

ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO

CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA

**“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA CABINA-HORNO A BASE
DE UN QUEMADOR GLP PARA PINTURA AL HORNO DE
CARROCERÍAS METÁLICAS PARA LA EMPRESA SOLUCIONES
MECÁNICAS INTEGRADAS SOLMEC”**

**PROYECTO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO
MECÁNICO**

**FAUSTO JAVIER MAZA MONTENEGRO
DANIEL ESTEBAN MERCHÁN URQUIZA**

DIRECTOR: ING. ERNESTO SORIA.

CODIRECTOR: ING. LUIS ECHEVERRIA

Sangolquí, Junio del 2008

CERTIFICACIÓN DE LA ELABORACIÓN DEL PROYECTO

El proyecto “DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA CABINA-HORNO A BASE DE UN QUEMADOR GLP PARA PINTURA AL HORNO DE CARROCERÍAS METÁLICAS PARA LA EMPRESA SOLUCIONES MECÁNICAS INTEGRADAS SOLMEC” fue realizado en su totalidad por Fausto Javier Maza Montenegro y Daniel Esteban Merchán Urquiza, como requerimiento parcial para la obtención del título de Ingeniero Mecánico.

Ing. Ernesto Soria

DIRECTOR

Ing. Luis Echeverría

CODIRECTOR

Sangolquí, 08-06-11

LEGALIZACIÓN DEL PROYECTO

**“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA CABINA-HORNO A BASE DE UN
QUEMADOR GLP PARA PINTURA AL HORNO DE CARROCERÍAS
METÁLICAS PARA LA EMPRESA SOLUCIONES MECÁNICAS INTEGRADAS
SOLMEC”**

ELABORADO POR:

Fausto J. Maza M.

Daniel E. Merchán U.

CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA

CORDINADOR

Sangolquí, 08-06-11

DEDICATORIA

En cada amanecer, DIOS nos ofrece la oportunidad de convertir nuestros sueños en realidad. Cada acto, cada idea, cada sentimiento deben emanar de nuestro ser con la firme convicción de honrar el nombre del Señor de Señores. Si logramos conjugarlos armónicamente, basados en principios y valores, conseguiremos de seguro un resultado por demás provechoso y la satisfacción de un buen proceder.

El apoyo, de mis padres y hermanos, ha sido crucial en la consecución de mis propósitos, en todas las instancias de mi vida han sido los protagonistas de pequeñas historias que aun no terminan pero que con cada paso que demos hacia delante sabremos que la felicidad no está en llegar sino en disfrutar el camino juntos.

A todos ellos, mi trabajo, mi esfuerzo y mi felicidad.

JAVIER MAZA MONTENEGRO

A mis padres, por ser la guía todos los años de mi vida preparándome para poder enfrentar la vida y el mundo de una manera independiente, por enseñarme valores necesarios para una vida plena y en comunidad con los demás.

A mis hermanos por estar siempre pendientes, apoyándome en los momentos más difíciles y celebrando junto a mí los más felices.

A mi enamorada, por aguantarme y brindarme su amor la mayor parte de la carrera, dándome ánimos y no dejándome desfallecer cuando quiero tirar la toalla.

A mis amigos, por recordarme que existe más en la vida que responsabilidad, trabajo y rutina.

DANIEL MERCHÁN URQUIZA

AGRADECIMIENTOS

Queremos expresar los nuestro agradecimiento en la conclusión del presente proyecto a la Escuela Politécnica del Ejército y a la Carrera de Ingeniería Mecánica por ser una institución formadora de profesionales con visión global y darnos las bases técnicas para defendernos en el mundo laboral tan competitivo como el de hoy.

Nuestro más sincero agradecimiento a Soluciones Mecánicas Integradas SOLMEC y a su gerente-propietario Crnl.. Santiago Merchán, ya que confió en nosotros y nuestra preparación para sacar el proyecto adelante.

Además agradecemos sinceramente a los profesionales académicos que nos guiaron en la elaboración del presente proyecto, nuestro Director de tesis Ing. Ernesto Soria, Codirector de tesis Ing. Luis Echeverría. Pero es justo reconocer también a los profesionales que laboran en las distintas ramas afines al proyecto, Ing. César Villavicencio (AVS), Ing. Pascal Royere (2kengineering company), Ing. Julio Córdor, ya que sin su valioso aporte y experiencia, habría sido más difícil lograrlo.

INDICE DE CONTENIDOS

CERTIFICACIÓN DE LA ELABORACIÓN DEL PROYECTO	ii
LEGALIZACIÓN DEL PROYECTO	iii
DEDICATORIA.....	iv
AGRADECIMIENTOS	v
INDICE DE CONTENIDOS	vi
INDICE DE TABLAS.....	xiv
INDICE DE FIGURAS	xvi
NOMENCLATURA	xviii
INDICE DE ANEXOS	xxvi
RESUMEN EJECUTIVO	xxvii
CAPÍTULO 1	1
GENERALIDADES.....	1
1.1 ANTECEDENTES.....	1
1.2 DEFINICIÓN DEL PROBLEMA.....	1
1.3 OBJETIVOS.....	2
1.3.1 GENERAL.....	2
1.3.2 ESPECÍFICOS.....	3
1.4 ALCANCE	3
1.5 JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA.....	3
CAPÍTULO 2	5
MARCO TEÓRICO.....	5
2.1 CABINA- HORNO DE PINTURA AUTOMOTRIZ.....	5
2.1.1 TIPOS DE CABINAS-HORNO	6
2.1.1.1 Corriente de aire en la cabina-horno	6
2.1.1.1.1 Cabinas de flujo Horizontal.....	6
2.1.1.1.2 Cabinas de flujo Vertical.....	7
2.1.1.2 Sistema de Ventilación	7
2.1.1.2.1 Grupo Impulsor o Extractor.....	8
2.1.1.2.2 Grupo Combinado o de Suministro y Extracción	8

2.1.1.3	Elemento o dispositivo Calefactor.....	9
2.1.2	FUNCIONAMIENTO.....	9
2.1.2.1	Fase de Pintado.....	10
2.1.2.2	Fase de Curado.....	11
2.1.2.3	Condiciones de Operación.....	11
2.1.2.4	Medidas de Seguridad.....	12
2.1.3	VENTAJAS PARA EL TALLER AUTOMOTRIZ.....	13
2.1.4	PROVIDENCIAS PARA CONSTRUCCION E INSTALACION.....	13
2.1.4.1	Estructura de la Cabina.....	13
2.1.4.1.1	Obra Civil.....	14
2.1.4.1.2	Tipo Modular.....	14
2.1.4.2	Equipos y Ductos de Aire.....	17
2.2	PINTADO DE VEHÍCULOS.....	18
2.2.1	PROCESO DE REPINTADO DE VEHÍCULOS COMPLETOS.....	19
2.2.1.1	Descripción del proceso.....	19
2.2.1.2	Enmascarado en el acabado.....	20
2.2.1.3	Limpieza y desengrasado.....	21
2.2.1.4	Preparación de la mezcla de color y el equipo.....	21
2.2.1.5	Aplicación de la pintura.....	21
2.3	VENTILACIÓN MECÁNICA DE UNA CABINA-HORNO.....	23
2.3.1	VENTILACIÓN PARA DILUCIÓN.....	24
2.3.1.1	Dilución para la Salud.....	24
2.3.1.1.1	TLV para una mezcla de solventes.....	26
2.3.1.2	Dilución por Inflamabilidad y Explosividad.....	27
2.3.2	VENTILACIÓN PARA ARRASTRE.....	28
2.3.3	SUBSISTEMA DE SUMINISTRO.....	29
2.3.3.1	Clasificación según finalidad.....	30
2.3.3.1.1	Sustitución del Aire Extraído.....	30
2.3.3.1.2	Sistema HVAC.....	30
2.3.3.2	Componentes y Equipos.....	31
2.3.3.3	Distribución del Aire Suministrado.....	31
2.3.3.4	Presurización de la Cabina.....	32
2.3.3.5	Caudal de Suministro.....	32
2.3.3.6	Recirculación de Aire.....	33

2.3.4	SUBSISTEMA DE EXTRACCIÓN	34
2.3.4.1	Clasificación según el Foco Contaminante	35
2.3.4.2	Componentes y Equipos.....	35
2.4	UNIDAD CALEFACTORA DE AIRE.....	36
2.4.1	CAPACIDAD DE CALEFACCIÓN.....	36
2.4.1.1	Calor de Ventilación o Suministro.....	36
2.4.1.2	Pérdidas de Calor	37
2.4.2	COMPONENTES Y EQUIPOS	38
2.4.2.1	Intercambiador de Calor	38
2.4.3	CLASIFICACIÓN DE UNIDADES CALEFACTORAS	38
2.4.3.1	Unidad Calefactora de Incineración Directa de Gas	40
2.4.3.2	Unidad Calefactora de Incineración Indirecta de Combustible	41
2.4.4	FILTRACIÓN DE AIRE	43
2.5	SISTEMAS DE ILUMINACIÓN E INSTALACIONES ELÉCTRICAS	45
2.5.1	ILUMINACIÓN DE CABINAS HORNO.....	45
2.5.2	INSTALACIONES ELÉCTRICAS.....	45
2.6	SISTEMAS DE AUTOMATIZACIÓN Y CONTROL	46
2.6.1	INSTRUMENTOS DE CONTROL.....	46
2.6.1.1	Termocuplas.....	46
2.6.2	ACTUADORES	47
2.6.2.1	Ventiladores.....	47
2.6.2.1.1	Clasificación de los Ventiladores	48
2.6.2.1.2	Nivel Sonoro.....	50
2.6.2.1.3	Sistemas Ventilador – Compuerta	50
2.6.2.2	Quemadores de gas	52
2.6.2.2.1	Quemadores de potencia de gas	53
2.6.2.3	Válvulas Automáticas.....	54
2.6.3	CONTROL	54
2.6.3.1	Control Global del Sistema	54
2.6.3.2	Control de la Unidad Calefactora	55
2.6.3.2.1	Controles Operacionales	55
2.6.3.2.2	Controles de Límite.....	56
2.6.3.2.3	Controles de Seguridad y Cerraduras	57

CAPÍTULO 3	58
DISEÑO DE LA CABINA – HORNO.....	58
3.1 UBICACIÓN DE LA CABINA – HORNO EN EL TALLER SOLMEC	58
3.1.1 DIMENSIONAMIENTO DE LA CABINA-HORNO	58
3.1.2 ANÁLISIS DE LAS INSTALACIONES DEL TALLER SOLMEC	60
3.2 DISEÑO TÉRMICO.....	61
3.2.1 TEMPERATURA INTERNA DEL HORNO	61
3.2.2 SELECCIÓN DE LA UNIDAD CALEFACTORA DE INCINERACIÓN DE COMBUSTIBLE.....	61
3.2.2.1 Cuadro Comparativo de prestaciones.....	61
3.2.2.2 Características del Modelo Escogido.....	62
3.2.3 GAS LICUADO DE PETRÓLEO – GLP	62
3.2.4 COMBUSTIÓN DEL GLP.....	63
3.2.4.1 Ecuación Estequiométrica de la Combustión.....	64
3.2.4.2 Relación Aire Combustible.....	65
3.2.4.3 Temperatura de Llama Adiabática.....	67
3.2.5 REAPROVECHAMIENTO DE ENERGÍA TÉRMICA – RECIRCULACIÓN.....	72
3.2.5.1 Balance Másico de Energía	73
3.2.5.1.1 Temperatura del Aire Mezclado.....	73
3.2.5.1.2 Flujo Másico de Aire Mezclado.....	76
3.2.5.1.3 Flujo Másico de Gases de Combustión	76
3.2.6 CAPACIDAD DE CALEFACCIÓN.....	79
3.2.6.1 Carga Térmica Neta del Sistema	79
3.2.6.2 Calor de Ventilación.....	79
3.2.6.3 Pérdidas de Calor	80
3.2.6.3.1 Paredes Laterales, Posterior y Techo.....	80
3.2.6.3.2 Puertas y Pared Anterior	82
3.2.7 SELECCIÓN DEL QUEMADOR DE GLP	83
3.2.8 DISEÑO DEL SISTEMA DE ABASTECIMIENTO DE COMBUSTIBLE.....	85
3.2.8.1 Consumo de Combustible.....	85
3.2.8.1.1 Flujo de Combustible	85
3.2.8.1.2 Autonomía del Sistema.....	86

3.2.8.2	Abastecimiento	87
3.2.8.2.1	Tubería de Suministro	87
3.2.8.2.2	Componentes y Accesorios	88
3.2.9	DISEÑO DE INTERCAMBIADOR DE CALOR.....	89
3.2.9.1	Descripción del Diseño	89
3.2.9.2	Consideraciones Iniciales de Diseño	90
3.2.9.3	Condiciones Termodinámicas de los Fluidos.....	91
3.2.9.3.1	Gases de Combustión	91
3.2.9.3.2	Aire	92
3.2.9.4	¹⁶ Determinación del Producto UA	92
3.2.9.5	Coeficiente de Transferencia de Calor de los Gases de Combustión	95
3.2.9.6	Coeficiente de Transferencia de Calor del Aire	99
3.2.9.7	Coeficiente Global y Área de Transferencia de Calor	102
3.2.9.8	Calor Transmitido por el Intercambiador de Calor	103
3.2.9.9	Dimensiones Finales del Arreglo de Tubos	104
3.2.9.10	Caída de Presión de los Gases de Escape en el Intercambiador de Calor	104
3.2.9.11	Caída de Presión del Aire a través del Intercambiador de Calor	106
3.2.10	DISEÑO DE LA CHIMENEA	107
3.3	DISEÑO DEL SISTEMA DE VENTILACIÓN	111
3.3.1	VENTILACIÓN PARA DILUCIÓN	111
3.3.1.1	Thinner.....	112
3.3.1.2	Dilución del Thinner respecto a la Salud.....	112
3.3.1.2.1	Concentración de una Mezcla de Solventes.....	113
3.3.1.3	Dilución del Thinner respecto a la Inflamabilidad y Explosividad	116
3.3.1.4	Porcentaje de reposición de Aire Fresco	117
3.3.2	VENTILACIÓN PARA ARRASTRE	119
3.3.3	SUBSISTEMA DE SUMINISTRO	119
3.3.3.1	Objetivo del Abastecimiento de Aire	119
3.3.3.2	Caudal de Suministro.....	119
3.3.3.3	Trayectoria del Flujo	120

3.3.3.4	Caída de Presión	121
3.3.3.4.1	Coeficientes de Pérdidas de Presión.....	123
3.3.3.4.2	Factor de la Densidad del Fluido	123
3.3.3.4.3	Presión de Velocidad.....	125
3.3.3.4.4	Velocidad del Aire en el Ducto.....	125
3.3.3.5	Selección del Ventilador y Motor Eléctrico.....	126
3.3.3.5.1	Factor de Corrección respecto a la densidad del fluido.	126
3.3.4	SUBSISTEMA DE EXTRACCIÓN	133
3.3.4.1	Trayectoria del Flujo	133
3.3.4.2	Caída de Presión	134
3.3.4.2.1	Coeficientes de Pérdidas de Presión.....	134
3.3.4.3	Selección del Ventilador y Motor Eléctrico.....	138
3.4	DISEÑO ESTRUCTURAL	138
3.4.1	ANÁLISIS DE CARGAS Y SELECCIÓN DE MATERIALES	139
3.4.1.1	Rejillas de piso.....	139
3.4.1.2	Estructura Metálica Soportante.....	140
3.4.2	GRÁFICAS DEL ANÁLISIS ESTRUCTURAL	141
3.4.2.1	Cargas	141
3.4.2.2	Deformación	142
3.4.2.3	Diagrama de Fuerzas Axiales.....	142
3.4.2.4	Diagrama de Fuerza Cortante	143
3.4.2.5	Diagrama de Momento	143
3.5	DISEÑO DEL SISTEMA DE AUTOMATIZACIÓN Y CONTROL.....	144
3.5.1	DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA DE CONTROL.....	144
3.5.2	DIAGRAMA DEL SISTEMA	146
CAPÍTULO 4		147
CONSTRUCCIÓN, MONTAJE Y OPERACIÓN		147
4.1	PROCEDIMIENTO GENERAL DE CONSTRUCCIÓN Y MONTAJE	147
4.1.1	HOJA DE PROCESOS	149
4.1.2	ANÁLISIS TÉCNICO FINANCIERO DEL INTERCAMBIADOR DE CALOR A INSTALARSE	160
4.1.3	DIAGRAMAS DE FLUJO DE PROCESO DE FABRICACIÓN	161
4.1.4	PLANOS DE CONSTRUCCIÓN	168

4.1.5	PLANOS DE MONTAJE	168
4.1.6	PLANOS DE CONJUNTO ARMADO	168
4.2	MANUAL DE OPERACIÓN E INSTRUCCIONES DE MANTENIMIENTO 168	
4.2.1	MANUAL DE OPERACIÓN.....	168
4.2.1.1	Antes de Pintar	168
4.2.1.2	Preparación	169
4.2.1.3	Pre-Pintado.....	169
4.2.1.4	Fase de Pintado.....	169
4.2.1.5	Fase de Secado.....	170
4.2.2	INSTRUCCIONES DE MANTENIMIENTO	171
4.2.2.1	Mantenimiento Preventivo	171
4.2.2.1.1	Siempre.....	171
4.2.2.2	Mantenimiento Predictivo.....	171
4.2.2.2.1	Semanalmente	171
4.2.2.2.2	Cada Tres Semanas	171
4.2.2.2.3	Semestralmente	171
4.2.2.2.4	Anualmente	171
4.2.2.3	Dispositivos Especiales	172
4.2.2.3.1	Inspecciones Anuales - Quemador de Gas	172
4.2.2.3.2	Inspecciones Bianuales – Quemador de Gas.....	172
4.2.2.3.3	Inspecciones Mensuales – Tablero de Control.....	173
4.2.2.3.4	Inspecciones Anuales – Tablero de Control	173
	 CAPÍTULO 5	 174
	ANÁLISIS ECONÓMICO FINANCIERO.....	174
5.1	ANTECEDENTES.....	174
5.2	COSTO DEL PROYECTO	174
5.2.1	MATERIALES	174
5.2.2	MANO DE OBRA	176
5.2.3	COSTO TOTAL DE LA OBRA	176
5.3	RECUPERACIÓN DE LA INVERSIÓN	176
5.3.1	DEPRECIACIÓN.....	176
5.3.2	COSTO CONSUMO DE ENERGÍA.....	176

5.3.3 COSTO POR SERVICIO DE PINTURA AL HORNO	177
5.3.4 PRI (PERIODO DE RETORNO DE LA INVERSIÓN).....	177
5.4 VALOR ACTUAL NETO Y TASA INTERNA DE RETORNO.....	178
5.4.1 TASA DE DESCUENTO	178
5.4.2 ANALISIS DE DECISIÓN DE VAN Y TIR	178
CAPÍTULO 6	180
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	180
6.1 CONCLUSIONES	180
6.2 RECOMENDACIONES	185
REFERENCIAS	187

INDICE DE TABLAS

Tabla 2.1	Condiciones de operación de una cabina	12
Tabla. 2.2	Preparación de Superficies	20
Tabla. 2.3	Esquema de operaciones para acabado	22
Tabla 3.1	Beneficios y Limitaciones de Combustión Directa e Indirecta	61
Tabla 3.2	Entalpías de los productos a ciertas temperaturas	70
Tabla 3.3	Resultados del análisis de viabilidad de recirculación	72
Tabla 3.4	Pérdidas de Calor en paredes laterales, posterior y techo.	82
Tabla 3.5	Pérdidas de Calor a través de Puertas y Pared Anterior....	83
Tabla 3.6	Autonomía del Sistema	87
Tabla 3.7	Coeficientes de Pérdida de Presión – Accesorios Chimenea	109
Tabla 3.8	Propiedades Termofísicas de los Gases en la Chimenea...	110
Tabla 3.9	Pérdida de Presión – Accesorios Chimenea	110
Tabla 3.10	TLV de la mezcla de solventes en mg/m ³	113
Tabla 3.11	TLV de la mezcla de solventes en ppm	114
Tabla 3.12	Viscosidad Cinemática del Aire	122
Tabla 3.13	Factores de Corrección de Densidad del Aire	124
Tabla 3.14	Room Criteria vs. Velocidad de Flujo en el Ducto	125
Tabla 3.15	Factor de Corrección respecto a la Temperatura	127
Tabla 3.16	Coeficientes de Pérdida de Presión – Ducto de Suministro.	128
Tabla 3.17	Reynolds y Factores de Fricción por secciones – Suministro	129
Tabla 3.18	Pérdida de Presión por cada sección – Suministro	130
Tabla 3.19	Resumen de Pérdidas de Presión	131
Tabla 3.20	Cuadro de Valores – Gráfica de Presión Suministro	131
Tabla 3.21	Coeficientes de Pérdida de Presión – Ducto de Extracción	134
Tabla 3.22	Reynolds y Factores de Fricción por secciones – Extracción	135
Tabla 3.23	Pérdida de Presión por cada sección – Extracción	136
Tabla 3.24	Resumen de Pérdidas de Presión-Extracción	137
Tabla 3.25	Cuadro de valores-Gráfica de Presión Extracción	137
Tabla 3.26	Datos Técnicos de la Rejilla Perforada	139
Tabla 3.27	Componentes, Subconjuntos y Conjuntos Parciales	146
Tabla 5.1	Análisis Financiero – Materiales	173

Tabla 5.2	Análisis Financiero – Mano de Obra	175
Tabla 5.3	Análisis Financiero - Costo Total de la Obra	175
Tabla 5.4	Análisis Financiero – Costo consumo de Energía	175
Tabla 5.5	Costo por Servicio de Pintura al Horno	176

INDICE DE FIGURAS

Figura 2.1	Esquema de las partes de una cabina	5
Figura 2.2	Cabina de Flujo Horizontal	6
Figura 2.3	Flujo vertical con doble salida	7
Figura 2.4	Flujo vertical con una salida	7
Figura 2.5	Cabina-Horno con Grupo Extractor	8
Figura 2.6	Cabina- Horno con Grupo Combinado	9
Figura 2.7	Cabina – Horno a base de Quemador de Combustible.....	9
Figura 2.8	Cabina-Horno en Fase de Pintado	10
Figura 2.9	Cabina-Horno en Fase de Curado	11
Figura 2.10	Configuración Geométrico-Espacial de la Cabina-Horno....	14
Figura 2.11	Cabina-Horno Panelada	15
Figura 2.12	Sellado de Uniones (Vista interna de una esquina de la cabina-horno)	16
Figura 2.13	Detalles de las Puertas Abatibles de una Cabina-Horno.....	16
Figura 2.14	Plataforma Ahuecada en el centro	17
Figura 2.15	Fosa Enrejillada en paralelo	17
Figura 2.16	Pintado completo de un vehículo	19
Figura 2.17	Proceso de enmascarado	21
Figura 2.18	Enmascarado final	21
Figura 2.19	Aplicación de pintura dentro de una cabina	22
Figura 2.20	Orden de Pintado	23
Figura 2.21	Gráfica Volumen de Aire vs. LEL y UEL	27
Figura 2.22	Criterios de Ventilación en la fase de Pintado	29
Figura 2.23	Inyección de aire por plenum	32
Figura 2.24	Cuadro Lógico de Decisión – Recirculación	34
Figura 2.25	Intercambiador de Calor	38
Figura 2.26	Clasificación de las Unidades Calefactores	39
Figura 2.27	Unidad Propulsora (izq) y Absorbedora (der)	39
Figura 2.28	Unidad Tipo Gabinete (izq) y Duch-Mounted (der)	40
Figura 2.29	Unidad típica (izq) y con Recirculación (der)	41
Figura 2.30	Unidad de Combustión Indirecta con Recirculación	42

Figura 2.31	Ubicación de filtros en la cabina y heater unit	43
Figura 2.32	Calefacción en las fases del repinte	44
Figura 2.33	Iluminación de una cabina horno	45
Figura 2.34	Lámparas fluorescentes	45
Figura 2.35	Ventilador Centrífugo (Montaje y Conjunto Armado)	49
Figura 2.36	Nivel de riudo	50
Figura 2.37	Sistemas ventilador – compuerta	51
Figura 2.38	Descarga en conductos	51
Figura 2.39	Dampers a la entrada del ventilador	51
Figura 2.40	Dampers a la salida del ventilador	52
Figura 2.41	Quemador de potencia a gas – Tipo pistola	53
Figura 2.42	Esquema del Control de una cabina-horno	55
Figura 3.1	Dimensiones de la Cabina-Horno	59
Figura 3.2	Espacio físico para instalar la Cabina-Horno	60
Figura 3.3	Esquema de una Unidad Manejadora de Aire con Recirculación	73
Figura 3.4	Esquema del Flujo Térmico del sistema	74
Figura 3.5	Esquema sobre la Transferencia de Calor entre los fluidos.	77
Figura 3.6	Unidad Calefactora de aire diseñada. Con panelado aislante (izq) y estructura montada (der)	84
Figura 3.7	Intercambiador de calor de flujo cruzado	89
Figura 3.8	Ducto de Suministro de Aire (azul) y de Recirculación (rojo).	120
Figura 3.9	Gráfica de Presión en el Subsistema de Suministro	131
Figura 3.10	Estructura Soportante del Ducto de Extracción	133
Figura 3.11	Montaje Fosa de Succión – Ducto de Extracción	133
Figura 3.12	Gráfica de Presión en el Subsistema de Extracción	137
Figura 3.13	Visualización de Cargas	141
Figura 3.14	Deformación de la Cabina	142
Figura 3.15	Fuerzas Axiales en la Estructura	142
Figura 3.16	Fuerzas Cortantes en la Estructura	143
Figura 3.17	Momento en la Estructura	143
Figura 3.18	Plano del Sistema de Control	145

NOMENCLATURA

V	Volumen de la cabina
G	Tasa de Generación
Qh	Caudal volumétrico efectivo
C	Concentración del gas o vapor
t	Tiempo
K	Factor de distribución del caudal efectivo
Qdte	Caudal Efectivo de dilución para la salud operacional, cfm.
CONSTANT	403.10E6 (volumen en pies cúbicos por una pinta de líquido vaporizado).
SG	Gravedad específica del líquido volátil
ER	Tasa de evaporación del líquido, pts/mín.
MW	Peso molecular del líquido o mezcla.
Sf	Coefficiente de Seguridad, depende del porcentaje de LEL necesario para condiciones seguras.
B	Constante que relaciona el decrecimiento del LEL correspondiente al vapor de solvente en el aire cuando éste se eleva la temperatura.
CTA	Coefficiente de Temperatura Absoluta
Toperación	Temperatura de operación de la cabina horno, °F.
Tstd	Temperatura Estándar, °F.
Qfe	Caudal para dilución por explosividad e inflamabilidad
Qlel	Caudal respecto al nivel mínimo de explosividad, cfm.
qv	Calor de Ventilación , BTU/h.
ρ	Densidad del aire a condiciones estándar, 0.075 lb/ft ³ .
cp	Calor específico del aire, 0.24 BTU/lb. °F.
Q	Caudal de aire de suministro, cfm.
ti	Temperatura requerida en el interior, °F.
to	Temperatura de ingreso del aire, °F.
Lr	Largo vehículo referencial, m.
Ar	Ancho vehículo referencial, m.
Hr	Alto vehículo referencial, m .

L	Longitud Interna de la cabina, m.
A	Ancho Interno de la cabina, m.
H	Altura interna de la cabina, m.
Vt	Volumen Interno de la cabina, m ³ .
V1	Volumen prisma rectangular, m ³ .
V2	Volumen prisma trapezoidal, m ³ .
%p	Porcentaje en peso de propano del GLP.
%b	Porcentaje en peso de butano del GLP.
PMp	Peso Molecular del Propano, Kg/kmol.
PMb	Peso Molecular del Butano, Kg/kmol.
rvglp	Relación Volumétrica del GLP.
exco	Exceso teórico de aire, %.
excaire	Exceso de aire añadido a la unidad, %.
X	Número de moles del CO ₂ .
Y	Número de moles del vapor de agua.
at	Factor del número total de moles del aire supuesto inicialmente.
Z	Número de moles de Nitrógeno.
%hr	Porcentaje de humedad relative en el aire
Psat	Presión de Saturación, KPa.
Ptotal	Presión atmosférica del lugar, 71.99KPa (540mmHg).
Pvair	Presión Parcial de la humedad, KPa.
Nvair	Moles de humedad en el aire.
ncomb	Número de moles de combustible inmersos en la combustión.
AC	Relación Aire – Combustible, Kg aire / Kg GLP
att	Moles de aire teórico total
%att	Porcentaje de aire teórico
hf	Entalpía de formación, kJ/kmol.
h ^o	Entalpías de combustión a la temperatura que ocurre la reacción, kJ/kmol.
s	Producto del número de moles y la diferencia de entalpías.
sr	Sumatoria de Productos
sp	Sumatoria de productos respecto al punto uno.
st	Diferencia entre productos y reactivos

hest	Entalpía estimada, kJ/kmol.
Test	Temperatura estimada, °K.
Tllama	Temperatura de Llama Adiabática, °K.
Tgc	Temperatura Real de gases de combustión, °K.
Toa, Ta	Temperatura ambiente exterior, °C.
Tca, Ts	Temperatura interior de la cabina-horno, °C.
h	Entalpía, BTU/lbm.
E	Energía
m	Flujo másico de aire, lbm/s.
Tap	Temperatura promedio entre aire mezclado y de suministro, °C.
paire	Densidad del aire a temperatura promedio, kg / m ³
Qcfm	Caudal de Suministro de aire a la cabina-horno, cfm.
qgases	Calor entregado por los gases de combustión, BTU/h.
cpg	Calor específico de los gases de escape, BTU/lbm°F.
ΔTgc	Gradiente de temperatura de los gases de escape, °F.
qTN	Carga Térmica Neta, BTU/h.
qv	Calor de Ventilación, BTU/h.
qlw	Pérdidas de calor a través de las paredes, BTU/h.
pair	Densidad del aire, lb / ft ³
cpair	Calor Específico del aire, BTU / lb.°F
ins	Espesor del panelado, m.
pln	Alto del plenum, m.
Qpc	Pérdidas de Calor de paredes laterales, posterior, BTU/h
U	Coeficiente de Pérdidas de Calor, BTU / h.ft ² ,°F
A	Área de sección, ft ²
ΔT	Diferencia de Temperatura, °F.
qT1	Calor requerido por el sistema, incluido imprevistos. BTU/h.
qT2	Calor requerido por el sistema, incluida eficiencia del quemador BTU/h.
Qquemador	Calor requerido por el sistema, incluido factor corrección altura. BTU/h.
Vglp	Flujo volumétrico de combustible, m ³ / s

Vcg	Flujo volumétrico de combustible, cfh.
N	Requerimiento de combustible por el Sistema, Kg GLP/h.
pc	Poder calórico del GLP, BTU/Kg.
ATN	Autonomía del Sistema, # tanques.
C	Consumo de GLP, kg / día.
Cut	Capacidad Útil, kg / tanque
dt	Diámetro de la tubería de gas, in.
ng	Constante, 2.623
Lg	Longitud de la tubería, ft.
Δp_g	Caída de presión en el sistema, in w.g.
Cg	Factor de viscosidad, densidad y temperatura
tg	Temperatura del combustible dentro de la tubería, °F
sg	Gravedad Específica del GLP
μ_{glp}	Viscosidad del gas, centipoise
I.C.	Intercambiador de Calor
d	Diámetro nominal de tubo del I.C., in.
di	Diámetro Interno, in.
do	Diámetro Externo, in.
Ntubos	Número de Tubos en la Hilera Frontal
nhil	Número de Hileras
k	Conductividad Térmica, W/m ⁰ K.
UA	Producto entre el Coeficiente Glonbal de Transferencia de calor y el área de contacto. kJ / s. ⁰ K
NTU	Unidades Térmicas de Transferencia de Calor
Cmín	Capacitancia Térmica mínima, kJ / s. ⁰ K.
Cmáx	Capacitancia Térmica máxima, kJ / s. ⁰ K.
Qai	Calor real transmitido, kW.
Qmáx	Calor máximo transmitido, kW.
ε	Eficiencia Térmica del Intercambiador de Calor
Cr	Cociente entre las capacitancias mínima y máxima.
hgr	Coeficiente de Transferencia de Calor por Convección de los gases de combustión, W / m ² . ⁰ K
Nu	Número de Nusselt

Vgci	Velocidad de los gases de combustión a la entrada al I.C., m/s.
Regir	Reynolds de los gases de escape al ingreso del I.C.
Atub	Área Global que atraviesan los gases por el haz de tubos, m ²
Vgcs	Velocidad de los gases de combustión a la salida al I.C., m/s.
Regsr	Reynolds de los gases de escape a la salida del I.C.
REgr	Valor promedio de Reynolds.
fr	Factor de fricción para determinar Nusselt
St	Separación Transversal, m.
Sl	Separación Longitudinal, m.
Sd	Separación Diagonal, m.
Qaire	Caudal de suministro, m ³ /s.
Af	Área Frontal de Contacto al I.C. , m ² .
Rermax	Reynolds máximo del aire
Nuar	Nusselt del aire
C1, m	Factores correspondientes a la configuración del I.C.
C2	Factor de corrección respecto al número de tubos.
har	Coefficiente de transferencia e calor por convección del aire, W / m ² .°K
Ur	Coefficiente Global de TRnasferencia de calor respecto a los coef obtenidos, W / m ² .°K.
Ar	Área Total correspondiente a los tubos necesarios para el I.C., m ² .
Ntubos2	Número de tubos encontrados
ΔTMLD	Temperatura Media Logarítmica, °F.
Qic	Calor entregado por el intercambiador de calor, kW.
ΔPh	Pérdida de carga dentro del hogar cilíndrico, mm. c.a.
fh	Factor de rugosidad correspondiente a la superficie interior, (0.9, para acero inox AISI 304).
Vhc	Velocidad de los gases de escape en el hogar (m/s)
np	Número de pasos de los tubos en el banco, en este caso es 1.
Gtc	Velocidad Másica del fluido, kg/m ² .s
ft	Factor que depende del número de Reynolds y se calcula así:

ΔP_{htil}	Pérdida de presión dentro del haz de tubos, mm. c.a.
att	Área transversal de flujo de los gases, m ² y se calcula así:
n _{hil}	Número e hileras transversales
f, X	Factores que dependen de la configuración de tubos
ΔP_{htf}	Caída de presión a través del intercambiador, in. w.g.
Δp_{ch}	Caída de presión en la chimenea, in.w.g.
D _t	Tiro teórico, in. w.g.
D _b	Tiro proporcionado por el quemador, in. w.g.
B	Presión barométrica del lugar, in. Hg.
H _{ch}	Altura de la chimenea sobre el nivel de ingreso, ft.
T _o	Temperatura ambiente, °R.
T _m	Temperatura media de los gases en la chimenea, °R,
k _{ch}	Coeficiente de resistencia debido a la fricción.
P _{vch}	Presión de velocidad de los gases dentro de la chimenea, fpm
δ	Densidad de los gases, en función de la temperatura a la que se encuentren, lbm / ft ³
V _{gch}	Velocidad de los gases, fpm.
A _{sch}	Sección transversal del accesorio, ft ² .
Q _{oa}	Caudal de aire de reposición, cfm (outdoor air)
Q _{ca}	Caudal de recirculación de aire caliente, cfm (recirculated air)
Q _{ma}	Caudal de aire mezclado entre fresco y recirculado, cfm (mixed air).
%f	Porcentaje de aire fresco
%r	Porcentaje de aire recirculado
V _{fpm}	Velocidad de Arrastre, fpm
A _f	Area del Plenum filtrante, ft ² .
Δp_f	Pérdidas por fricción en términos de presión total del flujo de aire, in. w.g.
f	Factor de fricción
L	Longitud de ducto, ft.
D _h	Diámetro hidráulico del ducto, in.
ρ	Densidad del aire dentro del ducto, lbm / ft ³ .
V	Velocidad del aire dentro del ducto, fpm.

Ad	Área transversal del ducto, in ² .
Pd	Perímetro de la sección, in.
ε	Factor de rugosidad del material, ft. (0.0003 ft , tol galvanizado)
Rev	Número de Reynolds en la corriente de aire
ν	Viscosidad Cinemática, ft ² / s.
Co	Coefficiente de Pérdida de Presión en los subsistemas de ventilación.
Δp_v	Pérdida dinámica o total de presión en la corriente de aire, in. w.g.
Pv	Presión de velocidad en la corriente de aire, in. w.g.
df	Factor de la densidad
z	altitud, ft. (QUITO 9350.28 ft)
SP	Presión del ducto, in. w.g.
T	Temperatura, °F.
ω	Lbs H ₂ O / Lbs aire seco.
fcd	Factor de Corrección de densidad.
ρ_a	Densidad Actual del Aire.
ρ_{std}	Densidad del Aire en condiciones estándar, lbm / ft ³
PWRa	Potencia Práctica Requerida, hp.
PWRt	Potencia Teórica, a nivel del mar, hp.
FSP	Fan Static Pressure (Presión Estática del Ventilador), in. w.g.
FTP	Fan Total Pressure (Presión Total del Ventilador o Resistencia del Sistema), in.w.g.
FOVPD	Fan Outlet Velocity Pressure (Presión de Velocidad de descarga), in.w.g.

Subíndices

gc	Gases de Combustión
oa	Outside Aire, Ambiente exterior
a	Ambiente.
ca	Recirculated Aire

sa	Interior del Horno
ma	Mixed air, aire mezclado.
ea	Exhaust Air, aire extraído
ra	Return Air, aire de retorno
sa	Supply Air, aire de suministro.
i	Ingreso al sistema.
s	Salida del sistema
fv	Fibra Mineral de Vidrio
pl	Plenum de filtros
v	Ventana
p	Puerta
c, glp	Combustible
tic	Área transversal de conexión entre hogar cilíndrico y haz de tubos
hu	Unidad Calefactora de Aire
e	por elevación.
p	por presión del ducto.
t	por temperatura.
m	por mezcla.

INDICE DE ANEXOS

ANEXO A	Propiedades Termofísicas de los Gases de Combustión
ANEXO B	Hoja Técnica del Thinner
ANEXO C	Constantes Físicas de los Materiales Seleccionados
ANEXO D	Valores de TLV para los solventes analizados
ANEXO E	Catálogo del Ventilador Centrífugo Instalado
ANEXO F	Catálogo del Quemador a Gas Instalado
ANEXO G	Planos Constructivos y de Montaje
ANEXO H	Carta de Satisfacción “SOLUCIONES MECÁNICAS INTEGRADAS SOLMEC”

RESUMEN EJECUTIVO

La necesidad de un espacio físico que permita realizar tareas de repinte en carrocerías nuevas o recuperadas mediante enderezada dentro de un taller automotriz y que a la vez aumente su productividad a pesar de las condiciones meteorológicas adversas que pudiesen presentarse obligo a los diseñadores, desde muchos años atrás, a delinear las ideas básicas para construir un recinto cerrado que provea de la iluminación y ventilación suficiente para pintar los vehículos. Es así que se concibe la idea de una cabina de pintura, la cual es considerada como área limpia por la ASHRAE y como tal se presenta como un lugar con ciertas exigencias técnicas para favorecer la labor del pintado. Entre los criterios en los que se fundamenta estas consideraciones son uniformidad, unidireccionalidad y régimen laminar en el flujo de aire que se suministra en su interior, cualidades que no dejan de ser favorables para lograr la calidad del aire deseada. Otro factor importante que define un espacio limpio es la sobrepresión que debe existir en el lugar para evitar que polvos e impurezas ingresen a la cabina por las puertas o cualquier orificio que permitiese su entrada y se implementa mediante la acción conjunta de los subsistemas de inyección y succión instalados. A su vez la corriente de aire que ingresa, a una velocidad considerada de arrastre por su finalidad ya que tiene por objetivo transportar todos los residuos de pintura pulverizada, polvos y demás agentes extraños requiere ser adecuadamente filtrada para evitar que ingresen objetos extraños, que a mas de desbalancear el ventilador y provocar un daño permanente, desmejore la calidad de la atmósfera controlada. Hasta ahora se ha mencionado todos los factores que influyen en la evacuación de residuos sólidos en el ambiente interno pero es necesario también analizar también los vapores provocados por los solventes orgánicos que se utilizan para adelgazar la pintura. El thinner es una mezcla constituida por los componentes antes mencionados y que difieren de acuerdo a la fórmula química que le rige. La naturaleza de dichas sustancias orgánicas permite saber un poco mas acerca de la solución mas idónea que ha de materializarse para contrarrestar el problema: Características como toxicidad, límites de tolerancia y mínimo de inflamabilidad y explosividad deben ser remarcadas en este estudio inclusive la tasa de evaporación es

importante para concebir la idea de cuan rápido se disuelve en el aire. Los efectos que producen sus constituyentes en un recinto cerrado se traducen en la saturación e incremento de los riesgos de inflamabilidad y explosividad. En tal virtud, se requiere definir un caudal de aire fresco que pueda diluir la atmósfera contaminada en términos de reducción de riesgos para la salud de los pintores y de explosividad e inflamabilidad.

El cálculo del sistema de ventilación que ha de implementarse no estaría completo sin antes determinar el trazado de los ductos de suministro y extracción de aire, cada uno comandado por su respectivo ventilador y motor eléctrico, los cuales serán ubicados dentro de los mismos para aprovechar espacio dentro del taller. Este delineamiento exige de una estructura metálica que soporte a los ductos y a sus respectivos equipos. Cabe recalcar que, en el subsistema de extracción, se debe ubicar dicho generador fuera del ducto puesto que las partículas de pintura podrían dañar su bobinado permanentemente, en tal efecto, se requerirá un conjunto de elementos de máquina que permitan crear la relación de transmisión necesaria para lograr las revoluciones a las cuales debe girar la máquina rotatoria acoplada. La determinación de la caída de presión que debe superar cada ventilador es otro factor primordial de diseño que involucra la definición de los coeficientes de pérdida de presión de cada sección o elemento de ducto. Asimismo se debe calcular el requerimiento de potencia que debe aportar el motor para lograr su cometido. Todas estas operaciones deberán ser analizadas conjuntamente con las condiciones termofísicas del aire al igual que factores de corrección referentes a la altura sobre el nivel del mar al que se encuentran.

Hasta ahora se ha solucionado el problema de las impurezas dentro de la cabina y todo lo referente al proceso de pintado. En el proceso global de repinte de vehículos se considera a la aplicación de pintura como una tarea y a su secado o curado, en tal virtud, también se ha diseñado un lugar que pueda ofrecer las condiciones ambientales necesarias para endurecer la capa de pintura y aportar al procedimiento con un acabado de altísima calidad. Es así que se ha pensado en incluir las tareas de ventilación de la cabina con los principios calefactores de

un horno para lograr un solo recinto de pintado automotriz designado cabina-horno.

La temperatura a la cual se debe elevar en el interior esta determinada para no dañar ningún componente del vehículo aunque se deben tomar ciertas precauciones en cuanto a criterios de seguridad y de calidad del proceso. Entre ellos están la búsqueda de algún aerosol o recipiente de alta presión que pueda reaccionar negativamente ante el incremento de temperatura, además se debe retirar toda el agua existente en el recipiente del limpiavidrios para evitar que ésta se evapore y provoque irregularidades en la pintura aplicada a la superficie del auto.

Si bien es cierto que el costo de la energía es alto en un proceso industrial, la reutilización de aire caliente en un sistema es una opción por demás atractiva para los constructores quienes buscan permanentemente reducir la inversión para obtener mayor beneficio. Sin embargo, este criterio involucra varias consideraciones especiales que relacionan explícitamente al sistema de ventilación. Es así que, al tratarse de ambientes con niveles de toxicidad e inflamabilidad considerables, se prefiere realizar el estudio de factibilidad de la implementación de un bypass de recirculación que conecte el ducto de extracción con el de suministro para elevar la temperatura de aire fresco que ingresa a la cabina. Asimismo se debe considerar el caudal efectivo de dilución, calculado anteriormente y constituido por aire del exterior para determinar el porcentaje de reutilización de aire temperado que acepta el sistema sin alterar los beneficios que ofrece la ventilación de la cabina como tal. Evaluados todos los parámetros concernientes al conjunto global se determino que si es posible aplicar el concepto de recirculación en la cabina-horno de pintura automotriz.

El balance másico de energía aplicado a los flujos de suministro, con sus respectivas consideraciones térmicas, entrega el valor de la temperatura de aire mezclado cuyo flujo nuevamente es forzado a pasar a través del elemento calefactor y entrar al interior con la temperatura requerida. De igual manera sucede con el flujo másico de gases de combustión necesario para el intercambio de calor con la corriente de aire.

Nuestro proyecto se centra en la aplicación de un intercambiador de calor a gas en la cabina-horno, en tal virtud se ha dispuesto diseñarlo para flujo cruzado con una configuración constituida por un hogar cilíndrico y un banco de tubos, en el que se pretende el paso de los gases de escape dentro del dispositivo y el aire por fuera. Todo esto a partir de la combustión del gas licuado de petróleo, tarea asignada al quemador tipo pistola, fácilmente acoplable a caldero. Este artefacto se ensambla junto al ventilador en una estructura metálica, el conjunto global recibe el nombre de Unidad Calefactora de Aire o Unit Heater.

Habiendo analizado las condiciones operativas de la cabina-horno nos queda mencionar las consideraciones constructivas del habitáculo. Constituido por una estructura metálica conformada por tubo cuadrado cuyo propósito, a más de brindar estabilidad y rigidez al cuarto, es proporcionar los espacios suficientes para colocar un material aislante que impida las pérdidas de calor a través de las paredes, obviamente serán protegidos por planchas de tol galvanizado. Para ello se escogió la lana o fibra de vidrio, muy bueno en aplicaciones de calefacción de aire además no es inflamable, no así con el poliuretano que pierde su forma debido a su pésima reacción ante el incremento de temperatura. En su parte inferior se construyó una fosa enrejillada que será la encargada de atrapar los residuos sólidos de la pintura.

El sistema de control implementado se baso en una consideración lógica que procura no encender el quemador mientras el ventilador de suministro no se encuentre energizado e inyectando aire al interior. Es así que se construyó un tablero de mandos que gobierna todas las acciones de la cabina mediante un encendido general. Entre algunos de sus componentes tenemos un controlador de temperatura, timer, relés térmicos, fusibles y contactores.

Finalmente cabe decir que la implementación de una cabina-horno de pintura automotriz en un taller mecánico no solo que facilitará el trabajo de los pintores sino que permitirá ofrecer un servicio de calidad, competitivo y por sobre todo con total seguridad para sus operarios y demás.

CAPÍTULO 1

GENERALIDADES

1.1 ANTECEDENTES

El taller de servicios automotrices SOLMEC recién establecido brinda los servicios de Alineación, Balanceo, Enllantaje, Lavadora, Cambios de Aceite, ABC de frenos, ABC de motor y suspensión, Limpieza de inyectores. Lo que se quiere es implementar, además de éstos, el servicio de enderezada y pintura automotriz de tal manera que sea un proceso competitivo en el mercado actual, por lo que como no es de otra manera, se desea utilizar los métodos más eficaces, así, se ha resuelto la construcción de una cabina-horno para pintura automotriz.

Dentro del proceso de mejoramiento institucional continuo que SOLMEC aplica se encuentra la oferta de servicios eficientes y de bajo costo, uno de ellos es el pintura de carrocerías automotrices para vehículos domésticos y de carga ligera (camionetas), el cual se implementará en su locación ubicada en la dirección antes mencionada, instalando una sección que llevará el nombre de PINTURA AUTOMOTRIZ, la cual consistirá en una cabina para pintura al horno además de un espacio físico para el personal de operación de estas actividades.

1.2 DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

En el proceso de pintura automotriz tradicional se encontró ciertas consideraciones metodológicas y de operación, poco eficientes y de alto costo por la cantidad de materia prima que interviene. A continuación se menciona a detalle dichos aspectos, de manera que definan el problema que se desea solucionar. Dentro de los puntos a tratar están; falta de uniformidad en el color de la carrocería a la cual se le aplicó la pintura esto puede ser provocado por varios factores como la habilidad del pintor, condiciones operacionales de la pistola y la preparación inadecuada de la superficie a pintar. Cuando se trata encontrar el

color exacto de un auto que ha sufrido algún desperfecto en su fachada varios son los factores que influyen en el éxito de esta labor, como son: la falta de recursos técnicos para dar una proporción adecuada de pigmentos, disolventes y demás elementos a la mezcla, en caso de poseer dichos recursos, éstos se encuentran descalibrados o discontinuados, si de un software especializado se trata. Como último punto esta el no regirse a las recomendaciones del fabricante cuando se trata de prepara mezclas, es decir no acogerse a la codificación de los colores.

Las condiciones de post pintado se vuelven imperativas dentro de la totalidad de las operaciones del proceso ya que en ellas la materia prima aplicada a la carrocería se concentra en la superficie, en la medida en que esta se adhiera le brindará protección ante la corrosión. En la pintura automotriz artesanal las fases de pintado y secado son similares y de ellas podemos mencionar características como la intemperie a las que están expuestas las superficies tratadas o la cercanía que poseen con otras estaciones de pintado es por ello que si estas locaciones no poseen ventilación y una temperatura adecuada respectivamente no se podrá aprovechar en su totalidad las prestaciones de la pintura aplicada. En lugares técnicamente diseñados se puede solventar estos inconvenientes ofreciendo alternativas confiables y eficaces para distintos tipos y niveles de exigencia laboral. En resumen, se constituye básicamente en la necesidad de brindar un servicio de pintura automotriz de buena calidad, rápido y garantizado para lo cual se considera a la cabina – horno de pintura automotriz un opción por demás acertada, dadas las prestaciones que posee y las condiciones nada complejas de operación hacen de este habitáculo el sitio idóneo para realizar dichas actividades.

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 GENERAL

Diseñar y construir una cabina-horno para el acabado y secado de pintura aplicada en la carrocería de automóviles.

1.3.2 ESPECÍFICOS

- Garantizar una pintura con acabado de calidad en la carrocería del vehículo.
- Reducir los tiempos de secado de la pintura cuando el horno trabaje a una temperatura entre 60 y 80°C, siendo posible con un quemador GLP.
- Retener partículas de pintura, así como sus disolventes y los compuestos orgánicos volátiles (COV's) con sistemas de filtración tradicional (secos) y de carbón activo para no contaminar el medio ambiente.
- Prevenir riegos laborales en los obreros, brindándoles un ambiente de trabajo seguro y adecuado, libre de agentes químicos que pongan en riesgo su salud.
- Generar una mayor rentabilidad a la empresa y recuperación de la inversión, al implementar el servicio de pintura.

1.4 ALCANCE

El proyecto que a continuación se detalla pretende diseñar y construir un ambiente controlado para realizar dos operaciones relacionadas entre sí por una misma actividad, la pintura automotriz, y estas son el pintado y el secado de carrocerías metálicas. Se aplicará conocimientos de profesionales del medio de manera que se podrá disponer de su experiencia para el manejo y posterior procesamiento de la materia prima existente en el mercado nacional. Asimismo se espera justificar el uso de materiales que no afecten al medio ambiente, es mas se enfoca en un diseño muy interesado por el cuidado del entorno.

1.5 JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA

El proyecto se lo lleva a cabo debido a las necesidades del mercado nacional en lo que concierne a talleres automotrices, el parque automotor está creciendo muy velozmente y aunque es verdad que hay muchos centros de atención automotriz, pocos son los que en realidad brindan un servicio de óptima calidad con la tecnología eficiente; así es como la cabina-horno se ha convertido en un componente esencial para ofertar un servicio de pintura de calidad a nuestros clientes.

Brinda ventajas tales como un acabado perfecto en cada vehículo pintado, respeto al medio ambiente; cuando se manejan agentes químicos como la pintura es esencial utilizarlos adecuadamente para lograr un óptimo aprovechamiento en el producto final y una reducción en el impacto ambiental, los componentes orgánicos volátiles (COV's) son contaminantes directos del aire y se prevee instalar sistemas de retención de dichas partículas que consistirán en filtros tradicionales y de carbón activo en la cabina, éste último, la posibilidad mas eficiente entre las existentes en el mercado. Otro beneficio palpable es la reducción de riesgos laborales, llámese envenenamiento, caída o deslizamiento de pesos, explosiones o llamas. Todo ello se pretende controlar gracias a un diseño adecuado en el que intervengan fundamentalmente criterios y sistemas de seguridad estrictos.

Ajustándose a la ley, y pensando en la prevención de riesgos laborales, una instalación de pintura, junto a otros medios, permite al pintor y a sus ayudantes trabajar en un ambiente exento de toxicidad y otros elementos contaminantes

En términos económicos, pintando el vehículo en una instalación apropiada, éste obtiene un acabado como recién salido de fábrica. Además, los tiempos de secado son considerablemente más cortos por consiguiente, SOLMEC puede aumentar la productividad de su servicio y atender a un mayor número de clientes al día.

CAPÍTULO 2

MARCO TEÓRICO

2.1 CABINA- HORNO DE PINTURA AUTOMOTRIZ

La cabina-horno es un componente imprescindible de un taller automotriz porque ofrece un ambiente idóneo para el repintado de calidad de un vehículo en cada una de sus fases, pintado y curado. Pero no sólo aporta ventajas de cara a garantizar un acabado perfecto, sino también desde el punto de vista medio ambiental, ya que se retienen la mayoría de partículas de pintura y compuestos orgánicos volátiles (COV's) que forman parte de algunos solventes, y también desde el punto de vista de la prevención de riesgos laborales, ya que permite al pintor trabajar en una atmósfera de condiciones controladas. Además, reduce los tiempos de secado al trabajar en un intervalo de temperatura comprendido entre 60 - 80 °C.

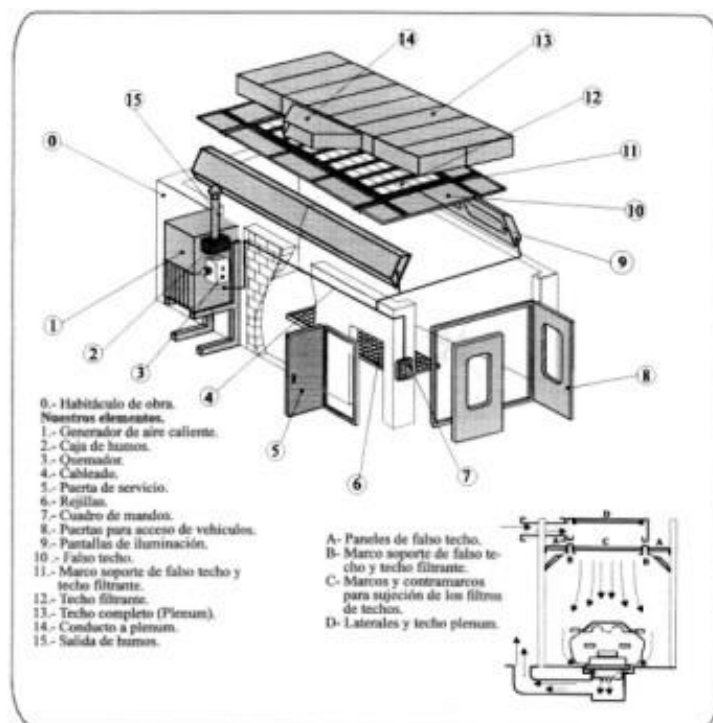


Figura 2.1 Esquema de las partes de una cabina

2.1.1 TIPOS DE CABINAS-HORNO

Los distintos tipos de cabinas-horno de pintura existentes en el mercado se clasifican de acuerdo a las siguientes características: potencia y características del grupo impulsor y extractor de aire, es decir el tipo de sistema de ventilación mecánica. Otros aspectos de ordenación son el sistema de filtrado de aire, bypass de recirculación pero principalmente al mecanismo de calefacción de la cabina. Por último, pero no menos importante, el tipo de corriente de aire en el interior del habitáculo.

2.1.1.1 Corriente de aire en la cabina-horno

Este elemento es gravitante en la eficacia que pueda proporcionar al arrastre de partículas atomizadas de pintura que se encuentre en el ambiente y no se ha adherido a la carrocería además de su protección de impurezas. Su objetivo primordial es convertirse en un manto dinámico de aire, que actúa bajo un régimen laminar, que proteja al cuerpo metálico de agentes que puedan restar calidad al acabado final.

2.1.1.1.1 Cabinas de flujo Horizontal

Son aquellas cabinas en las que la corriente de aire ingresa al recinto, generalmente desde la pared posterior y la recorre longitudinalmente hasta su salida ubicada en un punto opuesto, la cual se desempeña como acceso de los vehículos y que consiste en puertas abatibles fabricadas con paneles filtrantes que atrapan las partículas sólidas de pintura.

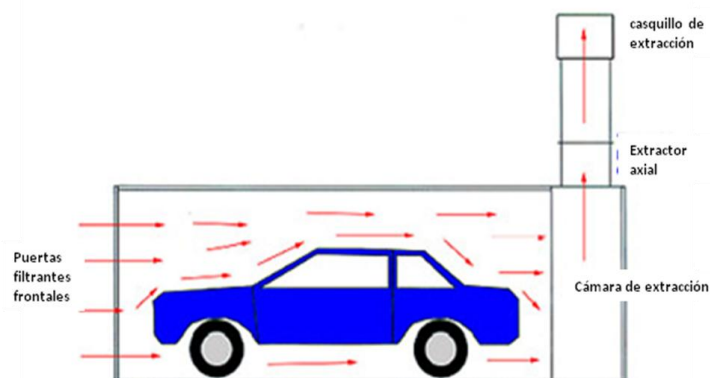


Figura 2.2 Cabina de Flujo Horizontal

2.1.1.1.2 Cabinas de flujo Vertical

Son las cabinas cuya corriente de aire bajan desde el techo filtrante hacia el suelo en sentido vertical, saliendo hacia el exterior a través de lugares dejados abiertos expresamente.

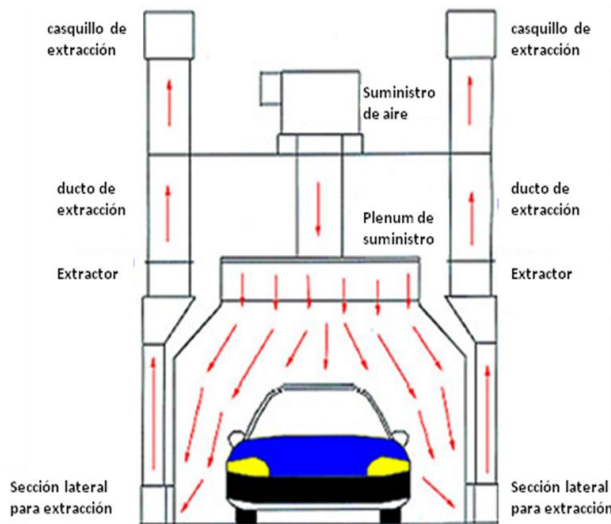


Figura 2.3 Flujo vertical con doble salida

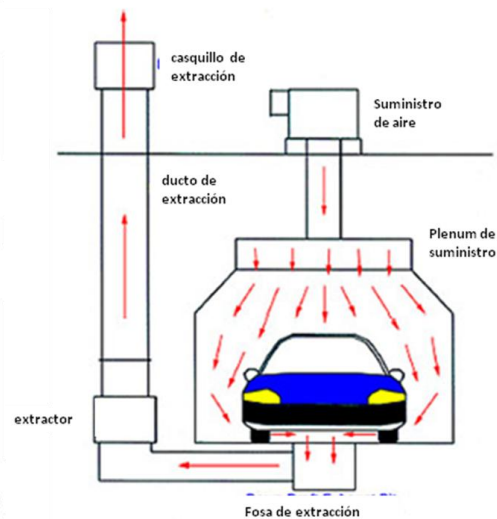


Figura 2.4 Flujo vertical con una salida

La corriente de aire vertical unidireccional logra una cobertura casi total del vehículo lo cual favorece las condiciones primarias de la tarea de pintado. Junto a la laminaridad, son las tres características, que aplicadas simultáneamente son los componentes esenciales en los que se basan las locaciones conocidas como áreas limpias, mas adelante citaremos descripciones mas detalladas sobre estas zonas de trabajo.

2.1.1.2 Sistema de Ventilación

Debe manejar criterios como estabilidad de la cabina-horno cuando esta se encuentre en marcha, exigencia y conservación de los equipos, eficacia en las tareas designadas entre otros. En base a éstos se han definido dos clases: Grupo Impulsor o Extractor y Grupo Combinado o de suministro y extracción.

2.1.1.2.1 Grupo Impulsor o Extractor

Este tipo de conjunto de ventilación mecánica, como su nombre lo indica, se enfocan exclusivamente en la inyección o succión de aire del interior de la cabina, ya sea para el reemplazo del aire extraído o para su acondicionamiento. Es importante destacar que su implementación reduce significativamente los costos en cuanto al equipamiento. Sin embargo, el efecto que pudiere producir su instalación repercutirá a futuro en los costos de las tareas de mantenimiento e incluso sustitución del mismo debido a la exigencia a la cual se encuentre sometido. Por otra parte, si se refiere en términos de estabilidad y efectividad, ésta no se considera como la opción más adecuada puesto que es más propenso a desperfectos como desbalance del ventilador o mal funcionamiento del motor eléctrico por saturación de polvo en el bobinado.

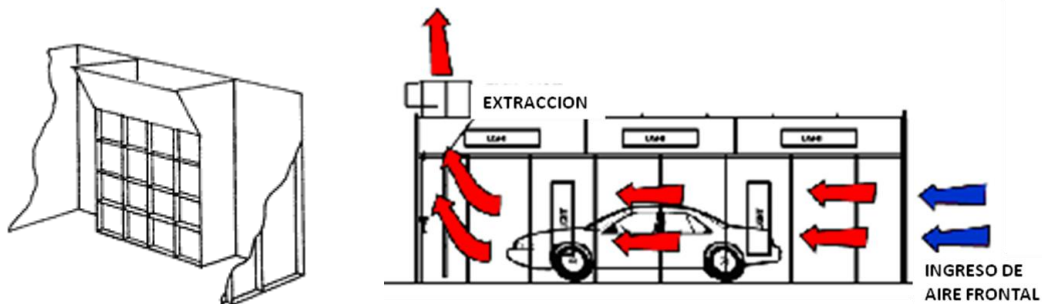


Figura 2.5 Cabina-Horno con Grupo Extractor

2.1.1.2.2 Grupo Combinado o de Suministro y Extracción

Atendiendo a los criterios de un adecuado sistema de ventilación, la instalación de un grupo impulsor para el suministro y uno extractor para la succión de aire brindará mayor eficacia a cada acción además de proporcionar estabilidad al sistema en su totalidad. Por otra parte, la prolongación de la vida útil de los equipos, la reducción de las inspecciones de mantenimiento además de la ventaja de controlar la presión dentro de la cabina se convierte en uno de los factores cruciales para elegir la implementación de estos subsistemas.

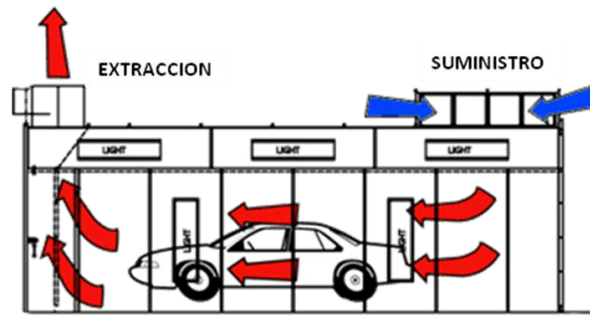


Figura 2.6 Cabina- Horno con Grupo Combinado

2.1.1.3 Elemento o dispositivo Calefactor

En el mercado existen cabinas que trabajan con lámparas infrarrojas, resistencias eléctricas o aquel constituido por un intercambiador de calor con quemador de combustible fósil, siendo esta última opción a la cual se dedicará el estudio técnico y posterior diseño se basará en premisas, recomendaciones y normas emitidas por fabricantes u organizaciones de profesionales y científicos afines al campo en cuestión.

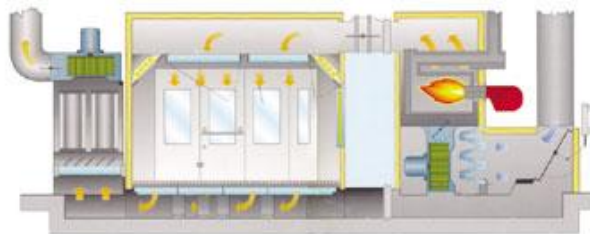


Figura 2.7 Cabina – Horno a base de Quemador de Combustible

2.1.2 FUNCIONAMIENTO

Una cabina-horno de pintura es un recinto cerrado, perfectamente ventilado y acondicionado de acuerdo a las tareas que allí deban realizarse. El aire es captado desde el exterior a temperatura ambiente, se hace pasar por un filtro para eliminar las principales impurezas que ingresan junto a la corriente de aire. De aquí en adelante, el accionar de la cabina difiere en función de la finalidad que se pretenda dar al aire. Es así como se definen las etapas del repinte en pintado y

curado, que a su vez le corresponden al habitáculo de operaciones de pintura como fases de trabajo.

2.1.2.1 Fase de Pintado

Prosigue su trayectoria conducida por un sistema de ductos hasta un difusor en el techo de la cabina, el mismo que contiene unos filtros que eliminan las partículas finas de polvo para evitar que la suciedad quede adherida a la película de pintura, luego cubre al vehículo y se dirige hacia un suelo perforado que a su vez conduce a una fosa. Este paso forzado de aire, vertical y dirigido hacia abajo, es el encargado de arrastrar los restos de pulverización aerográfica que son el resultado de la aplicación de pintura por parte del obrero. Las salidas de este aire se realizan por el suelo enrejillado, filtrando el aire mediante los denominados "paint-stop", filtros que se encuentran debajo de las rejillas y que retienen los restos de la pintura en suspensión.

Otra característica importante que debe poseer una cabina de pintado es un buen sistema de iluminación, esta calidad de luz garantiza una buena reproducción cromática con un espectro de luz lo más semejante a los patrones de luz día, necesario para una buena percepción del color para la operación de ajuste, ya que la calidad de pintado de un coche depende en gran medida de un correcto ajuste del color de acabado.

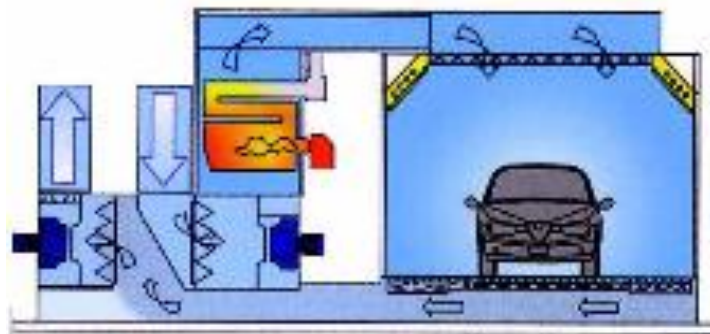


Figura 2.8 Cabina-Horno en Fase de Pintado

2.1.2.2 Fase de Curado

El secado de la pintura automotriz consiste en la extracción de los disolventes orgánicos contenidos en la mezcla líquida de pintura aplicada a la carrocería, mediante su evaporación por calor latente, ya sea radiación, conducción o convección. Las capas mas externas, ya secas se convierten en transmisoras de calor por conducción hacia las internas. Por lo general, la propia cabina donde se ha aplicado la pintura actúa también como horno de secado, en el que circula el aire en su interior a una temperatura que oscila entre los 60 y 80°C durante unos 30 y 45 minutos de secado. A menudo la potencia térmica instalada, en una cabina horno común, es 140 kW o 400.000 BTU/h. En esta fase de secado, el aire aspirado del exterior antes de ser impulsado al "plenum" de distribución, es recirculado a través del intercambiador de calor en una proporción aproximada del 80 – 90 % para un mayor aprovechamiento energético.

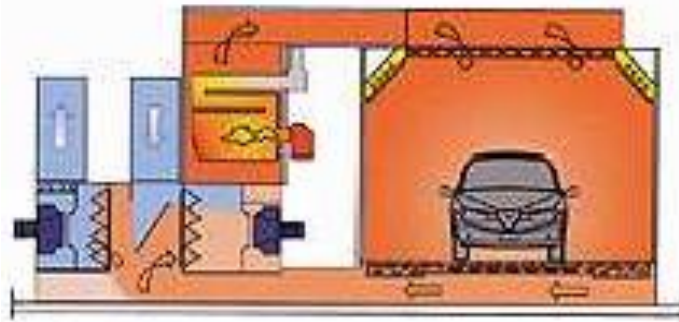


Figura 2.9 Cabina-Horno en Fase de Curado

2.1.2.3 Condiciones de Operación

A continuación se muestra un cuadro que contiene los parámetros operativos a los cuales se han regido los fabricantes de cabinas-horno de pintura para su diseño y puesta en marcha, siendo éstos los valores numéricos correspondientes a los recomendados por las normas internacionales afines a esta actividad.

Tabla 2.1 Condiciones de operación de una cabina

Parámetros	FASES		
	Pintado	Secado	
		Calentamiento	Enfriamiento
Tiempo (minutos)	45	35	10
Temperatura (°C)	>= 15	60	60→0
Caudal de aire de entrada (m ³ /h)	15000		
Caudal de aire de salida (m ³ /h)	14500		
Recirculación de aire	No existe	80 – 90 %	
Iluminación (luxes)	800		

Fuente: Catálogo Cabinas-Horno NOVAVERTA, Ficha Técnica

2.1.2.4 Medidas de Seguridad

La instalación de mecanismos de seguridad para la cabina-horno es esencial para un adecuado desenvolvimiento de los equipos en el recinto. Estos, permitirán alertar al sistema sobre situaciones críticas o de riesgo que afecten a los equipos y tomar los correctivos necesarios o suspender su acción definitivamente en el proceso. La seguridad depende de la rigurosidad en el control de sus parámetros de operación y en las acciones de mantenimiento destinadas para el efecto.

Las tareas preventivas, predictivas y correctivas, desde el punto de vista de mantenimiento, se refieren a recomendaciones emitidas por el diseñador en función de una adecuada conservación de los equipos dentro de su vida útil, providencias que incluyen desde indicaciones de operación, inspecciones técnicas para verificar el buen estado del sistema hasta acciones correctivas. Mientras que aquella relacionada con el control esta dada por la efectividad con la que trabaje la cabina-horno. Es así como se recomienda colocar sensores como termocuplas, preóstatos y manómetros diferenciales en sitios específicos, listaremos entre ellos al intercambiador de calor, interior del habitáculo y en algunos filtros y poder regular los equipos, manteniéndolos dentro de los rangos de trabajo establecidos por el diseñador.

2.1.3 VENTAJAS PARA EL TALLER AUTOMOTRIZ

Es importante mantener el objetivo primordial a la vista, brindar un servicio de calidad al cliente manteniendo estándares de calidad y mejorando la productividad del taller de pintura. A continuación, se mencionan los beneficios que proporcionan las cabinas de pintura:

- Garantizar un excelente acabado final del vehículo repintado.
- Compromiso medioambiental por lo que se implementa una serie de dispositivos filtrantes para contrarrestar polvos, impurezas entre otros.
- Asegurar un ambiente laboral idóneo para el pintor, minimizando los riesgos laborales y proporcionando comodidad, todo ello respetando las reglamentaciones locales y regionales.

2.1.4 PROVIDENCIAS PARA CONSTRUCCION E INSTALACION

Los vehículos entran reparados superficialmente a las cabinas de pintura, bien en el proceso de fabricación o en el de reparación de la carrocería se debe contar con un acabado perfecto en la pintura. Es por ello que una buena cabina de pintura para vehículos conjuntamente con su sistema de ventilación deben reunir una serie de requisitos básicos asimismo es por ello que a continuación los describiremos a detalle respectivamente.

2.1.4.1 Estructura de la Cabina

La forma de la cabina de pintura debe satisfacer requerimientos de rigidez estructural, funcionalidad y estética. Es así que el diseño estandarizado en este tipo de recintos responde a una configuración prismática rectangular cuyas aristas longitudinales superiores son truncadas formando inclinaciones a 45° con respecto a la vertical, todo esto con fines específicos destinados a la iluminación. Adicional a este prisma, se monta otra estructura rectangular a manera de cajón que conformará el plenum.

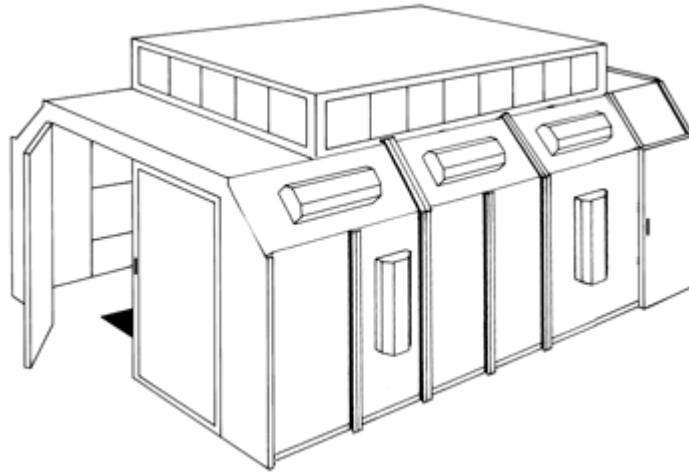


Figura 2.10 Configuración Geométrico-Espacial de la Cabina-Horno

La construcción del recinto debe realizarse mediante la utilización de materiales no inflamables que brinden la protección necesaria para mantener estables las condiciones térmicas y de ventilación dentro de la cabina-horno. Por lo que en la actualidad se dispone de dos opciones para su fabricación, bloque y cemento que corresponden a una obra civil y paneles tipo sánduche que se refieren al tipo modular.

2.1.4.1.1 Obra Civil

Es raramente usado hoy en día debido al tiempo que tarda su construcción y el traslado de materiales. A esto se suma la negativa a la posibilidad de trasladar la estructura a otra locación del taller en caso de requerirlo. Es imperativo forrar sus paredes con un material aislante lo cual incrementa los costos de edificación.

2.1.4.1.2 Tipo Modular

Consiste en la utilización de paneles formados por un aislante termoacústico ubicado en medio de láminas de acero galvanizado, este conjunto recibe el nombre de paneles tipo sánduche y difieren de acuerdo al material que se utilice para impedir el paso de calor. Entre las opciones más usadas se tiene: lana de vidrio, lana de roca o poliuretano. Cabe recalcar que dichos módulos son apoyados en una estructura metálica o en su defecto en perfiles que hacen las veces de canales o guías de ensamble.

El primer tipo consiste en formar una estructura metálica a manera de jaula lo suficientemente resistente para soportar el peso de los demás componentes. La estructura se forrará exteriormente de láminas de acero galvanizado, se pondría material aislante, finalmente se cubriría nuevamente de acero galvanizado en su interior.

Mientras que aquella estructura del tipo panelada consiste en el montaje de paneles ya conformados en medidas específicas y provistos de un tipo de junta llamada machihembrado, es decir que empatan unos con otros. Ofrece facilidad y rapidez en su ensamblaje, la construcción se realiza de la misma manera que la de una estructura para los cuartos o cámaras frías, la desventaja de este método es la poca estabilidad de la estructura soportante (que sólo funcionaría como marco o bastidor) ya que los paneles se mantienen erguidos por sí solos. Razón por la que no funcionaría en caso de tener que montar los equipos de ventilación y calefacción en la parte superior. Adicional a esto, la restricción que presentan los paneles en cuanto a sus dimensiones estándar se traducen en un alto costo y el desperdicio de material. La ventaja es la facilidad de montaje y desmontaje.

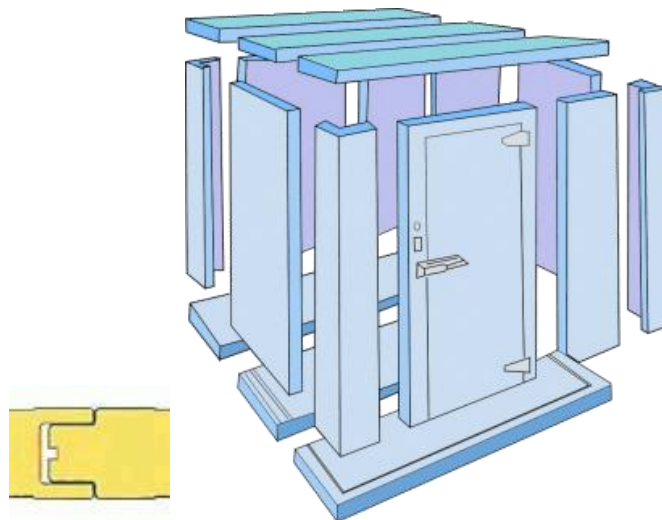


Figura 2.11 Cabina-Horno Panelada

Debido a la necesidad de hacer agujeros en diferentes puntos de la cabina para los cables eléctricos, conexión a la línea de aire comprimido, etc. Es necesario sellar las aberturas y poner especial atención en la colocación de mangueras o

cables cerca de bordes afilados con la finalidad de proveer hermeticidad a la cabina para evitar fugas térmicas y de aire.



Figura 2.12 Sellado de Uniones (Vista interna de una esquina de la cabina-horno)

El diseño de las puertas debe ser tal que suprima el sonido del proceso de pintura respecto al medio que rodea la cabina, así mismo deben ser herméticas para de esta manera no dejar escapar calor y tampoco dejar entrar polvo e impurezas que afecten el resultado final del proceso; también deben ser livianas, de fácil apertura y aseguramiento.



Figura 2.13 Detalles de las Puertas Abatibles de una Cabina-Horno

Las ventanas deben ser construidas de un material plástico multicapas o de vidrio templado por seguridad y resistencia a la rotura. Además, como las puertas, deben estar instaladas herméticamente.

El piso debe proveer la resistencia suficiente para soportar el peso de la cabina y vehículo. Debido a la extracción del aire en la cabina es imprescindible habilitar un hueco con un área considerable en el suelo para conducir el flujo hacia el exterior.

Existen dos posibilidades para lograr este cometido, mediante una plataforma ahuecada en el centro o en su defecto una fosa. En ambas opciones se contempla la implementación de una rejilla cuya disposición difiere por el flujo de aire en el interior. Cabe recalcar que los filtros se deben colocar debajo de toda la superficie enrejada para retener toda la pintura inutilizada en el proceso.

Para la construcción del piso existen dos opciones, estructura metálica y obra civil. Se suele escoger una u otra opción debido a las condiciones del medio en donde se ubicará la cabina. En cuanto a estructura metálica se eleva aproximadamente 40 cm. del piso base ya que este espacio es ocupado por el aire que debe circular bajo las rejillas. Respecto a obra civil se puede escoger, entre elevar 40 cm del piso la losa hueca, o cavar 40 cm un agujero rectangular que es donde irán las rejillas además de una conexión para la ductería.

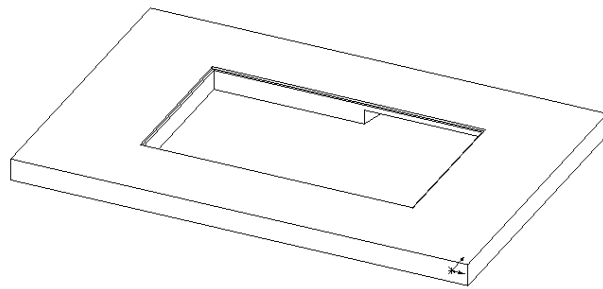


Figura 2.14 Plataforma Ahuecada en el centro



Figura 2.15 Fosa Enrejada en paralelo

2.1.4.2 Equipos y Ductos de Aire

- La velocidad de aire en el interior de la cabina es el parámetro fundamental de diseño para un sistema de ventilación y debe ser siempre superior a 0.30 m/s

para asegurar una correcta evacuación de gases. Esta magnitud debe asegurar una renovación de aire alrededor de los 250-300 renovaciones/hora. O sea, la ventilación de la cabina debe garantizar una sobrepresión constante y uniforme en el interior del habitáculo, y además se tiene que ajustar al tipo de pintura que se use pues el disolvente es un factor esencial para la selección del porcentaje de suministro de aire fresco. Tampoco hay que olvidar que el caudal de aire debe estar de acuerdo al espacio.

- La cabina de pintura debe constar de un sistema de calefacción y de regulación que garantice una temperatura constante y uniforme en toda la superficie y a todas las alturas con una diferencia máxima inferior a 5°C.

- Un buen sistema de control del nivel de saturación de los filtros del techo también es clave en una cabina de pintura.

- La instalación de los equipos se debe realizar de acuerdo sugerencias de fabricantes y normativas internacionales para lograr su mas óptimo desempeño.

- El sistema de ductos de aire deben brindar todas las facilidades en cuanto a espacio y prestaciones mecánicas, entiéndase esto como su resistencia a la deformación durante el proceso. Es importante verificar la inexistencia de fugas en su trayectoria para garantizar que los parámetros que se manejan en el diseño se vean reflejados en la realidad.

2.2 PINTADO DE VEHÍCULOS

La aplicación de pintura en un vehículo cumple una doble función: por un lado, lo protege frente a la corrosión y, por otro, proporciona el aspecto estético final, aportando el color y el brillo y que hacen que el vehículo sea más atractivo. Durante la fabricación del automóvil se aplican en la carrocería diversos productos de pintura que aseguran el cumplimiento de estas dos funciones. Cuando es reparado, ya sea porque ha sufrido daños o por el efecto del tiempo, deben reponerse esas capas de pintura, garantizando el máximo nivel de protección y de belleza exterior. Dentro de los trabajos de pintado en reparación, se pueden

distinguir dos fases: preparación y acabado. La primera de ellas, tiene por objeto preparar las superficies de las piezas reparadas, de las piezas sustituidas o de cualquier zona que precise la aplicación de pintura, para la siguiente fase, únicamente se procede a la aplicación de la pintura de acabado.

2.2.1 PROCESO DE REPINTADO DE VEHÍCULOS COMPLETOS

Pintar una carrocería completa es un trabajo que precisa una atención y preparación especial; con el fin de evitar riesgos que irían en detrimento de la calidad y de la rentabilidad de la operación, es de vital importancia evitar riesgos, planeando los resultados desde el principio y siguiendo un orden previo a la aplicación de la pintura sobre el automóvil. La finalidad es conseguir continuidad, evitar juntas secas de solape y minimizar movimientos innecesarios, impidiendo de esta forma trabajos repetidos y consiguiendo que los materiales y el tiempo empleados sean únicamente los necesarios.



Figura 2.16 Pintado completo de un vehículo

2.2.1.1 Descripción del proceso

Antes de iniciar las operaciones de preparación de superficies, se debe observar detenidamente cada pieza del vehículo, al objeto de dar el visto bueno a la reparación de la chapa y determinar el proceso más correcto para tratar cada superficie afectada. En los repintados de vehículos completos existen con frecuencia piezas reparadas, piezas nuevas y piezas superficialmente dañadas. Consecuentemente, el tratamiento de cada superficie puede y debe ser diferente en cada caso, asegurando así que una buena preparación permita conseguir un acabado de calidad.

Tabla. 2.2 Preparación de Superficies

PREPARACIÓN DE SUPERFICIES		
Pieza reparada	Pieza nueva	Daño superficial
Desengrasado 	Desengrasado 	Desengrasado 
Lijado 	Lijado 	Lijado 
Enmasillado 	Enmasillado 	Enmasillado 
Lijado 	Lijado 	Lijado 
Enmascarado 	Enmascarado 	Enmascarado 
Aparejado 	Aparejado 	Aparejado 
Lijado 	Lijado 	Lijado 

Fuente: Manual de Pintado de Vehículos - CESVIMAP

2.2.1.2 Enmascarado en el acabado

Después de una minuciosa limpieza exterior del vehículo, así como de las zonas de entrantes de puerta, estribos, huecos y cavidades, se procede a seleccionar los equipos y materiales de enmascarado, con el fin de evitar pulverizaciones finales no deseadas, que implicarían trabajos adicionales después del pintado. La colocación de papel con cinta adhesiva de distintos anchos es una buena solución para el enmascarado de entrantes o contornos de capós, puertas y estribos. Si hay lunas no desmontadas, es necesaria la utilización de cintas específicas con papel o con lámina de plástico, así como de útiles en gomas o lunas. Las molduras y pequeños accesorios no desmontados deben ser protegidos con cinta. Es interesante dedicar unos minutos adicionales para asegurarnos de que todo está perfectamente enmascarado, evitando así errores de pulverización por olvidos o imprevistos.



Figura 2.17 Proceso de enmascarado



Figura 2.18 Enmascarado final

2.2.1.3 Limpieza y desengrasado

La operación de limpieza y desengrasado, que se repite en numerosas ocasiones a lo largo de todo el proceso, es de vital importancia antes de aplicar la pintura de acabado, para conseguir un acabado libre de polvo y suciedad. La limpieza se efectúa soplando suavemente toda la superficie con una pistola y aire a presión, y, a continuación, se limpia con paños limpios y disolvente desengrasante. Finalmente, se pasa una gamuza atrapapolvo, para retener cualquier partícula de polvo existente en la superficie que se va a pintar.

2.2.1.4 Preparación de la mezcla de color y el equipo










Después de seleccionar la fórmula de color y la cantidad deseada en el lector de microfichas o en la balanza inteligente, se procede a añadir en el envase la cantidad de básicos requerida para la obtención de color. Posteriormente, se coloca la regla de proporciones dentro del envase y, a continuación, se añaden las cantidades exactas de catalizador y diluyente, en el caso de tratarse de una pintura en acabado monocapa. Si la pintura es bicapa o tricapa, solamente se añadirá diluyente, utilizando, como es lógico, la regla de proporciones aconsejada.

2.2.1.5 Aplicación de la pintura

Como primer paso para la aplicación de pintura se debe verificar que la pistola debe estar perfectamente limpia; para asegurarse de ello, es conveniente introducir disolvente en el depósito y realizar unas cuantas pulverizaciones de

prueba. Si el funcionamiento es correcto, se elimina el disolvente y se añade la pintura dentro del depósito, ésta se debe filtrar antes de cargar el depósito de la pistola. Después de poner en marcha la cabina y seleccionar la temperatura, el pintor debe colocarse un «buzo» limpio, libre de hiladuras y preferiblemente con capucha, para evitar posibles caídas de cabellos sobre la superficie del vehículo cuando se esté pintando.

Tabla. 2.3 Esquema de operaciones para acabado

PINTADO FINAL		
Pieza reparada	Pieza nueva	Daño superficial
Desengrasado 	Desengrasado 	Desengrasado 
Enmascarado 	Enmascarado 	Enmascarado 
Pintado 	Pintado 	Pintado 

Fuente: Manual de Pintado de Vehículos - CESVIMAP

Es aconsejable introducir en la cabina tanto la pistola cargada de producto como el resto de la pintura preparada para posteriores cargas, con el fin de evitar que la apertura continuada de la puerta ocasione sobrepresiones y movimiento bruscos de aire, que pueden remover partículas de suciedad que quedarían adheridas sobre la superficie de pintura.



Figura 2.19 Aplicación de pintura dentro de una cabina

Sería conveniente seguir un orden de aplicación de la pintura en las piezas, en función de la configuración y superficie del vehículo. El motivo no es otro que buscar una economía de movimientos y, en consecuencia, de tiempo. En las cabinas, donde el flujo de aire va del techo hasta el suelo, deberá iniciarse el trabajo de pintado por el techo y los pilares, y continuar alrededor del vehículo, empezando y terminando en una puerta abierta, de manera que se evita producir un borde seco o una pulverización. Obviamente, el hueco de la puerta e interior de la misma han sido enmascarados.

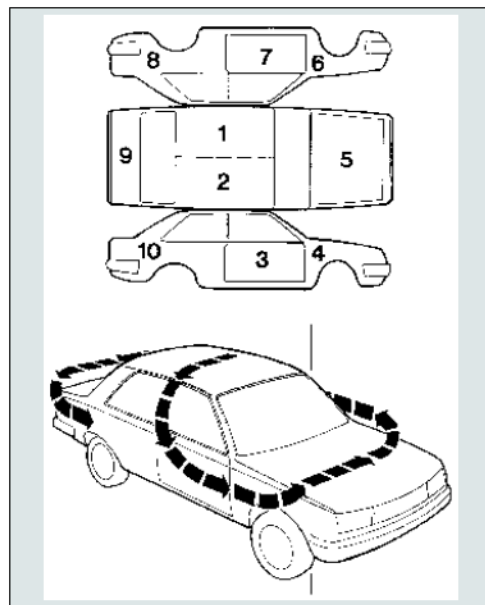


Figura 2.20 Orden de Pintado

2.3 VENTILACIÓN MECÁNICA DE UNA CABINA-HORNO

Ciertamente en las plantas industriales, se diseña el sistema de ventilación mas adecuado en función de la naturaleza del problema que estas afrontan, es así que para ambientes contaminados con impurezas, polvos y vapores es requerido un sistema de extracción, mientras que en lugares donde se precisa el abastecimiento de aire temperado es, por demás lógica la implementación de un sistema de suministro con un elemento acondicionador de aire. En este caso, el control de las condiciones operativas de pintado y curado en la cabina es el factor decisivo para la selección del sistema de ventilación.

La pulverización de pintura diluida en solventes orgánicos y la reducción en los tiempos de secado de la pintura exigen un régimen de venteo de suministro y extracción de aire combinados, conocido también como Sistema de Control de Dilución.

2.3.1 VENTILACIÓN PARA DILUCIÓN

En una cabina-horno en la cual se realizan tareas de pintado se requiere una adecuada ventilación, debido a los solventes que en muchos casos pueden ser cancerígenos, tóxicos o inflamables como toluenos, xilenos, etilbencenos, etc. Para garantizar un espacio de trabajo óptimo para el pintor se debe proveer constantemente de una corriente de aire fresco no contaminado que pueda diluir los químicos atomizados durante el proceso y extraerlos mediante succión a través de una salida diseñada según sea el modelo de la cabina-horno, todo esto con el propósito de reducir considerablemente los peligros potenciales que atenten contra la salud del operario además de los límites de explosividad e inflamabilidad de las sustancias que se encuentren en el ambiente.

Depende exclusivamente de la naturaleza de los agentes químicos inmersos en el proceso y su efecto en los operarios para determinar el tipo de dilución que ha de aplicarse, cualquiera que esta sea debe cumplir con ciertos principios que incrementen los beneficios que pueda ofrecer el sistema.

2.3.1.1 Dilución para la Salud

En este caso, se procura controlar los vapores de líquidos orgánicos con un ¹TLV de 100 ppm o mayores mediante el suministro de un caudal de aire fresco no contaminado. Prever al pintor de un ambiente seguro para su salud es la meta que persigue este estudio, es por ello que la ACGIH ha desarrollado información referente a las sustancias de uso industrial, como los solventes,

¹Son las siglas en ingles Threshold Limit Value, significa Valor Límite de Tolerancia. Se define como la cantidad de materiales tóxicos en el ambiente al cual están expuestos los trabajadores durante 8 horas sin efectos adversos en lo posterior.

La ecuación general de dilución parte del principio en el que la tasa de ventilación necesaria para mantener constante la concentración en un espacio cerrado respecto a la generación del contaminante, asumiendo que el aire inyectado al recinto no está contaminado, así:

Tasa de Acumulación = Tasa de Generación – Tasa de Renovación

$$VdC = Gdt - CDT \quad (2.1)$$

Donde:

V	Volumen de la cabina
G	Tasa de Generación
Qh	Caudal volumétrico efectivo
C	Concentración del gas o vapor
t	Tiempo

En función de una concentración constante y una generación uniforme de contaminante, tenemos:

$$Q_h := \frac{G}{C} \quad (2.2)$$

Un factor K se introduce en la expresión para identificar la forma de distribución del aire en el espacio de trabajo, en un rango de 1 a 10 así:

$$Q_{dte} := \left(\frac{G}{C} \right) \cdot K \quad (2.3)$$

La concentración aceptable C, se encuentra definida por el TLV específico de las sustancias de uso industrial, esta expresada en partes por millón y tabulada en la norma ACGIH "INDUSTRIAL VENTILATION". Para solventes orgánicos, la tasa de generación es:

$$G := \frac{\text{CONSTANTSGER}}{\text{MW}} \quad (2.4)$$

de donde:

CONSTANT	403.10E6 (volumen en pies cúbicos por una pinta de líquido vaporizado).
SG	Gravedad específica del líquido volátil
ER	Tasa de evaporación del líquido, pts/mín.
MW	Peso molecular del líquido o mezcla.

2.3.1.1.1 TLV para una mezcla de solventes

Cuando existen espacios en donde impera la presencia de dos o mas sustancias peligrosas se debe analizar, principalmente su efecto combinado antes que el individual. ¹“Si no se dispone de la información específica sobre el efecto combinado de estos químicos se asumirá como la suma de sus efectos individuales”. A continuación se muestra la expresión que refleja esta afirmación.

$$\frac{C1}{T1} + \frac{C2}{T2} + \frac{C3}{T3} + \dots := 1 \quad (2.5)$$

Existen varias maneras de denotar la concentración de un solvente, partes por millón (ppm), porcentaje en peso (%) y unidad de masa por unidad de volumen (mg/m³). Para facilidad en el cálculo se prefiere utilizar las ppm como unidad de la concentración puesto que así también se encuentran expresados los valores de TLV de cada sustancia. Un análisis mucho mas minucioso es aquel que se debe realizar cuando la composición de las sustancias están dadas en peso.

A continuación mostraremos con un ejemplo cual es el procedimiento a seguir para determinar el TLV de una mezcla cuando los datos se encuentran bajo estas unidades.

2.3.1.2 Dilución por Inflamabilidad y Explosividad

Parámetros como la inflamabilidad y explosividad son características propias de los solventes orgánicos utilizados en el proceso, es así que se considera al ambiente interno de la cabina como una ²atmósfera explosiva. Mantener la concentración del vapor en el aire por debajo del ³LEL, expresado en partes por 100, es el objetivo primordial de este tipo de dilución.

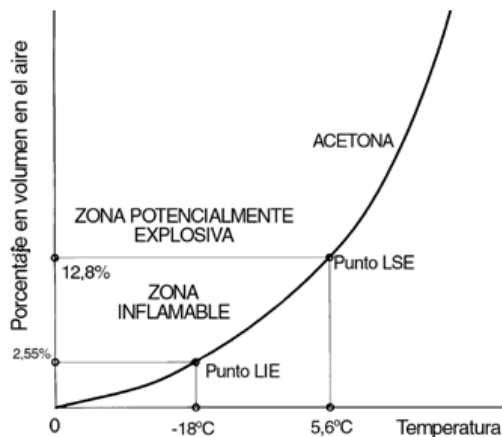


Figura 2.21 Gráfica Volumen de Aire vs. LEL y UEL

Por debajo del LEL se considera que la mezcla es "demasiado pobre" para arder y por encima del UEL es "demasiado rica" también para arder. En este caso, tratándose de motores de explosión, decimos que se "ahoga". La ecuación que se cita a continuación define el caudal de aire fresco efectivo necesario para diluir el ambiente impuro.

$$Q_{fe} := \frac{403 \cdot (sp_{grliquid}) \cdot (100) \cdot (ER) \cdot (Sf)}{(MW_{liquid}) \cdot (LEL) \cdot (B)} \quad (2.6)$$

de donde:

Sf Coeficiente de Seguridad, depende del porcentaje de LEL necesario para condiciones seguras.

²Es toda mezcla de aire, en condiciones atmosféricas, de sustancias inflamables en forma de gas, vapor, niebla o polvo en las que tras una ignición, la combustión se propaga a la totalidad de la mezcla no quemada.

³Son las siglas en inglés Lower Explosive Limit, significa Límite Inferior de Explosividad. Se define como la concentración mínima de vapor-aire por debajo de la cual el fuego no se propaga.

NOTA: Para hornos y habitáculos de secado se recomienda mantener el LEL en un valor no mayor a un 25% (Sf = 4 - 10).

B Constante que relaciona el decrecimiento del LEL correspondiente al vapor de solvente en el aire cuando éste se eleva la temperatura.

B = 1 -> < 250 °F

B = 0.7 -> > 250 °F

Cabe recalcar que esta expresión concibe las condiciones de operación como estándar. Cuando la temperatura de operación sea superior a la estándar o ambiente se debe multiplicar el caudal efectivo por un factor denominado Cociente de Temperatura Absoluta, el mismo que responde a la siguiente expresión:

$$CTA := \left(\frac{460 + T_{operación}}{460 + T_{std}} \right) \quad (2.7)$$

Toperación Temperatura de operación de la cabina horno, °F.

Tstd Temperatura Estándar, °F.

Cuando la temperatura de operación es la estándar, CTA es igual a uno. De manera que el caudal de aire que se obtiene como resultado de este estudio es:

$$Q_{lel} := Q_{fe} \cdot CTA \quad (2.8)$$

2.3.2 VENTILACIÓN PARA ARRASTRE

Este tipo de ventilación debe ofrecer al pintor un ambiente libre de impurezas, dentro de ellas se definen polvos, desperdicios minúsculos y el más importante la pintura atomizada que no se ha adherido a la carrocería y que por tanto se considera inerte e imprescindible su evacuación de la cabina. Según las recomendaciones de las normas de ventilación se conciben a aquellas instalaciones confinadas donde se realizan tareas de pintado como una aplicación de *Áreas Limpias* en las que el diseño de la corriente de aire debe proveer la

intensidad y constancia suficiente para atrapar y acarrear todo agente externo hasta su salida. Un sistema de suministro independiente proveerá el flujo de aire necesario para diluir la concentración de los gases y atrapar las impurezas.

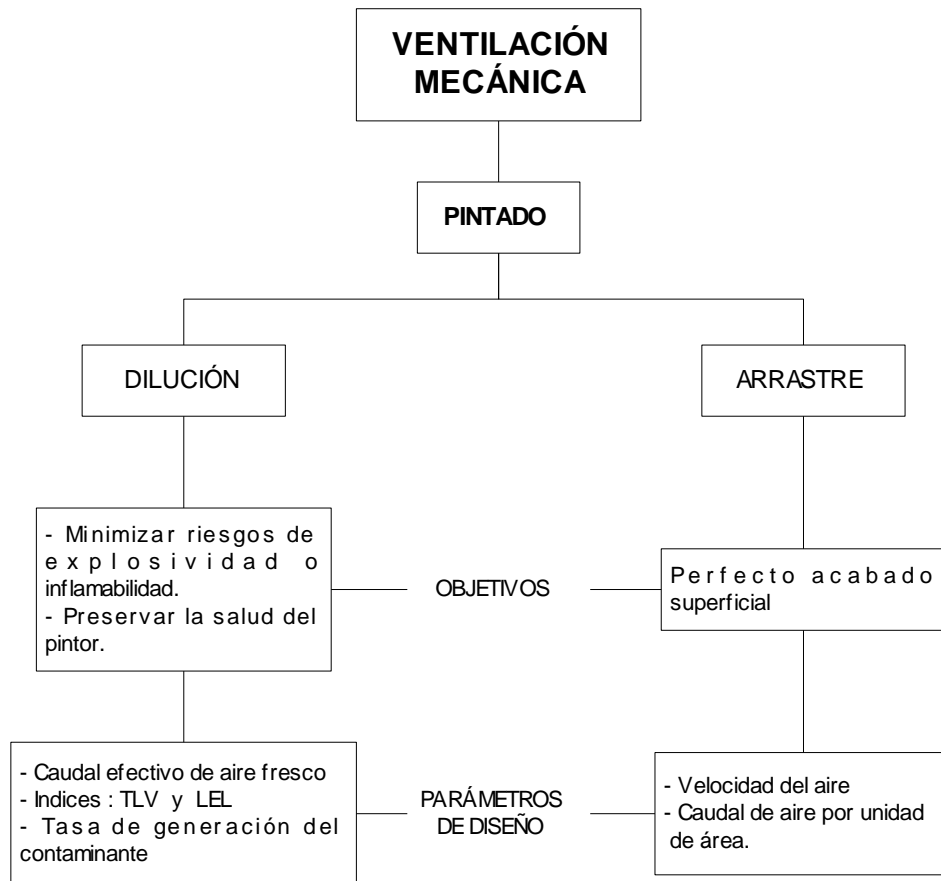


Figura 2.22 Criterios de Ventilación en la fase de Pintado

2.3.3 SUBSISTEMA DE SUMINISTRO

En las operaciones de pintado, las condiciones de suministro de aire se vuelven críticas puesto que muchas variables del proceso dependen del buen funcionamiento de este subsistema. El óptimo filtrado de aire para eliminar defectos en la superficie pintada, su correcta distribución al ingreso de la cabina, el control de la temperatura y humedad para mejorar los tiempos de curado son algunas de las consideraciones que se toman en cuenta en el momento de diseñar un sistema de ventilación para suministro de aire.

2.3.3.1 Clasificación según finalidad

Generar un ambiente temperado para el curado del vehículo recién pintado y reemplazar el aire contaminado que ha sido extraído de la cabina-horno son los objetivos principales que persigue la implementación de un sistema de inyección de aire. Estos, a su vez corresponden a los dos tipos de suministro, según su finalidad, que son HVAC y de Sustitución de Aire, los mismos que en la cabina horno actuarán simultáneamente según se requiera.

2.3.3.1.1 Sustitución del Aire Extraído

Es una tarea que se deriva de la necesidad de crear ambientes limpios de trabajo en la industria, es por ello que la cantidad de aire que se extrae debe ser reemplazada por una igual provista por este subsistema. Cuando exista un bypass de recirculación dentro del sistema general de ventilación es imprescindible determinar la cantidad mínima de aire fresco necesaria para garantizar la evacuación de agentes nocivos de la cabina horno en una proporción adecuada, asegurando que el porcentaje de aire que reingresa al habitáculo no favorezca a una saturación futura del ambiente en cuestión.

2.3.3.1.2 Sistema HVAC

Pueden tomar nombres como Calefacción o Refrigeración según el dispositivo acondicionador del aire. En una cabina-horno de pintura automotriz se requiere de aire caliente para el secado del vehículo de modo que se precisa la implementación de un Intercambiador de calor. Existen unidades de suministro de aire caliente compuestas por estos equipos y que normalmente se los conoce como Unidades Calefactoras de Aire, las mismas que se analizarán a detalles mas adelante. Se puede alcanzar altas temperaturas, todo de acuerdo a los requerimientos del proceso industrial, en este caso básicamente dependen del tipo de pintura a utilizarse.

2.3.3.2 Componentes y Equipos

Los elementos que lo conforman son una sección de entrada de aire, filtros, equipo calefactor y/o enfriador, ventilador, ductos y rejilla para la distribución del aire en el espacio de trabajo. En algunos casos se asocia ciertos elementos en conjuntos conocidos como Unidad de Suministro de Aire o Unidad Manejadora de Aire, cuyos componentes son los filtros, equipo calefactor/enfriador y ventilador. Cuando el arreglo tiene como finalidad impulsar aire a través de una fuente calorífica (sistema HVAC), éste recibe el nombre de Unidad Calefactora de Aire. Cabe recalcar que en cualquiera de las unidades antes mencionadas la ventilación es una actividad intrínseca y se convierte en una opción cuando se desea cambiar las condiciones térmicas del flujo de aire.

2.3.3.3 Distribución del Aire Suministrado

La propagación de los contaminantes dentro del espacio de trabajo y el reparto uniforme del aire temperado son los factores clave para la selección de un tipo de distribución de aire. Cuando el sistema de extracción es el único encargado de atrapar las impurezas se debe localizar el difusor de suministro lo mas alejado posible de la rejilla de succión para no entorpecer su labor. Si por el contrario, actúan conjuntamente, la posición de ambas rejas dentro de la cabina es crucial para lograr su objetivo. La aplicación de un flujo laminar ofrece las mayores prestaciones en cuanto al control de contaminantes y limpieza del recinto. La corriente de aire atraviesa el espacio contaminado, desde uno de sus extremos, arrastrando las impurezas hasta el opuesto en donde se encuentra la reja de extracción. Se prefiere unidireccionalidad en su trayectoria y para ello se deben implementar al difusor y a la rejilla en la misma dirección pero en puntos opuestos del recinto. El plenum de distribución en el techo o en la pared es uno de los mecanismos que permitirán uniformizar la inyección del aire abarcando un área transversal considerable del habitáculo y con ello reducir al mínimo la turbulencia que pudiere generarse.

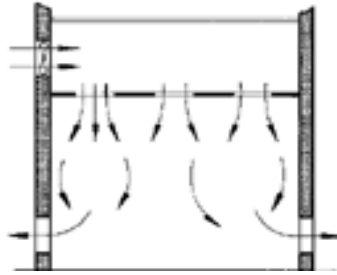


Figura 2.23 Inyección de aire por plenum

También se debe propender a ubicar la unidad calefactora de aire de manera que favorezca la difusión del calor dentro del plenum, para ello se sugiere acoplar a la salida del suministro hojas difusoras de flujo de aire para lograr uniformidad de temperatura al ingreso y una correcta distribución del aire dentro del mismo. La uniformidad del flujo unidireccional vertical ayuda también a la distribución de la temperatura dentro de la cabina es por ello que se convierte en una opción por demás idónea para esta aplicación de la industria.

2.3.3.4 Presurización de la Cabina

En la medida en la que se extraiga el aire de la cabina respecto al suministro se definirá la presión interna de trabajo. Para este tipo de aplicaciones de la industria, se debe propender hacia la creación de un área limpia y esto se consigue trabajando bajo un régimen positivo de presurización, que debido a su naturaleza, evita la entrada de impurezas al recinto mientras se ejecutan las tareas de pintado. Si hablamos de un rango de valores mínimo y máximo de presión para una cabina-horno serían 20 y 30 Pa respectivamente, para ello se deben regular los caudales de inyección y succión, manteniéndolos un 5% o un valor no menor a 50cfm de diferencia entre ellos, siendo el primero el de mayor importancia puesto que es éste quien rige la presión en el proceso.

2.3.3.5 Caudal de Suministro

La cantidad de aire que debe inyectarse al interior de la cabina será aquella que corresponda óptimamente a criterios como dilución de atmósferas contaminadas, arrastre de impurezas, adecuado funcionamiento de la extracción. Se recomienda

usar una velocidad media de aire de 0,4 m/s o un margen de acción de alrededor 100 fpm cuando la corriente atraviese la cabina. Si se desea, puede optar por la aplicación de un parámetro similar que a diferencia del anterior esta expresado en términos de caudal sobre unidades de superficie, así se recomienda usar 100 cfm/ft². El diseño de la cabina ha de asegurar que en esta circulación de aire no se produzcan turbulencias, para garantizar que los restos de pintura se dirijan directamente a la zona enrejillada del suelo.

Otra consideración que debe ser tomada en cuenta para determinar el caudal de suministro es la necesidad de abarcar la mayor área transversal posible de la cabina de manera que se provea a la carrocería de aquella protección de la cual se habló anteriormente.

2.3.3.6 Recirculación de Aire

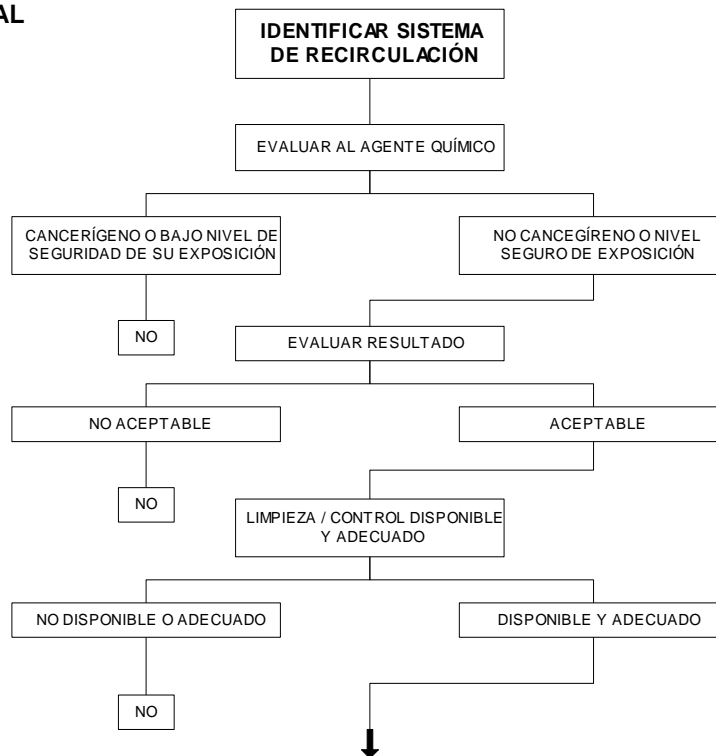
Si grandes cantidades de aire son evacuadas a causa de contaminantes, vapores o gases y son reemplazadas por igual medida de aire fresco, a la vez que se sabe que el costo de la energía para acondicionarlo es alto, entonces la recirculación del aire extraído se convierte en una solución para abaratar los costos de consumo de energía. La aceptación de este método dependerá del grado de peligrosidad contra la salud de los operarios asociado con la contaminación allí generada, mientras estos parámetros se encuentren dentro de un margen aceptable se considerará a la recirculación como un sistema seguro y viable respecto a factores técnicos y económicos.

A continuación citaremos las consideraciones que deben cumplirse si se desea implementar un sistema de recirculación:

- Las características químicas, físicas y tóxicas de los solventes que han de utilizarse deben ser claramente identificadas y evaluadas.
- Todas las regulaciones gubernamentales y locales deben ser acatadas para desarrollar un diseño adecuado para el lugar de instalación.
- El mal funcionamiento del sistema de recirculación debe ser tomado en cuenta porque los niveles de peligrosidad pueden incrementarse.

- La facilidad con la que se disponga para realizar mantenimientos futuros.
- La recirculación debe disponer de un sistema de monitoreo que conste básicamente de sensores de temperatura y presión, los mismos que deben conectarse a un panel de control que se encuentre bajo las órdenes de un operador a cargo.

I. DECISIÓN INICIAL



⁴Figura 2.24 Cuadro Lógico de Decisión – Recirculación

2.3.4 SUBSISTEMA DE EXTRACCIÓN

Es el encargado de capturar toda la pintura pulverizada y demás agentes químicos vaporizados dentro de la cabina-horno siendo la retención y evacuación de éstos los objetivos mas importantes de este subsistema.

⁴INDUSTRIAL VENTILATION, Manual of Recommended Practice ACGIH 24thEd 2001 pág 7-21
Figure 7-16 “Recirculation decision logic”

2.3.4.1 Clasificación según el Foco Contaminante

Existen dos tipos de extracción; Local que se refiere a la ubicación de la entrada a la succión prácticamente a un lado de la fuente de impurezas para reducir al mínimo su mezcla con el ambiente, es decir que lo atrapa antes de hacer contacto con el entorno; General, que a diferencia del anterior, permite un nivel de saturación del aire puesto que la reja de entrada se encuentra considerablemente alejada de los vapores y polvos por lo que evacua las atmósferas contaminadas de forma parcial o total cuantas veces sea requerido por el proceso.

El espacio de trabajo del pintor, la cabina-horno, debido a sus dimensiones internas y a la movilidad del foco contaminante dentro de ella, la pistola atomizadora de pintura, no permiten instalar un sistema local de extracción de acuerdo a las características definidas en el párrafo anterior, por tanto, se requiere de una succión global del recinto.

2.3.4.2 Componentes y Equipos

Los componentes del subsistema de extracción son campana de succión, dispositivo de limpieza de aire y ventilador. Su selección difiere según el proceso, en este caso, se recomienda localizar las entradas en el punto opuesto a del suministro, conservando la misma dirección de la corriente de aire. Es así que para un flujo horizontal se hace uso de paneles filtrantes ubicados en la pared anterior, generalmente cumple las funciones de acceso a la cabina para los vehículos. Mientras que en un sentido vertical se localiza un plenum de extracción o también conocido como fosa en el piso del recinto que también cumple las veces de separador de sedimentos, constituido por una rejilla, filtros y el plenum propiamente dicho.

Entre algunas providencias que se sugiere poner en práctica es la utilización de filtros específicamente diseñados para atrapar partículas sólidas de pintura conocidos también como paint-stop. Conducirlos hasta ellos constituye en otro factor crucial en cuanto a su diseño, es así que el desalojo del ambiente contaminado

2.4 UNIDAD CALEFACTORA DE AIRE

Conocida como *Heating Unit Ventilator or Unit Heater* por la ASHRAE, corresponde a uno de los equipos de suministro de aire cuya finalidad es inyectar aire caliente y propender a que la difusión del calor sea óptima en la cabina-horno. Su implementación, en operaciones de pintado, es esencial para mejorar la productividad en el repinte de un vehículo. Se aplica en la fase de curado, aquella en donde se procura reducir los tiempos de secado y pintado cuando el aire exterior se encuentra inferior a 15°C. La instalación de un heater unit ofrece ventajas que van desde el punto de vista estético hasta el técnico-económico. A continuación se menciona algunas características referentes a su aplicación en la industria.

- Capacidad de generar calor en cantidades relativamente altas.
- Control efectivo en la creación y conducción de aire caliente.
- Trabajan en rangos de ruidos permisibles.
- Aprovechamiento de espacio al máximo
- Versatilidad en función de tareas, espacio y costos.

2.4.1 CAPACIDAD DE CALEFACCIÓN

Se ha dicho que la calefacción no es la única función del Heater Unit sino que también introduce aire del ambiente a la cabina-horno, cuando sus condiciones son las apropiadas. Sin embargo, la capacidad calefactora del conjunto es el parámetro decisivo para su selección, en ella están comprendidos el calor requerido para calentar el aire de suministro y aquellas pérdidas que ocurren a través de las paredes del habitáculo. Cada una de estas variables están definidas por expresiones matemáticas que reúnen consideraciones ambientales y de diseño.

2.4.1.1 Calor de Ventilación o Suministro

Esta definido por la cantidad de calor necesaria para elevar la temperatura del aire de suministro y propender el secado de la pintura aplicada a la carrocería. En

tal virtud, se considera la temperatura de curado como aquella a la cual se debe temperar el ambiente para ejecutar esta actividad del repinte. Así:

$$q_v := 60 \cdot \rho \cdot c_p \cdot Q \cdot (t_i - t_o) \quad (2.9)$$

Donde:

q_v	Calor de Ventilación , BTU/h.
ρ	Densidad del aire a condiciones estándar, 0.075 lb/ft ³ .
c_p	Calor específico del aire, 0.24 BTU/lb. °F.
Q	Caudal de aire de suministro, cfm.
t_i	Temperatura requerida en el interior, °F.
t_o	Temperatura de ingreso del aire, °F.

2.4.1.2 Pérdidas de Calor

Son aquellas porciones de calor que han fugado a través de las paredes, techo, y puertas de la cabina, además de las juntas entre los accesos y paredes. Si bien es cierto, que todo el calor generado pero no aprovechado resta eficacia al sistema en general de modo que la selección de un material térmico aislante es vital para minimizar las pérdidas. Cada uno de ellos responde a un coeficiente denominado de pérdida de calor, en la medida en la que este se muestre inferior, denotará mejor comportamiento aislante que los demás. A continuación se presenta la ecuación que define esta variable, así:

$$q_s := U \cdot A \cdot (t_i - t_e) \quad (2.10)$$

De donde:

q_s	Pérdida de Calor, BTU/h
U	Coficiente de Pérdida de Calor, BTU/ft ² °F
A	Área transversal, ft ² .
t_e	temperatura ambiente, °F.

2.4.2 COMPONENTES Y EQUIPOS

Como se mencionó anteriormente, la unidad calefactora de aire está constituida por un conjunto de equipos, dispositivos filtrantes e instrumentos que varían sus prestaciones según los requerimientos operativos del proceso. En una cabina de pintura se necesita instalar un sistema calefactor conformado por filtros de arrestancia media o alta, un ventilador de suministro, una cámara de combustión con su respectivo quemador, intercambiador de calor, segmento de ducto y placas difusoras para distribuir el aire.

2.4.2.1 Intercambiador de Calor

Dispositivo de transferencia de calor que se encuentra dentro de un gabinete térmico que no es mas que un elemento de ducto aislado con lana de vidrio de mediana densidad para evitar las pérdidas de calor, en este caso se trata de un intercambiador de calor, el cual debe ser fabricado en acero inoxidable por su amplio margen de operación en altas temperaturas. Este consta de un hogar cilíndrico o también llamado cámara de combustión, pues es allí precisamente donde ocurre la generación de calor mediante la incineración del combustible gracias a la acción de un quemador controlado por una señal emitida, ya sea por un PLC o un tablero de control semiautomático.

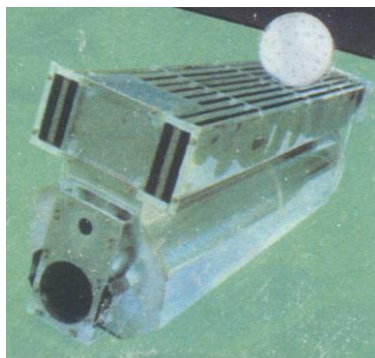


Figura 2.25 Intercambiador de Calor

2.4.3 CLASIFICACIÓN DE UNIDADES CALEFACTORAS

Existen otros factores que influyen en las ventajas que pueden ofrecer estos arreglos y son éstos precisamente los parámetros que definen la clasificación que se muestra a continuación.

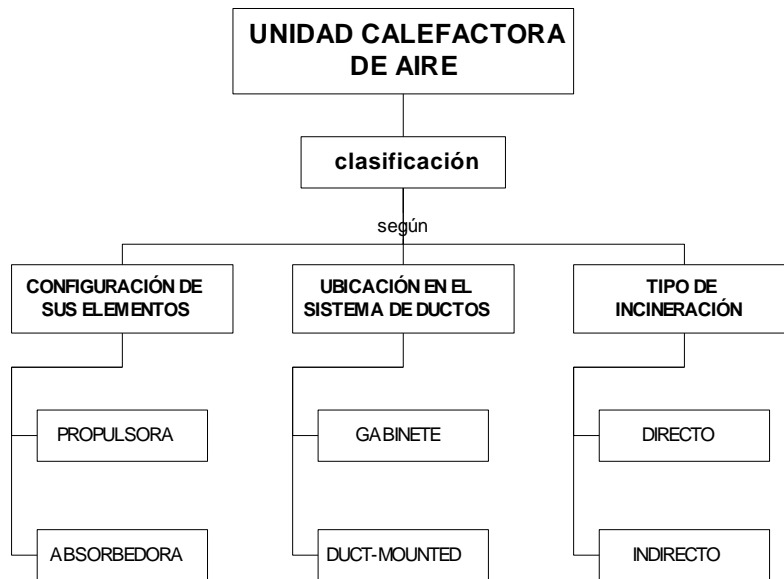
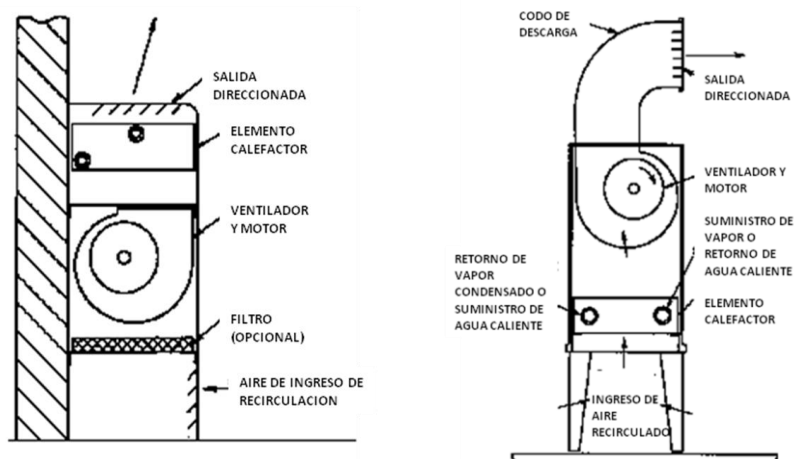


Figura 2.26 Clasificación de las Unidades Calefactoras

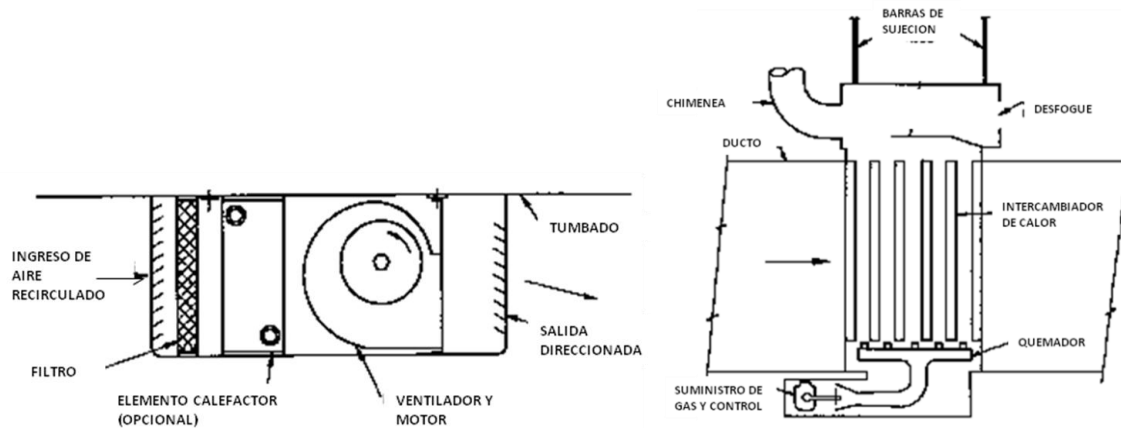
Según la configuración de los elementos dentro de la unidad se tienen dos tipos; *Propulsora* es aquella en la que el ventilador sopla aire a través del elemento generador de calor, siendo este arreglo el mas propicio para unidades calefactoras de fuego indirecto y *Absorbedora* en la que el aire es inducido a pasar por la cámara de combustión para, mas tarde, ser inyectado por el ventilador a la cabina.



⁵Figura 2.27 Unidad Propulsora (izq) y Absorbedora (der)

⁵HVAC SYSTEMS AND EQUIPMENT, ASHRAE 1996 Figure 3 "Typical Unit Heaters"

Debido a la ubicación en el sistema de ductos tenemos; *Tipo Gabinete* que muestra una mejor presentación estética, equipada con todos los dispositivos e instrumentos localizados dentro de un gabinete aislado termoacústicamente y *Duct Mounted* corresponde a aquella disposición en la que todos los elementos de la unidad se encuentran libres y distribuidos transversalmente en los ductos de aire.



⁶Figura 2.28 Unidad Tipo Gabinete (izq) y Duch-Mounted (der)

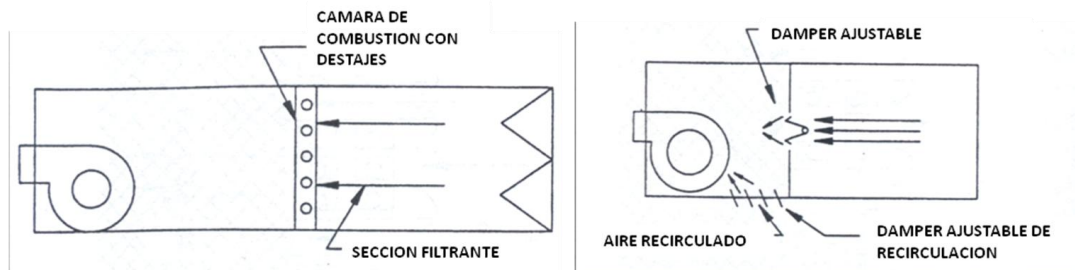
Finalmente, según el tipo de incineración de combustible, que a propósito se refiere a la clase de contacto que existe entre la corriente de suministro de aire y la combustión, existen dos clasificaciones: Directa e indirecta. En ambas situaciones existe una cámara de combustión a la cual se acopla un quemador monitoreado desde una distancia considerable por medio de un tablero de control. Debido a su importancia para el presente estudio, se analizarán a detalle mas adelante.

2.4.3.1 Unidad Calefactora de Incineración Directa de Gas

A más de los componentes ya mencionados encontramos una cámara de combustión con uno o varios destajes que permiten la evacuación de una parte de los gases de escape con el fin de conducirlos a través del sistema de suministro provocando así una mezcla con el aire inducido desde el exterior para obtener

⁶HVAC SYSTEMS AND EQUIPMENT, ASHRAE 1996 Figure 3 “Typical Unit Heaters”

una atmósfera temperada en la cabina-horno. Su aplicación se enfoca en la consecución de una eficiencia promedio, en la generación de calor, mayor al 90% debido a la no inclusión de un dispositivo de transferencia de calor y por el contrario se realiza una quema de combustible de forma directa en el suministro de aire.



⁷Figura 2.29 Unidad típica (izq) y con Recirculación (der)

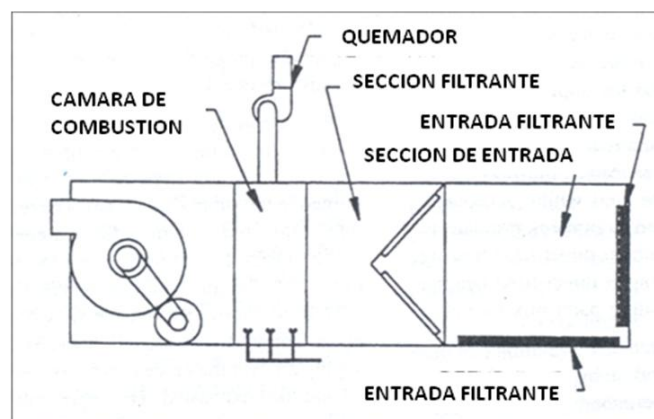
Aquellos sistemas en los que se encuentra instalado un bypass de recirculación se recomienda alimentar el quemador con aire del ambiente mas no de aquel recirculado que ya contiene dióxido de carbono. Existen normativas internacionales que prohíben la reutilización de la mezcla aire-CO₂ en recintos cerrados debido a la peligrosidad que representan a la salud de los operarios. Un mínimo de 20% del total del flujo de aire admisible se requiere inducir desde el exterior para mantener los niveles de dióxido de carbono fuera de los márgenes de peligrosidad. Cabe recalcar que el único combustible permitido para usarse en esta unidad es el Gas Natural o GLP debido a que su combustión es casi completa y las cantidades de los productos de la reacción son mínimas, no así el Diesel puesto que produce hollín el cual es altamente perjudicial para la salud.

2.4.3.2 Unidad Calefactora de Incineración Indirecta de Combustible

Este tipo de unidades es altamente usado en la industria de procesos de secado y curado debido a sus grandes ventajas económicas, técnicas y de seguridad bajo ciertas limitaciones. Es así que se considera conveniente su implementación

⁷INDUSTRIAL VENTILATION, Manual of Recommended Practice ACGIH 24thEd 2001 pág 7-10
Figure 7-10 "Direct Fired Unit " y 7-11 "Direct Fired by pass unit"

hasta los 10000 cfm de lo contrario la propuesta mas viable será la combustión directa. Uno de los componentes fundamentales en este conjunto es el intercambiador de calor, comúnmente hecho de acero inoxidable, que a su vez esta constituido por una cámara de combustión acoplado a un cuerpo aleteado o en su defecto un banco de tubos. Su objetivo primordial es transmitir el calor de los gases de escape a la corriente de suministro sin necesidad de ponerlos en contacto. Esto permite también el uso del diesel ya que se asegura que los productos de su combustión no se mezclaran con el aire que ingresa a la cabina-horno.



⁸Figura 2.30 Unidad de Combustión Indirecta con Recirculación

Otra ventaja es la utilización de la recirculación del aire caliente en el proceso beneficiando al sistema en general por el considerable ahorro en la generación de calor. Por esta y muchas otras razones se convierte en una propuesta por demás adecuada para la calefacción de recintos enfocados en la ejecución de tareas de curado de vehículos recién pintados. Aunque su eficiencia térmica no sea abrumadoramente alta como en el caso anterior por las limitaciones en cuanto a los controles de temperatura del intercambiador, ésta opción es mucho mas atractiva por la seguridad con la que se trabaja en esta unidad.

⁸INDUSTRIAL VENTILATION, Manual of Recommended Practice ACGIH 24thEd 2001 pág 7-9

Figure 7-9 " Indirect Fired Unit "

2.4.4 FILTRACIÓN DE AIRE

En espacios de trabajo donde se requiere cumplir estrictamente con especificaciones respecto a la limpieza del aire se vuelve imprescindible contar con un dispositivo filtrante que pueda retener eficazmente las partículas de polvo, polen, pelusas entre otras. El concepto de “cleanrooms” o áreas limpias incluye en su definición tanto al diseño de la corriente de aire como a la retención de contaminantes que a su vez están en función de la aplicación de la industria a la cual se ha de aplicar.

Generalmente son filtros secos los seleccionados para actuar en estos sistemas. El porcentaje de eficiencia en la retención de un filtro típico es de 30%, según los estudios de la ASHRAE. Pero cuando se requiere un nivel de limpieza del aire mucho mayor, en actividades como el procesamiento de alimentos, pintura, ensamblaje de partes electrónicas o en la industria farmacéutica, se recomienda usar filtros con eficiencia mayor al 99% o en su defecto instalar sistemas de filtrado de aire.



Figura 2.31 Ubicación de filtros en la cabina

En este caso, las cabinas de pintura poseen filtros HEPA en el techo (plenum de filtros) y en los sistemas de ductos, antes de su ingreso al rodete de cada ventilador. Los filtros HEPA son secos, fácil de conformar en un marco rígido y su mínimo de eficiencia es 99.97% para partículas de 0.3 μm . Mientras que en la fosa de extracción se recomienda utilizar los filtros denominados "paint-stop" sólo retienen la pintura sólida. Otra opción es retener estos contaminantes, para ello las cabinas pueden contar con un sistema de filtración de vapores orgánicos que consisten en un filtro de carbón activo que también debe ser renovado cada cierto tiempo para que éste sea eficaz.

Todos estos deben ser renovados después de un determinado número de horas de funcionamiento de la cabina, ya que se van cargando con las impurezas extraídas, dificultando la circulación de aire en la cabina y creando una sobrepresión excesiva que perjudica tanto a la fase de pintado (se crean turbulencias interiores) como al operario, al trabajar en un ambiente poco saludable que le puede producir cansancio.

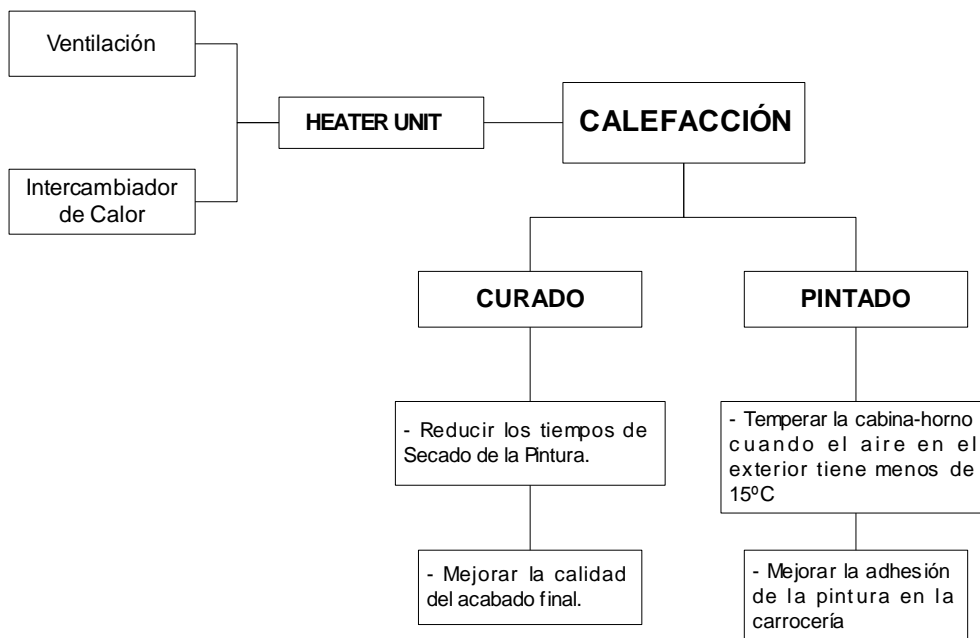


Figura 2.32 Calefacción en las fases del repinte.

2.5 SISTEMAS DE ILUMINACIÓN E INSTALACIONES ELÉCTRICAS

2.5.1 ILUMINACIÓN DE CABINAS HORNO

La iluminación de la cabina será mediante luminarias (lámparas fluorescentes) colocadas en la parte superior de los paneles de la pared, inclinadas de 45° y con amplia superficie acristalada, consiguiendo en el interior del habitáculo una iluminación adecuada y uniforme. En cuanto a la cantidad de luz, el flujo luminoso debe ser de alrededor de 1000 luxes (un lux es un flujo luminoso de 1 lúmen/m²), nunca inferior a 800 luxes, la potencia de las luminarias en conjunto está entre 1 y 2 kw. Una iluminación insuficiente repercutirá negativamente en el rendimiento y en la calidad, aumentando el riesgo de trabajos defectuosos por falta de percepción o una percepción incorrecta.



Figura 2.33 Iluminación de una cabina horno



Figura 2.34 Lámparas fluorescentes

2.5.2 INSTALACIONES ELÉCTRICAS

Toda la instalación eléctrica y el cuadro de mando deben ser realizadas con la normativa para baja tensión y con su respectiva conexión a tierra. El arranque de

los motores para ventiladores debe tener una configuración estrella/triángulo con potencias de entre 20 y 25 kw.

2.6 SISTEMAS DE AUTOMATIZACIÓN Y CONTROL

2.6.1 INSTRUMENTOS DE CONTROL

2.6.1.1 Termocuplas

Los sensores mas usados para registrar las condiciones de temperatura en un recinto cerrado como la cabina-horno son las termocuplas, en especial del tipo J, debido al rango de temperatura que manejan además de su bajo costo en el mercado. Otro aspecto importante para su selección es el considerable margen de trabajo en el que se desarrolla el proceso de repinte y curado, es decir, no se requiere mantener rigurosamente la temperatura en regímenes estrechos de aplicación.

Una termocupla consiste en un par de conductores de diferentes metales o aleaciones que al exponerse a ciertas temperaturas generan una fuerza electromotriz que se considera como voltaje de salida que puede ser cuantificado sin embargo la sensibilidad termoeléctrica de la mayoría de los metales no es lineal con la variación de temperatura.

Las termocuplas Tipo J resultan satisfactorias para uso continuo en atmósferas oxidantes, reductoras e inertes y en vacío hasta 760° C. Por encima de 540° C, el alambre de hierro se oxida rápidamente, requiriéndose entonces alambre de mayor diámetro para extender su vida en servicio. La ventaja fundamental de la termocupla Tipo J es su bajo costo.

Las siguientes limitaciones se aplican al uso de las termocuplas Tipo J:

- No se deben usar en atmósferas sulfurosas por encima de 540° C.
- A causa de la oxidación y fragilidad potencial, no se las recomienda para temperaturas inferiores a 0° C.

- No deben someterse a ciclos por encima de 760° C, aún durante cortos períodos de tiempo, si en algún momento posterior llegaran a necesitarse lecturas exactas por debajo de esa temperatura.
- No es recomendable usarlo cuando el sitio de medición y el instrumento se encuentran lejanos entre sí (mas de 10 a 20 metros de distancia) debido al suministro de voltaje muy bajo y susceptible a recibir interferencias eléctricas.
- Tampoco es recomendable usar termocuplas cuando es necesaria una lectura de temperatura muy precisa (décima de °C) pues la compensación de cero requerida por las termocuplas introduce un error típicamente del orden de 0.5 °C.

Los fabricantes de las termocuplas Tipo J regulan la composición del conductor de cobre-níquel de manera que la fem de salida de la termocupla siga la curva de calibración publicada. Los elementos fabricados por las distintas empresas, con frecuencia no son intercambiables para el mismo tipo de termocupla. Dentro de las aplicaciones más comunes de estos sensores están:

- Para mediciones de 0 a 700 °C
- Industria del plástico y goma (extrusión e inyección)
- Medición en tambores rotatorios con termocupla de contacto.
- Temperatura de motores (carcaza) con termocupla autoadhesiva.
- Procesos en general donde el sensor está sometido a vibración.
- Atmósferas sujetas al acondicionamiento de aire, calefacción.

2.6.2 ACTUADORES

2.6.2.1 Ventiladores

Un ventilador es una máquina rotativa que pone el aire, o un gas, en movimiento gracias a la diferencia de presión que existe en sus extremos. Consta en esencia de un motor de accionamiento, generalmente eléctrico, con los dispositivos de control propios del conjunto: arranque, regulación de velocidad, conmutación de polaridad y un propulsor giratorio en contacto con el aire, al que le transmite

energía. Este propulsor adopta la forma de rodete con álabes, en el caso del tipo centrífugo, o de una hélice con palas de silueta y en número diverso, en el caso de los axiales.

El conjunto, o por lo menos el rodete o la hélice, van envueltos por una caja con paredes de cierre en forma de espiral para los centrífugos y por un marco plano o una envoltura tubular en los axiales. La envolvente tubular puede llevar una reja radial de álabes fijos a la entrada o salida de la hélice, llamada directriz, que guía el aire, para aumentar la presión y el rendimiento del aparato.

2.6.2.1.1 Clasificación de los Ventiladores

Los ventiladores han venido clasificándose de muy diferentes maneras y no es extraño que un mismo aparato puede aceptar dos, tres o más denominaciones. Es bastante común adoptar la designación atendiendo a alguna de sus características adaptadas al caso que se está tratando. Las clasificaciones están dadas de acuerdo a los factores que se enumeran a continuación y que también son válidos como parámetros de selección de dichos equipos

- Función en el sistema de ventilación
- Trayectoria del aire
- Características de funcionamiento
- Sistemas de accionamiento
- Presión de trabajo

En consideración a las recomendaciones emitidas por las entidades normativas para la fabricación de cabinas–horno de pintura se debe clasificar a los ventiladores según los parámetros que se mencionan a continuación.

Según su función:

Aquí se clasifican los equipos de acuerdo a su ubicación en el sistema de ventilación, así:

Impulsores:	Entrada libre, salida entubada
Extractores:	Entrada entubada, descarga libre
Impulsores-Extractores:	Entrada y salida entubadas.

Según las condiciones de funcionamiento:

- Estándares (hasta 40°C)
- Especiales (mayores a 40°C)

Según los sistemas de accionamiento:

- Accionamiento directo
- Accionamiento por transmisión (poleas y bandas)

Según la trayectoria del aire

- Axiales
- Transversales
- Helicocentrífugos
- Centrífugos

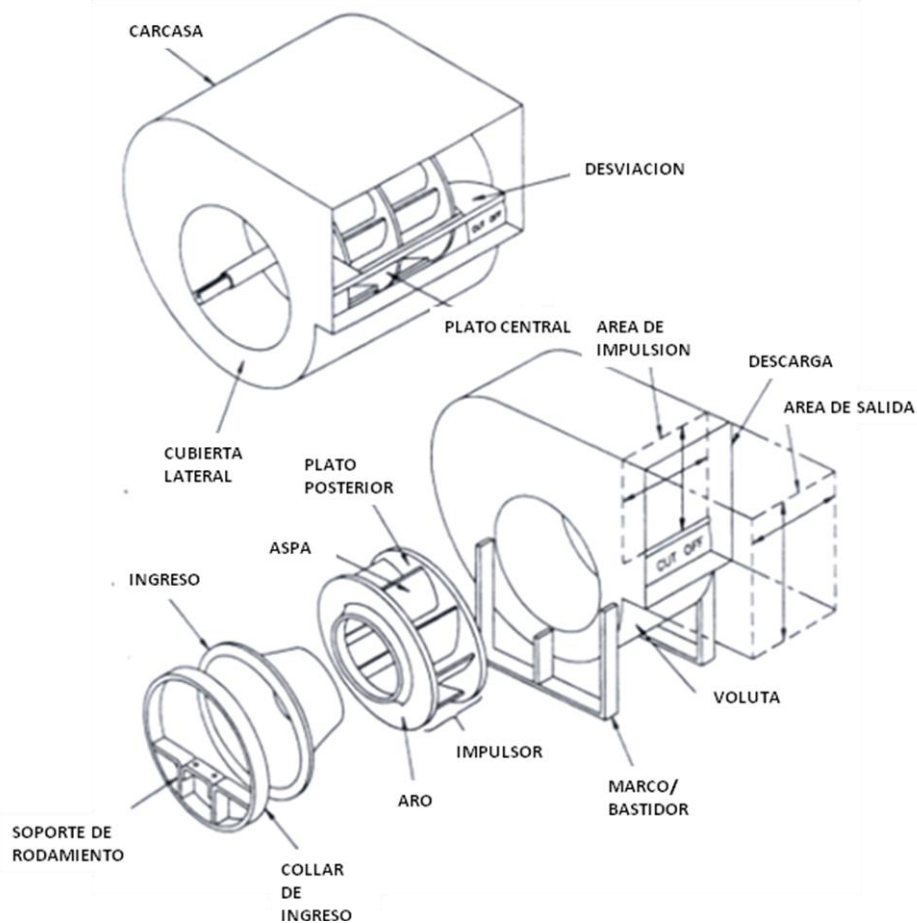


Figura 2.35 Ventilador Centrífugo (Montaje y Conjunto Armado)

⁹INDUSTRIAL VENTILATION, Manual of Recommended Practice ACGIH 24thEd 2001 pág 6-5

Figure 6-3 “ Terminology for Centrifugal Fan Components”

Estos ventiladores son los más utilizados para la impulsión y extracción de aire en cabinas-horno por su gran prestancia y eficiencia en grandes caudales y altas presiones. Otro factor muy importante para su selección es el mínimo nivel de ruido que presenta cuando se encuentra en su fase de operación.

2.6.2.1.2 Nivel Sonoro

Los niveles de presión acústica admisibles en los sistemas de ventilación y acondicionamiento de aire obligan, en la mayoría de casos, a prestar una atención particular al ruido. A continuación se muestra esquemáticamente y de peor a mejor el comportamiento de los sistemas de regulación anunciados. En el caso de la regulación mediante compuertas o dampers, el nivel sonoro incluso aumenta al disminuir el caudal del ventilador por lo que este sistema de regulación sólo es aconsejable para bajas correcciones del caudal

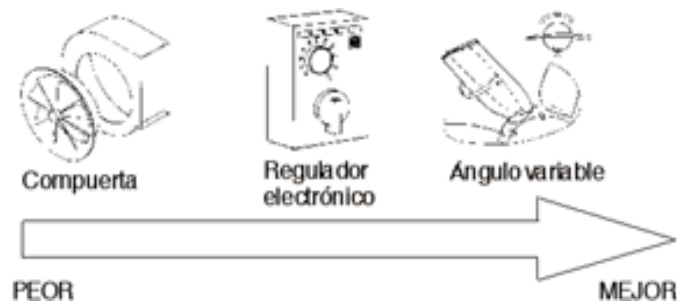


Figura 2.36 Nivel de ruido

2.6.2.1.3 Sistemas Ventilador – Compuerta

Este sistema se encuentra determinado por el acoplamiento de un ventilador y una compuerta (persiana o damper), el cual comunica energía al aire que lo hace circular a través del ventilador-compuerta porque es sumamente necesario considerar como se mueve el aire para entender el rendimiento del uso de esta energía y los factores que le afectan.

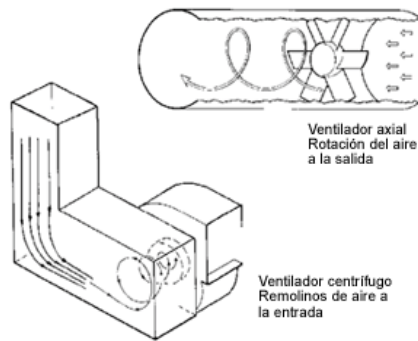


Figura 2.37 Sistemas ventilador - compuerta

Ciertamente es un sistema muy práctico y usado en la industria pero no siempre goza de los beneficios que ofrecería un álabe movable u otro sistema de control de caudal, éste presenta ciertas limitaciones en cuanto a su funcionamiento: por ejemplo la compuerta a la entrada es aconsejable para ventiladores centrífugos y axiales, cuando se la instala a la salida es recomendable únicamente para los ventiladores centrífugos. Un tipo de compuerta son las construidas mediante lamas, siendo las lamas opuestas mas eficaces que las lamas paralelas.

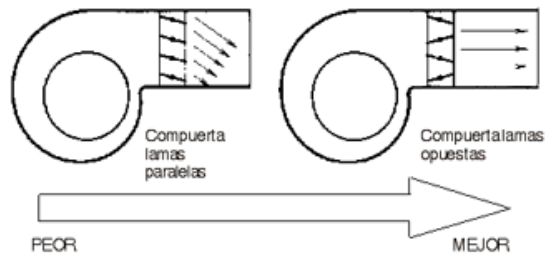


Figura 2.38 Descarga en conductos

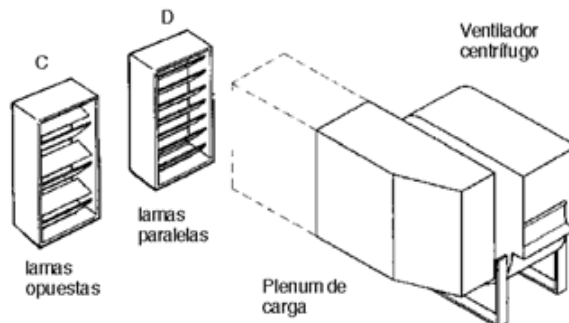


Figura 2.39 Dampers a la entrada del ventilador

Si por el contrario el ventilador descarga en un conducto, el comportamiento del sistema ventilador-compuerta queda muy influenciado, si el aire choca o no contra las paredes del conducto de descarga. Así, el tipo con hojas opuesta es mejor que el tipo de hojas paralelas. Entre los tipos de lamas se presentan dos elecciones, que las láminas sean perpendiculares al eje del ventilador o que sean paralelas al mismo. La experiencia muestra que es mejor utilizar compuertas con lamas perpendiculares.

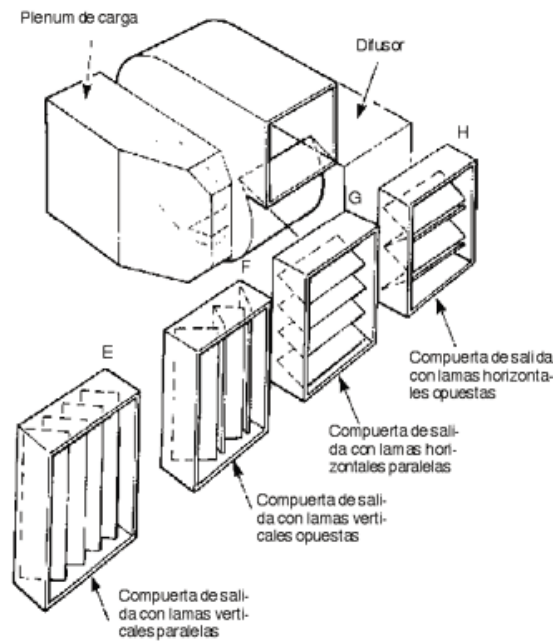


Figura 2.40 Dampers a la salida del ventilador

2.6.2.2 Quemadores de gas

El quemador de combustible es un dispositivo para transferir el combustible y una parte o todo el aire de combustión al calentador o caldera. También ayuda a mezclar combustible y aire, y cuando se emplea petróleo combustible, dispersa el líquido en una niebla de gotas minúsculas.

Existen dos tipos: los quemadores atmosféricos ricos en gas y los quemadores de gas de potencia difieren en lo que respecta a cómo se suministra el aire y el gas combustible al hogar o cámara de combustión. En el quemador atmosférico, el flujo de combustible a través de un venturi (que es un tubo en forma de boquilla),

succiona parte del aire de combustión, llamado aire primario través de una abertura y lo incorpora a la del gas. La mezcla gas-aire pasa entonces S cámara de combustión. Se puede variar la cantidad dad de aire primario empleando obturadores persianas o compuertas ajustables en la abertura. Para nuestro caso en particular debemos analizar los quemadores de potencia o llamados también quemadores tipo pistola.

2.6.2.2.1 Quemadores de potencia de gas

Son aquellos dispositivos que están diseñados para entregar un tiro forzado de llama, la que se direcciona horizontalmente, dentro de sus componentes podemos citar al ventilador circular interno el cual se encarga de crear turbulencia para mezclar el aire y el combustible. El tipo de ignición que este tipo de quemadores utiliza puede efectuarse mediante un *piloto permanente, intermitente o directamente por chispa*. Entiéndase a piloto como una llama pequeña que se mantiene encendida de forma continua o intermitente mediante pulsaciones de encendido del piloto que van de 60 a 80 veces por segundo, cuando el gas principal entra a la cámara de combustión, la llama del piloto enciende el quemador. En sí es un dispositivo muy complejo, actualmente incluyen programas junto a un sistema interno de control compuesto de sensores especializados que le permiten mejorar la combustión automáticamente.



Figura 2.41 Quemador de potencia a gas – Tipo pistola

2.6.2.3 Válvulas Automáticas

Están diseñadas para controlar el flujo de vapor, agua, gas u otro fluido. Puede ser considerado como un orificio variable manejado por un operador eléctrico o neumático en respuesta a señales o impulsos emitidos por el controlador. Son fabricados con materiales resistentes debido a su exposición a cambios de temperatura y presión. En este caso se las requiere para un sistema de alimentación de combustible, por tal motivo se considera apropiado utilizar este tipo de válvulas por la rapidez de acción que poseen. A continuación se las menciona, incluyendo sus ventajas:

Las válvulas son requeridas para controlar el suministro de combustible, las más usadas para esta aplicación son:

- Válvulas solenoide que proveen un rápido ON-OFF
- Válvulas accionadas por un motor, las cuales proveen una apertura lenta y un cerrado rápido.
- Válvulas de diafragma funcionan por la presión de un gas.
- Válvulas manuales de seguridad de apagado total del sistema. Son usadas en instalaciones semiautomaticas o manuales.

2.6.3 CONTROL

2.6.3.1 Control Global del Sistema

En una cabina-horno de pintura automotriz, los equipos son controlados por un autómatas programable (PLC), microcontrolador o microprocesador, que hará las veces de cerebro del sistema. Si la programación del PLC es la correcta, se podrán obtener las mayores prestaciones de estos equipos, llegando a ahorros próximos al 35% que, al fin y al cabo, se traducen en una disminución de los costes de la producción. La rentabilidad de la zona de pintura no sólo se ha de buscar en una reducción del consumo de materiales y de tiempo, sino también mediante un uso eficiente de los equipos del taller.

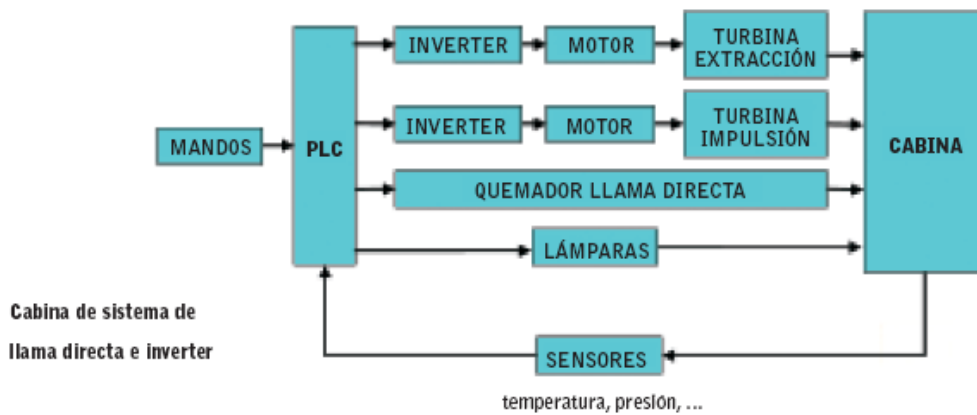


Figura 2.42 Esquema del Control de una cabina-horno

Al PLC llega la información de diversos sensores de la cabina: temperatura, presión, concentración de gases de combustión, etc. En función de esta información y del programa seleccionado en el panel de mandos, modificará la combustión de gas, la velocidad del motor de extracción y/o de impulsión, el encendido o apagado de luces de la cabina y la información mostrada al usuario a través de la pantalla situada en el panel de mandos.

2.6.3.2 Control de la Unidad Calefactora

El equipo automático para quemadores que funcionan con combustible fósil requiere un sistema de control que sea capaz de seguir una secuencia lógica de operaciones así como de tomar acciones correctivas en caso de ocurrir una falla en el mismo. Las diferentes clases de control se clasifican en tres tipos diferentes, tales como, controles operacionales, controles de límite y cerraduras. Los controles operacionales incluyen un sensor primario, sensores secundarios, actuadores, sistema de ignición, control de flujo de llama, controladores de flujo de combustible y programadores. Los controles de límite y cerraduras comprenden salvaguardia de la llama, límite de temperatura y límite de presión. Muchas funciones están incluidas en un solo componente

2.6.3.2.1 Controles Operacionales

Los controles operacionales se encargan de iniciar el encendido y apagado del quemador accionando los actuadores apropiados en respuesta del sensor

primario. Los sensores y actuadores secundarios así como el sistema de ignición, son parte del sistema de control operacional. El sensor primario monitorea el efecto que tiene el quemador acorde con las variables controladas. Así se puede decir, que un termostato en una habitación es un sensor primario del sistema de calefacción residencial. Los sensores secundarios son requeridos para apoyo más que para el objetivo general de un sistema. Como ejemplo podemos citar un horno que funciona con aire caliente, en donde el control del ventilador (secundario) puede ser función de la temperatura del plenum, mientras que el sensor primario controla un dispositivo de calefacción.

En la ignición, un encendedor automático es necesario para una operación segura y es en la mayoría de los casos una parte esencial del sistema de control. El encendedor del quemador es una chispa que enciende directamente la fuente principal de combustible o un quemador relativamente pequeño que enciende la fuente principal. La mayoría de los encendedores para quemadores son continuos (funcionan mientras el quemador está en operación) o intermitentes (funcionan lo suficiente para encender la llama principal); así mismo en la mayoría de los casos existe una llama piloto, la cual aumenta o disminuye acorde a las necesidades del quemador.

2.6.3.2.2 Controles de Límite

Los dispositivos de seguridad funcionan solamente cuando el sistema excede las condiciones prescritas de operación. Así, las características de seguridad están relacionadas con los controles de límite. Se activan interruptores eléctricos que están normalmente inactivos y cierran la válvula de combustible en caso de una condición peligrosa tal como una excesiva temperatura en la cámara de combustión o intercambiador de calor, presión excesiva en el caldero, alta o baja temperatura de gas, etc. El control de límite trabaja en puntos fuera del rango de funcionamiento para detener el quemador en caso de alguna falla del control operacional, por lo que es recomendable trabajar como sistemas separados. El control de salvaguardia de llama actúa con un sensor de llama, deteniendo el suministro de combustible, ya que si no hay llama mientras se inyecta combustible, puede haber una explosión.

2.6.3.2.3 Controles de Seguridad y Cerraduras

Están diseñados para proteger contra explosiones de hornos así como otros peligros, estos controles cortan el suministro de combustible o previenen incendios en caso de:

- Falla de la llama (principal o piloto)
- Falla del ventilador de combustión
- Sobrecalentamiento de partes de hornos
- Bajo nivel de agua en calderos
- Baja presión de combustible
- Baja presión de atomización de aire o vapor.
- Alta presión de vapor
- Falla del motor del quemador

CAPÍTULO 3

DISEÑO DE LA CABINA – HORNO

3.1 UBICACIÓN DE LA CABINA – HORNO EN EL TALLER SOLMEC

3.1.1 DIMENSIONAMIENTO DE LA CABINA-HORNO

Para definir las dimensiones de la cabina de pintura necesitamos elegir un automóvil de gran tamaño que se encuentre en el mercado y nos proporcione una idea referencial acerca del vehículo mas grande a que vamos a poder brindar nuestro servicio. En tal virtud, seleccionamos el siguiente:

Automóvil Referencial : Camioneta FORD F150 Doble Cabina

Dimensiones del Auto:

Largo $L_r = 5.365$ m

Ancho $A_r = 2.004$ m

Alto $H_r = 1.921$ m

De acuerdo a ciertas sugerencias técnicas, por parte de fabricantes de cabinas de pintura, sobre el espacio adecuado de trabajo para el pintor, maniobrabilidad de equipos y materiales, ubicación de luminarias entre otras; se decidió disponer a la cabina de las siguientes dimensiones:

Dimensiones Internas de la Cabina

Dimensiones del Techo

Largo $L = 6.0$ m

Inclinación 45° respecto a vertical

Ancho $A = 3.6$ m

Alto = Ancho = 0.6 m

Altura $H = 2.7$ m

Obedeciendo a las providencias de diseño sugeridas por los fabricantes se considera los espacios para ubicar las lámparas longitudinalmente en la parte superior del habitáculo, a ellos corresponde un delineamiento inclinado a 45° respecto a la vertical como se muestra en el siguiente gráfico.

Volumen de la Cabina

$$V1 = L \cdot A \cdot (H - b)$$

$$V1 = 45.36 \text{ m}^3$$

$$a := \frac{b}{\sin\left(45 \cdot \frac{\pi}{180}\right)}$$

$$a = 0.849 \text{ m}$$

$$V2 := (A - 2 \cdot a) \cdot b \cdot L + 2 \cdot \frac{a^2}{2} \cdot L$$

$$V2 = 11.171 \text{ m}^3$$

$$Vt := V2 + V1$$

$$Vt = 56.531 \text{ m}^3$$

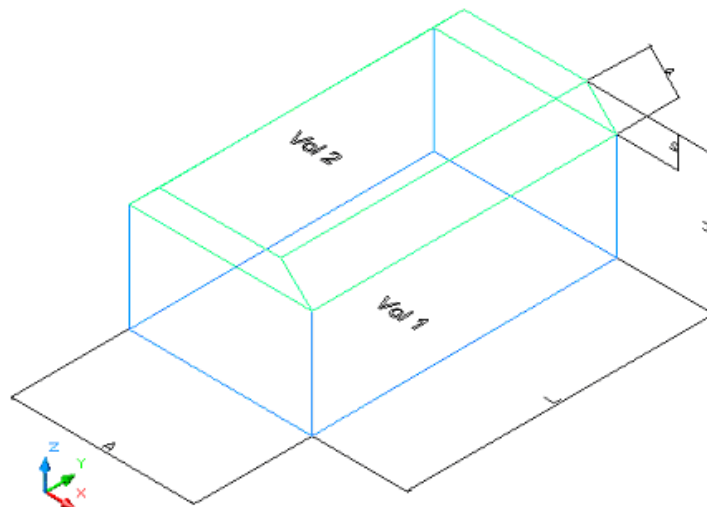


Figura 3.1 Dimensiones de la Cabina-Horno

3.1.2 ANÁLISIS DE LAS INSTALACIONES DEL TALLER SOLMEC

Algunos de los requerimientos que exigen la implementación de una cabina horno en un taller automotriz son la disposición del espacio suficiente tanto para el recinto como para el sistema de ductos de aire y equipos acondicionadores de aire. Es importante mencionar que la construcción de todas las locaciones de trabajo que conforman el taller en su totalidad estuvo basada en una proyección que tenía como objetivo implementar una cabina-horno de pintura. Es así que se asignó un lugar específico cuyas dimensiones son 4 m de ancho y 2.40 m de alto y se visualizan en el gráfico mostrado a continuación.

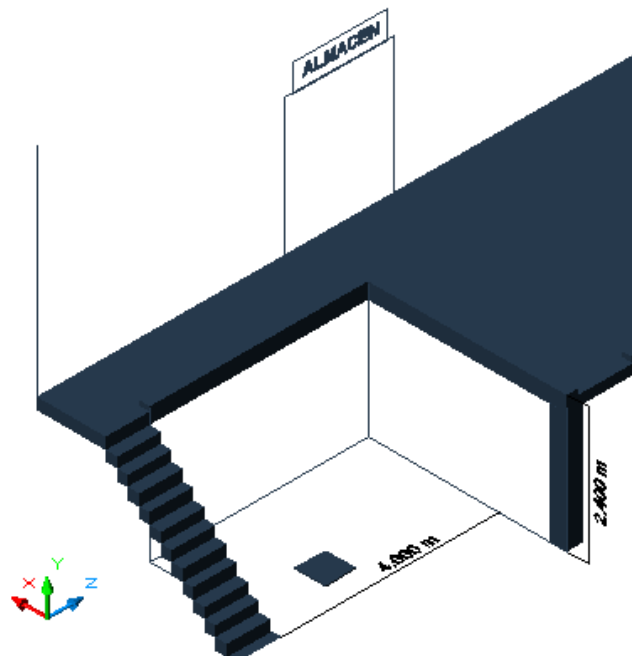


Figura 3.2 Espacio físico para instalar la Cabina-Horno

De acuerdo a las restricciones de espacio que se tiene en el Taller automotriz SOLMEC podemos decir que según el delineamiento inicial, en cuanto a las dimensiones de la cabina, no existe ningún problema para instalar el habitáculo en el área destinada previamente para el efecto. Sin embargo se debe prestar especial atención a la localización de los ductos de aire y equipos puesto que existe una plataforma de concreto en un lado y gradas por el otro. La opción más conveniente es situar parte de los equipos sobre la plataforma según amerite.

3.2 DISEÑO TÉRMICO

3.2.1 TEMPERATURA INTERNA DEL HORNO

En el presente estudio se hace referencia a los medios por los que se pretende elevar la temperatura del horno, es así que para operaciones de curado se sugiere la convección como mecanismo de transferencia de calor, esto define al conjunto como un horno de aire caliente. Como se mencionó anteriormente, la corriente de aire caliente incrementa la temperatura del ambiente circundante a la carrocería recién pintada, endureciéndola en su capa externa y ésta a su vez transmite el calor mediante conducción hacia las capas internas. Mientras esto ocurre el curado se intensifica en la superficie lográndose así acabados de excelente calidad. La atmósfera temperada esta a 60°C y su tiempo de exposición al vehículo es de 30 a 40 minutos. Estos parámetros son el resultado de estudios realizados por parte de fabricantes internacionales de cabinas-horno de pintura automotriz, consolidándose así como un argumento confiable en la ejecución de estas operaciones de la industria.

3.2.2 SELECCIÓN DE LA UNIDAD CALEFACTORA DE INCINERACIÓN DE COMBUSTIBLE

3.2.2.1 Cuadro Comparativo de prestaciones

Tabla 3.1 Beneficios y Limitaciones de Combustión Directa e Indirecta

	VENTAJAS	DESVENTAJAS
DIRECTA	<ol style="list-style-type: none">1. Eficiencia Térmica superior al 90%.2. Bajos costos de operación.3. Amplio rango de temperatura para la calefacción.	<ol style="list-style-type: none">1. Los productos de combustión se mezclan con el aire de suministro.2. Limitada aplicación debido a regulaciones locales y gubernamentales.3. Implementación de sensores adicionales para determinar las concentraciones de CO₂, óxidos de nitrógeno, etc.4. Uso exclusivo de GLP o Gas Natural.5. El quemador debe ser calibrado para reducir emisiones de CO₂ y CO.6. No se permite recirculación, por tanto el costo aumenta.

Continuación Tabla 3.1 Beneficios y Limitaciones de Combustión Directa e Indirecta

INDIRECTA	<ol style="list-style-type: none"> 1. Los productos de la combustión no se descargan dentro del recinto. 2. Versatilidad en distintas aplicaciones de la industria. 3. GLP, Gas Natural o Diesel son usados como combustibles 4. Permitido el uso de la recirculación. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Eficiencia térmica del 80%. 2. Altos costos de operación. 3. Se requiere de una chimenea para la evacuación de los gases de escape. 4. El intercambiador de calor suele ser atacado por la corrosión. 5. Reducido intervalo de temperatura para la calefacción.
------------------	------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

3.2.2.2 Características del Modelo Escogido

La disminución de contaminantes que pudiesen afectar el acabado final de la carrocería es el factor clave que permite escoger la unidad de calefacción de aire por combustión indirecta como la opción mas acertada ya que la posibilidad restante involucra los gases producto de la incineración del combustible con el flujo de aire. Ciertamente los beneficios de utilizar el gas licuado de petróleo, en términos de mantenibilidad de los equipos, abastecimiento entre otros favoreció determina su elección frente a las demás alternativas. Aunque existe limitaciones en la transmisión de calor, la seguridad del pintor y el resultado final del trabajo son aspectos que merecen especial atención. Por la facilidad que ofrece en su instalación como conjunto armado y ensamble respecto a los equipos y dispositivos mecánicos que lo componen, la unidad tipo gabinete se muestra como idónea para este sistema. El arreglo propulsor es el adecuado para operaciones de suministro en las que se debe vencer altas presiones, es así que se ha seleccionado por coincidir con las condiciones constructivas y de diseño del presente sistema.

3.2.3 GAS LICUADO DE PETRÓLEO – GLP

Es una mezcla de los hidrocarburos Propano y Butano, comercialmente los encontramos en una proporción 70 y 30, respectivamente. Siendo estos compuestos orgánicos de la familia de los carburos de hidrógeno saturados C_nH_{2n+2} lo que permite definirlos como:

Propano	C_3H_8	70%
Butano	C_4H_{10}	30%

La variación en su composición se debe a la fuente de su extracción. El GLP no es tóxico pero sí asfixiante. Su obtención se efectúa en los campos de explotación del gas natural y en los yacimientos de petróleo mediante procedimientos de refinación. Se almacenan y distribuyen en estado líquido en recipientes herméticos a presión. Se emplea principalmente como gas combustible de uso doméstico, comercial, agrícola e industrial, algunas de las ventajas que conlleva usar el GLP son:

- a. Combustión completa o casi completa (equipos no calibrados).
- b. Limpieza de la llama, no produce hollín.
- c. Accesorios de bajo costo de mantenimiento.
- d. Alta eficiencia calorífica.
- e. Facilidad en el montaje de instalaciones.
- f. Calor constante en la llama.

3.2.4 COMBUSTIÓN DEL GLP

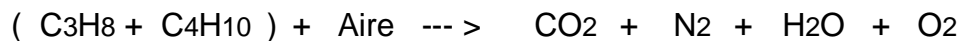
Consiste en una reacción química durante la cual se oxida un combustible desprendiendo una gran cantidad de calor y algunos compuestos como dióxido de carbono, monóxido de carbono y agua, junto con otros productos como dióxido de azufre, que proceden de los componentes menores del combustible. La cantidad de aire, es decir el oxidante, que se necesita para la combustión completa se llama cantidad teórica de aire y a la relación resultante entre las porciones de aire y combustible en una reacción de incineración se le llama relación teórica aire-combustible.

Inducir a la reacción de cantidades teóricas de aire y combustible provocarán una combustión incompleta, como resultado tendremos combustible sin quemar y desperdicio de energía, además se producirá monóxido de carbono (CO), que es un contaminante tóxico.

Para evitar este problema, se suministra siempre un exceso de aire a la cantidad teórica. Sin embargo, la eficiencia de una caldera o calentador llega al máximo cuando se emplea un exceso de aire es mínimo con respecto al necesario para la combustión completa. Si se usa demasiado aire, la eficiencia se reduce por el calentamiento de dicho exceso, que sale después caliente y se desperdicia. En la práctica, muchas instalaciones funcionan con enormes sobrantes de aire lo cual ocasiona un desperdicio de energía.

3.2.4.1 Ecuación Estequiométrica de la Combustión

La ecuación química del proceso de la combustión del GLP relaciona los reactivos que son de dos tipos; combustible, propano y butano y comburente u oxidante, el aire, para así obtener los productos que en general son el dióxido de carbono, nitrógeno, vapor de agua y oxígeno residual. A continuación se muestra la ecuación con los componentes ya mencionados.



La composición volumétrica del GLP y el Peso Molecular de cada componente (Kg/Kmol) están dadas de la siguiente manera:

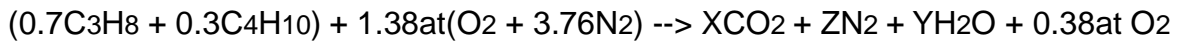
Propano	%p = 0.7	PMp = 44
Butano	%b = 0.3	PMb = 58
Relación Volumétrica GLP	rvglp = %p/%b	

Mientras que el exceso de aire para lograr una combustión completa bajo las condiciones ambientales de Quito, 540 mmHg y 20°C, esta determinada en un porcentaje alrededor del 38%. Si bien es cierto que para procesos de combustión de GLP se recomienda usar un 21% de exceso, cabe recalcar que este valor esta definido para lugares que se encuentran al nivel del mar.

$$exco = 0.38$$

$$excaire = 1.38$$

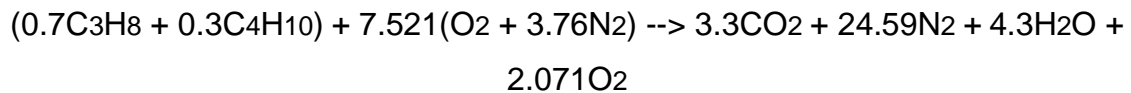
De modo que la reacción química resulta de la siguiente manera.



Realizando el análisis estequiométrico de la ecuación de combustión, se determina el número de moles de cada producto incluyendo la cantidad de aire teórico, así:

$$\begin{aligned}
 C: \quad X &:= \%p \cdot 3 + \%b \cdot 4 & \text{---->} & \quad X = 3.3 \\
 H: \quad Y &:= \frac{(\%p \cdot 8 + \%b \cdot 10)}{2} & \text{---->} & \quad Y = 4.3 \\
 O_2: \quad at &:= \left(X + \frac{Y}{2} \right) & \text{---->} & \quad at = 5.45 & \quad \text{excaire} \cdot at = 7.521 \\
 & & & & \quad \text{exco} \cdot at = 2.071 \\
 N_2: \quad Z &:= \text{excaire} \cdot at \cdot 3.76 & \text{---->} & \quad Z = 28.279
 \end{aligned}$$

Incluidos los valores de las moles encontradas en la ecuación, se tiene:



3.2.4.2 Relación Aire Combustible

Es el cociente entre el número de moles del aire y del combustible. Es importante que se incluyan todas las consideraciones ambientales dentro de este análisis para así obtener las cantidades de reactivos que verdaderamente provocarán los productos en la medida que se ha previsto bajo las condiciones atmosféricas a la que ocurre la combustión. Es así que se sumará al estudio la humedad relativa del aire, en este caso corresponde al 50% en estado normal del ambiente (20°C), por lo que la presión de saturación a esa temperatura es:

$$\%hr = 0.5 \quad P_{sat} = 2.339 \text{KPa}@20^\circ\text{C} \quad P_{total} = 71.99 \text{KPa} (540 \text{mmHg})$$

La Presión parcial de la humedad en el aire es:

$$P_{\text{vair}} = \%hr * P_{\text{sat}} \quad (3.1)$$

$$P_{\text{vair}} = 1.169 \text{ KPa}$$

Ahora se calcularán las moles de humedad en el aire

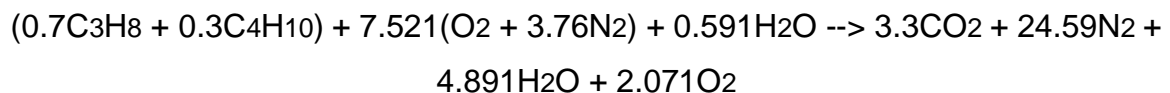
$$N_{\text{vair}} := \frac{\left(\frac{P_{\text{vair}}}{P_{\text{total}}}\right) \cdot \text{molaire}}{1 - \frac{P_{\text{vair}}}{P_{\text{total}}}} \quad (3.2)$$

$$N_{\text{vair}} = 0.591$$

de donde

$$Y + N_{\text{vair}} = 4.891$$

Por lo tanto la reacción de combustión, considerando las moles de humedad en el aire, es



Ahora se debe calcular el número de moles de combustible inmersos en la reacción.

$$n_{\text{comb}} = \%p * P_{\text{Mp}} + \%b * P_{\text{Mb}}$$

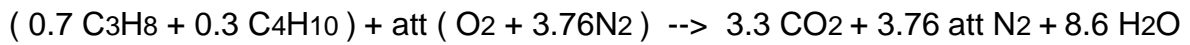
$$n_{\text{comb}} = 48.2 \text{ Kg/Kmol}$$

Existen dos tipos de relaciones de aire combustible que son; real y teórica. Las ecuaciones siguientes las definirán así:

$$\text{Real} \quad AC := \frac{\text{excaire} \cdot \text{at} \cdot 4.76 \cdot 29}{n_{\text{comb}}} \quad (3.3)$$

$$AC = 21.539 \quad \text{Kg aire / Kg combustible}$$

Para determinar el porcentaje de aire teórico att se debe plantear la ecuación de combustión teórica del combustible, así:



$$\text{att} = 3.3 + 8.6 / 2$$

$$\text{att} = 7.6$$

Porcentaje de aire teórico:

$$\% \text{att} := \frac{(\text{excaire} \cdot \text{at}) \cdot 4.76}{\text{att} \cdot 4.76} \quad (3.4)$$

$$\% \text{att} = 0.99$$

Se entiende que mientras mas cercano a la unidad se encuentre el valor de %att, el valor inicialmente supuesto para excaire será el mas óptimo para el análisis.

3.2.4.3 Temperatura de Llama Adiabática

Para su obtención se realizará la sumatoria de las entalpías a un valor supuesto de temperatura de llama adiabática, a la que ocurrirá la combustión y la formación para cada uno de los productos y reactivos que intervienen en la combustión. Es decir se aplicará la siguiente ecuación.

$$\sum N_p (h_f^0 + h - h^0)_p = \sum N_r \cdot h_f^0 \quad (3.5)$$

Los siguientes valores corresponden a las ¹entalpías de formación hf y a las ²entalpías de combustión a la temperatura que ocurre la reacción h^o, en kJ / kmol, según se aplique. Algunos de ellos se obtuvieron mediante interpolación.

CO ₂	hfco = -393.520	H ₂ O	hfho = -241820
	h ^o co = 9175.87		h ^o ho = 9733.37

¹Tabla A-26 "Entalpía de formación" pág A-48 CENGEL Termodinámica Tomo II 2da Edición

²Tablas A-18 hasta A-20 y A-23 "Propiedades de los gases" pág A-36 hasta a-45 CENGEL Termodinámica Tomo II 2da Edición

$$\text{C}_3\text{H}_8 \quad h_{f\text{pro}} = -103.850 \quad \text{C}_4\text{H}_{10} \quad h_{f\text{but}} = -126.150$$

$$\text{O}_2 \quad h^{\circ}\text{o} = 8532.62 \quad \text{N}_2 \quad h^{\circ}\text{n} = 8520.87$$

Para los productos

$$\begin{aligned} \text{CO}_2 \quad s_{1\text{CO}_2} &:= X \cdot (h_{f\text{co}} - h^{\circ}\text{co}) & \Sigma \text{ entalpía CO}_2 &= s_{1\text{CO}_2} + s_{2\text{CO}_2} \\ s_{2\text{CO}_2} &= X \cdot h_{\text{co}} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{H}_2\text{O} \quad s_{1\text{H}_2\text{O}} &:= (Y + N_{\text{v aire}}) \cdot (h_{f\text{ho}} - h^{\circ}\text{ho}) & \Sigma \text{ entalpía H}_2\text{O} &= s_{1\text{H}_2\text{O}} + s_{2\text{H}_2\text{O}} \\ s_{2\text{H}_2\text{O}} &= Y \cdot h_{\text{ho}} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{O}_2 \quad s_{1\text{O}_2} &:= (\text{exco} \cdot \text{at}) \cdot (-h^{\circ}\text{o}) & \Sigma \text{ entalpía O}_2 &= s_{1\text{O}_2} + s_{2\text{O}_2} \\ s_{2\text{O}_2} &= (\text{exco} \cdot \text{at}) \cdot h_{\text{o}} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{N}_2 \quad s_{1\text{N}_2} &:= Z \cdot (-h^{\circ}\text{n}) & \Sigma \text{ entalpía N}_2 &= s_{1\text{N}_2} + s_{2\text{N}_2} \\ s_{2\text{N}_2} &= Z \cdot h_{\text{n}} \end{aligned}$$

Para los reactivos

$$\text{C}_3\text{H}_8 \quad s_{1\text{C}_3\text{H}_8} := \%p \cdot (h_{f\text{prop}}) \quad \Sigma \text{ entalpía C}_3\text{H}_8 = s_{1\text{C}_3\text{H}_8}$$

$$\text{C}_4\text{H}_{10} \quad s_{1\text{C}_4\text{H}_{10}} := \%b \cdot (h_{f\text{but}}) \quad \Sigma \text{ entalpía C}_4\text{H}_{10} = s_{1\text{C}_4\text{H}_{10}}$$

Se procede a sumar las entalpías para lo cual se aplicará la ecuación (3.5)

$$\begin{aligned} X (h_{f\text{co}} + h_{\text{co}} - h^{\circ}\text{co}) + (Y+N_{\text{v aire}})(h_{f\text{ho}} + h_{\text{ho}} - h^{\circ}\text{ho}) + (\text{exco} \cdot \text{at})(h_{f\text{o}} + h_{\text{o}} - h^{\circ}\text{o}) \\ + Z(h_{f\text{n}} + h_{\text{n}} - h^{\circ}\text{n}) = \%p (h_{f\text{prop}}) + \%b (h_{f\text{but}}) \end{aligned}$$

Reemplazándolos con sus respectivos equivalentes, se tiene

$$(s_{1\text{CO}_2} + s_{2\text{CO}_2}) + (s_{1\text{H}_2\text{O}} + s_{2\text{H}_2\text{O}}) + (s_{1\text{O}_2} + s_{2\text{O}_2}) + (s_{1\text{N}_2} + s_{2\text{N}_2}) = \Sigma \text{ reactivos}$$

Se ordena la expresión y se tiene

$$s_2\text{CO}_2 + s_2\text{H}_2\text{O} + s_2\text{O}_2 + s_2\text{N}_2 = \Sigma \text{ reactivos} - s_1\text{CO}_2 + s_1\text{H}_2\text{O} + s_1\text{O}_2 + s_1\text{N}_2$$

Después de reemplazar todos los valores de entalpías en las ecuaciones correspondientes obtenemos:

Sumatoria de reactivos, s_r

$$\begin{aligned} s_r &= \%p * hf_{\text{prop}} + \%b * hf_{\text{but}} \\ s_r &= -1.105 \times 10^5 \text{ kJ} \end{aligned}$$

Sumatoria de productos respecto al punto uno

$$\begin{aligned} s_p &= s_1\text{CO}_2 + s_1\text{H}_2\text{O} + s_1\text{O}_2 + s_1\text{N}_2 \\ s_p &= -2.818 \times 10^6 \text{ kJ} \end{aligned}$$

Reemplazando en la siguiente ecuación se tiene (s_t), cabe recalcar que este valor corresponde al calor producido por la combustión de una kmol de GLP:

$$\begin{aligned} s_t &= s_r - s_p & (3.6) \\ s_t &= 2.707 \times 10^6 \text{ kJ / kmolGLP} \end{aligned}$$

La sumatoria de entalpías de cada producto junto con su número de moles correspondientes se igualan con la energía producida por la reacción de combustión lo cual, en lo posterior definirá la temperatura de llama adiabática, finalmente la ecuación (3.5) se muestra de la siguiente manera

$$X \cdot h_{\text{co}} + (Y + N_{\text{v aire}}) \cdot h_{\text{ho}} + (\text{exco} \cdot a_{\text{t}}) \cdot h_{\text{o}} + Z \cdot h_{\text{n}} = s_t \quad (3.7)$$

Para determinar la temperatura a la que ocurre la combustión se aplicará un ensayo de prueba error partiendo de una aproximación que consistirá en dividir el valor parcial s_t para la sumatoria de las moles de cada uno de los productos involucrados, así se obtendrá una entalpía estimada..

$$h_{est} := \frac{st}{[X + (Y + N_{vair}) + (exco \cdot at)]} \quad (3.8)$$

$$h_{est} = 7.025 \times 10^4 \quad \frac{KJ}{Kmol}$$

Luego, se verifica que producto posee mayor número de moles y con el valor encontrado se procederá a buscar la temperatura que le corresponde, la cual se definirá como temperatura estimada. Para lo cual recurrimos a las tablas de propiedades físicas de cada componente del libro Fundamentos de Transferencia de Calor, INCROPERA DeWITT. Es así que en la Tabla A21 encontramos

Z = 28.279 corresponde al Nitrógeno
Entoces Test = 2150 °K

Ahora se supondrá una temperatura ligeramente menor a la estimada y con ella se encontrará las entalpías de cada uno de los productos, la sumatoria de las mismas será contrastada con el valor parcial st , mientras mas se acerque a éste mejor será la aproximación. Todos los datos han sido registrados en la siguiente tabla.

Tabla 3.2 ¹⁰Entalpías de los productos a ciertas temperaturas

		Temperatura Estimada, °K	
		2000	2150
Componentes	Variable	Punto 1	Punto 2
CO2	hco	100804	109898
H2O	hho	82593	90330
O2	ho	67881	73573
N2	hn	64810	70226

¹⁰Tablas A-18 hasta A-20 y A-23 "Propiedades de los gases" pág A-36 hasta a-45 CENGEL Termodinámica Tomo II 2da Edición

Se reemplazan en la ecuación (3.7)

$$\text{Para } T_1 = 2000^\circ\text{K} \quad st_1 = 2.71 \times 10^6$$

$$\text{Para } T_2 = 2150^\circ\text{K} \quad st_2 = 2.943 \times 10^6$$

Se compara con el valor parcial st antes encontrado y se tiene

$$st = 2.707 \times 10^6$$

$$\frac{st}{st_1} = 0.999$$

$$\frac{st}{st_2} = 0.92$$

en tal virtud se puede concluir que la temperatura de llama adiabática es

$$T_{\text{llama}} = 1996 \text{ }^\circ\text{K}$$

La temperatura real de los gases de combustión es el producto de la temperatura de llama adiabática y un porcentaje de eficiencia de ¹65 %.

$$T_{\text{gc}} = T_{\text{llama}} * 0.65$$

$$T_{\text{gc}} = 1297 \text{ }^\circ\text{K} \text{ (} 1024 \text{ }^\circ\text{C)}$$

Se menciona, en la literatura especializada, que la temperatura de salida de los gases de escape esta alrededor de los ¹¹200°C, claro está cuando se trata se un dispositivo de transferencia de calor que los utiliza como su fluido motriz para la transmisión de energía.

¹¹tabla 4 "Chimney, Gas Vent and Fireplace Systems " ASHRAE Systems Chapter 30 1996

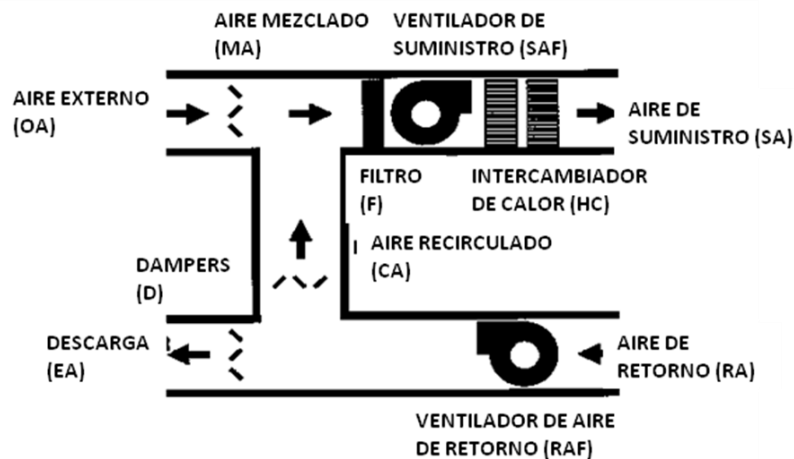
3.2.5 REAPROVECHAMIENTO DE ENERGÍA TÉRMICA – RECIRCULACIÓN

Es un concepto ampliamente utilizado en la industria por los beneficios que ofrece al funcionamiento del sistema calefactor pero por sobre todo la reducción en los costos en el consumo de combustible lo hacen una alternativa por demás provechosa para su instalación. Sin embargo, cuando se trata con ambientes en los que se genera contaminantes, ya sean sólidos o vapores, es necesario realizar un estudio sobre la factibilidad de su implementación incluyendo criterios como niveles de saturación y las propiedades físico-químicas de los agentes químicos. En este caso, se aplicó el Cuadro Lógico de Decisión mostrado en la figura 2.24 y estos son los resultados.

Tabla 3.3 Resultados del análisis de viabilidad de recirculación

DECISIÓN INICIAL		
Evaluación del Agente Químico	Cancerígeno o exposición en bajo nivel de seguridad	
	No Cancerígeno en niveles seguro de exposición	X
Evaluación del Resultado	Aceptable	X
	No Aceptable	
Mecanismo de Limpieza / Dilución	Viable y Adecuado	X
	No viable e Inadecuado	

En conclusión, se permite la implementación de un sistema de recirculación con un apropiado mecanismo de limpieza, en este caso se trata de una corriente de aire fresco diluyente. Existen varias aplicaciones en la industria que muestran diversas formas de recirculación, muchas de ellas se realizan con unidades manejadoras de aire y sistemas de ductos que incluyen un bypass de reingreso. De hecho los elementos calefactores se encuentran diseñados para actuar bajo las condiciones de reprocesamiento del aire calentado ya que influyen en él las propiedades Termofísicas del flujo temperado previamente.



¹²Figura 3.3 Esquema de una Unidad Manejadora de Aire con Recirculación

En el presente diseño se acogerán los conceptos de flujos y temperaturas de aire externo y recirculante para la generación de una corriente temperada con un consumo de combustible mucho menor al que se requeriría en un sistema sin el reaprovechamiento de energía calórica.

3.2.5.1 Balance Másico de Energía

Consiste básicamente en la aplicación de la primera ley de la termodinámica que a su vez es una generalización del principio de conservación de la energía. Este procedimiento será aplicado para determinar dos variables fundamentales en el diseño térmico de la cabina horno de pintura automotriz como son la temperatura de aire mezclado o de ingreso al intercambiador de calor y el flujo másico de gases de combustión de la cual se deriva el flujo volumétrico de combustible.

3.2.5.1.1 Temperatura del Aire Mezclado

El procedimiento que se realizará a continuación tiene como objetivo determinar la temperatura resultante de la mezcla de flujos de aire, tanto el recirculado(60°C) como el externo(15°C). A esta variable se la conocerá como mixed air temperature (T_{ma}) y estará definida en °F. Este parámetro será fundamental para diseñar el intercambiador de calor de flujo cruzado.

¹²Fig 2 pág 3 "Ventilation and Infiltration " ASHRAE Fundamentals Chapter 25 1997

¹³Punto 1

$$T_{oa} = T_a = 15 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$T_1 = T_{oa} * 9/5 + 32$$

$$t_1 = T_1 + 459.67$$

$$T_1 = 59 \text{ }^\circ\text{F}$$

$$t_1 = 518.67 \text{ }^\circ\text{R}$$

¹³Punto 3

$$T_{ca} = T_s = 60 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$T_3 = T_{ca} * 9/5 + 32$$

$$t_3 = T_3 + 459.67$$

$$T_3 = 140 \text{ }^\circ\text{F}$$

$$t_3 = 599.6 \text{ }^\circ\text{R}$$

entonces: $h @ 518.67 \text{ }^\circ\text{R} = h_1$

$$h_1 = 123.95 \text{ BTU / lbm}$$

$h @ 599.67 \text{ }^\circ\text{R} = h_3$

$$h_3 = 143.39 \text{ BTU / lbm}$$

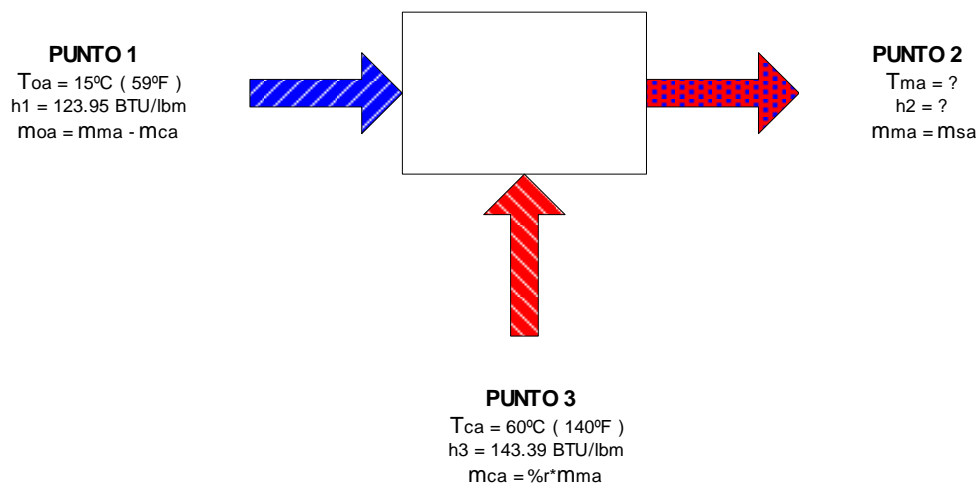


Figura 3.4 Esquema del Flujo Térmico del sistema

A continuación se realizará el balance másico de energía respecto al flujo térmico del sistema, así:

$$E_1 + E_3 = E_2 \quad (3.9)$$

$$m_{oa} * h_1 + m_{ca} * h_3 = m_{ma} * h_2 \quad (3.10)$$

Luego se obtendrán ecuaciones que relacionadas entre sí permitirán despejar sin problema la incógnita en cuestión

$$m_{oa} = m_{ma} - m_{ca} \quad (3.11)$$

¹³Datos tomados de la tabla A-17E "Propiedades del gas ideal del aire " pág. A91, CENGEL, Termodinámica

Según el concepto de flujo recirculante, se calculará mediante el producto del porcentaje de aire a reutilizarse, la obtención de este valor se detalla mas adelante, por la cantidad de aire extraído de la cabina, para lo cual se asumirá que todo el aire que ingresa al recinto se extrae, así:

$$mca = \%r * mra \quad (3.12)$$

$$mra = msa \quad (3.13)$$

$$msa = mma \quad (3.14)$$

Se reemplazará las ecuaciones (3.11), (3.12), (3.13), (3.14) en (3.10) y se tiene

$$mma (1 - \%r) * h1 + \%r * mma * h3 = mma * h2 \quad (3.15)$$

Dividimos a (3.15) para mma

$$(1 - \%r) * h1 + \%r * h3 = h2 \quad (3.16)$$

Se aplica en la ecuación (3.16) los datos requeridos y se tiene

$$h2 = 141.446 \text{ BTU / lbm}$$

a partir de este valor se obtendrá la ¹⁴temperatura a la cual corresponde

$$t2 = 591.584 \text{ }^\circ\text{R}$$

$$T2 = t2 - 459.67 \quad T2 = 131.914 \text{ }^\circ\text{F}$$

$$Tma = 5/9 * (T2 - 32) \quad Tma = 55.508 \text{ }^\circ\text{C}$$

Entonces se puede concluir que la Temperatura de aire mezclado es 55.5 °C. Es lógico suponer que sería mayor a la temperatura ambiente pero menor a la que se encuentra dentro de la cabina, por lo tanto es correcto el valor encontrado.

¹⁴Datos tomados de la tabla A-17E "Propiedades del gas ideal del aire " pág. A91, CENGEL, Termodinámica

3.2.5.1.2 Flujo Másico de Aire Mezclado

Para determinar el flujo másico de aire mezclado definimos previamente su densidad a la temperatura promedio entre el aire mezclado y el de retorno T_{ap} , así:

Temperatura de salida	$T_s = 60^\circ\text{C}$
Promedio	$T_{ap} := \frac{T_s + T_{ma}}{2}$
	$T_{ap} = 57.754^\circ\text{C}$

Densidad a temperatura promedio	$\rho_{aire} = 1.0615 \text{ kg} / \text{m}^3$
---------------------------------	------------------------------------------------

Se aplica la ecuación que relaciona el caudal y la densidad para así obtenerse un flujo másico, como se muestra a continuación. Es importante acotar que el valor correspondiente a Q_{cfm} se encuentra explicado a detalle mas adelante, está expresado en pies cúbicos por minuto por lo que requiere ser multiplicado por un factor de conversión para definirlo en metros cúbicos por segundo

$$\begin{aligned} mma &= (Q_{cfm} / 2119) \cdot \rho_{aire} \\ mma &= 3.234 \text{ kg} / \text{s} \end{aligned}$$

3.2.5.1.3 Flujo Másico de Gases de Combustión

Es la cantidad de productos resultantes de la incineración del GLP por unidad de tiempo que transmitirán su calor al aire que ingresa a la cabina y será definido por medio de un balance másico de energía entre gases de escape y el aire.. El siguiente diagrama de flujo térmico mostrará las condiciones termo físicas de los dos fluidos durante la transferencia de calor. Cabe recalcar que el calor específico de los gases de escape se determina considerando una temperatura promedio correspondiente a 611.5°C . Para mas detalles sobre las demás propiedades Termofísicas de los gases de combustión ver Anexo A

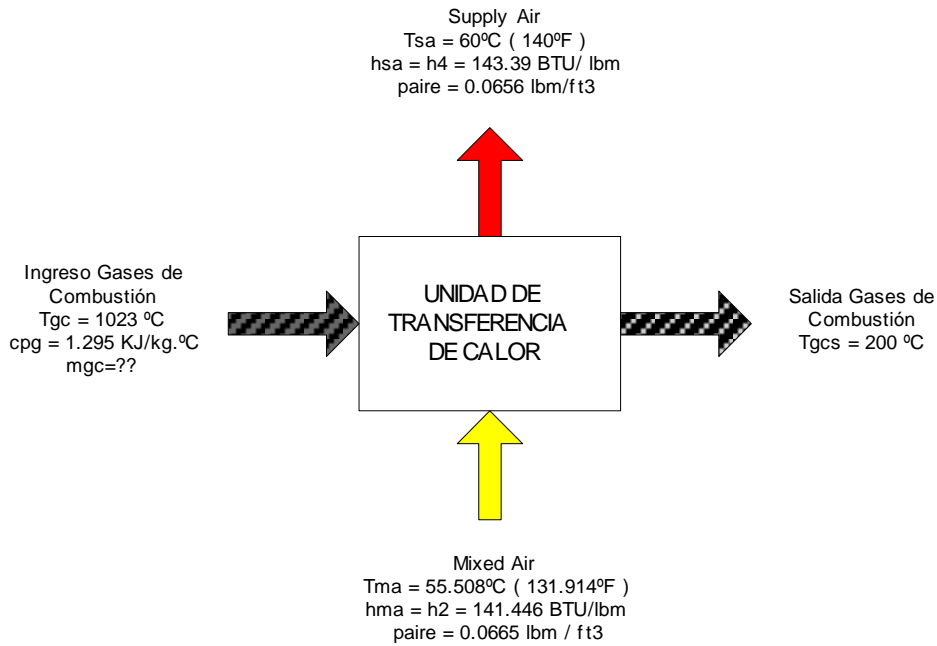


Figura 3.5 Esquema sobre la Transferencia de Calor entre los fluidos

Se inicia con la aplicación de la ecuación de la primera ley de la termodinámica a las condiciones mostradas en el gráfico anterior. En otras palabras, el calor de los gases se iguala con el requerimiento de energía calorífica para elevar la temperatura del aire a 60°C.

$$q \text{ gases} = q \text{ carga térmica neta} \quad (3.17)$$

Se aplica la ecuación que define la cantidad de calor en función del calor específico a los productos de la combustión, así:

$$q \text{ gases} = (m_{gci} \cdot c_{pg} \cdot \Delta T) \quad (3.18)$$

Se usa el valor de la carga térmica neta para así despejar el flujo másico de gases. Tómese en cuenta que el calor específico c_{pg} está dado en BTU / lbm°F mientras que, el gradiente de temperatura relaciona los valores en los que inicia y finaliza el proceso para los productos de la combustión.

Temperaturas de los Gases de Escape

Al ingreso del I.C. (1023 °C) $T_{gc} = 1296 \text{ }^\circ\text{K}$

A la salida del I.C. (200 °C) $T_{gcs} = 473 \text{ }^\circ\text{K}$

Promedio (611.5 °C) $T_{gp} := \frac{T_{gc} + T_{gcs}}{2}$

$T_{gp} = 884.5 \text{ }^\circ\text{K}$

Calor específico a temperatura promedio $c_{pg} = 1.295 \text{ kJ / kg }^\circ\text{C}$

en BTU / lbm^oF $c_{pgi} = c_{pg} \cdot 0.23885$

$c_{pgi} = 0.309$

Gradiente de temperatura expresado en grado Fahrenheit

$$\Delta T_{gc} := \left(T_{gc} \cdot \frac{9}{5} + 32 \right) - \left(T_{gcs} \cdot \frac{9}{5} + 32 \right)$$

$$\Delta T_{gc} = 1481 \text{ }^\circ\text{F}$$

Se reemplaza la ecuación (3.18) en (3.17), incluyendo los valores anteriormente mostrados y se despeja el flujo másico de gases de combustión, así:

$$m_{gci} := \frac{q_{TN}}{c_{pgi} \cdot \Delta T_{gc}} \quad (3.19)$$

$$m_{gci} = 139.76 \text{ lbm / h}$$

Expresado en unidades del sistema internacional, se tiene:

$$m_{gc} := \frac{m_{gci}}{7937}$$

$$m_{gc} = 0.018 \text{ kg / s}$$

3.2.6 CAPACIDAD DE CALEFACCIÓN

Ya provista la corriente de aire es necesaria la implementación de un elemento o dispositivo calefactor, junto a un impulsor de flujo constituyen una unidad calefactora aire la cual requiere definir la capacidad de generar calor como primer paso para su diseño.

3.2.6.1 Carga Térmica Neta del Sistema

Conocida también como “total heating requirement”, según ASHRAE -SYSTEMS AND EQUIPMENT Chapter 31 "UNIT VENTILATORS, UNIT HEATERS AND MAKEUP AIR UNITS", es la cantidad de calor necesaria para elevar la temperatura del ambiente interno de la cabina hasta el punto deseado y mantenerlo constante añadiendo un exceso considerable para suplir las deficiencias térmicas provocadas por las pérdidas de energía calórica a través de paredes y techo del recinto. Se calcula mediante la ecuación (3.20), así:

$$q_{TN} = q_v + q_{lw} \quad (3.20)$$

3.2.6.2 Calor de Ventilación

Se precisa conocer la densidad y calor específico del aire a condiciones normales, además el caudal de aire que se desea temperar durante el proceso cuya obtención de su valor numérico se detalla en un procedimiento que se muestra mas adelante. Luego se aplicarán a la ecuación (3.20) y se tiene:

Densidad $\rho_{air} = 0.075 \text{ lb} / \text{ft}^3$

Calor específico $c_{pair} = 0.24 \text{ BTU} / \text{lb} \cdot ^\circ\text{F}$

$$q_v := 60 \cdot \rho_{air} \cdot c_{pair} \cdot Q_{cfm} \cdot (T_3 - T_2) \quad (3.21)$$

$$q_v = 56379.5 \frac{\text{BTU}}{\text{h}}$$

3.2.6.3 Pérdidas de Calor

Como primer paso se debe reconocer claramente las dimensiones de la cabina, incluyendo espesores de pared y alto del plenum.

Espesor de pared de cabina ins = 0.042 m
(tol + aislamiento + tol)

Alto del Plenum pln = 0.4 m
(incluye aislamiento)

3.2.6.3.1 Paredes Laterales, Posterior y Techo

La cabina será construida por paredes y puertas conformadas de planchas de tol galvanizado, entre ellas se colocará una capa de fibra de vidrio con un espesor aproximado de 4 cm para formar así paneles metálicos tipos sandwich que reducirán las fugas de calor a través de ellas, finalmente el interior del habitáculo pintado de blanco para evitar al máximo absorción de calor.

$$Q_{pc} = U \cdot A \cdot \Delta T \quad (3.22)$$

De donde:

Q_{pc}	Pérdidas de Calor de paredes laterales, posterior, BTUh
U	Coefficiente de Pérdidas de Calor, BTU / h.ft ² ,°F
A	Area de sección, ft ²
ΔT	Diferencia de Temperatura, °F.

Se eligió lana de vidrio porque es un buen aislante térmico, sobre todo cuando se trata de sistemas que involucran energía calórica, además es de bajo costo. La posibilidad del poliuretano fue descartada puesto que se expande cuando se enfrenta al calor, provocando deformación permanente en su estructura, la cual es una notable desventaja para el funcionamiento de la cabina. En tal virtud, identificamos el coeficiente de pérdidas de calor del aislante escogido para las paredes y techo.

Es necesario aclarar que no se considera un coeficiente de pérdidas de calor para las planchas de metal debido a que se considera despreciable por su espesor menor a un milímetro. Se aplica la ecuación (3.22) y se obtienen las fugas térmicas a través de las paredes laterales y posterior pero antes se debe calcular el área de cada una de ellas además se requiere la diferencia de temperatura entre el interior de la cabina y el medio ambiente. A continuación se muestra una tabla con los resultados obtenidos.

La superficie del techo no fue considerada con las medidas totales de longitud y ancho de la cabina puesto que existe un área compuesta de filtros, de modo que los cálculos se realizaron de la siguiente manera.

Dimensiones del arreglo de filtros en el techo

Largo	Lpl = 3 m
Ancho	Apl = 2 m
Superficie	Spl = 6 m ²

Dimensiones del Techo

Largo	L = 6 m
Ancho	Atch = 2.4 m
Superficie (sin filtros)	Stch = 8.4 m ²
en pies cuadrados	Atch = 90.384 ft ²

Plenum es el espacio destinado a la distribución del aire antes de su ingreso a la cabina-horno. Debido al contacto directo de sus cuatro paredes con el flujo de aire caliente se requiere analizar las pérdidas caloríficas que allí suceden.

¹⁵Tabla 5.1, 5.5b, 5.7 "Coeficientes de Pérdidas de Calor" pág 127, 148 , 151 McQUISTON Calefacción, Ventilación y Aire Acondicionado

Tabla 3.4 Pérdidas de Calor en paredes laterales, posterior y techo

PAREDES	AREA	Coeficiente de Pérdidas de Calor	Gradiente de temperatura	Pérdidas de Calor
	ft2			BTU / h.ft2,°F
TECHO	90,384	0,085	81	622,29
LATERALES	135,58			933,44
x 2	271,15			1866,88
POSTERIOR	100,71			693,42
PLENUM	105,45			726,01
			subtotal	3908,60

3.2.6.3.2 Puertas y Pared Anterior

Las puertas están compuestas de una ventana hecha de un acrílico policarbonatado de 3.2 mm de espesor que cubre aproximadamente un 40% de la superficie total. La porción restante de cada acceso esta fabricada de la misma manera que las paredes laterales. A continuación se expondrán los coeficientes correspondientes a los materiales a usarse en la construcción de dichos accesos.

¹⁵Ventana de acrílico policarbonatado de 3.2 mm de espesor $U_v = 4.31 \text{ W / m}^2 \cdot \text{°K}$

¹⁶Puerta de acero con alma de fibra de vidrio, espesor 1 3/4" (4.45cm) $U_p = 3.408 \text{ W / m}^2 \cdot \text{°K}$

Dimensiones de la Puerta

Se supondrá un espesor igual al de las paredes, es decir 40 mm. Como se mencionó anteriormente incluirá una ventana cercana al 40% del total del acceso.

Puerta

Alto $H_p = 2.580 \text{ m}$
 Ancho $A_p = 0.7867 \text{ m}$

Ventana

Alto $H_v = 1.200 \text{ m}$
 Ancho $A_v = 0.650 \text{ m}$

^{15,16}Tabla 5.1, 5.5b, 5.7 "Coeficientes de Pérdidas de Calor" pág 127, 148 , 151 McQUISTON Calefacción, Ventilación y Aire Acondicionado

Los resultados de los cálculos se muestran a continuación en la siguiente tabla.

Tabla 3.5 Pérdidas de Calor a través de Puertas y Pared Anterior

ELEMENTO	AREA	Coeficiente de Pérdidas de Calor	Gradiente de temperatura	Pérdidas de Calor	
	m2			W / m2 °K	°K
PUERTA	1,25	3,408	45	191,70	654,08
VENTANA	0,78	4,31		151,28	516,17
Puerta completa	2,03				1170,25
x 3	6,09				3510,75
	ft2	BTU / h.ft2,°F	°F		
Resto de pared anterior	35,198	0,085	81		242,34
subtotal					3753,09

Cabe recalcar que el área de la puerta que se registra en la tabla anterior no incluye la superficie ocupada por la ventana. En resumen, las pérdidas de calor a través de paredes y puertas son:

$$q_{lw} = 7661.7 \text{ BTU / h.}$$

De modo que la carga térmica se calcula mediante la ecuación (3.20) así:

$$q_{TN} = 64041.2 \text{ BTU / h}$$

3.2.7 SELECCIÓN DEL QUEMADOR DE GLP

Para su elección se trabaja con la carga térmica neta que la cabina de pintura requiere para el proceso de curado, es así que como primer paso se asume un 20% adicional por imprevistos posteriores que pudiesen presentarse como pérdidas por sobrepresión en la cabina. Este valor es recomendado por la experiencia en la instalación y funcionamiento de estos equipos.

$$q_{T1} = q_{TN} * 1.2$$

$$q_{T1} = 76849.42 \text{ BTU / h}$$

También se debe incluir un valor entre el 80 – 82 % debido a la eficiencia mecánica del quemador como tal, así:

$$qT2 = qT1 / 0.82$$
$$qT2 = 93718.82 \text{ BTU / h}$$

Asimismo, se evalúa la cantidad anterior con un factor de eficiencia de funcionamiento del quemador en Quito, aproximadamente 70%, debido a la menor cantidad de aire del cual se dispone en este lugar.

$$\text{Quemador} = qT2 / 0.7$$
$$\text{Quemador} = 133884.02 \text{ BTU / h}$$

En conclusión, se debería instalar un quemador con una capacidad de aproximadamente 134000 BTU / h. Sin embargo, en el mercado no existen modelos disponibles con esa medida por ello se recurre al inmediato superior que es de 200000 BTU / h.

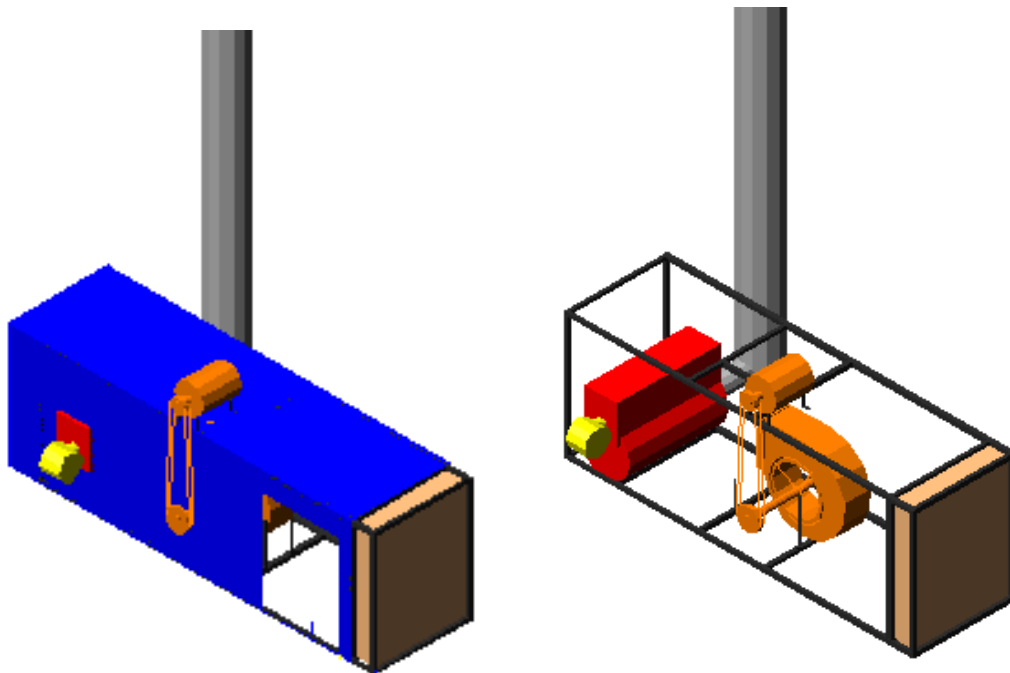


Figura 3.6 Unidad Calefactora de aire diseñada. Con panelado aislante (izq) y estructura montada (der).

3.2.8 DISEÑO DEL SISTEMA DE ABASTECIMIENTO DE COMBUSTIBLE

El manejo de combustibles se ha caracterizado por la rigidez en la aplicación y cumplimiento de las normativas locales e internacionales para evitar incendios. El presente análisis no será la excepción, es así que el diseñador deberá poner especial énfasis en criterios como la seguridad en el funcionamiento del sistema para minimizar los riesgos de un posible siniestro. Una selección adecuada de tubería, válvulas, reguladores y sensores además de la localización y protección del depósito de combustible determinarán la eficacia de un sistema seguro y confiable para quienes lo operan y todos aquellos que se encuentran a su alrededor.

3.2.8.1 Consumo de Combustible

Es la cantidad de gas licuado de petróleo necesaria para generar energía calórica suficiente requerida para elevar la temperatura del aire en la cabina durante la etapa de curado de pintura. Su adquisición se realizará en los cilindros de 15 o 45kg que se expenden libremente, éstos últimos para uso industrial.

3.2.8.1.1 Flujo de Combustible

Se expresa mediante la ecuación en la que intervienen el flujo másico de los gases producto de la combustión y la relación aire combustible real del proceso, así:

$$m_c := \frac{m_{gc}}{\frac{A}{C} + 1} \quad (3.23)$$
$$m_c = 7.54 \times 10^{-4} \text{ kg GLP / s}$$

Siendo la densidad relativa de vapor a 16°C del GLP es igual a 1.667 partir de los parciales correspondientes al propano 1.52 y al butano 2.01, se obtiene:

$$V_{glp} = m_c / d_{glp} \quad (3.24)$$
$$V_{glp} = 0.00045 \text{ m}^3 / \text{s}$$

En pies cúbicos por hora $V_{cg} = 57.51$ cfh

3.2.8.1.2 Autonomía del Sistema

Este procedimiento permite calcular la cantidad de tanques de GLP de 15 kg (uso doméstico) o 45 kg (uso industrial) que son requeridos en el proceso. La metodología de cómputo parte de la correlación entre la carga térmica neta que requiere el sistema y el calor de vaporización del glp, cuyo valor es 45000 BTU/kg, así:

$$N := \frac{q_{TN}}{p_c} \quad (3.25)$$

$$N = 2.977 \text{ kg GLP / h}$$

Cabe recalcar que por cuestiones de seguridad no se utiliza la totalidad del tanque de modo que se requiere definir su capacidad útil, generalmente se utiliza solo un 50%. Por otra parte, se determina el tiempo de uso aproximado del glp, así:

Número de carros / día	6
Tiempo max de curado, mín / carro	40
Tiempo Total de uso, h / día	4.02

Luego se aplica la siguiente ecuación, la cual define la autonomía del sistema, es decir, la cantidad de tanques de GLP de 15kg o 45kg necesarios para un funcionamiento continuo durante el tiempo de uso especificado anteriormente.

$$ATN := \frac{C}{cut} \quad (3.26)$$

donde:

C Consumo de GLP, kg / día.

Cut Capacidad Útil, kg / tanque

Se obtienen los resultados y se muestran en la tabla a continuación:

Tabla 3.6 Autonomía del Sistema

	Consumo GLP	11.97 kg / día
Tanques de GLP	Capacidad Útil del Tanque 50 %	AUTONOMÍA (tanques / día)
15 Kg	7.5 Kg	2
45 Kg	22.5 Kg	1

3.2.8.2 Abastecimiento

3.2.8.2.1 Tubería de Suministro

Debe ser diseñada de manera que pueda proveer el combustible desde el sitio de almacenamiento hasta el punto de aplicación, teniendo en cuenta que el máximo valor de caída de presión en este sistema es de 0.5 in w.g. Su dimensionamiento depende de: Consumo máximo de gas requerido por el sistema en ft³/h, longitud del trazado y número de accesorios, pérdidas de presión permisibles desde el manómetro hasta el quemador y la gravedad específica del gas. De acuerdo a la disposición de los equipos y atendiendo a las recomendaciones de seguridad se determinó que la longitud total son 3 metros. Mediante la siguiente ecuación se determina el diámetro de la tubería, así:

$$dt := \frac{ng \sqrt{V_{cg}}}{\sqrt{2313 \left(\frac{\Delta p_g}{C_g \cdot L_g} \right)^{0.541}}} \quad (3.27)$$

de donde:

V _{cg}	Flujo de GLP a 60°F y 30 in Hg, cfh
ng	Constante, 2.623
L _g	Longitud de la tubería, ft.
Δp _g	Caída de presión en el sistema, in w.g.
C _g	Factor de viscosidad, densidad y temperatura; está definido por la siguiente expresión:

$$C_g := 0.00354(460 + t_g) \cdot s_g^{0.848} \cdot \mu_{glp}^{0.152} \quad (3.28)$$

de donde:

t_g	Temperatura, °F (15°C)
s_g	Gravedad Específica del GLP, 0.6
μ_{glp}	Viscosidad del gas, centipoise (GLP 0.008)

Aplicando las ecuaciones anteriores se tiene:

$$C_g = 0.573$$

Entonces

$$dt = 0.403 \text{ in}$$

en tal virtud, se recomienda instalar una tubería de acero galvanizado con un diámetro nominal 3/8 ". Este valor puede diferir en función de la disponibilidad en el mercado.

3.2.8.2.2 Componentes y Accesorios

Como se sabe, la línea de alimentación de combustible se conecta a la boquilla del quemador, a partir de él se listaron sus dispositivos y accesorios.

- Acople
- Tubería Galvanizada ϕ 1/2"
- Regulador de Presión
- Manguera Industrial ϕ 1/2"
- Válvula
- Tanque de Gas Licuado de Petróleo de 15 o 45 Kg.

3.2.9 DISEÑO DE INTERCAMBIADOR DE CALOR

3.2.9.1 Descripción del Diseño

El objetivo de este diseño es delinear las características geométricas que proporcionarán una transferencia de calor óptima para los requerimientos descritos anteriormente. En la industria se aplican varios modelos de intercambiadores de calor de flujo cruzado, cada uno con ventajas y desventajas que los hacen apropiados en ciertas condiciones, entre los más usados se tiene al conformado por un haz de tubos y del tipo aleteado, cabe recalcar que ambos están compuestos de un hogar cilíndrico o también llamada cámara de combustión.

En el presente estudio se ha escogido del tipo constituido por el banco de tubos puesto que es un modelo característico para esta clase de procesos, además es muy efectivo si de transferencia de calor se trata. Sin embargo presenta grandes caídas de presión al flujo que se pretende calentar.

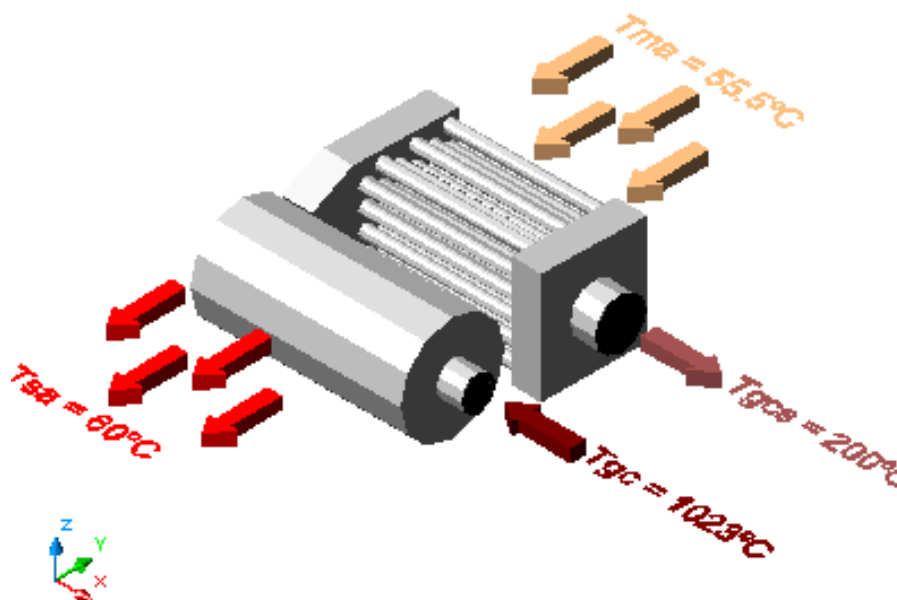


Figura 3.7 Intercambiador de calor de flujo cruzado

3.2.9.2 Consideraciones Iniciales de Diseño

Los parámetros que se citan a continuación regirán el proceso iterativo que se aplica para obtener las condiciones termodinámicas de los fluidos involucrados en el sistema y la geometría mas adecuada para su construcción.

Tubo Circular

Material Acero Inoxidable AISI 407

Diámetro	Nominal	$d = 2.5 \text{ in}$	$D = d * 0.025$ $D = 0.0625 \text{ m}$
	Interno	$d_i = 2.469 \text{ in}$	$D_i = d_i * 0.025$ $D_i = 0.0617 \text{ m}$
	Externo	$d_o = 2.875 \text{ m}$	$D_o = d_o * 0.025$ $D_o = 0.0718 \text{ m}$
Longitud		$Long = 0.7 \text{ m}$	

Haz de Tubos

Se considera para las condiciones termodinámicas de los fluidos para siguiente configuración, tres hileras de tubos en el frente, alternados 1 y 2 tubos (arreglo escalonado) a continuación

Número de Tubos en la Hilera Frontal $N_{\text{tubos}} = 6$

Número de Hileras $n_{\text{hil}} = 2$

Número Total de Tubos

Si n_{hil} es par, se tiene

$$N_{\text{tubos}1} := N_{\text{tubos}} \cdot \frac{n_{\text{hil}}}{2} + (N_{\text{tubos}} - 1) \cdot \frac{n_{\text{hil}}}{2} \quad (3.29)$$

por consiguiente

$$N_{\text{tubos1}} = 11$$

Área Transversal del caja de ingreso de los gases de combustión al banco de tubos.

Alto	$H_{\text{tic}} = 0.60 \text{ m}$
Ancho	$W_{\text{tic}} = 0.10 \text{ m}$
Área	$A_{\text{tic}} = 0.06 \text{ m}^2$

3.2.9.3 Condiciones Termodinámicas de los Fluidos

3.2.9.3.1 Gases de Combustión

Temperatura	Al ingreso ($1023 \text{ }^{\circ}\text{C}$)	$T_{\text{gc}} = 1296 \text{ }^{\circ}\text{K}$
	A la salida ($200 \text{ }^{\circ}\text{C}$)	$T_{\text{gcs}} = 473 \text{ }^{\circ}\text{K}$
	Promedio ($611.5 \text{ }^{\circ}\text{C}$)	$T_{\text{gp}} = 884.5 \text{ }^{\circ}\text{K}$

Flujo Másico@Tgp $m_{\text{gc}} = 0.018 \text{ kg / s}$

Propiedades evaluadas a temperatura promedio, procedimiento ver Anexo A

Conductividad Térmica $k_{\text{g}} = 0.1912 \text{ W / m.}^{\circ}\text{K}$

Viscosidad Dinámica $\mu_{\text{g}} = 0.0000113 \text{ N .s / m}^2$

Calor Específico $c_{\text{pg}} = 1.295 \text{ kJ / kg . }^{\circ}\text{K}$

Densidad $\delta_{\text{g}} = 0.3863 \text{ kg / m}^3$

Prandtl $P_{\text{rg}} = 0.756$

3.2.9.3.2 Aire

Temperatura	Al ingreso (55.5 °C)	Tam = 328.5 °K
	A la salida (60 °C)	Tas = 333 °K
	Promedio (57.75 °C)	Tap = 330.75 °K

Flujo Másico@Tap mma = 3.234 kg / s

Propiedades evaluadas a temperatura promedio, procedimiento ver Anexo A.

Conductividad Térmica kaire = 0.028575 W / m.°K

Viscosidad Dinámica $\mu_{\text{aire}} = 0.00001991 \text{ N} \cdot \text{s} / \text{m}^2$

Calor Específico cpaire = 1.00823 kJ / kg . °K

Densidad $\rho_{\text{aire}} = 1.059 \text{ kg} / \text{m}^3$

Prandtl Prg = 0.7027

Evaluada a Temperatura de aire mezclado, Tma

Densidad $\rho_a = 1.0665 \text{ kg} / \text{m}^3$

Evaluada a Temperatura de salida, Tsa

Prandtl Prs = 0.7023

3.2.9.4 ¹⁶Determinación del Producto UA

El producto UA se refiere a la multiplicación del coeficiente global de transferencia

¹⁶Badillo M, Serrano S, DISEÑO DE UN SISTEMA DE INYECCIÓN DE AIRE CALIENTE Tesis EPN 1996

de calor U , y el área de transferencia de calor A . Este producto servirá para determinar el número de tubos necesario para conformar el arreglo del intercambiador de calor. Además esta expresado mediante la siguiente función.

$$UA = NTU * C_{\min} \quad (3.30)$$

donde NTU son las unidades térmicas de transferencia de calor y C_{\min} corresponde a la capacitancia térmica de menor valor de entre los dos fluidos. A continuación se evaluará las capacitancias de los fluidos, así:

Para los Gases de Combustión:

$$\begin{aligned} C_{gc} &= m_{gc} * c_{pg} & (3.31) \\ C_{gc} &= 0.023 \text{ kJ / s. } ^\circ\text{K} \end{aligned}$$

Para el flujo de aire

$$\begin{aligned} C_a &= m_{ma} * c_{paire} & (3.32) \\ C_a &= 3.261 \text{ kJ / s. } ^\circ\text{K} \end{aligned}$$

Por lo tanto

$$\begin{aligned} C_{\max} &= C_a \\ C_{\min} &= C_{gc} \end{aligned}$$

Luego se calcula NTU , para ello se determina la efectividad la misma que depende del Calor real y el calor máximo, así

Calor Real

$$\begin{aligned} Q_{ai} &= m_{ma} * c_{paire} * (T_{as} - T_{am}) & (3.33) \\ Q_{ai} &= 14.673 \text{ kJ / s} \end{aligned}$$

Calor Máximo

$$\begin{aligned} Q_{\max} &= (m * c_p)_{\min} * (\Delta T)_{\max} & (3.34) \\ Q_{\max} &= m_{gc} * c_{pg} * (T_{gc} - T_{am}) \\ Q_{\max} &= 22.552 \text{ kJ / s} \end{aligned}$$

Efectividad

$$\varepsilon := \frac{Q_{ai}}{Q_{max}} \quad (3.35)$$

$$\varepsilon = 0.651$$

A continuación se debe analizar la naturaleza de la situación en la que se encuentran los fluidos en el sistema, de esta manera se podrá determinar la ecuación mas adecuada para relacionar la efectividad con las NTU.

ANÁLISIS: Los gases de combustión se consideran como un fluido sin mezclar debido a que están siendo transportados a través de los tubos circulares es decir por canales confinados, mientras que el aire al pasar por el arreglo de tubos puede intercambiar energía entre sí debido a la libertad que tiene para transportarse a través del I.C. De modo que, para un I.C. de flujo cruzado, con uno de los fluidos mezclado ($C_{máx}$) y el otro sin mezclar ($C_{mín}$), tenemos la siguiente ecuación:

$$Cr := \frac{C_{mín}}{C_{máx}} \quad (3.36)$$

$$Cr = 0.007149$$

de donde

$$NTU := -\ln\left(1 + \frac{\ln(1 - \varepsilon \cdot Cr)}{Cr}\right) \quad (3.37)$$

$$NTU = 1.056$$

Finalmente se calcula el producto UA mediante la ecuación (3.30), así:

$$UA = 0.025 \text{ kJ / s.}^\circ\text{K}$$

3.2.9.5 Coeficiente de Transferencia de Calor de los Gases de Combustión

Para determinar este parámetro se debe identificar claramente la naturaleza del flujo, incluyendo la geometría del conducto. Se trata de una corriente de gases de escape que siguen su trayectoria al interior de una tubería circular, para lo cual se aplica la siguiente ecuación.

$$h_g := \frac{Nu_g \cdot k_g}{D} \quad (3.38)$$

En este caso se convierte en un proceso iterativo debido a proporcionará los valores más óptimos tanto para las variables de diseño como para los parámetros termodinámicos. Cabe recalcar que para obtener el coeficiente de convección de los gases de combustión se debe analizar, tanto a la temperatura de ingreso como de salida del fluido, obteniendo así un coeficiente parcial en cada uno de ellos, de manera que será necesario evaluar todas las propiedades físicas y termodinámicas a dichas temperaturas.

Evaluadas a la temperatura de ingreso, T_{gi}

Conductividad Térmica $k_{gi} = 0.2721 \text{ W / m} \cdot \text{°K}$

Viscosidad Dinámica $\mu_{gi} = 0.000015 \text{ N} \cdot \text{s / m}^2$

Calor Específico $c_{p_{gi}} = 1.3944 \text{ kJ / kg} \cdot \text{°K}$

Densidad $\delta_{gi} = 0.238 \text{ kg / m}^3$

Prandtl $Pr_{gi} = 0.756$

La variable que debe requerir especial atención del diseñador es el número de Nusselt que es función de Reynolds es así que se requiere identificar la velocidad

de los gases de combustión a la entrada del banco de tubos, es decir a través de la sección transversal, éste valor se determina mediante la siguiente expresión:

$$Q_{gci} := \frac{m_{gc}}{\delta_{gi}} \quad (3.39)$$

$$Q_{gci} = 0.076 \text{ m}^3 / \text{s}$$

Es importante revisar el valor de H_{tic} correspondiente a la sección transversal puesto que debe ser mayor a la altura del arreglo de tubos. La siguiente correlación permitirá visualizar mucho mejor esta comparación, así:

$$\text{si } St = 1.5 * D$$

$$L = [St * (N_{tubos} - 1) + D] \quad (3.40)$$

$$L = 0.54 \text{ m}$$

$$\text{Si } H_{tic} = 0.6 \text{ m}$$

$$H_{tic} > L$$

Por consiguiente el valor de H_{tic} es mayor a la altura del arreglo. A continuación se calcula la velocidad de los gases utilizando el área de ingreso de los productos de la combustión al banco de tubos.

$$V_{gci} := \frac{Q_{gci}}{A_{tic}} \quad (3.41)$$

$$V_{gci} = 1.261 \text{ m} / \text{s}$$

Luego se calcula el número de Reynolds, así:

$$Regir := \frac{V_{gci} \cdot \delta_{gi} \cdot D}{\mu_{gi}} \quad (3.42)$$

$$Regir = 1270$$

Propiedades Termofísicas evaluadas a la temperatura de salida, T_{gcs}

Conductividad Térmica $k_{gs} = 0.10718 \text{ W / m.}^\circ\text{K}$

Viscosidad Dinámica $\mu_{gs} = 0.0000694 \text{ N .s / m}^2$

Calor Específico $c_{pgs} = 1.16468 \text{ kJ / kg . }^\circ\text{K}$

Densidad $\delta_{gs} = 0.7264 \text{ kg / m}^3$

Prandtl $Pr_{gs} = 0.7562$

Como se mencionó anteriormente se debe analizar también el número de Reynolds a la salida del banco de tubos, para ello se calcula la velocidad a partir de la definición del flujo volumétrico de aire por segundo en ese instante, así:

$$Q_{gcs} := \frac{m_{gc}}{\delta_{gs}} \quad (3.43)$$

$$Q_{gcs} = 0.025 \text{ m}^3 / \text{s}$$

El área transversal global por la que deben atravesar los gases se determina así:

$$A_{tub} := \pi \cdot \left(\frac{D}{2}\right)^2 \cdot N_{tubos2} \quad (3.44)$$

$$A_{tub} = 0.035 \text{ m}^2$$

Finalmente, la velocidad de los gases es

$$V_{gcs} := \frac{Q_{gcs}}{A_{tub}} \quad (3.45)$$

$$V_{gcs} = 0.711 \text{ m / s}$$

Por tanto, Reynolds es:

$$\text{Regr} := \frac{V_{gcs} \cdot \delta_{gs} \cdot D}{\mu_{gs}} \quad (3.46)$$

$$\text{Regr} = 472.77$$

Obtenemos el valor promedio de Reynolds a partir de sus respectivos valores en los puntos previamente analizados.

$$\text{REgr} := \frac{\text{Regir} + \text{Regr}}{2} \quad (3.47)$$

$$\text{REgr} = 871.40$$

Para el cálculo de Nug se emplea la relación recomendada por Petukhov y Popov para la transferencia de calor turbulenta en el interior del tubo, previamente se debe obtener el factor de fricción. (Tomada de Ibid, pag 411):

$$f_r := (1.82 \log(\text{REgr}) - 1.64)^{-2} \quad (3.48)$$

$$f_r = 0.073$$

$$\text{Nugr} := \frac{\left(\frac{f_r}{8}\right) \cdot \text{REgr} \cdot \text{Prg}}{1.07 + 12.7 \sqrt{\frac{f_r}{8}} \cdot \left(\text{Prg}^{\frac{2}{3}} - 1\right)} \quad (3.49)$$

$$\text{Nugr} = 6.919$$

Finalmente el coeficiente de transferencia de calor por convección correspondiente a los gases de combustión es:

$$h_{gr} := \frac{\text{Nugr} \cdot k_g}{D} \quad (3.50)$$

$$h_{gr} = 20.832 \text{ W / m}^2 \cdot \text{°K}$$

3.2.9.6 Coeficiente de Transferencia de Calor del Aire

Para determinar este coeficiente se requiere elegir previamente el tipo de configuración a la cual se dispondrán los tubos dentro del arreglo. Estas restricciones geométricas, incluidas en las correlaciones matemáticas determinarán las condiciones de transferencia de energía calórica en el intercambiador de calor.

La distribución de los tubos que favorece a la transferencia de calor corresponde al tipo escalonado. Los parámetros dimensionales que rigen esta disposición son los que se muestran a continuación:

$$\begin{aligned} St &= 1.5 D & St &= 0.095 \text{ m} \\ Sl &= 1.5 D & Sl &= 0.095 \text{ m} \\ Sd &:= \sqrt{Sl^2 + \left(\frac{St}{2}\right)^2} & Sd &= 0.106 \text{ m} \end{aligned}$$

A continuación se calcula el valor de Reynolds a partir de la velocidad máxima del fluido mediante la ecuación (3.38). Antes se debe obtener la velocidad máxima de flujo y para ello se usará la siguiente correlación de comprobación que permitirá determinar en que plano actúa la velocidad del flujo máxima. Sabiendo que la configuración escogida, por sus beneficios constructivos y de transferencia de calor, es del tipo escalonado se aplicará las correlaciones mostradas a continuación. La velocidad máxima ocurre en el plano A2 si la siguiente correlación es afirmativa:

$$\begin{aligned} 2 (Sd - D) &< (St - D) & (3.51) \\ 2 (Sd - D) &= 0.086 & St - D = 0.032 \end{aligned}$$

Los resultados nos demuestran que la velocidad máxima no ocurre en el plano A2. Por consiguiente, la rapidez máxima ocurre en el plano A1 pero antes se debe determinar la velocidad a la cual el aire viaja a través del ducto antes de entrar en

contacto con el haz de tubos, primero definidos el caudal y luego el área transversal, así:

$$Q_{cfm} = 6456 \text{ cfm}$$

$$Q_{aire} = Q_{cfm} / 2119$$

$$Q_{aire} = 3.047 \text{ m}^3 / \text{s}$$

Y el área frontal que atraviesa el flujo de aire se determina con las dimensiones más significativas del intercambiador que son las pertenecientes del hogar cilíndrico, éstas a su vez dependen de las recomendaciones del fabricante del quemador, además se considera que la sección transversal del heater unit, es 80 x 100 cm sin embargo se redujo la sección para lograr un efecto ventura en el flujo y mejorar la transferencia de calor, así:

Dimensiones de la Sección a la entrada del I.C.

$$\text{Alto} \quad A_{hu} = 0.6 \text{ m}$$

$$\text{Ancho} \quad W_{hu} = 0.9 \text{ m}$$

$$A_f = A_{hu} * W_{hu} \quad (3.52)$$

$$A_f = 0.54 \text{ m}$$

Por tanto, la velocidad del aire es

$$V := \frac{Q_{aire}}{A_f} \quad (3.53)$$

$$V = 5.642 \text{ m / s}$$

De modo que la velocidad máxima es:

$$V_{max} := \frac{St}{St - D} \cdot V \quad (3.54)$$

$$V_{max} = 16.926 \text{ m / s}$$

Reemplazando los valores obtenidos, se calcula Reynolds así:

$$\text{Rermax} := \frac{\rho_{\text{aire}} \cdot V_{\text{max}} D}{\mu_{\text{aire}}} \quad (3.55)$$

$$\text{Rermax} = 57210$$

Se escoge la expresión de número de Nusselt que mas se ajuste a las condiciones del sistema, por ello se considera conveniente que la correlación propuesta por Zhukauskas es la adecuada

$$\text{Nuar} := C2 \cdot C1 \cdot \text{Rermax}^m \cdot \text{Pr}_{\text{aire}}^{0.36} \cdot \left(\frac{\text{Pr}_{\text{aire}}}{\text{Pr}_s} \right)^{\frac{1}{4}} \quad (3.56)$$

Los factores que involucran la expresión de Nusselt, C1 y m dependen de las relaciones SL / D (Separación Longitudinal respecto al Diámetro) y ST / D (Separación Transversal respecto al Diámetro).

Para $\text{St} / D = 1.5$
 $\text{Sl} / D = 1.5$

Entonces $^{17}C1 = 0.25$ $^{17}m = 0.620$

Debido a que el número de tubos en la hilera frontal que se propuso en el inicio es menor a 10, se recomienda introducir a la ecuación un factor de corrección C2.

Para $\text{Ntubos} < 10$
 Configuración Escalonada

Entonces $^{18}C2 = 0.98$

¹⁷ tabla 7.5 pág 379 INCROPERA Fundamentos de Transferencia de Calor 4ta Edi

¹⁸ tabla 7.6 pág 379 INCROPERA Fundamentos de Transferencia de Calor 4ta Edi

Se reemplaza lo valores en la expresión que define a Nusselt y se tiene

$$\text{Nuar} = 192.173$$

Finalmente, el coeficiente de transferencia de calor por convección correspondiente al aire es:

$$h_{ar} := \frac{\text{Nuar} \cdot k_{aire}}{D} \quad (3.57)$$

$$h_{ar} = 86.48 \text{ W / m}^2 \cdot \text{°K}$$

3.2.9.7 Coeficiente Global y Área de Transferencia de Calor

El coeficiente global de transferencia de calor depende de los coeficientes de convección de los fluidos involucrados, de manera que se aplicará la siguiente expresión para calcularlo, así:

$$U_r := \frac{1}{\frac{1}{h_{ar}} + \frac{1}{h_{gr}}} \quad (3.58)$$

$$U_r = 16.788 \text{ W / m}^2 \cdot \text{°K}$$

El área de transferencia de calor requerida para el proceso se define igualando los productos UA de los gases de combustión y del aire, así:

$$A_r := \frac{UA \cdot 1000}{U_r} \quad (3.59)$$

$$A_r = 1.446 \text{ m}^2$$

Debido a que el análisis efectuado responde a un accionar iterativo de sus variables se requiere determinar el número de tubos que serán necesarios para

entregar calor al sistema. Para ello se calcula, como primer paso, el número de tubos correspondiente al área de transferencia de calor antes obtenida.

$$N_{\text{tubos2}} := \frac{A_r}{\pi \cdot D \cdot L_{\text{ong}}} \quad (3.60)$$

$$N_{\text{tubos2}} = 10.499$$

Para verificar que el número total de tubos supuesto inicialmente sea el adecuado se aplicará la siguiente expresión:

$$N_{\text{tubos}} / N_{\text{tubos2}} = 1.048$$

Mientras mas se acerque a uno el cociente de la expresión anterior, se considerará óptimo el diseño planteado.

3.2.9.8 Calor Transmitido por el Intercambiador de Calor

Esta variable depende de la temperatura media logarítmica, el coeficiente global de transferencia de calor y el área de transferencia de calor, todas involucradas en la siguiente ecuación así:

$$\Delta T_1 := T_{\text{gc}} - T_{\text{as}}$$

$$\Delta T_2 := T_{\text{gcs}} - T_{\text{am}}$$

$$\Delta T_{\text{MLD}} := \frac{(\Delta T_1 - \Delta T_2)}{\ln(\Delta T_1 \cdot \Delta T_2)} \quad (3.61)$$

$$\Delta T_{\text{MLD}} = 69.111$$

De modo que el calor entregado por el I.C. es:

$$Q_{\text{ic}} = U_r * (N_{\text{tubos}} * \pi * D * L_{\text{ong}}) * \Delta T_{\text{MLD}} \quad (3.62)$$

$$Q_{\text{ic}} = 1782 \text{ W}$$

En unidades inglesas

$$Q_{\text{ic}} = 6081 \text{ BTU / h}$$

3.2.9.9 Dimensiones Finales del Arreglo de Tubos

En base a los resultados obtenidos anteriormente se puede concluir en un banco de tubos con las siguientes dimensiones, cabe recalcar que dichas medidas incluyen las cajas anterior y posterior.

Ancho de las cajas	$W_{cajas} = 2 * W_{tic}$ $W_{cajas} = 0.20 \text{ m}$
Longitud Total	$L_{total} = Long + W_{cajas}$ $L_{total} = 0.90 \text{ m}$
Alto Total	$Abanco = St * (N_{tubos} - 1) + D$ $Abanco = 0.54 \text{ m}$
Ancho Total	$W_{banco} = SI * (n_{hil} - 1) + 2D$ $W_{banco} = 0.22 \text{ m}$

3.2.9.10 Caída de Presión de los Gases de Escape en el Intercambiador de Calor

Se determinó, inicialmente, la caída de presión ocurrida dentro del hogar cilíndrico. A continuación se aplicó la ecuación que define la pérdida de presión a través de conductos cilíndricos, así:

$$\Delta P_h := 0.4 f_h \cdot \left(\frac{L_{hc}}{D_{hc}^{1.22}} \right) \cdot V_{hc}^{1.82} \quad (3.63)$$

de donde

ΔP_h	Pérdida de carga dentro del hogar, mm. c.a.
f_h	Factor de rugosidad correspondiente a la superficie interior, (0.9, para acero inox AISI 304).
V_{hc}	Velocidad de los gases de escape en el hogar (m/s)

La rapidez de los gases de combustión dentro del hogar cilíndrico requiere determinar el área de transversal del hogar y se calcula de la siguiente manera:

$$V_{hc} := \frac{m_{gc}}{a_{thc} \cdot \delta_g} \quad (3.64)$$

$$V_{hc} = 0.237 \text{ m / s}$$

Reemplazados los valores obtenidos en la ecuación (3.63) y se tiene:

$$\Delta P_h = 6.25 \times 10^{-7} \text{ in. w.g.}$$

Ahora el análisis se enfocará en determinar la caída de presión dentro del haz de tubos, para ello utilizaremos la siguiente expresión:

$$\Delta P_{ht1} := \frac{f_t \cdot G_{tc} \cdot \text{Long} \cdot n_p}{2 \cdot \delta_g \cdot D} \quad (3.65)$$

de donde

n_p Número de pasos de los tubos en el banco, en este caso es 1.

G_{tc} Velocidad Másica del fluido, $\text{kg/m}^2 \cdot \text{s}$

f_t Factor que depende del número de Reynolds y se calcula así:

$$f_t := 1.964310^{-3} \cdot \text{RE}_{gr}^{-0.204} \quad (3.66)$$

$$f_t = 0.0003802$$

La velocidad másica de los gases dentro del haz de tubos se calcula mediante la siguiente ecuación.

$$G_{tc} := \frac{m_{gc}}{a_{tt}} \quad (3.67)$$

de donde

m_{gc} Flujo de gases de combustión, kg 7 s .

att Área transversal de flujo de los gases, m² y se calcula así:

$$att := \frac{\pi \cdot N_{\text{tubos}} \cdot D^2}{4 \cdot np} \quad (3.68)$$

$$att = 0.016 \text{ m}^2$$

Por tanto

$$G_{tc} = 1.137 \text{ kg/m}^2 \cdot \text{s}$$

Reemplazados cada uno de los valores que se determinaron anteriormente en la ecuación (3.65) se obtuvo.

$$\Delta P_{\text{htil}} = 0.006267 \text{ N / m}^2$$

equivalente a

$$\Delta P_{\text{htil}} = 2.518 \times 10^{-5} \text{ in. w.g.}$$

3.2.9.11 Caída de Presión del Aire a través del Intercambiador de Calor

Este parámetro permitirá definir la presión necesaria que debe imprimir el ventilador de suministro para inducir sin problema el flujo de aire a través del intercambiador de calor hasta su lugar de destino. La expresión que la define es:

$$\Delta P_{\text{htf}} := n_{\text{hil}} \cdot X \cdot \left(\frac{\rho_{\text{aire}} \cdot V_{\text{max}}^2}{2} \right) \cdot f \quad (3.69)$$

de donde:

n_{hil} Número e hileras transversales

f, X Factores que dependen de la configuración de tubos

Luego de entrar a la tabla correspondiente con los datos requeridos se obtienen los siguientes valores.

$$f = 0.06$$

$$X = 1.1$$

Reemplazados los valores obtenidos anteriormente en la ecuación (3.69) se obtuvo.

$$\Delta P_{htf} = 20.04 \text{ N / m}^2$$

en pulgadas de agua

$$\Delta P_{htf} = 0.081 \text{ in. w.g.}$$

3.2.10 DISEÑO DE LA CHIMENEA

Se pretende definir las dimensiones del ducto encargado de conducir los gases de combustión desde la salida del intercambiador de calor hasta un lugar alejado en el ambiente. Es así que la recomendación general para construir una chimenea es realizarla con una altura aproximada a 2.5 veces la altura del recinto, sin embargo se requiere el diámetro y accesorios como la caperuza y un orificio para eliminar condensados.

Las características del sistema identifican al flujo de gases de combustión como una corriente inducida o forzada por el ventilador del quemador. Sin embargo la caída de presión que deberá vencer el tiro de gases desde su salida del incinerador está dada por la ecuación (3.70).

$$\Delta p_{ch} = D_t + D_b \quad (3.70)$$

de donde

D_t Tiro teórico, in. w.g.

D_b Tiro proporcionado por el quemador, in. w.g.

El tiro teórico se define como la presión estática resultante provocada por las densidades de una columna de gases calientes de escape y de aire a condiciones normales. Mientras que el tiro provocado por el ventilador del incinerador es una característica definida específicamente por el fabricante.

$$Dt := 0.2554B \cdot Hch \cdot \left(\frac{1}{To} - \frac{1}{Tm} \right) \quad (3.71)$$

de donde:

B	Presión barométrica del lugar, in. Hg.
Hch	Altura de la chimenea sobre el nivel de ingreso, ft.
To	Temperatura ambiente, °R.
Tm	Temperatura media de los gases en la chimenea (200°C), °R,

La caída de presión en la chimenea debido al flujo dentro del sistema se define a través de la siguiente ecuación, esto incluye ducto y accesorios.

$$\Delta pch := kch \cdot Pvch \quad (3.72)$$

de donde

kch	Coefficiente de resistencia debido a la fricción.
Pvch	Presión de velocidad de los gases dentro de la chimenea, fpm. Se calcula mediante la ecuación (3.13).

$$Pvch := \delta \cdot \left(\frac{Vgch}{1097} \right)^2 \quad (3.73)$$

de donde

δ	Densidad de los gases, en función de la temperatura a la que se encuentren, lbm / ft ³
Vgch	Velocidad de los gases, se define gracias a la ecuación (3.74).

$$Vgch := \frac{\left(\frac{mgc}{\delta} \right)}{Asch} \quad (3.74)$$

de donde

mgc Flujo másico de gases (0.018 kg/s), lb/h.

Asch Sección transversal del accesorio, ft².

Es importante también definir los coeficientes de resistencia de flujo los cuales están en función de la geometría del ducto, es así que para la tubería se calcula mediante la ecuación (3.75) por ser un conducto cilíndrico. Los factores que corresponden a los accesorios se determinan mediante tablas específicas y cuyos valores se registran en el siguiente cuadro.

$$k_l := 0.4 \frac{L_g}{dch} \quad (3.75)$$

$$k_l = 0.444$$

Tabla 3.7 Coeficientes de Pérdida de Presión – Accesorios Chimenea

Accesorio No.	Tipo de Accesorio	Código ASHRAE	Parámetros	Co
1	Hogar Cilíndrico	-	-	-
2	Codo 90° (hogar - caja posterior)	SR3-1	H/W1=1,00 Wo/W1=0,2	0,09
3	Divergencia (inlet)	SR4-1	θ = 90° Ao/A1=1,5	0,76
4	Codo 90° (caja posterior - haz de tubos)	SR3-1	H/W1=6,00 Wo/W1=2,00	2,63
5	Entrada a los tubos	ED1-1	θ = 0° L/D=0,03	0,50
6	Haz de Tubos	-	-	-
7	Salida de los Tubos	SR2-1	Régimen Turbulento	1,00
8	Entrada a la chimenea	ER4-3	θ = 60° Ao/A1=6,8	3,62
9	Codo 90° (chimenea)	CD3-6	φ=0,15m r/D=1,5	0,34
10	Chimenea	-	-	0,44
11	Caperuza	-	-	1,25

Se tabula los valores correspondientes a ciertas propiedades Termofísicas necesarias para los cálculos posteriores. Luego se aplica las ecuaciones (3.72), (3.73) y (3.74), posterior a la ejecución de un proceso iterativo se registran sus valores en las siguientes tablas.

Tabla 3.8 Propiedades Termofísicas de los Gases en la Chimenea

		Densidad	Caudal	Viscosidad cinemática	
		lb/ft3	cfm	ft2/s	m2/s
1	ingreso gases de combustión (1023°C)	0,0149	156,77	0,0054166	0,0005034
2	transición (611,5°C)	0,0241	96,59	0,0029854	0,0002775
3	salida gases del I.C. (200°C)	0,0453	51,36	0,0010354	0,0000962

Tabla 3.9 Pérdida de Presión – Accesorios Chimenea

Acc No.	Tipo de Accesorio	Diámetro equi, in	Velocidad fpm	Presión de	Coeficiente pérdidas	Pérdida de Presión Total in. w.g.
				Velocidad in. w.g.		
1	Hogar Cilíndrico	19,68	74,21	0,00007	-	-
2	Codo 90° (hogar - caja)	8,88	364,51	0,00164	0,09	0,0001
3	Divergencia (inlet)	10,88	242,81	0,00073	0,76	0,0006
4	Codo 90° (caja - haz de tubos)	15,39	121,35	0,00018	2,63	0,0005
5	Entrada a los tubos	2,50	4598,89	0,26113	0,50	0,1306
6	Haz de Tubos	2,50	2833,38	0,16088	-	-
7	Salida de los Tubos	2,50	1506,79	0,08556	1,00	0,0856
8	Entrada a la chimenea	15,39	39,76	0,00006	3,62	0,0002
9	Codo 90° (chimenea)	6,00	261,60	0,00258	0,34	0,0009
10	Chimenea	6,00	261,60	0,00258	0,44	0,0011
11	Caperuza	6,00	261,60	0,00258	1,25	0,0032
					TOTAL	0,2228

Incluyendo la caída de presión existente en el hogar cilíndrico haz de tubos y a través de la chimenea se obtuvo un valor total

$$\Delta p_{ch} = 0.2228 \text{ in w.g.}$$

Se despejó el D_b necesario que debe proporcionar el ventilador del quemador para que los gases de combustión atraviesen sin problemas todo el trazado designado en el diseño. Siendo las dimensiones resultantes de la chimenea las siguientes.

Alto $H_{ch} = 3.5 \text{ m}$

Diámetro $D_{ch} = 0.15 \text{ m}$

Despejando Db de la ecuación (3.70) se obtuvo,

$$Db = \Delta p_{ch} - D_t$$

$$Db = 0.2228 - 0.047$$

$$Db = 0.176 \text{ in. w.g.}$$

Cabe recalcar que la presión que ejerce el ventilador del quemador escogido es superior a 1.5 in.w.g. lo cual indica que sobrepasa claramente al mínimo requerido para que funcione el sistema de ductos para la evacuación de gases de escape.

3.3 DISEÑO DEL SISTEMA DE VENTILACIÓN

Apelando a los argumentos expuestos en el capítulo anterior respecto a las características que deberá poseer el sistema de ventilación a implementarse están la estabilidad y eficacia que en conjunto proporcionan a la cabina un grupo combinado o subsistemas de suministro y extracción de aire. Además, el tipo de corriente de aire que se recomienda implantar, según la ASHRAE, para áreas limpias es vertical descendente, unidireccional y bajo un régimen laminar que ofrece prestaciones óptimas para desempeñar operaciones de pintado y curado.

Criterios como Dilución y Arrastre de contaminantes se analizarán irrestrictamente en el presente diseño del sistema de ventilación debido a la naturaleza misma del funcionamiento de la cabina y su interacción con solventes orgánicos y pintura atomizada con la finalidad de ofrecer un ambiente de trabajo seguro para el pintor e impecable para lograr acabados de calidad en la pintura.

3.3.1 VENTILACIÓN PARA DILUCIÓN

Para la aplicación de la pintura en la carrocería es necesario diluirla previamente en una mezcla líquida de solventes, comúnmente conocida como thinner. En el mercado existen varias clases que se utilizan en función de la actividad, generalmente adelgazar pinturas, entre ellas tenemos poliuretano, aromático,

epóxico, etc. Siendo los dos primeros, más frecuentes en uso y venta en el mercado, es así que se vuelve determinante definir los componentes de aquella mezcla para realizar el estudio correspondiente.

3.3.1.1 Thinner

El thinner es un diluyente o adelgazador de pinturas que resulta de la mezcla de solventes derivados del petróleo, es decir de naturaleza orgánica. Su objetivo es diluir o adelgazar sustancias insolubles en agua, como la pintura, aceites y grasas. Este compuesto básicamente por un solvente activo, un cosolvente y un diluyente. El primero tendrá un efecto directo sobre lo que está disolviendo, el cosolvente potenciará el efecto del solvente activo y el diluyente dará volumen al compuesto. El thinner tiene como solvente principal al tolueno, como cosolvente al benceno y como diluyente a una serie de solventes, sustancias todas ellas tóxicas para el hombre. La mezcla de solventes que se utilizará para el estudio corresponde a un thinner aromático compuesto en un 85% por Xileno y el restante 15% por Etilbenceno, mas detalles técnicos y de seguridad industrial respecto se encuentran en el Anexo B.

Como se mencionó anteriormente, las características físico-químicas de los solventes y sus cualidades reactivas ante su exposición al fuego determinarán el tipo de ventilación para dilución que debe analizarse. Tratándose de una mezcla de solventes como el thinner compuesto de Xileno y EtilBenceno, ambos altamente tóxicos y nocivos para la salud, se considera necesario analizar bajo aspectos como Salud del operario y Explosividad e inflamabilidad

3.3.1.2 Dilución del Thinner respecto a la Salud

A continuación definiremos el caudal efectivo de aire fresco necesario para disolver los agentes nocivos que componen al thinner. Cabe recalcar que el medio de distribución de aire es un plenum presurizado el cual provee de un caudal amplio y uniforme al recinto, por tal motivo a la variable K se le asigna un valor de 5 considerando términos como seguridad y difusión del aire propiamente.

$$Q_{dte} := \left(\frac{G}{C} \right) \cdot K \quad (3.76)$$

Se requiere determinar la concentración C del thinner a partir del TLV de cada componente, por tratarse de una mezcla de solventes orgánicos se acudirá al procedimiento siguiente.

¹⁹Xileno TLV = 100 ppm

¹⁹Etilbenceno TLV = 100 ppm

3.3.1.2.1 Concentración de una Mezcla de Solventes

Se procede a convertir el valor de TLV dado en partes por millón a miligramos por metro cúbico. así:

$${}_{20} \text{TLV} := \frac{\text{TLV} \cdot \text{MW}}{24.45}$$

Luego aplicamos la siguiente ecuación que define el valor de TLV para una mezcla, así:

$$\text{TLV}_{\text{mixture}} := \frac{1}{\frac{f_x}{\text{TLV}_x} + \frac{f_e}{\text{TLV}_e}} \quad \left(\frac{\text{mg}}{\text{m}^3} \right)$$

Las variables f_x y f_e se refieren al porcentaje en volumen de cada componente. Los resultados de los cálculos anteriores se muestran en la siguiente tabla.

Tabla 3.10 TLV de la mezcla de solventes en mg/m3

COMPONENTES	% en peso	PESO MOLECULAR	TLV		TLV of mixture
		MW(gramos)	ppm	mg/m3	mg/m3
Xylene	85	106,16	100	434,19	434,19
Ethilbencene	15	106,16	100	434,19	

¹⁹Tabla 2-1 "Dilution Air Volumes for Vapors" pág 2-3 Norma ACGIH 24th Edition 2001

²⁰Ecuación Apéndice A "Introduction to Chemical Substances" Norma ACGIH 24th Edition 2001

Para obtener el TLV de la mezcla en ppm la norma sugiere el procedimiento que se muestra a continuación.

UNO.- Se determina los mg/m³ de cada componente del thinner multiplicando el TLV mixture por sus respectivos porcentajes en volumen, así:

$$f_x * TLV_{mixture} = TLV_{xylene}$$

$$f_e * TLV_{mixture} = TLV_{ethylbenzene}$$

DOS.- Se obtiene, mediante regla de tres, las partes por millón correspondientes a cada componente según el TLV sugerido, así:

$$\begin{aligned} \text{Xylene} \quad & 100 \text{ ppm} = 434.19 \text{ mg/m}^3 \\ & 1 \text{ mg/m}^3 = 0.230 \text{ ppm} \end{aligned}$$

TRES.- Se multiplica el TLV del componente determinado en el paso uno por la cantidad de partes por millón que representa cada sustancia dentro de la mezcla, así:

$$\text{Xylene} \quad 111.34(0.23) = 25.608 \text{ ppm}$$

CUATRO.- Se suma cada valor de partes por millón de los componentes y tenemos el TLV de la mezcla en las mismas unidades. Todos los datos y cálculos parciales fueron registrados en la tabla que se muestra a continuación.

Tabla 3.11 TLV de la mezcla de solventes en ppm

COMPONENTES	% en peso	mg/m ³ componente en la mezcla	1 mg/m ³ de componente equivale a X ppm	TLV of mixture
				ppm
Xylene	85	369,06	0,230	100,00
Ethilbenzene	15	65,13	0,230	

El valor TLV de la mezcla es 100 ppm, por tanto la concentración C de la mezcla definida en ppm es 100.

A continuación definiremos la tasa de generación del contaminante G determinada por la siguiente ecuación.

$$G := \frac{\text{CONSTANT} \cdot \text{SG} \cdot \text{ER}}{\text{MW}} \quad (3.77)$$

Tanto la ²¹gravedad específica SG como el ¹peso molecular MW de la mezcla dependen de las respectivas características físico-químicas de sus componentes y para obtenerlas citaremos cada una de ellas a continuación y las relacionaremos con su porcentaje en volumen dentro de la mezcla, así:

Xileno	$\text{SG}_x := 0.88$	$\text{MW}_x := 106.16$
Etilbenceno	$\text{SG}_e := 0.867$	$\text{MW}_e := 106.16$

$\text{MW} = \text{MW}_x \cdot \text{fx} + \text{MW}_e \cdot \text{fe}$	$\text{MW} = 106.16$
$\text{SG} = \text{SG}_x \cdot \text{fx} + \text{SG}_e \cdot \text{fe}$	$\text{SG} = 0.879$

La tasa de evaporación de líquido solvente es un valor que se debe encontrar experimentalmente, sin embargo existen registros que ya los han tabulado y el correspondiente al thinner aromático es:

$$\text{ER} = 1 \text{ cm}^3/\text{mín} \text{ a condiciones estándar}$$

$$\text{ER} := 2.113 \cdot 10^{-3} \frac{\text{pts}}{\text{mín}}$$

Por consiguiente, la tasa de generación es:

$$G = 7.05 \times 10^3 \text{ cfm}$$

²¹Apéndice B "Physical constants of selected materials " pág. 12-21, norma ACGIH 24th Edition 2001

Caudal efectivo de ventilación

$$Q1 := \frac{G}{C} \quad (3.78)$$

$$Q1 = 70.5 \text{ cfm}$$

Caudal debido a la mezcla incompleta y a su distribución en el ambiente:

$$Qdte := \left(\frac{G}{C} \right) \cdot K \quad (3.79)$$

$$Qdte = 352.5 \text{ cfm}$$

3.3.1.3 Dilución del Thinner respecto a la Inflamabilidad y Explosividad

Este tipo de dilución se aplica para mantener la concentración de los vapores existentes en un recinto bajo el Límite Mínimo de Explosividad (LEL) y el caudal de aire necesario para asegurar este criterio en la realidad está definido por la ecuación (3.80). A continuación se identifican valores correspondientes al LEL de los componentes del thinner, así:

²²Xileno LEL = 1.0 %

²²Etilbenceno LEL = -

Debido a que el Etilbenceno no posee un valor para el límite mínimo de explosividad se considerará para los cálculos el correspondiente al Xileno. Se utilizará los valores de gravedad específica, peso molecular y tasa de evaporación mencionados en el capítulo anterior. Además se definirá los valores que corresponden a Sf y B en función del nivel de afectación a la salud y la temperatura del vapor producido en el proceso, respectivamente, así:

Xileno Sf = 10

Temperatura Crítica de

Operación 60°C (140°F) B = 1

²²Apéndice B "Physical constants of selected materials " pág. 12-21, norma ACGIH 24th Edition 2001

Se realiza el cálculo y se obtiene

$$Q_{fe} := \frac{403 \cdot (\text{spgrliquid}) \cdot (100) \cdot (ER) \cdot (Sf)}{(MW_{\text{liquid}}) \cdot (LEL) \cdot (B)} \quad (3.80)$$

$$Q_{fe} = 10.099 \text{ cfm}$$

Se considera también la temperatura crítica de operación, para ello se determina el producto CTA, así:

$$CTA := \frac{460 + 140}{460 + 70} \quad (3.81)$$

$$CTA = 1.132$$

Por consiguiente

$$Q_{lel} = Q_{fe} \cdot CTA \quad (3.82)$$

$$Q_{lel} = 11.43 \text{ cfm}$$

3.3.1.4 Porcentaje de reposición de Aire Fresco

A continuación definiremos el porcentaje de aire de reposición %f que debe suministrarse en el sistema a partir del caudal de retorno dentro de la cabina (return air, Q_{ra}) para lo cual se supone que es igual al caudal de suministro , así:

$$Q_{ra} = 6456 \text{ cfm}$$

A partir de la suma de los caudales de aire de retorno y externo definiremos el porcentaje de recirculación de aire %r, así:

$$Q_{ma} = Q_{oa} + Q_{ca} \quad (3.83)$$

De donde

Qoa	Caudal de aire de reposición, cfm (outdoor air)
Qca	Caudal de recirculación de aire caliente, cfm (recirculated air)
Qma	Caudal de aire mezclado entre fresco y recirculado, cfm (mixed air).

Se toma el mayor valor entre los obtenidos para lograr una dilución óptima de las atmósferas contaminadas y se lo asigna a la variable Qoa, así:

$$Qoa = Qdte \quad (3.84)$$

Además se calculó el caudal de aire recirculado mediante la ecuación (3.22), así:

$$Qca = \%r * Qra \quad (3.85)$$

Se despejó %r de la ecuación (3.85) y se obtuvo

$$\%r := \frac{Qma - Qdte}{Qra} \quad (3.86)$$

$$\%r = 0.945$$

Se determina el porcentaje de aire de reposición mediante la siguiente ecuación, así:

$$\%f = 1 - \%r \quad (3.87)$$

$$\%f = 0.055$$

Según las normas internacionales que hablan acerca de la recirculación de aire para cabinas de pintura que se adjuntan en los anexos finales, se sugiere un porcentaje de reposición de aire entre 10% y 40% de modo que nos acogeremos a este rango de valores para solventar cualquier imprevisto futuro. Por tanto:

$$\%f = 0.1 \quad \%r = 0.9$$

3.3.2 VENTILACIÓN PARA ARRASTRE

Para conseguir un arrastre de contaminantes verdaderamente efectivo se debe diseñar una corriente de aire que logre reemplazar la atmósfera saturada de vapores y partículas de pintura previamente evacuada por un tipo de extracción general. Es decir que los subsistemas de inyección y succión deben sustituir el ambiente y realizar una exclusión global del aire saturado de contaminantes en el recinto.

3.3.3 SUBSISTEMA DE SUMINISTRO

3.3.3.1 Objetivo del Abastecimiento de Aire

La cabina-horno, como su nombre lo indica, es un recinto cerrado que cumple una doble función en el repinte de vehículos que son la provisión de atmósferas controladas para el curado y pintado de carrocerías. Es así que se requiere un tipo de suministro dual, es decir que posea la capacidad de actuar como un sistema calefactor y de sustitución o reemplazo del aire extraído.

De acuerdo al objetivo primario del suministro de aire se deben incluir los criterios de calefacción y arrastre de impurezas en el diseño de este subsistema. En realidad, esta tarea es más sencilla de lo que parece puesto que para lograr la inyección de aire caliente basta incluir un dispositivo calefactor en la unidad manejadora de aire además se debe tomar en cuenta todas las implicaciones que conlleva trabajar con aire caliente como son el aislamiento de ductos, equipos para altas temperaturas, etc. Es lógico suponer que se añadirá en los cálculos la caída de presión que éste provocará en el conjunto, los mismos que tienen como finalidad, entre otros, determinar la presión que debe superar el ventilador.

3.3.3.2 Caudal de Suministro

El primer paso es determinar el caudal necesario en el interior del habitáculo a partir de la velocidad de arrastre de la corriente de aire y el área de distribución ubicada en la parte superior del techo. Como se indicó anteriormente, la

²³velocidad de arrastre esta definida entre 80 y 100 fpm. El área que se asigna para la difusión del aire localizada en el centro del techo para proporcionar el flujo de aire directamente sobre el vehículo y sus dimensiones son:

Ancho	$a_f = 2 \text{ m}$
Largo	$l_f = 3 \text{ m}$
Área Filtrante del Plenum	$A_{fm} = 6 \text{ m}^2$
	$A_f = 64.56 \text{ ft}^2$

$$Q_{cfm} = V_{fpm} * A_f$$

$$Q_{cfm} = 6456 \text{ cfm}$$

3.3.3.3 Trayectoria del Flujo

El ingreso a este subsistema de ductos tiene dos vías, una proveniente de la recirculación de aire caliente y otra desde el exterior induciendo aire a temperatura ambiente, cabe recalcar que cada ducto tiene su respectivo damper para controlar el caudal de aire requerido. A continuación se acopla la unidad calefactora de aire y por último los elementos de ducto de transición que conectan al plenum de filtros.

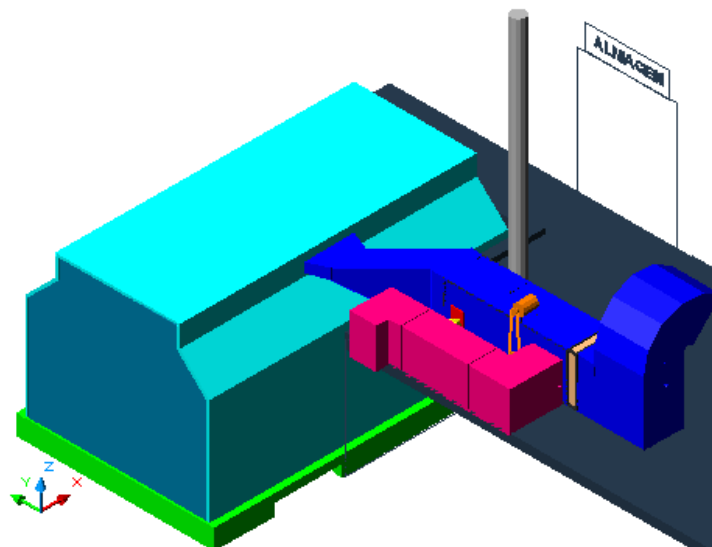


Figura 3.8 Ducto de Suministro de Aire (azul) y de Recirculación (rojo)

²³Tabla 1 pág 3 Chapter 11 "Industrial Air Conditioning" ASHRAE HVAC Applications 1995

3.3.3.4 Caída de Presión

Se origina debido a dos factores cruciales dentro del funcionamiento del sistema, estos son las pérdidas de presión debido a la fricción y aquellas denominadas dinámicas. Las primeras se refieren básicamente al tipo de régimen en el cual se desempeña el flujo de aire, cabe recalcar que el acabado superficial del material con el que están contruidos los ductos también influye en el traslado armónico del caudal. Para determinar su valor numérico se aplicó la ecuación de Darcy

$$\Delta p_f := \frac{12 \cdot f \cdot L}{D_h} \cdot \rho \cdot \left(\frac{V}{1097} \right)^2 \quad (3.88)$$

de donde

Δp_f	Pérdidas por fricción en términos de presión total, in. w.g.
f	Factor de fricción
L	Longitud de ducto, ft.
D_h	Diámetro hidráulico, in.
ρ	Densidad, lbm / ft ³ .
V	Velocidad del aire dentro del ducto, fpm

Para identificar los diámetros de aquellos ductos no circulares se utilizó la siguiente ecuación.

$$D_h := \frac{4 \cdot A_d}{P_d} \quad (3.89)$$

de donde

A_d	Área transversal del ducto, in ² .
P_d	Perímetro de la sección, in.

El factor de fricción, cuando el flujo esta dentro de un régimen laminar (Reynolds < 2000) depende únicamente de dicho indicador. Si por el contrario, se trata de uno turbulento se aplica la siguiente ecuación.

$$\frac{1}{\sqrt{f}} := -2 \cdot \log \left(\frac{12 \cdot \varepsilon}{3.7 \cdot D_h} + \frac{2.51}{\text{Rev} \cdot \sqrt{f}} \right) \quad (3.90)$$

de donde

ε Factor de rugosidad del material, ft.
(0.0003 ft , tol galvanizado)

Rev Número de Reynolds.

Una fórmula simplificada de la ecuación (3.90) es aquella desarrollada por Atshul y modificada por Tsal, así:

$$f' := 0.11 \cdot \left(\frac{12 \cdot \varepsilon}{D_h} + \frac{68}{\text{Rev}} \right)^{0.25} \quad (3.91)$$

la misma que responde a los siguientes condicionantes:

si $f' \geq 0.018$; $f = f'$
si $f' < 0.018$; $f = 0.85 \cdot f' + 0.0028$

Es necesario mencionar que el número de Reynolds se calcula mediante la siguiente expresión:

$$\text{Rev} := \frac{D_h \cdot V}{720 \cdot \nu} \quad (3.92)$$

de donde

ν Viscosidad Cinemática, ft^2 / s .

Tabla 3.12 Viscosidad Cinemática del Aire

	ν (ft^2/s)	
1	ingreso aire (15°C)	0,000170976
2	mixed air (57,754°C)	0,000204225
3	exhaust (60°C)	0,000206592

Mientras que la caída de presión por el aspecto dinámico se presenta como resultado de los disturbios en el flujo causado por el funcionamiento propio de los equipos y accesorios del ducto que cambian su dirección y sentido respecto a su área transversal.

3.3.3.4.1 Coeficientes de Pérdidas de Presión

Son utilizados para calcular la resistencia que ofrece el fluido a su traslado por el ducto y representa el radio entre la pérdida total de presión y la presión de velocidad como lo demuestra la siguiente ecuación.

$$C_o := \frac{\Delta p_v}{P_v} \quad (3.93)$$

de donde

C_o	Coeficiente de Pérdida de Presión.
Δp_v	Pérdida dinámica o total de presión, in. w.g.
P_v	Presión de velocidad, in. w.g. Se calcula mediante la ecuación (3.99).

3.3.3.4.2 Factor de la Densidad del Fluido

Es un coeficiente muy importante que tiene como objetivo develar las condiciones físicas a las que se encuentra el aire que fluye dentro del ducto. Parámetros como temperatura, altitud, presurización y porcentaje de mezcla son algunos de los criterios a considerarse en este análisis. En términos generales,. Cuando el aire se encuentra a niveles normales, es decir a 70°F y 14.7 psia, la densidad es 0.075 lbm / ft³. La combinación de los efectos no estándar en la densidad se pueden definir, así:

$$df = dfe * dfp * dft * dfm \quad (3.94)$$

de donde

df	Factor de la densidad
------	-----------------------

dfe por elevación.
 dfp por presión del ducto.
 dft por temperatura.
 dfm por mezcla.

Cada uno de ellos se calcula mediante una expresión específica, así:

$$dfe := [1 - (0.00000673 \cdot z)]^{5.25} \quad (3.95)$$

donde
 z altitud, ft. (QUITO 9350.28 ft)

$$dfp := \frac{(407 + SP)}{407} \quad (3.96)$$

donde
 SP Presión del ducto, in. w.g.

$$dft := \frac{530}{T + 460} \quad (3.97)$$

donde
 T Temperatura, °F.

$$dfm := \frac{(1 + \omega)}{(1 + 1.607\omega)} \quad (3.98)$$

donde
 ω Lbs H₂O / Lbs aire seco.

Tabla 3.13 Factores de Corrección de Densidad del Aire

Condiciones	°F	df
ingreso aire (15°C)	59,00	0,71
mixed air (55,5°C)	131,90	0,64
exhaust (60°C)	140,00	0,63

3.3.3.4.3 Presión de Velocidad

Es la presión requerida para acelerar el aire de cero a una velocidad específica, la misma que es proporcional a la energía cinética de la corriente de aire.

$$P_v := df \cdot \left(\frac{V}{4005} \right)^2 \quad (3.99)$$

3.3.3.4.4 Velocidad del Aire en el Ducto

Para identificar esta variable se analizaron conceptos como el diseño acústico y vibracional los cuales se encuentran intrínsecamente relacionados y además están concebidos por un parámetro denominado ²⁴Room Criteria, es así que se considera la ubicación del ducto principal dentro de un espacio ocupado, es decir que los ductos y sus respectivos equipos se encuentran interactuando continuamente con obreros y demás personal de servicio. En tal virtud existen dos opciones las cuales se muestran en la siguiente tabla.

Tabla 3.14 Room Criteria vs. Velocidad de Flujo en el Ducto

Room Criteria (N)	Velocidad Máxima de Flujo, fpm	Observaciones
45	2000	Optimista
35	1450	Adecuado y Sugerido

En función del número de decibeles a los que van a estar expuestos los trabajadores se escogió el Room Criteria 35 N cuyo valor correspondiente de velocidad es 1450 fpm. Este, junto al caudal de aire, permitirán definir la sección transversal de los ductos que conformen el sistema.

²⁴Criterio que define los niveles de sonido aceptables producidos por sistemas HVAC en habitaciones o locaciones industriales.

3.3.3.5 Selección del Ventilador y Motor Eléctrico

La selección de un ventilador es un proceso que parte de la determinación de la caída de presión que debe superar el motor eléctrico acoplado a dicha máquina rotatoria. Indistintamente de su ubicación dentro del sistema, se deberán considerar los factores de corrección correspondientes a la altura, densidad del fluido, incluso eficiencia mecánica de los equipos y transmisión.

3.3.3.5.1 Factor de Corrección respecto a la densidad del fluido.

Se trata de un coeficiente que reúne características del lugar en donde ejecuta su trabajo el ventilador y su respectivo motor. Específicamente, se preocupa de la cantidad de moléculas de aire que ocupan un determinado volumen, es decir su densidad, esta a su vez esta en función de la altitud y temperatura del fluido. En los cálculos anteriormente descritos se incluyó un factor de corrección respecto a la altitud, la presión de ducto, temperatura, etc. Todas ellas influyeron en la obtención de la presión estática del ventilador, sin embargo la aplicación de este nuevo factor permitió develar el verdadero requerimiento de potencia que el motor eléctrico debe imprimir al ventilador para trabajar adecuadamente.

Para determinar este parámetro se debió utilizar la siguiente ecuación:

$$fcd = \rho_a / \rho_{std} \quad (3.100)$$

de donde

fcd Factor de Corrección de densidad.

ρ_a Densidad Actual del Aire.

ρ_{std} Densidad del Aire en condiciones estándar, lbm / ft³

Tabla 3.15 Factor de Corrección respecto a la Temperatura

	Densidad lbm / ft³	
Condiciones estandar	0,075	
1. Quito (15°C)	0,053	
2. Quito (60°C)	0,047	
corrección densidad	1 / std	2 / std
factor crítico	0,711	0,628

Luego se multiplicó dicho valor por la potencia del motor, determinada inicialmente cuando se buscó en los catálogos. Para ello se dispuso de la siguiente fórmula, así:

$$PWRa = PWRt * fcd \quad (3.101)$$

de donde

PWRa Potencia Práctica Requerida.

PWRt Potencia Teórica, a nivel del mar, sugerida en tablas.

A continuación se muestran tablas con los valores numéricos tabulados a partir de las ecuaciones citadas anteriormente sobre la determinación de la caída de presión que deberá superar el ventilador junto a su respectivo motor.

Tabla 3.16 Coeficientes de Pérdida de Presión – Ducto de Suministro

Coeficiente de Pérdida de Presión

Sec Duct.	Accesorio No.	Tipo de Accesorio	Código	Parámetros	Co
1	1	Entrada (codo curvo 130°)	ER1-3	H/W=0,8 r/w=0,66 >Cp=0,73 $\theta = 130^\circ > k=1,20$	0,88
	2	Rejilla	CR6-1	A1/Ao=1 n=0,9	0,14
	3	Damper (tipo hojas opuestas)	CR9-1	$\theta = 0^\circ L/R=0,83$	0,52
	4	Filtro ventilador			
	5	Codo 90° recto (vano interno)	CR3-10	-	0,12
total					1,66
2	6	Tee, branch (supply)	SR5-13	Qb/Qc=0,9 Ab/Ac=0,6	0,41
	7	Damper	CR9-1	$\theta = 0^\circ L/R=0,83$	0,52
	8	Codo 90° recto (vano interno)	CR3-10	-	0,12
	-	Tramo de ducto			
	9	Codo 90° recto (vano interno)	CR3-10	-	0,12
total					1,17
3	10	Descarga libre del ventilador	SR7-1	Ab/Ao= 0,9	0,22
	11	hogar cilíndrico	C.R.6-4	Re/1000 = 57,21 y/H=0 Sm/Ao=0,4	0,98
total					1,2
4	12	Transición (convergencia)	SR4-1	Ao/A1= 2,667 $\theta = 26,5^\circ$	2,42
	13	Transición (divergencia)	ER4-3	Ao/A1= 1,08 $\theta = 80^\circ$	0,75
total					3,17
5	14	Plenum	-	Long equiva = 50 ft	-
total					0

Tabla 3.17 Reynolds y Factores de Fricción por secciones - Suministro

Secc Ducto	Caudal cfm	Velocidad fpm	Sección ducto ft^2	Diámetro ducto (equi) in	Longitud de Ducto m / ft	Lado Ducto in	Reynolds	f'	factor de fricción
			80 x 100 cm	1					
1	6456	1500	8,61	39,73	3,281	35,2	484155,8528	0,01356	0,01433
			80 x 60 cm	2,7					
2	5810,4	1500	5,17	30,78	8,8587	27,3	310354,6531	0,01489	0,01546
			80 x 100 cm	2,8					
3	6456	1500	8,61	39,73	9,1868	35,2	405333,8515	0,01395	0,01465
			80 x 100 cm	1,4					
4	6456	1500	7,11	36,11	4,5934	32,0	364124,4087	0,01431	0,01496
			300 x 30 cm						
5	6456	600	9,69	42,14	50	-	169994,8252	0,01633	0,01668

Tabla 3.18 Pérdida de Presión por cada sección - Suministro

Secc. Ducto	Acces. No.	Elemento de Ducto	Caudal cfm	Velocidad fpm	Diámetro ducto (equi) in	Presión de Velocidad in. w.g.	Longitud de Ducto ft	Coeficientes de pérdidas de accesorios	Pérdida de Presión		
									ducto/100ft in. w.g.	Totales in. w.g.	Sección in. w.g.
1	-	Ducto	6456	1500	39,73	0,0995946	3,281	-	0,043	0,001	0,667
	-	Accesorios	6456	1500	-		-	1,66	-	0,165	
									fan filter	0,500	
2	-	Ducto	5810,4	1500	30,78	0,0883727	8,8587	-	0,053	0,005	0,108
	-	Accesorios	5810,4	1500	-		-	1,17	-	0,1034	
3	-	Ducto	6456	1500	39,73	0,0897754	9,1868	-	0,040	0,004	0,111
	-	Accesorios	6456	1500	-		-	0,22	-	0,01975	
								0,98	hogar	0,08798	
4	-	Ducto	6456	1500	36,11	0,0883727	4,5934	-	0,044	0,002	0,282
	-	Accesorios	6456	1500	-		-	3,17	-	0,280	
5	-	Plenum	6456	600	42,14	0,0141396	50		0,007	0,003	0,503
					-		-		filtro techo	0,500	

Tabla 3.19 Resumen de Pérdidas de Presión

	Sección	Presión			
		por sección	Parcial	Subtarea	Ventilador
		in. w.g.			
Succión	1	0,667	0,775	0,775	1,772
	2	0,108			
Inyección	3	0,111	0,897	0,997	
	4	0,282			
	5	0,503			
Cabina	-	0,1	0,1		

Tabla 3.20 Cuadro de Valores – Gráfica de Presión Suministro

No. Sección	Presión Acumulada	Presión cabina
0	0	0,1
1	-0,667	0,1
2	-0,775	0,1
3	0,997	0,1
4	0,886	0,1
5	0,603	0,1
6	0,1	0,1

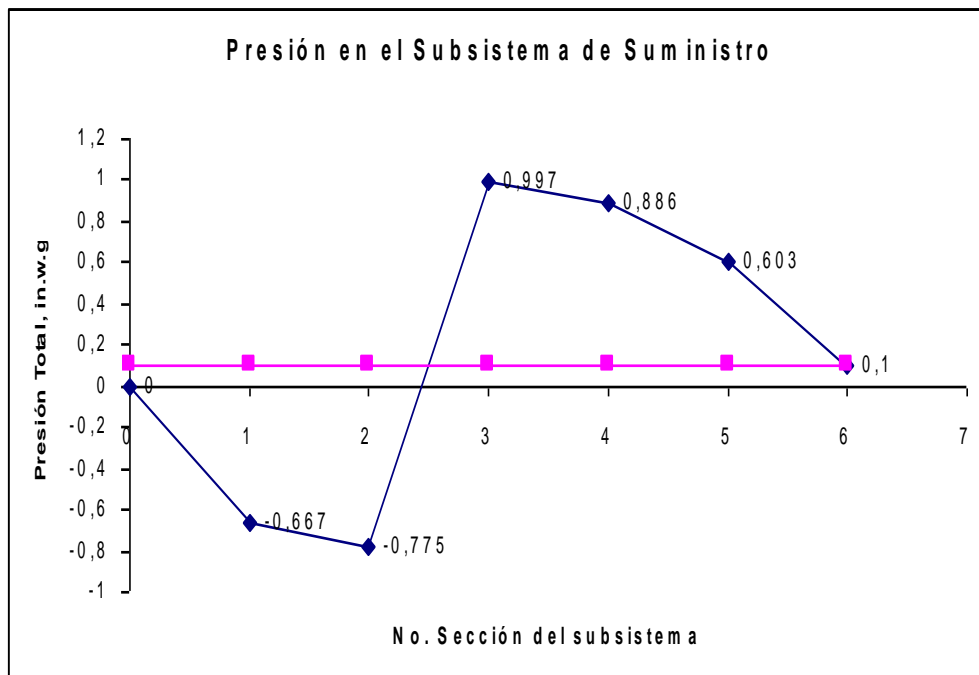


Figura 3.9 Gráfica de Presión en el Subsistema de Suministro

Las tablas y los esquemas anteriormente mostrados nos revelan el requerimiento de un ventilador que ofrezca un caudal de 6456 cfm y supere una caída de presión mínima total de 1.772 in. w.g. Sin embargo, el parámetro de selección del ventilador es su presión estática por lo cual se determina mediante la siguiente ecuación:

$$FSP = FTP - FOVP \quad (3.102)$$

De donde

FSP Fan Static Pressure (Presión Estática del Ventilador), in. w.g.

FTP Fan Total Pressure (Presión Total del Ventilador o Resistencia del Sistema), in.w.g.

FOVPD Fan Outlet Velocity Pressure (Presión de Velocidad de descarga), in.w.g. Para este modelo se recomienda usar 0.5 in.w.g.

Por tanto

$$FSP = 1.272 \text{ in.w.g.}$$

Por consiguiente en el catálogo del Anexo D se observa que no existe un dispositivo con estas condiciones exactas, de modo que escogimos la máquina rotatoria cuyas prestaciones son inmediatamente superiores a las solicitadas. Es así que tenemos un Ventilador Centrífugo marca DAYTON modelo 4TM05 cuyo diámetro de rodete es 18 ½ " a 1980 RPM y con un motor eléctrico de 5 HP.

Aplicando la ecuación (3.101) y sabido que el valor del factor de corrección respecto a la densidad es 0.628, correspondiente a una temperatura de 60°C como condiciones críticas de funcionamiento, se obtuvo un requerimiento de potencia práctica :

$$PWRa = 5 \text{ HP} * 0.628$$

$$PWRa = 3.14 \text{ HP}$$

Se analizó las posibilidades que ofrece el mercado en cuanto a motores eléctricos con esta potencia pero el inmediato superior es de 5 HP, el cual fue adquirido e instalado.

3.3.4 SUBSISTEMA DE EXTRACCIÓN

3.3.4.1 Trayectoria del Flujo

Proviene desde la fosa de succión ubicada en la estructura de hormigón, luego en un elemento difusor que se conecta con la estructura soportante de los ductos de extracción y equipos, ventilador y motor eléctrico. Antes de evacuar todo el aire se ubicó una abertura para que el aire caliente se conduzca hacia el ducto de recirculación. Finalmente el aire se dirige hacia un codo de salida para su descarga.

Debido a la ubicación del ventilador dentro del ducto de aire se requiere de una estructura metálica que soporte el peso de dicha máquina rotatoria y de su respectivo motor eléctrico. Cabe recalcar que éste último se localiza fuera del ducto puesto que puede dañarse su bobinado como consecuencia del contacto con los solventes y partículas de pintura extraídas de la cabina.

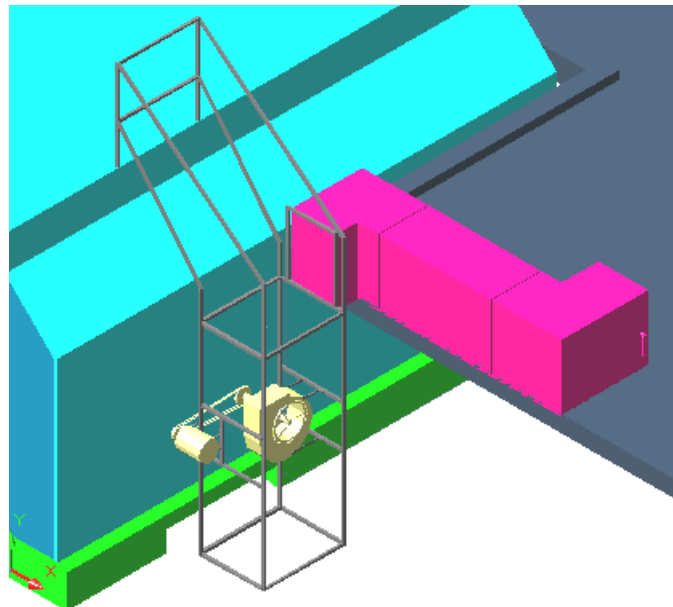


Figura 3.10 Estructura Soportante del Ducto de Extracción

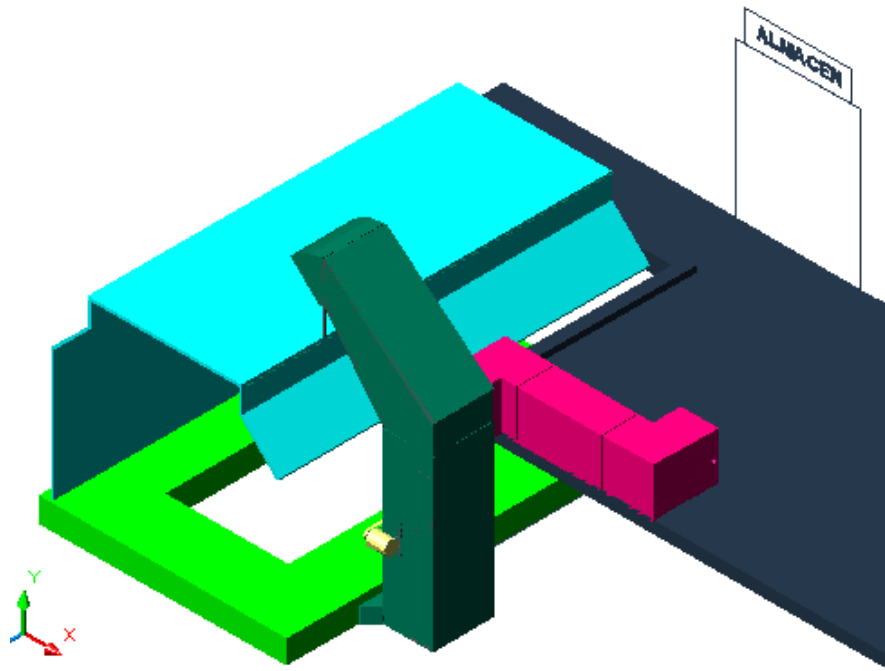


Figura 3.11 Montaje Fosa de Succión – Ducto de Extracción

3.3.4.2 Caída de Presión

3.3.4.2.1 Coeficientes de Pérdidas de Presión

Tabla 3.21 Coeficientes de Pérdida de Presión - Extracción

Sec Duct.	Acces No.	Tipo de Accesorio	Código	Parámetros	Co
1	1	Rejilla	CR6-1	$A1/Ao=1$ $n=0,8$	0,3
	2	Fosa de succión		Long equiv = 50ft	
total					0,3
2	3	Transición (convergencia)	SR4-1	$Ao/A1= 1,68$ $\theta = 45^\circ$	0,9
	4	Codo 90° recto (vano interno)	CR3-10	-	0,1
total					1
3	5	Descarga libre del ventilador	SR7-1	$Ab/Ao= 0,9$	0,2
	6	Damper	CR9-1	$\theta = 0^\circ$ $L/R=0,83$	0,5
	7	Tramo de ducto			
total					0,7
4	8	Codo MITERED	CR3-6	$\theta = 50,85^\circ$ $H/W=0,8$	0,4
	9	Tee, main - Transición (convergencia)	SR4-1	$Ao/A1= 1,68$ $\theta = 45^\circ$	0,5
	10	Codo MITERED	CR3-6	$\theta = 45^\circ$ $H/W=0,6$	0,4
total					1,28

Tabla 3.22 Reynolds y Factores de Fricción por secciones - Extracción

Secc Ducto	Caudal cfm	Velocidad fpm	Sección ducto ft^2	Diámetro ducto (equi) in	Longitud de Ducto m / ft	lado ducto in	Reynolds	f'	factor de fricción
1	6456	700,00	15,07	52,57	50	46,6	247376,748	0,01497	0,01553
					0,4				
2	6456	1500	7,11	36,11	1,3124	32,0	364124,4087	0,01431	0,01496
					2				
3	6456	1500	7,11	36,11	6,562	32,0	368345,0289	0,01428	0,01494
					0				
4	6456	1500	7,11	36,11	0	32,0	364124,4087	0,01431	0,01496

Tabla 3.23 Pérdida de Presión por cada sección - Extracción

Secc. Ducto	Acces. No.	Elemento de Ducto	Caudal cfm	Velocidad fpm	Diámetro ducto (equi) in	Presión de Velocidad in. w.g.	Longitud de Ducto ft	Coeficientes de pérdidas de accesorios	Pérdida de Presión		
									ducto/100ft in. w.g.	Totales in. w.g.	Sección in. w.g.
1	-	Ducto	6456	700,00	52,57	0,019245606	50	-	0,007	0,003	0,510
	-	Accesorios	6456	700,00	-		-	0,32	-	0,006	
									filtro de piso	0,500	
2	-	Ducto	6456	1500	36,11	0,08837268	1,3124	-	0,044	0,001	0,090
	-	Accesorios	6456	1500	-		-	1,01	-	0,089	
3	-	Ducto	6456	1500	36,11	0,08837268	6,562	-	0,044	0,003	0,067
	-	Accesorios	6456	1500	-		-	0,72	-	0,064	
4	-	Ducto	6456	1500	36,11	0,08837268	0	-	0,044	0,000	0,113
	-	Accesorios	6456	1500	-		-	1,28	-	0,113	

Tabla 3.24 Resumen de Pérdidas de Presión- Extracción

	Sección	Presión			
		por sección	Parcial	Subtarea	Ventilador
		in. w.g.			
Extracción	1	0,510	0,599	0,499	0,679
	2	0,090			
Cabina	-	0,1	0,1		
Descarga	3	0,067	0,180	0,180	
	4	0,113			

Tabla 3.25 Cuadro de Valores – Gráfica de Presión Extracción

No. Sección	Presión Acumulada	Presión Cabina
0	0,1	0,1
1	-0,410	0,1
2	-0,499	0,1
3	0,180	0,1
4	0,113	0,1
5	0	0,1

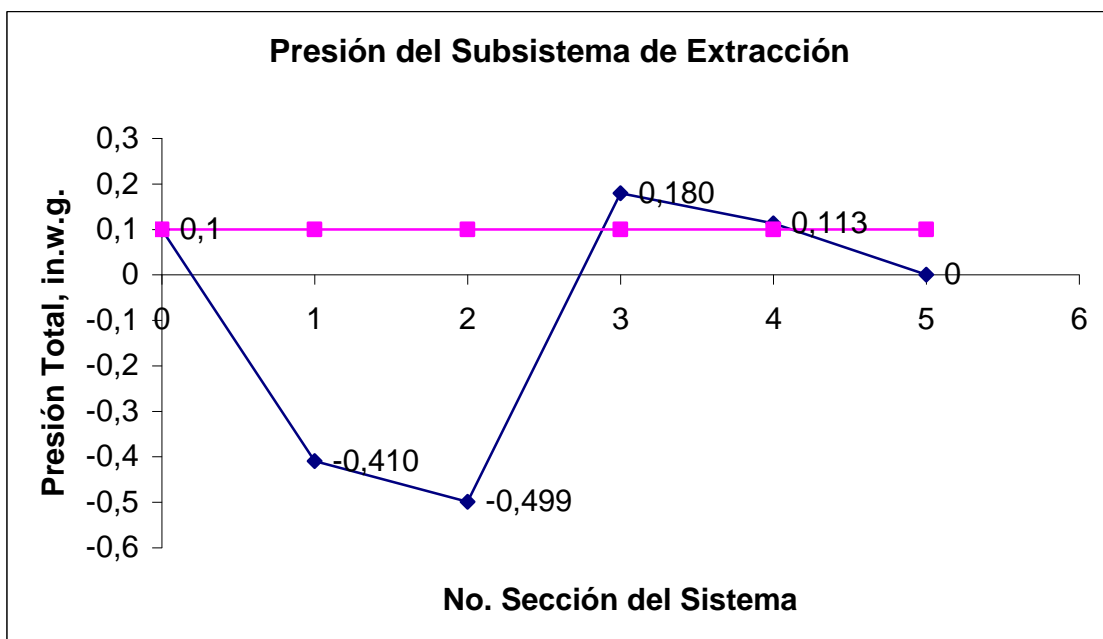


Figura 3.12 Gráfica de Presión en el Subsistema de Extracción

3.3.4.3 Selección del Ventilador y Motor Eléctrico

Aplicando la ecuación (3.102) se determina la Presión Estática del Ventilador, así:

$$FSP = 0.679 - 0.5$$

$$FSP = 0.179 \text{ in.w.g.}$$

En base a los cuadros mostrados se pudo determinar las condiciones técnicas de selección para el ventilador de extracción y su respectivo motor eléctrico. Manejar un caudal de aire de 6456 cfm y superar una caída de presión total mínima de 0.179 in. w.g. Dentro de las posibilidades que se ofertan en el mercado nacional se escogió un ventilador centrífugo marca DAYTON modelo 4TM05 cuyo diámetro de rodete es 18 ½ " a 1980 RPM y con un motor eléctrico de 5 HP. Aplicando la ecuación (3-101) y con un factor de corrección respecto a la densidad de 0.628, correspondiente a una temperatura de 60°C como condiciones críticas de funcionamiento de la máquina rotatoria, se obtuvo un requerimiento de potencia práctica equivalente a:

$$PWRa = 5 \text{ HP} * 0.628$$

$$PWRa = 3.14 \text{ HP}$$

Se analizó las posibilidades que ofrece el mercado en cuanto a motores eléctricos con esta potencia pero el inmediato superior es de 5 HP, el cual fue adquirido e instalado.

3.4 DISEÑO ESTRUCTURAL

En este tema abarcaremos lo referente al diseño de la estructura principal, es decir, el esqueleto propiamente dicho de la cabina horno de pintura en lo referente a su forma geométrica así como el material seleccionado para su construcción. Así mismo se mencionará la selección de la rejilla de piso en la fosa de extracción de aire.

3.4.1 ANÁLISIS DE CARGAS Y SELECCIÓN DE MATERIALES

En este punto se hablará primero de las cargas que afectan a la rejilla en la fosa de extracción. Las rejillas soportarán el peso total del vehículo en su interior así como el peso del operario encargado de la pintura, así, el peso máximo de un vehículo para el que se prestará servicios no llega a los 2000 kg en el caso de los todo terreno; por lo que existirán 4 cargas puntuales de 500 kg.

3.4.1.1 Rejillas de piso

El tipo de rejillas este propósito son fabricadas de platinas de 30x3 mm separadas 30mm internamente, atravesadas por varillas lisas de 6 mm de diámetro, soldadas en todos los puntos de intersección con MAG, teniendo toda la rejilla contornos longitudinales. Esta rejilla está galvanizada en caliente según norma ASTM-123. La carga permisible de esta rejilla es:

Tabla 3.26 Datos Técnicos de la Rejilla Perforada

Rejilla con platina de 30x3	Carga	LUZ EN METROS								
		0.5	0.75	1.0	1.25	1.50	1.75	2.0	2.25	2.50
	U	7341	3262	1835	1175	816	599	459	362	294
	FU	1.0	2.3	4.0	6.3	9.1	12.4	16..2	20.5	25.2
	C	1835	1224	918	734	612	524	459	408	367
	FC	0.8	1.8	3.2	5.0	7.3	9.9	13.0	16.4	20.3

De donde:

- U carga uniforme permisible (kg/m²)
- C carga concentrada permisible (kg/m)
- FU flecha bajo esa carga unifrome (mm)
- FC flecha bajo esa carga concentrada (mm)

Acorde a esta tabla proporcionada por el fabricante de las rejillas adquiridas, se optó por ubicar una riel de vía de tren, sin uso en la empresa, en el centro a todo lo largo del agujero, de manera que la luz de la rejilla sea de 1.0 metros; de tal

manera se puede observar en la tabla que la rejilla soportará 1835 kg en carga uniforme y 918 kg en carga concentrada.

$$918 \text{ kg} > 500 \text{ kg}$$

Por lo tanto la rejilla soportará la carga del vehículo sobre ella sin problemas.

Estructura Metálica Soportante

Las cargas a las que estará sometida la estructura de la cabina serán mínimas, ya que solamente se toma en cuenta el peso propio de la cabina, es decir la cubierta con doble pared de tol y lana de vidrio en medio y los tubos estructurales como carga muerta.

Como carga viva, se toma un valor referencial específico para este tipo de aplicaciones, por limpieza y mantenimiento en donde subirían personas; así mismo en casos de eventualidades naturales como ceniza, granizo.

El peso de los equipos no se considera ya que para el montaje de los mismos se dispone de una losa en las instalaciones de la empresa.

Consideraciones:

CM carga muerta

CV carga viva

Carga cubierta = 8kg/m²

Para transformar la carga por unidad de superficie a carga por unidad longitudinal, se aplica la siguiente fórmula

$$Carga\ cubierta = \frac{1.15 \cdot 8 \cdot 0.50}{3} = 1.53 \text{ kg/m}$$

(+)Carga cubierta = 1.53 kg/m

(+)Carga tubo estructural = 1.82 kg/m

(=) CM = 3.35 kg/m

Carga viva= 100 kg/m² (valor sugerido para cubiertas de este tipo)

Este valor de carga viva se lo transforma a carga por unidad de longitud como lo hicimos anteriormente

$$CV = \frac{1.15 \cdot 100 \cdot 0.50}{3} = 19.16 \text{ kg/m}$$

Estos valores se los introducen en SAP 2000, se analizó con el método LRFD en el que se multiplican los valores de cargas por diferentes factores, relacionándose así

$$1,2 \text{ CM} + 1,6 \text{ CV}$$

Los resultados que se obtuvieron del análisis efectuado a la estructura en el SAP2000 son los que se muestran a continuación:

3.4.2 GRÁFICAS DEL ANÁLISIS ESTRUCTURAL

3.4.2.1 Cargas

Tanto las cargas muertas como vivas están distribuidas de la misma manera, ya son los mismos tubos los que soportan ambas cargas, por esta razón parecen confundirse en el gráfico

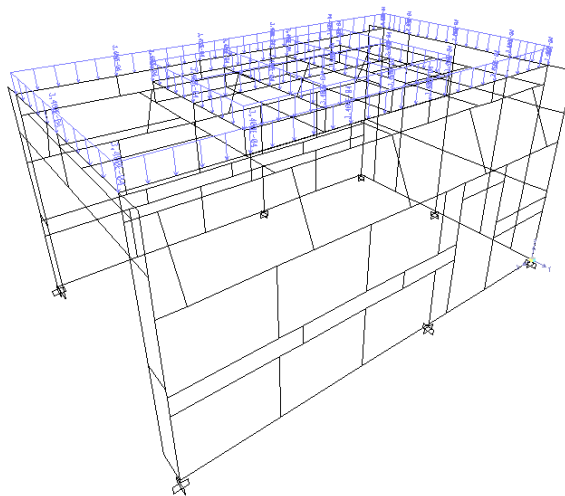


Figura 3.13 Visualización de Cargas

3.4.2.2 Deformación

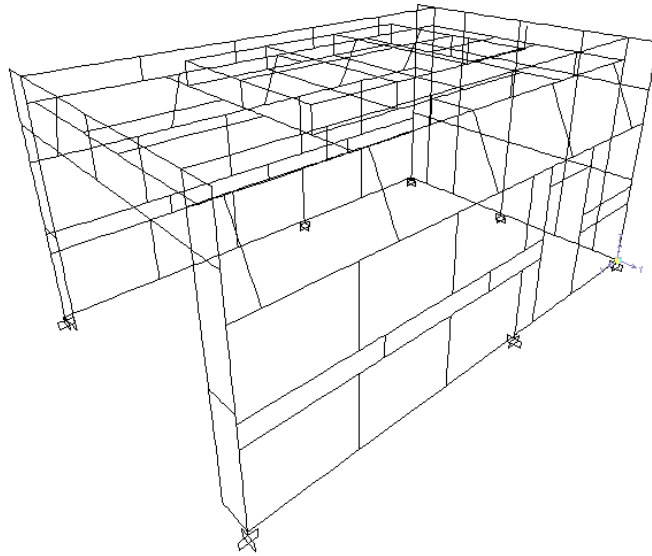


Figura 3.14 Deformación de la Cabina

Como se puede observar, la deformación es prácticamente nula, esto se debe a que las dimensiones de sección de los tubos soportan una carga mucho mayor que el peso de la cabina y las cargas vivas.

3.4.2.3 Diagrama de Fuerzas Axiales

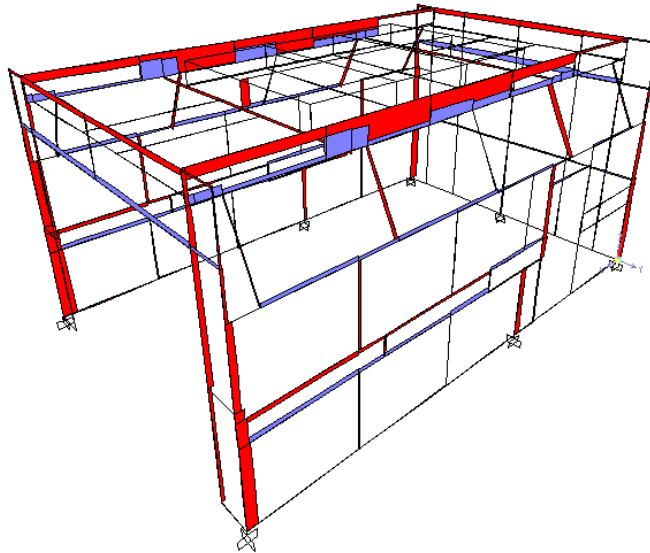


Figura 3.15 Fuerzas Axiales en la Estructura

Se muestran los esfuerzos en los diferentes elementos, es decir, si estos están a compresión o tracción, así mismo se denota con la escala, en qué lugares existe mayor carga.

3.4.2.4 Diagrama de Fuerza Cortante

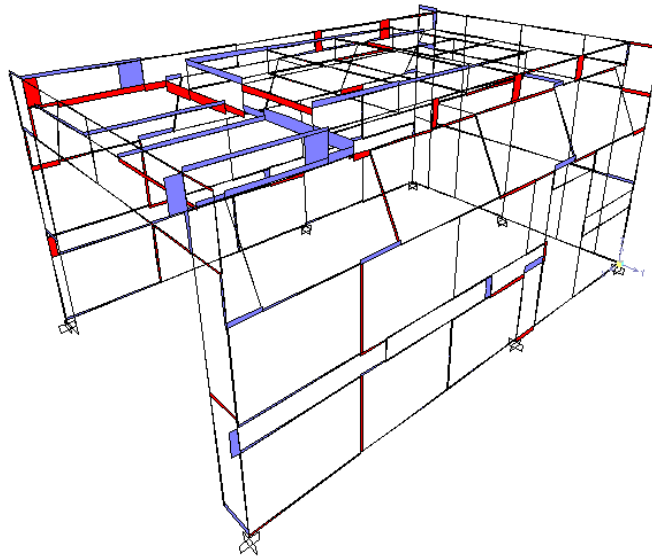


Figura 3.16 Fuerzas Cortantes en la Estructura

Se puede apreciar como está distribuida la fuerza cortante en cada elemento de la estructura

3.4.2.5 Diagrama de Momento

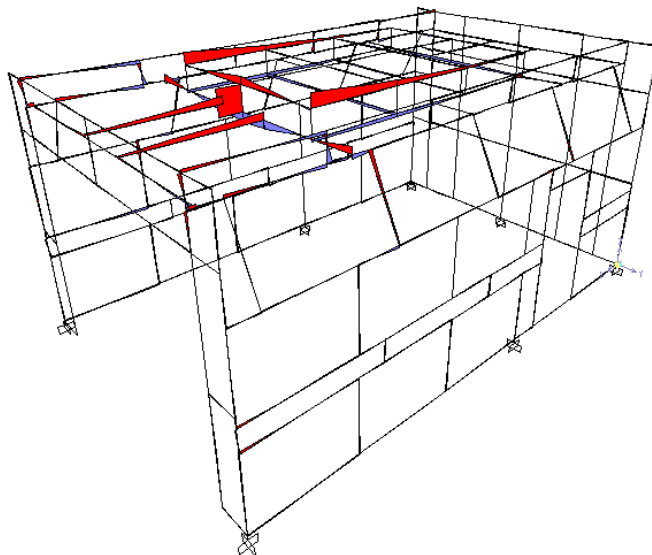


Figura 3.17 Momento en la Estructura

3.5 DISEÑO DEL SISTEMA DE AUTOMATIZACIÓN Y CONTROL

Para el diseño del sistema de control, lo que se hizo primeramente fue analizar los dispositivos que se van a controlar para el proceso de pintura y secado, siendo el parámetro principal la temperatura del habitáculo.

Se utilizaron los siguientes dispositivos:

- 1 Pirómetro digital 0-399°C
- 1 Termocupla tipo J
- 1 Disyuntor trifásico de 30 A
- 1 fusible de 20 A
- 1 Timer
- 3 Selectores ON/OFF
- 2 contactores de 12A
- 1 contactor de 9 A
- 2 relees térmicos 9-13 A
- 1 bornera de 12*2 bornes
- 3 luces piloto

Todos estos dispositivos están dispuestos en una caja de 40x30x20, 1 riel DIN y una canaleta plástica de 33 mm.

3.5.1 DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA DE CONTROL

Para el control de temperatura se optó por un pirómetro cuyo rango de temperatura es entre 0-399°C, un timer y una termocupla tipo J, siendo de esta manera sencillo controlar el quemador simplemente ingresando en el display del pirómetro el dato de la temperatura y en el timer el tiempo deseado de funcionamiento. Además de esto, se debe tomar en cuenta que se necesita obligadamente circulación de aire en la cabina para el funcionamiento del quemador, caso contrario el puede existir daños irreparables el quemador y el intercambiador de calor.

Para lograr nuestro objetivo, se optó por incluir tres selectores ON/OFF, uno para el encendido del ventilador para ingreso de aire y del quemador, el segundo para accionar el ventilador encargado de la extracción de aire, y un ultimo para las luminarias. Además incluimos un disyuntor trifásico, al cual llega la energía de la red y es el que la distribuye de manera total al sistema.

Así, primero se debe accionar el encendido general por medio del disyuntor trifásico, dicha energía se distribuirá al timer, a los ventiladores y al quemador pero no sin antes pasar por un fusible, y a más de esto en el caso de los ventiladores, se optó por conectarlos a relees térmicos los cuales sirven en caso de un recalentamiento de motores de los ventiladores para desconectar el circuito. Todos los equipos constan de contactores ya que son necesarios para poder asociarlos de manera lógica entre sí.

El ventilador de suministro y de extracción como ya se mencionó anteriormente se accionan por medio de un selector ON/OFF en común, y están relacionados directamente con el pirómetro y éste a su vez a la termocupla que mide la temperatura de la cabina; de tal manera se enciende el ventilador al accionar el selector, pero dependiendo de la temperatura programada en el pirómetro se encenderá o no el quemador. El tablero de control consta de luces piloto de aviso para verificar el encendido de los diferentes equipos.

3.5.2 DIAGRAMA DEL SISTEMA

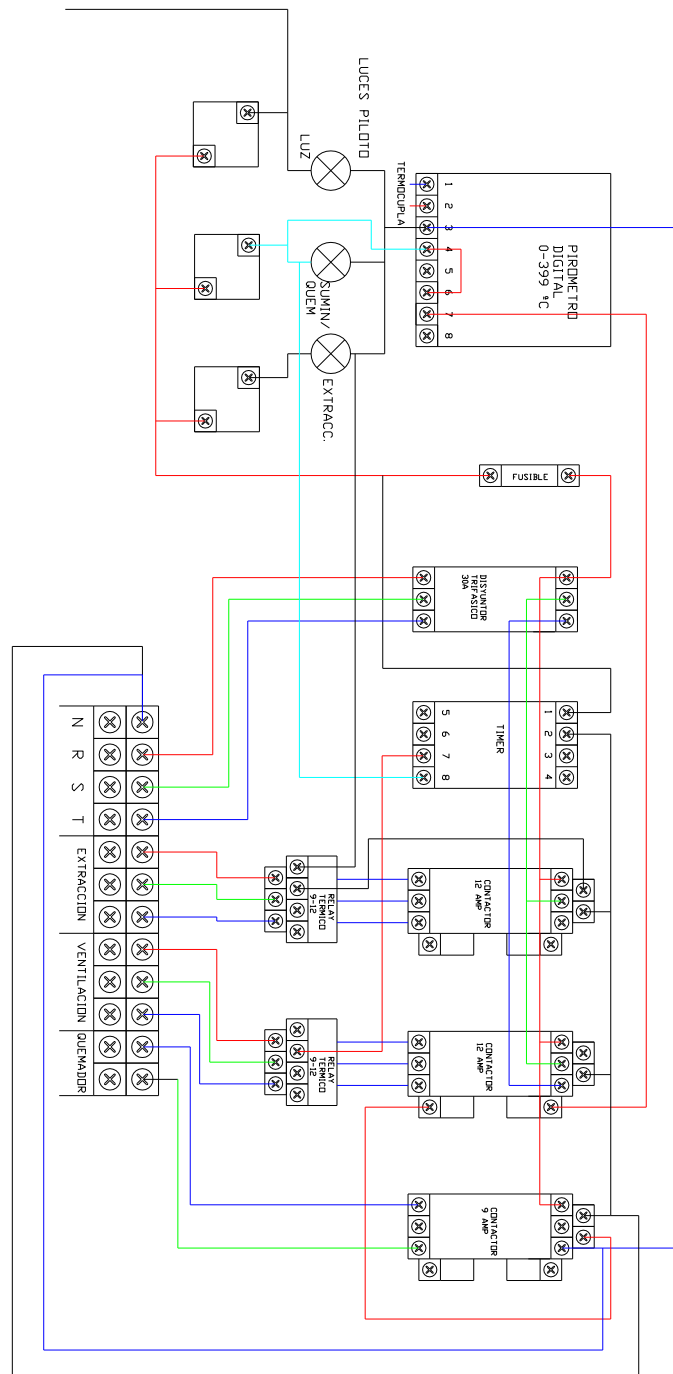


Figura 3.18 Plano del Sistema de Control

CAPÍTULO 4

CONSTRUCCIÓN, MONTAJE Y OPERACIÓN

PROCEDIMIENTO GENERAL DE CONSTRUCCIÓN Y MONTAJE

En la primera fase de la construcción de la cabina-horno fue necesaria la codificación de aquellas partes que constituían los conjuntos parciales desde su dispositivo primario que aquí se llamó componentes. El montaje de éstos produce un ensamble denominado subconjunto cuyo código también fue requerido para identificar a sus diagramas de flujo de operaciones.

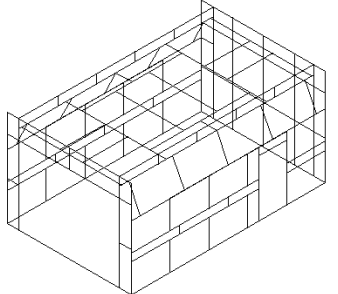
Tabla 3.27 Componentes, Subconjuntos y Conjuntos Parciales

CÓDIGO				COMPONENTES		SUBCONJUNTO	CONJUNTO PARCIAL
CH	E M	P A	01	Estructura Metálica	Panelado Asilante	Habitáculo - Plenum	Cabina
			02			Puertas Frontales	
			03			Puerta Lateral	
SSA	HU	01	Gabinete termo aislado		Unidad Calefactora de Aire	Subsistema de Suministro de Aire	
		02	Ventilador, Motor, Poleas				
		03	Filtros				
		04	Intercambiador de Calor				
		05	Quemador de GLP				
		06	Chimenea				
		07	Puertas de acceso para ventilador y caja de filtros				
	AC	07	Regulador de Presión		Subsistema de Abastecimiento de Combustible		
		08	Válvulas Solenoides				
		09	Mangueras				
10		Tubería Galvanizada					

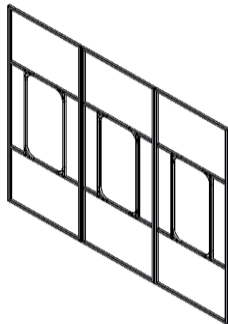
		11	Bombonas de 15 ó 45 Kg GLP		
	DA	12	Estructura Soportante	Trazado de los Ductos de Aire; Inyección y Recirculación	
		13	Ducto de tol galvanizado		
		14	Dampers de Hojas Opuestas		
SEA	EA	01	Estructura Soportante	Equipos Extractores y Trazado del Ducto de Aire	Subsistema de Extracción de Aire
		02	Ventilador, Motor, Poleas		
		03	Paint-Stop filters		
		04	Ducto de Tol Galvanizado		
		05	Damper de Hojas Opuestas		
		06	Puertas de acceso para ventilador y caja de filtros		
	FS	07	Rejillas	Fosa de Succión	
		08	Estructura de hormigón		
		09	Marco metálico para rejillas		
SIIE	MI	01	Luminarias	Módulos de Iluminación	Subsistema de Iluminación e Instalaciones Eléctricas
		02	Caja Modular		
		03	Cableado-Cabina		
SAC	TC	01	Termocuplas	Tablero de Control	Subsistema de Automatización y Control
		02	Cableado-Equipos		
		03	Relays Térmicos		
		04	Contador		
		05	Borneras		
		06	Luces Piloto		
		07	Controlador de Temperatura		
		08	Selectores ON/OFF		
		09	Contactores		
		10	Fusibles		
		11	Caja Metálica		

HOJA DE PROCESOS

Fase		Descripción	Operación	Herramientas y Útiles	Máquina	Control	Tiempo, h
10		TRAZADO según plano CH-SC-01	1	Marcador	-	Flexómetro	3
20		CORTADO según plano CH-SC-01	2	Sierra Circular Guantes, Gafas	Cortadora	Flexómetro Escuadra	12
30		SOLDADO según plano CH-SC-02	3	E6011 ϕ 1/8" Guantes, Gafas	Soldadora Amoladora	Pie de Rey Escuadra	12

	HOJA DE PROCESO CONSTRUCCIÓN			Proceso Número UNO Código del Plano : CH-SC-01 CH-SC-02 Elemento Estructural: Tubo cuadrado 1 1/2" (40 mm) espesor 2 mm
	Subconjunto: HABITÁCULO - PLENUM Código: CH-EM-01			

Fase		Descripción	Operación	Herramientas y Útiles	Máquina	Control	Tiempo, h
10	TRAZADO según plano CH-SC-03	1	Marcador	-	Flexómetro	1	
20	CORTADO según plano CH-SC-03	2	Sierra Circular Guantes, Gafas	Cortadora	Flexómetro Escuadra	2	
30	SOLDADO según plano CH-SC-03	3	E6011 ϕ 1/8" Guantes, Gafas	Soldadora Amoladora	Pie de Rey Escuadra	3.5	



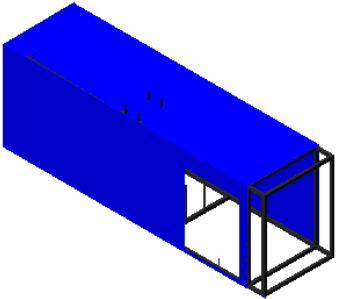
**HOJA DE PROCESO
CONSTRUCCIÓN**


Subconjunto: PUERTAS FRONTALES
PUERTA LATERAL
Código: CH-EM-02 y
CH-EM-03

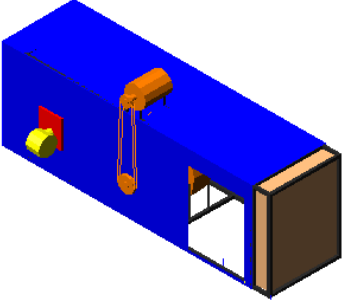
Proceso Número DOS
Para: 3 puertas frontales y
1 puerta lateral
Código del Plano : CH-SC-03
Materiales
Elemento Estructural: Tubo cuadrado 1 ½"
(40 mm) espesor 2 mm

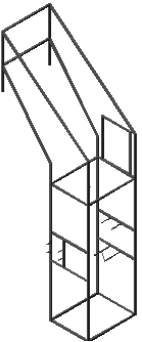
		HOJA DE PROCESO			Proceso Número TRES		
		CONSTRUCCIÓN		MONTAJE	Código del Plano : CH-SM-01		
		Subconjunto: CABINA PANELADA		Código: CH-PA-01	CH-SM-02		
Materiales:		Plancha de Tol galvanizado e= 0.45 mm Tornillos Auto perforantes, Lana de Vidrio, Pintura, Rollo Filtrante					
Fase	Descripción		Operación	Herramientas y Útiles	Máquina	Control	Tiempo, h
10	CUBIRTEA EXTERNA E INTERNA	TRAZADO según plano CH-SM-01, CH-SM-02	1	Marcador	-	Flexómetro	4
20		CORTADO según plano CH-SM-01, CH-SM-02	2	Guantes, Gafas	Cizalla	Flexómetro Escuadra	12
30		DOBLADO DE PESTAÑAS	3	Guantes, Gafas	Dobladora	Escuadra	2
40	ATORNILLADO EXTERNO		4	Guantes, Gafas	Taladro con dado especial	Flexómetro	3
50	COLOCACIÓN DE LANA DE VIDRIO		5	Tijeras, Guantes	-	Flexómetro	4
60	ATORNILLADO INTERNO		6	Guantes, Gafas	Taladro con dado especial	Flexómetro	3
70	PINTADO DE CUBIERTAS		7	Guantes, Gafas	Pistola, Compresor	Visual	2
80	COLOCACIÓN DE FILTROS PLENUM		8	Guantes	Tijeras	Flexómetro	1.5

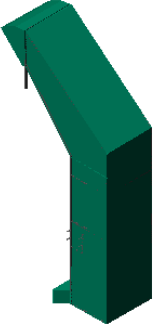
		HOJA DE PROCESO		Proceso Número CUATRO			
		CONSTRUCCIÓN	MONTAJE	Para: 3 puertas frontales y 1 puerta lateral			
		Subconjunto: PUERTAS FRONTALES Y PUERTA LATERAL		Código del Plano : CH-SM-03			
Código: CH-PA-02 y CH-PA-03		Materiales			Plancha de Tol galvanizado e= 0.45 mm Tornillo Auto perforante, Lana de Vidrio, Bisagras 3” triple función, Cauchos hermetizantes, Pintura		
Fase	Descripción	Operación	Herramientas y Útiles	Máquina	Control	Tiempo, h	
10	CUBIRTEA EXTERNA E INTERNA	TRAZADO según plano CH-SM-03	1	Marcador	-	Flexómetro	4
20		CORTADO según plano CH-SM-03	2	Tijeras para Tol, Guantes, Gafas	Cizalla	Flexómetro Escuadra	12
30		DOBLADO según plano CH-SM-03	3	Guantes, Gafas	Dobladora	Escuadra	3
40	ATORNILLADO EXTERNO Según plano CH-SM-03	4	Guantes, Gafas	Taladro con dado especial	Flexómetro	1.5	
50	COLOCACIÓN DE LANA DE VIDRIO según plano CH-SM-03	5	Tijeras, Guantes	-	Flexómetro	4	
60	ATORNILLADO INTERNO Según plano CH-SM-03	6	Guantes, Gafas	Taladro con dado especial	Flexómetro	1.5	
70	PINTADO DE CUBIERTAS	7	Guantes, Gafas	Compresor	Visual	2	
80	COLOCACIÓN DE BISAGRAS según plano CH-SM-03	8	Guantes	Taladro	Flexómetro	1	
90	COLOCACIÓN DE CAUCHOS	9	Cauchos	Tijeras	Flexómetro	1	
100	MONTAJE DE VIDRIOS	10	Vidrio policarbonatado	-	Flexómetro	1	

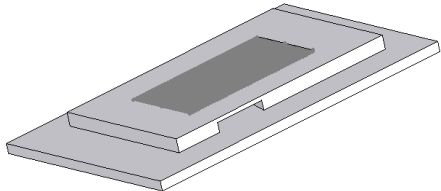
		HOJA DE PROCESO			Proceso Número CINCO			
		CONSTRUCCIÓN		MONTAJE	Código del Plano : SSA-SC-01 y SSA-SM-01			
		Subconjunto: GABINETE TERMOAISLADO			Materiales			
Código: SSA-HU-01			Tubo cuadrado 1 ¼ " (30 mm) e= 1.5 mm			Plancha de Tol galvanizado e= 0.45 mm, Tornillos auto perforante, Lana de Vidrio, Bisagras 3" triple acción, Pintura		
Fase	Descripción		Operación	Herramientas y Útiles	Máquina	Control	Tiempo, h	
10	ESTRUCTURA SOPORTANTE	TRAZADO según plano SSA-SC-01	1	Marcador	-	Flexómetro	0.2	
20		CORTADO según plano SSA-SC-01	2	Sierra Circular Guantes, Gafas	Cortadora	Flexómetro Escuadra	1	
30		SOLDADO según plano SSA-SC-01	3	E6011 ϕ 1/8" Guantes, Gafas	Soldadora Amoladora	Pie de Rey Escuadra	1	
40		MONTAJE I.C. ; SOLDADO	4	E6011 ϕ 1/8" Guantes, Gafas	Soldadora Amoladora	Pie de Rey Escuadra	0.8	
50	CUBIERTA INTERNO Y EXTERNA	TRAZADO según plano SSA-SC-01	5	Marcador	-	Flexómetro	0.4	
60		CORTADO según plano SSA-SC-01	6	Tijeras para Tol, Guantes, Gafas	Cizalla	Flexómetro Escuadra	1	
80		ATORNILLADO EXTERNO Según plano SSA-SM-01	8	Guantes, Gafas	Taladro con dado especial	Flexómetro	0.6	
90		COLOCACIÓN DE FIBRA DE VIDRIO ver plano SSA-SM-01	9	Tijeras, Guantes	-	Flexómetro	0.9	
100		ATORNILLADO INTERNO Según plano SSA-SM-01	10	Guantes, Gafas	Taladro con dado especial	Flexómetro	0.6	
110		PINTADO	11	Guantes, Gafas	Compresor	Visual	0.4	

		HOJA DE PROCESO			Proceso Número SEIS		
		CONSTRUCCIÓN			Código del Plano : SSA-SC-04		
		Subconjunto: CHIMENEA			Materiales		
		Código: SSA-HU-06			Plancha Tol Galvanizado 0.7 mm		
Fase	Descripción	Operación	Herramientas y Útiles	Máquina	Control	Tiempo, h	
10	TRAZADO según plano SSA-SC-04	1	Marcador	-	Flexómetro	0.7	
20	CORTADO según plano SSA-SC-04	2	Guantes, Gafas	Cizalla Eléctrica	Flexómetro Escuadra	1.2	
30	SOLDADO según plano SSA-SC-04	3	E6011 ϕ 1/8" Guantes, Gafas	Soldadora Amoladora	Flexómetro Escuadra	2.0	

		HOJA DE PROCESO			Proceso Número	SIETE		
		CONSTRUCCIÓN		MONTAJE	Código del Plano :	SSA-SC-05 y SEA-SC-04		
		Subconjunto:			PUERTAS DE ACCESO PARA VENTILADOR Y CAJA DE FILTROS	Materiales		
Código:			SSA-HU-07 y SEA-EA-06	Tubo cuadrado 1 ¼" (30 mm) e= 1.5 mm Tol galvanizado e= 0.45 mm Remaches, Manijas, Bisagras 3" triple acción, Tornillos Auto perforantes				
Fase	Descripción		Operación	Herramientas y Útiles	Máquina	Control	Tiempo, h	
10	ESTRUTURA BASE	TRAZADO ver planos SSA-SC-05 y SEA –SC-04	1	Marcador	-	Flexómetro	1.2	
20		CORTADO Ver planos SSA-SC-05 y SEA –SC-04	2	Sierra Circular Guantes, Gafas	Cortadora	Flexómetro Escuadra	2.5	
30		SOLDADO Ver planos SSA-SC-05 y SEA –SC-04	3	E6011 ϕ 1/8" Guantes, Gafas	Soldadora Amoladora	Pie de Rey Escuadra	3.5	
40	CUBIERTA	TRAZADO ver planos SSA-SC-05 y SEA –SC-04	4	Marcador	-	Flexómetro	1.2	
50		CORTADO ver planos SSA-SC-05 y SEA –SC-04	5	Guantes, Tijeras para tol	Cizallar	Flexómetro Escuadra	0.4	
60		ATORNILLADO ver plano SSA-SC-05 y SEA –SC-04	6	Guantes, Gafas	Taladro con Dado especial	Flexómetro	1.0	
70		COLOCACIÓN DE BISAGRAS	7	Gafas , Broca 4 mm	Taladro	Flexómetro	0.8	
80		COLOCACIÓN DE MANIJAS	8	Gafas , Broca 4 mm	Taladro	Flexómetro	0.4	

		HOJA DE PROCESO			Proceso Número OCHO Código del Plano : SSA-SC-02 SEA-SC-01 Materiales Tubo cuadrado 1 ¼" (30 mm) e= 1.5 mm		
		CONSTRUCCIÓN					
		Subconjunto: ESTRUCTURA SOPORTANTE Código: SSA-DA-12 y SEA-EA-01					
Fase	Descripción	Operación	Herramientas y Útiles	Máquina	Control	Tiempo, h	
10	TRAZADO según plano SSA-SC-02 y SEA –SC-01	1	Marcador	-	Flexómetro	1.2	
20	CORTADO según plano SSA-SC-02 y SEA –SC-01	2	Sierra Circular Guantes, Gafas	Cortadora	Flexómetro Escuadra	2.5	
30	SOLDADO según plano SSA-SC-02 y SEA –SC-01	3	E6011 ϕ 1/8" Guantes, Gafas	Soldadora Amoladora	Pie de Rey Escuadra	3.5	

		HOJA DE PROCESO			Proceso Número NUEVE		
		CONSTRUCCIÓN			Código del Plano : SSA-SC-03		
		Subconjunto: DUCTO DE TOL GALVANIZADO			SEA-SC-02		
		Código: SSA-DA-13 y SEA-EA-04			Materiales Plancha de Tol galvanizado e= 0.45 mm Remaches		
Fase	Descripción	Operación	Herramientas y Útiles	Máquina	Control	Tiempo, h	
10	TRAZADO según planos SSA-SC-03 y SEA-SC-02	1	Marcador	-	Flexómetro	1	
20	CORTADO según planos SSA-SC-03 y SEA-SC-02	2	Tijeras para Tol, Guantes, Gafas	Cizalla	Flexómetro Escuadra	2	
30	DOBLADO según planos SSA-SC-03 y SEA-SC-02	3	Guantes, Gafas	Dobladora	Flexómetro Escuadra	3	
40	REMACHADO Según planos SSA-SC-03 y SEA-SC-02	4	Remaches ϕ 5mm Tijeras, Guantes, Gafas	Remachadora	Flexómetro	1.3	

		HOJA DE PROCESO			Proceso Número DIEZ		
		CONSTRUCCIÓN		MONTAJE	Código del Plano : SEA-SC-03		
		Subconjunto: ESTRUCTURA DE HORMIGÓN			Materiales		
Código: SEA-FS-07			Cemento, Arena, Ripio, Rocas			Angulo 30x30x3mm , Madera , Clavos	
Fase	Descripción		Operación	Herramientas y Útiles	Máquina	Control	Tiempo, h
10	FUNDICIÓN	TRAZADO según planos SEA-SC-03	1	Tiza , Piola	-	Flexómetro	0.2
20		ENCOFRADO según planos SEA-SC-03	2	Sierra Circular Guantes, Gafas	Cortadora	Flexómetro	3
30		COLOCACIÓN ROCAS	3	Guantes, Gafas	-	Visual	2
40		VERTIDO DE MEZCLA Según planos SEA-SC-03	4	Baldes, Palas	-	-	4
50		NIVELADO	5	Codal	-	Visual	2
60		DESENCOFRADO	6	Martillo	-	Visual	2
70		ENLUCIDO	7	Bailejo	-	Visual	4
80		COLOCACIÓN DE SOPORTE PARA REJILLA Según planos SEA-SC-03	8	Broca 4 mm	Taladro	Flexómetro	0.5

		HOJA DE PROCESO			Proceso Número ONCE		
		CONSTRUCCIÓN	MONTAJE	para: 8 subconjuntos	Código del Plano : SIIE-SC-01 SIIE-SM-01		
		Subconjunto: MÓDULO DE ILUMINACIÓN			Materiales		
		Código: SIIE-MI			Tol Galvanizado e = 0.45 mm, Cable eléctrico No. 8, Boquillas, Luminarias Fluorescentes, Cubierta plástica.		
Fase	Descripción		Operación	Herramientas y Útiles	Máquina	Control	Tiempo, h
10	CAJA MODULAR	TRAZADO según planos SIIE-SC-01	1	Marcador	-	Flexómetro	0.1
20		CORTADO según planos SIIE-SC-01	2	Tijeras para Tol Guantes, Gafas	Cizalla	Flexómetro Escuadra	0.3
30		DOBLADO según planos SSA-SC-02	3	Guantes, Gafas	Dobladora	Flexómetro Escuadra	0.2
40		ATORNILLADO Según planos SSA-SC-02	4	Guantes, Gafas	Taladro con dado especial	Flexómetro	1.3
50	MONTAJE PRIMARIO	PINTADO	5	Guantes, Gafas	Pistola, Compresor	Visual	0.2
60		COLOCACIÓN DE BOQUILLAS Y CABLEADO	6	Desarmadores, Tijeras, Guantes	-	Visual	0.4
70		IMPLEMENTACIÓN DE LUMINARIAS	7	Guantes	-	Visual	0.1
80		CUBIERTA DE PLÁSTICO	8	Guantes, Tijeras	-	Flexómetro	0.2

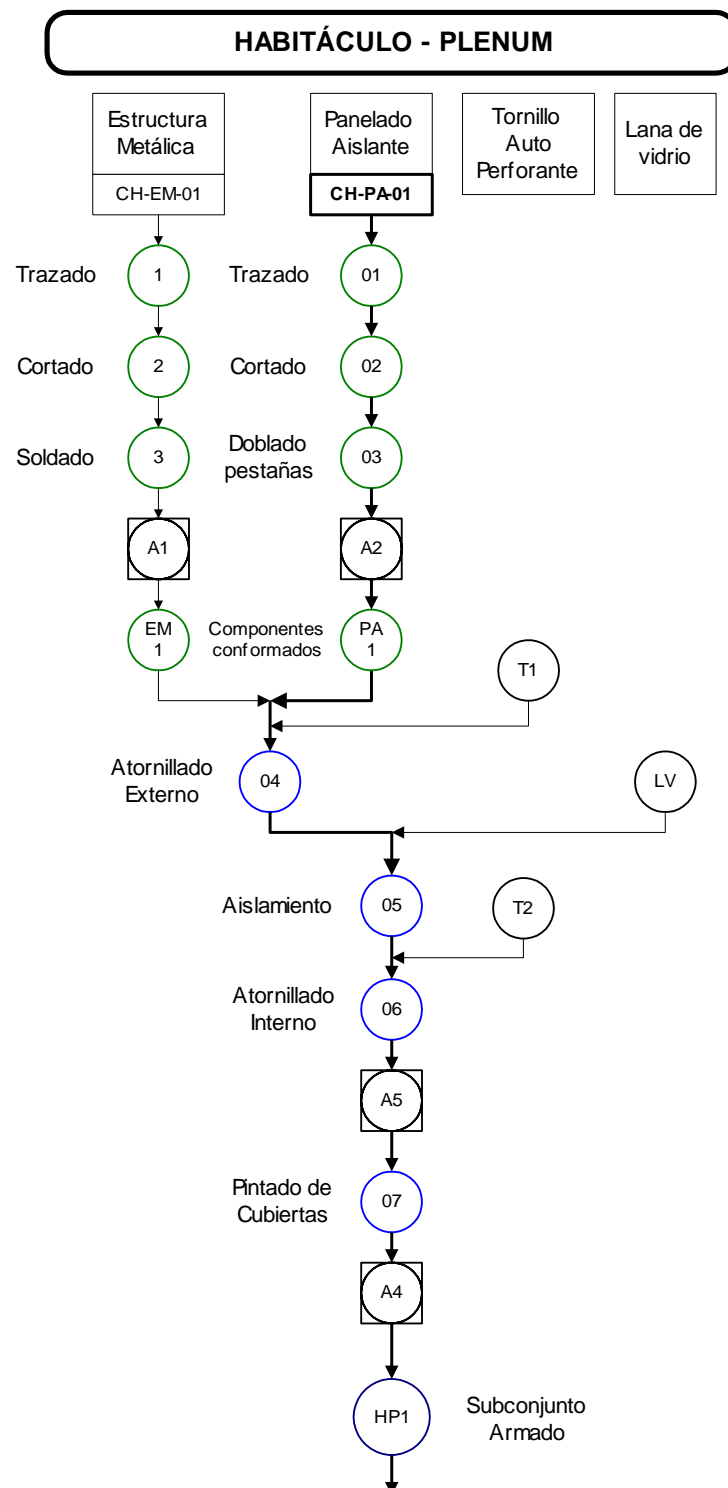
**ANÁLISIS TÉCNICO FINANCIERO DEL INTERCAMBIADOR DE CALOR A
INSTALARSE**

ÁREA DE ESTUDIO	FACTOR DE EVALUACIÓN	INTERCAMBIADOR DE CALOR	
		DISEÑADO	ADQUIRIDO
TÉCNICO	Capacidad de Transferencia de Calor, BTU/h	200000	150000 a 350000
	Caída de Presión, in.w.g.	0.35	0.2
	Material	AISI 304 Espesor 2 mm	
	Ensamble	Soldadura	
	Pruebas	-	de Fugas
	Tiempo de Fabricación o entrega, días	6	Inmediata
FINANCIERO	Adicionales	Instalación, Control	Instalación, Asesoría sobre implementación de control, Garantía 1 año
	COSTO, USD	1250,00	580,00

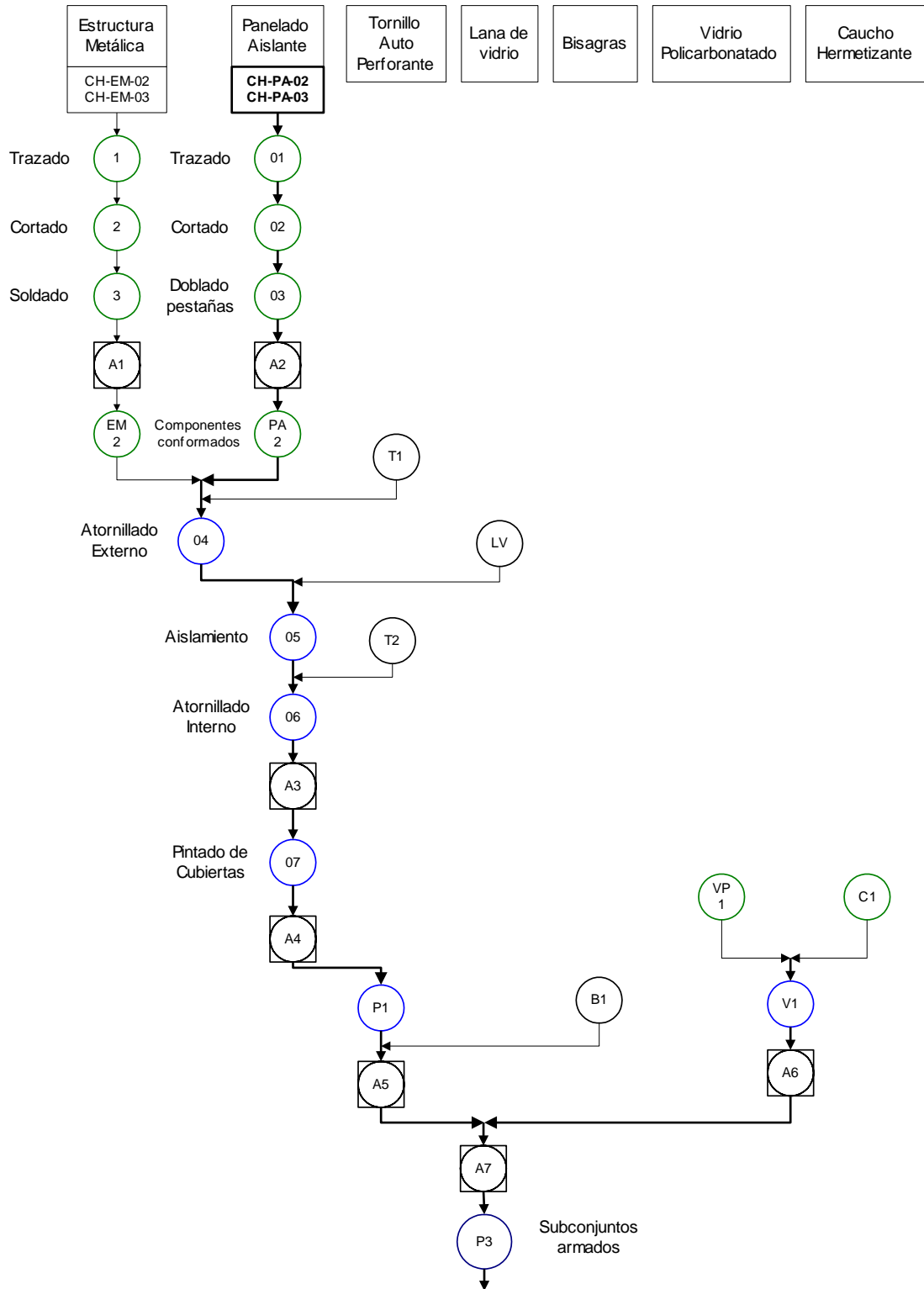
Como se pudo observar en la tabla anterior, los factores que determinan la selección del intercambiador de calor proporcionado por AXCIAL. CIA. LTDA son el costo considerablemente menor a la primera opción, la caída de presión la cual beneficiará al sistema en conjunto cuando se pretenda adquirir el ventilador y el motor eléctrico, por último el tiempo de fabricación la cual constituye una gran ventaja para los propósitos delineados inicialmente.

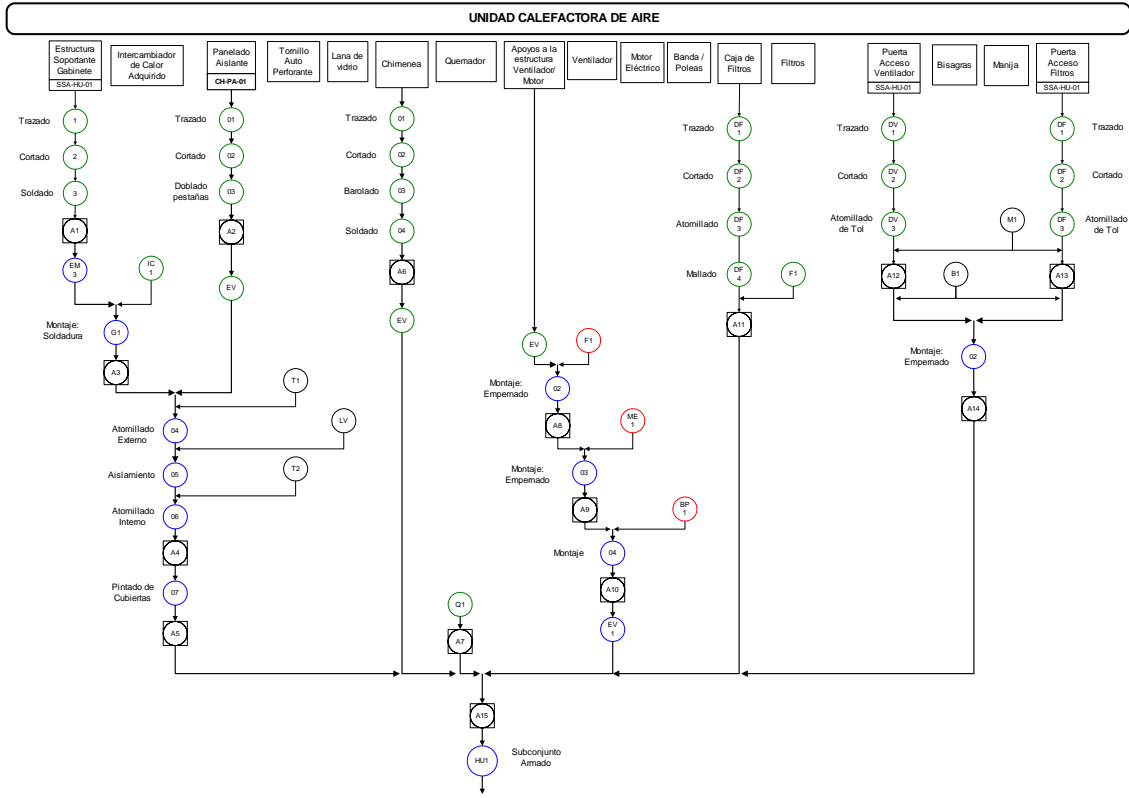
DIAGRAMAS DE FLUJO DE PROCESO DE FABRICACIÓN

Primero se muestra los diagramas correspondientes a los subconjuntos y luego los conjuntos parciales armados. Todo esto basado en el orden de la codificación prescrita para cada subsistema.

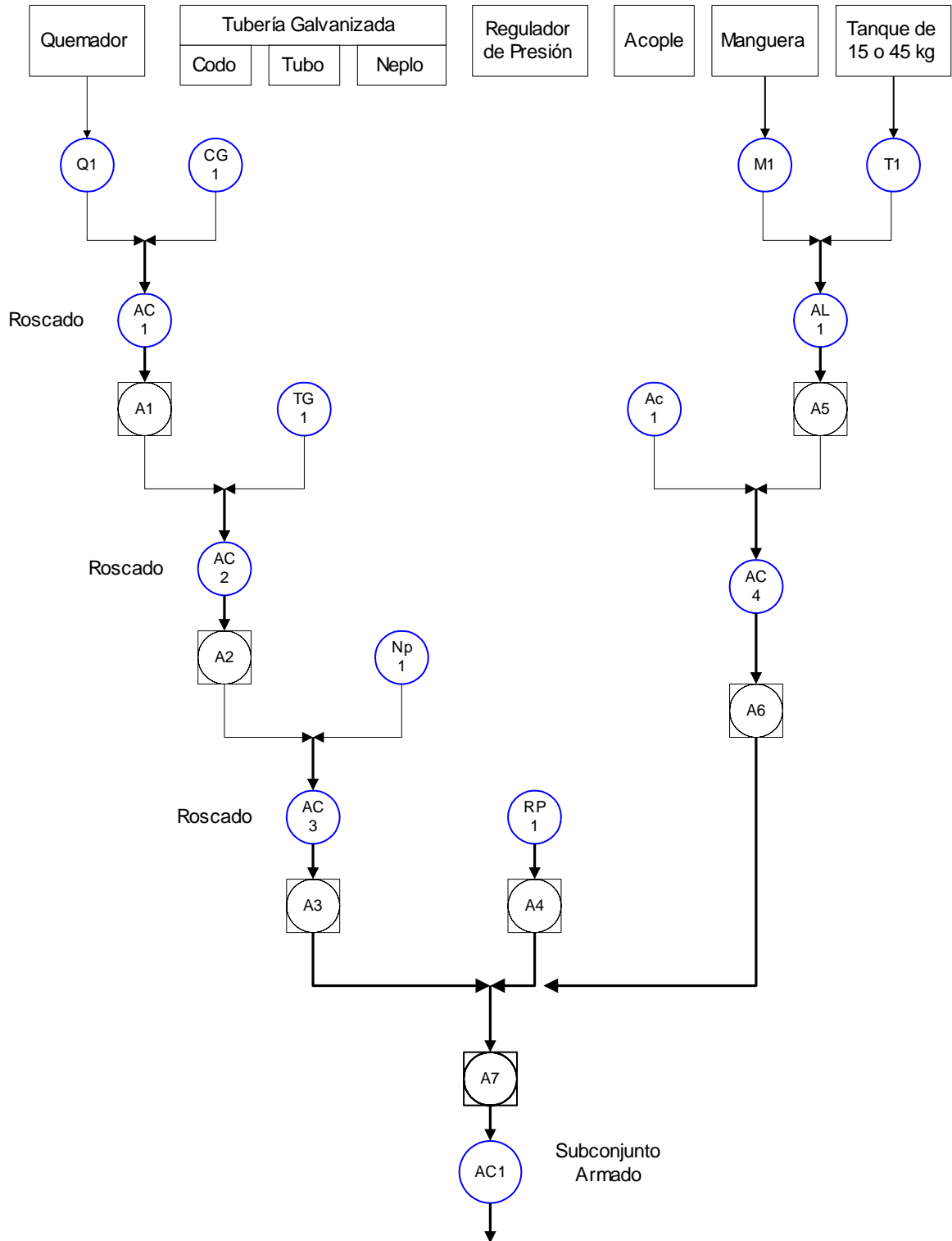


PUERTAS FRONTALES Y LATERAL



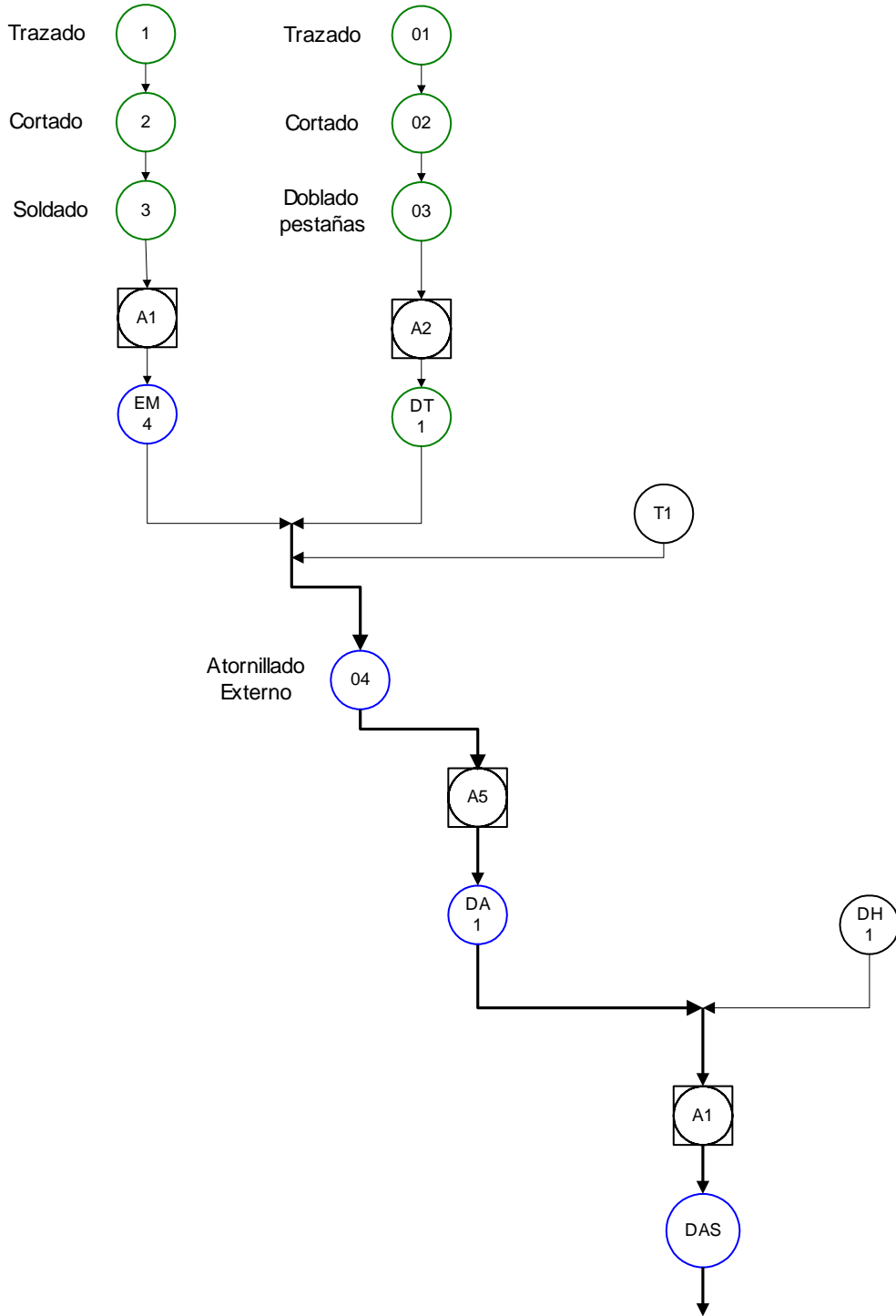


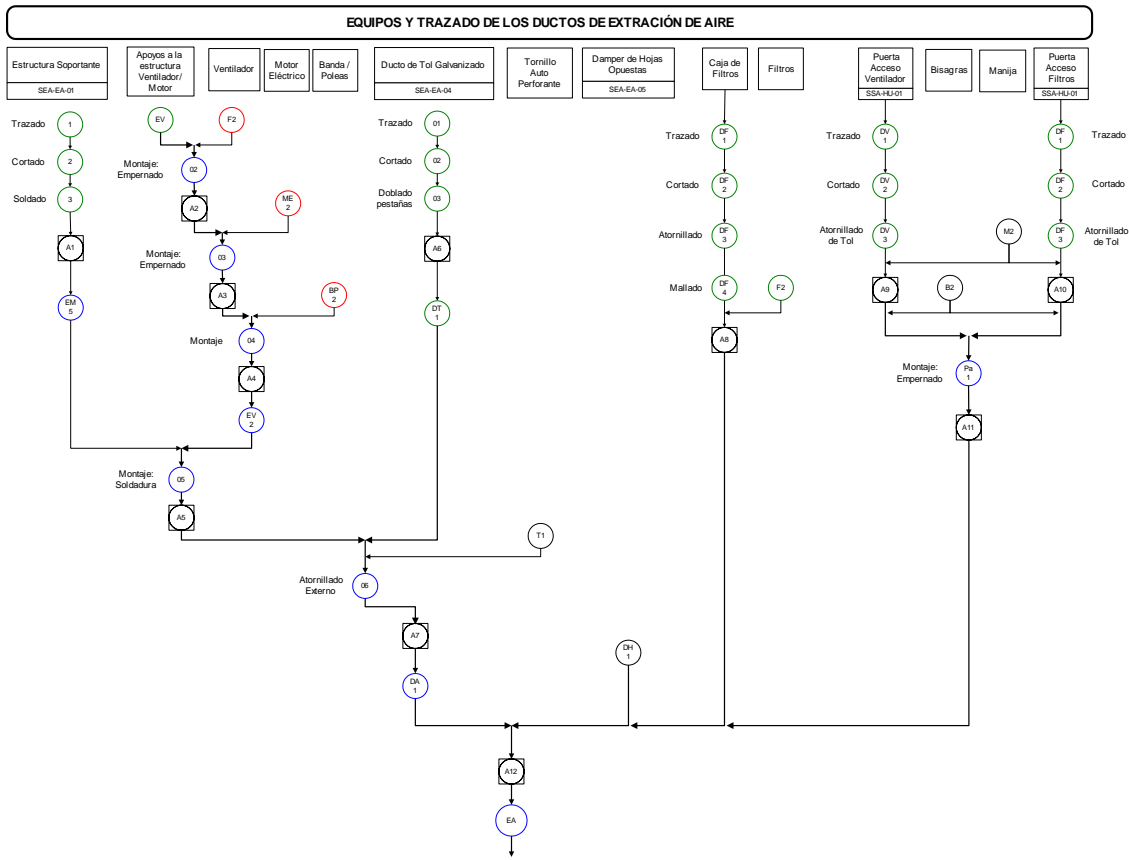
SUBSISTEMA DE ABASTECIMIENTO DE COMBUSTIBLE

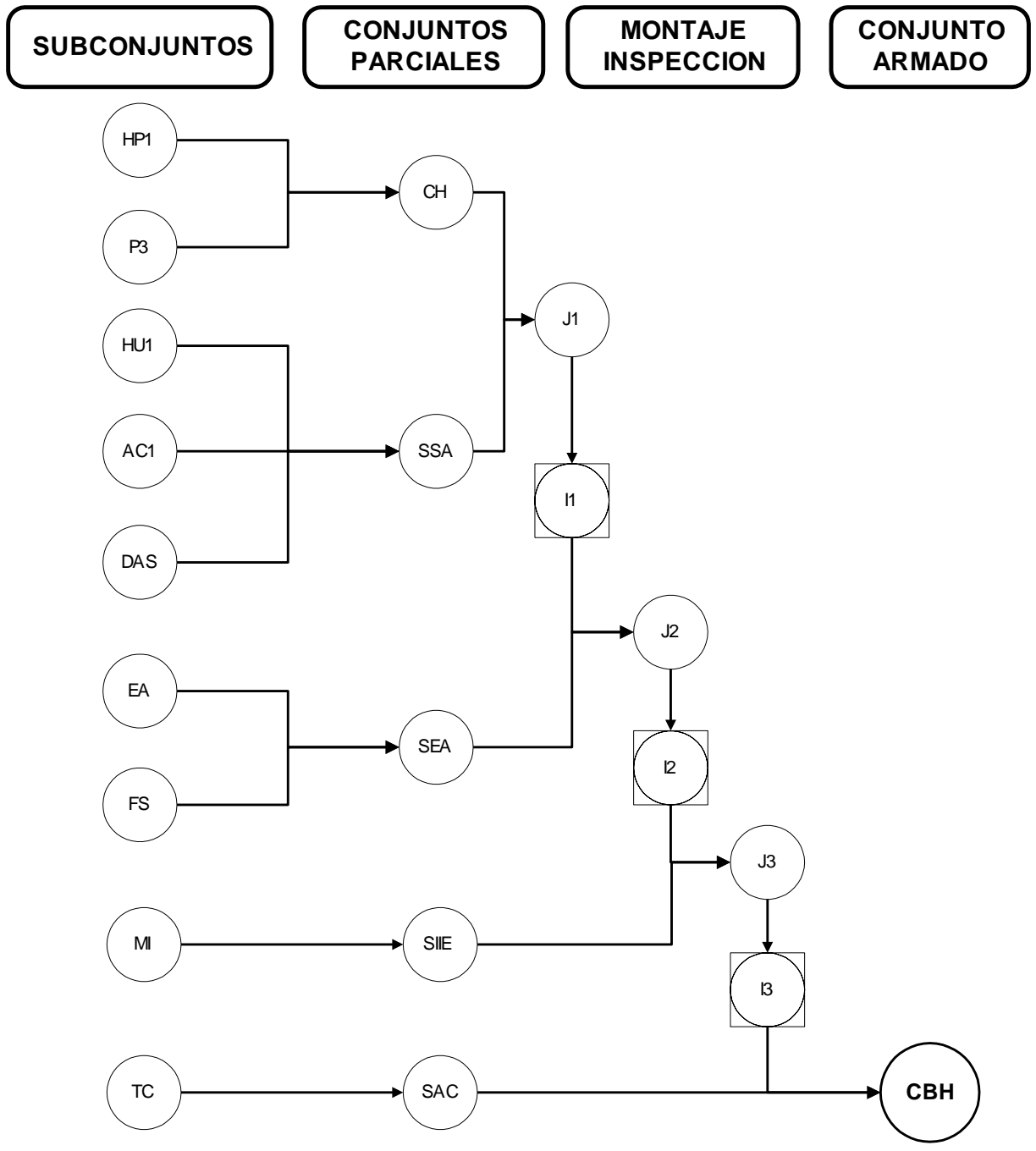


TRAZADO DE LOS DUCTOS DE SUMINISTRO DE AIRE

Estructura Soportante	Ducto de Tol Galvanizado	Tornillo Auto Perforante	Damper de Hojas Opuestas
SSA-DA-12	SSA-DA-13		SSA-DA-13







PLANOS DE CONSTRUCCIÓN

Ver ANEXO G

PLANOS DE MONTAJE

Ver ANEXO G

PLANOS DE CONJUNTO ARMADO

Ver ANEXO G

MANUAL DE OPERACIÓN E INSTRUCCIONES DE MANTENIMIENTO

MANUAL DE OPERACIÓN

4.2.1.1 Antes de Pintar

- 1.- Lavar el automóvil anteriormente preparado e introducirlo en la Cabina-Horno. Encender las luces y poner en funcionamiento el ventilador de impulsión.
- 2.- Cubrir con papel protector y cinta adhesiva las partes que no se vayan a pintar. Recomendamos no usar periódicos, revistas u otros artículos similares.
- 3.- Proteger las ruedas; eliminación del barro, polvo, etc.
- 4.- Desconectar la conducción de los rociadores limpiaparabrisas, pues en caso de cocción a 80° el vapor expulsado podría dañar el acabado.
- 5.- Repasar el coche con paños antipolvo y la zona a pintar con paños antisilicona.
- 6.- Elevar los automóviles con neumáticos sin cámaras, ya que en el enfriamiento se podrían deformar.

7.- Quitar el tapón del depósito de combustible, y si fuera a gas butano, desconectar y sacar la bombona. Comprobar que no queden en el interior botellas de aerosoles, extintores, desodorantes.

8.- Instalar un reductor de presión con filtro de la mejor calidad en el exterior.

9.- Vestir prendas de nylon para evitar la introducción de polvo, usando asimismo gorro para preservar la caída de cabello.

10.- Verificar que la conexión con el suministro de energía eléctrica este en buenas condiciones, es decir totalmente seca y bien enchufada para evitar cortocircuitos.

11.- Verificar si existe suficiente gas en el tanque para la tarea a ejecutar.

4.2.1.2 Preparación

1.- Seleccionar la pintura.

2.- Utilizar siempre un filtro de 2.000 mallas, filtrando el esmalte dos veces. Para los esmaltes metalizados, usar filtros de 5.000 mallas.

3.- Controlar la viscosidad según las recomendaciones de los fabricantes.

4.2.1.3 Pre-Pintado

1.- Utilizar una pistola con boquilla de 1,2 y a presión no superior a 4 kg/cm²

2.-Controlar la posición de la trampilla de by-pass en el generador: debe estar abierta.

3.- Encender el quemador y regular el índice del termostato a 20° C si la temperatura ambiente fuese inferior.

4.- Mojar abundantemente el suelo de la cabina si es de obra.

4.2.1.4 Fase de Pintado

1.- Dar la primera mano de pintura con 1 ó 2 segundos de viscosidad superior.

- 2.- Diluir la pintura para la segunda y tercera mano.
- 3.- Esperar el tiempo necesario entre manos para evitar el corrugamiento.
- 4.- Dirigir los selectores del cuadro de mandos en "ON" para el Suministro, Extracción. Es importante respetar el orden de encendido, de lo contrario provocará inestabilidad en la cabina y posteriormente mal funcionamiento de los equipos.
- 5.- Cerrar el damper de recirculación y abrir el de ingreso de aire fresco hasta la marca señalada para pintado.
- 6.- Con la cabina en marcha, conectar el generador, que se pondrá en funcionamiento, o no, dependiendo de la temperatura seleccionada en el termostato digital de control.
- 7.-Conectar la iluminación. La máquina está lista para trabajar en la fase de Pintado. Al terminar de pintar, desconectar todos los elementos, incluida la iluminación.

4.2.1.5 Fase de Secado

- 1.- Mover el damper de recirculación hasta la marca señalada con el nombre de SECADO. De igual manera, girar el damper de suministro de aire hasta la marca denominada SECADO.
- 2.- Establecer el tiempo de secado deseado en el temporizador, teniendo en cuenta que la cabina tardará de 25 a 30 minutos en ponerse a temperatura.
- 3.- Energizar el quemador.
- 3.- Transcurrido el tiempo seleccionado, el generador y el ventilador se paran automáticamente.

INSTRUCCIONES DE MANTENIMIENTO

Mantenimiento Preventivo

4.2.2.1.1 Siempre

- Mantener limpias las paredes y las rejillas del suelo para evitar la disminución de luz y la posibilidad de desprendimiento de polvo. Asegurarse de que en la cabina haya la adecuada sobrepresión, sustituyendo los filtros secos cuando estén sucios.

4.2.2.2 Mantenimiento Predictivo

4.2.2.2.1 Semanalmente

- Limpiar y soplar con aire comprimido el prefiltrado de los ventiladores r, realizar el soplado desde interior del filtro hacia fuera.

4.2.2.2.2 Cada Tres Semanas

- Controlar la tensión de las correas de transmisión

4.2.2.2.3 Semestralmente

- Controlar los cojinetes del ventilador e inspeccionar la salida de humos del quemador.

4.2.2.2.4 Anualmente

- Repetir las operaciones previstas semestralmente, limpiar internamente el intercambiador de calor, sustituir las gomas de las puertas, cambiar los filtros del techo, en su defecto se lo realizará mediante un determinado número de horas de funcionamiento, dicho parámetro será entregado por el proveedor de filtros.

-Realizar un análisis de combustión y regular el CO₂, así como la presión del aire de combustión. Esta operación deberá ser realizada por una empresa especializada.

- Revisión de los motores eléctricos según ficha de mantenimiento preventivo prevista para estos equipos.

4.2.2.3 Dispositivos Especiales

A más de las recomendaciones prescritas se aconseja al usuario o jefe de mantenimiento a cargo ejecutar o en su defecto contratar a una empresa especializada para realizar las siguientes tareas de mantenimiento destinadas a prolongar la vida útil de dispositivos como el quemador a gas y los cuadros de control.

4.2.2.3.1 Inspecciones Anuales - Quemador de Gas

- Limpieza del filtro de la bomba del quemador
- Limpieza y verificación de electrodos de encendido
- Verificación del programador y transformador de encendido
- Verificación de seguridades y enclavamiento del quemador
- Comprobación de la temperatura de humos
- Consumo de combustible
- Contenido de CO₂.
- Comprobación de la correcta puesta a tierra
- Apriete de bornas de conexión
- Inspección del estado del ventilador y limpieza del mismo.
- Comprobación del encendido
- Verificación de la regulación de presión de combustible
- Limpieza y verificación de célula fotoeléctrica

4.2.2.3.2 Inspecciones Bianuales – Quemador de Gas

Revisar anualmente las instalaciones de abastecimiento de combustible, desde su acometida hasta cada receptor (regulador de presión, tubos flexibles o galvanizados, etc.) sustituyendo, ajustando o regulando todas las partes integrantes de cada una de las instalaciones.

4.2.2.3.3 Inspecciones Mensuales – Tablero de Control

- Comprobación del estado de fusibles y pilotos de señalización.
- Comprobación de la tensión en barras
- Verificación y reapriete de conexiones eléctricas en regletas, contactores y fusibles.
- Lectura de amperímetros y voltímetros. Comprobación que son correctas.
- Comprobación de calentamientos anormales en conductores

4.2.2.3.4 Inspecciones Anuales – Tablero de Control

- Comprobación de contactores y su funcionamiento, verificando maniobra y estado de los contactos
- Revisión general del cableado interior
- Limpieza general del cuadro
- Comprobación de interruptores y disyuntores, verificando el funcionamiento y la maniobra.
- Contraste y ajuste de los aparatos de medida.
- Comprobación del funcionamiento de los automatismos de protección.
- Verificación de las puestas a tierra.
- Verificación del aislamiento eléctrico y actuación diferencial.

CAPÍTULO 5

ANÁLISIS ECONÓMICO FINANCIERO

5.1 ANTECEDENTES

El análisis económico y financiero de un proyecto es una herramienta de gran utilidad, ya que un análisis que se anticipe al futuro puede evitar posibles desviaciones y problemas en el largo plazo. Las técnicas de evaluación económica son herramientas de uso general. Lo mismo pueden aplicarse a inversiones industriales, de hotelería, de servicio, que a inversiones en informática. El valor actual neto y la tasa interna de retorno se mencionan juntos porque en realidad es el mismo método, sólo que sus resultados se expresan de manera distinta. La tasa interna de retorno es el interés que hace el valor presente igual a cero, lo cual confirma la idea anterior. La realización de un estudio para medir la rentabilidad de un proyecto, es un instrumento que provee una importante información a los inversionistas respecto a su propia conveniencia de llevarlo a cabo. Para los cálculos siguientes se supondrá que se pintará totalmente un auto semanal, lo que nos da 52 autos al año.

5.2 COSTO DEL PROYECTO

5.2.1 MATERIALES

Tabla 5.1 Análisis Financiero - Materiales

Descripción	Cantidad	Valor unitario	Valor total
Cemento	20	7,28	145,60
Piedra bola (carretilla)	50	1,12	56,00
Ripio (carretilla)	30	0,78	23,52
Polvo azul (carretilla)	30	0,84	25,20
Tablas de monte (30 cm)	25	1,57	39,20
Clavos de acero 2 "(caja)	2	3,02	6,05
Clavos para madera 2" (caja)	2	1,01	2,02

Angulo 30x30x3 mm	2	14,56	29,12
Rejilla	4	171,36	685,44
Tubo cuadrado 40x1.5 mm	100	21,28	2128,00
Plancha Tol galvanizado 0,45mm	90	28,00	2520,00
Tornillos punta de broca	10000	0,01	100,00
Lana de vidrio (m ²)	90	7,50	675,36
Riel	1	50,00	50,00
Bisagras	8	3,36	26,88
Electrodos 6011 1/8 (kg)	10	5,00	50,00
Caja para luminarias	14	24,64	344,96
Luminarias	28	1,68	47,04
Disco de corte para metal 7"	3	2,80	8,40
Disco de desbaste para metal 7"	3	2,80	8,40
Lija para metal	5	0,50	2,50
Caja para tablero de control	1	31,36	31,36
Cable gemelo N°12 (m)	20	0,56	11,20
Cable sólido N°12	100	3,00	300,00
Malla	1	60,00	60,00
Vidrio templado de 3mm	3	10,00	30,00
Caucho poo (m)	25	8,00	200,00
Caucho murciélago (m)	10	5,00	50,00
Pintura anticorrosiva (gal)	15	28,00	420,00
Polea 3 pulg	1	10,00	10,00
Polea 6 pulg	1	15,00	15,00
Bandas	2	11,20	22,40
Silicón	20	3,00	60,00
Chova (rollo)	2	15,00	30,00
Filtro plenum/piso	2	30,00	60,00
Prefiltro ventilador	2	30,00	60,00
Termoculpa tipo J	1	20,00	20,00
Controlador de temperatura	1	60,00	60,00
Ventilador centrífugo	2	1200,00	2400,00
Motor eléctrico 5hp	2	243,04	486,08
Quemador 400000 BTU	1	1500,00	1500,00
Intercambiador de calor	1	580,00	580,00
Contactores	2	50,00	100,00
Relay	1	45,00	45,00
Selector	5	8,00	40,00
Borneras	2	4,50	9,00
Pirómetro	1	85,00	85,00
Fusible	1	35,00	35,00
Luces piloto	4	3,00	12,00
TOTAL			13564,72

5.2.2 MANO DE OBRA

Tabla 5.2 Análisis Financiero – Mano de Obra

Descripción	Total
Obra civil	300,00
Construcción estructural (soldadura de tubos)	400,00
Construcción de puertas	250,00
Construcción de ductos	500,00
Montaje de aislamiento y forrado de paredes	500,00
Montaje de puertas	30,00
Montaje de ductos	100,00
Pintura	150,00
Montaje de equipos	200,00
Instalaciones eléctricas	200,00
TOTAL	2630,00

5.2.3 COSTO TOTAL DE LA OBRA

Tabla 5.3 Análisis Financiero - Costo Total de la Obra

Descripción	Total
Materiales	13564,72
Mano de obra	2630,00
TOTAL	16194,72

5.3 RECUPERACIÓN DE LA INVERSIÓN

5.3.1 DEPRECIACIÓN

$$\text{Depreciación} = \frac{\text{Inversión total}}{10 \text{ años}} = \frac{16194,72 \text{ USD}}{10 \text{ años}} = 1619,47 \text{ USD/año}$$

$$16000/10 = 1600 \text{ USD/año}$$

5.3.2 COSTO CONSUMO DE ENERGÍA

Tabla 5.4 Análisis Financiero – Costo consumo de Energía

Descripción	Costo por auto	Costo anual (52 autos)
Energía eléctrica	5,00	260,00
GLP	2,00	104,00
TOTAL	7,00	364,00

5.3.3 COSTO POR SERVICIO DE PINTURA AL HORNO

Tabla 5.5 Costo por Servicio de Pintura al Horno

Descripción	Costo	Costo anual
Mano de obra (mes)	300,00	3600,00
Materiales para pintar por auto(pintura, fondo, masilla)	300,00	15600,00
TOTAL		19200,00

5.3.4 PRI (PERIODO DE RETORNO DE LA INVERSIÓN)

Inversión proyecto = 16194,72 USD

$$\text{Costo energía anual} = \left(\frac{\text{Costo energía total}}{\text{auto}} \right) \cdot \left(\frac{N^{\circ} \text{ autos}}{\text{año}} \right) = 7,00 \cdot 52 = 364,00 \text{ USD}$$

Interés bancario anual (tasa de interés de la banca privada) = 12,80 %

$$\text{Interés anual del proyecto} = (\text{Inversión proyecto}) \cdot (\text{Interés bancario anual})$$

$$\text{Interés anual del proyecto} = (16264,72 \text{ USD}) \cdot (0,1280) = 2081,88 \text{ USD}$$

Utilidad operativa por uso de la cabina anualmente

(+)Ventas de servicio de pintura al horno (anual) = 800,00*52= 41600,00 USD

(-)Costo por pintada (al año)= 300,00*52 = 15600,00 USD

(-)Costo energia (anual) =364,00 USD

(-)Costo mano obra = 3600,00 USD

(=)Utilidad operativa= 41600,00-(15600,00+364,00+3600,00)=22036,00 USD

$$PRI = \frac{(\text{Inversión proyecto} + \text{interés anual})}{\text{utilidad operativa}} = \frac{16194,72 + 2081,88}{22036,00} = 0,82$$

PRI= (Inversión proyecto+interés anual)/(utilidad operativa)

PRI=0,82 años

PRI= 9,84 meses

PRI = 9 meses 25 días

5.4 VALOR ACTUAL NETO (VAN) Y TASA INTERNA DE RETORNO (TIR)

5.4.1 TASA DE DESCUENTO

(TMAR del Banco x 1-tasa impositiva)

Tasa impositiva (t) :	36,25%
TMAR del Banco :	12,80%
TMAR:	8,16%

(Van=Utilidad descontada-Inversion Inicial)

(Tir=Excel=TIR(Utilidad Operativa*Tasa de descuento)-Inversión inicial)

UTILIDAD OPERATIVA	22036,00
TASA DSCTO:	8,16%
UTILIDAD DESCONTADA	20237,86
INVERSION INICIAL	16194,72
VAN	4043,14
TIR	136%

5.4.2 ANALISIS DE DECISIÓN DE VAN Y TIR

Si $VAN \leq 0$ el proyecto no es rentable y no se justifica su inversión, si por el contrario $VAN > 0$, el proyecto ofrece rentabilidad y permite el desembolso del capital. Si $TIR \leq 12,80\%$ (tasa de la banca privada) el proyecto no es atractivo ya que la rentabilidad del dinero es igual si se decide invertir el dinero en la banca privada.

Si $TIR > 12,80\%$ (tasa de la banca privada) por consiguiente EL PROYECTO ES ATRACTIVO YA QUE LA RENTABILIDAD ES MAYOR A LA QUE PUEDE GENERAR LA BANCA PRIVADA.

CAPÍTULO 6

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

CONCLUSIONES

PRESTACIONES DE UNA CABINA-HORNO

- Las ventajas que ofrece realizar las tareas de pintado y curado de carrocerías en una cabina-horno son por demás beneficiosas tanto para consumidor final por el acabado impecable de la pintura en su vehículo y para quien presta los servicios de repinte por la rentabilidad que se recibe por esta actividad.
- Se reducir los tiempos de secado mediante la acción del horno aumenta la productividad de las acciones de repinte de automóviles.
- El desempeño de la cabina-horno en sus tareas de ventilación y curado trabajan indistintamente de las condiciones medio ambientales a las cuales se encuentran sometidos en aquel lugar.

TIPOS DE CABINA

- La implementación del flujo unidireccional vertical laminar favorece el arrastre de impurezas y la sobrepresión de la cabina. Además mantiene su régimen laminar porque no requiere atravesar distancias muy largas.
- El grupo combinado de ventilación, impulsor y extractor, son la mejor opción para estos sistemas por la estabilidad que estos proveen, mayor vida útil de sus equipos, además de la eficacia en cada una de sus tareas.
- El uso de un intercambiador de calor de acero inoxidable de espesor dos milímetros como elemento calefactor proporciona mayor vida útil por su poco desgaste debido a la formación de óxidos y acumulación de residuos de la combustión en su interior.

FUNCIONAMIENTO

- El aire captado desde el exterior debe ser perfectamente filtrado, aproximadamente del 97 – 99% de eficiencia por considerarse a la cabina-horno un área limpia según la ASHRAE.
- Mientras mas riguroso es el filtrado en cuanto a a tamaño de partículas y porcentaje de arrestancia de filtros, mayor será el costos de los dispositivos filtrantes.

FASE PINTADO

- La acción conjunta de los subsistemas de suministro y extracción de aire favorecen las tareas de dilución y arrastre de atmósferas contaminadas de vapores tóxicos y partículas de pintura.
- Mantener la velocidad de arrastre entre 80-100 fpm y un sobrepresión entre 0.8 – 1.2 in. w.g. asegura condiciones óptimas de trabajo para esta etapa del repinte.
- Solo si la temperatura exterior es menor a 15°C se requiere precalentar la carrocería antes de pintar porque mientras menor sea la temperatura de la superficie metálica, está será propensa a formar microcondensaciones y no podrá de retener la capa de pintura.

FASE CURADO

- La recirculación de aire caliente reduce los costos de consumo de energía y obviamente los tiempos de curado.
- La implementación de un sistema de reutilización del aire temperado requiere de un estudio técnico-lógico en el que intervienen factor como la naturaleza del contaminante, toxicidad del solvente, facilidad en su dilución, entre otros.

CONSTRUCCIÓN

- El panelado aislante basado en una estructura metálica de tubo cuadrado se presentó como la mejor opción por su facilidad de montaje, mayor estabilidad y costo de fabricación. Los costos se incrementan cuando se usa paneles prefabricados porque se debe construir sus respectivos machihembrados además de la instalación de canales para su ensamble.
- Lana de vidrio, por sus condiciones se consideró mejor aislante para los propósitos del proyecto puesto que no cambia su estructura cuando está expuesto a temperaturas altas, no así el poliuretano que al elevarse la temperatura se expande y al retornar a la normalidad se encuentra deformado permanentemente. Otra cualidad que favorece su utilización es no ser inflamable.
- Mientras mas provisiones se tome en el sellado de uniones de paredes y puertas mejor será la hermeticidad de la cabina-horno y las fugas se reducirán apreciablemente.
- La fosa de succión construida como obra civil mejora en costo de fabricación a la implementación de una estructura metálica cubierta con tol.
- Cuando se requiere instalar a los ventiladores dentro de los ductos de aire, éstos deben ser conformados por estructuras metálicas soportantes en su interior con sus respectivos apoyos para ensamblar dichas máquinas y forrados exteriormente con tol galvanizado, como es el caso de el ducto de extracción.

VENTILACIÓN

- La dilución de atmósferas contaminadas se deben analizar en función de dos factores; Salud de los operarios y por la inflamabilidad y explosividad del ambiente para mejorar sus condiciones de trabajo y precautelar riesgos laborales.
- Para este estudio, el thinner debe tratarse como una mezcla de solventes y analizar los efectos que produjeran sus componentes en cuanto a toxicidad y niveles de saturación.

- El arrastre logra su efectividad por la uniformidad en el flujo que entrega el sistema de suministro de aire a través del plenum filtrante.

UNIDAD CALEFACTORA DE AIRE

- Su capacidad de calefacción debe proveer los requerimientos térmicos que exigen las pérdidas de calor a través de paredes de la cabina-horno y el calor necesario para aumentar la temperatura del aire dentro del habitáculo.
- El cálculo de la pérdida de calor se facilita utilizando los coeficientes de pérdida de calor tabulados en función de los materiales que se usaron para construir las paredes.
- Es imprescindible que la selección del quemador, ventilador y su respectivo motor eléctrico se realice considerando su eficiencia mecánica, factores de corrección respecto a la altitud del lugar y a la densidad del aire dentro de los ductos, en el caso de las máquinas rotatorias.
- El balance másico de energía entrega como resultado la temperatura del caudal mezclado a partir de los flujos de aire a 15°C y a 60°C. Además también entrega el valor del consumo másico de gases de combustión requerido por el sistema.
- En la práctica se considera la temperatura de los gases producto de combustión del GLP en aproximadamente 1000°C, dato que fue confirmado por el análisis estequiométrico de su reacción de combustión.
- Dentro de las características de la unidad calefactora de aire están; Propulsora pues favorece el intercambio de calor con el elemento calefactor, tipo Gabinete porque se provee a la unidad de una estructura metálica soportante fácilmente acoplable al trazado de los ductos, por último Combustión Indirecta ya que los gases de escape y el flujo de aire no se mezclan para lograr la captación de calor como sucedería en la combustión directa.
- La combustión directa genera saturación de CO₂ en el interior de la cabina lo cual resulta desfavorable porque afecta el acabado de la pintura y pone en riesgo a la salud d los pintores a pesar de su excelente rendimiento térmico.

ILUMINACIÓN

- Una buena iluminación, aproximadamente 800 luxes, ayuda al pintor en la percepción fotocromática del color en la fase del pintado.

ANÁLISIS ESTRUCTURAL DE LA CABINA

- Al ser construida de tubo cuadrado de 40x40x2mm y no poseer cargas considerables sobre ella se puede asegurar firmemente que no existirá problemas en cuanto a su deformación.

SISTEMA DE CONTROL

- Las termocuplas son instrumentos eficaces para este tipo de proyectos por su amplio rango de trabajo, exposición a atmósferas de condiciones severas y por su bajo requerimiento de precisión.
- Los ventiladores centrífugos son la mejor opción porque superan altas presiones con grandes caudales además de su bajo nivel sonoro.
- Los dampers de hojas opuestas mejoran la distribución de flujo dentro de los ductos y generan menor caída de presión en el sistema.
- Cuando la tolerancia de temperatura con la que trabaja el horno no es alta se prefiere usar un quemador de encendido ON/OFF específicamente por su tiempo de respuesta. Por el contrario en lugares donde un grado centígrado es crucial para el proceso se recomienda instalar quemadores modulares que poseen en su interior un PLC para reducir el tiempo de encendido.
- Dentro de la constitución misma del sistema de control, se ha tomado la precaución de restringir el encendido del quemador cuando no se haya energizado previamente el ventilador de suministro, caso contrario ocasionaría daños considerables en el intercambiador de calor.
- La implementación del controlador de temperatura facilita la operación de la cabina-horno puesto que el operador decide la temperatura a la cual se va a trabajar en la fase de pintado cuando el aire exterior está por debajo de los 15°C.

- El uso de relés térmicos proporcionará protección a cada artefacto que reciba alimentación eléctrica.

RECOMENDACIONES

- Verificar las condiciones del lugar donde se desea instalar una cabina-horno, entre las mas aconsejables tenemos; espacio disponible tanto para el habitáculo como para los ductos de aire y equipos, provisto de techo o cubierta para protegerla de la intemperie, etc.
- Acoger las sugerencias técnicas emitidas por el cuerpo de bomberos pues son ellos quienes certifican el nivel de seguridad y prevención contra incendios en instalaciones que utilizan combustibles como fuente de energía.
- Reducir los costos de fabricación de la cabina-horno sin alterar las condiciones operativas ni requerimientos constructivos mínimos para no obtener resultados poco satisfactorios.
- Vigilar permanentemente las normativas de seguridad industrial que deben cumplir los operarios que laboran en la construcción de la cabina.
- Planificar las tareas de construcción en función de las condiciones metereológicas pues ellas pueden influir drásticamente en el cumplimiento de los objetivos.
- Cumplir satisfactoriamente con las instrucciones de mantenimiento y el manual de operación de modo que se labore con total normalidad.
- Colocar el motor eléctrico fuera del ducto de aire, tanto en extracción como en suministro, puesto que las partículas de pintura o los vapores de los solventes químicos pueden dañar su bobinado. Para ello se recomienda adquirirlo blindado.
- Verificar que no exista desbalance en el funcionamiento del grupo de ventilación, motor – ventilador, puesto que puede degenerar en inestabilidad general del sistema e incluso de la cabina misma.

- Verificar que el cableado que se dirige a los distintos artefactos esté adecuadamente dirigido y protegido contra humedad u otros factores que puedan dañarlo.
- Proteger con cajas a los equipos eléctricos y electrónicos de la lluvia, viento, entre otros.
- Señalizar correctamente el tablero de control y todos los dispositivos que intervienen en el funcionamiento de la cabina-horno.
- Proteger los equipos con relés térmicos y fusibles para evitar daños permanentes en ellos.

REFERENCIAS

- ACGIH (American Conference of Governmental Industrial Hygienist), Industrial Ventilation Manual of Recomended Practice, 24th Edition, 2001.
- ASHRAE – HVAC APPLICATIONS 1995
 - o Chapter 42 Automatic Control
 - o Chapter 43 Sound and Vibration Control

- ASHRAE – HVAC SYSTEMS AND EQUIPMENT
 - o Chapter 9 Air Distribution Design for Small Heating and Cooling Systems
 - o Chapter 16 Duct Construction
 - o Chapter 17 Air Diffusing Equipment
 - o Chapter 18 Fans
 - o Chapter 26 Automatic Fuel Burning Equipment
 - o Chapter 28 Furnaces
 - o Chapter 30 Chimney, Gas Vent and Fireplaces Systems
 - o Chapter 31 Unit Ventilators, Unit Heaters and Makeup Units.

- ASHRAE – FUNDAMENTALS 1997
 - o Chapter 17 Combustion and Fuels
 - o Chapter 25 Ventilation and Infiltration
 - o Chapter 28 Nonresidential Cooling and Heating Load Calculations.
 - o Chapter 31 Space Air Diffusion
 - o Chapter 32 Duct Design
 - o Chapter 33 Pipe Slzing
 - o Chapter 35 Units and Conversions
 - o Chapter 36 Physical Properties of Materials
 - o Chapter 37 Fundamentals of Control

- MCQUISTON, P, S. Calefacción, Ventilación y Aire Acondicionado, Limusa Wiley, primera edición, 2002

- INCROPERA, W. Fundamentos de Transferencia de Calor, Pearson Educación, cuarta edición.
- CENGEL, B. Termodinámica Tomo II, McGraw Hill, segunda edición
- <http://www.americasprideonline.com/autobody/Master/airflow.html>
- <http://www.autobodytoolmart.com/8548.html>
- http://www3.mapfre.com:80/cesvimaprevista/revista42/calidad42_1.htm
- <http://www.aspersa.com/archivos/servicio1101490170.jpg>
- http://www.amcold.com/images/exploded_view.gif
- http://www.ballero.com/astra_ibercab/astra3.html
- <http://www.cesvimap.biz/e16/PDF/MPinturaEXTRACTO.pdf>