



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO**

**FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA**

**CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA**

**Proyecto de Investigación**

**Previo a la obtención del Título de Ingeniero Mecánico**

**TEMA:**

---

ESTUDIO DE UN SISTEMA DE REFRIGERACIÓN DE ELEMENTOS ELECTRÓNICOS PARA EL CONTROL DE TEMPERATURA EN TIERRA DEL UAV GAVILÁN DEL CENTRO DE INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO DE LA FUERZA AÉREA ECUATORIANA.

---

**AUTOR:** Segundo Javier Punina Banda

**TUTOR:** Ing. Mg. Andrés Hidalgo

**Ambato – Ecuador**

**2015**

## **APROBACIÓN POR EL TUTOR**

### **CERTIFICACIÓN**

En mi calidad de Tutor del Trabajo de Investigación, Previo a la Obtención del Título de Ingeniero Mecánico, con el tema “ESTUDIO DE UN SISTEMA DE REFRIGERACIÓN DE ELEMENTOS ELECTRÓNICOS PARA EL CONTROL DE TEMPERATURA EN TIERRA DEL UAV GAVILÁN DEL CENTRO DE INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO DE LA FUERZA AÉREA ECUATORIANA.”, elaborado por el Sr. Segundo Javier Punina Banda, egresado de la Carrera de Ingeniería Civil y Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato, CERTIFICO que el presente Trabajo de Investigación es original de su autor, la cual ha sido revisada en cada uno de sus capítulos y está concluida en forma total.

.....  
Ing. Mg. Andrés Hidalgo  
TUTOR DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

## **AUTORÍA DE TESIS**

Yo, Segundo Javier Punina Banda, portador de la C.I. 1804692125 tengo a bien indicar que las ideas mostradas en la presente investigación: “ESTUDIO DE UN SISTEMA DE REFRIGERACIÓN DE ELEMENTOS ELECTRÓNICOS PARA EL CONTROL DE TEMPERATURA EN TIERRA DEL UAV GAVILÁN DEL CENTRO DE INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO DE LA FUERZA AÉREA ECUATORIANA.” así como también los contenidos, ideas, análisis, conclusiones y propuesta son de mi absoluta responsabilidad, como autor de este Trabajo de Graduación.

Ambato, Julio del 2015

## **EL AUTOR**

.....

Segundo Javier Punina Banda

C.I.: 1804692125

## **DEDICATORIA**

*El presente trabajo de investigación está dedicado en primer lugar a Dios por darme la fuerza, fortaleza y sabiduría en cada etapa de esta meta alcanzada, al Centro de Investigación y Desarrollo de la Fuerza Aérea Ecuatoriana por su apoyo que me ha permitido alcanzar los objetivos planteados, a mi familia que me ha enseñado a no rendir y seguir adelante y para todas las personas que de una u otra manera me apoyaron y confiaron en mí,*

*Javier Punina*

## **AGRADECIMIENTO**

*Agradezco esencialmente a Dios por la vida, la salud diaria que nos brinda para superarnos cada día.*

*Al Centro de Investigación y Desarrollo de la Fuerza Aérea Ecuatoriana por la oportunidad de ejecutar la investigación, por las facilidades y colaboración prestada para el desarrollo de este proyecto.*

*A las personas que con sus conocimientos y experiencias, me han orientado y guiado en el transcurso de mi vida estudiantil, a mi madre Carmen Amelia aunque no esté presente pero que siempre me impulsó alcanzar el éxito por más difícil que sea, a María Elena, Lourdes y Mónica que siempre me supieron apoyarme en todo momento.*

*A todas las personas que aportaron de una u otra forma para que esta Investigación culmine con éxito.*

# ÍNDICE GENERAL DE CONTENIDO

## PÁGINAS PRELIMINARES

APROBACIÓN POR EL TUTOR.....	II
AUTORÍA DE TESIS.....	III
DEDICATORIA.....	IV
AGRADECIMIENTO.....	V
ÍNDICE GENERAL DE CONTENIDO.....	VI
ÍNDICE DE FIGURAS.....	IX
ÍNDICE DE TABLAS.....	XI
ÍNDICE DE ANEXOS.....	XIII
GLOSARIO DE TÉRMINOS Y NOMENCLATURA.....	XIV
RESUMEN EJECUTIVO.....	XVI

## CONTENIDO

CAPÍTULO I.....	1
1 El Problema.....	1
1.1 Tema.....	1
1.2 Planteamiento del Problema.....	1
1.2.1 Contextualización.....	1
1.2.2 Análisis Crítico.....	2
1.2.3 Prognosis.....	3
1.2.4 Formulación del Problema.....	3
1.2.5 Preguntas Directrices.....	3
1.2.6 Delimitación del Problema.....	4
1.3 Justificación.....	4
1.4 Objetivos.....	5
1.4.1 General.....	5
1.4.2 Específicos.....	5
CAPÍTULO II.....	6
2 Marco Teórico.....	6
2.1 Antecedentes investigativos.....	6
2.2 Fundamentación Filosófica.....	8
2.3 Categorías Fundamentales.....	9

2.4	Fundamentación Teórica .....	9
2.4.1	Refrigeración de componentes Electrónicos.....	9
2.4.2	Sistema de medición y control.....	33
2.5	Hipótesis .....	45
2.6	Señalamiento de Variables .....	45
2.6.1	Variable Independiente .....	45
2.6.2	Variable Dependiente.....	45
2.6.3	Término de Relación.....	45
CAPÍTULO III.....		46
3	Metodología .....	46
3.1	Enfoque Investigativo .....	46
3.2	Modalidad de la Investigación.....	46
3.2.1	Bibliográfica .....	46
3.2.2	Investigación de Campo.....	46
3.3	Tipo de Investigación .....	47
3.3.1	Investigación Descriptiva.....	47
3.3.2	Investigación Correlacional .....	47
3.4	Población y Muestra .....	47
3.4.1	Población.....	47
3.4.2	Muestra .....	47
3.5	Operacionalización de Variables .....	48
3.5.1	Variable Independiente: Sistema de Refrigeración de elementos electrónicos. ....	48
3.5.2	Variable Dependiente: Disipación de calor del UAV-Gavilán del Centro de Investigación y Desarrollo de la Fuerza Aérea Ecuatoriana. ....	49
3.6	Plan de Recolección de Información.....	50
3.7	Plan de Procesamiento de la Información .....	51
CAPÍTULO IV.....		52
4	Análisis e Interpretación de Resultados .....	52
4.1	Análisis de los Resultados .....	52
4.1.1	Descripción de datos recolectados dispositivos electrónicos del UAV. ....	52
4.1.2	Comparación del tipo de refrigeración para la disipación de calor. ....	59

4.2	Interpretación de los resultados .....	60
4.2.1	Simulación CFD del compartimiento Central del UAV Gavilán. ....	61
4.2.2	Simulación CFD del compartimiento Secundario (alojamiento del Motor) del UAV Gavilán.....	66
4.3	Verificación de la Hipótesis .....	72
CAPÍTULO V .....		74
5	Conclusiones y recomendaciones .....	74
5.1	Conclusiones.....	74
5.2	Recomendaciones .....	76
CAPÍTULO VI.....		77
6	Propuesta.....	77
6.1	Datos informativos.....	77
6.1.1	Título.....	77
6.1.2	Beneficiario.....	77
6.1.3	Ubicación .....	77
6.1.4	Equipo técnico responsable.....	77
6.2	Antecedentes de la propuesta.....	78
6.3	Justificación .....	79
6.4	Objetivos.....	79
6.4.1	General.....	79
6.4.2	Específico.....	79
6.5	Análisis de factibilidad .....	80
6.6	Fundamentación.....	80
6.6.1	Parámetros de diseño .....	80
6.6.2	Diseño de ductos Fundamentación Teórica .....	81
6.6.3	Dimensionamiento del Sistema de ductos .....	82
6.6.4	Selección del ventilador .....	92
6.6.5	Diseño de la transmisión.....	98
6.6.6	Diseño de la bancada móvil .....	107
6.6.7	Selección de ruedas.....	110
6.6.8	Selección del control de medición para la temperatura del UAV.....	112
6.6.9	Selección del sensor de Temperatura.....	113
6.6.10	Selección del control aplicable en la disipación por aire forzado para el UAV. ....	114



6.7	Metodología.....	116
6.7.1	Construcción del sistema de disipación de calor .....	116
6.7.2	Construcción .....	116
6.8	Administración .....	119
6.8.1	Análisis Económico .....	119
6.8.2	Planeación .....	121
6.8.3	Organización .....	121
6.8.4	Dirección.....	122
6.8.5	Guía de operación .....	122
6.9	Previsión de la evaluación .....	126
6.9.1	Conclusiones .....	127
6.9.2	Recomendaciones .....	127
	Bibliografía .....	128
	Anexos .....	131

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 2-1:</b>	Categorías Fundamentales. ....	9
<b>Figura 2-2:</b>	Disipador con ventilador.....	11
<b>Figura 2-3:</b>	Refrigeración por Watercooling .....	11
<b>Figura 2-4:</b>	Explicación Peltier .....	12
<b>Figura 2-5:</b>	Célula Peltier para CPU. ....	13
<b>Figura 2-6:</b>	La fuerza de resistencia al movimiento a) paralelo b) perpendicular	18
<b>Figura 2-7:</b>	Análisis térmico de dispositivos electrónicos .....	20
<b>Figura 2-8:</b>	Visión general del análisis térmico por CFD.....	21
<b>Figura 2-9:</b>	Diagrama de Moody .....	27
<b>Figura 2-10:</b>	Ventilador Centrífugo .....	29
<b>Figura 2-11:</b>	Hélice axial del perfil delgado y perfil sustentador respectivamente .....	29
<b>Figura 2-12:</b>	Perdida por fricción en ductos unidades SI.....	31
<b>Figura 2-13:</b>	Sistema de Control.....	33
<b>Figura 2-14:</b>	Diagrama de un sistema cualquiera .....	34
<b>Figura 2-15:</b>	Sistema de control lazo Abierto.....	34

<b>Figura 2-16:</b> Control en lazo Cerrado.....	35
<b>Figura 2-17:</b> Microcontrolador .....	36
<b>Figura 2-18:</b> Esquema y partes básicas del PLC.....	38
<b>Figura 2-19:</b> Controlador de temperatura OMRON .....	39
<b>Figura 2-20:</b> Relación entre el valor real de la resistencia y la fórmula $R_t$ . .....	42
<b>Figura 2-21:</b> Partes de una Termoresistencia.....	42
<b>Figura 2-22:</b> Termistor.....	43
<b>Figura 2-23:</b> Termopar.....	44
<b>Figura 4-1:</b> Elementos de un sistema de radiocomunicaciones .....	55
<b>Figura 4-2:</b> UAV-Gavilán disposición de habitáculos.....	56
<b>Figura 4-3:</b> Máxima Temperatura del amplificador para velocidades de (2, 4, 6, 8, 10 y 15) resultado de simulación CFD). .....	63
<b>Figura 4-4:</b> Máxima Temperatura del Transmisor RF para velocidades de (2, 4, 6, 8, 10 y 15) resultado de simulación CFD). .....	63
<b>Figura 4-5:</b> Coeficiente de Transferencia de Calor vs Velocidad de Aire para el compartimiento central.....	64
<b>Figura 4-5:</b> Máxima Temperatura de los Cilindros del motor Meggitt para velocidades de (25, 28, 30 y 32 m/s) resultado de simulación CFD). .....	68
<b>Figura 4-6:</b> Máxima Temperatura del Mamparo soporte del motor para velocidades de (25, 28, 30 y 32 m/s) resultado de simulación CFD). .....	68
<b>Figura 4-7:</b> Máxima Temperatura del Mamparo del compartimiento secundario para velocidades de (25, 28, 30 y 32 m/s) resultado de simulación CFD).....	69
<b>Figura 4-7:</b> Coeficiente de Transferencia de Calor vs Velocidad de Aire para el compartimiento secundario .....	69
<b>Figura 6-1:</b> A DRASH 5-ton ECU cools Del Gray Eagle (Águila Gris) aircraft vehicle prior to flight.....	79
<b>Figura 6-2:</b> Esquema del sistema de ductos.....	82
<b>Figura 6-3:</b> Ilustración del conducto divergente .....	82
<b>Figura 6-4:</b> Ilustración de la contracción gradual .....	88
<b>Figura 6-5:</b> Coeficiente de resistencia $C_k$ para contracción gradual .....	89
<b>Figura 6-6:</b> Ilustración de la contracción gradual 2 .....	90
<b>Figura 6-7:</b> Ventiladores centrífugos simple y doble aspiración SA/DA de S&P93	
<b>Figura 6-8:</b> Datos técnicos del modelo DA 10/10 .....	94
<b>Figura 6-9:</b> Geometría de bandas planas. A) Banda abierta. B) Banda cruzada..	98

<b>Figura 6-10:</b> Sección transversal de banda .....	99
<b>Figura 6-11:</b> Diagrama de fuerzas contantes y momento flector .....	109
<b>Figura 6-12:</b> Análisis Estático de la Estructura.....	110
<b>Figura 6-13:</b> Esquema de movilidad del sistema 2 rodantes, 2 giratorios. ....	111
<b>Figura 6-14:</b> Controlador digital de temperatura IBEST .....	113
<b>Figura 6-15:</b> Estructura .....	117
<b>Figura 6-16:</b> Sistema de ducto .....	117
<b>Figura 6-17:</b> Sistema de ducto .....	117
<b>Figura 6-18:</b> Ensamble de ductos + ventilador + forros .....	118
<b>Figura 6-19:</b> Panel de control.....	118
<b>Figura 6-20:</b> Ensamble final de rejillas y filtros .....	119
<b>Figura 6-21:</b> Integración de mangas anilladas de poliuretano .....	119
<b>Figura 6-22:</b> Panel de mando .....	123
<b>Figura 6-23:</b> Filtro de pliegues para succión de aire (24x24x2) pulg .....	126

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 3-1:</b> Operacionalización de Variable Independiente.....	48
<b>Tabla 3-2:</b> Operacionalización de Variable Dependiente .....	49
<b>Tabla 4-1:</b> Ficha Técnica UAV .....	56
<b>Tabla 4-2:</b> Dispositivo Electrónico (Transmisor RF) Habitáculo central. ....	57
<b>Tabla 4-3:</b> Dispositivo electrónico (Amplificador) Habitáculo central. ....	57
<b>Tabla 4-4:</b> Dispositivo Autopiloto (Habitáculo secundario).....	58
<b>Tabla 4-5:</b> Motor (Habitáculo secundario).....	58
<b>Tabla 4-6:</b> Tabla comparativa de métodos de refrigeración aplicable al UAV....	59
<b>Tabla 4-7:</b> Escala de puntuación. ....	59
<b>Tabla 4-8:</b> Valoración del método de refrigeración a seleccionar para la simulación por software.....	60
<b>Tabla 4-9:</b> Condiciones Iniciales para la simulación CFD. ....	61
<b>Tabla 4-10:</b> Especificaciones del Amplificador y Transmisor RF.....	62
<b>Tabla 4-11:</b> Condiciones de estudio para el control de componentes.....	62
<b>Tabla 4-12:</b> Metas Esperadas de la simulación CFD. ....	62
<b>Tabla 4-13:</b> Metas globales del estudio planteado para el habitáculo central.....	64

<b>Tabla 4-14:</b> Vista 3D del compartimiento central resultados CFD a 15 m/s .....	65
<b>Tabla 4-15:</b> Condiciones Iniciales para la simulación CFD del compartimiento secundario. ....	66
<b>Tabla 4-16:</b> Condiciones de estudio para el control de componentes del compartimiento secundario. ....	67
<b>Tabla 4-17:</b> Metas Esperadas de la simulación CFD para el compartimiento secundario. ....	67
<b>Tabla 4-18:</b> Metas globales del estudio planteado para el habitáculo secundario	70
<b>Tabla 4-19:</b> Vista 3D del compartimiento Secundario resultados CFD a 28 m/s	70
<b>Tabla 4-20:</b> Resumen de Resultados de Simulación CFD para los Compartimientos Central y Secundario .....	73
<b>Tabla 6-1:</b> Necesidad de caudal para el sistema .....	80
<b>Tabla 6-2:</b> Diámetros equivalentes de conductos rectangulares .....	83
<b>Tabla 6-3:</b> Coeficiente de resistencia Tee divergente, rectangular, ( $C_b$ y $C_s$ )....	85
<b>Tabla 6-4:</b> Coeficiente de resistencia Ye simétrica (valor de $C_b$ ) .....	87
<b>Tabla 6-5:</b> Ventilador Axial vs Centrífugo, parámetros de selección.....	93
<b>Tabla 6-6:</b> Coeficiente de resistencia Ventilador centrífugo, valor $C_o$ .....	94
<b>Tabla 6-7:</b> Pérdida de carga de filtro de aire en la entrada del ventilador .....	95
<b>Tabla 6-8:</b> Condiciones de Operación.....	95
<b>Tabla 6-9:</b> Curvas características para selección del modelo DA10/10 S&P.....	96
<b>Tabla 6-10:</b> Características del ventilador centrífugo modelo DA 10/10 .....	97
<b>Tabla 6-11:</b> Datos de propiedades Atmosféricas .....	97
<b>Tabla 6-12:</b> Condiciones de Operación.....	98
<b>Tabla 6-13:</b> Consideraciones para la utilización de dispositivos de control de medición.....	112
<b>Tabla 6-14:</b> Especificaciones Técnicas TCM R99.....	114
<b>Tabla 6-15:</b> Configuración básica del controlador digital de temperatura.....	115
<b>Tabla 6-16:</b> Costos de Materiales Generales (CMG).....	120
<b>Tabla 6-17:</b> Costos de Materiales Eléctricos y Electrónicos (CMEE).....	120
<b>Tabla 6-18:</b> Costos Directos (CD). ....	121
<b>Tabla 6-19:</b> Costos Indirectos (CI).....	121
<b>Tabla 6-20:</b> Costo Total de la Construcción (CT).....	121

## ÍNDICE DE ANEXOS

<b>Anexo 1:</b> Propiedades del aire, transferencia de calor pag 884 Cuarta Edición.	131
<b>Anexo 2:</b> Diagrama de Moody factor de fricción para flujo completamente desarrollado.....	132
<b>Anexo 3:</b> Guía de observación.....	133
<b>Anexo 4:</b> Pérdida por fricción en ductos unidades SI. ....	134
<b>Anexo 5:</b> Características y parámetros del ventilador centrífugo DA10/10 Soler & Palau.....	135
<b>Anexo 6:</b> Factor de corrección de densidad del aire aplicable para el punto de servicio real .....	137
<b>Anexo 7:</b> Tabla de secciones de bandas en V estándar, diámetro mínimo de la polea .....	138
<b>Anexo 8:</b> Circunferencias interiores de bandas en V estándar. ....	138
<b>Anexo 9:</b> Dimensiones de conversión de longitud ( $L_c$ ). ....	138
<b>Anexo 10:</b> Factor de corrección $K_1$ , factor de corrección de longitud $K_2$ y $H_{tab}$ . .....	139
<b>Anexo 11:</b> Factor de servicio $K_s$ para transmisión de bandas en V y factores $K_b$ , $K_c$ , $K$ , $b$ . ....	140
<b>Anexo 12:</b> Características tubo estructural cuadrado. ....	142
<b>Anexo 13:</b> Características del controlador digital IBEST R999.....	143
<b>Anexo 14:</b> Esquema de conexiones .....	146

## GLOSARIO DE TÉRMINOS Y NOMENCLATURA

**UAV.-** Vehículo aéreo no tripulado (unmanned aerial vehicle)

**PGA.-** Plataforma de Gran Altitud (Dirigibles no tripulados).

**TCR.-** Temperatura crítica de un elemento o dispositivo electrónico.

**PLC.-** Controladores Lógicos Programables.

**RTD.-** Termo resistencias.

**CFD.-** Dinámica de fluidos computacional.

**RF.-** Transmisor de radio frecuencia.

**GPU.-** Unidad de procesamiento gráfico (Graphics Processing Unit) es un coprocesador dedicado al procesamiento de gráficos u operaciones de coma flotante, para aligerar la carga de trabajo del procesador central en aplicaciones 3D interactivas. De esta forma, mientras gran parte de lo relacionado con los gráficos se procesa en la GPU, la unidad central de procesamiento (CPU) puede dedicarse a otro tipo de cálculos (como la inteligencia artificial o los cálculos mecánicos en el caso de los videojuegos).

**EMCT.-** Estación de mando y control en tierra, donde están todos los servidores y operarios que controlan a la aeronave.

**Envergadura.-** Extensión, es el ancho de una aeronave de un extremo a otro de las alas.

**Autonomía.-** Tiempo que un dispositivo con una fuente de alimentación independiente puede permanecer en activo, hasta el agotamiento de dicha fuente.

**Velocidad de Stall.-** Velocidad a la que provoca una disminución más o menos súbita de la fuerza de sustentación que genera la corriente incidente sobre un perfil aerodinámico.

**Velocidad Crucero.-** Se define como aquella velocidad constante y uniforme que puede llevar una aeronave en condiciones normales de presión y temperatura (por sus siglas CNPT), sin sufrir perturbación o variación de velocidad, altura, tracción y resistencia en el vuelo. Es aquella velocidad estable en la cual se mantiene el avión en la mayoría de su trayecto, actuando como un piloto automático.

GG = (Goal Global) Meta global

SG = Surface goals (meta de superficie)

Q = Cantidad de calor

$\dot{Q}$  = Razón de conducción del calor

$Nu$  = Número de Nusselt  
 $T_f$  = Temperatura de película  
 $\dot{V}$  = caudal volumetrico  
 $P_E$  = Presión Estática de un ventilador  
 $P_D$  = Presión Dinámica de un ventilador  
 $P_T$  = Presión Total  
 $R_e$  = Número de Reynolds  
 $h_L$  = Pérdida de carga en el conducto por metro de ducto  
 $HL$  = Pérdida total de energía para una longitud específica de ducto  
 $H_v$  = Presión de velocidad o carga de velocidad  
 $D_e$  = Diámetro equivalente para un conducto rectangular  
 $R_t$  = Resistencia en ohmios a la temperatura absoluta  $T_t$   
 $C_b = C_o = C_s$  = Coeficiente de pérdida  
 $m$  = Masa (gramos)  
 $c$  = Calor específico (cal/gr°C)  
 $\Delta^{\circ}t$  = Variación de temperatura  
 $R$  = Relación de transmisión  
 $L_p$  = Longitud de paso  
 $C$  = Espacios entre centros  
 $\theta_d$  = ángulo de contacto para banda abierta  
 $H_a$  = Potencia permisible  
 $H_d$  = Potencia de diseño  
 $N_b$  = Número de bandas  
 $V$  = Velocidad periférica  
 $CT$  = Carga total para ruedas  
 $N_r$  = Número de ruedas

**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA**  
**CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA**

**TEMA:** ESTUDIO DE UN SISTEMA DE REFRIGERACIÓN DE ELEMENTOS ELECTRÓNICOS PARA EL CONTROL DE TEMPERATURA EN TIERRA DEL UAV GAVILÁN DEL CENTRO DE INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO DE LA FUERZA AÉREA ECUATORIANA.

**AUTOR:** Segundo Javier Punina Banda

**TUTOR:** Ing. Mg. Andrés Hidalgo

**RESUMEN EJECUTIVO**

El presente trabajo de investigación se cumplió conforme a los requerimientos del Centro de Investigación y Desarrollo de la Fuerza Aérea Ecuatoriana, gracias a las diversas simulaciones ensayadas se determinaron para el compartimiento central del UAV una aplicación de 15 m/s, velocidad de aire que da un caudal suficiente para refrigerar por aire forzado a los elementos electrónicos como el Transmisor RF y Amplificador, manteniendo por debajo de 38°C, protegiendo a estos dispositivos que no cometan errores en el procesamiento de datos. De la misma forma con una velocidad de aire a partir de la velocidad crucero 28 m/s aplicado a las entradas de aire para la refrigeración del Motor Meggitt, es eficiente la disipación de calor, evitando que se transmita hacia los mamparos de aluminio y el fuselaje, manteniendo la temperatura del Mamparo Soporte y el Fuselaje por debajo de los 28°C, garantizando la integridad de los sensores sensibles que se encuentran dentro del compartimiento secundario, de igual forma los cilindros del Motor Meggitt se encuentran a 75°C, temperatura que es menor a lo especificado por el fabricante, impidiendo que la temperatura ascienda hasta niveles peligrosos que comprometan a este elemento importante del UAV-Gavilán.

Para la elaboración del proyecto se realizó el diseño de un sistema de respaldo en tierra para la disipación de calor en el chequeo de pre-vuelo del vehículo aéreo no tripulado UAV – Gavilán, el sistema está diseñado en una bancada móvil para su fácil maniobrabilidad el equipo opera de forma automática y manual con la finalidad de mejorar la refrigeración del UAV-Gavilán en el chequeo de pre-vuelo, antes que efectúe las misiones designadas.



## **CAPÍTULO I**

### **1 EL PROBLEMA**

#### **1.1 TEMA**

ESTUDIO DE UN SISTEMA DE REFRIGERACIÓN DE ELEMENTOS ELECTRÓNICOS PARA EL CONTROL DE TEMPERATURA EN TIERRA DEL UAV GAVILÁN DEL CENTRO DE INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO DE LA FUERZA AÉREA ECUATORIANA.

#### **1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

##### **1.2.1 Contextualización**

A nivel mundial la tecnología se va incrementando en la producción de vehículos aéreos no tripulados. La selección del diseño adecuado de un sistema de refrigeración en particular para UAVs están afectado por la instalación existente de componentes electrónicos y motores enfriados por aire los mismos que generan calor y necesita eliminar para el funcionamiento correcto de los mismos. La refrigeración en los UAV está tomado en cuenta cuando la aeronave no tripulada está en vuelo, pero también se necesita un sistema de refrigeración adicional cuando está en tierra realizando verificaciones de funcionamiento en el pre-vuelo de los equipos electrónicos de transmisión de datos y comunicación previa al despegue de la aeronave no tripulada. En la actualidad los países desarrollados que producen UAVs no incluyen refrigeración adicional para cuando se realiza comprobación del funcionamiento de los equipos electrónicos antes que despegue la aeronave, al adquirirlos no cuentan con estos sistemas de respaldo.

En los últimos años los vehículos aéreos no tripulados en América del Sur han ido tomando cada vez más avance por su aplicación en el campo militar y civil, relacionándose en actividades de apoyo en misiones de control, comunicaciones, reconocimiento, inteligencia y sobre todo en vigilancia en largos periodos de vuelo,

una aeronave no tripulada tiene un beneficio relevante de gran importancia por el hecho de eliminar el factor humano. Actualmente hay varios países que tienen programas de desarrollo y utilización de UAVs como Brasil, México, Argentina, Ecuador, Chile, Uruguay y Venezuela (Gema, Manuel, & Erich, 2012).

En el Ecuador no existe el desarrollo de sistemas de refrigeración de respaldo en tierra para UAVs por el simple hecho de que no se producían aeronaves no tripuladas y no se tenía la necesidad de diseñarlos, en el Centro de Investigación y Desarrollo de la Fuerza Aérea Ecuatoriana (CIDFAE) apoyados por el Gobierno terminaron la etapa de construcción de prototipos de aeronaves no tripuladas y entran a un proceso de Industrialización en producción en serie de los UAVs por lo cual requieren un sistema de refrigeración de respaldo en tierra, cuando se estén preparando para las misiones de vuelo verificando sistemas como son: comunicación, sensor óptico de transmisión de imágenes y videos en tiempo real, estos datos se reciben en el centro de control en tierra “Shelter” que monitorea todos los sistemas del UAV en vuelo y verifica el funcionamiento correcto antes de que despegue.

### **1.2.2 Análisis Crítico**

El Centro de Investigación y Desarrollo de la Fuerza Aérea Ecuatoriana CIDFAE producen aeronaves UAVs los mismos que no cuentan con el diseño de un sistema de refrigeración adicional para los elementos electrónicos montados en el UAV, el mismo que se encuentra estático y no existe un flujo de aire para que los ventile y disipe el calor al ambiente. Al tener en funcionamiento todos los sistemas y equipos electrónicos sin el flujo de aire que cuenta el UAV cuando está en vuelo conduce a la producción de alta temperatura, cuando uno de estos equipos electrónicos se calientan demasiado puede dar lugar a accidentes y daños de hardware permanentes, antes de que el UAV despegue. Es importante tomar medidas para mejorar la refrigeración del UAV asegurando que los componentes no se ejecuten con demasiada temperatura al despegar la aeronave no tripulada.

El sistema de refrigeración existente en el UAV está diseñado para mantener la temperatura adecuada cuando esté en vuelo más no cuando se encuentra estático en período de pre-vuelo.

La refrigeración pasiva o natural no es suficiente para disipar el calor con el aire que rodea al disipador, la capacidad de evacuar calor es deficiente por lo cual es eficiente incorporar un mecanismo para forzar un flujo de aire fresco a través de las aletas del disipador, y es exactamente lo que se logra con la refrigeración activa.

### **1.2.3 Prognosis**

En el caso de no atender esta necesidad y tener en funcionamiento todos los sistemas y equipos electrónicos sin el flujo de aire necesario conduciría a la producción de alta temperatura de los componentes electrónicos. Si los equipos electrónicos se calientan demasiado puede ocasionar daños de hardware antes de que el UAV despegue, dando lugar a averías de los elementos electrónicos e inhabilitando la ejecución de las misiones designadas para la aeronave, afectando la fiabilidad de operación de los UAVs del CIDFAE.

### **1.2.4 Formulación del Problema**

¿Se puede mantener la temperatura idónea de trabajo de los elementos electrónicos del UAV Gavilán en tierra mediante un sistema de refrigeración?

### **1.2.5 Preguntas Directrices**

1. ¿Cuáles serán los parámetros que intervienen en la disipación de temperatura del UAV Gavilán?
2. ¿Cuál será la máxima temperatura que llegan los elementos electrónicos?
3. ¿Cómo influye el medio de enfriamiento de los sistemas electrónicos cuando se realiza test de Pre-vuelo antes de que el UAV despegue?
4. ¿Cuáles serán los factores de montaje del sistema de disipación de calor en tierra del UAV?

## **1.2.6 Delimitación del Problema**

### **1.2.6.1 De Contenido**

- Transferencia de Calor
- Control industrial
- Diseño de Elementos Mecánicos

### **1.2.6.2 Delimitación Espacial**

La presente investigación se llevó a cabo en el Centro de Investigación y Desarrollo de la fuerza Aérea Ecuatoriana (CID-FAE) ubicado en la ciudad de Ambato, provincia de Tungurahua.

### **1.2.6.3 Delimitación Temporal**

Se realizó entre los meses de noviembre 2014 - agosto 2015.

## **1.3 JUSTIFICACIÓN**

El estudio es de importancia y tiene el afán de mejorar la disipación de calor de los habitáculos central y secundario de UAV Gavilán el mismo que contiene elementos electrónicos, sistemas de impulso (motor), todos ellos están dentro del fuselaje de la aeronave, sabemos que hasta los circuitos básicos suelen calentarse por ello, los microprocesadores son más propensos a este problema, en consecuencia, esto debe ser disminuido para su buen funcionamiento, de allí el enfriamiento que consiste en retirar ese excesivo calor de los componentes electrónicos, que forman parte de la aeronave no tripulada Gavilán, cuando esté en tierra realizando las pruebas de funcionamiento rutinarias de Pre-vuelo antes de despegar a las misiones designadas para el UAV.

La refrigeración natural no es suficiente para disipar el calor con el aire que rodea a los dispositivos electrónicos, la capacidad de evacuar calor es deficiente por lo cual se requiere incorporar un mecanismo para forzar un flujo de aire a través de las aletas del disipador. Cada vez se hace más necesario un sistema de refrigeración adicional, debido a la potencia que disipan los equipos electrónicos y motor del UAV, sin lugar a duda, uno de los aspectos fundamentales para el correcto funcionamiento reside en una refrigeración eficaz de cada uno de sus componentes, ya que de esta manera el equipo no generará una sobrecarga de calor que muchas veces puede llegar a dañar al hardware, incapacitando la ejecución del despegue. Con una buena refrigeración, no sólo podremos lograr que el UAV trabaje más cómodo, si no mejorará su rendimiento diario, y además alargaremos la vida útil de todos los elementos que constituyen dentro de los compartimientos del UAV-Gavilán.

## **1.4 OBJETIVOS**

### **1.4.1 General**

Definir el Sistema de Refrigeración de elementos electrónicos para el control de temperatura en tierra del UAV-Gavilán del Centro de Investigación y Desarrollo de la Fuerza Aérea Ecuatoriana.

### **1.4.2 Específicos**

- Realizar un análisis térmico mediante software de los componentes que constituyen los compartimientos principal y secundario del UAV.
- Determinar la temperatura crítica de los componentes electrónicos.
- Determinar los factores de montaje del sistema de disipación de calor en tierra del UAV.
- Proponer el sistema de refrigeración para el control de temperatura en tierra del UAV-Gavilán.

## CAPÍTULO II

### 2 MARCO TEÓRICO

#### 2.1 ANTECEDENTES INVESTIGATIVOS

Soo Kim, K., Tae Kim, W., & Lee, K. B. (2000) realizó una investigación sobre las características de enfriamiento en convección forzada de una matriz de forma plana de componentes electrónicos en un Canal de Flujo. Fue publicado por: KSME International Journal, Vol 12.

El estudio se refiere a la transferencia de calor por convección forzada en un canal de flujo con los arreglos lineales de componentes electrónicos estos componentes están montado en una placa de circuito impreso. Para la evaluación del comportamiento térmico de los flujos en los canales, utilizan tres variables independientes: la separación entre canales, el número de fila del componente, y la velocidad del aire de entrada.

#### **Conclusiones:**

- “Los resultados experimentales se compararon con las de solución numérica para las varias condiciones: temperatura superficie de los componentes, aumento adiabático de temperatura, y el coeficiente de transferencia de calor.”
- “Los resultados experimentales concuerdan bien con las soluciones numéricas. El estudio muestra que el coeficiente de transferencia de calor adiabático se ve afectada de manera significativa por la velocidad de entrada en el flujo del canal y menos depende de la separación de canales y el número de fila.”

Li, B., Tao, W., & He, Y. (2008). Efectuó el estudio sobre el enfriamiento por convección de aire forzado para conjuntos electrónicos. Publicado por (H. E. Springer-Verlag) de la revista *Energy Power Eng.* (Nº2). El concepto de aleta ranurada fue empleado para mejorar el rendimiento de refrigeración de aire de la placa-aleta en disipadores de calor.

Llevaron a cabo simulaciones numéricas de la transferencia de calor laminar y caída de presión de flujo para la aleta de placa discreta y disipadores de calor de aletas ranuradas discretos.

### **Conclusiones:**

- “El simple aumento de la velocidad del aire a través de un disipador de calor de la CPU no cumplirá las exigencias duales de aumentar el flujo de calor y la restricción de ruidos.”
- “El concepto de aleta ranurada en la industria se puede adoptar para mejorar la configuración del disipador de calor, ya que tiene un mejor rendimiento y es probable para que cumpla el requisito de la capacidad de enfriamiento para la próxima generación de CPUs.”
- “A pesar de que la tecnología de refrigeración por líquido puede satisfacer la demanda de refrigeración de los chips en un espacio restringido, el líquido debe ser reutilizado cíclicamente por enfriamiento al aire. Por consiguiente, todavía es de importancia para estudiar la mejora de la tecnología de la refrigeración por aire.”

Xu, S., Hu, G., Qin, J., & Yang, Y. (2012) de la revista *Journal of Mechanical Science and Technology*. Realizó un estudio numérico de flujo de fluidos y transferencia de calor en diferentes disipadores de calor de microcanales para la refrigeración de chips electrónicos. Un estudio de cuatro disipadores de calor de microcanal diferente, está diseñados para estudiar los efectos de las estructuras en disipadores de calor para chips electrónicos.

Se obtienen distribuciones basadas en el análisis de la teoría y el cálculo numérico de flujo, intercambio de calor y características de temperatura del chip electrónico, también estudiaron y analizaron la correspondencia entre la caída de presión del flujo y la temperatura en los cuatro disipadores de calor con microcanales.

### **Conclusiones:**

- “Se declaró que la estructura de los microcanales tiene una influencia significativa en la refrigeración de los chips electrónicos a través del análisis teórico y el cálculo numérico de flujo y características de intercambio de calor.”
- “El disipador de calor con forma de árbol de microcanales puede quitar la mayor parte del calor a la misma velocidad de flujo de entrada de aire. La temperatura de chip electrónico enfriada por él es el mínimo y uniforme.”
- “El flujo de calor mínima del fluido es en el centro del canal. El flujo de calor de los fluidos aumenta linealmente con la ubicación y varía desde el centro del canal, que es más de 500%. En comparación con otras estructuras, la temperatura del chip enfriado por árbol como disipador de calor es menor. Pero va a llevar a una mayor caída de presión del flujo que la de paralelo y de estructura reticular, (90 kPa y 97kPa).”

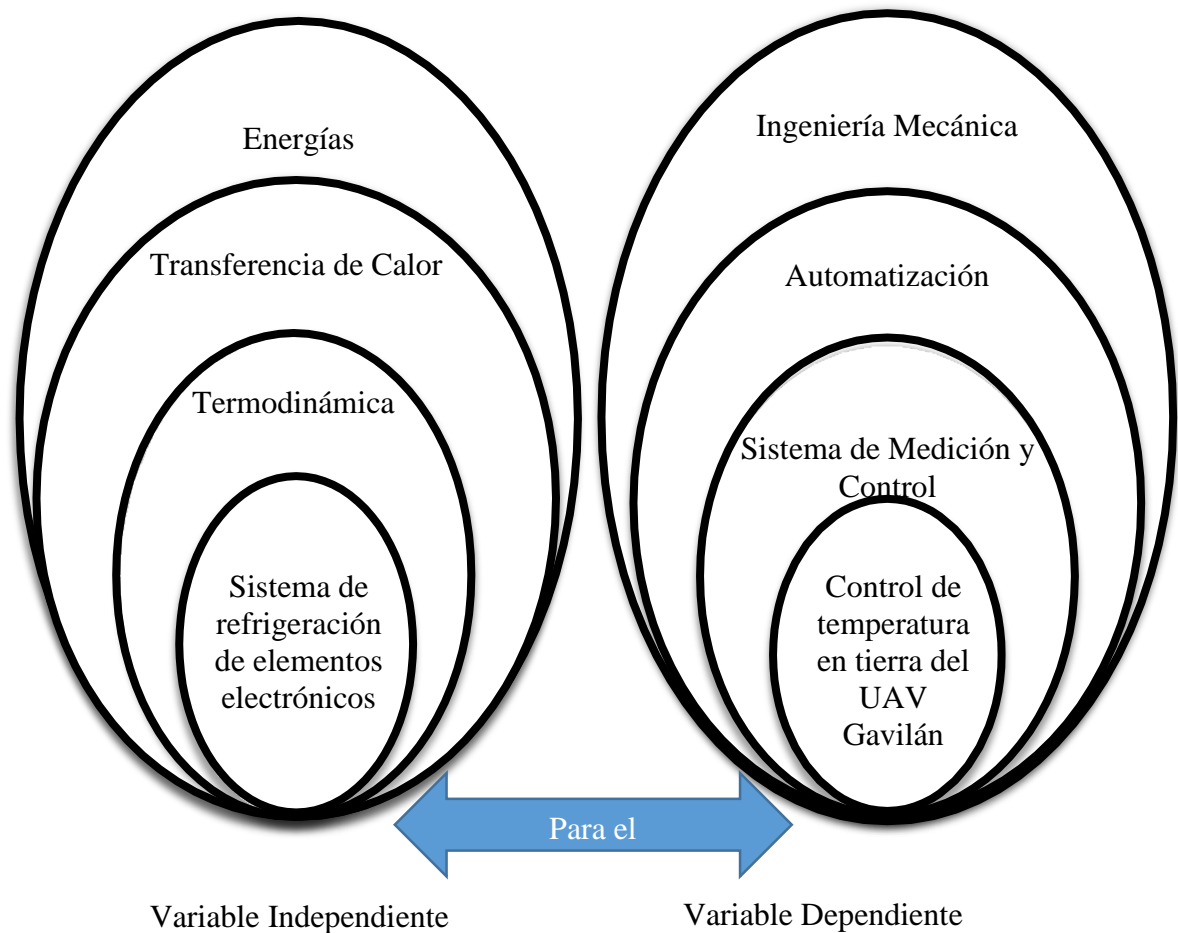
## **2.2 FUNDAMENTACIÓN FILOSÓFICA**

La presente investigación se encuentra ubicada en el paradigma crítico propositivo; crítico porque analiza una realidad de cómo es la refrigeración de los elementos electrónicos sus virtudes y deficiencias que existe cuando el UAV-Gavilán esté en tierra realizando las pruebas de funcionamiento rutinarias y propositivo por cuanto busca plantear una alternativa de solución para mejorar la disipación de calor de los componentes electrónicos existentes en el UAV-Gavilán.

Cabe recalcar que el presente proyecto mejorará la disipación de calor y será móvil a los lugares donde se va a realizar las diferentes misiones que designan al UAV-Gavilán.



## 2.3 CATEGORÍAS FUNDAMENTALES



**Figura 2-1:** Categorías Fundamentales.

**Fuente:** El Autor

## 2.4 FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

Una de las principales áreas de la termodinámica es la refrigeración que es la transferencia de calor de una región de temperatura inferior hacia una temperatura superior. El objetivo básico de la refrigeración es transferir parte del calor de un cuerpo o un espacio hacia un lugar donde ese calor no produzca ningún efecto negativo, de esta manera se logra establecer una temperatura deseada en ese cuerpo o espacio. (Cengel & Boles, Termodinámica, 2012).

### 2.4.1 Refrigeración de componentes Electrónicos.

Todo circuito electrónico al paso de la corriente eléctrica, produce un desprendimiento de calor.

Dicho calor es más elevado cuanto más alta sea la tensión y la velocidad a la que trabaje. La temperatura puede hacer que un dispositivo sea inestable, es decir, que cometa errores en el procesamiento de datos, el calor es producido debido a los millones de transistores que hay en el interior de un micro y la velocidad a la que trabajan, hacen que se calienten en gran medida, lo que obliga a buscar otros medios más eficaces de refrigeración. (Martín M, Ramón, & Manjavacos, 2010).

#### **2.4.1.1 Tipos de refrigeración**

##### **Refrigeración Pasiva por Aire**

Las principales ventajas de la disipación pasiva son su inherente simplicidad pues trata básicamente de una placa de metal con aletas que pueden ser de diferentes configuraciones y longitudes según su aplicación y diseño, su durabilidad es excelente porque carece de piezas móviles por lo cual no produce ruidos de ahí su bajo costo. La mayor desventaja de la disipación pasiva es su habilidad limitada para dispersar grandes cantidades de calor rápidamente consecuencia de la convección natural que produce entre las aletas y el medio. Los disipadores (heatsinks) modernos son incapaces de refrigerar efectivamente CPUs de gama alta, sin ayuda de un ventilador.

##### **Refrigeración Activa por Aire (refrigeración por aire forzado)**

La refrigeración por aire forzado es un complemento del sistema pasivo consiste en adicionar un elemento que acelere el flujo de aire a través de las aletas del heatsink. Este elemento es usualmente un ventilador, en la refrigeración pasiva tiende a suceder que el aire que rodea al disipador se calienta, y su capacidad de evacuar calor del disipador disminuye, aunque por convección natural este aire caliente se mueve, no es efectivo para disipar grandes cantidades de calor, es más eficiente incorporar un mecanismo para forzar un flujo de aire a través de las aletas del disipador, y es exactamente lo que se logra con la refrigeración por aire forzado (**Figura 2-2**). El ventilador colocado sobre el disipador ayudará en la tarea de extraer el aire caliente de las ranuras del disipador haciendo circular este con mayor velocidad (Martín M, Ramón, & Manjavacos, 2010).



**Figura 2-2:** Disipador con ventilador

**Fuente:** (Martín M, Ramón, & Manjavacos, 2010, pág. 130)

### **Refrigeración líquida (Watercooling)**

La refrigeración por agua ha sido considerada una solución para el control de temperatura en CPUs, este sistema busca la mejor ganancia de refrigeración para mejorar el rendimiento de sus sistemas (**Figura 2-3**).

El agua tiene un calor específico más alto y una mejor conductividad térmica que el aire, gracias a lo cual puede transferir calor más rápido y eficientemente a mayores distancias que el aire. Bombeando agua alrededor de un procesador es posible remover grandes cantidades de calor de éste en poco tiempo, para luego ser disipado por un radiador este puede estar ubicado dentro o fuera del equipo electrónico. La principal ventaja de la refrigeración líquida, es su habilidad para enfriar incluso los componentes electrónicos más calientes (Lin, 2008).



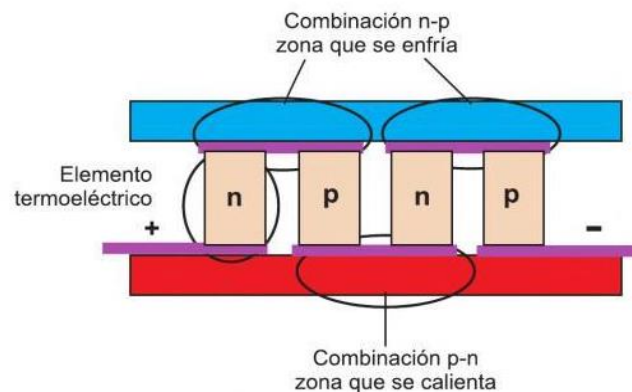
**Figura 2-3:** Refrigeración por Watercooling

**Fuente:** (Lin, 2008)

## Refrigeración Termoeléctrica (Peltier)

El concepto rudimentario de Peltier fue paulatinamente perfeccionado para que fuera un solo bloque con las uniones semiconductoras, que generalmente son en base a Seleniuro de Antimonio y Teluro de bismuto, conectadas por pistas de cobre y dispuestas de tal manera, que transportara el calor desde una de sus caras hacia la otra, haciendo del mecanismo una bomba de calor ya que es capaz de extraer el calor de una determinada superficie y llevarlo hacia su otra cara para disiparlo. Una de las tantas gracias de estos sistemas de refrigeración que se ocupan en todo ámbito generalmente industrial, es que son bastante versátiles, basta con invertir la polaridad para invertir el efecto, la potencia con que enfría es fácilmente modificable dependiendo del voltaje que se le aplique y es bastante amable con el medio ambiente ya que no necesita de gases nocivos como los usados en los refrigeradores industriales para realizar su labor (Cengel & Boles, Termodinámica, 2012).

El uso de refrigeración termoeléctrica por lo general se aplica al ámbito industrial, algunos fabricantes han desarrollado productos que incorporan el elemento Peltier como método para enfriar el procesador de un PC, estas soluciones involucra un fuerte aumento del consumo eléctrico así un peltier es bastante demandante de potencia y no pueden operar por sí solas, pues se hace necesario un sistema que sea capaz de retirar calor de la cara caliente del Peltier. Este sistema complementario suele ser de enfriamiento por aire o por agua que son adicionales, por lo que el aumento de elementos móviles reduce la fiabilidad del sistema.



**Figura 2-4:** Explicación Peltier

**Fuente:** (Martín M, Ramón, & Manjavacos, 2010)

Al hacer circular la corriente, la unión n-p se enfría y la p-n se calienta. Si se hace circular la corriente en dirección inversa, se dará el fenómeno opuesto.

Este componente basa su funcionamiento en una serie de reacciones eléctricas que producen un enfriamiento importante en una cara del componente llegando a temperaturas bajo 0, como contrapunto, en la otra cara se genera un calor directamente proporcional al frío existente en la cara contraria. Esto quiere decir que cuanto más fría esté una cara más calor tenemos en la otra. Del mismo modo, cuando se aplica un Peltier a dos zonas con diferencia de temperatura, se induce una carga entre los terminales, pero eso no es lo que nos preocupa. Dicho esto, resulta evidente que el Peltier se puede usar para enfriar un CPU, incluso a temperaturas bajo 0 (Martín M et al, 2010).



**Figura 2-5:** Célula Peltier para CPU.

**Fuente:** (Martín M et al. 2010)

#### **2.4.1.2 Efecto térmico de la electricidad**

Los conductores y las resistencias se calientan cuando son atravesados por una corriente eléctrica, este efecto es llamado “efecto Joule”. El físico P. James Joule estudio la relación que existe entre la energía y su transformación plena en calor, a base de experimentar con un calorímetro, llegó a la conclusión siguiente 1 Joule equivale a 0,24 calorías.

$$Q = 0,24 E \quad \text{Ec. (2-1)}$$

La energía calorífica desarrollada por una resistencia calefactora o por un conductor cuando es atravesado por una corriente eléctrica tiende a evaluar la temperatura del mismo.

Esta elevación de temperatura depende de varios factores, como son el calor específico de los materiales, su masa, su temperatura, los coeficientes de transmisión por donde se propaga y disipa el calor. El calor específico de una sustancia es la cantidad de calor que se precisa para aumentar la temperatura en 1°C una masa de un gramo. Conocido el calor específico de una sustancia y su masa es posible calcular la cantidad de calor que es necesario aplicar para elevar su temperatura. Para calcular se aplica la ecuación siguiente:

$$Q = m * c * \Delta t^{\circ} \quad \text{Ec. (2-2)}$$

Q = cantidad de calor (calorias)

m = masa (gramos)

c = calor específico(cal/gr°C)

$\Delta t^{\circ}$  = variación de temperatura

(Alcalde San Miguel, 2004, pág. 28).

### 2.4.1.3 Mecanismos de Transmisión de calor

La termodinámica trata de la cantidad de transferencia de calor a medida que un sistema pasa por un proceso de un estado de equilibrio a otro. La energía calorífica generada en un punto se transmite desde las zonas de más altas temperaturas a las bajas por los mecanismos de transferencia de calor estos son los siguientes:

**Conducción:** Es la transferencia de energía de las partículas más energéticas de una sustancia hacia las adyacentes menos energéticas, como resultado de interacciones entre esas partículas. La rapidez de la conducción de calor a través de un medio depende de la configuración geométrica de éste, su espesor y el material, así como la diferencia de temperatura a través de él (Cengel, Transferencia de Calor y Masa, 2011).

$$\text{Razón de conducción del calor} = \frac{(\text{área})(\text{diferencia de temperatura})}{\text{espesor}}$$

$$\dot{Q} = kA \frac{T_1 - T_2}{\Delta x} = -kA \left( \frac{\Delta T}{\Delta x} \right) \quad \text{Ec. (2-3)}$$

**Convección:** el calor de un sólido se transmite mediante la circulación de un fluido que lo rodea y éste lo transporta a otro lugar; a este proceso se le llama convección natural. Si la circulación del fluido está provocada por un medio externo se denomina convección forzada. La transferencia de calor por convección es complicada por el simple hecho de que comprende movimiento del fluido así como conducción de calor, el movimiento del fluido mejora la transferencia de calor ya que se pone en contacto porciones más calientes y más frías de ese fluido, iniciando índices más altos de conducción en un gran número de sitios, por tanto la velocidad de transferencia de calor a través de un fluido es mucho más alta por convección que por conducción, de hecho entre más alta es la velocidad del fluido mayor es la velocidad de transferencia de calor (Cengel, Transferencia de Calor y Masa, 2011).

$$\dot{Q} = hA_s(T_s - T_\infty) \quad (\text{W}) \quad \text{Ec. (2-4)}$$

**Radiación:** el calor se transfiere mediante emisiones electromagnéticas que son irradiadas por cualquier cuerpo cuya temperatura sea mayor que 0 °K. El estado de la superficie influye en gran medida en la cantidad de calor radiado. Las superficies mates son más favorables que las pulidas y los cuerpos negros son los de mayor poder de radiación; por este motivo se efectúa un ennegrecimiento de la superficie radiante.

La transferencia de calor por radiación no se tiene en cuenta puesto que a las temperaturas a las que se trabaja, ésta es prácticamente despreciable (Cengel, Transferencia de Calor y Masa, 2011, págs. 3-29).

$$\dot{Q} = \varepsilon\sigma A_s T_s^4 \quad (\text{W}) \quad \text{Ec. (2-5)}$$

#### 2.4.1.4 Transferencia de Calor desde Superficies con Aletas

La razón de la transferencia de calor desde una superficie que está a una temperatura  $T_s$  hacia el medio circundante que está a  $T_\infty$  se expresa por la ley de Newton del enfriamiento como:

$$\dot{Q} = hA_s(T_s - T_\infty) \quad \text{Ec. (2-6)}$$

Donde  $A_s$  es el área superficial de transferencia de calor y  $h$  es el coeficiente de transferencia de calor por convección.

Cuando las temperaturas  $T_s$  y  $T_\infty$  se fijan por consideraciones de diseño, como con frecuencia es el caso, existen dos maneras de incrementar la razón de la transferencia de calor: aumentar el coeficiente de transferencia de calor por convección,  $h$ , o aumentar el área superficial  $A_s$ . El aumento de  $h$  puede requerir la instalación de una bomba o ventilador, o reemplazar el existente con uno más grande, pero este procedimiento puede no ser práctico o adecuado. La alternativa es aumentar el área superficial al agregar unas superficies extendidas llamadas aletas, hechas de materiales intensamente conductores como el aluminio. Las superficies con aletas se fabrican al extruir, soldar o envolver una delgada lámina metálica sobre una superficie. Las aletas mejoran la transferencia de calor desde una superficie al exponer un área más grande a la convección y la radiación (Cengel, Transferencia de Calor y Masa, 2011).

#### **2.4.1.5 Fuerza de Resistencia al Movimiento y Transferencia de Calor en el Flujo Externo**

En la práctica con frecuencia se tiene flujo de fluidos sobre cuerpos sólidos, y es responsable de numerosos fenómenos físicos como la fuerza de resistencia al movimiento, o arrastre, que actúa sobre los automóviles, las líneas de energía eléctrica, los árboles y las tuberías submarinas; la sustentación desarrollada por las alas de los aviones y el enfriamiento de láminas metálicas o de plástico, de tubos de vapor de agua, y de alambres extruidos. Por lo tanto, es importante el desarrollo de una buena comprensión del flujo externo y de la convección forzada externa en el diseño mecánico y térmico de muchos sistemas de ingeniería, como aviones, automóviles, edificios, componentes electrónicos y álabes de turbinas.

Los campos de flujo y las configuraciones geométricas para la mayor parte de los problemas de flujo externo son demasiado complicados para ser resueltos analíticamente y, por lo tanto, se tiene que confiar en las correlaciones basadas en datos experimentales. La disponibilidad de computadoras de alta velocidad ha hecho que sea posible conducir con rapidez series de “experimentaciones numéricas” mediante la solución de las ecuaciones que rigen el proceso y recurrir a las pruebas y experimentación caras y tardadas sólo en las etapas finales del diseño (Cengel, Transferencia de Calor y Masa, 2011).



La velocidad del fluido en relación con un cuerpo sólido sumergido, suficientemente lejos de éste (fuera de la capa límite) se llama velocidad del flujo libre. Suele tomarse como igual a la velocidad corriente arriba,  $V$ , también llamada velocidad de aproximación, la cual es la velocidad del fluido que se aproxima, lejos y adelante del cuerpo. Esta idealización es casi exacta para cuerpos muy delgados, como una placa plana paralela al flujo, pero aproximada para cuerpos redondos o romos, como un cilindro grande.

La velocidad del fluido va desde cero en la superficie (la condición de no deslizamiento) hasta el valor del flujo libre, lejos de esa superficie, y el subíndice “infinito” sirve como un recordatorio de que se trata del valor a una distancia, donde no se siente la presencia del cuerpo. En general, la velocidad corriente arriba puede variar con el lugar y el tiempo, ejemplo: el viento que sopla de uno a otros lados de un edificio (Cengel, Transferencia de Calor y Masa, 2011).

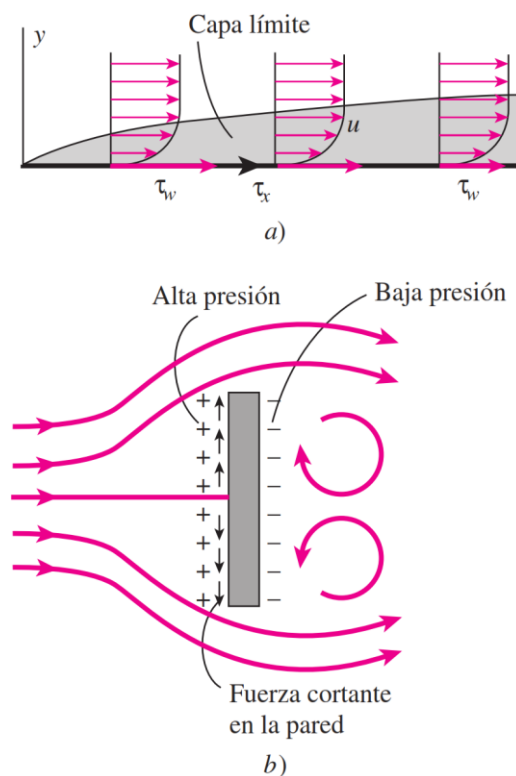
#### **2.4.1.6 Resistencia al movimiento debido a la fricción y la presión**

Es una experiencia común que un cuerpo encuentre alguna resistencia cuando se le fuerza a moverse a través de un fluido, en especial si se trata de un líquido. Puede ser vientos fuertes derribando árboles, líneas de alta tensión e, incluso, remolques, o haya sentido el fuerte “empuje” que ejerce el viento sobre su cuerpo; experimenta la misma sensación cuando extiende su brazo hacia fuera de la ventana de un automóvil en movimiento. La fuerza en la dirección del flujo que ejerce un fluido cuando se desplaza sobre un cuerpo se llama arrastre.

Un fluido en reposo sólo ejerce fuerzas de presión perpendiculares a la superficie de un cuerpo sumergido en él. Sin embargo, un fluido en movimiento también ejerce fuerzas cortantes tangenciales a la superficie debido a la condición de no deslizamiento causada por los efectos viscosos. En general, estas dos fuerzas tienen componentes en la dirección del flujo y, de este modo, la fuerza de resistencia al movimiento se debe a los efectos combinados de la presión y de las fuerzas cortantes sobre la pared en la dirección del flujo. Las componentes de la presión y de las fuerzas cortantes en la pared en la dirección perpendicular al flujo tienden a mover al cuerpo en esa dirección y su suma se llama sustentación (Cengel, Transferencia de Calor y Masa, 2011).

En perpendicularmente a la dirección del flujo, la fuerza de resistencia depende sólo de la presión y es independiente de la fuerza cortante, ya que el esfuerzo cortante en este caso actúa en la dirección normal al flujo (**Figura 2-6**). Para los cuerpos esbeltos, como las alas, la fuerza cortante actúa casi paralelamente a la dirección del flujo.

La fuerza de resistencia para esos cuerpos esbeltos se debe principalmente a fuerzas cortantes (la fricción superficial).general, tanto la fricción superficial (fuerza cortante en la pared) como la presión contribuyen a la fuerza de resistencia y a la sustentación. En el caso especial de una placa plana delgada, alineada paralelamente a la dirección del flujo, la fuerza de resistencia al movimiento depende sólo de la fuerza cortante en la pared y es independiente de la presión. Sin embargo, cuando la placa plana se coloca (Cengel, Transferencia de Calor y Masa, 2011).



**Figura 2-6:** La fuerza de resistencia al movimiento a) paralelo b) perpendicular

**Fuente:** (Cengel, Transferencia de Calor y Masa, 2011)

La fuerza de resistencia al movimiento  $F_D^*$  depende de la densidad  $\rho$  del fluido, la velocidad corriente arriba,  $V$ , y del tamaño, forma y orientación del cuerpo, entre otras cosas.

Las características de resistencia al movimiento de un cuerpo se representan por el coeficiente de resistencia al movimiento, o de arrastre, adimensional  $C_D$  (Coeficiente de resistencia) definido como:

$$C_D = \frac{F_D}{\frac{1}{2}\rho V^2 A} \quad \text{Ec. (2-7)}$$

Donde  $A$  es el área frontal (el área proyectada sobre un plano perpendicular a la dirección del flujo) para los cuerpos no currentilíneos (cuerpos que tienden a bloquear el flujo).

Por ejemplo, el área frontal de un cilindro de diámetro  $D$  y longitud  $L$  es  $A = L \cdot D$ . Para flujo paralelo sobre placas planas o superficies aerodinámicas delgadas,  $A$  es el área superficial. El coeficiente de resistencia al movimiento es principalmente función de la forma del cuerpo, pero también puede depender del número de Reynolds y de la aspereza de la superficie. Los fenómenos que afectan la fuerza de resistencia al movimiento también afectan la transferencia de calor y este efecto aparece en el número de Nusselt. En las ecuaciones de la capa límite los números local y promedio de Nusselt tienen la forma funcional

$$Nu_x = f_1(x^*, Re_x, Pr) \quad \text{y} \quad Nu = f_2(Re_L, Pr) \quad \text{Ec. (2-8)}$$

Los datos experimentales para la transferencia de calor a menudo se representan de manera conveniente con precisión razonable mediante una simple relación de la ley de las potencias de la forma

$$Nu = C Re_L^m Pr^n \quad \text{Ec. (2-9)}$$

Donde  $m$  y  $n$  son exponentes constantes y el valor de la constante  $C$  depende de la configuración geométrica y del flujo.

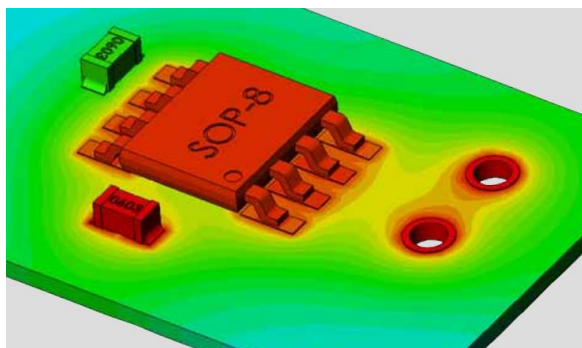
La temperatura del fluido en la capa límite térmica varía desde  $T_s$ , en la superficie, hasta alrededor de  $T_\infty$ , en el borde exterior de esa capa. Las propiedades del fluido también varían con la temperatura y, por consiguiente, con la posición a lo largo de la capa límite. Para tomar en consideración la variación de las propiedades con la temperatura, las propiedades del fluido suelen evaluarse a la llamada temperatura de película (Cengel, Transferencia de Calor y Masa, 2011).

$$T_f = \frac{T_s - T_\infty}{2} \quad \text{Ec. (2-10)}$$

#### 2.4.1.7 Principios del análisis térmico

Según Dassault Systemes (2014) informa que para reducir el costo y el tiempo del desarrollo de productos, el prototipado y las pruebas tradicionales fueron reemplazadas en la última década, en gran parte, por un proceso de diseño basado en la simulación. Este proceso, que reduce la necesidad de crear prototipos físicos mediante procesos largos y costosos, permite a los ingenieros predecir con éxito el rendimiento del producto con modelos informáticos fáciles de modificar.

Las herramientas de verificación del diseño son valiosísimas en el estudio de problemas estructurales como desviaciones, deformaciones, tensiones o frecuencias naturales. Sin embargo, el rendimiento estructural de los nuevos productos sólo es uno de los numerosos cambios que enfrentan los ingenieros de diseño, otros problemas comunes se relacionan con aspectos térmicos, como el sobrecalentamiento, la falta de estabilidad en las cotas, las tensiones térmicas excesivas y otros desafíos relacionados con el flujo de calor y las características térmicas de sus productos. Los problemas térmicos son muy comunes en los productos electrónicos. El diseño de ventiladores de refrigeración y disipadores de calor debe equilibrar la necesidad de lograr un tamaño pequeño con una adecuada extracción del calor. Al mismo tiempo, la ajustada disposición de los componentes debe seguir garantizando un flujo de aire suficiente para evitar la deformación o la rotura de las placas de circuitos impresos bajo una tensión térmica excesiva.



**Figura 2-7:** Análisis térmico de dispositivos electrónicos

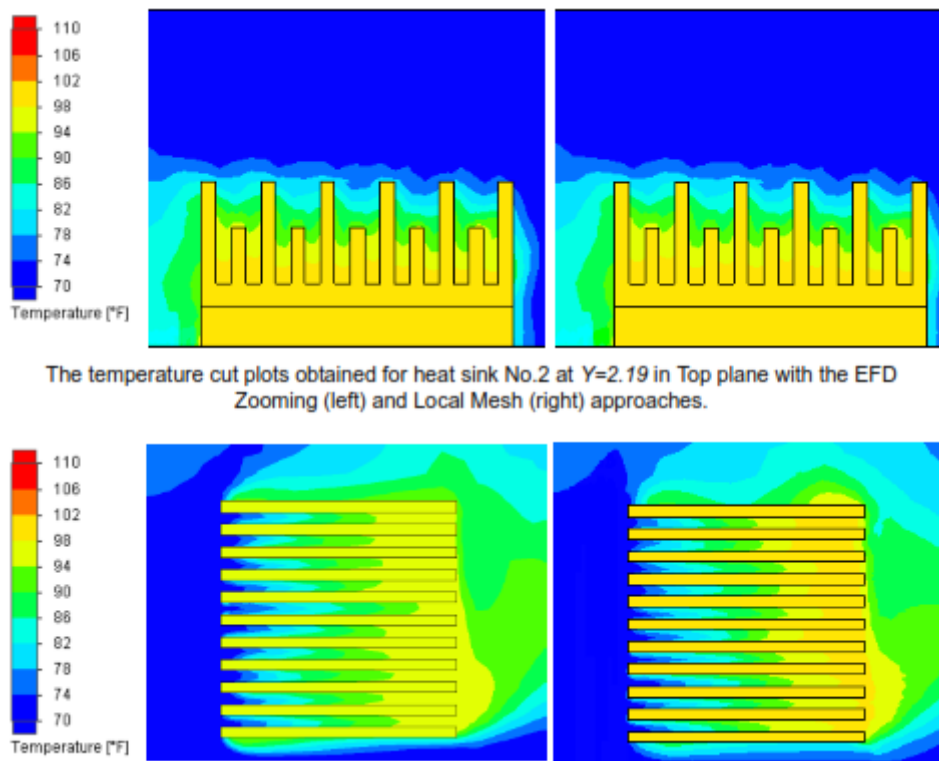
**Fuente:** (Dassault Systemes, 2014)

### 2.4.1.8 Visión general de análisis térmico de fluidos

El análisis térmico de fluidos permite analizar la transferencia de calor conjugada (conducción térmica en sólidos, convección entre fluidos y sólidos, y radiación) con la dinámica de fluidos computacional (CFD) para poder:

- Detectar las zonas activas de los diseños
- Reducir los fenómenos de sobrecalentamiento
- Mejorar el aislamiento térmico
- Aprovechar el rendimiento térmico de los productos

(Dassault Systemes, 2014).



**Figura 2-8:** Visión general del análisis térmico por CFD

**Fuente:** Tutorial Solidworks Flow Simulation 2013

Según Orrego, Santiago (2009) con la utilización de la CFD es posible construir un modelo computacional que represente un sistema que quiera analizar, después se especifican las condiciones físicas y químicas del fluido al prototipo virtual y el software entregará la predicción de la dinámica del fluido por lo tanto, la herramienta CFD ofrece la capacidad de simular flujos de gases, líquidos, transferencia de masa y calor, cuerpos en movimiento, física multifases, reacciones químicas, interacción fluido-estructura y acústica a través de la modelación en el computador, la CFD es una técnica de diseño y análisis implementada en los ordenadores. Las posibilidades de aplicación de la CFD a distintos procesos son enormes:

- Sistemas de calefacción, ventilación, climatización y refrigeración
- Aeroespacial/Defensa: perfiles de alas, misiles y estudios de aerodinámica externa
- Industria agroalimentaria: procesado y envasado de alimentos, diseño de equipos
- Industria automoción: aerodinámica, combustión en motores, componentes
- Energía: petróleo, gas, nuclear, generación eléctrica, turbo maquinaria, células de combustible
- Industria química: combustión, filtración, mezcla, separadores, reactores
- Industria electrónica: semiconductores, enfriamiento de elementos
- Industria naval.
- Industrias del metal.
- Medio ambiente.
- Control de polvos.

El uso de la herramienta computacional CFD permite virtualmente conocer el comportamiento del funcionamiento interior, existen diversos fenómenos que se pueden probar a través de CFD, que no se puedan evaluar mediante ningún otro

método, si cuenta con un diseño de un sistema el cual presenta dificultades de realizar pruebas experimentales para comprobar y verificar el diseño, el CFD ofrece un conocimiento interno más detallado de los diseños, las principales ventajas que tiene el uso de la herramienta CFD son:

- Ayuda al diseño y al prototipaje y soluciones rápidas evitando costosos experimentos.
- Predice las propiedades del fluido con gran detalle en el dominio estudiado.
- Se obtiene una visualización y animación del proceso en términos de las variables del fluido.

### **Metodología - El trabajo con CFD**

Una simulación numérica está compuesta por 3 etapas: pre-procesamiento, procesamiento y pos-procesamiento. Durante la etapa de pre procesamiento se genera la geometría, el enmallado y configuración de la simulación. Durante la etapa de procesamiento se resuelven numéricamente las ecuaciones fundamentales y la etapa de pos procesamiento está definida por la visualización y análisis de resultados. Una simulación CFD comienza con la modelación geométrica CAD del dominio a analizar, este dominio representa el fluido sobre el cual se quiere tener información, analizar y predecir el comportamiento.

Una vez se tenga el dominio computacional o modelo CAD del fluido, éste se discretiza o divide espacialmente en celdas para formar una malla o grilla. Las mallas pueden ser regulares, definidos por celdas en formas de triángulos (2D) o en tetraedros (3D), o pueden ser regulares definidos por celdas en formas de cuadrado (2D) o hexaedros (3D). Las propiedades físicas del fluido, tales como temperatura o velocidad, son calculadas en cada uno de estos volúmenes como solución de las ecuaciones fundamentales.

Luego de dividir el modelo geométrico en celdas se procede a generar la configuración de la simulación. Esto representa establecer materiales, velocidades en el contorno de la geometría, etc. Una vez culminada la etapa de pre procesamiento continúa la etapa de solución de las ecuaciones.

Los tiempos de cómputo obedecen de varios factores: número de elementos, especificaciones del equipo usado, configuración de la simulación. Posterior a la solución se procede a analizar los resultados, sacar conclusiones y por lo general a volver a correr otra simulación (Orrego, 2009).

#### **2.4.1.9 Ventilación Forzada**

Cuando la resistencia térmica obtenida en el cálculo es muy baja, se puede elegir entre pocos radiadores, puesto que son pocos los que hay en el mercado que ofrecen una resistencia térmica inferior a 0,5-0,6 °C/W. Estos son los casos en los que se utiliza un ventilador, el cual es capaz de reducir la resistencia térmica equivalente. Los sistemas de convección forzada por aire pueden aumentar diez veces la evacuación de calor respecto a la convección natural y los sistemas de refrigeración líquida podrán evacuar hasta diez veces más calor que los de aire forzado. La mejora de refrigeración tiene los inconvenientes de aumento del coste, potencia, ruido y complejidad. Como un sistema sencillo es en general un sistema más fiable, la evacuación de calor por convección natural y radiación (mediante disipador) debe utilizarse siempre que sea posible (Trujillo, Pozo, & Triviño , 2011).

Para la convección forzada se dispone de ventiladores axiales de baja presión o soplantes centrífugos de alta presión diseñados especialmente para su acople mecánico a los perfiles de los disipadores. Para valorar en términos numéricos la reducción de la resistencia térmica es absolutamente necesario conocer un dato que nos proporciona el fabricante del ventilador; este es el aire que es capaz de mover el ventilador por unidad de tiempo [litros/segundo] (Trujillo et al, 2011).

#### **Funcionamiento de un ventilador**

Un ventilador es una máquina rotatoria que posee un impulsor o alabes, que ejercen una fuerza sobre un fluido (aire o gas), lo cual se traduce en un movimiento continuo aumentando su presión, pero sin cambiar su densidad. Es importante destacar que el movimiento del fluido es continuo y no pulsante, como es el caso de otras máquinas rotatorias. Por otro lado, el aumento de presión debido a un ventilador es considerado bajo o moderado, no como el caso de los compresores, donde esta última es comparativamente más alta.



Según American Conference of Governmental Industrial, Inc (1992) un sistema de ventilación puede ser muy simple o muy complicado. Un sistema simple puede corresponder a un ventilador con ductos a la entrada y a la salida. Un sistema un poco más complicado puede incluir, aparte del ventilador, ductos, dampers de control, filtros, serpentines, silenciadores, difusores, etc. El ventilador es el componente que suministra la energía al fluido para vencer la resistencia que ejercen los componentes del sistema.

#### **2.4.1.10 Caudal del ventilador**

El caudal ( $Q_v$ ) de un ventilador, es la cantidad de aire que éste puede desplazar por unidad de tiempo, habitualmente se expresa en  $m^3/h$  o C.F.M. ( $1\text{C.F.M} = 1,7 m^3/h$ ).

En las características técnicas, se refleja el caudal máximo del ventilador a descarga libre, sin ningún tipo de pérdida de carga.

$$Q_v = v * s \text{ (m}^3\text{/h)} \quad \text{Ec. (2-11)}$$

Donde  $v$  es la velocidad;  $s$  es el área de la sección y  $Q_v$  caudal volumétrico.

#### **2.4.1.11 Presión del ventilador**

Es el valor de la fuerza que ejerce el ventilador para vencer las pérdidas de carga de una instalación de ventilación.

La presión estática (PE) se define como la presión que tiende a hinchar o colapsar el conducto, y se expresa en milímetros de columna de agua (mmcda), normalmente se mide con un manómetro de columna de agua, de ahí las unidades empleadas. La presión estática puede ser positiva o negativa con respecto a la presión atmosférica local, pero debe medirse perpendicularmente a la dirección del flujo de aire.

La presión dinámica (PD) se define como la presión requerida para acelerar el aire desde velocidad cero hasta una cierta velocidad ( $V$ ), y es proporcional a la energía cinética de la corriente de aire. La relación entre  $PD$  y  $V$  viene dada por:

$$V = 4,43 \sqrt{\frac{PD}{d}} \quad \text{Ec. (2-12)}$$

Si se supone que el aire se encuentra en condiciones standard, la ecuación anterior se reduce a:

$$V = 4,43 \sqrt{PD} \quad \text{Ec. (2-13)}$$

#### 2.4.1.12 Pérdida de carga en conductos

Existen dos componentes de la pérdida global de presión total en un tramo de conducto: 1) pérdida de carga en los tramos rectos y 2) pérdida de carga en los puntos singulares [codos, uniones, etc.].

**Pérdida de carga en tramos rectos:** La pérdida de carga en los tramos rectos es una función compleja de la velocidad del aire, del diámetro del conducto, de la densidad y viscosidad del aire, y de la rugosidad superficial del conducto. Los efectos de la velocidad, diámetro, densidad y viscosidad se combinan en el número de Reynolds (Re), que se define como:

$$\text{Re} = \frac{dVD}{\mu} \quad \text{Ec. (2-14)}$$

Donde:

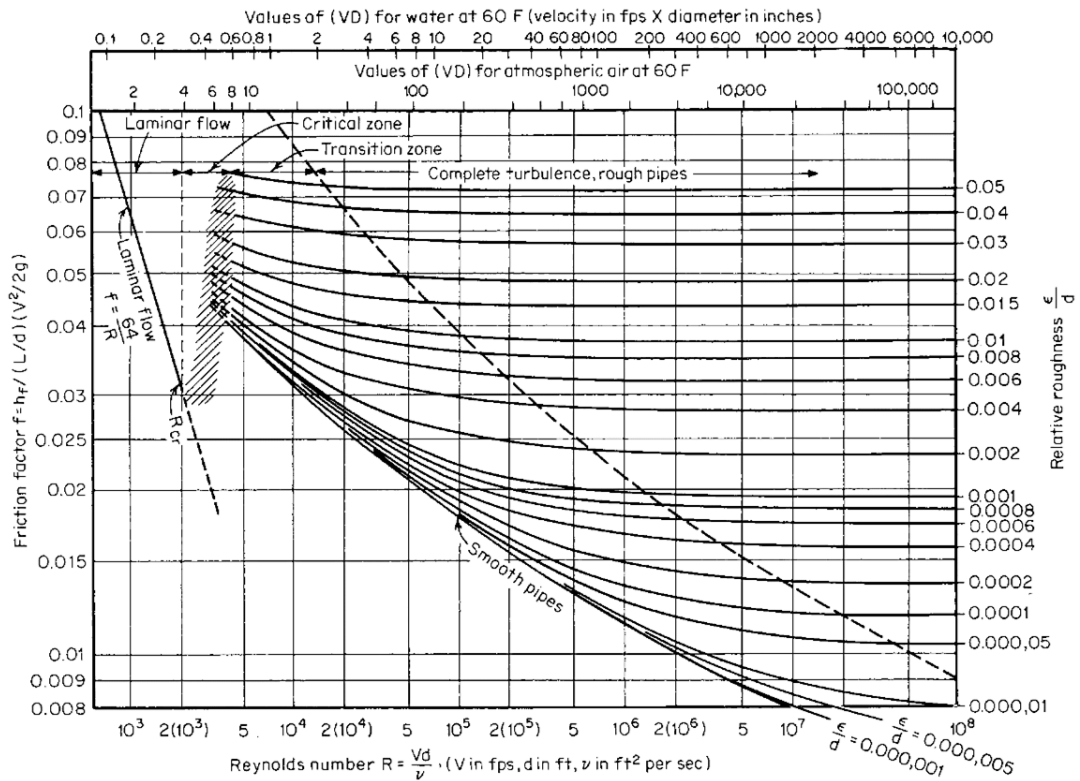
d = densidad, kg/m<sup>3</sup>

D = diámetro, m

V = velocidad, m/s

μ = viscosidad, kg/m s

El efecto de la rugosidad superficial se da usualmente mediante la rugosidad relativa, que es el cociente entre la altura absoluta de las rugosidades (ε), definida como la altura media de las rugosidades para un material determinado, y el diámetro del conducto. Mediante el diagrama de Moody; si se conoce el número de Reynolds y la rugosidad relativa, es posible hallar el factor de fricción (f) (Goberna, 1992).



**Figura 2-9:** Diagrama de Moody

**Fuente:** (Avallone & Baumeister III, 1996)

Una vez determinado, el factor de fricción se utiliza en la ecuación del factor de fricción de Darcy-Weisbach a fin de determinar la pérdida de carga global en el tramo:

$$h = f \frac{L}{D} PD \quad \text{Ec. (2-15)}$$

Donde:

$h$  = pérdida de carga en el conducto, mmca

$f$  = factor de fricción del diagrama de Moody, adimensional

$L$  = longitud del tramo, m

$D$  = diámetro del conducto, m

$PD$  = presión dinámica, mmca

#### **2.4.1.13 Pérdida de carga en puntos singulares:**

Los puntos singulares (codos, uniones, etc.) de un conducto también producen una pérdida de presión total. Estas pérdidas se calculan mediante uno de los dos siguientes métodos: 1) el método de la presión dinámica y 2) el método de la longitud equivalente.

En el método de la presión dinámica, las pérdidas de los puntos singulares vienen dadas por un coeficiente de pérdida (F) multiplicado por la presión dinámica en el conducto. Así,

$$h_p = F P_D \quad \text{Ec. (2-16)}$$

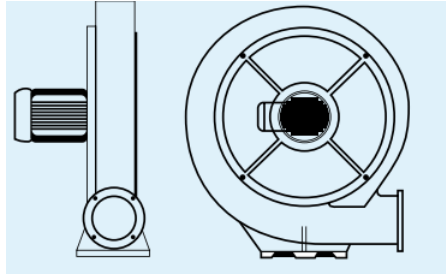
En el método de la longitud equivalente se considera que el punto singular es equivalente a una cierta longitud de conducto recto que produciría la misma pérdida de carga que él. Esta pérdida es función del tamaño del conducto y de la presión dinámica. (Goberna, 1992).

#### **2.4.1.14 Clasificación de los ventiladores**

Para Salvador Escoda S.A., (2008) los ventiladores, denominados así de una forma amplia para todas sus concepciones, pueden clasificarse de formas muy diferentes, siendo la más común la siguiente:

##### **Según la trayectoria del aire en el ventilador:**

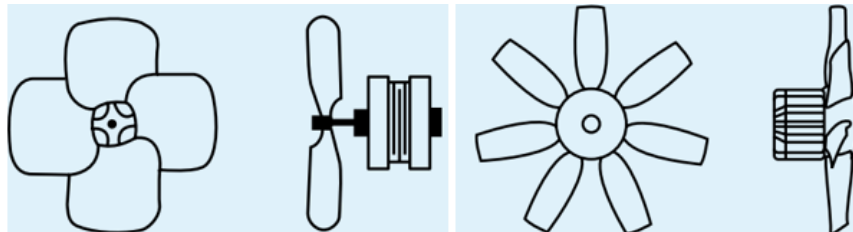
**1. Ventiladores centrífugos:** El aire entra al centro del rotor, también llamado impulsos; y es lanzado hacia afuera por las aspas giratorias, por lo tanto agrega energía cinética. El gas a alta velocidad se colecta por la voluta que rodea al rotor, donde la energía cinética se convierte en una presión de gas aumentada para entregarse a través de un sistema de ductos para su uso posterior, la dirección de salida es perpendicular (Figura 2-10).



**Figura 2-10:** Ventilador Centrífugo

**Fuente:** (Salvador Escoda S.A., 2008)

**2. Ventiladores axiales:** En los cuales el aire entra y sale de la hélice con trayectorias a lo largo de superficies cilíndricas coaxiales al ventilador. Las hélices de los ventiladores axiales pueden ser de dos tipos: (Perfil delgado, Perfil sustentador, Figura 2-11).



**Figura 2-11:** Hélice axial del perfil delgado y perfil sustentador respectivamente

**Fuente:** (Salvador Escoda S.A., 2008)

**Según la presión del ventilador:**

- **Baja presión:** Cuando la presión del ventilador es inferior a 52 mm c.d.a.
- **Mediana presión:** Cuando la presión del ventilador está comprendida entre 72 y 360 mm c.d.a.
- **Alta presión:** Cuando la presión del ventilador es superior a 360 mm c.d.a.

#### **2.4.1.15 Flujo de aire en ductos**

Para Mott, Robert, (2006) los ventiladores o sopladores son responsables del movimiento del aire pueden describirse como dispositivos de alto volumen y baja presión. Se requiere un conocimiento de las presiones en el sistema de ductos para adaptar en forma apropiada un ventilador a un sistema dado, para asegurar la entrega de una cantidad adecuada de aire, y para equilibrar el flujo en varias partes del sistema.

El radio hidráulico del ducto rectangular puede utilizarse para caracterizar su medida. Cuando se llevan a cabo las sustituciones necesarias del radio hidráulico para el diámetro en relaciones para velocidad, número de Reynolds, rugosidad relativa y el correspondiente factor de fricción.

### **Pérdida de energía en el sistema**

Debido a que los detalles de construcción de los distintos medidores son muy diferentes, producen cantidades de pérdida de energía diferentes conforme el fluido pasa a través de ellos. En los sistemas de ductos hay dos clases de pérdidas de energía que hacen que la presión caiga a lo largo de la trayectoria del flujo. Las pérdidas por fricción ocurren conforme el aire pasa a través de secciones rectas, mientras que las pérdidas dinámicas suceden cuando pasa a través de acoplamientos, como tes (T) y yes (Y), y a través de dispositivos para controlar el flujo. Se estiman las pérdidas por fricción por medio de la ecuación de Darcy, para el flujo de líquidos. Sin embargo la American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers (ASHRAE) ha preparado gráficas especiales para las condiciones comunes que se encuentran en el diseño de ductos, en la **Figura 2-12: Pérdida por fricción en ductos unidades SI.**, muestran la pérdida  $h_L$  como función del flujo volumétrico, con dos conjuntos de líneas diagonales que muestran el diámetro de ductos circulares y la velocidad del flujo.

El símbolo  $h_L$  empleamos para indicar la pérdida por fricción por metro de ducto, por lo que la pérdida total de energía para una longitud específica de ducto se le denomina  $H_L$  y se encuentra por medio de:

$$H_L = h_L(L) [Pa] \quad \text{Ec. (2-17)}$$

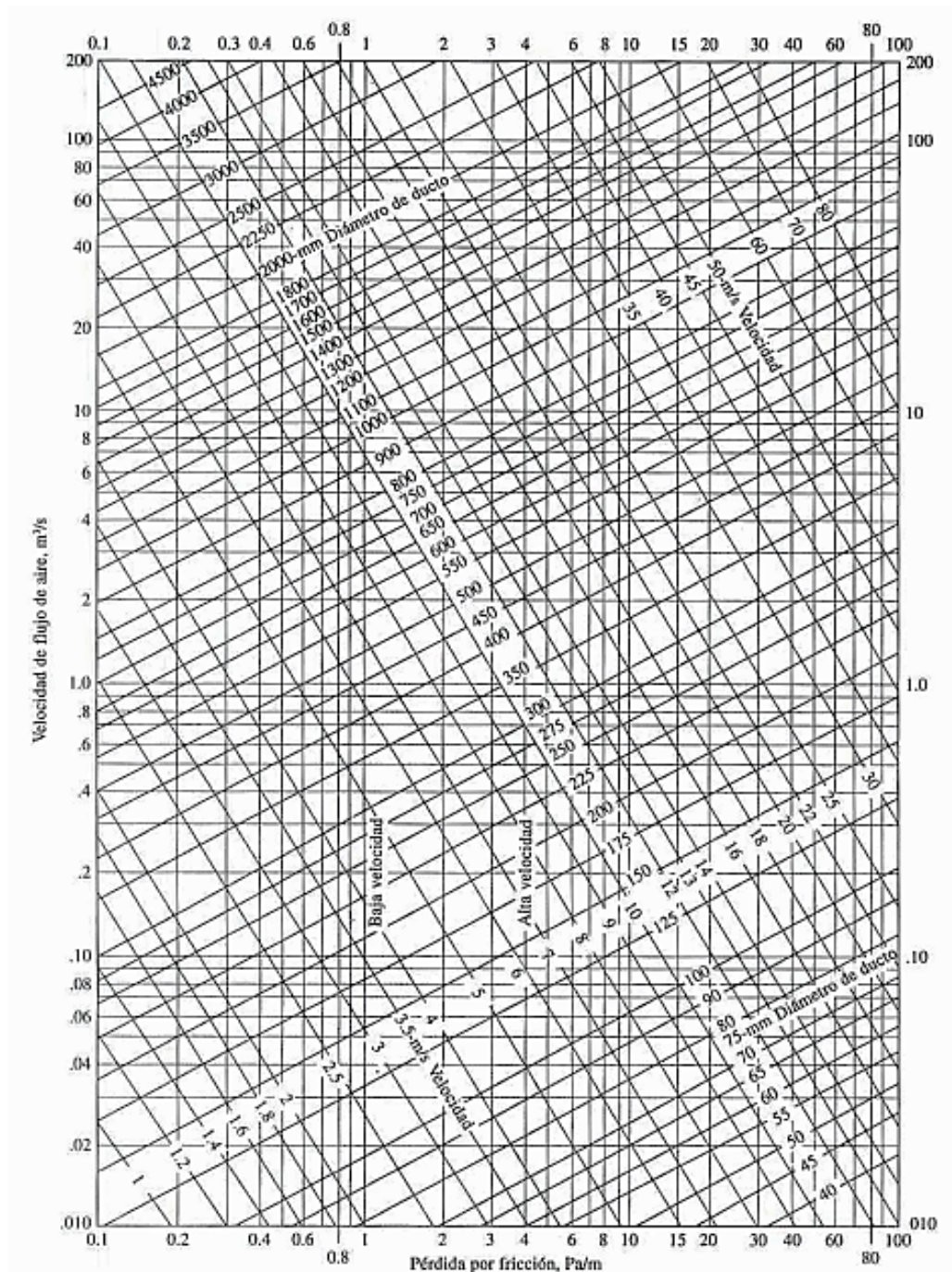
Las pérdidas dinámicas se estiman con los datos publicados de coeficientes de pérdida del aire que fluye a través de ciertos acoplamientos, los fabricantes de dispositivos especiales para manejar aire publican gran cantidad de datos acerca de las caídas de presión esperadas. La pérdida dinámica de un acoplamiento se calcula con:

$$H_L = C(H_v) \quad \text{Ec. (2-18)}$$

Donde  $C$  es el coeficiente de pérdida,  $H_v$  es la presión de velocidad o carga de velocidad. Para unidades SI la carga de velocidad  $H_v$  se obtiene:

$$H_v = \frac{\gamma_a v^2}{2g} = \left(\frac{v}{1,289}\right)^2 [Pa] \quad \text{Ec. (2-19)}$$

Donde  $v$  se expresa m/s y se maneja las condiciones de aire estándar (Mott, 2006).



**Figura 2-12:** Pérdida por fricción en ductos unidades SI.

**Fuente:** ASHRAE Handbook: 1981, citado por (Robert Mott. Mecánica de Fluidos)

#### **2.4.1.16 Diseño de ductos**

Los diseñadores de sistemas para distribuir aire emplean las técnicas siguientes:

**Método de la fricción igual:** Utiliza la Figura 2-12: Pérdida por fricción en ductos unidades SI., para especificar una variación uniforme de la pérdida por fricción por unidad de longitud (Mott, 2006).

#### **2.4.1.17 Procedimiento general para diseñar ductos de aire con el método de la fricción igual**

1. Generar una distribución propuesta del sistema de distribución de aire:
  - a. Determinar el flujo de aire que se desea en cada espacio acondicionado (CFM o  $\text{m}^3/\text{s}$ ).
  - b. Especificar la ubicación del ventilador.
  - c. Especificar la localización de la entrada de aire del exterior.
2. Para el ducto de la toma y el ducto de salida del ventilador, determinar el requerimiento total del flujo de aire como la suma de todos los flujos de aire que se llevan a los espacios acondicionados.
3. Especificar la pérdida de fricción nominal Pa/m.
4. Especificar la velocidad nominal del flujo para cada parte del sistema de ductos
5. Especificar el tamaño y forma de cada parte del sistema de ductos.
6. Calcular las pérdidas de energía para cada trayectoria, de la salida del ventilador a cada rejilla de distribución.
7. Calcular la pérdida total de energía que es la suma de las pérdidas en todas las trayectorias.
8. Determinar la presión en la entrada y salida del ventilador, así como la elevación total de presión a través del ventilador.

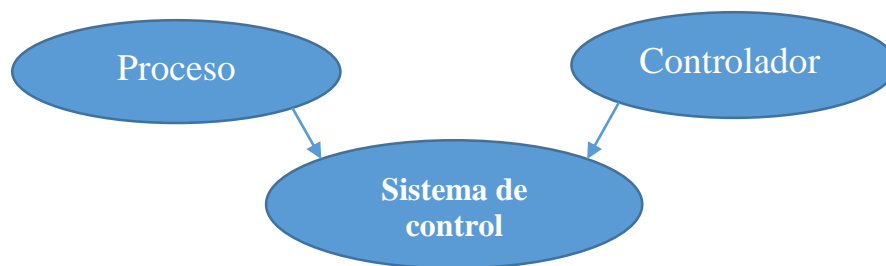


9. Especificar un ventilador que entregue el flujo total de aire con dicho aumento de presión (Mott, 2006).

#### 2.4.2 Sistema de medición y control

La determinación de la evolución de la variable de control es calculada por un controlador o regulador, el conjunto constituido por el proceso y el regulador se denomina sistema de control.

Un sistema automático de control es un conjunto de componentes físicos conectados o relacionados entre sí, de manera que regulen o dirijan su actuación por sí mismos, es decir sin intervención de agentes exteriores incluido el factor humano, corrigiendo además los posibles errores que se presenten en su funcionamiento. (Bolzern, Scattolini, & Schiavoni, 2013)

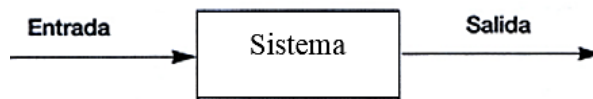


**Figura 2-13:** Sistema de Control.

**Fuente:** (Bolzern, Scattolini, & Schiavoni, 2013)

En la Figura 2-14, se muestra la forma gráfica más elemental de representar un sistema. En dicha figura aparecen tres elementos:

- La variable física de la entrada, que se representa con una flecha apuntando al sistema.
- La variable física de la salida, que es la flecha dirigida del sistema al exterior.
- El propio sistema o “caja negra” del que se desconoce su funcionamiento interno.



**Figura 2-14:** Diagrama de un sistema cualquiera

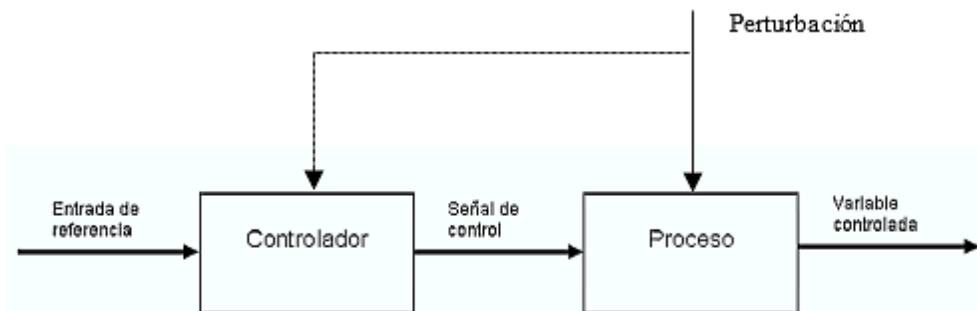
**Fuente:** (Bolzern, Scattolini, & Schiavoni, 2013)

### 2.4.2.1 Clasificación de los sistemas de control

Los sistemas de control se clasifican en sistemas de lazo abierto y lazo cerrado.

#### Control en lazo abierto

Un sistema de control en lazo o bucle abierto es aquel en el que la señal de salida no influye sobre la señal de entrada. La exactitud de estos sistemas depende de su calibración, de manera que al calibrar se establece una relación entre la entrada y la salida con el fin de obtener del sistema la exactitud deseada (Bolzern, Scattolini, & Schiavoni, 2013).



**Figura 2-15:** Sistema de control lazo Abierto.

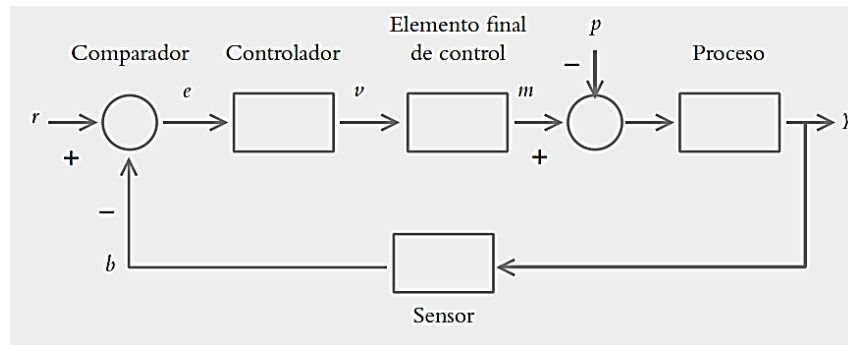
**Fuente:** (Bolzern, Scattolini, & Schiavoni, 2013)

#### Control de Lazo Cerrado

La estructura en lazo cerrado tiene un papel crucial en la resolución de problemas de control. Un sistema de control de lazo cerrado es aquel en el que la acción de control es, en cierto modo, dependiente de la salida (Figura 2-16).

La señal de salida influye en la entrada. Para esto es necesaria que la entrada sea modificada en cada instante en función de la salida esto se consigue por medio de lo que llamamos realimentación o retroalimentación, la realimentación es la

propiedad de un sistema en lazo cerrado por la cual la salida o cualquier otra variable del sistema que esté controlada se compara con la entrada del sistema, o una de sus entradas, de manera que la acción de control se establezca como una función de ambas (Hernández Gaviño, 2010).



**Figura 2-16:** Control en lazo Cerrado.

**Fuente:** (Hernández Gaviño, 2010)

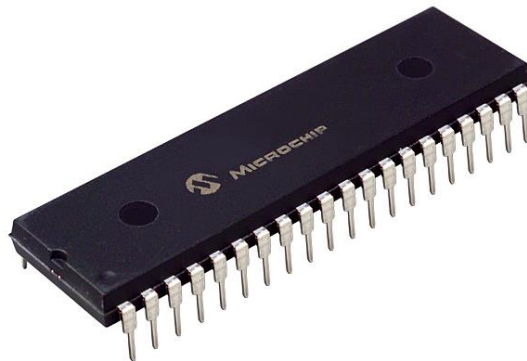
#### **Variables de figura anterior:**

- $r(t)$  = Entrada de referencia.
- $e(t)$  = Señal de error.
- $v(t)$  = Variable regulada.
- $m(t)$  = Variable manipulada.
- $p(t)$  = Señal de perturbación.
- $y(t)$  = Variable controlada.
- $b(t)$  = Variable de retroalimentación como resultado de haber detectado la variable controlada por medio del sensor.

#### **2.4.2.2 Microcontrolador**

Para Users (2011) los microcontroladores son una pequeña computadora inyectada en un chip. Están diseñados, principalmente, para el control industrial y no para el procesamiento de grandes cantidades de datos, su principal ventaja radica en la alta inmunidad al ruido, el bajo costo y la reducción de espacio. Los microcontroladores, produjeron la revolución microcontrolada, que desplazó a toda la lógica cableada (utilizada en la electrónica industrial) y a la lógica programada (realizada con microprocesadores).

Es en este campo donde se los bautizó con el nombre de microcontroladores y se desechó el de microcomputadores.



**Figura 2-17:** Microcontrolador

**Fuente:** (Users, 2011)

Está compuesto de varios bloques funcionales, los cuales cumplen una tarea específica, sus partes principales son:

- **Memoria ROM** (Memoria de sólo lectura).
- **Memoria RAM** (Memoria de acceso aleatorio).
- **Líneas de entrada/salida (I/O)** También llamados puertos.
- **Lógica de control** Coordina la interacción entre los demás bloques.

Estas son las funciones especiales de las cuales disponen algunos micros:

**Convertidores análogo a digital (A/D).**- es un dispositivo electrónico capaz de convertir una señal analógica de voltaje en una señal digital con un valor binario, en caso de que se requiera medir señales analógicas, por ejemplo temperatura, voltaje, luminosidad, etc.

**Temporizadores programables (Timer's).**- Si se requiere medir períodos de tiempo entre eventos, generar temporizaciones o salidas con frecuencia específica, etc.

**Memoria EEPROM.**- Para desarrollar una aplicación donde los datos no se alteren a pesar de quitar la alimentación, que es un tipo de memoria ROM que se puede programar o borrar eléctricamente sin necesidad de circuitos especiales.

**Memorias FLASH.-** Posee las mismas características que la EEPROM, pero ésta tiene menor consumo de energía y mayor capacidad de almacenamiento, por ello está sustituyendo a la memoria EEPROM (Corrales V, 2006).

### **Ventajas del uso de un Microcontrolador**

- Aumento de prestaciones, lo que implica un mayor control sobre un determinado elemento representa una mejora considerable en el mismo.
- Aumento de la fiabilidad, lo que implica un menor riesgo de averías y menos ajustes.
- Disminución del tamaño del producto, con un menor volumen, mano de obra y stocks.
- Disminución del coste del producto.

### **Factores a considerar según la aplicación en la que se va a emplear de un microcontrolador.**

Al momento de seleccionar un micro controlador se debe estimar los siguientes ítems:

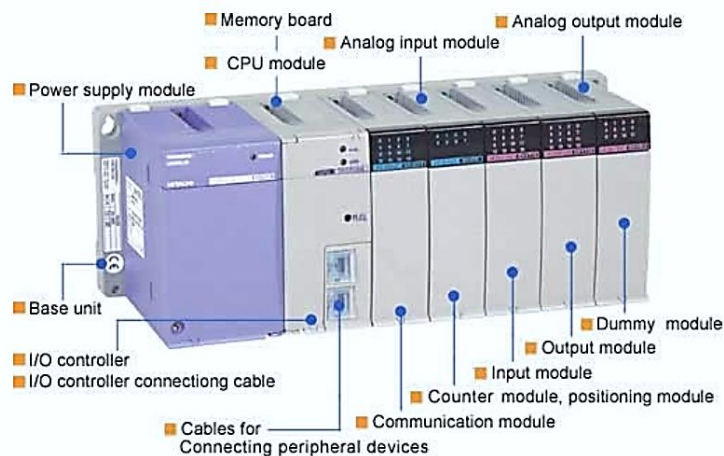
- Elección de la familia (depende del fabricante)
- Experiencia previa.
- Documentación (datasheet).
- Herramientas de desarrollo y precio.
- Disponibilidad.

### **Elección de un modelo de microcontrolador**

- E/S y recursos internos.
- Consumo y velocidad.
- Memoria.
- Diseño de la placa.

### 2.4.2.3 Controladores Lógicos Programables.

Dahl-Skog (2012) informa que un Controlador Lógico Programable, o PLC (Programmable Logic Controller) es un computador especialmente diseñado para automatización industrial, para el control de una máquina o proceso industrial. A diferencia de un computador tradicional, un PLC no tiene teclado, pantalla ni ratón, tampoco tienen disco duro ni Windows. Pero internamente si es un computador, con su hardware: procesadores, memoria, puertos de comunicación, etc. y con su software: un sistema operativo (que le llaman Firmware), y una programación, específica para la aplicación o el caso particular en que se está usando. La principal diferencia entre un PC y un PLC, es que el PLC contienen múltiples canales para medir distintas señales provenientes de sensores instalados en la maquina o proceso que controlan, también tienen canales de salida de señal que actúan sobre la máquina o proceso que controlan.



**Figura 2-18:** Esquema y partes básicas del PLC

**Fuente:** (Dahl-Skog, 2012)

### Programación de un PLC

Un programa de computadora es un conjunto de instrucciones que producirán la ejecución de una determinada tarea. En esencia, un programa es una respuesta predeterminada, a todas las posibles combinaciones de estados de la información que recibe. El proceso de programación de un PLC es, por consiguiente, un proceso, en cuyo desarrollo se requieren cada una de los siguientes pasos:

- Definición y análisis del problema. Este es el paso más importante a tener claro lo que se necesita, este análisis debería incluir el resultado de un HAZOP. ¿Qué resultados debe proporcionar el sistema? Que salidas, sobre que debe actuar. ¿Qué datos se necesitan para determinar el resultado? Que debe medir o vigilar (Entradas) ¿Cómo debe reaccionar ante perdida de información? Como debe reaccionar si no puede medir variables que necesita vigilar. ¿Cómo debe reaccionar ante fallas de sí mismo? Capacidad de auto diagnóstico.
- Definición de la arquitectura del hardware necesario (entradas/salidas, redundancia, auto diagnóstico, etc.)
- Diseño de los algoritmos.
- Programación del código, en los lenguajes de programación.
- Depuración y verificación del programa (pruebas efectivas).

#### 2.4.2.4 Controladores de temperatura digital

Los controladores de temperatura, se usan en un nivel industrial, es la herramienta importante para el control de temperatura y la obtención de los resultados deseados en las industrias. Los controladores de temperatura, ofrecen un rápido ajuste y proporcionan una gestión de temperatura precisa y así también el control para una variedad de aplicaciones. Estos dispositivos son fiables, son precisos en cuanto a resolución de entrada y de salida de corriente, las comunicaciones son mejores ya que la velocidad de respuesta es alta.



**Figura 2-19:** Controlador de temperatura OMRON

**Fuente:** Catalogo (Omron)

### **Display claro y fácil de comprender**

Estos controladores disponen de un display LCD grande con retroiluminación que ofrece lecturas mejores y más nítidas, y que facilita la lectura desde todos los ángulos y distancias en cualquier condición de iluminación.

La visualización de la temperatura (PV) de tres colores se puede programar para indicar una alarma o una desviación predefinida con respecto a la consigna (SV) y se acompaña con un cambio correspondiente en el color del display de la temperatura entre rojo, verde o naranja.

### **Flexibilidad de uso**

- Máxima seguridad de aplicación gracias a la protección con contraseña y los menús personalizables.
- Operaciones lógicas para combinar cualquier indicador interno, estado o alarma en una operación lógica.
- A cualquier salida física se le puede asignar cualquier función lógica, de control o alarma disponible.
- Visibilidad excelente, en todas las condiciones de iluminación, gracias al display LCD con un amplio ángulo de visión.
- Reconocimiento de estado intuitivo gracias a la visualización de la temperatura con cambio de 3 colores (Omron).

#### **2.4.2.5 Medida de Temperatura**

La medida de la temperatura es una de las más importantes que se efectúan en los procesos industriales casi todos los fenómenos físicos están afectados por ella.

**Sensores de temperatura.-** Una de las variables susceptibles de medición más comunes en los procesos industriales es la temperatura. A tal efecto se utilizan los



termistores, detectores de temperatura resistivos, termopares y circuitos integrados específicos.

#### 2.4.2.6 Termo resistencias (RTD)

Para Creus Sole, (2006) la medida de temperatura utilizando sondas de resistencia depende de la variación de resistencia en función de la temperatura, que es propia del elemento de detección. El elemento consiste, usualmente, en un arrollamiento de hilo muy fino del conductor adecuado bobinado entre capas de material aislante y protegido con un revestimiento de vidrio o de cerámica. El material que forma el conductor se caracteriza por el llamado "coeficiente de temperatura de resistencia" que expresa, a una temperatura especificada, la variación de la resistencia en ohmios del conductor por cada grado que cambia su temperatura.

La relación entre estos factores puede verse en la siguiente expresión lineal:

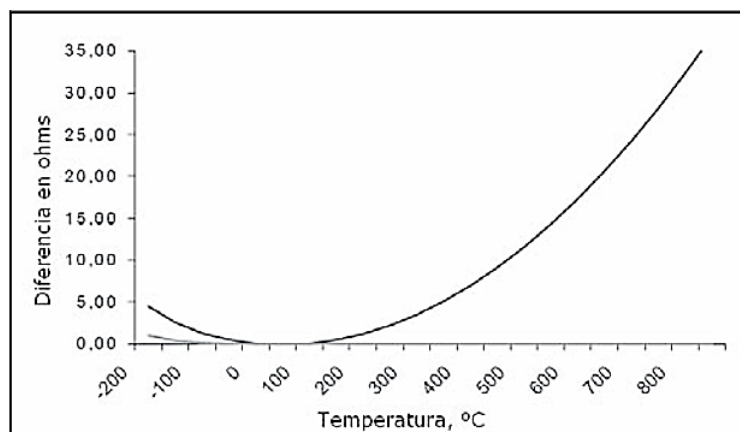
$$R_t = R_0(1 + \alpha t) \quad \text{Ec. (2-20)}$$

$R_t$  = resistencia en ohmios a  $t^\circ\text{C}$

$R_0$  = resistencia en ohmios a  $0^\circ\text{C}$

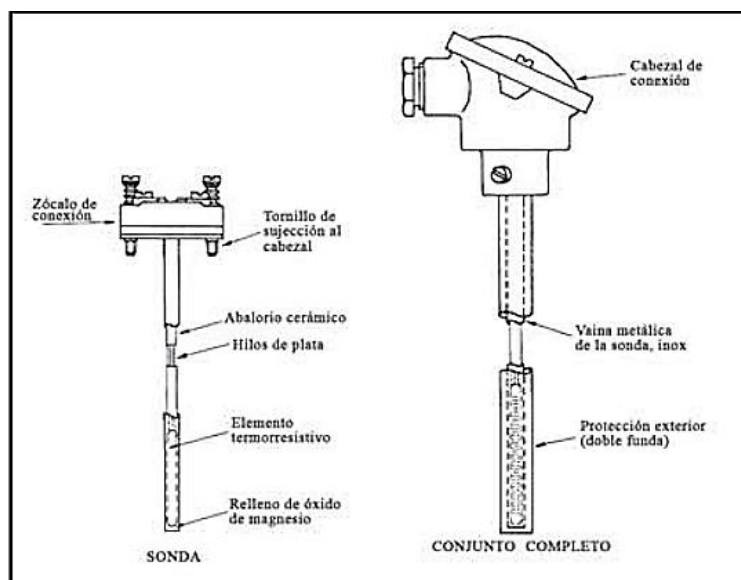
$\alpha$  = coeficiente de temperatura de la resistencia cuyo valor entre  $0^\circ\text{C}$  y  $100^\circ\text{C}$  es de  $0,003850 \Omega / (\Omega / ^\circ\text{C})$  en la Escala Práctica de Temperaturas Internacional (IPTS-68).

Esta relación presenta una diferencia en la resistencia en ohmios entre  $R_t$  y la resistencia real de la sonda, según puede verse en la figura siguiente (Creus Sole, 2006).



**Figura 2-20:** Relación entre el valor real de la resistencia y el obtenido por la fórmula  $R_t$ .

**Fuente:** (Creus Sole, 2006)



**Figura 2-21:** Partes de una Termoresistencia.

**Fuente:** (Creus Sole, 2006)

### 2.4.2.7 Termistor

Los termistores son semiconductores electrónicos con un coeficiente de temperatura de resistencia negativo de valor elevado, es un sensor que cambia su resistencia con la temperatura, su fabricación se realiza utilizando como material de base una mezcla cerámica. También se fabrican con óxidos de materiales semiconductores incluso de óxido de hierro, cobre, manganeso níquel y otros. Su forma externa de disco, gota, barra, chip, etc., se adapta a las diferentes y posibles aplicaciones. Los termistores también se denominan NTC (*Negative Temperature Coefficient* - coeficiente de temperatura negativo) existiendo casos especiales de

coeficiente positivo cuando su resistencia aumenta con la temperatura (PTC- *Positive temperature Coefficient*). La relación entre la resistencia del termistor y la temperatura viene dada por la expresión

$$R_t = R_0 e^{\beta \left( \frac{1}{T_t} - \frac{1}{T_0} \right)} \quad \text{Ec. (2-21)}$$

En la que sus términos son:

$R_t$  = resistencia en ohmios a la temperatura absoluta  $T_t$

$R_0$  = resistencia en ohmios a la temperatura absoluta de referencia  $T_0$

$\beta$  = constante dentro de un intervalo moderado de temperatura.



**Figura 2-22:** Termistor.

**Fuente:** (Creus Sole, 2006)

#### 2.4.2.8 Sensores de temperatura de semiconductor

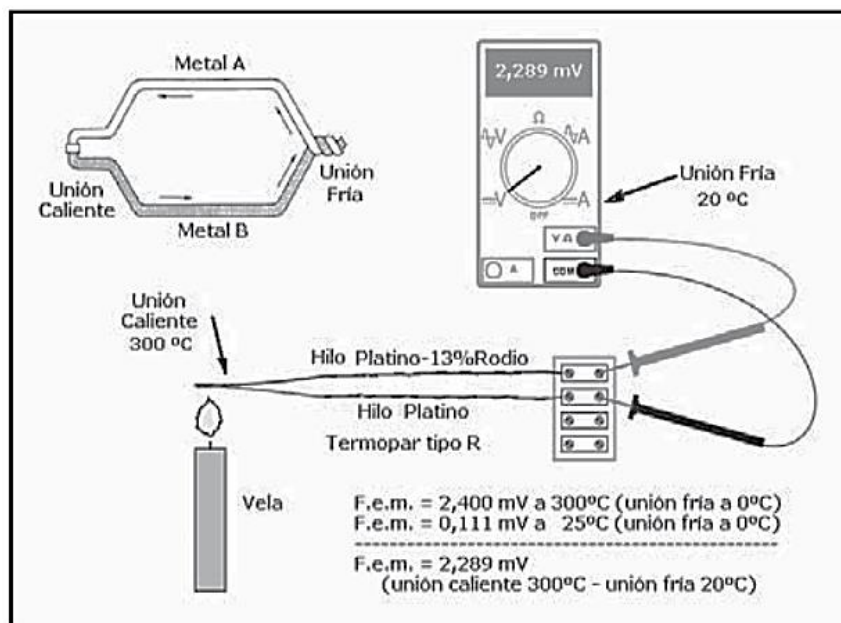
El sensor de temperatura de semiconductor dispone de funciones de transferencia que son proporcionales a la temperatura en °K, °C o °F. En la mayor parte de las aplicaciones, la señal de salida alimenta un comparador o un convertidor A/D para convertir los datos de temperatura a un formato digital. Los sensores desarrollados en este campo son analógicos y digitales con tensión de salida proporcional a la temperatura absoluta o a la temperatura en °C o °F, sensibilidad 10 mV/°C y una exactitud de  $\pm 1$  °C dentro del intervalo -55 °C a 150 °C. Hay analógicos con corriente de salida proporcional a la temperatura absoluta y sensibilidad de 1  $\mu$ A/°C a 3  $\mu$ A/°C y termostatos de -40 °C a +125 °C.

Un sensor de temperatura de silicio es un circuito integrado (IC) que puede contener un circuito de procesamiento de la señal que se encargue de la compensación de la unión fría o de la linealización dentro del mismo IC (circuito integrado).

Estos sensores iniciaron su aplicación en la protección de componentes electrónicos que pueden dañarse por altas o bajas temperaturas (ordenadores, disco duro del ordenador, cargadores de baterías y pantallas LCD - *Liquid Cristal Display*). Estos sensores tienen la ventaja de ser pequeños, exactos y baratos, de modo que se prevé que aumenten, en el futuro, sus aplicaciones en la industria (Creus Sole, 2006).

#### 2.4.2.9 Termopares.

Es un circuito formado por dos metales distintos que produce un voltaje siempre y cuando los metales se encuentren a temperaturas diferentes. En electrónica, los termopares son ampliamente usados como sensores de temperatura. Son económicos, intercambiables, tienen conectores estándar y son capaces de medir un amplio rango de temperaturas. Su principal limitación es la exactitud ya que los errores del sistema inferiores a un grado centígrado son difíciles de obtener.



**Figura 2-23:** Termopar.

**Fuente:** (Creus Sole, 2006)

## **2.5 HIPÓTESIS**

La Refrigeración de elementos electrónicos mejoró la disipación de calor del UAV-Gavilán del Centro de Investigación y Desarrollo de la Fuerza Aérea Ecuatoriana.

## **2.6 SEÑALAMIENTO DE VARIABLES**

### **2.6.1 Variable Independiente**

Refrigeración de elementos electrónicos

### **2.6.2 Variable Dependiente**

Disipación de calor del UAV-Gavilán del Centro de Investigación y Desarrollo de la Fuerza Aérea Ecuatoriana.

### **2.6.3 Término de Relación**

Mejóro

## **CAPÍTULO III**

### **3 METODOLOGÍA**

#### **3.1 ENFOQUE INVESTIGATIVO**

La investigación presentó un análisis cuantitativo puesto que se determinó la temperatura crítica así como también el rango óptimo de funcionamiento y se pudo realizar el control de calentamiento de los elementos electrónicos para su buen funcionamiento y alargamiento de la vida útil de los mismos, esto en función de los problemas y los objetivos en estudio que se planteó.

#### **3.2 MODALIDAD DE LA INVESTIGACIÓN.**

##### **3.2.1 Bibliográfica**

Fue de gran importancia, ya que se utilizaron fuentes bibliográficas tales como libros, páginas WEB, las cuales proporcionaran apoyo para resolver el problema desde un punto de vista teórico, para el desarrollo de la investigación como también para la aplicación de consideraciones importantes dentro del análisis de resultados.

##### **3.2.2 Investigación de Campo**

Se realizó una investigación de campo porque se permaneció en el lugar donde se producen los acontecimientos, en este caso se realizó parte de la investigación dentro de las instalaciones del CIDFAE, de esta manera se obtuvo la mayor cantidad de información sobre el problema y así poder plantear la solución que supla la necesidad que tiene el CIDFAE. En esta modalidad, la finalidad fue tomar contacto en forma directa con la realidad, para obtener información de acuerdo con los objetivos.

### **3.3 TIPO DE INVESTIGACIÓN**

#### **3.3.1 Investigación Descriptiva**

El propósito es que el investigador describe situaciones y eventos, es decir, como es y cómo se manifiesta determinados fenómenos. De esta manera se realizó el proceso de análisis sobre la refrigeración del UAV-Gavilán describiendo las propiedades, características que ayudaron a la solución del problema.

#### **3.3.2 Investigación Correlacional**

En este tipo de estudio tuvo como finalidad determinar el grado de relación o asociación no causal existente entre dos o más variables. En este caso se utilizó este estudio correlacional ya que se observó el comportamiento que tiene una con la otra en cuanto a la refrigeración controlada de los elementos electrónicos del UAV-Gavilán.

### **3.4 POBLACIÓN Y MUESTRA**

#### **3.4.1 Población**

La investigación que se realizó fue netamente técnica por lo cual la población es la totalidad de la flota del modelo UAV-1 “Gavilán”, (Avioneta tipo Cessna). Aeronave de pruebas y demostración desarrollado por el Centro de Investigación y Desarrollo de la Fuerza aérea Ecuatoriana “CIDFAE”, y la conforman el total de la misma debido a que es un número pequeño y está directamente afectadas con el problema.

#### **3.4.2 Muestra**

Al ser un número reducido de la población la muestra fue conformada por el total de la población que actualmente existen cuatro UAVs.

### 3.5 OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES

#### 3.5.1 Variable Independiente: Sistema de Refrigeración de elementos electrónicos.

**Tabla 3-1:** Operacionalización de Variable Independiente.

Conceptualización	Categoría	Indicadores	Índice	Herramientas
Los sistemas de refrigeración se basan en principios termodinámicos y están diseñados para promover el intercambio de calor entre el componente electrónico y el refrigerante facilitando la disminución de temperatura manteniendo el nivel de calor del componente electrónico y el espacio, liberando el calor irrecuperable al medio ambiente.	Refrigeración	¿Qué tipo de refrigeración será idóneo para la disipación de temperatura de componentes electrónicos?	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Pasiva por aire</li> <li>• Activa por aire</li> <li>• Líquida</li> <li>• Termoeléctrica</li> </ul>	<b>Bibliografía:</b> (Libros, Internet)
	Temperatura	¿En qué rango de temperatura generalmente trabaja los componentes electrónicos?	35°C – 50°C Mayores de 50°C	<b>Observación–Directa</b> (ficha de observación) <b>Bibliografía:</b> (Libros, Internet)
	Componente electrónico	¿Qué tipos de elementos electrónicos desprenden calor por su trabajo?	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Radio</li> <li>• Amplificador</li> <li>• Autopiloto</li> </ul>	<b>Exploración de campo</b> (Medición de temperatura)

**Fuente:** El Autor



**3.5.2 Variable Dependiente:** Disipación de calor del UAV-Gavilán del Centro de Investigación y Desarrollo de la Fuerza Aérea Ecuatoriana.

**Tabla 3-2:** Operacionalización de Variable Dependiente

Conceptualización	Categoría	Indicadores	Índice	Herramientas
La disipación difunde y elimina el exceso de calor, que puede ser controlado permitiendo monitorizar, mediante un conjunto de componentes físicos conectados o relacionados entre sí, en la cual se transmiten señales desde los sensores que son trasladadas en forma digital o análoga, luego pasa a un sistema de medición de control la cual activa o desactiva el sistema que estará encargado de mantener la temperatura.	Control de Medición	¿Qué instrumento de control cumple con las exigencias de manejo de temperaturas en los componentes electrónicos?	<ul style="list-style-type: none"> <li>• PLC</li> <li>• Microcontrolador</li> <li>• Controlador digital de temperatura</li> </ul>	<b>Bibliografía:</b> Libros, Internet  <b>Catálogos</b>
	Control	¿Qué método de control es el indicado para mantener la temperatura en los componentes electrónicos?	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Sistemas de control en lazo abierto</li> <li>• Sistemas de control en lazo cerrado</li> <li>• On-Off</li> </ul>	<b>Bibliografía:</b> Libros, Internet
	Sensores	¿Qué tipo de sensor es conveniente para medir la temperatura en los equipos electrónicos?	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Termopar</li> <li>• Termistor</li> <li>• Resistivos (RTD)</li> </ul>	<b>Bibliografía:</b> Libros, Internet  <b>Catálogos</b>

**Fuente:** El Autor

### 3.6 PLAN DE RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN.

Para el desarrollo del trabajo investigativo se realizó estudios de tipo bibliográfico y experimental. Las técnicas de investigación fueron observación directa utilizando una ficha de observación con una metodología estructurada, así como también la observación indirecta recolectando información de libros e internet. Para lo cual se tomó notas de todo lo que se considera necesario para describir los hechos de significación especial, que ayudó a registrar sucesos hasta tener información suficiente. A continuación se describe el proceso de obtención de la información:

a) Mediante la observación directa que se realizó en el monitoreo de pre-vuelo se elaboró una ficha (**Anexo 3:** Guía de observación), donde se recopiló la siguiente información:

- Se recopiló información sobre los equipos a bordo del UAV-Gavilán centralizando en los compartimientos central y secundario donde existe el problema de disipación de calor.
- Se recopiló la temperatura de los dispositivos electrónicos en funcionamiento del UAV y temperatura ideal de trabajo, parámetros que afectan a la disipación de calor tanto para el habitáculo central y secundario de la aeronave no tripulada, datos proporcionados por la Estación de Mando y Control en Tierra (EMCT).

b) Mediante la investigación bibliográfica

- Se investigó una comparativa de métodos de refrigeración aplicable a los compartimientos del UAV-Gavilán, información que se valoró para la selección del método que posteriormente se analizó por simulación CFD.

c) Mediante simulación CFD

- Se determinó el caudal necesario para mantener la temperatura por debajo de los 38°C de los componentes electrónicos del compartimiento central como son el Amplificador y El transmisor RF, del mismo modo se determinó el caudal para que el calor generado por el motor Meggitt no

influya en el compartimiento secundario y poder evacuar el calor hacia el exterior.

### **3.7 PLAN DE PROCESAMIENTO DE LA INFORMACIÓN**

Una vez recolectados los datos se organizó resumiendo adecuadamente de manera que posibilite un mejor análisis de la información obtenida. El análisis de los resultados se realizó tabulando los datos obtenidos y se los representó en tablas, gráficos y figuras para un mejor entendimiento.

El procesamiento de la información se resume en:

- ✓ Tabulación en tablas de la identificación del componente, temperatura crítica sin refrigeración, temperatura óptima de trabajo de cada componente electrónico de los compartimientos de UAV.
- ✓ Se representó en gráficas el análisis térmico de fluidos del compartimiento central y resultados de la simulación CFD como la distribución de temperatura del Transmisor RF y Amplificador así como también la influencia de la generación de calor de estos dispositivos en parte del fuselaje central.
- ✓ Se representó en figuras la distribución de temperatura del sólido desde el motor a lo largo del compartimiento secundario (fuselaje) el cual es influenciado por la transmisión de calor que genera el motor a través de los mamparos estructurales que forman la sección de racks que se encuentra ubicado a continuación del habitáculo secundario, sitio que se encuentran sensores y equipos sensibles.
- ✓ Se representó en gráficas comparativas para diferentes velocidades aplicadas a la entrada de los compartimientos.

## CAPÍTULO IV

### 4 ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

#### 4.1 ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

##### 4.1.1 Descripción de los datos recolectados dispositivos electrónicos del UAV.

UAV-1 “Gavilán”, (Avioneta tipo Cessna).- Aeronave de pruebas y demostración desarrollado por el Centro de Investigación y Desarrollo de la Fuerza aérea Ecuatoriana “CID-FAE”.

##### Aplicaciones del UAV-1 “Gavilán”.

<input type="checkbox"/> Civiles	<input type="checkbox"/> Militares
<input type="checkbox"/> Investigación	<input type="checkbox"/> Inteligencia de imagenes y señales
<input type="checkbox"/> Control de tráfico e Inspección de carretera, vias, lineas de transporte	<input type="checkbox"/> Vigilancia de fronteras y territorios
<input type="checkbox"/> Fotografía aérea con realización de mapas	<input type="checkbox"/> Adquisición de objetivos
<input type="checkbox"/> Investigación de contorno Ecológico, detección de Incendios.	<input type="checkbox"/> Misiones ofensivas
<input type="checkbox"/> Inspección de lineas eléctricas de alto voltaje.	<input type="checkbox"/> Misiones de control y narcotráfico

##### Sistemas y equipos a bordo del UAV

- Sistema de vuelo automático
  - Piloto automático
  - Sistema GPS/ Plataforma Inercial
- Telemetría de datos online
  - Posición geográfica

- Video y/o fotografía
- Estación terrena
- Sensores de abordo
- Sistema eléctrico y de comandos
  - Sensores de vuelo del UAV.
  - Sensores de temperatura
  - Girómetro
  - Acelerómetro
  - Sensores de vuelo: atmosférico, ambientales, fenómenos meteorológicos.
  - Cámara de navegación: seguimiento de trazas y caminos, observación meteorológicas, fotografía aérea, control, seguimiento, patrullaje, seguridad.
- Comunicación
  - Transmisor RF
  - Amplificador
  - Modem Satelital

### **SISTEMA DE COMUNICACIONES EN EL PRE-VUELO AUTOMÁTICO.**

La comunicación se realiza por un medio inalámbrico, mediante la utilización de la antena de radiofrecuencia, el prototipo UAV-1 Gavilán se comunica con la antena y esta con la EMCT (Estación de Mando y Control en Tierra) donde están todos los servidores y operarios que controlan a la aeronave.

## **Inspección visual**

En el pre-vuelo se realiza una inspección visual rápida para determinar el estado y condición del UAV.

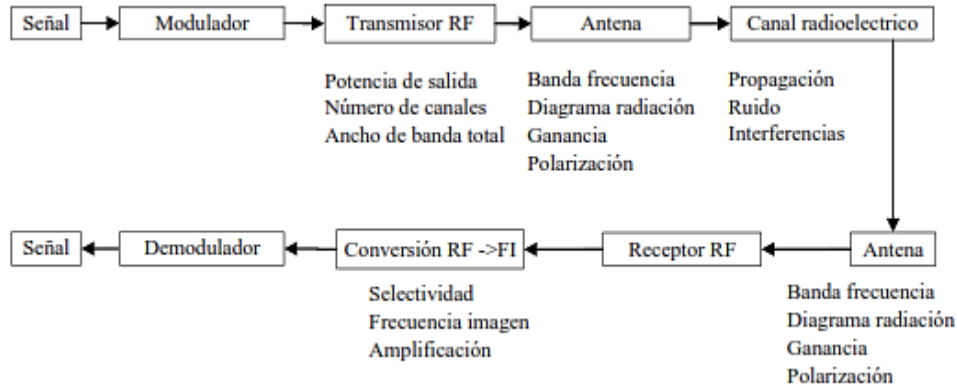
## **Verificación de los sistemas de comunicación**

La comunicación de la aeronave con el EMCT es importante ya que es el proceso de transferir información desde una fuente hacia el destinatario en este caso será desde el UAV Gavilán hacia el EMCT, el sistema de comunicación es todo el enlace que provee de información entre ambos, este sistema de comunicación Gavilán - EMCT emplea señales eléctricas, electromagnéticas y ópticas, para transmitir a mensaje como radio frecuencia que utilizan el aire mediante ondas electromagnéticas para realizar la trasmisión de datos hacia el receptor.

**Verificación del Sistema de Adquisición de Datos.-** Proceso en el cual la señal a medir es adquirida y convertida en una señal eléctrica. Un sistema de adquisición de datos es el instrumento que sirve para obtener datos de un proceso y tiene las siguientes etapas:

- Los sensores o transductores convierten un fenómeno o magnitud física en una magnitud o señal eléctrica.
- Un sistema de acondicionamiento de señal que va aislar, filtrar, convertir y/o amplificar la señal.
- Un sistema de adquisición de datos que convierte la señal analógica a digital.
- Un sistema de tratamiento que va a transformar la información digital presentada por el bloque anterior, en información útil al usuario.
- Un sistema de visualización que va ser el que va a desplegar la información procesada.

Para poder lograr una comunicación mediante radiofrecuencia debe existir un sistema de radiocomunicaciones el mismo que se encuentra integrado por los siguientes elementos expresados en el siguiente bloque.



**Figura 4-1:** Elementos de un sistema de radiocomunicaciones

**Fuente:** CIDFAE

**El Transmisor.** El transmisor es el dispositivo o elemento que pasa el mensaje al canal en forma de señal eléctrica, para lograr una transmisión eficiente se deben desarrollar varias operaciones de procesamiento de la señal. La más común e importante de estas operaciones es la modulación, un proceso que se distingue por el acoplamiento de la señal transmitida a las propiedades del canal, por medio de una onda portadora.

**El Canal de transmisión.** El Canal o medio de transmisión es el enlace eléctrico entre el transmisor y el receptor, siendo el puente de unión entre la fuente y el destino. Puede ser en forma física como un cable coaxial, o una inalámbrica como un rayo láser. Todos caracterizados por la atenuación, la disminución progresiva de la potencia de la señal conforme aumenta la distancia.

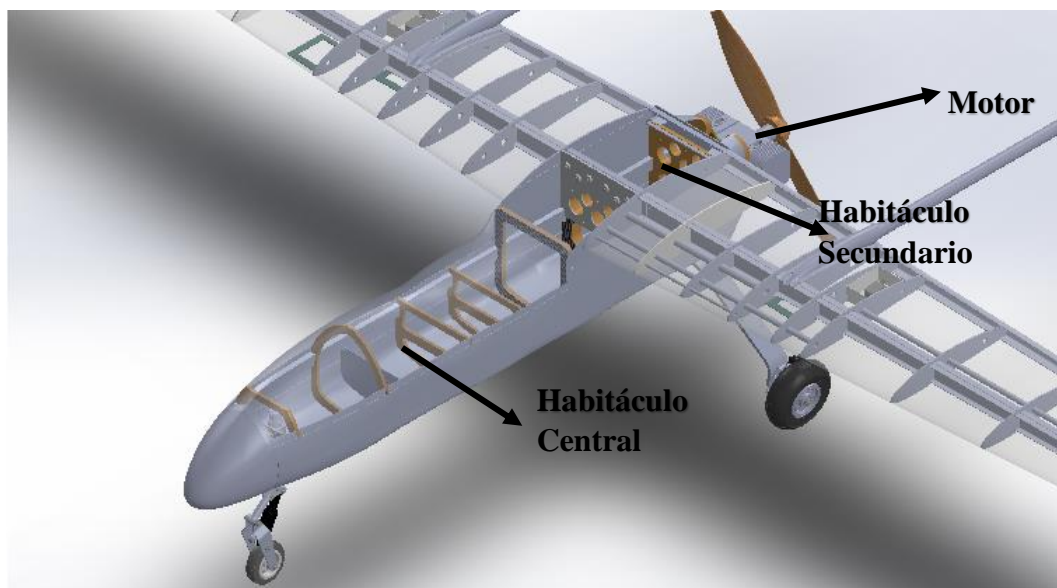
**El Receptor.** El receptor tiene la función de extraer del canal la señal deseada y entregarla al transductor de salida, debido a que las señales son frecuentemente débiles, resultado de la atenuación, el receptor debe tener varias etapas de amplificación.

**Tabla 4-1:** Ficha Técnica UAV

UAV GAVILÁN	
FICHA TÉCNICA	
Envergadura	6.5 m
Autonomía	6 horas
Techo de Operación	5000 m
Velocidad de Stall	90 km/h (25m/s)
Velocidad Crucero	115 km/h (32m/s)
Puesta en operación	0,5 horas



**Fuente:** Cortesía del CIDFAE





**Figura 4-2:** UAV-Gavilán disposición de habitáculos

**Fuente:** Cortesía del CIDFAE



**Tabla 4-2:** Dispositivo Electrónico (Transmisor RF) Habitáculo central.

	<p>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</p> <p>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</p> <p>CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA.</p>	
<b>Datos Informativos</b>		
Elaborado por: <a href="#">Punina Javier</a>	Fecha: 30/07/2014	
Identificación del componente	Transmisor RF (Radio)	
Instrumento de medición	EMCT (en monitoreo pre-vuelo)	
<b>Indicadores</b>		
<b>Temperatura sin refrigeración</b>	60 °C	
<b>Temperatura de trabajo</b>	40°C	
<b>Observaciones</b>	Requiere refrigeración	

**Fuente:** CIDFAE

**Tabla 4-3:** Dispositivo electrónico (Amplificador) Habitáculo central.

	<p>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</p> <p>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</p> <p>CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA.</p>	
<b>Datos Informativos</b>		
Elaborado por: <a href="#">Punina Javier</a>	Fecha: 30/07/2014	
Identificación del componente	Amplificador	
Instrumento de medición	EMCT (en monitoreo pre-vuelo)	
<b>Indicadores</b>		
<b>Temperatura sin refrigeración</b>	70 °C	
<b>Temperatura de trabajo</b>	40°C	
<b>Observaciones</b>	Requiere refrigeración	

**Fuente:** CIDFAE

**Tabla 4-4:** Dispositivo Autopiloto (Habitáculo secundario)

	<p>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</p> <p>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</p> <p>CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA.</p>	
<b>Datos Informativos</b>		
Elaborado por: <a href="#">Punina Javier</a>	Fecha: 30/07/2014	
Identificación del componente	Autopiloto	
Instrumento de medición	EMCT (en monitoreo pre-vuelo)	
<b>Indicadores</b>		
<b>Temperatura sin refrigeración</b>	32°C	
<b>Temperatura de trabajo</b>	40°C – 45°C	
<b>Observaciones</b>	No presentó ningún problema de generación de calor mientras el motor no esté en funcionamiento.	

**Fuente:** CIDFAE

**Tabla 4-5:** Motor (Habitáculo secundario)

	<p>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</p> <p>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</p> <p>CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA.</p>	
<b>Datos Informativos</b>		
Elaborado por: <a href="#">Punina Javier</a>	Fecha: 30/07/2014	
Identificación del componente	Motor	
Instrumento de medición	EMCT (en monitoreo pre-vuelo)	
<b>Indicadores</b>		
<b>Temperatura sin refrigeración</b>	(110-120) °C	
<b>Temperatura de trabajo</b>	(70-80) °C	
<b>Observaciones</b>	La generación de calor del motor influye en el habitáculo secundario en el cual está cerca del motor.	

**Fuente:** CIDFAE

#### 4.1.2 Comparación del tipo de refrigeración idóneo para la disipación de calor.

Tabla 4-6: Tabla comparativa de métodos de refrigeración aplicable al UAV.

<b>Análisis de Refrigeración para el UAV</b>		
<b>Refrigeración</b>	<b>Ventaja</b>	<b>Desventaja</b>
<b>Pasiva por aire</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Simplicidad</li> <li>- Durabilidad</li> <li>- Fiabilidad (no tienen elementos constitutivos móviles)</li> <li>- Bajo costo</li> <li>- Nivel sonoro nulo</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Habilidad limitada de disipar grandes cantidades de calor.</li> <li>- Capacidad de refrigeración no efectiva para GPUs de gama alta.</li> <li>- Integración permanente, difícil de hacer desmontable.</li> </ul>
<b>Activa por aire</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Bajo costo en relación con la refrigeración líquida</li> <li>- Buena habilidad de disipar grandes cantidades de calor rápidamente.</li> <li>- Mayor Fiabilidad que la líquida.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Genera Ruido</li> <li>- Menor Fiabilidad en relación a la refrigeración pasiva.</li> </ul>
<b>Líquida</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Mejor conductividad térmica que el aire.</li> <li>- transferencia de calor eficiente.</li> <li>- Habilidad de remover grandes cantidades de calor en poco tiempo.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- La refrigeración líquida es cara en comparación al resto.</li> <li>- Complejidad del sistema.</li> <li>- Peligrosa (Puesto que el agua y los componentes electrónicos no son buena pareja).</li> <li>- Tienen partes móviles y en consecuencia pueden sufrir problemas de confiabilidad</li> </ul>
<b>Termoeléctrica</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Habilidad de extraer grandes cantidades de calor.</li> <li>- Mayor confiabilidad que la refrigeración líquida.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Involucra un aumento del consumo eléctrico.</li> <li>- Incorpora un sistema adicional para retirar el calor de la cara caliente del Peltier.</li> </ul>

**Fuente:** El Autor

Parámetros de valoración de acuerdo a la siguiente escala de puntuación

Tabla 4-7: Escala de puntuación.

<b>Parámetro</b>	<b>Valoración</b>
Mala, deficiente, no recomendado	0 a 2
Regular, poco eficiente, poco recomendado	3 a 4
Bueno, algo eficiente, aceptable	5 a 7
Muy bueno, eficiente, recomendado	8 a 10

**Fuente:** El Autor

**Tabla 4-8:** Valoración del método de refrigeración a seleccionar para la simulación por software.

<b>Parámetros de selección</b>	<b>Pasiva por aire</b>	<b>Activa por aire</b>	<b>Líquida</b>	<b>Termoeléctrica</b>
Simplicidad	10	7	3	4
Fiabilidad	10	7	6	5
Habilidad de disipación de calor	2	6	10	9
Fácil integración a la aeronave como equipo adicional de respaldo en tierra (montaje y desmontaje rápido)	4	8	4	4
Adaptación de aplicación (conexiones)	7	8	5	4
<b>Total</b>	33	<b>36</b>	28	26

**Fuente:** El Autor

Para mejorar la disipación de calor de los habitáculos central y secundario es necesario aplicar una refrigeración con aire forzado por el motivo que se ajusta a la necesidad de ser un sistema adicional y desmontable rápidamente que funcione en tierra, a este sistema se puede montar en un banco móvil y diseñar la distribución de un flujo de aire mediante ductos flexibles para su aplicación directa en las zonas que se necesita disipar el calor y mantener la temperatura de los elementos electrónicos. Seleccionado el método de refrigeración a utilizar se realizó la simulación en software CFD, para encontrar los parámetros necesarios para el diseño del sistema de respaldo de refrigeración para el UAV-Gavilán.

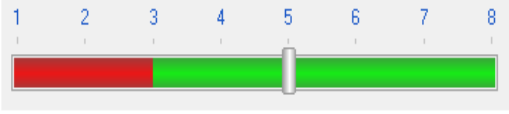
## **4.2 INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS**

El objetivo del estudio por simulación CFD se realizó para obtener un caudal de aire adecuado para la disipación de calor de los compartimientos central y secundario, parámetros que nos ayudan a la investigación el cual es determinante en la mejora de la disipación de calor de los elementos electrónicos por el método de aire forzado del UAV-Gavilán del Centro de Investigación y Desarrollo de la Fuerza Aérea Ecuatoriana.

#### 4.2.1 Simulación CFD del compartimiento Central del UAV Gavilán.

##### Datos de Entrada para la simulación CFD

**Tabla 4-9:** Condiciones Iniciales para la simulación CFD.

Sistema de unidades	SI (m-kg-s)
Tipo de análisis	Interno
Sistema de referencia	Z
Conducción de calor en sólidos	On
Efectos gravitacionales	On (-9.81 m/s <sup>2</sup> ) componente Y
Fluido	Aire
Tipo de flujo	Dependiente de velocidad (laminar turbulento)
Parámetros Termodinámicos	Temperatura: 25.00 °C
Parámetros de velocidad	Método Iterativo a: (2, 4, 6, 8, 10, 15) m/s
Parámetros del Sólido	Temperatura Inicial del sólido: 25.00 °C
Malla (resolución del resultado)	

**Fuente:** El Autor

Cuando alcanzan las condiciones estacionarias de operación, la razón de la pérdida de calor será igual a la rapidez de generación de calor que resulta del calentamiento de los componentes electrónicos transmisor RF y amplificador.

$$\dot{Q}(\text{RF}) = \dot{E}_{\text{generado}} = VI = (12\text{V})(0,4\text{A}) = 4,8 \text{ W}$$

$$\dot{Q}(\text{Ampl}) = \dot{E}_{\text{generado}} = VI = (12\text{V})(1,5\text{A}) = 18 \text{ W}$$

En las siguientes Tablas se especifica los datos necesarios para el inicio de la simulación CFD Flow Simulation.

**Tabla 4-10:** Especificaciones del Amplificador y Transmisor RF.

Parámetro	Voltaje (V)	Corriente (A)	Potencia consumida(W)
Transmisor RF	12	0.4	4,8
Amplificador	12	1,5	18

**Fuente:** El Autor

**Tabla 4-11:** Condiciones de estudio para el control de componentes.

Sólidos (Dominio de Componentes)	Fuselaje, Amplificador, Transmisor RF, Soporte de Rack, Mamparos de habitáculo central.
Condición de velocidad	Velocidad de ingreso (Inlet Velocity)
Presión atmosférica	Environment pressure: 101325.00 Pa
Temperatura de sólidos (Inicio)	24°C
Tasa de generación de calor para el Amplificador	18 W
Tasa de generación de calor para el Transmisor RF	5 W

**Fuente:** El Autor

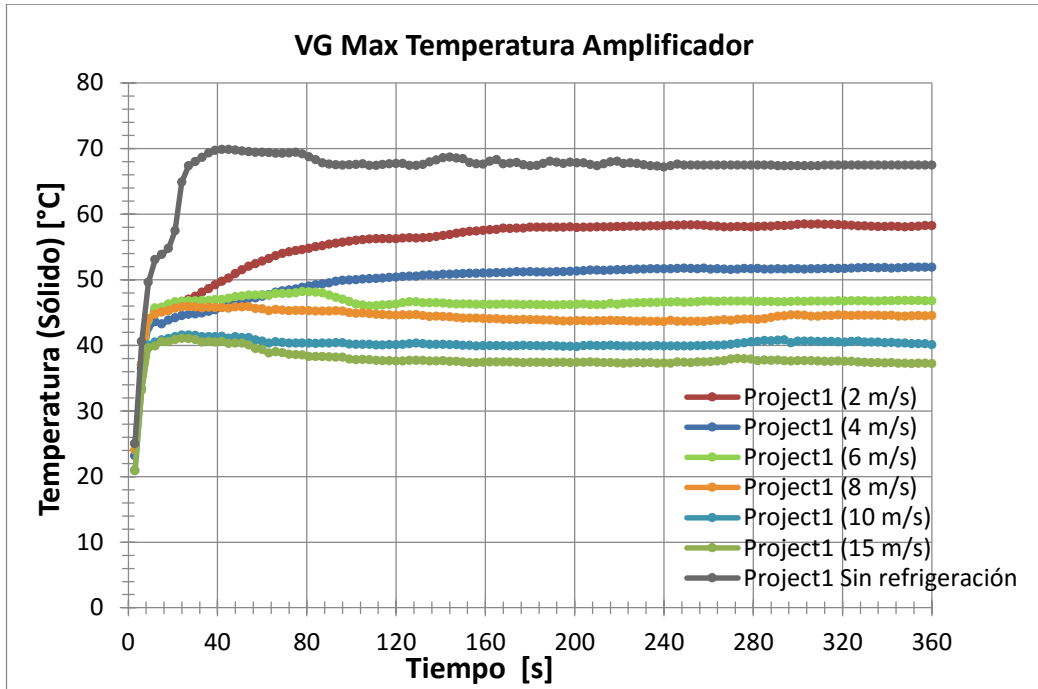
**Tabla 4-12:** Metas Esperadas de la simulación CFD.

Metas de Resultados		
Temperatura Amplificador	Máxima	Mínima
Temperatura Transmisor RF	Máxima	Mínima
Coefficiente de convección de calor (h)	Máximo	Mínima
Velocidad óptima del aire para mantener la temperatura de trabajo de los componentes	Caudal y velocidad en la entrada de los habitáculos central y secundario del UAV-Gavilán.	

**Fuente:** El Autor

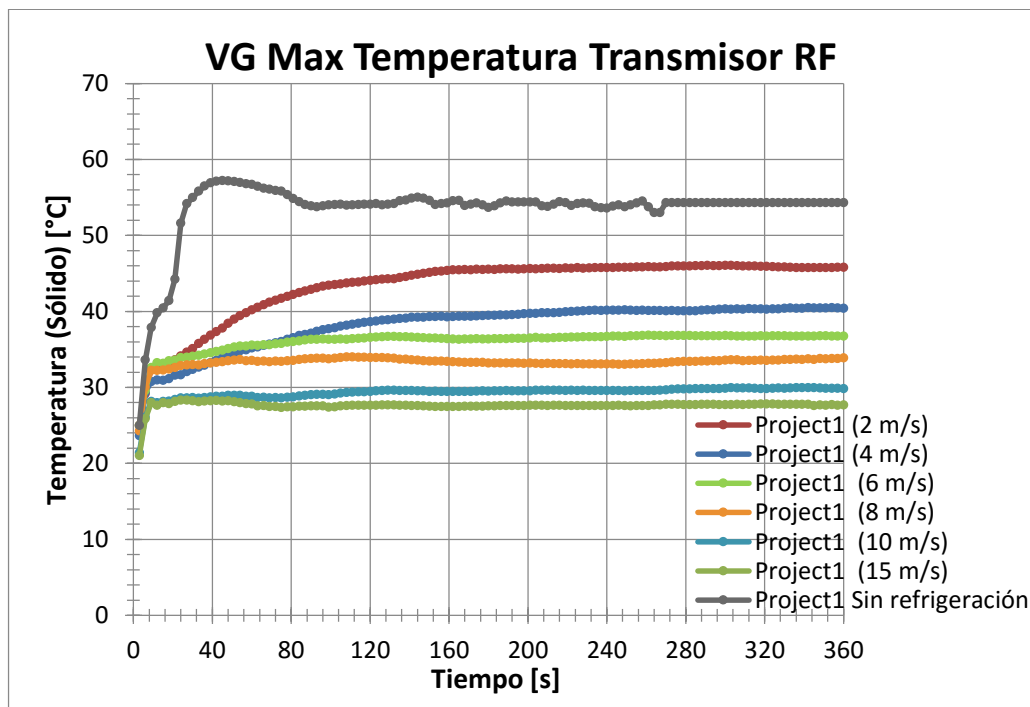
#### 4.2.1.1 Resultados CFD para compartimiento central UAV – Gavilán

En las siguientes Figuras se representan la Temperatura Máxima que llegan los componentes electrónicos del compartimiento central del UAV – Gavilán a diferentes velocidades de aire estudio realizado para obtener una velocidad adecuada del aire en la entrada del habitáculo central donde están los elementos electrónicos, Amplificador y Transmisor RF.



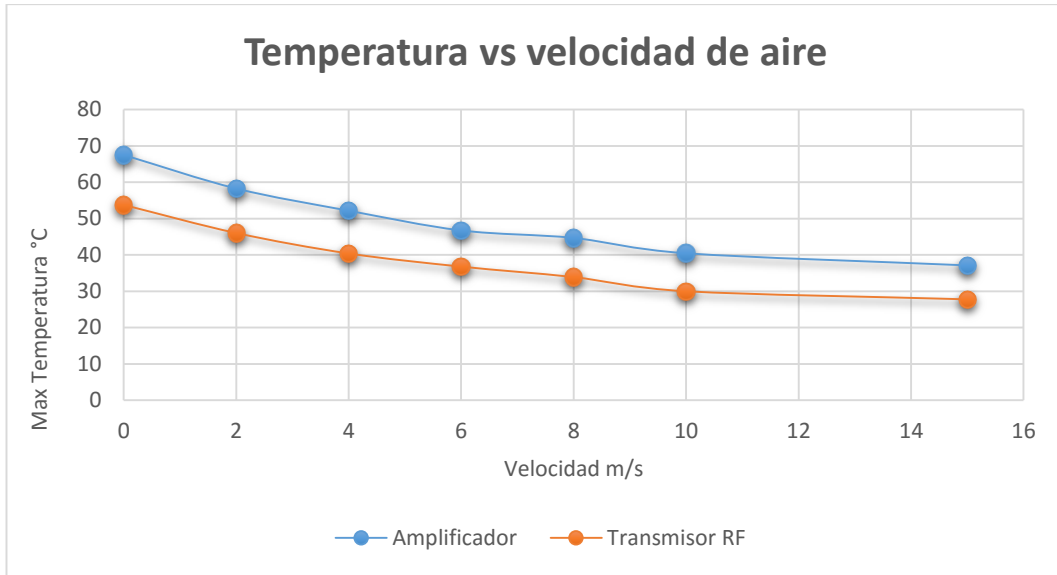
**Figura 4-3:** Máxima Temperatura del amplificador para velocidades de (2, 4, 6, 8, 10 y 15) resultado de simulación CFD).

**Fuente:** El Autor



**Figura 4-4:** Máxima Temperatura del Transmisor RF para velocidades de (2, 4, 6, 8, 10 y 15) resultado de simulación CFD).

**Fuente:** El Autor



**Figura 4-5:** Temperatura del equipo electrónico vs Velocidad de Aire para el compartimiento central

**Fuente:** El Autor

De acuerdo con la **Tabla 4-13:** Metas globales del estudio planteado para el habitáculo central, se puede escoger entre 10 y 15 m/s, en este caso se seleccionó 15 m/s la velocidad del aire a la entrada del habitáculo central para la refrigeración del estos dos componentes como son el Amplificador y Transmisor RF.

**Tabla 4-13:** Metas globales del estudio planteado para el habitáculo central

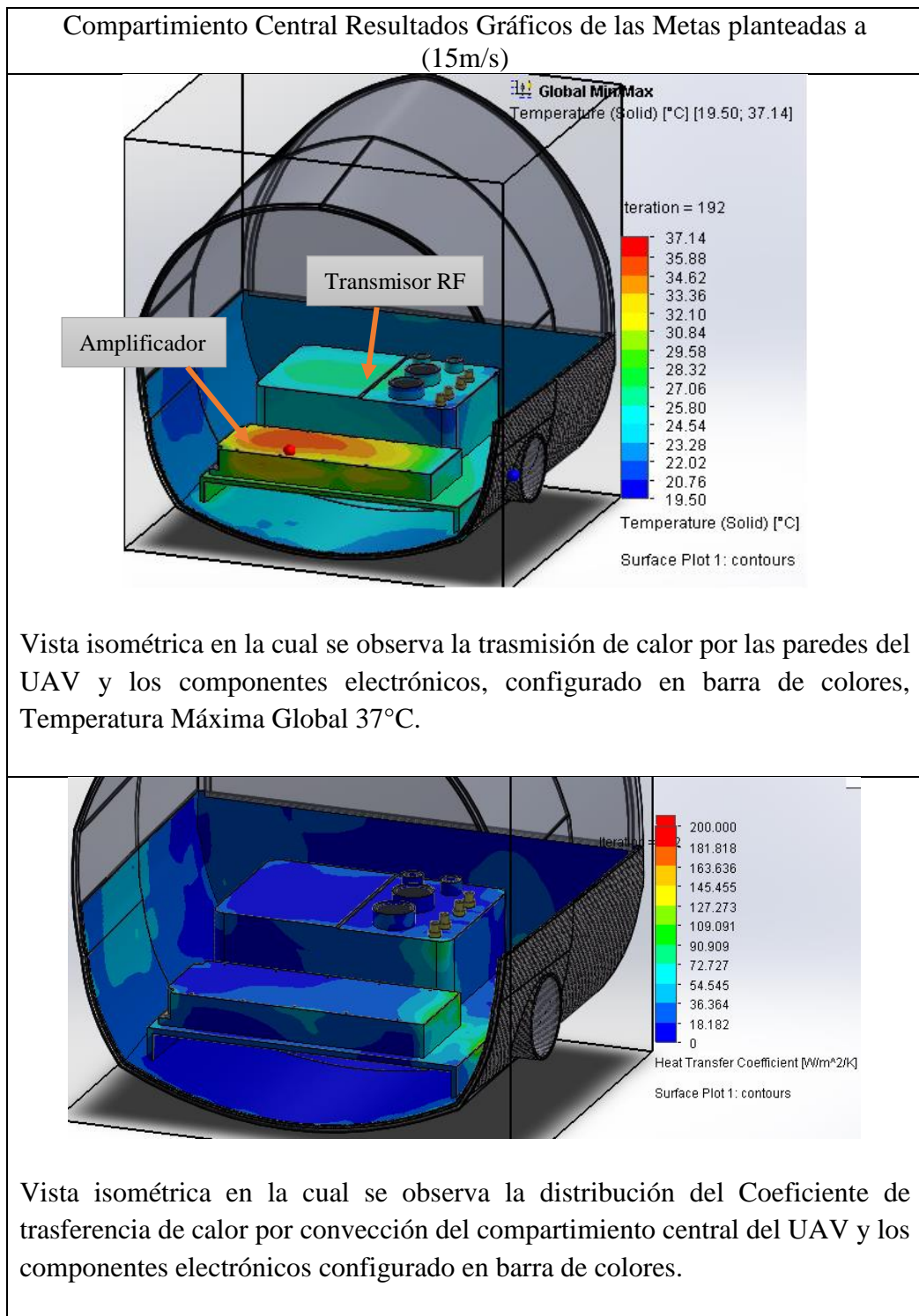
Metas (Valores Máximos)	Sin refrigeración	2 m/s	4 m/s	6 m/s	8 m/s	10 m/s	15 m/s
VG Max Temperatura del Amplificador [°C]	67,477	58,265	52,169	46,748	44,687	39,473	37,142
VG Max Temperatura del Transmisor RF [°C]	53,779	46,038	40,395	36,774	33,887	29,990	27,759

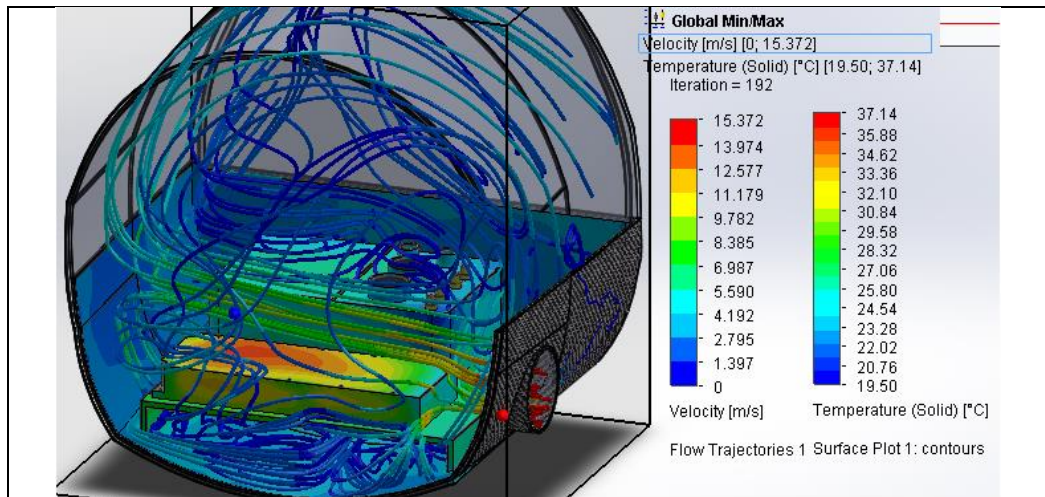
**Fuente:** EL software; **Desarrollado:** El Autor



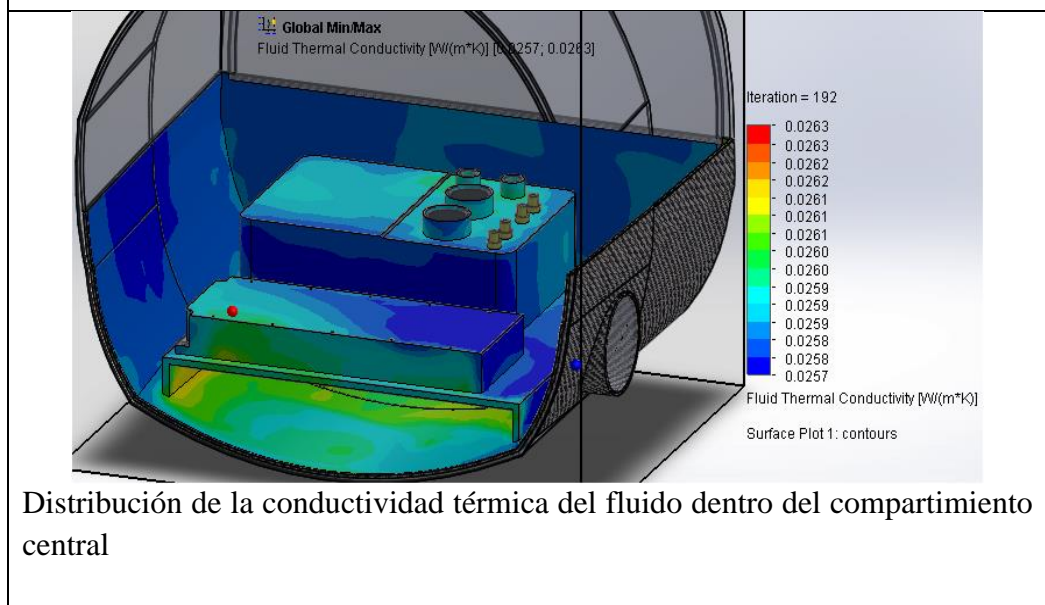
#### 4.2.1.2 Representación gráfica de los resultados a velocidad 15 m/s

**Tabla 4-14:** Vista 3D del compartimiento central resultados CFD a 15 m/s





Distribución de temperatura del sólido y velocidad del fluido desde la entrada de caudal de aire en la trayectoria de los componentes del habitáculo central.



Distribución de la conductividad térmica del fluido dentro del compartimiento central

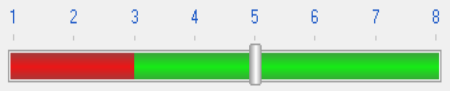
Fuente: EL software; Desarrollado: El Autor

#### 4.2.2 Simulación CFD del compartimiento Secundario (alojamiento del Motor) del UAV Gavilán.

##### Datos de Entrada para la simulación CFD

Tabla 4-15: Condiciones Iniciales para la simulación CFD del compartimiento secundario.

Sistema de unidades	SI (m-kg-s)
Tipo de análisis	Interno
Sistema de referencia	Z
Conducción de calor en sólidos	On

Efectos gravitacionales	On (-9.81 m/s <sup>2</sup> ) componente Y
Fluido	Aire
Tipo de flujo	Dependiente de velocidad (laminar turbulento)
Parámetros Termodinámicos	Temperatura: 25.00 °C
Parámetros de velocidad	Método Iterativo a: Velocidad stall (25 m/s) Velocidad crucero (28, 30, 32)m/s
Parámetros del Solido	Temperatura Inicial del sólido: 25.00 °C
Malla (resolución del resultado)	

**Fuente:** El Autor

**Tabla 4-16:** Condiciones de estudio para el control de componentes del compartimiento secundario.

Sólidos (Dominio de Componentes)	Fuselaje, Mamparo soporte de motor de aluminio, Mamparos del compartimiento, Motor Meggitt.
Condición de velocidad	Velocidad de ingreso (Inlet Velocity)
Presión atmosférica	Environment pressure: 101325.00 Pa
Temperatura de solidos (Inicio)	24°C
Temperatura generada por el trabajo del Motor	120 °C

**Fuente:** El Autor

**Tabla 4-17:** Metas Esperadas de la simulación CFD para el compartimiento secundario.

Metas de Resultados		
Temperatura de los cilindros del Motor Meggitt	Máxima	Mínima
Temperatura del Mamparo soporte	Máxima	Mínima
Temperatura del interior del compartimiento secundario	Máxima	Mínima
Coefficiente de convección de calor (h)	Máxima	Mínima
Velocidad óptima del aire para mantener la temperatura de trabajo de los componentes	Caudal y velocidad en la entrada de los habitáculos central y secundario del UAV-Gavilán.	

**Fuente:** El Autor

#### 4.2.2.1 Resultados CFD para compartimiento Secundario UAV – Gavilán

En las siguientes Figuras se representan la Temperatura Máxima que llegan los elementos de estudio del compartimiento secundario del UAV – Gavilán a diferentes velocidades de aire, estudio realizado para obtener una velocidad adecuada del aire en la entrada de las tomas de refrigeración del Motor Meggitt.

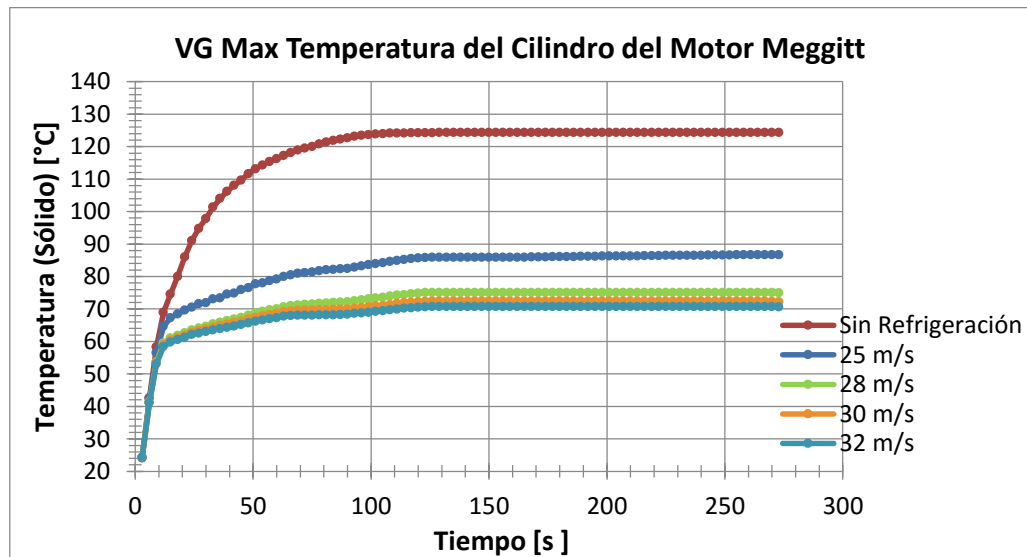


Figura 4-6: Máxima Temperatura de los Cilindros del motor Meggitt para velocidades de (25, 28, 30 y 32 m/s) resultado de simulación CFD).

Fuente: El Autor

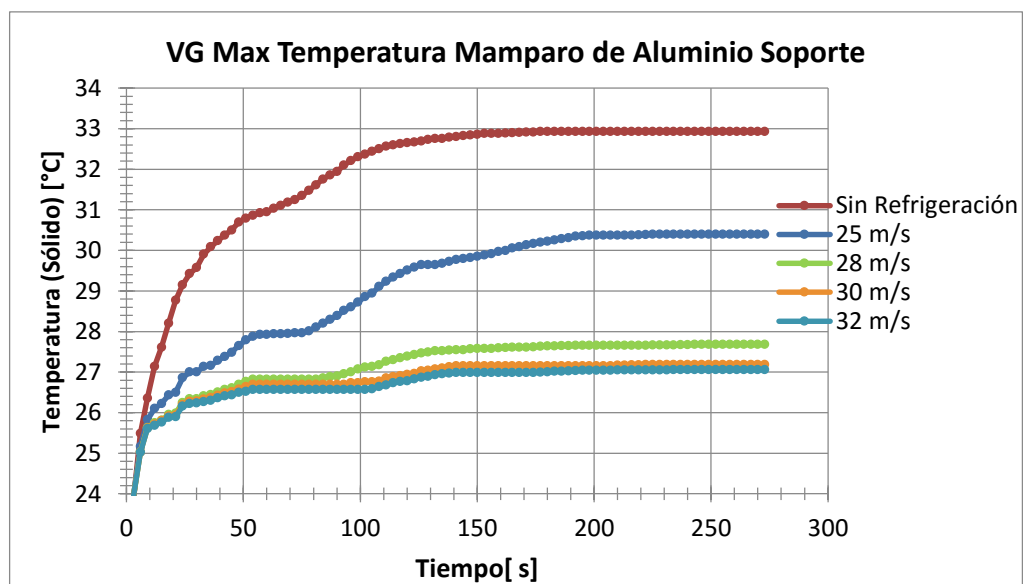
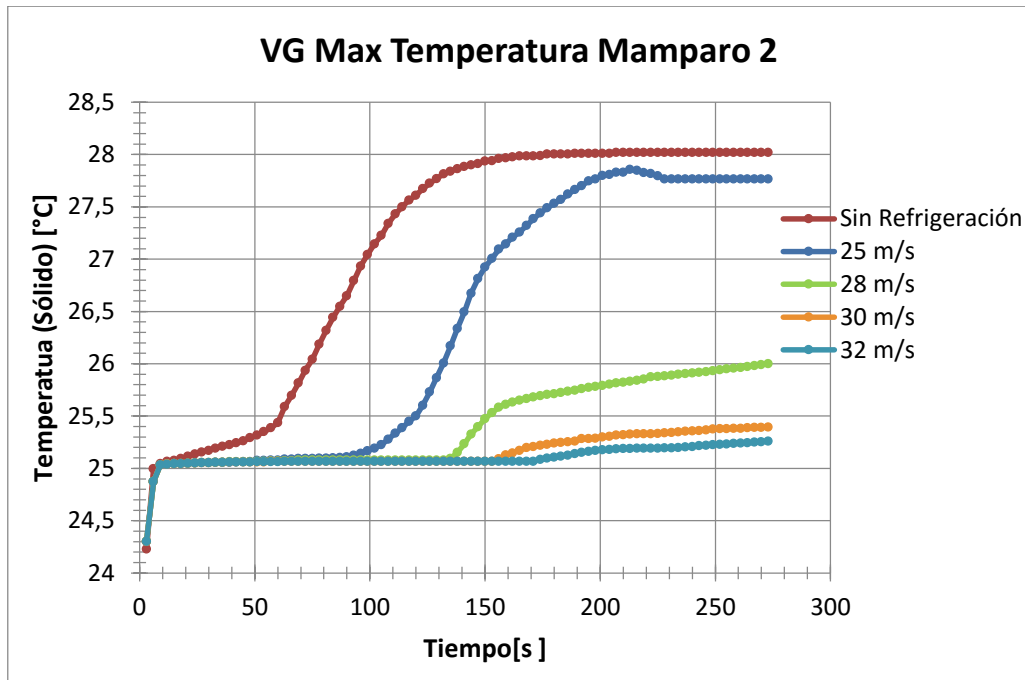


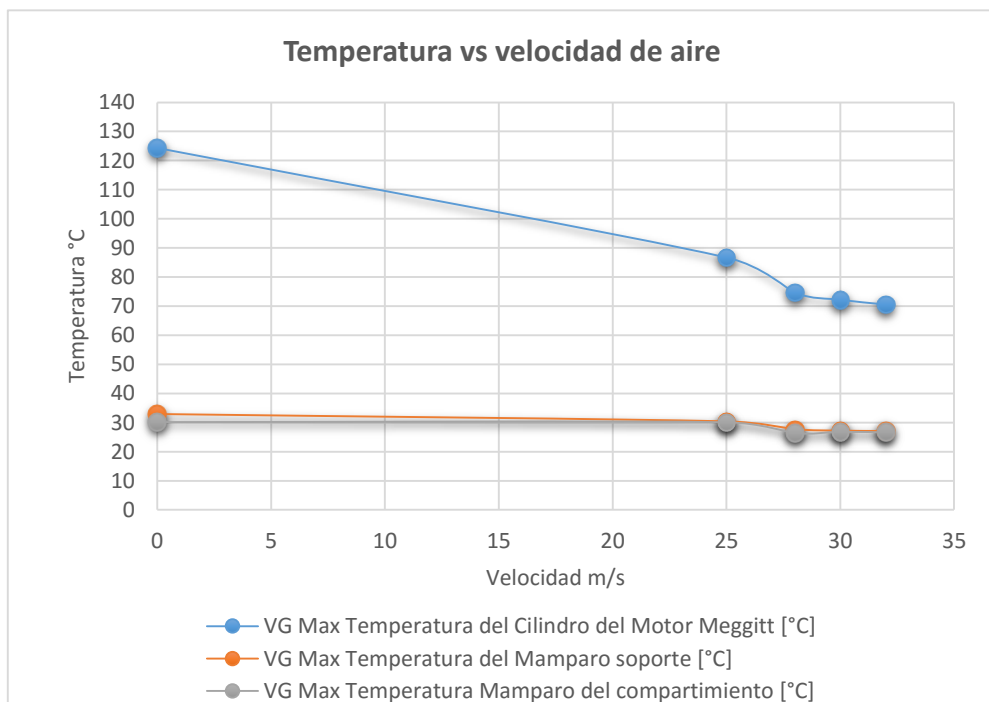
Figura 4-7: Máxima Temperatura del Mamparo soporte del motor para velocidades de (25, 28, 30 y 32 m/s) resultado de simulación CFD).

Fuente: El Autor



**Figura 4-8:** Máxima Temperatura del Mamparo del compartimiento secundario para velocidades de (25, 28, 30 y 32 m/s) resultado de simulación CFD).

**Fuente:** El Autor



**Figura 4-9:** Temperatura del sólido vs Velocidad de Aire para el compartimiento secundario

**Fuente:** El Autor

De acuerdo con **Tabla 4-18**: Metas globales del estudio planteado para el habitáculo secundario, se puede escoger desde 28m/s a 32m/s, en este caso se seleccionó 28 m/s la velocidad del aire a la entrada a las tomas de refrigeración del motor la cual nos da un flujo volumétrico de 0,24 m<sup>3</sup>/s.

**Tabla 4-18:** Metas globales del estudio planteado para el habitáculo secundario

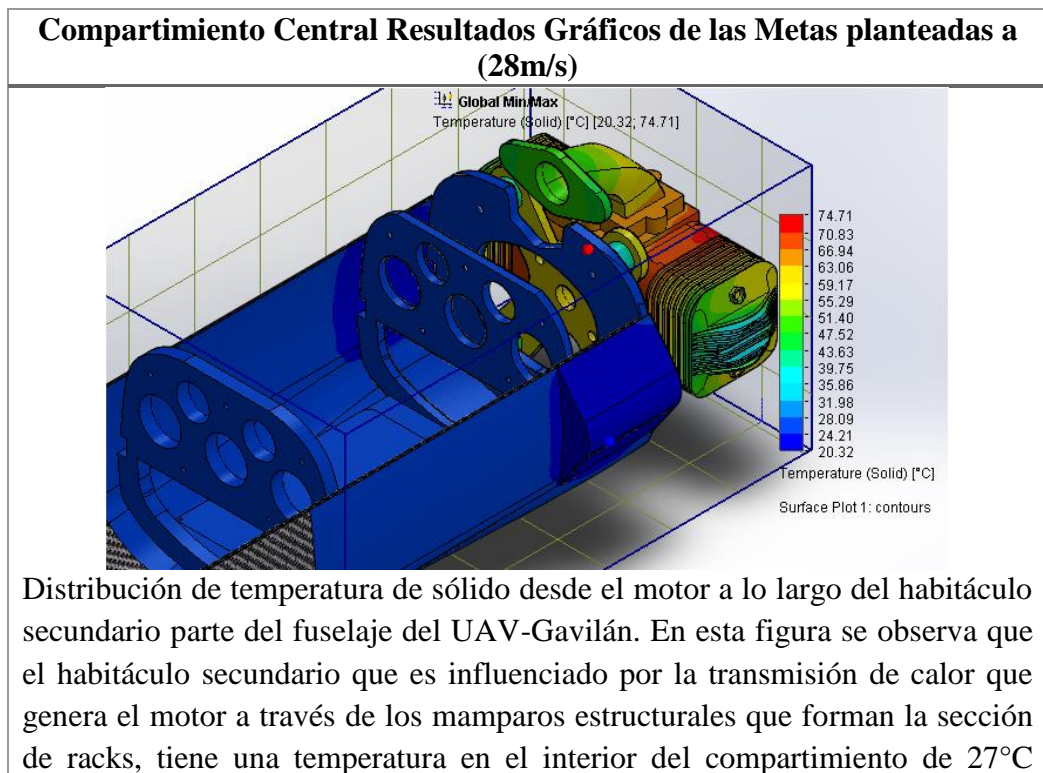
Metas (Valores máximos)	Sin Refrigeración	25 mls	28 mls	30 mls	32 mls
VG Max Temperatura del Cilindro del Motor Meggitt [°C]	124,350	86,750	74,647	72,225	70,600
VG Max Temperatura del Mamparo soporte [°C]	32,925	30,392	27,679	27,180	27,059
VG Max Temperatura Mamparo del compartimiento [°C]	30,191	30,130	26,348	26,192	26,061

**Fuente:** EL software; **Desarrollado:** El Autor

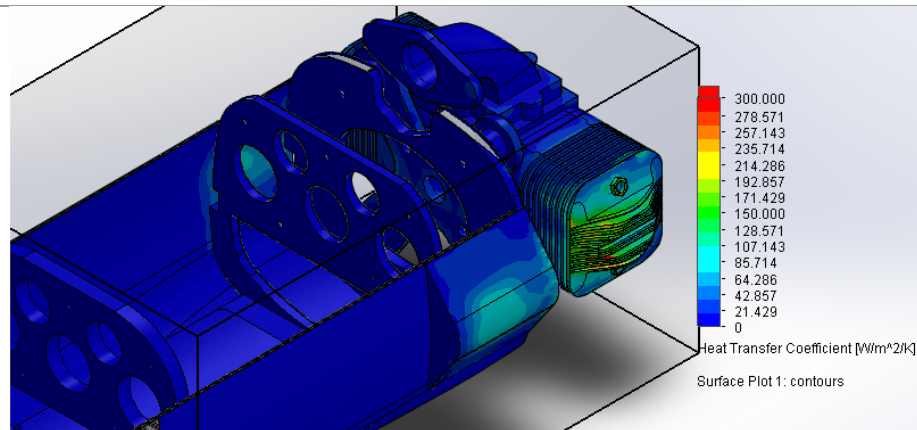
#### 4.2.2.2 Representación gráfica de los resultados a velocidad 28 m/s

A continuación representaremos como se ve con escala de colores la influencia de la temperatura generado por el motor en el habitáculo que cabe recalcar que el habitáculo secundario es una zona sensible el cual requiere disipar el calor generado por el motor fuera de el para que no tenga influencia alguna.

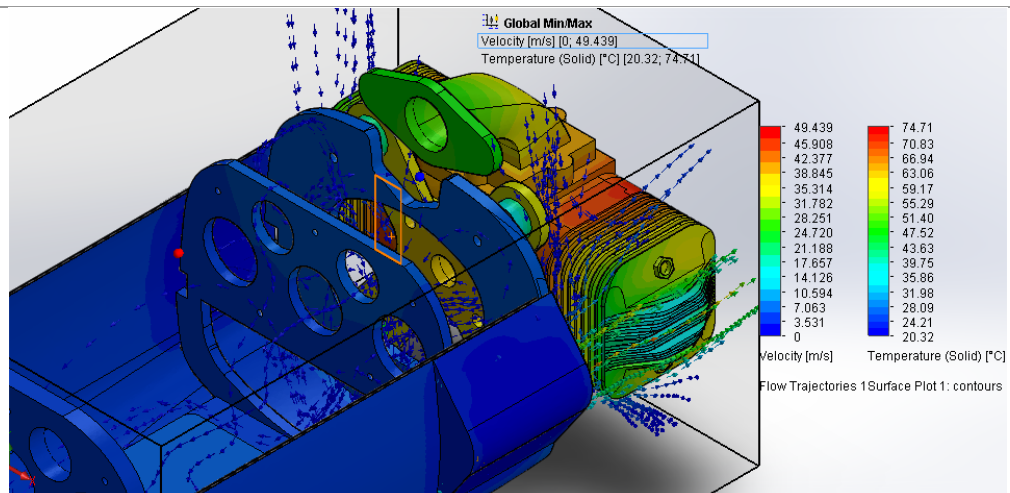
**Tabla 4-19:** Vista 3D del compartimiento Secundario resultados CFD a 28 m/s



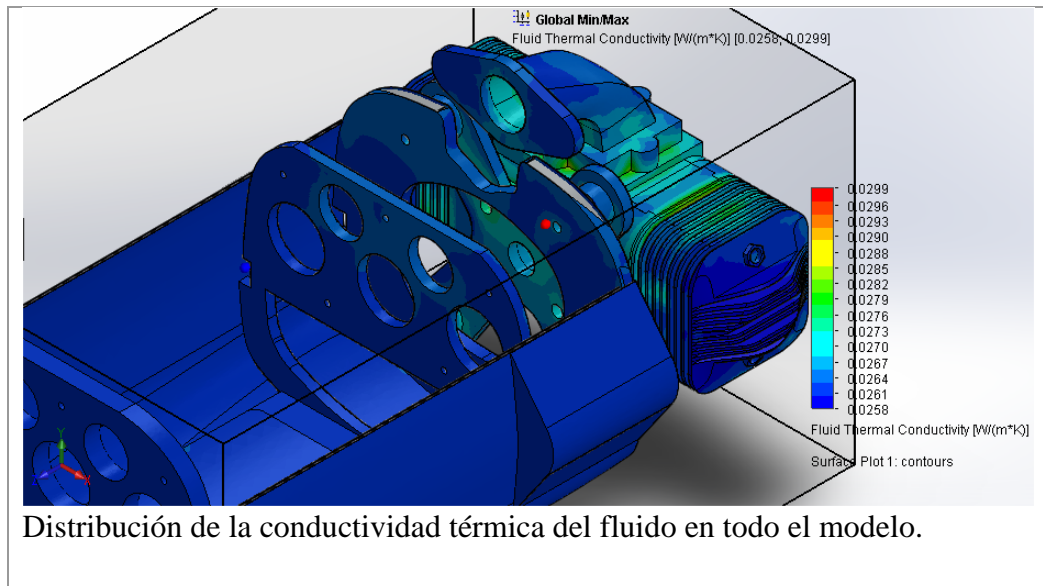
aproximadamente debido a que no influye el calor generado por el motor, cumpliendo así con el objetivo de mantener refrigerado este compartimiento, sitio que se encuentran varios dispositivos electrónicos, sensores y equipos sensibles, del mismo modo la temperatura de los cilindros está por debajo de 75°C por lo que se está cuidando la integridad de este elemento fundamental de la Aeronave no tripulada.



Vista isométrica en la cual se observa la distribución del Coeficiente de transferencia de calor por convección del compartimiento secundario del UAV y los componentes electrónicos configurado en barra de colores, Valor Máximo que se encuentra ubicado en las aletas del cilindro lugar que circula todo el caudal de aire a una velocidad de 28m/s.



Distribución de temperatura del sólido y velocidad del fluido en la trayectoria de las aletas del cilindro del motor Meggitt, simulación ensayada a 28m/s y entrada de 4 pulg de la toma de refrigeración del motor lo cual nos da un caudal de 0,24m<sup>3</sup>/s por cada cilindro.



**Fuente:** EL software; **Desarrollado:** El Autor

### 4.3 VERIFICACIÓN DE LA HIPÓTESIS

Por medio de la investigación que se realizó se pudo determinar que puede mejorar la disipación de calor de los elementos electrónicos por el método de aire forzado del UAV-Gavilán del Centro de Investigación y Desarrollo de la Fuerza Aérea Ecuatoriana, gracias a las diversas simulaciones ensayadas que se realizaron en el transcurso de este estudio se logró verificar la optimización de la capacidad de disipación de calor de los compartimentos central y secundario del UAV-Gavilán, la cual mejorará notablemente el control de temperatura que anteriormente no tenía, el operario ya no tiene que esperar más del tiempo que el dispuesto para poner en operación al UAV.

De acuerdo con la **Tabla 4-13:** Metas globales del estudio planteado para el habitáculo central, se observa en la el análisis por simulación CFD, en el caso del compartimiento central con una velocidad de aire entre 10 - 15 m/s, es eficiente la disipación de calor de los equipos electrónicos evitando que la temperatura ascienda hasta niveles peligrosos, dicho compartimiento contiene dos equipos electrónicos importantes para la transmisión y recepción de datos necesarios para la operación diaria de la Aeronave no Tripulada como es el Amplificador y el Transmisor RF los cuales están a 37,14°C y 27,75°C respectivamente, temperatura que están por debajo de lo especificado del trabajo normal de estos componentes, que son cruciales en el funcionamiento correcto en las misiones designadas al UAV. Del



mismo modo en la **Tabla 4-18:** Metas globales del estudio planteado para el habitáculo secundario, con una velocidad de aire a partir de la velocidad crucero 28 m/s aplicado a las tomas de aire para la refrigeración del motor es eficiente manteniendo la temperatura por debajo de los 75°C, evitando que se transmita el calor hacia los mamparos de aluminio y el fuselaje. El calor generado por el motor no afecta en el compartimiento secundario como se puede observar el análisis por simulación de la **Tabla 4-19:** Vista 3D del compartimiento Secundario.

Como se puede observar en la **Tabla 4-20:** Resumen de Resultados de Simulación CFD para los Compartimientos Central y Secundario, las metas evaluadas se cumplieron de acuerdo con las especificaciones óptimas de trabajo de los componentes electrónicos así como también del motor Meggitt y el compartimiento secundario del UAV-Gavilán, garantizando la disipación de calor de los compartimientos central y secundario evitando que la temperatura ascienda hasta niveles peligrosos que comprometa la integridad de los equipos que están dentro de ellos.

**Tabla 4-20:** Resumen de Resultados de Simulación CFD para los Compartimientos Central y Secundario

Metas Evaluadas en el UAV compartimientos	Especificaciones óptimas de trabajo	Condiciones de trabajo Sin refrigeración		Condiciones a Caudal y velocidad óptimo de refrigeración (CFD)
		Por software	EMCT (sensores)	
Máxima temperatura del Amplificador	40 °C	67,5 °C	70°C	37,14 °C
Máxima temperatura del Transmisor RF	40 °C	54,0 °C	60°C	27,75 °C
Máxima Temperatura del Cilindro del Motor	80 °C	124,4 °C	120°C	74,65 °C
Máxima Temperatura del Mamparo Soporte	28 °C	32,9 °C	32°C	27,67 °C
Máxima Temperatura del Compartimiento Secundario	28 °C	30,2 °C	29°C	26,35 °C

**Fuente:** El Autor

## CAPÍTULO V

### 5 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 5.1 CONCLUSIONES

- Para mejorar la disipación de calor de los elementos electrónicos es necesario aplicar una refrigeración con aire forzado por el motivo que se ajusta a la necesidad de ser un sistema adicional de rápido montaje-desmontable y solo funcione en tierra, a este sistema se puede montar en un banco móvil y diseñar la distribución de un flujo de aire mediante ductos flexibles para su aplicación directa en las zonas que se necesita disipar el calor y mantener la temperatura de los elementos electrónicos.
- No se puede aplicar un sistema de refrigeración watercooling en el UAV a pesar de que el agua tiene una mejor conductividad térmica que el aire. La refrigeración líquida es peligrosa al usar con la electrónica ya que no es un buen par el agua y la electricidad más aún si los componentes electrónicos son fundamentales para el funcionamiento de UAV y la complicación más fundamental es la complejidad de una fácil integración, además al tener varias partes constitutivas en este sistema lo hacen menos fiable para el objetivo de disipar el calor.
- La refrigeración Peltier involucra un aumento del consumo eléctrico y es demandante de potencia no pueden operar por si solos de modo que es necesario un sistema adicional que retire el calor de la cara caliente del módulo Peltier estos sistemas adicionales pueden ser líquida o por aire forzado lo cual hace que sea una fusión de dos métodos de refrigeración lo que hace complejo, difícil de integrar en el UAV para el funcionamiento en tierra.

- De acuerdo con las simulaciones ensayadas se garantiza que la temperatura de funcionamiento de los equipos electrónicos del compartimiento central como el Amplificador y Transmisor RF no sobrepasará los 40°C, en el caso del motor Meggitt la temperatura se mantiene bajo los 80°C, en caso de los Mamparos de aluminio no sobrepasan los 28°C manteniendo la integridad de los equipos electrónicos dentro del compartimiento secundario.
- En cuanto al método de disipación de calor por aire forzado a mayor flujo volumétrico la disipación de calor es eficiente mejorando su capacidad de arrastre de calor obteniendo una reducción importante en las temperaturas dentro de los habitáculos de UAV.
- Para el compartimiento central del UAV se puede escoger entre 10 - 15 m/s, velocidad en el cual el aire da un caudal suficiente para refrigerar por aire forzado a los elementos que están dentro de esta zona. De la misma forma con una velocidad de aire a partir de la velocidad crucero 28m/s aplicado a las entradas de aire para la disipación de calor del motor es eficiente, evitando que se transmita el calor hacia los mamparos de aluminio y el fuselaje, evitando que la temperatura ascienda hasta niveles peligrosos que comprometan la integridad de los equipos que están dentro de los habitáculos central y secundario.
- Según la identificación realizada para el diseño del sistema de disipación se necesita una integración rápida por lo cual se requiere un equipo adicional que se integre en tierra en el chequeo de pre-vuelo del UAV-Gavilán manteniéndose cerca de la aeronave para una rápida integración de conformidad con conexiones flexibles hacia los compartimientos afectados por la generación de calor, garantizando su montaje inmediato al UAV ya que la puesta en marcha de la aeronave no debe sobrepasar los 30 min.

## 5.2 RECOMENDACIONES

- Se recomienda utilizar una refrigeración de aire forzado porque es fácil de llegar a las zonas donde se necesita refrigerar ya que son considerablemente distante una de la otra además se puede implementar ductos flexible lo que hace fácil la integración al UAV.
- Dentro del proyecto de vehículos aéreos no tripulados (UAV) deben tener en cuenta en la carga útil de la aeronave mejores disipadores de calor que funcionen todo el tiempo en tierra y en vuelo sin decaer sus características esenciales para alcanzar el cumplimiento de la misión en su totalidad.
- Se recomienda para construcciones posteriores de aeronaves no tripuladas realizar un diseño optimizado del peso total lo que permitirá ampliar la carga útil que lleva a bordo sin tener riesgo en el trabajo de la aeronave y los equipos que transporta.
- Es recomendable el diseño de un sistema adicional de disipación de calor con el propósito de mejorar la refrigeración de sus componentes utilizados en el pre-vuelo.

## **CAPÍTULO VI**

### **6 PROPUESTA**

#### **6.1 DATOS INFORMATIVOS**

##### **6.1.1 Título**

Diseño del sistema de disipación de calor mediante aire forzado para el control de temperatura en tierra del UAV-Gavilán del Centro de Investigación y Desarrollo de la Fuerza Aérea Ecuatoriana.

##### **6.1.2 Beneficiario**

El trabajo realizado está regido a colaborar con el desarrollo del proyecto UAV del Centro de Investigación y Desarrollo de la Fuerza Aérea Ecuatoriana, mejorando la disipación de calor de los elementos electrónicos ubicado en los habitáculos del UAV-Gavilán, garantizando su integridad y funcionamiento.

##### **6.1.3 Ubicación**

El Centro de Investigación y Desarrollo de la Fuerza Aérea Ecuatoriana está ubicado en el cantón Ambato perteneciente a la provincia de Tungurahua en el Aeropuerto de Chachoán.

##### **6.1.4 Equipo técnico responsable**

- Investigador
- Aerotécnicos

## 6.2 ANTECEDENTES DE LA PROPUESTA

En Ecuador existe una escasa investigación de sistemas de apoyo para refrigeración en tierra para UAV, debido a que el Centro de Investigación y Desarrollo de la Fuerza Aérea Ecuatoriana CID-FAE, son los únicos que desarrollan prototipos de vehículos aéreos no tripulados mediante investigación. En países más desarrollados realizan estudios en un mayor porcentaje en la aplicación de UAVs y PGAs (Proyecto Plataforma de Gran Altitud).

DHS Systems LLC (2012) probó el ECU DRASH 5-TON, UAV para personal del Ejército de los Estados Unidos, provisto de un sistema de apoyo que servirá como un sistema de refrigeración externo del vehículo no tripulado. El equipo de la ingeniería de DHS trabajó estrechamente con GA-ASI para diseñar de acuerdo con las recomendaciones sometidas por personal del Ejército del Águila Gris pensando mejorar la funcionalidad para que el personal de tierra del Ejército pueda realizar el Initial Operational Test & Evaluation (IOT&E) rápidamente y fiablemente. Antes del vuelo, DRASH ECU (sistema de refrigeración externo) entra en acción al conectar a las tomas del UAV mientras el flujo de aire va refrescando todo el compartimento del UAV. El sistema de refrigeración integrado también incluye una carreta de remolque que permite al personal de tierra ubicar el ECU en una proximidad adecuada al avión, mientras se facilita el mantenimiento, la Prueba Operacional Inicial y evaluación de los sistemas constitutivos del UAV.

El ECU jugó un papel importante asegurando el éxito de la misión del Águila Gris a través de la Prueba Operacional inicial, el evento realizado en agosto del 2012. "GA-ASI es un proveedor de UAVs, al incorporar el equipo de DRASH así en sus preparaciones de vuelo de Águila Grises solidifica la reputación de DRASH como una marca fiable y versátil. Además, aumenta la presencia de DRASH en los funcionamientos del Ejército Americano como el Águila Gris (Ken Hall, Área de DRASH).



**Figura 6-1:** DRASH 5-ton ECU refrigeración del Águila Gris

**Fuente:** DHS Technologies

### **6.3 JUSTIFICACIÓN**

El presente proyecto tiene como finalidad mejorar la disipación de calor de los compartimentos central y secundario, con el objetivo de cuidar la integridad de los elementos electrónicos así como también el motor, evitando que se tarde un mayor tiempo en el Test Operacional Inicial y Evaluación. La implementación del proyecto en el UAV, es de vital importancia ya que se logró tener un avance tecnológico. Para mejorar la disipación de calor de los elementos electrónicos es necesario aplicar una refrigeración con aire forzado por el motivo que se ajusta a la necesidad de ser un sistema adicional de fácil maniobrabilidad.

### **6.4 OBJETIVOS**

#### **6.4.1 General**

Diseñar el sistema de disipación de elementos electrónicos mediante aire forzado para el control de temperatura en tierra del UAV-Gavilán del Centro de Investigación y Desarrollo de la Fuerza Aérea Ecuatoriana.

#### **6.4.2 Específico**

- Mejorar la disipación de calor de los elementos electrónicos
- Construir el sistema de refrigeración por Aire forzado
- Verificar su correcto funcionamiento

## 6.5 ANÁLISIS DE FACTIBILIDAD

El sistema de refrigeración para el control de temperatura del UAV-Gavilán que se analizó tiene una factibilidad aceptable ya que cumple con los requerimientos que necesita la entidad beneficiaria CIDFAE, sin una mayor inversión. El conocimiento de diseño y simulación en software que se utilizó para el estudio CFD es suficiente para el desarrollo del proyecto, el Centro de Investigación y Desarrollo de la Fuerza Aérea Ecuatoriana cuenta con software de simulación CFD con sus respectivas licencias, el mismo que se utilizó para obtener parámetros necesarios para el sistema de refrigeración. En cuanto a su construcción se puede decir que es factible tanto el diseño y su ejecución.

## 6.6 FUNDAMENTACIÓN

### 6.6.1 Parámetros de diseño

- **Caudal de ingreso al compartimiento central y secundario del UAV (necesidad de caudal para el sistema).**

**Tabla 6-1:** Necesidad de caudal para el sistema

Parámetro	Diámetro de las (conexiones a los compartimientos)	Caudal volumétrico (resultado CFD)	Velocidad de ingreso a los compartimientos (Resultado CFD)
Compartimiento Central	2,5 in	0,0475 m <sup>3</sup> /s	15 m/s
Toma de refrigeración del motor lado izquierdo (compartimiento secundario)	4 in	0,24 m <sup>3</sup> /s	28 m/s
Toma de refrigeración del motor lado derecho (compartimiento secundario)	4 in	0,24 m <sup>3</sup> /s	28 m/s
<b>Total</b>		<b>0,5275 m<sup>3</sup>/s (1900 m<sup>3</sup>/h)</b>	

**Fuente:** El Autor

Este es el caudal mínimo que debe suministrar el ventilador hacia las tomas de los compartimientos del UAV.



$$\dot{V} = 0,5275 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} \approx 1900 \text{ m}^3/\text{h}$$

## 6.6.2 Diseño de ductos Fundamentación Teórica

Los sistemas de ventilación y aire acondicionado distribuyen el aire a través de ductos a relativamente baja presión, los ventiladores que son los que mueven el aire pueden describirse como dispositivos de alto volumen, para lo cual se requiere un conocimiento de las presiones en el sistema de ductos para adaptar en forma apropiada un ventilador a un sistema dado, para asegurar la entrega de una cantidad adecuada de aire, y para equilibrar el flujo en varias partes del sistema.

Las pérdidas por fricción se presentan a medida que fluye a través de accesorios tales como Te, Ye y por medio de los dispositivos de control de flujo. Para la estimación de las pérdidas por fricción se han preparado tablas por parte de la American Society of Heating, Refrigerating And Air-Conditioning Engineers (ASHRAE) para las condiciones típicas encontradas en el diseño de ductos (Mott, 2006).

Para el diseño de distribución de aire se utilizan con frecuencia los ductos circulares, en general, más conveniente es utilizar ductos rectangulares debido a las limitaciones de espacio, en particular sobre techos, vemos que el diámetro equivalente para un ducto rectangular es:

$$D_e = \frac{1.3(ab)^{5/8}}{(a+b)^{1/4}} \quad \text{Ec. (6-1)}$$

Donde  $a$  y  $b$  son los lados del rectángulo.

### 6.6.2.1 Pérdida de energía en ductos

Ecuación de la pérdida dinámica en accesorios:

$$H_L = C(H_v) \quad \text{Ec. (6-2)}$$

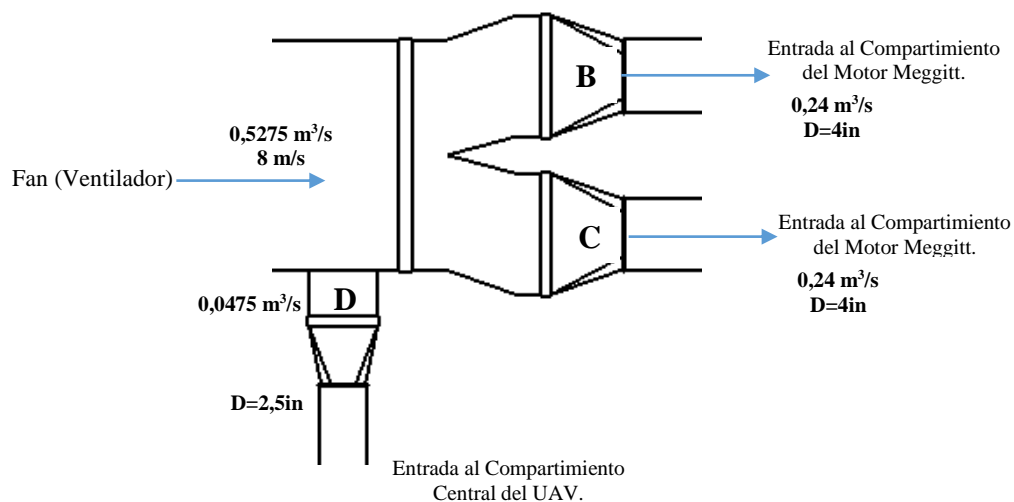
Donde  $C$  es el coeficiente de pérdida que se la puede obtener de tablas y figuras,  $H_v$  es la presión de velocidad o la cabeza de velocidad.

$$H_v = \frac{\gamma_a v^2}{2g} \quad \text{Ec. (6-3)}$$

Cuando se utiliza el sistema de unidades SI, los niveles de presión y las pérdidas se miden en la unidad Pa. Por consiguiente:  $\gamma_a$  es el peso específico del aire,  $v$  es la velocidad de flujo (m/s),  $g$  es la gravedad. Por lo cual se utilizan las condiciones de aire estándar y la ecuación se reduce a:

$$H_v = \left( \frac{v}{1,289} \right)^2 \text{ [Pa]} \quad \text{Ec. (6-4)}$$

### 6.6.3 Dimensionamiento del Sistema de ductos

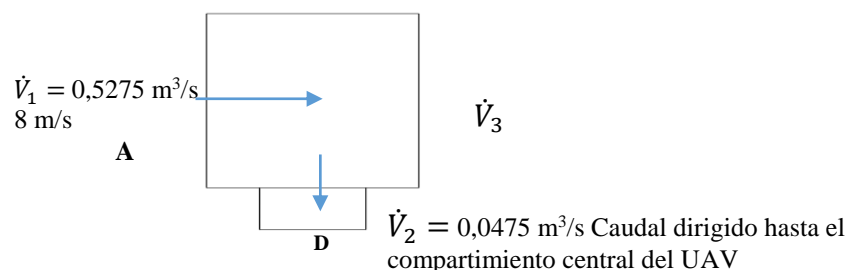


**Figura 6-2:** Esquema del sistema de ductos

**Fuente:** El Autor

#### ➤ Dimensionamiento de la Tee divergente

- Velocidad mínima de conducción de flujo =  $8 \text{ m/s}$
- Caudal de ingreso al ducto =  $0,5275 \text{ m}^3/\text{s}$



**Figura 6-3:** Ilustración del conducto divergente

**Fuente** El Autor

## Entrada de la Tee divergente

$$A = \frac{\dot{V}_1}{V_1} = \frac{0,5275 \text{ m}^3/\text{s}}{8 \text{ m/s}} = 0,0659 \text{ m}$$

$$A = \frac{\pi * (D_1)^2}{4}$$

$$0,0659 \text{ m} = \frac{\pi * (D_1)^2}{4}$$

$$D_1 = 0,289 \text{ m}$$

**Tabla 6-2:** Diámetros equivalentes de conductos rectangulares

35.10

2005 ASHRAE Handbook—Fundamentals (SI)

**Table 2 Circular Equivalents of Rectangular Duct for Equal Friction and Capacity<sup>a</sup>**

Lgth Adj. <sup>b</sup>	Length of One Side of Rectangular Duct (a), mm																			
	100	125	150	175	200	225	250	275	300	350	400	450	500	550	600	650	700	750	800	900
	Circular Duct Diameter, mm																			
100	109																			
125	122	137																		
150	133	150	164																	
175	143	161	177	191																
200	152	172	189	204	219															
225	161	181	200	216	232	246														
250	169	190	210	228	244	259	273													
275	176	199	220	238	256	272	287	301												
330	183	207	229	248	266	289	299	314	328											
350	195	222	245	267	286	305	322	339	354	383										
400	207	235	260	283	305	325	343	361	378	409	437									
450	217	247	274	299	321	343	363	382	400	433	464	492								

**Fuente:** ASHRAE Handbook-Fundamentals (SI), 2005

De la **Tabla 6-2:** Diámetros equivalentes de conductos rectangulares, transformamos de ducto circular a rectangular, el valor de los lados **a** y **b** con **De = 289** mm, son los valores resultantes:

- a = 330 mm
- b = 225 mm
- $A_{dA} = 0,0743 \text{ m}^2$

## Velocidad del ducto rectangular ( $V_{dA}$ )

$$\dot{V}_1 = V_{dA} * A_{dA}$$

$$V_{dA} = \frac{\dot{V}_1}{A_{dA}} = \frac{0,5275 \text{ m}^3/\text{s}}{0,0743 \text{ m}^2} = 7.1 \text{ m/s}$$

Del mismo modo realizamos el dimensionamiento para el tramo **D**.

- Velocidad mínima de conducción de flujo = 7,1 m/s
- Caudal = 0,0475 m<sup>3</sup>/s

$$A = \frac{\dot{V}_2}{V} = \frac{0,0475 \text{ m}^3/\text{s}}{7,1 \text{ m/s}} = 0,00669 \text{ m}$$

$$A = \frac{\pi * (D_1)^2}{4}$$

$$0,00669 \text{ m} = \frac{\pi * (D_1)^2}{4}$$

$$D_C = 0,0923 \text{ m}$$

Se transforma el ducto circular a rectangular los valores estimados son los siguientes:

- a = 100 mm
- b = 150 mm
- A<sub>dc</sub> = 0,015 m<sup>2</sup>

#### **Velocidad real del ducto rectangular (V<sub>dc</sub>)**

$$\dot{V}_C = V_{dD} * A_{dc}$$

$$V_{dD} = \frac{\dot{V}_C}{A_{dc}} = \frac{0,0475 \text{ m}^3/\text{s}}{0,015 \text{ m}^2} = 3.16 \text{ m/s}$$

#### **Cálculo de la pérdida de energía HL de Tee Divergente.**

Por lo tanto se utilizó la siguiente tabla para obtener el factor de fricción  $C_o$  para calcular la pérdida de energía  $HL$ .

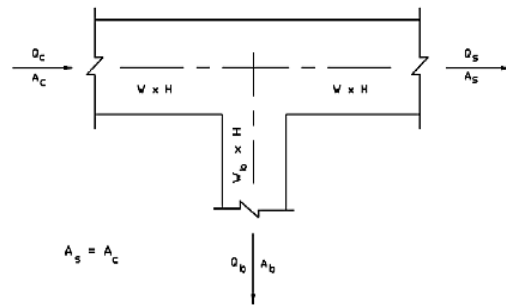
**Tabla 6-3:** Coeficiente de resistencia Tee divergente, rectangular, (valores de  $C_b$  y  $C_s$ )

SR5-5 Tee of the Type  $A_s + A_b > A_c, A_s = A_c$  Diverging

$A_b/A_c$	$C_b$ Values								
	$Q_b/Q_c$								
	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9
0.1	2.06	1.20	0.99	0.87	0.88	0.87	0.87	0.86	0.86
0.2	5.16	1.92	1.28	1.03	0.99	0.94	0.92	0.90	0.89
0.3	10.26	3.13	1.78	1.28	1.16	1.06	1.01	0.97	0.94
0.4	15.84	4.36	2.24	1.48	1.11	0.88	0.80	0.75	0.72
0.5	24.25	6.31	3.03	1.89	1.35	1.03	0.91	0.84	0.78
0.6	34.56	8.73	4.04	2.41	1.64	1.22	1.04	0.94	0.87
0.7	46.55	11.51	5.17	3.00	2.00	1.44	1.20	1.06	0.96
0.8	60.80	14.72	6.54	3.72	2.41	1.69	1.38	1.20	1.07

$Q_s/Q_c$	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.8	1.0
$C_s$	32.00	6.50	2.22	0.87	0.40	0.17	0.03	0.00



**Fuente:** (American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc., 2005)

**Determinación de los coeficientes  $C_s$ ,  $C_b$ .**

$$\dot{V}_3 = Q_s = 0,48 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$\dot{V}_1 = Q_c = 0,528 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$\dot{V}_2 = Q_b = 0,0475 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$\frac{A_b}{A_c} = \frac{A_{d2}}{A_{d3}} = 0,015/0,0743 = 0,20$$

$$\frac{Q_b}{Q_c} = 0,0475/0,528 = 0,1$$

$$\frac{Q_s}{Q_c} = \frac{0,48}{0,528} = 0,90$$

Con los valores de  $\frac{A_b}{A_c}$ ,  $\frac{Q_b}{Q_c}$  y  $\frac{Q_s}{Q_c}$  de la **Tabla 6-3:** Coeficiente de resistencia Tee divergente, rectangular, (valores de  $C_b$  y  $C_s$ ), se obtuvo:

$$C_b = 5,16$$

$$C_s = 0,004$$

$$C = C_b + C_s = 5,16 + 0,004 = 5,164$$

$$HL_{Tee} = C * H_{V_{tee}}$$

$$H_{V_{Tee}} = \left(\frac{v}{1,289}\right)^2 [\text{Pa}]$$

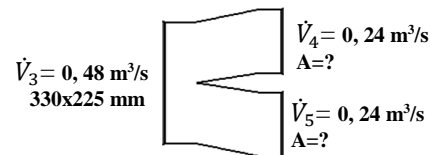
$$H_{V_{Tee}} = \left(\frac{7,1}{1,289}\right)^2$$

$$H_{V_{Tee}} = 30,34 \text{ Pa}$$

$$HL_{Tee} = 5,164 * 30,34 = \mathbf{156,68 \text{ Pa}}$$

### Dimensionamiento de Ye simétrica.

El diseño fue de una ye simétrica por lo que el caudal de entrada se divide entre 2.



$$\dot{V}_3 = 0,48 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} = A_3 \times V_3$$

$$V_3 = \frac{0,48 \text{ m}^3/\text{s}}{(0,33 * 0,225) \text{ m}^2} = 6,465 \text{ m/s}$$

$$\dot{V}_3 = \dot{V}_4 + \dot{V}_5$$

$$\dot{V}_4 = \dot{V}_5$$

$$\dot{V}_3 = 2\dot{V}_4 = 2(A * V)$$

$$A_4 = \frac{\dot{V}_4}{2V} = \frac{0,48 \text{ m}^3/\text{s}}{2 * 6,465 \text{ m/s}} = 0,0369 \text{ m}^2$$

$$A_4 = \frac{\pi D^2}{4}$$

$$D_{e4} = \sqrt{\frac{4 * 0,0369 \text{ m}^2}{\pi}} = 0,2168 \text{ m}$$

De la **Tabla 6-2**: Diámetros equivalentes de conductos rectangulares estandarizamos los valores de a, b con  $D_e = 216,8 \text{ mm}$ :

- $a = 225 \text{ mm}$
- $b = 175 \text{ mm}$
- $A = 0,0394 \text{ m}^2$

#### Velocidad del real del ducto rectangular ( $V_{d4}$ )

$$\dot{V}_4 = A_{d4} \times V_{d4}$$

$$V_{d4} = \frac{0,24 \text{ m}^3/\text{s}}{0,0394 \text{ m}^2} = 6,1 \text{ m/s}$$

#### Determinación del coeficiente de resistencia para Ye ( $C_b$ ).

**Tabla 6-4:** Coeficiente de resistencia Ye simétrica (valor de  $C_b$ )

SR5-14 Wye, Symmetrical, Dovetail, $Q_b/Q_c = 0.5$ , Diverging		
$A_b/A_c$	0.5	1.0
$C_b$	0.30	1.00

Branches are identical:  $Q_{b1} = Q_{b2} = Q_b$ , and  $C_{b1} = C_{b2} = C_b$

**Fuente:** (American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc., 2005)

$$\frac{A_{d4}}{A_{d3}} = \frac{A_b}{A_c} = \frac{0,0394}{0,0743} = 0,53$$

Con los valores  $\frac{A_b}{A_c}$  de la **Tabla 6-4**: Coeficiente de resistencia Ye simétrica (valor de  $C_b$ ) se obtuvo:

$$C_b = 0,3$$

$$C = 0,3 * 2 = 0,6$$

$$HL_{Ye} = C * HV_{Ye}$$

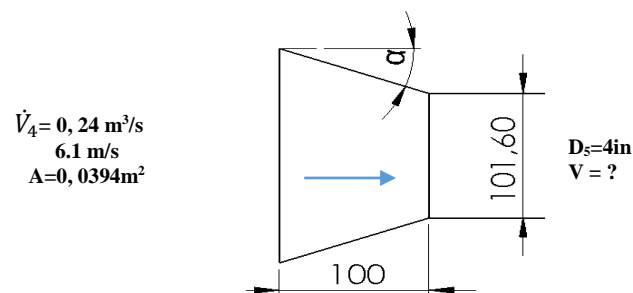
$$H_{V_{Ye}} = \left(\frac{v}{1,289}\right)^2 [\text{Pa}]$$

$$H_{V_{Ye}} = \left(\frac{6,1}{1,289}\right)^2$$

$$H_{V_{Ye}} = 22,39 \text{ Pa}$$

$$H_{L_{Ye}} = 0,6 * 22,39 = 13,437 \text{ Pa}$$

### Dimensionamiento de la contracción gradual B y C



**Figura 6-4:** Ilustración de la contracción gradual

Fuente El Autor

$$\tan \alpha = \frac{D_4 - D_5}{2L}$$

$$\tan \alpha = \frac{216,8 - 101,6}{2(100)}$$

$$\alpha = 30,96^\circ$$

$$\theta = 2\alpha$$

$$\theta = 2 * 30,96 = 61,9^\circ$$

$$\dot{V}_4 = \dot{V}_5$$

$$A_4 * V_4 = A_5 * V_5 = 0,24 \text{ m}^3/\text{s}$$

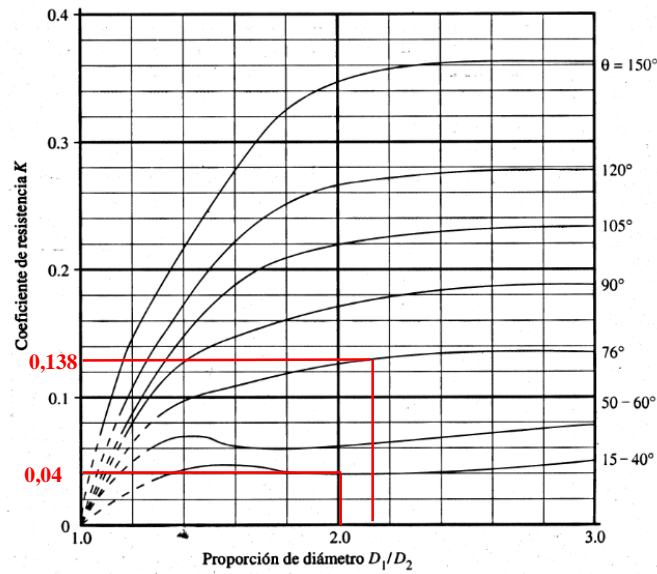
$$A_4 * V_4 = V_5 * \frac{\pi * (D_5)^2}{4}$$

$$V_5 = \frac{4 * 6,1 \frac{\text{m}}{\text{s}} * 0,0394 \text{ m}^2}{\pi * (0,1016 \text{ m})^2} = 29,6 \text{ m/s}$$

Esta velocidad resultó superior a 28 m/s lo especificado por la simulación CFD por lo que esta correcto el dimensionamiento de la reducción.



## Cálculo de la pérdida de energía



**Figura 6-5:** Coeficiente de resistencia  $C_k$  para contracción gradual  
**Fuente:** (Mott, 2006)

$$\frac{D5}{D4} = \frac{216}{101,6} = 2,13$$

Con los valores de  $\frac{D5}{D4}$  y  $\theta$ , de la **Figura 6-5:** Coeficiente de resistencia  $C_k$  para contracción gradual, se obtuvo  $C_k$ .

$$C_K = 0,138$$

$$HL_{cg1} = C_K * H_{vF}$$

$$H_{v_{cg1}} = \left(\frac{v}{1,289}\right)^2 [\text{Pa}]$$

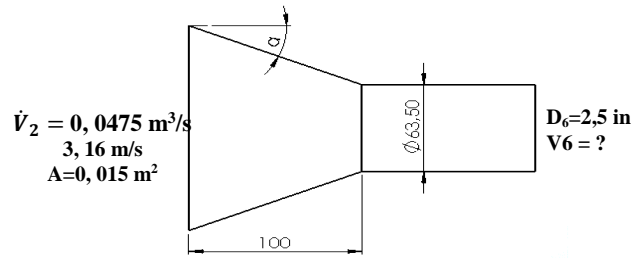
$$H_{v_{cg1}} = \left(\frac{29,6}{1,289}\right)^2$$

$$H_{v_{cg1}} = 527,32 \text{ Pa}$$

$$HL_{cg1} = 0,138 * 527,32 = \mathbf{72,77 \text{ Pa}}$$

$$HL_{cg1} = HL_{cg2} = \mathbf{72,77 \text{ Pa}}$$

## Dimensionamiento de la contracción gradual D



**Figura 6-6:** Ilustración de la contracción gradual 2

Fuente El Autor

$$\tan \alpha = \frac{133 - 63,5}{2(100)}$$

$$\alpha = 19,16^\circ$$

$$\theta = 2\alpha$$

$$\theta = 2 * 19,16 = 38,3^\circ$$

$$\dot{V}_2 = \dot{V}_6 = 0,0475 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$V_2 * A_2 = A_6 * V_6$$

$$V_6 = \frac{4 * \dot{V}_2 * A_2}{\pi * (D_6)^2}$$

$$V_6 = \frac{4 * 3,16 \text{ m/s} * 0,015 \text{ m}^2}{\pi * (0,0635 \text{ m})^2} = 14,96 \text{ m/s}$$

Esta velocidad resultó aproximadamente igual 15 m/s lo especificado por la simulación CFD por lo que esta correcto el dimensionamiento de la reducción.

## Cálculo de la pérdida de energía reducción D

$$\frac{D_2}{D_6} = \frac{133}{63,5} = 2,09$$

Con los valores de  $\frac{D_2}{D_6}$  y  $\theta$ , de la **Figura 6-5:** Coeficiente de resistencia  $C_k$  para contracción gradual, se obtuvo  $C_k$ .

$$C_K = 0,04$$

$$HL_{cg3} = C_K * H_{V_{cg3}}$$

$$Hv_{cg3} = \left(\frac{v}{1,289}\right)^2 [\text{Pa}]$$

$$Hv_{cg3} = \left(\frac{15}{1,289}\right)^2$$

$$Hv_{cg3} = 135,42 \text{ Pa}$$

$$HL_{cg3} = 0,04 * 135,42$$

$$HL_{cg3} = \mathbf{5,42 \text{ Pa}}$$

### **Dimensionamiento del ducto circular flexible para la conexión de 4 pulg al UAV**

- Velocidad en mínima 29,6 m/s
- $Q = 0,24 \text{ m}^3/\text{s}$
- $L=1\text{m}$

Del **Anexo 4**: Pérdida por fricción en ductos unidades SI., con  $v = 29,6 \text{ m/s}$ ;  $Q = 0,24 \text{ m}^3/\text{s}$  tenemos un  $hL$  de:

$$hL \approx 98 \text{ Pa/m}$$

$$HL = hL * L$$

$$HL = 98 \frac{\text{Pa}}{\text{m}} * 1 \text{ m}$$

$$HL_{f1} = \mathbf{98 \text{ Pa}}$$

$$HL_{f2} = \mathbf{98 \text{ Pa}}$$

### **Dimensionamiento del ducto circular flexible para la conexión de 2,5 pulg al UAV**

- Velocidad en mínima 15 m/s
- $Q = 0,0475 \text{ m}^3/\text{s}$
- $L=1 \text{ m}$

Del **Anexo 4: Pérdida por fricción en ductos unidades SI.**, con  $v = 15 \text{ m/s}$ ;  $Q = 0,0475 \text{ m}^3/\text{s}$  tenemos un  $hL$  de:

$$hL \approx 59 \text{ Pa/m}$$

$$HL = hL * L$$

$$HL = 59 \frac{\text{Pa}}{\text{m}} * 1 \text{ m}$$

$$\mathbf{HL_{f3} = 59 \text{ Pa}}$$

$$HL_{T1} = HL_{Tee} + HL_{Ye} + HL_{cg1} + HL_{cg2} + HL_{cg3} + HL_{f1} + HL_{f2} + HL_{f3}$$

$$HL_{T1} = (156,58 + 13,44 + 72,77 + 72,77 + 5,42 + 98 + 98 + 59)\text{Pa}$$

$$\mathbf{HL_{T1} = 575,98 \text{ Pa}}$$

#### 6.6.4 Selección del ventilador

El ventilador es el corazón del sistema, el mismo que provee la energía necesaria para que el flujo logre vencer la resistencia (o caída de presión) a través de la ductería. La selección de un ventilador implica no sólo elegir un ventilador que cumpla con los requisitos de presión y caudal exigidos sino con todos los demás aspectos de la instalación incluyendo las propiedades de la corriente de aire, la temperatura de operación, la disposición de la transmisión y las limitaciones de montaje. Según Salvador Escoda S.A. (2008). Manual Práctico de Ventilación (Segunda ed.) los ventiladores se clasifican según la presión:

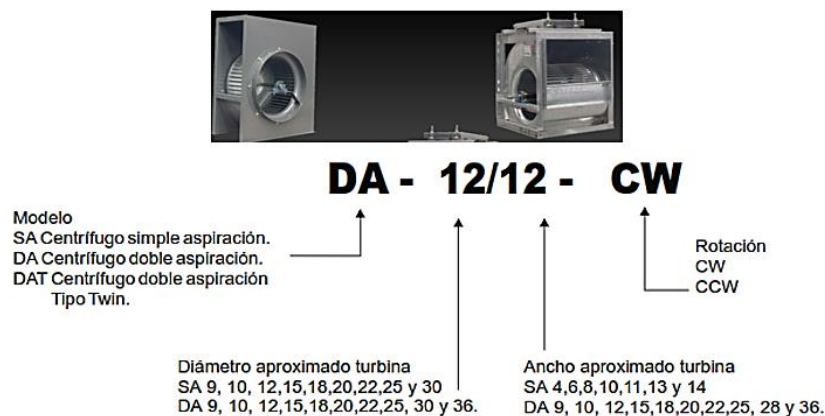
- **Baja presión:** Se llaman así a los que no alcanzan los 70 Pascales. Suelen ser centrífugos y se designan así los utilizados en climatizadores.
- **Mediana presión:** Si la presión está entre los 70 y 3.000 Pascales. Pueden ser centrífugos o axiales.
- **Alta presión:** Cuando la presión está por encima de los 3.000 Pascales. Suelen ser centrífugos con rodetes estrechos y de gran diámetro.

**Tabla 6-5:** Ventilador Axial vs Centrífugo, parámetros de selección.

Tipo de ventilador Parámetros	Axial	Centrífugo
Aplicaciones	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Diseñados para instalación en conducto.</li> <li>• Renovación de aire en todo tipo de edificios e industrias.</li> <li>• Extracción de humos (máximo 50-60°C).</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Diseñados para instalación en conducto, son indicados para:</li> <li>• Procesos industriales, extracción o inyección localizada.</li> <li>• Refrigeración de máquinas, enfriamiento de piezas mecánicas.</li> <li>• Transporte de aire limpio.</li> </ul>
Montaje	Diseñados para montaje en línea de conducto tanto para impulsión o extracción.	Diseñados para aplicación exterior fácil acceso para mantenimiento.

**Fuente:** El Autor

Se utilizó un ventilador centrífugo según la tabla anterior por su versatilidad de escoger el rango de presión y sobre todo en la aplicación que son utilizadas como es para la refrigeración de máquinas y enfriamiento de piezas mecánicas, en nuestro caso se ajustó para la disipación de equipos electrónicos y compartimentos afectados por la transferencia de calor del UAV. La presión que se necesitó es 576Pa que se encuentra en el rango de ventiladores de Media Presión. Según el catálogo de Soler & Palau se puede escoger ventiladores centrífugo de media presión de la serie SA, DA.



**Figura 6-7:** Ventiladores centrífugos simple y doble aspiración SA/DA de S&P

**Fuente:** Catalogo Soler & Palau

Por disponibilidad seleccionó el modelo DA 10/10 de Soler & Palau.

DA: 7-7 al 18-18 (Únicamente hasta 3 HP)

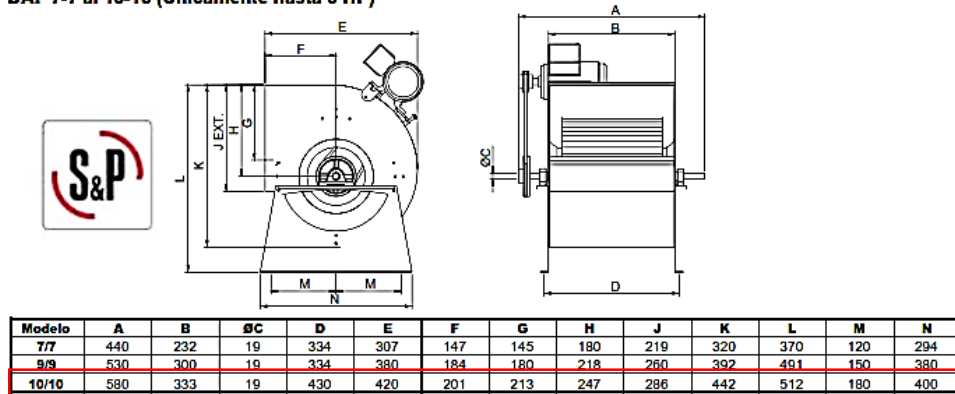


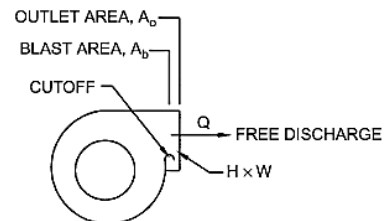
Figura 6-8: Datos técnicos del modelo DA 10/10

Fuente: Catalo de S&P

### Recalculando presión total con el ventilador seleccionado

Tabla 6-6: Coeficiente de resistencia Ventilador centrífugo, valor  $C_o$

SR7-1 Fan, Centrifugal, Without Outlet Diffuser, Free Discharge							
$A_b/A_o$	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0
$C_o$	2.00	2.00	1.00	0.80	0.47	0.22	0.00



Fuente: (American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc., 2005)

Datos de la boca de descarga del ventilador

- $a_o = 333 \text{ mm}$                        $a_b = 330 \text{ mm}$
- $b_o = 286 \text{ mm}$                        $b_b = 225 \text{ mm}$
- $A_o = 0,0952 \text{ m}^2$                        $A_b = 0,0743 \text{ m}^2$

$$\frac{A_b}{A_o} = \frac{0,0743}{0,0952}$$

$$\frac{A_b}{A_o} = 0,8$$

$$C_o = 0,47$$

$$HL_{Fan} = C_o * HV_{Fan}$$

$$HV_{Fan} = \left(\frac{v}{1,289}\right)^2 [Pa]$$

$$HV_{Fan} = \left(\frac{8}{1,289}\right)^2$$

$$HV_{Fan} = 38,52 \text{ Pa}$$

$$HL_{Fan} = 0,47 * 38,52$$

$$HL_{Fan} = \mathbf{18,10 \text{ Pa}}$$

### Estimación de la pérdida de carga por filtros de aire

**Tabla 6-7:** Pérdida de carga de filtro de aire en la entrada del ventilador

Modelo	Dimensión Nominal (in)	Espesor (in)	Perdida de carga final inwg
FPP 20-2"	20 x 20	2	0.1
FPP 24-2"	24 x 24	2	0.1

$$HL_{filtro} = 0,1 \text{ inwg} = 24,91 \text{ Pa}$$

$$HL_T = \sum_{i=1}^n HL_i = 575,98 + 18,10 + 24,91$$

$$HL_T = \mathbf{618,99 \text{ Pa}}$$

**El ventilador seleccionado presentará las siguientes condiciones de operación:**

**Tabla 6-8:** Condiciones de Operación

CARACTERÍSTICAS DEL SISTEMA	
<b>Caudal</b>	1900 m <sup>3</sup> /h (1118 CFM)
<b>Presión Estática</b>	618,99 Pa (2,48 inwg)
<b>Horse power</b>	1,5 hp
<b>Lw</b>	85 dB
<b>RPM</b>	1550

**Fuente:** El Autor

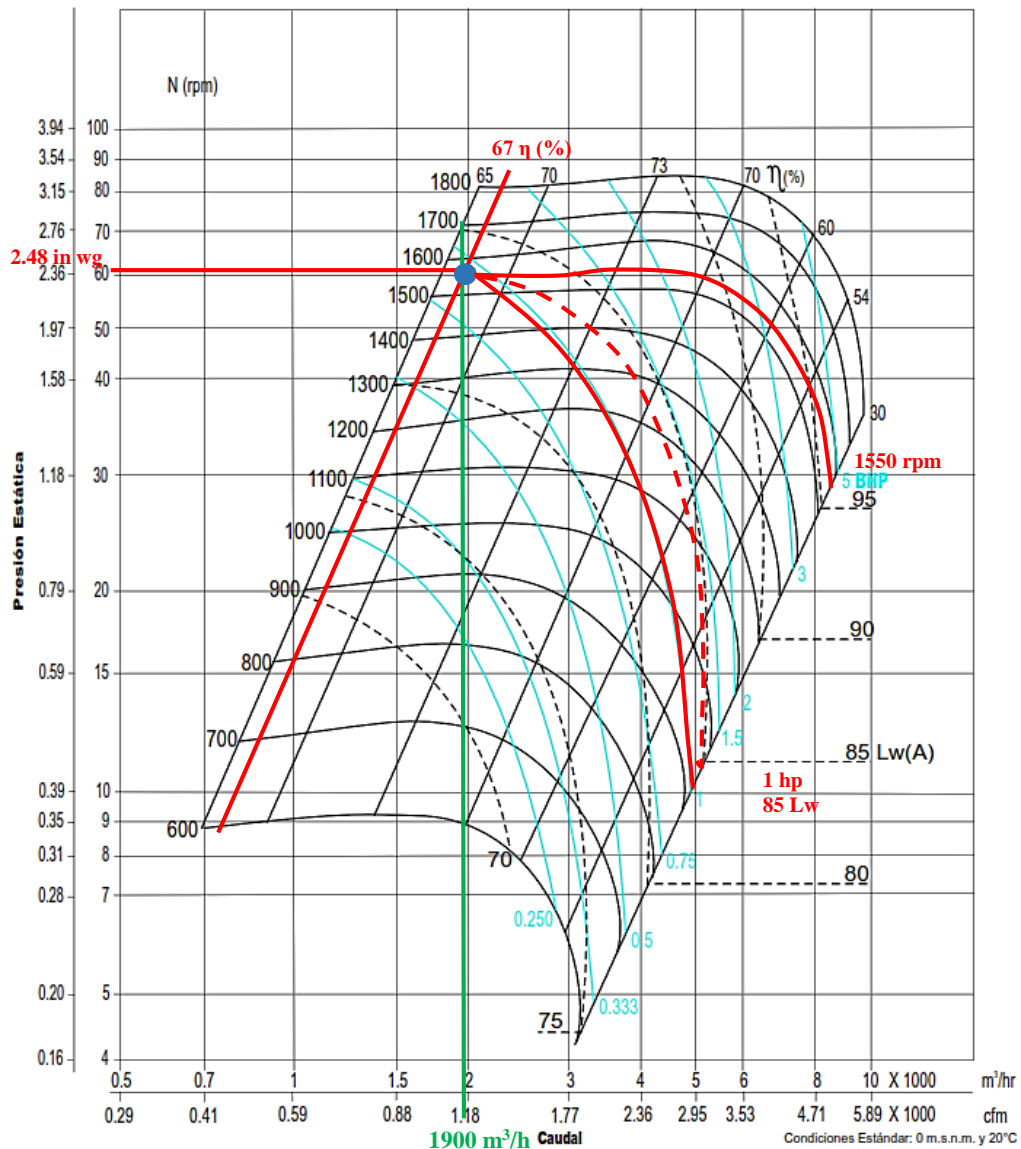
## Potencia consumida por el ventilador

Tabla 6-9: Curvas características para selección de parámetros del modelo DA10/10 S&P



# DA 10/10

### CURVA CARACTERÍSTICA in wg mmca




Fuente: Catalogo Soler & Palau

Resultados: Modelo DA-10/10

- Caudal: 1900 m<sup>3</sup> /h (1118 CFM)
- PE: 62 mm c.a. (2.48 in wg)
- HP: 1 hp
- Lw: 85 dB
- RPM: 1550 rpm



**Tabla 6-10:** Características del ventilador centrífugo modelo DA 10/10

Características del ventilador seleccionado		
	Marca	Soler & Palau
	Modelo	DA 10/10
	Tipo	Centrífugo
	Salida de caudal	Multicurva
	RPM del ventilador	1800 max.
	Aspiración	Doble oído
	Motor	1,5 HP (1750 rpm)
	Frecuencia	60 Hz
	Peso	20kg + motor

Fuente: Catalogo S&P

#### 6.6.4.1 Corrección de la potencia del ventilador por altitud y temperatura del ventilador DA 10/10

**Tabla 6-11:** Datos de propiedades Atmosféricas

Datos de propiedades atmosféricas	
<b>Localización:</b>	<b>Nombre:</b> Chachoán <b>País:</b> Ecuador
<b>Ciudad:</b>	Ambato
<b>Código de zona:</b>	337
<b>Código:</b>	ATF
<b>Huso horario:</b>	GMT + 5.0
<b>Latitud:</b>	1°12'0"S
<b>Longitud:</b>	78°34'0"W
<b>Clima:</b>	Templado seco
<b>Temperatura:</b>	15 a 21 °C
<b>Metros de pista:</b>	1869,948 m.
<b>Elevación de pista:</b>	2529.85 m.s.n.m.

Fuente: Cortesía de CID-FAE

Del **Anexo 6:** Factor de corrección de densidad del aire aplicable para el punto de servicio real con la elevación de pista de 2529.85 m.s.n.m. donde funcionará el sistema tenemos  $fc = 0,746$

$$P_C = hp / fc \quad \text{Ec. (6-5)}$$

$$P_C = 1hp / 0,746$$

$PE_C = 1,34$  HP, por estandarización tomamos 1,5 hp

**El ventilador seleccionado presentará las siguientes condiciones de operación:**

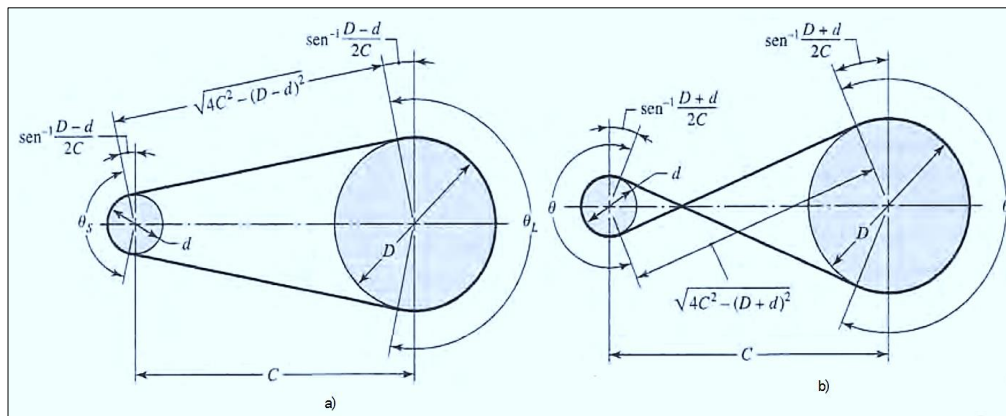
**Tabla 6-12:** Condiciones de Operación

CARACTERÍSTICAS DEL SISTEMA	
<b>Caudal</b>	1900 m <sup>3</sup> /h (1118 CFM)
<b>Presión Estática</b>	62 mmca
<b>Horse power</b>	1,5 hp
<b>Lw</b>	85 dB
<b>RPM</b>	1550

**Fuente:** El Autor

### 6.6.5 Diseño de la transmisión

Los elementos de máquina flexibles se emplean en los sistemas de transporte y para la transmisión de potencia sobre distancias, estos pueden tener diferentes formas: correas planas, trapezoidales o en V, en V planas y dentadas,



**Figura 6-9:** Geometría de bandas planas. A) Banda abierta. B) Banda cruzada.

**Fuente:** (Shigley & Mischke, 2002)

#### Datos iniciales:

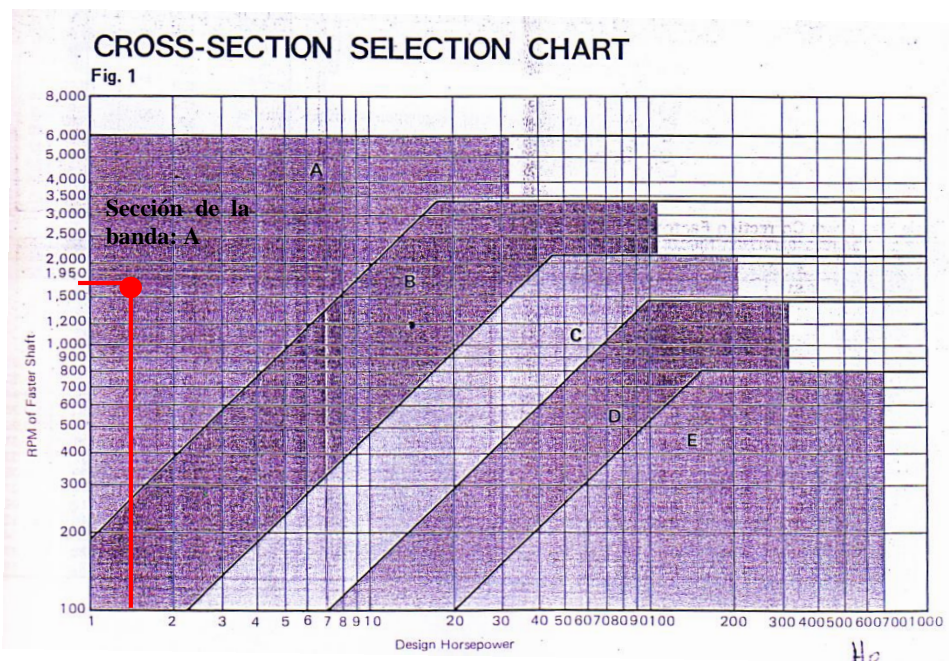
- Potencia nominal = 1,5 hp [1,119 kW]
- Revoluciones de salida del motor = 1740 rpm
- Revoluciones de entrada al ventilador = 1550 rpm

### 6.6.5.1 Relación de transmisión

$$R = \frac{N}{n} = \frac{D}{d} \quad \text{Ec. (6-6)}$$

$N$  revoluciones de salida del motor,  $n$  revoluciones de entrada,  $D$  diámetro de la polea mayor,  $d$  diámetro de la polea menor.

$$R = \frac{1740}{1550} = 1,12$$



**Figura 6-10:** Sección transversal de banda

**Fuente:** Catálogo de bandas Mitsubishi

Según la figura 6-10 se utiliza una banda en V de sección A

Del **Anexo 7:** Tabla de secciones de bandas en V estándar, diámetro mínimo de la polea, seleccionamos 3pulg para la polea motriz.

$$R = \frac{D}{d} \quad \text{Ec. (6-7)}$$

$$1,12 = \frac{D}{76,20\text{mm}}$$

$$D = 85,34\text{mm}$$

Por estandarización se utilizó una polea  $D = 85 \text{ mm}$  [3,3 pulg]

#### 6.6.5.2 Especificación de espacio entre centros tentativa

$$D < C < 3(D + d) \quad [\text{pulg}] \quad \text{Ec. (6-8)}$$

$$3,4 < C < 3(3,4 + 3)$$

$$3,4 < C < 19,2$$

Tomaremos  $C = 381 \text{ mm}$  [15 pulg]

#### 6.6.5.3 Longitud de paso

$$Lp = 2C + 1,57(D + d) + \frac{(D-d)^2}{4C} \quad \text{Ec. (6-9)}$$

$$Lp = 2 * 15 + 1,57(6,4) + \frac{(0,4)^2}{4 * 15}$$

$$Lp = 1017 \text{ mm}$$
 [40,05 pulg]

#### 6.6.5.4 Cálculo de espacio entre centros real

$$C = \frac{1}{4} \left\{ \left[ Lp - \frac{\pi}{2}(D + d) \right] + \sqrt{\left[ \frac{\pi}{2}(D + d) - Lp \right]^2 - 2(D - d)^2} \right\} \quad \text{Ec. (6-10)}$$

$$C = \frac{1}{4} \left\{ \left[ 40 - \frac{\pi}{2}(3,4 + 3) \right] + \sqrt{\left[ \frac{\pi}{2}(3,4 + 3) - 40 \right]^2 - 2(3,4 - 3)^2} \right\}$$

$$C = 14,97 \text{ pulg} \approx [380,2 \text{ mm}]$$

### 6.6.5.5 Cálculo de espacio entre centros $C_c$ y longitud de paso $Lp_c$ corregidos

Del **Anexo 9**: Dimensiones de conversión de longitud ( $L_c$ ). Para bandas en V tipo A tenemos  $L_c = 1,3$

$$Lp_c = Lp + Lc \quad \text{Ec. (6-11)}$$

$$Lp_c = 40,05 + 1,3 = 41,35 \text{ pulg [1050 mm]}$$

$$C_c = \frac{1}{4} \left\{ \left[ 41,35 - \frac{\pi}{2} (3,4 + 3) \right] + \sqrt{\left[ \frac{\pi}{2} (3,4 + 3) - 41,35 \right]^2 - 2(3,4 - 3)^2} \right\}$$

$$C_c = 15,65 \text{ pulg} \approx [398 \text{ mm}]$$

### 6.6.5.6 Cálculo del ángulo de contacto para banda abierta ( $\theta_d$ ).

$$\theta_d = \pi - 2 \sin^{-1} \frac{D-d}{2C} \quad \text{Ec. (6-12)}$$

$$\theta_d = \pi - 2 \sin^{-1} \frac{3,4 - 3}{2 * 15,65}$$

$$\theta_d = 3,119 \text{ rad} = 178,7^\circ$$

$$\exp(0,5123\theta)$$

$$\exp(0,5123 * 3,119) = 4,942 \text{ rad}$$

### 6.6.5.7 Potencia permisible ( $H_a$ )

$$H_a = K_1 K_2 H_{tab} \quad \text{Ec. (6-13)}$$

Donde  $K_1$ ,  $K_2$  son factores de corrección y  $H_{tab}$ , potencia de tabla.

Del **Anexo 10**: Factor de corrección  $K_1$ , factor de corrección de longitud  $K_2$  y  $H_{tab}$ .

$$K_1 = 0,748; K_2 = 0,95; H_{tab} = 2,9$$

$$H_a = 0,75 * 0,95 * 2,9$$

$$H_a = 2,07$$

#### 6.6.5.8 Potencia de diseño ( $H_d$ )

$$H_d = H_{nom} K_s n_d \quad \text{Ec. (6-14)}$$

Donde  $H_{nom}$  es potencia nominal,  $K_s$  factor de servicio y  $n_d$  factor de seguridad.

Del **Anexo 11**: Factor de servicio  $K_s$  para transmisión de bandas en V y factores  $K_b$ ,  $K_c$ ,  $K$ ,  $b$ .

$$K_s = 1; H_{nom} = 1,5; n_d = 1$$

$$H_d = 1,5 * 1 * 1$$

$$H_d = 1,5$$

#### 6.6.5.9 Número de bandas ( $N_b$ )

$$N_b \geq \frac{H_d}{H_a} \quad \text{Ec. (6-15)}$$

$$N_b \geq \frac{1,5}{2,07}$$

$$N_b = 0,72 \text{ bandas} = \text{se toma 1 banda}$$

#### 6.6.5.10 Velocidad periférica

$$V = \frac{\pi d n}{12} \quad \text{Ec. (6-16)}$$

Donde  $V$  es la velocidad periférica,  $d$  diámetro de la polea menor,  $n$  RPM del motor.

$$V = \frac{\pi * 3 * 1750}{12} = 1374,45 \text{ ft/min [6,98 m/s]}$$

#### 6.6.5.11 Tensión centrífuga ( $F_c$ )

$$F_c = K_c \left( \frac{V}{1000} \right)^2 \quad \text{Ec. (6-17)}$$

Donde  $V$  es la velocidad periférica,  $K_c$  factores para tensión centrífuga.

Del **Anexo 11**: Factor de servicio  $K_s$  para transmisión de bandas en  $V$  y factores  $K_b$ ,  $K_c$ ,  $K$ ,  $b$ .

Seleccionamos  $K_c = 0,561$

$$F_c = 0,561 \left( \frac{1374,45}{1000} \right)^2$$

$$F_c = 1,06 \text{ Lb [4,72 N]}$$

Variación de tensión

$$\Delta F = \frac{63025 H_d / N_b}{n(d/2)} \quad \text{Ec. (6-18)}$$

$$\Delta F = \frac{63025 * 1,5/1}{1750 (3/2)}$$

$$\Delta F = 36 \text{ lb [160,14 N]}$$

#### 6.6.5.12 Cálculo de tensiones mayor $F_1$ y menor $F_2$ de la banda

$$F_1 = F_c + \frac{\Delta F * \exp f \phi}{\exp f \phi - 1} \quad \text{Ec. (6-19)}$$

$$F_1 = 1,06 + \frac{36 * 4,942}{4,942 - 1}$$

$$F_1 = 46,19 \text{ lb [205,46 N]}$$

$$F_2 = F_1 - \Delta F \quad \text{Ec. (6-20)}$$

$$F_2 = 46,19 - 36$$

$$F_2 = 10,2 \text{ lb [45,37 N]}$$

#### 6.6.5.13 Factor de seguridad ( $f_s$ )

$$f_s = \frac{H_a * N_b}{H_{nom} * K_s} \quad \text{Ec. (6-21)}$$

$$f_s = \frac{2,07 * 1}{1,5 * 1}$$

$$f_s = 1,38$$

#### 6.6.5.14 Esfuerzo de tensión máxima $F_{b1}$ de la polea impulsora y $F_{b2}$ polea impulsada.

Del **Anexo 11**: Factor de servicio  $K_s$  para transmisión de bandas en V y factores  $K_b$ ,  $K_c$ ,  $K$ ,  $b$ .

Seleccionamos  $K_b=220$ ;  $K=674$ ;  $b=11,089$ .

$$F_{b1} = \frac{K_b}{d} = \frac{220}{3} = 73,33 \text{ lb [326,19 N]} \quad \text{Ec. (6-22)}$$

$$F_{b2} = \frac{K_b}{D} = \frac{220}{3,4} = 64,71 \text{ lb [287,84 N]} \quad \text{Ec. (6-23)}$$

#### 6.6.5.15 Tensiones equivalentes $T_1$ y $T_2$

$$T_1 = F_1 + F_{b1} = 46,19 + 73,33 = 119,52 \text{ lb [531,65 N]} \quad \text{Ec. (6-24)}$$

$$T_2 = F_1 + F_{b2} = 46,19 + 64,71 = 110,9 \text{ lb [493,3 N]} \quad \text{Ec. (6-25)}$$



#### 6.6.5.16 Número de pasadas

$$N_p = \left[ \left( \frac{K}{T_1} \right)^{-b} + \left( \frac{K}{T_2} \right)^{-b} \right]^{-1} \quad \text{Ec. (6-26)}$$

$$N_p = \left[ \left( \frac{674}{119,52} \right)^{-11,089} + \left( \frac{674}{110,9} \right)^{-11,089} \right]^{-1}$$

$$N_p = 1,49 \times 10^8 \text{ pasadas}$$

#### 6.6.5.17 La vida en horas

$$t = \frac{N_p * L_{pc}}{720V} \quad \text{Ec. (6-27)}$$

$$t = \frac{1,49 \times 10^8 * 41,35}{720 * 1374,45} = 6224,8 \text{ horas}$$

Se utilizó por disponibilidad una Banda Dongil superstar LP A-49

#### 6.6.5.18 Control de la Tensión inicial de montaje de banda por el método de fuerza constante

##### Alineación vertical de las poleas

Se verificó si el ancho de las poleas es del mismo tamaño, en este caso tienen el mismo ancho si existiera una posible diferencia se deberá tener en cuenta para la alineación.

La alineación se realizó mediante una regla nivel, se procedió a colocar el nivel sobre la superficie frontal de una polea y la otra se corre longitudinalmente hasta que la regla nivel toque todos los puntos de las poleas, una vez asegurada la alineación correcta entre poleas se procedió a aplicar la operación de tensado de la banda.



**Figura 6-11:** Alineamiento de poleas

**Fuente:** Catálogo OPTIBELT

El tensado inicial o pretensión se realizó por el método de fuerza constante, este método recomienda controlar la tensión inicial de la correa tomando como referencia la magnitud de deflexión "y" de control, que provoca la aplicación de una fuerza constante "F", según puede ser observado en la **Figura 6-12:** Ilustración de la Tensión inicial método de fuerza constante. Este procedimiento es fácilmente aplicable cuando se dispone de una pequeña masa con su peso conocido, la deflexión "y" pudo ser evaluada empleando las siguientes ecuaciones.

$$y = \frac{F \cdot L_{AB}}{4 \cdot S_0} \quad \text{Ec. (6-28)}$$

$$S_0 = 500 * \left( \frac{ft - c\alpha}{c\alpha} \right) * \frac{Hd * K_A}{N_b * V} + \rho * V^2 \quad \text{Ec. (6-29)}$$

donde:

y = Deflexión [mm]

F = Fuerza constante de control [N]; de acuerdo al tipo de banda **Anexo 12:**

Parámetros para el control de Tensado

$L_{AB}$  = Longitud del ramal [mm]

$S_0$  = Tensión inicial en la banda [N]

ft = Factor de tensado. Generalmente es considerado **f= 2,5**

$c\alpha$  = Coeficiente por ángulo de contacto; **Anexo 12:** Parámetros para el control de Tensado

$K_A$  = Factor de aplicación de carga; **Anexo 12:** Parámetros para el control de Tensado

$\rho$  = masa de la correa por metro [kg/m]; **Anexo 12:** Parámetros para el control de Tensado

V= velocidad periférica [m/s]

$$L_{AB} = C \left[ 1 - 0,25 * \left( \frac{D-d}{C} \right) \right] \quad [\text{mm}] \quad \text{Ec. (6-30)}$$

$$L_{AB} = 398 \left[ 1 - 0,25 * \left( \frac{85,34 - 76,2}{398} \right)^2 \right]$$

$$L_{AB} = 397,95 \text{ mm}$$

$$S_0 = 500 * \left( \frac{ft - C\alpha}{C\alpha} \right) * \frac{Hd * K_A}{N_b * V} + \rho * V^2$$

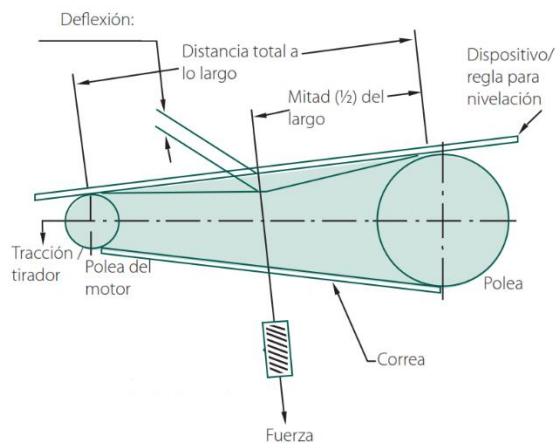
$$S_0 = 500 * \left( \frac{2,5 - 0,99}{0,99} \right) * \frac{1,119 \text{ kw} * 1}{1 * 6,98 \frac{\text{m}}{\text{s}}} + 0,11 \text{ kg/m} * \left( 6,98 \frac{\text{m}}{\text{s}} \right)^2$$

$$S_0 = 127,37 \text{ N}$$

$$y = \frac{F * L_{AB}}{4 * S_0}$$

$$y = \frac{25 \text{ N} * 397,95 \text{ mm}}{4 * 127,37 \text{ N}}$$

$$y = 19,5 \text{ mm}$$



**Figura 6-12:** Ilustración de la Tensión inicial método de fuerza constante

**Fuente:** Romero Felipe, METSO

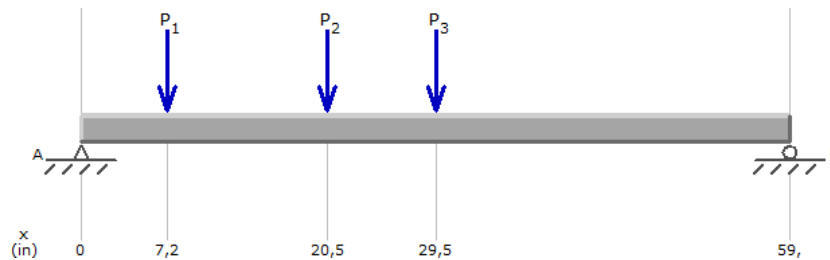
## 6.6.6 Diseño de la bancada móvil

Diseño de vigas (travesaño)

$$P_1 = 226,86 \text{ N [51 lb]} \quad (\text{Motor})$$

$$P_2 = 373,65 \text{ N [84 lb]} \quad (\text{Ventilador + Ductos})$$

$$P_3 = 311,38 \text{ N [70 lb]} \quad (\text{Forros})$$



Cálculo de reacciones

$$+ \curvearrowright \sum M_A = 0$$

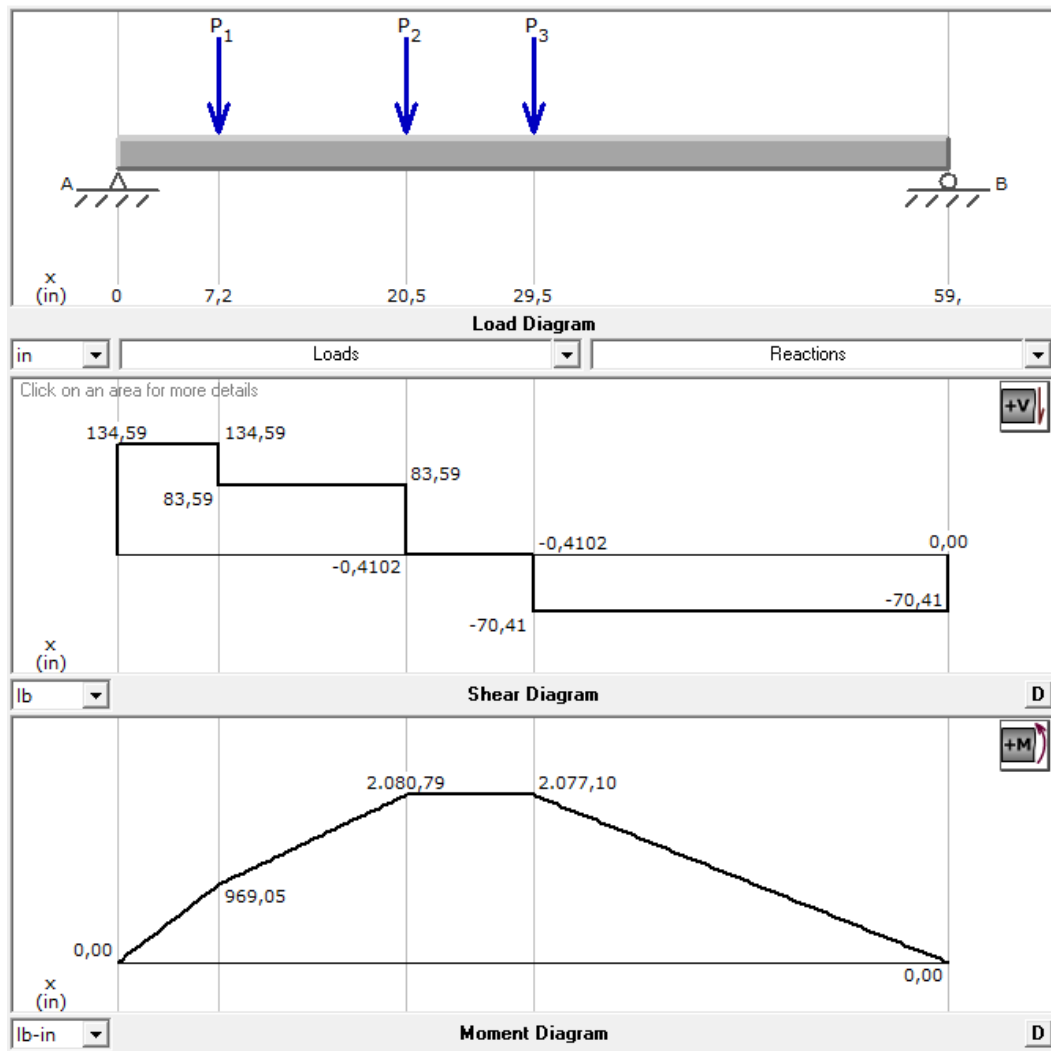
$$R_B = \frac{(70 \text{ lb} * 29,5 \text{ in}) + (84 \text{ lb} * 20,5 \text{ in}) + (51 \text{ lb} * 7,2 \text{ in})}{59 \text{ in}}$$

$$R_B = 70,51 \text{ lb} \approx [313,64 \text{ N}]$$

$$+\downarrow \sum F_y = 0$$

$$R_A = 51 \text{ lb} + 84 \text{ lb} + 70 \text{ lb} - 70,51 \text{ lb}$$

$$R_A = 134,45 \text{ lb} \approx [598 \text{ N}]$$



**Figura 6-13:** Diagrama de fuerzas contantes y momento flector de la viga soporte.

**Fuente:** El autor

$$M_{\max} = 2080,79 \text{ lb. in } [235,43 \text{ N.m}]$$

Soporte lateral total material Acero ASTM A500

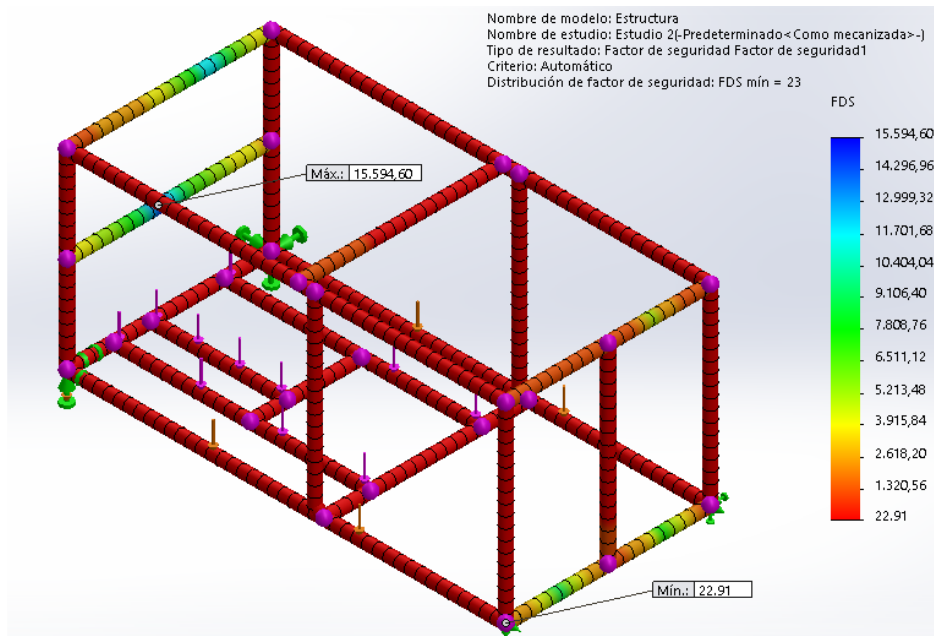
$$F_b = 0,66 * s_y \quad \text{Ec. (6-31)}$$

$$F_b = 0,66 * 39\text{Ksi} = 25,74 \text{ ksi } [177,47 \text{ MPa}]$$

$$S_x = \frac{M}{F_b} \quad \text{Ec. (6-32)}$$

$$S_x = \frac{2,1 \text{ klb plg} * \text{plg}^2}{25,74 \text{ klb}} = 0,082 \text{ pulg}^3 [1,34 \text{ E} - 6 \text{ m}]$$

Seleccionamos por disponibilidad una viga tubo cuadrada 40\*40\*2 del **Anexo 13:**  
Características tubo estructural cuadrado.



**Figura 6-14:** Análisis Estático de la Estructura.

**Fuente:** EL software; **Desarrollado:** El Autor

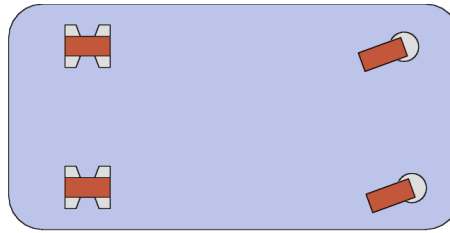
El factor de seguridad  $FDS = 22,91$  mínimo la cual nos indica que la estructura resiste la carga de forma segura.

### 6.6.7 Selección de ruedas

Las ruedas son un conjunto que asume la función de desplazar una carga en relación al suelo, empleando medios mecánicos. La banda de rodadura asegura el contacto con el suelo y el eje de la rueda soporta la carga, los soportes son esencialmente un medio de unión entre la rueda y la carga a desplazar.

### Maniobrabilidad

Para la movilidad del sistema se optó 2 rodantes giratorios y 2 rodantes fijos, que brindan buena capacidad de carga y buena maniobrabilidad, el carro puede girar sobre su longitud, conducción precisa y fácil especialmente práctico para distancias largas y recorridos en línea recta, para cargas medias y pesadas.



**Figura 6-15:** Esquema de movilidad del sistema 2 rodantes, 2 giratorios.

**Fuente:** El Autor

### Carga por rueda

$$CT = \text{peso en vacío} + Ca. t \quad \text{Ec. (6-33)}$$

$$\text{Carga por rueda} = \frac{CT}{Nr} \quad \text{Ec. (6-34)}$$

$$\text{Máxima carga por rueda} = \frac{CT}{3} \quad \text{Ec. (6-35)}$$

Donde:

- CT = carga total
- Nr = número de ruedas
- Ca. t = carga a transportar

### Estimación de las cargas a transportar por la estructura móvil.

$$Ca. t = \text{motor} + \text{ventilador} + \text{ductos} + \text{Forros} + \text{filtros}$$

$$Ca. t = 22,95 \text{ kg} + 20 \text{ kg} + 18 \text{ kg} + 29,6 \text{ kg} + 2 \text{ kg}$$

$$Ca. t = 92,6 \text{ kg}$$

$$\text{Peso de la estructura} = 68,9 \text{ kg}$$

$$CT = 68,9 + 92,6 = 161,5 \text{ kg}$$

$$\text{Carga por rueda} = \frac{161,5 \text{ kg}}{4} = 40,37 \text{ kg}$$

$$\text{Máxima capacidad por rueda} = \frac{161,5}{3} = 53,83 \text{ kg}$$

Por lo cual seleccionamos una rueda de capacidad de 60kg.

### 6.6.8 Selección del control de medición para la temperatura del UAV.

**Tabla 6-13:** Consideraciones para la utilización de dispositivos de control de medición

Parámetros Controlador de Medición	Ventajas	Desventajas
<b>PLC (controlador lógico programable)</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Reducción del costo de mano de obra.</li> <li>• Su instalación es bastante sencilla, además de ocupar poco espacio y la posibilidad de manejar múltiples equipos de manera simultánea.</li> <li>• Mejor monitoreo de los procesos, lo que hace que la detección de fallos se realice rápidamente.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• La principal desventaja es que se requiere un personal calificado para el manejo de estos dispositivos, lo que implica no solo un costo relativamente elevado, sino también la dificultad de encontrarlo.</li> <li>• Son los más costosos en comparación del microcontrolador y el controlador digital de temperatura.</li> </ul>
<b>Microcontrolador</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Los microcontroladores PIC de MICROCHIP son de los más populares en el mercado</li> <li>• Poseen una arquitectura tipo Harvard, en la cual la CPU puede acceder independientemente a la memoria de datos y a la de programa, esto hace más rápido su funcionamiento.</li> <li>• Bajo costo, Ocupa poco espacio</li> <li>• Flexibilidad al programar instrucciones para el control.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Poseen un procesador RISC (reduced instruction set computing), por lo cual si necesitan o deben programar en lenguaje ensamblador.</li> <li>• Se requiere adicionalmente un quemador de PIC para grabar el programa en el Microcontrolador.</li> <li>• Se requiere elaborar un circuito integrado para el funcionamiento del microcontrolador.</li> </ul>
<b>Controlador digital de temperatura.</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Son fáciles de instalar.</li> <li>• Trabajan con un Control ON/OFF y PID completo.</li> <li>• Cuenta con un display de alta claridad con ajuste del interruptor DIP simple.</li> <li>• Visibilidad excelente, en todas las condiciones de iluminación, gracias al display LCD con un amplio ángulo de visión.</li> <li>• Reconocimiento de estado intuitivo gracias a la visualización de la temperatura con cambio de colores.</li> <li>• Configuración y operación sencillas mediante las teclas frontales.</li> <li>• Indicación y accionamiento precisos gracias a las entradas y salidas de alta resolución.</li> <li>• Diagnóstico claro y funciones de mantenimiento preventivo como el contador ON/OFF de salida.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Entradas y salidas de señal reducidas.</li> <li>• Costo elevado en comparación del Microcontrolador.</li> </ul>

**Fuente:** El Autor



Se utilizó el Controlador digital para el control de temperatura de los compartimientos central y secundario del UAV-Gavilán, gracias a su flexibilidad, configuración y operación sencillas mediante las teclas frontales que brinda los menús personalizables, además por la visualización integrada que tiene este dispositivo en todas las condiciones de iluminación, obteniendo una gran visibilidad, gracias al display LCD con un amplio ángulo de visión, también ofrece una respuesta óptima a las perturbaciones sin renunciar a la velocidad de reacción ante los cambios del punto de consigna.



**Figura 6-16:** Controlador digital de temperatura IBEST  
**Fuente:** El Autor

### 6.6.9 Selección del sensor de Temperatura

Como se eligió el controlador digital de temperatura, teniendo en cuenta sus características de la **Tabla 6-14:** Especificaciones Técnicas TCM R99, por las condiciones de funcionamiento de este dispositivo nos restringimos a la utilización de sensores de tipo TC y RTD.

Se utilizó una Termocupla tipo “K” porque el controlador digital de temperatura comúnmente trabaja más eficiente con este tipo de sensor, además las ventajas de amplia variedad de formas físicas que permitieron ajustar a la integración en el UAV, lo más importante el rango de temperatura que permite un rango 0-1300°C.

**Tabla 6-14:** Especificaciones Técnicas TCM R99

Power supply:	AC 90~250V / 50~60HZ		
Power consumption:	≤ 5VA		
Measuring range:	-1999~9999℃		
Accuracy:	0.3% F.S ± 2 digit (under normal conditions)		
Sampling rate:	<500ms		
Main control output:	Relay: NO., contact capacity: AC 250V /3A or DC 30V /3A Cosφ=1 SSR/Logic: DC 24V ±2V/20mA (TCM-□4) DC12V ±1V / 20mA (TCM-□6/7/9)		
Alarm output:	Relay: NO., contact capacity: AC 250V /3A or DC 30V /3A Cosφ=1 SSR/Logic: DC 24V ±2V/20mA (TCM-□4) DC12V ±1V / 20mA (TCM-□6/7/8/9)		
Input:	TC	K	0~1300℃
		J	0~9800℃
		T	-150~400℃
		E	0~999℃
	RTD	Pt100	-199~200℃ or -199~600℃
		Cu50	-50~150℃
Other	Please indicate when order		
Withstand voltage:	1500V Rms (between terminal points and the plastic case)		
Insulation strength:	Min. 50m Ω (500V DC, between the terminal points and case)		
Ambient temperature:	0~50℃		
Stock temperature:	-10~60℃		
Humidity:	35~85%(RH)		
Weight:	250g (G.W) (TCM-□4) 380g (G.W) (TCM-□6/7/8/9)		

Fuente: IBEST Electrical CO.

### 6.6.10 Selección del control aplicable en la disipación por aire forzado para el UAV.

Como se seleccionó el dispositivo de control digital de temperatura para el proyecto el mismo que trabaja con un control ON-OFF y PID. Por lo cual el control on-off se ajusta a nuestra necesidad ya que es la forma más simple de controlar, rapidez de respuesta Alta, dificultad de cálculo baja, es muy utilizado en la industria.

### Salida de control y modo de salida de alarma del controlador IBEST TCM-R99:

- ON/OFF Control:(▲set point)



**Tabla 6-15:** Configuración básica del controlador digital de temperatura.

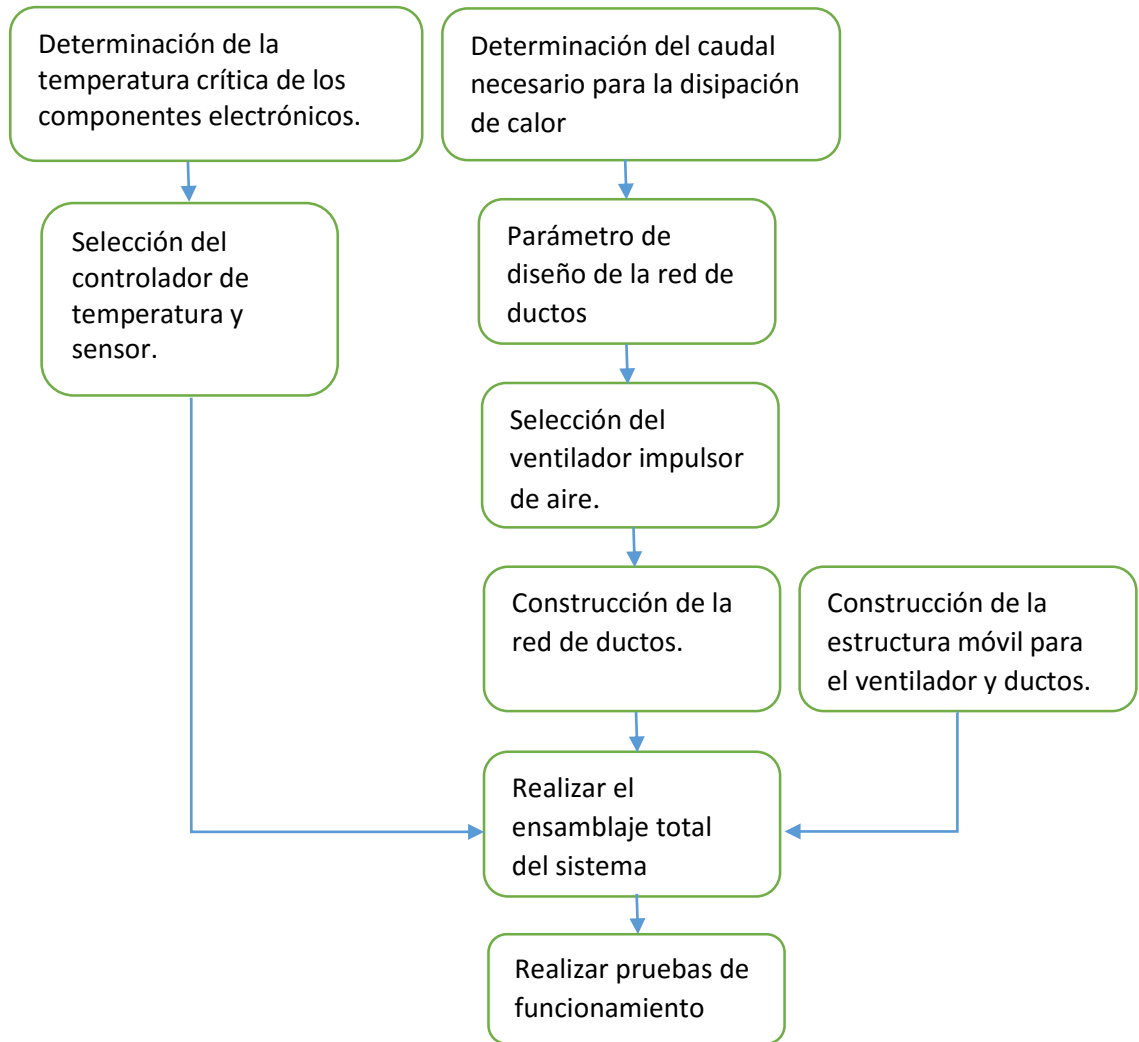
Configuración del controlador digital de temperatura Ibest		
		<p>En la escena seleccionamos <b>Cool</b>, debido a que funcionará para refrigeración</p>
		<p>En la escena de la entrada se visualiza: TC: K, J, E, T; RTD: Pt100, Cu50. Seleccionamos "K" por la utilización del sensor tipo K.</p>
		<p>La unidad de temperatura, (Celsius, Fahrenheit). Seleccionamos C, la lectura en la pantalla será °C</p>
		<p>En la escena ubicamos P=OFF, quiere decir que el director y mando es ON/OFF.</p>
		<p>P=OFF controlan la hysteresis, este parámetro lo ubicaremos = 2°C</p>
		<p><b>SV:</b> Set Point ubicaremos 30°C, se pondrá en marcha el ventilador a 32°C y se detendrá en 28°C.</p>
		<p><b>AL1:</b> En alarma 1 ubicaremos en 45°C nivel peligroso de temperatura, encendido del piloto rojo</p>

Fuente: Anexo 14: Características del controlador digital IBEST R999

## 6.7 METODOLOGÍA

### 6.7.1 Construcción del sistema de disipación de calor

El procedimiento de actuación para la presente propuesta cuenta con varias fases que permitió la implementación del sistema de disipación de calor para mejorar la refrigeración en tierra del UAV.



### 6.7.2 Construcción

- a. **Estructura.**- se utilizó de soporte del ventilador, motor, sistema de ductos y forros, está construido de tubo cuadrado de (40\*40\*2) mm galvanizado.



**Figura 6-17:** Estructura

**Fuente:** El Autor

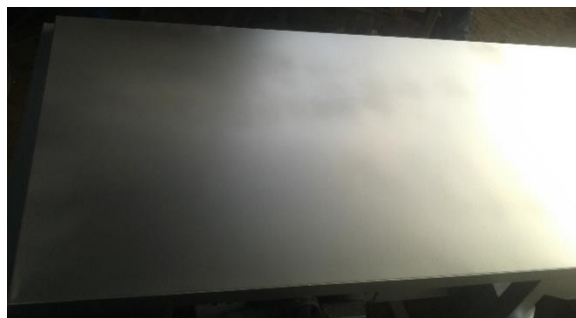
- b. Sistema de ducto.-** construido en chapa de told galvanizado de 1mm de espesor, conduce el caudal volumétrico a las mangas flexibles para su respectiva conexión a los compartimientos del UAV.



**Figura 6-18:** Sistema de ducto

**Fuente:** El Autor

- c. Forros.-** construido en told galvanizado de 1mm, nos sirvió para tener dentro todas las partes constitutivas del sistema protegiendo del material particulado como el polvo.



**Figura 6-19:** Sistema de ducto

**Fuente:** El Autor

- d. Ensamble.-** Se integró los ductos, ventilador y forros en la estructura para mantener todos los elementos mecánicos dentro de la estructura.



**Figura 6-20:** Ensamble de ductos + ventilador + forros

**Fuente:** El Autor

- e. Implementación de elementos de control y visualización**

El panel consta de Interruptor de levas del mando de inicio, selector giratorio 3 posiciones nos da las opciones automático, bloqueo y manual, controlador digital de temperatura para la visualización y control de la temperatura, luz piloto para las diferentes alarmas y el sensor de temperatura tipo K.



**Figura 6-21:** Panel de control

**Fuente:** El Autor

- f. Ensamble de filtros y rejilla.-** se integró finalmente los filtros y rejilla de protección para en sistema de disipación de calor.



**Figura 6-22:** Ensamble final de rejillas y filtros

**Fuente:** El Autor

- g. Adaptación de las mangas flexibles y porta mangas en el sistema.



**Figura 6-23:** Integración de mangas anilladas de poliuretano

**Fuente:** El Autor

## **6.8 ADMINISTRACIÓN**

### **6.8.1 Análisis Económico**

En las siguientes tablas se detallaron los gastos de materiales directos e indirectos que se realizaron para la construcción del sistema para cumplir con la implementación.

### 6.8.1.1 Costos Directos (CD)

**Tabla 6-16:** Costos de Materiales Generales (CMG).

CANTIDAD	DESCRIPCIÓN	PRECIO UNITARIO	TOTAL
1	Ventilador centrifugo doble oído T/B/P Soler Palau DA-10/10	\$ 470,00	\$ 470,00
1	Filtro de pliegues MERV11 65% (24"X24"X2" Flanders M-65)	\$ 20,00	\$ 20,00
1	Filtro de pliegues MERV8 ECO M (24"X24"X2" Flanders M-35)	\$ 14,00	\$ 14,00
5	Manga plástica anillada SENC. 4 pulg	\$ 14,33	\$ 71,65
2	Abrazadera Ancha CARB 41/2"	\$ 2,10	\$ 4,20
2	Tubo estructural cuadrado 40x40x1,5	\$ 16,00	\$ 32,00
1,5	Plancha de tol Galvanizado	\$ 33,30	\$ 49,95
40	Tornillo POLSER 1/4 X 2" Punta de broca chapado en zinc	\$ 0,08	\$ 3,20
10	Perno hexagonal grado 2. Con tuerca. 1/2 x 2"	\$ 1,19	\$ 11,90
10	Rodela plana estructural 0,18" Galvanizado-caliente	\$ 0,05	\$ 0,50
1	Fondo Unipreiner (1 litro)	\$ 5,00	\$ 5,00
1	Tiñer (1 litro)	\$ 1,84	\$ 1,84
1	Pintura (1 litro)	\$ 4,35	\$ 4,35
<b>Total de Gastos Generales</b>			<b>\$ 688,59</b>

Fuente: El Autor

**Tabla 6-17:** Costos de Materiales Eléctricos y Electrónicos (CMEE).

CANTIDAD	DESCRIPCIÓN	PRECIO UNITARIO	TOTAL
1	Motor 1,5 Hp Weg 220V	\$ 180,00	\$ 180,00
1	Controlador Digital de Temperatura RELAY 90-250V	\$ 74,90	\$ 74,90
2	Cable para Termocupla tipo K	\$ 3,93	\$ 7,86
1	Termocupla K tipo tornillo	\$ 10,00	\$ 10,00
1	Relé Térmico 9-13A Ls	\$ 29,37	\$ 29,37
1	Contactador MC-9B 2HP 220V 20AC1 Ls	\$ 15,68	\$ 15,68
1	Selector giratorio 22 mm (On / Off / On) 3 Postion	\$ 4,35	\$ 4,35
1	Interruptores de levas Cam Switches Telergone	\$ 26,30	\$ 26,30
2	Luz piloto 22mm csc verde 220V	\$ 2,49	\$ 4,98
1	Luz piloto 22mm csc rojo 220V	\$ 2,49	\$ 2,49
5	Cable flexible # 18 AWG	\$ 0,20	\$ 1,00
4	Cable concéntrico 2x12	\$ 1,51	\$ 6,04
1	Enchufe cooper vinyl 4862	\$ 2,82	\$ 2,82
<b>Total de Gastos (Eléctrico-Electrónico)</b>			<b>\$ 365,79</b>

Fuente: El Autor



**Tabla 6-18:** Costos Directos (CD).

Costos Directos	
Descripción	Valor
CMG	\$ 688,59
CMEE	\$ 365,79
<b>TOTAL (CD = CMG + CMEE)</b>	<b>\$ 1.054,38</b>

Fuente: El Autor

### 6.8.1.2 Costos Indirectos (CI)

**Tabla 6-19:** Costos Indirectos (CI).

DESCRIPCIÓN	Costo (USD)
Mano de obra de Construcción	\$ 300,00
Transporte	\$ 60,00
<b>Total</b>	<b>\$ 360,00</b>

Fuente: El Autor

### 6.8.1.3 Costos Totales de la Implementación de la máquina.

**Tabla 6-20:** Costo Total de la Construcción (CT).

Costo Total	
CD	\$ 1.054,38
CI	\$ 360,00
<b>TOTAL (CT = CD + CI)</b>	<b>\$ 1.414,38</b>

Fuente: El Autor

## 6.8.2 Planeación

Fue importante formar las instrucciones de operación del sistema para obtener un funcionamiento óptimo sin reducir la vida útil del sistema.

## 6.8.3 Organización

Para la operación correcta del sistema se realizó una guía de funcionamiento con la finalidad de evadir averías que conllevan a un funcionamiento erróneo del equipo.

#### **6.8.4 Dirección**

El sistema diseñado será manipulado con el encargado de realizar la inspección de Pre-vuelo que en este caso será un aerotécnico del CID-FAE.

#### **6.8.5 Guía de operación**

##### **6.8.5.1 Recomendaciones generales de seguridad.**

- ✓ Mantenga el cuerpo, las manos y cualquier clase de objetos extraños fuera de la entrada y descarga del equipo.
- ✓ No tocar el ventilador o el motor durante la operación porque el ventilador tiene piezas que giran y pueden estar calientes.
- ✓ Utilizar siempre las herramientas correctas para evitar daños y mantenimiento incorrectos.
- ✓ Verificar que todas las partes del ventilador estén instaladas apropiadamente y que estén funcionando correctamente después de un trabajo de mantenimiento.
- ✓ Verificar que el rotor gire libremente, que sus tornillos están bien apretados y las bandas tensas antes de operar un ventilador.
- ✓ Antes de comenzar el trabajo de mantenimiento, apague y asegure el interruptor de conexión, desenergice y desconecte todas las fuentes de energía al motor y a los accesorios, y asegure la hélice o el rotor del ventilador.
- ✓ Parar siempre el motor antes de hacer cualquier trabajo de mantenimiento.

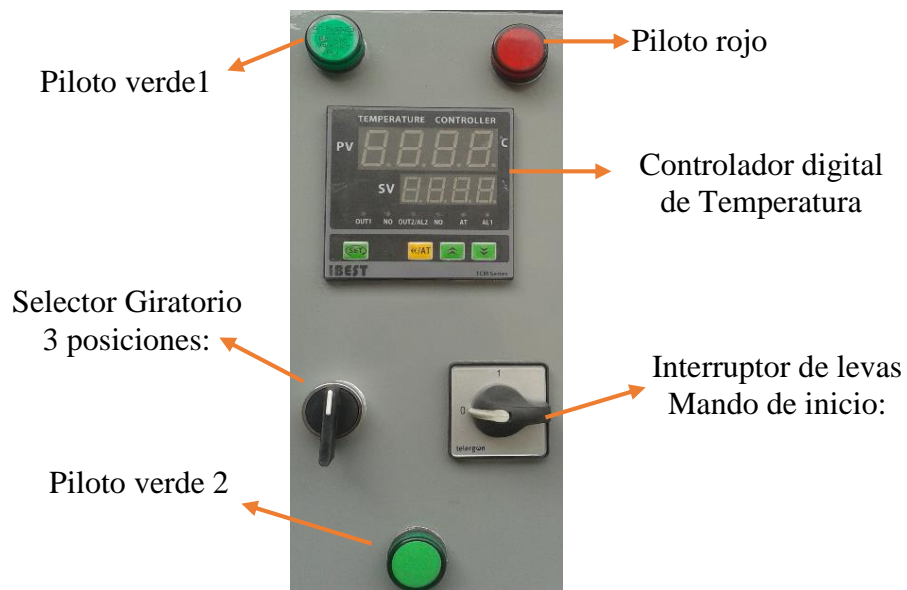
##### **6.8.5.2 Arranque de la operación diaria**

###### **Inspección previa al encendido**

Un arranque exitoso requiere de la preparación adecuada por parte del encargado de manipular el equipo lo que conlleva:

- ✓ Antes de poner en marcha el equipo verificar que no estén herramientas cerca de la succión e impulsión de aire.
- ✓ Mantenga el cuerpo, las manos y cualquier clase de objetos extraños fuera de la entrada y descarga del equipo.
- ✓ Verifique que las rejillas no estén llenas de polvo.

### 6.8.5.3 Encendido



**Figura 6-24:** Panel de mando

**Fuente:** El Autor

- 1) El Interruptor de levas da el mando de inicio.
  - a. **Interruptor de levas en la posición 0:** todo el sistema esta en off
  - b. **Interruptor de levas en la posición 1:** todo el sistema esta encendido.

**Nota:** cuando la perilla del interruptor de levas va desde la posición 0 al 1, el piloto luminoso verde 2 indicará que la máquina está encendida.
- 2) El selector giratorio 3 posiciones nos da las opciones automático, bloqueo y manual.

- a. **Selector girado a la izquierda:** Funcionará en Automático junto con el controlador y el sensor de temperatura tipo K.

**Nota:** El piloto rojo nos indica una alerta de temperatura cerca del límite permitido, después de un tiempo corto de encendido el piloto rojo se encenderá el piloto verde 1 de inmediato y funcionará el ventilador.

- b. **Selector girado a la derecha:** Funcionará en manual, inmediato se enciende el ventilador.
- c. **Selector en posición vertical:** Está en bloqueo funcionará el controlador indicando la temperatura censada, pero no activará al ventilador en esta posición del selector.

#### **6.8.5.4 Mantenimiento**

El mantenimiento del sistema de disipación de calor del UAV, será de tipo preventivo y se lo realizará de forma trimestral.

**Nota:** Todo procedimiento de mantenimiento se deberá ejecutarse con el ventilador centrífugo apagado asegurando que no se produzca la puesta en marcha mientras se ejecuta el mantenimiento.

#### **Verificación del estado del ventilador DA 10/10 (S&P)**

El mantenimiento del ventilador centrífugo se centrará en la lubricación, limpieza y verificación del nivel sonoro.

#### **Mantenimiento del Rotor:**

**Nota:** En lo posible realizar la limpieza del rotor sin quitarlo del ventilador.

Al rotor del ventilador hay que inspeccionarlo para detectar la presencia de suciedad excesiva debido al polvo, deformaciones y desbalanceo del rotor debido a las vibraciones.

- ✓ Se verificará que el rotor esté libre de restos de polvo o partículas que pudieran quedar acumulados en los alabes
- ✓ Girar el rotor a mano, verificando que no se produzcan roces del mismo con la envolvente o con los oídos de succión de entrada de aire.
- ✓ Se verificará el estado de la carcasa del ventilador.
- ✓ Se colocará grasa o aceite en la chumacera del ventilador.
- ✓ Se revisará la caja de control eléctrico verificando que no haya cableado suelto o en mal estado.

#### **Mantenimiento de las Sujeciones:**

- ✓ Controlar el ajuste de los elementos de sujeción en caso de que la sujeción no sea la adecuada, reajustarlas tanto del ventilador y motor.

#### **Mantenimiento del Motor:**

- ✓ Se debe mantener el motor limpio de polvo y suciedad porque son aislantes térmicos que pueden ocasionar sobrecalentamientos al no evacuar eficientemente el calor, consecuencia se acortará la vida útil del motor.
- ✓ Límpielo periódicamente empleando aire comprimido a baja presión.
- ✓ Verificar el cableado y las conexiones eléctricas cuidando que no haya cables sueltos o en mal estado.

#### **Limpieza de ductos y rejillas de filtros**

- ✓ Un adecuado mantenimiento se realizará cada tres meses desde la instalación del sistema, limpiando el polvo e impurezas de todo tipo que se encuentra en los ductos y rejillas contendoras de los filtros.
- ✓ Verificar que no existan fugas de aire por los conductos.

## Mantenimiento de filtros de la aspiración del ventilador



**Figura 6-25:** Filtro de pliegues para succión de aire (24x24x2) pulg.

**Fuente:** El Autor

Antes de proceder con la limpieza del filtro, debemos detener el funcionamiento del equipo.

Determinar si es necesario la limpieza de los filtros de pliegue M-65 y M-35/MERV8, una manera de determinarlo es sacudiéndolos y observando si cae polvo, en caso de tener polvo necesita mantenimiento. Una manera sencilla para mantener los filtros libres de polvo es utilizando una aspiradora para remover la acumulación de polvo, si la acumulación de polvo es notoria a simple vista se necesita un cambio de filtros.

### 6.9 PREVISIÓN DE LA EVALUACIÓN

Luego de haber finalizado la presente investigación, que fue realizado en el Centro de Investigación y Desarrollo de la Fuerza Aérea Ecuatoriana (CIDFAE) de la ciudad de Ambato. Por medio de la implementación del Sistema de Refrigeración de elementos electrónicos por el método de aire forzado efectivamente mejoró la disipación de calor del UAV-Gavilán, se logró verificar la optimización de la capacidad de disipación de calor de los compartimentos central y secundario del UAV-Gavilán, mejorando destacadamente el control de temperatura que anteriormente no tenía durante el chequeo de funcionamiento de pre-vuelo de la aeronave no tripulada.

### **6.9.1 Conclusiones**

- EL método de disipación de calor por aire forzado mejoró la disipación de calor controlando la temperatura dentro de los compartimientos de UAV siendo eficiente al obtener una reducción importante en las temperaturas dentro de los habitáculos de UAV, manteniendo la temperatura de los componentes electrónico por debajo de los 30°C.
- El equipo externo de refrigeración está diseñado de acuerdo con las recomendaciones sometidas por personal del CIDFAE mejorando la funcionalidad para que el personal en tierra pueda realizar la Prueba Operacional Inicial y Evaluación rápidamente y fiablemente garantizando la puesta en marcha antes de los 30 min.
- El sistema de disipación externo entra en operación al conectar a las tomas del UAV mientras el flujo de aire va refrescando todo el compartimento del UAV moviendo el aire caliente hacia el exterior.

### **6.9.2 Recomendaciones**

- Se recomienda ubicar el sistema externo de refrigeración en una proximidad adecuada al UAV donde las mangas de conexión alcancen.
- Es necesario poner en funcionamiento el sistema de disipación externo antes de integrar al UAV por motivo de que el controlador digital de temperatura cargue su configuración adecuadamente y no tenga errores de funcionamiento.
- Es recomendable dar mantenimiento periódicamente con motivo de verificación de uniones atornilladas, empernadas y sujeciones de equipos en el interior especialmente en la fijación del motor y ventilador del sistema.
- Revisar periódicamente los filtros de aire verificando que no tengan acumulación de polvo excesivo.

## MATERIALES DE REFERENCIA

### BIBLIOGRAFÍA

1. Alcalde San Miguel, P. (2004). *Electrotecnia*. Madrid: Thomsom - Paraninfo S.A.
2. American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc. (2005). *Ashrae Handbook Fundamentals* (I-P ed.). Tullie Circle, N.E., Atlanta, GA 30329.
3. Avallone, E., & Baumeister III, T. (1996). *Mark's Standard Handbook for Mechanical Engineers* (Tenth ed.). New York: McGraw - Hill.
4. Benchi, D. (2011). *Micro Controladores* (Primera ed.). Buenos Aires: Fox Andina.
5. Bolzern, P., Scattolini, R., & Schiavoni, N. (2013). *Fundamentos de Control Automático* (Tercera ed.). Madrid: McGraw-Hill.
6. Cengel, Y. A. (2011). *Transferencia de Calor y Masa* (Cuarta ed.). Mexico D.F: McGraw-Hill.
7. Cengel, Y. A., & Boles, M. A. (2012). *Termodinámica* (Septima ed.). Mexico: McGraw-Hill.
8. Corrales V, S. (2006). *Electrónica Práctica con microcontroladores PIC*. Ecuador : Imprenta Gráfica.
9. Creus Sole, A. (2006). *Instrumentacion Industrial* (Septima ed.). Barcelo-España: Alfaomega.
10. Dahl-Skog, R. (2012). *Introducción a la Programación de controladores lógicos PLC*. Obtenido de rolfdsg@gmail.com
11. Dassault Systemes. (15 de junio de 2014). *Análisis térmico de fluidos*. Obtenido de SolidWorks Corp.: [www.solidworks.es](http://www.solidworks.es)
12. Faraji, M., Qarnia, H., & Lakhali, E. (2009). Thermal Analysis of a Phase Change Material Based Heat Sink for Cooling Protruding Electronic Chips.



- Journal of Thermal Science*, Vol.18(N° 3). Recuperado el Mayo de 2014, de <http://link.springer.com/article/10.1007/s11630-009-0268-1>
13. Gema, J., Manuel, V., & Erich, C. (2012). Vehículos Aéreos no Tripulados en Latinoamérica. (A. F. Medina, Ed.) *infodefensa.com*, 8-20.
  14. Goberna, R. (1992). *Industrial Ventilation* (Primera - Español ed.). Valencia - España: Artes Gráficas Soler, S.A. - Soporte (American Conference of Governmental Industrial, Inc) .
  15. Hernández Gaviño, R. (2010). *Introducción a los sistemas de control* (Primera ed.). México: Person Educación.
  16. Li, B., Tao, W., & He, Y. (2008). Study on forced air convection cooling for electronic assemblies. (H. E. Springer-Verlag, Ed.) *Energy Power Eng.*(N°2).
  17. Lin, M. (2008). *Hot Hardware*. Recuperado el 20 de mayo de 2013, de [hothardware.com](http://hothardware.com): <http://hothardware.com/Reviews/Asetek-Low-Cost-Liquid-Cooling-LCLC-System/>
  18. Martín M, P. L., Ramón, J., & Manjavacos, Z. (2010). *Montaje y Mantenimiento de Equipos* (Primera ed.). Madrid: Paraninfo, S.A.
  19. Mott, R. L. (2006). *Mecánica de Fluidos* (Sexta ed.). México: Pearson Educación.
  20. National Instruments. (27 de junio de 2012). *Sensores de Temperatura*. Recuperado el 18 de mayo de 2014, de falta
  21. Omron. (s.f.). Controlador digital de Temperatura. (O. E. B.V., Ed.) *Manual de operación*, 235. Obtenido de [www.industrial.omron.es](http://www.industrial.omron.es)
  22. Orrego, S. (9 de Noviembre de 2009). Simulación de Fluidos Utilizando Computadores (CFD). *Grupo de Investigación Mecánica Aplicada (Universidad EAFIT)*.
  23. Salvador Escoda S.A. (2008). *Manual Práctico de Ventilación* (Segunda ed.). Barcelona: Rosselló.
  24. Shigley, J. E., & Mischke, C. R. (2002). *Diseño en Ingeniería Mecánica*. México, D.F.: McGraw-Hill.

25. Soo Kim, K., Tae Kim, W., & Lee, K. B. (2000). Cooling Characteristics on the Forced Convection of an Array of Flat-form Electronic Components in Channel Flow. *KSME International Journal - Springer, Vol 12*.
26. Trujillo, F. D., Pozo, A., & Triviño, A. (2011). Disipación de Calor. Creative Commons Attribution-Non-Comercial-ShareAlike. Obtenido de <http://ocw.uma.es>.
27. Users. (2011). *Microcontroladores* (Primera Edición ed.). Buenos Aires: Fox Andina.
28. Valdés Pérez, F., & Pallas Areny, R. (2007). *Microcontroladores: Fundamentos y aplicaciones con PIC*. España: MARCOMBO, S.A. .
29. Villalobos Ordaz, G., Rico Romero, R., Ortiz, F., & Montúfar, M. (2006). *Medición y Control de Procesos Industriales*. México: Printed México.
30. Xu, S., Hu, G., Qin, J., & Yang, Y. (26 de abril de 2012). A numerical study of fluid flow and heat transfer in different microchannel heat sinks for electronic chip cooling. (U. o. China, Ed.) *Journal of Mechanical Science and Technology - Springer* . Recuperado el mayo de 2014, de [www.springerlink.com/content/1738-494x](http://www.springerlink.com/content/1738-494x)

# ANEXOS

## Anexo 1: Propiedades del aire, transferencia de calor pag 884 Cuarta Edición

884  
APÉNDICE 1

**TABLA A-15**

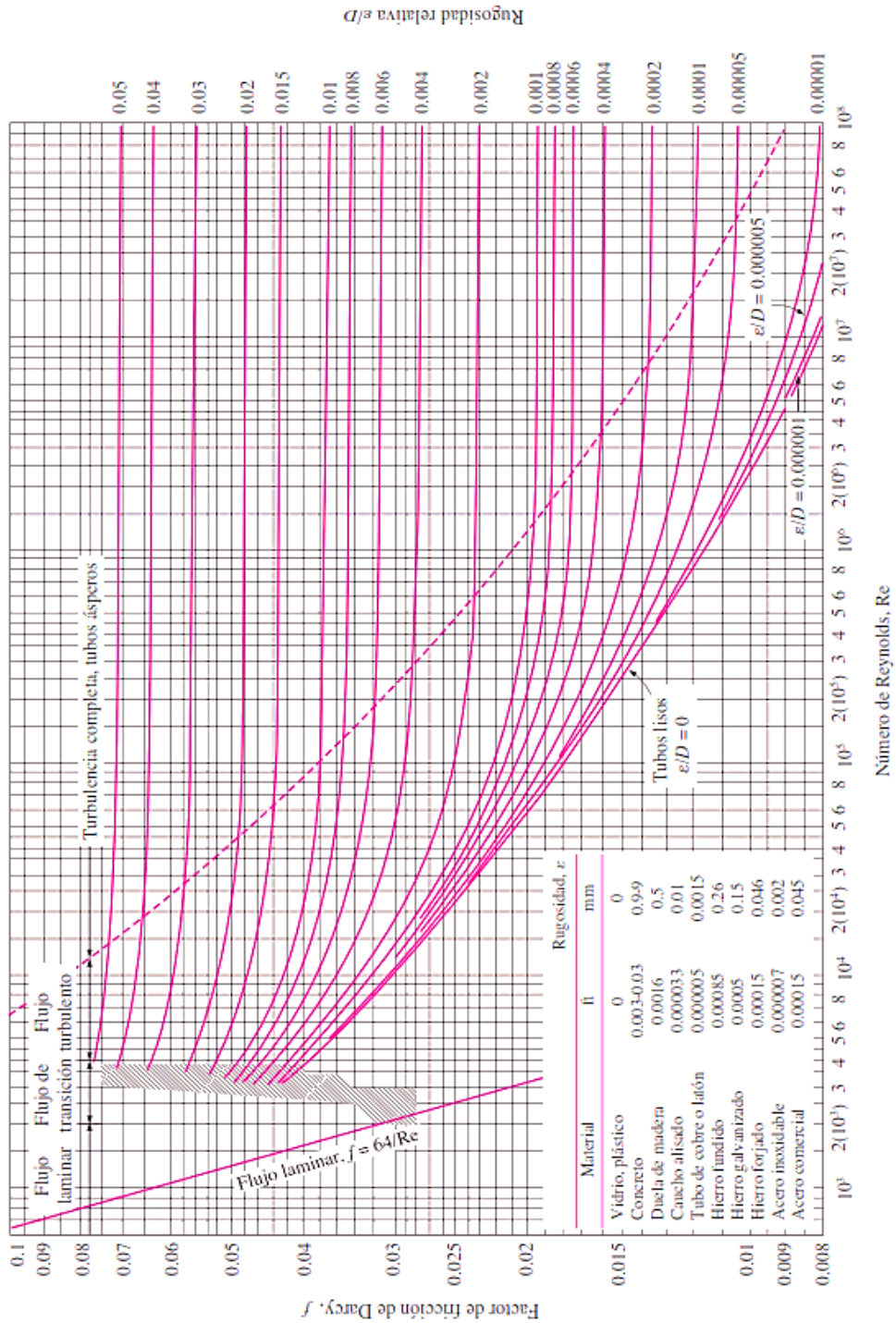
Propiedades del aire a la presión de 1 atm

Temp., $T, ^\circ\text{C}$	Densidad, $\rho, \text{kg/m}^3$	Calor específico, $c_p, \text{J/kg} \cdot \text{K}$	Conductividad térmica, $k, \text{W/m} \cdot \text{K}$	Difusividad térmica, $\alpha, \text{m}^2/\text{s}^2$	Viscosidad dinámica, $\mu, \text{kg/m} \cdot \text{s}$	Viscosidad cinemática, $\nu, \text{m}^2/\text{s}$	Número de Prandtl, Pr
-150	2.866	983	0.01171	$4.158 \times 10^{-6}$	$8.636 \times 10^{-6}$	$3.013 \times 10^{-6}$	0.7246
-100	2.038	966	0.01582	$8.036 \times 10^{-6}$	$1.189 \times 10^{-5}$	$5.837 \times 10^{-6}$	0.7263
-50	1.582	999	0.01979	$1.252 \times 10^{-5}$	$1.474 \times 10^{-5}$	$9.319 \times 10^{-6}$	0.7440
-40	1.514	1 002	0.02057	$1.356 \times 10^{-5}$	$1.527 \times 10^{-5}$	$1.008 \times 10^{-5}$	0.7436
-30	1.451	1 004	0.02134	$1.465 \times 10^{-5}$	$1.579 \times 10^{-5}$	$1.087 \times 10^{-5}$	0.7425
-20	1.394	1 005	0.02211	$1.578 \times 10^{-5}$	$1.630 \times 10^{-5}$	$1.169 \times 10^{-5}$	0.7408
-10	1.341	1 006	0.02288	$1.696 \times 10^{-5}$	$1.680 \times 10^{-5}$	$1.252 \times 10^{-5}$	0.7387
0	1.292	1 006	0.02364	$1.818 \times 10^{-5}$	$1.729 \times 10^{-5}$	$1.338 \times 10^{-5}$	0.7362
5	1.269	1 006	0.02401	$1.880 \times 10^{-5}$	$1.754 \times 10^{-5}$	$1.382 \times 10^{-5}$	0.7350
10	1.246	1 006	0.02439	$1.944 \times 10^{-5}$	$1.778 \times 10^{-5}$	$1.426 \times 10^{-5}$	0.7336
15	1.225	1 007	0.02476	$2.009 \times 10^{-5}$	$1.802 \times 10^{-5}$	$1.470 \times 10^{-5}$	0.7323
20	1.204	1 007	0.02514	$2.074 \times 10^{-5}$	$1.825 \times 10^{-5}$	$1.516 \times 10^{-5}$	0.7309
25	1.184	1 007	0.02551	$2.141 \times 10^{-5}$	$1.849 \times 10^{-5}$	$1.562 \times 10^{-5}$	0.7296
30	1.164	1 007	0.02588	$2.208 \times 10^{-5}$	$1.872 \times 10^{-5}$	$1.608 \times 10^{-5}$	0.7282
35	1.145	1 007	0.02625	$2.277 \times 10^{-5}$	$1.895 \times 10^{-5}$	$1.655 \times 10^{-5}$	0.7268
40	1.127	1 007	0.02662	$2.346 \times 10^{-5}$	$1.918 \times 10^{-5}$	$1.702 \times 10^{-5}$	0.7255
45	1.109	1 007	0.02699	$2.416 \times 10^{-5}$	$1.941 \times 10^{-5}$	$1.750 \times 10^{-5}$	0.7241
50	1.092	1 007	0.02735	$2.487 \times 10^{-5}$	$1.963 \times 10^{-5}$	$1.798 \times 10^{-5}$	0.7228
60	1.059	1 007	0.02808	$2.632 \times 10^{-5}$	$2.008 \times 10^{-5}$	$1.896 \times 10^{-5}$	0.7202
70	1.028	1 007	0.02881	$2.780 \times 10^{-5}$	$2.052 \times 10^{-5}$	$1.995 \times 10^{-5}$	0.7177
80	0.9994	1 008	0.02953	$2.931 \times 10^{-5}$	$2.096 \times 10^{-5}$	$2.097 \times 10^{-5}$	0.7154
90	0.9718	1 008	0.03024	$3.086 \times 10^{-5}$	$2.139 \times 10^{-5}$	$2.201 \times 10^{-5}$	0.7132
100	0.9458	1 009	0.03095	$3.243 \times 10^{-5}$	$2.181 \times 10^{-5}$	$2.306 \times 10^{-5}$	0.7111
120	0.8977	1 011	0.03235	$3.565 \times 10^{-5}$	$2.264 \times 10^{-5}$	$2.522 \times 10^{-5}$	0.7073
140	0.8542	1 013	0.03374	$3.898 \times 10^{-5}$	$2.345 \times 10^{-5}$	$2.745 \times 10^{-5}$	0.7041
160	0.8148	1 016	0.03511	$4.241 \times 10^{-5}$	$2.420 \times 10^{-5}$	$2.975 \times 10^{-5}$	0.7014
180	0.7788	1 019	0.03646	$4.593 \times 10^{-5}$	$2.504 \times 10^{-5}$	$3.212 \times 10^{-5}$	0.6992
200	0.7459	1 023	0.03779	$4.954 \times 10^{-5}$	$2.577 \times 10^{-5}$	$3.455 \times 10^{-5}$	0.6974
250	0.6746	1 033	0.04104	$5.890 \times 10^{-5}$	$2.760 \times 10^{-5}$	$4.091 \times 10^{-5}$	0.6946
300	0.6158	1 044	0.04418	$6.871 \times 10^{-5}$	$2.934 \times 10^{-5}$	$4.765 \times 10^{-5}$	0.6935
350	0.5664	1 056	0.04721	$7.892 \times 10^{-5}$	$3.101 \times 10^{-5}$	$5.475 \times 10^{-5}$	0.6937
400	0.5243	1 069	0.05015	$8.951 \times 10^{-5}$	$3.261 \times 10^{-5}$	$6.219 \times 10^{-5}$	0.6948
450	0.4880	1 081	0.05298	$1.004 \times 10^{-4}$	$3.415 \times 10^{-5}$	$6.997 \times 10^{-5}$	0.6965
500	0.4565	1 093	0.05572	$1.117 \times 10^{-4}$	$3.563 \times 10^{-5}$	$7.806 \times 10^{-5}$	0.6986
600	0.4042	1 115	0.06093	$1.352 \times 10^{-4}$	$3.846 \times 10^{-5}$	$9.515 \times 10^{-5}$	0.7037
700	0.3627	1 135	0.06581	$1.598 \times 10^{-4}$	$4.111 \times 10^{-5}$	$1.133 \times 10^{-4}$	0.7092
800	0.3289	1 153	0.07037	$1.855 \times 10^{-4}$	$4.362 \times 10^{-5}$	$1.326 \times 10^{-4}$	0.7149
900	0.3008	1 169	0.07465	$2.122 \times 10^{-4}$	$4.600 \times 10^{-5}$	$1.529 \times 10^{-4}$	0.7206
1 000	0.2772	1 184	0.07868	$2.398 \times 10^{-4}$	$4.826 \times 10^{-5}$	$1.741 \times 10^{-4}$	0.7260
1 500	0.1990	1 234	0.09599	$3.908 \times 10^{-4}$	$5.817 \times 10^{-5}$	$2.922 \times 10^{-4}$	0.7478
2 000	0.1553	1 264	0.11113	$5.664 \times 10^{-4}$	$6.630 \times 10^{-5}$	$4.270 \times 10^{-4}$	0.7539

*Nota:* Para los gases ideales, las propiedades  $c_p$ ,  $k$ ,  $\mu$  y Pr son independientes de la presión. Las propiedades  $\rho$ ,  $\nu$  y  $\alpha$  a una presión  $P$  (en atm) diferente de 1 atm se determinan al multiplicar los valores de  $\rho$ , a la temperatura dada, por  $P$  y al dividir  $\nu$  y  $\alpha$  entre  $P$ .

*Fuente:* Datos generados basándose en el software EES desarrollado por S. A. Klein y F. L. Alvarado. Fuentes originales: Keenan, Chao, Keyes, Gas Tables, Wiley, 1984, y Thermophysical Properties of Matter, Vol. 3: Thermal Conductivity, Y. S. Touloukian, P. E. Liley, S. C. Saxena, Vol. 11: Viscosity, Y. S. Touloukian, S. C. Saxena y P. Hestermans, IFI/Plenum, NY, 1970, ISBN 0-306067020-8.

**Anexo 2:** Diagrama de Moody factor de fricción para flujo completamente desarrollado, transferencia de calor pag. 891, Cuarta Edición.

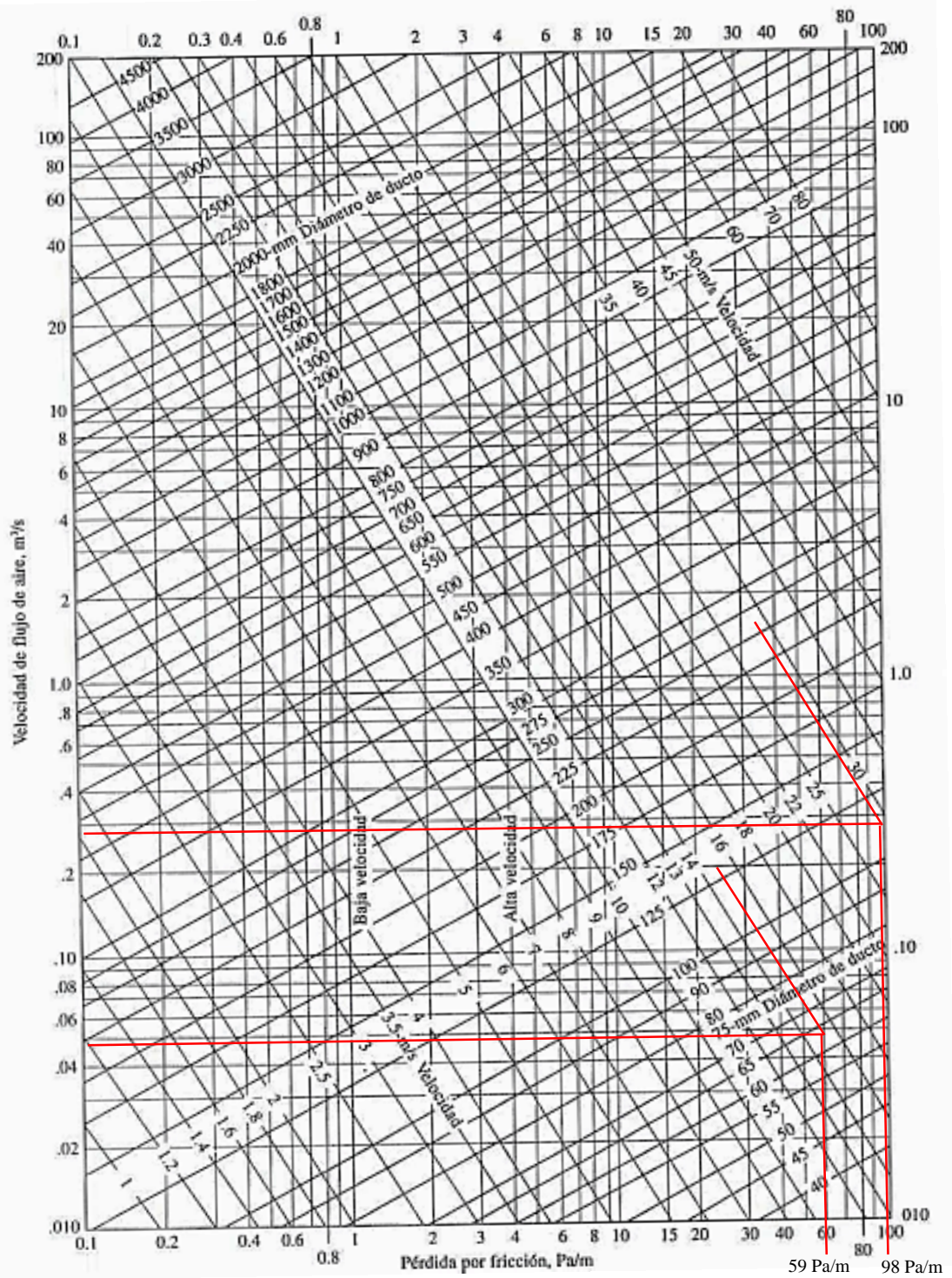


**FIGURA A-20** Diagrama de Moody del factor de fricción para flujo completamente desarrollado en tubos circulares para el uso en la relación  $\Delta P_L = f \frac{L}{D} \frac{\rho V^2}{2}$ . Los factores de fricción en flujo turbulento se evalúan con la ecuación de Colebrook  $\frac{1}{\sqrt{f}} = -2 \log_{10} \left( \frac{\epsilon/D}{3.7} + \frac{2.51}{Re \sqrt{f}} \right)$ .

Anexo 3: Guía de observación

	<p><b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b></p> <p><b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b></p> <p><b>CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA.</b></p>	
<p>Datos Informativos</p>		
Elaborado por:	Fecha:	
Identificación del componente		
Instrumento de medición		
<p><b>Indicadores</b></p>		
<b>Temperatura Crítica</b>		
<b>Temperatura de trabajo</b>		
<b>Observaciones</b>		

**Anexo 4:** Pérdida por fricción en ductos unidades SI.



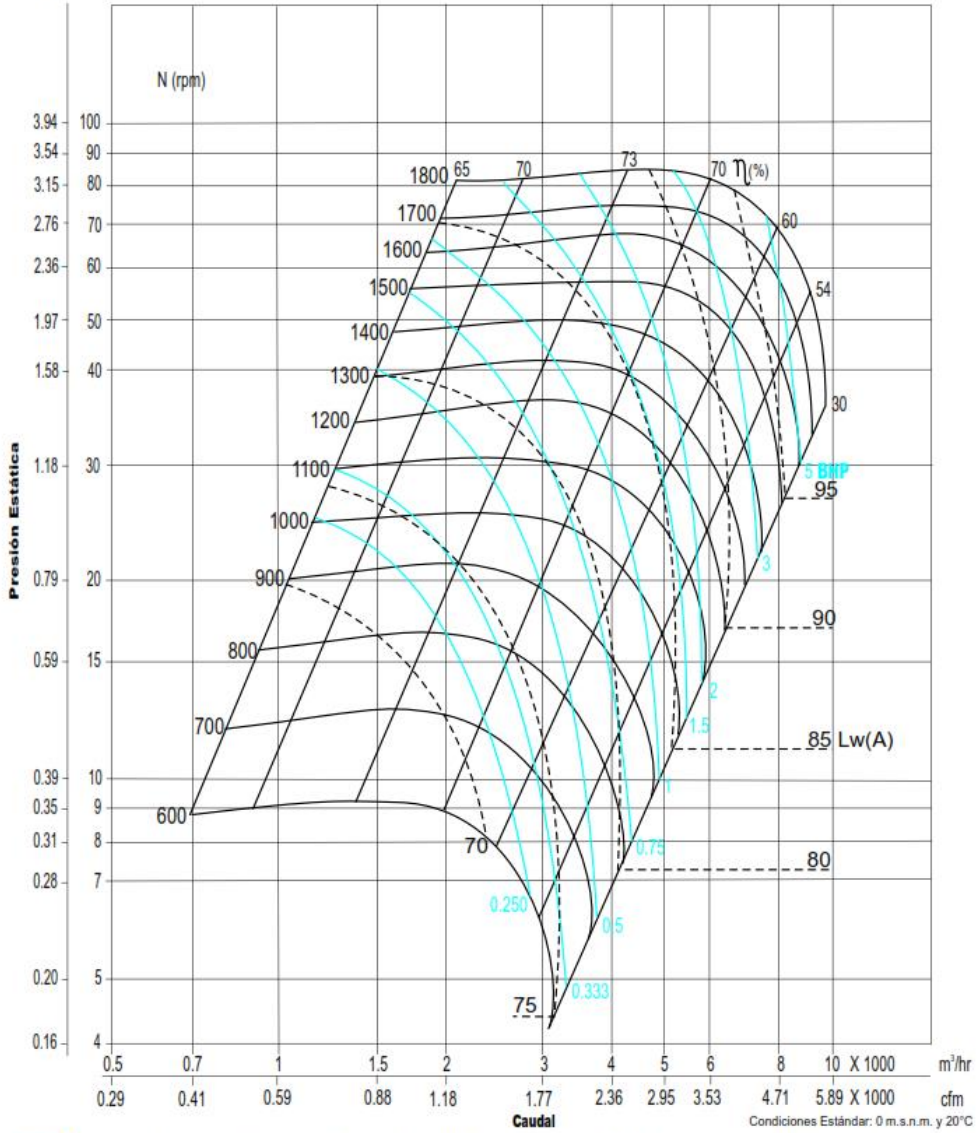
**Fuente:** ASHRAE Handbook: 1981, citado por (Robert Mott. Mecánica de Fluidos)

Anexo 5: Características y parámetros del ventilador centrífugo DA10/10 Soler & Palau.



# DA 10/10

**CURVA CARACTERÍSTICA**  
in wg mmca



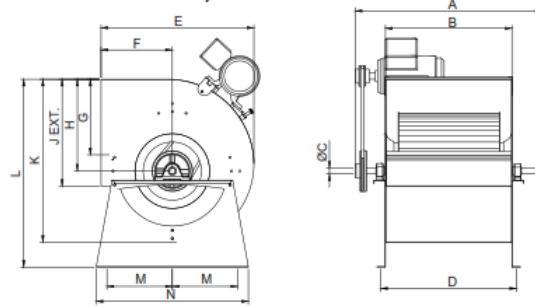
Los valores de caudal y presión están certificados para instalación tipo B: Sin ducto en la succión y ducto en la descarga. Estos valores no incluyen los efectos de accesorios. Los valores de potencia (BHP) no incluyen las pérdidas por transmisión.

Performance certified is for installation type B: free inlet, ducted outlet. Performance ratings does not include the effects of appurtenances (accessories). Power ratings (KW/BHP) does not include transmission losses.



## DIMENSIONES DA - DA/B

DA: 7-7 al 18-18 (Únicamente hasta 3 HP)



Modelo	A	B	ØC	D	E	F	G	H	J	K	L	M	N
7/7	440	232	19	334	307	147	145	180	219	320	370	120	294
9/9	530	300	19	334	380	184	180	218	260	392	491	150	380
10/10	580	333	19	430	420	201	213	247	286	442	512	180	400
12/12	625	396	25.4	430	493	229	240	293	341	524	629	203	485
15/15	700	473	25.4	507	573	267	270	343	403	613	731	245	570
18/18	790	556	25.4	590	685	314	290	418	479	743	881	300	680

Medidas en mm.

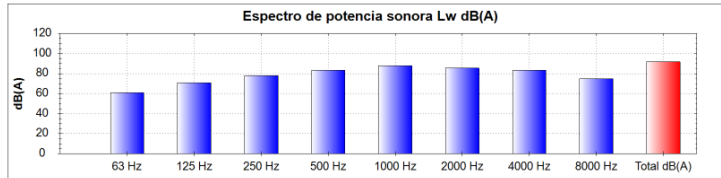
Modelo	A	B	ØC	D	E	F	G	H	J	K	L	M	N
7/7	17 5/16	9 1/8	3/4	13 1/8	12 1/6	5 13/16	5 11/16	7 1/16	8 5/8	12 5/8	14 9/16	4 3/4	11 9/16
9/9	20 7/8	11 13/16	3/4	13 1/8	14 15/16	7 1/4	7 1/16	8 9/16	10 1/4	15 7/16	19 5/16	5 7/8	14 15/16
10/10	22 13/16	13 1/8	3/4	16 15/16	16 9/16	7 15/16	8 3/8	9 3/4	11 1/4	17 3/8	20 3/16	7 1/16	15 3/4
12/12	24 5/8	15 9/16	1	16 15/16	19 7/16	9	9 7/16	11 9/16	13 7/16	20 5/8	24 3/4	8	19 1/8
15/15	27 9/16	18 5/8	1	19 15/16	22 9/16	10 1/2	10 5/8	13 1/2	15 7/8	24 1/8	28 3/4	9 5/8	22 7/16
18/18	31 1/8	21 7/8	1	23 1/4	26 15/16	12 3/8	11 7/16	16 7/16	18 7/8	29 1/4	34 11/16	11 13/16	26 3/4

Medidas en pulgadas.

### Acústica en el punto de servicio (INLET)

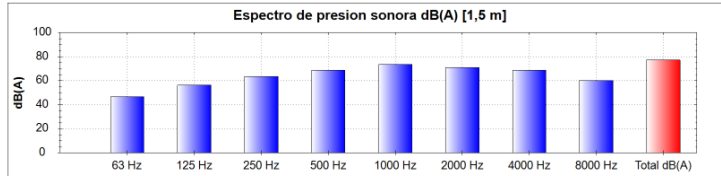
#### Potencia dB(A)

63 Hz	61
125 Hz	71
250 Hz	78
500 Hz	83
1000 Hz	88
2000 Hz	85
4000 Hz	83
8000 Hz	75
Total dB(A)	92

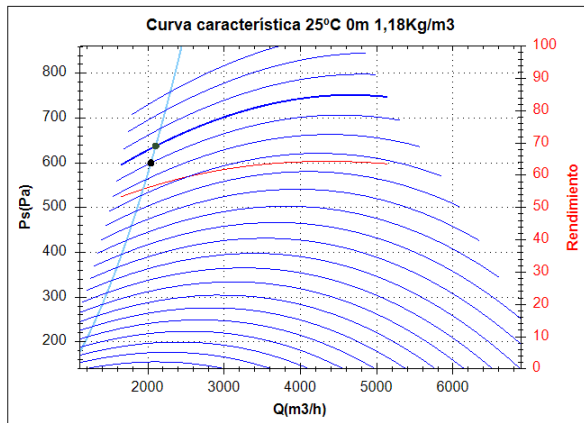


#### Presión [1,5 m]

63 Hz	47
125 Hz	56
250 Hz	64
500 Hz	69
1000 Hz	74
2000 Hz	71
4000 Hz	69
8000 Hz	60
Total dB(A)	77



### Curva característica



#### Punto de diseño

Q(m³/h)	2040
Ps(Pa)	600

#### Punto de servicio

Rpm turbina	1650
Temp. max.(°C)	85
Q(m³/h)	2103,06
Ps(Pa)	637,67
Pd (Pa)	21,82
Pt(Pa)	659,49
Vel. aire(m/s)	6,08
Rend. (%)	56,94
Pot. absorbida(kW)	0,69 [1,20 Kg/m³]
	0,68 [1,18 Kg/m³]
Pot. Recom.(kW)	1,10
SWL dB(A)	92 (INLET)
SPL dB(A)	77 (INLET)
Distancia(m)	1,5

### Datos técnicos

Turbina rpm	1650
Motor rpm	1680
Peso aprox.(kg)	12 + 14,5 (motor)

Potencia(kW)	1,1
I <sub>max</sub> 230V(A)	4,74
I <sub>max</sub> 400V(A)	2,75
I <sub>max</sub> 690V(A)	-



**Anexo 6:** Factor de corrección de densidad del aire aplicable para el punto de servicio real

Temp. (°C)	Altitud sobre el nivel del mar (metros)															
	0	300	500	750	1000	1250	1400	1563	1750	1850	2000	2150	2240	2445	2675	3000
0	1.077	1.039	1.008	0.983	0.954	0.926	0.909	0.891	0.871	0.861	0.845	0.830	0.821	0.801	0.779	0.748
10	1.039	1.002	0.978	0.949	0.920	0.893	0.877	0.860	0.840	0.830	0.815	0.800	0.792	0.772	0.751	0.722
20	1.004	0.968	0.945	0.916	0.889	0.862	0.847	0.830	0.812	0.802	0.787	0.773	0.765	0.746	0.725	0.697
30	0.971	0.936	0.914	0.886	0.860	0.834	0.819	0.803	0.785	0.775	0.761	0.748	0.740	0.721	0.702	0.674
40	0.940	0.906	0.884	0.858	0.832	0.807	0.793	0.777	0.760	0.751	0.737	0.724	0.716	0.698	0.679	0.653
50	0.911	0.878	0.857	0.831	0.807	0.782	0.768	0.753	0.736	0.727	0.714	0.701	0.694	0.677	0.658	0.633
60	0.883	0.852	0.831	0.806	0.782	0.759	0.745	0.731	0.714	0.706	0.693	0.680	0.673	0.656	0.638	0.614
70	0.858	0.827	0.807	0.783	0.760	0.737	0.724	0.709	0.693	0.685	0.673	0.661	0.653	0.637	0.620	0.596
80	0.833	0.804	0.784	0.761	0.738	0.716	0.703	0.689	0.674	0.666	0.654	0.642	0.635	0.619	0.602	0.579
90	0.810	0.781	0.763	0.740	0.718	0.696	0.684	0.670	0.655	0.647	0.636	0.624	0.617	0.602	0.586	0.563
100	0.789	0.760	0.742	0.720	0.699	0.678	0.665	0.652	0.638	0.630	0.619	0.608	0.601	0.586	0.570	0.548
110	0.768	0.741	0.723	0.701	0.680	0.660	0.648	0.635	0.621	0.614	0.603	0.592	0.585	0.571	0.555	0.534
120	0.749	0.722	0.705	0.683	0.663	0.643	0.632	0.619	0.605	0.598	0.587	0.577	0.570	0.556	0.541	0.520
130	0.730	0.704	0.687	0.666	0.647	0.627	0.616	0.604	0.590	0.583	0.573	0.562	0.556	0.543	0.528	0.507
140	0.712	0.687	0.670	0.650	0.631	0.612	0.601	0.589	0.576	0.569	0.559	0.549	0.543	0.529	0.515	0.495
150	0.696	0.671	0.655	0.635	0.616	0.598	0.587	0.575	0.562	0.556	0.546	0.536	0.530	0.517	0.503	0.483
200	0.622	0.600	0.585	0.568	0.551	0.534	0.525	0.515	0.503	0.497	0.488	0.479	0.474	0.462	0.450	0.432
250	0.563	0.543	0.529	0.514	0.498	0.483	0.475	0.465	0.455	0.449	0.441	0.433	0.429	0.418	0.407	0.391
300	0.514	0.495	0.483	0.469	0.455	0.441	0.433	0.425	0.415	0.410	0.403	0.396	0.391	0.382	0.371	0.357

**Para estos ventiladores, la temperatura máxima del flujo de aire a manejar es de 80°C. Para aplicaciones donde la temperatura sea mayor, favor de comunicarse al departamento técnico de Soler & Palau.**

**Anexo 7:** Tabla de secciones de bandas en V estándar, diámetro mínimo de la polea

Sección de la banda	Ancho <i>a</i> , pulg	Esesor <i>b</i> , pulg	Diámetro mínimo de polea, pulg	Intervalo de potencia (hp), una o más bandas
A	$\frac{1}{2}$	$\frac{11}{32}$	3.0	$\frac{1}{4}$ -10
B	$\frac{21}{32}$	$\frac{7}{16}$	5.4	1-25
C	$\frac{7}{8}$	$\frac{17}{32}$	9.0	15-100
D	$1\frac{1}{4}$	$\frac{3}{4}$	13.0	50-250
E	$1\frac{1}{2}$	1	21.6	100 o mayor

**Anexo 8:** Circunferencias interiores de bandas en V estándar.

Sección	Circunferencia, pulg
A	26, 31, 33, 35, 38, 42, 46, 48, 51, 53, 55, 57, 60, 62, 64, 66, 68, 71, 75, 78, 80, 85, 90, 96, 105, 112, 120, 128
B	35, 38, 42, 46, 48, 51, 53, 55, 57, 60, 62, 64, 65, 66, 68, 71, 75, 78, 79, 81, 83, 85, 90, 93, 97, 100, 103, 105, 112, 120, 128, 131, 136, 144, 158, 173, 180, 195, 210, 240, 270, 300
C	51, 60, 68, 75, 81, 85, 90, 96, 105, 112, 120, 128, 136, 144, 158, 162, 173, 180, 195, 210, 240, 270, 300, 330, 360, 390, 420
D	120, 128, 144, 158, 162, 173, 180, 195, 210, 240, 270, 300, 330, 360, 390, 420, 480, 540, 600, 660
E	180, 195, 210, 240, 270, 300, 330, 360, 390, 420, 480, 540, 600, 660

**Anexo 9:** Dimensiones de conversión de longitud (Lc).

Sección de banda	A	B	C	D	E
Cantidad a sumar	1.3	1.8	2.9	3.3	4.5

**Nota:** (Sume a la cantidad listada a la circunferencia interior para obtener la longitud de paso en pulg.)

### Anexo 10: Factor de corrección $K_1$ , factor de corrección de longitud $K_2$ y $H_{tab}$ .

$\frac{D-d}{C}$	$\theta$ , grados	$K_1$		Longitud nominal de la banda, pulg					
		VV	Plana en V	Factor de longitud	Bandas A	Bandas B	Bandas C	Bandas D	Bandas E
0.00	180	1.00	0.75	0.85	Hasta 35	Hasta 46	Hasta 75	Hasta 128	
0.10	174.3	0.99	0.76	0.90	38-46	48-60	81-96	144-162	Hasta 195
0.20	166.5	0.97	0.78	0.95	48-55	62-75	105-120	173-210	210-240
0.30	162.7	0.96	0.79	1.00	60-75	78-97	128-158	240	270-300
0.40	156.9	0.94	0.80	1.05	78-90	105-120	162-195	270-330	330-390
0.50	151.0	0.93	0.81	1.10	96-112	128-144	210-240	360-420	420-480
0.60	145.1	0.91	0.83	1.15	120 y mayor	158-180	270-300	480	540-600
0.70	139.0	0.89	0.84	1.20		195 y mayor	330 y mayor	540 y mayor	660
0.80	132.8	0.87	0.85						
0.90	126.5	0.85	0.85						
1.00	120.0	0.82	0.82						
1.10	113.3	0.80	0.80						
1.20	106.3	0.77	0.77						
1.30	98.9	0.73	0.73						
1.40	91.1	0.70	0.70						
1.50	82.8	0.65	0.65						

\* Un ajuste de curva para la columna W en términos de  $\theta$  es  
 $K_1 = 0.143 543 + 0.007 46 8 \theta - 0.000 015 052 \theta^2$   
 en el intervalo  $90^\circ \leq \theta \leq 180^\circ$ .

RPM of Faster Shaft	Rated HP per Belt for Small Sheave Pitch Diameter																	Additional HP per Belt for Speed Ratio										RPM of Faster Shaft	
	to																	to											
	65	70	75	80	85	90	95	100	105	110	115	120	125	130	140	150	160	175	1.00	1.02	1.05	1.09	1.13	1.19	1.25	1.35	1.52		2.00
1160	.74	.90	1.06	1.22	1.37	1.53	1.68	1.83	1.98	2.13	2.28	2.43	2.58	2.73	3.01	3.30	3.58	3.99	.00	.02	.04	.06	.08	.10	.13	.15	.17	.19	1160
1750	.98	1.21	1.44	1.66	1.88	2.10	2.32	2.53	2.74	2.95	3.16	3.37	3.57	3.77	4.16	4.55	4.92	5.46	.00	.03	.06	.09	.13	.16	.19	.22	.25	.28	1750
3450	1.41	1.80	2.19	2.56	2.92	3.27	3.61	3.94	4.25	4.56	4.85	5.13	5.40	5.65	6.12	6.52	6.86	7.25	.00	.06	.12	.19	.25	.31	.37	.43	.50	.56	3450
200	.20	.23	.26	.29	.33	.36	.39	.42	.45	.48	.51	.55	.58	.61	.67	.73	.79	.88	.00	.00	.01	.01	.01	.02	.02	.03	.03	.03	200
400	.34	.40	.46	.52	.58	.64	.70	.76	.82	.88	.93	.99	1.05	1.11	1.22	1.33	1.45	1.61	.00	.01	.02	.03	.04	.05	.06	.06	.06	.06	400
600	.46	.55	.64	.72	.81	.90	.98	1.07	1.15	1.23	1.32	1.40	1.48	1.57	1.73	1.89	2.06	2.30	.00	.01	.02	.03	.04	.05	.06	.06	.09	.10	600
800	.57	.68	.80	.91	1.02	1.13	1.24	1.35	1.46	1.57	1.68	1.79	1.89	2.00	2.21	2.42	2.63	2.94	.00	.01	.03	.04	.06	.07	.09	.10	.12	.13	800
1000	.67	.81	.95	1.08	1.22	1.36	1.49	1.63	1.76	1.89	2.02	2.15	2.28	2.41	2.67	2.92	3.17	3.54	.00	.02	.04	.05	.07	.09	.11	.13	.14	.16	1000
1200	.76	.93	1.09	1.26	1.41	1.57	1.73	1.88	2.04	2.19	2.35	2.50	2.65	2.80	3.10	3.39	3.68	4.11	.00	.02	.04	.06	.09	.11	.13	.15	.17	.19	1200
1400	.85	1.04	1.22	1.41	1.59	1.77	1.95	2.13	2.31	2.48	2.66	2.83	3.00	3.17	3.61	3.84	4.16	4.63	.00	.03	.05	.08	.10	.13	.16	.18	.20	.23	1400
1600	.93	1.14	1.36	1.55	1.76	1.96	2.16	2.36	2.56	2.76	2.95	3.14	3.33	3.52	3.89	4.25	4.61	5.12	.00	.03	.06	.09	.12	.14	.17	.20	.23	.26	1600
1800	1.00	1.23	1.47	1.69	1.92	2.15	2.37	2.59	2.80	3.02	3.23	3.44	3.65	3.85	4.25	4.64	5.02	5.57	.00	.03	.06	.10	.14	.18	.19	.23	.26	.29	1800
2000	1.07	1.33	1.58	1.83	2.07	2.32	2.56	2.80	3.03	3.26	3.49	3.72	3.94	4.16	4.59	5.00	5.40	5.97	.00	.04	.07	.11	.14	.18	.22	.25	.29	.32	2000
2200	1.13	1.41	1.68	1.95	2.22	2.48	2.74	2.99	3.25	3.49	3.74	3.98	4.21	4.44	4.89	5.33	5.74	6.33	.00	.04	.08	.12	.16	.20	.24	.28	.32	.36	2200
2400	1.19	1.49	1.78	2.07	2.35	2.63	2.91	3.18	3.45	3.71	3.97	4.22	4.46	4.71	5.17	5.62	6.04	6.63	.00	.04	.09	.13	.17	.22	.26	.30	.35	.39	2400
2600	1.24	1.56	1.87	2.18	2.48	2.78	3.07	3.35	3.63	3.91	4.18	4.44	4.69	4.94	5.42	5.88	6.30	6.89	.00	.05	.09	.14	.19	.23	.28	.33	.37	.42	2600
2800	1.29	1.63	1.96	2.28	2.60	2.91	3.21	3.51	3.80	4.09	4.37	4.64	4.90	5.16	5.64	6.10	6.52	7.07	.00	.05	.10	.15	.20	.25	.30	.35	.40	.45	2800
3000	1.34	1.69	2.04	2.38	2.71	3.03	3.35	3.66	3.96	4.25	4.54	4.82	5.08	5.34	5.83	6.28	6.68	7.20	.00	.05	.11	.16	.22	.27	.32	.38	.43	.49	3000
3200	1.37	1.74	2.11	2.46	2.81	3.14	3.47	3.79	4.10	4.40	4.69	4.97	5.24	5.50	5.98	6.41	6.80	7.27	.00	.06	.12	.17	.23	.29	.35	.40	.46	.52	3200
3400	1.41	1.79	2.17	2.54	2.90	3.24	3.58	3.91	4.22	4.53	4.82	5.10	5.37	5.60	6.09	6.50	6.86	7.22	.00	.06	.12	.18	.24	.31	.37	.43	.49	.55	3400
3600	1.44	1.84	2.23	2.61	2.98	3.33	3.68	4.01	4.33	4.64	4.93	5.21	5.47	5.72	6.17	6.55	6.89	7.25	.00	.06	.13	.19	.26	.32	.39	.45	.52	.58	3600
3800	1.46	1.87	2.28	2.67	3.04	3.41	3.76	4.10	4.42	4.72	5.01	5.29	5.54	5.78	6.20	6.55	6.91	7.27	.00	.07	.14	.21	.27	.34	.41	.48	.55	.62	3800
4000	1.47	1.90	2.32	2.72	3.10	3.47	3.83	4.17	4.49	4.79	5.07	5.34	5.58	5.81	6.20	6.55	6.91	7.27	.00	.07	.14	.22	.29	.36	.43	.50	.58	.65	4000
4200	1.49	1.93	2.35	2.76	3.15	3.52	3.88	4.22	4.54	4.84	5.11	5.36	5.59	5.80	6.19	6.55	6.91	7.27	.00	.08	.14	.23	.30	.38	.45	.53	.60	.68	4200
4400	1.49	1.94	2.38	2.79	3.19	3.56	3.92	4.25	4.56	4.85	5.12	5.36	5.57	5.76	6.16	6.51	6.86	7.21	.00	.08	.16	.24	.32	.40	.48	.55	.63	.71	4400
4600	1.49	1.95	2.39	2.81	3.21	3.59	3.94	4.27	4.57	4.85	5.10	5.32	5.53	5.72	6.12	6.46	6.80	7.15	.00	.08	.17	.25	.33	.41	.50	.58	.66	.75	4600
4800	1.49	1.95	2.40	2.82	3.22	3.60	3.94	4.27	4.56	4.82	5.05	5.25	5.44	5.61	6.01	6.34	6.67	7.01	.00	.09	.17	.26	.35	.43	.52	.60	.69	.78	4800
5000	1.47	1.95	2.40	2.82	3.22	3.59	3.93	4.24	4.52	4.77	5.00	5.20	5.38	5.55	5.94	6.27	6.59	6.91	.00	.09	.18	.27	.36	.45	.54	.63	.72	.81	5000
5200	1.45	1.94	2.39	2.81	3.21	3.57	3.90	4.20	4.48	4.68	4.85	5.00	5.14	5.27	5.65	5.97	6.29	6.60	.00	.09	.19	.28	.37	.47	.56	.66	.75	.84	5200
5400	1.43	1.91	2.37	2.79	3.18	3.54	3.85	4.13	4.38	4.58	4.74	4.88	5.00	5.11	5.49	5.80	6.11	6.41	.00	.10	.19	.29	.39	.49	.58	.68	.78	.87	5400
5600	1.40	1.89	2.34	2.76	3.14	3.48	3.79	4.06	4.29	4.47	4.62	4.74	4.84	4.94	5.32	5.62	5.92	6.21	.00	.10	.20	.30	.40	.50	.60	.71	.81	.91	5600
5800	1.36	1.85	2.30	2.71	3.09	3.42	3.70	3.94	4.16	4.33	4.47	4.58	4.67	4.75	5.12	5.41	5.70	6.00	.00	.10	.21	.31	.42	.52	.63	.73	.84	.94	5800
6000	1.31	1.80	2.25	2.65	3.02	3.33	3.59	3.81	3.99	4.14	4.27	4.37	4.45	4.52	4.89	5.17	5.45	5.73	.00	.11	.22	.32	.43	.54	.65	.76	.86	.97	6000
6200	1.26	1.75	2.19	2.58	2.93	3.23	3.47	3.67	3.83	3.96	4.07	4.15	4.22	4.28	4.64	4.91	5.18	5.45	.00	.11	.22	.33	.45	.56	.67	.78	.89	1.00	6200
6400	1.20	1.68	2.12	2.50	2.83	3.10	3.32	3.50	3.65	3.77	3.86	3.93	3.99	4.04	4.40	4.66	4.92	5.18	.00	.12	.23	.35	.46	.58	.69	.81	.92	1.04	6400
6600	1.14	1.61	2.04	2.40	2.72	2.96	3.13	3.28	3.40	3.50	3.58	3.64	3.69	3.73	4.08	4.33	4.58	4.83	.00	.12	.24	.36	.48	.59	.71	.83	.95	1.07	6600
6800	1.06	1.53	1.94	2.29	2.58	2.81	2.98	3.13	3.24	3.33	3.40	3.45	3.49	3.53	3.88	4.12	4.36	4.60	.00	.12	.25	.37	.49	.61	.73	.86	.98	1.10	6800
7000	.98	1.44	1.84	2.17	2.43	2.63	2.78	2.90	3.00	3.08	3.15	3.21	3.26	3.30	3.64	3.87	4.10	4.33	.00	.13	.25	.38	.50	.63	.76	.88	1.01	1.13	7000
7200	.89	1.34	1.72	2.03	2.27	2.44	2.58	2.69	2.78	2.85	2.91	2.96	3.00	3.04	3.38	3.60	3.82	4.04	.00	.13	.26	.39	.52	.65	.78				

**Anexo 11:** Factor de servicio  $K_s$  para transmisión de bandas en V y factores  $K_b$ ,  $K_c$ ,  $K$ ,  $b$ .

Maquinaria impulsada	Fuente de potencia	
	Característica de par de torsión normal	Par de torsión alto o no uniforme
Uniforme	1.0 a 1.2	1.1 a 1.3
Impacto ligero	1.1 a 1.3	1.2 a 1.4
Impacto medio	1.2 a 1.4	1.4 a 1.6
Impacto pesado	1.3 a 1.5	1.5 a 1.8

Parámetros de durabilidad para algunas secciones de banda en V

Fuente: M. E. Spotts, *Design of Machine Elements*, 6a. ed., Prentice Hall, Englewood Cliffs, Nueva Jersey, 1985.

Sección de banda	10 <sup>4</sup> a 10 <sup>6</sup> picos de fuerza		10 <sup>6</sup> a 10 <sup>10</sup> picos de fuerza		Diámetro mínimo de polea, pulg
	K	b	K	b	
A	674	11.089			3.0
B	1 193	10.926			5.0
C	2 038	11.173			8.5
D	4 208	11.105			13.0
E	6 061	11.100			21.6
3V	728	12.464	1 062	10.153	2.65
5V	1 654	12.593	2 394	10.283	7.1
8V	3 638	12.629	5 253	10.319	12.5

Sección de banda	$K_b$	$K_c$
A	220	0.561
B	576	0.965
C	1 600	1.716
D	5 680	3.498
E	10 850	5.041
3V	230	0.425
5V	1 098	1.217
8V	4 830	3.288

\* Datos cortesía de Gates Rubber Co., Denver, Col.

## Anexo 12: Parámetros para el control de Tensado

Masa de la correa por metro de longitud, según el tipo de perfil [2]

Perfiles	Normales (clásicos)				
	Z	A	B	C	D
$\rho$ (kg/m)	0.06	0.11	0.20	0.33	0.68
Perfiles	Estrechos				
	SPZ	SPA	SPB	SPC	
$\rho$ (kg/m)	0.07	0.12	0.21	0.36	

Coefficiente por ángulo de contacto en correas trapeciales

Ángulo de contacto $\alpha$ [°]	180	175	165	160	150	140	120
Coefficiente $C_\alpha$	1.00	0.99	0.97	0.96	0.95	0.89	0.69

Factor  $K_A$  de aplicación de la carga, en transmisiones por correas [2]

Tipo de carga en la máquina movida	Tipo de carga en la máquina motriz	
	Carga suave	Carga brusca
Uniforme y pequeña	1,0	1,1
Uniforme y mediana	1,1	1,2
Irregular con sobrecarga	1,2	1,4
Irregular con gran sobrecarga	1,3	1,5
Muy irregular con gran sobrecarga	2,0	2,0

**Tabla** Valores de fuerza "F" constante de control de la tensión inicial de la correa [5,6]

Sección	Perfiles Normales				
	Z	A	B	C	D
F [N]	25	25	50	100	150
Sección	Perfiles Estrechos				
	SPZ	SPA	SPB	SPC	-
F [N]	25	50	75	125	-

Anexo 13: Características tubo estructural cuadrado.



**DIPAC**<sup>®</sup>  
PRODUCTOS DE ACERO

**CUADRADO**

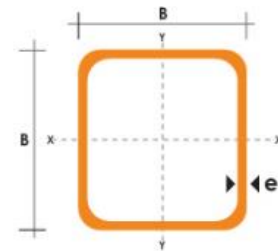
**TUBO ESTRUCTURAL CUADRADO**

**Especificaciones Generales**

<b>Norma</b>	ASTM A-500
<b>Recubrimiento</b>	Negro o galvanizado
<b>Largo normal</b>	6.00m
<b>Otros largos</b>	Previa Consulta
<b>Dimensiones</b>	Desde 20.00mm a 100.00mm
<b>Esesor</b>	Desde 2.00mm a 3.00mm



DIMENSIONES		AREA		EJES X-Xe Y-Y		
A	ESPEJOR	PESO	AREA	I	W	i
mm	mm	Kg/m	cm <sup>2</sup>	cm <sup>4</sup>	cm <sup>3</sup>	cm
20	1,2	0,72	0,90	0,53	0,53	0,77
20	1,5	0,88	1,05	0,58	0,58	0,74
20	2,0	1,15	1,34	0,69	0,69	0,72
25	1,2	0,90	1,14	1,08	0,87	0,97
25	1,5	1,12	1,35	1,21	0,97	0,95
25	2,0	1,47	1,74	1,48	1,18	0,92
30	1,2	1,09	1,38	1,91	1,28	1,18
30	1,5	1,35	1,65	2,19	1,46	1,15
30	2,0	1,78	2,14	2,71	1,81	1,13
40	1,2	1,47	1,80	4,38	2,19	1,25
40	1,5	1,82	2,25	5,48	2,74	1,56
40	2,0	2,41	2,94	6,93	3,46	1,54
40	3,0	3,54	4,44	10,20	5,10	1,52
50	1,5	2,29	2,85	11,06	4,42	1,97
50	2,0	3,03	3,74	14,13	5,65	1,94
50	3,0	4,48	5,61	21,20	8,48	1,91
60	2,0	3,66	3,74	21,26	7,09	2,39
60	3,0	5,42	6,61	35,06	11,69	2,34
75	2,0	4,52	5,74	50,47	13,46	2,97
75	3,0	6,71	8,41	71,54	19,08	2,92
75	4,0	8,59	10,95	89,98	24,00	2,87
100	2,0	6,17	7,74	122,99	24,60	3,99
100	3,0	9,17	11,41	176,95	35,39	3,94
100	4,0	12,13	14,95	226,09	45,22	3,89
100	5,0	14,40	18,36	270,57	54,11	3,84

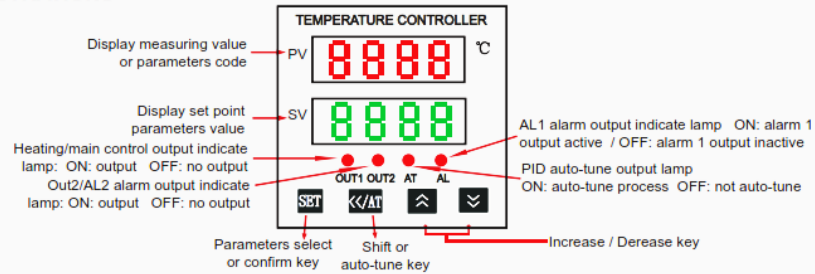


## Anexo 14: Características del controlador digital IBEST R999



IBEST ELECTRICAL CO.,LTD

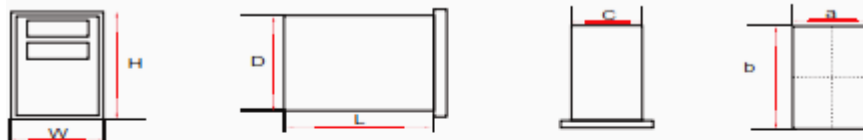
### PANEL ILLUSTRATIONS



### TECHNICAL SPECIFICATIONS:

Power supply:	AC 90~250V / 50~60HZ	
Power consumption:	≤ 5VA	
Measuring range:	-1999~9999 °C	
Accuracy:	0.3% F.S ± 2 digit (under normal conditions)	
Sampling rate:	<500ms	
Main control output:	Relay: NO., contact capacity: AC 250V /3A or DC 30V /3A Cosφ=1 SSR/Logic: DC 24V ±2V/20mA (TCM-□4) DC12V ±1V / 20mA (TCM-□6/7/9)	
Alarm output:	Relay: NO., contact capacity: AC 250V /3A or DC 30V /3A Cosφ=1 SSR/Logic: DC 24V ±2V/20mA (TCM-□4) DC12V ±1V / 20mA (TCM-□6/7/8/9)	
Input:	TC	K 0~1300 °C
		J 0~9800 °C
		T -150~400 °C
		E 0~999 °C
	RTD	Pt100 -199~200 °C or -199~600 °C
Cu50 -50~150 °C		
Other	Please indicate when order	
Withstand voltage:	1500V Rms (between terminal points and the plastic case)	
Insulation strength:	Min. 50m Ω (500V DC, between the terminal points and case)	
Ambient temperature:	0~50 °C	
Stock temperature:	-10~60 °C	
Humidity:	35~85%(RH)	
Weight:	250g (G.W) (TCM-□4)	
	380g (G.W) (TCM-□6/7/8/9)	

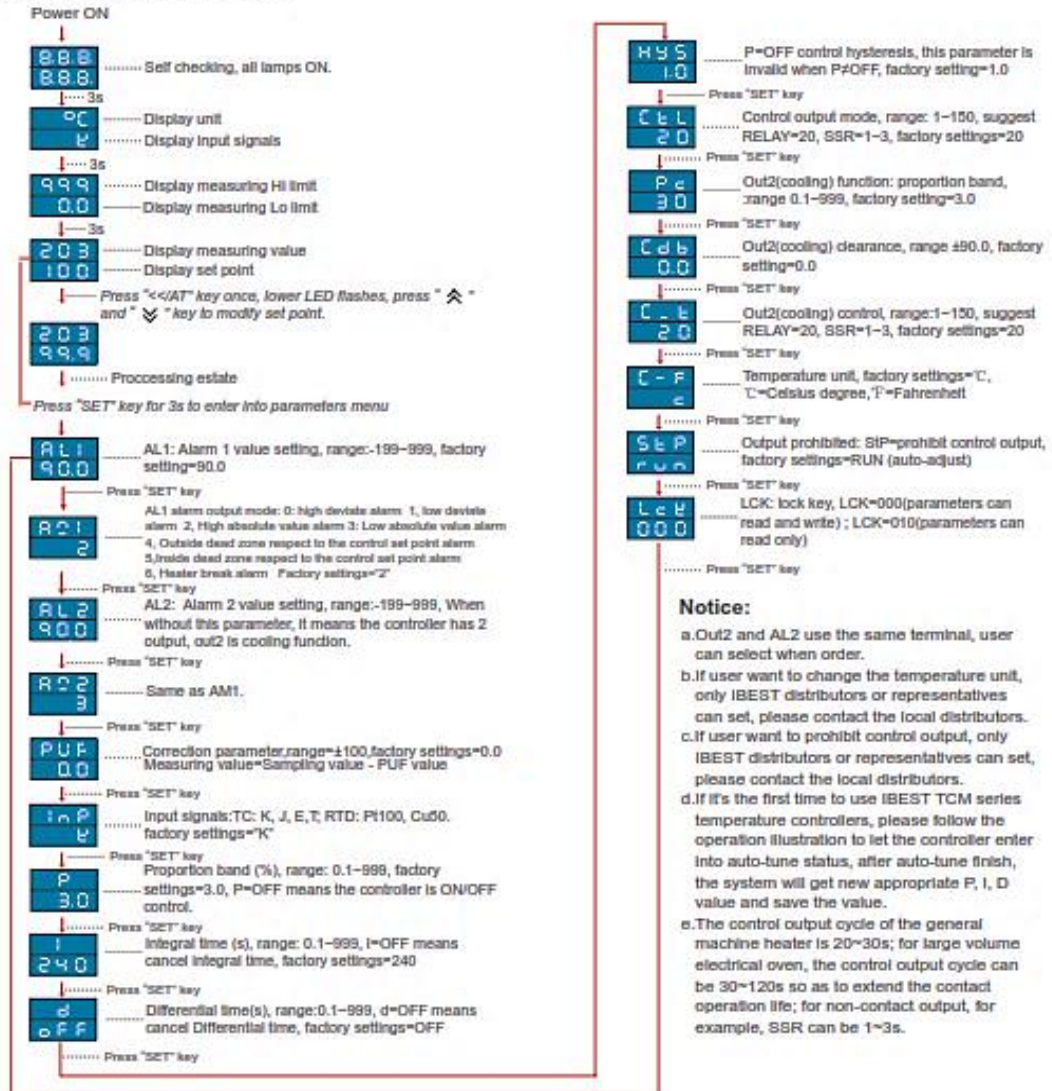
### INSTRUMENT DIMENSION AND INSTALLATION HOLE DIMENSION( unit: mm)



MODEL	DIMENSION		INSTALLATION HOLE DIMENSION: a × b(mm)
	W × H(mm)	C × D × L(mm)	
TCM-□R4	48 × 48	45 × 45 × 80	(45+0.5) × (45+0.5)
TCM-□R6□	48 × 96	45 × 91 × 80	(45.0+0.5) × (91+0.5)
TCM-□R7□	72 × 72	67.5 × 67.5 × 100	(67.5+0.5) × (67.5+0.5)
TCM-□R8□	96 × 48	91 × 45 × 80	(91.0+0.5) × (45.0+0.5)
TCM-□R9□	96 × 96	91 × 91 × 100	(91.0+0.5) × (91.0+0.5)

**PARAMETERS SETTINGS:**

- a. Modify set point: at the processing estate, press "<<AT" key once, the lower LED flashes, the digit can shift at this time, press " ^ " / " v " to modify the set point.
- b. Modify parameters value: at the processing estate, press "Set" key for 3s to enter into parameters setting menu, press "set" key once to move parameter need to be modified, press "<<AT" key once, the lower LED flashes, the digit can shift, press " ^ " / " v " to increase or decrease value, at last press "Set" key to confirm the value set. Press "Set" key once again moving to next parameter.
- c. Operation parameters menu as below:





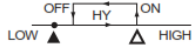
**CONTROL OUTPUT AND ALARM OUTPUT MODE:**

a.ON/OFF CONTROL:( ▲ Set Point )

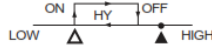


b.AIARM OUTPUT :( ▲ Set Point ▲ Alarm value )

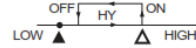
0: High deviate alarm, AL is deviation



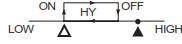
1: Low deviate alarm, AL is deviation



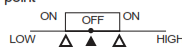
2: High absolute value alarm ,AL is absolute



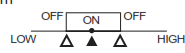
3: Low absolute value alarm,AL is absolute value



4: Outside dead zone respect to the control set point

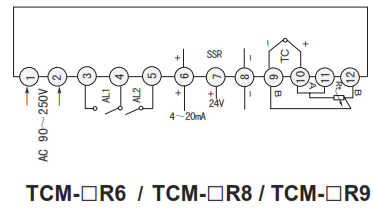
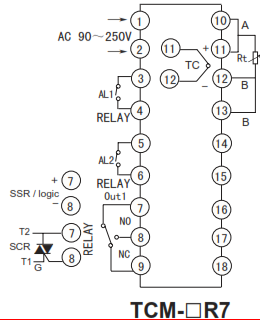
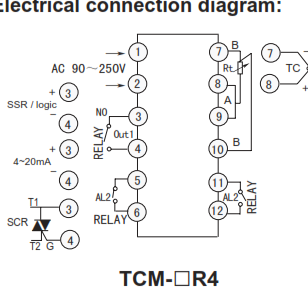


5: Inside dead zone respect to the control set point alarm

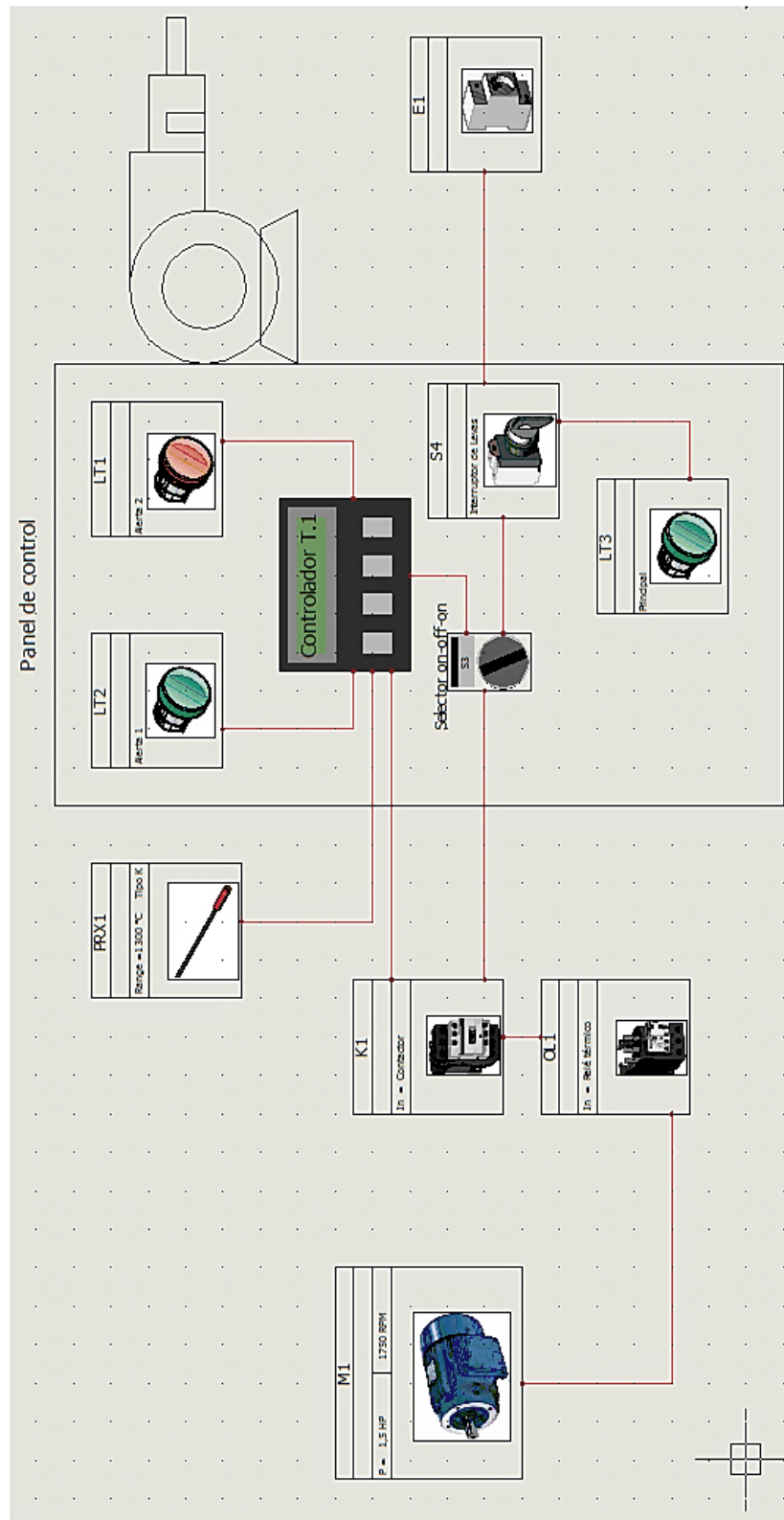


- All alarm hysteresis are set "1" by factory, if user want to change, please contact us or local distributor.
- Only when there is 1 control output, the control output mode can change, if user want to change, please contact us or local distributor.

**8. Electrical connection diagram:**



## Anexo 15: Esquema de conexiones



"El Ecuador ha sido, es  
y será País Amazónico"



**FUERZA AÉREA ECUATORIANA  
RECURSOS HUMANOS CIDFAE.**

**CERTIFICADO**

Yo, Paúl Armas Ramírez, en calidad de DIRECTOR DEL CENTRO DE INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO FAE, tengo a bien certificar que el Sr. PUNINA BANDA SEGUNDO JAVIER, portador de cédula de ciudadanía número 1804692125, realizó el trabajo de Investigación sobre el TEMA: ESTUDIO DE UN SISTEMA DE REFRIGERACIÓN DE ELEMENTOS ELECTRÓNICOS PARA EL CONTROL DE TEMPERATURA EN TIERRA DEL UAV GAVILÁN DEL CENTRO DE INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO DE LA FUERZA AÉREA ECUATORIANA, quien ha concluido de conformidad a los intereses de este Centro y a los objetivos planteados para el efecto, asimismo como prueba de cumplimiento ha presentado un original y magnético del trabajo, el mismo que reposará en el archivo técnico de este Centro.

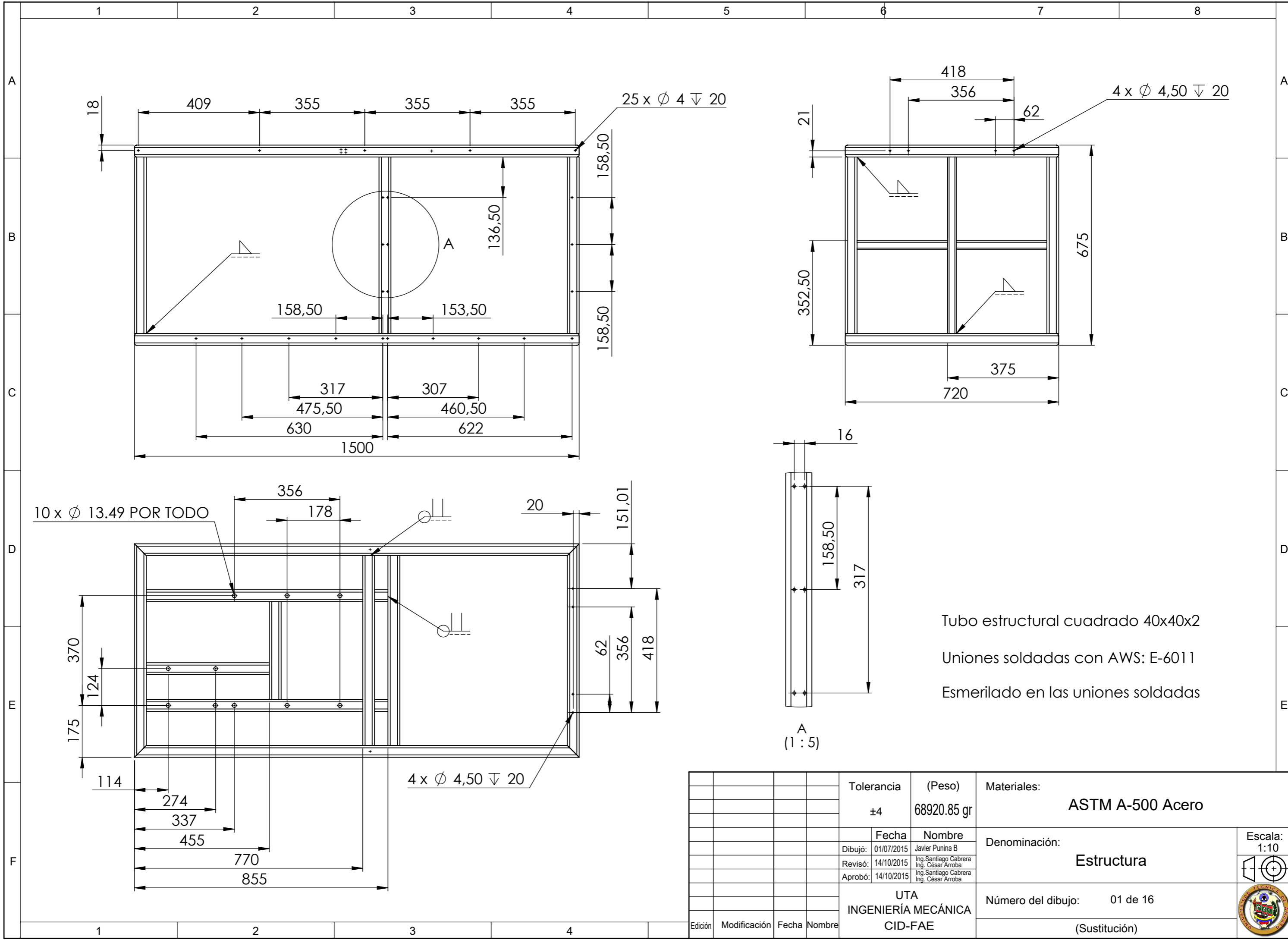
Es todo cuanto puedo certificar en honor a la verdad y autorizo al interesado/a hacer uso del presente documento en lo que creyere conveniente, excepto para trámites judiciales.

Ambato, 03 de julio de 2015

  
  
Paúl Armas Ramírez  
Mayor Téc. Avc.  
DIRECTOR DEL CIDFAE.

# PLANOS





10 x Ø 13.49 POR TODO

4 x Ø 4,50 ∇ 20

25 x Ø 4 ∇ 20

4 x Ø 4,50 ∇ 20

Tubo estructural cuadrado 40x40x2  
 Uniones soldadas con AWS: E-6011  
 Esmerilado en las uniones soldadas

A  
(1 : 5)

				Tolerancia	(Peso)	Materiales:	
				±4	68920.85 gr	ASTM A-500 Acero	
				Fecha	Nombre	Denominación:	
				Dibujó: 01/07/2015	Javier Punina B	Estructura	
				Revisó: 14/10/2015	Ing. Santiago Cabrera Ing. César Arroba	Escala: 1:10	
				Aprobó: 14/10/2015	Ing. Santiago Cabrera Ing. César Arroba	Número del dibujo: 01 de 16	
				UTA INGENIERÍA MECÁNICA CID-FAE		(Sustitución)	
Edición	Modificación	Fecha	Nombre				

1

2

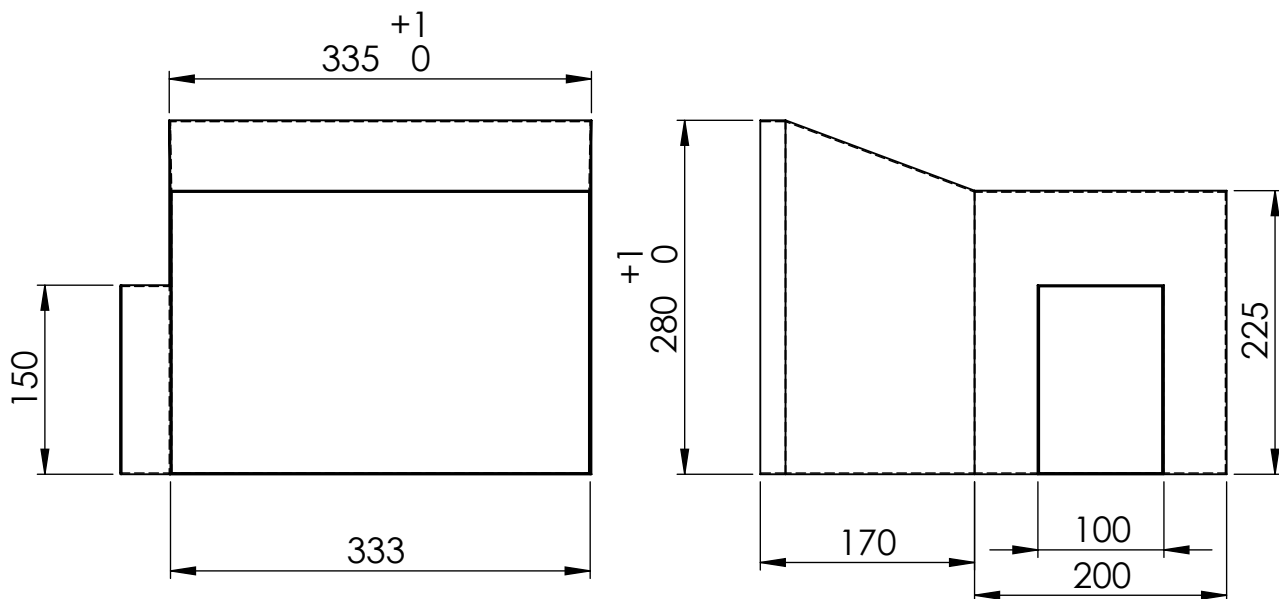
3

4

A

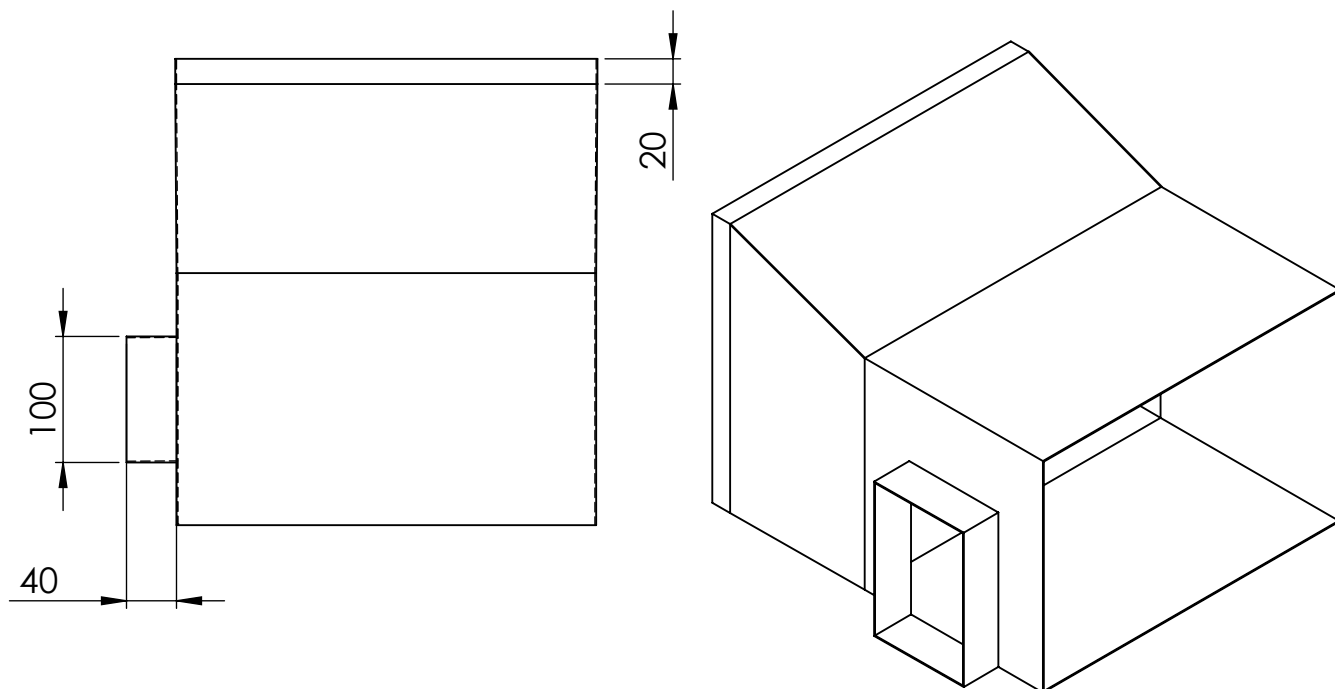
Espesor de Plancha de Told Galvanizado = 1mm

B



C

D



E

				Tolerancia $\pm 4$	(Peso) 3428.60 gr	Materiales: Told galvanizado		
						Denominación: Tee Divergente	Escala: 1:5 	
				Dibujo	01/07/2015			Javier Punina B.
				Reviso	08/10/2015			Ing. Santiago Cabrera Ing. César Arroba
				Aprobd	08/10/2015	Ing. Santiago Cabrera Ing. César Arroba		
				UTA INGENIERÍA MECÁNICA CID-FAE		Número del dibujo: 02 de 16		
Edición	Modificación	Fecha	Nombre			(Sustitución)		

1

2

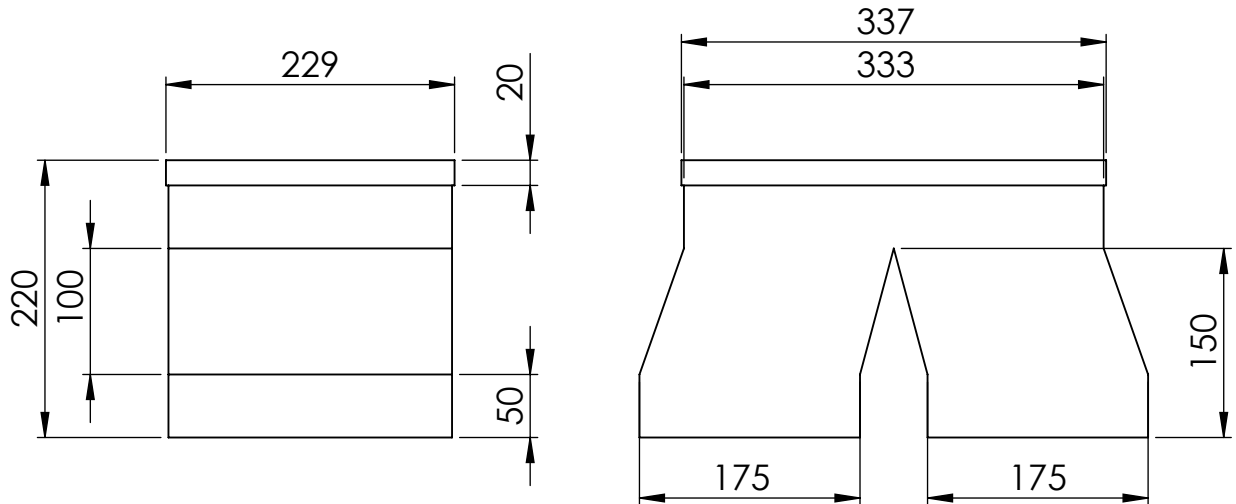
3

4

A

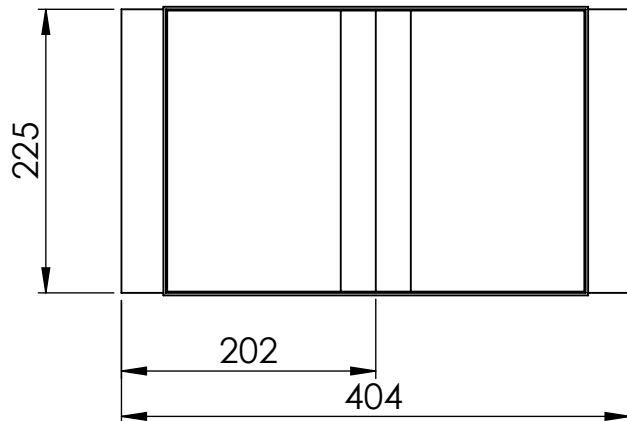
Espesor de Plancha de Told Galvanizado = 1mm

B



C

D



E

				Tolerancia $\pm 4$	(Peso) 2698.00 gr	Materiales: <b>Told galvanizado</b>		
						Denominación: <b>Bifurcación Doble</b>	Escala: 1:5 	
				Dibujo	01/07/2015			Javier Punina B.
				Reviso	08/10/2015			Ing. Santiago Cabrera Ing. César Arroba
				Aproba	08/10/2015	Ing. Santiago Cabrera Ing. César Arroba		
				UTA INGENIERÍA MECÁNICA CID-FAE		Número del dibujo: 03 de 16		
Edición	Modificación	Fecha	Nombre			(Sustitución)		



1

2

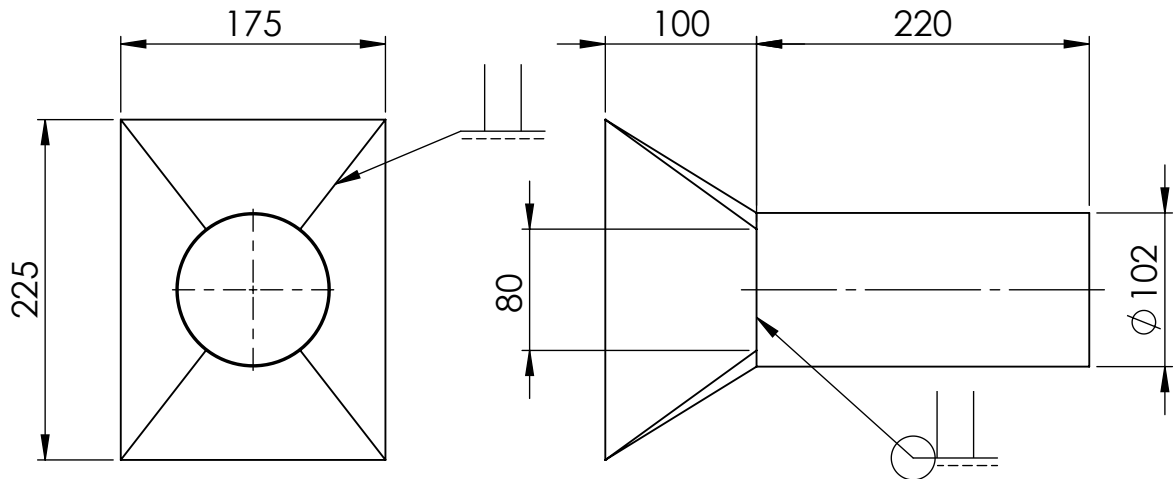
3

4

A

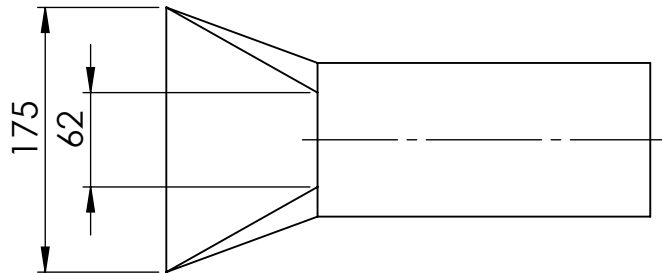
Espesor de Plancha de Told Galvanizado = 1mm

B



C

D



E

				Tolerancia $\pm 4$	(Peso) 1043.88 gr	Materiales: Told galvanizado, Tubo Estructural A-500
				Fecha	Nombre	Denominación: Contracción Gradual - 4in
				Dibujo 01/07/2015	Javier Punina B.	
				Reviso 08/10/2015	Ing. Santiago Cabrera Ing. César Arroba	
				Aprobó 08/10/2015	Ing. Santiago Cabrera Ing. César Arroba	Escala: 1:5 
				UTA INGENIERÍA MECÁNICA CID-FAE		
Edición	Modificación	Fecha	Nombre			



1

2

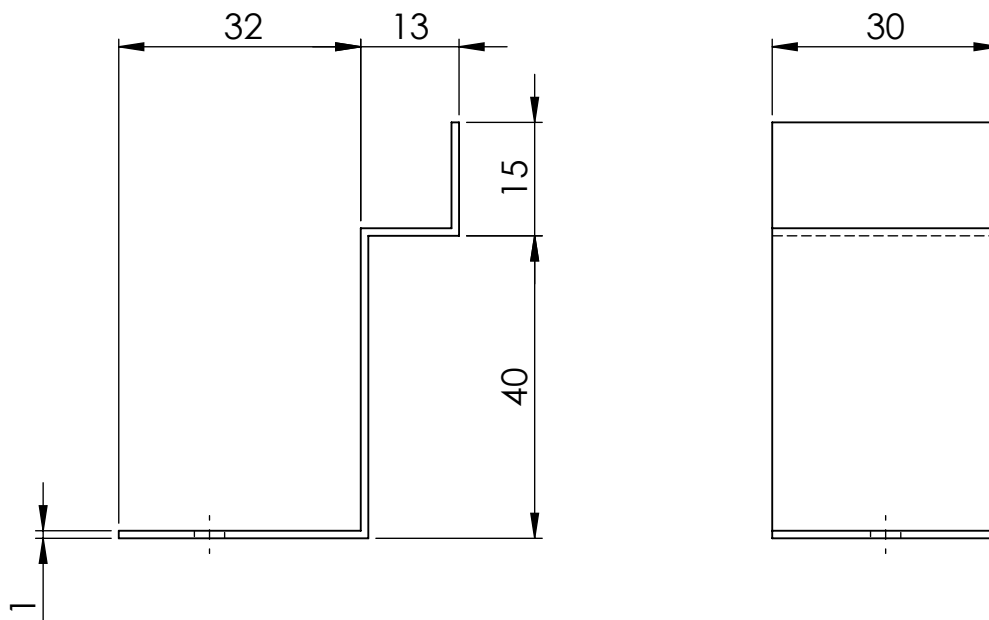
3

4

A

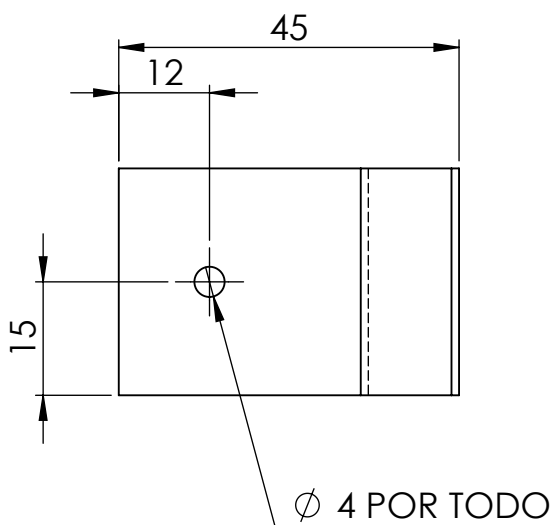
Espesor de Plancha de Told Galvanizado = 1mm

B



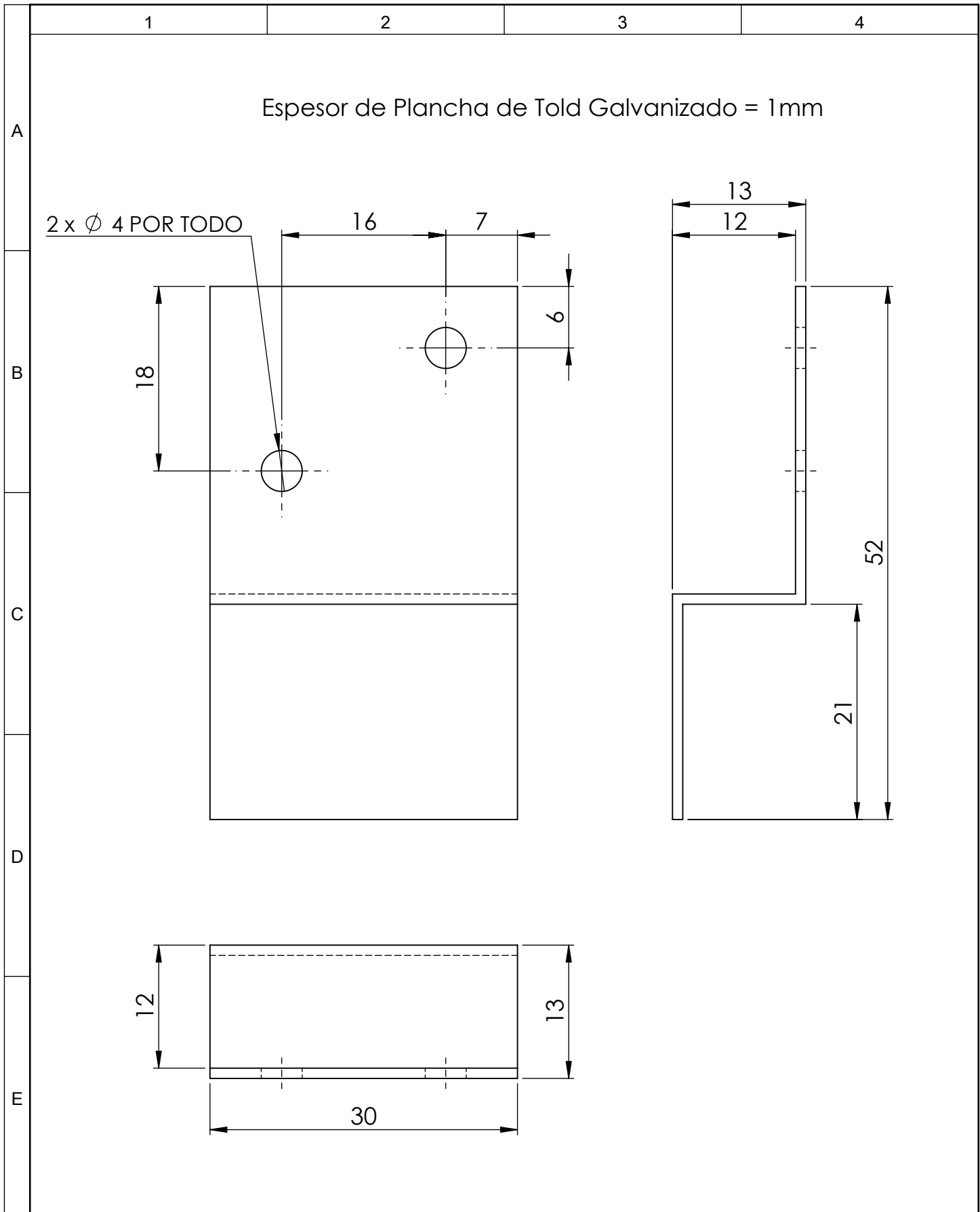
C

D



E

				Tolerancia ±4	(Peso) 23.28 gr	Materiales: Told galvanizado		
						Denominación: Guía de filtro inferior	Escala: 1:1 	
				Dibujó	01/07/2015			Javier Punina B.
				Revisó	08/10/2015			Ing. Santiago Cabrera Ing. César Arroba
				Aprobó	08/10/2015	Ing. Santiago Cabrera Ing. César Arroba		
				UTA INGENIERÍA MECÁNICA CID-FAE		Número del dibujo: 06 de 16		
Edición	Modificación	Fecha	Nombre			(Sustitución)		



				Tolerancia $\pm 4$	(Peso) 14.91 gr	Materiales: <b>Told galvanizado</b>		
						Denominación: <b>Guía de filtro superior</b>	Escala: 2:1	
				Dibujo	01/07/2015		Javier Punina B.	
				Reviso	08/10/2015		Ing. Santiago Cabrera Ing. César Arroba	
				Aprobado	08/10/2015	Ing. Santiago Cabrera Ing. César Arroba		
				UTA INGENIERÍA MECÁNICA CID-FAE		Número del dibujo: 07 de 16		
Edición	Modificación	Fecha	Nombre			(Sustitución)		

1

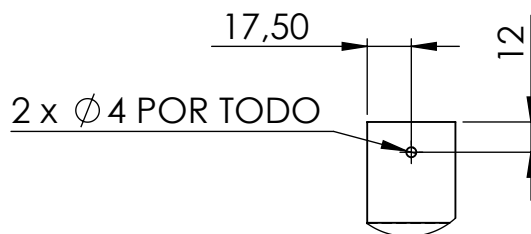
2

3

4

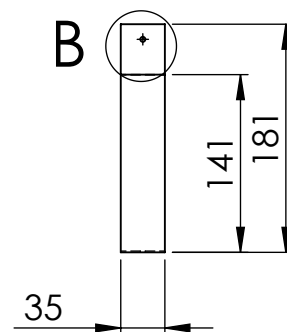
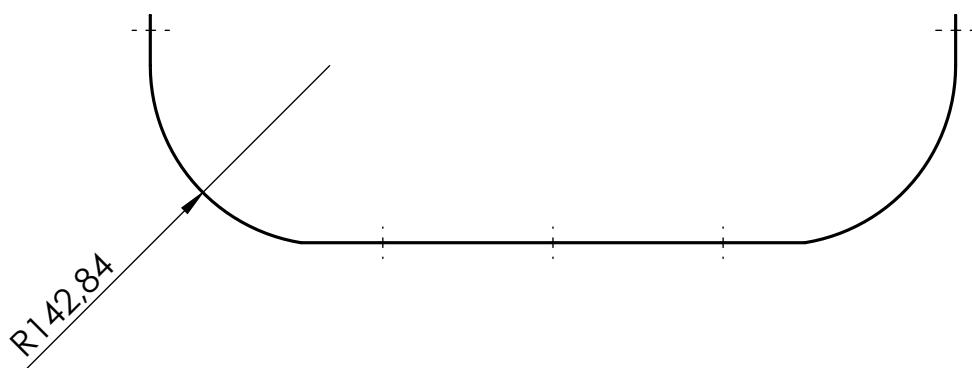
A

Espesor de Plancha de Told Galvanizado = 1mm



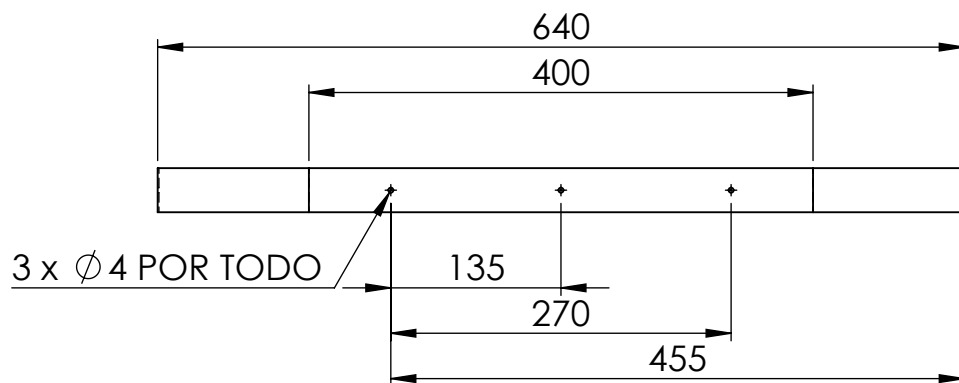
DETALLE B  
ESCALA 1 : 3

B



C

D



E

				Tolerancia ±4	(Peso) 242.26 gr	Materiales: Told galvanizado		
						Denominación: Soporte de Ductos	Escala: 1:5 	
				Dibujo	01/07/2015			Javier Punina B.
				Reviso	08/10/2015			Ing. Santiago Cabrera Ing. César Arroba
				Aprobado	08/10/2015	Ing. Santiago Cabrera Ing. César Arroba		
				UTA INGENIERÍA MECÁNICA CID-FAE		Número del dibujo: 08 de 16		
Edición	Modificación	Fecha	Nombre			(Sustitución)		

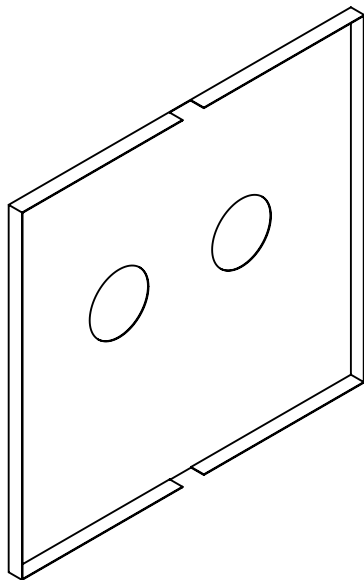
1

2

3

4

A

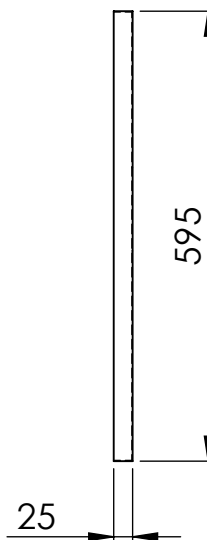
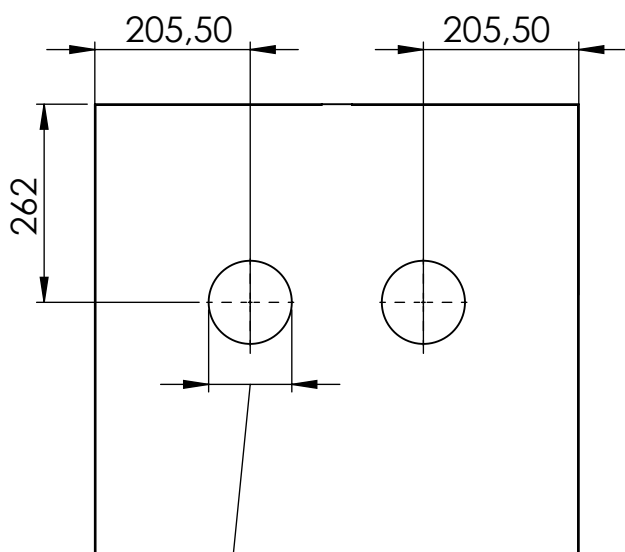


Espesor de Plancha de Told Galvanizado = 1mm

Plegado 90°

B

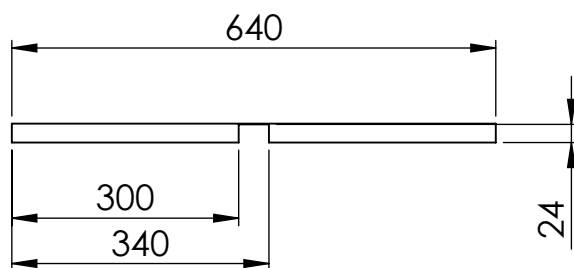
C



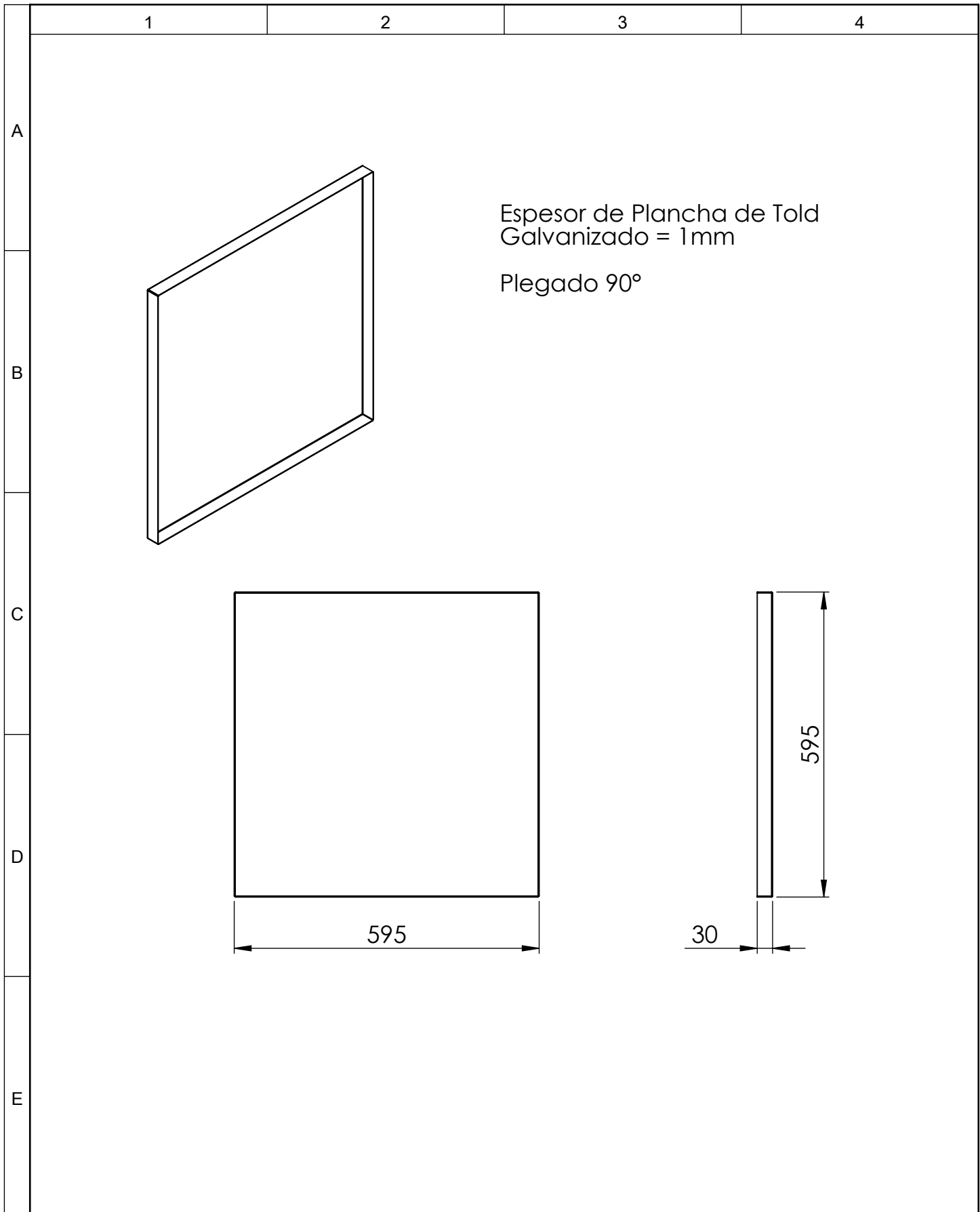
D

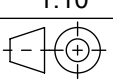

2x  $\phi$  110 POR TODO

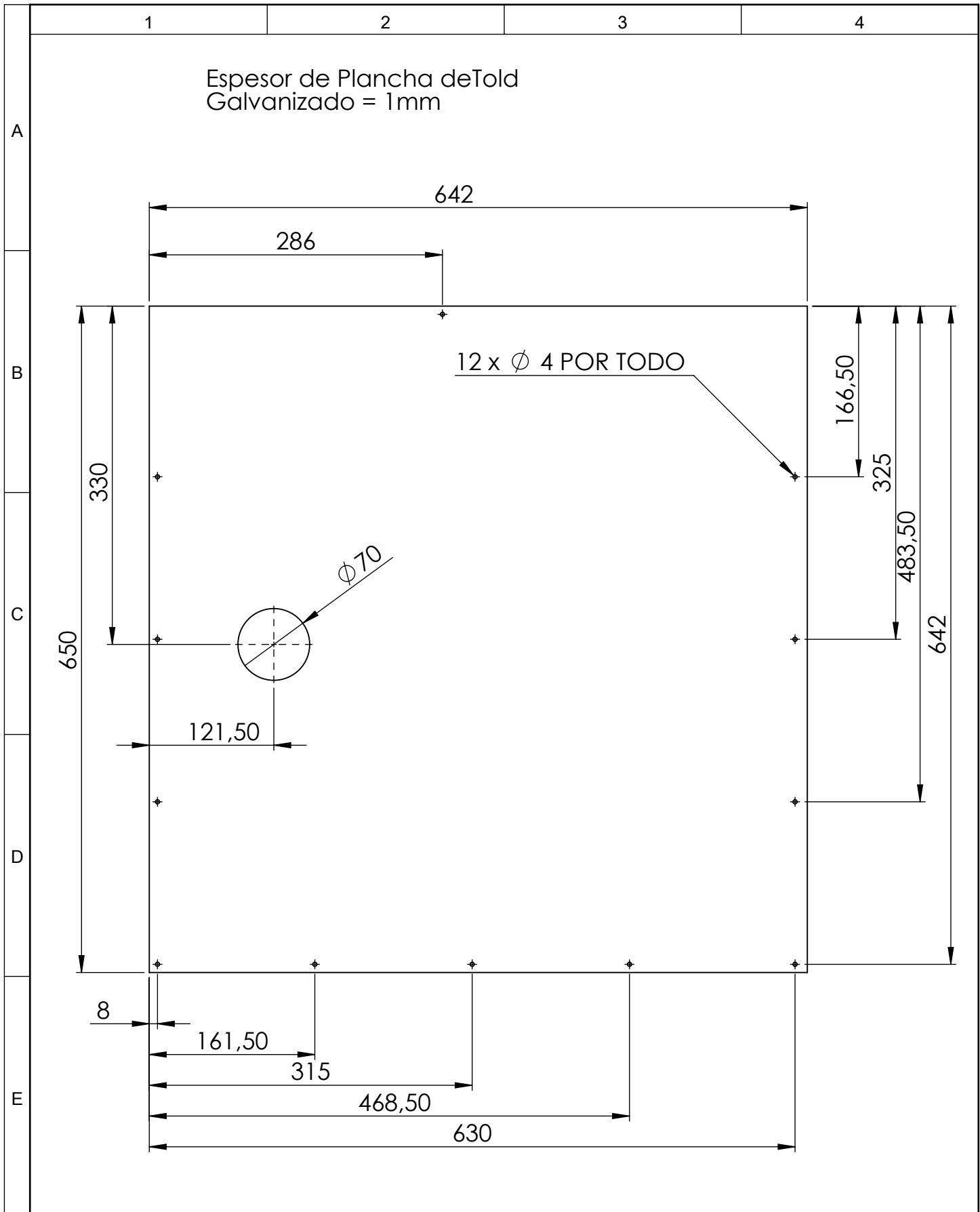
E



				Tolerancia $\pm 4$	(Peso) 3297.98 gr	Materiales: <b>Told galvanizado</b>		
						Denominación: <b>Forro Delantero</b>	Escala: 1:10	
				Dibujó	01/07/2015		Javier Punina B.	
				Revisó	08/10/2015		Ing. Santiago Cabrera Ing. César Arroba	
				Aprobó	08/10/2015	Ing. Santiago Cabrera Ing. César Arroba		
				UTA INGENIERÍA MECÁNICA CID-FAE		Número del dibujo: 09 de 16		
Edición	Modificación	Fecha	Nombre			(Sustitución)		

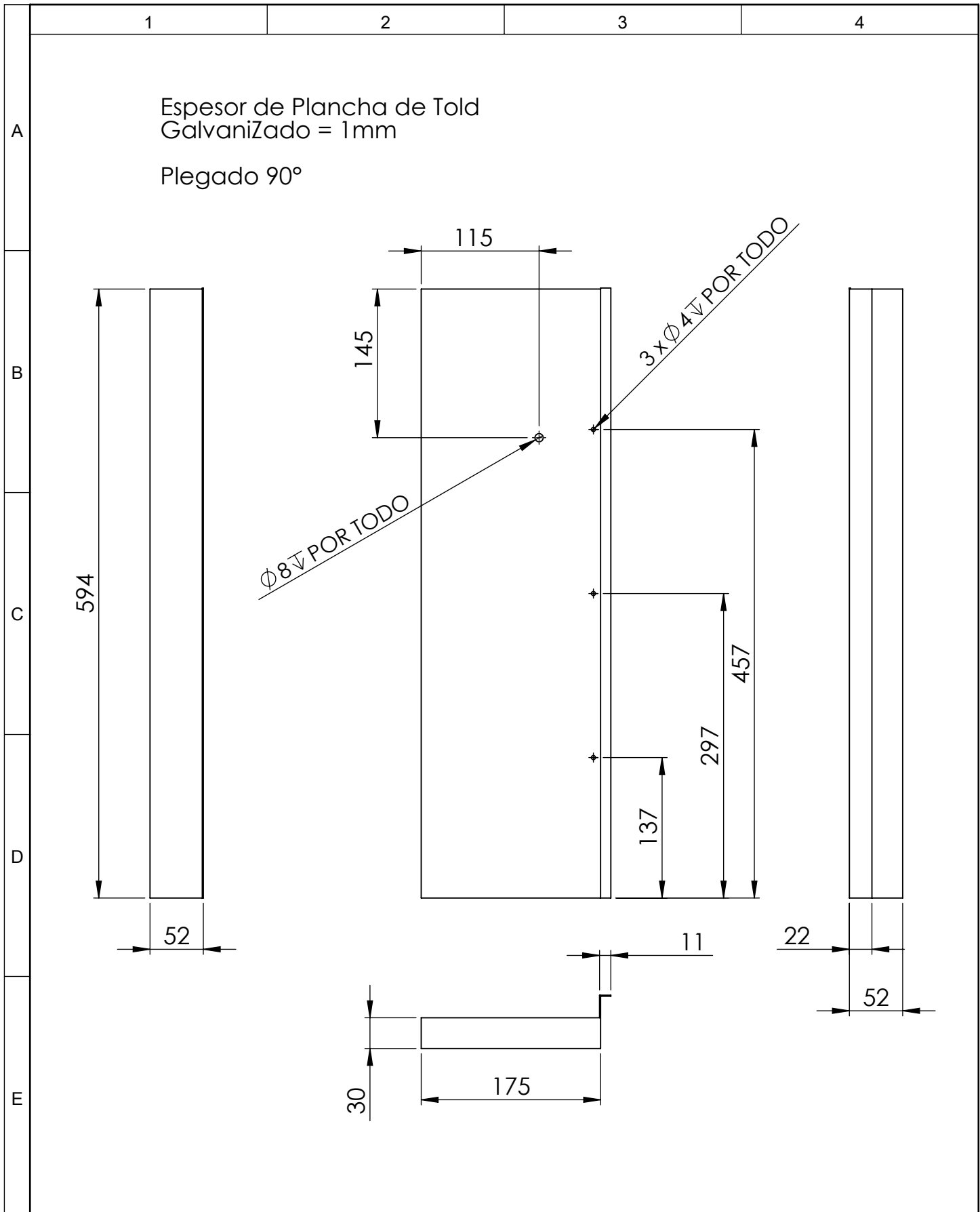


				Tolerancia $\pm 4$	(Peso) 3313.88 gr	Materiales: <b>Told galvanizado</b>		
						Denominación: <b>Forro Lateral Delantero I</b>	Escala: 1:10	
				Fecha	Nombre			
				Dibuj	01/07/2015			
					Revis	08/10/2015	Ing. Santiago Cabrera Ing. César Arroba	
					Aprob	08/10/2015	Ing. Santiago Cabrera Ing. César Arroba	
				UTA INGENIERÍA MECÁNICA CID-FAE		Número del dibujo: 10 de 11		
Edición	Modificación	Fecha	Nombre			(Sustitución)		

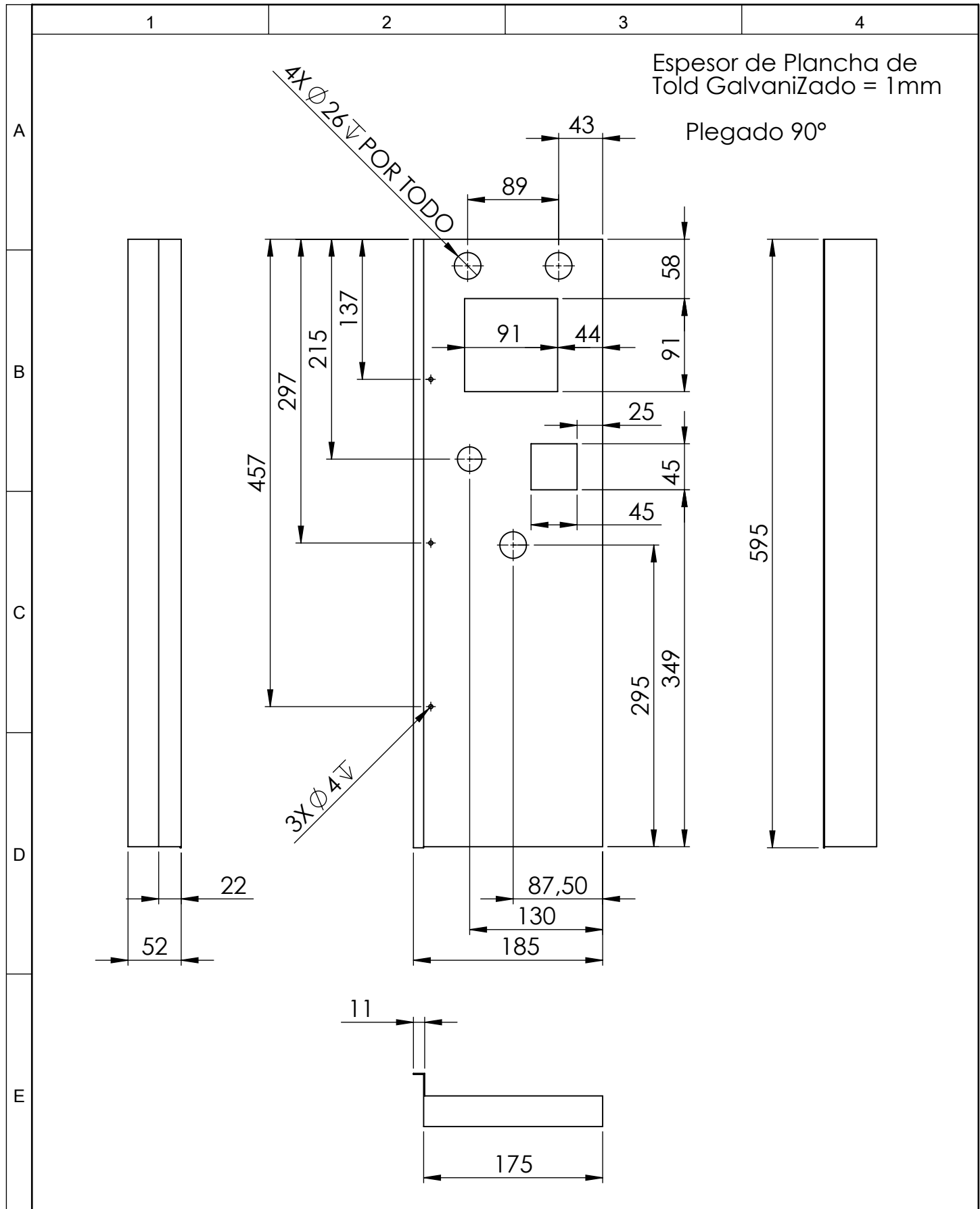


				Tolerancia ±4	(Peso) 3252.68 gr	Materiales: <b>Told galvanizado</b>		
						Denominación: <b>Lamina Delantero D</b>	Escala: 1:5	
				Dibujo	01/07/2015		Javier Punina B.	
				Reviso	08/10/2015		Ing. Santiago Cabrera Ing. César Arroba	
				Aprobado	08/10/2015	Ing. Santiago Cabrera Ing. César Arroba		
				UTA INGENIERÍA MECÁNICA CID-FAE		Número del dibujo: 11 de 16		
Edición	Modificación	Fecha	Nombre			(Sustitución)		

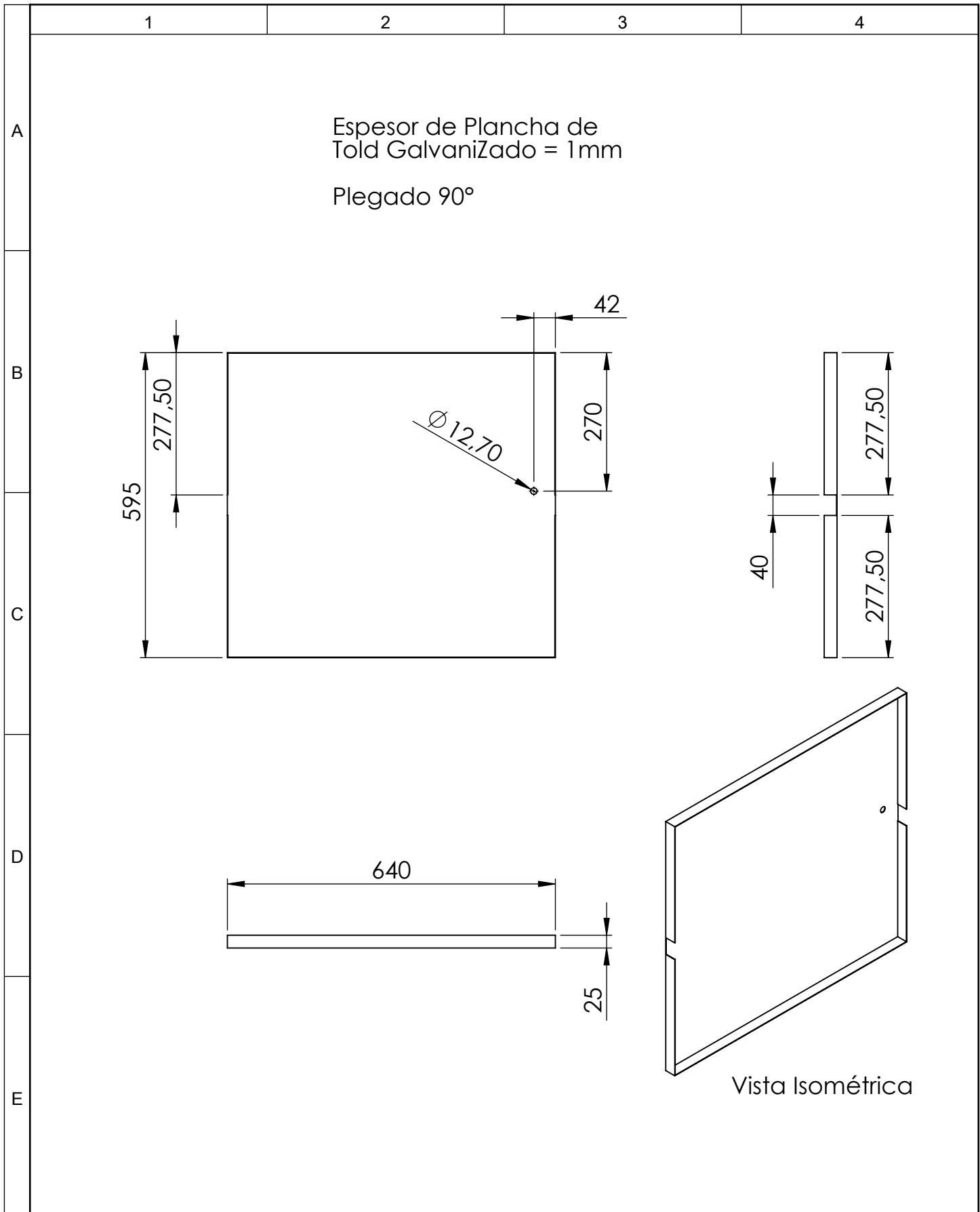




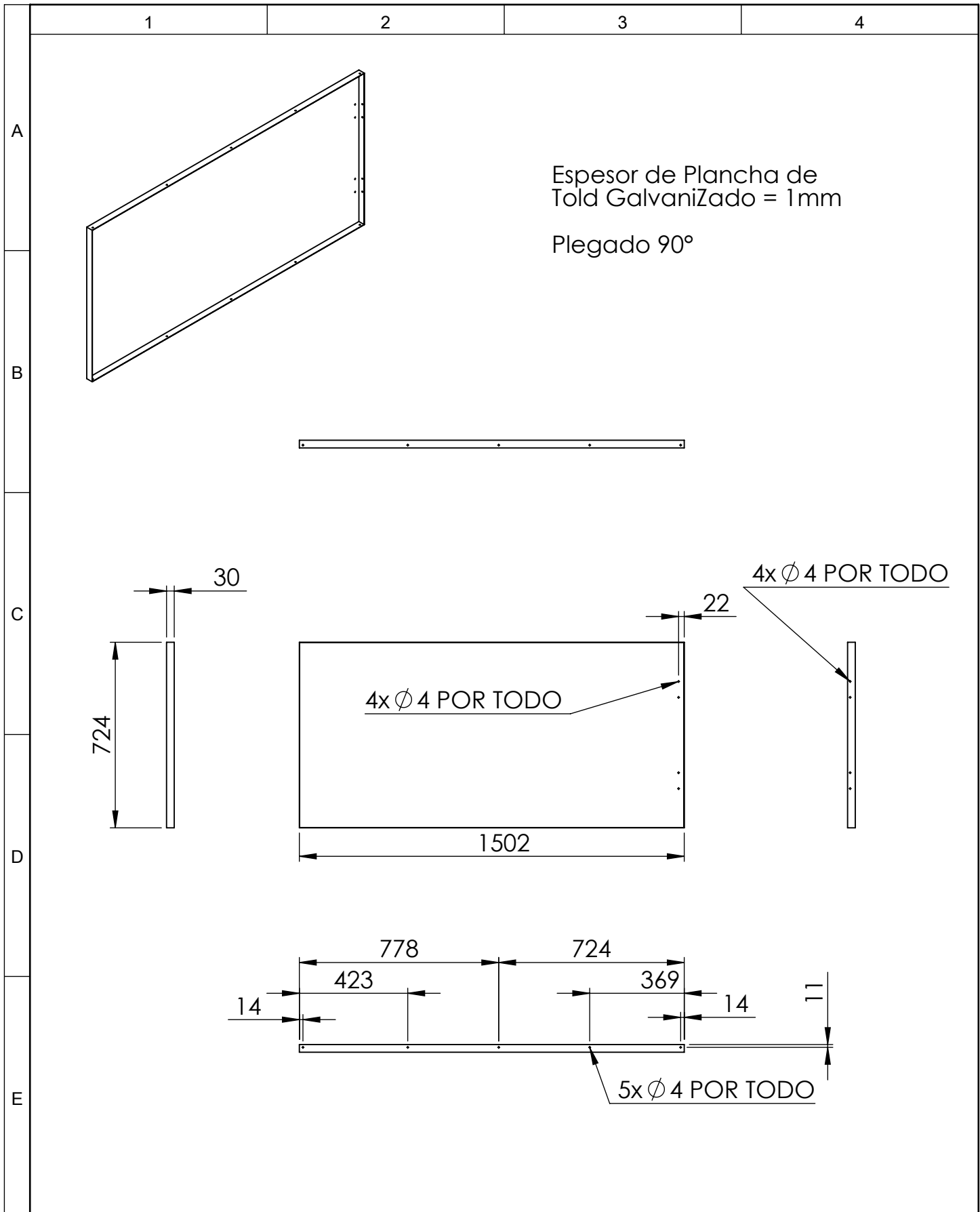
				Tolerancia ±4	(Peso) 1317.17 gr	Materiales: Told galvanizado	
				Fecha	Nombre	Denominación: Forro Pequeño D	Escala: 1:5 
				Dibujó 01/07/2015	Javier Punina B.		
				Revisó 08/10/2015	Ing. Santiago Cabrera Ing. César Arroba		
				Aprobó 08/10/2015	Ing. Santiago Cabrera Ing. César Arroba	Número del dibujo: 12 de 16 (Sustitución)	
Edición	Modificación	Fecha	Nombre	UTA INGENIERÍA MECÁNICA CID-FAE			



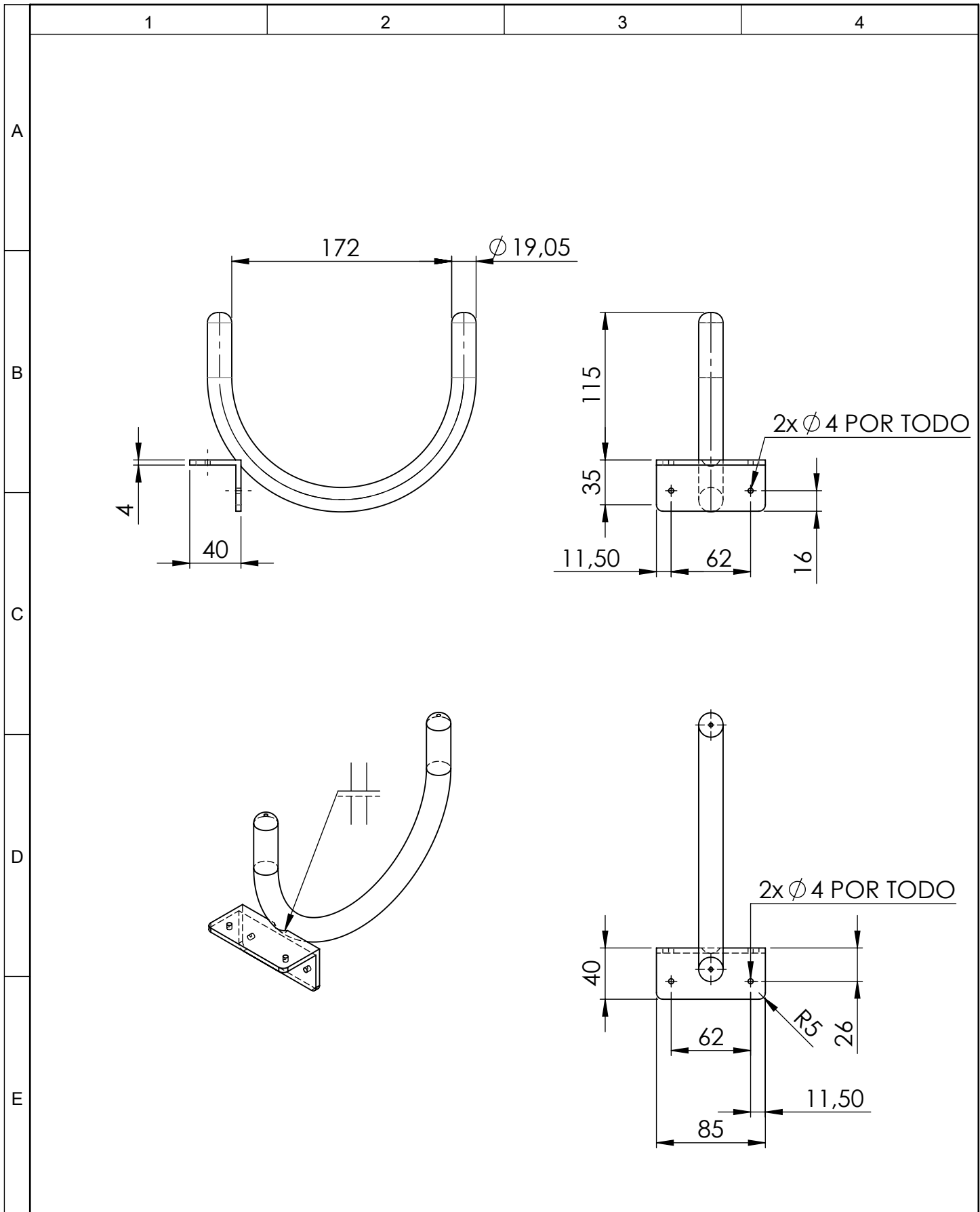
				Tolerancia ±4	(Peso) 1220.36 gr	Materiales: <b>Told galvanizado</b>		
						Denominación: <b>Forro Pequeño I</b>	Escala: 1:5	
				Dibujó	01/07/2015		Javier Punina B.	
				Revisó	08/10/2015		Ing. Santiago Cabrera Ing. César Arroba	
				Aprobó	08/10/2015	Ing. Santiago Cabrera Ing. César Arroba		
				UTA INGENIERÍA MECÁNICA CID-FAE		Número del dibujo: 13 de 16		
Edición	Modificación	Fecha	Nombre			(Sustitución)		



					Tolerancia $\pm 4$	(Peso) 3446.57 gr	Materiales: <b>Told galvanizado</b>		
							Denominación: <b>Forro Posterior</b>		Escala: 1:10
					Fecha	Nombre	Número del dibujo: 14 de 16		
				Dibujo	01/07/2015	Javier Punina B.			
				Reviso	08/10/2015	Ing. Santiago Cabrera Ing. César Arroba			
					Aproba	08/10/2015	Ing. Santiago Cabrera Ing. César Arroba	(Sustitución)	
Edición	Modificación	Fecha	Nombre	<b>UTA</b> <b>INGENIERÍA MECÁNICA</b> <b>CID-FAE</b>					



				Tolerancia ±4	(Peso) 9571.60 gr	Materiales: Told galvanizado		
						Denominación: Forro Superior	Escala: 1:10	
				Dibujó	01/07/2015		Javier Punina B.	
				Revisó	08/10/2015		Ing. Santiago Cabrera Ing. César Arroba	
				Aprobó	08/10/2015	Ing. Santiago Cabrera Ing. César Arroba		
				UTA INGENIERÍA MECÁNICA CID-FAE		Número del dibujo: 15 de 16		
Edición	Modificación	Fecha	Nombre			(Sustitución)		



				Tolerancia $\pm 4$	(Peso) 1086.36 gr	Materiales:  ASTM A36		
						Denominación: <b>Soporte de Manguera</b>	Escala: 1:5	
				Dibujo	01/07/2015		Javier Punina B.	
				Reviso	08/10/2015		Ing. Santiago Cabrera Ing. César Arroba	
				Aprobado	08/10/2015		Ing. Santiago Cabrera Ing. César Arroba	
				UTA INGENIERÍA MECÁNICA CID-FAE		Número del dibujo: 16 de 16		
Edición	Modificación	Fecha	Nombre			(Sustitución)		