

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA

DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN CUARTO DE SECADO DE PINTURA ELECTROSTÁTICA PARA TABLEROS ELÉCTRICOS COMBINANDO ENERGÍA RENOVABLE Y NO RENOVABLE.

PROYECTO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO MECÁNICO

JOSÉ ANDRÉS PORTALANZA BRITO

joseandres667@hotmail.com

DIRECTOR: ING MIGUEL DARÍO ORTEGA LÓPEZ, Msc.

migueldarioortega@hotmail.com

Quito, Febrero 2014

DECLARACIÓN

Yo, JOSE ANDRES PORTALANZA BRITO, declaro bajo juramento que el trabajo aquí descrito es de mi autoría; que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

A través de la presente declaración cedo los derechos de propiedad intelectual correspondientes a este trabajo, a la Escuela Politécnica Nacional, según lo establecido por la ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y por normativa institucional vigente.

JOSE ANDRES PORTALANZA BRITO

CERTIFICACIÓN

Certifico que bajo mi dirección, el presente proyecto de titulación fue realizado en su totalidad por el señor: JOSE ANDRES PORTALANZA BRITO.

Ing. Miguel Ortega, MSc.
DIRECTOR DEL PROYECTO

Ing. Daniel Zapata
COLABORADOR

AGRADECIMIENTOS

A mi madre Elena, por su amor y cariño. Por su compañía y fortaleza, por darme fuerzas cada día para superar todos los retos que se me presentan.

A mi padre Armando, por su apoyo. Por demostrarme que la vida está lleno de retos que hay que superar y concluirlos de la mejor manera.

A mis hermanos y hermanas que me aconsejaron durante toda la vida y me apoyaron de una u otra forma a culminar con este trabajo.

A mi novia por su amor constante y por soñar cada día por un futuro próspero.

A mis amigos 8 y ½, Marco T., Pancho, Edison, Ricardo, Dianita, Diego C., por compartir tantos buenos momentos.

Al Ingeniero Miguel Ortega, por apoyarme en la realización de este proyecto desde el comienzo cuando más lo necesitaba, hasta finalizarlo. Por todos los consejos muy bien brindados para crear un diseño innovador y creativo.

Al resto de amigos y conocidos que hicieron que el transcurso de mi vida estudiantil sea acogedora.

JOSÉ ANDRÉS

DEDICATORIA

El presente proyecto se lo dedico a todas las personas
que siempre confiaron en mí, en especial:

A mis padres

A mis hermanos

Amigos y compañeros.

JOSÉ ANDRÉS

CONTENIDO

ÍNDICE

DECLARACIÓN.....	i
CERTIFICACIÓN	ii
AGRADECIMIENTOS.....	iii
DEDICATORIA	iv
CONTENIDO.....	v
ÍNDICE	v
ÍNDICE DE FIGURAS	xv
ÍNDICE DE TABLAS.....	xix
SIMBOLOGÍA	xxi
RESUMEN	xxv
PRESENTACIÓN.....	xxviii
CAPÍTULO I.....	1
FUNDAMENTOS	1
1.1 ESTUDIO DE LA PINTURA ELECTROSTÁTICA.....	2
1.1.1 ELEMENTOS CONSTITUYENTES DE LA PINTURA EN POLVO	2
1.1.2 PROPIEDADES MECÁNICAS	3
1.2 COMPARACIÓN ENTRE DIFERENTES TIPOS DE PINTURAS	4
1.2.1 EPOXI	4
1.2.2 EPOXI - POLIÉSTER.....	4

1.2.3	POLIÉSTER T.G.I.C	5
1.3	TRATAMIENTO DE GALVANIZACIÓN	6
1.3.1	DESENGRASADO	7
1.3.2	ENJUAGUE.....	7
1.3.3	DECAPADO	7
1.3.4	ENJUAGUE.....	7
1.3.5	FLUX.....	8
1.3.6	ZINC FUNDIDO	9
1.4	VIDA ÚTIL DEL ACERO GALVANIZADO.....	9
1.5	PRE PROCESO DE PINTADO PARA LÁMINAS DE TOL GALVANIZADO CON PINTURA ELECTROSTÁTICA.....	9
1.5.1	DESENGRASADO	10
1.5.2	FOSFATIZADO	10
1.5.3	SECADO	11
1.6	PROCESO PARA LA APLICACIÓN DE PINTURA ELECTROSTÁTICA.....	11
1.7	CICLONES O RECOLECTADORES DE PINTURA EN POLVO	13
1.8	SISTEMAS CONVENCIONALES PARA CUARTOS DE SECADO	14
1.8.1	SISTEMAS ELÉCTRICOS	14
1.8.2	SISTEMA INFRARROJO	14
1.8.3	QUEMADOR A GAS	16
1.9	CARACTERÍSTICAS ESENCIALES PARA EL SECADO DE LA PINTURA ELECTROSTÁTICA.	16
1.10	INSPECCIÓN DEL TABLERO PINTADO	17
1.10.1	MEDICIÓN DEL ESPESOR.....	17
1.10.2	EVALUACIÓN DE LA ADHESIÓN.....	18
1.10.3	EVALUACIÓN DEL SECADO.....	18

1.10.3.1 Prueba de dureza con lápiz (ASTM D 3363)	18
1.10.3.2 Prueba de papel lija	18
1.11 IDENTIFICACIÓN DEL TABLERO ELÉCTRICO	18
1.11.1 USOS DEL TABLERO ELÉCTRICO	19
1.11.2 VIDA ÚTIL	19
1.11.3 PROCESO DE PRODUCCIÓN	20
CAPITULO II.....	22
ALTERNATIVAS RENOVABLES Y NO RENOVABLES.	22
2.1 FUENTE DE ENERGÍA	22
2.1.1 ENERGÍAS RENOVABLES	22
2.1.2 ENERGÍAS NO RENOVABLES	23
2.2 ESTUDIO DE LAS ENERGÍAS RENOVABLES	23
2.2.1 ENERGÍA SOLAR	24
2.2.2 ENERGÍA EÓLICA	25
2.2.2.1 Ventajas de la energía eólica	25
2.2.2.2 Desventajas de la energía eólica.....	26
2.2.3 ENERGÍA HIDRÁULICA.....	26
2.2.4 ENERGÍA GEOTÉRMICA	27
2.2.5 ENERGÍA MAREOMOTRIZ.....	28
2.2.6 ENERGÍA UNDIMOTRIZ.....	28
2.3 ESTUDIO DE LAS ENERGÍAS NO RENOVABLES	29
2.3.1 COMBUSTIBLES FÓSILES	30
2.3.1.1 Petróleo	30
2.3.1.2 Carbón.....	31
2.3.1.3 Gas natural	32

2.3.2	COMBUSTIBLES NUCLEARES.....	33
2.4	SELECCIÓN ENTRE ALTERNATIVAS RENOVABLES.....	34
2.5	SELECCIÓN ENTRE ALTERNATIVAS NO RENOVABLES	38
2.6	ESTUDIO DE LAS DISTINTAS FORMAS DE GENERACIÓN DE ENERGÍA CON RADIACIÓN SOLAR.	39
2.6.1	RECURSO ENERGÉTICO DISPONIBLE.....	39
2.6.1.1	Componentes de la radiación solar	40
2.6.1.1.1	Radiación solar directa	40
2.6.1.1.2	Radiación solar difusa.....	40
2.6.1.1.3	Radiación solar reflejada	41
2.6.1.1.4	Radiación solar global.....	41
2.6.2	INSTRUMENTOS DE MEDIDA	41
2.6.2.1	Heliógrafo	42
2.6.2.2	Termómetro ambiental.....	43
2.6.2.3	Termohigrómetro	44
2.6.2.4	Anemómetro	44
2.6.3	COLECTORES SOLARES SIN CONCENTRACIÓN, $C=1$	46
2.6.3.1	Colectores solares planos sin cubierta	46
2.6.3.2	Colectores solares planos con cubierta.....	47
2.6.3.3	Colectores de tubos al vacío	47
2.6.4	COLECTORES SOLARES CON CONCENTRACIÓN, $C>1$	48
2.6.4.1	Concentrador solar cilindro parabólico	49
2.6.4.2	Concentrador paraboloides de revolución.....	50
2.6.5	PANELES SOLARES FOTOVOLTAICOS.....	50
2.6.5.1	Ventajas de la energía solar fotovoltaica	51

2.6.5.2 Desventajas de la energía solar fotovoltaica	51
2.6.6 JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO CON ENERGÍA RENOVABLE.....	51
2.7 ESTUDIO DE LAS DISTINTAS FORMAS DE GENERACIÓN DE ENERGÍA CON LOS DERIVADOS DEL PETRÓLEO.....	52
2.7.1 GAS LICUADO DE PETRÓLEO (GLP).....	52
2.7.2 DIÉSEL.....	53
2.7.3 JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO CON ENERGÍA NO RENOVABLE ...	53
2.8 PROCEDIMIENTO PARA EL CÁLCULO DE LOS COEFICIENTES DE TRANSFERENCIA DE CALOR.....	54
2.8.1 FLUJO INTERNO	55
2.8.1.1 Flujo laminar	55
2.8.1.2 Flujo turbulento.....	56
2.8.1.3 Coeficiente interno de transferencia de calor	57
2.8.2 FLUJO EXTERNO.....	57
2.9 COEFICIENTE GLOBAL DE TRANSFERENCIA DE CALOR.....	59
2.10 MÉTODO DE LA DIFERENCIA MEDIA LOGARÍTMICA DE TEMPERATURA	60
2.11 MÉTODO DE LA EFICIENCIA VS NTU	61
2.12 PROCEDIMIENTO DE CÁLCULO PARA EL DISEÑO DE LA CHIMENEA....	62
2.13 PROCEDIMIENTO DE CÁLCULO DE PRESIÓN DEL VENTILADOR.....	64
2.13.1 CAÍDA DE PRESIÓN EN DUCTOS	67
2.13.1.1 Pérdidas por fricción.....	68
2.13.1.2 Pérdidas por cambio de sección.....	68
2.13.2 CAÍDA DE PRESIÓN EN INTERCAMBIADOR DE CALOR.....	69
2.13.3 PRESIÓN TOTAL REQUERIDA.....	69
2.13.4 PRESIÓN ESTÁTICA PARA LA SELECCIÓN DEL VENTILADOR	70

2.14 PROCEDIMIENTO DE CÁLCULOS Y SELECCIÓN DE LOS COMPONENTES DEL SISTEMA FOTOVOLTAICO.....	70
2.14.1 PANELES FOTOVOLTAICOS.....	71
2.14.2 FORMA DE CONECTAR PANELES SOLARES	72
2.14.3 EFECTO DE LA TEMPERATURA SOBRE EL SISTEMA	73
2.14.4 COMPONENTES PRINCIPALES DE UN SISTEMA DE PANELES FV ..	74
2.14.4.1 Regulador de carga	74
2.14.4.2 Baterías o acumuladores.....	75
2.14.4.3 Inversores de voltaje	76
2.14.5 ENERGÍA TOTAL CONSUMIDA.....	76
2.14.6 CÁLCULO Y SELECCIÓN DEL NÚMERO DE PANELES	77
2.14.7 CÁLCULO Y SELECCIÓN DE LAS BATERÍAS	78
2.14.8 CÁLCULO Y SELECCIÓN DEL REGULADOR DE CARGA	79
2.14.9 SELECCIÓN DEL INVERSOR	79
2.15 SISTEMA DE CONTROL	80
2.15.1 TERMOCUPLA.....	81
2.15.2 CONTROLADOR O PLC.....	81
2.15.3 ACTUADORES ELÉCTRICOS.....	82
2.15.4 SOFTWARE DE PROGRAMACIÓN.....	82
CAPITULO III.....	84
DISEÑO DEL CUARTO DE SECADO.....	84
3.1 ESTRUCTURA DEL CUARTO DE SECADO	84
3.1.1 ESTRUCTURA 1	84
3.1.2 ESTRUCTURA 2	85
3.1.3 ESTRUCTURA 3	85

3.1.4 SELECCIÓN DE LA ALTERNATIVA DE ESTRUCTURA.....	87
3.1.5 VOLUMEN INTERNO.....	88
3.2 CÁLCULO DEL CALOR TOTAL.....	89
3.2.1 CALOR NECESARIO PARA CALENTAR LOS TABLEROS	89
3.2.2 CALOR PERDIDO EN LAS FRONTERAS	91
3.2.3 CALOR PARA CALENTAR LAS PLACAS INTERNAS DEL HORNO	94
3.2.4 CALOR PARA CALENTAR EL AIRE INTERNO INICIAL	95
3.2.5 POTENCIA TOTAL PARA EL INTERIOR DEL HORNO	95
3.3 ANÁLISIS DE LA COMBUSTIÓN DEL DIÉSEL	103
3.3.1 ECUACIÓN REAL DE LA COMBUSTIÓN DEL DIÉSEL	106
3.3.2 CÁLCULO DE LA TEMPERATURA ADIABÁTICA	110
3.3.3 CÁLCULO DEL FLUJO DE COMBUSTIBLE Y LOS GASES DE COMBUSTIBLE	112
3.4 SELECCIÓN DEL QUEMADOR DE DIÉSEL	113
3.4.1 TEMPERATURA DE SALIDA DE LOS GASES DE COMBUSTIÓN	114
3.4.2 PROPIEDADES DE LOS GASES DE COMBUSTIÓN	115
3.5 ANÁLISIS DEL INTERCAMBIADOR DE CALOR.....	116
3.5.1 TRANSFERENCIA DE CALOR POR CONVECCIÓN FORZADA	116
3.5.2 CANTIDAD DE FLUJO MÁSICO DE AIRE.....	117
3.5.3 TEMPERATURA DE SALIDA DEL AIRE A TRAVES DEL ARREGLO DE TUBOS	118
3.6 DETERMINACIÓN DE LOS COEFICIENTES DE TRANSFERENCIA DE CALOR CON EL QUEMADOR DE diésel	119
3.6.1 CALOR TRANSFERIDO POR EL ARREGLO DE TUBOS 1.....	120
3.6.1.1 Flujo interno.....	120
3.6.1.2 Flujo externo.....	122

3.6.1.3 Coeficiente global de transferencia de calor para los tubos	124
3.6.1.4 Método de la diferencia media logarítmica de temperatura	125
3.6.1.5 Calor transmitido por el arreglo de tubos.....	126
3.6.2 CALOR TRANSFERIDO DESDE EL HOGAR DEL INTERCAMBIADOR DE CALOR	127
3.6.2.1 Flujo externo.....	127
3.6.2.2 Calor transferido por el hogar.....	128
3.6.3 CALOR TRANSFERIDO POR EL ARREGLO DE TUBOS 2.....	129
3.6.3.1 Flujo interno.....	129
3.6.3.2 Flujo externo.....	131
3.6.3.3 Coeficiente global de transferencia de calor para los tubos	133
3.6.3.4 Método de la diferencia media logarítmica de temperatura	134
3.6.3.5 Calor transmitido por el arreglo de tubos.....	134
3.6.4 CALOR TOTAL TRANSFERIDO DESDE EL INTERCAMBIADOR DE CALOR	134
3.7 DISEÑO DE LA CHIMENEA.....	135
3.8 CÁLCULO DE PRESIÓN DEL VENTILADOR.....	137
3.8.1 CAÍDA DE PRESIÓN EN DUCTOS	137
3.8.2 CAÍDA DE PRESIÓN EN INTERCAMBIADOR DE CALOR.....	139
3.8.2.1 Caída de presión en el arreglo de tubos 1.....	139
3.8.2.2 Caída de presión en el arreglo de tubos 2.....	140
3.8.3 PRESIÓN TOTAL REQUERIDA.....	141
3.8.4 PRESIÓN ESTÁTICA PARA LA SELECCIÓN DEL VENTILADOR	141
3.9 SISTEMA DE PANELES SOLARES FOTOVOLTAICOS	142
3.9.1 ENERGÍA TOTAL CONSUMIDA.....	142
3.9.2 CÁLCULO Y SELECCIÓN DEL NÚMERO DE PANELES	145

3.9.3 CÁLCULO Y SELECCIÓN DE LAS BATERÍAS	146
3.9.4 CÁLCULO Y SELECCIÓN DEL REGULADOR DE CARGA	146
3.9.5 SELECCIÓN DEL INVERSOR	147
CAPÍTULO IV	149
CONSTRUCCIÓN, MONTAJE Y PRUEBA	149
4.1 CONSTRUCCIÓN DE LA ESTRUCTURA DE LAS PAREDES	150
4.2 CONSTRUCCIÓN DE LOS ESPEJOS DE LOS GASES DE COMBUSTIÓN	152
4.3 CONSTRUCCIÓN DEL HOGAR DE LOS GASES DE COMBUSTIÓN	153
4.4 CONSTRUCCIÓN DEL INTERCAMBIADOR DE CALOR	155
4.5 POSICIONAMIENTO DEL SISTEMA FOTOVOLTAICO	156
4.5.1 ÁNGULO DE AZIMUT	156
4.5.2 ÁNGULO DE INCLINACIÓN	158
4.6 PRUEBAS EN EL CUARTO DE SECADO	159
4.6.1 ANÁLISIS DE RESULTADOS	162
4.7 MANUAL DE OPERACIÓN DEL CUARTO DE SECADO	163
4.8 SEGURIDAD INDUSTRIAL PARA LA OPERACIÓN DEL CUARTO DE SECADO	164
4.8.1 SEÑALIZACIÓN DEL LUGAR DE TRABAJO	165
4.8.2 EQUIPO DE SEGURIDAD INDUSTRIAL PARA LOS OPERARIOS	169
4.9 MANTENIMIENTO DEL CUARTO DE SECADO	170
CAPITULO V	174
ANÁLISIS ECONÓMICO	174
5.1 COSTOS DE MATERIALES	174
5.2 COSTOS DE FABRICACIÓN	174
5.3 COSTOS DE EQUIPOS	176

5.4 COSTOS DE ENSAMBLAJE Y MONTAJE	177
5.5 COSTOS INDIRECTOS	178
5.6 COSTO TOTAL	178
5.7 RENTABILIDAD DEL SISTEMA FOTOVOLTAICO	179
CAPITULO VI	181
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	181
BIBLIOGRAFIA	184
ANEXOS	186

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. 1 Tiempo de curado de la pintura epoxi	4
Figura 1. 2 Tiempo de curado de la pintura epoxi – poliéster (híbridas)	5
Figura 1. 3 Tiempo de curado de la pintura poliéster T.G.I.C.....	5
Figura 1. 4 Pistola para la aplicación de pintura electrostática.....	12
Figura 1. 5 Equipo para pintado de pintura en polvo.....	12
Figura 1. 6 Ciclón para pintura electrostática	13
Figura 1. 7 Hornos eléctricos para secado de pintura en polvo	14
Figura 1. 8 Hornos infrarrojos para el secado de pintura electrostática	15
Figura 1. 9 Paneles infrarrojos	15
Figura 1. 10 Horno a gas para pintura electrostática	16
Figura 1. 11 Tablero eléctrico mediano	19
Figura 2.1 Diversas fuentes de energía	23
Figura 2. 2 Parque eólico de Sierra de los Caracoles, Uruguay.....	25
Figura 2. 3 Represa hidroeléctrica Agoyan, Ecuador	27
Figura 2. 4 Planta geotérmica de Nesjavellir en Islandia.....	28
Figura 2.5 Principio de funcionamiento de un equipo mareomotriz.....	29
Figura 2.6 Equipo undimotriz en operación.....	29
Figura 2.7 Diagrama de descomposición de diésel en una torre de destilación....	31
Figura 2.8 Reservas de carbón en el mundo	32
Figura 2. 9 Central Nuclear en China	33
Figura 2. 10 Componentes de la radiación solar	40
Figura 2. 11 Heliógrafo.....	43
Figura 2. 12 Termómetro ambiental y termo higrómetro.	44
Figura 2. 13 Anemómetro.....	45
Figura 2. 14 Colectores Solares Planos.....	47
Figura 2. 15 Colector solar de tubos al vacío	48

Figura 2. 16 Concentrador cilíndrico parabólico.....	49
Figura 2. 17 Concentrador Paraboloides de Revolución.....	50
Figura 2. 18 Tipos de intercambiadores de calor cruzados.....	54
Figura 2.19 Arreglos de tubos en un banco. (a) Alineados. (b) Escalonados.....	58
Figura 2.20 Representación de un tubo del intercambiador de calor.	60
Figura 2. 21 Componentes de un panel solar fotovoltaico	71
Figura 2. 22 Efecto de la temperatura en la corriente y el voltaje	73
Figura 2. 23 Regulador de carga Morningstar – SunSaver	75
Figura 2. 24 Componentes de una batería de energía eléctrica	75
Figura 2. 25 Inversor de voltaje.....	76
Figura 2.26 Tipos de termopares y su respectivo rango de temperatura	80
Figura 2. 27 Componentes de un PLC.....	81
Figura 2. 28 Forma de conexión de un motor a través de un PLC.....	82
Figura 3.1 Estructura 1 con simulación de la trayectoria del aire dentro del cuarto de secado	85
Figura 3. 2 Estructura 2 con simulación de la trayectoria del aire en el cuarto de secado	86
Figura 3. 3 Estructura 3 con simulación de la trayectoria del aire en el cuarto de secado	86
Figura 3. 4 Vista superior interna del cuarto de secado (Distancias en metros) ...	88
Figura 3. 5 Vista Frontal interna del cuarto de secado (Distancias en metros)	89
Figura 3. 6 Diagrama de flujo de calor necesario en el cuarto de secado.....	90
Figura 3.7 Representación de las pérdidas en la frontera.....	92
Figura 3. 8 Representación de las pérdidas en el piso.....	93
Figura 3. 9 Representación de un sólido enfriado en un medio frío	96
Figura 3. 10 Cambio de temperatura en función del número de Biot	97
Figura 3. 11 Cambio de la temperatura en función del tiempo	100
Figura 3. 12 Simulación de la temperatura del aire del cuarto de secado durante los 6 primeros minutos	102

Figura 3. 13 Comparación del calentamiento del aire y de las láminas de los tableros eléctricos considerando un aumento de 7.5°C/min en la temperatura del aire	102
Figura 3. 14 Quemador Wayne	104
Figura 3. 15 Componentes de un quemador de líquido por pulverización de presión directa	105
Figura 3. 16 Curva característica CFM vs KW	117
Figura 3. 17 Vista del hogar y del arreglo de tubos 1 del cuarto de secado, modelado en SolidWorks.....	120
Figura 3.18 Medidas internas del espejo del intercambiador de calor de los gases de combustión.	122
Figura 3.19 Variación de temperaturas entre el fluido caliente (gases) y el fluido frío (aire).	125
Figura 3. 20 Vista lateral del intercambiador de calor en el cuarto de secado	129
Figura 3.21 Medidas internas del espejo del intercambiador de calor de los gases de combustión.	131
Figura 3. 22 Simulación codo rectangular en el inferior de la cámara de transferencia de calor	137
Figura 3. 23 Intersección del hogar en la trayectoria del aire	138
Figura 3. 24 Quemador instalado	143
Figura 3. 25 Motor del ventilador Siemens	143
Figura 4. 1 Símbolos para la elaboración de diagramas de procesos.....	149
Figura 4. 2 Proceso de construcción de la estructura de las paredes.....	150
Figura 4.3 Simulación de la estructura del cuarto de secado.....	151
Figura 4. 4 Proceso de construcción de los espejos del intercambiador de calor.....	152
Figura 4.5 Simulación del ducto de los gases de combustión.....	153
Figura 4.6 Proceso de construcción del hogar	154
Figura 4. 7 Simulación del hogar de los gases de combustión	154
Figura 4. 8 Simulación del intercambiador de calor sin tapas laterales.....	155
Figura 4.9 Proceso de construcción del intercambiador de calor	156

Figura 4. 10 Ángulo de azimut respecto al generador fotovoltaico.....	157
Figura 4. 11 Ángulo de inclinación	158
Figura 4. 12 Vista isométrica del cuarto de secado con la ubicación de la primera termocupla	160
Figura 4. 13 Vista isométrica del cuarto de secado con la ubicación de la segunda termocupla	160
Figura 4. 14 Variación de temperatura en función del tiempo dentro del cuarto de secado	162
Figura 4. 15 Equipo de Protección para los operarios.....	169

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. 1 Pre – proceso para el pintado de pintura electrostática	1
Tabla 1. 2 Tratamiento de galvanizado	1
Tabla 1. 3 Tabla comparativa de características	6
Tabla 1. 4 Total de años de protección según el tipo de atmósfera	10
Tabla 2. 1 Alternativas renovables	34
Tabla 2. 2 Criterios para la selección de alternativas	34
Tabla 2. 3 Ponderación a las alternativas renovables según los criterios	36
Tabla 2. 4 Ponderación de las alternativas modificada	37
Tabla 2. 5 Selección de la alternativa renovable	37
Tabla 2. 6 Heliofanía promedio de la ciudad de Riobamba	42
Tabla 2. 7 Temperatura ambiental (°C) de la Ciudad de Riobamba	43
Tabla 2. 8 Velocidad promedio del viento en la Ciudad de Riobamba	45
Tabla 2. 9 Clasificación de los ventiladores centrífugos	65
Tabla 3. 1 Matriz de ponderación para la selección del tipo de estructura	87
Tabla 3. 2 Propiedades del acero y del aire para el cálculo del tiempo de estabilización	98
Tabla 3. 3 Cambio de temperatura en función del tiempo	99
Tabla 3. 4 Entalpías de reactantes y productos de la combustión del diésel.	111
Tabla 3. 5 Temperaturas de los productos de la combustión del diésel	112
Tabla 3.6 Propiedades de los gases de combustión a varias temperaturas.	115
Tabla 3. 7 Análisis del flujo másico de aire	118
Tabla 3.8 Propiedades de los gases de combustión a 820°K	121
Tabla 3.9 Propiedades del aire a 310.05 °K	123
Tabla 3. 10 Constantes para la ecuación de Zhukauskas	128

Tabla 3. 11 Características del motor del quemador.....	143
Tabla 3. 12 Características del motor del ventilador	144
Tabla 4. 1 Datos geográficos de Riobamba	158
Tabla 4. 2 Ángulo de inclinación en función de la latitud.....	159
Tabla 4. 3 Medición de temperaturas con el horno en funcionamiento	161
Tabla 4. 4 Colores de seguridad y significado.....	166
Tabla 4. 5 Colores de contraste	167
Tabla 4. 6 Señales de seguridad con sus respectivos colores.....	167
Tabla 4. 7 Señales de aviso, precaución y seguridad	168
Tabla 4. 8 Consideraciones para el uso de equipo de protección.....	169
Tabla 4. 9 Mantenimiento del Intercambiador de calor	171
Tabla 4. 10 Mantenimiento del Cuarto interno	171
Tabla 4. 11 Mantenimiento de los Ventiladores	172
Tabla 4. 12 Mantenimiento del Quemador	172
Tabla 4. 13 Mantenimiento del sistema fotovoltaico.....	173
Tabla 5. 1 Costos de Materiales.....	175
Tabla 5. 2 Costos de Fabricación.....	176
Tabla 5. 3 Costos de Equipos	177
Tabla 5. 4 Costos de ensamblaje y montaje	177
Tabla 5. 5 Costos indirectos.....	178
Tabla 5. 6 Costo total	178

SIMBOLOGÍA

I	Radiación Solar incidente en la superficie terrestre
G_0	Constante solar o radiación que llega a la atmósfera
$\cos \phi$	Coseno del ángulo de latitud geográfica,
n	Número de horas de sol brillante al día (heliofanía).
N	Número máximo de horas de sol al día en la localidad
v_m	Velocidad media
Re_D	Número de Reynolds
\dot{m}_{fluido}	Flujo másico del fluido
N	Numero de tubos
ρ	Densidad
A_t	Área transversal
D	Diámetro
μ	Viscosidad cinemática
C_p	Calor específico
k	Conductividad térmica
L	Longitud
h	Coefficiente de convección
f	Rugosidad de la superficie
Pr	Número de Prant
Nu	Número de Nusselt
H_{tubos}	Altura del intercambiador de calor
$N_{espacios}$	Número de espacios entre tubos

S_T	Espaciado transversal
S_L	Espaciado Longitudinal
v_{aire}	Velocidad del aire
\dot{m}_{aire}	Flujo másico del aire
$A_{p_{aire}}$	Área transversal del intercambiador de calor
v_{max}	Velocidad máxima del aire
A_i	Área interior
A_o	Área exterior
A_m	Área media
s	Espesor del tubo
U	Coefficiente global de transferencias de calor
ΔT_{max}	Variación máxima de temperaturas
ΔT_{min}	Variación mínima de temperaturas
Q	Calor total
N_t	Número total de tubos del intercambiador de calor.
F	Factor de corrección.
ΔT_{ml}	Diferencia media logarítmica de temperatura
C_{min}	Capacitancia mínima
C_{max}	Capacitancia máxima
ϵ	Eficiencia
Cr	Razón de capacitancias
A_{tc}	Área de transferencia de calor
A_{hogar}	Área del hogar
NTU	Número de transferencia de unidades

P	Diferencial de presión (tiro disponible).
P_c	Carga de la velocidad a la salida.
P_f	Pérdidas por rozamiento.
P_b	Pérdidas por curvaturas o cambios de sección.
H_{ch}	Altura de la chimenea por encima de la entrada.
T_g	Temperatura media de los gases de combustión.
m_{ch}	Flujo másico de los gases de combustión.
v_g	Velocidad de los gases de combustión
A_{ch}	Área de la chimenea
g	Gravedad
f_{ch}	Factor de fricción
n	Factor de velocidades
h	Diferencia de presión dinámica.
N_L	Número de líneas de tubos.
X	Factor de correlación.
$P_{I.C}$	Pérdidas del Intercambiador de calor
$mm\ c. d. a$	Milímetros de columna de agua
Pa	Pascales
$w. c$	Pulgadas de columna de agua
$P_{est.}$	Presión estática
A	Amperaje
V	Voltaje
W	Watts
FV	Fotovoltaicos

E_d	Consumo de energía
t_c	Tiempo de consumo por día
E_p	Energía de los paneles
W_p	Potencia Pico
I_d	Tiempo de Intensidad HPS
N_p	Número de paneles
W_{pp}	Potencia pico nominal del panel
<i>Tamaño</i>	Energía hora acumulados por la batería
<i>AUT</i>	Autonomía de días sin brillo solar
R_b	Eficiencia de la batería
D_b	Descarga máxima de la batería
A_h	Cantidad de Amperios hora suministrada por la batería
N_{tableros}	Número de tableros
V_{tablero}	Volumen total de los tableros
e	Espesor
$C_{12}H_{23}$	Composición química del diésel
CO_2	Dióxido de carbono
\hat{h}_f^o	Entalpia de formación.
\hat{h}	Entalpia sensible en estado especificado.
\hat{h}^o	Entalpia sensible en el estado de referencia
<i>AC</i>	Relación aire combustible

RESUMEN

El presente proyecto se fundamenta en el diseño y construcción de un horno o cuarto de secado para pintura electrostática de tableros eléctricos para la empresa Solelec.S.A.

Se inicia con la recopilación de la información acerca de los aspectos fundamentales sobre la pintura electrostática en polvo, así como su forma de aplicación y su clasificación, para determinar que pintura electrostática es la más conveniente para la empresa y de esta manera verificar cual es la temperatura de operación del cuarto de secado. Además de realizar un estudio acerca de los tableros eléctricos como es su aplicación y su forma de construcción.

Se investiga cuáles son las formas más representativas de verificar si la pintura electrostática en polvo de un tablero eléctrico se encuentra bien secada o curada y de esta manera controlar que el producto pintado se encuentre listo para la venta.

Posteriormente se realizó un estudio de las diferentes formas de generación de energía o calor entre energías renovables y no renovables y a través de varios criterios de selección y determinar que energía renovable y no renovable es más acorde para el proyecto.

A través de la experiencia y visualización de varios hornos se seleccionó cual debe ser el tipo de flujo de transferencia de calor en este caso el flujo cruzado a través de un banco de tubos; y de esta manera realizar un estudio de la forma de cálculo de los coeficientes de transferencia de calor, tan útiles para determinar el calor extraído desde los gases de combustión hacia el aire que calienta el horno o cuarto de secado.

Así como se realizó el estudio de los coeficientes de transferencia de calor, también se estudia los procedimientos para diseñar y construir la chimenea y el ventilador para alta temperatura, que son partes fundamentales para el funcionamiento del cuarto de secado.

Una vez seleccionada el tipo de energía renovable, se determina cuáles son las partes fundamentales para el correcto uso de dicha energía. Además de estudiar las partes

constituyentes del sistema de control básico para el funcionamiento del cuarto de secado.

A continuación, se inicia con el diseño del cuarto de secado, analizando varias alternativas de estructuras y seleccionando la más eficiente con respecto a varios criterios de selección; para posteriormente determinar las dimensiones necesarias para el cuarto de secado de tableros eléctricos.

A través de los programas de dibujo y simulación Inventor Autodesk y Solidworks, se realiza todo el dimensionamiento y ensamble de las partes constituyentes del cuarto de secado.

El punto clave para el diseño del cuarto de secado es la determinación del calor que se debe vencer para alcanzar la temperatura de equilibrio y de esta manera poder polimerizar la pintura electrostática en polvo.

Posteriormente, se realiza un estudio de los quemadores líquidos como sus partes constituyentes y de esta manera determinar las propiedades de la combustión del diésel así como la selección del quemador diésel.

A continuación se determina el calor proporcionado por la combustión del diésel hacia el aire y verificar si el calor difundido por los tubos y el hogar de transferencia de calor es el necesario para que cumpla con los requerimientos antes mencionados.

Además de verificar el calor necesario, se diseña partes tan importantes como la chimenea y el ventilador. Una vez obtenido el consumo eléctrico de los equipos del cuarto de secado, se determina y selecciona los componentes necesarios para el funcionamiento del sistema fotovoltaico.

Posteriormente se realiza el capítulo de construcción, prueba y montaje; en donde se indica el procedimiento a seguir para la construcción de las diferentes partes del cuarto de secado para luego poder ensamblarlo totalmente. Luego se determinan las temperaturas comparando con tiempos para verificar los tiempos utilizados en los cálculos. Y finalmente se realiza una verificación de las propiedades mecánicas de la pintura electrostática en los tableros eléctricos.

Finalmente se realiza un estudio económico de la construcción y puesta en marcha del cuarto de secado, además de determinar un tiempo de recuperación de la inversión del sistema fotovoltaico.

PRESENTACIÓN

La utilización de la pintura electrostática en polvo ha incrementado en los últimos años ya sea por sus excelentes propiedades mecánicas o por su facilidad de recolección de residuos de pintura para su próximo uso, lo cual lo hace muy rentable.

Es por esta razón que la mayoría de industrias han tratado de implementar este método de pintura para la protección de sus equipos y herramientas, ya que tiene excelentes propiedades al impacto y a la corrosión, que son las más grandes desventajas cuando lo comparamos con el método convencional de pintura líquida.

Para el curado o secado de la pintura electrostática en polvo se hace necesario que el cuarto de secado tenga una temperatura uniforme en todos los puntos que lo constituyen. Además de que el aire que caliente al cuarto no tenga una velocidad alta, que pueda desprender la pintura en polvo que se depositó en los tableros eléctricos.

Un proceso de calentamiento uniforme del tablero eléctrico dentro del cuarto de secado, hace que el tiempo de curado de la pintura en polvo disminuya; por lo tanto las 2 variables esenciales que se deben controlar son la temperatura y el tiempo de exposición de calor en la pintura.

A partir de estas condiciones se realizó el siguiente proyecto, que se enfoca en el diseño y construcción de un cuarto de secado para tableros eléctricos para una mediana empresa de la ciudad de Riobamba, ya que con anterioridad realizó el estudio económico de la adquisición de los tableros metálicos y les traía grandes pérdidas económicas.

En el presente proyecto se ha enfocado en disminuir los costos de producción del cuarto de secado de pintura en polvo, así como de diseñar un sistema más compacto tratando de eliminar ductos o distancias innecesarias sin dejar a un lado el objetivo principal del proyecto, el secado uniforme de los tableros eléctricos.

CAPÍTULO I

FUNDAMENTOS

Este capítulo presenta una visión global de la empresa SOLELEC S. A.; ya que los gastos de adquisición de tableros eléctricos son muy elevados, en comparación con los costos de fabricación de dichos tableros.

El estudio principal de este capítulo se basa: en la pintura electrostática, el material que se realiza para el pintado (tol galvanizado), proceso de aplicación de la pintura, las pruebas que deben realizarse para comprobar el buen acabado de la pintura electrostática en el tablero, etc.

Tabla 1. 1 Pre – proceso para el pintado de pintura electrostática

Pre – Tratamiento	
Número	Proceso
1	Desengrasado
2	Fosfatizado
3	Secado

Tabla 1. 2 Tratamiento de galvanizado

Tratamiento	
Número	Proceso
1	Desengrasado
2	Enjuague
3	Decapado
4	Enjuague
5	Flux
6	Zinc Fundido

Elaboración: Propia.

1.1 ESTUDIO DE LA PINTURA ELECTROSTÁTICA

La pintura en polvo es una mezcla homogénea de cargas minerales, pigmentos y resinas en forma sólida, en forma de partículas finas, que se aplica con un equipamiento especial (pistola electrostática para polvo), en el que se mezcla con aire y se carga eléctricamente. Las partículas cargadas eléctricamente se adhieren a la superficie a ser pintada, que está conectada a tierra. Las partículas de pintura en polvo que permanecen adheridas a la pieza por carga estática son inmediatamente calentadas en un horno donde se transforman en un revestimiento continuo.

1.1.1 ELEMENTOS CONSTITUYENTES DE LA PINTURA EN POLVO¹

Este tipo de pintura en polvo está constituido fundamentalmente de resinas, que son las encargadas de dar el brillo, además para que la superficie alcance características de acabado, adherencia, resistencia a la corrosión y durabilidad, muy superiores a los procesos de pinturas tradicionales. Para obtener un buen recubrimiento en la pieza se recomienda que la pintura posea un porcentaje entre el 50 - 55% del peso total de resina.

Además se constituye de endurecedores que son los encargados de reaccionar con las resinas y formar la polimerización. Este tipo de endurecedor varía dependiendo del tipo de resina que se vaya a utilizar, por lo tanto, el porcentaje de endurecedor dentro de la pintura se tomaría como una constante dependiendo de la resina utilizada.

Otro componente importante, son los pigmentos, encargados en dar el color a la pintura. De igual manera, no existe un porcentaje exacto ya que depende de la tonalidad y color exacto que se necesite. Entre las principales características que deben tener los pigmentos es no decolorarse al momento del secado, es decir, soportar altas temperaturas.

Por último y no menos importantes se encuentran las cargas y los aditivos; las cargas son las encargadas de brindar importantes propiedades mecánicas como son la

¹ <http://www.igm.mex.tl/imagesnew2/0/0/0/0/1/6/9/7/5/8/Pintura%20Electrostatica.pdf>

resistencia al impacto, además de quitar brillo excesivo que dejan la cantidad excesiva de resina en la pintura. Los aditivos, siendo el componente de menor porcentaje dentro de la pintura, son los encargados del aspecto y acabado de la pintura para que llegue a ser homogénea.

Cuando la pintura se funde los componentes químicos, en este caso las resinas, reaccionan entre sí formando una película. El resultado es un revestimiento uniforme, de alta calidad, adherido a la superficie, atractivo y durable.

1.1.2 PROPIEDADES MECÁNICAS²

Analizando sobre chapas desengrasadas y debidamente fostatizadas, con un espesor de 50 a 60 micras, técnicamente polarizadas de acuerdo con los ciclos recomendados se tienen las siguientes propiedades:

1. Brillo Gradener a 60° UNE 48026	85%
2. Resistencia a cuadrícula UNE 48099	100%
3. Dureza Presos UNE 48024	250 DOS.
4. Dureza lápiz INTA 160302	2H
5. Embutición Ericen UNE 48183	8 mm
6. Plegado cilíndrico UNE 48169 con mandril de 5mm	Excelente
7. Ensayo de Impacto INTA 160266 con bola 12.5 mm de diámetro.	Directo e inverso, 70kilos/cm ²

² TAMAYO, EDWIN; Diseño y construcción de un horno para el curado de pintura electrostática; TESIS EPN; 1995.

1.2 COMPARACIÓN ENTRE DIFERENTES TIPOS DE PINTURAS³

Entre las principales tipos de pintura electrostática se puede mencionar a 3, que representan el mayor porcentaje de consumo dentro de las industrias, entre las cuales tenemos: la epoxi, la poliéster-Tgic y la epoxi/poliéster (hibrida). Cada uno de este tipo de pinturas se utilizan para diferentes aplicaciones, con lo cual se debe tener en cuenta: la corrosión, la resistencia al impacto y si se encuentran en el interior o exterior.

1.2.1 EPOXI

Pintura Constituida por resinas epoxi puras, fueron las primeras desarrolladas y se las utilizan principalmente en piezas que precisan una alta resistencia química, se recomienda para uso en interiores con fines funcionales.

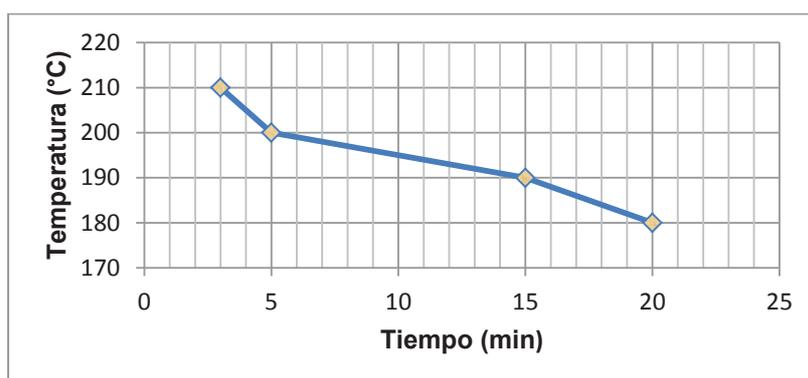


Figura 1. 1 Tiempo de curado de la pintura epoxi

Elaboración: Propia.

1.2.2 EPOXI - POLIÉSTER

Pintura constituida por resinas poliésteres endurecidas por resinas epoxis, son de uso extendido para aplicaciones interiores. Ver el tiempo de curado para esta pintura en la Fig. 1.2.

³ <http://www.igm.mex.tl/imagesnew2/0/0/0/0/1/6/9/7/5/8/Pintura%20Electrostatica.pdf>

1.2.3 POLIÉSTER T.G.I.C

Pintura constituida por resinas poliéster endurecidas por triglicidil isocianurato; desarrolladas principalmente para uso exterior, con una excelente resistencia UV. Ver el tiempo de curado para esta pintura en la Fig. 1.3.

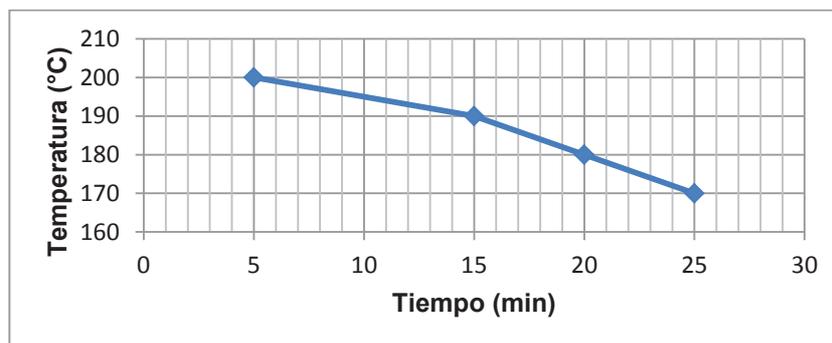


Figura 1. 2 Tiempo de curado de la pintura epoxi – poliéster (híbridas)

Elaboración: Propia.

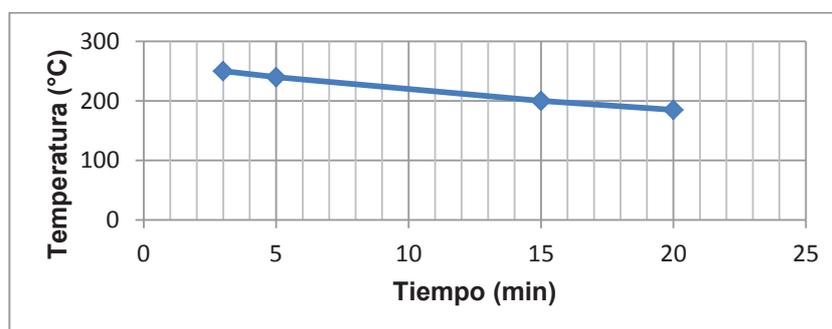


Figura 1. 3 Tiempo de curado de la pintura poliéster T.G.I.C

Elaboración: Propia.

Como se puede observar en la Tabla 1.3, el tipo de pintura electrostática que posee mejores propiedades físicas, químicas y mecánicas, son la pintura Poliester/Tgic, sin embargo al hablar de costos es un tipo de pintura de costo muy elevado, ya que tiene resinas poliéster endurecidas por triglicidil isocianurato; y fueron fabricados para que dichos objetos sean utilizados exteriormente.

Tabla 1. 3 Tabla comparativa de características

	Epoxi	Híbridas	Poliéster/Tgic
Dureza	excelente	muy buena	muy buena
Flexibilidad	excelente	excelente	excelente
Resistencia al sobre-horneo	mediocre	muy buena	excelente
Resistencia al exterior	mala	mala	excelente
Resistencia a la corrosión	excelente	muy buena	muy buena
Resistencia Química	muy buena	excelente	muy buena
Propiedades Mecánicas	regular	buena	muy buena

Fuente: www.igm.mex.tl/imagesnew2/0/0/.../Pintura%20Electrostatica.pdf

(Wiley, & Sons, 2002)

De acuerdo a la empresa SOLELEC S. A., los tableros eléctricos son fabricados para utilizarlos interiormente, por lo que no necesitan buenas propiedades al exterior. Por lo que utilizar el tipo de pinturas híbridas es una muy buena opción tanto físicamente como económicamente ya que son de un costo económico menor a comparación de la Poliester/Tgic.

1.3 TRATAMIENTO DE GALVANIZACIÓN

A pesar de que el tratamiento es relativamente simple, todas las etapas del tratamiento se deben controlar exactamente, para obtener un recubrimiento de óptima calidad y sobre todo que proteja al acero de la corrosión, al posible peligro de daños metálicos, etc.

Las etapas del galvanizado se distribuye en orden específico empezando con desengrasado, enjuague, decapado, enjuague, flux.

1.3.1 DESENGRASADO

Consiste en remover de la superficie del acero residuos de grasas, aceites, entre otros tipos de lacas y pinturas. Comúnmente se utilizan compuestos desengrasantes alcalinos. Se utilizan las soluciones alcalinas por su menor costo y mucho más eficientes.

1.3.2 ENJUAGUE

Mediante agua limpia, se realiza el enjuague para evitar el traslado de líquido de la limpieza cáustica al decapado.

1.3.3 DECAPADO

Su finalidad es remover los óxidos de la superficie del acero. Comúnmente se utilizan soluciones a base de Ácido Clorhídrico o Sulfúrico, ya que operan a temperatura ambiente y su contaminación es menor en las siguientes etapas.

La utilización de un aditivo que contenga inhibidor es primordial, ya que cuando se pone en contacto el ácido con el acero, se disuelve el metal. Entre los principales aditivos están aquellos que eviten la emanación de neblina acida e idealmente que ayuden a la limpieza adicional del metal.

1.3.4 ENJUAGUE

Nuevamente se realiza un enjuague con agua limpia para evitar el traslado de ácido y hierro en solución, ya que contaminan el flux y el zinc fundido. De igual manera como en el proceso de decapado, existen aditivos que disminuyen considerablemente el traslado de estos contaminantes.

1.3.5 FLUX

Su función principal es disolver los óxidos leves que se han formado en la superficie del acero, luego de haber pasado por las etapas del decapado y lavado. Se utiliza una solución acuosa de Cloruro de Zinc y Amonio, la cual protege a la superficie para que no vuelva a oxidarse y asegure un recubrimiento uniforme de zinc en el proceso posterior del galvanizado.

Para un óptimo desempeño del proceso flux, posteriormente las piezas deben secarse y precalentarse antes de sumergirlas en el galvanizado.

Para el proceso flux existen varios tipos de compuestos de Cloruro de Zinc y Amonio. De igual manera existen otros fluxes que admiten mayor tiempo de secado, mayor temperatura de precalentado, que ayuda al siguiente proceso; todo esto depende de la optimización del desengrasado, decapado y enjuague del acero.

Entre los principales requerimientos para el proceso flux están:

- La disminución de emisión de humos y cenizas, lo cual influye en la calidad del galvanizado. Esto se puede evitar utilizando fluxes que soporten mayores temperaturas.
- La disminución de presencia de contaminantes durante el proceso flux y las pérdidas de zinc.
- El hierro en forma de sales solubles, arrastrado desde el decapado a su lavado posterior es el contaminante más crítico. Ya que aumenta la formación de escoria en la masa fundida de zinc, lo cual crea capas desiguales en la siguiente etapa del galvanizado.
- Mantener una baja concentración de hierro en el proceso flux ajustando el PH alrededor de 5. Lo cual mantendrá el hierro soluble por debajo de un 0.5%.
- Es primordial un horno de secado después del proceso flux tanto para el secado como para el precalentamiento. Pero si no existiese un horno de secado es conveniente operar el flux a una temperatura entre 55 – 75 °C.

1.3.6 ZINC FUNDIDO

Para finalizar el proceso de galvanizado, se sumerge el acero en un crisol de zinc fundido a 450 °C para que se adhieran, y se forme una capa uniforme. La reacción de difusión entre los metales da como resultado la formación de una barrera impermeable que protege a las superficies metálicas del medio ambiente.

Aspecto del Recubrimiento

ETA 100% Zn

ZETA 94% Zn 6% Fe

DELTA 90% Zn 10%Fe

GAMMA 75% Zn 25%Fe

ACERO BASE

1.4 VIDA ÚTIL DEL ACERO GALVANIZADO

El acero desprotegido tiene un promedio de vida de tan solo dos años antes de que se afecte su funcionalidad o integridad estructural, en cambio, los recubrimientos galvanizados obtenidos en instalaciones apropiadas, generalmente duran como mínimo diez años sin necesidad de mantenimiento alguno, incluso en las peores condiciones atmosféricas. En la tabla 1.4 se muestra los años de protección dependiendo del espesor de zinc y del tipo de atmósfera en la que se encuentra.

1.5 PRE PROCESO DE PINTADO PARA LÁMINAS DE TOL GALVANIZADO CON PINTURA ELECTROSTÁTICA.

Ya que el tol galvanizado se trata de un acero realizado un pre - tratamiento de galvanización, ya solo necesita de un pequeño procedimiento para poder aplicar la pintura electrostática.

Tabla 1. 4 Total de años de protección según el tipo de atmósfera

TIPO DE ATMÓSFERA	ESPESOR DE ZINC EN MICRONES											
	10	20	33	43	53	66	76	86	96	106	119	129
	AÑOS DE PROTECCIÓN HASTA 5% DE OXIDACIÓN DE LA SUPERFICIE											
RURAL	7	12	19	25	31	38	43	50	57	62	68	74
MARINO TROPICAL	5	10	15	20	24	29	33	39	43	48	53	58
MARINO TEMPLADO	4	9	13	17	21	26	30	35	39	43	48	51
SUBURBANO	3	6	10	14	18	21	24	29	32	36	40	42
MODERADAMENTE INDUSTRIAL	2	4	8	11	14	18	21	24	28	31	34	38
INDUSTRIAL PESADO	1	2	4	7	9	11	13	15	15	19	21	22

Fuente: <http://www.tecnomit.com.uy/Productos.html>

El procedimiento para poder aplicar la pintura electrostática se divide en 3 principales fases: desengrasado, fosfatizado y secado.

1.5.1 DESENGRASADO

Como en cualquier otro pre - proceso de pintado, se debe realizar una limpieza global de la pieza, principalmente para retirar grasas y aceites de la superficie a ser pintada.

El desengrasado se realiza con un limpiador altamente alcalino entre 40 – 45 puntos de alcalinidad, compuesto principalmente por hidróxido de sodio, además de silicatos, carbonatos y emulsificantes solubles al agua en pequeñas cantidades. Su temperatura de trabajo es de 66 grados centígrados.

1.5.2 FOSFATIZADO

Este tipo de proceso es indispensable antes del proceso de pintar, ya que la pintura no se adhiera uniformemente a la superficie de la pieza. El fosfatado como su nombre lo

dice, es el proceso en el cual se pone en contacto a la pieza directamente con un recubrimiento de fosfato de zinc o hierro.

Los cristales de fosfato y de zinc, forman una capa fina y densa, la cual puede ser modificada por el tiempo, condiciones de temperatura en el proceso y variaciones químicas.

Por ser el tol galvanizado, un metal con un pre tratamiento de galvanización, se lo protege altamente del proceso de corrosión.

1.5.3 SECADO

Una de las características importantes, antes de realizar el pintado de las placas de tol galvanizado es el secado previo, ya que una superficie seca y limpia, ayuda a que la pintura electrostática se adhiera mejor a las placas, y de esta manera tener una superficie uniforme sobre la placa y disminuir el consumo de pintura utilizada.

Entre los objetivos principales que se puede nombrar están:

- Alcanzar una temperatura suficiente para que se llegue a evaporar todo residuo de líquido, tanto del proceso de desengrasado como del fosfatado, ya que la adherencia perfecta de la pintura depende de tener una superficie completamente seca.
- Si se puede elevar la temperatura de la placa, esto ayudaría ya que al aumentar la temperatura, la capa de espesor de 100 μm , que normalmente se adhiere aumentaría a 150 μm , que es lo más recomendable.

1.6 PROCESO PARA LA APLICACIÓN DE PINTURA ELECTROSTÁTICA⁴

El proceso para la aplicación de la pintura electrostática se lo realiza con un equipo especial, en principio se asigna mangueras por las cuales circula la pintura en polvo, a

⁴ <http://www.igm.mex.tl/imagesnew2/0/0/0/0/1/6/9/7/5/8/Pintura%20Electrostatica.pdf>

través de un sistema de vacío creado por aire comprimido a alta velocidad, que ingresa a una pistola de pulverización electrostática, y es la misma con la que aplicamos la pintura a los tableros eléctricos.

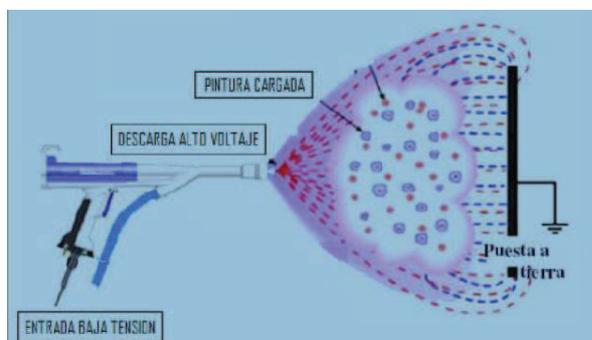


Figura 1. 4 Pistola para la aplicación de pintura electrostática

Fuente: Francescutti, 2007.

Como regla general, cuando se realiza el pintado de pintura en polvo, el objeto a ser pintado debe estar conectado a tierra, ya que el polvo se encuentra cargado electrostáticamente.

Posteriormente en un horno el polvo es endurecido, al momento que el tablero llegue a la temperatura establecida. Dicha temperatura varía según el espesor del tablero a ser pintado, pero se puede establecer un tiempo entre 20 y 25 minutos. También el tiempo depende de la clase de pintura aplicada al tablero. Existen pinturas que requieren menor tiempo y temperatura (150°C) pero con un costo más elevado, además existen otras pinturas que son las más usadas ya que su costo es menor pero el tiempo de secado aumenta así como la temperatura (170°C).



Figura 1. 5 Equipo para pintado de pintura en polvo

Fuente: <http://www.powdertronic.com/equipos/equipos.html>

1.7 CICLONES O RECOLECTADORES DE PINTURA EN POLVO

Los ciclones se encargan de la recolección de la pintura en polvo que no se adhirió a los tableros eléctricos, y por lo tanto este proceso se lo realiza directamente dentro de la cabina de pintado.

Entre las principales ventajas de los ciclones tenemos:

- Reducción de las pérdidas de pintura, gracias a los ciclones con 1 Kg de pintura en polvo puede alcanzar a pintar 15 m² de superficie.
- Reducción de las pérdidas de pintura en polvo, es un aspecto económico importante, ya que dicho polvo recuperado será reutilizado y aunque siempre habrá un porcentaje de pérdida de dicho polvo, este será mínimo.
- Reducción del peligro de inhalación de pintura en polvo, ya que el tamaño de estas partículas varían entre 35 a 40 micrones y se mezclan fácilmente al aire circulante.



Figura 1. 6 Ciclón para pintura electrostática

Fuente: <http://www.olx.com.co/userlistings/TermoColor>

1.8 SISTEMAS CONVENCIONALES PARA CUARTOS DE SECADO

1.8.1 SISTEMAS ELÉCTRICOS

Este tipo de cuartos de secado o curado se emplea con resistencias eléctricas y convección forzada. También llamados cuartos electro – térmicos, este tipo de cuartos deja conducir una corriente eléctrica a través de un elemento resistivo que se encuentra rodeando por las paredes del cuarto de secado. También existen cuartos de secado que incrementan su temperatura desde el exterior, mediante un elemento calefactor que puede tomar la forma de una bobina de alambre enrollada e introducida en una tubo de material refractario. Este tipo de cuartos de secado son esenciales para aplicaciones donde el control de temperatura se necesite controlar de forma precisa.



Figura 1. 7 Hornos eléctricos para secado de pintura en polvo

Fuente: <http://www.mecahor.com/galeria/Photos/listing/hornos-de-coccion-y-estufas-de-secado-105/1>

Además de un buen sistema de suministro de energía en el interior del horno, se necesita aire circundante, que es el encargado de homogenizar la temperatura dentro del horno. Por lo cual se requiere un estudio de la teoría de transferencia de calor por convección forzada.

1.8.2 SISTEMA INFRARROJO

Es un sistema de secado de pintura en polvo más avanzado tecnológicamente y que abarca a un sin número de aplicaciones, ya que se aplica a cualquier material, ya sea

metal, madera, plástico u otro sustrato; sobre todo dará ventajas respecto a efectividad y velocidad de secado.

Los sistemas infrarrojos se fundamentan en paneles que poseen radiación electromagnética y se transmite la energía térmica desde estos paneles hacia un material, cuerpo o recubrimiento. Entre las principales fuentes de producción de energías radiantes están las ultravioletas, de radio frecuencia o infrarrojas.



Figura 1. 8 Hornos infrarrojos para el secado de pintura electrostática



Figura 1. 9 Paneles infrarrojos

Fuente: <http://www.sarsot.com.mx/lampara-infrarroja.html>

Entre las principales ventajas de los sistemas infrarrojos respecto a los sistemas que necesitan transporte de aire por convección forzada, es que no necesitan de dicho transporte ya que dicha energía radiante permanece estática, por lo tanto los sistemas infrarrojos resultan más efectivos por su rapidez y menor costo operacional.

1.8.3 QUEMADOR A GAS

Los quemadores a gas cumplen la misma teoría de utilizar la convección forzada como medio de transferencia de calor hacia los tableros eléctricos. Los quemadores son equipos especiales para poder realizar la combustión entre el gas y el oxígeno, que al mismo tiempo produce una llama, la misma que se aplica hacia el cuarto de secado.



Figura 1. 10 Horno a gas para pintura electrostática

Fuente: <http://www.cosmotex.net/hornos-industriales>

Para un buen funcionamiento de los quemadores a gas se requiere tener:

- Dimensiones y consumo de gas; estas dos características se relacionan entre si ya que al tener el cuarto de secado de dimensiones cada vez más elevadas, requiere mayor consumo de gas para mantener la temperatura idónea dentro del cuarto de secado.
- La alimentación eléctrica, la potencia eléctrica del motor y potencia térmica.
- Una buena estabilidad en la mezcla gas-aire, es decir en porcentajes suficientes necesarios para garantizar una buena combustión.

1.9 CARACTERÍSTICAS ESENCIALES PARA EL SECADO DE LA PINTURA ELECTROSTÁTICA.

- Entre las principales características de la pintura electrostática está aquella por la que solo necesita entre 5 y 10 minutos para que el secado sea perfecto, y no

se tenga que esperar varias horas para que se seque completamente como pasa con la pintura líquida.

- Otra característica muy importante es que se puede pintar hasta 15 metros cuadrados con 1 kg de pintura en polvo; no se chorrea, por lo que no se produce desperfectos al momento del secado.
- Una de las principales características es que solo se adhiere una capa muy fina, encima del objeto a ser pintado, por lo que se puede recoger y reutilizar la pintura que no fue ocupada.

1.10 INSPECCIÓN DEL TABLERO PINTADO⁵

El buen acabado de pintura en el tablero eléctrico, depende de varios factores pero entre los principales están la temperatura y el tiempo de secado, estos 2 factores son los que predominan cuando se habla de un buen acabado en la pintura electrostática. Si se quiere obtener un pintado satisfactorio es fundamental respetar las condiciones de secado dadas por el fabricante de la pintura. De igual manera si no se respeta los rangos establecidos, puede existir un sobre secado, del cual se puede obtener consecuencias tales como: cambio de color, disminución de brillo, manchado y disminución o eliminación de las propiedades mecánicas.⁶

Existen varias maneras de comprobar que la pintura del tablero posea un buen acabado, como es: medición del espesor, evaluación de la adhesión y evaluación del secado.

1.10.1 MEDICIÓN DEL ESPESOR

La medición del espesor se lo realiza después del secado completo de los tableros y depende si ha alcanzado el espesor en el rango de aceptabilidad especificado. Dicho

⁵ CARRILLO, G., GUERRERO, B.; Diseño, construcción y automatización de un horno para el curado de pintura electrostática para el centro de producción E.S.P.E sede Latacunga; Tesis ESPE; 2010.

⁶ Arnum, 2007

valor puede verificarse en cualquier momento sin que se dañe la capa de recubrimiento en el tablero.

1.10.2 EVALUACIÓN DE LA ADHESIÓN

La prueba de adhesión según la norma ASTM D 3359 se lo realiza por el método de corte con navaja en forma de cruz o de cuadrícula dependiendo del espesor de película seca. Los resultados son de carácter cualitativo basados en una escala visual con seis niveles de adherencia, evaluando el grado de resquebrajamiento en los bordes.

1.10.3 EVALUACIÓN DEL SECADO

1.10.3.1 Prueba de dureza con lápiz (ASTM D 3363)

La dureza es la resistencia de una película al rayado o raspadura superficial. En este ensayo se utilizan lápices de dureza con escala: 5B – 4B – 3B – 2B – B – HF – H – 2H – 3H – 4H – 5H. Y se recomienda empezar el rayado con lápices de menor dureza (B), hasta lograr el corte de la película. El valor de la dureza será aquel inmediatamente anterior al lápiz que causa el daño o logra cortar el recubrimiento.⁷

1.10.3.2 Prueba de papel lija

Este proceso se realiza posterior a la prueba de dureza con lápiz, es decir cuando las pinturas tienen gran dureza en su acabado. Cuando el secado se realiza correctamente y se lija, se forma un polvillo, caso contrario, se vuelve pegajoso cuando se pasa la lija, esto indica un mal secado de la pintura electrostática.

1.11 IDENTIFICACIÓN DEL TABLERO ELÉCTRICO

El tablero eléctrico es el punto de paso ineludible de la corriente eléctrica, en él se instala un conjunto de aparatos que aseguran: la distribución de la energía eléctrica, la

⁷ De La Cruz, 2004

protección de los circuitos, la protección de las personas, y el control - mando de la instalación.

En un tablero eléctrico se concentran los dispositivos de protección y de maniobra de los circuitos eléctricos de la instalación. En el caso de instalaciones residenciales este tablero generalmente consiste en una caja en cuyo interior se montan los interruptores automáticos respectivos.

1.11.1 USOS DEL TABLERO ELÉCTRICO

Los usos que tiene el producto son netamente para emplearlos en el ámbito eléctrico, para lograr una instalación eléctrica segura, se debe contar con dispositivos de protección que actúen en el momento en el que se produce una falla (cortocircuito, sobrecarga o falla de aislamiento) en algún punto del circuito. De esta forma se evita tanto el riesgo para las personas de sufrir "accidentes eléctricos", como el sobrecalentamiento de los conductores y equipos eléctricos, previniendo así el daño en el material y posibles causas de incendio.



Figura 1. 11 Tablero eléctrico mediano

Fuente: <http://articulo.mercadolibre.com.ar>

1.11.2 VIDA ÚTIL

Después de haber realizado un estudio del producto de mayor competencia, se ha analizado que el tablero eléctrico tiene un período de durabilidad de 10 años, su material y recubrimiento es de excelente calidad.

En Ecuador existe una gran variedad de clima se hace necesario la utilización de materiales de buena calidad.⁸

1.11.3 PROCESO DE PRODUCCIÓN

Para realizar los tableros de protección de elementos eléctricos necesitamos el siguiente proceso de producción:

1. Recepción

La materia prima que se recibe en el taller, va hacia la bodega donde el material espera hasta ser trasladado hacia la mesa de corte.

2. Cortado

El corte inicia con la medición luego con el trazado y finalmente con el cortado del material el cual será llevado hacia la máquina de doblado.

3. Prensado

El prensado se lo realiza luego del corte de acuerdo al gabinete que se va a realizar.

4. Troquel

Una vez obtenida la placa se troquela.

5. Doblado

En la máquina dobladora se mide y se coloca la plancha de acero laminado en frío para ser doblado a la medida y al ángulo requerido.

6. Taladrado

Se procede a hacer los agujeros de las partes móviles y de la parte donde serán montadas las ruedas.

7. Suelda de punto y Mig.

Se sueldan las partes del tablero.

8. Lavado y desengrasado

⁸ Catálogo de Productos BEAUCOUP

En esta parte del proceso las partes del tablero son llevadas al tanque para que aquí las partículas de grasa y polvo sean retiradas.

9. Pintado

Una vez desengrasado pasa al área de pintado donde se le da el color deseado por el cliente.

10. Horno

Una vez pintadas las partes del tablero son llevadas al horno para que esta se seque con mayor facilidad.

11. Ensamblado e Inspección

Se toman las partes a las cuales son ensambladas, se pone las bisagras, las chapas en la puerta, y se observa las unidades defectuosas y se retorna para su rectificación.

12. Empacado y almacenado

Procedemos a guardar en un cartón acorde al andador y se lo lleva a la bodega.

CAPITULO II

ALTERNATIVAS RENOVABLES Y NO RENOVABLES.

En este capítulo se analiza las energías renovables y no renovables, para posteriormente seleccionar una energía de cada una que mejor se adapte al proyecto a través de diferentes criterios de selección. Posterior a este procedimiento se analiza las alternativas seleccionada. Además se realiza el procedimiento de cálculo de algunos factores indispensables para la realización de este proyecto, tales como los coeficientes de transferencia de calor, los diseños de la chimenea o del ventilador.

2.1 FUENTE DE ENERGÍA

Los recursos energéticos son abundantes en toda la superficie terrestre, de lo cual toda la humanidad puede obtener energía para realizar sus actividad, solo se debe emplear un sistema adecuado para realizarlo.

La energía se la clasifica en base a la capacidad de reponerse, por lo que se clasifica en 2 grupos: energías renovables y energías no renovables.

2.1.1 ENERGÍAS RENOVABLES

Como su nombre lo dice, son todas aquellas fuentes de energía que se pueden regenerar o son renovables con el pasar del tiempo, ya sea de manera artificial o natural.

Esta energía siempre ha estado presente en la vida del ser humano pero no ha existido una manera eficiente de tratarlo, así que ya que se ha descubierto la manera de acumularlo hay que aprovecharlo de manera indefinida.

De igual manera, todavía falta mucha evolución de esta fuente de energía, por eso la mayoría de proyectos se deben emplear un sistema combinado entre energías renovables y no renovables.



Figura 2.1 Diversas fuentes de energía

Fuente: <http://juanes2001jj.blogspot.com/2012/10/fuentes-de-energia.html>

2.1.2 ENERGÍAS NO RENOVABLES

Son aquellas fuentes de energía que en algún momento de la historia pensaban que no se iban a acabar pero hoy en día se dan cuenta que es un recurso limitado en el planeta o que su regeneración es muy lenta para poder ser utilizadas.

Entre las principales fuentes están: carbón, gas natural, petróleo y sus derivados. Además de ser las principales fuentes de energía, dichas fuentes impulsan incluso la economía de muchos países como el Ecuador, provocando muchos daños ambientales por su combustión y por los desechos creados a partir de sus derivados.

2.2 ESTUDIO DE LAS ENERGÍAS RENOVABLES

Las energías renovables son la mejor alternativa que tiene el ser humano de suplir a las fuentes de energía convencionales, principalmente el reemplazo de los combustibles fósiles.

Dentro de varios puntos de vista está el aspecto ambiental, ya sea por el efecto contaminante, la explotación indiscriminada de los recursos naturales o el uso excesivo de los combustibles fósiles; se debe emplear un sistema secundario que nos ayude a utilizar nuevas fuentes de energía progresivamente.

Entre las principales fuentes de energía renovables esta la energía solar, eólica, hidráulica, geotérmica, entre otras que serán analizadas posteriormente.

2.2.1 ENERGÍA SOLAR

Es dicha energía que se la obtiene a través de la radiación solar. Dicha radiación se la aprovecha, almacenándola de diferentes formas, para luego transformarla en energía eléctrica o térmica.

Como se aclaró en la introducción de este proyecto, la energía solar, es una de las llamadas energías renovables o limpias, cuya potencia de radiación es variable, dependiendo principalmente de la posición del planeta respecto al sol, el momento del día y las condiciones atmosféricas.

Entre las principales características de la energía solar, como una fuente de irradiación hacia la superficie terrestre están:

- Gratuita, a pesar de las políticas de los gobiernos, la irradiación del sol siempre será gratuita.
- Fuente de energía ecológica y limpia.
- Energía abundante alrededor del mundo, su irradiación abunda en los sectores cerca de la línea ecuatorial.
- Tecnología accesible al medio, por ser una energía limpia no daña la superficie terrestre ni el medio ambiente.

2.2.2 ENERGÍA EÓLICA

La velocidad del viento atrae grandes fuentes de energía entre las cuales está la eólica, que aprovechando la energía cinética del viento hace mover turbinas, produciendo un torque que se transforma en energía eléctrica.

La energía del viento está relacionada con el movimiento de las masas de aire que se desplazan de áreas de alta presión atmosférica hacia áreas adyacentes de baja presión. Los vientos son generados a causa del calentamiento no uniforme de la superficie terrestre por parte de la radiación solar, entre el 1 y 2 % de la energía proveniente del sol se convierte en viento.



Figura 2. 2 Parque eólico de Sierra de los Caracoles, Uruguay.

Fuente: <http://es.wikipedia.org/wiki/Energia-eolica>.

2.2.2.1 Ventajas de la energía eólica

- Energía limpia, ya que no produce daños directos a la atmósfera ni necesita de residuos extraídos de la superficie terrestre.
- Puede ser instalado en casi todas partes, incluso en zonas desérticas, superficies cercanas a la costa o superficies áridas en donde no se puede cultivar.
- Puede conectarse comúnmente con fuente de energía solar fotovoltaica, y de este modo alimentar de suministro eléctrico a viviendas que no poseen redes integradas de electricidad o se encuentran muy alejadas.

- Posibilidad de construir parques eólicos en el mar, donde el viento es más fuerte, más constante y el impacto social es menor, aunque aumentan los costes de instalación y mantenimiento.

2.2.2.2 Desventajas de la energía eólica

- Debido a que la generación de viento no es constante, se debe emplear un sistema combinado para que trabaje cuando no exista el viento necesario para poder mover la turbina.
- Cuando se construye plantas de energía eólica alejadas de las urbanizaciones, se debe construir unas líneas de altas tensión que sean capaces de conducir el máximo de electricidad.
- Pueden existir vientos elevadamente altos que pueden sobrepasar las especificaciones del auto generador, además que la estructura puede resultar dañada por los esfuerzos que aparecen en el eje.
- La apertura de pistas y la presencia de operarios en los parques eólicos hace que la presencia humana sea constante en lugares hasta entonces poco transitados. Ello afecta también a la fauna y flora.

2.2.3 ENERGÍA HIDRÁULICA

Es la energía que aprovecha eficientemente la combinación entre la energía potencial y cinética, es decir se absorbe la energía de la caída de agua desde cierta altura, para hacerla pasar por turbinas a gran velocidad, provocando un movimiento giratorio que posteriormente se transforma en energía eléctrica por medio de generadores.

Este tipo de energía requiere instalaciones donde existan grandes cantidades de agua que puedan ser aprovechadas y luego depositarlas en lugares específicos. Así por ejemplo se puede aprovechar el agua proveniente de un río y luego de aprovechar su energía volver a depositar el agua extraída río abajo.

Sin embargo, la utilización más significativa la constituyen las centrales hidroeléctricas de presas, aunque estas últimas no son consideradas formas de energía verde por el alto impacto ambiental que producen.



Figura 2. 3 Represa hidroeléctrica Agoyan, Ecuador

2.2.4 ENERGÍA GEOTÉRMICA

Es la energía que aprovecha el calor que es transmitido hacia la superficie. Este calor interno calienta hasta las capas de agua más profundas. Dicho calor es extraído mediante la utilización de agua o vapor caliente. Probablemente, en la mayoría de veces la explotación se realiza con un número par de pozos, de modo que por un pozo se obtiene el agua caliente y por el otro se vuelve a reinyectar el agua, que la mayoría de los casos todavía posee una gran cantidad de calor.

Entre sus ventajas esta que es un recurso mucho más abundante que los tradicionales como petróleo, carbón o gas natural; además que los residuos producidos son mínimos y ocasionan menor impacto ambiental.

Su desventaja más pronunciada es la contaminación, cuando no se la trata correctamente puede contaminar aguas cercanas con arsénico o amoniaco.



Figura 2. 4 Planta geotérmica de Nesjavellir en Islandia

Fuente: http://es.wikipedia.org/wiki/Energía_geotérmica

2.2.5 ENERGÍA MAREOMOTRIZ

Es una energía renovable, que aprovecha las mareas altas y bajas que provienen del océano, utilizando un alternador para generar energía eléctrica. Para una mejor eficiencia de generación eléctrica se deben construir represas en las costas marítimas, que permitan generar energía con pequeñas diferencias de altura.

La relación que existe entre la cantidad de energía que se puede obtener y los costos, ha sido el mayor impedimento para que este tipo de energía sea utilizada. En la figura 2.5 se puede observar el funcionamiento de los equipos en la energía mareomotriz.⁹

2.2.6 ENERGÍA UNDIMOTRIZ

Es la energía que se origina por el movimiento de las olas mar adentro, obteniendo electricidad a partir de energía mecánica de dicho oleaje. Es la energía renovable más reciente, que presenta varias ventajas respecto a las otras energías, entre la principal ventaja esta que se puede predecir con más exactitud las condiciones geológicas optimas que permitan mayor eficiencia.

⁹ BRUITRÓN, R.; BURBANO, G.; Elaboración de una normativa para el diseño y diagnóstico de sistemas fotovoltaicos residenciales autónomos para el Ecuador; Tesis EPN; 2010.

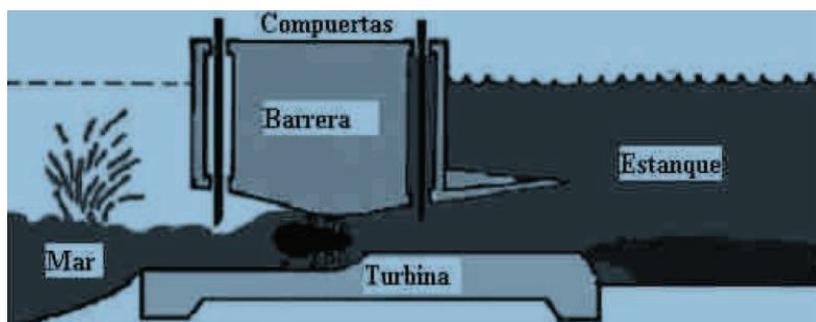


Figura 2.5 Principio de funcionamiento de un equipo mareomotriz¹⁰



Figura 2.6 Equipo undimotriz en operación.

Fuente: <http://www.eco2site.com/Informe-1823-Undimotriz-la-energia-oceanica>

2.3 ESTUDIO DE LAS ENERGÍAS NO RENOVABLES

Las energías no renovables son aquellas que necesitan de fuentes energéticas que se encuentran en la naturaleza pero que no se regeneran, es decir que su uso es limitado. Con el pasar de los años estas fuentes de energía no han sido capaces de sustituirse o tal vez solo se han sustituido en pequeñas cantidades, ya que no se ha elaborado un sistema de producción viable.

Según cálculos realizados, el planeta podría suministrar aproximadamente entre 40 y 50 años de reservas de petróleo y tal vez más de 200 años para reservas de carbón; es por esta razón que se debe investigar que otras fuentes de energía pueda suplantar a

¹⁰ BRUITRÓN, R.; BURBANO, G.; Elaboración de una normativa para el diseño y diagnóstico de sistemas fotovoltaicos residenciales autónomos para el Ecuador; Tesis EPN; 2010.

los combustibles fósiles, entre las alternativas más estudiadas están: las energías renovables, las pilas de hidrógeno, la energía nuclear fisible (no renovable) y la fusión nuclear.

Este tipo de energía puede clasificarse en 2 grandes grupos: combustibles fósiles y combustibles nucleares.

2.3.1 COMBUSTIBLES FÓSILES

Los combustibles fósiles más usados son el petróleo, el gas natural y el carbón; siendo el petróleo, el de mayor consumo pero de igual manera el que con más rapidez se agota. Los combustibles fósiles son formaciones provenientes de seres vivos que fueron enterrados hace millones de años en la superficie terrestre y que bajo condiciones adecuadas de presión y temperatura han adquirido propiedades energéticas.

2.3.1.1 Petróleo

Es una mezcla homogénea compuesta principalmente por hidrocarburos orgánicos (hidrógeno y carbono), junto con derivados saturados del metano, es conocido comúnmente como petróleo crudo (por ser extraído directamente de la superficie terrestre) o simplemente crudo. Es uno de los principales recursos naturales no renovables y que por su consumo excesivo se agota rápidamente. El petróleo líquido puede presentarse asociado a capas de gas natural.

Una vez extraído el petróleo de la capa interior de la tierra, pasa al proceso de refinamiento, en donde los componentes químicos del petróleo se separan y mediante la destilación se extraen productos conocidos como: propano, butano, gasolina, gasóleo, aceites lubricantes, asfalto, carbón de coque, etc. Todos estos productos, se obtienen en el orden descendiente en las torres de fraccionamiento.

El mayor problema con el petróleo es su alto nivel de contaminación con el medio ambiente, tanto en estado líquido (petróleo crudo), ya que el petróleo es insoluble en agua por lo que se hace muy difícil de limpiar, así también cuando se combustiona

(CO₂, óxidos de azufre, óxidos nitrosos), ya que dichos gases son dañinos a la capa atmosférica.

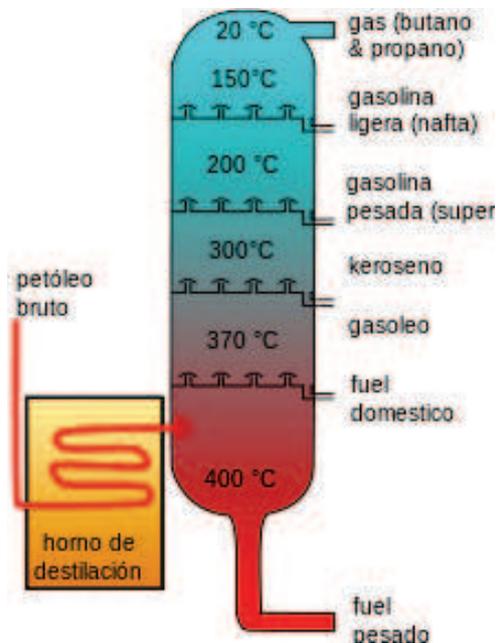


Figura 2.7 Diagrama de descomposición de diésel en una torre de destilación.

Fuente: <http://es.wikipedia.org/wiki/Petróleo>

2.3.1.2 Carbón

Es una roca sedimentaria, altamente constituida por carbono y que en la antigüedad fue muy utilizada en las fábricas antes de poder extraer el petróleo y el gas natural.

El carbón está distribuido mayoritariamente en el hemisferio norte, se presume que esto se debe, ya que hace varios millones de años, los continentes del hemisferio sur (África, América del Sur y Australia), eran un solo continente y que estaban ubicados muy cerca del polo sur, en donde por su clima no era propicio para la formación de grandes bosques.

Igual que con el petróleo, el carbón mineral también tiene un gran impacto ambiental, tanto en su explotación, como en su combustión. Al momento de quemarlo, se liberan grandes cantidades de gases responsables de efectos tan nocivos como la lluvia ácida, el efecto invernadero, la formación de smog, etc.

Si bien su aplicación más abundante fue la generación eléctrica y la producción de energía térmica, estas aplicaciones han perdido importancia, ya que se puede realizarlas con otros combustibles, como los derivados del petróleo; pero que tal vez en varios años, si no se encuentra un sustituto del petróleo, esta aplicación cobrará mayor importancia.

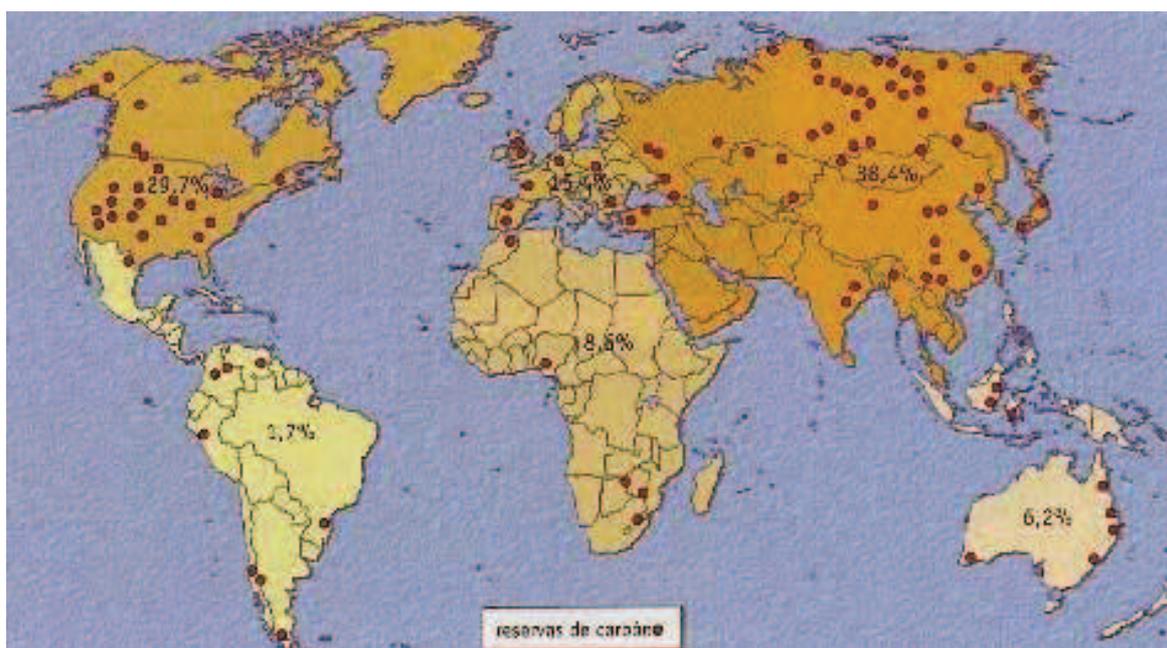


Figura 2.8 Reservas de carbón en el mundo

Fuente: <http://www.tecnun.es/asignaturas/Ecologia/Hipertexto/07Energ/110Carbón.htm>

2.3.1.3 Gas natural

Es un recurso energético originario de la descomposición de animales y plantas en la capa terrestre, mediante la presión del peso que se formaba sobre dichos organismos y con el calor de la tierra, formaron lentamente el petróleo crudo y el gas natural.

El gas natural se lo encuentra en porosidades de las rocas subterráneas o por debajo de rocas grandes que impiden que fluya. Está compuesto por varios hidrocarburos gaseosos entre los cuales está el metano, etano, propano, butano, dióxido de carbono y nitrógeno; siendo el metano el más representativo con un porcentaje entre el 90 – 95% del gas natural.

Una gran ventaja del gas natural, es que produce mucho menos CO₂, en comparación con el petróleo o el carbón; además que su combustión es más limpia y eficaz; aunque vale recalcar que la combustión de todos los combustibles fósiles, afecta al calentamiento global del planeta.

2.3.2 COMBUSTIBLES NUCLEARES

Esta energía solo es empleada en aquellos países que han realizado una gran investigación en la fisión nuclear, en donde el núcleo atómico de elementos pesados como el uranio o plutonio es desintegrado, para liberar energía radiante y cinética.

Este tipo de energía se asemejan a las centrales termoeléctricas, con la diferencia en que al momento de romper los átomos de minerales radiactivos se produce reacciones en cadena, producidos y controlados dentro de un reactor nuclear, para luego mover turbinas de vapor de agua que producen electricidad.

La mayor desventaja de este tipo de energía, es el gran impacto ambiental, ya que los residuos nucleares pueden llegar a tardar miles de años para desaparecer ya que tardan cientos de años de perder su radiactividad.



Figura 2. 9 Central Nuclear en China

Fuente: http://www.cnechile.cl/?attachment_id=207

2.4 SELECCIÓN ENTRE ALTERNATIVAS RENOVABLES

Primeramente se enumeran las alternativas de energías renovables, para posteriormente realizar un estudio sobre los criterios esenciales para la selección de la alternativa más idónea para el proyecto.

Tabla 2. 1 Alternativas renovables

A	Energía solar
B	Energía eólica
C	Energía hidráulica
D	Energía geotérmica
E	Energía mareomotriz
F	Energía undimotriz

Para cada uno de los criterios de selección se le adjudica un porcentaje de selección, dependiendo de la importancia que mantenga dentro de la construcción del proyecto.

Tabla 2. 2 Criterios para la selección de alternativas.

	Criterios de selección	Porcentaje %
I	Disponibilidad en el país	10
II	Bajo mantenimiento	20
III	Alto rendimiento	35
IV	Mayor investigación	20
V	Bajo costo	15
	TOTAL	100

Características de los criterios de selección

- Disponibilidad en el país

Este tipo de criterio de selección se refiere a cuanta materia prima se tiene para poder aprovechar de su poder calorífico y en qué porcentaje se da dentro del país. Es decir en la energía solar se tiene una radiación que se considera entre las más altas del mundo.

- Bajo mantenimiento

Se refiere a la necesidad que se tiene de realizar mantenimiento a la maquinaria que aprovecha los recursos naturales como materia prima. Mientras más alta es la puntuación, se requiere menor mantenimiento. Equipos avanzados como el mareomotriz o undimotriz, requieren de alto mantenimiento, por considerarse una energía variable. Mientras que los equipos utilizados para la adquisición de energía, tales como los paneles solares, requieren menor mantenimiento, ya que son fabricados para uso prolongado.

- Alto rendimiento

Este tipo de criterio viene a estar relacionado con la disponibilidad en el país, ya que si no se posee de radiación para los paneles solares, nos sería imposible obtener energía mediante este tipo de energía renovable. Siendo la energía del viento en nuestro país, la más propicia en cuanto se refiere al rendimiento, ya que somos un país en la cordillera, así como también rico en otros productos con un valor energético muy alto.

- Mayor investigación

Se refiere a la investigación que se ha realizado tanto dentro del país como afuera, y que tan accesible es implementar dicha investigación para el proyecto. De esta manera si citamos a un aerogenerador, ayudaría a alcanzar la potencia necesaria para funcionar motores o ventiladores dentro del proyecto, mientras que si elegimos a la

energía geotérmica, sería más complicado determinar el lugar exacto donde podemos encontrar la suficiente energía para alcanzar la temperatura que requerimos,

- Bajo costo

De igual manera que en el criterio de bajo mantenimiento, mientras mayor sea el valor asignado menor es el costo. No es difícil entender que para proyectos pequeños la energía solar o eólica; son las alternativas más coherentes ya que las otras energías requieren de una inversión excesivamente alta.

La ponderación se realiza a cada una de las alternativas, pero analizando cada uno de los criterios, dando valores del 1 al 10, siendo el 10 el de mayor importancia o más conveniente al proyecto y disminuyendo su valor, al disminuir la importancia.

Finalmente se realiza la selección de la alternativa más conveniente al proyecto, esta alternativa se la obtiene dividiendo todos los valores de las alternativas de la tabla 2.3 para su respectivo total dependiendo de la selección. Y luego realizando una multiplicación matricial entre la tabla 2.4 y los porcentajes de la tabla 2.2, en ese orden respectivamente.

Tabla 2. 3 Ponderación a las alternativas renovables según los criterios

	I	II	III	IV	V
A	10	9	9	10	8
B	8	8	8	8	7
C	8	8	7	7	4
D	7	7	9	8	3
E	7	6	7	6	5
F	5	6	8	6	3
TOTAL	45	44	48	45	30

Elaboración: Propia

Tabla 2. 4 Ponderación de las alternativas modificada

	I	II	III	IV	V
A	0.22222	0.20455	0.1875	0.22222	0.26667
B	0.17778	0.18182	0.16667	0.17778	0.23333
D	0.17778	0.18182	0.14583	0.15556	0.13333
E	0.15556	0.15909	0.1875	0.17778	0.1
F	0.15556	0.13636	0.14583	0.13333	0.16667
G	0.11111	0.13636	0.16667	0.13333	0.1
TOTAL	1	1	1	1	1

De esta manera podemos observar en la tabla 2.5 que la alternativa que mejor se adapta al proyecto es la energía solar, ya que posee las mejores ponderaciones en los criterios de selección.

Tabla 2. 5 Selección de la alternativa renovable

Alternativa	Porcentaje %
A	21.32
B	18.30
C	15.63
D	16.36
E	14.55
F	13.84
TOTAL	100

2.5 SELECCIÓN ENTRE ALTERNATIVAS NO RENOVABLES

Se podría realizar un estudio para la selección de la alternativa no renovable más beneficiosa para el proyecto como se lo hizo en el subcapítulo anterior, pero esto no es necesario ya que el Ecuador es un país muy rico en petróleo y por las siguientes aclaraciones se ha designado al petróleo como la fuente de energía no renovable:

- Primeramente para el Ecuador la economía más fuerte e importante es a través del petróleo, ya que las exportaciones del crudo en los últimos 10 años, se han realizado entre el 43 y 66% de la explotación total y se considera que entre el 43 y 53% del presupuesto general del Estado está basado básicamente de dichas exportaciones.
- La elaboración de combustibles nucleares para la generación de energía calorífica en nuestro país es nula, ya que la investigación de este tipo de combustibles comprende inversiones multi-millonarias y nuestro país siempre ha tratado de manejar de la manera más provechosa los recursos naturales.
- Al referirnos del carbón o carbón vegetal, nuestro país no ha sido favorecido con grandes nacimientos de este material, ya que la producción mayoritaria se encuentra en el hemisferio norte del globo terráqueo.
- La alternativa que más se asemeja al petróleo y que podría convenir al proyecto es la extracción del gas natural, pero en nuestro país es una tecnología que recién se encuentra en crecimiento en nuestro país siendo la extracción de gas natural del Campo Amistad en el Golfo de Guayaquil, la más grande en la actualidad. Se estima que la extracción diaria en este campo es de 45 millones de pies cúbicos, de los cuales casi el 90% es para la generación eléctrica y el resto se distribuye para algunas fábricas tales como Graiman en Cuenca y Edesa en Quito. La expectativa con la perforación de otros pozos dentro del Campo Amistad es llegar a extraer 300 millones de pies cúbicos al día y de esta forma almacenar este gas en tanques ya comprados a la empresa Inprocil para

la distribución en masa a varias empresas y disminuir el consumo de GLP, el cual es importado de otros países y además es subsidiado por el Estado.

2.6 ESTUDIO DE LAS DISTINTAS FORMAS DE GENERACIÓN DE ENERGÍA CON RADIACIÓN SOLAR.

2.6.1 RECURSO ENERGÉTICO DISPONIBLE

Es la cantidad de radiación que incide sobre la superficie terrestre y existen varios métodos para determinarla, entre los principales se tiene: Page, Liu – Jordan, Glover y MC culloch, siendo esta última la escogida para la determinación de la radiación solar, ya que relaciona directamente la heliofanía investigada y la latitud geográfica del lugar en donde se realiza el proyecto.

$$I = G_o \left[0.29 * \cos \phi + 0.52 * \frac{n}{N} \right] \quad (2.1)$$

Dónde:

I= Radiación Solar incidente en la superficie terrestre (W/m²).

G_o= Constante solar o radiación que llega a la atmósfera (1353 W/m²).

Cos ϕ = Coseno del ángulo de latitud geográfica, para Riobamba, 1° 38 min. Latitud sur (Medición mediante G.P.S.). Además dicho ángulo debe ser menor de 60°

0.29 y 0.52 = Coeficientes experimentales que corrigen la radiación solar incidente, en función de la dispersión de la radiación solar al atravesar la atmósfera.

n = Número de horas de sol brillante al día (heliofanía).

N = Número máximo de horas de sol al día en la localidad (11.8 horas), dato proporcionado por la estación agro meteorológica ESPOCH.

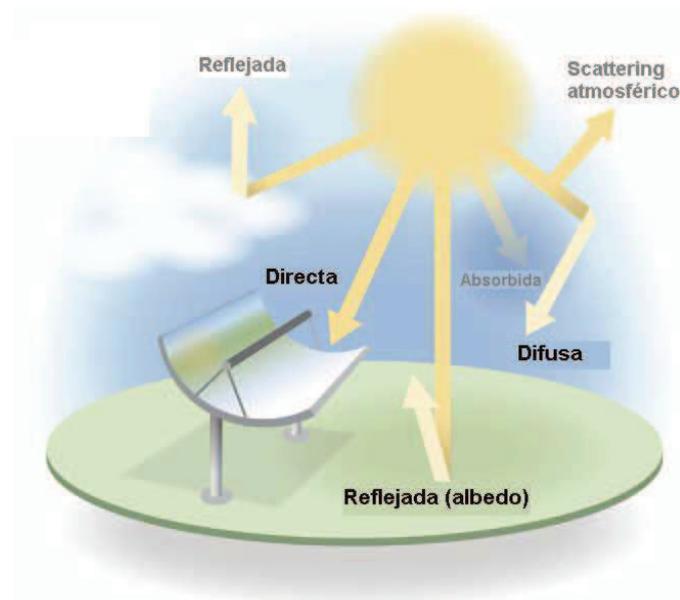


Figura 2. 10 Componentes de la radiación solar

2.6.1.1 Componentes de la radiación solar

La radiación solar puede ser transmitida, absorbida e incluso reflejada provocada por las distintas capas en la atmosfera, fenómeno conocido como scattering. De estas diferentes interacciones entre la superficie terrestre y la radiación solar, la radiación se divide en las siguientes subdivisiones:

2.6.1.1.1 Radiación solar directa

Es la radiación solar que no sufre ninguna alteración o dispersión atmosférica, es decir llega directamente a la superficie terrestre.

2.6.1.1.2 Radiación solar difusa

Es la radiación solar que sufre la alteración de ser reflejada antes de llegar a la superficie terrestre. Esta radiación no posee una dirección privilegiada y se debe a la interacción de diferentes factores atmosféricos, entre los cuales están: nubes, partículas de polvo, vapor de agua, moléculas de CO₂, oxígeno, ozono, etc.

2.6.1.1.3 Radiación solar reflejada

Dicha radiación solar no es la que proviene directamente del sol, sino más bien es la radiación que procede de la reflexión de la superficie terrestre.

2.6.1.1.4 Radiación solar global

Es la radiación obtenida por la suma entre la radiación solar directa y difusa. Esta definición no incluye a la radiación reflejada cuando se quiere evaluar la radiación solar total que se recibe directamente del sol.

Cálculo del recurso energético disponible

Remplazando los valores determinados en la investigación, con la ecuación (2.1), se determina la radiación promedio para la ciudad de Riobamba, según el método de Glover y Mc Culloch.

$$I = 13.53 \frac{W}{m^2} \left[0.29 * \cos(1.63) + 0.52 * \frac{4.8}{11.8} \right]$$

$$I = 678.41 \text{ W/m}^2$$

2.6.2 INSTRUMENTOS DE MEDIDA

La radiación proveniente del sol como se estudió anteriormente puede presentarse de diferentes maneras, por lo cual se necesita saber que instrumento se necesita utilizar para las diferentes radiaciones. Así mismo se necesitan otros instrumentos que nos dé una idea de las variables ambientales, las mismas que afectan cuando se quiere acumular energía proveniente del sol.

Es indispensable realizar un estudio de las horas de radiación del sol por día (Heliofanía), ya que los proyectos energéticos solares dependen principalmente de estos valores de radiación, de la misma manera se debe realizar una revisión de otros

aspectos como: humedad relativa, temperatura ambiental y la velocidad del viento, que pueden afectar el buen desenvolvimiento del colector solar.

2.6.2.1 Heliógrafo

Ya que la construcción del cuarto de secado para tableros eléctricos es realizada en la ciudad de Riobamba, valiéndose de la información meteorológica recopilada por la Facultad de Recursos Naturales de la ESPOCH, se tendrá una aproximación muy exacta sobre la heliofanía (cantidad de sol brillante por día) en dicha ciudad.

Tabla 2. 6 Heliofanía promedio de la ciudad de Riobamba

	<i>ENE</i>	<i>FEB</i>	<i>MAR</i>	<i>ABR</i>	<i>MAY</i>	<i>JUN</i>	<i>JUL</i>	<i>AGO</i>	<i>SEP</i>	<i>OCT</i>	<i>NOV</i>	<i>DIC</i>	<i>PROM</i>
2002	5,4	5,5	4,2	4,7	5,2	6,8	3,1	2,7	4,3	7,1	5,5	6,1	5,1
2003	6,3	4,8	3,6	4,6	3,8	3,4	4,2	4,8	4,7	3,8	2,6	2,9	4,1
2004	3,8	3,3	2,3	3,1	1,8	1,5	5,0	2,6	1,7	5,3	5,3	4,7	3,5
2005	8,1	4,8	3,4	4,2	4,9	5,5	5,5	6,3	4,5	5,2	5,3	6,1	5,3
2006	6,7	4,4	3,2	5,9	4,9	5,4	7,2	5,2	5,5	3,8	7,6	3,1	5,2
2007	4,8	6,7	4,3	3,9	6,7	5,5	5,3	4,2	4,1	5,7	5,2	4,2	5,0
2008	3,2	6,2	3,8	3,8	5,3	3,7	7,0	5,2	3,1	4,4	5,0	4,5	4,6
2009	5,23	3,8	4,2	4,5	4,5	5,8	5,94	5,5	5	5,4	5,13	5,3	5,025
2010	3,9	3,4	5,4	4,8	6,2	5,1	5,9	3,9	6,7	5,7	6,6	6,4	5,33
2011	5,9	5,1	5,7	4,6	4,8	4,2	6,6	7,0	6,0	5,5	4,8	4,3	5,375
2012	6,1	4,0	6,1	4,5	5,4	5,7	6,5	7,1	4,0	7,3	5,1	4,5	5,06

Fuente: Facultad de Recursos Naturales de la ESPOCH.

Dichos datos estadísticos, se tomaron con la ayuda de un Heliógrafo, y que a través del promedio de datos recogidos y analizados de la cantidad de sol durante los últimos 10 años, se puede hacer una aproximación que la heliofanía en la Ciudad de Riobamba es de 4.8 horas de sol brillante al día. Dicha radiación está indicada en la tabla 2.6.

Entre las principales variables tenemos: humedad relativa, temperatura ambiental y la velocidad del viento, Dichos datos se obtienen con termómetros de bulbo, termo higrómetro y anemómetro respectivamente.



Figura 2. 11 Heliógrafo.

Fuente: Facultad de Recursos Naturales de la ESPOCH.

2.6.2.2 Termómetro ambiental

Para medir la temperatura ambiental se utilizan muchos tipos de medidores que permiten evaluar los factores que afectan el clima. En el caso del termómetro basta que abarque un rango común de temperaturas para poder hacer la medición ambiental. Sin embargo para evaluar la temperatura ambiental conviene tener algunos recaudos, según la medición sea en el interior o al aire libre.

Tabla 2. 7 Temperatura ambiental (°C) de la Ciudad de Riobamba

	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	PROM
2002	12,9	13	13,1	13,6	13,7	12,6	12,8	13,9	13	14,9	14,2	14,5	13,5
2003	14,4	14	13,9	14,2	13,9	12,3	12,9	12,4	13,1	13,1	12,9	13,7	13,4
2004	14,1	14	13,4	12,8	13,3	11,8	12,1	12,9	14,4	14,6	14,2	13,8	13,5
2005	15,5	14	14,4	13,8	13,8	12,8	12,5	12,6	13,4	14,2	14,3	14,4	13,8
2006	17,1	15	13,5	14,3	14,9	13,8	13,3	13,4	14	13,8	14,5	13,7	14,2
2007	14	14	13,6	13,7	13,8	12,5	12,6	12,9	13,2	14,4	13,6	14,1	13,6
2008	14,6	15	13,8	13,4	13,8	12	12,9	12,3	12,1	13,4	13,6	14,3	13,4
2009	15,2	14,4	14,1	14,0	14,2	13,6	13,1	12,9	13,8	14,6	14,8	14,5	14,1
2010	14,7	13,7	15,6	15,0	14,5	14,2	14,5	14,1	14	15,9	15,3	16,4	14,8
2011	15,3	15,7	16,1	15,9	15,4	15,0	13,8	12,6	13,8	14,1	14,3	14,0	14,6
2012	14,1	13,7	14,3	13,3	13,5	13,0	12,2	12,9	11,7	12,5	14,3	15,1	13,8

Fuente: Facultad de Recursos Naturales de la ESPOCH.

Al hacer la medición del aire, si es en el exterior conviene alejar el termómetro ambiental de los rayos del sol, es decir ubicarlo a la sombra y alejarlo de cualquier emisor artificial de calor, para no alterar sus resultados. Al medir la temperatura dentro de un ambiente cerrado se debe colocar el termómetro en una pared que no reciba mucha corriente de aire o calor.

2.6.2.3 Termohigrómetro

El termohigrómetro es un equipo que mide la temperatura y la humedad relativa del aire y del medio ambiente, El termohigrómetro es un instrumento muy útil y práctico además los datos que se obtiene por medio de él son fáciles de interpretar.



Figura 2. 12 Termómetro ambiental y termo higrómetro.

2.6.2.4 Anemómetro

Un anemómetro es un aparato destinado a medir la velocidad relativa del viento que incide sobre él. Si el anemómetro está fijo colocado en tierra, entonces medirá la velocidad del viento reinante, pero si está colocado en un objeto en movimiento, puede servir para apreciar la velocidad de movimiento relativo del objeto con respecto el viento en calma.



Figura 2. 13 Anemómetro.

Fuente: Facultad de Recursos Naturales de la ESPOCH.

Tabla 2. 8 Velocidad promedio del viento en la Ciudad de Riobamba

	<i>ENE</i>	<i>FEB</i>	<i>MAR</i>	<i>ABR</i>	<i>MAY</i>	<i>JUN</i>	<i>JUL</i>	<i>AGO</i>	<i>SEP</i>	<i>OCT</i>	<i>NOV</i>	<i>DIC</i>	<i>PROM</i>
2002	2.4	2.4	2.2	2.2	2.2	2.4	2.9	2.9	2.8	2.6	2.2	2.1	2.4
2003	2.7	2.7	2	2.5	2.3	1.9	2.7	2.8	2.7	2.4	2.2	2.2	2.4
2004	2.5	2.3	2.7	2.3	2.4	2.8	2.9	2.9	1.9	2.2	2.9	2	2.5
2005	2.3	2.1	1.8	2	2.3	2.3	2.8	2.6	2.8	1.6	2.2	4.8	2.5
2006	2.3	1.9	2.2	1.5	1.7	1.7	2.6	3.5	2	2.2	2	1.9	2.1
2007	2.2	2.3	2.3	1.6	1.9	1.9	2.4	2	2.2	2	2	1.8	2.1
2008	3.1	1.8	1.6	1.7	1.9	1.9	2	2	2	1.9	1.4	1.5	1.9
2009	1.6	1.4	1.8	1.7	2	1.9	1.8	1.6	1.9	2	1.5	1.7	1.7
2010	2.5	2	2	1.9	2.1	1.8	2.6	2.5	2.6	2.1	1.6	1.8	2.1
2011	2.3	2.1	2.2	2.1	2.3	1.6	2.5	2.6	2.4	2.6	1.8	1.6	2.2
2012	2.2	2.3	1.9	2.5	2.4	2.1	2.2	2.3	2.3	2.4	2	2.1	2.2

Fuente: Facultad de Recursos Naturales de la ESPOCH.

La generación de calor o energía con radiación solar se efectúa mediante colectores solares, también llamados captadores solares, son diseñados y fabricados para el fin de recoger o almacenar la energía producida o irradiada por el sol. Estos a su vez se clasifican según su concentración: sin concentración $C=1$ o con concentración $C>1$. Además otra clasificación importante en la captación de la energía solar son los paneles solares fotovoltaicos.

2.6.3 COLECTORES SOLARES SIN CONCENTRACIÓN, $C=1$

Son todos aquellos colectores que su temperatura de operación no sobrepasa los 100°C., aunque los más modernos, es decir los colectores solares de tubos al vacío con las mejores condiciones pueden llegar a alcanzar los 120°C, ya que aprovechan la energía directa y difusa.

Entre las principales ventajas de estos colectores están:

- No requieren de un sistema de seguimiento solar, es decir su posición una vez instalado será la misma durante su funcionamiento.
- Su mantenimiento es relativamente bajo.
- Aunque su costo inicial es un poco alto, esto se verá recuperado con el pasar de los años, ya sea para uso doméstico (agua caliente) o uso industrial.
- Mecánicamente son bastante más simples que los colectores de concentración.

Los principales colectores solares sin concentración son:

- Colectores solares planos sin cubierta.
- Colectores solares planos con cubierta.
- Colectores de tubos al vacío.

2.6.3.1 Colectores solares planos sin cubierta

Son aquellos que no tienen el vidrio protector que lo tiene los colectores planos con cubierta, por lo tanto son expuestos directamente al medio ambiente. Debido a su limitada eficiencia, su temperatura de operación no llega a los 50 °C, y necesita aumentar su superficie para producir mayores temperaturas.

2.6.3.2 Colectores solares planos con cubierta

Este tipo de colectores solares son los más representativos y usados, por su alta relación costo – producción de calor. Su característica más representativa es que su rango de temperatura esta entre los 50 – 90 °C, por lo que son muy usados en calentamiento domestico de agua, piscinas, actividades industriales como la pasteurización, lavado textil, etc.

Las unidades domesticas funcionan generalmente con mecanismos de termosifón, es decir que mientras el agua caliente sube, la aguas fría se sumerge. Mientras para uso industrial se acostumbra utilizar módulos arreglados en paralelo, utilizando bombas para producir la circulación forzada.



Figura 2. 14 Colectores Solares Planos

Fuente: http://www.maltezos.gr/Es/stainless_solar_heaters.html

2.6.3.3 Colectores de tubos al vacío

Los colectores de tubos al vacío son paneles solares que absorbe la energía radiante del sol a través de tubos de vidrio al vacío alojados linealmente sobre una superficie y que soporta o almacena tanto la energía solar directa e indirecta, es por esta razón que este tipo de colectores son los más convenientes cuando se requieren temperatura superiores a los 80 °C. Además que su coeficiente general de pérdidas U_L , tiene el valor más bajo entre los distintos tipos de colectores con un valor de $2 \left(W / ^\circ C * m^2 \right)$.

El vacío no solo contribuye a la reducción de pérdidas, sino también a minimizar la influencia de las condiciones climáticas (condensación, humedad, etc.) sobre los

materiales empleados, evitando su rápido deterioro y mejorando así la durabilidad y el rendimiento global del sistema.



Figura 2. 15 Colector solar de tubos al vacío

Fuente: es.chinasolarwaterheaters.net

2.6.4 COLECTORES SOLARES CON CONCENTRACIÓN, $C > 1$

Dadas las características de baja radiación de los colectores solares planos, se ve en la necesidad de realizar un estudio de aquellos colectores solares que toman el nombre de concentradores solares, ya que enfocan la radiación del sol directamente a un solo punto o línea.

Con estos concentradores solares, se puede captar energías que van en el orden de 2 hasta varios miles de veces la radiación del sol. Por lo cual, la temperatura con estos concentradores duplica a la temperatura que se llega con colectores solares tradicionales como los colectores planos. Si se usa sistemas ópticos que no tengan un buen acabado, la temperatura podrá llegar entre 100 y 500 °C, mientras que si se usan dichos sistemas con un acabado perfecto, la temperatura podría llegar a 1500 °C. Pero claro todo depende de cuanta radiación directa se encuentre en la superficie en contacto.

Los concentradores solares, tendrán un sin número de beneficios al momento de hablar de eficiencia, pero de igual tienen algunas desventajas que los hace de difícil acceso. Entre aquellas desventajas están: el costo elevado, se necesita obligadamente un sistema seguidor del sol, ya que requieren la energía solar directa y otro de los problemas más habituales y concretos es que requiere de un buen acabado de las

superficies en el sistema óptico, ya que se necesita que mantengan sus propiedades por largos periodos de tiempo en la intemperie y sin deteriorarse.

Entre los principales colectores solares que soportan altas temperaturas y a la vez tienen un sistema en donde se puede hacer pasar el fluido de trabajo, tenemos: concentrador solar: cilíndrico parabólico y paraboloide de revolución. Estos 2 tipos de concentradores serán los más analizados, ya que cumplen las características más importantes para la cámara de secado.

2.6.4.1 Concentrador solar cilindro parabólico

Se trata de un arreglo de espejos en forma de cilindros parabólicos, es de aquí de donde sale su nombre Concentrador Cilíndrico Parabólico CPC. Dichos espejos con forma de medio cilindro, concentran la luz en un tubo, por el cual circula un líquido (generalmente aceite) capaz de almacenar gran cantidad de calor. Estos aceites circulan por un sistema de tuberías hasta un punto en el que se transfiere ese calor a un sistema adecuado de aire o agua.

Una vez que el aceite ha perdido temperatura vuelve al sistema de tuberías para calentarse de nuevo. Desde el punto de vista ecológico tiene un inconveniente: la posible fuga de aceite del circuito, degradando el suelo. Pero puede mitigarse mediante un control severo de las instalaciones.



Figura 2. 16 Concentrador cilíndrico parabólico.

Fuente: <http://www.tst-te.com/energíacentrales-termosolares/>

2.6.4.2 Concentrador paraboloide de revolución

Como bien dice su nombre, dicho concentrador se compone de un conjunto de reflectores que tiene la forma de un paraboloide de revolución. Toda la radiación que acumula este tipo de concentrador es reflejada directamente sobre un punto focal en donde se encuentra el receptor de calor. Su tamaño varía dependiendo de la energía total que se requiere y de igual manera del tiempo determinado de radiación solar.



Figura 2. 17 Concentrador Paraboloide de Revolución

Fuente: <http://www.enforce-eeen.eu/esp/category/energía/energía-solar-termica>

2.6.5 PANELES SOLARES FOTOVOLTAICOS

Como su nombre lo dice se tratan de paneles que captan los rayos solares y lo convierten en energía eléctrica a través de un sin número de celdas también llamadas células fotovoltaicas.

Para tener una idea de la eficiencia de los paneles solares se puede nombrar que una celda de silicio de 6 cm de diámetro produce cerca de 0.5 amperios a 0.5 voltios, dependiendo de varios factores como la orientación, el brillo solar, la temperatura ambiental, la temperatura del panel solar, etc; estas celdas producen un rango entre 50 y 150 W/m².

2.6.5.1 Ventajas de la energía solar fotovoltaica

- No consume combustibles por lo que disminuyen las emisiones de dióxido de carbono u otros gases contaminantes.
- Sus instalaciones son relativamente simples y requieren un mantenimiento reducido.
- Poseen una vida útil de 25 años como promedio.
- Resiste condiciones climáticas como granizo, temperatura, humedad, etc.

2.6.5.2 Desventajas de la energía solar fotovoltaica

La principal desventaja para nuestro país es que los costes de instalación son elevados comparando con otros países europeos. De igual manera hablando de la importación de estos equipos son de un costo muy grande por sus dimensiones y pesos, por lo que la venta al público es un poco limitado.

2.6.6 JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO CON ENERGÍA RENOVABLE

Después de analizar cuidadosamente los diferentes métodos de producción de energía para la utilización dentro del proyecto, se ha llegado a la conclusión que los paneles fotovoltaicos, son los más adecuados, por los siguientes motivos:

La generación de energía eléctrica a través de los paneles solares fotovoltaicos, son utilizados en el funcionamiento del ventilador del aire de recirculación y del quemador de diésel, ya que son los únicos equipos que requieren de energía eléctrica y son de total importancia para el funcionamiento del cuarto de secado de tableros eléctricos.

La generación de energía térmica ya sea con colectores solares sin concentración o con concentración, no llega a satisfacer las necesidades de temperatura para el cuarto de secado. Además que si se realiza un intercambio de calor del fluido de dichos colectores solares con el aire se obtienen un calor transferido muy pequeño, a

comparación de la transferencia de calor desde los gases de combustión del diésel y el aire.

Otro punto importante que se ha tomado para la elección de los paneles solares fotovoltaicos, en comparación de los colectores solares con concentración, es que en la ciudad de Riobamba la radiación solar directa son en escasas horas mientras que la utilización de paneles solares para la generación de energía eléctrica se puede acumular en baterías o realizar una conexión directa con la red, y se realiza la acumulación cada vez que existan rayos solares.

2.7 ESTUDIO DE LAS DISTINTAS FORMAS DE GENERACIÓN DE ENERGÍA CON LOS DERIVADOS DEL PETRÓLEO.

Las formas más eficientes de generar energía con los derivados del petróleo pueden ser gaseosas o líquidas, entre los gases puede estar el gas licuado de petróleo (GLP), mientras que en líquidos el ejemplo más eficiente para la generación de energía está el diésel.

Existen otros ejemplos claros que son derivados del petróleo como la gasolina, gases mezclados, cok de petróleo, gases de refinería, entre otros que son generadores de energía, pero ya sea por su costo comercial alto o por la inexistencia de adquisición en nuestro país, no son empleados para la generación en las industrias ya sean grandes o medianas.

2.7.1 GAS LICUADO DE PETRÓLEO (GLP)

Estos gases son extraídos del petróleo y licuados por compresión, para luego ser vendidos como liquido en recipientes ideales para su distribución. Está constituido por varios gases pero los principales son el propano C_3H_8 , que su porcentaje fluctúan entre el 60 – 70%, y el butano C_4H_{10} , entre el 30 – 40%. Los otros gases están mezclados tanto dentro del propano como del butano.

Ya sea, que el gas licuado de petróleo está constituido por varios gases, sus propiedades generalmente son tomados de las propiedades del propano por ser el constituyente mayoritario del GLP. Las propiedades termodinámicas del GLP, tales como potencia calorífica inferior o superior, temperatura adiabática de la llama o el aire necesario para la combustión están indicados en el ANEXO A y B.¹¹

2.7.2 DIÉSEL

El diésel es un hidrocarburo que queda después que los productos más ligeros y volátiles, tales como la gasolina, nafta y keroseno, se han destilados del petróleo bruto. En consecuencia, el diésel para combustión en hornos industriales es un aceite más pesado que el keroseno. Puede ser destilado y ser el producto que sale de la columna después de que keroseno ha pasado, o se extrae de la parte inferior del fraccionador.

En el ANEXO C, se muestran las propiedades típicas de los aceites combustibles o fuel-oil, donde el destilado ligero o número 2 vendría a ser el diésel, propiedades tales como pureza, composición, capacidad calorífica, etc.

2.7.3 JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO CON ENERGÍA NO RENOVABLE

Por lo planteado en capítulos anteriores, la alternativa más eficiente para nuestro proyecto es el petróleo y por ende el diésel; ya que el GLP (gas licuado de petróleo) es un producto que no se extrae en nuestro país y que el Estado ecuatoriano lo compra de otros países para el consumo comercial o industrial que engloba un gasto millonario para el país. Además el diésel es la elección más favorable por su fácil transporte, adquisición y menor peligrosidad, es por estas razones la elección del diésel como sustancia para la combustión y de aquí extraer la cantidad de calor necesario para calentar el cuarto de secado.

¹¹ TRINKS, W., MAWHINNEY, M. H.; Hornos Industriales; Volumen II; España; 1976.

2.8 PROCEDIMIENTO PARA EL CÁLCULO DE LOS COEFICIENTES DE TRANSFERENCIA DE CALOR

INTERCAMBIADOR DE CALOR DE FLUJO CRUZADO

Se entiende como un intercambiador de calor como aquel dispositivo que permite intercambiar calor desde un fluido caliente hacia un fluido de menor temperatura a través de un arreglo de tubos.

Para este tipo de intercambiadores de calor se lo puede clasificar en mezclado y no mezclado. Siendo mezclado cuando uno de los fluidos fluye libremente en dirección ortogonal, mientras que los intercambiadores no mezclados se refieren cuando se direcciona a alguno de los fluidos a través de placas.

Para el cálculo del calor total suministrado por un intercambiador de calor de flujo cruzado es determinado como si fuera de flujo contrario con un factor de corrección.

Este tipo de intercambiador de calor es muy bien utilizado en calefacción, hornos industriales, especialmente donde las dimensiones de construcción disminuyen considerablemente.

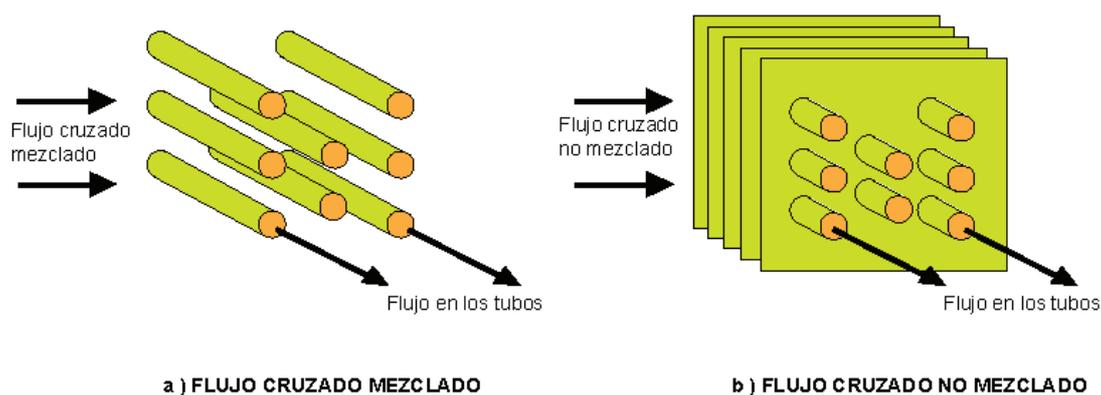


Figura 2. 18 Tipos de intercambiadores de calor cruzados

Fuente: http://www.telecable.es/personales/albatros1/calor/transferencia_de_calor_07_intercambiadores.htm

2.8.1 FLUJO INTERNO

Es el tipo de flujo que pasa por el interior del intercambiador, dependiendo del tipo de flujo el número de Reynolds, puede ser mayor o menor que 2300. De este modo se empieza calculando la velocidad media del fluido que está en el interior del intercambiador de calor, para posteriormente determinar el número de Reynolds y determinar si se encuentra como un flujo laminar o turbulento.

$$v_m = \frac{\dot{m}_{fluido}}{N \cdot \rho \cdot A_t} \quad (2.2)$$

$$Re_D = \frac{\rho \cdot v_m \cdot D}{\mu} \quad (2.3)$$

No obstante una ecuación modificada del número de Reynolds puede ser utilizada:

$$Re_D = \frac{4 \cdot \dot{m}_{fluido}}{N \cdot \pi \cdot D \cdot \mu} \quad (2.4)$$

Determinando de este modo si el flujo es laminar o turbulento.

$$Re_D < 2300 \quad (2.5) \quad \text{Flujo Laminar}$$

$$Re_D > 10000 \quad (2.6) \quad \text{Flujo Turbulento}$$

Siendo el rango del número de Reynolds entre 2300 y 10000 una zona de transición entre laminar y turbulento. Es por esta razón que para tener un flujo turbulento completamente desarrollado, se supone una relación $L/D > 10$.

Otro término importante que se debe calcular es el número de Prant, ya que conjuntamente con el número de Reynolds se calcula el número de Nusselt.

$$Pr = \frac{\mu \cdot C_p}{k} \quad (2.7)$$

2.8.1.1 Flujo laminar

Una correlación adecuada del número de Nusselt, debida a Sieder y Tate, es de la forma:¹²

¹² INCROPERA F., DEWITT D.; Fundamentos de transferencia de calor; Cuarta Edición; México; Pag.444.

$$Nu_D = 1.86 * \left(\frac{Re_D * Pr}{\frac{L}{D}} \right)^{1/3} * \left(\frac{\mu}{\mu_s} \right)^{0.14} \quad (2.8)$$

Con los siguientes requisitos:

$$0.48 < Pr < 16700 \quad (2.9)$$

$$0.0044 < \left(\frac{\mu}{\mu_s} \right) < 9.75 \quad (2.10)$$

Si no se cumple con estas condiciones una buena aproximación del número de Nusselt es dar el valor de 4.36.

$$Nu_D = \frac{h * D}{k} = 4.36 \quad (2.11)$$

2.8.1.2 Flujo turbulento

El cálculo del número de Nusselt para flujo turbulento, se puede calcular con ecuaciones sencillas como con las ecuaciones de Colburn, o Dittus Boelter o Sieder y Tate, pero con un valor aproximado de error del 25%. Es por esta razón que se toma la ecuación de Petuthov que arroja un margen de error del 10%.¹³

$$Nu_D = \frac{\left(\frac{f}{8} \right) * Re_D * Pr}{1.07 + 12.7 \left(\frac{f}{8} \right)^{1/2} * (Pr^{2/3} - 1)} \quad (2.12)$$

Con los siguientes requisitos:

$$0.5 < Pr < 2000 \quad (2.13)$$

$$10^4 < Re_D < 5 * 10^6 \quad (2.14)$$

Para aquellos valores que estén en el rango de incertidumbre se utiliza una ecuación modificada:

$$Nu_D = \frac{\left(\frac{f}{8} \right) * (Re_D - 1000) * Pr}{1 + 12.7 \left(\frac{f}{8} \right)^{1/2} * (Pr^{2/3} - 1)} \quad (2.15)$$

$$2300 \leq Re_D \leq 10000 \quad (2.16)$$

¹³ INCROPERA F., DEWITT D.; Fundamentos de transferencia de calor; Cuarta Edición; México; Pag.445.

En donde el factor de fricción, puede ser calculado por el Diagrama de Moody o por la ecuación de Petuthov, para un intervalo grande de número de Reynolds.

$$f = (0.79 * \ln Re_D - 1.64)^{-2} \quad (2.17)$$

$$3000 \leq Re_D \leq 5 * 10^6 \quad (2.18)$$

2.8.1.3 Coeficiente interno de transferencia de calor

Es aquel coeficiente que indica cuanta cantidad de calor es transferido desde el fluido interno del intercambiador de calor hacia el fluido exterior. Ya sea flujo laminar o turbulento, el coeficiente de transferencia de calor se calcula de la misma manera.

$$h = Nu_D * \frac{k}{D} \quad (2.19)$$

2.8.2 FLUJO EXTERNO

La transferencia de calor en el exterior de los tubos puede determinarse en forma alineada o escalonada como se muestra en la figura 2.19.

Se determina las distancias S_T y S_L que son dependientes del diámetro exterior de los tubos del intercambiador de calor. Y por ende se puede calcular la altura y área de contacto que tiene el aire que se caliente, de este modo:

$$H_{tubos} = N_{espacios} * S_T \quad (2.20)$$

$$A_{p_{aire}} = H_{tubos} * L_{tubos} \quad (2.21)$$

A través de la ecuación 2.2 se modifica para la aplicación del aire y la velocidad del aire queda expresada de la siguiente manera:

$$v_{aire} = \frac{\dot{m}_{aire}}{\rho * A_{p_{aire}}} \quad (2.22)$$

De esta manera se llega a la ecuación para encontrar la velocidad máxima que esta aplicada contra el intercambiador de calor en el arreglo de tubos alineados es:

$$v_{max} = S_T * \frac{v_{aire}}{S_T - D} \quad (2.23)$$

Mientras que para un arreglo de tubos escalonados se establece una distancia diagonal S_D y se calcula de la siguiente manera:

$$S_D = \left[S_L^2 + \left(\frac{S_T}{2} \right)^2 \right]^{1/2} \quad (2.24)$$

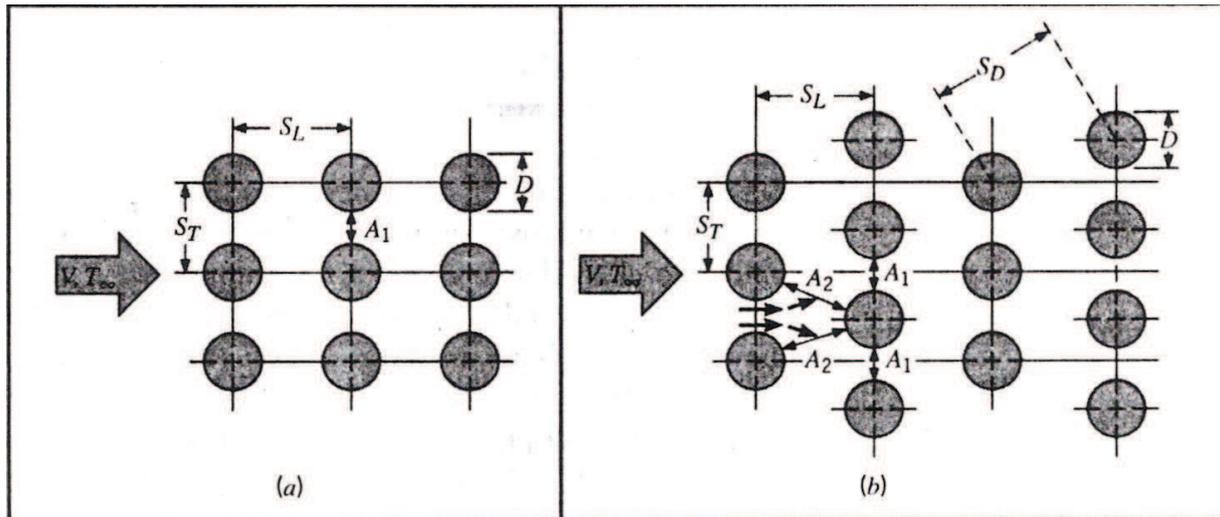


Figura 2.19 Arreglos de tubos en un banco. (a) Alineados. (b) Escalonados.

Fuente: CENGEL-BOLES, Termodinámica, Quinta Edición, México 202.

Mientras que la velocidad máxima para este arreglo de tubos es:

$$v_{max} = \frac{S_T}{2*(S_D - D)} * v_{aire} \quad (2.25)$$

Dicha velocidad es aplicada para encontrar el número de Reynolds y determinar si se encuentra como flujo laminar o turbulento. Por lo tanto la ecuación 2.3 queda modificada de la siguiente manera:

$$Re_D = \frac{\rho * v_{max} * D}{\mu} \quad (2.26)$$

Como es aire el fluido que se calienta en el exterior del intercambiador de calor, el número de Prant se puede verificar en tablas. Una buena aproximación del número de Nusselt tanto para flujo laminar como para turbulento, viene expresado como:¹⁴

¹⁴ INCROPERA F., DEWITT D.; Fundamentos de transferencia de calor; Cuarta Edición; México; Pag.380.

$$Nu_{aire} = \left[C * Re_D^m * Pr^{0.36} * \left(\frac{Pr}{Pr_s} \right)^{1/4} \right] * C_2 \quad (2.27)$$

En donde los valores de C y m, son determinados del Anexo D, mientras que el valor de C_2 es determinado del Anexo E.

El coeficiente externo de transferencia de calor puede ser modificado de la ecuación 2.19, en donde:

$$h_{aire} = Nu_{aire} * \frac{k_{aire}}{D}$$

2.9 COEFICIENTE GLOBAL DE TRANSFERENCIA DE CALOR

La transferencia de calor se realiza en un banco de tubos, por ende la transferencia se verifica tomando en cuenta que la pared es cilíndrica, como se puede apreciar en la figura 2.20, se realiza el estudio de un tubo del intercambiador de calor.

De este modo, las áreas de transferencias de calor vienen expresadas como:

$$A_i = \pi * D_i * L \quad (2.28)$$

$$A_o = \pi * D_o * L \quad (2.29)$$

El área media de transferencia de calor puede ser calculada con la siguiente expresión:

$$A_m = \frac{A_o - A_i}{\ln\left(\frac{A_o}{A_i}\right)} \quad (2.30)$$

Entendiéndose, s como el espesor del tubo y puede ser calculado como:

$$s = \frac{D_o - D_i}{2} \quad (2.31)$$

Por lo tanto la ecuación del área media modificada puede ser calculada como:

$$A_m = \frac{2 * \pi * L * s}{\ln\left(\frac{D_o}{D_i}\right)} \quad (2.32)$$

De este modo, el coeficiente global de transferencia de calor, puede ser expresado de la siguiente manera:

$$U * A = \frac{1}{\frac{1}{h_i * A_i} + \frac{\ln\left(\frac{D_o}{D_i}\right)}{2 * \pi * L * k} + \frac{1}{h_o * A_o}} \quad (2.33)$$

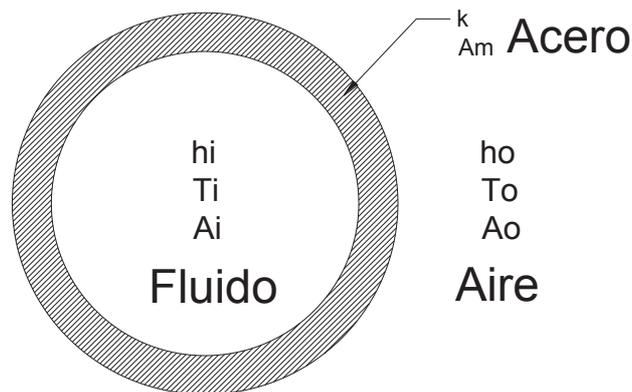


Figura 2.20 Representación de un tubo del intercambiador de calor.

Elaboración: Propia

2.10 MÉTODO DE LA DIFERENCIA MEDIA LOGARÍTMICA DE TEMPERATURA

Es uno de los métodos más usados para el diseño de intercambiadores de calor, en donde combina las temperaturas de entrada y salida de los 2 fluidos, para encontrar una correlación que es utilizada para calcular el calor total transferido.

$$\Delta T_{ml} = \frac{\Delta T_{max} - \Delta T_{min}}{\ln\left(\frac{\Delta T_{max}}{\Delta T_{min}}\right)} \quad (2.34)$$

Para poder utilizar el método de la diferencia media logarítmica de temperatura, solo es necesario calcular cuales son las diferencias de temperatura máximas y mínimas. Posteriormente, se calcula el calor transferido a través de la expresión:

$$Q = U * A * F * \Delta T_{ml} * N_t \quad (2.35)$$

En donde:

N_t = Número total de tubos del intercambiador de calor.

F = Factor de corrección. (Anexo M)

2.11 MÉTODO DE LA EFICIENCIA VS NTU

Es otro de los métodos más conocidos para el diseño de intercambiadores de calor y combina la eficiencia del intercambiador y el número de transferencia de unidades (NTU). Es muy utilizado para determinar cuál es el área necesaria para satisfacer las necesidades de calor.

El método empieza determinando las capacidades máximas y mínimas con la siguiente expresión:

$$C_i = C_p * \dot{m} \quad (2.36)$$

Al determinar la transferencia de calor máxima se la realiza con la capacidad mínima pero con la diferencia de temperatura máxima, mientras que la transferencia de calor mínima se calcula con la capacidad máxima y con la diferencia de temperatura mínima. De este modo:

$$Q_{max} = C_{min} * \Delta T_{max} \quad (2.37)$$

$$Q_{min} = C_{max} * \Delta T_{min} \quad (2.38)$$

Con los calores máximos y mínimos se determina la eficiencia del sistema.

$$\epsilon = \frac{Q_{min}}{Q_{max}} \quad (2.39)$$

Se debe calcular una razón de capacidades llamada Cr , para que combinada con la eficiencia, determinar una ecuación del NTU.

$$Cr = \frac{C_{min}}{C_{max}} \quad (2.40)$$

$$NTU = - \left[\ln \left[1 + \left(\frac{1}{Cr} \right) * \ln(1 - \epsilon * Cr) \right] \right] \quad (2.41)$$

Como se expresó en el principio del estudio de este método, es muy útil al determinar el área de transferencia de calor.

$$Atc = NTU * \frac{C_{min}}{U} \quad (2.42)$$

Otro aspecto muy importante de este método es que nos permite determinar cuántos tubos del intercambiador de calor son necesarios y suficientes, para satisfacer las necesidades requeridas.

$$N_{tubos} = \frac{(Atc - Ahogar)}{\pi * D_o * L_{tubo} * n} \quad (2.43)$$

Dónde:

n= Número de pasos del intercambiador de calor.

2.12 PROCEDIMIENTO DE CÁLCULO PARA EL DISEÑO DE LA CHIMENEA¹⁵

Se requiere para realizar un estudio sobre las dimensiones de la chimenea, ya que la chimenea es la responsable de expulsar los gases de combustión del diésel, así como también polvo o cenizas. Al diseñar la chimenea del proyecto existen varios factores que se requieren controlar, entre los principales están: la altura de la chimenea, el diámetro, la velocidad de los gases de combustión, entre otros.

Para determinar la eficiencia de la chimenea se utiliza la siguiente ecuación:

$$P \geq P_c + P_f + P_b \quad (2.44)$$

En donde:

P = Diferencial de presión (tiro disponible).

P_c = Carga de la velocidad a la salida.

P_f = Perdidas por rozamiento.

¹⁵ GONZÁLEZ PAULO; Rediseño y adecuación de un horno de secado para el proceso de pintado epóxico de multiplacas con una temperatura a 170 °C, para la empresa Novacero Aceropaxi; Tesis ESPE; 2005.

P_b = Perdidas por curvaturas o cambios de sección.

El diferencial de presión es aplicable con la ecuación:

$$P = 34.7 H_{ch} \left[0.0035 - \frac{1}{T_g} \right] \quad (mbar) \quad (2.45)$$

En donde:

H_{ch} = Altura de la chimenea por encima de la entrada.

T_g = Temperatura de los gases de combustión.

A través de la salida de los gases de combustión del arreglo de tubos, se considera la carga de la velocidad a través de la siguiente ecuación:

$$P_C = \frac{2.86 * m_{ch}^2}{D^4 * T_g} \quad (mbar) \quad (2.46)$$

En donde:

m_{ch} = Flujo másico de los gases de combustión.

D = Diámetro del ducto de la chimenea.

El diámetro de la chimenea es sin duda la característica más importante de la chimenea ya que si se tiene un diámetro pequeño, tal vez este no abarque a sacar todos los gases de combustión y podría existir una deficiencia en el trabajo del intercambiador de calor. Es por este motivo que el diámetro de la chimenea debe ser dimensionado correctamente para evitar problemas. Ya que en el proyecto el ducto de los gases de combustión puede ser rectangular por la forma de construcción de los ductos, es por este motivo que la siguiente ecuación determina un diámetro equivalente a través de las dimensiones de un rectángulo:

$$D = \frac{1.3 * (a * b)^{\frac{5}{8}}}{(a + b)^{\frac{1}{4}}} \quad (2.47)$$

El flujo másico de los gases de combustión dentro de la chimenea se calcula mediante el producto de la velocidad lineal de los gases dentro del ducto y el área transversal de la chimenea:

$$m_{ch} = v_g * A_{ch} \quad (2.48)$$

Mientras que la velocidad lineal de los gases de combustión v_g se calcula como caída libre:

$$v_g = \sqrt{2 * g * H_{ch}} \quad (2.49)$$

En todas las tuberías o ductos, los gases o líquidos que tienen contacto con la superficie tienen resistencias que evitan su normal circulación, es por esta razón que se debe considerar las pérdidas causadas por el rozamiento de la superficie de la chimenea o por los cambios de sección.

Las pérdidas por rozamientos están dadas por:

$$Pf = 7.07 * \frac{f_{ch} * H_{ch} * v_g}{D * T_g} \quad (mbar) \quad (2.50)$$

Existen algunas chimeneas que son diseñadas con curvaturas o cambios de sección para dirección el flujo de los gases de combustión, estas pérdidas por cambios de sección son determinadas mediante:

$$Pb = 1.77 * \frac{n * v_g^2}{T_g} \quad (mbar) \quad (2.51)$$

Donde n, es el coeficiente de perdida de energía y puede obtenerse del Anexo F.

2.13 PROCEDIMIENTO DE CÁLCULO DE PRESIÓN DEL VENTILADOR¹⁶

Un ventilador es una maquina rotativa utilizada para hacer forzar el aire de un espacio a otro a través de ductos de ventilación o calefacción, incrementando la presión del gas para poder vencer los obstáculos existentes.

Los ventiladores se clasifican según su aplicación, pero los 2 más grandes grupos son los ventiladores axiales y los centrífugos:

¹⁶ GONZÁLEZ PAULO; Rediseño y adecuación de un horno de secado para el proceso de pintado epóxico de multiplacas con una temperatura a 170 °C, para la empresa Novacero Aceropaxi; Tesis ESPE; 2005.

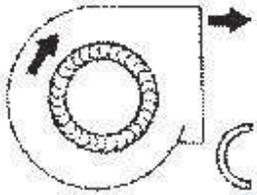
Ventiladores axiales

Son aquellos ventiladores donde la entrada y la salida están ubicadas en el mismo eje, la desventaja más evidente es que no puede vencer grandes presiones pero puede alcanzar a mover grandes cantidades de aire o gas.

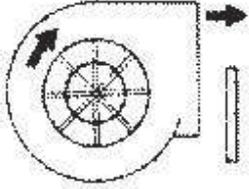
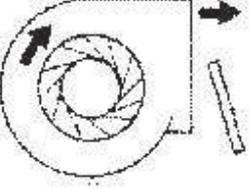
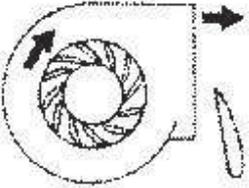
Ventiladores centrífugos

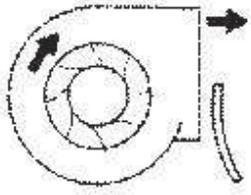
Son aquellos ventiladores que la entrada se encuentra ubicada en forma perpendicular respecto a la salida. Estos ventiladores son muy útiles cuando se requiere vencer grandes presiones con grandes caudales, solo se debe seleccionar la potencia de motor necesaria que depende directamente de la presión. Los ventiladores centrífugos se pueden clasificar según la forma de los álabes del rotor, de la siguiente manera:

Tabla 2. 9 Clasificación de los ventiladores centrífugos¹⁷

VENTILADOR	DESCRIPCION	APLICACION
 <p>CURVADAS HACIA ADELANTE</p>	<p>Rotor con palas curvadas hacia adelante, apto para caudales altos y bajas presiones. No es auto limitante de potencia. Para un mismo caudal y un mismo diámetro de rotor gira a menos vueltas con menor nivel sonoro.</p>	<p>Se utiliza en instalaciones de ventilación, calefacción y aire acondicionado de baja presión.</p>

¹⁷ http://www.chiblosa.com.ar/spanish/herramientas/teoria_de_los_ventiladores.htm

 <p>PALAS RADIALES</p>	<p>Rotor de palas radiales. Es el diseño más sencillo y de menor rendimiento. Es muy resistente mecánicamente, y el rodete puede ser reparado con facilidad. El diseño le permite ser auto limpiante. La potencia aumenta de forma continua al aumentar el caudal.</p>	<p>Empleado básicamente para instalaciones industriales de manipulación de materiales. Se le puede aplicar recubrimientos especiales anti-desgaste. También se emplea en aplicaciones industriales de alta presión.</p>
 <p>INCLINADAS HACIA ATRAS</p>	<p>Rotor de palas planas o curvadas inclinadas hacia atrás. Es de alto rendimiento y auto limitador de potencia. Puede girar a velocidades altas.</p>	<p>Se emplea para ventilación, calefacción y aire acondicionado. También puede ser usado en aplicaciones industriales, con ambientes corrosivos y/o bajos contenidos de polvo.</p>
 <p>AIRFOIL</p>	<p>Similar al anterior pero con palas de perfil aerodinámico. Es el de mayor rendimiento dentro de los ventiladores centrífugos. Es auto limitante de potencia.</p>	<p>Es utilizado generalmente para aplicaciones en sistemas de HVAC y aplicaciones industriales con aire limpio. Con construcciones especiales puede ser utilizado en aplicaciones con aire sucio.</p>

 <p>RADIAL TIP</p>	<p>Rotores de palas curvadas hacia delante con salida radial. Son una variación de los ventiladores radiales pero con mayor rendimiento. Aptos para trabajar con palas anti desgaste.</p>	<p>Como los radiales estos ventiladores son aptos para trabajar en aplicaciones industriales con movimiento de materiales abrasivos, pero con un mayor rendimiento.</p>
---	---	---

Al seleccionar un ventilador, las características esenciales para su elección se basa en el caudal y la caída de presión que debe vencer para mantener un flujo constante sobre el arreglo de tubos y de esta manera generar una temperatura uniforme en el horno, para que genere las condiciones idóneas para el secado de la pintura de los tableros eléctricos. Las principales presiones que debe vencer el ventilador para su correcto funcionamiento son:

- Caída de presión en ductos.
- Caída de presión en intercambiador de calor.

De este modo se define cada una de estas presiones y se establece su forma de cálculo:

2.13.1 CAÍDA DE PRESIÓN EN DUCTOS

Existen 2 presiones claramente establecidas en los ductos, la primera se debe a las presiones por el rozamiento o fricción que se tiene entre los ductos de circulación y el aire. Por otro lado se tiene las presiones que son provocadas por los cambios de secciones.

2.13.1.1 Pérdidas por fricción.

Este tipo de pérdidas se debe ya que el aire está en contacto directo con la superficie por la que circula. Este tipo de pérdidas se puede establecer con la siguiente ecuación, teniendo en cuenta el factor de rozamiento, la velocidad y el diámetro del ducto por el cual circula.

$${}^{18}P_{fr} = 0.4 * f * \left(\frac{L}{D^{1.22}} \right) * v^{1.82} \quad (2.52)$$

Dónde:

P_{fr} = Perdida por rozamiento en mm c.d.a.

f = Rugosidad de la superficie interior. (Anexo G)

L = Longitud del conducto en m.

D = Diámetro del conducto circular (en centímetros) equivalente a otro rectangular.

v = velocidad del aire en m/s.

La rugosidad de la superficie interior se la puede obtener dependiendo de la superficie, mientras que el diámetro del conducto se puede utilizar la ecuación 2.47 cuando el ducto es rectangular.

2.13.1.2 Pérdidas por cambio de sección

Este tipo de pérdidas se establecen cuando existen cambios de secciones evidentes o cambios de la velocidad del fluido por entrar de un ducto de mayor o menor tamaño.

Las pérdidas por cambios de sección o también llamadas perdidas dinámicas se rigen a la siguiente ecuación:

$$P_d = n * h * v \quad (2.53)$$

$$h = \left(\frac{v_{aire}}{4} \right)^2 \quad (2.54)$$

Dónde:

n = Factor de velocidades. (Anexo H e I)

¹⁸ Carrier Air Conditioning Company, Manual de aire acondicionado.

h = Diferencia de presión dinámica.

2.13.2 CAÍDA DE PRESIÓN EN INTERCAMBIADOR DE CALOR

El arreglo de tubos del intercambiador de calor produce una resistencia al paso del aire por lo que produce una caída de presión que el ventilador debe vencer para poder ventilar el aire sobre todo el arreglo de tubos de una forma equitativa. De este modo la ecuación que rige la caída de presión en el intercambiador es:¹⁹

$$P_{I.C} = N_L * X * f * \left(\frac{\rho * V_{max}^2}{2} \right) \quad (2.55)$$

Dónde:

N_L = Número de líneas de tubos.

X = Factor de correlación. (Anexo J)

f = Factor de fricción. (Anexo J)

2.13.3 PRESIÓN TOTAL REQUERIDA

Se establece como la sumatoria de todas las presiones o caída de presiones de los ductos o de los segmentos de ducto. La presión total es establecida por la siguiente expresión:

$$P_T = \sum(P_{fr} + P_d) + P_{I.C} \text{ (mm c. d. a)} \quad (2.56)$$

Equivalencias:

$$1 \text{ mm c. d. a} = 9.8 \text{ Pa}$$

$$1 \text{ Pa} = 249.09 \text{ w. c}$$

¹⁹ INCROPERA F., DEWITT D.; Fundamentos de transferencia de calor; Cuarta Edición; México; Pag.383.

2.13.4 PRESIÓN ESTÁTICA PARA LA SELECCIÓN DEL VENTILADOR²⁰

Existen varios factores para la selección de un ventilador, pero las 2 más importantes es el caudal y la presión que debe vencer. Según estos 2 factores se pueden determinar los otros factores como son la velocidad, la potencia o las revoluciones del motor del ventilador.

Para determinar la presión estática del ventilador se deben establecer un factor de corrección que está determinada por la altura de la ciudad de Riobamba y la temperatura a la cual el ventilador está trabajando.

$$G = G_1 * G_2 \quad (2.57)$$

$G_1 = 0.75$ Factor de corrección para la altura de 2800 m.

$G_2 = 0.54$ Factor de corrección del aire para 170 °C.

$$G = 0.41$$

De este modo la presión estática equivalente queda expresada como:

$$P_{est.} = 1.4 * \frac{P_T}{G} \quad (2.58)$$

Conociendo el caudal y la presión estática, se puede determinar la potencia y las revoluciones del motor con la ayuda del anexo K.

2.14 PROCEDIMIENTO DE CÁLCULOS Y SELECCIÓN DE LOS COMPONENTES DEL SISTEMA FOTOVOLTAICO²¹

Los sistemas fotovoltaicos están constituidos por 4 componentes principales pero también depende del uso al que está orientado, ya que puede ser para instalaciones que necesitan solo corriente continua o puede ser para instalaciones que requieren

²⁰ CARRILLO, G., GUERRERO, B.; Diseño, construcción y automatización de un horno para el curado de pintura electrostática para el centro de producción E.S.P.E sede Latacunga; Tesis ESPE; 2010.

²¹ CHUQUIN, N., MÁRQUEZ, F.; Diseño, construcción y prueba de un sistema publicitario alimentado con energía solar, y controlado con un relé inteligente (Zelio); TESIS ESPOCH; Riobamba; 2011.

corriente alterna. De este modo los componentes son paneles fotovoltaicos, regulador de carga, baterías e inversores.

2.14.1 PANELES FOTOVOLTAICOS

Son los encargados en convertir los rayos solares en energía eléctrica. Están constituidos principalmente por bornes de conexión en la parte superior, las células fotovoltaicas conectadas entre sí, una cubierta de vidrio para proteger a las células de posibles impactos contra el medio ambiente, entre otros dispositivos que serán descritos a continuación.

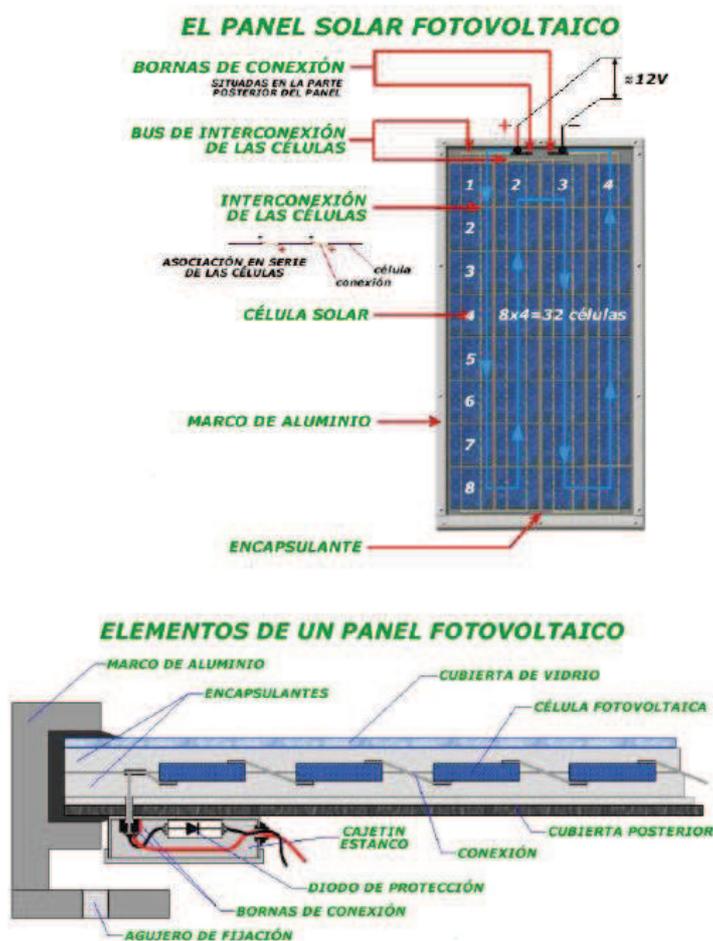


Figura 2. 21 Componentes de un panel solar fotovoltaico

Fuente: FIRCO Proyecto de Energía Renovable

- **Cubierta exterior:** Generalmente fabricada de vidrio para facilitar al máximo la transmisión de los rayos solares hacia las células.
- **Encapsulante:** Se ubica entre la cubierta exterior de vidrio y la protección posterior; se fabrica de silicona o de un compuesto denominado EVA (etil-vinil-acetona). Debe tener la característica de no quedar afectado por su continua exposición al sol, para no afectar las condiciones de radiación incidente.
- **Bornes de conexión:** Son las conexiones que dirigen a la carga eléctrica hacia los diodos de protección, para posteriormente llevar la corriente hacia el controlador de carga.
- **Diodos de protección:** Protege contra sobrecargas al verdadero funcionamiento del panel.
- **Marco metálico:** Su objetivo es proteger al panel solar y todos sus componentes de ataques del medio ambiente. Generalmente fabricado en aluminio.

2.14.2 FORMA DE CONECTAR PANELES SOLARES

Un panel solar como la mayoría de componentes eléctricos generadores de energía se los puede conectar en 2 formas:

En serie: Cuando se realiza este tipo de conexión de paneles solares fotovoltaicos los voltajes producidos se suman mientras las intensidades mantienen constantes. Por ejemplo si un módulo maneja 12 V y 1.5 A, y se lo conecta en serie con otro módulo de las mismas características, en conjunto se tendrá 24 V con 1.5 A.

En paralelo: La conexión de paneles solares fotovoltaicos en paralelo maneja una acumulación del amperaje acumulado mientras que el voltaje se mantiene constante. De igual manera si se conectan 2 módulos de las mismas características 12 V y 1.5 A, el conjunto adquiere 3 A mientras que el voltaje se mantiene en 12V.

2.14.3 EFECTO DE LA TEMPERATURA SOBRE EL SISTEMA

La mayoría de fabricantes de paneles solares fotovoltaicos dan las características máximas de los paneles fotovoltaicos asumiendo que dichos paneles van a trabajar a temperatura superficial de 25 °C y 1000 W/m². Pero cuando la temperatura del ambiente en donde se encuentran los paneles solares es alta, los paneles solares pueden llegar a aumentar su temperatura entre 10 y 15 °C, por lo que su eficiencia se ve afectada.

Como se puede ver en la figura 2.22 para paneles solares fotovoltaicos de 12 voltios de corriente continua, la temperatura apenas varía muy poco en la corriente, pero si se aumenta la temperatura el voltaje aumenta apenas un poco mientras que la corriente disminuye considerablemente. Esto es perjudicial para los paneles solares, ya que lo que se requiere es obtener la mayor potencia ($V \times I$).

Por lo tanto por cada grado de temperatura mayor a 25 °C, el panel FV disminuye su potencia en un 0.5%. Por ejemplo si se tiene que la temperatura ambiente es de 30°C y si el panel aumenta una temperatura de 15°C; esto supondría una temperatura superficial del panel FV en 45°C, con un aumento de 20°C de su valor referencial de temperatura de trabajo. Si se multiplica estos 20°C por el factor de pérdida de 0.5%, se obtiene que el panel FV disminuye un 10% en su eficiencia por lo que el panel solo trabaja a un 90% de su nivel máximo.

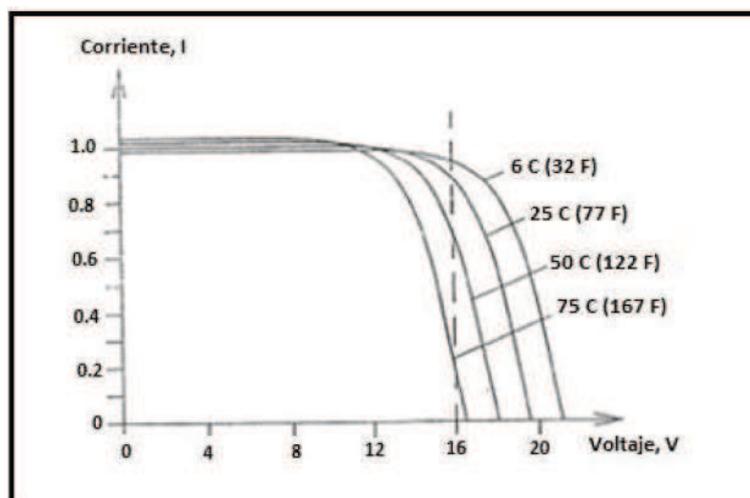


Figura 2. 22 Efecto de la temperatura en la corriente y el voltaje

Fuente: FIRCO Proyecto de Energía Renovable

Por lo tanto es muy importante que el panel fotovoltaico trabaje a su máximo nivel de temperatura (25°C), una recomendación de los fabricantes de paneles solares es que los paneles estén expuestos a un sistema de ventilación en la parte posterior para que la temperatura se mantenga constante.

2.14.4 COMPONENTES PRINCIPALES DE UN SISTEMA DE PANELES FV

Un sistema de paneles fotovoltaicos se conecta de la siguiente manera y orden específico. Primero los paneles fotovoltaicos quienes son los encargados de convertir la radiación solar en energía eléctrica, para luego hacer pasar la corriente eléctrica por un regulador de voltaje quien regula la corriente a un valor constante. Tercero son los bancos de baterías quienes almacenan el voltaje en valor constante, para que finalmente pasar a un inversor quien es el encargado de convertir el voltaje de corriente continua en corriente alterna. Adelante se explican más características de cada componente.

2.14.4.1 Regulador de carga

Es el componente encargado de regular la carga que llega al banco de baterías, ya que los paneles solares siempre son fabricado con un diferencial de potencia de $\pm 10\%$ cuando se recibe 1000 W/m^2 a $25 \text{ }^\circ\text{C}$. Por lo tanto si un panel solar es diseñado para cargar una batería de 12 V, dicho panel debería producir 13 V, de este modo si se tiene un panel solar compuesto por 33 celdas y cada celda produce 0.4 V, en conjunto se tiene 13.2 V, el cual es dirigido por el regulador de carga para regularlo en 12 V.

Otra función del regulador de carga es limitar la carga obtenida en la batería, ya que si se sobrepasa la carga en la batería, pueden iniciarse procesos de gasificación o de calentamiento que disminuyen la vida útil de la batería.

Otra de las funciones más importantes de los reguladores de carga es impedir que exista flujo de electricidad desde la batería hacia los paneles solares cuando no existe radiación solar.



Figura 2. 23 Regulador de carga Morningstar – SunSaver

Fuente: <http://www.morningstarcorp.com/en/products>

2.14.4.2 Baterías o acumuladores

Es un componente esencial cuando se quiere almacenar la energía eléctrica para poder ocuparla en una operación específica. Pero son innecesarias cuando se trata de instalaciones que son conectadas directamente a la red de consumo eléctrico de la casa o de industria.

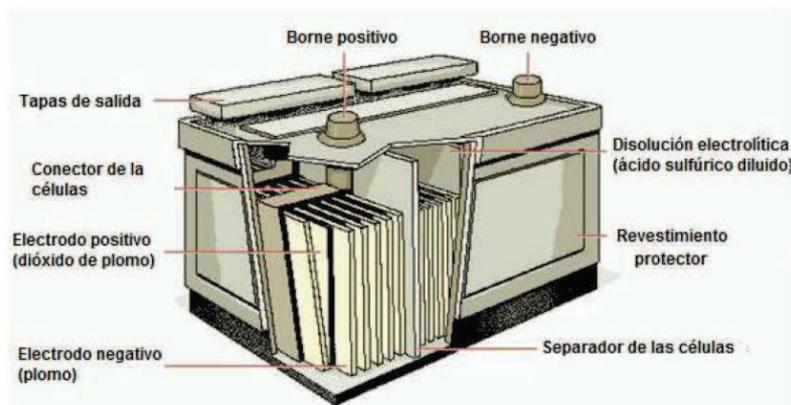


Figura 2. 24 Componentes de una batería de energía eléctrica²²

La capacidad de almacenamiento de una batería se la mide en Amperio-hora (Ah). Por ejemplo si una batería puede trabajar con 130Ah, la batería puede trabajar 1 hora con 130 Amperios o 10 horas con 13 Amperios. Mientras que si nos referimos al voltaje las baterías operan en rangos de 12, 24 y 48 Voltios, siendo las más habituales para operaciones de sistemas solares.

²² CHUQUIN, N., MÁRQUEZ, F.; Diseño, construcción y prueba de un sistema publicitario alimentado con energía solar, y controlado con un relé inteligente (Zelio); TESIS ESPOCH; Riobamba; 2011.

Una de las mayores desventajas de usar baterías es una operación de acumulación de energía eléctrica, es el tiempo de uso que se limita a 12 años. Mientras que si se conecta la energía directamente a la red de consumo no deberíamos preocuparnos del tiempo de uso ya que los reguladores como los inversores de voltaje puede llegar a trabajar por más 15 años.

2.14.4.3 Inversores de voltaje

Son los encargados de convertir la corriente continua en alterna ya que los equipos grandes trabajan con 110 o 220 VAC con la frecuencia requerida. Los inversores constan de un transformador, un oscilador y un transistor. Entre el oscilador y el transistor forman una onda rectangular interrumpiendo la corriente entrante, para posteriormente hacer pasar dicha onda por el transformador que controla dicha onda para darle la forma de onda senoidal.



Figura 2. 25 Inversor de voltaje

Fuente: <http://articulo.mercadolibre.com.co/>

2.14.5 ENERGÍA TOTAL CONSUMIDA

Para el estudio de la energía que debe alimentar el sistema de paneles fotovoltaicos, se debe tomar en cuenta todas las demandas de potencias, es decir los voltajes y las corrientes totales consumidas.

$$P = V \times I \quad (2.59)$$

Para el proyecto se ha decidido que los paneles solares deberán alimentar el motor del ventilador y del quemador.

Conociendo los valores de potencia de cada motor, se debe realizar el cálculo de la energía hora por día que se requiere que funcione el motor. Por lo que el consumo de energía por día se calcula de la siguiente manera:

$$E_d = \frac{P (W) * t_c (\frac{h}{día})}{1000} \quad (2.60)$$

Dónde:

E_d = Consumo de energía ($\frac{KWh}{día}$)

t_c = Tiempo de consumo por día

2.14.6 CÁLCULO Y SELECCIÓN DEL NÚMERO DE PANELES

Para la selección del número de paneles FV se debe considerar un factor de corrección del 20%, ya que la radiación solar hacia el panel solar no es constante de 1000 W/m². Por lo tanto la energía necesaria para el cálculo del número de paneles viene expresado como:

$$E_p = 1200 * \frac{E_d}{I_d} \quad (2.61)$$

Dónde:

E_p = Energía de los paneles (Wp)

Wp = Potencia Pico

I_d = Tiempo de Intensidad HPS

El valor del tiempo de intensidad HPS, se determina con la ayuda de la Tabla 2.8, la cual indica la heliofanía en la ciudad de Riobamba; y que en el peor de los casos se ha tomado el valor de 3.5 horas pico de sol radiante por día.

El número total de paneles que requiere el sistema se obtiene dividiendo la energía de los paneles para la potencia nominal de cada panel, como se muestra:

$$Np = \frac{Ep}{Wp_p} \quad (2.62)$$

Dónde:

Np = Número de paneles

Wp_p = Potencia pico nominal del panel

2.14.7 CÁLCULO Y SELECCIÓN DE LAS BATERÍAS

Para el cálculo y selección de las baterías se deben de tener en cuenta algunas características esenciales, entre las cuales están:

- Se debe considerar un tiempo de insolación nula, es decir un tiempo que los paneles solares no están generando energía eléctrica por la radiación solar nula en días lluviosos o nublados.
- La eficiencia de la batería no es del 100% y depende de varios factores entre los cuales está la forma de uso que se da a la batería, o si la batería se encuentra en constante utilización (carga y descarga). Para una batería de ácido-plomo la eficiencia puede alcanzar el 90%.
- La intensidad de voltaje en una batería puede ser de 12, 24 o 48 Voltios, de esta manera para instalaciones grandes la utilización de baterías de 48 Voltios, disminuirá el número de baterías que necesita la instalación.
- Por recomendaciones de los fabricantes de baterías, no se puede descargarlas inferiormente al 55%, ya que esto influye en el tiempo de vida de las baterías.

De esta manera el tamaño total de la batería, viene expresada como:

$$Tamaño = \frac{AUT * E_d}{R_b * D_b} \quad (2.63)$$

Dónde:

$Tamaño$ = Energía hora acumulados por la batería

AUT =Autonomía de días sin brillo solar

R_b = Eficiencia de la batería

D_b = Descarga máxima de la batería

Y el número total de baterías se obtiene dividiendo el tamaño para las características de la batería:

$$\text{Número baterías} = \frac{\text{Tamaño}}{Ah * V} \quad (2.64)$$

Dónde:

Ah = Cantidad de Amperios hora suministrada por la batería

V = Voltaje de salida

2.14.8 CÁLCULO Y SELECCIÓN DEL REGULADOR DE CARGA

Para la selección del regulador de carga se debe estudiar la máxima corriente que debe que soportar el regulador en cualquier tramo, ya sea desde el panel hasta la batería, o desde la batería hasta la carga. Y se obtiene el amperaje modificando la ecuación 2.59, de la siguiente manera:

$$I = \frac{P}{V} \quad (2.65)$$

2.14.9 SELECCIÓN DEL INVERSOR

Al seleccionar un inversor se debe verificar que cumpla con las características de funcionamiento de los equipos que alimenta, y los datos son:

- Voltaje de entrada
- Voltaje de salida
- Frecuencia
- Potencia de salida

- Potencia de entrada
- Amperaje máximo de descarga

2.15 SISTEMA DE CONTROL

Para obtener un proceso mucho más versátil y continuo se debe implementar un sistema el cual es el encargado de controlar todos los equipos que conforman el cuarto de secado. Para el proyecto el sistema de control está compuesto por sensores o termocuplas, controladores o PLC, actuadores eléctricos y un software.

Tipo termopar	Metales	Rango temperatura
B 	+ Platino – 30% Rodio - Platino – 6% Rodio	0 + 1700 °C
C 	+ Tungsteno – 5% Renio - Tungsteno – 26% Renio	0 + 2320 °C
E 	+ Níquel – Cromo - Cobre – Níquel	-200 + 900 °C
J 	+ Hierro - Cobre - Níquel	0 + 750 °C
K 	+ Níquel – Cromo - Níquel - Aluminio	-200 + 1250 °C
N 	+ Níquel – 14,2% Cromo – 1,4% Silicio - Níquel – 4,4% Silicio – 0,1% Magnesio	-200 + 1250 °C
R 	+ Platino – 13% Rodio - Platino	0 + 1450 °C
S 	+ Platino – 10% Rodio - Platino	0 + 1450 °C
T 	+ Cobre - Cobre - Níquel	-200 + 350 °C

Figura 2.26 Tipos de termopares y su respectivo rango de temperatura

Fuente: <http://scileaden.com/>

2.15.1 TERMOCUPLA

Un sensor termocupla o también llamado termopar es aquel que puede producir un voltaje por la diferencia de temperatura entre dos metales. Las termocuplas son los sensores más baratos y con un sinfín de usos, así que han llegado a ser indispensables en el campo de la instrumentación industrial ya que pueden llegar a medir grandes rangos de temperaturas con un pequeño rango de error. Por lo tanto, el uso del termopar tipo J satisface el rango de temperatura del cuarto de secado entre 15 y 200°C.

2.15.2 CONTROLADOR O PLC

Un controlador es aquel equipo que compara distintos valores entre los valores de los sensores y los valores reales programados para posteriormente tomar acciones y ordenar a los actuadores que abran o cierren el circuito para equilibrar los valores reales con un rango determinado de tiempo.

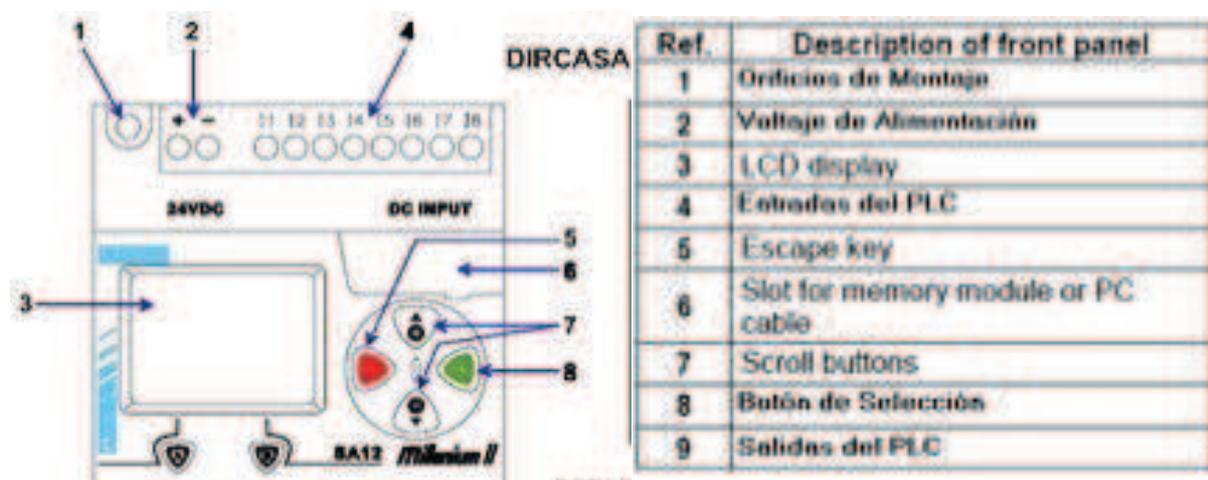


Figura 2. 27 Componentes de un PLC

Un PLC o también llamado Controlador Lógico Programable está compuesto por entradas y salidas que son las responsables de censar los datos y mandar las acciones a los actuadores. Además de poseer varios dispositivos electrónicos como un CPU,

memorias y dispositivos programables. Las entradas y salidas pueden ser de 2 tipos digitales (ON/OFF) o analógicas (VDC, mA, etc).

2.15.3 ACTUADORES ELÉCTRICOS

Los actuadores eléctricos son aquellos que pueden provocar un esfuerzo a través de una señal eléctrica para abrir o cerrar el sistema. Los actuadores eléctricos son equipos de señal intermedia entre el PLC y el equipo que se desea arrancar o parar, ya que la señal del controlador, activa un contactor que permite el paso de la corriente eléctrica hacia el actuador.



Figura 2. 28 Forma de conexión de un motor a través de un PLC.

2.15.4 SOFTWARE DE PROGRAMACIÓN

El software de programación es el método que se utiliza para que el PLC compare los datos y realice las acciones a través de los actuadores. Entre los métodos más usados están:

Lenguajes gráficos

- Diagrama de funciones (FBD)
- Lenguaje de contactos o Ladder (LD)

Lenguajes textuales

- Lenguaje Booleano (Lista de instrucciones) (IL)
- Texto estructurado (ST)

Para cada tipo de fabricante se tiene establecido un tipo de software de programación, es por esto que se tiene una gran variedad de PLC's actualmente en el mercado. Aunque todos los tipos de software son evaluados y certificados por la norma IEC 1131 ha sido imposible estandarizar un solo método para la programación.

CAPITULO III

DISEÑO DEL CUARTO DE SECADO

Al hablar de resultados finales este capítulo es el más importante, ya que define las características esenciales y suficientes que debe tener la cámara de secado para su normal funcionamiento. Dichas características a su vez definirán los equipos que se implementan para la construcción del cuarto de secado.

Los parámetros de diseño del cuarto o cámara de secado serán tomados en cuenta para realizar los cálculos correspondientes. Mientras que, los diagnósticos sirven para comparar y luego determinar cuáles son los equipos idóneos para la cámara o cuarto de secado.

3.1 ESTRUCTURA DEL CUARTO DE SECADO

Para la selección de la estructura del cuarto de secado se han tomado 3 estructuras fundamentales, de las cuales se toma la más eficiente para el secado de pintura de tableros eléctricos.

3.1.1 ESTRUCTURA 1

Este tipo de estructura los ventiladores se encuentran en la parte posterior e interna del horno y por tener mayor área se puede implementar fácilmente 2 ventiladores que ayudan con una distribución muy buena para el cuarto de secado y para controlar la velocidad de ingreso del aire con el contacto con los tableros eléctricos se diseñan deflectores perfectamente posicionados. Su facilidad de montaje y desmontaje la hacen la alternativa más eficiente para el proyecto. Además de disminuir considerablemente las pérdidas por ductos o curvaturas, por ende disminuye la potencia del ventilador.

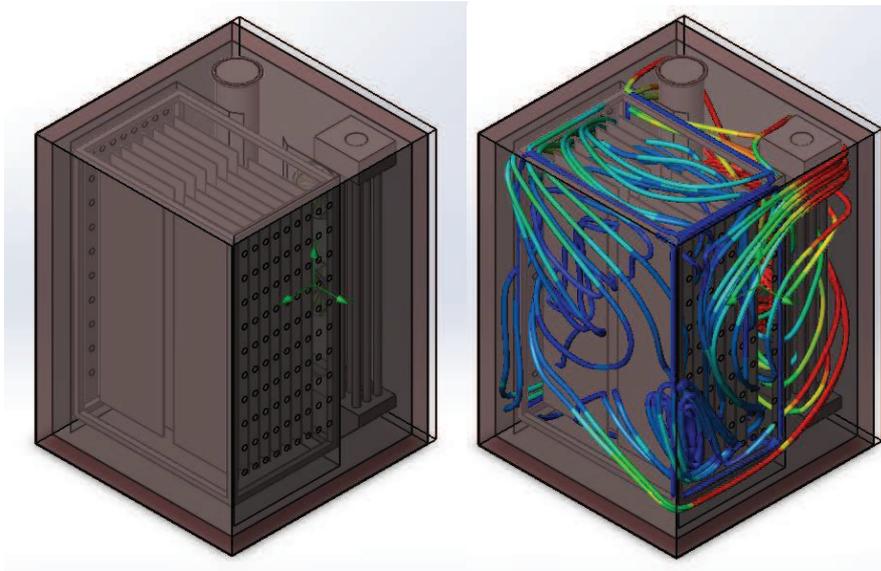


Figura 3.1 Estructura 1 con simulación de la trayectoria del aire dentro del cuarto de secado

Elaboración: Propia

3.1.2 ESTRUCTURA 2

En este tipo de estructura, el intercambiador de calor se encuentra ubicado en la parte de atrás del horno; donde el aire es absorbido por la parte superior a través del ventilador que se encuentra en la parte superior muy bien ubicado para esparcir el aire caliente a través del interior del horno. Las paredes de la cámara de transferencia de calor esta soldada de igual manera que el cuarto de secado pero para observar su funcionamiento la figura la tiene descubierta. El problema con este tipo de estructura es que la trayectoria del aire se dirige hacia la izquierda ya que el ventilador empieza la succión desde esta posición.

3.1.3 ESTRUCTURA 3

Para la alternativa de estructura 3 del cuarto de secado, el aire es absorbido con el ventilador por el centro inferior del cuarto de secado y es expulsado hacia arriba del ventilador para expandirle y posteriormente pasar por el intercambiador de calor. La distribución del aire caliente se la realiza por la parte central superior del cuarto de

secado. A pesar de ser una alternativa muy buena para la distribución del aire, el problema es que la altura del cuarto sobrepasa los 3 metros y al momento de montaje o desmontaje del ducto superior ocasionaría varios problemas.

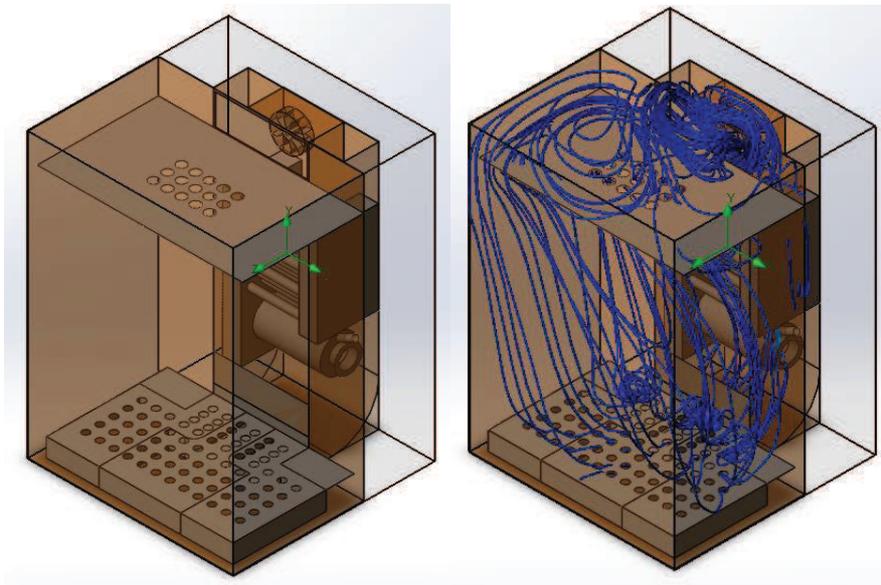


Figura 3. 2 Estructura 2 con simulación de la trayectoria del aire en el cuarto de secado

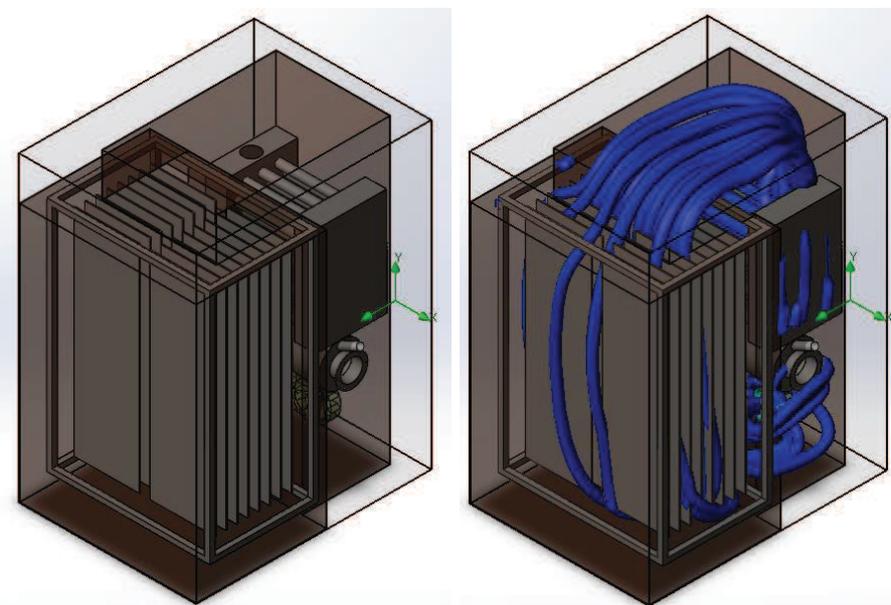


Figura 3. 3 Estructura 3 con simulación de la trayectoria del aire en el cuarto de secado

Elaboración: Propia

3.1.4 SELECCIÓN DE LA ALTERNATIVA DE ESTRUCTURA

Para la selección del tipo de estructura del cuarto de secado se realiza una matriz de ponderación para determinar cuáles son las características más favorables o no favorables de cada estructura y de esta manera establecer las características esenciales del cuarto de secado.

Tabla 3. 1 Matriz de ponderación para la selección del tipo de estructura

ASPECTOS	PONDERACION	ESTRUCTURAS		
		1	2	3
INGENIERILES	60	55	45	39
Versatilidad en montaje y desmontaje	20	18	15	12
Vida útil	10	9	9	9
Menor potencia del ventilador	10	9	7	5
Menor número de ductos	10	10	8	5
Distribución del aire	10	9	6	8
ECONOMICOS	20	18	15	12
Costos de materiales	5	4.5	4	3.5
Costos de instalación	5	4.5	3	2.5
Costos de mantenimiento	10	9	8	6
EXTRAS	20	18	15	15
Eficiencia	10	9	7	9
Seguridad	10	9	8	6
TOTAL	100	91	75	66

Elaboración: Propia

Después de analizar cada uno de los aspectos para la selección del tipo de estructura se determina que la estructura número 1 es la mejor elección por varios aspectos como el montaje, mantenimiento, por tener el menor número de ductos, etc.

Por lo tanto la estructura 1 cumple con los requisitos tanto ingenieriles, económicos y de seguridad para la construcción del cuarto de secado.

3.1.5 VOLUMEN INTERNO

Como bien se ha manifestado en varias ocasiones y en el título del proyecto, nuestro cuarto de secado es diseñado principalmente para el secado o curado de pintura de tableros eléctricos.

Las dimensiones de dichos tableros eléctricos, han llegado a ser estandarizados y en donde sus dimensiones más grandes son: 2000*800*600 mm.

Por lo cual, el cuarto de secado debería tener la capacidad para realizar el secado de la pintura electrostática, de por lo menos 2 tableros eléctricos de las mayores dimensiones. Con una distancia entre tableros, y una distancia igual considerable entre los tableros y las paredes del cuarto de secado.

Ya que es un requerimiento del cliente, que la cabina de secado pueda realizar el secado de 2 tableros cada vez que se realice el secado. El cuarto de secado debe tener las dimensiones mínimas de largo: 1.0 metros, ancho: 1.5 metros y altura: 2.2 metros.

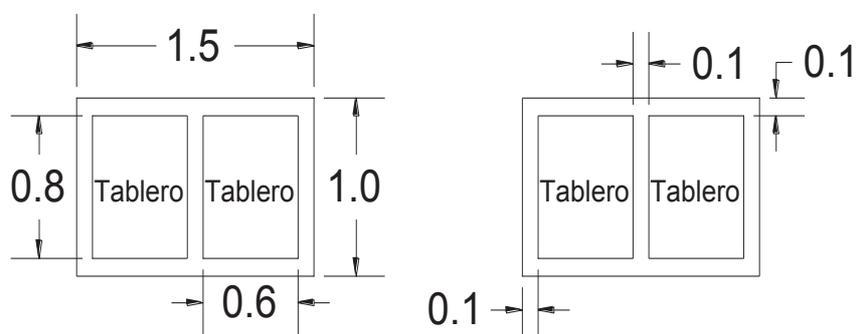


Figura 3. 4 Vista superior interna del cuarto de secado (Distancias en metros)

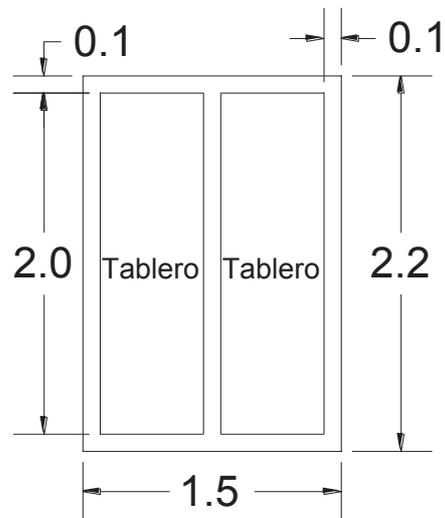


Figura 3. 5 Vista Frontal interna del cuarto de secado (Distancias en metros)

Elaboración: Propia

3.2 CÁLCULO DEL CALOR TOTAL.

Para determinar un calor necesario para que el cuarto de secado tenga la temperatura de equilibrio (170°C), se realiza el diagrama de los calores involucrados, como se puede ver en la Figura 3.6.

3.2.1 CALOR NECESARIO PARA CALENTAR LOS TABLEROS

Entre las especificaciones necesarias para encontrar el calor, tenemos que la temperatura en la ciudad de Riobamba es de 15°C . En relación al material, es acero o tol galvanizado, con un espesor estándar de 1 mm en su interior. Las dimensiones de los tableros se han tomado, de aquel tablero que tenga mayor área, es decir los tableros más grandes estandarizados.

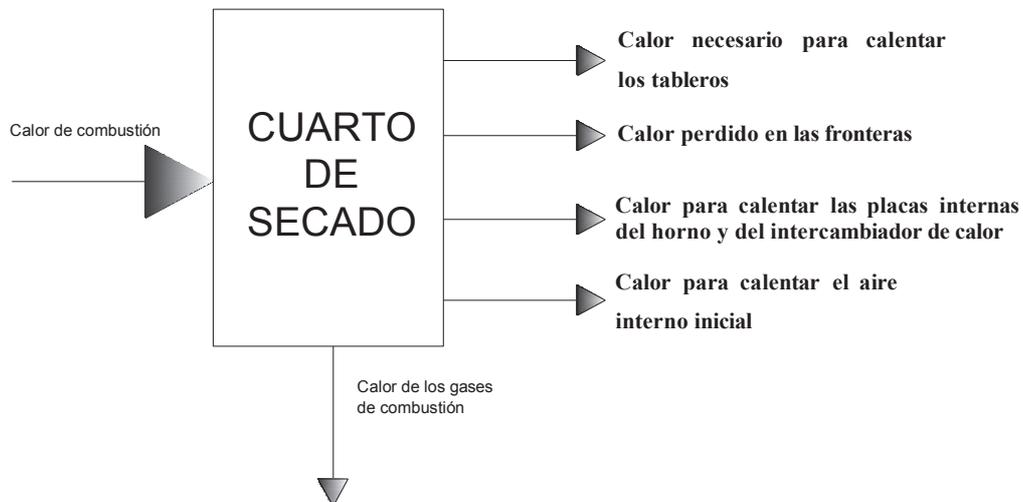


Figura 3. 6 Diagrama de flujo de calor necesario en el cuarto de secado

Elaboración: Propia

A través, del material, temperaturas y dimensiones de los tableros, se requirieron los siguientes datos:

$$Cp_{acero} = 434 \quad \frac{J}{Kg \cdot ^\circ K}$$

$$\rho_{acero} = 0.00000813 \quad \frac{Kg}{mm^3}$$

$$N_{tableros} = 2$$

$$V_{tablero} = 6243394.02 \quad mm^3$$

$$^{\circ}T_{i_{tablero}} = 288 \quad ^{\circ}K$$

$$^{\circ}T_{f_{tablero}} = 443 \quad ^{\circ}K$$

Como un dato primordial se debe calcular un volumen a través de las dimensiones estándar, ya que se necesita el peso de los tableros, con la ayuda de la densidad. Este cálculo del volumen se realiza con la ayuda del programa Autodesk Inventor, para agilizar los resultados ya que posee un sin número de dobleces y cortes.

Masa del tablero

$$Mt_{tablero} = V_{tablero} * \rho_{acero} \quad (3.1)$$

Masa de cada tablero

$$V_{\text{tablero}} = 6243394.02 \text{ mm}^3$$

$$M_{\text{tablero}} = 50.76 \frac{\text{Kg}}{\text{tablero}}$$

Masa total de 2 tableros

$$M_{\text{tablero}} = M_{\text{tablero}} * N_{\text{tableros}} \quad (3.2)$$

$$M_{\text{tablero}} = 101.51 \text{ Kg}$$

Calor

$$Q = m * Cp * \Delta T \quad (3.3)$$

$$Q_{\text{tableros}} = m_{\text{tablero}} * Cp_{\text{acero}} * \Delta T$$

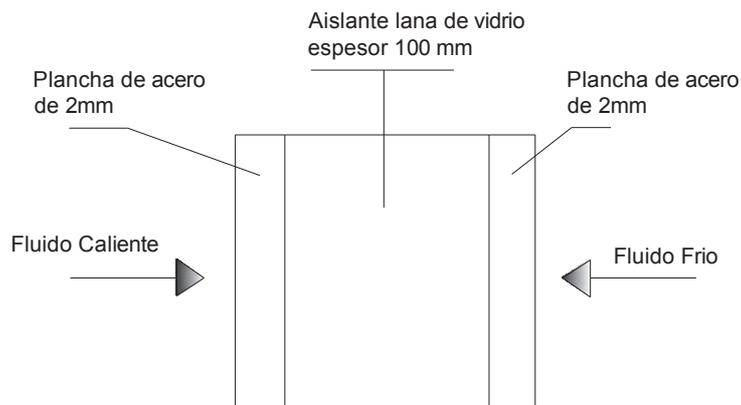
Calor para calentar los tableros

$$Q_{\text{tableros}} = 6828.8 \text{ KJ}$$

3.2.2 CALOR PERDIDO EN LAS FRONTERAS

El área total, tanto de acero como de lana de vidrio es la suma de las áreas de todas las paredes y puertas del cuarto de secado, así como también del pequeño cuarto en donde se encuentra los tubos del intercambiador de calor, el mismo que llamaremos cabina de transferencia de calor. Estas áreas se determinan por la ayuda de la modelación del programa Autodesk Inventor. Este primer análisis se realiza para las paredes y el techo del cuarto de secado, mientras que para el piso el análisis es algo diferente.

$$Q_x = \frac{^{\circ}T_{\text{interna}} - ^{\circ}T_{\text{externa}}}{\left[\left(\frac{1}{h_{\text{aire}_{\text{int.}} * A}} \right) + \left(\frac{e_{\text{int. acero}}}{K_{\text{acero} * A}} \right) + \left(\frac{e_{\text{aislante}}}{K_{\text{aislante} * A}} \right) + \left(\frac{e_{\text{ext. acero}}}{K_{\text{acero} * A}} \right) + \left(\frac{1}{h_{\text{aire}_{\text{ext.}} * A}} \right) \right]} \quad (3.4)$$



$$\left(\frac{1}{h_{aire_{int.}} * A} \right) \left(\frac{e_{int.acero}}{K_{acero} * A} \right) \left(\frac{e_{aislante}}{K_{aislante} * A} \right) \left(\frac{e_{ext.acero}}{K_{acero} * A} \right) \left(\frac{1}{h_{aire_{ext.}} * A} \right)$$

Figura 3.7 Representación de las pérdidas en la frontera

Elaboración: Propia

$$h_{aire_{int.}} = 43.6 \frac{J}{m^2 * s * ^\circ K}$$

$$h_{aire_{ext.}} = 8 \frac{J}{m^2 * s * ^\circ K}$$

$$K_{plancha_{acero}} = 37.7 \frac{J}{m * s * ^\circ K}$$

$$K_{aislante_{lanadevidrio}} = 0.036 \frac{J}{m * s * ^\circ K}$$

$$e_{planchaint.acero} = 0.002 \text{ m}$$

$$e_{planchaext.acero} = 0.002 \text{ m}$$

$$e_{aislante_{lanadevidrio}} = 0.1 \text{ m}$$

$$^{\circ}T_{interna} = 443 \text{ } ^\circ K$$

$$^{\circ}T_{externa} = 288 \text{ } ^\circ K$$

Cálculo de áreas laterales y techo

$$A_{total} = 19.21 \text{ m}^2$$

Calor perdido por las fronteras

$$Q = 1017.69 \text{ W}$$

$$Q_{perdidas1} = 3663.68 \frac{KJ}{h}$$

Mientras que para el piso del cuarto de secado se emplea solo acero de 6 mm para dar más rigidez, teniendo en cuenta que el piso en donde está ubicado el cuarto de secado este conformado por concreto de 50 cm de espesor, y considerando que la temperatura dentro de la tierra es de 10 °C.

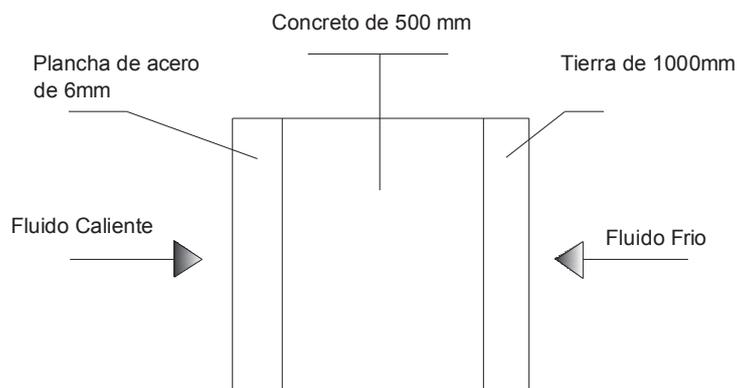


Figura 3. 8 Representación de las pérdidas en el piso

Elaboración: Propia

Por lo tanto realizando los cálculos respectivos la pérdida en el piso es de:

$$\begin{aligned}
 h_{aire_{int.}} &= 43.6 \frac{J}{m^2 * s * ^\circ K} \\
 h_{aire_{ext.}} &= 6.13 \frac{J}{m^2 * s * ^\circ K} \\
 K_{plancha_{acero}} &= 37.7 \frac{J}{m * s * ^\circ K} \\
 K_{aislante_{concreto}} &= 1.4 \frac{J}{m * s * ^\circ K} \\
 e_{planchaint.acero} &= 0.006 \quad m \\
 e_{tierra} &= 1 \quad m \\
 e_{Concreto} &= 0.5 \quad m \\
 ^\circ T_{interna} &= 443 \quad ^\circ K \\
 ^\circ T_{externa} &= 283 \quad ^\circ K
 \end{aligned}$$

Cálculo de área del piso

$$A_{total} = 2.89 \quad m^2$$

Calor perdido por las fronteras

$$Q = 811.38 \quad W$$

$$Q_{perdidas2} = 2920.96 \frac{KJ}{h}$$

$$Q_{perdidasTOTAL} = 6584.64 \frac{KJ}{h}$$

3.2.3 CALOR PARA CALENTAR LAS PLACAS INTERNAS DEL HORNO

Se realiza el cálculo de pérdidas de calor que se necesita para calentar las placas internas del cuarto de secado a la temperatura de equilibrio de 170 °C. De la ecuación 3.3, se calcula el calor perdido pero se hace énfasis en las láminas de acero internas del cuarto de secado de tableros eléctricos.

$$Q_{planchasinternasacero} = m_{acero} * Cp_{acero} * \Delta T$$

A través del área ya calculada por el programa Autodesk Inventor se calcula la masa de acero en el interior del horno de secado, además de una pared trasera extra ya que se planea utilizarla para la recirculación del aire. Para calcular el calor total de placas internas del horno se debe considerar los deflectores, así como el coche que transporta los tableros desde el cuarto de pintado al cuarto de secado, para obtener posteriormente un valor exacto de calor que se debe vencer para llegar a la temperatura de equilibrio.

$$A_{cabina} = 19.21 \text{ m}^2$$

$$A_{deflectores} = 7.36 \text{ m}^2$$

$$A_{coche} = 3.71 \text{ m}^2$$

$$A_{total\ acero} = 30.28 \text{ m}^2$$

$$\rho_{acero} = 0.00000813 \frac{Kg}{mm^3}$$

$$e_{plancha\ acero} = 0.002 \text{ m}$$

$$m_{acero} = 492.35 \text{ Kg}$$

$$m_{acero\ del\ piso} = 140.97 \text{ Kg}$$

$$m_{acero\ TOTAL} = 633.33 \text{ Kg}$$

$$Q_{\text{planchas}_{\text{internas}_{\text{acero}}} = 42603.91 \text{ KJ}$$

3.2.4 CALOR PARA CALENTAR EL AIRE INTERNO INICIAL

De la misma manera que el calor de las planchas internas se escoge la ecuación 3.3 para determinar el calor para calentar el aire interno del cuarto de secado. El volumen interno de aire es de 5.5 m³ para el cuarto de secado y cerca de 1.5 m³ para la cámara de transferencia de calor, y se desprecia el volumen de los tableros ya que se tratan de planchas de 1 mm de espesor.

De esta manera:

$$Q_{\text{masa}_{\text{aire}}} = m_{\text{aire}} * C_{p_{\text{aire}}} * \Delta T$$

$$m_{\text{aire}} = V_{\text{interno}} * \rho_{\text{aire}}$$

$$\rho_{\text{aire}} = 0.84 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3} \quad (\text{Cálculo realizado con carta psicométrica})$$

$$C_{p_{\text{aire}@288^{\circ}\text{K}}} = 1.005 \frac{\text{KJ}}{\text{Kg}^{\circ}\text{K}}$$

$$C_{p_{\text{aire}@443^{\circ}\text{K}}} = 1.020 \frac{\text{KJ}}{\text{Kg}^{\circ}\text{K}}$$

Los resultados obtenidos son:

$$m_{\text{aire}} = 5.83 \text{ Kg}$$

$$Q_{\text{masa}_{\text{aire}}} = 914.88 \text{ KJ}$$

3.2.5 POTENCIA TOTAL PARA EL INTERIOR DEL HORNO

Para determinar cuál es el tiempo necesario para que las láminas de los tableros eléctricos lleguen a la temperatura de equilibrio, se utiliza el estado transitorio de un sólido para obtener cual es la curva de calentamiento de las láminas.

Estado transitorio de calentamiento de las placas de los tableros eléctricos

Para resolver el estado transitorio de un sólido, la manera más efectiva de hacerlo es con el método de la resistencia interna despreciable, que supone que la temperatura del sólido es uniforme en cualquier instante de tiempo durante el proceso transitorio, es

decir su gradiente de temperatura es insignificante. Para que un sólido tenga un gradiente de temperatura insignificante, según la Ley de Fourier debe existir una conductividad térmica infinita, a pesar de que esta suposición es relativamente imposible, para efectos de cálculos se debe considerar que se cumple. De esta manera se realiza un balance global de energía del sólido que se debe calentar, en este balance se relaciona la velocidad de pérdida de calor del sólido con la rapidez de cambio de energía, de esta manera:

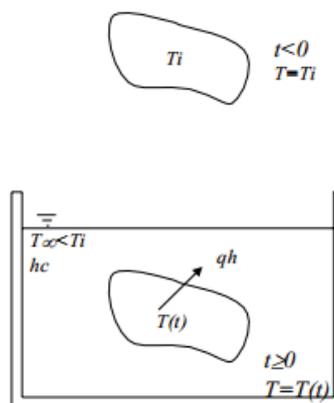


Figura 3. 9 Representación de un sólido enfriado en un medio frío

Fuente: <http://infomeca.files.wordpress.com/2012/12/p2.pdf>

$$\dot{E}_{sale} = \dot{E}_{alm}$$

$$-h * A_s * (T - T_\infty) = \rho * V * Cp * \frac{dT}{dt}$$

Suponiendo que el sólido se calienta y que el ambiente tiene una temperatura superior a la temperatura inicial del sólido. Además introduciendo que:

$$\theta = T - T_\infty$$

$$\frac{d\theta}{dt} = \frac{dT}{dt}$$

De esta manera la ecuación queda modificada a:

$$\frac{\rho * V * Cp}{h * A_s} * \frac{d\theta}{dt} = -\theta$$

Separando variables e integrando con la siguiente condición:

$$t = 0 \quad T(0) = T_i$$

$$\theta_i = T_i - T_\infty$$

$$\frac{\rho * V * Cp}{h * A_s} \int_{\theta_i}^{\theta} \frac{d\theta}{\theta} = - \int_0^t dt$$

Reemplazando las condiciones anteriores se tiene:

$$\frac{\theta}{\theta_i} = \frac{T - T_\infty}{T_i - T_\infty} = \exp \left[- \left(\frac{h * A_s}{\rho * V * Cp} \right) t \right]$$

De aquí se puede despejar la variable T , que nos indica como varia la temperatura de las láminas del tablero eléctrico en función del tiempo y haciendo intervalos de 1 minuto, determinar cuál es el tiempo prudencial para alcanzar la temperatura deseada. Además se debe tener en cuenta que las láminas con la pintura electrostática en polvo debe tener un tiempo de 10 minutos sobre la temperatura de equilibrio para poder polimerizarse.

$$T = T_\infty - (T_\infty - T_i) * \exp \left[- \left(\frac{h * A_s}{\rho * V * Cp} \right) t * 60 \right]$$

EVOLUCIÓN DE TEMPERATURAS EN FUNCIÓN DEL VALOR DEL NÚMERO DE BIOT:

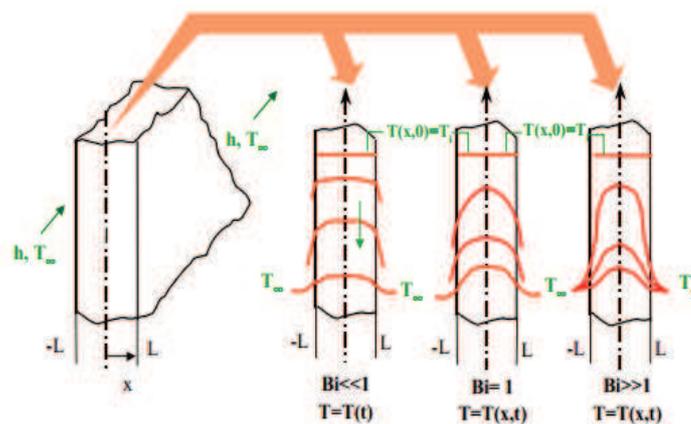


Figura 3. 10 Cambio de temperatura en función del número de Biot

Fuente: <http://www.upv.es/entidades/DTRA/infoweb/dtra/info/U0296618.pdf>

Antes de obtener los cálculos se debe obtener un número, llamado número de Biot, que es esencial para utilizar el método de la resistencia interna despreciable. Este número

menciona que la resistencia por conducción es despreciable comparada con la resistencia térmica de los alrededores.

$$\frac{R_{cond}}{R_{term}} = \frac{h * L}{K} = Bi$$

Para obtener resultados relativamente exactos el número de Biot debe ser mucho menor que 1.

Calculando el número de Biot:

$$h = 43.6 \frac{J}{m^2 * s * ^\circ K}$$

$$L = 0.0005 \text{ m}$$

$$K = 65.8 \frac{J}{m * s * ^\circ K}$$

$$Bi = 0.0003313$$

Por lo tanto se cumple que el número de Biot es mucho menor a 1 y podemos utilizar el método de la resistencia interna despreciable.

De esta manera con la ayuda de la hoja de cálculo Excel se puede determinar los siguientes resultados:

Tabla 3. 2 Propiedades del acero y del aire para el cálculo del tiempo de estabilización

T_∞	180°C
T_i	15°C
h	43.6
A_s	6.24
V	0.00312
ρ	8130
Cp	434

Tabla 3. 3 Cambio de temperatura en función del tiempo

t (minutos)	T (°C)
0	15.00
30	101.39
60	142.55
90	162.16
120	171.50
150	175.95
180	178.07
210	179.08
240	179.56
270	179.79
300	179.90
330	179.95
360	179.98
390	179.99
420	179.99
450	180.00
480	180.00
510	180.00
540	180.00
570	180.00
600	180.00
630	180.00
660	180.00

690	180.00
720	180.00

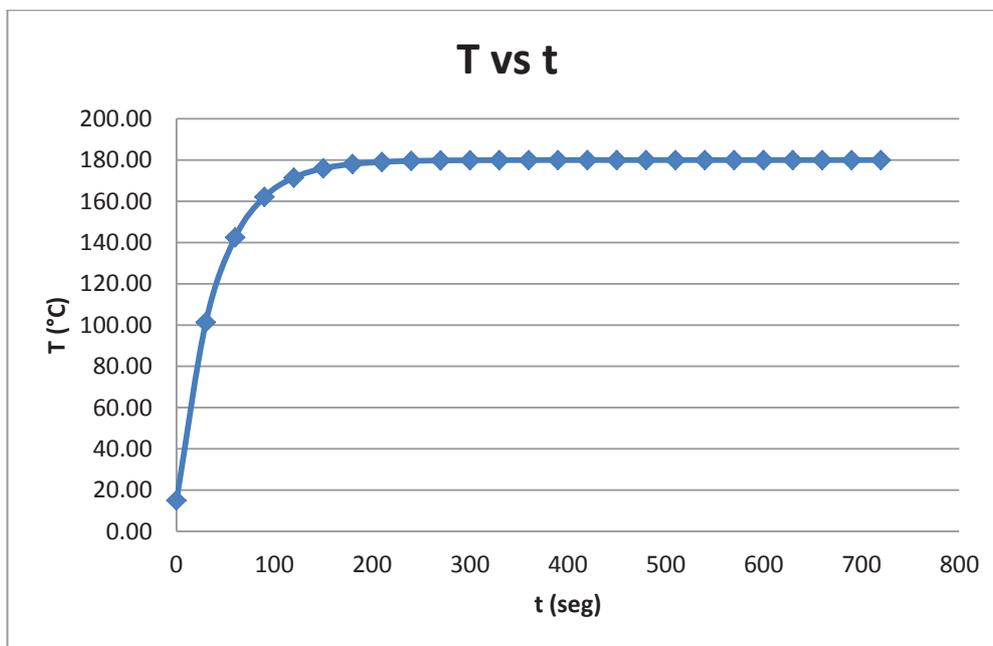
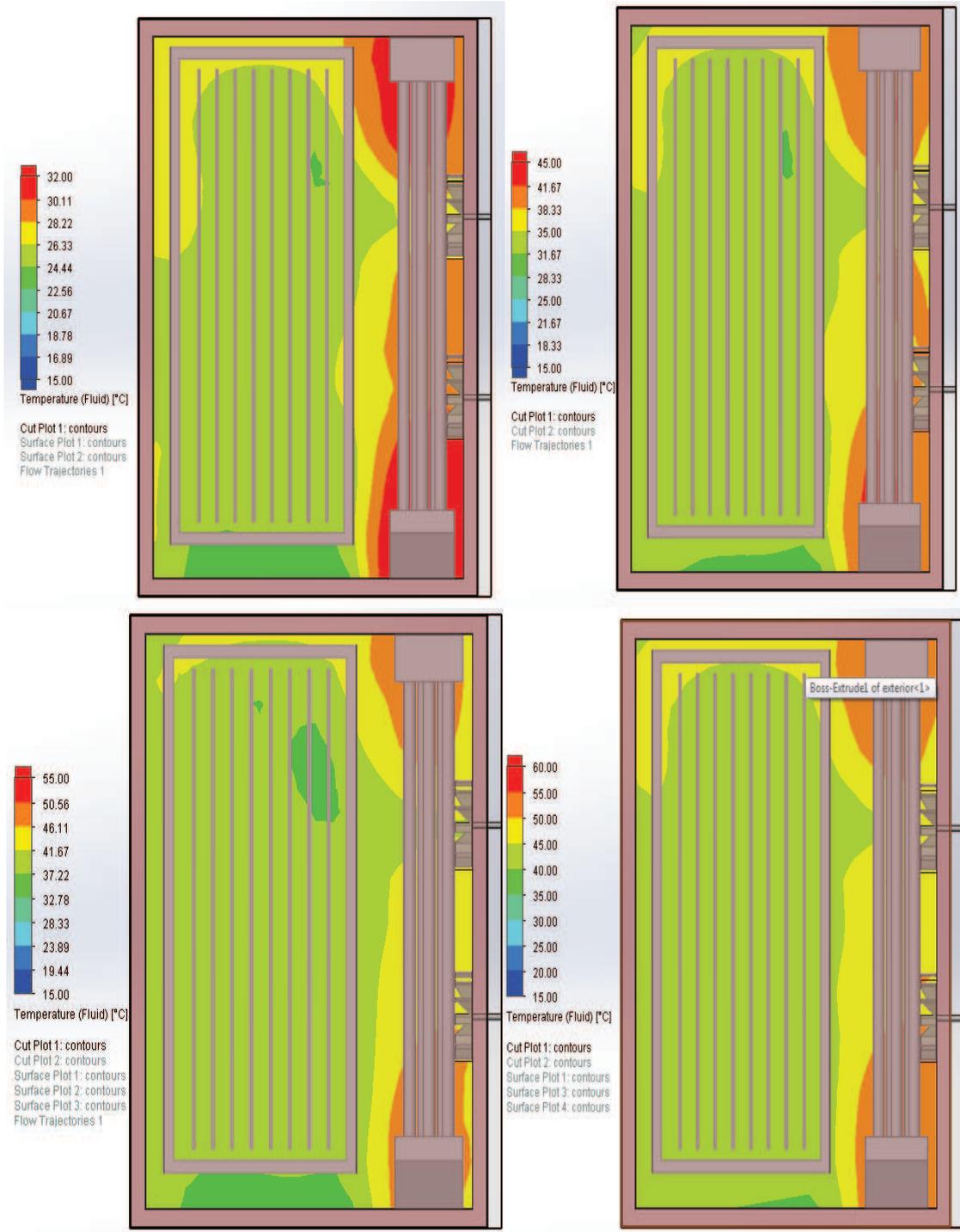


Figura 3. 11 Cambio de la temperatura en función del tiempo

De los datos obtenidos se puede establecer que el tiempo necesario para que las láminas del tablero lleguen a la temperatura de equilibrio es de 2 minutos y sumando el tiempo de exposición de las láminas del tablero hasta que se produzca la polimerización; el tiempo total es de 12 minutos.

El anterior análisis se realiza si las láminas de los tableros son ingresados cuando el cuarto de secado ya se encuentre a la temperatura de 180 °C, pero si se realiza el análisis considerando las paredes internas del cuarto de secado así como las láminas de los tableros y los difusores, además asumiendo que el aire del cuarto de secado aumenta su temperatura en promedio 7.5 °C cada minuto, la curva de secado de las láminas de los tableros se asemeja a la siguiente gráfica. En donde se puede establecer que el tiempo para que el cuarto de secado llegue a la temperatura de equilibrio es de 25 minutos y que sumado el tiempo hasta la polimerización, las láminas se encuentran en el cuarto de secado por 35 minutos.



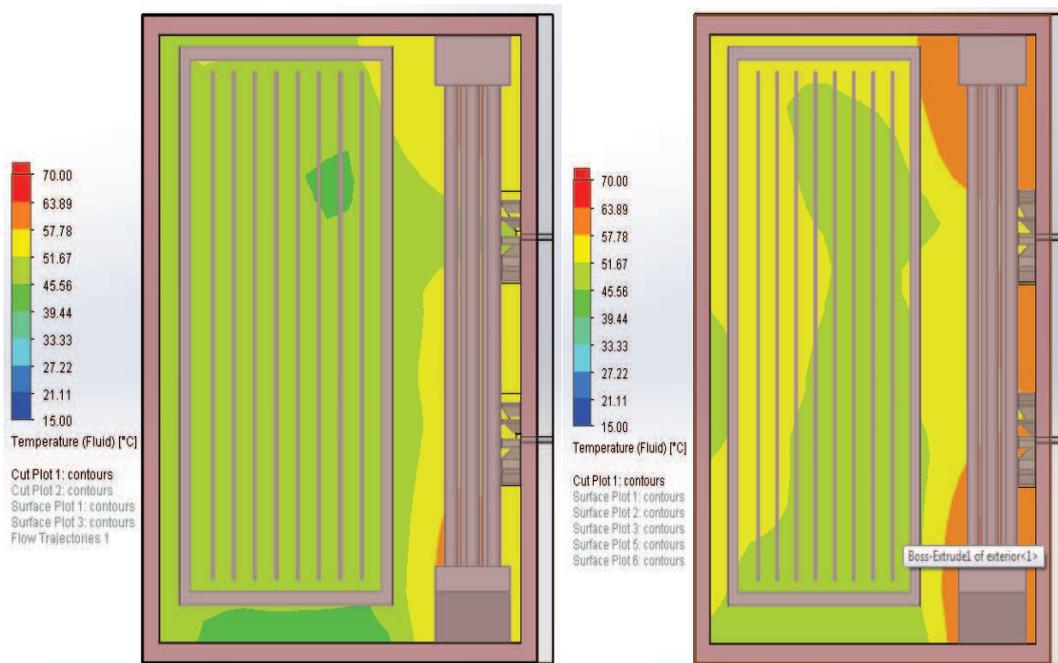


Figura 3. 12 Simulación de la temperatura del aire del cuarto de secado durante los 6 primeros minutos

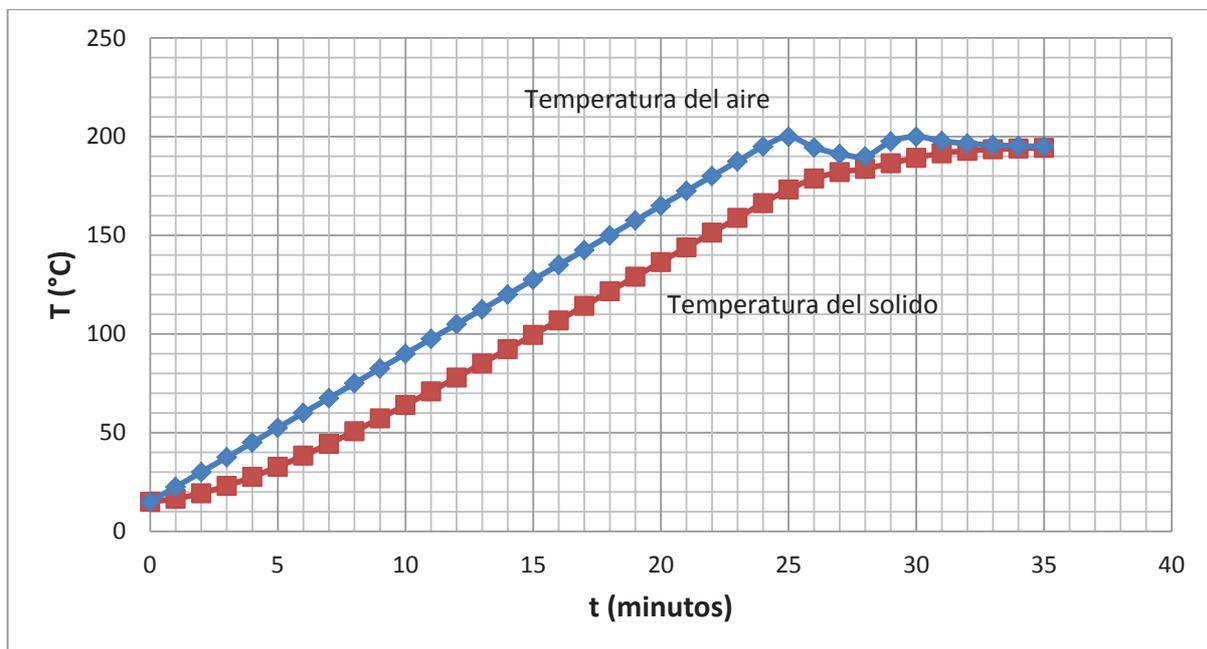


Figura 3. 13 Comparación del calentamiento del aire y de las láminas de los tableros eléctricos considerando un aumento de 7.5°C/min en la temperatura del aire

Para el cálculo de la potencia se requiere de un tiempo de estabilización, este tiempo es aquel que requiere el interior del cuarto de secado para que alcance la temperatura de equilibrio, y se establece como 25 minutos ($\frac{5}{12}$ hora). De aquí la potencia es:

$$P_T = \frac{Q_{\text{tableros}} + Q_{\text{masa aire}} + Q_{\text{planchas internas acero}}}{t} + Q_{\text{perdidas}}$$

$$P_T = 127419.3 \frac{KJ}{h}$$

$$P_T = 35.39 \text{ KW}$$

3.3 ANÁLISIS DE LA COMBUSTIÓN DEL DIÉSEL

La combustión es una de las partes más importantes en nuestro cuarto de secado, ya que es el quemador quien tiene que dar el calor para calentar el aire que pasa por el cuarto de secado de tableros eléctricos. Entre las principales características que se analizan para tener una idea más adecuada del diésel están: el poder calorífico o calor de combustión, la temperatura adiabática, la cantidad necesaria de aire para la combustión, etc.

QUEMADORES PARA COMBUSTIBLES LIQUIDOS

Son aquellos quemadores que utilizan a los combustibles líquidos como su fluido para realizar la combustión con el aporte del aire en determinados porcentajes, donde sus principales funciones son:

- Mantener constante las proporciones de aire y combustible para tener una combustión completa.
- Proporcionar la cantidad eficiente de aire para controlar la temperatura a la cual se requiere alcanzar.
- Pulverizar el combustible para facilitar la mezcla con el aire.

- Crear un aire turbulento y con velocidades elevadas para crear el tiro forzado de la llama.

La pulverización del combustible es la característica más importante que debe crear el ventilador para una óptima combustión y existen varias maneras entre los principales métodos se encuentran:

Por inyección: El comburente de aporte para la combustión es trasladado a alta velocidad arrastrando el combustible atomizado hacia un inyector.

Por presión: El combustible es arrastrado a presión por una tobera hasta la cámara de combustión, donde es pulverizado por expansión.

Por centrifugación o rotación: La fuerza centrífuga de un ducto giratorio con varios agujeros de diferentes diámetros, convierte al combustible en varias gotas que son arrastradas por una corriente de aire que pasa por un conducto central.



Figura 3. 14 Quemador Wayne

Fuente: www.directindustry.es

Componentes de un quemador diésel

Existen varias tecnologías para la pulverización del diésel y por ende depende del fabricante para determinar las diferentes partes constituyentes, para el presente estudio se especifican los componentes principales para un quemador de pulverización por presión directa que casi todas las empresas en la actualidad lo poseen.

Elementos que constituyen los quemadores de pulverización mecánica por presión

• Bomba y circuito de combustible

1 Alimentación de combustible

2 Filtro

3 Bomba

4 Retorno

5 Regulador de presión

11 Boquilla de pulverización

• Ventilador y circuito de aire

6 Ventilador

9 Distribución de aire

• Cabeza de combustión

10 Cabeza de combustión

• Circuito de encendido

7 Transformador

8 Electrodo de encendido

• Elementos de seguridad, control y mando

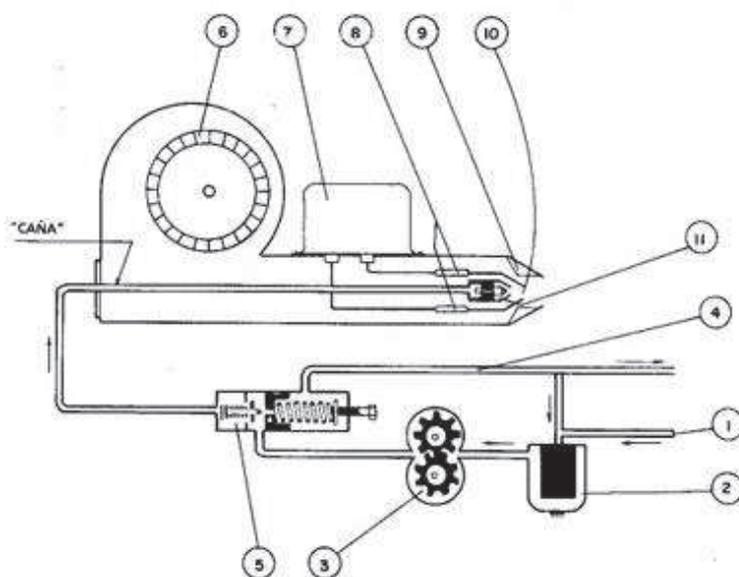


Figura 3. 15 Componentes de un quemador de líquido por pulverización de presión directa

Poder calorífico o calor de combustión

El poder calorífico se lo denomina como la cantidad de energía o calor que libera una cierta cantidad de una sustancia en este caso el diésel durante la combustión completa.

El poder calorífico de un combustible puede ser:

Poder calorífico superior (PCS).

Poder calorífico inferior (PCI).

A través de la ecuación estequiometria de la combustión entre el diésel y el aire se puede obtener los poderes caloríficos inferior y superior.



CALOR = Calor de oxidación del combustible (PCI)

Calor = Calor de condensación del vapor de agua

La suma de calores de los productos de la combustión se considera como el poder calorífico superior (PCS), además el vapor de agua contenido en los gases de combustión trabaja como condensador.

Poder calorífico promedio del diésel = 43600 KJ/Kg.

3.3.1 ECUACIÓN REAL DE LA COMBUSTIÓN DEL DIÉSEL

Si bien es cierto que la ecuación estequiometria nos da una idea clara de los gases producidos por la combustión del diésel, esta ecuación varía ya que no se ha tomado en cuenta algunos aspectos, entre los cuales esta:

- El aire que se necesita para la combustión del diésel, contiene cierto porcentaje de humedad que reacciona con el combustible pero que en los productos se ven reflejados como vapor de agua.
- Además de los productos de la fórmula general, existen otros productos como el monóxido de carbono CO y el oxígeno O_2 , que no son tomados en cuenta por sus porcentajes bajos en comparación con los otros productos.

Para obtener la ecuación real de la combustión del diésel, se necesitan de las ecuaciones 3.5 y 3.6, para calcular la cantidad de humedad que se tiene en el aire de la ciudad de Riobamba.

$$P_{v,aire} = \varphi_{aire} * P_{sat@15^{\circ}C} \quad (3.5)$$

$$N_{v,aire} = \left(\frac{P_{v,aire}}{P_{total}} \right) * N_{total} \quad (3.6)$$

Datos necesarios:

$$P_{total} = 556.8 \text{ mmHg} = 74.23 \text{ Kpa}$$

$$P_{sat@15^{\circ}C} = 1.71 \text{ Kpa}$$

$$\varphi_{aire} = 62\%$$

$$T = 15^{\circ}C = 288^{\circ}K$$

$$N_{total} = (84.52 + N_{v,aire}) \text{ Kmole}$$

Los cálculos arrojan los siguientes resultados

$$P_{v,aire} = 1.06 \text{ Kpa}$$

$$N_{v,aire} = 1.2244 \text{ Kmole}$$

Además se puede calcular el peso de agua contenido en el peso del aire seco con la fórmula de humedad específica con la ecuación 3.7.

$$w = \frac{0.622 * P_{v,aire}}{P_a} \quad (3.7)$$

$$w = 0.00959 \frac{\text{Kg } H_2O}{\text{Kg aire seco}} = 0.00959 \frac{\text{lbm } H_2O}{\text{lbm aire seco}}$$

Un método mucho más eficiente y rápido para determinar la humedad específica, así como otras características del aire en la ciudad de Riobamba, es utilizando las cartas psicrométricas. Este tipo de cartas permiten establecer las propiedades más comunes del aire tales como cantidad de agua, temperatura de bulbo seco, humedad relativa, entalpia específica, temperatura de bulbo húmedo, volumen específico.

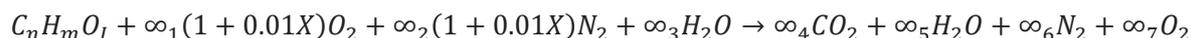
- **Humedad relativa:** Se define como la relación entre la presión parcial de una sustancia pura y la presión de saturación de la misma sustancia
- **Temperatura de bulbo seco:** Es la temperatura de aire de un ambiente específico, es decir un ambiente que puede tener varios tipos de objetos que aporten radiación calorífica al ambiente.
- **Cantidad de agua:** Se define como la cantidad de agua en relación de la cantidad de aire seco que se encuentra dentro del aire común.
- **Entalpia específica:** Se define normalmente como la entalpia de una sustancia en relación con su masa, es decir el cociente entre la entalpia y la masa.
- **Temperatura de bulbo húmedo:** Es la temperatura medida cuando un bulbo es envuelto con un algodón húmedo y sobre este se hace pasar una corriente de aire.
- **Volumen específico:** Se define como la inversa de la densidad, es decir es el volumen ocupado por relación de aire.

De este modo con la ayuda del Anexo O y los datos establecidos de temperatura y humedad relativa; además de la altura que se encuentra la ciudad de Riobamba, se puede determinar cuál carta psicrométrica es la adecuada y de esta manera determinar todos los datos correspondientes:

Humedad relativa	60%
Temperatura de bulbo seco	59 °F
Cantidad de agua	$0.0094 \frac{\text{lbm agua}}{\text{lbm aire seco}}$
Entalpia específica	$24.3 \frac{\text{Btu}}{\text{lbm aire seco}}$
Temperatura de bulbo húmedo	50 °F
Volumen específico	$19.16 \frac{\text{pie}^3}{\text{lbm aire seco}}$
Densidad en Riobamba:	$0.84 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3}$

De tal manera analizando la cantidad de agua entre el método experimental y el método directo con cartas psicométricas, existe apenas un error del 2%, que tomando en cuenta el tiempo y cálculos que se puede ahorrar es un método muy efectivo.

Nuestra nueva ecuación real de la combustión del diésel, queda expresada de la siguiente manera:²³



En donde:

$$\infty_1 = n + \frac{m}{4} - \frac{l}{2}$$

$$\infty_2 = 3.76 \left(n + \frac{m}{4} - \frac{l}{2} \right)$$

$$\infty_3 = 4.76(1 + 0.01X) \left(n + \frac{m}{4} - \frac{l}{2} \right) \left(\frac{18}{29} \right) \left(\frac{P_{v,aire}}{P_{total} - P_{v,aire}} \right)$$

$$\infty_4 = n$$

$$\infty_5 = \frac{m}{2} + 4.76(1 + 0.01X) \left(n + \frac{m}{4} - \frac{l}{2} \right) \left(\frac{18}{29} \right) \left(\frac{P_{v,aire}}{P_{total} - P_{v,aire}} \right)$$

$$\infty_6 = 3.76(1 + 0.01X) \left(n + \frac{m}{4} - \frac{l}{2} \right)$$

$$\infty_7 = 0.01X \left(n + \frac{m}{4} - \frac{l}{2} \right)$$

Desde la fórmula del diésel, se pueden obtener los valores de n, m, l; en donde sería los valores son 12, 23 y 0 respectivamente. Lo que no se tiene para resolver la ecuación real de la combustión es el exceso de aire (X) que se tiene en la combustión. Pero que se la puede obtener con el valor de ∞_3 , que es igual a 1.2244 Kmol.

De aquí $X = 61.16\%$ de exceso de aire.

Una vez resueltas las ecuaciones los valores para cada componente tanto reactivos como productos de la ecuación son:

²³ Juárez, María; Análisis de procesos de combustión (a través de un programa de cómputo); Tesis Universidad Autónoma Metropolitana; México D. F.

$$\infty_1 = 28.61$$

$$\infty_2 = 107.56$$

$$\infty_3 = 1.2244$$

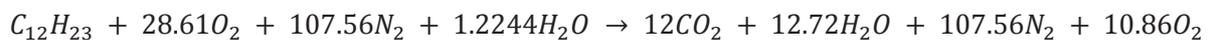
$$\infty_4 = 12$$

$$\infty_5 = 12.72$$

$$\infty_6 = 107.56$$

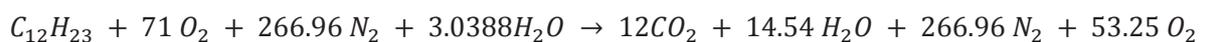
$$\infty_7 = 10.86$$

En donde nuestra ecuación queda expresada como:



Para el cálculo de la temperatura adiabática se debe considerar un exceso de aire muy elevado ya que si no se lo realiza esta temperatura puede provocar grandes daños a la estructura de la cámara de combustión, por cálculos efectuados en el libro de CENGEL; BOLES, y una correcta interpolación se obtiene un exceso de aire 300%, para la combustión de diésel que controla la temperatura de flama adiabática para que no sobrepase los 720 (°C), la cual es la temperatura máxima que puede trabajar el acero AISI 304, el mismo que será utilizado para la construcción del intercambiador de calor.

De este modo la ecuación real de la combustión del diésel con 300% exceso de aire queda expresada como:



3.3.2 CÁLCULO DE LA TEMPERATURA ADIABÁTICA

Para realizar un estimado de la temperatura adiabática de la combustión del diésel, se debe definir al proceso como flujo estable o permanente; además suponer que los gases de combustión y el aire con gases ideales y que la cámara de combustión es adiabática.

Tabla 3. 4 Entalpías de reactantes y productos de la combustión del diésel.

	\hat{h}_f^o	$\hat{h}_{@288^{\circ}k}^T$	$\hat{h}_{@298^{\circ}k}^o$
Sustancia	KJ/Kmol	KJ/Kmol	KJ/Kmol
$C_{12}H_{23}$	-373600	—	—
O_2	0	8384	8682
N_2	0	8374	8669
$H_2O_{(g)}$	-241820	9564	9904
CO_2	-393520	8990	9364

La temperatura de la flama adiabática se determina a través de la ecuación 3.8, en donde se establece que $Q = 0$ y $W = 0$.

$$H_{\text{productos}} = H_{\text{reactivos}} \quad (3.8)$$

$$\sum N_p(\hat{h}_f^o + \hat{h} - \hat{h}^o)_p = \sum N_r(\hat{h}_f^o + \hat{h} - \hat{h}^o)_r \quad (3.9)$$

En donde:

\hat{h}_f^o = Entalpia de formación.

\hat{h} = Entalpia sensible en estado especificado.

\hat{h}^o = Entalpia sensible en el estado de referencia.

$$\sum N_p(\hat{h}_f^o + \hat{h} - \hat{h}^o)_r = -11271268 \text{ KJ}$$

$$\sum N_r(\hat{h}_f^o + \hat{h} - \hat{h}^o)_p = -1209387 \text{ KJ}$$

$$12CO_2 + 14.54 H_2O + 266.96 N_2 + 53.25 O_2 = 10061881 \text{ KJ}$$

$$\hat{h} = 29017.68 \text{ KJ/Kmol}$$

Al verificar la entalpia promedio de los productos de la combustión, las temperaturas que resultan son las siguientes:

Tabla 3. 5 Temperaturas de los productos de la combustión del diésel.

Sustancia	T (°K)
O_2	931.67
N_2	965.9
$H_2O_{(g)}$	828.87
CO_2	737.88

Suponiendo una temperatura entre las 2 temperaturas intermedias, se tiene un promedio de 880 °K, se obtiene una energía que es inferior a la real.



Luego de la interpolación correspondiente se encuentra la temperatura en la cual iguala a la energía real y es 941.56 °K.

3.3.3 CÁLCULO DEL FLUJO DE COMBUSTIBLE Y LOS GASES DE COMBUSTIBLE

Del calor producido de la combustión del diésel, se produce la cantidad suficiente para calentar los tableros eléctricos y secar la pintura electrostática. La ecuación 3.10, muestra el calor producido por la combustión del diésel.

$$Q_{combustion} = m_{diésel} * Cc_{diésel} \quad (3.10)$$

Mientras que la ecuación 3.11 muestra el calor producido por los gases de combustión, y viene expresada de la siguiente manera:

$$Q_{gases\ de\ combustion} = m_{gases} * Cp_g * \Delta T \quad (3.11)$$

$$m_{gases} = m_{diésel} + m_{aire} \quad (3.12)$$

$$m_{gases} = m_{diésel} + AC_{real} * m_{diésel} \quad (3.13)$$

En donde, AC_{real} es la relación másica del aire respecto a la masa del combustible, es decir cuanta masa de aire con exceso se necesita para la combustión con la masa de combustible o diésel, y viene expresada de la ecuación 3.14.

$$AC_{real} = \frac{m_{aire}}{m_{diésel}} \quad (3.14)$$

Mediante la ecuación química real de reactivos y productos, con exceso de aire; se calcula esta relación.

$$AC_{real} = \frac{(71 * 4.76 \text{ Kmol}) * (29 \text{ Kg/kmol})}{(12 \text{ Kmol} * 12 \text{ Kg/Kmol}) + (11.5 \text{ Kmol} * 2 \text{ Kg/Kmol})} = 58.69 \frac{\text{Kg}_{aire}}{\text{Kg}_{diésel}}$$

Esta relación se interpreta que por cada Kg de diésel, se necesita 58.69 Kg de aire.

De aquí, la masa de gases de combustión es $59.69 * m_{diésel}$.

Por lo tanto la ecuación 3.11, es modificada a la ecuación 3.15.

$$Q_{gases \text{ de combustión}} = 59.69 * m_{diésel} * Cp_g * \Delta T \quad (3.15)$$

El calor específico de los gases de escape, es difícil de obtener un valor exacto, ya que las temperaturas o los valores de los productos de la combustión puede variar de varias formas por lo que se ha evaluado a través de la ecuación 3.16:²⁴

$$Cp_{gases} = (0.9554 + 4.083 * 10^{-4} * Tsh - 8.571 * 10^{-8} * Tsh^2) \left(\frac{\text{KJ}}{\text{Kg} * ^\circ\text{K}} \right) \quad (3.16)$$

3.4 SELECCIÓN DEL QUEMADOR DE DIÉSEL

El quemador es de la marca WAYNE, en donde poseen 3 quemadores de diferentes rangos de flujos de diésel, el pequeño va desde 0 hasta 3 GPH, el siguiente desde los 2 hasta los 6 GPH, mientras que el grande tiene el rango desde 4 hasta 13 GPH. Por cada galón de diésel quemado se tiene una potencia de 144000 Btu/hr.

Además estudios realizados y probados dan un 25% de pérdidas de potencia a los quemadores para la altura de Riobamba.

²⁴ Burbano, E., Gordillo, R.; Simulación de intercambiadores de calor; TESIS EPN, 1990.

Ya que la potencia que requerimos para que el quemador alcance la temperatura de 170°C dentro del cuarto de secado está dentro del rango de potencia del segundo quemador, tomaremos este quemador de la marca WAYNE, y fijaremos la potencia de $432 \frac{M BTU}{h}$ con un flujo de 3 GPH. De esta manera el flujo másico de diésel es:

$$Potencia_Q = m_{diésel} * Cc_{diésel} \quad (3.17)$$

$$Potencia_Q = 302 \frac{M BTU}{h}$$

$$Cc_{GLP} = 43600 \frac{KJ}{Kg}$$

$$m_{GLP} = 7.32 \frac{Kg}{h}$$

De esta manera con la ecuación estequiométrica de la combustión del diésel, se puede encontrar el flujo másico de los gases de combustión:

$$m_{gases} = 436.77 \frac{Kg}{h}$$

3.4.1 TEMPERATURA DE SALIDA DE LOS GASES DE COMBUSTIÓN

Con el flujo másico de los gases de combustión se puede determinar la temperatura que sale los gases de combustión una vez hayan pasado por los tubos del intercambiador, esto se determina utilizando la ecuación 3.3, despejando la temperatura de salida e igualando a la potencia que necesita el cuarto de secado, por lo tanto la temperatura de salida es:

$$T_o = T_i - \frac{P_T}{m_{gases} * C_{p_g}} \quad (3.18)$$

$$P_T = 127419.3 \frac{KJ}{h}$$

$$C_{p_{gases}} = 1.2 \frac{KJ}{Kg * ^\circ K}$$

$$m_{gases} = 436.77 \frac{Kg}{h}$$

$$T_i = 941.56 \text{ } ^\circ K$$

$$T_o = 698.45^\circ K$$

3.4.2 PROPIEDADES DE LOS GASES DE COMBUSTIÓN

Tabla 3.6 Propiedades de los gases de combustión a varias temperaturas.

Propiedades de los gases de combustión				
Temperatura	Cp_g	μ_g	k_g	ρ_g
K	J/(Kg*°K)	N*s/m ²	W/(m*°K)	Kg/m ³
500	1138.123	0.000024640	0.036788	0.690134
550	1154.038	0.000026458	0.039927	0.627395
600	1169.524	0.000028218	0.042967	0.575112
650	1184.583	0.000029921	0.045916	0.530872
700	1199.212	0.000031571	0.04878	0.492953
750	1213.413	0.000033168	0.051566	0.460089
800	1227.186	0.000034716	0.054281	0.431334
850	1240.53	0.000036216	0.056931	0.405961
900	1253.445	0.000037670	0.059523	0.383408
950	1265.932	0.000039081	0.062065	0.363228
1000	1277.99	0.000040450	0.064562	0.345067

Viscosidad

$$\mu_g = (0.028 + 5.11 * 10^{-4} * T_m - 1.623 * 10^{-7} * T_m^2 + 2.78 * 10^{-11} * T_m^3) * 10^{-4} \frac{N*s}{m^2}$$

(3.19)

Densidad

$$\rho_g = 345.067 * T_{media}^{-1} \frac{Kg}{m^3} \quad (3.20)$$

Conductividad térmica

$$k_g = (-0.015 + 9.16 * 10^{-4} * T_m - 3.456 * 10^{-7} * T_m^2 + 9.022 * 10^{-11} * T_m^3) * 0.1 \frac{W}{m * ^\circ K} \quad (3.21)$$

3.5 ANÁLISIS DEL INTERCAMBIADOR DE CALOR

3.5.1 TRANSFERENCIA DE CALOR POR CONVECCIÓN FORZADA

La convección forzada se efectúa al momento de forzar el movimiento de un fluido frío, en este caso particular el aire, junto a un fluido caliente, es decir el fluido dentro del intercambiador de calor. Se refiere a convección forzada, ya que el fluido frío es impulsado por uno o más ventiladores o bombas para líquidos.

Para aumentar la eficiencia dentro del intercambiador de calor, se emplea una recirculación de aire caliente, para mejorar el tiempo para que el aire llegue a los 170°C. Esto hará que el aire caliente que ya paso una vez por el intercambiador de calor, vuelva a pasar por el intercambiador hasta alcanzar la temperatura necesaria.

En el cuarto de secado se realiza una transferencia de calor por medio de una convección forzada exterior, ya que el aire es forzado a recorrer la parte exterior de los tubos del intercambiador de calor, con la ayuda del ventilador. Por lo tanto, la transferencia de calor se trasmite, desde el fluido que se encuentra en la parte interior de los tubos del intercambiador de calor, hacia el aire.

3.5.2 CANTIDAD DE FLUJO MÁSSICO DE AIRE

Para un proceso de secado más eficiente se necesita de un sistema de recirculación de aire, de este modo la cantidad de aire que se calienta tiene menor pérdidas a comparación cuando no se tiene un sistema de recirculación.

Para determinar el flujo másico de aire más eficiente para el cuarto de secado de pintura en polvo se ha realizado un análisis de cálculos con el intercambiador de calor y de esta manera determinar cuál es el flujo más eficiente para el proyecto.

Tomando en cuenta que el hogar del intercambiador de calor y el arreglo de tubos 1, es decir aquel ducto donde se realiza la combustión también cede calor al sistema en un valor promedio entre el 25 y el 30% de la potencia total, se debe reducir este valor al sistema inicial para no sobredimensionar el sistema y de esta manera determinar el flujo másico de aire suficiente y necesario.

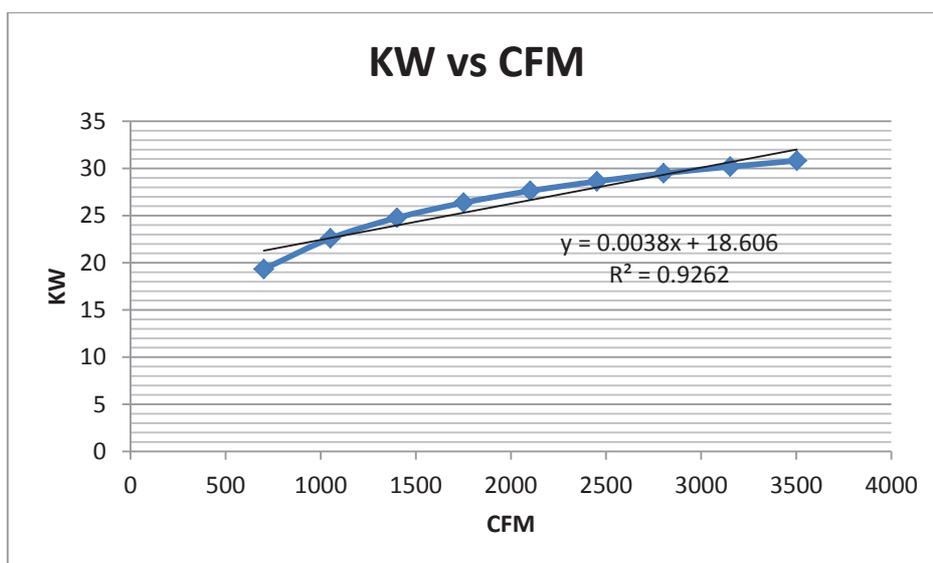


Figura 3. 16 Curva característica CFM vs KW

De esta manera se establece que los ventiladores que poseen la característica de ventilar un flujo másico entre 1750 y 2100 CFM, podrá satisfacer las necesidades para que el calor transferido desde el intercambiador de calor sea aprovechado exitosamente hacia el cuarto de secado. Además que con un flujo másico bajo

podemos asegurar que el flujo a la salida del ventilador no sea lo suficientemente fuerte como para quitar la pintura de los tableros eléctricos. Por lo tanto se establece un flujo de 2000 CFM.

Tabla 3. 7 Análisis del flujo másico de aire

Flujo másico			calor absorbido
CFM	m3/h	Kg/h	KW
700.7143	1190.476	1000	19.34
1051.071	1785.714	1500	22.59
1401.429	2380.952	2000	24.77
1751.786	2976.19	2500	26.37
2102.143	3571.429	3000	27.62
2452.5	4166.667	3500	28.63
2802.857	4761.905	4000	29.48
3153.214	5357.143	4500	30.19
3503.571	5952.381	5000	30.82

3.5.3 TEMPERATURA DE SALIDA DEL AIRE A TRAVES DEL ARREGLO DE TUBOS

Se verifica la temperatura que posee el aire una vez que haya pasado por el arreglo de tubos, por primera vez. El resto de temperatura que necesita el aire para secar los tableros eléctricos, es adquirido una vez que el ventilador recircule el aire caliente una y otro vez. Nos referimos nuevamente a la ecuación 3.3, aunque esta vez varía un poco ya que la temperatura de salida es mayor a la de entrada. De esta manera:

$$T_o = T_i + \frac{P_T}{m_{aire} * C_{p_{aire}}}$$

$$P_T = 127420 \frac{KJ}{h}$$

$$Cp_{aire} = 1.012 \frac{KJ}{Kg \cdot ^\circ K}$$

$$m_{aire} = 2854.53 \frac{Kg}{h}$$

$$T_i = 288 \text{ } ^\circ K$$

$$T_o = 332.11 \text{ } ^\circ K$$

3.6 DETERMINACIÓN DE LOS COEFICIENTES DE TRANSFERENCIA DE CALOR CON EL QUEMADOR DE DIÉSEL

Se sigue los pasos analizados en el sub capítulo 2.8, determinando la velocidad del fluido dentro de los tubos del intercambiador de calor para luego determinar el número de Reynolds y de esta forma verificar si es flujo turbulento o laminar.

Determinación del diámetro y la longitud del hogar de combustión

Para tener una combustión de diésel completa, además de asegurar que la llama de la combustión de diésel no llegue a topar la superficie del hogar ya que puede llegar a perforar la plancha de acero inoxidable; se debe determinar las dimensiones mínimas y necesarias que debe tener el hogar. Estas dimensiones es decir el diámetro y la longitud se evalúan con el Anexo L, a través de curvas características de los quemadores Riello, siendo uno de los fabricantes de quemadores más importantes de Europa.

Teniendo el flujo volumétrico del quemador:

$$3 \text{ GPH} = 11.34 \text{ LPH} = 9.44 \text{ Kg/h}$$

Evaluando en la gráfica el hogar debe tener 0.8 metros de longitud y entre 0.3 y 0.4 metros de diámetro, pero si consideramos que la llama es dirigida hacia abajo la longitud de la llama puede incrementarse en un 10% y el diámetro reducirse en un porcentaje similar es por esto que se decide construir un hogar de 1 metro de largo y 0.35 metros de diámetro.

3.6.1 CALOR TRANSFERIDO POR EL ARREGLO DE TUBOS 1

3.6.1.1 Flujo interno

Se realiza un estudio para determinar el coeficiente de transferencia de calor de los gases de la combustión del diésel, en donde se empieza determinando la velocidad que circulan los gases dentro de los tubos.

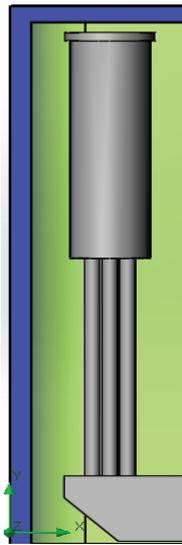


Figura 3. 17 Vista del hogar y del arreglo de tubos 1 del cuarto de secado, modelado en SolidWorks

$$v_m = \frac{m_{gases}}{N * \rho * A_t}$$

$$m_{gases} = 436.77 \frac{Kg}{h}$$

$$N = 10 \text{ tubos}$$

El área transversal del tubo por donde va a pasar los gases de combustión, se determina con un diámetro interno de 52.5mm.

$$A_t = \frac{\pi * D^2}{4} = 0.002164 \text{ m}^2$$

Y las propiedades de los gases de combustión son evaluadas a la temperatura media de 820°K, a través de la tabla 3.8.

Tabla 3.8 Propiedades de los gases de combustión a 820°K

Temperatura	Cp_g	μ_g	k_g	ρ_g
°K	J/(Kg*°K)	N*s/m ²	W/(m*°K)	Kg/m ³
820	1232.6	3.53218E-05	0.0553	0.4208

En donde la velocidad es:

$$v_m = 47945.77 \frac{m}{h}$$

$$v_m = 13.32 \frac{m}{s}$$

Y el número de Reynolds de acuerdo a la ecuación 2.3 es:

$$Re_D = \frac{\rho * v_m * D}{\mu}$$

$$Re_D = 8330.18$$

Ya que el número de Reynolds está en el rango entre 2300 y 10000 se encuentra en una zona transición. La longitud se ha determinado con el modelado del programa Autodesk Inventor se establece en 0.89 metros para la primera distribución de tubos luego de la combustión realizada en el hogar.

$$Nu_D = \frac{\left(\frac{f}{8}\right) * (Re_D - 1000) * Pr}{1.07 + 12.7 \left(\frac{f}{8}\right)^{1/2} * (Pr^{2/3} - 1)}$$

En donde el número de Prant con la ecuación 2.7 es:

$$Pr = 0.787$$

En donde el factor de fricción, puede ser calculado por el Diagrama de Moody o por la ecuación de 2.16

$$f = 0.033316$$

Por lo tanto nuestro número de Nusselt es:

$$Nu_D = 25.18$$

Coefficiente interno de transferencia de calor

Ya sea flujo laminar o turbulento, el coeficiente de transferencia de calor se calcula a través de la ecuación 2.19:

$$h = 26.55 \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ K}$$

3.6.1.2 Flujo externo

El banco de tubos es escalonado por lo que se determina las distancias S_T y S_L como:

$$S_T = 80mm$$

$$S_L = 69.3mm$$

$$S_D = 80mm$$

La altura de transferencia de calor para este caso no se aplica con la fórmula, sino se calcula la altura que tendrá la cámara de transferencia de calor, es decir la distancia entre la placa superior e inferior de la cámara.

Y el área que se encuentra en la dirección del flujo de aire es:

$$A_{p_{aire}} = 0.356 m^2$$

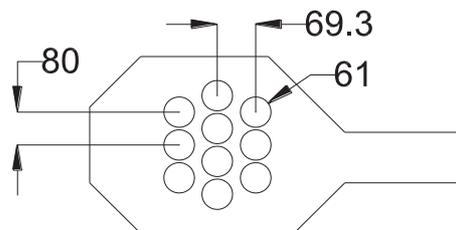


Figura 3.18 Medidas internas del espejo del intercambiador de calor de los gases de combustión.

A través de la ecuación 2.22 se encuentra la velocidad lineal por donde circula el aire, con el flujo másico que arroja el ventilador inferior ya que el ventilador superior solo afecta al segundo arreglo de tubos y al hogar de combustión.

$$\dot{m}_{aire} = 1000 CFM$$

$$\dot{m}_{aire} = 1427.27 \frac{Kg}{h}$$

$$H_{tubos} = 400 \text{ mm}$$

Las propiedades del aire se evalúan a la temperatura media de 310.05 °K y son:

Tabla 3.9 Propiedades del aire a 310.05 °K

Temperatura	Cp	μ	k	ρ	Pr
°K	J/(Kg*°K)	N*s/m ²	W/(m*°K)	Kg/m ³	
310.05	1007.4	1.8932E-05	0.02704	0.84	0.7

$$v_{aire} = \frac{\dot{m}_{aire}}{\rho * A_{p_{aire}}}$$

$$v_{aire} = 4772.84 \frac{m}{h}$$

$$v_{aire} = 1.33 \frac{m}{s}$$

La velocidad máxima que entra al arreglo de tubos se determina con la ecuación 2.25:

$$v_{max} = \frac{S_T}{2 * (S_D - D)} * v_{aire}$$

$$v_{max} = 2.7 \frac{m}{s}$$

Dicha velocidad es aplicada para encontrar el número de Reynolds y determinar si se encuentra como flujo laminar o turbulento.

$$Re_D = \frac{\rho * v_{max} * D}{\mu}$$

$$Re_D = 7215.88$$

Por lo tanto se encuentra en un flujo turbulento y se toma la ecuación 2.27 que es universal tanto laminar como para flujo turbulento.

$$Nu_{aire} = \left[C * Re_D^m * Pr^{0.36} * \left(\frac{Pr}{Pr_s} \right)^{1/4} \right] * C_2$$

En donde:

$$Pr_{@847^{\circ}k} = 0.705$$

Además con el anexo D se halla C y m, cuyos valores están para configuración escalonada, donde $\frac{S_T}{S_L} < 2$, y el rango del número de Reynolds esta entre:

$$10^3 < Re < 2 * 10^5$$

$$C = 0.36$$

$$m = 0.60$$

Mientras que el factor de corrección se determina con el anexo 6, donde se especifica que existen 3 líneas por lo tanto:

$$C_2 = 0.84$$

De este modo:

$$Nu_{aire} = 55.18$$

El coeficiente externo de transferencia de calor puede ser modificado de la ecuación 2.19, en donde:

$$h_{aire} = 24.73 \frac{W}{m^2 * ^{\circ}K}$$

3.6.1.3 Coeficiente global de transferencia de calor para los tubos

Una vez calculado los coeficientes de transferencia de calor de los fluidos involucrados, se procede a calcular el coeficiente global, para posteriormente obtener el calor que irradian los tubos del intercambiador de calor. Los elementos involucrados son los gases de combustión, el acero y el aire en orden de mayor a menor temperatura.

Calculando las áreas de transferencia de calor interna, externa y media son:

$$A_i = 0.147 m^2$$

$$A_o = 0.169 m^2$$

Para determinar el área de transferencia de calor del acero se toma la ecuación 2.30.

$$A_m = \frac{A_o - A_i}{\ln\left(\frac{A_o}{A_i}\right)}$$

$$A_m = 0.157 \text{ m}^2$$

De este modo, el coeficiente global de transferencia de calor por su respectiva área, se utiliza la ecuación 2.33.

$$U * A = \frac{1}{\frac{1}{h_i * A_i} + \frac{\ln\left(\frac{D_o}{D_i}\right)}{2 * \pi * L * k} + \frac{1}{h_o * A_o}}$$

$$U * A = 2.01 \frac{W}{^\circ K}$$

3.6.1.4 Método de la diferencia media logarítmica de temperatura

Como se trata de un intercambiador de calor de flujos cruzados, mientras el fluido caliente se enfría, el fluido frío se calienta, hasta obtener una temperatura de equilibrio, esta variación de temperaturas se puede observar en la figura 3.19.

$$\Delta T_{ml} = \frac{\Delta T_{max} - \Delta T_{min}}{\ln\left(\frac{\Delta T_{max}}{\Delta T_{min}}\right)}$$

$$\Delta T_{ml} = 503.42^\circ K$$

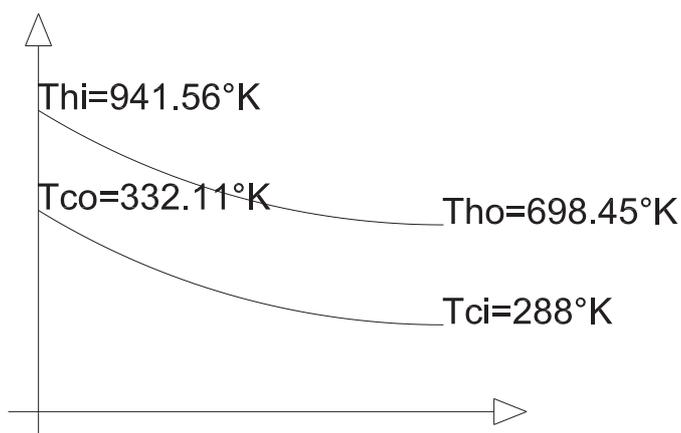


Figura 3.19 Variación de temperaturas entre el fluido caliente (gases) y el fluido frío (aire).

3.6.1.5 Calor transmitido por el arreglo de tubos

Para poder utilizar el método de la diferencia media logarítmica de temperatura, solo es necesario calcular cuales son las diferencias de temperatura máximas y mínimas. Posteriormente, se calcula el calor transferido a través de la expresión:

$$Q = U * A * F * \Delta T_{ml} * N_t$$

En donde:

N_t = Número total de tubos del intercambiador de calor.

Mientras que el factor de corrección para un intercambiador de flujo cruzado se determina, calculando los valores de R y P, que se requiere del anexo M.

$$R = \frac{T_{ci} - T_{co}}{T_{ho} - T_{hi}}$$

$$P = \frac{T_{ho} - T_{hi}}{T_{hi} - T_{ci}}$$

$$T_{hi} = 941.56 \text{ } ^\circ\text{K}$$

$$T_{ho} = 698.45 \text{ } ^\circ\text{K}$$

$$T_{co} = 332.11 \text{ } ^\circ\text{K}$$

$$T_{ci} = 288 \text{ } ^\circ\text{K}$$

De esta manera:

$$R = 0.182$$

$$P = 0.46$$

De acuerdo al anexo M, el factor de corrección es muy cercano a 1, por lo tanto se concluye que para calentamiento muy pequeño del aire el factor de corrección siempre es 1. Por lo tanto el calor transferido desde el arreglo de tubos 1 es:

$$Q_1 = 9.73 \text{ KW}$$

3.6.2 CALOR TRANSFERIDO DESDE EL HOGAR DEL INTERCAMBIADOR DE CALOR

3.6.2.1 Flujo externo

El área que está en contacto inicialmente con el aire se encuentra en la parte superior y su área es:

$$A_{p_{aire}} = 0.4m^2$$

Es el flujo másico del aire del ventilador que se encuentra primeramente en contacto con el hogar.

$$\dot{m}_{aire} = 1000 \text{ CFM}$$

$$\dot{m}_{aire} = 1427.27 \frac{Kg}{h}$$

$$v_{aire} = 4247.83 \frac{m}{h}$$

$$v_{aire} = 1.18 \frac{m}{s}$$

El número de Reynolds es:

$$Re_D = 18664.9$$

Por lo tanto se encuentra en un flujo completamente turbulento y se puede evaluar la ecuación de Zhukauskas para encontrar el número de Nusselt.²⁵

$$Nu_{aire} = \left[C * Re_D^m * Pr^n * \left(\frac{Pr}{Pr_s} \right)^{1/4} \right]$$

En donde:

$$Pr_{@288^{\circ}k} = 0.7$$

²⁵ INCROPERA F., DEWITT D.; Fundamentos de transferencia de calor; Cuarta Edición; México; Pag.370.

Tabla 3. 10 Constantes para la ecuación de Zhukauskas

Re	C	m
0-40	0.75	0.4
40-1000	0.51	0.5
1000-2x10 ⁵	0.26	0.6
2X10 ⁵ -10 ⁶	0.076	0.7

Los nuevos valores de C y m, con un número de Reynolds de 9141.99 son:

$$C = 0.26$$

$$m = 0.6$$

$$n = 0.37$$

De este modo:

$$Nu_{aire} = 83.05$$

El coeficiente externo de transferencia de calor para el hogar es:

$$h_{aire} = 6.29 \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ K}$$

3.6.2.2 Calor transferido por el hogar

De la fórmula del calor se calcula el calor total transferido por el hogar con:

$$Q_H = h_{aire} * \pi * D * L * (T_s - T_\alpha)$$

En donde:

$$D = 0.35 \text{ m}$$

$$L = 1.00 \text{ m}$$

Por lo tanto el calor que se aprovecha del hogar es:

$$Q_2 = 4.52 \text{ KW}$$

3.6.3 CALOR TRANSFERIDO POR EL ARREGLO DE TUBOS 2

3.6.3.1 Flujo interno

Se realiza un estudio para determinar el coeficiente de transferencia de calor de los gases de la combustión del diésel, en donde se empieza determinando la velocidad que circulan los gases dentro de los tubos.

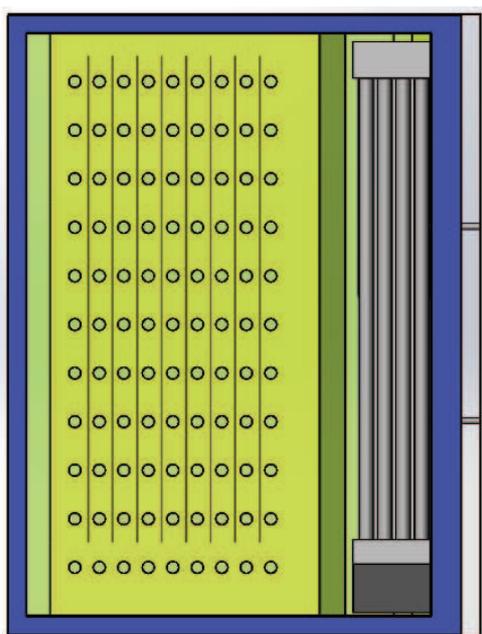


Figura 3. 20 Vista lateral del intercambiador de calor en el cuarto de secado

$$v_m = \frac{m_{gases}}{N * \rho * A_t}$$

$$m_{gases} = 436.77 \frac{Kg}{h}$$

$$N = 17 \text{ tubos}$$

El área transversal del tubo por donde va a pasar los gases de combustión, se determina con un diámetro interno de 52.5mm.

$$A_t = \frac{\pi * D^2}{4} = 0.002164 \text{ m}^2$$

Y las propiedades de los gases de combustión son evaluadas a la temperatura media de 820°K, a través de la tabla 3.2.

En donde la velocidad es:

$$v_m = 28203.4 \frac{m}{h}$$

$$v_m = 7.83 \frac{m}{s}$$

Y el número de Reynolds de acuerdo a la ecuación 2.3 es:

$$Re_D = \frac{\rho * v_m * D}{\mu}$$

$$Re_D = 4900.11$$

Ya que el número de Reynolds está en el rango entre 2300 y 10000 se encuentra en una zona transición. La longitud se ha determinado con el modelado del programa Autodesk Inventor se establece en 1.77 metros.

$$Nu_D = \frac{\left(\frac{f}{8}\right) * (Re_D - 1000) * Pr}{1.07 + 12.7 \left(\frac{f}{8}\right)^{1/2} * (Pr^{2/3} - 1)}$$

En donde el número de Prant con la ecuación 2.7 es:

$$Pr = 0.787$$

En donde el factor de fricción, puede ser calculado por el Diagrama de Moody o por la ecuación de 2.16

$$f = 0.0389$$

Por lo tanto nuestro número de Nusselt es:

$$Nu_D = 15.87$$

Coefficiente interno de transferencia de calor

Ya sea flujo laminar o turbulento, el coeficiente de transferencia de calor se calcula a través de la ecuación 2.19:

$$h = 16.73 \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ K}$$

3.6.3.2 Flujo externo

El banco de tubos es escalonado por lo que se determina las distancias S_T y S_L como:

$$S_T = 80mm$$

$$S_L = 69.3mm$$

$$S_D = 80mm$$

La altura de transferencia de calor para este caso no se aplica con la formula, sino se calcula la altura que tendrá la cámara de transferencia de calor, es decir la distancia entre la placa superior e inferior de la cámara.

Y el área que se encuentra en la dirección del flujo de aire es:

$$A_{p_{aire}} = 0.708 m^2$$

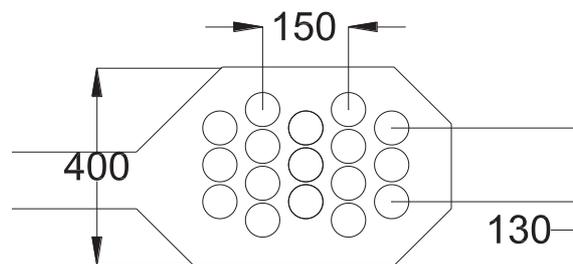


Figura 3.21 Medidas internas del espejo del intercambiador de calor de los gases de combustión.

A través de la ecuación 2.22 se encuentra la velocidad lineal por donde circula el aire, con el flujo másico que arroja el ventilador.

$$\dot{m}_{aire} = 2000 CFM$$

$$\dot{m}_{aire} = 2854.53 \frac{Kg}{h}$$

$$H_{tubos} = 400 mm$$

Las propiedades del aire se evalúan a la temperatura media de 304.94 °K.

$$v_{aire} = \frac{\dot{m}_{aire}}{\rho * A_{p_{aire}}}$$

$$v_{aire} = 4799.8 \frac{m}{h}$$

$$v_{aire} = 1.33 \frac{m}{s}$$

La velocidad máxima que entra al arreglo de tubos se determina con la ecuación 2.25:

$$v_{max} = \frac{S_T}{2 * (S_D - D)} * v_{aire}$$

$$v_{max} = 2.71 \frac{m}{s}$$

Dicha velocidad es aplicada para encontrar el número de Reynolds y determinar si se encuentra como flujo laminar o turbulento.

$$Re_D = \frac{\rho * v_{max} * D}{\mu}$$

$$Re_D = 7256.65$$

Por lo tanto se encuentra en un flujo turbulento y se toma la ecuación 2.27 que es universal tanto laminar como para flujo turbulento.

$$Nu_{aire} = \left[C * Re_D^m * Pr^{0.36} * \left(\frac{Pr}{Pr_s} \right)^{1/4} \right] * C_2$$

En donde:

$$Pr_{@847^{\circ}k} = 0.705$$

Además con el anexo D se halla C y m, cuyos valores están para configuración escalonada, donde $\frac{S_T}{S_L} < 2$, y el rango del número de Reynolds esta entre:

$$10^3 < Re < 2 * 10^5$$

$$C = 0.36$$

$$m = 0.60$$

Mientras que el factor de corrección se determina con el anexo E, donde se especifica que existen 5 líneas por lo tanto:

$$C_2 = 0.92$$

De este modo:

$$Nu_{aire} = 60.64$$

El coeficiente externo de transferencia de calor puede ser modificado de la ecuación 2.19, en donde:

$$h_{aire} = 27.18 \frac{W}{m^2 * ^\circ K}$$

3.6.3.3 Coeficiente global de transferencia de calor para los tubos

Una vez calculado los coeficientes de transferencia de calor de los fluidos involucrados, se procede a calcular el coeficiente global, para posteriormente obtener el calor que irradian los tubos del intercambiador de calor. Tomando como referencia la figura 2.20, los elementos involucrados son los gases de combustión, el acero y el aire en orden de mayor a menor temperatura.

Calculando las áreas de transferencia de calor interna, externa y media son:

$$A_i = 0.2919 \text{ m}^2$$

$$A_o = 0.3355 \text{ m}^2$$

Para determinar el área de transferencia de calor del acero se toma la ecuación 2.30.

$$A_m = \frac{A_o - A_i}{\ln\left(\frac{A_o}{A_i}\right)}$$

$$A_m = 0.3132 \text{ m}^2$$

De este modo, el coeficiente global de transferencia de calor por su respectiva área, se utiliza la ecuación 2.33.

$$U * A = \frac{1}{\frac{1}{h_i * A_i} + \frac{\ln\left(\frac{D_o}{D_i}\right)}{2 * \pi * L * k} + \frac{1}{h_o * A_o}}$$

$$U * A = 3.18 \frac{W}{^{\circ}K}$$

3.6.3.4 Método de la diferencia media logarítmica de temperatura

Como se trata de un intercambiador de calor de flujos cruzados, mientras el fluido caliente se enfría, el fluido frío se calienta, hasta obtener una temperatura de equilibrio. Ver figura 3.19.

$$\Delta T_{ml} = \frac{\Delta T_{max} - \Delta T_{min}}{\ln\left(\frac{\Delta T_{max}}{\Delta T_{min}}\right)}$$

$$\Delta T_{ml} = 503.42^{\circ}K$$

3.6.3.5 Calor transmitido por el arreglo de tubos

Para poder utilizar el método de la diferencia media logarítmica de temperatura, solo es necesario calcular cuales son las diferencias de temperatura máximas y mínimas. Posteriormente, se calcula el calor transferido a través de la expresión:

$$Q = U * A * F * \Delta T_{ml} * N_t$$

Por lo tanto el calor transferido desde el arreglo de tubos es:

$$Q_1 = 27.19 \text{ KW}$$

3.6.4 CALOR TOTAL TRANSFERIDO DESDE EL INTERCAMBIADOR DE CALOR

El calor total transmitido de la combustión del diésel, hacia el aire forzado a cruzar los tubos del intercambiador de calor a través de un ventilador, es la suma del calor transmitido desde el hogar y el calor del arreglo de tubos. De este modo:

$$Q_T = Q_1 + Q_2 + Q_3$$

$$Q_T = 41.44 \text{ KW}$$

De esta manera se puede verificar que el arreglo de tubos del intercambiador de calor, es decir el calor transmitido desde los gases de combustión, satisface las necesidades del cuarto de secado de pintura electrostática de los tableros eléctricos.

3.7 DISEÑO DE LA CHIMENEA

La diferencia de presión de tiro debe ser superior o igual a la sumatoria de las otras presiones que se encuentran dentro de la chimenea. De este modo la presión de tiro es:

$$P = 34.7 H_{ch} \left[0.0035 - \frac{1}{Tg} \right] \quad (mbar)$$

En donde:

$$H_{ch} = 5 \text{ m (Altura máxima)}$$

$$Tg = 698.45^\circ\text{K}$$

$$P = 0.3588 \quad (mbar)$$

La carga de velocidad con el flujo másico de los gases de combustión dentro de la chimenea es:

$$Pc = \frac{2.86 * m_{ch}^2}{D^4 * Tg} \quad (mbar)$$

En donde:

$$m_{ch} = 0.3088 \frac{m^3}{s}$$

El diámetro de la chimenea es:

$$D = 0.2 \text{ m}$$

El flujo másico de los gases de combustión dentro de la chimenea se calcula mediante la ecuación 2.48. En donde se necesita el área de la sección transversal de la chimenea, que con la ecuación conocida del área es:

$$A_{ch} = \frac{\pi * D^2}{4}$$

$$A_{ch} = 0.0312 \text{ m}^2$$

Mientras que la velocidad lineal de los gases de combustión v_g se calcula con:

$$v_g = \sqrt{2 * g * H_{ch}}$$

$$v_g = 9.9 \frac{m}{s}$$

Por lo tanto:

$$P_c = 0.248 \quad (mbar)$$

Las pérdidas por rozamientos están dadas por:

$$P_f = 7.07 * \frac{f_{ch} * H_{ch} * v_g}{D * T_g} \quad (mbar)$$

En donde:

Se selecciona un factor de rugosidad de la superficie.

$$f_{ch} = 0.0043$$

De este modo las perdidas por rozamientos son:

$$P_f = 0.107 \quad (mbar)$$

Ya que no existe codos en la chimenea:

$$P_b = 1.77 * \frac{n * v_g^2}{T_g} \quad (mbar)$$

$$P_b = 0 \quad (mbar)$$

De este modo la sumatoria de las presiones es:

$$P_c + P_f + P_b = 0.355$$

Mientras que la diferencia de presiones es:

$$P = 0.3588$$

Por lo que se cumple la ecuación 2.44:

$$P \geq P_c + P_f + P_b$$

$$0.3588 \geq 0.355$$

3.8 CÁLCULO DE PRESIÓN DEL VENTILADOR

El cálculo de presión del ventilador se calcula con las 2 variaciones de presión dentro de los ductos que circula el aire:

- Caída de presión en ductos.
- Caída de presión en intercambiador de calor.

3.8.1 CAÍDA DE PRESIÓN EN DUCTOS

El cálculo de los ductos dentro del horno se divide en 2 ductos principales:

- Ducto redondo
- Ducto de los deflectores

Pérdidas por cambio de sección en codo redondo

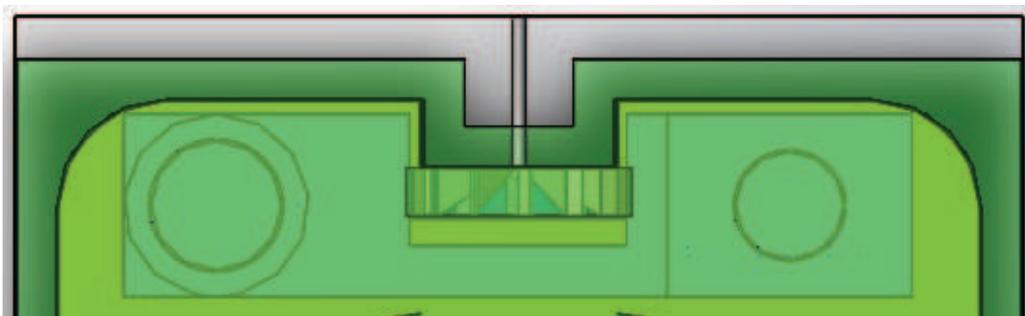


Figura 3. 22 Simulación codo rectangular en el interior de la cámara de transferencia de calor

Las pérdidas por cambios de sección o también llamadas pérdidas dinámicas se rigen de las ecuaciones 2.53 y 2.54.

$$P_d = n * (h_1 * v_1 - h_2 * v_2)$$

$$h = \left(\frac{v_{aire}}{4} \right)^2$$

Dónde:

$$n = 0.13 \text{ (Anexo F)}$$

$$\frac{R}{L} = 1 \text{ Sin directrices}$$

$$v_1 = 2.65 \frac{m}{s}$$

$$v_2 = 6.69 \frac{m}{s}$$

$$h_1 = 0.44$$

$$h_2 = 2.8$$

$$P_{d1} = 2.29 \text{ mm c. d. a}$$

Pérdidas por intersección del hogar

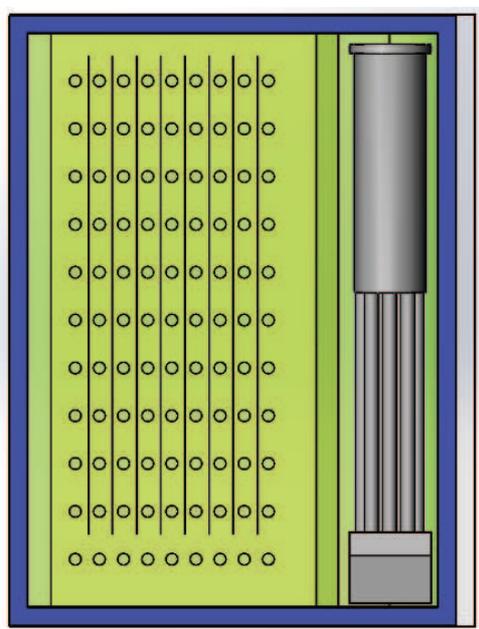


Figura 3. 23 Intersección del hogar en la trayectoria del aire

De acuerdo al anexo H y la ayuda la ecuación 2.53:

$$P_d = n * h * v$$

Con:

$$\frac{E}{D} = 0.59 \quad n = 0.67 \quad (\text{Regresión Lineal})$$

Siendo:

E = Diámetro de la tubería que atraviesa al aire.

D = Diámetro equivalente de la sección rectangular.

$$h = \left(\frac{v_{aire}}{4} \right)^2$$

$$v = 1.32 \frac{m}{s}$$

$$h = 0.11$$

$$P_{d2} = 0.097 \text{ mm c. d. a}$$

Pérdida de fricción en ducto de deflectores

A través de la ecuación 2.52 se determina las pérdidas por fricción en ductos:

$$P_{fr} = 0.4 * f * \left(\frac{L}{D^{1.22}} \right) * v^{1.82}$$

Dónde:

$$f = 0.043$$

$$L = 1.1 \text{ m}$$

$$D = 42.37 \text{ cm}$$

$$v = 6.69 \frac{m}{s}$$

$$P_{fr} = 0.006 \text{ mm. d. c. a}$$

3.8.2 CAÍDA DE PRESIÓN EN INTERCAMBIADOR DE CALOR

3.8.2.1 Caída de presión en el arreglo de tubos 1

Al momento de realizar los cálculos de flujo externo para el cálculo del arreglo de tubos se obtuvieron los datos necesarios para calcular la caída de presión en el intercambiador de calor. Con la ecuación 2.55 la caída de presión es:

$$P_{l.c} = N_L * X * f * \left(\frac{\rho * V_{max}^2}{2} \right)$$

Dónde:

$$N_L = 3$$

Del anexo J, se observa que cuando la relación $\frac{P_T}{P_L} = 1.15$ y un numero de Reynolds aproximado de 8300, se tiene un $X = 1$.

Mientras que con $Re_D = 8300$ y con $P_T = 1.33$, del mismo anexo se tiene:

$$f = 0.8$$

Además:

$$v_{max} = 2.7 \frac{m}{s}$$

Entonces:

$$P_{I.C1} = 7.35 Pa$$

3.8.2.2 Caída de presión en el arreglo de tubos 2

Con la ecuación 2.55 la caída de presión es:

$$P_{I.C} = N_L * X * f * \left(\frac{\rho * v_{max}^2}{2} \right)$$

Dónde:

$$N_L = 8$$

Del anexo J, se observa que cuando la relación $\frac{P_T}{P_L} = 1.15$ y un numero de Reynolds aproximado de 7250, se tiene un $X = 1$.

Mientras que con $Re_D = 7250$ y con $P_T = 1.33$, del mismo anexo se tiene:

$$f = 0.8$$

Además:

$$v_{max} = 3.71 \frac{m}{s}$$

Entonces:

$$P_{I.C} = 19.74 Pa$$

3.8.3 PRESIÓN TOTAL REQUERIDA

Se establece como la sumatoria de todas las presiones o caída de presiones de los ductos o de los segmentos de ducto. La presión total depende del ventilador, ya que el ventilador superior afecta al hogar mientras que el ventilador inferior afecta al arreglo de tubos 1. Por lo tanto las ecuaciones para determinar la presión total quedan determinadas de la siguiente manera:

$$P_{TSUPERIOR} = P_{d1} + P_{d2} + P_{fr} + P_{L.C2} \text{ (mm c. d. a)}$$

$$P_T = 2.29 + 0.097 + 0.006 + 2.01 \text{ (mm c. d. a)}$$

$$P_{T1} = 4.4 \text{ (mm c. d. a)}$$

Equivalencias:

$$P_T = 43.15 \text{ Pa}$$

$$P_T = 0.173 \text{ w. c}$$

$$P_{TINFERIOR} = P_{d1} + P_{fr} + P_{L.C1} + P_{L.C2} \text{ (mm c. d. a)}$$

$$P_T = 2.29 + 0.006 + 0.75 + 2.01 \text{ (mm c. d. a)}$$

$$P_{T2} = 5.06 \text{ (mm c. d. a)}$$

Equivalencias:

$$P_T = 49.55 \text{ Pa}$$

$$P_T = 0.199 \text{ w. c}$$

3.8.4 PRESIÓN ESTÁTICA PARA LA SELECCIÓN DEL VENTILADOR

Para nuestro caso solo se debe realizar una corrección por temperatura, por lo que el factor de corrección es:

$$G_2 = 0.54 \quad \text{Factor de corrección para } 170 \text{ }^\circ\text{C.}$$

$$G = 0.54$$

De este modo la presión estática equivalente queda expresada como:

$$P_{est.} = 1.4 * \frac{P_T}{G}$$

Por lo tanto la presión requerida por los ventiladores se establece por la presión total del ventilador inferior ya que posee mayor presión:

$$P_{est.} = 0.526 \text{ w.c}$$

Conociendo el caudal y la presión estática, se puede determinar la potencia y las revoluciones del motor con la ayuda del anexo K.

De acuerdo con el caudal de 2000 CFM, y una presión de 0.526 w.c, se requiere un motor de 1600 RPM y una potencia de 0.57 BHP. Pero por la disponibilidad en el mercado, y por una recomendación eléctrica de siempre tener un 25% más de potencia en los equipos eléctricos para alargar la vida útil de los motores se elige un motor de 1700 RPM y 1 HP de potencia.

3.9 SISTEMA DE PANELES SOLARES FOTOVOLTAICOS

3.9.1 ENERGÍA TOTAL CONSUMIDA

Una vez obtenida la potencia del motor del ventilador y del quemador, puede establecer la energía necesaria según el tiempo de consumo, el cual fue establecido para 1 ciclo de trabajo del horno de trabajo, ya que el ciclo de trabajo por cada puesta en marcha del cuarto de secado es de 35 minutos.

Ya que se tienen las características del motor del ventilador y del quemador se puede obtener la corriente a la que trabajan los motores.

$$P_{motorvent.} = 1 \text{ HP} = 0.75 \text{ KW}$$

$$V_{motor} = 120 \text{ VAC}$$

$$I_{motor} = 6.25 \text{ A}$$

Las características técnicas de los motores tanto del quemador y del ventilador son:



Figura 3. 24 Quemador instalado

Fuente: www.directindustry.es

Tabla 3. 11 Características del motor del quemador

Características del motor del quemador	
Potencia	1/4 HP
Revoluciones	3450 RPM
Voltaje	110 V
Amperaje Max	3.4A
Frecuencia	60Hz
Voltaje de Ignición	10000 V
Flujo másico	2 - 6 GPH



Figura 3. 25 Motor del ventilador

Fuente: www.motores-electricos.es

Tabla 3. 12 Características del motor del ventilador

Características del motor del ventilador	
Potencia	1 HP
Revoluciones	1750 RPM
Voltaje	120/240 V
Amperaje Continuo	6.25 A
Frecuencia	60 Hz
Eficiencia	65.90%
Factor de Servicio F.S.	1.15

Para calcular la energía que se necesita acumular por los paneles fotovoltaicos, se deben sumar la potencia del quemador y de los 2 ventiladores que nos da 1.7KW, pero siempre se debe sobredimensionar el sistema para posibles alzas de voltaje sobre todo en el momento del arranque. Por lo que se define al sistema con una potencia de 2KW.

Por lo tanto, con la ayuda de la ecuación 2.60, se puede obtener el consumo de energía:

$$E_d = \frac{P(W) * t_c \left(\frac{h}{dia}\right)}{1000}$$

Dónde:

$$P(W) = 2000$$

$$t_c = 7/12 \text{ (horas)}$$

$$E_d = 1.17 \left(\frac{KWh}{dia}\right)$$

3.9.2 CÁLCULO Y SELECCIÓN DEL NÚMERO DE PANELES

Una vez obtenida la energía consumida por el sistema, se requiere la energía que pueden almacenar los paneles para con esto determinar el número de paneles FV que se requieren. Con la ayuda de la ecuación 2.61, se obtiene esta energía:

$$Ep = 1200 * \frac{Ed}{I_d}$$

El valor del tiempo de intensidad HPS, se determina con la ayuda de la Tabla 2.8, la cual indica la heliofanía en la ciudad de Riobamba; y que en el peor de los casos de ha tomado el valor de 3.5 horas pico de sol radiante por día.

Entonces:

$$I_d = HPS = 3.5$$

$$Ep = 400 \text{ (Wp)}$$

La nomenclatura Wp, se refiere al voltaje nominal con el cual trabajan los paneles solares FV.

Se toma como referencia la potencia pico nominal máxima que se tiene en los paneles FV que es de 100 Wp. De este modo con la ayuda de la ecuación 2.62, se obtienen cuantos paneles fotovoltaicos se requiere para el proyecto:

$$Np = \frac{Ep}{Wp_p}$$

Dónde:

$$Wp_p = 100 \text{ Wp}$$

$$Np = 4 \text{ paneles FV}$$

Por lo tanto, se requieren de 4 paneles fotovoltaicos de 100 Wp que trabaja con 24 VDC.

3.9.3 CÁLCULO Y SELECCIÓN DE LAS BATERÍAS

Para el cálculo del tipo y número de baterías se considera que el AUT, es decir el número de días autónomos sin brillo solar es de 2 días, para aquellos días en donde no se puede generar energía eléctrica a través de los paneles FV.

Se toma la eficiencia de la batería del 90% y por datos del fabricante de baterías se indica que la descarga de la batería no debe ser inferior a 70%

De esta manera el tamaño total de la batería, viene expresada como:

$$Tamaño = \frac{AUT * E_d}{R_b * D_b}$$

Dónde:

$$AUT = 2 \text{ (días).}$$

$$R_b = 90 \%$$

$$D_b = 70 \%$$

$$Tamaño = 3.7 \text{ KWh}$$

Y el número total de baterías se obtiene dividiendo el tamaño para las características de la batería, las cuales son:

$$Número \text{ baterías} = \frac{Tamaño}{Ah * V}$$

Dónde:

$$Ah = 192$$

$$V = 12 \text{ V}$$

$$Número \text{ baterías} = 1.61 \text{ (2 baterías)}$$

3.9.4 CÁLCULO Y SELECCIÓN DEL REGULADOR DE CARGA

Para seleccionar el regulador de carga adecuado se debe determinar la máxima intensidad que pasa desde los paneles solares hasta el inversor de voltaje, a través del

regulador de carga. Ya que en el proyecto se utilizan baterías, se debe establecer la intensidad con la que trabajan los paneles solares como conjunto. De este modo:

$$N_p = 4 \text{ paneles}$$

$$W_{p_p} = 100 \text{ Wp}$$

$$V = 24 \text{ V}$$

Por lo tanto el conjunto de paneles solares FV, genera una potencia de 400 Wp, y dividiéndose para el máximo voltaje (24V) que puede manejar el regulador de carga, se tiene:

$$I = 16.67 \text{ A}$$

A pesar que se puede utilizar un regulador de 30 amperios se decide utilizar un regulador de carga que soporte 60 Amperios de la marca Morningstar TriStar, ya que se planea ampliar la inslacion fotovoltaica a futuro.

3.9.5 SELECCIÓN DEL INVERSOR

Para la selección del inversor se debe considerar los siguientes puntos:

- Voltaje de salida: 120VAC 60Hz
- Voltaje de entrada: 24 V
- Entrada solar: 4x100 Wp = 400 Wp

Por lo tanto se selecciona un Inversor con las siguientes características:

- Voltaje de salida: 120VAC 60Hz
- Voltaje de entrada: 24VDC
- Salida Nominal: 2400W
- Salida Máxima: 4800w (10seg)

- #strings: 2

Por lo tanto se deben seleccionar 1 inversor de voltaje, que trabaje con 120 VAC para el funcionamiento del motor del ventilador y del motor del quemador. Además para la selección del inversor se debe tener en cuenta que para el arranque de cualquier motor, la potencia puede llegar hasta triplicarse por unos cuantos segundos, es por esta razón que se selecciona un inversor de 2000 W para trabajar a 120VAC que puede llegar hasta 4500 W por 10 segundos. Para el diseño de automatización primero debe prender el quemador, luego de un determinado tiempo un ventilador y luego el otro ya que el inversor no alcanza a arrancar los 2 ventiladores al mismo tiempo.

CAPÍTULO IV

CONSTRUCCIÓN, MONTAJE Y PRUEBA

En este capítulo se especifica cual es el procedimiento secuencial para la construcción del cuarto de secado de tableros eléctricos, mediante el uso de los diagramas de procesos que determinan el orden de las actividades, entre las cuales están: operación, inspección, transporte, espera y almacenamiento. También se dividen las construcciones en operaciones grandes como la fabricación del intercambiador de calor, construcción de las paredes del cuarto de secado con construcción de la estructura del cuarto de secado.

Actividad	Símbolo	Resultado Predominante
Operación		Se produce o se realiza algo.
Transporte		Se cambia de lugar o se mueve un objeto.
Inspección		Se verifica la calidad o la cantidad del producto.
Demora		Se interfiere o se retrasa el paso siguiente.
Almacenaje		Se guarda o se protege el producto o los materiales.
Actividad combinada		Operación combinada con una inspección.

Figura 4. 1 Símbolos para la elaboración de diagramas de procesos

Con los respectivos símbolos para la elaboración de los diagramas de procesos, se procede a dividir al cuarto de secado en diferentes procesos de construcción: Construcción de la estructura del cuarto de secado. Construcción del intercambiador de calor. Construcción de la chimenea. Todas las actividades de construcción son modeladas con el programa Autodesk Inventor.

4.1 CONSTRUCCIÓN DE LA ESTRUCTURA DE LAS PAREDES

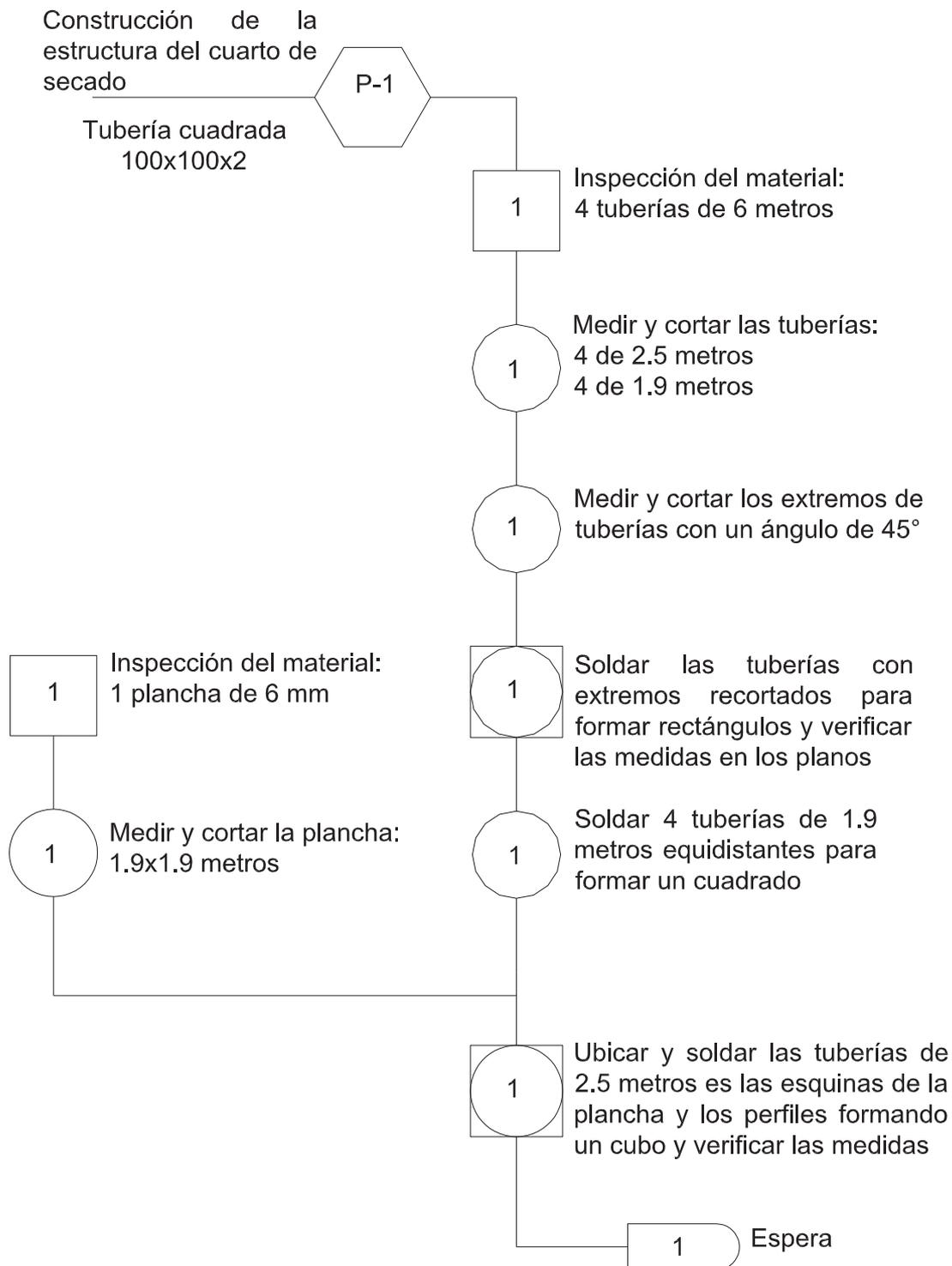


Figura 4. 2 Proceso de construcción de la estructura de las paredes.

El tipo de tuberías cuadradas son especialmente fabricadas para la construcción de estructuras, en donde se requiere rigidez entre sus partes. En la construcción del cuarto de secado se elige las medidas de 100x100 mm ya que el aislante térmico, es decir la lana de vidrio tiene el espesor de 100mm, y por su poder de compresión se puede colocar varias capas de lana de vidrio entre las planchas de acero. Por lo tanto solo debemos cubrir la lana de vidrio con las láminas de acero de 2mm, tanto interior y exteriormente.

El tipo de soldadura para la estructura del cuarto de secado se realiza con el electrodo E6061, el cual es el más propicio para este tipo de aplicaciones. Todas las soldaduras son realizadas con un soldador calificado.

Se realiza una estructura reforzada en el piso del cuarto de secado con plancha de acero de 6 mm, para cuando se deba realizar trabajos de limpieza dentro del cuarto de secado.

De esta manera la estructura del cuarto de secado simulado por el programa de diseño Autodesk Inventor, queda modelado de la siguiente manera:

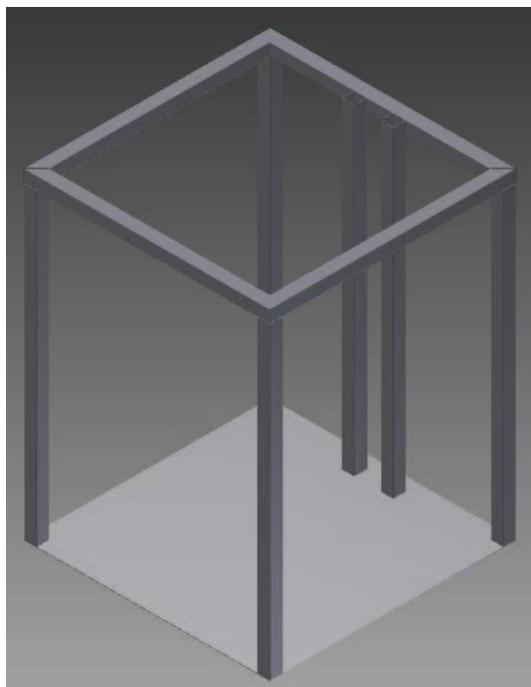


Figura 4.3 Simulación de la estructura del cuarto de secado

4.2 CONSTRUCCIÓN DE LOS ESPEJOS DE LOS GASES DE COMBUSTIÓN

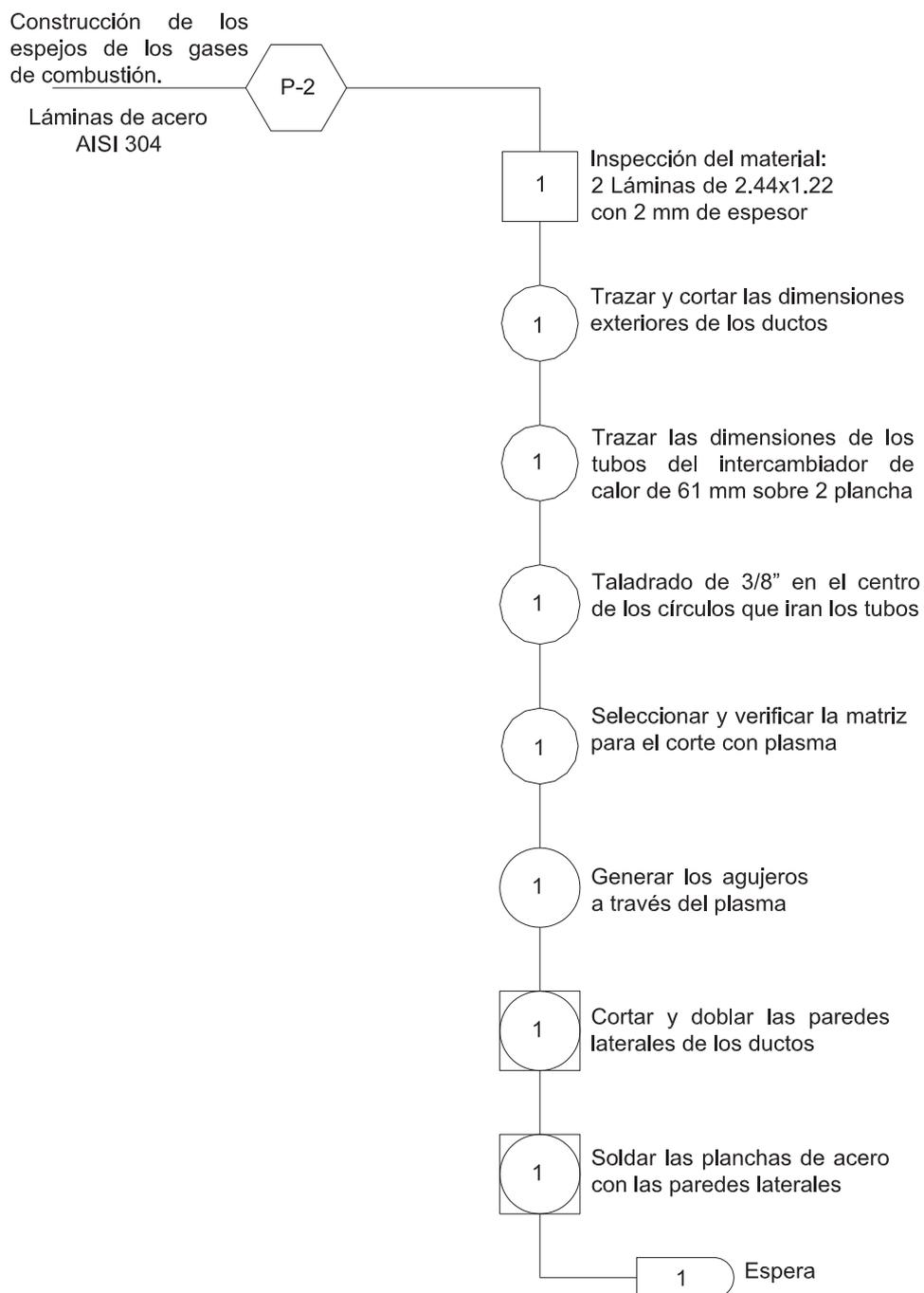


Figura 4. 4 Proceso de construcción de los espejos del intercambiador de calor

Es común fabricar los espejos de los intercambiadores de calor con acero A36 por su precio bajo y su facilidad de adquisición, pero con un periodo de trabajo pequeño, ya que es más vulnerable de oxidarse por los productos de la combustión del diésel. Es por esta razón que la totalidad del intercambiador de calor es construido con acero inoxidable AISI 304, no solo porque puede soportar hasta 720 °C, sino también por que soporta mayor tiempo a la oxidación y tiene muy buenas propiedades a la soldadura.

Los agujeros que se realizan para introducir los tubos de acero, para posteriormente ser soldados.

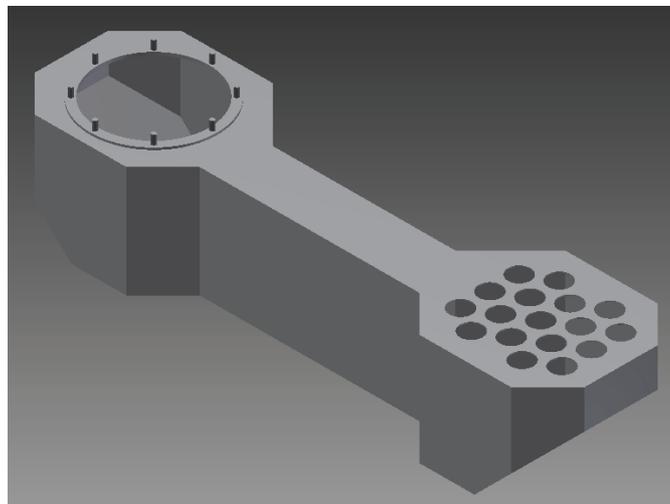


Figura 4.5 Simulación del ducto de los gases de combustión

4.3 CONSTRUCCIÓN DEL HOGAR DE LOS GASES DE COMBUSTIÓN

La construcción del hogar de los gases de combustión, es el lugar donde está en contacto directo con la llama y que debe soportar la más alta temperatura, aunque los cálculos refieren que la temperatura no sobrepasa los 720 °C, se debe seleccionar un material que soporte esta temperatura como es el caso del Acero AISI304.

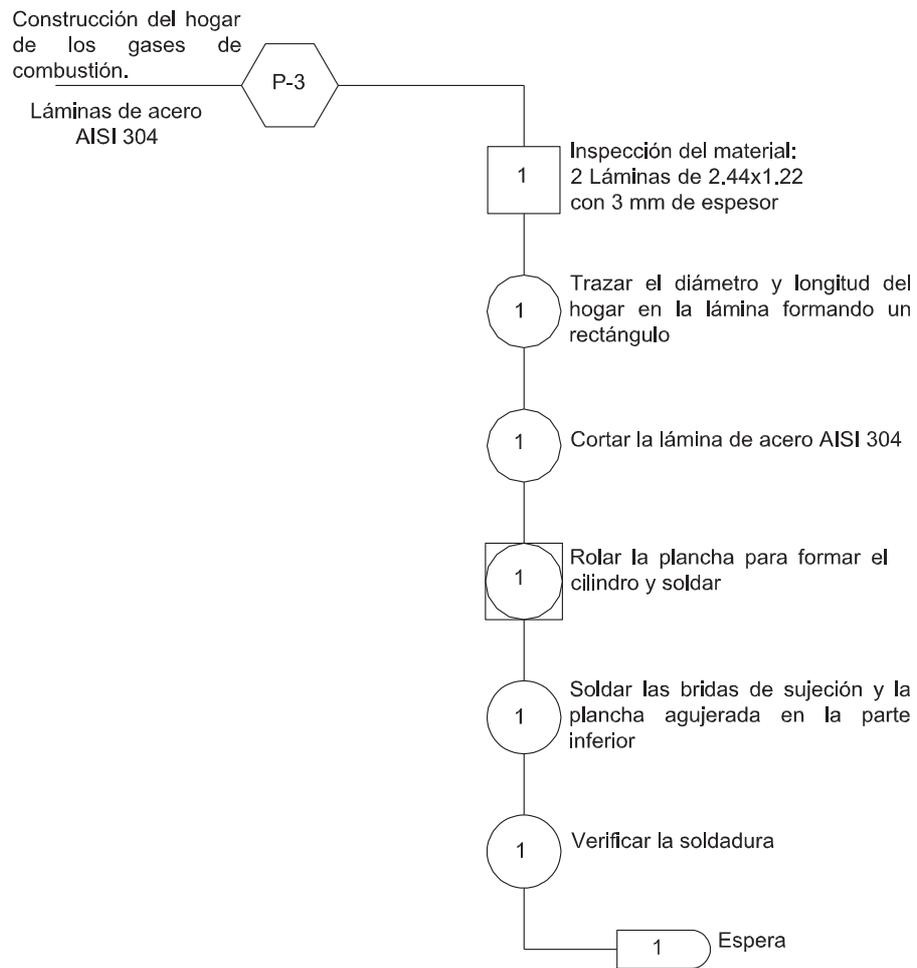


Figura 4.6 Proceso de construcción del hogar



Figura 4.7 Simulación del hogar de los gases de combustión

El hogar de transferencia de calor está soldado con la brida, entrando el hogar y la brida en conjunto dentro de las paredes del intercambiador de calor. De la misma manera el hogar es ensamblado y soldado en conjunto con los tubos de acero que conforman el arreglo de tubos 1.

4.4 CONSTRUCCIÓN DEL INTERCAMBIADOR DE CALOR

La construcción total del intercambiador de calor está constituido por la el hogar, los soldado con los tubos de acero y la brida de acople. De esta manera ya cuando se tengan contruidos todas las partes constituyentes, se comienza con el ensamblaje y el procedimiento de atornillado entre el hogar y el resto de partes constituyentes del intercambiador de calor.

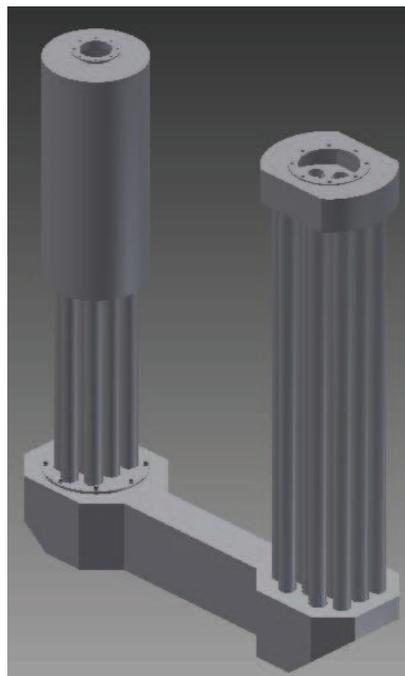


Figura 4. 8 Simulación del intercambiador de calor sin tapas laterales

Como se puede observar en la figura 4.8, se encuentra soldado el hogar, los tubos y los ductos de gases de combustión, como un conjunto; para posterior a esto atornillar en la parte superior de las paredes internas.

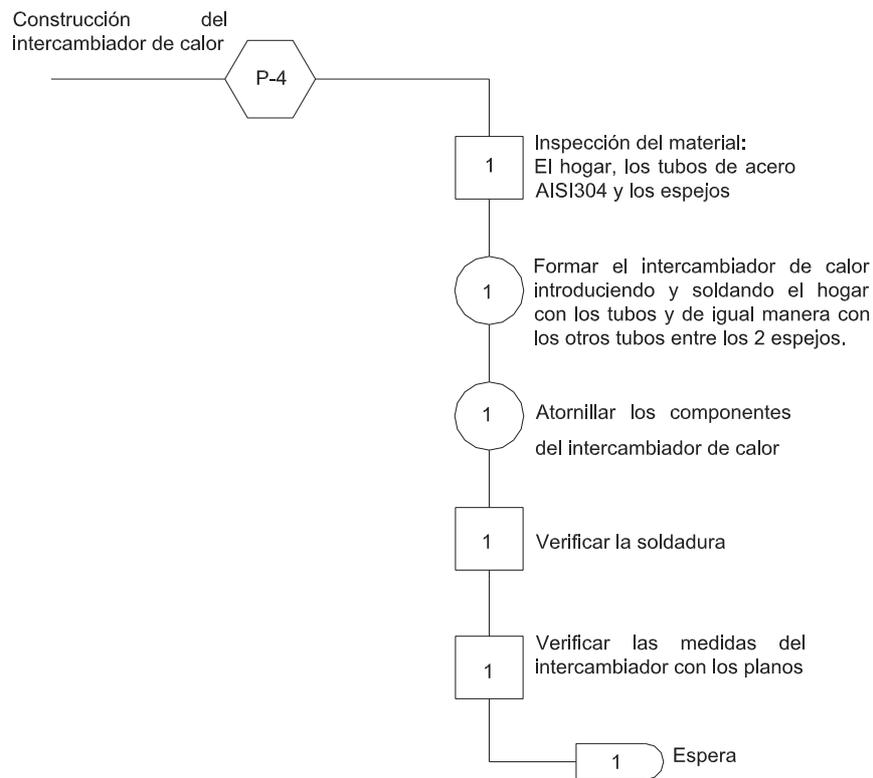


Figura 4.9 Proceso de construcción del intercambiador de calor

4.5 POSICIONAMIENTO DEL SISTEMA FOTOVOLTAICO

Para un correcto posicionamiento de un sistema solar fotovoltaico se deben cumplir 2 orientaciones fundamentales que son expresadas por ángulos: el ángulo de azimut y el ángulo de inclinación.

4.5.1 ÁNGULO DE AZIMUT

Es el ángulo formado por la dirección perpendicular del generador fotovoltaico y la dirección sur de las coordenadas del sitio en donde se encuentra asentado el modulo (Ver figura 4.10). El ángulo de azimut depende principalmente en que hemisferio se encuentra la instalación, ya que si se instala el generador en el hemisferio norte, los

módulos deben orientarse hacia el sur; mientras que si la instalación se encuentra en el hemisferio sur, los módulos fotovoltaicos deben orientarse hacia el hemisferio norte.

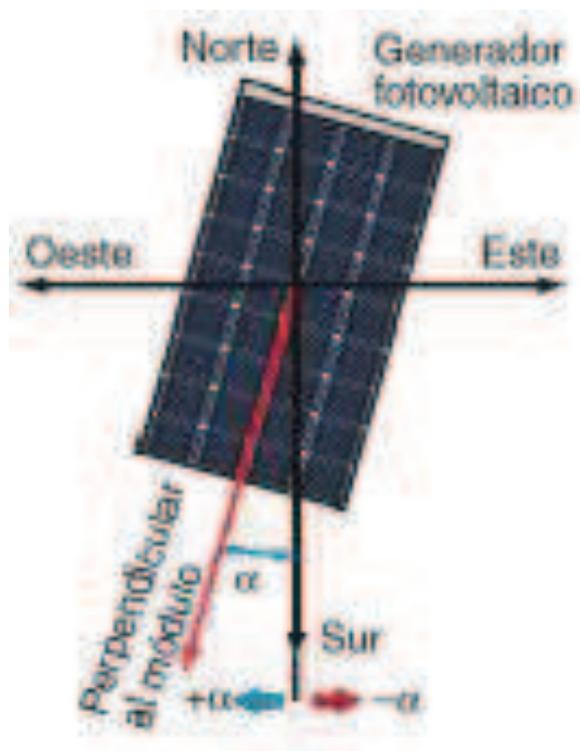


Figura 4. 10 Ángulo de azimut respecto al generador fotovoltaico

Fuente: PAREJA M.; Energía fotovoltaica; Cálculo de una instalación aislada; Marcombo; 2010

La instalación del proyecto se encuentra en la ciudad de Riobamba, Ecuador; que se encuentra en el hemisferio sur por lo tanto la instalación de los módulos fotovoltaicos debe estar orientados hacia el norte con un ángulo de azimut con variación máxima de $\pm 20^\circ$. Como se puede observar en los planos constructivos del proyecto el galpón de la empresa SOLELEC S. A. se encuentra dirigido hacia el norte con un ángulo de azimut de 16.96° . Este valor es muy importante en el proyecto ya que los paneles FV son instalados en el techo del galpón industrial.

4.5.2 ÁNGULO DE INCLINACIÓN

Es el ángulo formado por la superficie inferior del generador fotovoltaico y el plano horizontal en donde se encuentra asentada la instalación o estructura como se puede apreciar en la figura 4.11. La captación de energía solar es variable durante todo el año pero su aprovechamiento máximo es cuando la posición de la placa sea perpendicular a la radiación. Su valor puede variar dependiendo de la latitud en donde se encuentra el lugar a ser instalado el sistema FV, es muy eficaz tomar estos datos de latitud y longitud con un GPS o una herramienta avanzada de medición.

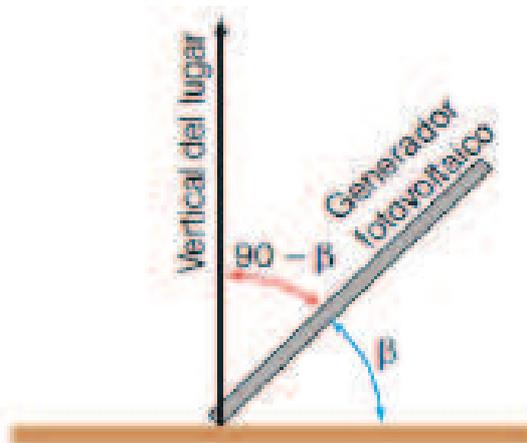


Figura 4. 11 Ángulo de inclinación

Fuente: PAREJA M.; Energía fotovoltaica; Cálculo de una instalación aislada; Marcombo; 2010

Tabla 4. 1 Datos geográficos de Riobamba

Región:	Sierra
Provincia:	Chimborazo
Latitud:	1° 39' 58" S
Longitud:	78° 39' 33" O
Clima:	14° C a 23° C
Población:	201.030 (estimación 2008)
Fundación:	14 de Agosto de 1534

Fuente: <http://www.ecostravel.com/ecuador/ciudades-destinos/riobamba.php>

Tabla 4. 2 Ángulo de inclinación en función de la latitud

Latitud del lugar	Ángulo en Invierno	Ángulo en Verano
0 al 5 grados	15 grados	15 grados
15 a 25 grados	Latitud	Latitud
25 a 30 grados	Latitud + 5 grados	Latitud - 5 grados
30 a 35 grados	Latitud + 10 grados	Latitud - 10 grados
35 a 40 grados	Latitud + 15 grados	Latitud - 15 grados
más de 40 grados	Latitud + 20 grados	Latitud - 20 grados

Fuente: PAREJA M.; Energía fotovoltaica; Cálculo de una instalación aislada; Marcombo; 2010

Como se puede observar en la Tabla 4.2 para la altitud de la ciudad de Riobamba la recomendación del ángulo de inclinación para todo el año es de 15°

El techo del galpón industrial de la empresa SOLELEC S. A., tiene exactamente una inclinación de 15° respecto con la horizontal por lo que es el lugar propicio para la instalación de los módulos generadores fotovoltaicos.

4.6 PRUEBAS EN EL CUARTO DE SECADO

Para realizar las pruebas en el cuarto de secado se toman las temperaturas cada determinado tiempo en este caso 1 minuto, dependiendo del tiempo de calentamiento o enfriamiento. Para el tiempo de calentamiento se espera los 20 minutos que acordamos en el capítulo tercero para que el cuarto de secado llegue a la temperatura de equilibrio y 10 minutos que se debe esperar hasta que la pintura electrostática pase de su estado sólido a su estado de polimerización. Mientras que para el tiempo de enfriamiento se estima que por las pérdidas en las paredes el tiempo sea de 20 minutos.

Posteriormente se deben realizar pruebas a los tableros eléctricos para comprobar sus propiedades de adherencia y resistencia mecánica.

Para determinar las temperaturas dentro del cuarto de secado se utiliza 2 termocuplas tipo J que operan en el rango de temperaturas entre -200 a 700 °C, y se encuentran ubicadas en la parte inferior y posterior del cuarto de secado en donde se espera que se demore más en calentarse hasta la temperatura de equilibrio.

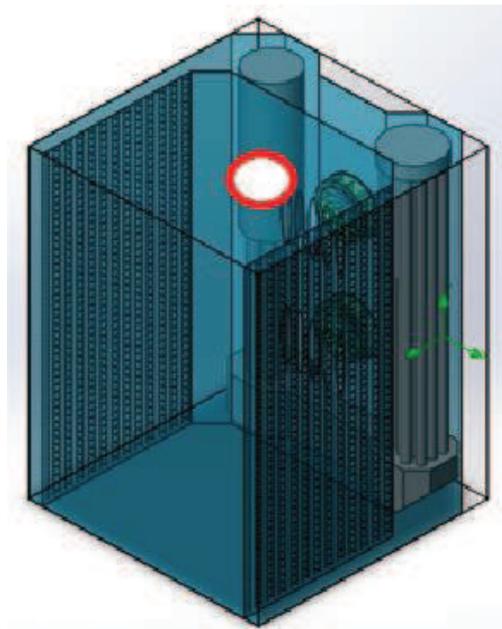


Figura 4. 12 Vista isométrica del cuarto de secado con la ubicación de la primera termocupla

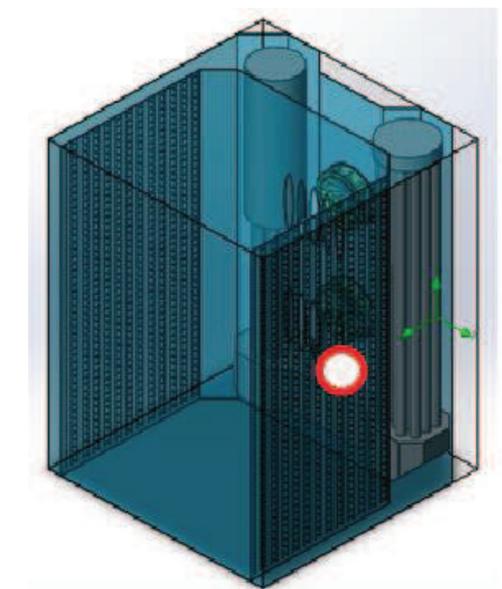


Figura 4. 13 Vista isométrica del cuarto de secado con la ubicación de la segunda termocupla

Tabla 4. 3 Medición de temperaturas con el horno en funcionamiento

TIEMPO	TEMP SUPERIOR	TEMP INFERIOR	TEMP PROMEDIO
minutos	°C	°C	°C
0	15	16	16
1	17	18	18
2	21	20	21
3	25	24	25
4	31	31	31
5	35	36	36
6	41	40	41
7	50	50	50
8	58	58	58
9	66	64	65
10	72	70	71
11	78	77	78
12	88	86	87
13	95	94	95
14	100	98	99
15	106	103	105
16	115	112	114
17	121	117	119
18	130	125	128
19	138	132	135
20	145	140	143
21	151	144	148
22	157	150	154
23	162	154	158
24	169	162	166
25	174	168	171
26	180	174	177
27	189	179	184
28	195	184	190
29	200	190	195
30	205	195	200
31	207	200	204
32	209	202	206
33	209	203	206

34	208	204	206
35	203	200	202

4.6.1 ANÁLISIS DE RESULTADOS

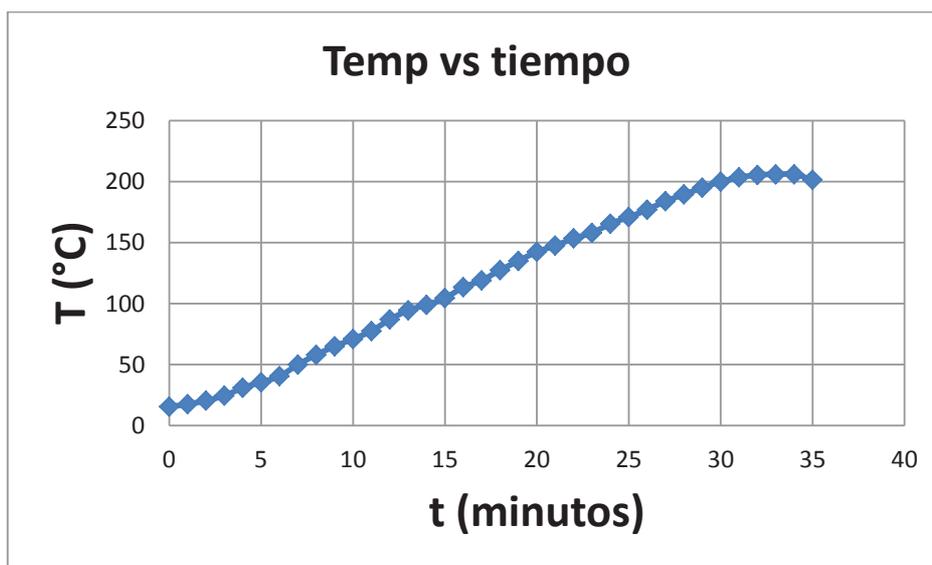


Figura 4. 14 Variación de temperatura en función del tiempo dentro del cuarto de secado

Se puede observar en la gráfica que la temperatura dentro del cuarto de secado se mantiene uniforme, con apenas una diferencia máxima de 5 grados centígrados entre las 2 termocuplas. Esto se debe ya que el aire cuando aumenta de temperatura, disminuye su densidad y es propensa a subir; es decir se ubica en la parte superior del cuarto de secado. Además esto no influye en el secado de la pintura de tableros eléctricos ya que se tiene un rango considerable de ± 10 grados centígrados para su secado.

También se puede observar que la temperatura supera la temperatura límite de control aunque con un rango pequeño, por lo que los ventiladores solo se prenden una sola vez durante el secado. Esto favorece para que el inversor de voltaje del sistema fotovoltaicos no se sobrecargue.

4.7 MANUAL DE OPERACIÓN DEL CUARTO DE SECADO

Se realiza una evaluación de los pasos necesarios para poner en funcionamiento el cuarto de secado, así como la verificación de puntos clave para no tener inconvenientes durante el proceso de curado de la pintura electrostática.

1. Verificar que la separación entre las láminas de los tableros eléctricos tengan una separación de 10 cm para permitir una buena circulación de aire entre ellas.
2. Posicionar el coche con los tableros pintados electrostáticamente sobre la rampa de ingreso al cuarto de secado, e introducirlo dentro del horno tomando la precaución de direccionar las llantas del coche sobre las vigas destinadas para los coches.
3. Cerrar la puerta del horno, verificando el cierre completo de sus seguros.
4. Verificar el nivel del tanque de Diésel se encuentre sobre el nivel mínimo, 4 o 5 cm por arriba, caso contrario llenar el tanque hasta el nivel máximo.
5. Verificar que las rejillas de circulación de aire no se encuentren obstruidas.
6. Verificar que las válvulas de paso de Diésel se encuentre totalmente abierta.
7. Si es posible empezar el proceso con un sol radiante para controlar el desempeño del sistema eléctrico fotovoltaico.
8. Verificar el encendido del sistema fotovoltaico, en especial del inversor de voltaje quien es el encargado de absorber y transformar la energía desde el banco de baterías.
9. Verificar la capacidad almacenada en las baterías a través del inversor, siendo el 70% la mínima para el funcionamiento del cuarto de secado. Si la capacidad de las baterías es inferior al 50%, conectar el sistema eléctrico de la red.
10. Accionamiento del sistema de control.

11. Arranque del quemador de diésel.
12. Luego de 15 segundos que el quemador este prendido prender el ventilador inferior.
13. Posteriormente después de 15 segundos prender el ventilador superior.
14. Verificar las temperaturas (máxima y mínima), tiempo de estabilización, tiempo de curado.
15. Arrancar el horno a través del control de mando. Si existe algún inconveniente se prende la alarma y en el sistema de control aparece mal funcionamiento.
16. Verificar la presión del manómetro del quemador y el arranque de los motores de los ventiladores.
17. Esperar el tiempo necesario para que las placas lleguen a la temperatura de estabilización y el tiempo para el curado.
18. Abrir la puerta del horno con la debida vestimenta de precaución.
19. Extraer el coche con las láminas de los tableros eléctricos a través de la rampa y ponerlo en un lugar fresco para su enfriamiento. Luego de un determinado tiempo verificar la calidad de la pintura.
20. Si el proceso es continuo repetir todos los pasos teniendo varios coches para que el proceso sea más autónomo.

4.8 SEGURIDAD INDUSTRIAL PARA LA OPERACIÓN DEL CUARTO DE SECADO

Al pasar de los años la seguridad industrial ha ido tomando fuerza dentro de las industrias, ya que una buena seguridad industrial para los trabajadores implica varios

factores positivos como es el incremento en la producción, salud ocupacional, buen ambiente de trabajo, etc.

Por lo cual, para el correcto funcionamiento del cuarto de secado se debe tener en cuenta seguridades para el ser humano así como señales esenciales para evitar lesiones en empleados o personas extrañas a la empresa. Para evitar esto se debe señalizar el lugar, capacitar y entregar equipo de protección al equipo humano.

4.8.1 SEÑALIZACIÓN DEL LUGAR DE TRABAJO

La mejor manera para evitar accidentes en las cercanías del cuarto de secado de tableros eléctricos, es implementar varias señales que advierten a los operarios que deben tener extremo cuidado con cumplir dichas señales. Para un mejor diseño y evaluación de las señales de seguridad en las cercanías del cuarto de secado nos fundamentamos en las normas:

NTE INEN 2239:2000. Accesibilidad de las personas al medio físico. Señalización.

NTE INEN 439:1984. Colores, señales y símbolos de seguridad.

La primera indicación que indica la norma se plantea en el literal 2.1.2.1 de la norma INEN 2239, en donde nos especifica que las señales visuales deben estar ubicadas en las paredes a una altura superior a 1.4 metros de altura.

Si consideramos las dimensiones de las señales de seguridad la misma norma nos especifica que existe una relación de dependencia entre el área de la señal y la longitud de visualización, de la siguiente manera:

$$A = \frac{L^2}{2000}$$

En donde A y L están expresadas en metros cuadrados y metros respectivamente y dicha fórmula debe ser aplicada para distancias menores de 50 metros.

Para distancias de la señal de seguridad deben enfocarse en la norma INEN 439, ya que indica las longitudes de las señales para la condición de accesibilidad.

Para el caso concreto de las señales utilizadas para el cuarto de secado se toma señales cuadradas de 25 centímetros de longitud ya que son las más habituales, de esta manera la longitud de observación es de 11.18 metros, es decir que a esta distancia la señal de seguridad es visible tanto para los operarios como para las personas ajenas a la fábrica que circulen en las cercanías del horno.

Las señales de seguridad además de poseer un gráfico que indica su debida advertencia respecto a un posible peligro, también pueden venir acompañadas de letras o palabras que expresen de la mejor manera la señal de seguridad. Estas letras deben tener dimensiones superiores a los 15 mm, pero para personas con baja visión la recomendación es que las letras tengan dimensiones entre 15 y 40 mm.

Para un mejor entendimiento de las señales de seguridad se estudia los significados de los colores de seguridad. Estos colores vienen dentro de los gráficos o en las letras que acompañan los gráficos y tienen su respectivo significado.

Tabla 4. 4 Colores de seguridad y significado

COLOR	SIGNIFICADO	EJEMPLOS DE USO
	Alto Prohibición	Señal de parada Signos de prohibición Este color se usa también para prevenir fuego y para marcar equipo contra incendio y su localización.
	Atención Cuidado, peligro	Indicación de peligros (fuego, explosión, envenenamiento, etc.) Advertencia de obstáculos.
	Seguridad	Rutas de escape, salidas de emergencia, estación de primeros auxilios.
	Acción obligada *) Información	Obligación de usar equipos de seguridad personal. Localización de teléfono.
*) El color azul se considera color de seguridad sólo cuando se utiliza en conjunto con un círculo.		

Fuente: Norma NTE INEN 439:1984

Estos colores principales pueden estar acompañados con colores de contraste que pueden ser negros o blancos y varían según el color de seguridad. Mientras que para negro su color de contraste es blanco y viceversa.

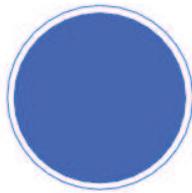
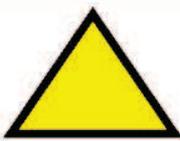
Tabla 4. 5 Colores de contraste

Color de seguridad	Color de contraste
rojo	blanco
amarillo	negro
verde	blanco
azul	blanco

Fuente: Norma NTE INEN 439:1984

En la siguiente tabla se puede observar un claro ejemplo de cómo se utilizan los colores de seguridad en las señales de seguridad.

Tabla 4. 6 Señales de seguridad con sus respectivos colores

Señales y significado	Descripción
	Fondo blanco círculo y barra inclinada rojos. El símbolo de seguridad será negro, colocado en el centro de la señal, pero no debe superponerse a la barra inclinada roja. La banda de color blanco periférica es opcional. Se recomienda que el color rojo cubra por lo menos el 35% del área de la señal. Aplicaciones ver en Anexo B.
	Fondo azul. El símbolo de seguridad o el texto serán blancos y colocados en el centro de la señal, la franja blanca periférica es opcional. El color azul debe cubrir por lo menos el 50% del área de la señal. Los símbolos usados en las señales de obligación presentados en el Anexo B establecen tipos generales de protección. En caso de necesidad, debe indicarse el nivel de protección requerido, mediante palabras y números en una señal auxiliar usada conjuntamente con la señal de seguridad.
	Fondo amarillo. Franja triangular negra. El símbolo de seguridad será negro y estará colocado en el centro de la señal, la franja periférica amarilla es opcional. El color amarillo debe cubrir por lo menos el 50% del área de la señal.
	Fondo verde. Símbolo o texto de seguridad en blanco y colocada en el centro de la señal. La forma de la señal debe ser un cuadrado o rectángulo de tamaño adecuado para alojar el símbolo y/o texto de seguridad. El fondo verde debe cubrir por lo menos un 50% del área de la señal. La franja blanca periférica es opcional.

Fuente: Norma NTE INEN 439:1984

Posteriormente se indican algunas señales de seguridad que son utilizadas a las cercanías del cuarto de secado, para la prevención de accidentes.

Tabla 4. 7 Señales de aviso, precaución y seguridad

	<p>Indispensable el uso de guantes.</p>
	<p>En esta área es prohibido fumar por el uso de productos químicos inflamables.</p>
	<p>En el interior del horno no meter las manos ya que opera a temperaturas elevadas.</p>
	<p>Esencial el uso de un extintor por la probable propagación de un incendio.</p>
	<p>Vías de evacuación de la planta.</p>
	<p>La operación del horno es exclusiva para personas calificadas.</p>
	<p>Uso de mandil. (Indispensable para personas particulares).</p>

4.8.2 EQUIPO DE SEGURIDAD INDUSTRIAL PARA LOS OPERARIOS

Para preservar la vida y salud de los operarios del cuarto de secado deben tener una vestimenta propicia para evitar accidentes. De este modo los operarios están más propensos a accidentes con placas calientes, además de la posible absorción de la pintura electrostática en polvo, así como también la posible caída de las placas o de la estructura de los tableros eléctricos.



Figura 4. 15 Equipo de Protección para los operarios

Fuente: <http://dihargentina.blogspot.com/2011/09/equipo-de-proteccion-obreros.html>

De esta manera se ha decidido que los operarios deben utilizar el siguiente equipo de seguridad.

Tabla 4. 8 Consideraciones para el uso de equipo de protección

EQUIPO	PRECAUCION
Casco	Posible golpe directo con las placas de los tableros eléctricos.
Audífonos	Nivel sonoro de los motores de los ventiladores.
Gafas	Posible adherencia de la pintura en polvo en las cercanías o dentro de los ojo.

Mascarilla	Posible absorción de la pintura en polvo ya sea en el momento del pintado o durante el transporte hacia la cabina de secado.
Arnés	Posible daño en la columna vertebral al momento de montaje o desmontaje de los tableros eléctricos.
Guantes	Vital importancia ya que está en contacto directo con el coche que transporta los tableros y se encuentra a alta temperatura.
Botas	Posible caída de los tableros eléctricos.
Overol	Posible salificación de la pintura en polvo en la vestimenta propia del operario.

Elaboración: Propia

4.9 MANTENIMIENTO DEL CUARTO DE SECADO

Para que el cuarto de secado de tableros eléctricos tenga una vida útil prolongada deben realizar diferentes tipos mantenimiento ya sea preventivo o correctivo. Además el mantenimiento viene relacionado con la calidad del producto ya que si algún componente del cuarto de secado no está trabajando de una manera adecuada, afecta directamente a la calidad de los tableros eléctricos.

De esta manera se ha dividido el plan de mantenimiento en 4 grupos principales:

- Intercambiador de calor. (Tubos, chimenea, espejos, chimenea).
- Cuarto interno del horno.
- Ventiladores
- Quemador

Tabla 4. 9 Mantenimiento del Intercambiador de calor

INTERCAMBIADOR DE CALOR		
Elemento constituyente	Operación	Periodicidad
Tubos	Limpiar el exterior de los tubos por posibles desprendimientos de pintura en polvo.	Anual
	Verificar fisuras tanto en las soldaduras como en lo largo del tubo.	
	Verificar y limpiar la corrosión en la superficie de los tubos.	
Chimenea	Limpiar el hollín generado por la mala combustión del diésel.	Anual
	Revisar corrosión principalmente en el extremo que está en contacto con el medio ambiente.	
Hogar	Revisar el estado del material ya que es el elemento que se encuentra en contacto directo con la llama.	Semestral
Espejo	Limpiar el hollín ya que por gravedad es muy probable que el hollín se deposite en la base.	Anual

Tabla 4. 10 Mantenimiento del Cuarto interno

CUARTO INTERNO		
Elemento constituyente	Operación	Periodicidad
Cabina	Limpiar las paredes laterales y techo del cuarto interno.	Semanal
	Barrer el piso de la cabina.	Diaria

	Revisar la soldadura en las planchas de acero negro o común que está conformada la cabina.	Semanal
Deflectores	Limpiar las láminas de acero negro.	Semanal

Tabla 4. 11 Mantenimiento de los Ventiladores

VENTILADORES		
Elemento constituyente	Operación	Periodicidad
Ventiladores	Limpiar los alabes teniendo extremo cuidado en no ejercer demasiada fuerza para evitar dobleces.	Semanal
	Revisar las medidas de los alabes así como sus ángulos establecidos.	
Motores	Revisar los ruidos y vibraciones excesivas.	Diario
	Revisar el calentamiento excesivo.	

Tabla 4. 12 Mantenimiento del Quemador

QUEMADOR		
Elemento constituyente	Operación	Periodicidad
Bomba de succión	Revisar la presión se encuentre estable, según lo que sugiere el fabricante.	Diario
	Revisar la medida de diésel en los tanques.	

Tabla 4. 13 Mantenimiento del sistema fotovoltaico

SISTEMA FOTOVOLTAICO		
Elemento constituyente	Operación	Periodicidad
Paneles	Revisar la adherencia de polvo o cualquier material en la superficie de los paneles.	Diario
	Verificar las conexiones de los paneles hacia las baterías estén correctamente conectadas	
Baterías	Controlar el nivel de ácidos de las baterías	Anual

CAPITULO V

ANÁLISIS ECONÓMICO

En este capítulo se realiza un análisis de la inversión total que se requiere para la construcción del cuarto de secado de tableros eléctricos para la empresa Solelec S. A., es decir todos los rubros que cubren para la construcción del cuarto de secado y se ha dividido en los siguientes costos:

- Costos de materiales
- Costos de fabricación
- Costos de equipos
- Costos de ensamblaje y montaje
- Costos indirectos

5.1 COSTOS DE MATERIALES

Se considera materiales a todos aquella materia prima que se requiere para la fabricación de elementos constituyentes del horno y que se los obtiene a través de procesos de manufactura. (Ver Tabla 5.1)

5.2 COSTOS DE FABRICACIÓN

Los costos de fabricación se refieren al costo que se realiza para la fabricación de los diferentes tipos de piezas o elementos que serán ensamblados en el cuarto de secado para su normal y eficiente funcionamiento. (Ver Tabla 5.2)

Tabla 5. 1 Costos de Materiales

N	Elementos	Material	Descripción	Cant.	Costo	Precio
1	Estructura	Tubo cuadrado Acero 100x100x2mm	Tubo estructural 6000 mm	4	51.66	206.6
2	Estructura	Perfil en L 25x25mm	Tubo estructural 6000 mm	7	5.35	37.45
3	Paredes int.	Planchas Acero Negro	Planchas 2.44x1.22m x 2 mm	10	50.36	503.6
4	Paredes ext.	Planchas Acero Galvanizado	Planchas 2.44x1.22m x 2mm	12	60.85	730.2
5	Paredes int.	Lana de vidrio	Rollos espesor 2 pulgadas x 15 metros	12	70.8	849.6
6	Espejos	Planchas Acero AISI 304	Planchas 2.44x1.22m x 3 mm	3	330	990
7	Hogar	Planchas Acero AISI 304	Planchas 2.44x1.22m x 3 mm	1	330	330
8	Chimenea	Planchas Acero AISI 304	Planchas 2.44x1.22m x 3 mm	1	330	330
9	Intercambiador de calor	Tubo acero AISI 304 3"	Tubería redonda 6000 mm	9	290	2610
SUBTOTAL						6587
IVA						790.5
TOTAL						7378

Elaboración: Propia

Tabla 5. 2 Costos de Fabricación

N	Elemento	Operación	Referencia de cálculo Tiempo (horas)	Costo (\$/hora) Obrero+maquina	Precio
1	Estructura	Corte	4	8	32
		Soldadura	8	20	160
2	Paredes internas	Corte	20	8	160
		Soldadura	30	20	600
3	Espejos	Corte	8	8	64
		Doblado	4	5	20
		Plasma	6	40	240
		Soldadura	16	20	320
4	Hogar	Corte	2	8	16
		Rolado	2	8	16
		Soldadura	4	20	80
5	Chimenea	Corte	4	8	32
		Rolado	4	5	20
		Soldadura	16	20	320
6	Paredes externas	Corte	20	8	160
		Doblado	30	20	600
				TOTAL	2840

Elaboración: Propia

5.3 COSTOS DE EQUIPOS

Son los costos de los equipos o instrumentos que por su complejidad de construcción, se deben comprar en talleres o fábricas experimentadas en la fabricación de dichos elementos.

Tabla 5. 3 Costos de Equipos

N	Elemento	Descripción	Cantidad	Precio
1	Quemador	Wayne 2-6 GPH	1	650
2	Ventilador	2000 CFM 0.50" c. w.	2	500
3	Motor eléctrico	Siemens 1 HP	2	420
4	Paneles solares	Ecoenergy 100 Wp	4	540
5	Controlador de carga	Morningstar TriStar 60A	1	300
6	Baterías	Ecoenergy 192Ah	2	700
7	Inversor de voltaje	Tripp lite	1	840
8	Cables	Cableado en general	1	300
			TOTAL	4250

Elaboración: Propia

5.4 COSTOS DE ENSAMBLAJE Y MONTAJE

Son los costos necesarios que se deben realizar para que el cuarto de montaje funcione correctamente y que su instalación sea garantizada para una vida útil alargada.

Tabla 5. 4 Costos de ensamblaje y montaje

N	Denominación	Costo
1	Ensamblaje de la estructura	100
2	Instalación de la acometida del diésel	50
3	Instalación del sistema fotovoltaico	400
4	Instalación del sistema de ventilación	75
	Instalación del sistema de control	300

Elaboración: Propia

5.5 COSTOS INDIRECTOS

Son todos aquellos rubros que no influyen en la fabricación del cuarto de secado pero que son necesarios para el desarrollo completo del proyecto.

Tabla 5. 5 Costos indirectos

Denominación	Referencia de cálculo Tiempo (horas)	Costo (\$/hora)	Precio
Diseño	200	5	1000
Trasporte	25	5	125
Contabilidad	25	2	50
Capacitación	5	5	25
Calibración	20	5	100
TOTAL			1300

5.6 COSTO TOTAL

Para la construcción total del cuarto de secado están involucrados todos los gastos antes nombrados, pero adicionalmente se deben considerar un porcentaje de utilidad y de imprevistos que se lo considera en cualquier proyecto:

Tabla 5. 6 Costo total

Denominación	Costo
Materiales	7377.99
Fabricación	2840
Equipos	4250
Ensamble y montaje	925
Indirectos	1300
SUBTOTAL	16692.99
Utilidad (10%)	1669.30
Imprevistos (5%)	834.65
TOTAL	19196.94

5.7 RENTABILIDAD DEL SISTEMA FOTOVOLTAICO

Se realiza un estudio del costo de generación de un Kw-h con nuestro sistema de paneles fotovoltaicos y se lo compara con el costo de la energía de la Empresa Eléctrica. Además de estimar en qué periodo de tiempo se puede lograr recuperar la inversión del sistema FV con los precios de adquisición del equipo en reconocidas empresas de generación eléctrica fotovoltaica.

Empezamos indicando cuanta energía en Kw-h se puede generar con los paneles fotovoltaicos:

$$\text{Generación eléctrica} = (4.8 \text{ HPS}) * (100\text{Wp}) * (0.90) * (4)$$

Por lo tanto se establece que los paneles solares trabajan con una eficiencia del 90% y se toma el promedio calculado de heliofanía en la ciudad de Riobamba.

$$\text{Generación eléctrica} = 1728 \frac{\text{Wh}}{\text{día}}$$

Mientras que la generación de energía por año es:

$$1728 \frac{\text{Wh}}{\text{día}} * \frac{365 \text{ días}}{\text{año}} * \frac{1\text{KWh}}{1000\text{Wh}} = 630.72 \frac{\text{Kwh}}{\text{año}}$$

Se puede decir que la energía generada por año del sistema de paneles fotovoltaicos es considerablemente alta, por lo que su ahorro económico considerando los 8 centavos por cada Kwh que cobra la Empresa Electrica es:

$$\text{Ahorro} = 630.72 \frac{\text{Kwh}}{\text{año}} * \frac{0.08 \text{ dólares}}{\text{Kwh}} = 50.46 \frac{\text{Dólares}}{\text{año}}$$

Ya que la vida útil de los paneles fotovoltaicos se estima para 25 años, se determina el ahorro generado para este tiempo:

$$50.46 \frac{\text{Dólares}}{\text{año}} * 25 \text{ años} = 1261.44 \text{ Dólares}$$

Generando una energía dentro de los 25 años de:

$$630.72 \frac{\text{Kwh}}{\text{año}} * 25 \text{ años} = 15768 \text{ Kwh}$$

Por lo tanto para determinar el costo de energía generado por el sistema fotovoltaico, se obtiene dividiendo el ahorro para la generación de energía:

$$\text{Costo por Kwh generado} = \frac{1261.44 \text{ dólares}}{15768 \text{ Kwh}} = 0.08 \frac{\text{dólares}}{\text{Kwh}}$$

Comparando con el costo de la energía de la Empresa Eléctrica de la ciudad de Riobamba, apenas se tiene un aumento del 65%. Comparando principalmente con el costo estimado por el CONELEC por la generación eléctrica con sistemas fotovoltaicos de 40 centavos de dólar por cada Kwh generado. De este precio se puede determinar en qué periodo de tiempo la inversión de la proforma presentada en los anexos se puede recuperar.

$$630.72 \frac{\text{Kwh}}{\text{año}} * \frac{0.40 \text{ dólares}}{\text{Kwh}} = 252.29 \frac{\text{dólares}}{\text{año}}$$

Siendo el tiempo de recuperación de la inversión:

$$\text{Tiempo de recuperación} = \frac{2268 \text{ dólares}}{252.29 \frac{\text{dólares}}{\text{año}}}$$

$$\text{Tiempo de recuperación} = 8.99 \text{ años}$$

Por lo tanto el tiempo de recuperación de la inversión se estima para 8 años 11 meses 66 días, lo cual es aceptable para el proyecto ya que la vida útil de los paneles solares es de 25 años y de las baterías solares es de 15 años; siendo las partes constituyentes del sistema fotovoltaico más costosas

CAPITULO VI

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- La combustión es sin duda la forma más simplificada de obtención de calor, ya que solo se requiere un sistema adecuado para producirlo. De este modo, los quemadores son los dispositivos más cotizados para la producción de calor. En nuestro país los quemadores a diésel son muy difundidos para las empresas, ya que somos un país exportador de petróleo.
- Los intercambiadores de calor de flujo cruzado escalonado son un poco más eficientes que los alineados pero con un proceso de construcción un poco más elevado. Además es evidente que mientras más número de pasos se tenga, esto ayuda a difundir mejor el calor de la combustión del diésel.
- El exceso de aire realizado por el ventilador al momento de la combustión del quemador diésel, ayuda a controlar la temperatura de llama adiabática y de los gases de combustión, y de esta manera regula que la temperatura elevada pueda causar daño al hogar o a los distintos componentes del intercambiador de calor. Además gracias al exceso de aire elevado en la combustión nos aseguramos que el proceso de combustión se realice de manera completa, es decir que los componentes más nocivos para el medio ambiente tales como el monóxido de carbono o el azufre desaparezcan o sean transformados a otros gases.
- En el diseño de la chimenea se ha determinado que la altura de 3 metros, es la máxima altura que se puede fabricar para que los gases de combustión sean dispersados a la atmosfera. De otro modo se requeriría de un sistema alternativo como un ventilador para que ayude a los gases de combustión a salir de la

chimenea si se construye una chimenea más alta. La dispersión de los gases de combustión a la atmosfera en el caso de la combustión del diésel evita que sea inhalado por las personas.

- Para realizar adecuadamente el sistema de ventilación del aire recirculado dentro del cuarto de secado, se deben de tener en cuenta 2 aspectos esenciales como son la altura atmosférica del lugar en donde se trabaja y la temperatura de trabajo, ya que estos 2 aspectos hacen que la densidad del aire aumente o disminuya y que el ventilador tenga que realizar un mayor esfuerzo para la ventilación del aire tanto dentro del intercambiador de calor así como de la cámara de secado.
- La ayuda de las cartas psicométricas permiten ahorrar tiempo y cálculos sin perder exactitud en los resultados. Entre las grandes bondades de utilizar la carta psicométrica, ayudan a establecer un valor exacto de la densidad del aire ya que cuando se trabaja en la altura atmosférica disminuye su valor.
- El sistema de paneles fotovoltaicos es sin duda la forma más eficaz de aprovechar toda la radiación solar, ya sea desde cuando el cielo se encuentre nublado o despejado, toda la radiación es convertida en energía eléctrica y almacenada en baterías para optimizar su aprovechamiento.
- Desde el comienzo del proyecto se esperaba que la recuperación de la inversión de realice en un largo plazo ya que los costos de implementación de un sistema de apoyo a base de energías renovables son muy elevados, sobre todo para nuestro país ya que este tipo de energía no ha sido difundida y la mayoría de equipos deben ser importados de otros países.
- Se ha realizado el estudio del calor total necesario para alcanzar la temperatura de secado con el quemador de diésel, para un tiempo de un tercio de hora hasta alcanzar la temperatura deseada, ya que si se desea calentar el ambiente interno del cuarto de secado en menor tiempo se requiere de un quemador más

potente pero no necesariamente más eficiente ya que esto influencia en la masa de aire de los ventiladores.

- Se recomienda realizar un estudio de los gases de combustión y de esta manera encontrar el sistema adecuado de tratamientos de gases de combustión en la salida de la chimenea, para que produzca el menor daño ambiental.
- Se recomienda tener un sistema de limpieza continuo para los paneles solares ya que cualquier obstáculo que se deposite sobre los paneles ya sea tierra, polvo, basura o cualquier tipo de desecho disminuye notablemente la eficiencia del sistema fotovoltaico.
- Se recomienda que las placas de los tableros estén ubicadas en la parte derecha del cuarto de secado es decir al frente del arreglo de tubos 2, mientras que la estructura de los tableros estén ubicados en la parte izquierda es decir al frente del hogar; ya que en el arreglo de tubos 2 se tiene mayor área de transferencia de calor.
- Se recomienda que si el procedimiento va a ser continuo durante el día, en decir varias veces en el día; se debe tener la protección necesaria para los operarios ya que temperaturas tan elevadas pueden provocar lesiones graves. Así también se deben respetar estrictamente las normas de seguridad industrial.

BIBLIOGRAFIA

- CENGEL – BOLES; Transferencia de calor y masa; Quinta Edición; México; 2002.
- INCROPERA-BOLES; Transferencia de calor y masa; Quinta Edición; México; 2000.
- TAMAYO, EDWIN; Diseño y construcción de un horno para el curado de pintura electrostática; TESIS EPN; 1995.
- BRUITRÓN, R.; BURBANO, G.; Elaboración de una normativa para el diseño y diagnóstico de sistemas fotovoltaicos residenciales autónomos para el Ecuador; Tesis EPN; 2010.
- TRINKS, W., MAWHINNEY, M. H.; Hornos Industriales; Volumen II; España; 1976.
- GONZÁLEZ PAULO; Rediseño y adecuación de un horno de secado para el proceso de pintado epóxico de multiplacas con una temperatura a 170 °C, para la empresa Novacero Aceropaxi; Tesis ESPE; 2005.
- Carrier Air Conditioning Company, Manual de aire acondicionado.
- CARRILLO, G., GUERRERO, B.; Diseño, construcción y automatización de un horno para el curado de pintura electrostática para el centro de producción E.S.P.E sede Latacunga; Tesis ESPE; 2010.
- Juárez, María; Análisis de procesos de combustión (a través de un programa de cómputo); Tesis Universidad Autónoma Metropolitana; México D. F.

- Burbano, E., Gordillo, R.; Simulación de intercambiadores de calor; TESIS EPN, 1990.
- http://es.wikipedia.org/wiki/Recurso_renovable
- http://es.wikipedia.org/wiki/Energía_solar
- http://renova-energia.com/energia_renovable/energia_solar_fotovoltaica.html
- http://www.proviento.com.ec/index_panelessolares.html
- <http://www.igm.mex.tl/imagesnew2/0/0/0/0/1/6/9/7/5/8/Pintura%20Electrostatica.pdf>
- <http://www.tecnun.es/asignaturas/Ecologia/Hipertexto/07Energ/110Carbón.htm>

ANEXOS

- ANEXO A Propiedades de los combustibles (Butano y Propano)
- ANEXO B Propiedades de los combustibles (continuación)
- ANEXO C Propiedades de los combustibles derivados del petróleo
- ANEXO D Constantes para el flujo de aire sobre un banco de tubos de 10 o más líneas.
- ANEXO E Factor de correlación C_2 , para $N_L < 20$ ($Re_D > 10^3$)
- ANEXO F Coeficiente de pérdida de energía en codos
- ANEXO G Factor de fricción para cálculos de pérdidas por rozamiento
- ANEXO H Factor de velocidades
- ANEXO I Factor de velocidades (continuación)
- ANEXO J Factor de correlación y factor de fricción
- ANEXO K Tabla característica del ventilador
- ANEXO L Determinación del diámetro de la chimenea
- ANEXO M Factor de corrección para un intercambiador de flujo cruzado
- ANEXO N Factor de corrección de la densidad del aire
- ANEXO O Carta Psicométrica para la ciudad de Riobamba
- ANEXO P Planos constructivos
- ANEXO Q Fotografías
- ANEXO R Hojas técnicas

ANEXO A

Propiedades de los combustibles

Combustible	Cantidad en m ³	Composición - porcentaje por volumen (a 20 °C y a una presión de 15,12 kg/cm ²)										Potencia calorífica inferior kcal/m ³	Potencia calorífica superior kcal/m ³	Observaciones
		Análisis químico (por vía seca)												
		CO ₂	CO	CH	C ₂ H ₄	C ₂ H ₆	H ₂	O ₂	N ₂					
Gas natural ^{o)}	1	—	—	87,0	—	7,6	—	—	—	1,9	—	8 837,7	9 763,3	C ₃ H ₈ = 2,7 C ₄ H ₁₀ = 0,8 H ₂ S = 0,5; H ₂ O = 1,8 Carbón de Pittsburgh. Vapor de alquitrán 0,01 kg/m ³
Gas de hornos de cok	1	2,2	6,9	34,2	2,6	—	47,3	0,3	—	6,0	—	4 450,0	4 992,9	
Gas de gasógeno bruto	1	7,5	20,5	3,0	—	—	12,5	—	—	56,5	—	1 234,4	1 315,4	
Gas de gasógeno puro	1	9,71	19,03	2,78	0,19	—	13,48	0,02	—	54,79	—	1 139,2	1 219,3	
Gas de horno alto	1	12,5	25,4	—	—	—	3,5	—	—	58,6	—	817,0	832,1	Vapor de agua 1,45 % en volumen
Gas de agua	1	3,5	43,5	0,7	—	—	47,3	0,6	—	4,4	—	2 483,1	2 696,7	
Gas luminoso (gas del aluminio)	1	4,6	5,5	36,6	4,6	—	42,3	4,6	—	1,8	—	4 805,1	5 313,3	
Gas luminoso (gas de agua carburado)	1	2,9	18,2	23,9	8,1	—	38,3	4,8	—	3,8	—	4 506,0	4 745,5	1 parte de gas de hulla; 2 partes de gas de agua carburado
Gas mezclado ^{o)}	1	3,46	13,84	28,3	6,92	—	39,6	4,73	—	3,15	—	4 612,8	5 062,3	C ₁ H ₁₀ 93 %; C ₃ H ₈ 7 % (en volumen)
Butano comercial	1	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	26 495,3	28 702,5	Las cifras se basan en un 100 % de C ₃ H ₈ ; el propano comercial contiene en ocasiones otros gases
Propano comercial	1	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	21 101,9	22 890,8	

^{o)} Es una composición típica. Según sea la situación del pozo de gas, la composición del gas natural varía dentro de amplios límites.

^{o)} El gas mezclado significa una mezcla de gas de retorta y de gas de agua carburado. En la práctica de las acerías, el gas mezclado se refiere generalmente a una mezcla de gas de hornos de cok y gas de horno alto.

ANEXO B

Propiedades de los combustibles (continuación)

Combustible	Combustión perfecta con cantidades teóricas de aire						Temperatura adiabática de la llama °C
	Aire necesario por cada m ³ de gas	Productos de combustión perfecta, kg/m ³ de gas			Total		
		CO ₂	H ₂ O	N ₂			
Gas natural ⁽¹⁾	12,87	2,11	1,609	9,830	13,544	2017	
Gas de hornos de cok	6,08	0,91	0,976	4,690	6,580	2039	
Gas de gasógeno bruto (luminoso).	1,43	0,606	0,147	1,767	2,521	1605 ⁽¹⁾	
Gas de gasógeno puro	1,31	0,592	0,152	1,540	2,284	1611	
Gas de horno alto.	0,84	0,704	0,027	1,336	2,068	1427	
Gas de agua	2,70	0,880	0,371	2,130	3,382	2262	
Gas luminoso (gas del aluminado).	6,19	1,037	0,947	4,778	6,764	2061	
Gas luminoso (gas de agua carburado)	5,63	1,144	0,786	4,370	6,301	2100	
Gas mezclado ⁽¹⁾	5,79	1,103	0,834	4,498	6,436	2095	
Butano comercial	37,52	6,051	3,105	29,010	38,167	2006	
Propano comercial.	29,42	4,626	2,630	22,670	29,922	2017	

⁽¹⁾ Este es un valor medio, y se expone tan sólo para completar la información. El gas de gasógeno en bruto se halla siempre caliente a la entrada en el horno. La temperatura adiabática de la llama es de unos 1734 °C, si el gasógeno está situado cerca del horno.

ANEXO C

Propiedades de los combustibles derivados del petróleo

Propiedades identificadoras	Keroseno o núm. 1	Destilado ligero o núm. 2	Fuel-oil núm. 4	Fuel-oil núm. 5	Fuel-oil núm. 6
Clase de fuel-oil	Destilado Ligero	Destilado Ambar	Muy ligero, residual Negro	Ligero, residual Negro	Residual Negro
Color	40	32	21	17	12
Peso específico, °API	Trazas	Trazas	2,5 %	5,0 %	12,0 %
Residuo de carbón	1,6	2,6	15,0	50,0	700,0
Propiedades de bombeo y atomización, viscosidad, centistokes 38 °C	Inferior a -18 °C	Inferior a -18 °C	-12 °C	-3 °C	19 °C
Temperatura de fluidez crítica	Atmosférica	Atmosférica	Por lo menos -9 °C	Por lo menos 2 °C	38 °C
Temperatura de precalentamiento requerida:	Atmosférico	Atmosférico	Por lo menos -4 °C	55 °C	94 °C
Para bombeo					
Para atomización					
Pureza:					
Contenido de azufre	0,1 %	0,4 % ^{o)} - 0,7 %	0,4 % ^{o)} - 1,5 %	2, % máx	2,8 % máx
Sedimento y agua	Trazas	Trazas	0,5 % máx	1,0 % máx	2,0 % máx
Contenido de ceniza	Trazas	Trazas	0,02	0,05 %	0,08 %
Composición:					
Oxígeno y nitrógeno	0,2	0,2	0,48	0,70	0,92
Hidrógeno	13,2	12,7	11,90	11,70	10,50
Carbono	86,5	86,4	86,10	85,55	85,70
Capacidad calorífica:					
Btu por galón	137 000	141 000	146 000	148 000	150 000

^{o)} La calidad de menor contenido de azufre existe como producto especial.

ANEXO D

Constantes para el flujo de aire sobre un banco de tubos

Configuración	$Re_D, \text{máx}$	C	m
Alineado	$10 - 10^2$	0.80	0.40
Escalonado	$10 - 10^2$	0.90	0.40
Alineado	$10^2 - 10^3$	Se aproxima como un cilindro único (aislado)	
Escalonado	$10^2 - 10^3$		
Alineado $(S_T/S_L > 0.7)^a$	$10^3 - 2 \times 10^5$	0.27	0.63
Escalonado $(S_T/S_L < 2)$	$10^3 - 2 \times 10^5$	$0.35(S_T/S_L)^{1/5}$	0.60
Escalonado $(S_T/S_L > 2)$	$10^3 - 2 \times 10^5$	0.40	0.60
Alineado	$2 \times 10^5 - 2 \times 10^6$	0.021	0.84
Escalonado	$2 \times 10^5 - 2 \times 10^6$	0.022	0.84

^aPara $S_T/S_L < 0.7$, la transferencia de calor es ineficiente y los tubos alineados no se deben usar.

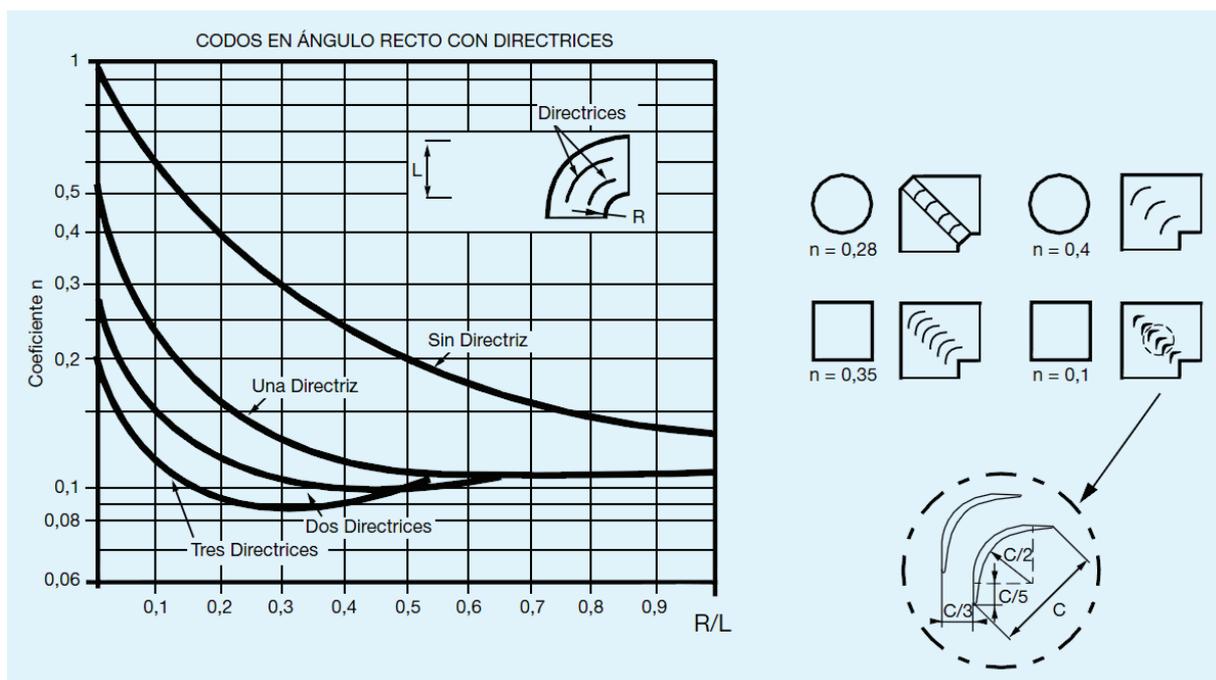
ANEXO E

Factor de correlación C_2 , para $N_L < 20$ ($Re_D > 10^3$)

N_L	1	2	3	4	5	7	10	13	16
Alineado	0.70	0.80	0.86	0.90	0.92	0.95	0.97	0.98	0.99
Escalonado	0.64	0.76	0.84	0.89	0.92	0.95	0.97	0.98	0.99

ANEXO F

Coefficiente de pérdida de energía en codos



ANEXO G

Factor de fricción para cálculos de pérdidas por rozamiento

Factores de fricción, f , para cálculos de pérdidas por rozamiento en conducciones y chimeneas (temperatura media del gas, de 450 a 650 °K)

Diámetro de la chimenea (mm)	Velocidad media del gas (m s ⁻¹)	Hormigón liso o acero soldado	Acero remachado o enlucido de cemento liso	Ladrillo o enlucido de cemento rústico
150	1.5	0.0054	0.0069	0.0190
	3.0	0.0048	0.0066	0.0187
	4.5	0.0045	0.0064	0.0185
	6.0 y superiores	0.0044	0.0063	0.0180
225	1.5	0.0047	0.0058	0.0180
	3.0	0.0043	0.0057	0.0176
	4.5	0.0040	0.0056	0.0171
	6.0 y superiores	0.0039	0.0055	0.0168
300	1.5	0.0042	0.0054	0.0146
	3.0	0.0039	0.0051	0.0145
	4.5	0.0037	0.0050	0.0144
	6.0 y superiores	0.0036	0.0049	0.0143
350	1.5	0.0040	0.0050	0.0138
	3.0	0.0037	0.0049	0.0135
	4.5	0.0035	0.0048	0.0130
	6.0 y superiores	0.0034	0.0046	0.0130
450	1.5	0.0037	0.0047	0.0130
	3.0	0.0035	0.0045	0.0128
	4.5	0.0033	0.0044	0.0127
	6.0 y superiores	0.0032	0.0043	0.0127
600	1.5	0.0036	0.0043	0.0125
	3.0	0.0033	0.0040	0.0123
	4.5	0.0031	0.0039	0.0120
	6.0 y superiores	0.0030	0.0038	0.0119
1200	1.5	0.0030	0.0035	0.0111
	3.0	0.0033	0.0040	0.0123
	4.5	0.0031	0.0039	0.0120
	6.0 y superiores	0.0030	0.0038	0.0119
1200	1.5	0.0030	0.0035	0.0111
	3.0	0.0027	0.0034	0.0110
	4.5	0.0026	0.0033	0.0109
	6.0 y superiores	0.0025	0.0032	0.0108
1800	1.5	0.0027	0.0031	0.0101
	3.0	0.0025	0.0029	0.0098
	4.5	0.0024	0.0028	0.0097
	6.0 y superiores	0.0023	0.0027	0.0095

Nota: Para otras velocidades de gas y diámetros de chimenea, interpólese. Para construcciones diferentes de las mostradas, seleccione la cifra sobre la base de similitud del acabado interior de la chimenea.

ANEXO H

Factor de velocidades

Coefficiente de pérdida dinámica, C

Codos a 90°	
Liso, redondo	0.22
5 piezas, redondo	0.33
4 piezas, redondo	0.37
3 piezas, redondo	0.42
Puntiagudo, redondo	1.20
Liso, rectangular	0.18
T, rama	1.00
T, flujo a través de la tubería principal	0.10
Y simétrica	0.30

ANEXO I

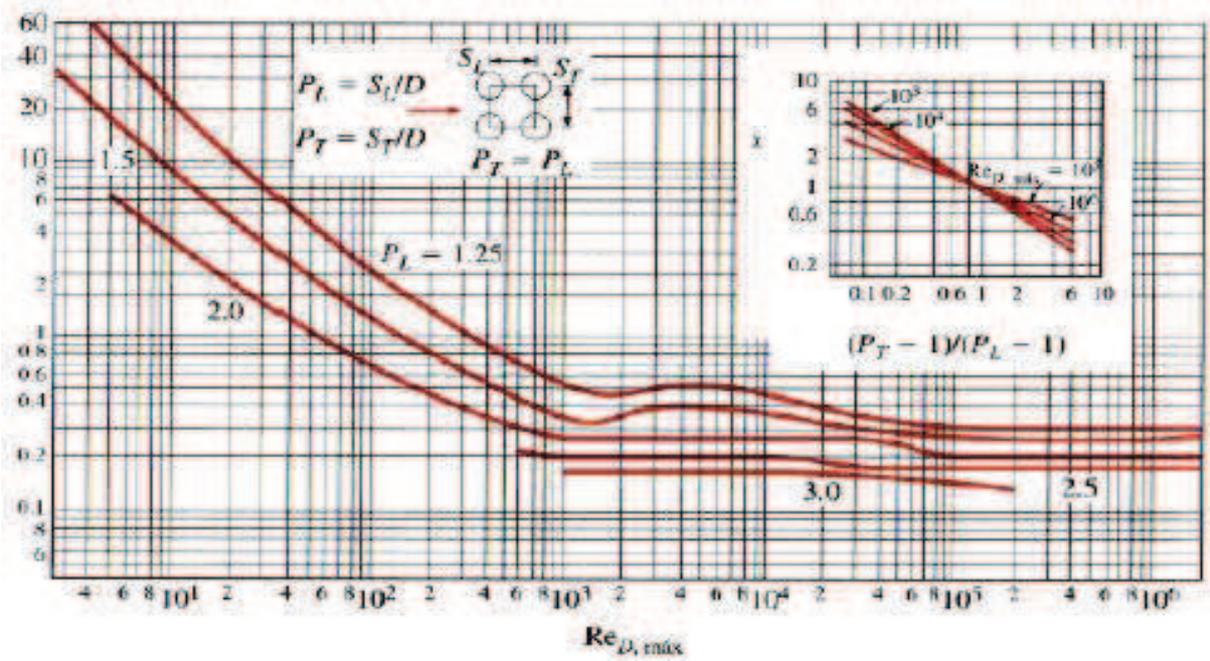
Factor de velocidades (continuación)

TABLA 10. ROZAMIENTO EN LOS ELEMENTOS DE UN SISTEMA DE CONDUCTOS RECTANGULARES (Cont.)

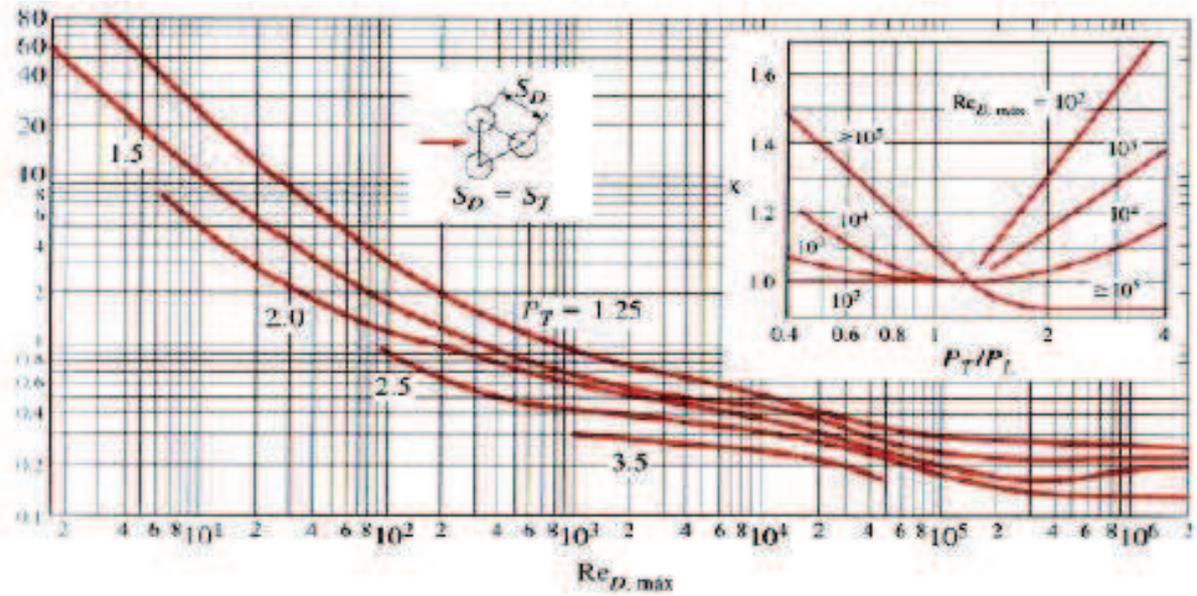
ELEMENTO	CONDICIONES	VALOR DE n^{***}																												
<p>Transformación</p>	$V_1 = V_2$ Pérdida p. e. = $n h v_1$	0,04																												
<p>Expansión</p>	n^{***} Ángulo α en $^\circ$ <table border="1"> <tr> <td>v_2/v_1</td> <td>5°</td> <td>10°</td> <td>18°</td> <td>20°</td> <td>30°</td> <td>40°</td> </tr> <tr> <td>0,20</td> <td>0,35</td> <td>0,32</td> <td>0,20</td> <td>0,18</td> <td>0,15</td> <td>0,13</td> </tr> <tr> <td>0,40</td> <td>0,17</td> <td>0,28</td> <td>0,23</td> <td>0,22</td> <td>0,20</td> <td>0,18</td> </tr> <tr> <td>0,80</td> <td>0,28</td> <td>0,28</td> <td>0,25</td> <td>0,24</td> <td>0,24</td> <td>0,23</td> </tr> </table> Ganancia p. e. = $n (h v_1 - h v_2)$	v_2/v_1	5°	10°	18°	20°	30°	40°	0,20	0,35	0,32	0,20	0,18	0,15	0,13	0,40	0,17	0,28	0,23	0,22	0,20	0,18	0,80	0,28	0,28	0,25	0,24	0,24	0,23	
v_2/v_1	5°	10°	18°	20°	30°	40°																								
0,20	0,35	0,32	0,20	0,18	0,15	0,13																								
0,40	0,17	0,28	0,23	0,22	0,20	0,18																								
0,80	0,28	0,28	0,25	0,24	0,24	0,23																								
<p>Contracción</p>	<table border="1"> <tr> <td>α</td> <td>30°</td> <td>45°</td> <td>60°</td> </tr> <tr> <td>n</td> <td>0,311 ****</td> <td>0,317</td> <td>0,326</td> </tr> </table> Pérdida p. e. = $n (h v_1 - h v_2)$ **** Pendiente 26 %	α	30°	45°	60°	n	0,311 ****	0,317	0,326																					
α	30°	45°	60°																											
n	0,311 ****	0,317	0,326																											
<p>Entrada abrupta</p>	Pérdida p. e. = $n h v_1$	0,10																												
<p>Entrada curva</p>		0,008																												
<p>Salida abrupta</p>		Pérdida p. e. o ganancia consideradas nulas																												
<p>Salida suave</p>																														
<p>Entrada retrante</p>	Pérdida p. e. = $n h v_1$	0,25																												
<p>Orificio redondo de borde agudo</p>	<table border="1"> <tr> <td>A_2/A_1</td> <td>n</td> <td>0,25</td> <td>0,50</td> <td>0,75</td> <td>1,00</td> </tr> <tr> <td>n</td> <td></td> <td>0,78</td> <td>0,70</td> <td>0,57</td> <td>0,33</td> </tr> </table> Pérdida p. e. = $n h v_1$	A_2/A_1	n	0,25	0,50	0,75	1,00	n		0,78	0,70	0,57	0,33																	
A_2/A_1	n	0,25	0,50	0,75	1,00																									
n		0,78	0,70	0,57	0,33																									
<p>Contracción abrupta</p>	<table border="1"> <tr> <td>V_1/V_2</td> <td>0</td> <td>0,25</td> <td>0,50</td> <td>0,75</td> </tr> <tr> <td>n</td> <td>0,40</td> <td>0,37</td> <td>0,25</td> <td>0,15</td> </tr> </table> Pérdida p. e. = $n h v_1$	V_1/V_2	0	0,25	0,50	0,75	n	0,40	0,37	0,25	0,15																			
V_1/V_2	0	0,25	0,50	0,75																										
n	0,40	0,37	0,25	0,15																										
<p>Expansión abrupta</p>	<table border="1"> <tr> <td>V_2/V_1</td> <td>0,20</td> <td>0,40</td> <td>0,60</td> <td>0,80</td> </tr> <tr> <td>n</td> <td>0,08</td> <td>0,14</td> <td>0,14</td> <td>0,09</td> </tr> </table> Ganancia p. e. = $n h v_1$	V_2/V_1	0,20	0,40	0,60	0,80	n	0,08	0,14	0,14	0,09																			
V_2/V_1	0,20	0,40	0,60	0,80																										
n	0,08	0,14	0,14	0,09																										
<p>Tubería que atraviesa el conducto</p>	<table border="1"> <tr> <td>l/D</td> <td>0,10</td> <td>0,25</td> <td>0,50</td> </tr> <tr> <td>n</td> <td>0,06</td> <td>0,16</td> <td>0,60</td> </tr> </table> Pérdida p. e. = $n h v_1$	l/D	0,10	0,25	0,50	n	0,06	0,16	0,60																					
l/D	0,10	0,25	0,50																											
n	0,06	0,16	0,60																											
<p>Barra que atraviesa el conducto</p>	<table border="1"> <tr> <td>E/D</td> <td>0,10</td> <td>0,25</td> <td>0,50</td> </tr> <tr> <td>n</td> <td>0,21</td> <td>0,42</td> <td>1,21</td> </tr> </table> Pérdida p. e. = $n h v_1$	E/D	0,10	0,25	0,50	n	0,21	0,42	1,21																					
E/D	0,10	0,25	0,50																											
n	0,21	0,42	1,21																											
<p>Alivio sobre la obstrucción</p>	<table border="1"> <tr> <td>E/D</td> <td>0,10</td> <td>0,25</td> <td>0,50</td> </tr> <tr> <td>n</td> <td>0,02</td> <td>0,07</td> <td>0,27</td> </tr> </table> Pérdida p. e. = $n h v_1$	E/D	0,10	0,25	0,50	n	0,02	0,07	0,27																					
E/D	0,10	0,25	0,50																											
n	0,02	0,07	0,27																											

ANEXO J

Factor de correlación y factor de fricción



Arreglo de tubos alineados



Arreglo de tubos escalonados.

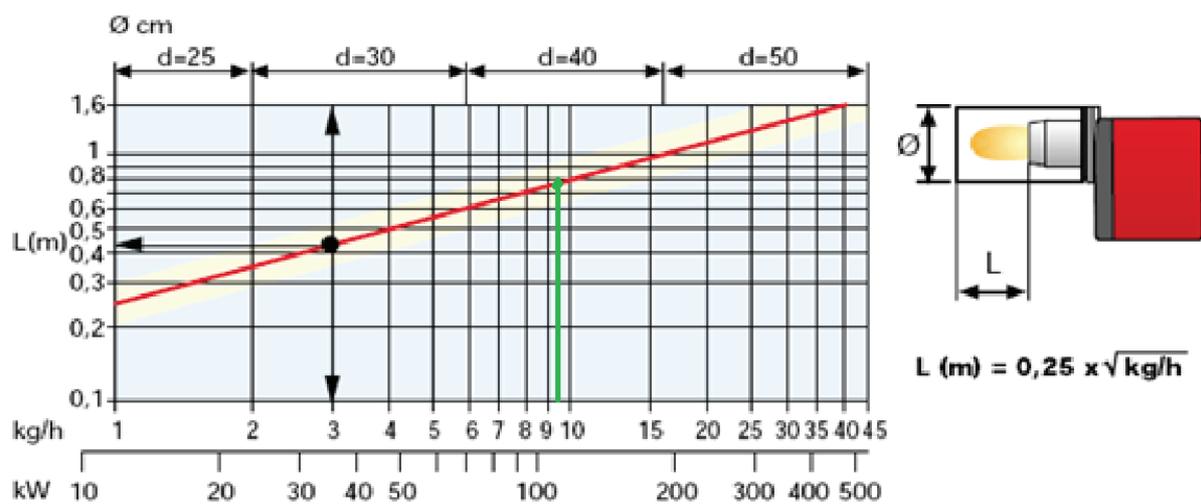
ANEXO K

Tabla característica del ventilador

WHEEL DIAMETER= 15.75in. OUTLEY AREA= 1.6ft ²								
MAX. BHP = 0.46 (RPM/1000) ³								
	0.22" SP		0.44" SP		0.67" SP		0.89" SP	
CFM	RPM	BHP	RPM	BHP	RPM	BHP	RPM	BHP
600	559	0.02	760	0.06	969	0.12	1004	0.14
1150	927	0.11	1140	0.20	1356	0.34	1299	0.30
1700	1237	0.26	1359	0.34	1493	0.45	1636	0.60
2300	1576	0.53	1670	0.64	1761	0.74	1854	0.87
2900	1927	0.98	2004	1.10	2079	1.23	2151	1.36
3400	2284	1.62	2348	1.76	2412	1.91	2474	2.06
4000	2644	2.52	2700	2.68	2754	2.85	2800	2.99

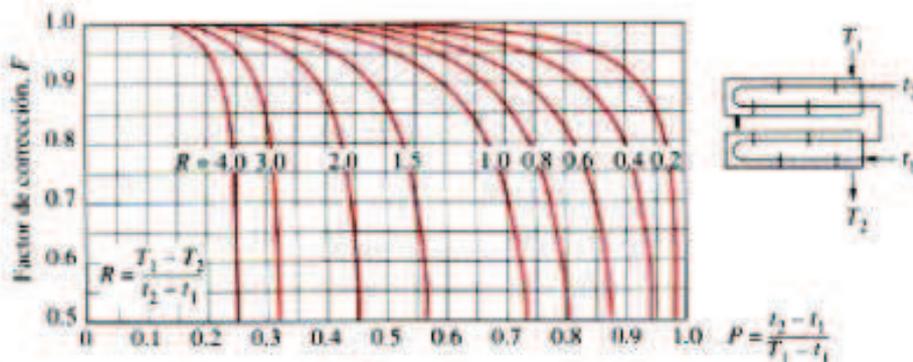
ANEXO L

Determinación del diámetro de la chimenea

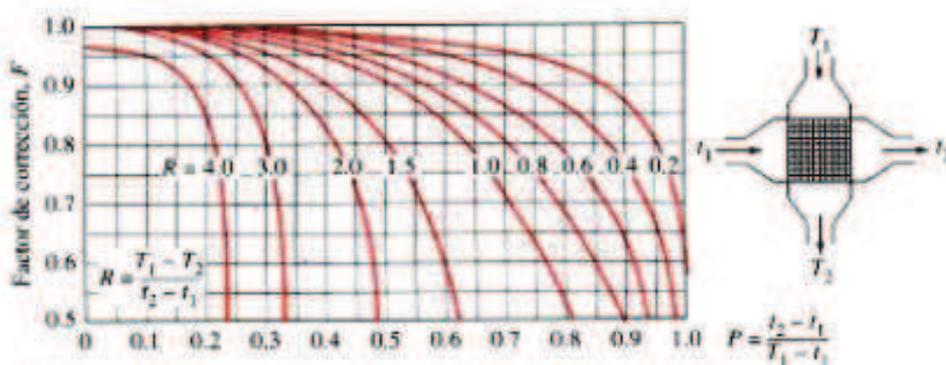


ANEXO M

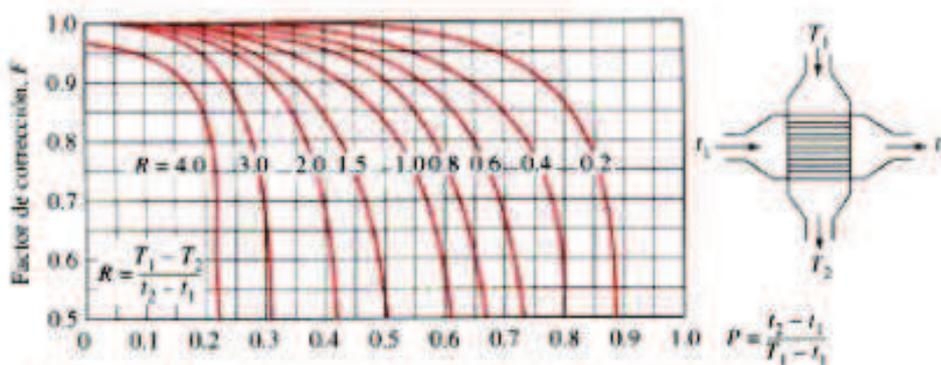
Factor de corrección para un intercambiador de flujo cruzado



b) Dos pasos por la coraza y 4, 8, 12, etc. (cualquier múltiplo de 4) pasos por los tubos



c) Flujo cruzado de un solo paso con los dos fluidos de flujo no *mezclado*



d) Flujo cruzado de un solo paso con uno de los fluidos de flujo *mezclado* y el otro no *mezclado*

ANEXO N

Factor de corrección de la densidad del aire

$\text{Kg/m}^3 = \text{Factor de densidad} \times 1,2$
 Densidad del aire seco a 21 °C al nivel del mar = 1,2 Kg/m³
 Altitud sobre el nivel del mar en metros

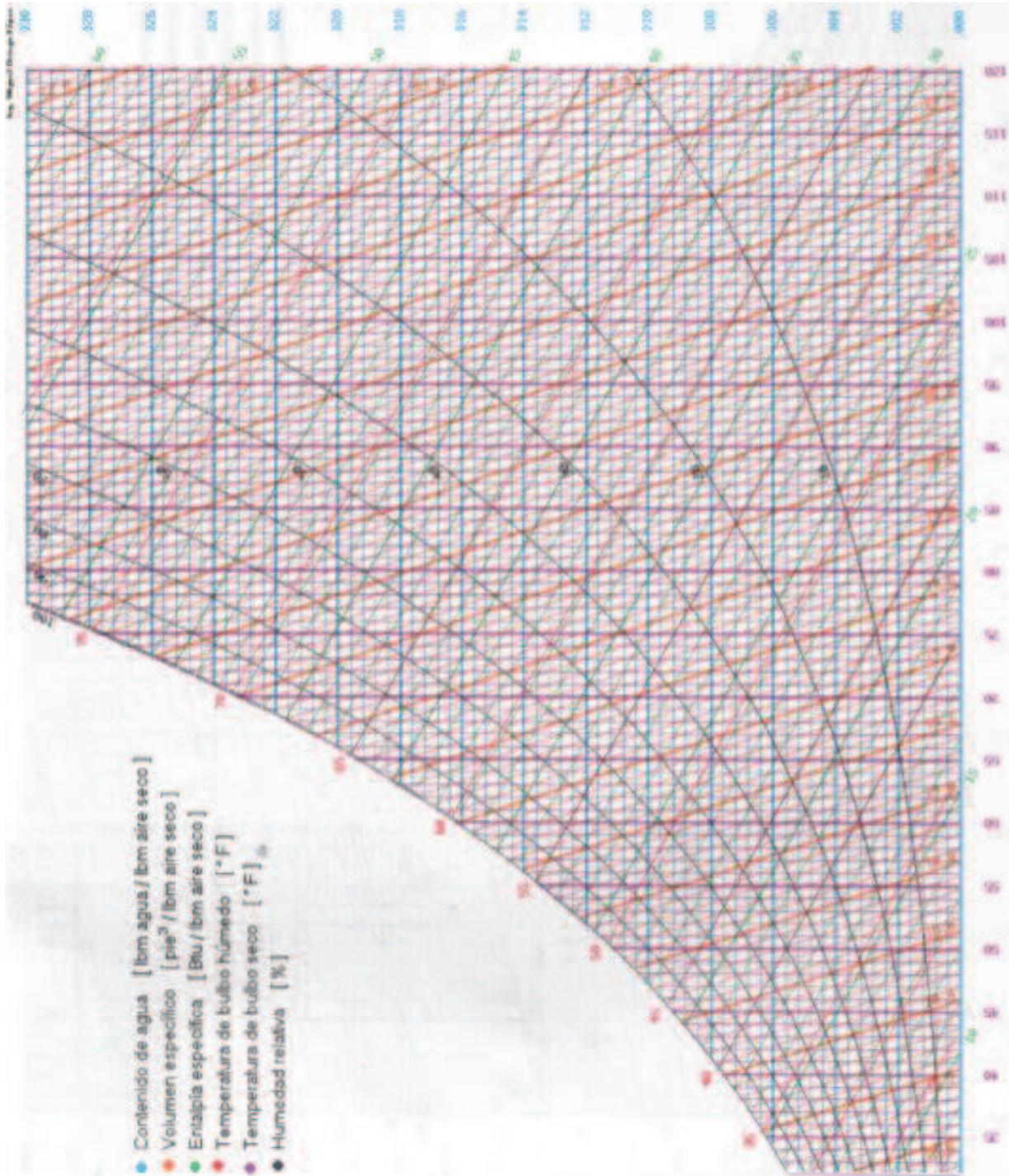
	-250	0	250	500	750	1000	1250	1500	1750	2000	2500	3000
Temp. E Hg	782	760	738	717	697	677	657	639	620	603	569	536
C. E H ₂ O	10649	10345	10048	3761	3482	9211	8947	8691	8443	8201	7739	7303
0	1,11	1,08	1,05	1,02	0,99	0,96	0,93	0,91	0,88	0,86	0,81	0,76
21	1,03	1,00	0,97	0,95	0,92	0,89	0,87	0,84	0,82	0,79	0,75	0,71
50	0,94	0,91	0,89	0,86	0,84	0,81	0,79	0,77	0,75	0,72	0,68	0,64
75	0,87	0,85	0,82	0,80	0,78	0,75	0,73	0,71	0,69	0,67	0,63	0,60
100	0,81	0,79	0,77	0,75	0,72	0,70	0,68	0,66	0,65	0,63	0,59	0,56
125	0,76	0,74	0,72	0,70	0,68	0,66	0,64	0,62	0,60	0,59	0,55	0,52
150	0,72	0,70	0,68	0,66	0,64	0,62	0,60	0,59	0,57	0,55	0,52	0,49
175	0,68	0,66	0,64	0,62	0,60	0,59	0,57	0,55	0,54	0,52	0,49	0,46
200	0,64	0,62	0,61	0,59	0,57	0,56	0,54	0,52	0,51	0,49	0,47	0,44
225	0,61	0,59	0,58	0,56	0,54	0,53	0,51	0,50	0,48	0,47	0,44	0,42
250	0,58	0,56	0,55	0,53	0,52	0,50	0,49	0,47	0,46	0,45	0,42	0,40
275	0,55	0,54	0,52	0,51	0,49	0,48	0,47	0,45	0,44	0,43	0,40	0,39
300	0,53	0,51	0,50	0,49	0,47	0,46	0,45	0,43	0,42	0,41	0,38	0,36
325	0,51	0,49	0,48	0,47	0,45	0,44	0,43	0,41	0,40	0,39	0,37	0,35
350	0,49	0,47	0,46	0,45	0,43	0,42	0,41	0,40	0,39	0,38	0,35	0,33
375	0,47	0,46	0,44	0,43	0,42	0,41	0,39	0,38	0,37	0,36	0,34	0,32
400	0,45	0,44	0,43	0,41	0,40	0,39	0,38	0,37	0,36	0,35	0,33	0,31
425	0,43	0,42	0,41	0,40	0,39	0,38	0,37	0,35	0,34	0,33	0,32	0,30
450	0,42	0,41	0,40	0,38	0,37	0,36	0,35	0,34	0,33	0,32	0,31	0,29
475	0,41	0,39	0,38	0,37	0,36	0,35	0,34	0,33	0,32	0,31	0,29	0,28
500	0,39	0,38	0,37	0,36	0,35	0,34	0,33	0,32	0,31	0,30	0,28	0,27
525	0,38	0,37	0,36	0,35	0,34	0,33	0,32	0,31	0,30	0,29	0,27	0,26

Las pérdidas de carga son proporcionales a la densidad (en primera aproximación)

Consultar las leyes de los ventiladores, o las referencias, para más detalles

ANEXO O

Carta Psicrométrica para la ciudad de Riobamba



ANEXO P

Planos constructivos

ANEXO Q
Fotografías

CORTES DE LAS PLANCHAS DE LOS ESPEJOS CON PLASMA**ARMADO Y SOLDADO DEL ESPEJO 1 DEL INTERCAMBIADOR DE CALOR**

ENSAMBLE DE LAS PLANCHAS EXTERIORES CON LANA DE VIDRIO



SOLDADURA DE LOS TUBOS ENTRE LOS ESPEJOS



SOLDADURA DEL ESPEJO 2 CON LOS TUBOS



LANA DE VIDRIO EN LA PARTE POSTERIOR DEL CUARTO DE SECADO



CUARTO DE SECADO



ANEXO R
HOJAS TÉCNICAS

Model EH

EH, EHA & EHASR OIL BURNERS



EH features:

Flamelock[®] assures positive flame stability, resulting in a clean, uniform high temperature flame. High static pressure for better air/oil mixture. Clean, smooth ignition and sharp, positive, no-drip shutoff prevents carbon soot from forming. Nozzle operating temperatures remain low. Economy results from high CO₂ readings, providing a high combustion efficiency that saves fuel.

- Lower emissions
- Improved efficiencies
- Pulsation free
- Positive retention
- Controlled flame pattern
- Quiet stops and starts
- Low nozzle temperatures
- High static pressure overcomes adverse draft conditions



Specifications

EH, EHA & EHASR OIL BURNERS

EH OIL BURNER

Capacity	3.00 GPH thru 6.00 GPH, No. 1 or No. 2 fuel oil.
Fuel Pump	Standard 3450 RPM fuel pump – easy to service. One or two stage.
Controls	Standard - 15 second control with cadmium cell installed.
Ignition	10,000 V. constant duty transformer. TV-Radio interference proof. Positive make or break contact with electrodes. Swing-away design swings open for easy access to gun assembly.
Motor	1/4 HP, NEMA Standard, Split Phase 3450 RPM, 115V / 60Hz.
Fan Housing	One piece, die cast fan housing. High strength aluminum alloy maintains lifetime alignment of moving parts. No vibration. Less wear. Insures whisper-quiet operation.
Mounting	Adjustable flange is standard on our 300 Series conversion units; Pedestal mount available.
Nozzle Adapter	Patented no drip brass adapter insures sharp quick oil cutoff when fuel pump shuts off. Automatically bleeds air from line. Prevents afterdrip, eliminating smoke, soot and carbon formation.
Air Adjustment	Patented dual air adjusting bands interlock for positive air adjustment.
Air Tube	Heavy duty 13 gauge seamless material.
Air Cone	Heavy duty cast iron construction, easily changed for different firing rate ranges.
Serviceable	Easy access to all parts permits quick inspection and cleaning. Entire burner is disassembled in a few seconds without the need of special tools.
50 Hz burners available	Maximum firing rate reduced to 5.00 GPH at 50 Hz operation.
Shipping Weight	Approximately 42 lbs.

STANDARD MODEL EH HOUSING PACKAGES

All units equipped with 15 sec. safety timing primary control, cadmium cell and oil valve.

Single Stage Fuel Units

Part No.	Tube Length
300-201	6"
300-203	9"
300-205	12"
300-207	15"

Two Stage Fuel Units

Part No.	Tube Length
300-202	6"
300-204	9"
300-206	12"
300-208	15"

EHASR OIL BURNER

Capacity	0.75 GPH thru 3.00 GPH, No. 1 or No. 2 fuel oil.
Fuel Pump	Standard 3450 RPM fuel pump – easy to service. One or two stage.
Motor	1/5 HP, NEMA standard, split phase, 3450 RPM, 115V / 60Hz.
Ignition	10,000 V. constant duty transformer. TV-Radio interference proof. Positive make or break contact with electrodes. Swing-away design swings open for easy access to gun assembly.
Controls	Control and cadmium cell are optional.
Nozzle Adapter	Patented no drip brass adapter insures sharp oil cutoff when fuel pump shuts off. Bleeds air from line, prevents afterdrip, eliminating smoke, soot and carbon formation.
Fan Housing	One piece die cast fan housing. High-strength aluminum alloy maintains lifetime alignment of moving parts. No vibration. Less wear. Insures whisper-quiet operation.
Mounting	Rigid flange, adjustable flange or pedestal mount available.
Air Adjustment	Patented dual air adjusting bands interlock for positive air adjustment.
Air tube	Heavy duty 13 gauge seamless steel tube material available in 3 5/8" to 23" lengths.
Flame Retention Head	High temperature stainless steel for longer life.
Shipping Weight	Approximately 38 lbs.



TRISTAR™

CONTROLADOR SOLAR DE TRES FUNCIONES

El Controlador TriStar de Morningstar es un controlador de tres funciones que provee una carga confiable de baterías por energía solar, un control de carga o una regulación por desvío. El controlador opera en uno de esos modos por vez y pueden usarse dos o más controladores para proporcionar múltiples funciones.

El TriStar usa una tecnología avanzada y producción automatizada para proporcionar sus sorprendentes nuevas prestaciones a un precio competitivo. El medidor opcional TriStar es el medidor de controlador más sofisticado e informativo del mercado. El controlador está listado en UL y fue diseñado para sistemas solares residenciales y para aplicaciones profesionales.



45 o 60 A
a 12-48 V

Prestaciones clave y beneficios

La más alta confiabilidad

Su amplio disipador de calor y su diseño conservador permiten la operación en rango completo a 45°C. No necesita reducir la potencia normal.

Mayor potencia

Rangos de 60A a 48VCC que permiten manejar conjuntos de hasta 4KW.

Capacidad de comunicaciones

La interfaz RS-232 para conexión con computadoras personales permite ajustes según la necesidad del cliente, adquisición de datos, monitoreo y control remoto.

Totalmente ajustable

Los interruptores tipo DIP permiten que el usuario opte entre 7 diferentes configuraciones digitales preestablecidas y entre ajustes específicos de su aplicación a través de RS-232.

Amplias protecciones electrónicas

Totalmente protegido contra polaridad invertida, cortocircuitos, exceso de corriente, alta temperatura y exceso de voltaje.

Interfaz mecánica simple

Terminales de potencia y tapones pasacables más grandes. Espacio adicional para vueltas de cable. Cabe en paneles de potencia.

Mejor carga de batería

La conexión de los cables de sentido de batería y los sensores de temperatura remotos opcionales mejorarán la precisión del control. El algoritmo de PWM serie de tensión constante incrementa la capacidad y la vida útil de la batería.

Mayor información

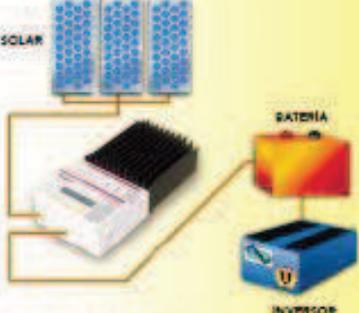
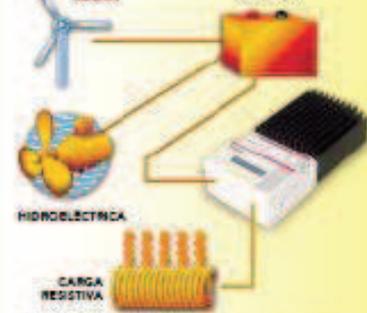
3 LED para dar indicación del estado, las anomalías y las alarmas. El medidor opcional muestra amplia información del sistema y del controlador, con capacidades automáticas de autoverificación y reinicio. Conexión del medidor a través de conector telefónico RJ-11.

Fácil de reiniciar

El pulsador permite el reinicio manual y el arranque / parada de la equalización de la batería o la desconexión de la carga.

Bajo ruido para telecomunicaciones

El ajuste de los interruptores tipo DIP cambiará el modo de carga de la batería de PWM a "encendido/apagado".

CONTROL DE CARGA	CONTROL DE CARGA	CONTROL DE DERIVACIÓN			
					
<ul style="list-style-type: none"> • Diseño PWM (Modulación por ancho de pulso) en serie, de voltaje constante para suministrar una carga de batería altamente eficiente • Cuatro etapas de carga para incrementar la capacidad y vida útil de la batería: carga masiva, PWM regulación, flotante y de equalización. • En paralelo para conjuntos solares más grandes de hasta 300 A, o más 	<ul style="list-style-type: none"> • Permite arrancar grandes cargas incluyendo motores y bombas sin daños para el controlador • Permite picos de corriente de arranque de hasta 300 A. • Protección contra cortocircuitos y sobrecarga con reconexión automática • El LVD está compensado por corriente y tiene una demora para evitar falsas desconexiones. 	<ul style="list-style-type: none"> • Puede ser usado para carga solar, eólica o hidroeléctrica • Para proteger contra sobrecarga de la batería, el exceso de energía es derivado de la batería primaria a una batería secundaria o a una carga resistiva alternativa de CC • PWM reduce la potencia hacia la carga de derivación durante las condiciones de exceso de corriente. 			
Especificaciones eléctricas	Protecciones electrónicas	Opciones del TriStar			
<ul style="list-style-type: none"> • Corriente nominal solar en carga o en derivación: TriStar-45 45A, TriStar-60 60A • Voltaje del sistema 12-48V • Precisión: 12/24V ±0.1% ±50mV, 48V: ±0.1% ±100mV • Voltaje mínimo para operar 9V • Máximo voltaje solar (Voc) 125V • Consumo propio: Controlador <20mA, Medidor 7.5mA 	<ul style="list-style-type: none"> • Protección contra polaridad invertida (cualquier combinación) • Protección ante cortocircuitos • Protección contra excesos de corriente • Protección contra rayos y picos de tensión, usando supresores de transitorios de voltaje de 4500 W • Protección contra alta temperatura a través de una reducción automática de corriente o apagado completo • Previene corrientes en reversa desde la batería por la noche. 	<ul style="list-style-type: none"> • Medidor del TriStar — Visor de 2 x 16 montado al controlador que proporciona información del sistema y el controlador, adquisición de datos, gráficos de barras y elección de 5 idiomas <table border="1" data-bbox="1029 1064 1388 1108"> <tr> <td>12, 24, 48, 72, 96, 120, 144, 168, 192, 216, 240, 264, 288, 312, 336, 360, 384, 408, 432, 456, 480, 504, 528, 552, 576, 600, 624, 648, 672, 696, 720, 744, 768, 792, 816, 840, 864, 888, 912, 936, 960, 984, 1008, 1032, 1056, 1080, 1104, 1128, 1152, 1176, 1200, 1224, 1248, 1272, 1296, 1320, 1344, 1368, 1392, 1416, 1440, 1464, 1488, 1512, 1536, 1560, 1584, 1608, 1632, 1656, 1680, 1704, 1728, 1752, 1776, 1800, 1824, 1848, 1872, 1896, 1920, 1944, 1968, 1992, 2016, 2040, 2064, 2088, 2112, 2136, 2160, 2184, 2208, 2232, 2256, 2280, 2304, 2328, 2352, 2376, 2400, 2424, 2448, 2472, 2496, 2520, 2544, 2568, 2592, 2616, 2640, 2664, 2688, 2712, 2736, 2760, 2784, 2808, 2832, 2856, 2880, 2904, 2928, 2952, 2976, 3000, 3024, 3048, 3072, 3096, 3120, 3144, 3168, 3192, 3216, 3240, 3264, 3288, 3312, 3336, 3360, 3384, 3408, 3432, 3456, 3480, 3504, 3528, 3552, 3576, 3600, 3624, 3648, 3672, 3696, 3720, 3744, 3768, 3792, 3816, 3840, 3864, 3888, 3912, 3936, 3960, 3984, 4008, 4032, 4056, 4080, 4104, 4128, 4152, 4176, 4200, 4224, 4248, 4272, 4296, 4320, 4344, 4368, 4392, 4416, 4440, 4464, 4488, 4512, 4536, 4560, 4584, 4608, 4632, 4656, 4680, 4704, 4728, 4752, 4776, 4800, 4824, 4848, 4872, 4896, 4920, 4944, 4968, 4992, 5016, 5040, 5064, 5088, 5112, 5136, 5160, 5184, 5208, 5232, 5256, 5280, 5304, 5328, 5352, 5376, 5400, 5424, 5448, 5472, 5496, 5520, 5544, 5568, 5592, 5616, 5640, 5664, 5688, 5712, 5736, 5760, 5784, 5808, 5832, 5856, 5880, 5904, 5928, 5952, 5976, 6000, 6024, 6048, 6072, 6096, 6120, 6144, 6168, 6192, 6216, 6240, 6264, 6288, 6312, 6336, 6360, 6384, 6408, 6432, 6456, 6480, 6504, 6528, 6552, 6576, 6600, 6624, 6648, 6672, 6696, 6720, 6744, 6768, 6792, 6816, 6840, 6864, 6888, 6912, 6936, 6960, 6984, 7008, 7032, 7056, 7080, 7104, 7128, 7152, 7176, 7200, 7224, 7248, 7272, 7296, 7320, 7344, 7368, 7392, 7416, 7440, 7464, 7488, 7512, 7536, 7560, 7584, 7608, 7632, 7656, 7680, 7704, 7728, 7752, 7776, 7800, 7824, 7848, 7872, 7896, 7920, 7944, 7968, 7992, 8016, 8040, 8064, 8088, 8112, 8136, 8160, 8184, 8208, 8232, 8256, 8280, 8304, 8328, 8352, 8376, 8400, 8424, 8448, 8472, 8496, 8520, 8544, 8568, 8592, 8616, 8640, 8664, 8688, 8712, 8736, 8760, 8784, 8808, 8832, 8856, 8880, 8904, 8928, 8952, 8976, 9000, 9024, 9048, 9072, 9096, 9120, 9144, 9168, 9192, 9216, 9240, 9264, 9288, 9312, 9336, 9360, 9384, 9408, 9432, 9456, 9480, 9504, 9528, 9552, 9576, 9600, 9624, 9648, 9672, 9696, 9720, 9744, 9768, 9792, 9816, 9840, 9864, 9888, 9912, 9936, 9960, 9984, 10000</td> <td>Y</td> <td>12, 24, 48, 72, 96, 120, 144, 168, 192, 216, 240, 264, 288, 312, 336, 360, 384, 408, 432, 456, 480, 504, 528, 552, 576, 600, 624, 648, 672, 696, 720, 744, 768, 792, 816, 840, 864, 888, 912, 936, 960, 984, 1008, 1032, 1056, 1080, 1104, 1128, 1152, 1176, 1200, 1224, 1248, 1272, 1296, 1320, 1344, 1368, 1392, 1416, 1440, 1464, 1488, 1512, 1536, 1560, 1584, 1608, 1632, 1656, 1680, 1704, 1728, 1752, 1776, 1800, 1824, 1848, 1872, 1896, 1920, 1944, 1968, 1992, 2016, 2040, 2064, 2088, 2112, 2136, 2160, 2184, 2208, 2232, 2256, 2280, 2304, 2328, 2352, 2376, 2400, 2424, 2448, 2472, 2496, 2520, 2544, 2568, 2592, 2616, 2640, 2664, 2688, 2712, 2736, 2760, 2784, 2808, 2832, 2856, 2880, 2904, 2928, 2952, 2976, 3000, 3024, 3048, 3072, 3096, 3120, 3144, 3168, 3192, 3216, 3240, 3264, 3288, 3312, 3336, 3360, 3384, 3408, 3432, 3456, 3480, 3504, 3528, 3552, 3576, 3600, 3624, 3648, 3672, 3696, 3720, 3744, 3768, 3792, 3816, 3840, 3864, 3888, 3912, 3936, 3960, 3984, 4008, 4032, 4056, 4080, 4104, 4128, 4152, 4176, 4200, 4224, 4248, 4272, 4296, 4320, 4344, 4368, 4392, 4416, 4440, 4464, 4488, 4512, 4536, 4560, 4584, 4608, 4632, 4656, 4680, 4704, 4728, 4752, 4776, 4800, 4824, 4848, 4872, 4896, 4920, 4944, 4968, 4992, 5016, 5040, 5064, 5088, 5112, 5136, 5160, 5184, 5208, 5232, 5256, 5280, 5304, 5328, 5352, 5376, 5400, 5424, 5448, 5472, 5496, 5520, 5544, 5568, 5592, 5616, 5640, 5664, 5688, 5712, 5736, 5760, 5784, 5808, 5832, 5856, 5880, 5904, 5928, 5952, 5976, 6000, 6024, 6048, 6072, 6096, 6120, 6144, 6168, 6192, 6216, 6240, 6264, 6288, 6312, 6336, 6360, 6384, 6408, 6432, 6456, 6480, 6504, 6528, 6552, 6576, 6600, 6624, 6648, 6672, 6696, 6720, 6744, 6768, 6792, 6816, 6840, 6864, 6888, 6912, 6936, 6960, 6984, 7008, 7032, 7056, 7080, 7104, 7128, 7152, 7176, 7200, 7224, 7248, 7272, 7296, 7320, 7344, 7368, 7392, 7416, 7440, 7464, 7488, 7512, 7536, 7560, 7584, 7608, 7632, 7656, 7680, 7704, 7728, 7752, 7776, 7800, 7824, 7848, 7872, 7896, 7920, 7944, 7968, 7992, 8016, 8040, 8064, 8088, 8112, 8136, 8160, 8184, 8208, 8232, 8256, 8280, 8304, 8328, 8352, 8376, 8400, 8424, 8448, 8472, 8496, 8520, 8544, 8568, 8592, 8616, 8640, 8664, 8688, 8712, 8736, 8760, 8784, 8808, 8832, 8856, 8880, 8904, 8928, 8952, 8976, 9000, 9024, 9048, 9072, 9096, 9120, 9144, 9168, 9192, 9216, 9240, 9264, 9288, 9312, 9336, 9360, 9384, 9408, 9432, 9456, 9480, 9504, 9528, 9552, 9576, 9600, 9624, 9648, 9672, 9696, 9720, 9744, 9768, 9792, 9816, 9840, 9864, 9888, 9912, 9936, 9960, 9984, 10000</td> </tr> </table> <ul style="list-style-type: none"> • Medidor remoto del TriStar — Incluye 30 metros de cable para el montaje del medidor a distancia del controlador • Sensor remoto de temperatura — Proporciona una carga compensada en temperatura mediante la medición de la temperatura en la batería (cable de 10 metros) 	12, 24, 48, 72, 96, 120, 144, 168, 192, 216, 240, 264, 288, 312, 336, 360, 384, 408, 432, 456, 480, 504, 528, 552, 576, 600, 624, 648, 672, 696, 720, 744, 768, 792, 816, 840, 864, 888, 912, 936, 960, 984, 1008, 1032, 1056, 1080, 1104, 1128, 1152, 1176, 1200, 1224, 1248, 1272, 1296, 1320, 1344, 1368, 1392, 1416, 1440, 1464, 1488, 1512, 1536, 1560, 1584, 1608, 1632, 1656, 1680, 1704, 1728, 1752, 1776, 1800, 1824, 1848, 1872, 1896, 1920, 1944, 1968, 1992, 2016, 2040, 2064, 2088, 2112, 2136, 2160, 2184, 2208, 2232, 2256, 2280, 2304, 2328, 2352, 2376, 2400, 2424, 2448, 2472, 2496, 2520, 2544, 2568, 2592, 2616, 2640, 2664, 2688, 2712, 2736, 2760, 2784, 2808, 2832, 2856, 2880, 2904, 2928, 2952, 2976, 3000, 3024, 3048, 3072, 3096, 3120, 3144, 3168, 3192, 3216, 3240, 3264, 3288, 3312, 3336, 3360, 3384, 3408, 3432, 3456, 3480, 3504, 3528, 3552, 3576, 3600, 3624, 3648, 3672, 3696, 3720, 3744, 3768, 3792, 3816, 3840, 3864, 3888, 3912, 3936, 3960, 3984, 4008, 4032, 4056, 4080, 4104, 4128, 4152, 4176, 4200, 4224, 4248, 4272, 4296, 4320, 4344, 4368, 4392, 4416, 4440, 4464, 4488, 4512, 4536, 4560, 4584, 4608, 4632, 4656, 4680, 4704, 4728, 4752, 4776, 4800, 4824, 4848, 4872, 4896, 4920, 4944, 4968, 4992, 5016, 5040, 5064, 5088, 5112, 5136, 5160, 5184, 5208, 5232, 5256, 5280, 5304, 5328, 5352, 5376, 5400, 5424, 5448, 5472, 5496, 5520, 5544, 5568, 5592, 5616, 5640, 5664, 5688, 5712, 5736, 5760, 5784, 5808, 5832, 5856, 5880, 5904, 5928, 5952, 5976, 6000, 6024, 6048, 6072, 6096, 6120, 6144, 6168, 6192, 6216, 6240, 6264, 6288, 6312, 6336, 6360, 6384, 6408, 6432, 6456, 6480, 6504, 6528, 6552, 6576, 6600, 6624, 6648, 6672, 6696, 6720, 6744, 6768, 6792, 6816, 6840, 6864, 6888, 6912, 6936, 6960, 6984, 7008, 7032, 7056, 7080, 7104, 7128, 7152, 7176, 7200, 7224, 7248, 7272, 7296, 7320, 7344, 7368, 7392, 7416, 7440, 7464, 7488, 7512, 7536, 7560, 7584, 7608, 7632, 7656, 7680, 7704, 7728, 7752, 7776, 7800, 7824, 7848, 7872, 7896, 7920, 7944, 7968, 7992, 8016, 8040, 8064, 8088, 8112, 8136, 8160, 8184, 8208, 8232, 8256, 8280, 8304, 8328, 8352, 8376, 8400, 8424, 8448, 8472, 8496, 8520, 8544, 8568, 8592, 8616, 8640, 8664, 8688, 8712, 8736, 8760, 8784, 8808, 8832, 8856, 8880, 8904, 8928, 8952, 8976, 9000, 9024, 9048, 9072, 9096, 9120, 9144, 9168, 9192, 9216, 9240, 9264, 9288, 9312, 9336, 9360, 9384, 9408, 9432, 9456, 9480, 9504, 9528, 9552, 9576, 9600, 9624, 9648, 9672, 9696, 9720, 9744, 9768, 9792, 9816, 9840, 9864, 9888, 9912, 9936, 9960, 9984, 10000	Y	12, 24, 48, 72, 96, 120, 144, 168, 192, 216, 240, 264, 288, 312, 336, 360, 384, 408, 432, 456, 480, 504, 528, 552, 576, 600, 624, 648, 672, 696, 720, 744, 768, 792, 816, 840, 864, 888, 912, 936, 960, 984, 1008, 1032, 1056, 1080, 1104, 1128, 1152, 1176, 1200, 1224, 1248, 1272, 1296, 1320, 1344, 1368, 1392, 1416, 1440, 1464, 1488, 1512, 1536, 1560, 1584, 1608, 1632, 1656, 1680, 1704, 1728, 1752, 1776, 1800, 1824, 1848, 1872, 1896, 1920, 1944, 1968, 1992, 2016, 2040, 2064, 2088, 2112, 2136, 2160, 2184, 2208, 2232, 2256, 2280, 2304, 2328, 2352, 2376, 2400, 2424, 2448, 2472, 2496, 2520, 2544, 2568, 2592, 2616, 2640, 2664, 2688, 2712, 2736, 2760, 2784, 2808, 2832, 2856, 2880, 2904, 2928, 2952, 2976, 3000, 3024, 3048, 3072, 3096, 3120, 3144, 3168, 3192, 3216, 3240, 3264, 3288, 3312, 3336, 3360, 3384, 3408, 3432, 3456, 3480, 3504, 3528, 3552, 3576, 3600, 3624, 3648, 3672, 3696, 3720, 3744, 3768, 3792, 3816, 3840, 3864, 3888, 3912, 3936, 3960, 3984, 4008, 4032, 4056, 4080, 4104, 4128, 4152, 4176, 4200, 4224, 4248, 4272, 4296, 4320, 4344, 4368, 4392, 4416, 4440, 4464, 4488, 4512, 4536, 4560, 4584, 4608, 4632, 4656, 4680, 4704, 4728, 4752, 4776, 4800, 4824, 4848, 4872, 4896, 4920, 4944, 4968, 4992, 5016, 5040, 5064, 5088, 5112, 5136, 5160, 5184, 5208, 5232, 5256, 5280, 5304, 5328, 5352, 5376, 5400, 5424, 5448, 5472, 5496, 5520, 5544, 5568, 5592, 5616, 5640, 5664, 5688, 5712, 5736, 5760, 5784, 5808, 5832, 5856, 5880, 5904, 5928, 5952, 5976, 6000, 6024, 6048, 6072, 6096, 6120, 6144, 6168, 6192, 6216, 6240, 6264, 6288, 6312, 6336, 6360, 6384, 6408, 6432, 6456, 6480, 6504, 6528, 6552, 6576, 6600, 6624, 6648, 6672, 6696, 6720, 6744, 6768, 6792, 6816, 6840, 6864, 6888, 6912, 6936, 6960, 6984, 7008, 7032, 7056, 7080, 7104, 7128, 7152, 7176, 7200, 7224, 7248, 7272, 7296, 7320, 7344, 7368, 7392, 7416, 7440, 7464, 7488, 7512, 7536, 7560, 7584, 7608, 7632, 7656, 7680, 7704, 7728, 7752, 7776, 7800, 7824, 7848, 7872, 7896, 7920, 7944, 7968, 7992, 8016, 8040, 8064, 8088, 8112, 8136, 8160, 8184, 8208, 8232, 8256, 8280, 8304, 8328, 8352, 8376, 8400, 8424, 8448, 8472, 8496, 8520, 8544, 8568, 8592, 8616, 8640, 8664, 8688, 8712, 8736, 8760, 8784, 8808, 8832, 8856, 8880, 8904, 8928, 8952, 8976, 9000, 9024, 9048, 9072, 9096, 9120, 9144, 9168, 9192, 9216, 9240, 9264, 9288, 9312, 9336, 9360, 9384, 9408, 9432, 9456, 9480, 9504, 9528, 9552, 9576, 9600, 9624, 9648, 9672, 9696, 9720, 9744, 9768, 9792, 9816, 9840, 9864, 9888, 9912, 9936, 9960, 9984, 10000
12, 24, 48, 72, 96, 120, 144, 168, 192, 216, 240, 264, 288, 312, 336, 360, 384, 408, 432, 456, 480, 504, 528, 552, 576, 600, 624, 648, 672, 696, 720, 744, 768, 792, 816, 840, 864, 888, 912, 936, 960, 984, 1008, 1032, 1056, 1080, 1104, 1128, 1152, 1176, 1200, 1224, 1248, 1272, 1296, 1320, 1344, 1368, 1392, 1416, 1440, 1464, 1488, 1512, 1536, 1560, 1584, 1608, 1632, 1656, 1680, 1704, 1728, 1752, 1776, 1800, 1824, 1848, 1872, 1896, 1920, 1944, 1968, 1992, 2016, 2040, 2064, 2088, 2112, 2136, 2160, 2184, 2208, 2232, 2256, 2280, 2304, 2328, 2352, 2376, 2400, 2424, 2448, 2472, 2496, 2520, 2544, 2568, 2592, 2616, 2640, 2664, 2688, 2712, 2736, 2760, 2784, 2808, 2832, 2856, 2880, 2904, 2928, 2952, 2976, 3000, 3024, 3048, 3072, 3096, 3120, 3144, 3168, 3192, 3216, 3240, 3264, 3288, 3312, 3336, 3360, 3384, 3408, 3432, 3456, 3480, 3504, 3528, 3552, 3576, 3600, 3624, 3648, 3672, 3696, 3720, 3744, 3768, 3792, 3816, 3840, 3864, 3888, 3912, 3936, 3960, 3984, 4008, 4032, 4056, 4080, 4104, 4128, 4152, 4176, 4200, 4224, 4248, 4272, 4296, 4320, 4344, 4368, 4392, 4416, 4440, 4464, 4488, 4512, 4536, 4560, 4584, 4608, 4632, 4656, 4680, 4704, 4728, 4752, 4776, 4800, 4824, 4848, 4872, 4896, 4920, 4944, 4968, 4992, 5016, 5040, 5064, 5088, 5112, 5136, 5160, 5184, 5208, 5232, 5256, 5280, 5304, 5328, 5352, 5376, 5400, 5424, 5448, 5472, 5496, 5520, 5544, 5568, 5592, 5616, 5640, 5664, 5688, 5712, 5736, 5760, 5784, 5808, 5832, 5856, 5880, 5904, 5928, 5952, 5976, 6000, 6024, 6048, 6072, 6096, 6120, 6144, 6168, 6192, 6216, 6240, 6264, 6288, 6312, 6336, 6360, 6384, 6408, 6432, 6456, 6480, 6504, 6528, 6552, 6576, 6600, 6624, 6648, 6672, 6696, 6720, 6744, 6768, 6792, 6816, 6840, 6864, 6888, 6912, 6936, 6960, 6984, 7008, 7032, 7056, 7080, 7104, 7128, 7152, 7176, 7200, 7224, 7248, 7272, 7296, 7320, 7344, 7368, 7392, 7416, 7440, 7464, 7488, 7512, 7536, 7560, 7584, 7608, 7632, 7656, 7680, 7704, 7728, 7752, 7776, 7800, 7824, 7848, 7872, 7896, 7920, 7944, 7968, 7992, 8016, 8040, 8064, 8088, 8112, 8136, 8160, 8184, 8208, 8232, 8256, 8280, 8304, 8328, 8352, 8376, 8400, 8424, 8448, 8472, 8496, 8520, 8544, 8568, 8592, 8616, 8640, 8664, 8688, 8712, 8736, 8760, 8784, 8808, 8832, 8856, 8880, 8904, 8928, 8952, 8976, 9000, 9024, 9048, 9072, 9096, 9120, 9144, 9168, 9192, 9216, 9240, 9264, 9288, 9312, 9336, 9360, 9384, 9408, 9432, 9456, 9480, 9504, 9528, 9552, 9576, 9600, 9624, 9648, 9672, 9696, 9720, 9744, 9768, 9792, 9816, 9840, 9864, 9888, 9912, 9936, 9960, 9984, 10000	Y	12, 24, 48, 72, 96, 120, 144, 168, 192, 216, 240, 264, 288, 312, 336, 360, 384, 408, 432, 456, 480, 504, 528, 552, 576, 600, 624, 648, 672, 696, 720, 744, 768, 792, 816, 840, 864, 888, 912, 936, 960, 984, 1008, 1032, 1056, 1080, 1104, 1128, 1152, 1176, 1200, 1224, 1248, 1272, 1296, 1320, 1344, 1368, 1392, 1416, 1440, 1464, 1488, 1512, 1536, 1560, 1584, 1608, 1632, 1656, 1680, 1704, 1728, 1752, 1776, 1800, 1824, 1848, 1872, 1896, 1920, 1944, 1968, 1992, 2016, 2040, 2064, 2088, 2112, 2136, 2160, 2184, 2208, 2232, 2256, 2280, 2304, 2328, 2352, 2376, 2400, 2424, 2448, 2472, 2496, 2520, 2544, 2568, 2592, 2616, 2640, 2664, 2688, 2712, 2736, 2760, 2784, 2808, 2832, 2856, 2880, 2904, 2928, 2952, 2976, 3000, 3024, 3048, 3072, 3096, 3120, 3144, 3168, 3192, 3216, 3240, 3264, 3288, 3312, 3336, 3360, 3384, 3408, 3432, 3456, 3480, 3504, 3528, 3552, 3576, 3600, 3624, 3648, 3672, 3696, 3720, 3744, 3768, 3792, 3816, 3840, 3864, 3888, 3912, 3936, 3960, 3984, 4008, 4032, 4056, 4080, 4104, 4128, 4152, 4176, 4200, 4224, 4248, 4272, 4296, 4320, 4344, 4368, 4392, 4416, 4440, 4464, 4488, 4512, 4536, 4560, 4584, 4608, 4632, 4656, 4680, 4704, 4728, 4752, 4776, 4800, 4824, 4848, 4872, 4896, 4920, 4944, 4968, 4992, 5016, 5040, 5064, 5088, 5112, 5136, 5160, 5184, 5208, 5232, 5256, 5280, 5304, 5328, 5352, 5376, 5400, 5424, 5448, 5472, 5496, 5520, 5544, 5568, 5592, 5616, 5640, 5664, 5688, 5712, 5736, 5760, 5784, 5808, 5832, 5856, 5880, 5904, 5928, 5952, 5976, 6000, 6024, 6048, 6072, 6096, 6120, 6144, 6168, 6192, 6216, 6240, 6264, 6288, 6312, 6336, 6360, 6384, 6408, 6432, 6456, 6480, 6504, 6528, 6552, 6576, 6600, 6624, 6648, 6672, 6696, 6720, 6744, 6768, 6792, 6816, 6840, 6864, 6888, 6912, 6936, 6960, 6984, 7008, 7032, 7056, 7080, 7104, 7128, 7152, 7176, 7200, 7224, 7248, 7272, 7296, 7320, 7344, 7368, 7392, 7416, 7440, 7464, 7488, 7512, 7536, 7560, 7584, 7608, 7632, 7656, 7680, 7704, 7728, 7752, 7776, 7800, 7824, 7848, 7872, 7896, 7920, 7944, 7968, 7992, 8016, 8040, 8064, 8088, 8112, 8136, 8160, 8184, 8208, 8232, 8256, 8280, 8304, 8328, 8352, 8376, 8400, 8424, 8448, 8472, 8496, 8520, 8544, 8568, 8592, 8616, 8640, 8664, 8688, 8712, 8736, 8760, 8784, 8808, 8832, 8856, 8880, 8904, 8928, 8952, 8976, 9000, 9024, 9048, 9072, 9096, 9120, 9144, 9168, 9192, 9216, 9240, 9264, 9288, 9312, 9336, 9360, 9384, 9408, 9432, 9456, 9480, 9504, 9528, 9552, 9576, 9600, 9624, 9648, 9672, 9696, 9720, 9744, 9768, 9792, 9816, 9840, 9864, 9888, 9912, 9936, 9960, 9984, 10000			
Especificaciones ambientales	Especificaciones mecánicas	Certificaciones			
<ul style="list-style-type: none"> • Temperatura del ambiente de operación: Controlador -40°C a +45°C, Medidor -40°C a +60°C • Temperatura de almacenamiento: -55°C a +85°C • Humedad: 100% (sin condensación) • Tropicalización: Cobertura conforme en ambos lados de todas las placas de circuito impreso 	<ul style="list-style-type: none"> • Dimensiones: Altura: 26.0cm/10.3 pulgadas, Ancho: 12.7cm/5.0 pulgadas, Profundidad: 7.1cm/2.8 pulgadas • Peso: 1.6 kg /3.5 lb • Cable más grande: 35mm/1/2 AWG • Pasacables: Excéntrico 2.5/3.2cm (1.0/1.25 pulgadas) • Encapsulado: Tipo 1, calificado para interiores 	<ul style="list-style-type: none"> • Cumple con CE • Listado en UL (UL 1741) • eUL (CSA-C22.2 No.107.1-95) • Cumple con el Código Eléctrico Nacional de los Estados Unidos • Manufacturado en un establecimiento certificado según ISO 9001 			
<p>GARANTÍA: Periodo de garantía de cinco años. Consulte con Morningstar o su distribuidor autorizado para información completa sobre las condiciones.</p>					
<p>DISTRIBUIDOR AUTORIZADO DE MORNINGSTAR:</p>					
 <p>1098 Washington Crossing Road Washington Crossing, PA 18977 USA Tel: 215-321-4457 Fax: 215-321-4458 E-mail: info@morningstarcorp.com Website: www.morningstarcorp.com</p>					