente dentro de las cámaras [3].

Para la iluminación de la cabina, el valor promedio de intensidad luminosa es de 700 luxes, para que el operario tenga buena visibilidad al momento de aplicar las capas de pintura [4].

Según esto se mejora el ambiente de trabajo de los empleados, se mejora el proceso de pintura y la calidad de los productos además de aprovechar el espacio físico de la planta de producción.

CAPÍTULO I

EL PROBLEMA

1.1. Tema

“IMPLEMENTACIÓN DE UNA CABINA DE PINTURA PARA COFRES MORTUORIOS EN LA FÁBRICA LAS MADERAS DE LA CIUDAD DE AMBATO”

1.2. Planteamiento del problema:

A nivel global existe una incesante competencia, en donde los dueños de pequeñas fábricas dedicadas a la elaboración de ataúdes de madera se ven en la necesidad de mejorar la calidad de sus productos. En la mayoría de estas microempresas o talleres artesanales tienen inconvenientes en lo referente al acabado de pintura al no contar con cabinas para dicha actividad, esto dificulta mantener a flote sus negocios cuando los bienes fabricados son de baja calidad, este factor disminuye la aceptación de sus productos dentro del mercado.

Actualmente las cabinas son equipos que mejoran las actividades de pintura, pero tienden a tener costos elevados, razón por la cual no son asequibles para talleres pequeños con baja producción, además la mayoría de estas cabinas están diseñadas para otro tipo de productos y muy pocas son para la aplicación de pintura de muebles o cofres mortuorios.

En Tungurahua, existen microempresas e instituciones, que fabrican cofres mortuorios en forma empírica, en la producción de ataúdes de madera, generalmente tienen problemas en el proceso de pintura, debido a que no se implementan lugares específicos para tal actividad, improvisando zonas sin un análisis técnico, teniendo como resultado terminados con partículas de polvo u otros agentes que se encuentran en el ambiente.

Dentro del área de pintura de la fábrica Las Maderas, cuentan con un galpón cerrado con el espacio necesario para la actividad de pintura, pero realizándose de forma inapropiada, por desconocimiento de técnicas y normas como una cabina que mejore la calidad de sus productos, teniendo inconvenientes que reducen la calidad de los productos.

La falta de ventilación de los gases y partículas generados al momento de aplicar fondos, brillos con tintes o brillo mate sobre los cofres ocasiona que se mantengan en suspensión dificultando la visión de la persona encargada de aplicar las pinturas antes mencionadas, además las partículas tienden a caer sobre los mismos productos y elementos que se encuentran dentro del área de pintado desmejorando el acabado superficial de los cofres mortuorios.

Cuando las partículas de polvo y pintura no son recogidas, se acumulan sobre las superficies hasta acumularse algunas capas sobre los mismos ataúdes que se encuentran dentro del área de pintado y sus alrededores, estas partículas son puestas nuevamente en suspensión cuando el pintor prepara los cofres mortuorios para su posterior pintado.

Otro factor a tomar muy en cuenta, es la variación de temperatura del ambiente de trabajo dependiente de las condiciones climáticas, convirtiéndose en un inconveniente cuando se tiene días con temperatura menor a los 18°C, generando que se forme un efecto denominado descolgado o chorreado, formándose lágrimas u ondas en las superficies de aplicación debido a la baja temperatura, cuando ésta es superior a 30°C, al contrario del caso anterior la pintura se seca muy rápido entre aplicación de capas.

Las bajas temperaturas en ciertas temporadas o días pueden incluso ser causa de paralización en la línea de pintado, haciendo difícil la aplicación de pintura sobre los productos, aumentando el tiempo de secado para su posterior manipulación, generando así cuellos de botella y retrasos en la entrega de pedidos a los clientes. Con lo mencionado es evidente la dependencia de las condiciones climáticas.

En lo referente a la iluminación, la fábrica cuenta con lámparas situadas en el techo del galpón, pero sin embargo no cumplen por completo su objetivo, al estar mal distribuidas. La mala iluminación genera que no se aplique de forma correcta la pintura, desmejorando aún más el acabado de los productos.

El desconocimiento por parte de los propietarios y empleados de la fábrica, de las normas de Seguridad y Salud Ocupacional, generan que existan riesgos para la salud de los empleados, al mantenerse cerca de las zonas donde se realizan las operaciones de pintura con el riesgo de generar enfermedades profesionales futuras.

En fin los inconvenientes que se atribuyen a la aplicación de pintura, generan la baja calidad de los productos. Estos son factores que han generado el incumplimiento de metas, insatisfacción y volúmenes de producción no adecuados para el desarrollo de la fábrica.

1.3. Delimitación

- Área académica: Mecánica
- Línea de investigación: Mecánica
- Sublíneas de investigación: Gestión de sistemas mecánicos, neumáticos e hidráulicos.
- Delimitación espacial: El presente trabajo, se desarrollará en la Fábrica Las Maderas de la ciudad de Ambato – Av. José Peralta y Pérez Guerrero.
- Delimitación temporal: El proyecto tendrá una duración de seis meses a partir de su aprobación en H. Consejo Directivo.

1.4. Justificación

Mediante la implementación de una cabina de pintura, se consigue mejoras, con el fin de optimizar la calidad de los productos mediante el acondicionamiento de temperatura, ventilación e iluminación del área en el que se realiza la operación de pintado.

Las normas, técnicas, métodos desarrollados y aplicados durante la construcción de la cabina son documentados, con el fin de servir como guía para futuros proyectos similares.

Se diseñó una cabina especialmente para la aplicación de pintura en cofres mortuorios y su posterior secado, debido a que en la actualidad no existen cabinas para el proceso de pintado de dichos productos.

Con la construcción de la cabina de pintura se beneficia directamente a los empleados que trabajan dentro del área de pintura, disminuyendo los riesgos para su salud y optimizando sus actividades.

El presente proyecto genera un impacto positivo dentro de la planta de producción, mejorando las actividades dentro del proceso de pintado y la calidad de los productos.

Los altos costos de las cabinas de pintura comerciales hacen que el presente proyecto sea factible, mediante su implementación se ofrecerá a la fábrica Las Maderas una alternativa nueva y menos costosa para mejorar los procesos y métodos de pintura actuales.

1.5. Objetivos

1.5.1. General

Implementar una cabina de pintura para cofres mortuorios en la fábrica Las Maderas de la ciudad de Ambato.

1.5.2. Específicos

- Analizar el proceso de pintura de la fábrica Las Maderas.
- Diseñar la cabina de pintura bajo parámetros de absorción, purificación y calentamiento del aire e iluminación para el proceso de pintado.
- Construir la cabina de pintura de acuerdo a las especificaciones del diseño.
- Realizar pruebas de la cabina de pintura.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes investigativos

Para el proceso de pintura donde se utilizan cabinas, se han realizado modelos que cada vez van mejorando debido a los avances principalmente con relación a la tecnología de elementos de control y maquinaria.

Los procesos de pintura han evolucionado de acuerdo a los avances tecnológicos y a las necesidades de producción en gran escala o en masa, también con la necesidad de proporcionar mejores acabados en menos tiempo con una reducción de costos considerable, construyéndose o diseñándose la cabina de pintura que posteriormente se convertiría en un horno de pintura cuando se le introdujo un climatizador [5].

Las cabinas de pintura han tenido un gran crecimiento sobre todo en las grandes industrias, gracias a los resultados obtenidos en lo referente a la calidad de los productos, reducción de tiempos de secado y una aplicación eficiente de la pintura gracias al flujo laminar de aire que se puede tener en su interior, pudiendo además estar siempre en funcionamiento sin depender de las variaciones climáticas de temperatura.

Las pequeñas empresas o talleres artesanales que elaboran productos con acabados de calidad, han desarrollado proyectos hechos a la medida de sus requerimientos, en la mayoría de los casos se trata de procesos de pintado de autos, evidenciando la falta de diseños para muebles de madera o mercancías similares.

La salud y seguridad industrial es muy importante para la implementación de cabinas de pintura, pero los altos precios de las mismas hacen que no sea factible su adquisición, además los diseños y capacidades no están acordes a las necesidades de cada caso.

En diferentes procesos industriales, los trabajadores pueden sufrir consecuencias ligadas a una mala ventilación, aumentando el riesgo de enfermedades o intoxicaciones, las que, en casos extremos, pueden incluso causar la muerte [6].

Con el fin de reducir y evitar este grave problema existen sistemas de extracción, para estos residuos peligrosos que afectan el bienestar de los trabajadores, teniendo éxito no solo en la prevención de la salud, sino también en el aumento de la producción, ya que se disminuyen en gran medida el tiempo de secado de los productos [7].

Se han elaborado capítulos completos de normas como las OSHA, que regulan y controlan la forma de cómo se realiza el proceso de pintura [1].

La reglamentación sobre espacios de trabajo involucra varios aspectos que tratan de fijar el escenario ideal para reunir los atributos y preservar la calidad de los productos y ante todo la seguridad y salud de sus ocupantes [8].

2.2. Fundamentación teórica

2.2.1 El proceso de pintado

El término de “pintado” se utiliza por lo general para identificar un amplio rango de recubrimientos superficiales, que incluyen las pinturas convencionales en base disolvente, barnices (recubrimientos transparentes), esmaltes, lacas (películas formadas únicamente por evaporación) y pintura de látex (en base acuosa) [1].



Figura 1: Operación de pintado

Las pinturas están compuestas por resinas orgánicas, pigmentos orgánicos o inorgánicos y aditivos, todo ello en suspensión o diluido en un vehículo líquido (por lo general un disolvente orgánico). Este disolvente es el que proporciona al recubrimiento la viscosidad necesaria, tensión superficial y otras propiedades que permiten la aplicación de una capa uniforme del recubrimiento sobre el sustrato, así como para su fabricación.

Las pinturas son, por lo tanto, un grupo complejo de materiales de recubrimiento protector y decorativo para uso industrial, comercial y doméstico. Pero la función de los recubrimientos de pintado no es sólo la de proporcionar una superficie brillante o un aspecto atractivo, sino que también proporciona al material protección frente al uso diario y los agentes externos [1].

La elección de las pinturas y el proceso de aplicación a utilizar son consecuencia de la finalidad buscada, bien sea ésta conseguir un aspecto superficial adecuado, protección frente a la corrosión, agentes químicos, fuego, algas, hongos, etc., o una combinación de ellos [1].

Esquemáticamente, todos los procesos de pintado se pueden representar del siguiente modo:

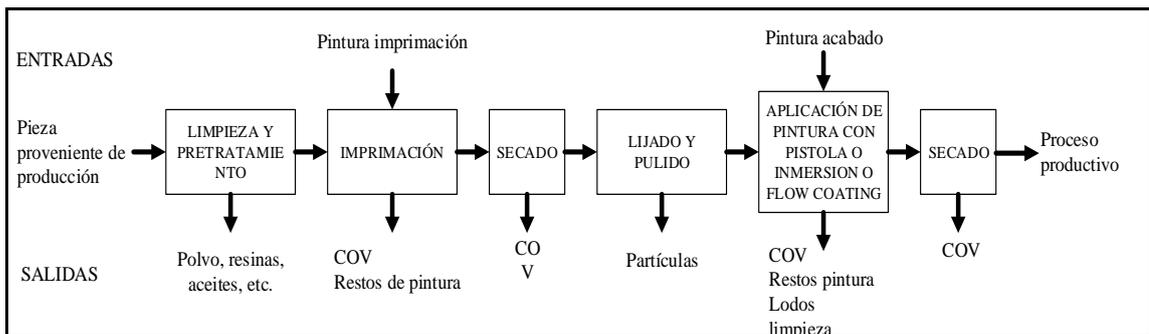


Figura 2: Esquema general de los procesos de pintado

La calidad final del recubrimiento obtenido depende no sólo del material de pintura utilizado sino también del modo de aplicación del mismo, así como de la preparación que haya recibido la superficie a pintar y el método empleado para secar/curar la pintura.

El proceso de aplicación de la pintura puede dividirse en tres etapas fundamentales: preparación de la superficie a pintar, aplicación/curado de la pintura y limpieza de los equipos.

2.2.2. Preparación de la superficie

Cada una de las actividades de esta etapa puede afectar al resultado del acabado final, por ello es esencial una preparación adecuada de la superficie para asegurar un recubrimiento óptimo. De hecho, hasta el 80% de los fallos de adherencia del recubrimiento pueden atribuirse directamente a una inadecuada preparación de la superficie.



Figura 3: Preparación de la superficie de la madera a ser pintada

El objetivo fundamental de esta etapa es el conseguir una buena adherencia del recubrimiento a la superficie del sustrato, así como que éste se encuentre libre de cualquier tipo de suciedad (aceites y grasas, óxidos, etc.).

2.2.3. Composición de las pinturas y barnices

Los componentes principales de las pinturas líquidas son: disolventes, ligantes (resinas), pigmentos y aditivos. La cantidad de cada componente varía con el tipo de pintura, color y grado de brillo, pero su participación siempre responde a una composición centesimal aproximada: los disolventes pueden estar en un 50-60%, los ligantes desde el 15 al 45%, los pigmentos pueden variar en función del tipo de pintura y color desde un 3% hasta el 35% y los aditivos del 1 al 5% [1].



Figura 4: Pintura imprimante.

Los barnices, son productos transparentes que no contienen pigmentos, por lo que sus componentes serán: disolventes (45%), resinas (55%) y aditivos (5%) [1].

- a) Los disolventes se añaden a los recubrimientos para dispersar el resto de constituyentes de la formulación y para reducir la viscosidad, permitiendo por tanto la aplicación del recubrimiento. El disolvente se evapora durante el proceso de secado/curado del recubrimiento, por lo que suelen elegirse en función de su capacidad para disolver las resinas y de su velocidad de evaporación.
- b) Los ligantes o resinas son los constituyentes más importantes y se utilizan en los recubrimientos para unir los pigmentos y aditivos, proveer la adhesión y son los responsables de la formación de la película plástica final, proporcionando además

las propiedades deseadas al recubrimiento y determinando el comportamiento de la película (brillo, elasticidad, flexibilidad, durabilidad, resistencia química, etc.).

- c) Los pigmentos son sustancias insolubles de materiales orgánicos o inorgánicos (naturales o sintéticos) que se dispersan en el recubrimiento con objeto de conferir color y opacidad a un sustrato o para mejorar su resistencia mecánica. El tipo de pigmento de la pintura determina el color y la estabilidad del color de la pintura, mientras que la cantidad de pigmento determina el brillo y la opacidad del recubrimiento. Los pigmentos inorgánicos tienen mayor estabilidad frente a la luz ultravioleta y a la temperatura.
- d) Los aditivos son materiales que mejoran las propiedades físicas y químicas del recubrimiento como el secado, brillo, estabilización. Dentro de este grupo se incluyen surfactantes, espesantes, biocidas y fungicidas, estabilizadores, antiespumantes, catalizadores, antifloculantes, antiposo, secantes, antipiel, entre otros.

2.2.4. Tipos de pinturas

Es difícil llegar a clasificar los diferentes tipos de pintura de un modo suficientemente definitorio, por lo que generalmente se utilizan distintos sistemas en función de propiedades comunes.

Un modo muy generalizado de realizar la clasificación es diferenciándolas por el modo de llevar a cabo el secado y endurecimiento después de su aplicación. Tenemos así los siguientes grupos:

- **Secado por evaporación de disolventes:** el ligante no sufre ninguna variación durante el proceso de secado. Son resinas duras que previamente se han disuelto en disolventes apropiados y que después de la evaporación vuelven a su estado original. A este grupo pertenecen las resinas nitrocelulósicas, resinas vinílicas, resinas de caucho, poliolefinas cloradas, resinas acrílicas termoplásticas, alquitranes y asfaltos, resinas naturales, etc.
- **Secado oxidativo por reacción con el oxígeno atmosférico:** los ligantes se caracterizan por poseer ácidos grasos en su estructura. El secado se realiza por absorción del oxígeno del aire después de la evaporación de los disolventes. A

este grupo pertenecen las pinturas a base de aceites vegetales, resinas alquídicas modificadas con aceites secantes, barnices fenólicos modificados con aceite.

- **Secado por la acción de la temperatura:** la polimerización del ligante se realiza por el calor externo aportado en hornos de convección, infrarrojos, etc. Las temperaturas oscilan entre 100 y 200°C en tiempos desde 5 hasta 30 minutos por lo general. Destacan en este grupo las pinturas formuladas con resinas alcídicas o poliéster combinadas con amínicas, resinas acrílicas termoestables, resinas epoxídicas combinadas con fenólicas o amínicas, resinas de silicona, etc.
- **Secado por reacción química entre varios componentes:** en ellas debe producirse la reacción con un segundo componente denominado catalizador o endurecedor, añadido previamente a su aplicación. Las más conocidas son las resinas epoxi con endurecedores de tipo amidas o aminas, resinas de poliéster o hidroxiacrílicas endurecidas con isocianatos, resinas de poliéster catalizadas con peróxidos, resinas de silicato, resinas alquídicas catalizadas por ácido.

Otra clasificación dentro de las muchas posibles es la basada en la función de cada pintura a realizar sobre el sustrato recubierto, agrupándose en:

- **Imprimaciones:** primeras capas de pintura en contacto directo con el sustrato, fuertemente pigmentadas y con bajos contenidos de ligante. Su misión es servir de anclaje para las siguientes manos y evitar la oxidación en superficies metálicas por medio de pigmentos anticorrosivos.
- **Capas de fondo:** se aplican sobre la imprimación con objeto de aumentar el espesor del sistema de pintura para evitar dar varias capas de acabado. La relación pigmento/ligante es inferior a la de las imprimaciones pero superior a las pinturas de terminación.
- **Pinturas de acabado:** son aquellas que se aplican como última capa del sistema, bien sobre la imprimación o sobre la capa intermedia. Se formulan con relación pigmento/ligante baja para conseguir las mejores propiedades de permeabilidad y resistencia.
- **Barnices:** son recubrimientos no cubrientes por opacidad, es decir, compuestos del ligante y disolventes. Pueden ir en ocasiones pigmentados con colorantes solubles o pigmentos transparentes.

Desde un punto de vista medioambiental, debido a la diferente naturaleza de los impactos ambientales asociados a su utilización, la clasificación más habitual de las pinturas se realiza atendiendo al diluyente que contienen. Así, se habla de:

- Pinturas en base disolvente, que a su vez generalmente se clasifican en convencionales y con alto contenido en sólidos en función de la proporción de compuestos orgánicos volátiles que contienen
- Pinturas en base agua
- Pinturas en polvo
- Otros tipos: pinturas de curado por radiación

2.2.5. Técnicas de aplicación de las pinturas

Existen numerosos procesos disponibles para aplicar una capa de recubrimiento orgánico sobre una superficie. Cuando se considera la posibilidad de cambiar a una técnica de aplicación diferente, es importante para las empresas definir sus objetivos a la hora de realizar el cambio y luego priorizarlos [1].

Esta priorización debería compararse frente a las técnicas de aplicación disponibles para determinar la mejor opción. Entre los objetivos, se pueden incluir:

- Reducción de los costes de aplicación del recubrimiento
- Reducción del consumo de materiales de recubrimiento
- Reducción de las emisiones de disolventes
- Mejora de la capacidad de producción a través de una reducción del tiempo de proceso
- Mantenimiento o mejora de la calidad final
- Asegurar que el espesor requerido del recubrimiento se alcanza de forma sencilla
- Cumplimiento de la legislación relacionada

Los métodos más comunes de aplicación de recubrimientos son el pintado por pulverización aerográfica y electrostática. También se pueden aplicar sumergiendo las piezas en baños de pintura, dejando luego escurrir el exceso de pintura, o mediante métodos de aplicación directa como *roll coating* y *flow coating*. La técnica de aplicación

elegida dependerá del tipo de sustrato a recubrir, tipo de recubrimiento y la forma y tamaño de la superficie.

2.2.6. Equipos de pulverización

La pulverización consiste en aplicar el material sobre el recubrimiento a una distancia determinada valiéndonos de la atomización de las partículas de pintura por efecto de la presión, la alimentación del aire o bien una influencia sinérgica de ambos factores.

Dependiendo de si para atomizar el material se utiliza aire o se aumenta la presión, la pulverización puede variar, diferenciándose:

- Pulverización aerográfica: convencional, HVLP, EPA
- Pulverización mixta
- Pulverización *airless*
- Pulverización electrostática

Generalmente, los sistemas de pulverización utilizan pistolas especialmente diseñadas para atomizar la pintura. Para aplicaciones industriales, la pintura suele estar en un recipiente a presión y se alimenta a la pistola utilizando aire comprimido.

Tradicionalmente se han utilizado pistolas manuales o automáticas para aplicar las pinturas líquidas sobre los sustratos metálicos. Los principales factores que afectan a la eficacia de transferencia de una pistola de pulverización son los mecanismos mediante los cuales:

- Se atomiza el material de recubrimiento
- El material atomizado se proyecta o es atraído por la pieza.

2.2.7. Secado o curado de la pintura

Una vez que se ha aplicado un recubrimiento a una pieza, ésta debe pasar por un proceso de curado o secado posterior. Existe una diferencia entre ambos términos; en el curado la resina sufre una transformación química (se convierte en una nueva resina), mientras que el secado se refiere únicamente a la pérdida del disolvente por evaporación, permaneciendo la resina inalterable.

Se pueden distinguir varios métodos:

- **Secado a temperatura ambiente:** El secado a temperatura ambiente para pinturas con alto contenido en disolventes volátiles aplicados en piezas de gran tamaño, que no pueden ser introducidas en hornos de secado.
- **Secado en horno:** El secado se realiza en horno a temperaturas entre 100 y 200°C que dependen del tipo de pintura. La aplicación de calor a la pieza se puede realizar por conducción, convección o radiación.
- **Secado forzado por aire:** Una forma alternativa de acelerar el proceso de secado, aplicable a toda clase de pinturas, pero especialmente para las pinturas de base acuosa, son los sistemas de aire forzado. La temperatura oscila entre los 50 y 100°C. Estos sistemas aprovechan el efecto Venturi para proyectar grandes cantidades de aire filtrado a gran velocidad sobre la superficie pintada a secar, favoreciendo así la evaporación de los diluyentes.
- **Curado por radiación:** Este secado se realiza para pinturas con una formulación especial que contiene fotopolímeros. Hay tres tipos de curado por radiación: infrarrojo (IR), ultravioleta (UV) y por haz de electrones (EB).

El tipo de secado constituye un punto muy importante a la hora de seleccionar el tipo de pinturas a utilizar. Así, se deberá realizar la selección de pinturas entre aquellas con secado al aire/aire forzado o aquellas con secado al horno a altas temperaturas (por encima de 120°C). Estas últimas (secado al horno) suelen dar buenas prestaciones, pero poseen ciertas limitaciones, tal y como se muestra en el Anexo 1.

Con la finalidad de ahorrar energía, es aconsejable la instalación de sistemas de monitorización para minimizar el aire nuevo que se debe calentar. Reduciendo el ciclo de renovación de aire se consiguen alcanzar fuertes ahorros en los costes energéticos [1].

Por otra parte, dentro de los sistemas de secado por radiación, los sistemas de secado por infrarrojo, al contrario de los sistemas de secado por convección (calentamiento del aire alrededor del objeto), utilizan ondas electromagnéticas para elevar la temperatura del objeto a recubrir. Existe un pequeño calentamiento del aire en el horno debido a la convección existente por el calentamiento de los citados objetos y de las paredes del horno.

Los hornos de curado por infrarrojos se utilizan también para curar recubrimientos en polvo. El rápido proceso de calentamiento permite al polvo fluir y generar una superficie suave antes del proceso de curado proporcionando un acabado uniforme.

En el caso del curado por radiación ultravioleta (UV) o por haz de electrones (EB) se utilizan dos tipos diferentes de energía para iniciar una reacción química (curado químico) [1].

El curado se produce en unos segundos. Estos sistemas poseen un elevado coste tanto de materias primas como de operación y de instalación y sólo se utiliza para instalaciones con niveles de producción muy altos. A pesar de esto, poseen otras ventajas como: rapidez, no necesita etapas de calentamiento y enfriado, menores requerimientos de espacio, menores tamaños de equipos, y producen menos ruidos, calor y humos en la zona de trabajo.

La selección del tipo adecuado de horno no constituye una tarea fácil debido a que los costes de equipamiento y consumos energéticos varían ampliamente de un sistema a otro y de una aplicación a otra.

2.2.8. Problemáticas ambientales en el pintado industrial

A continuación se describen las principales problemáticas ambientales detectadas en los procesos de pintado industrial.

Salud laboral

En el caso concreto de la aplicación de pinturas, la principal vía de exposición son las vías respiratorias, y en menor medida, la absorción cutánea. Los productos utilizados en la composición de las pinturas, los equipos protectores recomendados a la hora de aplicar las pinturas y la necesidad de realizar controles médicos de forma periódica son de vital importancia dentro de las actividades de aplicación de pintura.

No se debe olvidar que en las fábricas continuamente se están manipulando productos con propiedades muy distintas (inflamables, corrosivos, irritantes, etc.), por ello es fundamental que las fichas de seguridad estén disponibles a todo el personal que en algún momento manipule estos productos.

Emisiones a la atmósfera

Las emisiones a la atmósfera consisten principalmente en compuestos orgánicos volátiles (VOCs) que provienen fundamentalmente de los disolventes que se evaporan en la aplicación de la pintura, disolventes generados en el secado/curado de la pintura y disolventes evaporados durante la limpieza de equipos e instalaciones [1].

Asimismo, el aire de salida de las cabinas de pintado y secado, una vez filtradas las partículas de pintura que puedan arrastrar, contiene disolventes orgánicos procedentes de la evaporación de las pinturas. En base a las cada vez mayores exigencias medioambientales, estas emisiones deberán ser también reducidas.

2.2.9. Medidas de producción limpia

Significado y alcance de la producción limpia en los procesos de pintado industrial

La aplicación de medidas de producción limpia en un entorno industrial, se centra en la ejecución eficaz de los procesos productivos de manera que se genere el valor mínimo de subproductos o residuos no aprovechables internamente con el mínimo consumo de materias primas [1].

La producción limpia se apoya en tres ámbitos de actuación:

- Prevenir
- Reducir / Minimizar
- Reutilizar internamente

La prevención se orienta hacia la toma de decisiones relacionadas con aquellos procesos que no han sido aún diseñados parcial o totalmente. Seleccionando de entre todas las alternativas disponibles aquellas que minimicen la producción de residuos, nuestro sistema reducirá su impacto ambiental en el entorno. Puede decirse que la prevención interviene en la definición o planificación de los procesos, llevando asociada una reflexión previa destinada a evitar la generación de residuos y el impacto sobre los distintos compartimentos ambientales (suelo, agua, aire) del proceso.

La minimización o reducción deberá aplicarse en aquellos procesos que si bien ya están implantados en su totalidad, disponen de margen de mejora. Las modificaciones deberán

considerar la reducción de las cifras de residuos generados y/o consumo de materias primas y recursos naturales mediante la implementación de modificaciones dirigidas en ese sentido.

2.2.10. Proceso productivo

Equipos

Máquinas lijadoras. El lijado en seco de masillas y pinturas mediante máquinas lijadoras Portátiles origina concentraciones ambientales de polvo, a veces con contenidos metálicos importantes, superiores a los límites higiénicos recomendados, por lo que es necesario utilizar durante estas operaciones exclusivamente máquinas que dispongan de dispositivos de aspiración incorporados.

Los elementos filtrantes de estos dispositivos, sacos, bolsas, etc., deben revisarse frecuentemente, procediendo a su vaciado, o en su caso a su sustitución, antes de que alcancen colmataciones excesivas.

Pistolas de pulverización. Los fenómenos de rebote del pulverizado de pintura durante las aplicaciones a pistola provocan elevadas concentraciones ambientales de contaminantes en la zona próxima a las vías respiratorias del pintor que repercuten directamente en la calidad del aire inhalado. Es en este aspecto, reducción del rebote de pulverizaciones en la superficie pintada durante la aplicación, en el que mayores beneficios reporta la utilización de pistolas de alta eficacia de transferencia desde el punto de vista de salud laboral.

Por estas razones es recomendable:

- La utilización preferente de pistolas de alta eficacia de transferencia frente a las aerográficas convencionales.
- Controlar la presión de utilización, procurando seguir las indicaciones técnicas de los fabricantes de las pistolas y de las pinturas.
- En el pintado de zonas problemáticas, se reduce drásticamente la eficacia de la ventilación de la cabina, por lo que puede resultar de interés la utilización de pistolas con sobrepresión incorporada al propio depósito de pintura, ya que producen una menor dispersión de pulverizados durante la aplicación.

Instalaciones de ventilación auxiliares

- Las operaciones de limpieza de pistolas y utensilios con disolvente y las de preparación de pinturas, mezclas y disoluciones, deben realizarse bajo la acción de un dispositivo de aspiración, normalmente frente a campanas verticales o en pequeñas cabinas abiertas.
- Las operaciones de preparación de la superficie, previas al pintado es conveniente que se realicen sobre mesas enrejilladas dotadas de aspiración frontal e inferior.

Métodos operativos. Frecuentemente aun a pesar de disponer de instalaciones y equipos en condiciones adecuadas, y debido a hábitos de trabajo desafortunados, se producen situaciones de riesgo higiénico fácilmente evitables [1]. Por este motivo es conveniente recordar la necesidad de:

- Efectuar todas las operaciones de pintado a pistola en la cabina de pintura.
- Mantener la ventilación conectada siempre que exista concentración en el ambiente de VOCs.
- Mantener siempre tapados los recipientes con disolventes utilizados en la limpieza de pistolas y utensilios.
- Los trapos y desperdicios impregnados de pinturas deberán ser recogidos en recipientes metálicos cerrados.
- Utilizar prendas de protección personal cuando no sea posible reducir la concentración ambiental del medio de trabajo por otros medios (aspiraciones localizadas, ventilación, cerramientos).
- Informar a los trabajadores sobre la toxicidad de las pinturas, disolventes, etc., así como la forma de manipularlos, e instruirles sobre los métodos de trabajo tendentes a la prevención del riesgo.

Higiene individual

- Evitar comer, beber o fumar sin lavarse antes las manos, ya que eso puede conducir a la ingestión de contaminantes activos por vía digestiva, tales como el plomo.
- Al finalizar el trabajo los operarios deberán cambiarse la ropa usada guardándola en una taquilla, separada de la ropa limpia.

- Utilizar siempre que sea posible ropa de trabajo impermeable.
- Mantener la ropa de trabajo en buenas condiciones de limpieza.
- Cambiarse inmediatamente de ropa de trabajo en caso de impregnación accidental con disolventes o cualquier otra sustancia tóxica.
- Utilizar jabones neutros para la limpieza de las manos y nunca disolventes orgánicos, ya que provocan la destrucción de los mecanismos de autoprotección de la piel.

Protecciones personales

Distintas causas pueden hacer aconsejable la utilización de prendas de protección personal en los procesos de pintado. Entre ellas se pueden citar:

- Dispositivos de ventilación insuficientes o inexistentes.
- Operaciones de difícil solución técnica, como por ejemplo el pintado de interiores de grandes piezas.
- Propiedades sensibilizantes de algunos contaminantes por vía dérmica, como los disolventes.

2.2.11. Cabinas de pintura.

La cabina de pintado, es una instalación que desaloja el pulverizado sobrante y las emisiones de disolvente procedentes de las operaciones de pintado. Las cabinas están diseñadas para capturar las partículas que se liberan al aire durante las operaciones de recubrimiento. No son dispositivos de destrucción de VOCs, su función primordial es proteger a los operarios (en especial a los que aplican la pintura) de la exposición a las partículas y vapores potencialmente tóxicos. Otra función de la cabina es la prevención de incendios y explosión dentro de la instalación mediante venteo de las altas concentraciones de vapores de disolvente inflamables al exterior o a un sistema de depuración.

La emisión de las cabinas de pintura, consiste de partículas y vapores orgánicos de disolvente; las partículas proceden de los sólidos de la pintura que no son transferidos a la pieza, los vapores orgánicos de disolvente proceden del disolvente o diluyente que se

utiliza con el recubrimiento para reducir la viscosidad de la pintura. La mayor parte de las partículas se capturan en un filtro (seco o húmedo).

Hay dos tipos básicos de sistemas para la separación del pulverizado sobrante que se utilizan en la mayoría de las aplicaciones de pintado: cabinas secas (poseen manta filtrante) y cabinas húmedas (poseen un lavador húmedo); un tercer tipo de cabina se utiliza exclusivamente en operaciones con pintura en polvo. La diferencia fundamental entre las dos primeras es que una cabina seca depende de un filtro de papel, fibra de vidrio o poliestireno para recoger el pulverizado sobrante, mientras que la cabina húmeda utiliza agua con aditivos químicos para recoger el pulverizado sobrante.

Las cabinas de pintura pueden ser consideradas como sistemas para el proceso de pintura, compuestas por su estructura encargada de sostener paredes o laminas que contengan los gases y partículas generadas durante la pulverización de las pinturas al ser aplicadas sobre las superficies de un determinado producto además de mantener una temperatura idónea para un mejor acabado.

Están constituidas por diversos elementos (Figura 5), además de estas partes mecánicas están constituidas por sistemas de control que reciben señales de sensores que permiten vigilar variables como la temperatura interna de la cabina y el flujo del aire, con el fin de accionar máquinas o equipos actuadores que regulen dichas variables.

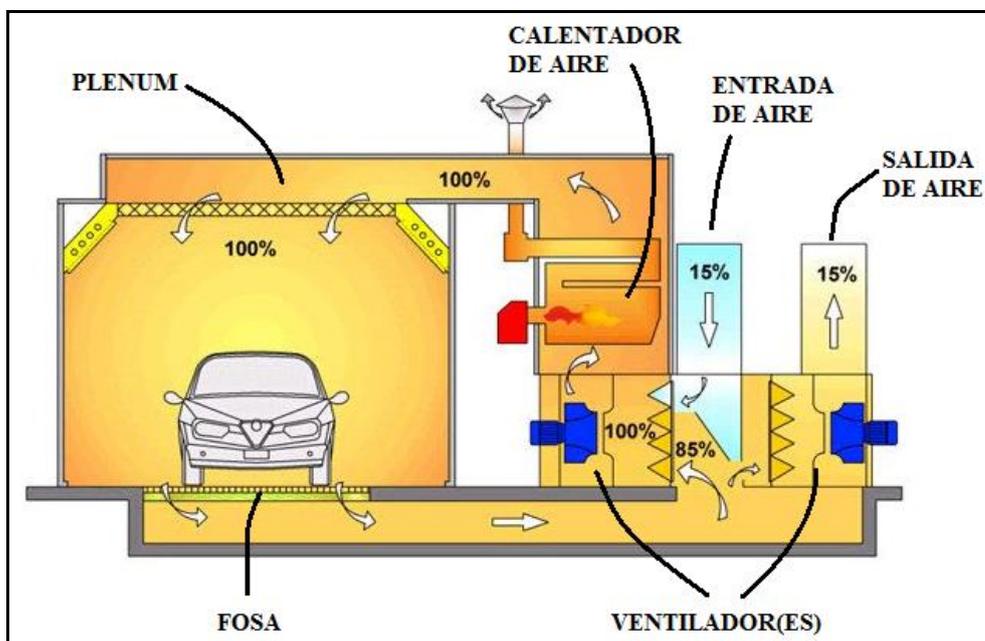


Figura 5: Partes principales de una cabina de pintura de flujo vertical

2.2.12. Funcionamiento

El funcionamiento de una cabina de pintura se basa principalmente en la ventilación y renovación del aire que ocupa el volumen interno de la cabina, para que exista una circulación de aire a una determinada velocidad se utilizan extractores o ventiladores con una capacidad acorde a las características de tamaño y operaciones que se realicen durante el proceso de pintado, teniendo entradas y salidas de aire que han sido desarrolladas con diversas configuraciones que determinan la eficiencia que se puede alcanzar.

Por lo general existen dos configuraciones para la renovación de aire en una cabina de pintura, como es la extracción de aire por presión positiva y la extracción de aire por presión negativa.

2.2.13. Extracción de aire por presión positiva

Con esta configuración el aire es impulsado por el ventilador o extractor hacia dentro de la cabina de pintura, donde en su interior se encuentra cerrada herméticamente aumentando la presión, en lo que se podría comparar con inflar un globo, razón por la cual en algunos diseños el área de los ductos de la salida de aire es mucho menor en comparación por donde este ingresa (Figura 6).

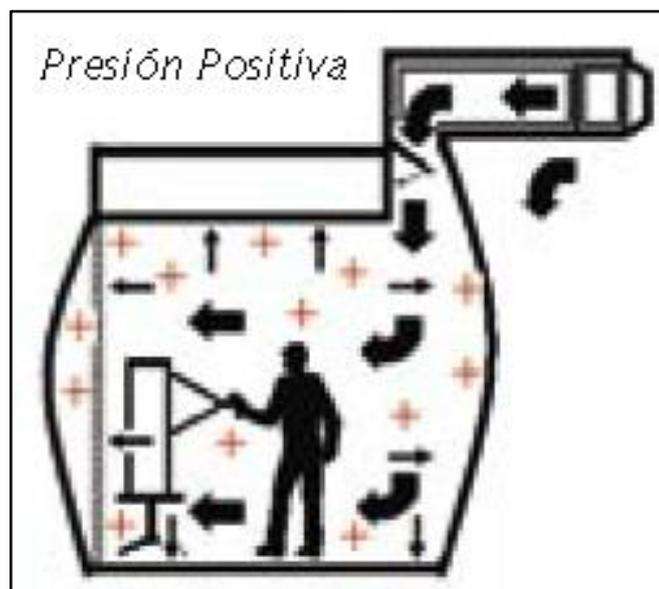


Figura 6: Extracción de aire con partículas de pintura por presión positiva [2]

2.2.14. Extracción de aire por presión negativa

La configuración de este tipo realiza una especie de vacío en el interior de la cabina, al colocar el extractor de forma que se genere un efecto de succión del aire que se encuentra

contenido dentro de las paredes de la cabina de pintura. De forma similar a la configuración positiva se debe mantener selladas herméticamente las paredes para una mejor eficiencia y tener menos pérdidas al momento de la renovación del aire (Figura 7).

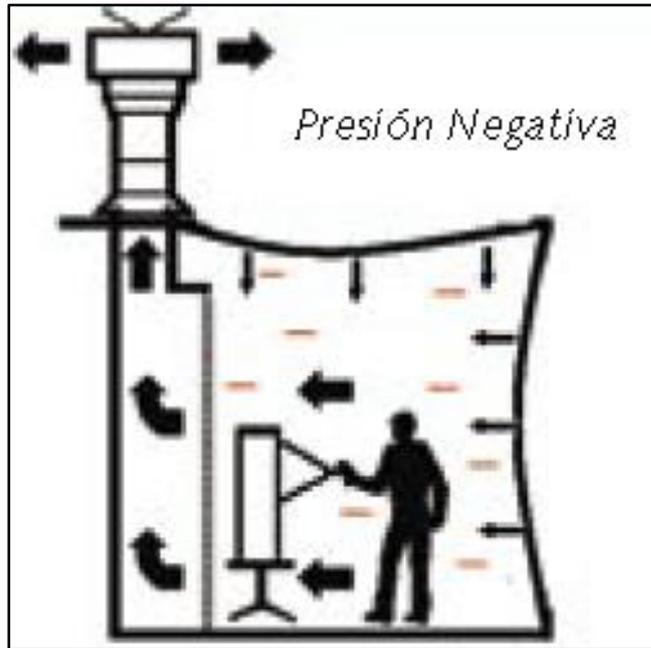


Figura 7: Extracción de aire con partículas de pintura por presión negativa [2]

2.2.15. Tipos de cabinas de pintura

Existen en el mercado varios tipos de cabinas para realizar el proceso de pintado de muebles y autos, algunas se diferencian por los tipos de filtración utilizados a la hora de extraer y limpiar el aire contaminado en el proceso, estos tipos son las cabinas de tipo seco y las cabinas de tipo húmedo. Otras son las llamadas de flujo vertical, las de flujo semi-vertical y las de flujo horizontal. Se pueden observar algunos ejemplos del flujo de aire en una cabina de pintura en la Figura 8.

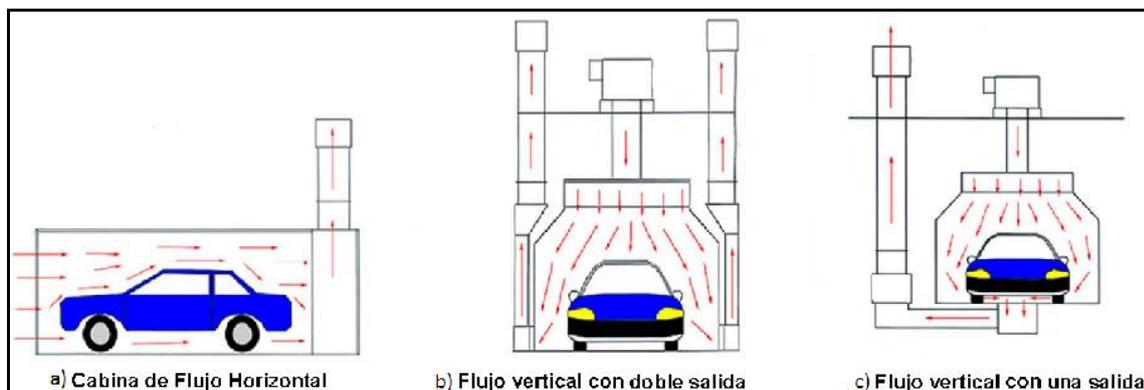


Figura 8: Ejemplos de tipos de cabinas de pintura y sus configuraciones

2.2.16. Conceptos y magnitudes

Dentro de la rama de ventilación industrial intervienen algunos parámetros y variables que deben ser calculadas y analizadas para un correcto diseño de una cabina de pintura.

Caudal

El caudal es el volumen suministrado de aire durante un tiempo determinado y se ve en dependencia de las siguientes variables:

- La cantidad o caudal Q (m³/h) de aire que circula.
- La sección S (m²) del conducto.
- La velocidad v (m/s) del aire.

Vienen ligados por la fórmula $Q = 3600 v S$

El caudal de aire del sistema de ventilación, que no define por sí mismo la calidad de la instalación, debe ser el suficiente para mantener una velocidad media del aire igual o superior a 0,4 metros por segundo, con valores individuales no inferiores a 0,3 m/seg.

Presión

La presión es una unidad para medir la fuerza que le da empuje al aire que interviene en el ciclo de cambio de aire. Esta fuerza, por unidad de superficie, es lo que se llama Presión. Existen tres clases de presión:

Presión estática, (Pe)

Es la que ejerce en todas las direcciones dentro del conducto, en la misma dirección del aire, en dirección contraria y en dirección perpendicular, sobre las paredes del mismo. Si el conducto fuese cerrado, como un recipiente con el aire en reposo, también se manifestaría este tipo de Presión.

La Presión Estática puede ser positiva, si es superior a la atmosférica o bien negativa, si está por debajo de ella.

Presión dinámica, (Pd)

Es la presión que acelera el aire desde cero a una velocidad adecuada para el correcto funcionamiento de la cabina. Se manifiesta solo en la dirección del aire y viene relacionada con la dirección del mismo. La Presión Dinámica es siempre positiva.

Presión total, (Pt)

Es la presión que ejerce el aire sobre un cuerpo que se opone a su movimiento. Sería la presión sobre una lámina L opuesta a la dirección del aire. Esta presión es suma de las dos anteriores.

$$Pt = Pe + Pd \quad (1)$$

Sistemas de ventilación

Los sistemas de ventilación que son parte esencial de una cabina para pintar se basan principalmente en la generación de una corriente de aire a través de ventiladores, los mismos tienen la función de hacer circular las corrientes de aire antes mencionadas por toda la cabina por medio de ductos, a su vez se encarga de recoger las partículas generadas en el proceso de pintado de muebles y permitiendo ser llevadas hacia las salidas de aire.

Sistema de filtros

Estos son ideales tanto para cabinas manuales como automáticas dedicadas a un solo color, o como mucho, a uno o dos cambios de color por día, de forma que la limpieza pueda ser rápida y fácil. Se requieren múltiples cartuchos si se va a utilizar un rango de colores. La corriente de aire y polvo es dirigida hacia el medio filtrante, causando la deposición del polvo en la parte externa de los cartuchos. Un flujo intermitente de aire hace que el polvo salga del cartucho y alcance la zona final de recogida. Desde aquí puede ser transferido de nuevo al alimentador o a la unidad de reciclaje.

Para la purificación del aire se utilizan dos tipos de filtros de tipo seco y de tipo húmedo o cortinas de agua, con el fin de evitar que partículas externas ingresen en la cabina y que las partículas generadas no salgan directamente al medioambiente, en la Figura 5 se puede observar las locaciones de los filtros según el tipo de cabina.

Sistemas de recuperación de polvo

Es bien conocido que una de las mayores ventajas del recubrimiento en polvo es la alta eficacia de transferencia y que puede recuperarse el pulverizado sobrante de forma que pueda así reutilizarse. Existen dos clases principales de sistemas de recuperación: Filtros y ciclones.

Para evitar que el acabado superficial de los productos se vea afectado por impurezas o partículas que se mantienen en el ambiente se deben colocar filtros con características

especiales en la toma de aire, en el ducto o si es el caso en los plenums, en las salidas de las paredes de diferentes tipos y en la salida al exterior que también suelen utilizarse filtros de carbón activo para retener los gases.

Es esencial que la filtración del aire se adapte a las necesidades específicas de una cabina, ya que la cantidad de polvo contenido en el aire es muy variable; por lo general se sitúa entre 0,1 y 10 mg por m³.

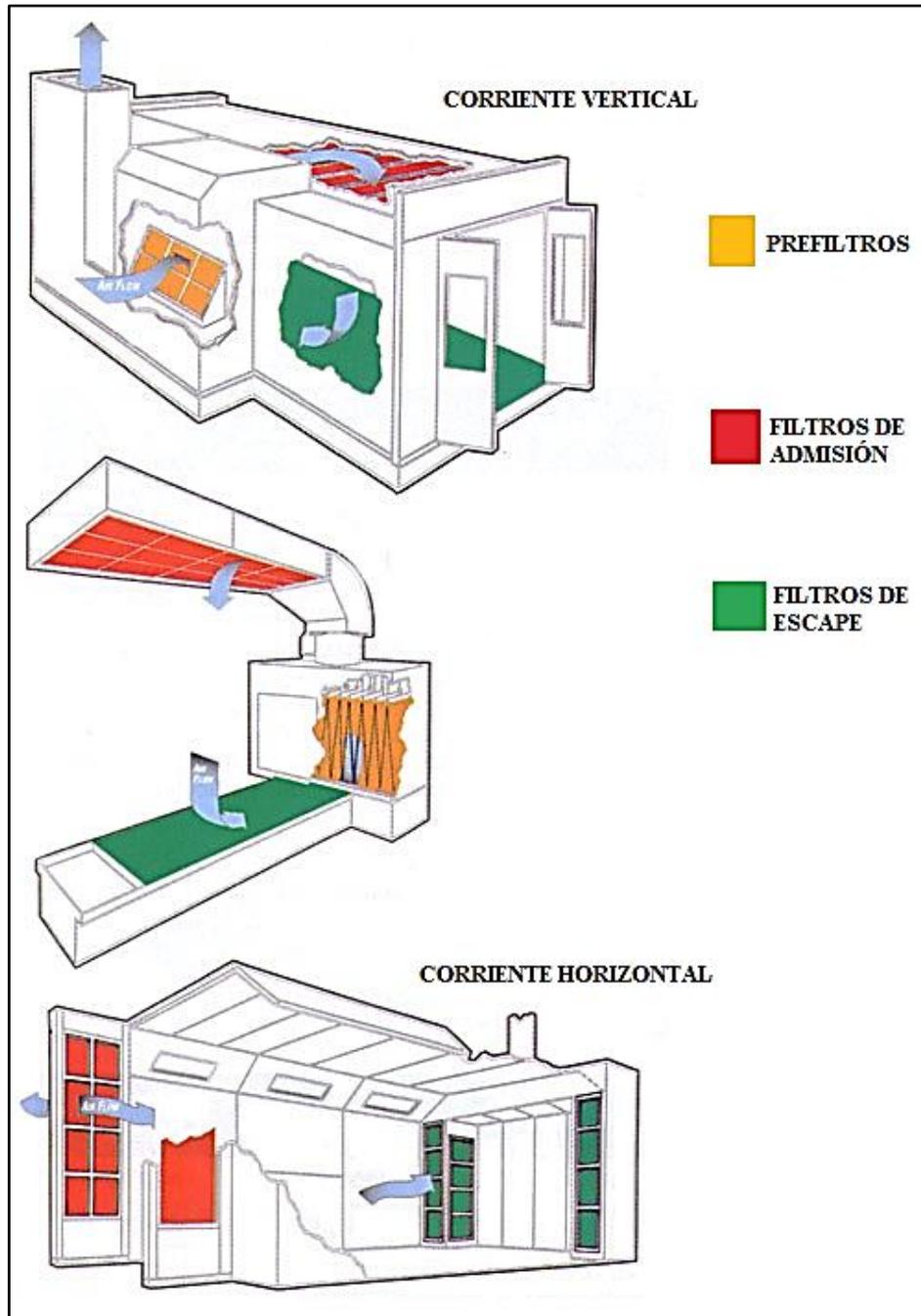


Figura 9: Ubicación de filtros en una cabina según la empresa Dayton Reliable Air Filter [9]

2.2.17. Iluminación de la cabina.

La iluminación de la cabina es uno de los aspectos ergonómicos más importantes debido a que de esto depende la calidad visual de los productos y la seguridad de los operarios. En las cabinas de pintura se utilizan un tipo de iluminación directa y el nivel de iluminación de la cabina de pintura debe ser uniforme y aproximadamente de 750 a 1000 luxes de acuerdo al método de los lumen's. En la Figura 10, se tiene un ejemplo de cómo van ubicadas las luminarias.

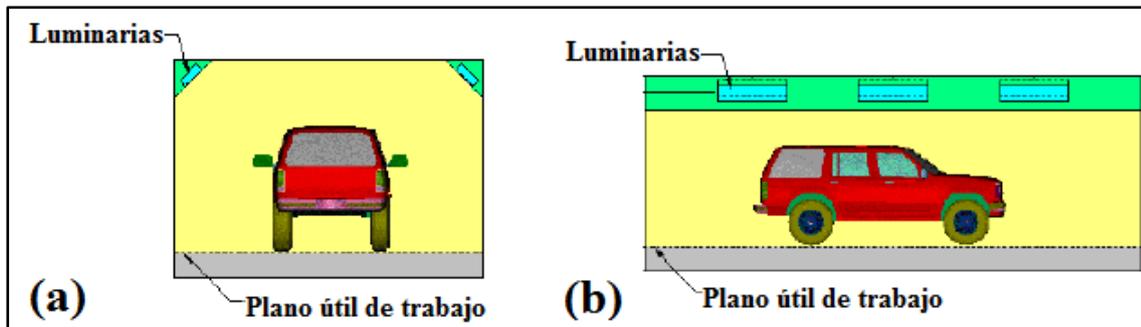


Figura 10: Ejemplo ubicación de luminarias en una cabina de pintura: (a) vista transversal, (b) vista longitudinal [10].

2.2.18. Transferencia de calor

La transferencia de calor es el paso de energía térmica desde un cuerpo de mayor temperatura a otro de menor temperatura. Cuando un cuerpo, por ejemplo, un objeto sólido o un fluido, está a una temperatura diferente de la de su entorno u otro cuerpo, la transferencia de energía térmica, también conocida como transferencia de calor o intercambio de calor, ocurre de tal manera que el cuerpo y su entorno alcancen equilibrio térmico. La transferencia de calor siempre ocurre desde un cuerpo más caliente a uno más frío, como resultado de la Segunda ley de la termodinámica. Cuando existe una diferencia de temperatura entre dos objetos en proximidad uno del otro, la transferencia de calor no puede ser detenida; solo puede hacerse más lenta.

El calor puede ser transferido mediante 3 procesos convección, radiación o conducción, estos procesos pueden realizarse simultáneamente o también puede ocurrir que solo se de uno de ellos.

2.2.19. Generador de aire caliente con intercambiador.

Un intercambiador de calor es un dispositivo construido para intercambiar eficientemente el calor de un fluido a otro, tanto si los fluidos están separados por una pared sólida para prevenir su mezcla, como si están en contacto directo. Los intercambiadores de calor son muy usados en refrigeración, acondicionamiento de aire, calefacción, producción de energía, y procesamiento químico [3].

Un intercambiador de calor puede tener diversas configuraciones y diseños que pueden usarse en dependencia de los requerimientos de un determinado proceso. Pueden realizarse intercambiadores que aprovechen los desechos de los cortes de la madera como son las estufas y generadores de aire caliente (Figura 11), en las que en su interior se incineran dichos desechos en forma de retazos o también a la viruta se la puede transformar en pellets, con una gran capacidad y potencia calorífica para calentar aire.

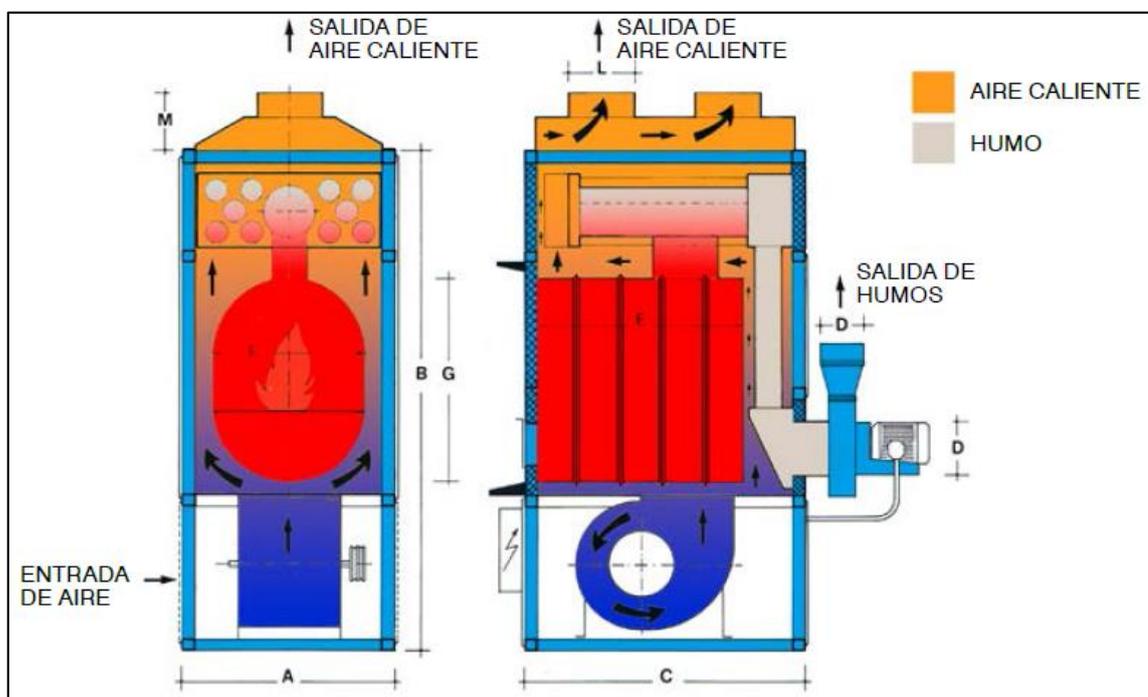


Figura 11: Esquema general de circulación de aire caliente y expulsión de humos de combustión en un generador de aire caliente del catálogo de la empresa Mator [11].

2.2.20. Consumo de energía

El consumo de energía también debería considerarse cuando se selecciona un tipo de pintura y un método de aplicación. El ahorro de energía en el pintado es un aspecto

medioambiental y económico a considerar. Los procesos con mayor consumo de energía a lo largo de toda la cadena de trabajo en un proceso típico de pintado son:

- Tratamientos previos (por ejemplo, el desengrase)
- Secado de agua adherida (tras tratamientos previos)
- Cabina de pintura (circulación de aire, calentamiento de aire, aplicación de pintura, etc.)
- Secado/curado de la pintura, zona de enfriamiento

Estos factores están directamente relacionados con el tipo de pintura y el método de aplicación seleccionado. Para propósitos comparativos, los recubrimientos en polvo y las pinturas en base agua podrían tener requerimientos energéticos más altos debido a la mayor demanda de curado.

De cualquier forma, en cada caso habrá de evaluarse la posibilidad de aplicar medidas tendentes a ahorrar energía. No es posible establecer medidas de producción limpia con datos, dado que cada instalación requiere un estudio específico, dado el gran número de variables que entran en juego (tipo de piezas, tipo de pintura, técnica de aplicación, tipo de cabina, tipo de horno, etc.).

A modo de ejemplo, se pueden nombrar algunas medidas de producción limpia potencialmente aplicables a una instalación de pintura:

- Instalación de cámaras limpias para las cabinas de pintado (minimización de renovación del aire y filtrado).
- Empleo de sistemas de control y regulación eléctrica/electrónica y de programadores para evitar el funcionamiento innecesario de los sistemas.
- Aprovechamiento de los gases de escape procedentes del horno de secado para el precalentamiento del aire.
- Analizar la viabilidad del aprovechamiento energético de los gases con disolventes.
- Optimización de los sistemas de acondicionamiento de aire en cabinas (por ejemplo, recirculación del aire).

En cualquier caso, hay que tener en cuenta que el consumo energético debe ser uno de los factores a considerar a la hora de seleccionar y diseñar una instalación de pintura.

2.2.21. Los desechos de madera como combustible

La madera usada directamente o carbonizada fue usada hace algún tiempo atrás como la principal fuente de calor. Al aumentar la demanda térmica por el extraordinario proceso industrial y la consiguiente elevación del nivel de vida, cedió lugar a combustibles de mayor potencia calorífica como los carbones y aceites minerales, que, con el adecuado perfeccionamiento de los procesos de transformación de energía pudieron aprovecharse en condiciones económicas sumamente favorables [12].

Hay sin embargo, circunstancias que aconsejan, aun hoy, el uso de la madera como combustible, y que son las siguientes:

- **Disponibilidad de residuos:** Hay fabricas que emplean materia prima como madera o productos derivados de esta (aserraderos, mueblerías, carpinterías, fábricas de papel entre otros), que dejan como sobrantes de escaso valor desechos en forma de recortes, virutas, aserrín y cortezas que representan del 30 al 50% de la materia prima original. La disponibilidad de estos residuos puede ser por lo menos satisfacer las necesidades propias de energía de la fábrica, en cuyo caso es una excelente solución económica.
- **Disponibilidad residual de madera a bajo costo:** Es el caso de grandes aserraderos de las regiones madereras, este combustible residual (*Wood waste* como se llama en la técnica americana), se produce en cantidades muy grandes a un coste tan bajo que justifica su transporte y utilización en puntos bastante alejados del centro de producción, entrando directamente a competir con los combustibles corrientes en las comparaciones económicas que deciden la selección del combustible y proceso de generación en otras industrias.
- **Situación de emergencia:** En países no productores de combustibles corrientes, o en aquellos de producción insuficiente, se presenta el problema de la crisis de medios de transporte que al reducir o suprimir el suministro normal del exterior obliga a quemar la madera como solución de emergencia.

La potencia calorífica de las distintas maderas secas es prácticamente la misma y puede fijarse como promedio aproximado en 4500 cal / kg. Las maderas resinosas (pinos) o muy compactas (quebracho) pueden llegar a 5000 cal / kg [12].

De forma especial los desechos de tableros de MDF o MDP son fácilmente volátiles facilitando así su combustión.

2.3.Propuesta de solución

Se diseña y construye una cabina que disminuya las partículas de pintura que se encuentran en el aire, por medio de un ventilador para renovar el aire que contiene dichas partículas, adjunta a esta cabina se implementará una cámara de secado con un generador de aire caliente controlado electrónicamente, que usa como combustible los desechos de madera resultantes del proceso de producción, además se iluminará la cabina de pintura para una correcta visualización de los productos a ser pintados.

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA

3.1. Tipo de investigación

El proyecto será de tipo investigativo y de desarrollo (I+D).

3.2. Modalidad

Se utiliza una investigación bibliográfica de tipo documental de acuerdo a las exigencias de desarrollo y progreso del tema, para obtener información escrita sobre el tema a estudiar mediante libros, revistas, diarios, informes escritos, entre otros, o bien tesis de grado enfocadas a mejorar el proceso de pintura a través de una cabina, con el propósito de detectar, ampliar y profundizar diferentes caminos, teorías, conceptualizaciones de diferentes autores, como también la aplicación de textos encontrados en Internet.

También se maneja la investigación de campo que consistirá en obtener toda la información directa de la fábrica realizando inspecciones visuales del área de pintura, para conocer más ampliamente las causas del objeto de estudio dentro del proceso interno de producción.

Se realiza una investigación aplicada, que comprende un conjunto de actividades que tienen por finalidad aplicar conocimientos científicos, que puedan realizarse en productos y en procesos utilizables.

3.3. Población y muestra

En este caso no se requiere de población y muestra, debido a que es evidente la presencia de partículas de pintura, que se mantienen suspendidas en el ambiente de trabajo durante la aplicación de pintura debido a la falta de ventilación.

3.4. Recolección de información

Para la ejecución de la presente investigación se utiliza los instrumentos de análisis y recolección de la información como son documentos y observaciones.

3.5. Procesamiento y análisis de datos

Con la ayuda de los documentos se revisa libros, informes de trabajos similares realizados anteriormente, revistas entre otros, con el fin de recopilar información para el diseño y recomendaciones que puedan servir.

También se lleva un registro de la cantidad de productos procesados mediante la observación así como identificar los principales defectos y tabularlos para realizar una gráfica tratando así de solucionar los problemas de mayor incidencia y poder comparar los datos después de la implementación de la cabina de pintura.

Para la observación se interviene e interactúa en el proceso de pintado y se realiza de la siguiente forma:

- Determinar y definir lo que se va a observar.
- Estimar el tiempo necesario de observación.
- Obtener la autorización de la gerencia de la fábrica para llevar a cabo las observaciones.
- Explicar a las personas que intervienen en el proceso de pintado lo que se va a hacer y las razones para ello.

Se utiliza instrumentos como listas de chequeo, cámara de video y fotográfica.

3.6. Desarrollo del proyecto

- Análisis del proceso de pintado.
- Dimensionamiento de la estructura de la cabina.
- Cálculo y dimensionamiento de componentes mecánicos para la cabina de pintura.
- Construcción de la cabina.
- Selección de dispositivos necesarios para el control de temperatura, ventilación e iluminación.
- Pruebas de la cabina de pintura.

CAPÍTULO IV

DESARROLLO DE LA PROPUESTA

4.1. Descripción de la fábrica “LAS MADERAS”

Las Maderas es una fábrica que desarrolla sus actividades en la ciudad de Ambato y está ubicada en la Av. José Peralta y Pérez Guerrero. Se dedica a la fabricación de cofres mortuorios, ha sido constituido como taller artesanal desde el año 2003 por su dueño y actual Gerente el Ing. Geovanny Guerrero, desde entonces ha tenido una importante expansión a nivel local y nacional.



Figura 12: Logotipo fábrica Las Maderas

La fábrica tiene como objeto la fabricación, elaboración, venta y distribución de cofres mortuorios; importación, compra, venta y distribución de materia prima para otros fabricantes de ataúdes.

Las etapas del proceso de producción de cofres mortuorios, se realizan de forma manual mediante operarios encargados de cortar, armar, preparar, lijar, pintar y colocar accesorios en cada uno de los cofres elaborados.

4.2. Estructura organizacional

Está definida por una sociedad de tres hermanos, encargados de la definición de políticas, aprobación de planes, presupuestos y decisiones de carácter trascendental. El organigrama estructural es el siguiente:

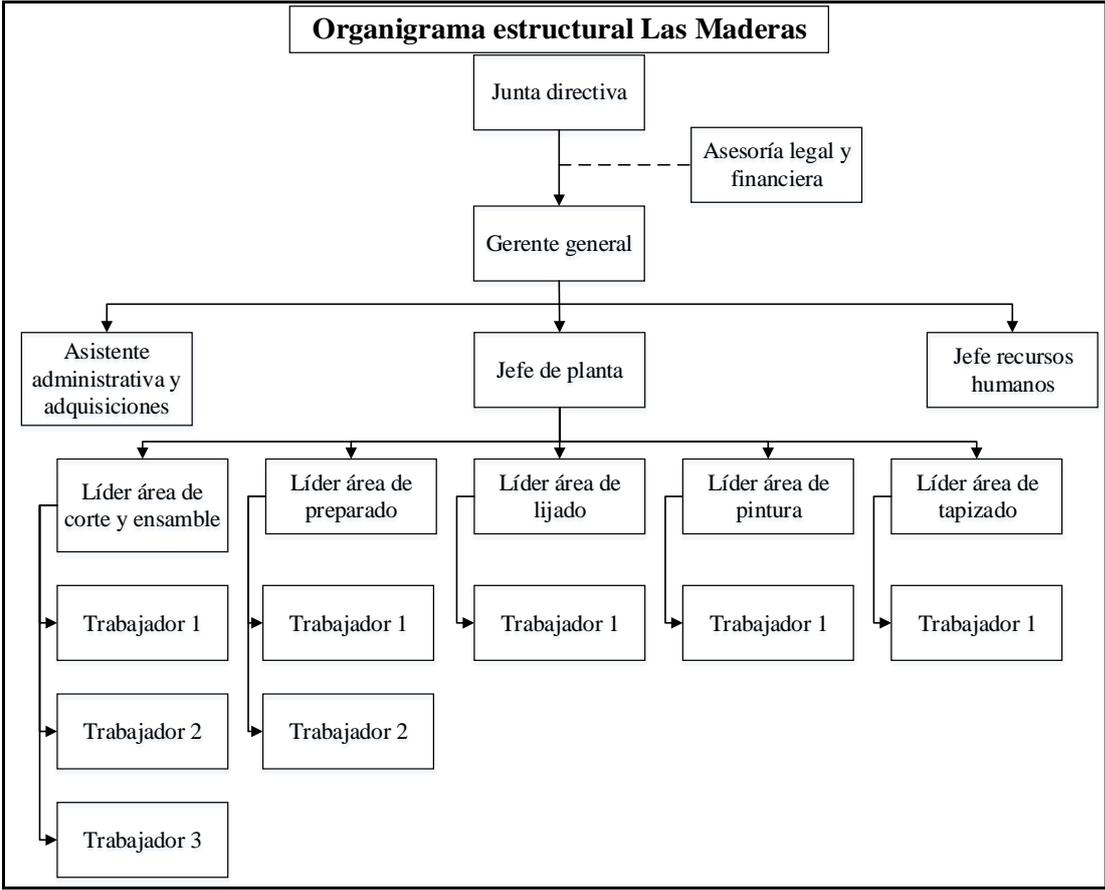


Figura 13: Organigrama estructural Las Maderas

4.3. Análisis de la situación actual de la planta de producción

La fábrica Las Maderas se encuentra en una etapa de reestructuración en sus instalaciones y en las actividades del proceso productivo siendo necesario realizar estudios y operaciones acorde a las necesidades de producción.

4.3.1. Productos

Los productos manufacturados por la fábrica Las Maderas están dirigidos al sector exequial, con diversos modelos (ver anexo 2).

4.3.2. Levantamiento de procesos

Para el análisis del proceso de producción se realiza un seguimiento de las actividades ejecutadas en planta, analizando y determinando las áreas correspondientes a cada operación.

4.3.3. Segmentación de procesos

La segmentación se realiza mediante una ficha (Anexo 3), la cual permite detallar las actividades concernientes a los diversos procesos y subprocesos para la elaboración de los cofres mortuorios (Figura 15).

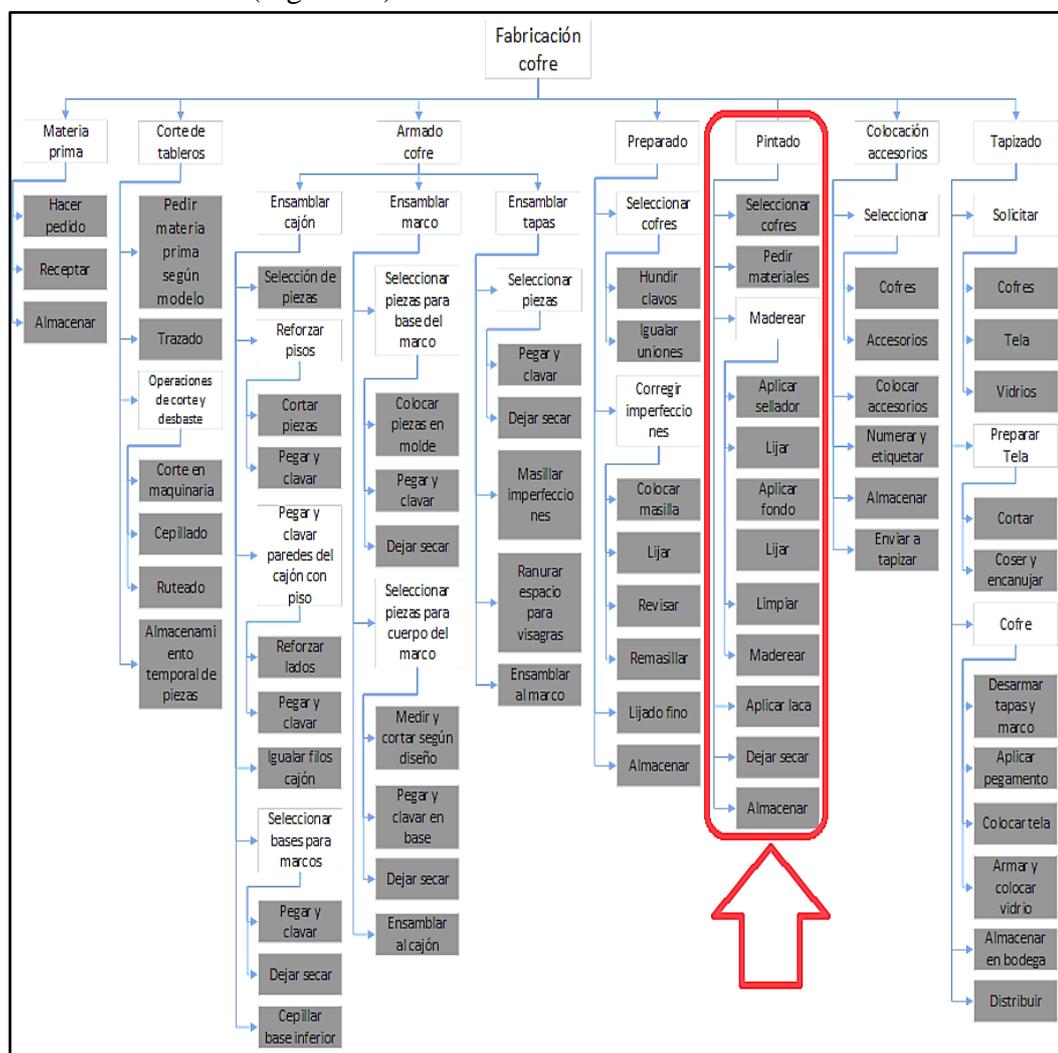


Figura 14: Segmentación de procesos fabrica las Maderas

La Figura 15 muestra el macro proceso y los subprocesos con sus respectivas actividades para la elaboración de los cofres mortuorios. Con la realización de la segmentación de procesos se puede elaborar el mapa global que contiene la representación de un diagrama de valor o inventario gráfico de una organización con los procesos estratégicos, de negocio y de apoyo de mayor relevancia dentro de la fábrica.

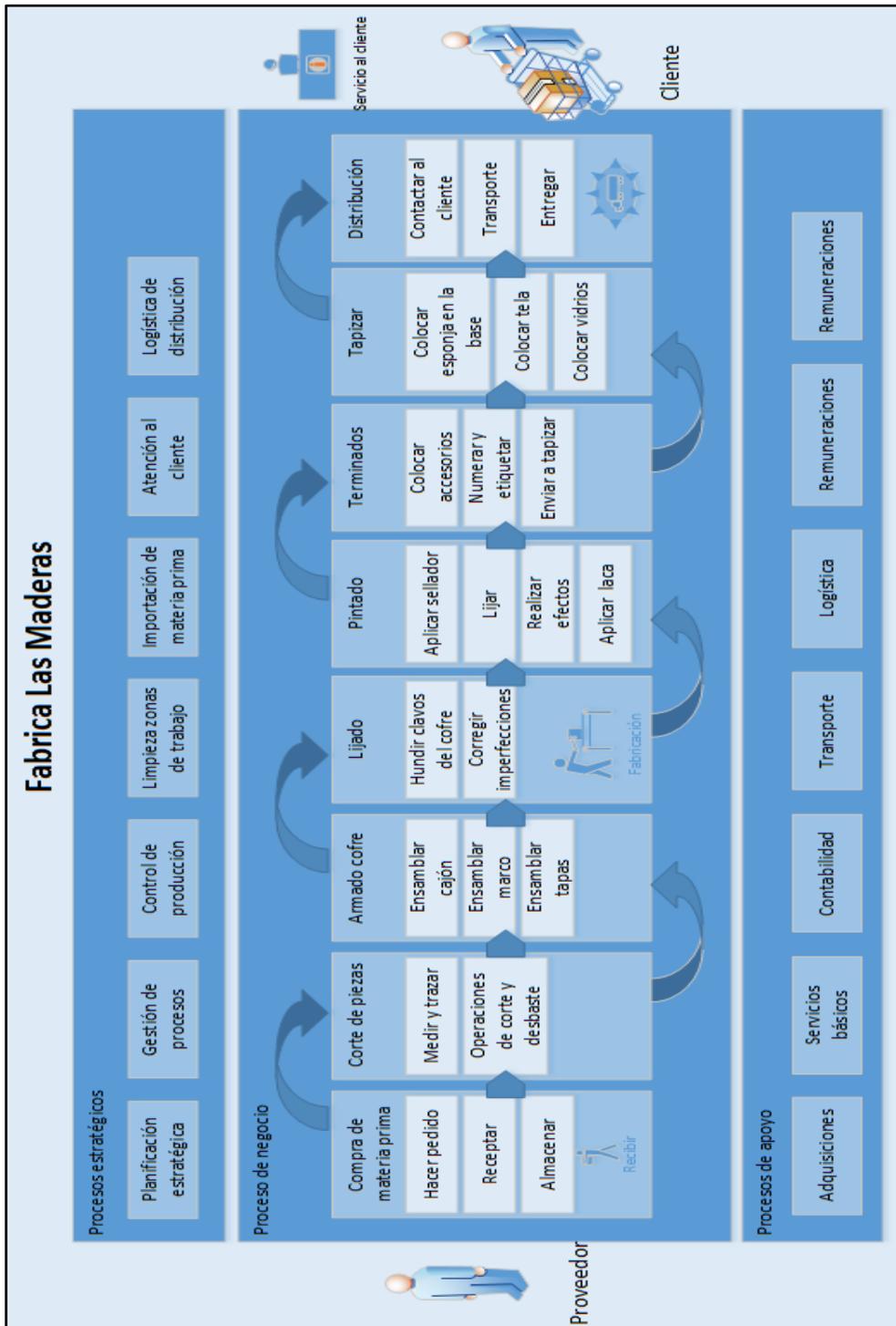


Figura 15: Mapa global de procesos fábrica Las Maderas

Para el presente proyecto se analiza el proceso de fabricación de cofres mortuorios pero se toma especial atención al proceso de pintura (resaltado en la Figura 15) y sus actividades con el fin de establecer todos los parámetros necesarios que puedan representar mejoras o a su vez determinar los problemas que ocurren al momento de aplicar las pinturas pulverizadas.

4.4.Descripción del proceso de fabricación de ataúdes

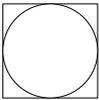
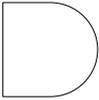
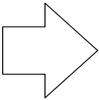
La descripción aplica a todas las áreas de producción, siendo estas: corte, ensamble, preparado, lijado, pintura y tapizados; estos procesos han sido analizados con el fin de establecer la capacidad de producción existente dentro de la fábrica.

Para establecer las actividades con los tiempos necesarios dentro del proceso, se realiza un Diagrama Analítico de Procesos (DAP) obtenido a través de un Cursograma Analítico de Procesos (CAP), permitiendo conocer las actividades de transporte, inspección, operaciones, almacenamientos, demoras, inspecciones además de operaciones combinadas de operación y control (Tabla 1).

Las operaciones y la simbología utilizada se aprecian en la Tabla 1.

Tabla 1: Simbología utilizada en diagramas DAP

Simbología para el Diagrama Analítico de Procesos según norma ASME		
Símbolo	Nombre	Descripción
	Operación	Una operación representa las principales etapas del proceso. Se crea, se cambia o se añade algo. Las implican actividades tales como conformación, embutición, montaje, corte y desmontaje de algo.
	Inspección	La inspección se produce cuando las unidades del sistema productivo son comprobadas, verificadas, revisadas o examinadas en relación con la calidad y/o cantidad, sin que esto constituya cambio alguno en las propiedades de la unidad.
	Almacenamiento	El almacenamiento se produce cuando algo permanece en un sitio sin ser trabajado o en proceso de elaboración, esperando una acción en fecha posterior. El almacenamiento puede ser temporal o permanente.

Continuación Tabla 3		
Símbolo	Nombre	Descripción
	Operación e inspección	Cuando se desea indicar que varias actividades son ejecutadas al mismo tiempo o por el mismo elemento en un mismo lugar de operación, se combinan los símbolos de tales actividades.
	Demora	La demora se produce cuando las condiciones no permiten o no requieren una ejecución inmediata de la próxima acción planificada. La demora puede ser evitable o no.
	Transporte	Transporte es el movimiento del material personal u objeto de estudio desde una posición o situación a otra. Cuando los materiales se almacenan cerca o a menos de un metro del banco o de la máquina donde se efectúa la operación, aquel movimiento efectuado para obtener el material antes de la operación, y para depositarlo después de la misma, se considera parte de la operación.

Según esto se establece lo siguiente:

4.4.1. Proceso de corte

El proceso de corte se establece como punto de partida en la elaboración de los cofres mortuorios, se trazan los tableros dependiendo del modelo y se obtienen las piezas necesarias para las partes principales de un cofre como son: cajón, marco y tapa.

Se establecen las actividades relevantes dentro de este proceso (Tabla 2), con los respectivos tiempos de operación en cada actividad:

- **Operación 1:** Se seleccionan los tableros del área de almacenamiento. El espesor de los tableros depende del modelo de cofre a procesar.
- **Operación 2:** Los tableros seleccionados se colocan sobre la sierra escuadradora.
- **Operación 3:** Se cortan las piezas para las partes del cofre.
- **Operación 4:** Los retazos o sobras de tableros se colocan en las zonas de almacenamiento de dichas piezas.
- **Transporte 1:** Las piezas cortadas se trasladan a las zonas de almacenamiento.

- **Almacenamiento 1:** Las piezas son almacenadas hasta ser utilizadas en las tres partes principales del cofre: cajón, marco y tapa.

Tabla 2: Cursograma analítico proceso de cortes

CURSOGRAMA ANALÍTICO - PLANTA LAS MADERAS								
Fecha realización: 09/07/14		Ficha #: 1						
Diagrama #: 1	Página 1 de 1	RESUMEN						
Proceso: Corte tableros MDF y MDP		ACTIVIDAD	Actual:		Propuesto:		Diferencia	
			Cant. (u)	Tiempo (min)	Cant. (u)	Tiempo (min)	Cant. (u)	Tiempo (min)
Actividad: Corte de piezas para cajón, marco y tapa		Operación	3	116				
		Transporte	1	18				
Tipo de Diagrama:	Material (X)	Espera	0	0				
	Operario ()	Inspección	0	0				
Método:	Actual (X)	Almacenamiento	1					
	Propuesto ()	Distancia Total	4					
Área/sección: Corte		Tiempo Total	134	Actividades para la elaboración de 10 cofres mortuorios.				
Elaborado por: Guevara F.								

DESCRIPCIÓN ACTIVIDADES	OP.	TRP.	CTRL.	ESP.	ALM.	O y C	Tiempo (min)	DISTANCIA (m)	OBSERVACIONES
	○	⇒	□	◇	▽	□			
Seleccionar tableros según pieza a cortar	x						5		
Colocar tablero en sierra escuadradora	x						8		Sierra escuadradora
Corte de piezas necesarias para cajón	x						95		
Colocar sobras de cortes en la zona determinada	x						8		
Trasladar piezas al área determinada		x					18	4	
Almacenar piezas en las zonas determinadas						x	-		Piezas en zonas de ensamble cajón, marco y tapa

Imágenes proceso de corte.



Figura 16: Proceso de corte

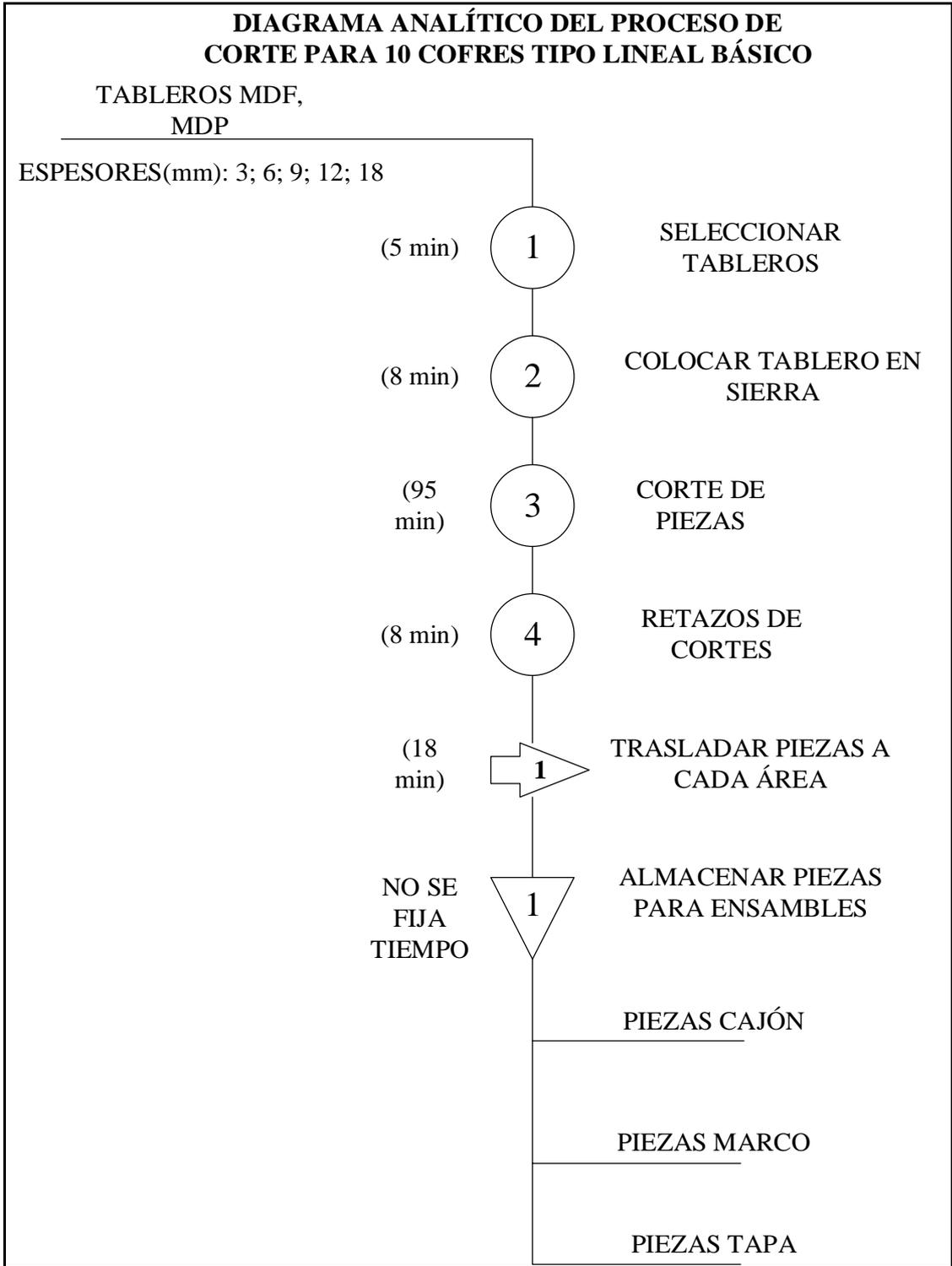


Figura 17: Diagrama analítico del proceso de corte de tableros

4.4.2. Proceso ensamble cofre

Los cofres se encuentran divididos en tres partes principales, estas son armadas en forma independiente.

Ensamble cajón

Con las piezas cortadas se procede a ensamblar el cajón que es la base o parte principal del cofre, aquí se ensamblaran los marcos y las tapas que se construyen paralelamente con las siguientes actividades:

- **Operación 1:** Selección de piezas necesarias para elaborar cajón.
- **Operación 2:** Colocar las piezas cortadas en los burros o mesas de trabajo.
- **Operación 3:** Los refuerzos o también denominadas cerchas dentro de la planta de producción se colocan con cola plástica y clavos al asiento del cofre.
- **Operación 4:** Colocación de los costados del cofre con cola plástica y clavos.
- **Operación 5:** Colocación de refuerzos en los vértices de los costados para evitar que los costados se abran y rigidizar los mismos.
- **Transporte 1:** Se trasladan a una zona establecida para los cajones.
- **Espera 1:** Con los cajones en la zona de espera, se deja secar la cola plástica de los cajones para su posterior manipulación.
- **Operación 6:** Hasta que los cajones se sequen, se molduran tiras de los tableros de MDF en un tupi, siendo destinadas para los denominados anillos, uno en la base del cajón y otro en la parte superior.
- **Transporte 2:** Cuando los anillos están moldurados son llevados a la zona de ensamble con el cajón y las tapas.
- **Operación 7:** Se igualan los costados del cofre para señalar las tiras según las dimensiones del cajón.
- **Operación 8:** Señaladas las medidas se procede a cortar en una sierra radial.
- **Operación 9:** Las tiras cortadas a la medida del cajón son colocadas con cola plástica y clavos.
- **Operación 10:** Con los anillos colocados se colocan los marcos y las tapas.
- **Inspección 1:** Se verifica que los marcos y las tapas estén ensamblados de forma correcta, hecho esto se coloca un código en cada cofre.
- **Almacenamiento 2:** Una vez ensamblados los tres componentes se almacenan en la zona determinada para su posterior proceso.

Tabla 3: Cursograma analítico ensamble cajón

CURSOGRAMA ANALÍTICO - PLANTA LAS MADERAS								
Fecha realización: 11/07/14		Ficha #: 2						
Diagrama #: 1	Página 1 de 1	RESUMEN						
Proceso: Ensamble cofre tipo lineal básico		ACTIVIDAD	Actual:		Propuesto:		Diferencia	
			Cant. (u)	Tiempo (min)	Cant. (u)	Tiempo (min)	Cant. (u)	Tiempo (min)
Actividad: Ensamble cajón		Operación	10	667				
		Transporte	2	13				
Tipo de Diagrama:	Material (X)	Espera	0	80				
	Operario ()	Inspección	1	5				
Método:	Actual (X)	Almacenamiento	1	9				
	Propuesto ()	Distancia Total (m)	9					
Área/sección: Corte y Ensamble		Tiempo Total (min)	774		Actividades para la elaboración de 10 cofres mortuorios.			
Elaborado por: Guevara F.								

DESCRIPCIÓN ACTIVIDADES	OP.	TRP.	CTRL.	ESP.	ALM.	O y C	Tiempo (min)	DISTANCIA (m)	OBSERVACIONES
	○	⇒	□	D	▽	□			
Seleccionar piezas	x						6		
Colocar piezas en banco de trabajo	x						5		
Colocar refuerzos en el asiento del cajón	x						38		
Colocar costados del cajón	x						350		
Colocar refuerzos en vértices de costados	x						20		
Colocar en zona de almacenamiento temporal		x					6	2	
Dejar secar				x			80		
Moldurar tiras anillos superior e inferior	x						35		En tupi
Colocar en zona de ensamble con marco y tapa		x					7	7	
Medir tiras anillo inferior y superior	x						20		
Cortar tiras	x						18		
Colocar tiras de anillo inferior y superior	x						45		
Ensamblar con marco y tapas	x						130		
Verificar ensamble y colocar código			x				5		
Colocar en zona de almacenamiento					x		9		



Figura 18: Ensamble cajón

Ensamble marco

El marco se ensambla mientras se está ensamblando el cajón, el marco del cofre es el encargado de ligar a la tapa con el cajón. Para la elaboración del marco se tiene:

- **Operación 11:** Se seleccionan las piezas para el marco procedentes de la sierra escuadradora.
- **Operación 12:** Las piezas se colocan en moldes y se señalan para mantener las medidas en todos los cofres.
- **Operación 13:** Se cortan las piezas según lo señalado.
- **Operación 14:** Se coloca pega en los vértices de las piezas, para armar los marcos.
- **Operación 15:** Colocar clavos en los vértices.
- **Operación 16:** Para evitar que los marcos se abran se refuerzan con tornillos.
- **Espera 2:** La cola plástica debe estar seca para evitar las uniones de los vértices se abran.
- **Transporte 3:** Cuando los marcos están secos son llevados a la zona de ensamble con el cajón y la tapa.

Tabla 4: Cursograma analítico ensamble marco

CURSOGRAMA ANALÍTICO - PLANTA LAS MADERAS								
Fecha realización: 09/07/14		Ficha #: 2						
Diagrama #: 2	Página 1 de 1	RESUMEN						
Proceso: Ensamble cofre tipo lineal básico		ACTIVIDAD	Actual:		Propuesto:		Diferencia	
			Cant. (u)	Tiempo (min)	Cant. (u)	Tiempo (min)	Cant. (u)	Tiempo (min)
Actividad: Ensamble marco		Operación	6	90				
		Transporte	1	3				
Tipo de Diagrama:	Material (X)	Espera	1	90				
	Operario ()	Inspección	0	0				
Método:	Actual (X)	Almacenamiento	0	0				
	Propuesto ()	Distancia Total (m)	3					
Área/sección: Corte y ensamble		Tiempo Total (min)	183	Actividades para la elaboración de 10 cofres mortuorios.				
Elaborado por: Guevara F.								

DESCRIPCIÓN ACTIVIDADES	OP.	TRP.	CTRL.	ESP.	ALM.	Tiempo (min)	DISTANCIA (m)	OBSERVACIONES
	○	⇒	□	▷	▽			
Seleccionar piezas cortadas	x					5		
Colocar y medir piezas en moldes	x					37		
Cortar piezas según molde	x					33		Sierra radial
Colocar pega en vértices	x					1		
Colocar clavos	x					3		
Colocar tornillos 8x2 en vértices para rigidizar marcos	x					11		Con taladro
Almacenar y dejar secar				x		90		
trasladar a zona de ensamble con cajón		x				3	3	

Ensamble tapa

Las tapas en los cofres mortuorios son las que dan la forma principal a los cofres y son las últimas en ensamblarse. Para la elaboración de las tapas se tiene:

- **Operación 17:** Selección de piezas cortadas provenientes de la sierra escuadradora.
- **Operación 18:** Las piezas son colocadas en moldes para señalar las medidas estándar de las tapas.
- **Operación 19:** Señaladas las medidas se cortan para poder armar las tapas.
- **Operación 20:** Se coloca cola plástica en los vértices para que no se abran.
- **Operación 21:** Colocada la cola plástica se insertan clavos en los vértices para juntar las piezas.
- **Espera 3:** Se deja secar la cola plástica de las piezas.
- **Transporte 4:** Una vez secas las tapas se trasladan a la sierra escuadradora.
- **Operación 22:** Cuando se tiene armada la tapa, esta es de la misma medida que el cofre y marco, pero dependiendo del modelo se corta en dos partes en la sierra escuadradora para que se abra solo una parte del cofre.
- **Transporte 5:** Las tapas cortadas son llevadas nuevamente a la zona de armado.
- **Operación 23:** Se miden y cortan refuerzos para ser colocados en las zonas cortadas de las tapas.
- **Transporte 6:** Finalmente las tapas armadas son trasladadas a la zona de ensamble con el cajón y el marco.



Figura 19: Ensamble tapas

Tabla 5: Cursograma analítico ensamble tapas

CURSOGRAMA ANALÍTICO - PLANTA LAS MADERAS								
Fecha realización: 11/07/14		Ficha #: 2						
Diagrama #: 3	Página 1 de 1	RESUMEN						
Proceso: Ensamble cofre tipo lineal básico		ACTIVIDAD	Actual:		Propuesto:		Diferencia	
			Cant. (u)	Tiempo (min)	Cant. (u)	Tiempo (min)	Cant. (u)	Tiempo (min)
Actividad: Ensamble tapa		Operación	7	129				
		Transporte	3	10				
Tipo de Diagrama:	Material (X)	Espera	1	65				
	Operario ()	Inspección	0	0				
Método:	Actual (X)	Almacenamiento	0	0				
	Propuesto ()	Distancia Total (m)	18					
Área/sección: Corte y ensamble		Tiempo Total (min)	204		Actividades para la elaboración de 10 cofres mortuorios.			
Elaborado por: Guevara F.								

DESCRIPCIÓN ACTIVIDADES	OP.	TRP.	CTRL.	ESP.	ALM.	O y C	Tiempo (min)	DISTANCIA (m)	OBSERVACIONES
	○	⇒	□	▷	▽	□			
Seleccionar piezas cortadas	x						6		
Colocar y medir piezas en moldes	x						34		
Cortar piezas según molde	x						29		
Colocar pega en vértices y tapas	x						14		
Colocar clavos	x						12		
Dejar secar				x			65		
Trasladar a sierra escuadradora		x					3	7	
Cortar tapa en dos partes	x						9		Sierra escuadradora
Trasladar a zona de ensamble tapa		x					4	7	
Medir, cortar y colocar refuerzos	x						25		Sierra radial
Trasladar a zona de ensamble con marco y cajón		x					3	4	

Los tres subprocesos anteriores llegan a un punto común para formar parte de un cofre ensamblado para posteriormente pasar al siguiente proceso.



Figura 20: Cofre ensamblado

Con todas las actividades detalladas se tiene el siguiente Diagrama Analítico de Procesos (DAP) para el ensamble de 10 cofres mortuorios (Figura 21).

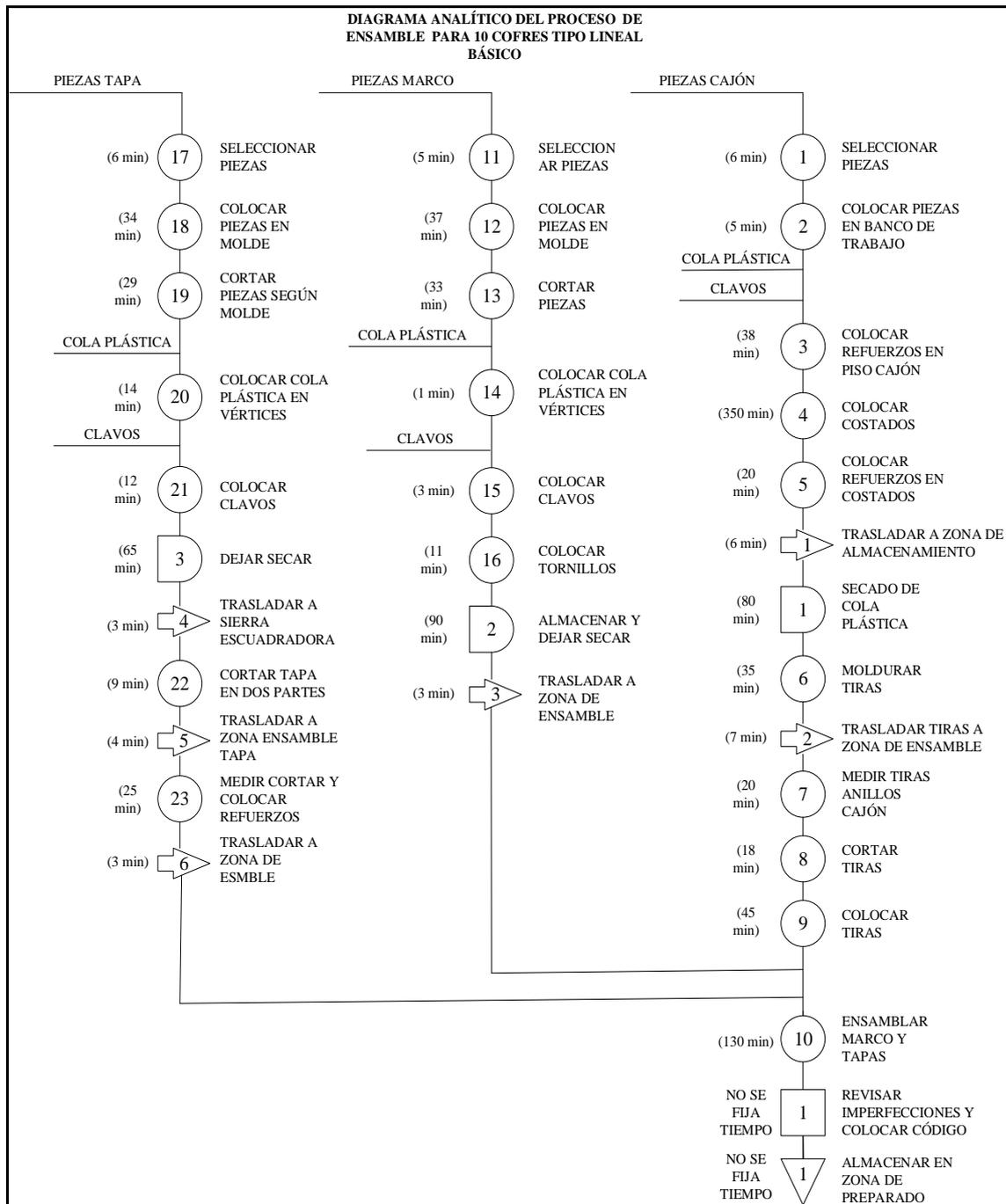


Figura 21: Diagrama analítico del proceso de ensamble cofre

4.4.3. Proceso preparado

Para pintar los cofres, se debe acondicionar óptimas en lo referente a las superficies exteriores. Si una superficie presenta rajaduras, grietas, raspones entre otros, estos son

defectos que desmejoran el acabado final del cofre y por ende la aceptación de los clientes, siendo un proceso de vital importancia.

Las actividades realizadas durante el proceso son las siguientes:

- **Operación 1:** Se selecciona el modelo de cofre según orden de producción.
- **Transporte 1:** Transportar los cofres en las mesas de trabajo.
- **Operación 2:** Hundir los clavos que se colocaron en el proceso de ensamble con el fin de que no se noten en el acabado final.
- **Operación 3:** Los vértices y los filos de los cofres se igualan manualmente con cepillos y formones, además se retiran los residuos de pega para que se adhiera la pintura.
- **Operación 4:** Igualadas las imperfecciones, se prepara la superficie exterior del cofre con lijas, con el fin de que la superficie quede sin residuos de los procesos anteriores.
- **Operación 5:** Los cofres suelen presentar huecos y ranuras, ya sea por las uniones de ensambles o los huecos de los clavos, para tapar estos defectos se usa masilla plástica y una masa compuesta por carbonato de calcio con cola plástica.
- **Operación 6:** Una vez masillados los defectos se retira el exceso de masilla igualando a la superficie del cofre.
- **Inspección 1:** Hecho esto, se revisan los cofres por si hubiere alguna falla y corregirla.
- **Operación 7:** En el caso de encontrar alguna falla se remasillar dichas imperfecciones.
- **Operación 8:** Se lija el remasillado con una lija de grano más fino, además se pasa por toda la superficie del cofre.
- **Operación 9:** Acabadas las operaciones anteriores se limpian los residuos generados, para esto se usa un soplador de aire comprimido.
- **Inspección 2:** Se revisa nuevamente en busca de imperfecciones y se repara en caso encontrarse alguna.
- **Transporte 2:** Acabadas las actividades de preparado se trasladan los cofres a la zona de pintura para aplicar sellador.

Tabla 6: Cursograma analítico del proceso de preparado

CURSOGRAMA ANALÍTICO - PLANTA LAS MADERAS								
Fecha realización: 14/07/14		Ficha #: 3						
Diagrama #: 1	Página 1 de 1	RESUMEN						
Proceso: Preparado cofre		ACTIVIDAD	Actual:		Propuesto:		Diferencia	
			Cant. (u)	Tiempo (min)	Cant. (u)	Tiempo (min)	Cant. (u)	Tiempo (min)
Actividad: Preparado		Operación	9	502				
		Transporte	2	10				
Tipo de Diagrama:	Material (X)	Espera	0	0				
	Operario ()	Inspección	2	27				
Método:	Actual (X)	Almacenamiento	0	0				
	Propuesto ()	Distancia Total (m)	11					
Área/sección: Preparado		Tiempo Total (min)	539		Actividades para la elaboración de 6 cofres mortuorios.			
Elaborado por: Guevara F.								

DESCRIPCIÓN ACTIVIDADES	OP.	TRP.	CTRL.	ESP.	ALM.	O y C	Tiempo (min)	DISTANCIA (m)	OBSERVACIONES
	○	⇒	□	▷	▽	◻			
Seleccionar modelo cofre	x						2		
Colocar cofres en mesas de trabajo		x					5	3	
Undir clavos	x						35		Manualmente con punta de acero y martillo
Igualar vértices y retirar residuos de pega	x						65		Con formón
Lijar para igualar imperfecciones	x						184		Con lija #80
Masillar huecos y ranuras	x						73		Con masilla Plástica y carbonato de calcio
Lijar masilla	x						45		Con lija #80
Inspeccionar imperfecciones			x				12		
Remasillar	x						57		
Lijar remasillado	x						35		Con lija # 220
Limpiar polvo	x						6		Con soplador
Inspeccionar imperfecciones			x				15		
Trasladar a zona de almacenamiento para aplicación de sellador		x					5	8	



Figura 22: Proceso preparado

El diagrama analítico del proceso de preparado para 6 cofres, es el siguiente:

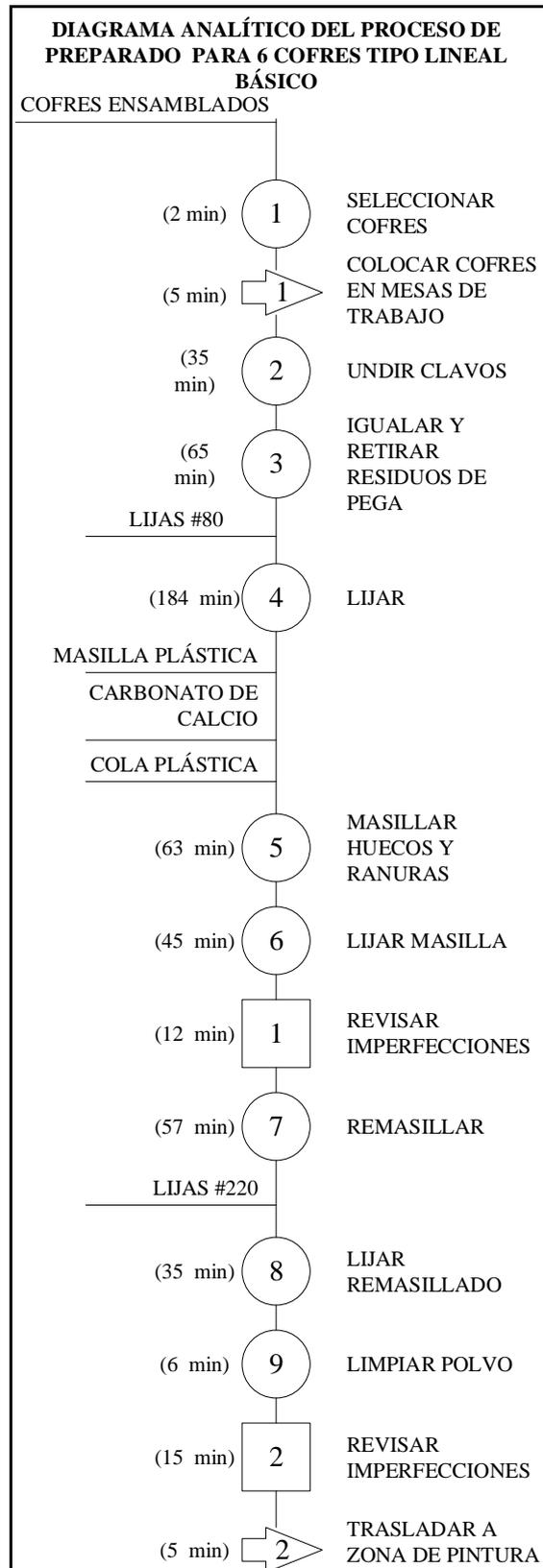


Figura 23: Diagrama analítico del proceso de preparado

4.4.4. Proceso pintado

El proceso de pintado se basa en aplicar pintura, que es un fluido que se aplica sobre una superficie de los cofres en capas delgadas. Cuando se seca, la pintura se convierte en una película sólida que recubre dicha superficie.

Existen diversos tipos de pinturas, estas han sido tipificadas por los componentes utilizados para su fabricación teniendo: esmaltes, barnices, entonadores, selladores y lacas. Las pinturas están compuestas por materiales como disolventes, pigmentos, aglutinantes y plastificantes.

Para el proceso de pintura se tienen las siguientes actividades:

- **Operación 1:** Una vez preparados los cofres se aplica sellador para tapar los poros e igualar la superficie externa.
- **Transporte 1:** Los cofres que se han aplicado sellador, se los traslada a la zona de lijado.
- **Espera 1:** Con los cofres colocados en un estante se los deja secar por lo menos por 3 horas.
- **Operación 2:** Una vez seco el sellador, se retira el exceso y se iguala la superficie con una lija más fina.
- **Operación 3:** Luego se retira el polvo generado por el proceso de lijado, en este caso se suele retirar con un soplador conectado a las mangueras de aire comprimido.
- **Inspección 1:** Se revisan imperfecciones, en caso de visualizar alguna se corrigen las mismas.
- **Transporte 2:** Con el sellador lijado, se traslada nuevamente a la zona de pintura.
- **Operación 4:** Se aplica un fondo o imprimante con el fin de que las capas de pintura en el acabado se adhiera a la superficie del cofre, además el imprimante sirve para que la pintura se vea uniforme e intensa sobre la madera. Se aplica varias capas de este producto para que el resultado final sea el más uniforme.
- **Espera 2:** Los cofres fondeados se colocan en estantes y se los deja secar por 3 horas y media aproximadamente.
- **Transporte 3:** Una vez secos se trasladan nuevamente a la zona de pintura.

- **Operación 5:** El fondo al igual que el sellador se lija con una lija fina para retirar el exceso de material e igualar la superficie del cofre.
- **Operación 6:** Se limpia el polvo generado por el proceso de lijado con el soplador de aire comprimido.
- **Inspección 2:** En este punto es imprescindible que la superficie exterior que se ha tratado no presente imperfecciones, razón por la cual se revisa y en caso de existir algún desperfecto debe ser corregido.
- **Transporte 4:** Los cofres fondeados son trasladados nuevamente a la zona de pintura.
- **Operación 7:** Con los cofres fondeados se realiza un efecto sobre los cofres y accesorios que se denomina madereado, esta técnica consiste en darle una forma de betas de madera sobre la superficie del cofre, se lo hace manualmente.
- **Operación 8:** Si en la operación de madereado hay excesos, se retira estos excesos con una brocha y se limpia el polvo de las superficies.
- **Operación 9:** A los cofres se les coloca los accesorios madereados como son las esquinas, cruces o flores plásticas dependiendo del modelo de cofre.
- **Inspección 3:** Se revisa que no haya imperfecciones y se prosigue con la siguiente actividad, caso contrario se corrigen las imperfecciones.
- **Combinada 1:** Se aplica laca o también se denomina brillante, con esto se tiene el acabado final del cofre. Se suele mezclar a la laca con tintes para obtener una gama de colores, también se tiene otra alternativa que es cubrir las superficies con acabado mate, la diferencia radica en el brillo, con un acabado mate no se tiene brillo o reflejo de luz como es el caso de la laca. En los dos casos mientras se coloca la pintura se tiene especial cuidado durante la aplicación.
- **Transporte 5:** Una vez aplicada la laca o a su vez el mate a la superficie del cofre, se traslada a la zona de secado.
- **Espera 3:** En el caso de la laca se debe dejar secar por aproximadamente 12 horas para poder manipular los cofres, mientras que con un acabado mate el tiempo de espera es menor.
- **Combinada 2:** Para colocar los herrajes se inspecciona que el acabado no presente fallas y se colocan dependiendo del modelo a colocar.

- **Transporte 6:** Con los herrajes colocados se traslada los cofres a otro taller para ser finalmente tapizados.

Tabla 7: Cursograma analítico proceso de pintado

CURSOGRAMA ANALÍTICO - PLANTA LAS MADERAS								
Fecha realización: 14/07/14		Ficha #: 4						
Diagrama #: 1	Página 1 de 1	RESUMEN						
Proceso: Pintado cofre		ACTIVIDAD	Actual:		Propuesto:		Diferencia	
			Cant. (u)	Tiempo (min)	Cant. (u)	Tiempo (min)	Cant. (u)	Tiempo (min)
Actividad: Pintura y lijado cofre		Operación	9	590				
		Transporte	6	36				
Tipo de Diagrama:	Material (X)	Espera	3	811				
	Operario ()	Inspección	3	12				
Método:	Actual (X)	Combinada	2	281				
	Propuesto ()	Distancia Total (m)	1637					
Área/sección: Pintura y lijado		Tiempo Total (min)	1827		Actividades para la elaboración de 6 cofres mortuorios.			
Elaborado por: Guevara F.								

DESCRIPCIÓN ACTIVIDADES	OP.	TRP.	CTRL.	ESP.	ALM.	O y C	Tiempo (min)	DISTANCIA (m)	OBSERVACIONES
	○	⇒	□	∩	▽	□			
Aplicar sellador	x						99		Soplete sellador
Trasladar cofres con sellador a la zona de lijado		x					2	6	
Espera por secado sellador				x			180		
Lijar sellador	x						188		Con lija # 220
Limpiar polvo	x						6		Con soplador de aire
Inspeccionar imperfecciones				x			3		
Trasladar cofres a zona de pintura		x					2	6	
Aplicación fondo	x						109		Soplete fondo
Espera por secado fondo				x			250		
Trasladar cofres con fondo a la zona de lijado		x					2	6	
Lijar fondo	x						118		Con lija # 220
Limpiar polvo	x						2		Con soplador de aire
Inspeccionar imperfecciones				x			2		
Trasladar cofres a zona de pintura		x					2	6	
Maderear cofre y accesorios	x						52		
Limpiar polvo y exeso de madereado	x						3		
Colocar esquinas y cruces	x						8		Con martillo neumático
Inspeccionar imperfecciones				x			2		
Aplicación brillante						x	135		Soplete brillante
Trasladar cofres a zona de secado		x					1	13	
Espera por secado brillante				x			490		
Colocar herrajes						x	146		
Trasladar cofres a zona de tapizado		x					25	1600	Los cofres se trasladan a otra planta en camión

Con esto el diagrama analítico de procesos se puede observar en la Figura 24.

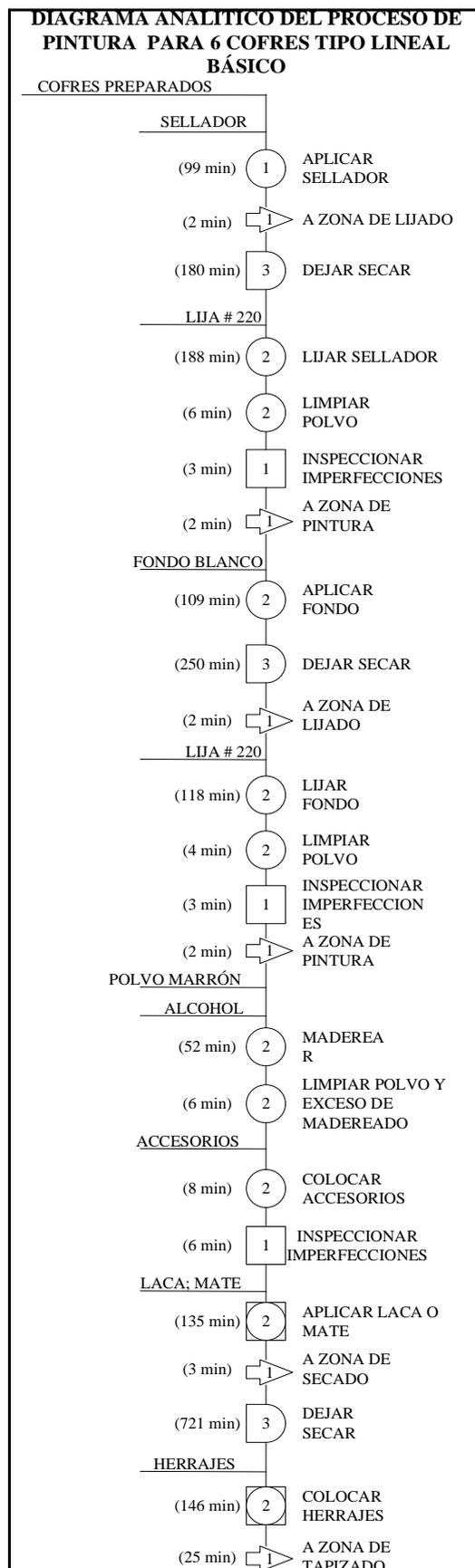


Figura 24: Diagrama analítico del proceso de pintura

4.4.5. Proceso tapizado

El recubrimiento interno del cofre con tela, se realiza fuera de la planta Las Maderas en otro taller. La actividad de tapizado es la etapa final dentro del proceso de fabricación del cofre. Los tapizados de los cofres tienen un diseño diferente para cada modelo de cofre. Las actividades que se realizan para el tapizado son las siguientes:

- **Operación 1:** Los cofres pintados se colocan en el área de almacenamiento.
- **Operación 2:** Los marcos y las tapas son desarmados para tapizarlos por separado.
- **Operación 3:** La cortes de tela según el modelo de cofre se colocan con cemento de contacto y grapas en los cajones.
- **Operación 4:** De igual manera se coloca la tela en los marcos y tapas.
- **Operación 5:** En las aberturas de las tapas se colocan vidrios con formas que dependen del modelo de cofre.
- **Combinada 1:** Se arman los marcos y tapas con el cajón inspeccionando que no queden hilos sueltos u otro desperfecto.
- **Operación 6:** Para la distribución de los cofres a los clientes se colocan etiquetas con el nombre del modelo de cofre.
- **Combinada 2:** Colocadas las etiquetas, los cofres son embalados con plástico stretch para evitar que los cofres sufran rayaduras.
- **Transporte 1:** Se mueven los cofres hasta la bodega.
- **Almacenamiento:** Por último los cofres son almacenados hasta ser entregados a los clientes.



Figura 25: Transporte de cofres a ser tapizados



Figura 26: Proceso de tapizado

Los cofres que son transportados son tapizados con telas de dos tipos principales, en dependencia del modelo de cofre y del nivel de detalle.

Tabla 8: Cursograma analítico proceso tapizado

CURSOGRAMA ANALÍTICO - PLANTA LAS MADERAS									
Fecha realización: 14/07/14			Ficha #: 5						
Diagrama #: 1		Página 1 de 1		RESUMEN					
Proceso: Tapizado cofre		ACTIVIDAD		Actual:		Propuesto:		Diferencia	
				Cant. (u)	Tiempo (min)	Cant. (u)	Tiempo (min)	Cant. (u)	Tiempo (min)
Actividad: Colocación herrajes		Operación		6	166				
		Transporte		1	3				
Tipo de Diagrama:		Material (X)	Combinada	2	32				
		Operario ()	Inspección	0	0				
Método:		Actual (X)	Almacenamiento	1	0				
		Propuesto ()	Distancia Total (m)	8					
Área/sección: Tapizado		Tiempo Total (min)		205		Actividades para la elaboración de 6 cofres mortuorios.			
Elaborado por: Guevara F.									
DESCRIPCIÓN ACTIVIDADES	OP.	TRP.	CTRL.	ESP.	ALM.	O y C	Tiempo (min)	DISTANCIA (m)	OBSERVACIONES
	○	⇒	□	D	▽	□			
Colocar cofres en mesas de trabajo	x						3		
Desarmar marcos y tapas del cajón	x						12		
Colocar tela en cajón	x						94		
Colocar tela en marco y tapa	x						43		
Colocar vidrio	x						9		
Armar marcos y tapas con cajón						x	14		
Colocar etiquetas	x						5		
Embalcar cofres con plástico						x	18		
Trasladar a bodega		x					3	8	
Almacenar como productos en stock					x		4		

El diagrama analítico del proceso de tapizado se aprecia en la Figura 27.

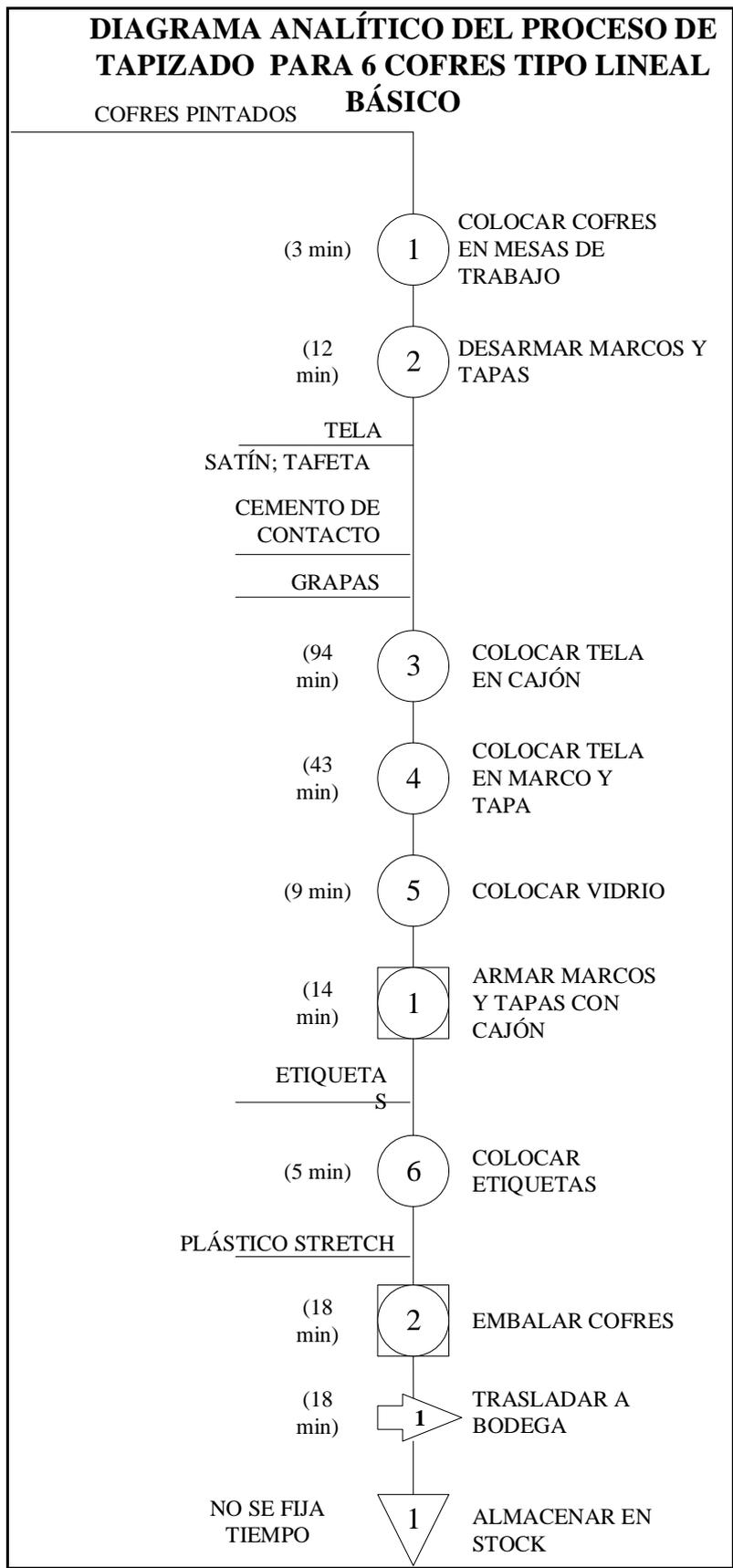


Figura 27: Diagrama analítico del proceso de tapizado

Después del análisis realizado del proceso de producción dentro de la planta, se determina la cantidad de productos que se elaboran con relación a un tiempo determinado o estándar, esta relación se conoce como capacidad de producción en cada área:

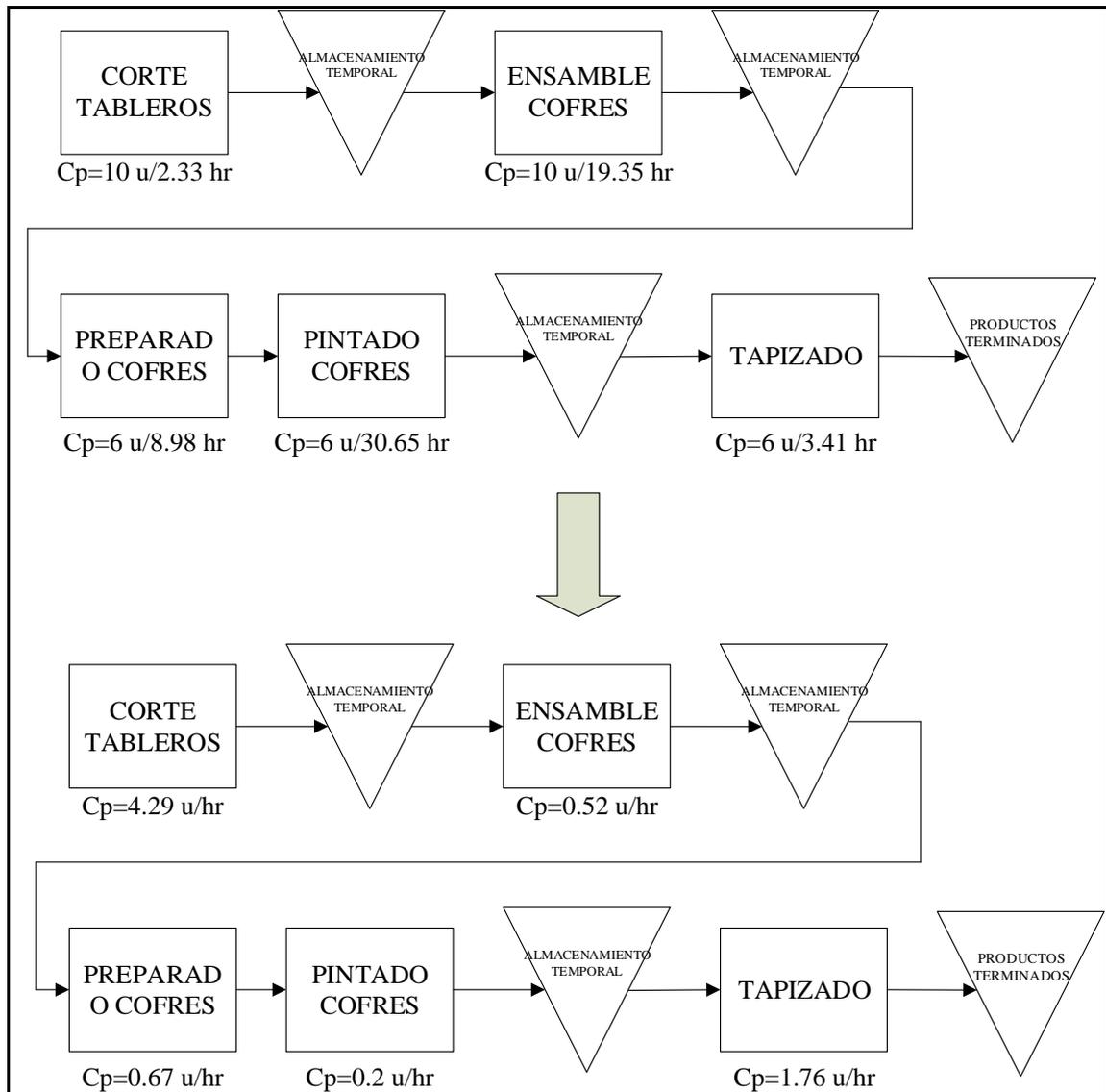


Figura 28: Capacidad de producción por cada proceso

4.5. Distribución de planta

La fábrica a aumentado su demanda, razón por la cual se contrató más personal, además de construir una instalación más grande para poder realizar sus procesos productivos, pero sin un correcto análisis técnico en lo referente a la distribución de planta.



Figura 29: Planta Las Maderas año 2013

En un principio se puede decir que sus procesos con referencia a la ubicación de la maquinaria y áreas de trabajo iban de la mano, pero se llegó a un punto en el que su producción no era eficiente con respecto al tamaño físico de la fábrica, en gran medida por el desorden y el desaprovechamiento del espacio dentro de la planta construida, teniendo una distribución según el Anexo 4.

El área total de planta es de 408m² de los cuales 144m² se ocupan solo para las operaciones de pintura, como se puede apreciar en la figura del Anexo 4, se está destinando el 35% del total del espacio físico solo para esta actividad.

Es así que ante esta necesidad se desarrolló una redistribución como se ve en el Anexo 5, en las áreas de corte, ensamble, preparado y lijado con el fin de mejorar la productividad interna, pero aún no se han realizado cambios en la zona de pintura.

La modificación de la distribución de las instalaciones que la fábrica ha venido utilizando en sus primeros años ha tenido mejoras tras su implantación en el año 2013 hasta la actualidad, sobre todo en la reducción de: tiempos muertos, distancias de recorrido y actividades innecesarias.

Según el anexo 6, se han establecido áreas de trabajo según las actividades que se realizan, además se ha reubicado la maquinaria para agilizar el proceso de producción rodeando al banco de trabajo principal Figura 30.



Figura 30: Planta Las Maderas año 2014

El análisis ha llegado a la zona de pintura, por esta razón el presente proyecto se ha enfocado en mejorar la situación actual mediante el diseño y la implementación de una cabina de pintura conjuntamente con una cámara de secado en el espacio actual.

4.6. Área de pintura

La Figura 24 muestra el espacio utilizado por los cofres y accesorios dentro de la zona de pintura, por lo general al pintar los cofres se trabaja sobre un área de 24m^2 , en comparación con los 144m^2 del total de esta zona con una utilización apenas del 16%.

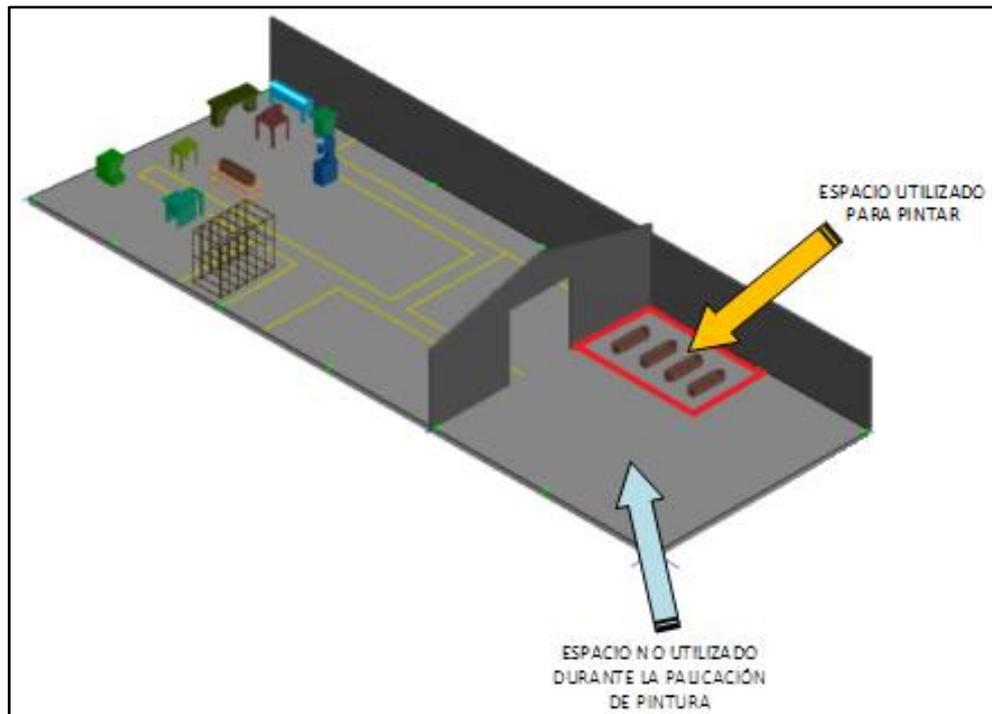


Figura 31: Espacio utilizado para el proceso de pintado

Para aplicar la pintura se utilizan sopletes que trabajan con aire comprimido, cuya función es que la pintura salga pulverizada y se distribuya en capas delgadas de pintura sobre la superficie del cofre. Pero existe un inconveniente al pulverizar las pinturas, pues las partículas se mantienen en el ambiente de todo el galpón donde se aplica la pintura, lo cual impide que se realicen otras tareas desaprovechando el espacio existente.



Figura 32: Zona de pintura - planta Las Maderas

Las partículas en suspensión o también llamadas *overspray* caen sobre todas las superficies aledañas a la zona de pintura, llegando incluso donde se secan los cofres pintados desmejorando el acabado del cofre como se puede observar en la Figura 33.



Figura 33: Zona de secado - planta Las Maderas

Los tiempos de secado analizados en el cursograma del proceso de pintura son muy altos, sobre todo porque se deja secar los cofres a temperatura ambiente. Según los proveedores de las pinturas, para acelerar el secado se debe subir la temperatura que rodea la superficie de los cofres de 30 a 50°C y esto se logra con una cámara de secado.

En la Figura 33 se observa que se pintan cofres durante el día, pero se dejan secar toda la noche para poder manipularlos. En la Tabla 9, se determina la cantidad de cofres pintados durante 4 semanas.

Tabla 9: Cofres pintados durante el mes de octubre de 2014

SEMANAS	COLOCADO SELLADOR	COLOCADO FONDO	PINTADO ACABADO
SEMANA 1	35	19	21
SEMANA 2	18	26	28
SEMANA 3	26	13	22
SEMANA 4	26	30	18
TOTAL	105	88	89
PROMEDIO	27	22	23

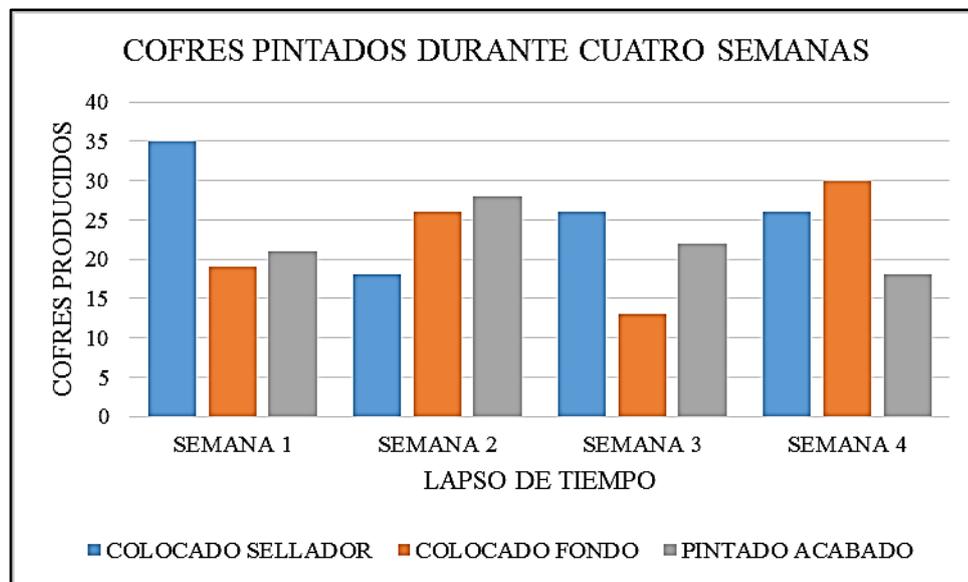


Figura 34: Cofres pintados del 29 de septiembre al 20 de octubre de 2014

Con los datos de la tabla 9 se puede determinar la cantidad de cofres que se pintan en un día dividiendo el promedio de cofres semanales y se sumaran los procesos en los que se aplica sellador, fondo y laca para el acabado para encontrar el promedio que se pinta diariamente.

- Cofres con sellador con un promedio de 27 en una semana de 5 días, por ende en un día se tiene:

$$\text{Aplicados sellador} = \frac{27 \text{ cofres} * 1 \text{ semana}}{\text{semana} * 5 \text{ días}} \quad (2)$$

$$\text{Aplicados sellador} = 5.4 \frac{\text{cofres}}{\text{día}} \Rightarrow 6 \frac{\text{cofres}}{\text{día}}$$

- Cofres con fondo con un promedio de 22 en una semana de 5 días, por ende en un día se tiene:

$$\text{Aplicados fondo} = \frac{22 \text{ cofres} * 1 \text{ semana}}{\text{semana} * 5 \text{ días}} \quad (1)$$

$$\text{Aplicados fondo} = 4.4 \frac{\text{cofres}}{\text{día}} \Rightarrow 5 \frac{\text{cofres}}{\text{día}}$$

- Cofres acabados con un promedio de 23 en una semana de 5 días, por ende en un día se tiene:

$$\text{Acabados} = \frac{23 \text{ cofres} * 1 \text{ semana}}{\text{semana} * 5 \text{ días}} \quad (2)$$

$$\text{Acabados} = 4.6 \frac{\text{cofres}}{\text{día}} \Rightarrow 5 \frac{\text{cofres}}{\text{día}}$$

Con esto se puede establecer que sumados los tres procesos se pintan la siguiente cantidad de cofres en un día.

$$\text{Total cofres en un día} = \frac{(6+5+5)\text{cofres}}{\text{día}} \quad (3)$$

$$\text{Total cofres en un día} = 15 \frac{\text{cofres}}{\text{día}}$$

Estos valores sirven para determinar el espacio necesario para el diseño de la cabina para la aplicación de la pintura, así como para la cámara de secado.

4.7. Parámetros de diseño de la cabina de pintura y de la cámara de secado

Para la construcción de la cabina de pintura se toman diferentes parámetros de diseño. En este caso analiza el proceso de producción con el fin de establecer el tamaño de las cámaras de pintura y secado así como la disposición de los ductos para la renovación del aire dentro de la cabina. Como se mencionó antes se trabaja dentro de un área de 144m², pero solo se utiliza 24m² de la misma, teniendo una utilización apenas del 16% del espacio actual (Figura 35). En un futuro se ha analizado tapizar los cofres en esta misma zona.

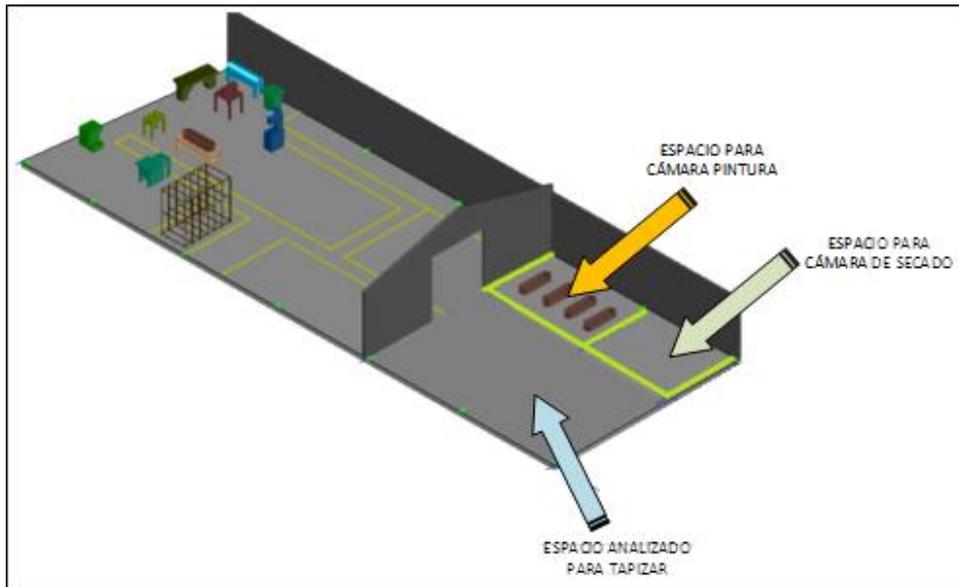


Figura 35: Áreas destinadas para la cabina de pintura y el cuarto de secado.

Según los datos obtenidos e inspecciones se ha establecido que se pintan cuatro cofres a la vez entre dos pintores, en gran parte por las características de la pintura no se pueden procesar más cofres a la vez.

Se pensó construir solo la cámara de aplicación de pintura y secar los cofres en la misma instalación, pero se analizó que se perdería tiempo al esperar que se sequen las capas de pintura, razón por la cual se determinó necesario tener una cámara de secado acoplada a la cabina de pintura (Figura 36). Con esto el flujo de los cofres es de acuerdo a las indicadas por las flechas de color amarillo.

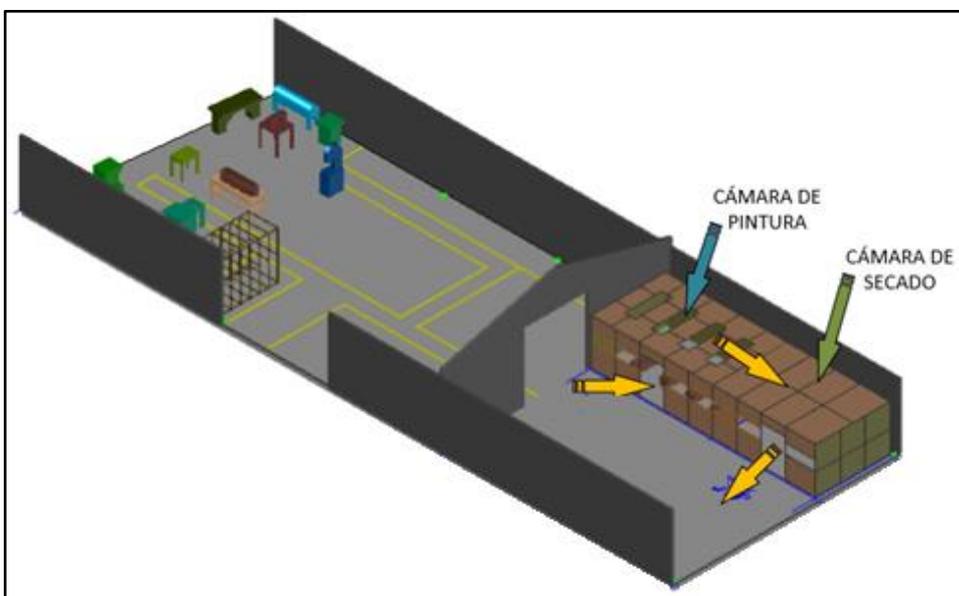


Figura 36: Ubicación física designada para la cámara de pintura y secado – planta Las Maderas

Cuando se acabe de aplicar la pintura en los cofres, estos se secan en otra área para poder seguir pintando cofres en la cabina, logrando así, tener un flujo continuo de productos procesados sin perder tiempo debido a esperas por secado.

El diseño se ha pensado ante todo con la finalidad de aprovechar el espacio que no se utiliza mientras se aplica la pintura, dicho espacio puede ser usado para el tapizado de los cofres que actualmente se realiza en otro taller obteniendo un beneficio extra, mejorando el proceso en este punto.

4.7.1. Dimensiones del cuarto de pintado y de la cámara de secado

Se estableció que para la cabina de pintura se utilizará un área de $(6.5*4) m^2$ y para la zona de secado $(5.5*4) m^2$, utilizando $48m^2$ de $144m^2$ del área actual. Para la altura de las dos cámaras se tomó en cuenta la altura de los estantes que existen para colocar los cofres durante el secado. La configuración utilizada para la cabina de pintura se determina en la Figura 37.

La pintura de los cofres generalmente se realiza en lotes de 4 por vez, para esto se determina el espacio suficiente, así como la ergonomía del operario para poder desplazarse y aplicar la pintura teniendo lo siguiente:

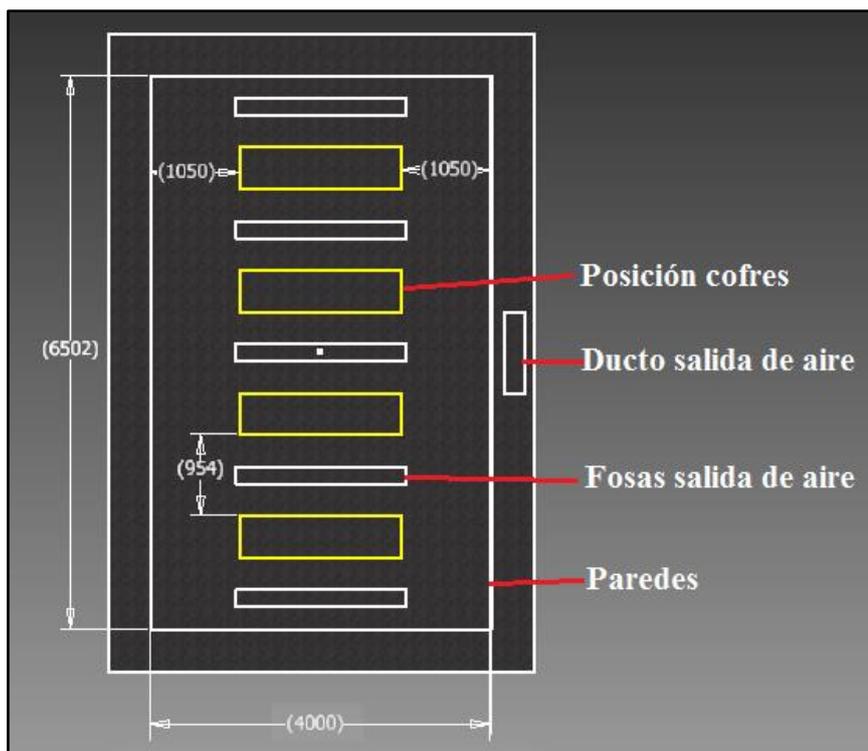


Figura 37: Análisis geométrico para la cabina de pintura (medidas en milímetros)

En la Figura 37, las áreas en amarillo son los espacios que ocupan los cofres, dando lugar al operario para circular alrededor y aplicar la pintura ergonómicamente y sin complicaciones. La cámara de pintura utiliza mesas de trabajo sobre las que se colocan los cofres (Figura 38).

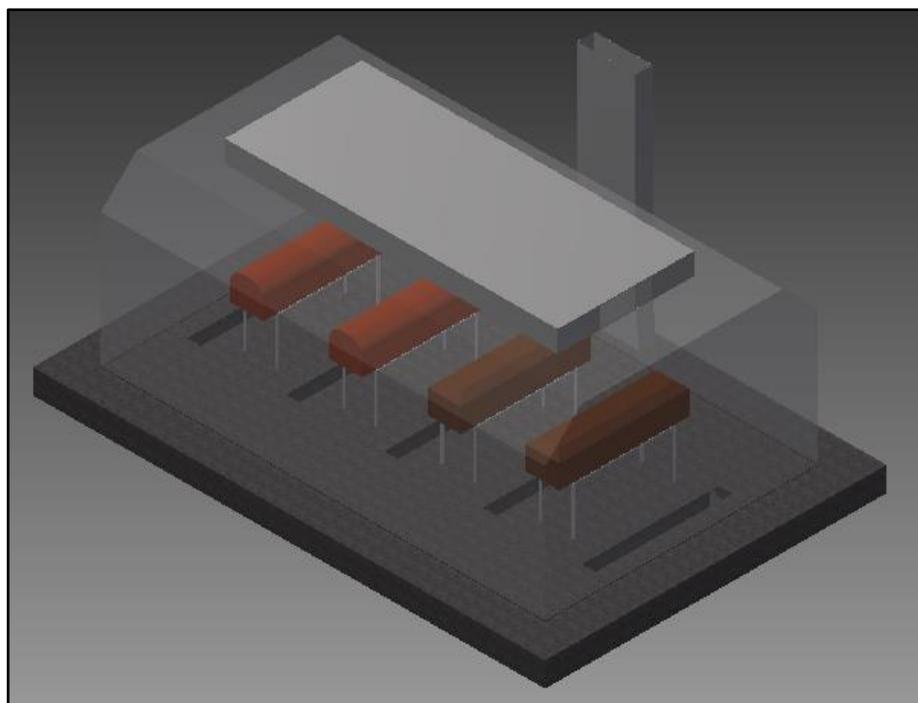


Figura 38: Disposición de los cofres dentro de la cabina de pintura

La Figura 39, muestra como queda la zona de trabajo entre el operario con relación del espacio y los cofres dentro de la zona de pintura.



Figura 39: Referencia entre operario y zona de trabajo.

El espacio promedio del área utilizada con una altura de 2.5m de altura para el diseño del cuarto de pintura, se ha establecido en base al requerimiento de pintado con un lote de cuatro cofres a la vez y una mesa adicional para la colocación de tapas, marcos, accesorios y movilidad del operario teniendo las medidas siguientes:

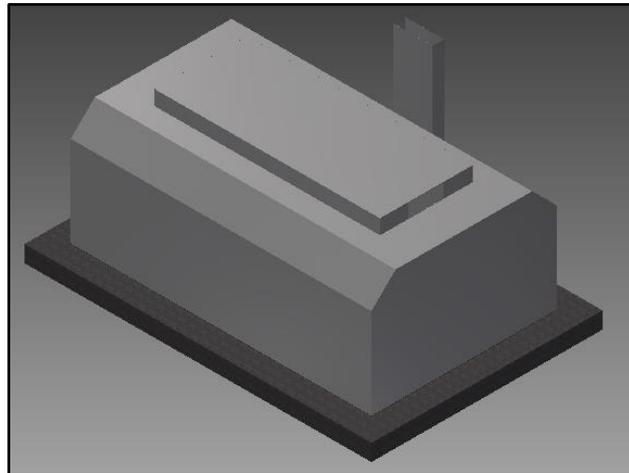


Figura 40: Cámara de pintura.

Los cálculos se realizan en el programa MathCAD Prime, para esto se deben establecer variables para cada caso:

$$\left. \begin{array}{l} Lc := 6.5 \text{ m} \\ Ac := 4 \text{ m} \\ hc := 2.5 \text{ m} \end{array} \right\} \text{ Medidas cuarto de pintura}$$

Mientras que para el cuarto de secado se mantiene la misma altura y el ancho pero cambia la longitud modificando el área de utilización con el fin de aprovechar el espacio actual de las instalaciones, con las siguientes medidas:

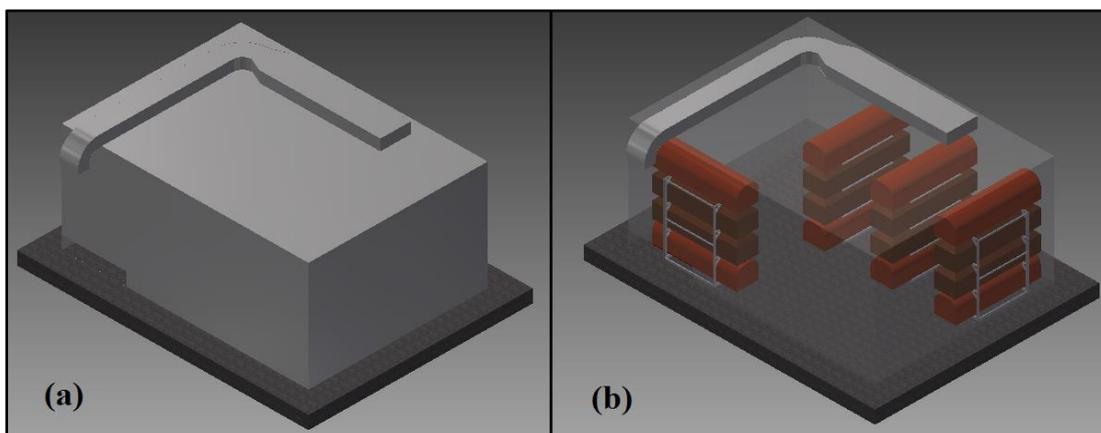


Figura 41: (a) Cámara de secado, (b) Disposición de los cofres dentro de la cámara.

$$\begin{array}{l}
 L_s := 5.5 \text{ m} \\
 A_s := A_c \\
 h_s := h_c
 \end{array}
 \left. \vphantom{\begin{array}{l} L_s \\ A_s \\ h_s \end{array}} \right\} \text{Medidas cámara de secado}$$

En base a estos valores se procede a calcular el volumen de los dos espacios utilizados para el proceso de pintura y secado que nos servirá más adelante para el cálculo del caudal necesario de aire.

$$V_c := L_c \cdot A_c \cdot h_c = 65 \text{ m}^3 \quad \text{Volumen cámara pintura} \quad (4)$$

$$V_s := L_s \cdot A_s \cdot h_s = 55 \text{ m}^3 \quad \text{Volumen cámara secado} \quad (5)$$

4.7.2. Diseño de la estructura de las cámaras de pintura y secado mediante Autodesk Inventor.

Para la construcción de la estructura de las dos cámaras, se ha tomado en cuenta las cargas que actúan sobre la misma. Tras establecer los requerimientos de espacio se ha establecido la configuración de la estructura.

En el software de Autodesk inventor se diseñan las estructuras primeramente con un boceto en tres dimensiones (Figura 42).

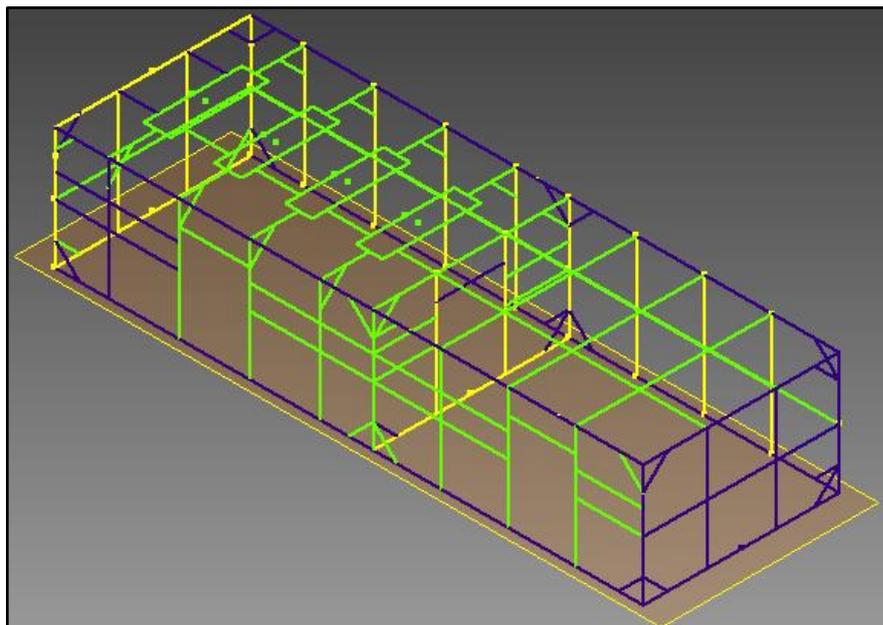


Figura 42: Boceto estructural de las cámaras de pintura y secado

Con el boceto realizado se colocan los componentes mediante la herramienta de diseño Insertar Estructura del programa.

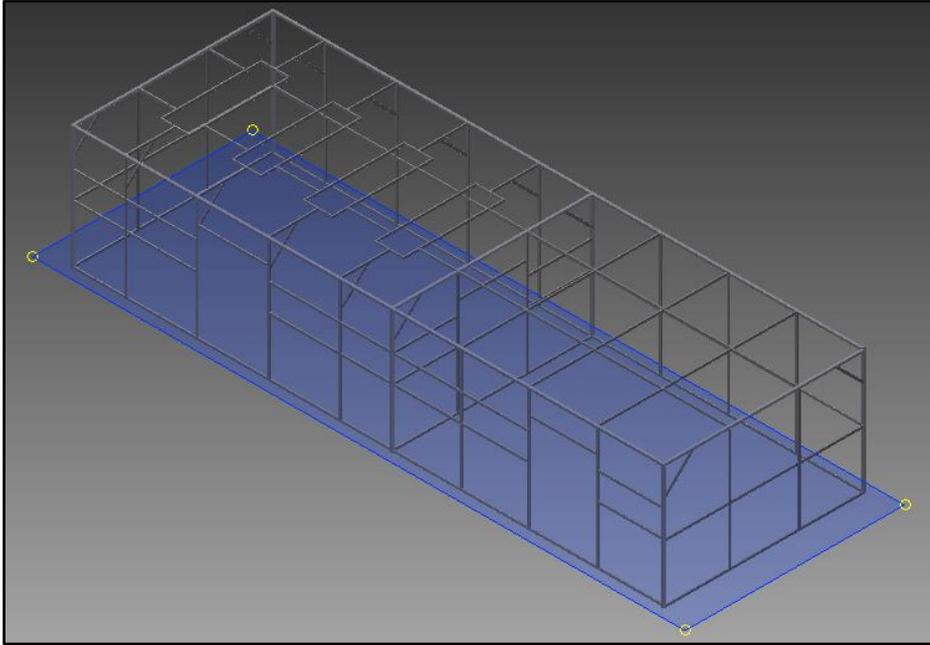


Figura 43: Estructura elementos ensamblados según boceto.

Las dos cámaras estarán formadas por la estructura recubierta por láminas de tol galvanizado interior y exteriormente con el fin de contener en su interior lana de vidrio como aislante térmico.

Los materiales utilizados para el ensamble estructural son tubos DIN 50x25x2 y DIN 50x50x2.5. Las propiedades de los tubos que componen la estructura están establecidas dentro del programa permitiéndonos analizar las cargas ocasionadas por el peso de las láminas de tol galvanizado con las siguientes propiedades:

- Láminas de tol galvanizado: (240 cm x 120 cm x 0.7 mm de 5.0 kg / m²)

En este caso las cargas ocasionadas por las láminas de tol galvanizado se colocaran solo en el techo de cada cámara, las láminas colocadas en las paredes se consideran parte de la estructura pero como soporte y no como una carga.

Las áreas de los techos de cada cámara son los siguientes:

$$A_{tc} := (6.5 * 4)m^2 = 26m^2 \quad \text{Cámara pintura} \quad (6)$$

$$A_{ts} := (6.5 * 4)m^2 = 22m^2 \quad \text{Cámara secado} \quad (7)$$

Según esto podemos encontrar la masa de las láminas de tol utilizadas en cada cámara con el fin de determinar el peso total. En los dos casos se ha recubierto interior y exteriormente, así que los valores se multiplicaran por dos.

Para la cámara de pintura se tiene:

$$A_{tc} := 26m^2$$

$$m_{tc} := A_c * 5 \frac{kg}{m^2} = 130 kg \quad (8)$$

$$W_c := 2 \left(m_{tc} * 9.8 \frac{m}{s^2} \right) = (2.548 * 10^3)N \quad (9)$$

Para la cámara de secado se tiene:

$$A_{ts} := 22m^2$$

$$m_{ts} := A_{ts} * 5 \frac{kg}{m^2} = 110 kg \quad (10)$$

$$W_s := 2 \left(m_{ts} * 9.8 \frac{m}{s^2} \right) = (2.156 * 10^3)N \quad (11)$$

Las cargas establecidas, se colocan en la estructura pero antes se debe analizar en donde colocarlas. Para esto se divide la carga total en los pórticos contenidos en la estructura según el número de los mismos. Las cargas se distribuyen en los puntos medios donde se tienen los centros de gravedad, teniendo lo siguiente para cada caso.

Para la cámara de pintura se tiene:

$$N_{pc} := 10$$

$$W_{pc} := \frac{W_c}{N_{pc}} = 254.8 N \quad (12)$$

Para la cámara de secado se tiene:

$$N_{ps} := 9$$

$$W_{ps} := \frac{W_s}{N_{ps}} = 239.556 N \quad (13)$$

Las fuerzas originadas por el peso de la lana de vidrio son despreciables, mientras que las cargas de las láminas de tol se simulan en el Programa de diseño estructural de Autodesk Inventor. Con esto se puede determinar el comportamiento de la estructura al soportar las cargas a las que está siendo sometida. La Figura 44 muestra la acción de las fuerzas ocasionadas por el peso de las láminas de tol, repartidas uniformemente en los centros de gravedad de los componentes estructurales del techo y los elementos que conforman los pórticos de la estructura.

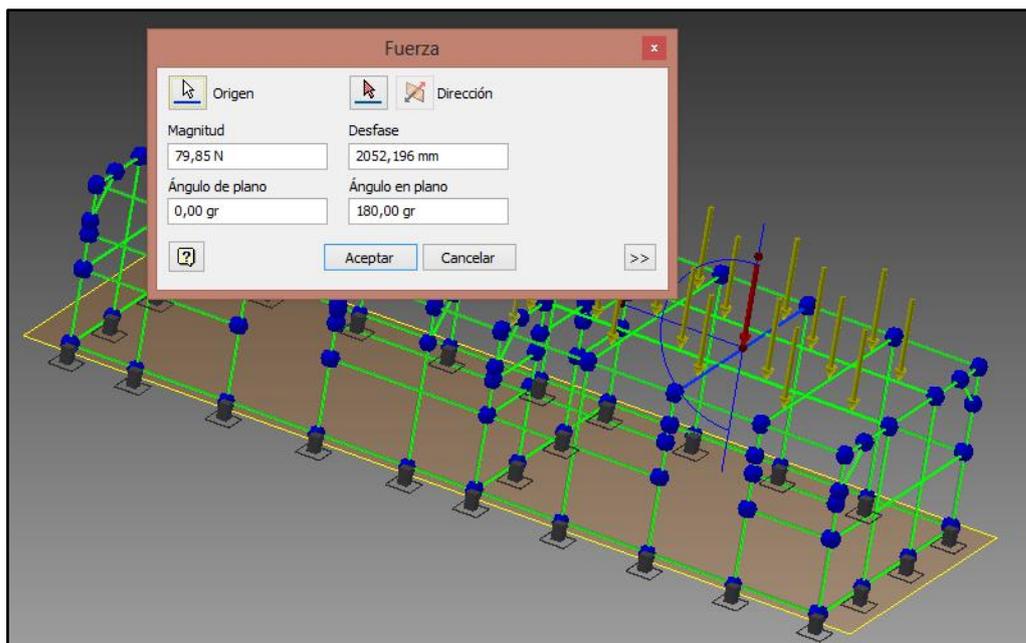


Figura 44: Distribución de las cargas ocasionadas por el peso de las láminas de tol

Con las cargas establecidas se simula y se obtienen los datos de los diferentes esfuerzos presentes en la estructura. Este programa permite realizar este análisis a través de nodos, permitiendo observar cómo se deforman los componentes o si existen inconvenientes en el diseño antes de ser construido (Figura 45).

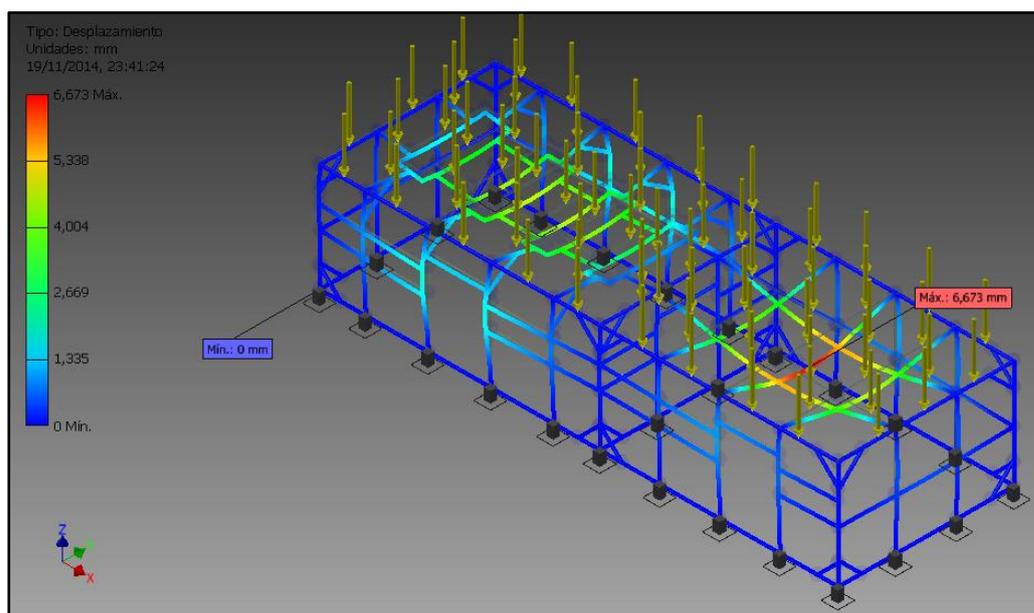


Figura 45: Resultado del análisis estructural con la visualización de las cargas del techo

El software permite visualizar los resultados sin las cargas desactivando las mismas en el resultado obtenido (Figura 46). Los resultados muestran la deformación que puede sufrir

la estructura. Según se observa se tendrá una mayor deformación en el pórtico central de la cámara de secado.

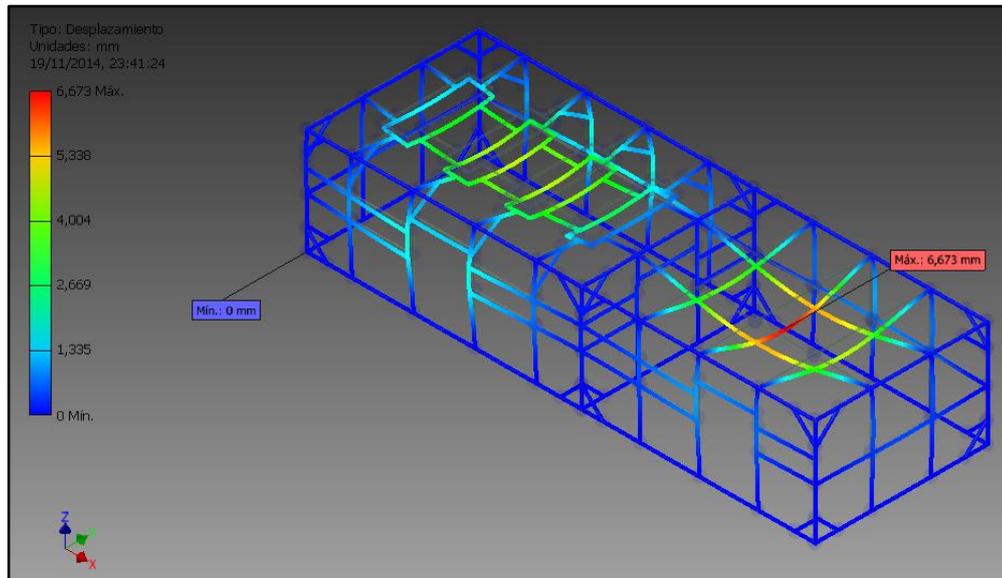


Figura 46: Resultado del análisis estructural sin la visualización de las cargas aplicadas

Para corregir estos inconvenientes, a la estructura se coloca unos refuerzos en dos de los pórticos transversales solucionando este problema detectado (ver Anexo 7).

Tabla 10: Resumen análisis estructural

Cámara	Dimensiones (m)	Volumen (m ³)	Área techo (m ²)	Masa tol (kg)	Numero Pórticos	Cargas presentes en los techos de la estructura (N)
Pintura	6.5x4x2.5	65	26	130	10	254.8
Secado	5.5x4x2.5	55	22	110	9	239.55

4.8. Renovación de aire en el interior del cuarto de pintado y del horno de secado

Para definir el número de renovaciones de aire se ha establecido en base a las normas recomendadas para cabinas de pintura, como: la National Fire Protection Association (NFPA-33), Occupational Safety and Health Administration (OSHA-1910.94, Administración para la Salud y Seguridad Ocupacional), Norma Española (UNE-EN 13355) y la American Society of Heating and Refrigerating and Air Conditioning Engineers (ASHRAE), en donde se establece que se debe realizar por lo menos una renovación de aire por minuto para estos equipos.

El número de renovaciones por hora de la cabina de pintura para el presente diseño será de 2 renovaciones por minuto o 120 renovaciones por hora con el fin de compensar las

pérdidas en ductos y en filtros de aire en el cuarto de pintado y de 1 renovación por minuto o 60 renovaciones por hora en el horno de secado.

$$N_c := \frac{120}{hr} \quad \text{Cámara de pintura}$$

$$N_s := \frac{60}{hr} \quad \text{Cámara de secado}$$

4.8.1. Velocidad de flujo del aire en ductos

La velocidad recomendada de flujo de aire según las normas antes mencionadas es de 8 a 12 m/s con el fin de evitar niveles altos de ruido.

Para el presente diseño se ha establecido trabajar con 8m/s con el objeto de que los ventiladores entreguen el caudal de aire necesario sin mayor esfuerzo, en base a la tabla del Anexo 8, en la que se muestra las velocidades recomendadas para diversos sistemas de ventilación.

Para lugares cerrados se utiliza una velocidad recomendada de 8m/s.

$$v_1 := 1500 \text{ ft/min} = 7.62 \text{ m/s} \quad \Rightarrow \quad v_1 := v \cdot 8 \text{ m/s}$$

4.8.2. Cálculo de caudales

Con los valores obtenidos de velocidad y volúmenes se calcula el caudal de inyección Q_i que debe tener relación con los espacios de las cámaras o cuartos separados. Los valores de caudal se obtienen al multiplicar los volúmenes por las renovaciones por hora, según la siguiente expresión:

$$Q_i = V_i \cdot N \quad (14)$$

$$Q_c := V_c \cdot N_c = (7.8 \cdot 10^3) \frac{m^3}{hr} \Rightarrow Q_c = \frac{2.167m^3}{s} \quad \text{Caudal cuarto de pintura}$$

$$Q_s := V_s \cdot N_s = (3.3 \cdot 10^3) \frac{m^3}{hr} \Rightarrow Q_s = \frac{0.917m^3}{s} \quad \text{Caudal horno de secado}$$

Estos son los caudales necesarios de inyección de aire en los ductos de entrada provenientes del ventilador, mientras que la cantidad de aire de descarga necesario es 10% menos que del caudal de aire de inyección, es decir:

$$Q_j = 0.9 \cdot Q_i \quad (15)$$

Donde:

Q_j : Caudal aire de descarga

Q_i : Caudal aire de inyección

Según esto se tiene:

$$Q_{cj} := 0.9 Q_c = \frac{(7.02 \cdot 10^3) m^3}{hr} \quad \text{Cámara pintura}$$

$$Q_{sj} := 0.9 Q_s = \frac{(2.97 \cdot 10^3) m^3}{hr} \quad \text{Cámara secado}$$

Con estos valores de caudales con un 10% menos, lo que se espera es que dentro de los compartimientos se genere una ligera sobre presión interna y se utiliza en el dimensionamiento para los ductos de salida.

4.8.3. Ductos

Los ductos son una parte esencial dentro del diseño concerniente al flujo de aire, ya que por medio de estos se suministra y retorna o expulsa el aire interno o contenido en los habitáculos de la cabina y del horno, estos están en dependencia del caudal que se va a manejar y las pérdidas de fricción que se genera por el flujo del aire además de los accesorios utilizados.

4.8.4. Dimensionamiento de ductos.

Para el dimensionamiento de los ductos de entrada y salida se debe realizar los siguientes pasos: con la cantidad de suministro de aire de $2.167 m^3/s$ para el cuarto de pintado, $0.917 m^3/s$ para el horno y la velocidad escogida de $8 m/s$ para las dos estaciones, se ubican estos valores en el Anexo 9, con el fin de obtener el diámetro equivalente y la pérdida de presión para cada caso.

Con esto se ha podido determinar el diámetro equivalente (Dec) de $550mm$ con una pérdida por fricción (h_{fc}) de $0.12 mmcda/m$ (milímetro de columna de agua por metro de longitud del ducto) para el cuarto de pintado y un diámetro equivalente (Des) de $375mm$ con una pérdida por fricción (h_{fs}) de $0.2mmcda/m$ para el horno.

$$Dec := 550mm \quad h_{fc} := 0.12 \frac{mmcda}{m}$$

$$Des := 375mm$$

$$h_{fs} := 0.2 \frac{mmcda}{m}$$

Con los diámetros equivalentes se calcula el área circular, para posteriormente encontrar una sección rectangular, obteniendo los siguientes valores:

$$A = \pi * \left(\frac{D}{2}\right)^2 \quad (16)$$

$$Ac := \pi * \left(\frac{Dec}{2}\right)^2 = 0.238m^2 \quad \text{Cámara Pintura}$$

$$As := \pi * \left(\frac{Des}{2}\right)^2 = 0.11m^2 \quad \text{Cámara Secado}$$

Con esta superficie se puede determinar los requerimientos de ductos de transporte y salida de aire para el modelo desarrollado.

4.8.5. Ductos de transporte

Las medidas de los ductos de entrada y salida de aire pueden ser encontrados sacando la raíz de la superficie circular calculada, obteniendo así la medida de sus lados para una forma cuadrada.

$$L = \sqrt{A} \quad (17)$$

$$Lc := \sqrt{Ac} = 0.487m \quad \text{Cámara Pintura}$$

$$Ls := \sqrt{As} = 0.332m \quad \text{Cámara Secado}$$

4.8.6. Corrección del diámetro en los ductos

Como se realizó el análisis para encontrar la sección de los ductos según la tabla que nos da el diámetro circular, para luego ser determinada una sección cuadrada o rectangular según sea el caso, determinando además las pérdidas por presión existente en mmcda, pero para poder trabajar con los valores de la gráfica se debe aplicar la siguiente expresión:

$$De = \frac{1.3(L1*L2)^{0.625}}{(L1+L2)^{0.25}} \quad (18)$$

$$Decc := \frac{1.3(Lc*Lc)^{0.625}}{(Lc+Lc)^{0.25}} = 0.533m \quad \text{Cámara Pintura}$$

$$Desc := \frac{1.3(Ls*Ls)^{0.625}}{(Ls+Ls)^{0.25}} = 0.363m \quad \text{Cámara Secado}$$

Esta modificación se realiza para corregir las pérdidas de la velocidad del aire, debido al cambio que se realiza en el ducto de forma circular a rectangular por motivos de espacio. Con los nuevos valores de los diámetros equivalentes se calcula en base al área circular, para posteriormente encontrar una sección rectangular o cuadrada:

$$Acc := \pi * \left(\frac{Decc}{2}\right)^2 = 0.223m^2 \quad \text{Cámara Pintura}$$

$$Asc := \pi * \left(\frac{Desc}{2}\right)^2 = 0.104m^2 \quad \text{Cámara Secado}$$

Estos valores son netamente para los ductos de transporte, mientras que para un ingreso uniforme del aire, lo que se hace es calcular o diseñar entradas y salidas de aire que contienen filtros para garantizar que no se ingresen partículas que afecten los procesos que se realizan dentro de las áreas de trabajo.

Tabla 11: Resumen ductos.

Cámara	Dimensiones (m)	Volumen (m ³)	Número renovaciones/hora	Velocidad aire (m/s)	Caudal (m ³ /hr)	Áreas ductos (m ²)
Pintura	6.5x4x2.5	65	120	8	7800	0.223
Secado	5.5x4x2.5	55	60		3300	0.104

4.8.7. Entrada de aire por plenum

El ingreso de aire hacia el cuarto de pintura y de secado se hace a través de los denominados plenum, cuya función es distribuir el ingreso de aire de forma uniforme de acuerdo a normas o parámetros establecidos para una determinada tarea o actividad. El flujo de aire para obtener acabados de calidad debe estar entre 0.4 a 1 m/s.

Para determinar la sección de los filtros de entrada de aire, se calcula sobre la base de necesidad de velocidad de 0.5m/s según el presente diseño, establecido de esta forma para estar dentro del valor recomendado, lo cual nos da una sección de paso en el techo de:

$$Se = \frac{Q}{v} \tag{19}$$

$$ve := 0.5 \frac{m}{s} \quad Sec := \frac{Qc}{ve} = 4.333m^2 \quad \text{Cámara Pintura}$$

$$Ses := \frac{Qs}{ve} = 1.833m^2 \quad \text{Cámara Secado}$$

En el cuarto de pintado (Figura 47) se diseñó de forma que se distribuya eficientemente el flujo de aire para las cuatro mesas o estaciones en las que se colocan los cofres u otras piezas a ser pintadas, estableciendo la longitud de ingreso del aire en 2m para poder obtener el valor del otro lado.

$$Lecl := \frac{Sec}{2m} = 2.167m \quad \text{A este valor lo dividimos para cuatro, según el número de mesas de trabajo.} \quad (20)$$

$$Lec := \frac{Lecl}{4m} = 0.542m \quad \text{Entonces la medida de las entradas situadas sobre las mesas de trabajo es de } 0.542m * 2m. \quad (21)$$

Los ingresos de aire a través del techo de la cámara de secado (Figura 47), con esto se logra que el aire salga directamente sobre los cofres mejorando el sistema de ventilación.

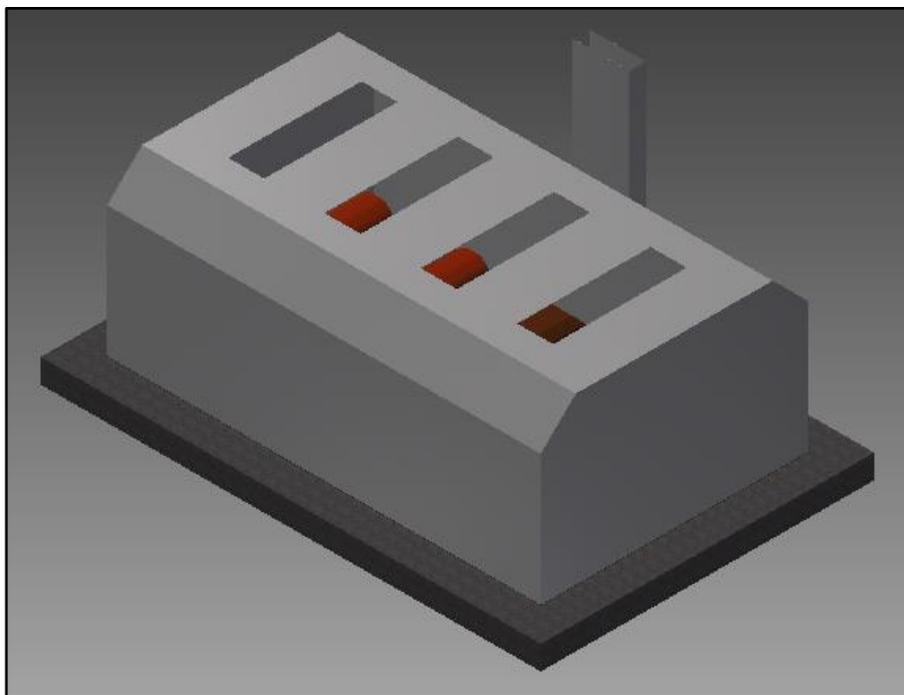


Figura 47: Entradas de aire por plenum – cámara de pintura

La entrada de aire para la cámara de secado se ha diseñado de forma que el aire caliente se distribuya para los cofres que se coloquen dentro de su interior por medio de una entrada de aire a lo largo del techo con una longitud de 2.7m.

$$Lesl := \frac{Ses}{2.7m} = 0.679m \quad (22)$$

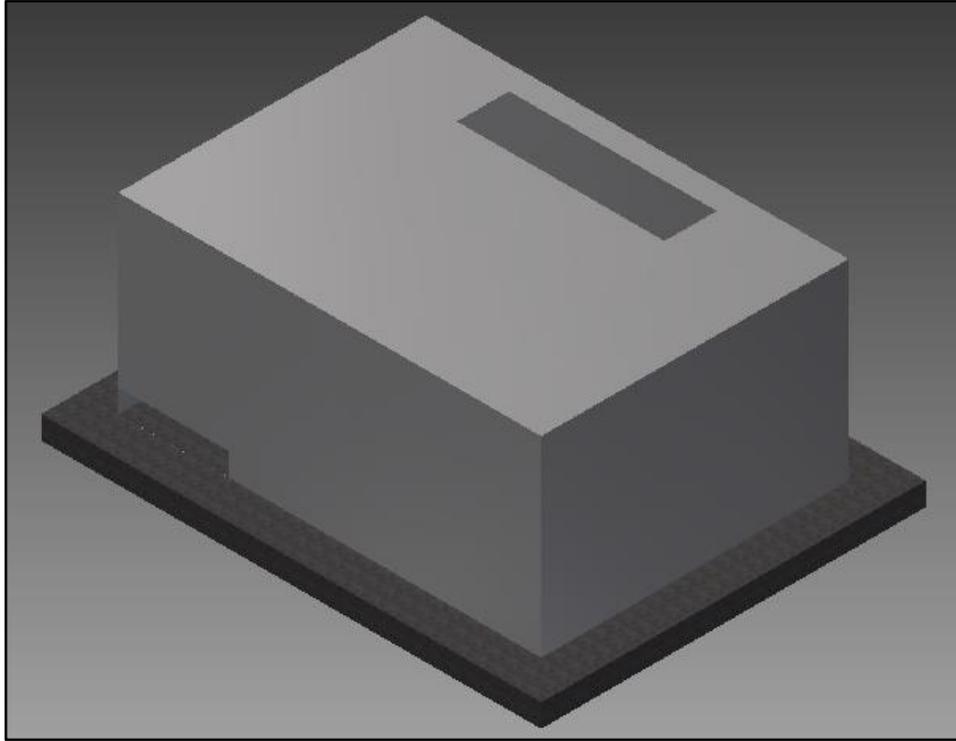


Figura 48: Entradas de aire por plenum – cámara de secado

4.8.8. Salidas de aire

La salida del aire para el cuarto de pintura será a través de fosas, que han sido diseñadas y distribuidas de forma que estén a los lados de cada mesa de trabajo para pintar, esta configuración se la denomina *double pits*.

Para encontrar las medidas de las tomas de aire de las fosas para su posterior extracción se trabaja con el caudal encontrado anteriormente del 90% (Q_{cj}), con una longitud que cubra el largo de los cofres de 2m y con una velocidad de 1m/s con la ecuación (21), para optimizar el efecto de sobrepresión dentro del cuarto de pintura, teniendo lo siguiente:

$$v_s := 1 \frac{m}{s} \qquad S_{fc} := \frac{Q_{cj}}{v_s} = 1.95m^2$$

Con el valor encontrado se encuentra el área que deben tener las salidas de aire y se divide el valor encontrado para 5 con la finalidad de que este distribuida para los cuatro cofres que se pintan a la vez.

$$S_{fc1} := \frac{S_{fc}}{2m} = 0.975m$$

$$S_{fc2} := \frac{S_{fc1}}{5} = 0.195m$$

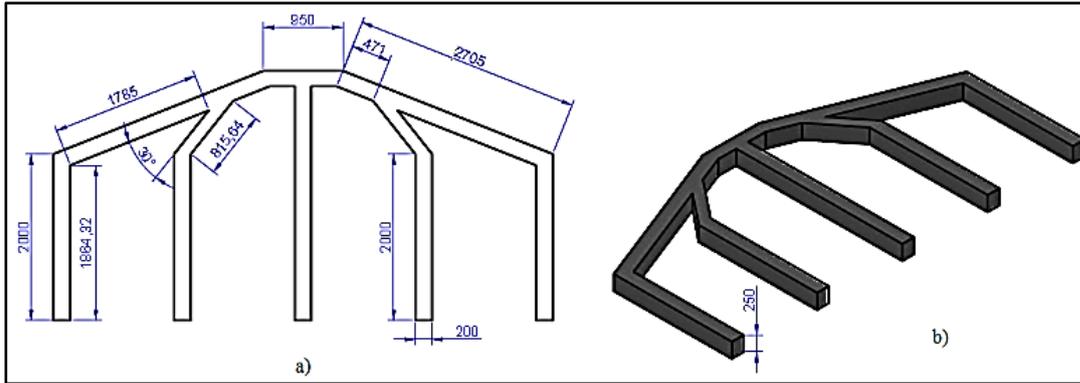


Figura 49: Planos fosas para extracción de aire con partículas de pintura: a) medidas plano en 2D y b) vista en 3D

Para la salida de aire del horno de secado se realiza de forma similar, en este caso es una sola, cabe resaltar que este aire va a ser recirculado al generador de aire caliente y se trabaja con la misma velocidad de salida anterior y una longitud de 1,35 m ubicada en la pared frontal.

$$S_{ss} := \frac{Q_{sj}}{v_s} = 0.825 m^2$$

$$S_{s1} := \frac{S_{ss}}{1.35m} = 0.306m$$

4.8.9. Pérdidas de carga en ductos

Las pérdidas de carga se analizan para poder seleccionar un ventilador que cumpla con las características del diseño. Para esto se establece las pérdidas por rozamiento del aire en las secciones con acoplamientos como son los codos y en los tramos rectos de los ductos.

Con los diámetros equivalentes corregidos de los ductos antes encontrados se puede utilizar los valores de pérdida como si fuesen ductos redondos (estos valores han sido transformados de mmcd/m a Pa/m).

$$h_{fc} = 1.372 \frac{Pa}{m}$$

$$h_{fs} = 1.96 \frac{Pa}{m}$$

Con el valor obtenido de la pérdida de carga por unidad de longitud, se encuentra la caída de presión total con el producto de dicha pérdida por la longitud del conducto.

Los valores del coeficiente de pérdida por fricción (hf), se encuentran según el nomograma del Anexo 11. Esto sirve para determinar la denominada presión unitaria (ΔPu), utilizada solo para tramos rectos (L), y se obtiene de la siguiente forma:

$$\Delta Pu = L * hf \tag{23}$$

$$Lc := 8m$$

$$\Delta P_{uc} := Lc * hfc = 10.976Pa$$

$$Ls := 4m$$

$$\Delta P_{us} := Ls * hfs = 7.84Pa$$

Las pérdidas de presión para codos, derivaciones, transformaciones entre otros, o también denominados singularidades se calculan encontrando la longitud equivalente mediante tablas que contienen un coeficiente C. Estos valores han sido obtenidos mediante pruebas experimentales y los valores de longitud equivalente se encuentran a partir de la pérdida de carga en las singularidades o accesorios con las siguientes expresiones:

$$\Delta P = C * \frac{\rho}{2} v^2 = 0.6 * C * v^2 \quad (24)$$

Donde:

ΔP = Pérdida de carga en la singularidad o accesorio (Pa).

C = Coeficiente de pérdidas de la singularidad proporcionado en tablas.

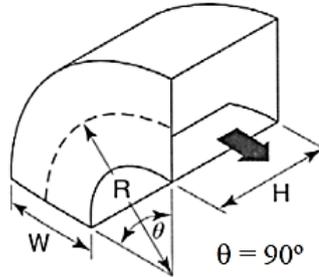
ρ = Densidad del aire en la ciudad de Ambato (0.9 Kg/m³).

V = Velocidad de entrada del aire en la singularidad o accesorio.

En este caso se tiene un total de 2 en el cuarto de secado con ductos rectangulares encontrando relaciones de r/W y H/W, dichos codos son diferentes ya que no son cuadrados y no siguen la misma dirección, mientras que la cabina de pintura no tiene codos con radio suave.

Tabla 12: Coeficiente de relación para pérdidas en codos rectangulares con radio suave [13]

		Codo rectangular (radio suave)										
		H/W										
r/W		0,25	0,5	0,75	1	1,5	2	3	4	5	6	8
0,5		1,5	1,40	1,30	1,20	1,10	1,10	0,98	0,92	0,89	0,85	0,83
0,75		0,57	0,52	0,48	0,44	0,40	0,39	0,39	0,40	0,42	0,43	0,44
1		0,27	0,25	0,23	0,21	0,19	0,18	0,18	0,19	0,20	0,27	0,21
1,5		0,22	0,20	0,19	0,17	0,15	0,14	0,14	0,15	0,16	0,17	0,17
2		0,20	0,18	0,16	0,15	0,14	0,13	0,13	0,14	0,14	0,15	0,15



Ductos cámara de secado:

$$Ws1 := 250 \text{ mm}$$

$$Hs1 := 410 \text{ mm}$$

$$rs1 := Ws1$$

$$rs2 := Hs1$$

$$r_W := \frac{rs1}{Ws1} = 1$$

$$r_H := \frac{rs2}{Ws1} = 1$$

$$\frac{H}{W} := \frac{Hs1}{Ws1} = 1.64$$

$$\frac{W}{H} := \frac{Ws1}{Hs1} = 0.61$$

Para encontrar los valores de C para los codos de la cámara de secado se debe trabajar con los datos establecidos en el diseño con las relaciones establecidas y encontrar el valor mediante una interpolación.

$$y_x = y_0 + \frac{x-x_0}{x_1-x_0}(y_1 - y_0) \quad (25)$$

Para ambos casos se tendrá lo siguiente:

$$C_{s1} = 0.19 + \frac{1-0.75}{1.5-0.75}(0.18 - 0.19) = 0.187 \quad \text{Cámara pintura}$$

$$C_{s1} = 0.25 + \frac{1-0.75}{1.5-0.75}(0.23 - 0.25) = 0.243 \quad \text{Cámara secado}$$

Los valores de C para cada caso se reemplazan en la fórmula dada para las pérdidas en accesorios de la ecuación (26).

$$\Delta P_{s1} = 0.45 C_{s1} * v^2 \frac{Kg}{m^3} = 5.376 Pa \quad \text{Cámara pintura}$$

$$\Delta P_{s2} = 0.45 C_{s2} * v^2 \frac{Kg}{m^3} = 7.008 Pa \quad \text{Cámara secado}$$

Se pueden determinar los valores de la longitud equivalente de los codos igualando la ecuación de pérdidas en ductos ecuación (26) con singularidades, con la ecuación de ductos rectos ecuación (25).

$$\Delta P = \frac{0.45Kg}{m^3} C * v^2$$

$$\Delta P = \Delta P_u * Leq \quad \Rightarrow \quad Leq = \frac{0.45Kg}{m^3} * \frac{C*v^2}{\Delta P_u} \quad (26)$$

En la cámara de secado se tienen dos casos debido a la disposición del ducto de entrada de aire teniendo lo siguiente:

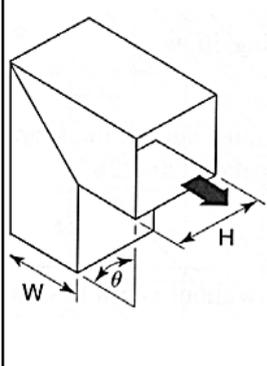
$$\Delta P_{us} := hfs = 1.96 \frac{Pa}{m}$$

$$Leq_{s1} := 0.6 \frac{C_{s1}*v^2}{\Delta P_{us}} * \frac{Kg}{m^3} = 2.743 m$$

$$Leqs2 := 0.6 \frac{Cs2 * v^2}{\Delta P_{us}} * \frac{Kg}{m^3} = 3.576 m$$

En la cámara de pintura se tiene un codo en ángulo recto a la salida de la cámara de secado.

Tabla 13: Coeficiente de relación para pérdidas en codos rectangulares a 90° [13]



θ	H/W					
	0,5	0,75	1,0	2,0	3,0	4,0
20	0,08	0,08	0,07	0,07	0,06	0,06
30	0,17	0,17	0,16	0,15	0,13	0,13
45	0,37	0,36	0,34	0,31	0,28	0,27
60	0,59	0,57	0,55	0,52	0,46	0,43
75	0,87	0,84	0,81	0,77	0,67	0,63
90	1,30	1,20	1,20	1,10	0,98	0,92

$$\Delta P = C \rho \frac{v_p^2}{2}$$

C en codo rectangular

$$hfc = 1.372 \frac{Pa}{m}$$

$$v1 := 10 \frac{m}{s}$$

$$Hc1 := 0.9m$$

$$Wc1 := 0.25m$$

$$\theta := 90^\circ$$

$$\rho = 0.9 \frac{Kg}{m^3}$$

Con estos datos encontramos el valor de C mediante interpolación según la ecuación (9), y luego la pérdida de carga mediante la ecuación de la singularidad de ángulo recto proporcionada en la Tabla 13.

$$\frac{H}{W1} := \frac{Hc1}{Wc1} = 3.6$$

$$Cc1 := 0.98 + \frac{90-75}{105-75} (0.92 - 0.98) = 0.95$$

$$\Delta Pc1 := Cc1 * \rho * \frac{v1^2}{2} = 42.75 Pa$$

$$Leqc := \frac{Cc1 * \rho * v1^2 * \rho}{2 * \rho} = 31.159 m$$

Las pérdidas en los filtros son datos proporcionados por los fabricantes y trabajamos con el promedio, teniendo lo siguiente:

Prefiltros:

$$\Delta P_{c2} := \frac{(200+15)Pa}{2} = 107.5 Pa \quad (27)$$

Plenum:

$$\Delta P_{c3} := \frac{(400+22)Pa}{2} = 211 Pa \quad (28)$$

Fosas:

$$\Delta P_{c4} := \frac{(250+15)Pa}{2} = 132.5 Pa \quad (29)$$

4.9. Selección del ventilador

Con los valores encontrados se determina la pérdida total de presión en los ductos y los filtros dentro del sistema con el fin de seleccionar el ventilador adecuado.

Cámara de pintura:

$$P_{pc} := \Delta P_{uc} + \Delta P_{c1} + \Delta P_{c2} + \Delta P_{c3} + \Delta P_{c4} = 504.726 Pa \quad (30)$$

$$P_{pc} := 51.45 \text{ mmcda}$$

Cámara de secado:

$$P_{ps} := \Delta P_{us} + \Delta P_{s1} + \Delta P_{s2} + \Delta P_{c2} + \Delta P_{c3} = 338.724 Pa \quad (31)$$

$$P_{pc} := 34.53 \text{ mmcda}$$

En este caso es un ventilador marca Sodeca, la selección se realiza mediante un software suministrado por la misma empresa.

Dentro del programa se elige la opción de selección y se filtran los ventiladores para cabinas de pintura, estos son ventiladores centrifugos diseñados especialmente para cumplir con los requerimientos de diseño, particularmente en lo referente al caudal y a las presiones que debe vencer para un óptimo funcionamiento durante la aplicación de la pintura.



Figura 50: Selección del ventilador para la cámara de pintura

Los valores de caudal, pérdidas de presión, los datos de las características de ubicación geográfica como la temperatura promedio y la altura sobre el nivel del mar, se colocan para realizar el cálculo de rendimiento del ventilador con la finalidad de cumplir con los parámetros de diseño.

Según el diseño se tiene:

$Q_c = 7800 \frac{m^3}{hr}$ Caudal calculado para la cámara de pintura

$P_{pc} = 51.45 \text{ mmca}$ Pérdidas de presión calculadas

$T_{prom} := 14.6^\circ C$ Temperatura promedio de la ciudad de Ambato

$Alt := 2577 \text{ msnm}$ Altura sobre el nivel del mar de la ciudad de Ambato

$T_{max} := 25^\circ C$ Máxima temperatura del aire a ser transportado

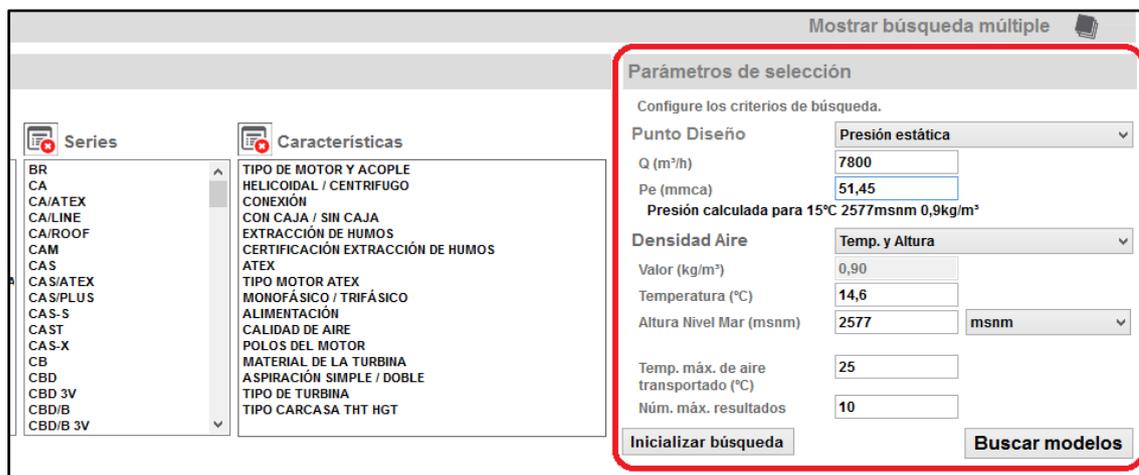


Figura 51: Ingreso de las variables para la selección del ventilador adecuado.

Hecho esto se realiza la búsqueda, teniendo como resultado los ventiladores recomendados para la cabina de pintura, las características del ventilador se encuentran en el Anexo 10. Las características detallan las condiciones de funcionamiento y las dimensiones del ventilador.

Resultados de la búsqueda						
Caudal diseño Q (m³/h): 7800 / Presión estática Pe (mmca): 51,45 / Densidad aire (kg/m³): 0,90						
Enviar a Modelos encontrados						
Modelo						
MODELOS ESTÁNDAR (5 modelos resultado)						
	Q (m³/h)	Pe (mmca)	Velocidad (rpm)	Potencia Mec. Nominal (kW)	Nivel potencia sonora dB(A)	Peso aprox. (kg)
CBP-1556-4T	7891,43	52,66	1420	3	95	122,0
CBP-1856-4T-4	8403,46	59,72	1420	3	97	122,0
CBP-1856-4T-5.5	8884,36	66,75	1430	4	97	128,0
CBP-1650-4T-3	7662,79	49,66	1420	2,20	92	92,0
CBP-1650-4T-2	7141,88	43,13	1400	1,50	92	79,0

Figura 52: resultados con los ventiladores recomendados para la cámara de pintura

4.10. Simulación del flujo de aire mediante Autodesk Simulation CFD

Con los cálculos establecidos, se diseña y dimensionan las dos cámaras por separado mediante los programas de Autodesk Inventor y Autodesk Simulation CFD, con el fin de observar el flujo del aire a través de las dos cámaras.

Se establece de forma simplificada en Inventor las diferentes partes de las cámaras como son los ductos de entrada o plenums, las paredes y las salidas de aire, para pasar el diseño al otro programa teniendo lo siguiente para cada caso.

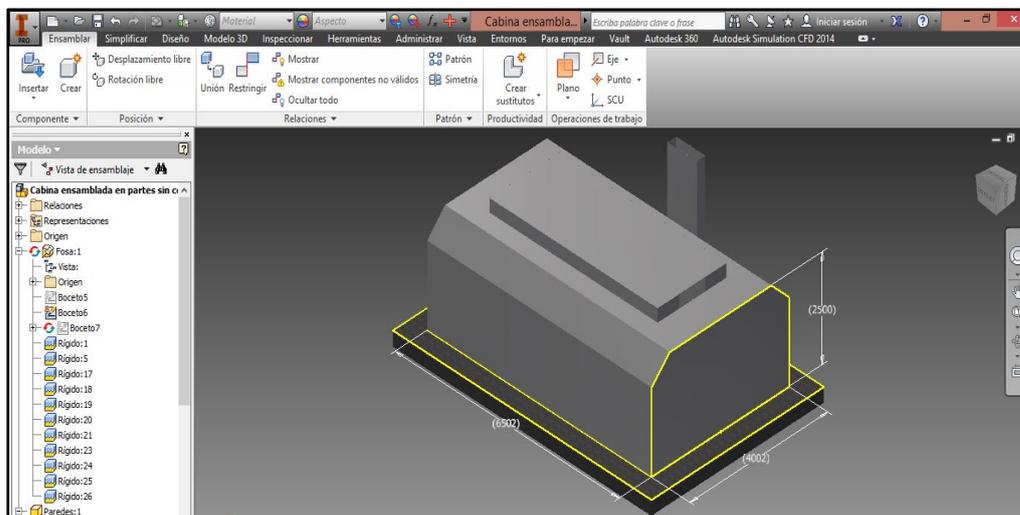


Figura 53: Diseño simplificado cámara de pintura en Autodesk Inventor

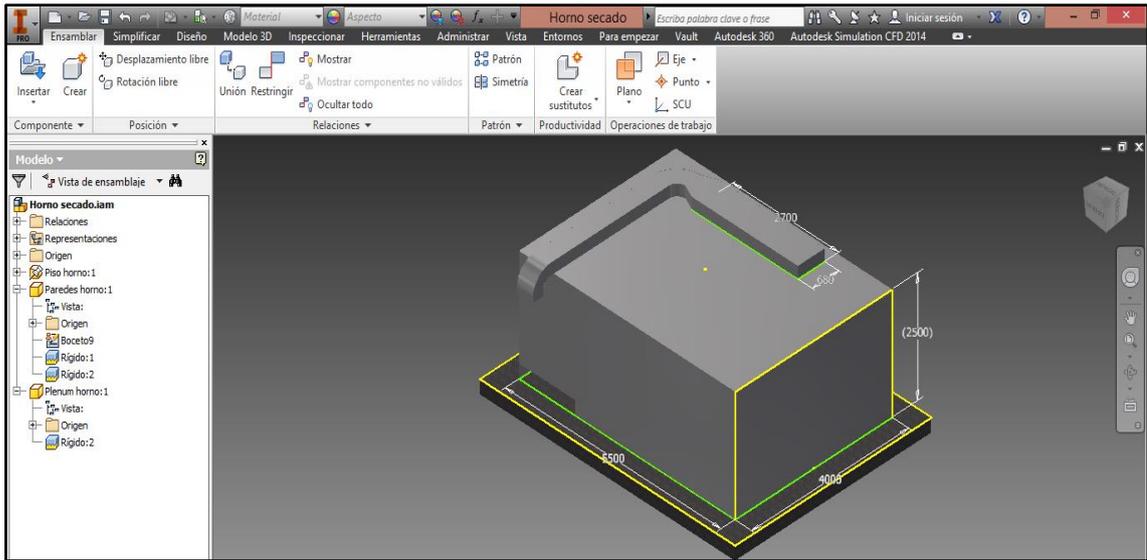


Figura 54: Diseño simplificado cámara de secado en Autodesk Inventor

Los modelos realizados en Inventor se deben exportar a Autodesk Simulation CFD para el análisis Computacional de la Dinámica del Fluido.



Figura 55: Herramienta para exportación al programa de simulación de fluidos

Dentro del programa de simulación del fluido se establecen parámetros de geometría, volumen del aire, materiales y temperatura con esto se tiene:

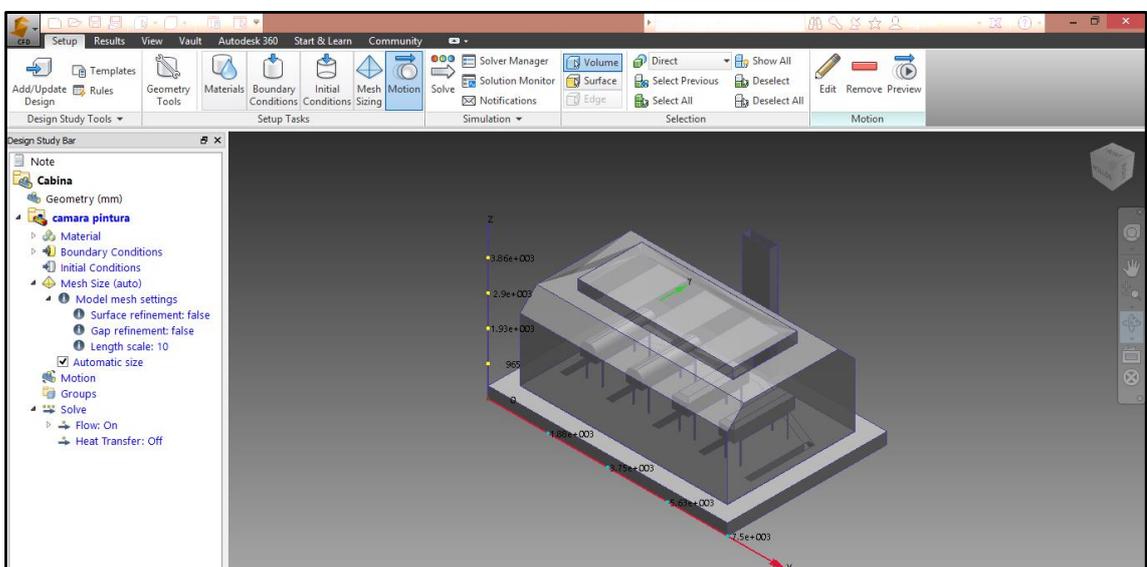


Figura 56: Modelo dentro del software Autodesk Simulation CFD de la cámara de pintura

Mientras que para la cámara de secado de igual manera se establecen todos los parámetros de entrada.

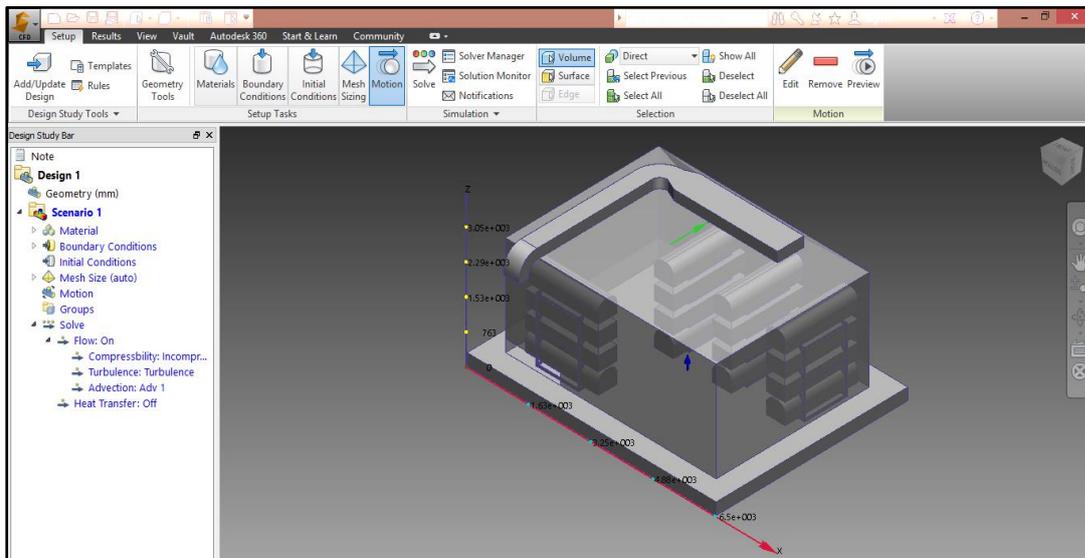


Figura 57: Modelo dentro del software Autodesk Simulation CFD de la cámara de secado

Con los valores ingresados se realiza la simulación para la cámara de pintura (Figura 58), donde el flujo de aire cubre en su totalidad a los cofres a pintarse. Aquí se puede apreciar como ingresa el aire por el plenum del techo y cómo actúa a lo largo de su trayectoria hasta salir por las rejillas que conducen al ducto de salida.

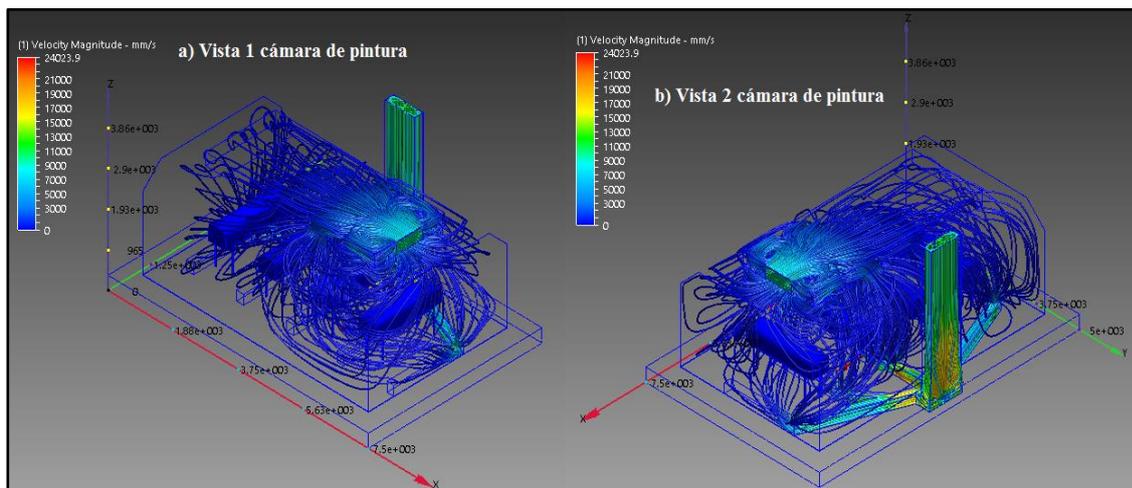


Figura 58: Trayectoria simulada del flujo del aire en la cámara de pintura.

Para las dos cámaras se ha establecido el flujo independiente de aire es así que se han realizado algunas configuraciones teniendo diversos resultados. Para el proyecto se seleccionan las mejores opciones en base al comportamiento del aire dentro de cada cámara independientemente.

Para la cámara de secado (Figura 52) se realiza de forma similar.

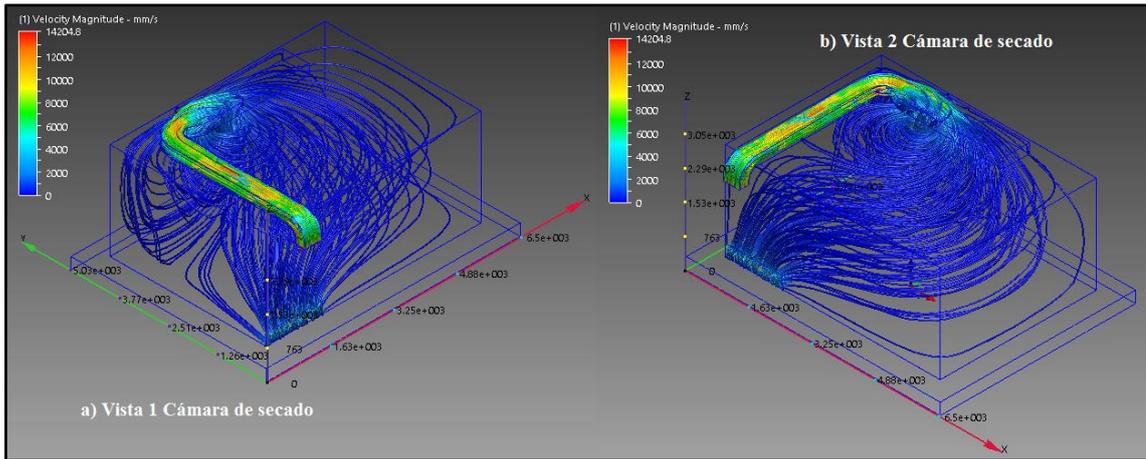


Figura 59: Trayectoria simulada del flujo del aire en la cámara de secado.

4.11. Diseño del sistema de calefacción

Con el fin de no mantener una dependencia de la variación de temperatura, se debe calentar el aire de ingreso a las cámaras de pintura y secado aprovechando los retazos y viruta de MDF y MDP generados en el área de corte que se analizan más adelante.

Para esto se analiza la temperatura promedio de la ciudad de Ambato que según registros climáticos es de 14.6°C, la temperatura recomendada al aplicar la pintura es de 18°C a 22°C, mientras que para la cámara de secado se requiere temperaturas de 30°C a 50°C.

Como aislante térmico se ha seleccionado a la lana de vidrio debido a sus propiedades de baja conductividad térmica y un alto poder aislante. La lana de vidrio es resistente al fuego (incombustible), además no sufre daños por agentes externos como el aire o el vapor de agua, además es muy manejable y también puede aislar a la cámara de pintura y secado acústicamente.

El principal factor para seleccionar a este aislante de otros como la espuma de poliuretano por ejemplo, es su bajo precio y su fácil instalación.

Coefficiente de conductividad térmica de lana de vidrio:

$$K1 := 0.0375 \frac{W}{mK}$$

Espesor del material aislante de las paredes de las cámaras de pintura y de secado:

$$e1 := 5 \text{ cm}$$

Espesor del aislante para los ductos de entrada de aire:

$$e2 := 2.54 \text{ cm}$$

Las paredes de tol de acero galvanizado de la cabina de pintura y de la cámara de secado son de 0.5mm de espesor, y su coeficiente de conductividad térmica es el siguiente:

$$e3 := 0.05 \text{ cm}$$

$$K2 := 47 \frac{W}{mK}$$

Los datos para las ventanas de vidrio son las siguientes:

$$e4 := 0.5 \text{ cm}$$

$$K3 := 0.95 \frac{W}{mK}$$

4.11.1. Balance térmico

El balance térmico se realiza para determinar la cantidad de energía en forma de calor necesario que se necesita para calentar una determinada cantidad de aire dentro de la cabina de aplicación de la pintura y la de secado.

Con el fin de llegar a las temperaturas adecuadas se debe tomar en cuenta las pérdidas en ductos y paredes que en este caso son láminas de tol galvanizado, para esto se tiene la siguiente ecuación:

$$Q = Qa + Qp + Qc \quad (32)$$

Donde:

Q = Calor necesario que deben generar el calentador de aire.

Qa = Calor necesario para calentar una cierta cantidad de masa de aire.

Qp = Calor perdido por paredes, techos, puertas y piso.

Qc = Calor perdido por los ductos.

4.11.2. Pérdidas de calor en paredes

La disposición de las láminas de tol y el aislante es de la siguiente forma:

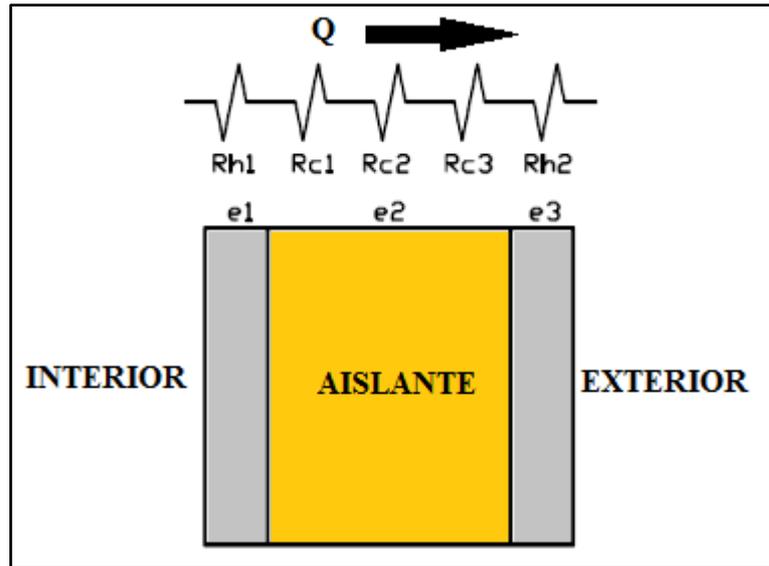


Figura 60: Configuración de resistencias térmicas en paredes

La transferencia de calor que se da cuando hay un intercambio de calor entre un cuerpo que tiene mayor temperatura con otro a menor temperatura, su ecuación es:

$$Q = \frac{\Delta T}{\sum R} \quad (33)$$

En donde:

ΔT = Diferencia de temperatura

$\sum R$ = Sumatoria de resistencias termicas individuales ($^{\circ}\text{C}/\text{W}$)

Con esto se ha establecido que la transferencia de calor para una pared plana es como sigue:

$$Q = k * \frac{A(T_i - T_e)}{e} \quad (34)$$

En donde:

T_i = Temperatura de la superficie interior de la pared ($^{\circ}\text{C}$).

T_e = Temperatura de la superficie exterior de la pared ($^{\circ}\text{C}$).

k = Coeficiente de expansión térmica del material de la pared ($\text{W}/\text{m}^{\circ}\text{C}$).

A = Área de la pared normal al flujo de calor (m^2).

e = Espesor de las paredes (m).

La forma de transmisión de calor puede darse de tres formas: por conducción, por convección y por radiación, teniendo además valores de resistencia térmica para poder encontrar el valor de transferencia de calor para cada caso.

La resistencia térmica por conducción se obtiene de la ecuación:

$$R_c = \frac{e}{k \cdot A} \quad (35)$$

Donde:

R_c = Resistencia térmica por conducción (W/m°C).

Para determinar el área tanto de la cabina de pintura como de la cámara de secado nos basamos en los planos, teniendo lo siguiente:

Cámara de pintura

$Ac1 := (1.4 * 0.5)m^2)(2) = 1.4 m^2$	Área vidrios
$Rvc := \frac{e4}{K3 * Ac1} = 0.004 \frac{K}{W}$	Resistencia ventanas
$Ac2 := ((6.5 * 2.5)m^2)(2) - Ac1 = 31.1 m^2$	Área paredes longitudinales
$Ac3 := ((4 * 2.5)m^2)(2) = 20 m^2$	Área paredes transversales
$Ac4 := (6.5 * 4)m^2 = 26 m^2$	Área techo
$Ac5 := Ac2 + Ac3 + Ac4 = 77.1 m^2$	Área solo láminas de tol
$Rcc := \frac{e3}{K2 * Ac5} = 1.38 * 10^{-7} \frac{K}{W}$	Resistencia láminas de tol
$Rclc := \frac{e1}{K1 * Ac5} = 0.017 \frac{K}{W}$	Resistencia lana de vidrio

Cámara de secado

$As1 := (1.3 * 0.5)m^2)(2) = 0.65 m^2$	Área vidrios
$Rvs := \frac{e4}{K3 * As1} = 0.008 \frac{K}{W}$	Resistencia ventanas
$As2 := ((5.5 * 2.5)m^2)(2) - As1 = 26.85 m^2$	Área paredes longitudinales
$As3 := ((4 * 2.5)m^2)(2) = 20 m^2$	Área paredes transversales

$As4 := (5.5 * 4)m^2 = 22 m^2$	Área techo
$As5 := As2 + As3 + As4 = 68.85 m^2$	Área solo láminas de tol
$Rcs := \frac{e3}{K2*As5} = 1.545 * 10^{-7} \frac{K}{W}$	Resistencia láminas de tol
$Rcls := \frac{e1}{K1*As5} = 0.019 \frac{K}{W}$	Resistencia lana de vidrio

La transferencia de calor por convección viene dada por:

$$Q = h * A(Ts - T\alpha) \quad (36)$$

Donde:

h = Coeficiente convectivo de transferencia de calor (W/m°C).

A = Área de la superficie.

Ts = Temperatura de la superficie.

$T\alpha$ = Temperatura del fluido circundante.

La resistencia térmica por convección se obtiene de la ecuación:

$$Rh = \frac{1}{h*A} \quad (37)$$

Donde:

Rh = Resistencia térmica por convección (°C/W).

Para establecer el coeficiente de convección interna h_i se establece una temperatura de flujo de aire dentro de las cámaras de pintura y secado, estableciendo un valor promedio entre la temperatura exterior e interior donde se han instalado las dos locaciones.

Dicha temperatura promedio se denomina temperatura de película (T_f) que es el promedio entre la temperatura exterior e interior.

$$Tf = \frac{Tw+Te}{2} \quad (38)$$

Donde:

Te = Temperatura exterior

Tw = Temperatura de pared inicial

Tf = Temperatura de película

$$T_{fc} := \frac{(295+283)K}{2} = 15.85^{\circ}C \quad \text{Pintura}$$

$$T_{fs} := \frac{(323+283)K}{2} = 29.85^{\circ}C \quad \text{Secado}$$

Con estos valores obtenidos se selecciona las propiedades del aire a las temperaturas promedio indicadas según la tabla del Anexo 11.

Los valores correspondientes de la tabla permiten encontrar los números de Reynolds para cada caso tomándose en cuenta la velocidad de entrada a través del plenum (u) de la cabina de pintura y del plenum de la cámara de secado. Para los dos casos la velocidad será de 0.5m/s, además se trabaja con la viscosidad cinemática del aire (v).

$$Re = \frac{u \cdot Dh}{v} \quad (39)$$

Donde:

u = velocidad máxima de aplicación de pintura.

Dh = Diámetro equivalente.

v = Viscosidad cinemática del aire.

Para determinar el diámetro equivalente tenemos:

$$Dh = \frac{4 \cdot Ad}{p} \quad (40)$$

Donde:

Ad = Área ducto

P = Perímetro ducto

Cámara de Pintura

$$Adc := 0.223m^2 \quad \text{Área ducto}$$

$$Pc := 2(0.64 + 0.35)m = 1.98 m \quad \text{Perímetro ducto}$$

$$Dhc := \frac{4 \cdot Adc}{Pc} = 0.451 m \quad \text{Diámetro equivalente}$$

$$uc := 0.5 \frac{m}{s} \quad \text{Velocidad máxima del aire}$$

$$vc := 14.71 * 10^{-6} \frac{m^2}{s} \quad \text{Viscosidad cinemática del aire}$$

$$Prc := 0.7323 \quad \text{Número de Prandtl}$$

$$Rec := \frac{uc * Dh_c}{vc} = 1.531 * 10^4 \quad \text{Número de Reynolds}$$

Cámara de secado

$$Ads := 0.104 m^2 \quad \text{Área ducto}$$

$$Ps := 2(0.42 + 0.25)m = 1.34 m \quad \text{Perímetro ducto}$$

$$Dhs := \frac{4 * Ads}{Ps} = 0.31 m \quad \text{Diámetro equivalente}$$

$$us := uc \quad \text{Velocidad máxima del aire}$$

$$vs := 15.61 * 10^{-6} \frac{m^2}{s} \quad \text{Viscosidad cinemática del aire}$$

$$Prs := 0.7296 \quad \text{Número de Prandtl}$$

$$Res := \frac{us * Dhs}{vs} = 9.944 * 10^3 \quad \text{Número de Reynolds}$$

Con los datos encontrados se puede determinar si existe una transferencia de calor solamente por convección o por conducción y radiación a través de sus valores con el denominado número de Nusselt [14].

$$Nud = \frac{\frac{f}{8} * Re * Pr}{1.07 + 12.7 \left(\left(\frac{f}{8} \right)^{\frac{1}{2}} \right) \left(\left(Pr \frac{2}{3} \right)^{-1} \right)} \quad \begin{array}{l} \text{Si } 0.5 \leq Pr \leq 200 \\ \text{Si } 1E4 \leq Re \leq 5E6 \end{array} \quad (41)$$

En este caso el factor de fricción (f) que se expresa en la ecuación está determinado por:

$$f = 0.316 * Re^{-\frac{1}{4}} \quad \text{Si } Re \leq 2E4 \quad (42)$$

Cámara de Pintura

$$fc := 0.316 * Rec^{-\frac{1}{4}} = 0.028$$

$$Nudc = \frac{\frac{fc}{8} * Res * Prc}{1.07 + 12.7 \left(\left(\frac{fc}{8} \right)^{\frac{1}{2}} \right) \left(\left(Prc^{\frac{2}{3}} \right)^{-1} \right)} = 19.894$$

Cámara de secado

$$fs := 0.316 * Res^{-\frac{1}{4}} = 0.032$$

$$Nuds = \frac{\frac{fc}{8} * Res * Prs}{1.07 + 12.7 \left(\left(\frac{fs}{8} \right)^{\frac{1}{2}} \right) \left(\left(Prs^{\frac{2}{3}} \right)^{-1} \right)} = 13.961$$

Al contar con los valores de la tabla del Anexo 11, se tiene las variables necesarias para encontrar el coeficiente (hi) y las resistencias de convección (Rh) internas, tanto para la pintura como para el secado:

Pintura

$$kc := 24.76 * 10^{-3} \frac{W}{mK}$$

$$hic := \frac{Nudc * kc}{Dhc} = 1.093 \frac{W}{m^2K} \quad (43)$$

$$Rhc := \frac{1}{hic * Ac5} = 0.012 \frac{K}{W}$$

$$Qc := \frac{Tfc}{2Rhc + 2Rcc + Rclc} = (7.046 * 10^3) W \quad (44)$$

Secado

$$ks := 25.88 * 10^{-3} \frac{W}{mK}$$

$$his := \frac{Nuds * ks}{Dhc} = 1.164 \frac{W}{m^2K} \quad (45)$$

$$Rhs := \frac{1}{his * Ac5} = 0.012 \frac{K}{W}$$

$$Qs := \frac{Tfs}{2Rhs + 2Rcs + Rcls} = (6.932 * 10^3) W \quad (46)$$

4.11.3. Pérdida de calor en ventanas

Para calcular la pérdida de calor en ventanas tenemos que:

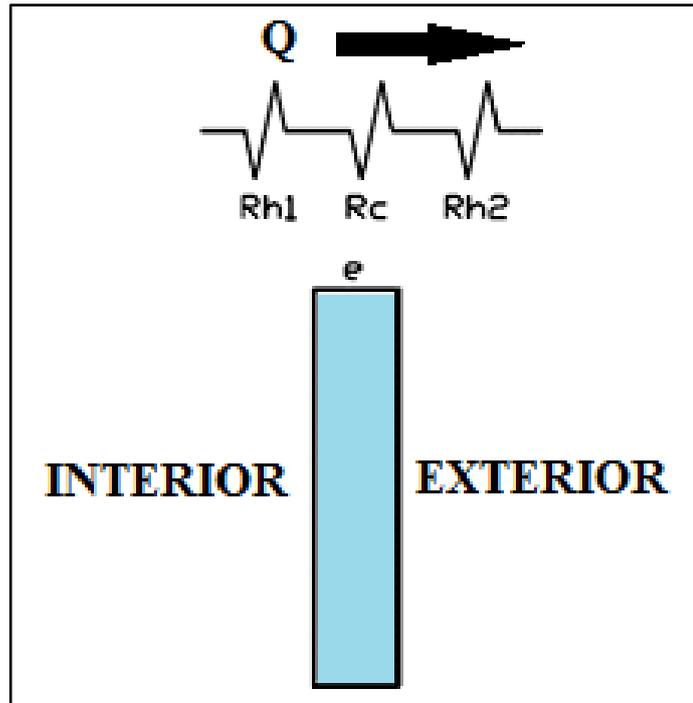


Figura 61: Configuración de resistencias térmicas en vidrios

Anteriormente se calculó la pérdida de calor por conducción, teniendo un valor de 0.004 K/mW, pero no se ha determinado aún la resistencia por convección según la ecuación (Ec. 39), en este caso se utiliza el valor h_i antes encontrado para cada caso.

Pintura

$$R_{hc} := \frac{1}{h_{ic} \cdot A_{c1}} = 0.653 \frac{K}{W}$$

$$Q_{cv} := \frac{T_{fc}}{2R_{hc1} + R_{vc}} = 220.559 W \quad (47)$$

Secado

$$R_{hs} := \frac{1}{h_{ic} \cdot A_{c1}} = 1.407 \frac{K}{W}$$

$$Q_{sv} := \frac{T_{fs}}{2R_{hs1} + R_{vs}} = 230.481 W \quad (48)$$

4.11.4. Pérdida de calor en ductos

Las pérdidas de calor en los ductos se realiza de forma similar, para esto se encuentra el área total de los ductos.

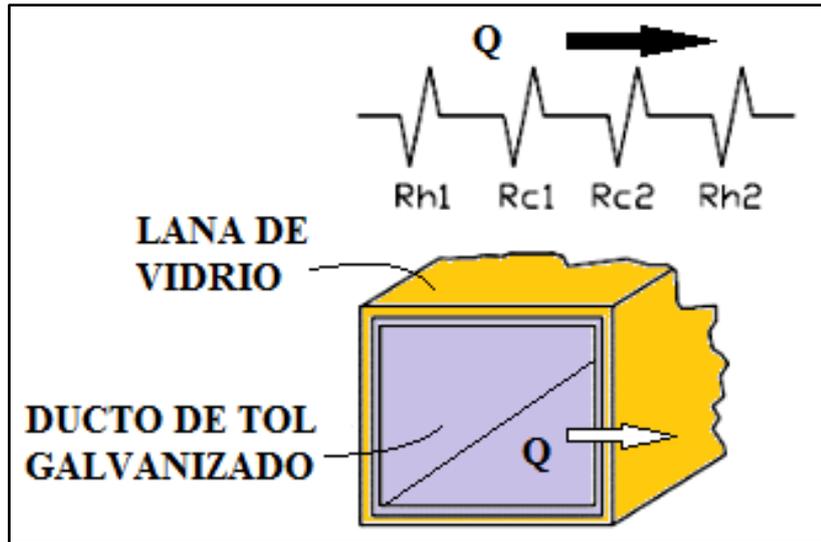


Figura 62: Configuración de resistencias térmicas en ductos

Los datos de los ductos son los siguientes:

$L_c := 7 \text{ m}$	Longitud ducto pintura
$L_s := 8 \text{ m}$	Longitud ducto secado
$e_5 := 0.0007 \text{ m}$	Espesor láminas de tol para ductos
$e_2 := 0.025 \text{ m}$	Espesor capa aislante lana de vidrio
$K_2 := 47 \frac{\text{W}}{\text{mK}}$	Coefficiente de transmitividad térmica del tol
$K_1 := 0.038 \frac{\text{W}}{\text{mK}}$	Coefficiente transmitividad térmica lana de vidrio

El área total de los ductos está directamente relacionada con el perímetro y la longitud de los ductos de entrada sin tomar en cuenta los ductos de salida para la cámara de pintura:

Cámara pintura

$$P_c := 1.98 \text{ m}$$

$$A_{dc1} := L_c * P_c = 13.86 \text{ m}^2 \quad (49)$$

Cámara secado

$$P_s := 1.34 \text{ m}$$

$$A_{ds1} := L_s * P_s = 10.72 \text{ m}^2 \quad (50)$$

Resistencia por conducción en los ductos

Cámara pintura

$$R_{dc} := \frac{e_5}{K_2 * A_{dc1}} = (1.075 * 10^{-6}) \frac{K}{W} \quad \text{Lámina de tol}$$

$$R_{dlc} := \frac{e_2}{K_1 * A_{dc1}} = 0.049 \frac{K}{W} \quad \text{Lámina de vidrio}$$

Cámara secado

$$R_{ds} := \frac{e_5}{K_2 * A_{ds1}} = (1.389 * 10^{-6}) \frac{K}{W} \quad \text{Lámina de tol}$$

$$R_{dls} := \frac{e_2}{K_1 * A_{ds1}} = 0.063 \frac{K}{W} \quad \text{Lámina de vidrio}$$

Resistencia por convección en los ductos.

Al tener en la capa exterior el aislante se puede despreciar la convección en la parte exterior, mientras que en la parte interior los valores de pérdidas son bajos debido a la mayor velocidad de circulación del aire por los ductos, según el diseño de los ductos se tiene una velocidad de 8m/s.

Perdida de calor en ductos:

$$Q_{cd} := \frac{T_{fc}}{R_{dc} + R_{dcl}} = (5.914 * 10^3) W \quad \text{Pintura} \quad (51)$$

$$Q_{sd} := \frac{T_{fs}}{R_{ds} + R_{dls}} = (4.795 * 10^3) W \quad \text{Secado} \quad (52)$$

4.11.5. Pérdida de calor en el piso

En las dos cámaras el piso de concreto con un coeficiente de conductividad térmica de $1.63 \text{ W/m}^2 \cdot \text{°K}$ con superficies diferentes. Para determinar el espesor se trabaja con 0.7m, desde este punto en más se desprecia las perdidas por conducción, teniendo convección solo sobre la superior del piso.

$$K_4 := 1.63 \frac{W}{mK} \quad \text{Coeficiente conductividad térmica hormigón}$$

$$e_6 := 0.7 m \quad \text{Espesor para el análisis}$$

Pintura

$$A_{pc} := (4 * 6.5) m^2 = 26 m^2 \quad \text{Área del piso cámara pintura}$$

$$R_{pc} := \frac{e_6}{K_4 * A_{pc}} = 0.017 \frac{K}{W} \quad \text{Resistencia térmica piso}$$

Secado

$$A_{ps} := (4 * 5.5)m^2 = 22 m^2 \quad \text{Área del piso cámara secado}$$

$$R_{ps} := \frac{e_6}{K_4 * A_{ps}} = 0.02 \frac{K}{W} \quad \text{Resistencia térmica piso}$$

Las resistencias se calculan en base a los coeficientes de convección (hi) antes encontrados así como las pérdidas de calor.

Pintura

$$R_{phc} := \frac{1}{h_{ic} * A_{pc}} = 0.035 \frac{K}{W} \quad \text{Resistencia térmica}$$

$$Q_{pc} := \frac{T_{fc}}{R_{pc} + R_{phc}} = (5.591 * 10^3)W \quad \text{Pérdida de calor} \quad (53)$$

Secado

$$R_{phs} := \frac{1}{h_{is} * A_{ps}} = 0.039 \frac{K}{W} \quad \text{Resistencia térmica}$$

$$Q_{ps} := \frac{T_{fs}}{R_{ps} + R_{phs}} = (5.173 * 10^3)W \quad \text{Pérdida de calor} \quad (54)$$

4.11.6. Pérdida total de calor dentro de las cámaras

Para la cámara de pintura se tiene:

$$\text{Paredes:} \quad Q_c = (7.046 * 10^3) W$$

$$\text{Ventanas:} \quad Q_{cv} = 220.559 W$$

$$\text{Ductos:} \quad Q_{cd} = (5.914 * 10^3) W$$

$$\text{Piso:} \quad Q_{pc} = (5.591 * 10^3) W$$

$$\text{Total:} \quad Q_{tc} := Q_c + Q_{cv} + Q_{cd} + Q_{pc} = (1.877 * 10^4) W \quad (55)$$

Para la cámara de secado:

$$\text{Paredes:} \quad Q_s = (7.046 * 10^3) W$$

$$\text{Ventanas:} \quad Q_{sv} = 220.559 W$$

Ductos: $Q_{sd} = (5.914 * 10^3) W$

Piso: $Q_{ps} = (5.591 * 10^3) W$

Total: $Q_{ts} := Q_s + Q_{sv} + Q_{sd} + Q_{ps} = 17.13 kW$ (56)

4.11.7. Cantidad de calor necesario para calentar el volumen de aire dentro de las cámaras

Una vez encontrados los valores de pérdidas, el siguiente paso es determinar el calor necesario para calentar el volumen de aire a renovarse dentro de la cámara de pintura como de la cámara de secado.

Para esto se utiliza la fórmula siguiente:

$$Q_a = m * C_p * \Delta T \quad (57)$$

Donde:

Q_a = Calor necesario de calentamiento (kcal)

m = Masa de aire a calentar

C_p = Calor específico del aire a una cierta temperatura (kcal/kg°C)

ΔT = Diferencia de temperaturas del interior y el ambiente

La masa de aire a calentarse se determina como sigue:

$$m = V * \rho \quad (58)$$

Donde:

V = Volumen del aire inyectado

ρ = Densidad del aire a una cierta temperatura

Los valores de C_p y la densidad se designan mediante los datos de las propiedades del aire a presión atmosférica del Anexo 11.

Pintura

$$V_c = 65m^3 \quad \text{Volumen cámara pintura}$$

$$C_{pc} := 0.24168 \frac{Kcal}{kg K}$$

$$T_{fc} = 15.85^{\circ}C$$

$$\rho_c := 1.225 \frac{kg}{m^3}$$

$$m_c := V_c * \rho_c = 79.625 \text{ kg}$$

$$Q_{ac} := m_c * C_{pc} * T_{fc} = 5.561 * 10^3 \text{ kcal}$$

Secado

$$V_s = 55m^3$$

Volumen cámara secado

$$C_{ps} := 0.24168 \frac{Kcal}{kg K}$$

$$T_{fs} = 29.85^{\circ}C$$

$$\rho_s := 1.164 \frac{kg}{m^3}$$

$$m_s := V_s * \rho_s = 64.02 \text{ kg}$$

$$Q_{as} := m_s * C_{ps} * T_{fs} = 4.688 * 10^3 \text{ kcal}$$

Para encontrar el valor en forma de potencia calorífica (Pots) se tiene como requerimiento que el generador de aire caliente debe calentar la cámara en un lapso de 5 minutos, teniendo:

$$P_{ots} := \frac{Q_{as}}{5 \text{ min}} = 65.43 \text{ kW} \quad (59)$$

4.11.8. Selección del generador de aire caliente

Los generadores de aire caliente son equipos especiales que constan de intercambiadores de calor para transferir la energía producida generalmente por combustibles como gas, diésel, gasolina, madera entre los principales, además pueden ser eléctricos, con el fin de calentar un fluido portador de la energía térmica que en este caso es el aire. El aire es impulsado por un ventilador para fluir a la cámara de secado.

Para la selección de un generador se debe tomar en cuenta los parámetros de diseño como es la potencia requerida para solventar las pérdidas de calor, calentar el volumen y caudal necesario de aire de la cámara de secado antes calculado.

Dicho esto la potencia se obtiene al sumar las pérdidas totales y la cantidad de calor necesario para calentar el volumen de aire de la cámara de secado, en este caso el aire va a ser recirculado para mejorar la eficiencia del calentador.

$$P_{cal} := Q_{ts} + P_{ots} = 82.46 \text{ kW} \quad (60)$$

Según esto el calentador seleccionado para el proceso de secado es el modelo DRAGOON F55 del catálogo de la empresa Mator (Ver Anexo 12).

4.12. Cálculo de la demanda energética

El cálculo de la demanda energética para calefacción (D_{calef}) depende de los días laborables del año, las horas al día y un coeficiente de intermitencia que es un factor de seguridad para el cálculo del uso del generador de aire caliente. Viene dado por:

$$D_{calef} = P_{cal} * \frac{\text{horas}}{\text{día}} * \frac{\text{num.días}}{\text{año}} * \text{coef. intermitencia} \quad (61)$$

Según esto se tiene que los días laborables duran te un año son 240, las horas diarias de trabajo son 8 y el coeficiente de intermitencia de uso que por lo general es del 10% en cálculos de calefacción, debido a que se requiere un precalentamiento de la cámara de secado.

$$D_{calef} := 82.462 \text{ kW} * \frac{8 \text{ hr}}{\text{día}} * \frac{240 \text{ días}}{\text{año}} * 10\% = 15832.687 \frac{\text{kWhr}}{\text{año}}$$

Ahora se calcula el consumo energético (CE) del generador de aire caliente, para eso se establece el rendimiento del generador de aire caliente, el combustible utilizado en este caso serán los retazos de los tableros de MDF y MDP.

$$CE = \frac{D_{calef}}{Rend} \quad (62)$$

Con la variación de temperatura realizada en los cálculos para la cámara de secado y los valores reales alcanzados por el generador de aire caliente después de la modificación se establece una relación, dividiendo el valor real de variación de temperatura (Trs) con el valor establecido para el cálculo (Tfs) y multiplicándolo por 100 para determinar el rendimiento.

$$Rend = \frac{Trs}{Tfs} * 100 \quad (63)$$

Como se estableció antes la diferencia de temperatura en el cálculo es $T_{fs}=29.85^{\circ}\text{C}$, para establecer la diferencia de temperatura real, se midió el valor máximo alcanzado por el generador de aire caliente con una temperatura de 72°C . Con este dato se establece la diferencia de temperatura real.

$$T_{rs} := \frac{72^{\circ}\text{C} - 9.85^{\circ}\text{C}}{2} = 40.75^{\circ}\text{C} \quad (64)$$

Hecho esto se calcula el rendimiento (Rend), para determinar el consumo energético a través de la ecuación (64):

$$\text{Rend} := \frac{40.75^{\circ}\text{C}}{29.85^{\circ}\text{C}} * 100 = 103.597\%$$

$$CE := \frac{15832.687 \frac{\text{kWhr}}{\text{año}}}{1.036} = 15282.906 \frac{\text{kWhr}}{\text{año}}$$

4.12.1. Cálculo del combustible necesario

Para conocer la cantidad de combustible necesario (C_n) se realiza una relación entre el consumo energético anual (CE) y el poder calorífico inferior del combustible (P_{ci}).

$$C_n = \frac{CE}{P_{ci}} \quad (65)$$

El valor de P_{ci} depende del tipo de combustible, en este caso solo se analizará el P_{ci} de la madera, los tableros de MDF y MDP, que son los desechos que se generan dentro de la planta de producción, el valor promedio para los tres tipos es de 4000 kcal/kg o 4.65 kW*hr/kg .

$$C_n := \frac{229243.89 \frac{\text{kWhr}}{\text{año}}}{4.65 \frac{\text{kWhr}}{\text{kg}}} = 3286.646 \frac{\text{kg}}{\text{año}}$$

Figura 63 desechos generados, en el período de Mayo 2013 a Octubre 2014 (Tabla 12).



Figura 63: Desechos de madera generados en la planta de producción

Los desechos son trasladados al relleno sanitario de la ciudad mediante transporte propio (Figura 64) cada dos semanas.



Figura 64: Desechos depositados en el relleno sanitario de la ciudad de Ambato.

Estos datos son proporcionados por la Empresa Pública Municipal y Gestión Integral de Desechos Sólidos de Ambato (GIDSA), con el fin de establecer si se cuenta con la cantidad necesaria de combustible para el funcionamiento del generador de aire caliente.

Tabla 14: Historial del peso de los desechos de tableros y madera generados en la fábrica Las Maderas

Num.	Fecha	Peso (Kg) ingreso	Peso (Kg) Salida	Total (Kg)
1	14/05/2013	1810	1440	370
2	28/05/2013	2280	1780	500
3	10/06/2013	1890	1370	520
4	30/06/2013	1830	1520	310
5	12/07/2013	2180	1480	700
6	28/07/2013	4540	3850	690
7	13/08/2013	4330	3880	450
8	27/08/2013	2100	1980	120
9	13/09/2013	2210	1810	400
10	26/09/2013	1930	1480	450
11	17/10/2013	5420	3880	1540
12	31/10/2013	2070	1530	540
13	14/11/2013	2090	1530	560
14	29/11/2013	2000	1430	570
15	12/12/2013	1950	1540	410
16	27/12/2013	1900	1560	340

17	02/01/2014	1840	1570	270
18	15/01/2014	4400	3860	540
19	30/01/2014	2050	1540	510
20	17/02/2014	2110	1570	540
21	18/03/2014	2520	1890	630
22	07/04/2014	1890	1530	360
23	11/04/2014	2750	1880	870
24	03/06/2014	4990	3890	1100
25	25/06/2014	2130	1500	630
26	04/07/2014	2020	1560	460
27	21/07/2014	5190	3920	1270
28	15/08/2014	1750	1520	230
29	20/08/2014	2280	1560	720
30	16/09/2014	5310	3380	1930
31	04/10/2014	2080	1520	560
32	21/10/2014	2190	1530	660
Promedio cada dos semanas (kg)				617,19

Los desechos generados por semana son $617.19 \text{ kg}/2=308.595 \text{ kg}$, con este valor se establece la cantidad anual (Can) que se genera durante el proceso de corte.

$$Can := \frac{308.595 \text{ kg}}{\text{sem}} * \frac{4 \text{ sem}}{1 \text{ mes}} * \frac{12 \text{ mes}}{1 \text{ año}} = 14812.56 \frac{\text{kg}}{\text{año}} \quad (66)$$

Los desechos generados tienen un porcentaje de viruta fina, resultante de los cortes en las diversas máquinas, siendo el 30% en promedio del peso total de los desperdicios generados. La viruta no suele ser un buen elemento para la combustión debido a que se consume lentamente y no produce llama como los retazos de los tableros. Teniendo que la cantidad neta (Canet) que se puede utilizar es:

$$Canet := 14812.56 \frac{\text{kg}}{\text{año}} * 70\% = 10368.792 \frac{\text{kg}}{\text{año}} \quad (67)$$

La cantidad de desechos generados dentro de la planta son los suficientes como para solventar el consumo anual de combustible para que el generador tenga un funcionamiento adecuado.

4.13. Iluminación cámara de pintura

La iluminación de una cabina de pintura debe cumplir con las condiciones necesarias para que el operario pueda tener una correcta percepción del trabajo que se está realizando, para esto se debe seleccionar las luminarias más apropiadas.

Los cálculos se los realiza en el software utilizado para iluminación de ambientes Dialux Evo. Se trabaja con las dimensiones del cuarto de pintura antes establecidas y se ingresa al programa (Figura 65).

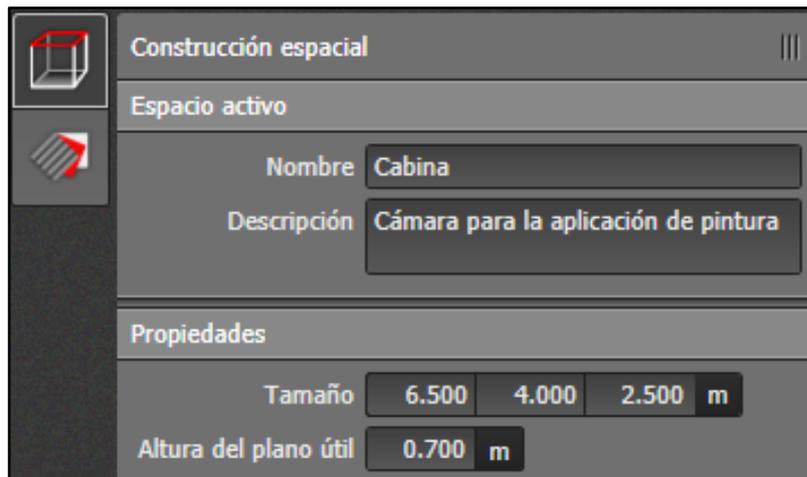


Figura 65: Medidas cámara de pintura

La altura del plano útil hace referencia a la distancia desde el piso de la cámara hasta el plano de aplicación de pintura más bajo, en este caso sería la altura de las mesas de trabajo donde son colocados los cofres (Figura 66).

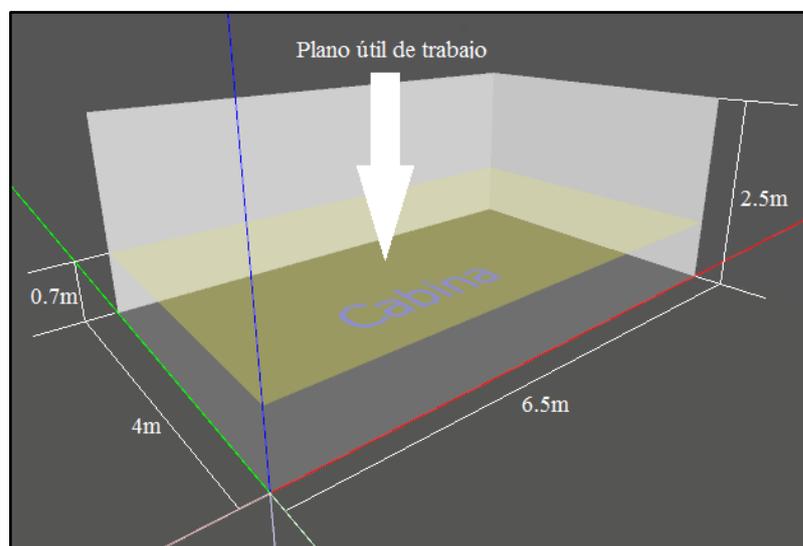


Figura 66: Plano útil de trabajo

Para la iluminación de la cámara de pintura se trabaja con la norma europea UNE-EN 12464 de iluminación de lugares de trabajo, basándonos en los parámetros según el tipo de actividad establecida en dicha norma. En el Anexo 13 se observan los valores seleccionados para la cámara de secado, se tiene parámetros según el tipo de actividad como sigue:

- La columna 1 recoge el número de referencia para cada (área) interior, tarea o actividad.
- La columna 2 recoge las (áreas) interiores, tareas o actividades, para las que están dados los requisitos específicos. Si el (área) interior, tarea o actividad particular no está recogida, deberían adoptarse los valores dados para una situación similar, comparable.
- La columna 3 da la iluminancia mantenida E_m en la superficie de referencia para el (área) interior, tarea o actividad dada en la columna 2.
- Cuando los límites de UGR (límite de Índice de Deslumbramiento Unificado UGR) son aplicables a la situación recogida en la columna 2, se recogen en la columna 4.
- La columna 5 proporciona los índices de rendimiento de colores (Ra) mínimos para la situación recogida en la columna 2.

El programa Dialux Evo trabaja con esta norma y se seleccionan estos parámetros para realizar los cálculos de iluminación para el proyecto.

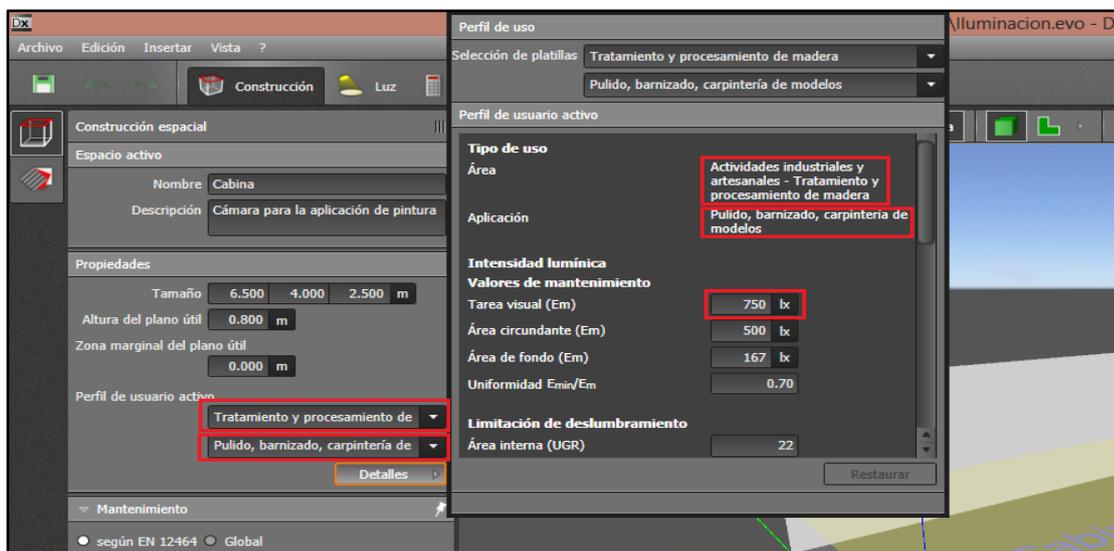


Figura 67: Selección de parámetros de diseño en Dialux Evo

Con estos valores se puede calcular el flujo luminoso en una zona mediante la siguiente ecuación:

$$\Phi_T = \frac{Em * S}{Cu * Cm} \quad (68)$$

Donde:

Φ_T = Flujo luminoso que un determinado local o zona necesita (en Lúmenes)

Em = Nivel de iluminación medio (en Lux)

S = Superficie a iluminar en m²

Las otras variables como son Cu (coeficiente de utilización), que es la relación entre un flujo luminoso recibido por un cuerpo y el flujo emitido por una fuente luminosa, como Cm (coeficiente de mantenimiento) que es el coeficiente que indica el grado de conservación de una luminaria se establecen dentro del programa de cálculo.

Dentro de las herramientas del programa se cuenta con elementos para simular como van a estar los cofres dentro del área de pintado, permitiendo modificar las medidas a escala según las mesas de trabajo que se utilizan en la fábrica.

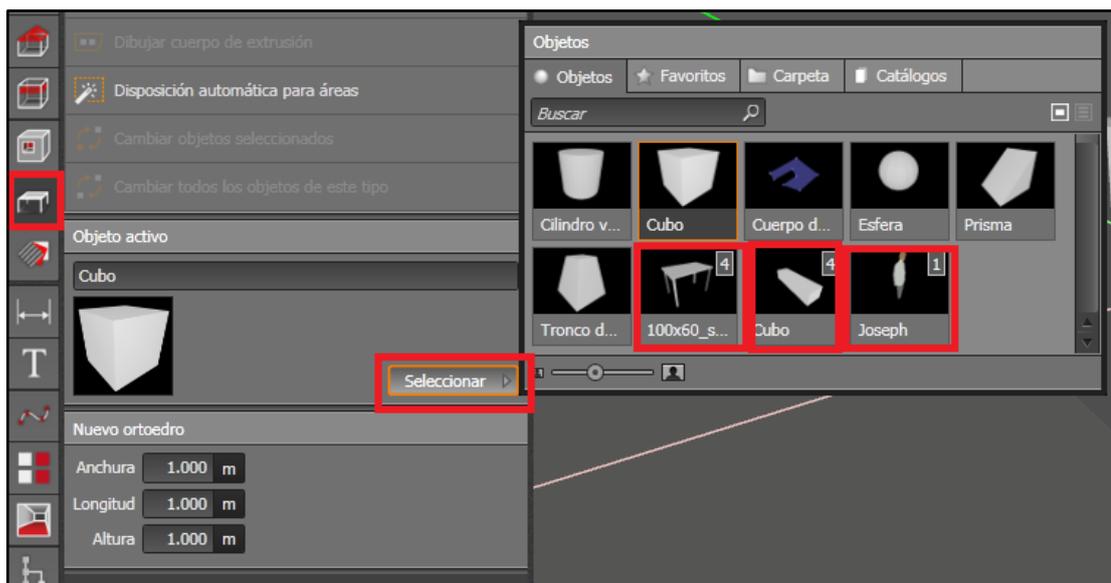


Figura 68: Colocación de elementos dentro de la cámara para simulación

El programa calcula la superficie con todos los factores antes mencionados se selecciona el tipo de luminaria a utilizar. Los constructores de luminarias poseen *plugins* de sus productos para el programa Dialux Evo, con el fin de determinar el número de luminarias

que deben ser colocadas dentro de la cámara para cumplir con los valores establecidos según la norma UNE-EN 12464.

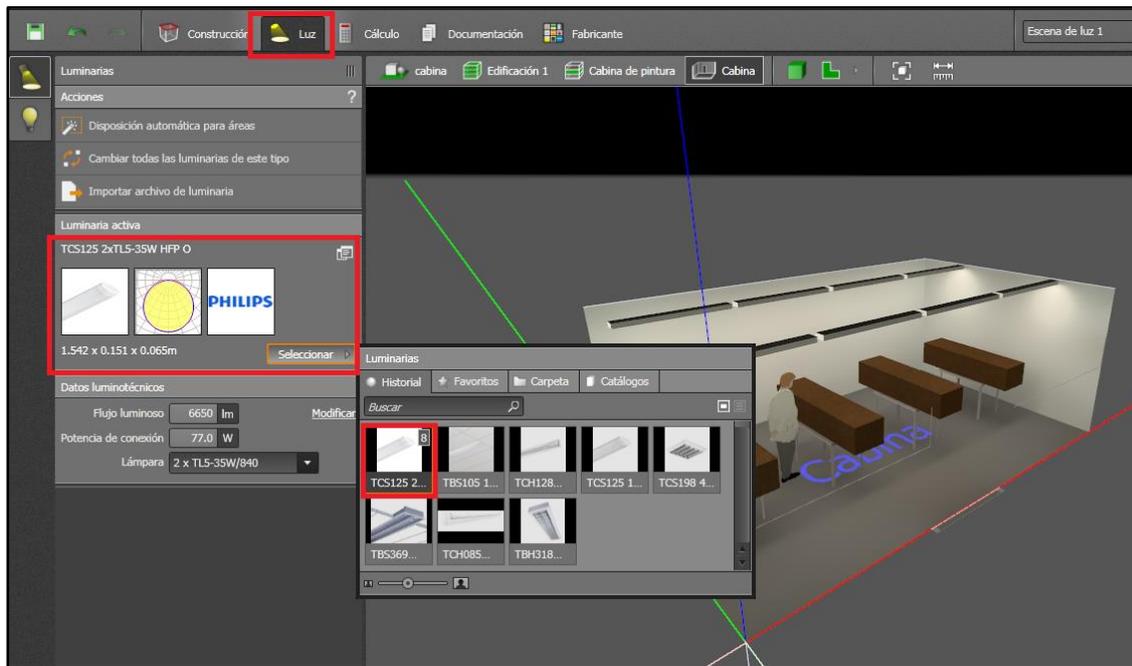


Figura 69: Selección de luminarias

Se realiza el cálculo del número de lámparas necesarias y su disposición en el techo de la cámara de pintura con las lámparas seleccionadas dando como resultado que se necesitan 8 lámparas marca Phillips 2xTL5-35W/840 (Figura 70).

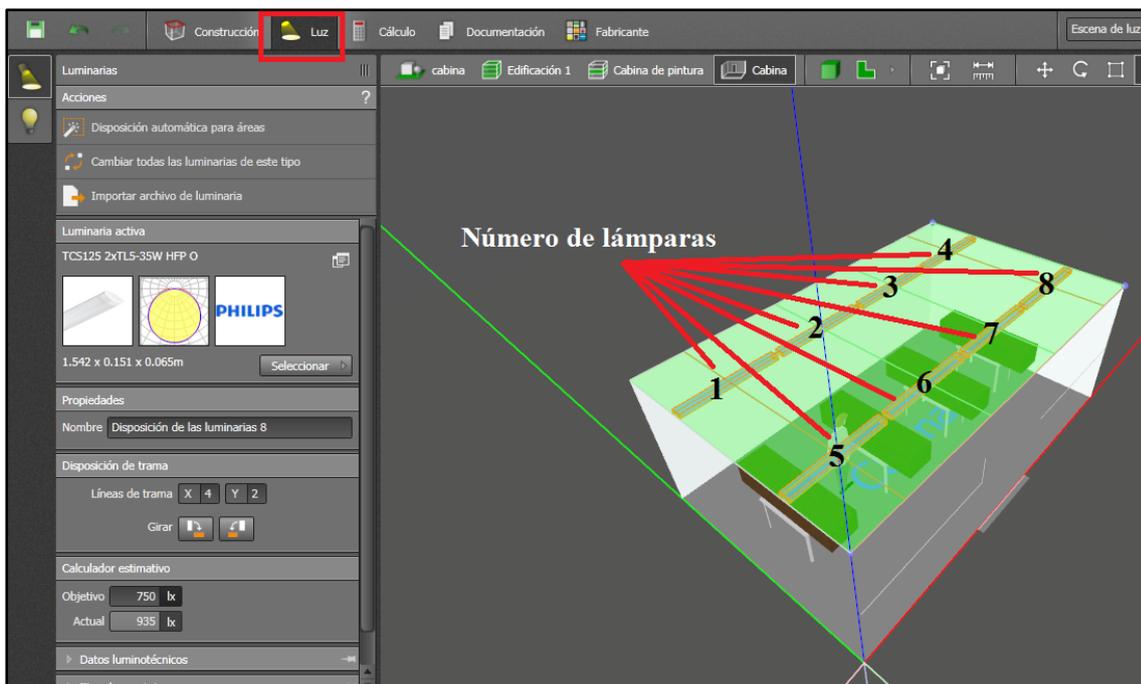


Figura 70: Número de y disposición de lámparas en la cámara de pintura

Con las lámparas colocadas se inicia la simulación o el cálculo definitivo que nos permite analizar cómo se distribuye la iluminación dentro de la cámara.

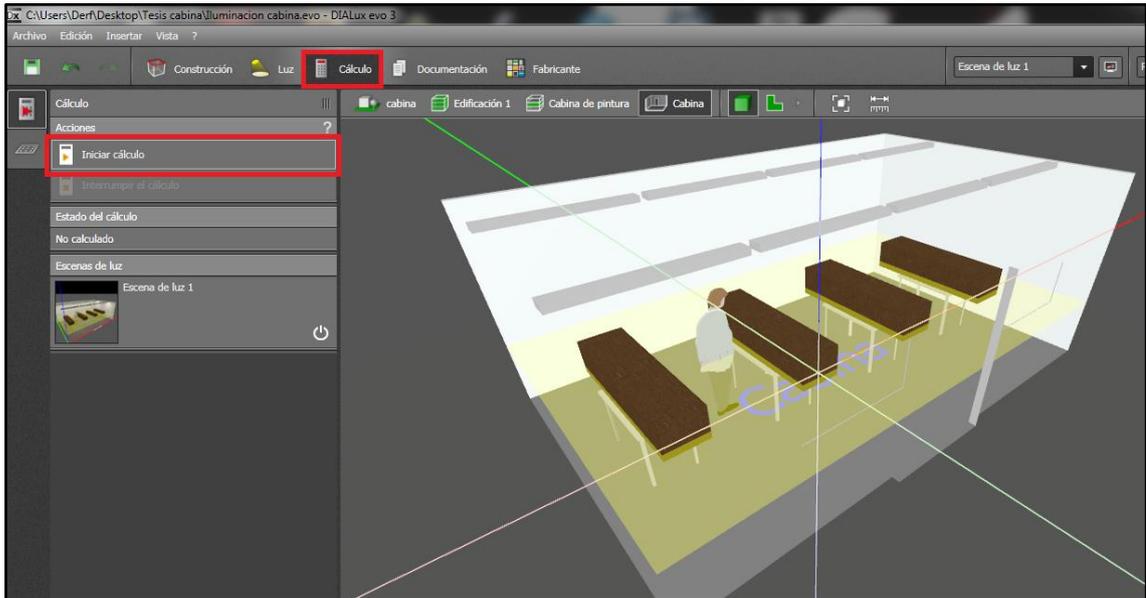


Figura 71: Cálculo iluminación cámara de pintura

Después de culminados los cálculos se tiene como resultado un mapa que muestra cómo actúa el flujo luminoso en las zona de aplicación de pintura y como se distribuye en los elementos que están dentro de la cámara de pintura (Figura 72).

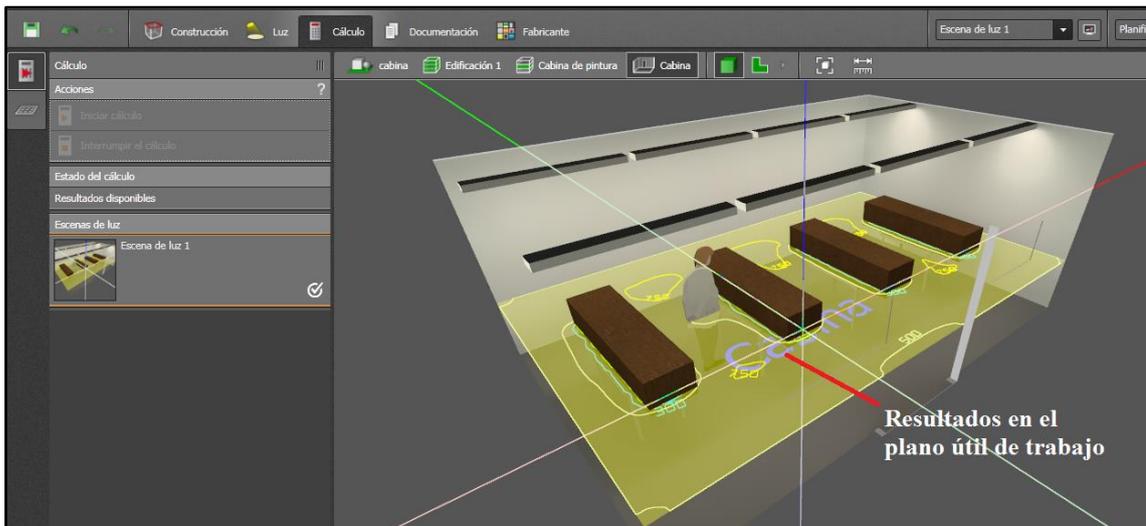


Figura 72: Resultados en el plano útil de trabajo

Los resultados obtenidos satisfacen las necesidades antes establecidas para el proceso de pintado de los cofres, con esto se asegura una correcta iluminación al momento de aplicar las diferentes pinturas. Existe la recomendación de pintar de blanco para aumentar la

reflexión de las paredes (Figura 73), con esto no se tienen muchas sombras dentro de la cabina.

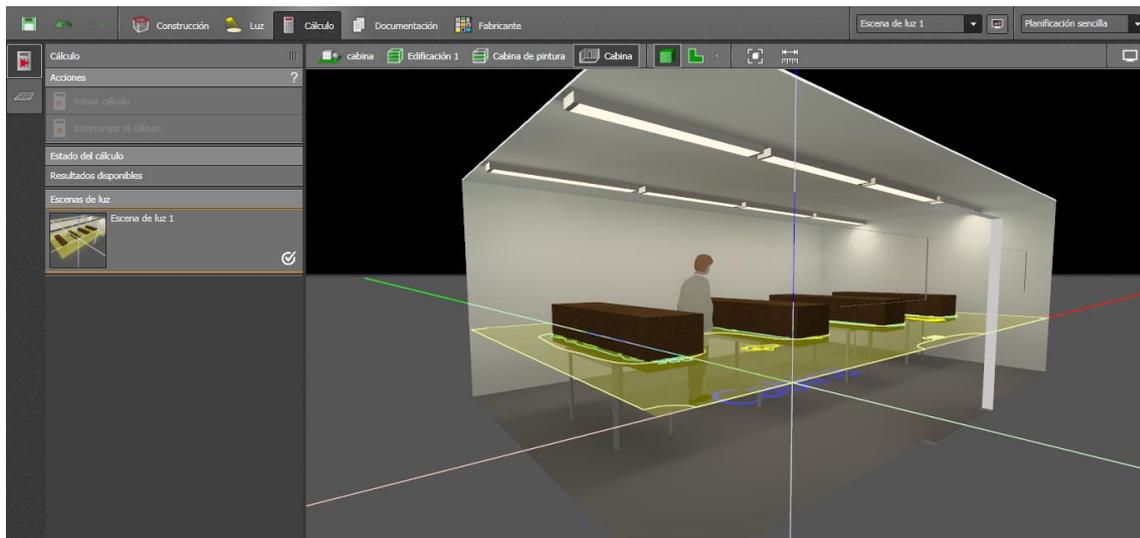


Figura 73: Vista de las luminarias desde otro ángulo

4.14. Control de temperatura

Para el proceso de secado de los cofres es ideal seleccionar un controlador que cumpla con la necesidad de mantener una temperatura estable. El controlador seleccionado (Figura 74) en este caso es un controlador electrónico con una salida a relé y una salida de alarma, con esto se puede mantener a una temperatura constante mediante un sistema on-off. Este controlador puede ser acoplado a diversos tipos de sensores.



Figura 74: Controlador de temperatura.

En la Figura 75 se observa el diagrama de control y potencia de la cámara de secado, el controlador está definido como (PG1).

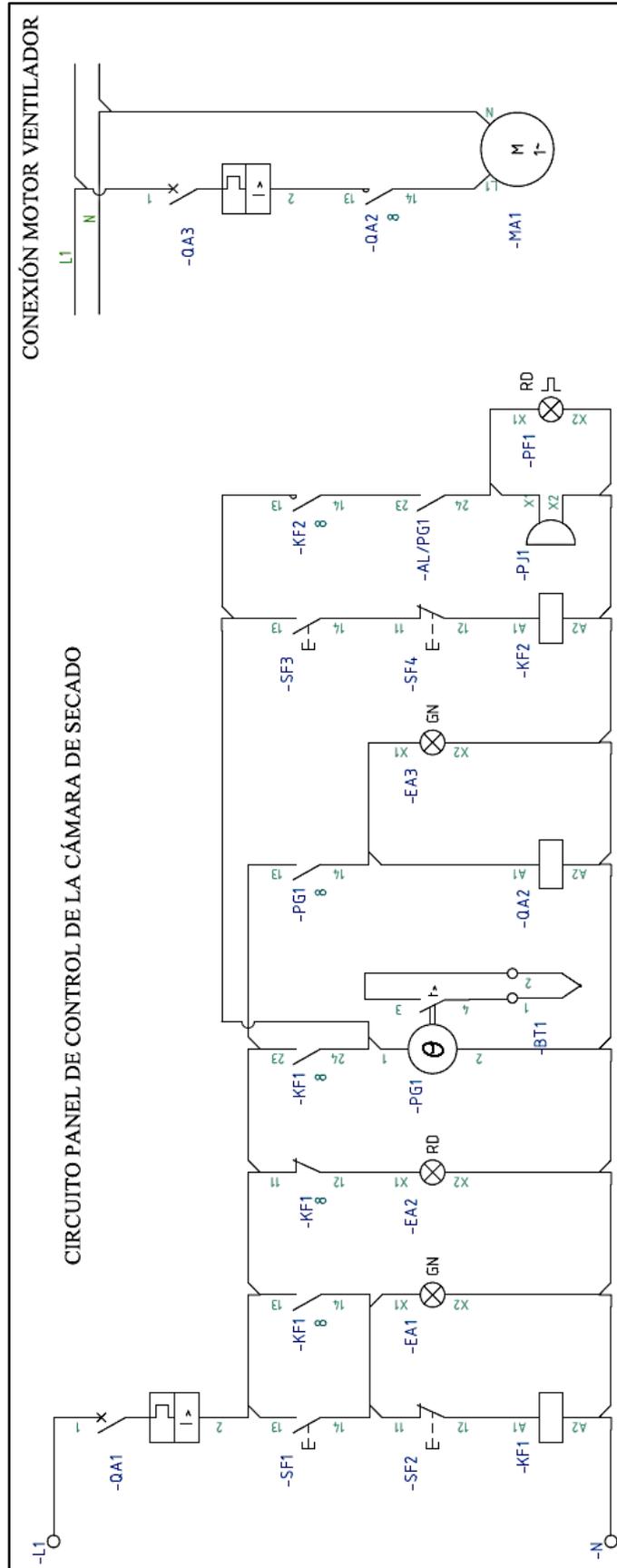


Figura 75: Esquema según norma IEC del control y ventilador de la cámara de secado.

El funcionamiento del controlador se basa en comparar la señal del sensor con un valor establecido internamente en el controlador según el requerimiento del proceso, este valor se lo denomina *setpoint*, según se programe al controlador mantendrá equilibrada y constante a la temperatura dentro de la cámara de secado.

El sensor utilizado dentro de la cámara de secado es una termocupla o termopar tipo K (BT1), este sensor es uno de los más utilizados debido a su amplio rango de temperaturas (-200 °C a 1.250 °C). Además el sistema consta de una salida de alarma (A1/PG1) del controlador, para indicar cuando el combustible se a combustionado en su totalidad para repostar más retazos de madera dentro del generador de aire caliente, según el cambio de temperatura en el proceso.

4.15. Control ventilador de la cámara de pintura

Para la conexión se utiliza un arrancador, básicamente es la conexión de un contactor (QA2) con un relé térmico acoplado (KF1), accionado desde la cámara de pintura. La Figura 76 muestra el control y el esquema de conexión del ventilador centrífugo.

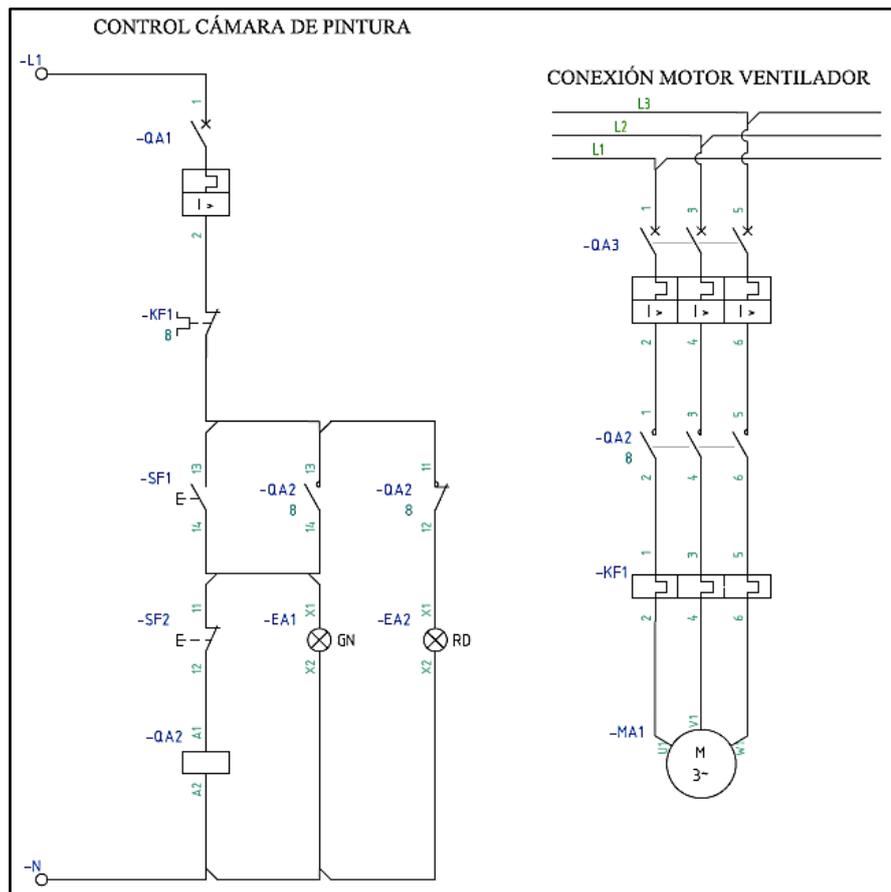


Figura 76: Esquema según norma IEC del ventilador de la cámara de pintura.

4.16. Construcción de las cámaras de pintura y secado

La cámara de pintura así como la cámara de secado son construidas de acuerdo a los parámetros de diseño antes elaborados, siguiendo todos los valores con respecto a sus dimensiones y recomendaciones.

Como se analizó antes, la ubicación de las cámaras se realizó siguiendo el diagrama de recorrido dentro de la planta para mejorar el proceso productivo y tener una secuencia con los demás procesos teniendo mucho cuidado ya que iniciada la obra no podrá ser movida a futuro.

4.16.1. Construcción de las fosas

La construcción empieza con la obra civil de las fosas (Figura 77), siendo una cabina al ras del piso, estas tienen la finalidad de evacuar el aire renovado dentro de la cámara de pintura. Se realizaron canales que se intersecan en un solo punto con un ducto para la salida del aire por el techo de la fábrica.

El diseño de los canales se realizó de forma que se eviten tener secciones de ángulo recto para evitar pérdidas de presión según las recomendaciones en el diseño de ductos, además toda la estructura estará sobre estas fosas.



Figura 77: Construcción de las fosas de a cámara de pintura

El diseño de los canales se realizó de forma que se eviten tener secciones de ángulo recto para evitar pérdidas de presión según las recomendaciones en el diseño de ductos, además toda la estructura estará sobre estas fosas.

A lo largo del área del canal donde serán dispuestos los cofres, han sido elaboradas rejillas (Figura 78) en forma de *double pits* para la evacuación de las partículas y vapores generados por la aplicación de la pintura.



Figura 78: Rejillas para las fosas de la cámara de pintura.

Con este método se logra optimizar factores como tiempo y recursos, al contrario de las cabinas que tienen unas fosas construidas estructuralmente sobre el nivel del piso teniendo una mayor inversión.

4.16.2. Construcción de la estructura de las cámaras.

Las paredes y techos han sido elaborados siguiendo el diseño, análisis y selección de materiales (Figura 79). Las paredes y techos han sido ensamblados por partes, trasladando las paredes y el techo a la zona establecida para la implementación de las cámaras.



Figura 79: Construcción estructura de paredes y techo

Las paredes y techo están unidos mediante soldadura (Figura 80), toda la estructura ha sido recubierta con pintura anticorrosiva para evitar el deterioro de los tubos que componen parte de la misma.



Figura 80: Estructura ensamblada de las cámaras de pintura y secado.

La estructura se diseñó con una configuración similar a la de los buses permitiendo tener robustez para soportar las cargas antes analizadas por el techo.

4.16.3. Aislamiento de paredes y techo

Los aislantes térmicos son materiales con una alta resistencia térmica, siendo una barrera para el paso de calor, en este caso el material utilizado es la lana de vidrio, al ser un material poroso, estancando una temperatura que se encuentre recubierta por este material.

Según el diseño las paredes y techo están aisladas térmicamente (Figura 81) con una configuración en la que lana de vidrio de 5cm de espesor, es recubierta por láminas de tol galvanizado de 0.7mm de espesor para conservar la temperatura y reducir las pérdidas de calor.



Figura 81: Aislamiento de paredes y techo de la estructura

Las láminas de tol han sido colocadas interna y externamente sobre los tubos que componen la estructura manteniendo en el interior el aislante de lana de vidrio (Figura 82). Para crear un cierre hermético se ha colocado silicón en las juntas de las láminas de tol reduciendo las perdidas por fugas de aire en las paredes y techo.



Figura 82: Colocación de las láminas de tol en la estructura

4.16.4. Instalación de ventilación y calefacción de aire.

La renovación de aire es posible gracias a la instalación de la ventilación mediante los ductos y el ventilador seleccionado en el proceso de diseño evacuando el aire hacia el exterior. Para que exista una circulación de aire existe una sobrepresión en la cámara de pintura, mientras que en la cámara de secado el aire es recirculado con un 10% de renovación con aire del exterior. En la Figura 83 se puede apreciar la instalación de los ductos y el plenum de las dos cámaras.



Figura 83: Ducto y plenum de la cámara de pintura

Los ductos han sido elaborados con planchas de tol, o chapa de acero galvanizado, estas son usadas generalmente en lugares o instalaciones donde se trabaja con aire o gases y en especial para trabajar con altas temperaturas como la chimenea del generador de calor, este material es clasificado como M0, indicando así que es un material incombustible. Todas las uniones se realizan a través de encajes con juntas acopladas con silicón y remaches.



Figura 84: Ductos elaborados con planchas de acero galvanizado.

Es muy importante que la velocidad a la salida del aire sea baja para que el sistema tenga un correcto funcionamiento, al distribuir el aire por las rejillas del techo provenientes del plenum ya que la corriente de aire excesivo podría provocar ruido, corrientes de aire molestas, mala distribución del caudal.

Las zonas que presentaron fisuras o pequeñas grietas fueron selladas con espuma *poli expanded*, gracias a la facilidad de aplicación y adaptabilidad que presenta este compuesto.

Con los ductos listos y bien sellados se colocó el ventilador seleccionado (Figura 83), este ventilador presenta potentes características de caudal y presión, para que esta máquina pueda trabajar correctamente, la cabina tiene ha sido equipada con un orificio de entrada de aire fresco y un orificio de salida, donde los gases salen previamente filtrados al exterior de las instalaciones. Además el ventilador debe renovar 120 veces por hora evitando la acumulación de vapores en donde el flujo de entrada y salida consta con filtros

(Figura 85), evitando de esta forma que las partículas de polvo ingresen a la cámara de pintura o que las toxinas de la pintura contaminen el aire exterior.



Figura 85: Filtros colocados en el sistema de ventilación

La instalación del generador de aire caliente se completa al final, tomando especial cuidado en la instalación de la chimenea para la salida de los humos generados por la combustión de los retazos de madera utilizados como combustible.



Figura 86: Instalación del generador de aire caliente

El modelo de generador de aire caliente consta de una robusta salida, razón por la cual se acopla directamente el ducto elaborado en chapa de acero galvanizada para su expulsión por el techo de la fábrica.

Para el correcto funcionamiento del generador de aire caliente se instala un panel de control para regular la temperatura dentro de la cámara de secado y mantenerla estable, determinando un valor en el *setpoint* del controlador de temperatura.



Figura 87: Instalación del panel de control de la cámara de secado y del sistema de ventilación

El panel consta con un circuito independiente para el control del ventilador centrífugo instalado en la cámara de pintura, el sistema para la cámara de secado forma parte de otro circuito en donde su función es mantener la temperatura constante, para activar o desactivar un ventilador independiente que se encuentra dentro del generador de aire caliente, todos estos cuentan con indicadores colocados en la parte frontal del panel, así como botoneras para la activación de los circuitos y la programación del controlador electrónico.

4.17. Instalación de las luminarias

La iluminación dentro de una cámara de secado es muy importante, gracias a ello el operario encargado de aplicar las capas de pintura tiene una mejor percepción de los detalles y el acabado del cofre. Con los factores precedentes a la instalación de las luminarias se crea un ambiente bien iluminado, utilizando tubos de luz T8 que son mucho más eficientes energéticamente comparados con otras luminarias.

Todas las conexiones están contenidas en el panel de control principal con los dispositivos de protección necesarios para su funcionamiento.



Figura 88: Instalación de luminarias

4.18. Pruebas de las cámaras de pintura y secado

Tras la implementación de la cabina de pintura se realizan las pruebas bajo parámetros como tiempo de secado y temperatura en la cámara de secado, velocidad del aire dentro de la cámara de pintura y la cantidad de combustible utilizado en el generador de aire caliente.

Para establecer los valores óptimos del secado de sellador, fondo y laca se realizaron algunas observaciones estableciendo el valor de temperatura adecuado en 45°C. Según esto se determinó el tiempo de secado según las observaciones de la Tabla 15.

Tabla 15: Tiempos secado de pintura en cámara

Núm.	Tiempo secado sellador (min)	Tiempo secado fondo (min)	Tiempo secado laca (min)
1	85	135	195
2	75	128	188
3	81	139	191
4	73	134	185
5	75	135	190
6	80	137	187
7	82	141	200
8	77	135	187
9	84	135	179
10	73	135	193
11	73	136	192
12	88	137	194
13	83	135	189
14	84	138	193
15	86	136	184
Promedio (min)	79,9	135,7	189,8

Con los valores de la Tabla 15 se ha establecido que el tiempo de secado para el sellador es de 79,9 min, para el fondo o imprimante es de 135,7 min y para el acabado laca 189,8 min.

Realizando las comparaciones mostradas en la Figura 89 entre los tiempos anteriores y el actual, se nota la disminución de esta variable, teniendo consigo una notable mejora en la capacidad de producción al disminuir el tiempo de secado de los cofres

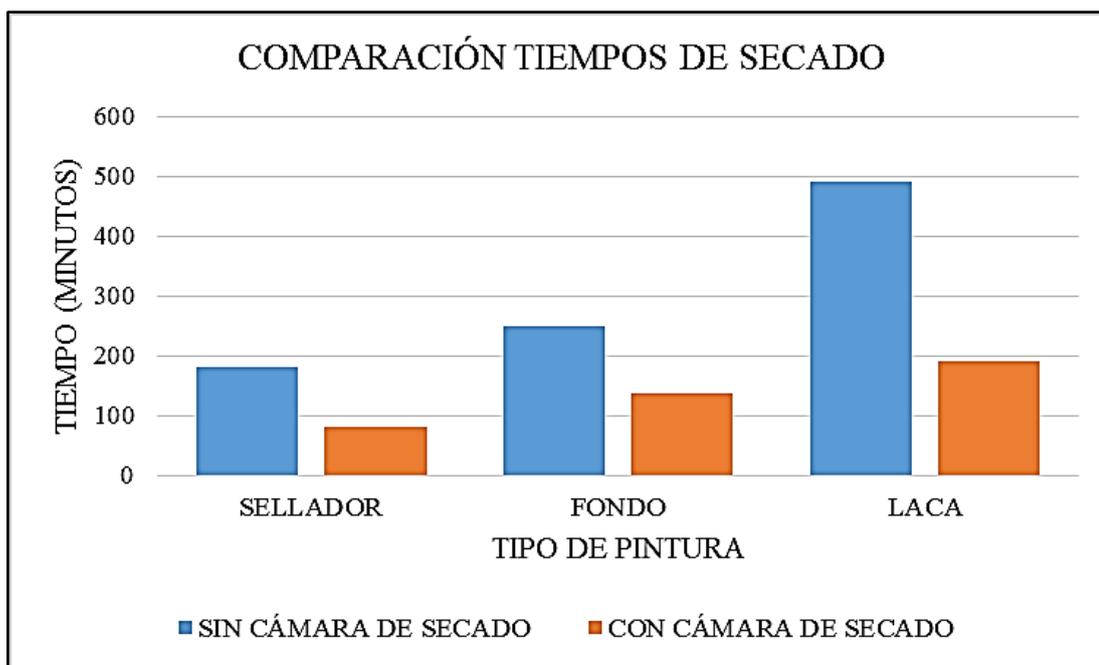


Figura 89: Comparación de tiempos de secado tras la implementación de las cámaras de secado.

Los tiempos de secado se han reducido a menos de la mitad en los tres casos (Figura 89). Al exponer la pintura a temperaturas de 40 a 50 °C se logra un mejor acabado sobre todo por los filtros presentes en las cámaras.

La reducción de tiempo, se refleja en la mejora de la capacidad de producción del proceso de pintura, a través de un análisis durante cuatro semanas, se establece la cantidad de cofres pintados en este periodo según la Tabla 16.

Tabla 16: Cofres pintados en cabina de pintura

SEMANAS	COLOCADO SELLADOR	COLOCADO FONDO	PINTADO ACABADO
SEMANA 1	33	28	34
SEMANA 2	31	32	28
SEMANA 3	29	30	31
SEMANA 4	35	30	31
TOTAL	128	120	124
PROMEDIO	32	30	31

Los datos determinan la cantidad de cofres que se pintan en un día dividiendo el promedio de cofres semanales y se sumaran los procesos en los que se aplica sellador, fondo y laca para el acabado para encontrar el promedio que se pinta diariamente.

- Cofres con sellador con un promedio de 32 en una semana de 5 días, por ende en un día se tiene:

$$\text{Aplicados sellador} = \frac{32 \text{ cofres} * 1 \text{ semana}}{\text{semana} * 5 \text{ días}} \quad (69)$$

$$\text{Aplicados sellador} = 6.4 \frac{\text{cofres}}{\text{día}} \Rightarrow 7 \frac{\text{cofres}}{\text{día}}$$

- Cofres con fondo o imprimante con un promedio de 30 en una semana de 5 días, por ende en un día se tiene:

$$\text{Aplicados fondo} = \frac{30 \text{ cofres} * 1 \text{ semana}}{\text{semana} * 5 \text{ días}} \quad (70)$$

$$\text{Aplicados fondo} = 6 \frac{\text{cofres}}{\text{día}}$$

- Cofres con laca brillante o acabado con un promedio de 31 en una semana de 5 días, por ende en un día se tiene:

$$\text{Acabados} = \frac{31 \text{ cofres} * 1 \text{ semana}}{\text{semana} * 5 \text{ días}} \quad (71)$$

$$\text{Acabados} = 6.2 \frac{\text{cofres}}{\text{día}} \Rightarrow 7 \frac{\text{cofres}}{\text{día}}$$

Con esto se puede establecer que sumados los tres procesos se pintan la siguiente cantidad de cofres en un día.

$$\text{Total cofres en un día} = \frac{(7+6+7)\text{cofres}}{\text{día}} \quad (72)$$

$$\text{Total cofres en un día} = 20 \frac{\text{cofres}}{\text{día}}$$

Por lo tanto para determinar la capacidad de producción de cofres pintados para el proceso subsiguiente al de pintura después de la implementación de las cámaras se tiene:

$$C_p = \frac{6.66 \text{ cofres}}{\text{día}} * \frac{1 \text{ día}}{8 \text{ hr}} = 0.833 \frac{\text{cofres}}{\text{hr}}$$

Comparando la capacidad anterior de 0.56 cofres/hr sin las cámaras, es evidente la mejoría dentro del proceso, pero al ser las primeras semanas en la que se aplica la pintura dentro de la cabina, se espera que esta capacidad tienda a ser mayor hasta llegar a un punto en el que se estabilice. En la Figura 90 se puede comparar los cofres pintados según el tipo de pintura.

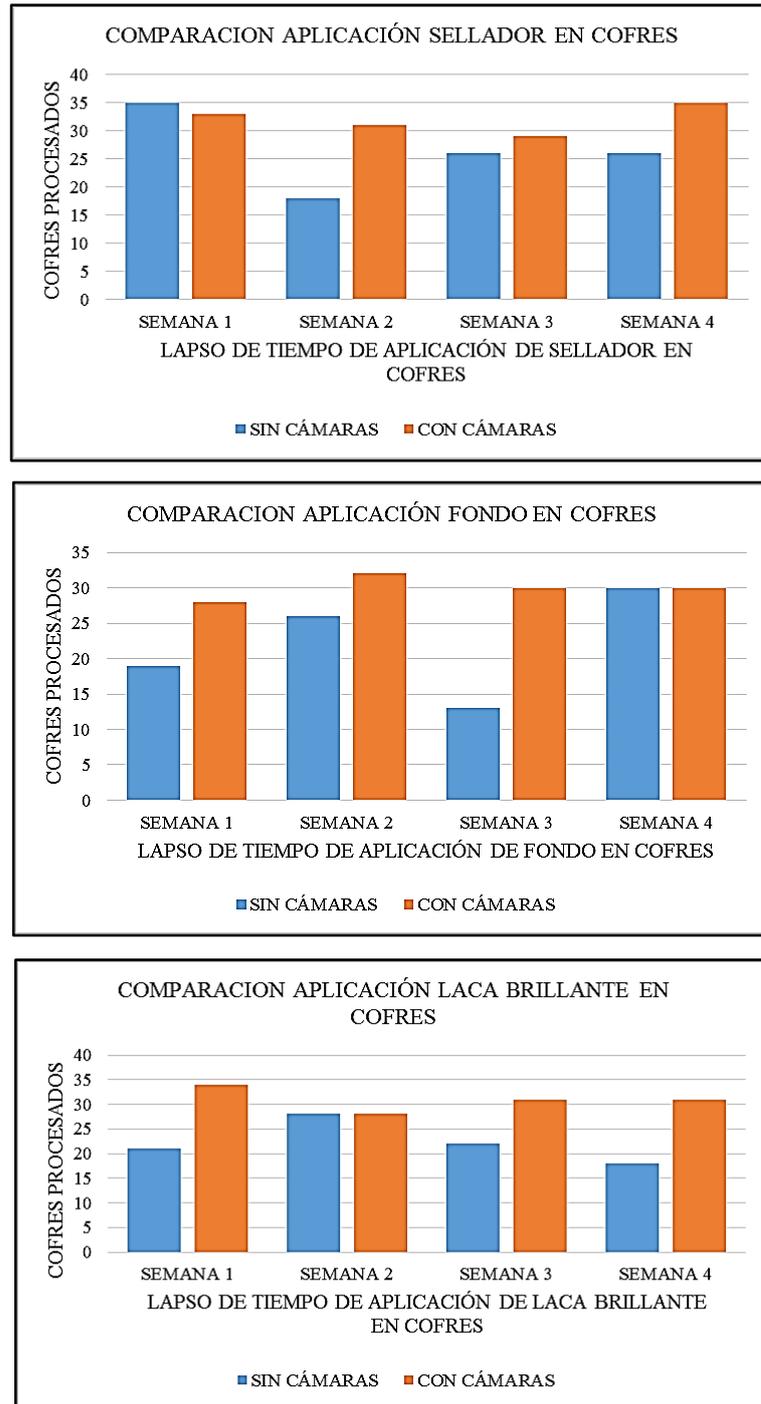


Figura 90: Comparación de cofres en el proceso de pintura tras la implementación de las cámaras de pintura y secado.

Las partículas de pintura son evacuadas al renovar el aire en el interior de la cámara de pintura y secado evitando que las partículas de pintura se adhieran a la superficie de los cofres teniendo un acabado tipo espejo de la laca teniendo un ambiente adecuado comparado al no contar con una cámara de secado (Figura 91).



Figura 91: Comparación de secado de cofres mortuorios.

La velocidad del flujo de aire presente en la cámara de pintura es de acuerdo al diseño antes establecido y ha sido medido a través de un anemómetro con velocidades de 0,2 m/s en las salidas del plenum y de 8 a 9 m/s en los ductos. En la Figura 92 se observa las partículas de pintura que se mantienen en suspensión en la parte (a), mientras que estas partículas son evacuadas rápidamente en la parte (b), mostrando la ventaja de trabajar con una cabina de pintura.



Figura 92: Comparación de ventilación de partículas de pintura

El área del galpón que ocupan las dos cámaras dentro del área de pintura es de 48m² (33.33%), teniendo una zona disponible de 96m² para la realización de otras actividades. En esta área ahora se realiza el proceso de tapizado (Figura 93), optimizando el tiempo que se utilizaba para transportar los cofres a otro taller para esta actividad así como el tiempo que los operarios perdían al dejar los cofres en el otro taller.



Figura 93: Optimización del espacio dentro de la fábrica Las Maderas

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

- Con el estudio del proceso productivo se estableció el dimensionamiento y la capacidad que deben tener las cámaras de pintura y secado como punto de partida para su diseño y su posterior construcción, estableciendo las dimensiones de la cámara de pintura en 6,5 m x 4 m x 2,5 m y la de secado en 5,5 m x 4 m x 2,5 m.
- Dentro del diseño se cumplieron normas como las NFPA, OSHA y UNE-EN, que establecen que materiales deben ser usados para la construcción de este tipo de equipos así como parámetros de seguridad, ventilación e iluminación. En esta etapa se utilizaron programas para realizar simulaciones obteniendo una gran ventaja al momento de realizar la construcción de las cámaras.
- Para la implementación de las cámaras de pintura y secado se realizó un análisis del proceso de pintura, estableciendo parámetros como el área utilizada para la aplicación de pintura y la capacidad de producción inicial, en donde se observó que se está desaprovechando el área en planta utilizada para el proceso de pintura en donde se utilizaba solo el 16 % del área total destinada a proceso de pintura.
- Se ha utilizado además la misma zona donde se realizaba el proceso de pintura para las actividades de tapizado, ocupando el 40% del espacio, además de secar los cofres en una cámara continua, mejorando así un punto crítico en la elaboración de los productos realizados dentro de la fábrica ya que gracias a ello los cofres ya no se tapizan en otro taller.
- El sistema de ventilación diseñado cumple adecuadamente con lo calculado en especial en lo referente a las velocidades de circulación del aire a través de los ductos con velocidades que bordean los 8 m/s y en las entradas del plenum con

valores bajos de aproximadamente 0.25 m/s, gracias a esto se reducen los niveles de ruido al transportar el aire creándose una presión positiva dentro de las dos cámaras, evacuando rápidamente las partículas de *overspray* mejorando sustancialmente el ambiente de trabajo en donde se aplica la pintura evitando así los riesgos de enfermedades profesionales ocasionadas por los componentes de los diferentes tipos de pinturas.

- Para el secado de los cofres se efectuó pruebas en un rango de 30 a 60°C en donde se observó que a temperaturas de 60°C la pintura de los cofres se calentaba en exceso teniendo una reacción en la pintura en donde se formó unas burbujas pequeñas provenientes desde el interior, por esta razón se realizaron pruebas a temperaturas más bajas estableciéndola en 45°C como la temperatura ideal para el curado de la pintura, mientras que a temperaturas más bajas el tiempo de secado aumenta. El control de la temperatura se realiza mediante un controlador electrónico el cual mantiene la temperatura en un rango de 44 a 45°C.
- Al comparar los tiempos de secado de la pintura en los cofres dentro de la cámara con flujo de aire caliente a secar al medio ambiente se ha establecido una importante reducción de tiempo aproximada de un 55% menos, teniendo además un acabado tipo espejo para la capa final de laca.
- Los desechos utilizados como combustible, resultantes del proceso de corte abastecen satisfactoriamente al generador de calor, teniendo así un ahorro con respecto a este parámetro, comparado a si se calentara como otros combustibles como gas o calentadores eléctricos. Se estableció que los desechos más óptimos de madera son los de MDF debido a su facilidad de combustión y a su mayor potencia calorífica en donde dos kg calientan la cámara de secado alrededor de una hora hasta insertar más cantidad de retazos de tableros. Esto se logró gracias a la configuración de doble combustión y a la regulación del ingreso de aire en la cámara de combustión principal.

5.2. Recomendaciones

- La limpieza de la cámara de pintura debe realizarse todos los días al finalizar el trabajo para evitar que las partículas de pintura formen capas gruesas en el piso, mientras que la cámara de secado debe ser limpiada cuando no haya cofres secándose o cuando la pintura este seca.
- Dentro de la cámara de secado no se debe almacenar los tarros de pintura ni solventes, respetando la normativa de la NFPA-33 en donde se establece que dichos materiales deben estar a una distancia de 6m de la cabina de pintura.
- Mientras la cámara de secado no esté en uso sus puertas deben permanecer cerradas para evitar que ingrese el polvo proveniente de los otros procesos que se realizan en la planta de producción.
- El piso de las fosas puede ser llenado con un poco de agua en la base para evitar que las partículas se levanten o salgan al exterior.
- El generador de aire caliente debe ser precalentado por 10 minutos en la primera operación de cada día, para calentar el aire de la cámara de secado.
- Los tubos del intercambiador de calor se deben limpiar por lo menos una vez al año, lo recomendable es realizar una tarea de mantenimiento dos veces al año, retirando las partículas resultantes de la combustión o también denominado hollín.
- Los filtros deben ser cambiados en las fechas recomendadas por las empresas que elaboran los mismos, para evitar que se genere una sobrepresión en el plenum o en la cámara de pintura debido a que el aire no circula con facilidad por lo filtros.
- Se recomienda que los cofres deben ser limpiados afuera de la cámara de pintura para evitar que el polvo que se encuentra sobre estos se acumule sobre el piso de la cabina.
- El generador de calor cuenta con una alarma para indicar que la leña se está acabando y que hay que ingresar más retazos de madera con la precaución de no contactar las zonas que se encuentran calientes, pero esta actividad puede ser automatizada en un futuro.
- Cuando se requiere realizar una inspección dentro de la cámara de secado y los cofres han sido ingresados recientemente, la o las personas encargadas deben ingresar con máscaras con filtros de carbono activo, debido a los vapores que se crean por un corto lapso de tiempo.

- Los operarios que aplican las capas de pintura, mientras estén realizando la actividad dentro de la cabina siempre deben llevar los equipos de protección personal como mascarar *full face*, guantes resistentes a los solventes, traje para pintura u overol y un protector para la cabeza.
- Se deben realizar estudios a futuro en lo referente a la seguridad industrial, productividad y la calidad con la finalidad de mejorar aún más el proceso presente dentro de la fábrica.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] I. S. A., LIBRO BLANCO PARA LA MINIMIZACION DE RESIDUOS Y EMISIONES, Bilbao: IHOBE S. A., 2001.
- [2] L. H. Fuquene Acosta, «EVOLUCIÓN EN LA APLICACIÓN DE PINTURA - CABINAS,» *El Mueble y la Madera*, nº 52, pp. 107-114, 2006.
- [3] Rougeron, AISLAMIENTO ACÚSTICO Y TÉRMICO EN LA CONSTRUCCIÓN, Barcelona: Editores Técnicos Asociados S. A., 1977.
- [4] N. Europea, «ILUMINACIÓN DE LOS LUGARES DE TRABAJO,» AENOR, Génova, 2003.
- [5] R. Goberna y R. Hughes, VENTILACIÓN INDUSTRIAL, Valencia: ISBN, 1988.
- [6] G. Contreras, «AIRE RESPIRABLE Y SU INCIDENCIA EN LA SALUD LABORAL,» HSEG MAGAZINE, Santiago, 2013.
- [7] J. Guamanquispe, «Diseño y construcción de un extractor de polvo y viruta para los Talleres de los Socios del Gremio de Artesanos Profesionales de la Madera y Afines de Tungurahua 8 de julio del Cantón Ambato.,» Repositorio de la UTA, Ambato, 2012.

- [8] S. Huertas, «Ventilación y extracción localizada,» Mundo HVCA&R, Barcelona, 2013.
- [9] D. R. A. Filter, «Air filters & products,» Dayton Reliable Air Filter, [En línea]. Available: http://www.reliablefilter.com/paint_booth_filters.htm. [Último acceso: 14 Agosto 2014].
- [10] N. Castilla Cabanes, V. Blanca Giménez, A. Martínez Antón y R. M. Pastor Villa, «LUMINOTECNIA, CÁLCULO SEGÚN EL MÉTODO DE LOS LÚMENES,» UPV, Valencia, 2000.
- [11] Mator, «Equipos y soluciones Mator S. L.,» [En línea]. Available: <http://www.mator.es/index.php/maquinaria-clima/generador-de-aire-caliente-grandes-volumenes/generadores-calefaccion-madera-Mator%20Industrial.html>. [Último acceso: 10 Junio 2014].
- [12] J. E. Castells, LOS RESIDUOS COMO COMBUSTIBLES, Madrid: Ediciones Díaz de Santos, 2012.
- [13] A. Fontanals García, CÁLCULO DE CONDUCTOS DE AIRE, Barcelona: CEAC, 1997.
- [14] R. Mott, MECÁNICA DE FLUIDOS, México: PEARSON EDUCATION, 2006.
- [15] J. F. Coronel Toro, «COLECCIÓN DE TABLAS, GRÁFICAS Y ECUACIONES DE TRANSMISIÓN DE CALOR,» Universidad de Sevilla, Sevilla, 2014.
- [16] P. A. Proaño Cadena, M. N. Cajas Montalvo y B. P. Leiva Zambrano, «DISEÑO, SELECCIÓN E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE CLIMATIZACIÓN A GAS PARA LA CABINA DE PINTURA DE LA FACULTAD DE MECANICA AUTOMOTRIZ DE LA UNIVERSIDAD INTERNACIONAL DEL ECUADOR,» UNIVERSIDAD INTERNACIONAL DEL ECUADOR, Quito, 2010.
- [17] F. J. Maza Montenegro y D. E. Merchán Urquiza, «DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA CABINA-HORNO A BASE DE UN QUEMADOR GLP PARA PINTURA AL HORNO DE CARROCERÍAS METALICAS PARA LA

EMPRESA SOLUCIONES MECÁNICAS INTEGRADAS SOLMEC,»
ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO, Sangolquí, 2008.

- [18] R. X. Bohórquez Andrade y R. H. Fiallos Manzano, «DISEÑO Y CONSTRUCCION DE UNA CABINA-HORNO PARA EL ACABADO Y SECADO DE LA PINTURA APLICADA EN LA CARROCERIA DE VEHÍCULOS PARA EL “CENTRO MECÁNICO DE SERVICIOS NAVAS INGENIERÍA AUTOMOTRIZ,» ESCUELA POLITECNICA DEL EJÉRCITO, Sangolqui, 2005.
- [19] D. P. Ochoa Herrera, «DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA CABINA DE PINTADO - SECADO DE VEHÍCULOS,» ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL, Guayaquil, 2006.
- [20] P. A. Proaño Cadena, M. N. Cajas Montalvo y B. P. Leiva Zambrano, «DISEÑO, SELECCIÓN E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE CLIMATIZACIÓN A GAS PARA LA CABINA DE PINTURA DE LA FACULTAD DE MECANICA AUTOMOTRIZ DE LA UNIVERSIDAD INTERNACIONAL DEL ECUADOR,» UNIVERSIDAD INTERNACIONAL DEL ECUADOR, Quito, 2010.

ANEXOS

Anexo 1: Comparación para diferentes aspectos del secado al aire / secado forzado con el secado en horno [1].

	Secado al aire (ambiente) / Secado forzado	Secado en horno
Versatilidad frente al sustrato	- Puede ser aplicado a todo tipo de sustratos (metales, plásticos, madera, caucho, etc.)	- Puede ser aplicado únicamente sobre metales y sustratos que soporten altas temperaturas. No se recomienda su uso para materiales sensibles a la temperatura como plásticos, cauchos, madera, etc. - No se debe aplicar sobre mecanizados u otras superficies que se puedan deformar sin tomar precauciones
	- Puede ser aplicado sobre materiales porosos como papel, madera	- Pueden provocar burbujas o ampollas en sustratos porosos. El precalentamiento puede hacer frente a este problema, pero añade un paso más al proceso
Requisitos de calentamiento	- Puede secar y curar desde temperatura ambiente hasta los 90°C - Las pinturas en base disolvente no requieren un horno, aunque un horno a baja temperatura acelerará el proceso de secado - Las pinturas en base agua se beneficiarían de un horno a baja temperatura, particularmente en ambientes muy húmedos - Ofrecen un menor consumo energético	- Generalmente se trabaja a temperaturas mínimas de 120°C. Un tiempo de curado típico puede ser 15 minutos a 150°C. Los tiempos de curado son inversamente proporcionales a la temperatura. Se requiere un área de enfriamiento.
		- Requieren temperaturas elevadas, y por tanto, un alto consumo energético
Propiedades físico-químicas	- La mayoría de las pinturas de un componente, tales como las alquídicas y alquídicas modificadas, no presentan propiedades físico-químicas superiores a las de dos componentes y a las pinturas de secado al horno.	- Poseen excelentes propiedades físicas y de resistencia química. Las características específicas dependerán del tipo de producto.
Defectos	- No se suelen producir defectos en la superficie (piel de naranja), aunque esto depende en gran medida del sistema de aplicación (mínimo en aerográficas, variable en mixtas y máximo en airless). El secado forzado a temperaturas elevadas, pero inferiores a 90°C, puede aliviar parcialmente este efecto	- Se debe tener un buen control del horno para así obtener acabados de alta calidad y sin defectos
Tiempo de curado	- Requiere más tiempo el alcanzar la dureza necesaria, lo cual puede afectar a los programas de producción	- Después del secado y enfriamiento, las piezas pintadas están generalmente listas para su ensamblado o expedición
Requerimientos de limpieza	- El pulverizado sobrante se seca en las cabinas de pintado (filtros, suelos, paredes...), por lo que el mantenimiento no es un problema significativo	- El pulverizado sobrante no curado permanece pegajoso, haciendo complicado andar en las cabinas de pintado. El mantenimiento es más costoso debido a la dificultad de manipulación del material pegajoso

Anexo 2: Productos realizados en la Fábrica Las Maderas

Cofre español básico



Cofre español CV



Cofre español Premium



Cofre español TR



Cofre Lincoln



Cofre lineal especial



Cofre tipo Americano



Cofre lineal básico



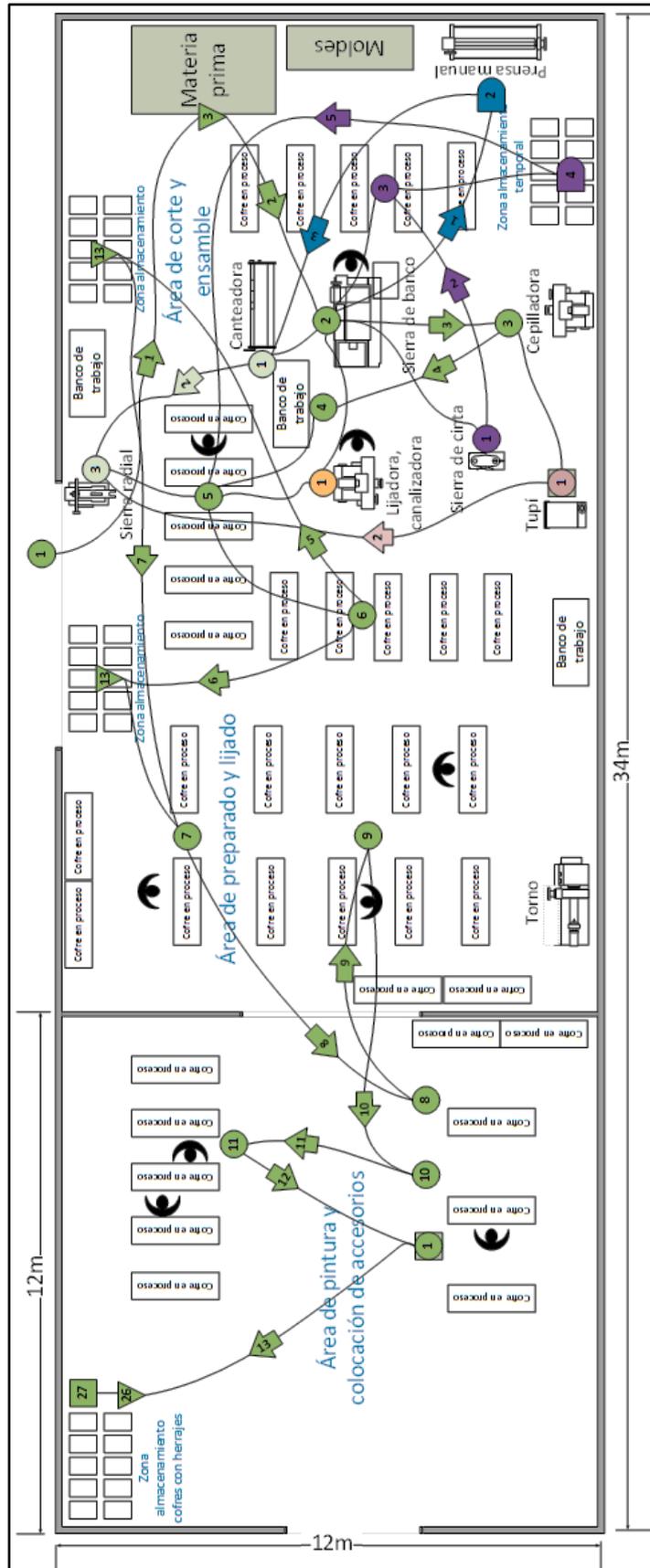
Cofre lineal social



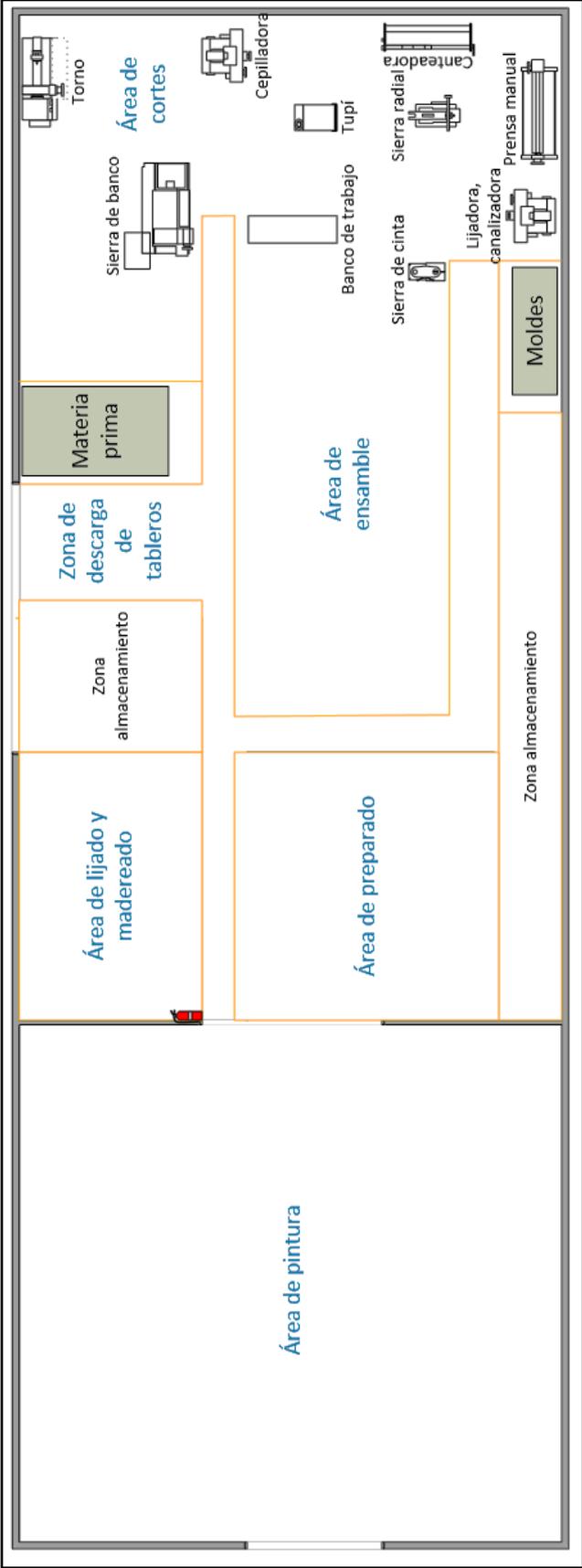
Anexo 3: Ficha levantamiento de procesos

Levantamiento de procesos					
Nombre institución:					
Unidad Organizativa (responsable de la ejecución del procedimiento):					
Cuadro # __: Ficha para el levantamiento de procesos y procedimientos					
Nombre del proceso / procedimiento:					
Nombre del producto principal que genera el proceso / procedimiento:					
Nombre de los productos o servicios al final del proceso / procedimiento:					
Nombre de la unidad administrativa:					
Levantado por:					Fecha:
Num.	Descripción de la actividad	Responsables	Unidad Administrativa	Punto de control	Sugerencias para mejoras
1					
2					
3					
4					
5					
6					
7					
8					
9					
10					
11					
12					
13					
14					
15					
16					
17					
18					
19					
20					

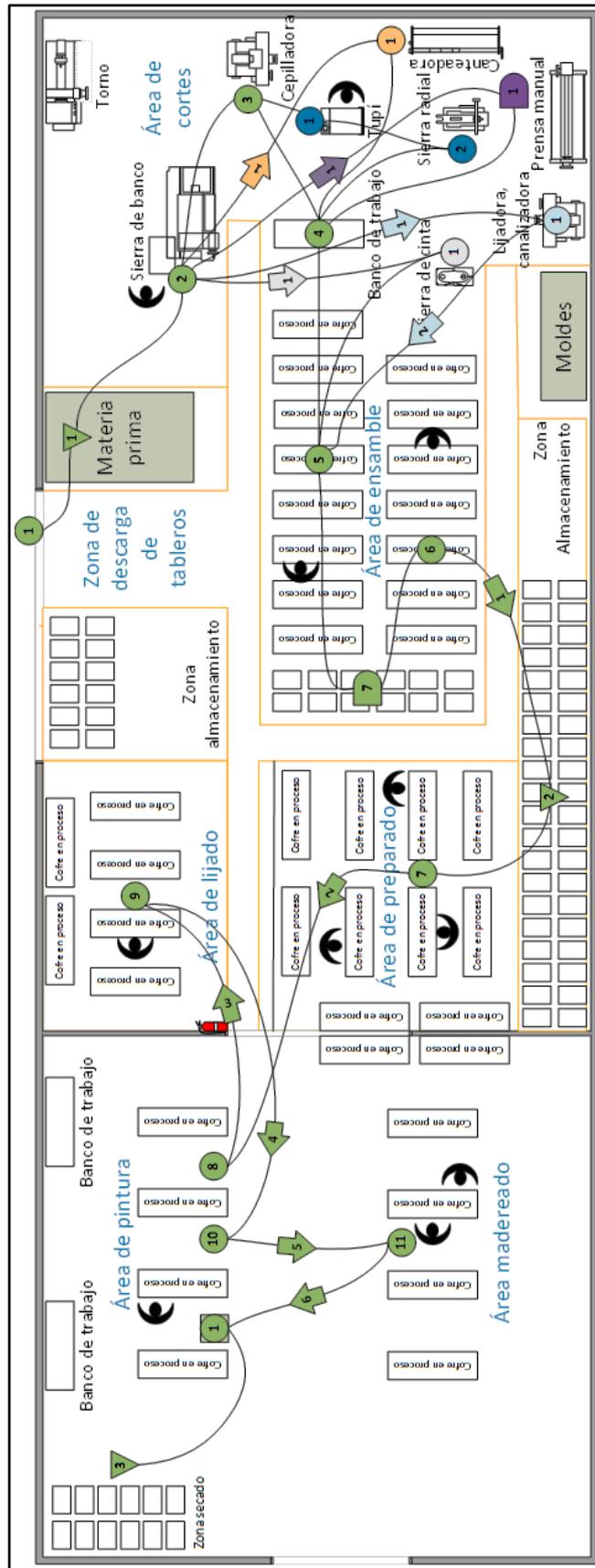
Anexo 4: Diagrama de recorrido planta Las Maderas hasta el año 2013



Anexo 5: Distribución de planta actual fábrica Las Maderas.



Anexo 6: Diagrama de recorrido actual planta Las Maderas



Anexo 7: Soportes para el techo de la cámara de secado

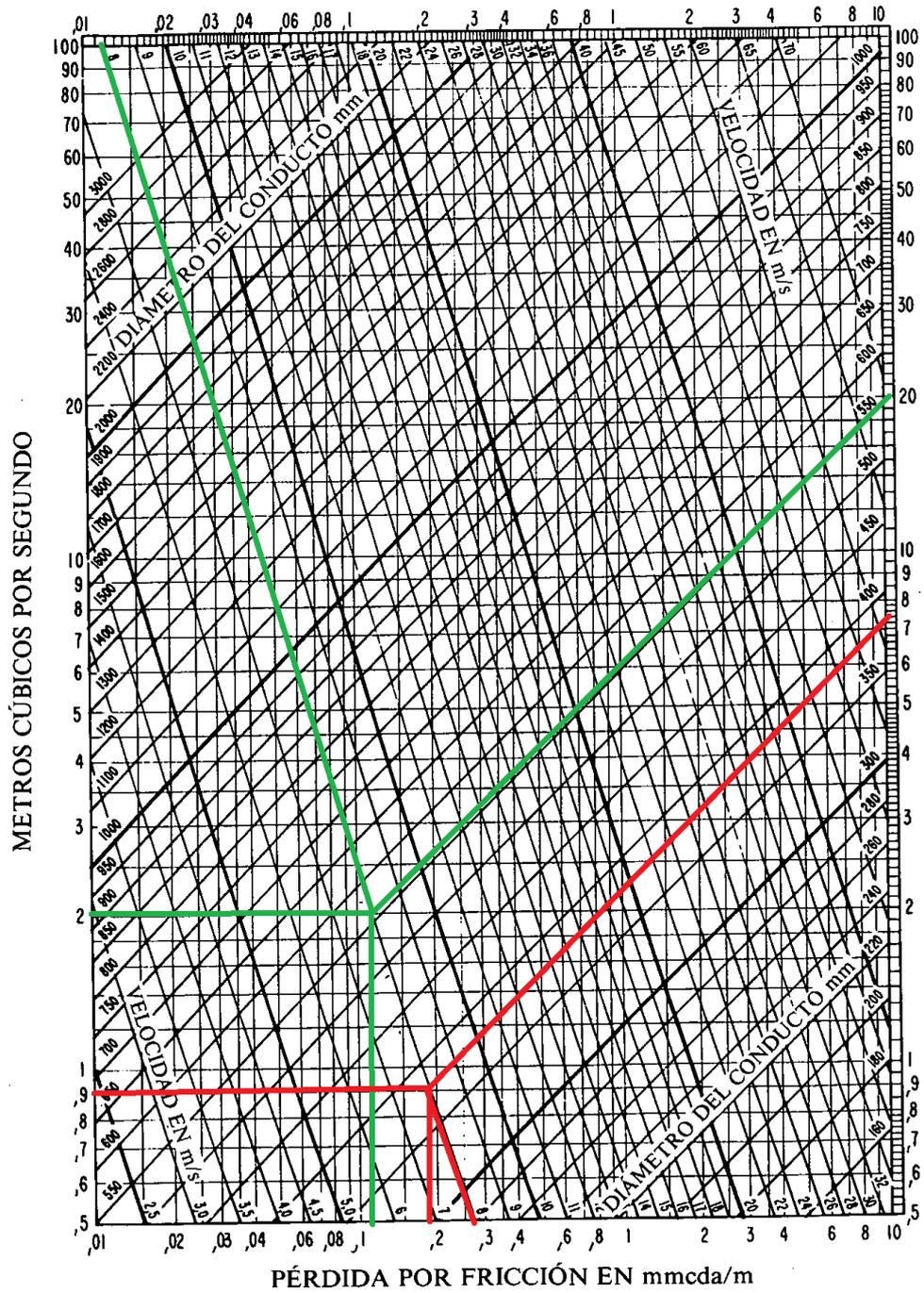


Anexo 8: Velocidad del aire en ductos [13]

**VELOCIDADES RECOMENDADAS PARA SISTEMAS DE BAJA VELOCIDAD
(Pies/min-m/seg)**

Aplicación	Factor de control del nivel de ruido (conductos principales)	Factor de control de rozamiento en conductos			
		Conductos principales		Conductos derivados	
		Suministro	Retorno	Suministro	Retorno
Residencias	600 - 3	1000 - 5	800 - 4	600 - 3	600 - 3
Apartamentos Dormitorios de hotel, hospitales	1000 - 5	1500 - 7,5	1300 - 6.5	1200 - 6	1000 - 5
Oficinas particulares. Despacho de directores. Bibliotecas	1200 - 6	2000 - 10	1500 - 7.5	1600 - 8	1200 - 6
Cine, teatro Auditorios	800 - 4	1300 - 6,5	1100 - 5.5	1000 - 5	800 - 4
Oficinas públicas Restaurantes Comercios de primera Bancos	1500 - 7.5	2000 - 10	1500 - 7.5	1600 - 8	1200 - 6
Comercios de categoría media Cafeterías	1800 - 9	2000 - 10	1500 - 7.5	1600 - 8	1200 - 6
Locales industriales	2500 - 12,5	3000 - 15	1800 - 9	2200 - 11	1500 - 7.5

Anexo 9: Nomograma para el cálculo de pérdidas de carga por rozamiento del aire en conductos de chapa galvanizada [14]



$$h_f = 5,38 \frac{V^{1,9}}{D^{1,22}}$$

h_f : Pérdida por fricción, mmca/m
 V : velocidad, m/s
 D : diámetro, mm

— Cámara de pintura

— Cámara de secado

Anexo 10: Ventilador seleccionado para la cámara de pintura

CBP-1856-4T-4



Ventiladores centrífugos de media presión y simple aspiración, equipados con turbina con álabes hacia atrás con efecto autolimpieza, especialmente diseñados para cabinas de pintura

Ventilador:

- Envoltente en chapa de acero
- Turbina con álabes a reacción. en chapa de acero
- Trampilla de inspección
- CBPC: con salida vertical

Motor:

- Motores eficiencia IE-2. excepto potencias inferiores a 0.75 kw monofásico y 2 velocidades;
- Motores clase F. con rodamientos a bolas. protección IP55
- Trifásicos 230/400V-50Hz (hasta 5.5CV)
- Temperatura máxima del aire a transportar: -20°C + 120°C

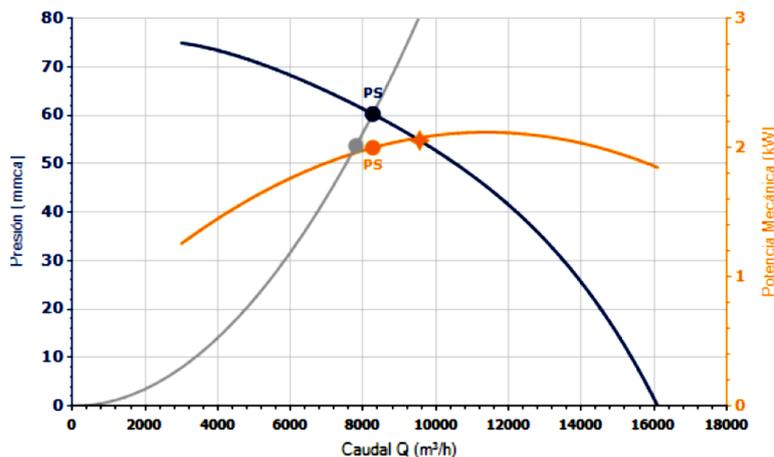
Acabado:

- Anticorrosivo en resina de poliéster. polimerizada a 190°C . previo desengrase alcalino y pretratamiento libre de fosfatos

Bajo demanda:

- Bobinados especiales para diferentes tensiones.
- Certificación ATEX Categoría 2

CURVA CARACTERÍSTICA Y ACÚSTICA PARA 15°C 2577MSNM 0,9KG/M³



Punto Diseño

Q (m³/h)	7800
Pe (mmca)	53,69

Punto Servicio (PS)

Q (m³/h)	8264,32
Pe (mmca)	60,27
Pd (mmca)	3,808
Pt (mmca)	64,08
Velocidad (rpm)	1420
Máx. Temp. (°C)	120
Velocidad Aire (m/s)	9,11
Potencia Mecánica (kW)	2,00

CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS

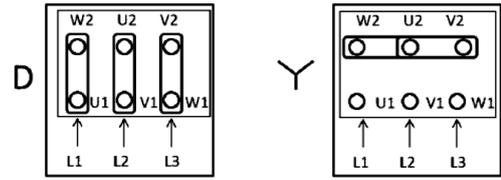
Caudal máximo (m³/h)	16105,12
Velocidad (rpm)	1420
Peso aprox. (kg)	122

♦ Máx. Eficiencia	Actual	ErP 2013	ErP 2015
Rendimiento	59,1%	52,8%	55,8%
Grado eficiencia N	64,2	58,0	61,0
Categoría de medición	A		
Categoría eficiencia	Estático		
Relación específica	1,01		
Caudal (m³/h)	9555		
Presión (mmca)	73,07		
Potencia eléctrica (kW)	3,22		
Velocidad (rpm)	1450		
Variador de velocidad	VSD no necesario		

Datos establecidos en el punto de máxima eficiencia

DATOS DEL MOTOR

Potencia Mecánica Nominal (kW)	3
Hz/fases	50/3
Motor (rpm)	1445
Polos	4
Corriente máx. (A) 380-415 V Y	6,33
Corriente máx. (A) 220-240 V D	10,96
Protección del motor	IP55
Tamaño del bastidor del motor	100L

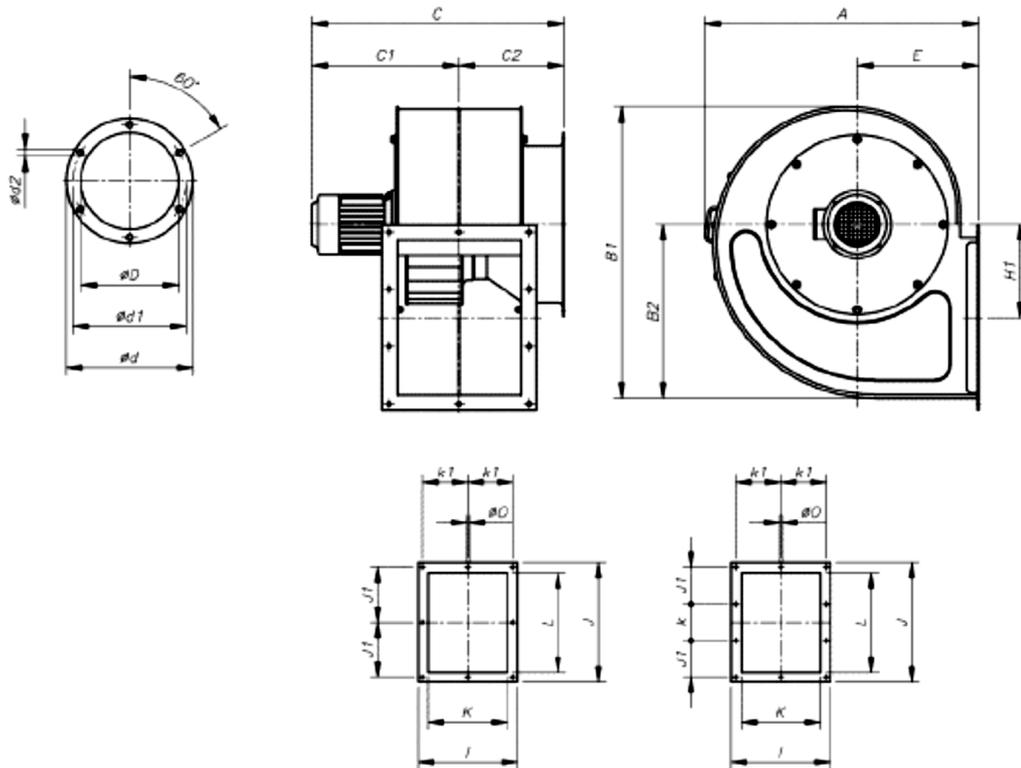


DIMENSIONES

A	B1	B2	C	C1	C2	∅D	∅d	∅d1	∅d2	E	H1	I	J
923	1041	617	890	542	348	560	634	610	348	415	328	550	660

J1	K	k	k1	L	∅O
203	450	203	250	560	13

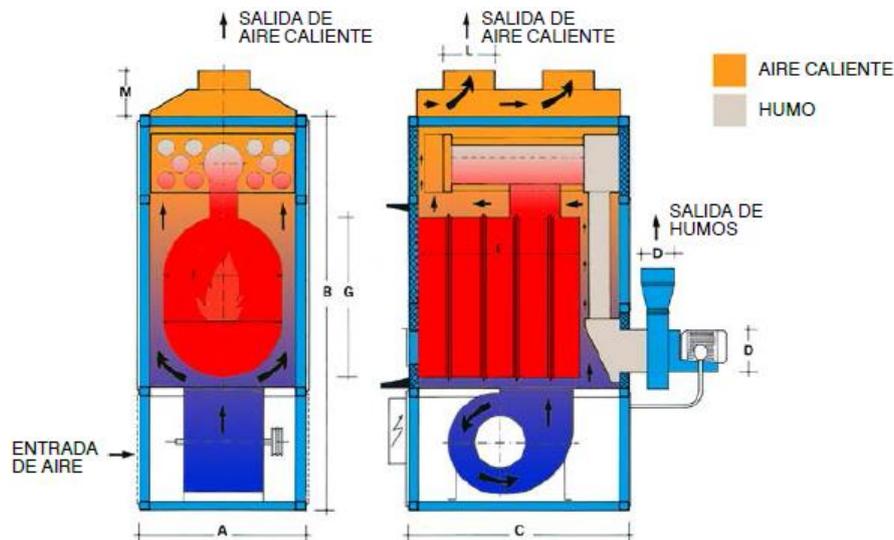
Las dimensiones sin unidades definidas explícitamente se muestran en milímetros (mm)



Anexo 11: Propiedades del aire a presión atmosférica [15]

T (°C)	ρ (kg/m ³)	c_p (kJ/kg·K)	$\mu \cdot 10^6$ (N·s/m ²)	$\nu \cdot 10^6$ (m ² /s)	$k \cdot 10^3$ (W/m·K)	$\alpha \cdot 10^6$ (m ² /s)	Pr
-150	2.867	0.982	8.64	3.013	11.71	4.157	0.7246
-100	2.039	0.965	11.90	5.835	15.82	8.034	0.7263
-90	1.927	0.975	12.49	6.482	16.62	8.842	0.7330
-80	1.828	0.983	13.07	7.153	17.42	9.692	0.7381
-70	1.738	0.990	13.64	7.850	18.22	10.59	0.7414
-60	1.656	0.995	14.20	8.572	19.01	11.53	0.7433
-50	1.582	0.999	14.74	9.317	19.79	12.52	0.7440
-40	1.514	1.002	15.27	10.08	20.57	13.56	0.7436
-30	1.452	1.004	15.79	10.88	21.34	14.65	0.7425
-20	1.394	1.005	16.30	11.69	22.11	15.78	0.7408
-10	1.341	1.006	16.80	12.52	22.88	16.96	0.7387
0	1.292	1.006	17.29	13.38	23.64	18.17	0.7362
5	1.269	1.006	17.54	13.82	24.01	18.80	0.7350
10	1.247	1.006	17.78	14.26	24.39	19.44	0.7336
15	1.225	1.007	18.02	14.71	24.76	20.08	0.7323
20	1.204	1.007	18.25	15.16	25.14	20.74	0.7309
25	1.184	1.007	18.49	15.61	25.51	21.40	0.7296
30	1.164	1.007	18.72	16.08	25.88	22.08	0.7282

Anexo 12: Selección generador de calor



CARACTERÍSTICAS	DRAGON F28	DRAGON F55	DRAGON F85	DRAGON F120	DRAGON F240	DRAGON F350
Código modelo	7241101	7241102	7241103	7241104	7241105	7241106
Potencia calorífica	35kW	80kW	116kW	174kW	340kW	508kW
Potencia calorífica neta	29.900 Kcal/h	69.000 Kcal/h	99.500 Kcal/h	150.000 Kcal/h	300.000 Kcal/h	437.000 Kcal/h
Caudal de aire	2.200 m ³ /h	3.500 m ³ /h	6.300 m ³ /h	8.900 m ³ /h	17.800 m ³ /h	26.000 m ³ /h
Consumo de combustible (P.C. 4kW/kg)	13 Kg/h	20 Kg/h	30 Kg/h	43 Kg/h	85 Kg/h	125 Kg/h
Potencia eléctrica ventilador	150 W	260 W	1.100 W	1.470 W	2.940 W	4.410 W
Potencia eléctrica extractor de humos	No incluido	260 W	260 W	550 W	550 W	1.100 W
Tensión de servicio	220 v	220 v	400 v	400 v	400 v	400 v
A Ancho	550 mm	660 mm	770 mm	860 mm	1.060 mm	1.200 mm
B Alto	1.400 mm	1.550 mm	1.760 mm	1.970 mm	2.250 mm	2.800 mm
C Longitud	650 mm	870 mm	1.000 mm	1.350 mm	1.550 mm	2.450 mm
D Diámetro de chimenea	160 mm	160-180 mm	160-180 mm	200 mm	200 mm	250 mm
L Diámetro conducto salida aire caliente	2x Ø180 mm	2x Ø200 mm	2x Ø250 mm	3x Ø250 mm	3x Ø300 mm	4x Ø350 mm
M Altura de plenum salida aire caliente	180 mm	200 mm	210 mm	240 mm	260 mm	380 mm
E Largo de cámara de combustión	500 mm	660 mm	750 mm	950 mm	1.200 mm	1.900 mm
F Ancho de cámara de combustión	400 mm	480 mm	560 mm	600 mm	740 mm	900 mm
G Alto de cámara de combustión	590 mm	600 mm	700 mm	860 mm	1.040 mm	900 mm



Anexo 13: Requisitos iluminación [4]

2.20 Industria maderera y su tratamiento					
Nº ref.	Tipo de interior, tarea y actividad	\bar{E}_m lux	UGR _L	R _a	Observaciones
2.20.1	Tratamiento automático, por ejemplo, secado, fabricación de tablero	50	28	40	
2.20.2	Tratamientos con vapor	150	28	40	
2.20.3	Bastidor de aserrado	300	25	60	Impedir efecto estroboscópico
2.20.4	Trabajo en uniones, encolado, montaje	300	25	80	
2.20.5	Pulido, pintura, ensambles finos	750	22	80	
2.20.6	Trabajo en máquinas para trabajar madera, por ejemplo, torneado, estriado, enderezado, rebatido, ranurado corte, aserrado, perforado	500	19	80	Impedir efecto estroboscópico
2.20.7	Selección de maderas de placas	750	22	90	T _{CP} ≥ 4 000 K
2.20.8	Marquetería, incrustación en madera	750	22	90	T _{CP} ≥ 4 000 K
2.20.9	Control de calidad, inspección	1 000	19	90	T _{CP} ≥ 4 000 K